

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3710号

## 土 木 研 究 所 資 料

微粒分混入コンクリートの品質および  
配合設計方法に関する検討

2000年2月

建 設 省 土 木 研 究 所  
材料施工部コンクリート研究室

Copyright© (2000) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 微粒分混入コンクリートの品質および 配合設計方法に関する検討

コンクリート研究室 室 長 河 野 広 隆  
主任研究員 森 濱 和 正  
研 究 員 古 賀 裕 久  
企画部 企 画 課 加 藤 俊 二

## 要 旨

骨材製造時に発生する石粉およびフライアッシュなど微粒分をダム用コンクリートへ有効利用し、その施工性・品質を向上させるための検討を行った。

まず、微粒分の諸特性を把握した。次に、微粒分をRCD用コンクリート、有スランプコンクリート、高流動コンクリートへ混入したときのワーカビリティ、強度特性、耐久性などに及ぼす影響について調査した。

これらの結果から、微粒分混入コンクリートの合理的な配合設計方法を提案した。

キーワード：石粉，フライアッシュ，RCD用コンクリート，有スランプコンクリート，  
高流動コンクリート，粒子の相互干渉，レオロジー

## まえがき

本報告書は、骨材製造時に副産物として産出される石粉と、火力発電所から産出されるフライアッシュをダム用コンクリートに有効利用することを検討したものである。その背景は次のとおりである。

第1に骨材の低品質化と省資源、省エネルギー、環境保全の問題がある。

低品質骨材を有効利用することで、原石山の掘削量及び掘削法面が縮小でき、廃棄物が削減できることから、環境保全、省資源、省エネルギーに貢献できる。これまで低品質骨材のダム用コンクリートへの利用に関して検討してきた<sup>1-14)</sup>。低品質骨材の使用は、①ワーカビリティが低下するため単位水量が増加する、②強度が低下する、③耐久性が低下する、などコンクリートの品質の低下を招く。しかも、低品質骨材製造時には多量の石粉（スラッジ）が発生するという問題もある。スラッジは産業副産物であり、その廃棄処理には多額の費用が必要である。したがって、低品質骨材の有効利用に当たっては、骨材製造時に発生する石粉の有効利用も重要な課題の一つになっている<sup>15)</sup>。

一方、他産業から大量に発生する副産物の有効利用も重要な課題である。コンクリートに利用される副産物の主なものとしては、高炉スラグ微粉末、フライアッシュがある。これらはポゾラン反応などによるコンクリートの品質改善やダム用コンクリートにとって重要な断熱温度上昇の抑制に有効であることから、以前から利用されている。ダム用コンクリートにもフライアッシュは多用されてきたが、省エネルギー、廃棄物削減、コンクリートの温度上昇のさらなる抑制の観点から、フライアッシュによるセメントの置換率を増加させる可能性を検討することも重要な課題である。

第2に、合理化・省人化、コスト削減の問題である。

低品質骨材や、石粉の有効利用によって原石山の掘削量を減らすことができ、廃棄処理量が減ることなどからコスト削減が期待される。また、施工面では、すでにRCD工法やELCM工法、最近では鉄筋などがありコンクリートを打設しにくい部分には高流動コンクリートが用いられるなど、合理化・省人化が図られ、コスト削減に寄与している。石粉、フライアッシュなど微粒分は、これらをうまく使うことにより、これらのコンクリートの品質をさらに改善するために、重要な役割を果たすものと考えられている。

例えば、RCD工法に用いられるRCD用コンクリートは、フレッシュ時にローラが載ってもあまり沈下せず転圧できる“硬さ”を有すると同時に所要の品質が得られる“締固めやすさ”が必要である。このような相反する品質を持たせるためには、骨材の空隙を充填し、骨材間の距離を一定に保持できるだけの微粒分の存在が重要だと考えられている<sup>16)</sup>。また、微粒分を添加すると「微粉末効果」によって強度が増加するといわれている<sup>17)</sup>。

また、高流動コンクリートも「フレッシュ時の材料分離抵抗性を損なうことなく、流動性を著しく高めたコンクリート」<sup>18)</sup>と定義されているように、一般のコンクリートより高い分離抵抗性と流動性を併せ持っていなければならないので、より効果的な微粒分の使用法の検討が必要と考えられる。

このようなことから、低品質骨材製造時に多量に副産される石粉およびフライアッシュをRCD用コンクリート、外部用などを想定した有スランブコンクリート、高流動コンクリートに適用した場合のフレッシュ

性状の改善効果，硬化後の強度，耐久性などについて検討し，微粒分の品質評価試験方法と微粒分を多量に混入する場合の配合設計方法の提案を行った。

# 目 次

## まえがき

|                    |    |
|--------------------|----|
| 1 章 実験目的           | 1  |
| 2 章 実験概要           | 3  |
| 2. 1 材料の分類         | 3  |
| 2. 2 材料構成と品質試験     | 3  |
| 2. 3 粉体・粒体の種類と記号   | 5  |
| 3 章 材料試験           | 7  |
| 3. 1 材料の種類         | 7  |
| 3.1.1 骨材と石粉        | 7  |
| 3.1.2 結 合 材        | 7  |
| 3. 2 粉体試験          | 9  |
| 3.2.1 試験項目         | 9  |
| 3.2.2 試験方法         | 9  |
| 3.2.3 試験結果         | 13 |
| (1) 試験結果           | 13 |
| (2) 密 度            | 13 |
| (3) 粒子形状           | 15 |
| (4) 粒度分布と比表面積      | 15 |
| (5) 実積率・間隙比        | 24 |
| (6) 比表面積           | 25 |
| (7) 安息角            | 26 |
| (8) 内部摩擦角          | 28 |
| (9) ゼータ電位          | 29 |
| (10) メチレンブルー吸着量    | 32 |
| 3. 3 粒 体           | 33 |
| 3.3.1 試験項目と試験方法    | 33 |
| 3.3.2 試験結果         | 33 |
| (1) 試験結果           | 33 |
| (2) 締固め方法と実積率      | 33 |
| (3) 粒度分布と実積率、比表面積  | 38 |
| 3. 4 粉 粒 体         | 40 |
| 3.4.1 試験方法         | 40 |
| 3.4.2 試験結果         | 40 |
| (1) 単位容積質量・実積率・間隙比 | 40 |

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| (2) 粘着力・内部摩擦角                             | 42 |
| 3. 5 細粗混合骨材                               | 44 |
| 3.5.1 試験方法                                | 44 |
| 3.5.2 試験結果                                | 44 |
| (1) 単位容積質量・実積率・間隙比                        | 44 |
| (2) 締固め方法と実積率                             | 46 |
| 3. 6 異なった粒度分布を有する2種類の粒子(2粒度粒子)を混合したときの間隙比 | 47 |
| 3.6.1 混合2粒子の相互干渉と間隙比                      | 47 |
| 3.6.2 単一粒度の2粒子を混合したときの間隙比モデル(干渉係数の導入)     | 48 |
| (1) 間隙比モデルの基本概念                           | 48 |
| (2) 領域Ⅰの干渉係数 $k_I$                        | 49 |
| (3) 領域Ⅱの開始点 $x_1$ と干渉係数 $k(x)_{II}$       | 50 |
| (4) 領域Ⅲの開始点 $x_2$ と干渉係数 $k(x)_{III}$      | 51 |
| (5) $x_1 > x_2$ のときの干渉係数                  | 51 |
| 3.6.3 混合2粒度粒子の間隙比                         | 51 |
| (1) 試験結果                                  | 51 |
| (2) 間隙比モデルの適用                             | 53 |
| (3) 間隙比モデルの修正                             | 53 |
| (4) 修正間隙比モデルから求めた間隙比と試験値の比較               | 56 |
| 4 章 Y骨材を用いた超硬練りコンクリート                     | 59 |
| 4. 1 使用材料                                 | 59 |
| 4. 2 基本配合                                 | 59 |
| 4.2.1 配合条件                                | 59 |
| 4.2.2 配合試験                                | 59 |
| 4.2.3 配合試験結果                              | 60 |
| 4.2.4 基本配合                                | 61 |
| 4. 3 ペーストおよびモルタル試験                        | 64 |
| 4.3.1 試験方法                                | 64 |
| 4.3.2 試験水準                                | 65 |
| 4.3.3 ペーストの試験結果                           | 68 |
| 4.3.4 モルタルの試験結果                           | 76 |
| (1) フレッシュ性状                               | 76 |
| (2) 強度試験結果                                | 84 |
| 4. 4 石粉を混入した超硬練りコンクリートの試験                 | 86 |
| 4.4.1 試験方法                                | 86 |
| 4.4.2 試験結果                                | 89 |
| (1) VC 試験結果                               | 89 |
| (2) フレッシュコンクリートの圧縮試験結果                    | 90 |
| (3) 繰返し三軸試験結果                             | 90 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| (4) 強度試験結果                      | 94  |
| 4. 5 石粉のワーカビリティ改善効果             | 97  |
| 4.5.1 量的な改善効果                   | 97  |
| (1) ワーカビリティに影響を及ぼす諸指標           | 97  |
| (2) 検討に用いた指標                    | 100 |
| (3) ワーカビリティ改善効果                 | 100 |
| 4.5.2 振動締固め効果                   | 105 |
| (1) 流動化の要因                      | 105 |
| (2) 締固め率の変化                     | 105 |
| (3) 締固め率変化の推定                   | 106 |
| (4) 繰返し三軸試験による振動締固め効果           | 107 |
| 4. 6 石粉の強度特性改善効果                | 108 |
| 5 章 Ks 骨材を用いた超硬練りコンクリート         | 110 |
| 5. 1 使用材料                       | 110 |
| 5. 2 基本配合                       | 110 |
| 5.2.1 配合条件                      | 110 |
| 5.2.2 配合試験                      | 110 |
| 5.2.3 配合試験結果                    | 111 |
| 5.2.4 基本配合                      | 111 |
| 5. 3 石粉を混入した超硬練りコンクリートの試験       | 113 |
| 5.3.1 試験方法                      | 113 |
| 5.3.2 試験結果                      | 113 |
| (1) 試験結果                        | 113 |
| (2) VC 試験結果                     | 113 |
| (3) 強度試験結果                      | 114 |
| 5. 4 石粉のワーカビリティ改善効果             | 117 |
| 5. 5 石粉の強度特性改善効果                | 120 |
| 6 章 超硬練りコンクリートにおけるフライアッシュの効果    | 121 |
| 6. 1 使用材料                       | 121 |
| 6. 2 基本配合                       | 121 |
| 6. 3 モルタル試験                     | 121 |
| 6.3.1 試験方法                      | 121 |
| 6.3.2 試験水準                      | 121 |
| 6.3.3 試験結果                      | 122 |
| (1) フレッシュ性状                     | 122 |
| (2) 強度試験結果                      | 128 |
| 6. 4 フライアッシュ多量置換した超硬練りコンクリートの試験 | 130 |
| 6.4.1 試験方法                      | 130 |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 6.4.2 | 試験結果                  | 130 |
| (1)   | VC 試験結果               | 130 |
| (2)   | 断熱温度上昇試験結果            | 133 |
| (3)   | 強度試験結果                | 135 |
| 6. 5  | フライアッシュのワーカビリティー改善効果  | 139 |
| 6. 6  | フライアッシュの強度発現効果        | 142 |
| 6.6.1 | 強度発現効果の推定方法           | 142 |
| (1)   | セメントの強度発現             | 142 |
| (2)   | フライアッシュの強度寄与分の分離      | 143 |
| (3)   | フライアッシュの強度発現効果        | 143 |
| 6.6.2 | フライアッシュの強度発現効果の算定     | 145 |
| 7 章   | Ks 骨材を用いた有スランプコンクリート  | 149 |
| 7. 1  | 使用材料                  | 149 |
| 7. 2  | 基本配合                  | 149 |
| 7.2.1 | 配合条件                  | 149 |
| 7.2.2 | 基本配合                  | 149 |
| 7. 3  | 石粉を混入した有スランプコンクリートの試験 | 150 |
| 7.3.1 | 試験方法                  | 150 |
| 7.3.2 | 試験結果                  | 150 |
| (1)   | 試験結果                  | 150 |
| (2)   | フレッシュ性状               | 150 |
| (3)   | 強度試験結果                | 153 |
| (4)   | 凍結融解試験結果              | 155 |
| (5)   | 乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験結果   | 161 |
| 7. 4  | 石粉混入による有スランプコンクリートの品質 | 163 |
| 7.4.1 | ワーカビリティー              | 163 |
| 7.4.2 | 強 度                   | 163 |
| 7.4.3 | 凍結融解抵抗性               | 165 |
| 8 章   | Ks 骨材を用いた高流動コンクリート    | 166 |
| 8. 1  | 使用材料                  | 166 |
| 8. 2  | 配合試験                  | 166 |
| 8.2.1 | 配合条件                  | 166 |
| 8.2.2 | 配合試験                  | 167 |
| 8.2.3 | 配合試験結果                | 168 |
| 8.2.4 | 配 合                   | 170 |
| 8. 3  | ペーストおよびモルタルの粘性試験      | 174 |
| 8.3.1 | 試験方法                  | 174 |
| 8.3.2 | 試験結果                  | 174 |

|       |                                        |     |
|-------|----------------------------------------|-----|
| 8. 4  | 石粉を混入した高流動コンクリートの試験                    | 177 |
| 8.4.1 | 試験方法                                   | 177 |
| 8.4.2 | 試験結果                                   | 178 |
| (1)   | フレッシュ性状                                | 178 |
| (2)   | 強度試験結果                                 | 180 |
| (3)   | 凍結融解試験結果                               | 183 |
| (4)   | 乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験結果                    | 184 |
| 8. 5  | 石粉混入による高流動コンクリートの品質                    | 200 |
| 8.5.1 | ワーカビリティ                                | 200 |
| 8.5.2 | 強 度                                    | 200 |
| 8.5.3 | 耐 久 性                                  | 200 |
| 9 章   | ま と め ―微粒分の品質および微粒分混入コンクリートの配合設計方法の提案― | 204 |
| 9. 1  | 微粒分の品質評価                               | 204 |
| 9. 2  | 微粒分混入コンクリートの品質                         | 204 |
| 9.2.1 | RCD用コンクリート                             | 204 |
| 9.2.2 | 有スランプコンクリート                            | 205 |
| 9.2.3 | 高流動コンクリート                              | 205 |
| 9. 3  | 微粒分混入RCD用コンクリートの配合設計方法                 | 205 |
| 9. 4  | 今後の検討課題                                | 206 |
|       | 参考文献                                   | 207 |

## 1 章 実験目的

本報告書の最終的な目的は、RCD用コンクリート、有スランブコンクリート、高流動コンクリートの3種のコンクリートを対象に、微粒分を混入したコンクリートの品質改善効果を確認し、配合設計法を提案することである。そのために、次のようなことを明らかにすることを目的に実験を行った。

2章では、検討対象である石粉、フライアッシュの位置付けを明確にするために、セメント、細骨材、粗骨材を含めた粒状材料全般についての分類・定義を行なった。

また、石粉、フライアッシュのワーカビリティ改善効果、強度発現効果などに対する検討方法の概念を示した。

3章では、コンクリートの品質に及ぼす粉体の影響を明らかにするために、粉体の密度、粒度分布など一般的な物理試験のほか、粉体に要求される次のような各種特性に関する試験を行うこととした。

微粒分には、粗骨材、細骨材の空隙を充填する役割と、骨材のまわりに付着して流動・変形しやすく、締固めしやすくするための潤滑材としての役割を果たすことが必要であり、「充填性」「分散性」「潤滑性」が求められる。一方で、材料分離抵抗性を高めるために粘性を増す「増粘性」などの特性も必要であり、これらに関する各種品質試験を行った。

また、細骨材、粗骨材の一般的物理試験と、特に充填性の重要な特性である実積率・間隙比については、JISに基づく試験に加え、施工時の締固めエネルギーを考慮し、RCD用に対しては振動を加えて締め固めた場合(以下振動法)、高流動コンクリートに対しては落下させたのみの場合(以下落下法)についても試験した。

さらには、コンクリートは粉体、細骨材、粗骨材を混合したものであることから、粉体と細骨材(粉粒体)、細骨材と粗骨材(細粗混合骨材)の混合比率を変化させた場合の間隙比を求め、2種類の粒度を有する粒子どうしを混合した場合の間隙比の求め方についても検討した。

4章～6章は、RCD用コンクリートについて石粉、フライアッシュを混入したときのワーカビリティ改善効果、強度特性改善効果などについて検討した。4章および5章は骨材、石粉の種類の違いである。6章はフライアッシュについて検討した。

ワーカビリティの改善効果を検討するにあたっては、空隙の「充填性」を評価するため、RCD用でよく用いられている「ペースト/細骨材空隙比： $\alpha$ 」「モルタル/粗骨材空隙比： $\beta$ 」など「空隙比」に関する指標、一方、「単位粗骨材(かさ)容積」に代表される「かさ容積比」の2種類の指標による「量的」な効果と、「潤滑性」「増粘性」を評価する「レオロジー(力学)的」な効果を検討する必要があるものと考え、両者の検討を行った。

4章では特に、モルタル、ペーストのレオロジーを含むフレッシュ性状とRCD用コンクリートの施工性の関係に加え、RCD用コンクリートのフレッシュ時の変形特性、三軸繰返し試験による振動締固め特性についても検討した。

6章ではフライアッシュの断熱温度上昇抑制効果を検討するために断熱温度上昇試験も実施した。さらには、フライアッシュの反応速度を考慮した強度発現の確定方法についても検討した。

7章は有スランブコンクリートの場合である。フレッシュ時にはワーカビリティ、空気連行特性、硬化時には強度に加え、凍結融解抵抗性、乾燥収縮、中性化などについて検討した。ワーカビリティの改善効果の検討は、RCD用と同様、「空隙比」および「かさ容積比」による検討を行なった。

8章は高流動コンクリートの場合である。フレッシュ時のワーカビリティは一般に用いられているスランブフローとロート流下時間を測定した。通常、高流動コンクリートの粗骨材最大寸法（Gmax）は 20 mm であるが、今回、ダム用なのでGmax を 40 mmとした。そのため、両試験は大型のものでも実施した。高流動コンクリートのワーカビリティについても、「空隙比」「かさ容積比」の検討と、「レオロジー的」な検討のために、モルタル、ペーストのレオロジー試験なども行った。硬化時には、強度特性のほか、凍結融解試験、乾燥収縮、中性化試験を行った。

9章では、以上の結果をとりまとめ、微粒分の品質、微粒分を混入したコンクリートのフレッシュ性状の改善効果、硬化コンクリートの品質特性を明らかにした。これらの結果より、微粒分の品質評価試験方法および微粒分混入コンクリートの配合設計方法を提案した。

## 2章 実験概要

## 2. 1 材料の分類

コンクリートに用いられる粒子材料には、図-2.1.1 のように通常セメント、混和材、細骨材、粗骨材がある。さらに本報告書で対象としている石粉が加わることになる。

セメント、混和材は、平均粒子径  $10\mu\text{m}$  ( $0.01\text{mm}$ )程度、比表面積  $3,000\text{cm}^2/\text{g}$  程度あり、通常粉体として取り扱われる。

ここで対象としている石粉は、 $150\mu\text{m}(0.15\text{mm})$ 以下とし、粉体として取り扱うことにする。その理由は、いくつかの実験結果<sup>2)1)</sup>により粉体と粒体の境界は  $0.1\text{mm}$  程度とされているためであるが、石粉をふるい分ける分級装置の制約などから、ここでは  $0.15\text{mm}$  を境界とした。

石粉は、後述するとおりコンクリート用の骨材をクラッシャーにかけて製造しており、それを「石粉 1」としている（図-2.1.1）。骨材製造時には粗粒分から細粒分まで連続した粒度が得られ、前者は粗骨材、後者は細骨材となる。しかしながら、細骨材中にはもともと 0.15mm 以下も多少含まれており、これを「石粉 0」とする。石粉 1 と石粉 0 を合わせて、ここでは「微粒分」と呼ぶこととする。

次に粉体と粒体を混合したものを「粉粒体」と呼ぶこととし、粉体と細骨材を混合したものを「粉粒体 1」、さらに粗骨材を混合したものを「粉粒体 2」とする。以下、特にことわらない限り「粉粒体 1」を単に「粉粒体」と呼ぶ。また、細骨材と粗骨材を混合したものを「細粗混合骨材」と呼ぶことにする。

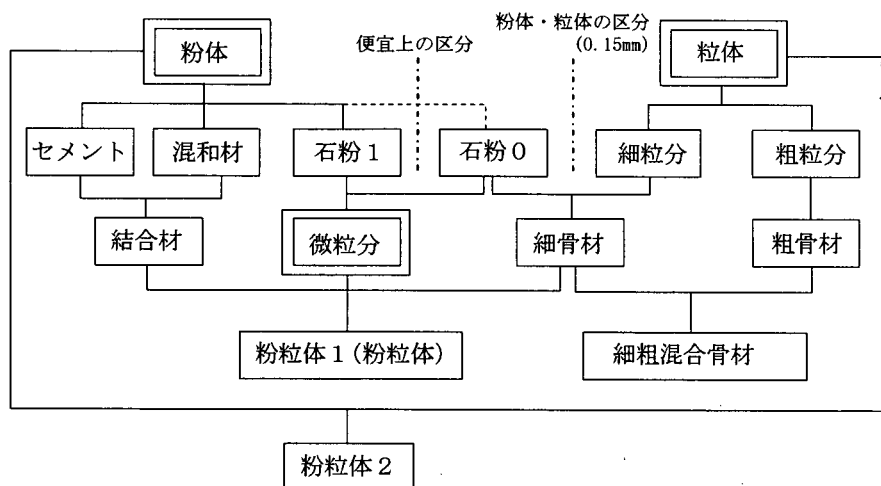


図-2.1.1 粉体、粒体の区分

## 2. 2 材料構成と品質試験

品質試験は、粒子状態の試験と、水を混入したペースト、モルタル、コンクリートの試験に大別できる。それぞれの状態での主な試験は以下のとおりである。

粒子状態では表-2.2.1 のように粉体、粒体の各材料単体ごとに密度、粒度等の物理試験はもちろん、粉体はゼータ電位、メチレンブルー吸着量などを測定した。

粉体には充填性、分散性、潤滑性、増粘性が重要と考え、次のような試験を行なった。充填性では、か

密度から実積率，間隙比を求めた。分散性に関しては，ゼータ電位を測定した。潤滑性に関しては，一面せん断試験による内部摩擦角と，安息角を測定した。安息角は気中での試験のほか，湿潤状態での流動性を把握するために水中でも試験した。増粘性に関しては，比表面積で代表させることとした。比表面積はメチレンブルー吸着量と相関関係があるといわれていることから<sup>2) 2)</sup>，その試験も行なった。

骨材は圧縮強度，圧裂強度，破碎試験を行い強度も測定した。

また，粉体と細骨材を混合した粉粒体，細骨材と粗骨材を混合した細粗混合骨材の単位容積質量（かさ密度）および実積率試験を行った。

コンクリートは，RCD用の超硬練りコンクリート，外部用の有スランプコンクリート，さらに流動性を高めた高流動コンクリートを対象としており，それぞれのコンクリートについて，図-2.2.1のようにペーストと骨材の二相系，モルタルと粗骨材の二相系として検討することを試みた。試験項目は表-2.2.2のとおりである。ペーストとモルタルは主に粘性を測定し，コンクリートのワーカビリティとの関係を把握しようとしたものである。コンクリートの種類によって多少異なるものの，硬化コンクリートの強度特性，凍結融解抵抗性，乾燥収縮による体積変化特性などの試験を実施した。

表-2.2.1 材料の種類と試験項目

| 材料の種類  | 物理試験 |      |      |      |                  |     |     |       | 化学的試験 |            | 強度試験 |      |      |
|--------|------|------|------|------|------------------|-----|-----|-------|-------|------------|------|------|------|
|        | 密度   | 粒度分布 | 比表面積 | 粒子形状 | 単位容積質量<br>(かさ密度) | 安定性 | 安息角 | 一面せん断 | ゼータ電位 | メチレンブルー吸着量 | 圧縮強度 | 圧裂強度 | 破碎試験 |
| 粉体     | ○    | ○    | ○    | ○    | ○                |     | ○   | △     | ○     | ○          |      |      |      |
| 粒体     | 細骨材  | ○    | ○    |      | ○                | ○   | △   |       |       |            |      |      |      |
|        | 粗骨材  | ○    | ○    |      | ○                | ○   | △   |       |       |            | △    | ○    | ○    |
| 粉粒体    |      |      | △    |      | △                |     | △   | △     | △     |            |      |      |      |
| 細粗混合骨材 |      |      |      |      | ○                |     |     |       |       |            |      |      |      |

△＝一部実施

表-2.2.2 対象としたコンクリートの種類と試験項目

| コンクリートの種類  | 試験項目         |                   |         |     |      |         | 対応する章 | 備考           |
|------------|--------------|-------------------|---------|-----|------|---------|-------|--------------|
|            | フレッシュ時       |                   | 凝結・硬化過程 | 硬化後 |      |         |       |              |
|            | ペースト・モルタルの粘性 | フレッシュ性状           | 断熱温度上昇  | 強度  | 凍結融解 | 乾燥収縮中性化 |       |              |
| 超硬練り(RCD用) | ○            | VC<br>圧縮<br>繰返し三軸 |         | ○   |      |         | 4章    | 単位結合材量も変化させた |
|            |              | VC                |         | ○   |      |         | 5章    |              |
|            | ○            | VC                | ○       | ○   |      |         | 6章    | フライッシュ置換率    |
| 有スランプ      |              | スランプ<br>空気量       |         | ○   | ○    | ○       | 7章    |              |
| 高流動        | ○            | スランプフロー<br>空気量    |         | ○   | ○    | ○       | 8章    |              |

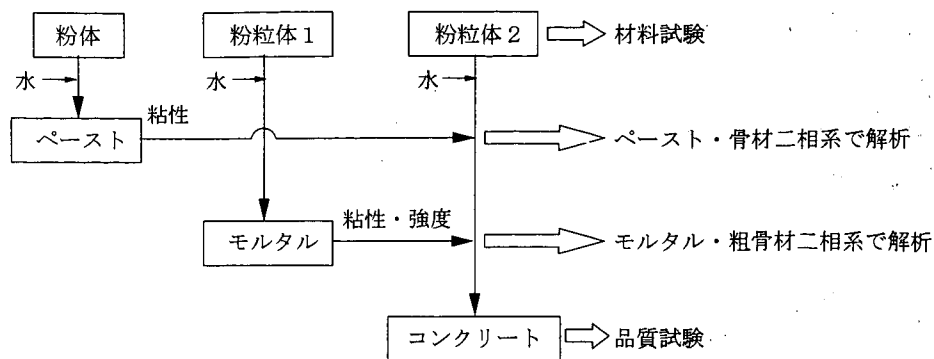


図-2.2.1 材料構成と品質試験

### 2. 3 粉体, 粒体の種類と記号

本報告書で使用した粉体, 粒体の種類とその記号を表-2.3.1 に示す。

結合材Bは, セメントCと, 混和材としてフライアッシュFで構成されている。

細骨材Sは, 0.15mm より大きい粒子である細粒分  $S_o$  と, 0.15mm 以下の粒子 (石粉0)  $P_{w0}$  に分類した (図-2.1.1)。通常, 細骨材は  $S = S_o + P_{w0}$  で構成されている。

製造した石粉 (石粉1)  $P_{w1}$  は 0.15mm 以下としている。  $P_{w0}$  と合わせて微粒分  $P_w$  と呼ぶ。  $P_{w1}$  を細骨材として用いる場合, 細骨材  $S = S_o + P_{w0} + P_{w1}$  となる。

結合材Bと微粒分  $P_w$  を合わせて粉体と呼ぶ。微粒分を混和材として用いる場合には, 結合材を  $B_p$  と表し,  $B_p = C + F + P_{w0} + P_{w1}$  となる。

細粒分  $S_o$  と粗粒分 (粗骨材)  $G$  が粒体である。

これらを質量で表す場合は大文字で, 体積または容積で表す場合は小文字で示す。

表-2.3.1 粉体, 粒体の種類と記号

| 区分 | 記号    |          | 説明                                                                 |
|----|-------|----------|--------------------------------------------------------------------|
|    | 質量    | 体積       |                                                                    |
| 粉体 | B     | b        | 結合材 $B = C + F$ , 微粒分を混和材とする場合 $B_p = C + F + P_{w0} + P_{w1}$     |
|    |       | C        | セメント                                                               |
|    |       | F        | フライアッシュ                                                            |
|    | $P_w$ | $p_w$    | 微粒分 $P_w = P_{w0} + P_{w1}$                                        |
|    |       | $P_{w1}$ | 石粉1 (製造した石粉, 0.15mm以下)                                             |
|    |       | $P_{w0}$ | 石粉0 (細骨材中に含まれている粒径0.15mm以下の粒子)                                     |
| 粒体 | $S$   | $S_o$    | 細粒分 (0.15mmより大きい粒子)                                                |
|    |       | s        | 細骨材, 通常 $S = S_o + P_{w0}$ , 石粉を混入した場合 $S = S_o + P_{w0} + P_{w1}$ |
|    | G     | g        | 粗粒分 (粗骨材)                                                          |

粉体または細骨材中に占める石粉または微粒分の存在状態により次のように分類する。

### (1) 石粉混合率

結合材に石粉（ $Pw0$ ,  $Pw1$ ）を加えた粉体  $Bp$  を考えると図-2.3.1 のようになり、粉体中に占める石粉の比率を「石粉混合率」と呼び、式（2.3.1）で表す。

$$\text{石粉混合率} = \frac{Pw}{Bp} = \frac{Pw}{B + Pw} = \frac{Pw0 + Pw1}{C + F + Pw0 + Pw1} \dots\dots (2.3.1)$$

### (2) 石粉混入率および微粒分率

通常細骨材（ $So + Pw0$ ）に石粉  $Pw1$  を加えた細骨材（ $S = So + Pw0 + Pw1$ ）は図-2.3.2 のようになる。

石粉  $Pw1$  を加える（混入する）ことにより便宜上新しい細骨材を考えていることから、細骨材に占める石粉  $Pw1$  の比率を「石粉混入率」と呼び、式(2.3.2)で表わす。

$$\text{石粉混入率} = \frac{Pw1}{S} = \frac{Pw1}{So + Pw0 + Pw1} \dots\dots (2.3.2)$$

細骨材に占める微粒分量（石粉  $Pw0 + Pw1$ ）の比率を微粒分量と呼び、式（2.3.3）で表わす。

$$\text{石粉混入率} = \frac{Pw}{S} = \frac{Pw0 + Pw1}{So + Pw0 + Pw1} \dots\dots (2.3.3)$$

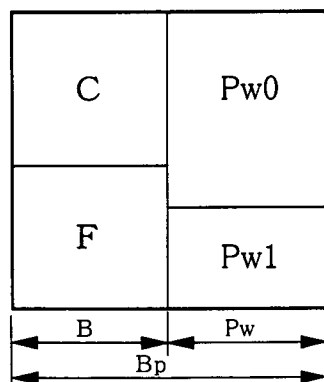


図-2.3.1 結合材に石粉を加えた粉体の状態

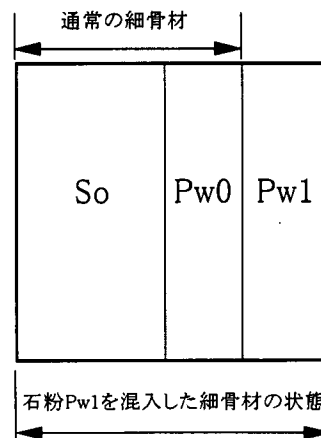


図-2.3.2 石粉 $Pw1$ を混入した細骨材の状態

### 3 章 材料試験

#### 3. 1 材料の種類

##### 3.1.1 骨材と石粉

実験に使用した骨材は表-3.1.1 の2種類である。

Y骨材は砂岩と頁岩の混合したもので、節理が発達しており、骨材掘削の際の発破によりすでに最大寸法が 40mm 程度のものしか採取できないものである。その中でもクラックの間隔の比較的大きいものをCM, 小さいものをCLと分類した。また、CMは灰色であったが、CLは風化により茶色に変色したものであった。CM, CLそれぞれ、粗骨材は40~20mm, 20~5mm に分級し、5mm 以下を細骨材とした。

Ks 骨材は花崗岩であり、風化が進んでいるものの比較的良好なものをB, それよりも品質が低下しているものをCと分類した。これらを図-3.1.1 のように約 15 t ずつクラッシャによって破碎, 分級して粗骨材, 細骨材を製造した。製造した粗骨材および細骨材, 石粉の量は表-3.1.2 のとおりである。

表-3.1.1 実験に使用した骨材の種類

| 骨材 | 岩種        | 分類               | 特徴                                         | 粒径    |
|----|-----------|------------------|--------------------------------------------|-------|
| Y  | 砂岩, 頁岩の混合 | CM(砂質, 泥質)<br>CL | 節理が発達し, 最大寸法40mm程度までしか採取できない。風化により灰色→茶色に変色 | 40~5  |
| Ks | 花崗岩       | B, C             | 風化により灰色→弱茶色に変色                             | 150~5 |

※CM, Bは, 良質なもの, CL, Cは低品質なものである。

表-3.1.2 Ks骨材および石粉の製造量

| 種類  | 粗骨材    |        |        |        | 細骨材    | 石粉   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|------|
|     | 150~80 | 80~40  | 40~20  | 20~5   | 5mm以下  |      |
| B骨材 | 500kg  | 500kg  | 3000kg | 3000kg | 3000kg | 30kg |
| C骨材 | 500kg  | 500kg  | 3000kg | 3000kg | 3000kg | 15kg |
| 合計  | 1000kg | 1000kg | 6000kg | 6000kg | 6000kg | 45kg |

石粉はディスククラッシャ (2枚の円盤を反対方向にすり合わせる方式) により製造したものと、骨材製造時に発生した粉塵を集塵機によって採取したものがある。クラッシャで製造したものは表-3.1.3 のようにY骨材はCMから、Ks 骨材はBおよびCから製造し、0.15mm 以下のものをふるい分けた。Ks 骨材の石粉は骨材製造時のものと区分するため添字 2 を付けた。骨材製造時に集じん機によって採取したものは KsB1, KsC1 とした。製造時に採取できた石粉の量は、B骨材が原石の約 0.2%, C骨材は約 0.1%であった (表-3.1.2)。

表-3.1.3 石粉の分類

| 骨材 | 分類 | 記号   | 備考                 |
|----|----|------|--------------------|
| Y  | CM | YCM  | クラッシャで作製           |
| Ks | B  | KsB1 | 骨材製造時に<br>集塵器により採取 |
|    | C  | KsC1 |                    |
|    | B  | KsB2 | クラッシャで作製           |
|    | C  | KsC2 |                    |

##### 3.1.2 結合材

セメントは、中庸熱ポルトランドセメントまたは普通ポルトランドセメントを用いた。それぞれをM,

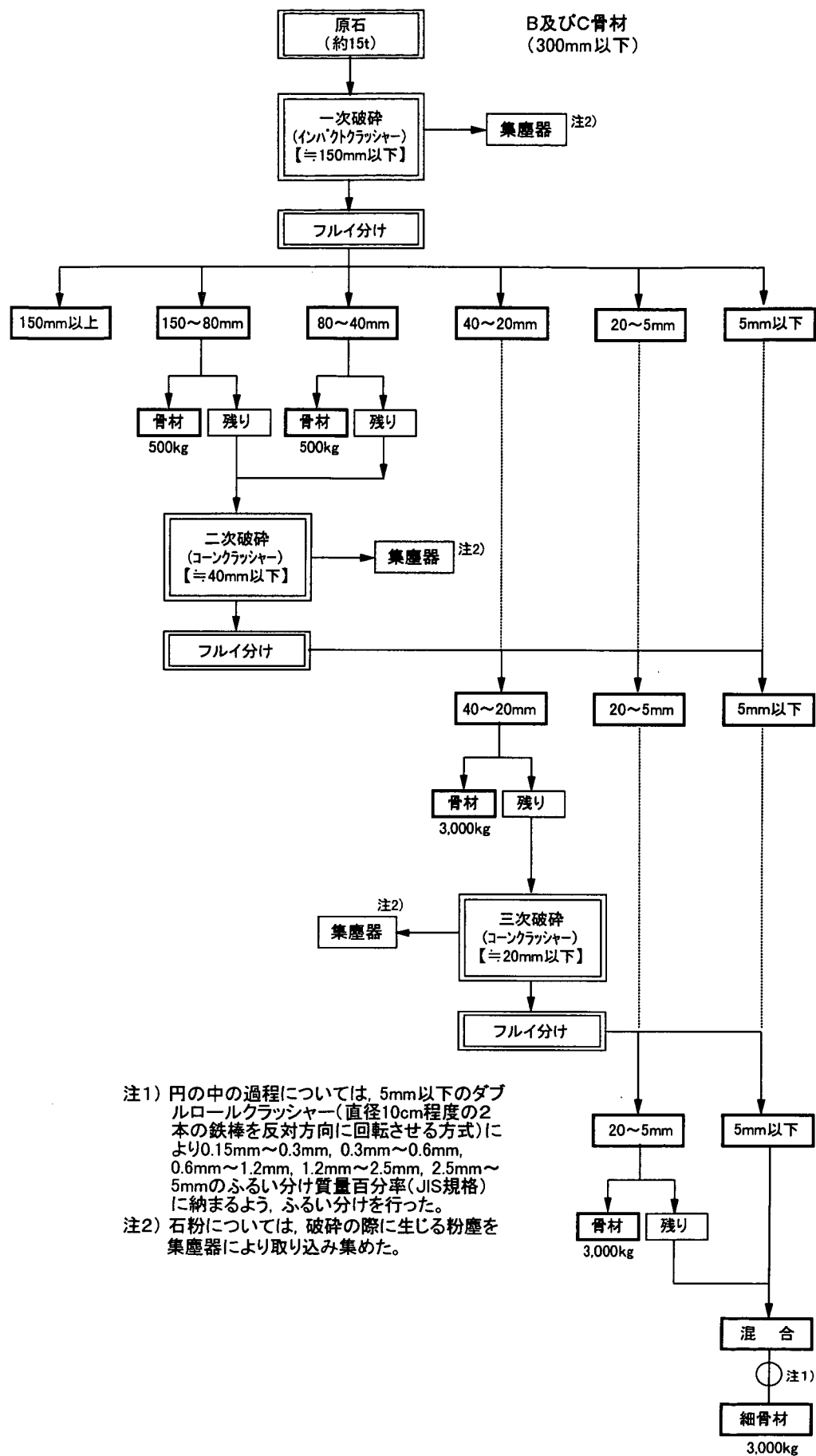


図-3.1.1 骨材の製造

Nで示す。

混和材にはフライアッシュを用い、Fと示す。

セメントのM、混和材のフライアッシュFは、異なる2種類のものを使用しているため、記号の後に1、2を付けて区別した

### 3. 2 粉体試験

#### 3.2.1 試験項目

粉体の種類と試験項目の関係は表-3.2.1 のとおりである。粉体ごと、セメントM1 およびNにフライアッシュF1を30～90%置換したもの、さらには、M1にF1を50%置換した結合材に石粉YCMを混合した場合についても試験を実施した。粉体中の石粉YCMの混合率は表-3.2.2 のとおりである。この混合率は、4章のコンクリート試験時の微粒分率に相当するものである。

表-3.2.1 粉体の試験項目および試験水準

| 試験項目         |       | セメント |    |   | 混和材 |    | 石粉  |      |      |      |      | M1またはNにF1を置換 | M1・F1とYCMの混合 |
|--------------|-------|------|----|---|-----|----|-----|------|------|------|------|--------------|--------------|
|              |       | M1   | M2 | N | F1  | F2 | YCM | KSB1 | KSC1 | KSB2 | KSC2 |              |              |
| 密度           |       | ○    | ○  | ○ | ○   | ○  | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    | ○            | ○            |
| かさ密度         |       | ○    | ○  | ○ | ○   | ○  | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    | ○            | ○            |
| 粒度分布(レーザー回折) |       | ○    | ○  | ○ | ○   | ○  | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    |              |              |
| 比表面積         | 空気透過法 | ○    | ○  | ○ | ○   | ○  | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    |              |              |
|              | BET法  | ○    | ○  | ○ | ○   | ○  | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    | ○            | ○            |
| 粒形(顕微鏡写真)    |       | ○    | ○  | ○ | ○   | ○  | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    |              |              |
| 安息角(気中および水中) |       | ○    |    | ○ | ○   |    | ○   |      |      |      |      | ○            | ○            |
| 内部摩擦角        |       | ○    |    | ○ | ○   |    | ○   |      |      |      |      | ○            | ○            |
| ゼータ電位        |       | ○    |    | ○ | ○   |    | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    | ○            | ○            |
| メチレンブルー吸着量   |       |      |    |   | ○   | ○  | ○   | ○    | ○    | ○    | ○    |              |              |

表-3.2.2 石粉を混合した粉体の試験水準

| 記号           | 微粒分率 <sup>※</sup> (%) | Mを1としたときの構成比(質量比) |    |       | YCMの石粉混合率(%) |
|--------------|-----------------------|-------------------|----|-------|--------------|
|              |                       | M1                | F1 | YCM   |              |
| M50(=M50-P0) | 0                     | 1                 | 1  | 0.000 | 0.0          |
| M50-P7.5     | 7.5                   | 1                 | 1  | 0.904 | 31.1         |
| M50-P15.5    | 15.5                  | 1                 | 1  | 1.826 | 47.7         |
| M50-P23.5    | 23.5                  | 1                 | 1  | 2.660 | 57.1         |
| M50-P33.5    | 33.5                  | 1                 | 1  | 3.706 | 64.9         |

※微粒分率とは、コンクリートの配合におけるものであり、細骨材に占める微粒分の比率である。  
粉体の試験では、表中の質量比で混合して試験を実施した。

#### 3.2.2 試験方法

##### (1) 密度

密度試験はJIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準拠した。

##### (2) かさ密度

かさ密度の測定には細川粉体工学研究所製粉体特性総合測定装置(パウダーテスター)を用いた。

試験は粉体を45メッシュ(710μ)のふるいを通した粉体を100ccの容器に充填した後、その見掛けの単

位容積質量を測定することによってかさ密度を求めた。この時、タッピング（約 15mm の落下運動）を実施しない場合がゆるめのかさ密度であり、タッピング（落下運動）を 180 回実施した場合がかためのかさ密度となる。

### (3) 粒度分布

粒度分布はレーザー回折によって測定し、シーラス社製レーザー粒度分布装置 Granulometer HR 850-B を用いた。

### (4) 比表面積

比表面積は空気透過法および B E T 法によって測定した。

空気透過法は、JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」に準拠した。

B E T 法は 1 点式直読表面積測定法であり、島津製作所社製フロソープⅡB.E.T を用いた。

### (5) 粒 形

粒形は顕微鏡写真によって確認した。顕微鏡写真撮影には日立製作所社製走査電子顕微鏡 S4100 を用いた。

### (6) 安息角

安息角の測定には細川粉体工学研究所製粉体特性総合測定装置（パウダーテスター）を用いた。

試験は 45 メッシュ(710 $\mu$ )のふるいを通した粉体を直径 80mm のテーブルに落下させ、安息角を気中および水中において測定した。

安息角は a) 分度器による直読, b) 撮影写真を分度器によって測定, c) 高さを測定して算出の何れかの方法によって求めた。

安息角測定概要図を図-3.2.1 に示す。試験状況を写真-3.2.1 に示す。

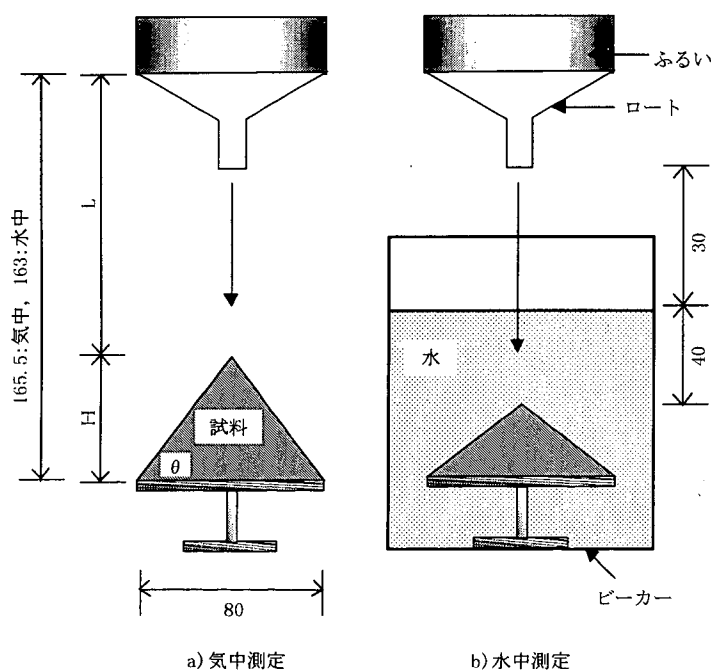


図-3.2.1 安息角測定概要図

(7) 内部摩擦角

土質で行われている一面せん断試験により内部摩擦角を測定した。垂直応力は  $0.5\text{kgf/cm}^2$  ( $0.049\text{N/mm}^2$ ),  $1.0\text{kgf/cm}^2$  ( $0.098\text{N/mm}^2$ ),  $2.0\text{kgf/cm}^2$  ( $0.196\text{N/mm}^2$ ) の3点とした。

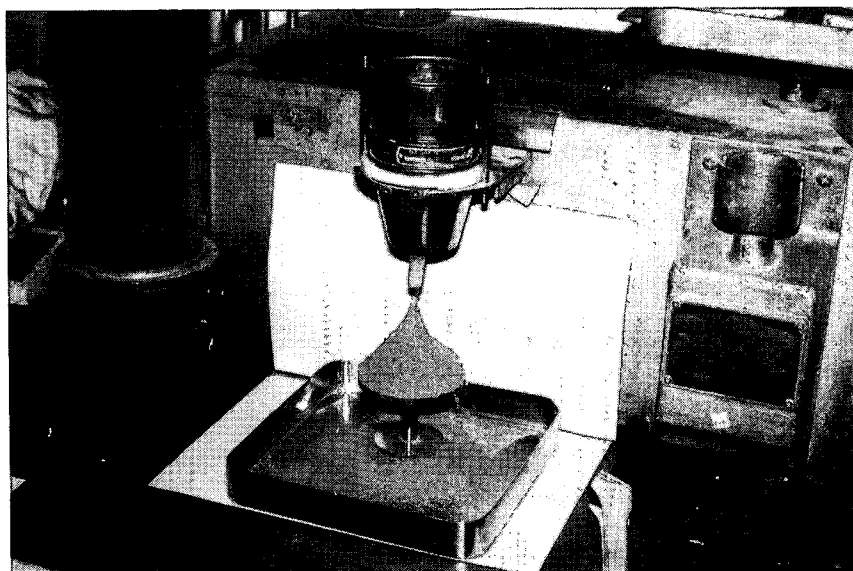
(8) ゼータ電位

ゼータ電位は Matec Applied Sciences 社製レーザー回転方式コロイド粒子ゼータ電位測定装置 AccountSizer を用いて測定した。試料の調製法および測定条件は以下のとおりである。

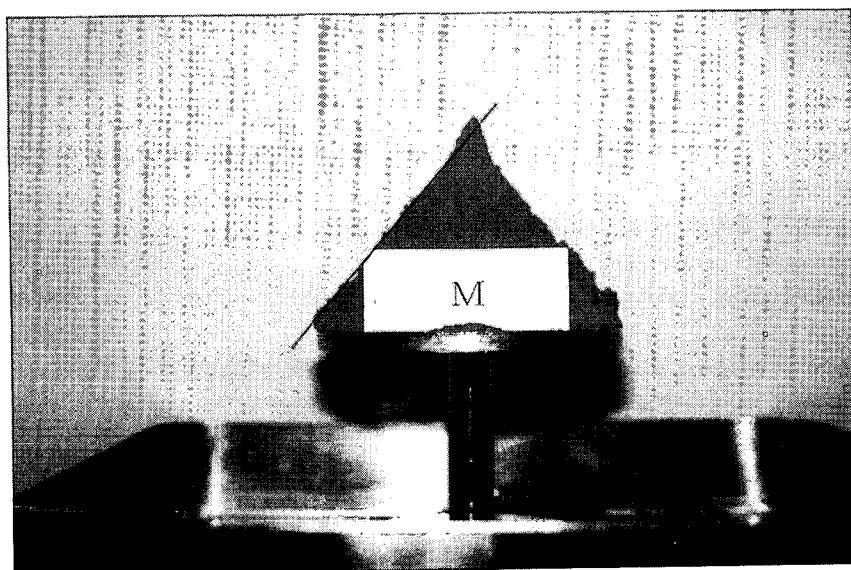
- ・ 試験試料の調製 ～ 試料 0.5g に対し、飽和水酸化カルシウム溶液 50g を加えて 10 分間攪拌させた液を試験試料とした。
- ・ 試験試料の測定 ～ 試験試料を装置のセルに投入し、その 10 分後（飽和水酸化カルシウム溶液と攪拌させてから 30 分後）にゼータ電位の測定を行った。

(9) メチレンブルー吸着量

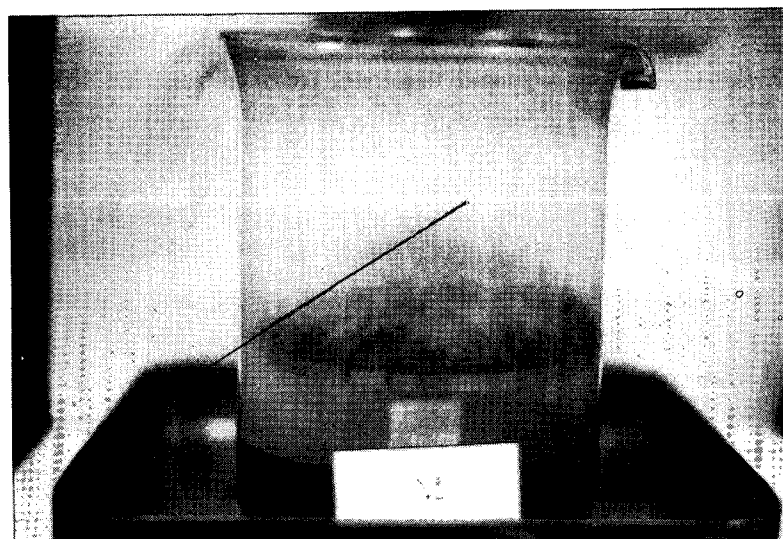
メチレンブルー吸着量の測定は、JCAS I -61 「フライアッシュのメチレンブルー吸着量試験方法」に準拠した。



(a) 試験状況



(b) 気 中



(c) 水 中

写真- 3.2.1 安息角測定状況

### 3.2.3 試験結果

#### (1) 試験結果

粉体の試験結果の一覧を表-3.2.3 に示す。

かさ密度は、試料を容器に詰めてタンピングする前の「ゆるめ」およびタンピングを 180 回行った後の「かため」について測定し、実積率を求めた。

粒度分布は、質量通過百分率で 50% のときの粒径を示してある。

一面せん断試験では、ほとんどの場合、粘着力はゼロまたはゼロに近かったので、内部摩擦角はすべて垂直応力とせん断応力の関係を原点を通るように回帰（粘着力 0）して求めた。

#### (2) 密 度

石粉の見かけの真密度を粗骨材、細骨材も加えて比較すると表-3.2.4、図-3.2.2 のようになった。平均粒径の大きいほうから見ると、10~50mm 程度でピークとなり、0.1mm 程度まで低下傾向にある。それより小さくなると真密度に近づいていくため増加傾向にある。今回使用した石粉の平均粒径は約 0.05~0.01mm であり、この程度ではほぼ細骨材と同じ見かけの真密度になっている。

表-3.2.4 平均粒径と見かけの真密度

(g/cm<sup>3</sup>)

| 骨材の種類                 |     | 粗骨材 <sup>※※</sup> |       |       |       | 細骨材 <sup>※※</sup> |       |       | 石粉     |        |        |       |       |
|-----------------------|-----|-------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                       |     |                   |       |       |       | KsC               | KsB   | YCM   | YCM    | KsB1   | KsC1   | KsB2  | KsC2  |
| 平均粒径(mm) <sup>※</sup> |     | 109.5             | 56.6  | 28.3  | 10.0  | 0.75              | 0.77  | 0.94  | 0.0119 | 0.0271 | 0.0291 | 0.044 | 0.056 |
| 骨材                    | YCM | -                 | -     | 2.702 | 2.713 |                   |       | 2.692 | 2.70   |        |        |       |       |
|                       | KsB | 2.674             | 2.700 | 2.689 | 2.687 |                   | 2.668 |       |        | 2.66   |        | 2.65  |       |
|                       | KsC | 2.663             | 2.667 | 2.690 | 2.678 | 2.651             |       |       |        |        | 2.67   |       | 2.65  |
|                       |     |                   |       |       |       |                   |       |       |        |        |        |       |       |

※平均粒径dは、つぎのように求めた。

粗骨材： $d = \sqrt{d_i \cdot d_{i-1}}$

細骨材および石粉：50% 粒径

※※ 粗骨材、細骨材の見かけの真密度は表-3.3.2(a), (b), 表-3.3.3(a) 参照

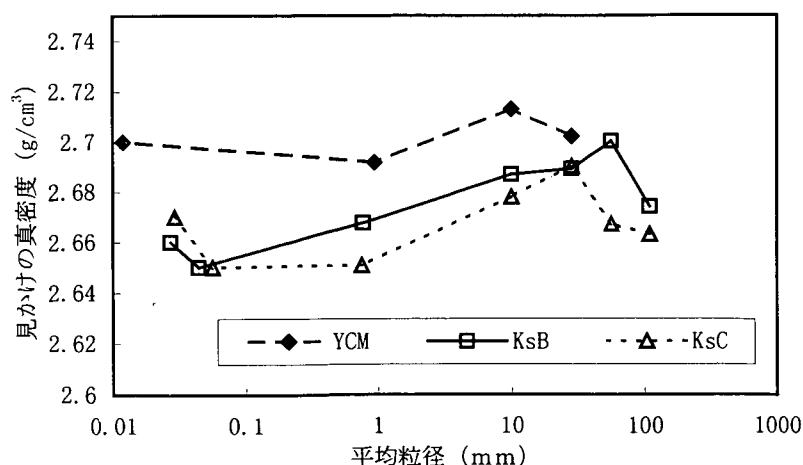


図-3.2.2 平均粒径と見かけの真密度の関係

表-3.2.3 粉体試験結果一覧

| 試験項目                                 |                           |     | セメント  |       |       | 混和材   |       | 石粉    |       |       |       |       | M1またはNにF1を置換 <sup>*5</sup> |       |       |       |       |       |       |       |  |
|--------------------------------------|---------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|                                      |                           |     | M1    | M2    | N     | F1    | F2    | YCM   | KsB1  | KsC1  | KsB2  | KsC2  | M30                        | M50   | M70   | M90   | N30   | N50   | N70   | N90   |  |
| 密度(g/cm <sup>3</sup> ) <sup>*1</sup> |                           |     | 3.21  | 3.20  | 3.16  | 2.36  | 2.05  | 2.70  | 2.66  | 2.67  | 2.65  | 2.65  | 2.90                       | 2.72  | 2.56  | 2.42  | 2.87  | 2.70  | 2.55  | 2.42  |  |
| かさ密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )         | ゆるめ <sup>*2</sup>         |     | 0.955 | 0.895 | 0.943 | 0.962 | 0.776 | 0.937 | 0.849 | 0.904 | 1.080 | 1.135 | 0.933                      | 0.941 | 0.944 | 0.953 | 0.934 | 0.934 | 0.939 | 0.958 |  |
|                                      | かため <sup>*3</sup>         |     | 1.699 | 1.481 | 1.673 | 1.461 | 1.113 | 1.589 | 1.427 | 1.493 | 1.665 | 1.604 | 1.602                      | 1.613 | 1.523 | 1.481 | 1.565 | 1.540 | 1.501 | 1.468 |  |
| 実積率<br>(%)                           | ゆるめ <sup>*2</sup>         |     | 29.8  | 28.0  | 29.8  | 40.7  | 35.0  | 34.7  | 31.8  | 33.9  | 40.8  | 42.8  | 32.2                       | 34.6  | 36.9  | 39.4  | 32.5  | 34.6  | 36.8  | 39.6  |  |
|                                      | かため <sup>*3</sup>         |     | 52.9  | 46.3  | 53.0  | 61.9  | 50.1  | 58.8  | 53.4  | 55.9  | 62.8  | 60.5  | 55.2                       | 59.3  | 59.5  | 61.2  | 54.5  | 57.0  | 58.9  | 60.2  |  |
| 間隙比                                  | ゆるめ <sup>*2</sup>         |     | 2.356 | 2.571 | 2.356 | 1.457 | 1.857 | 1.882 | 2.145 | 1.950 | 1.451 | 1.336 | 2.106                      | 1.890 | 1.710 | 1.538 | 2.077 | 1.890 | 1.717 | 1.525 |  |
|                                      | かため <sup>*3</sup>         |     | 0.890 | 1.160 | 0.887 | 0.616 | 0.996 | 0.701 | 0.873 | 0.789 | 0.592 | 0.653 | 0.812                      | 0.686 | 0.681 | 0.634 | 0.835 | 0.754 | 0.698 | 0.661 |  |
| 比表面積                                 | 空気透過法(cm <sup>2</sup> /g) |     | 3580  | 3490  | 3490  | 3680  | 2920  | 4300  | 3460  | 3540  | 2270  | 1450  | —                          | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |  |
|                                      | BET法(m <sup>2</sup> /g)   |     | 0.767 | 0.674 | 0.737 | 1.78  | 0.821 | 3.16  | 1.612 | 1.297 | 0.921 | 0.813 | 0.985                      | 1.17  | 1.24  | 1.60  | 1.07  | 1.28  | 1.50  | 1.84  |  |
| 粒度分布                                 | 50%粒径(μm)                 |     | 10.2  | 13.4  | 11.7  | 9.7   | 23.1  | 11.9  | 27.1  | 29.1  | 44.0  | 56.0  | —                          | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |  |
| 安息角 <sup>*4</sup><br>(deg)           | 気中                        | 高さ  | 53    | —     | 59    | 52    | —     | 55    | —     | —     | —     | —     | 56                         | 56    | 53    | 53    | 54    | 56    | 53    | 53    |  |
|                                      |                           | 分度器 | 57    | —     | 58    | 52    | —     | 56    | —     | —     | —     | —     | 54                         | 54    | 52    | 51    | 54    | 53    | 50    | 51    |  |
|                                      |                           | 写真  | 51    | —     | 56    | 48    | —     | 52    | —     | —     | —     | —     | 51                         | 50    | 47    | 48    | 52    | 52    | 46    | 46    |  |
|                                      | 水中                        | 高さ  | 47    | —     | 48    | 42    | —     | 33    | —     | —     | —     | —     | 43                         | 41    | 44    | 31    | 32    | 37    | 30    | 38    |  |
|                                      |                           | 分度器 | 49    | —     | 56    | 43    | —     | 38    | —     | —     | —     | —     | 46                         | 42    | 42    | 36    | 37    | 40    | 35    | 35    |  |
|                                      |                           | 写真  | 36    | —     | 39    | 36    | —     | 25    | —     | —     | —     | —     | 33                         | 28    | 22    | 20    | 27    | 25    | 22    | 26    |  |
| 内部摩擦角(deg)                           |                           |     | 24.9  | —     | 26.0  | 27.2  | —     | 26.6  | —     | —     | —     | —     | 26.6                       | —     | —     | —     | —     | —     | —     |       |  |
| ゼータ電位(mV)                            |                           |     | 74    | 67    | 72    | 63    | 57    | 64    | 53    | 52    | 60    | 56    | 18                         | 32    | 49    | 59    | 36    | 44    | 62    | 71    |  |
| メチレンブルー吸着量(mg/g)                     |                           |     | —     | —     | —     | 0.38  | 0.22  | 2.89  | 2.23  | 2.35  | 0.99  | 1.01  | —                          | —     | —     | —     | —     | —     | —     |       |  |

\*1 混合したもの(M30～M90,N30～N90,M50～p7.5～p.35.5)の密度は計算によって求めた。

\*2 「ゆるめ」とはタンピング無しの場合のかさ密度である。

\*3 「かため」とはタンピング回数180回におけるかさ密度である。

\*4 安息角の「高さ」は試料粉体の頂上部の高さから算出した値,「分度器」は分度器による直読データ,「写真」は撮影した写真から分度器によって測定した値。

\*5 M, Nはセメントの種類(M1またはN)を表し, 数字はフライアッシュF1の置換率を表す。

\*6 結合材M50に石粉YCMの混合であり, Pは石粉, 数字は微粒分率を表す(表-3.2.2参照)。

### (3)粒子形状

各粉体の顕微鏡写真を写真-3.2.2~3.2.4 に示す。

セメントは、中庸熟ポルトランドセメントM1, M2, 普通ポルトランドセメントNとも 1,000 倍の写真では角ばっている。5,000 倍ではM1 は角が丸くなっているが、Nは角ばっている。

フライアッシュは、きれいな球形をしている。

石粉はいずれも角ばっており、大きい粒子の表面に細かい粒子が付着している。

### (4)粒度分布と比表面積

粒度分布は表-3.2.5, 図-3.2.3~3.2.6 のとおりであった。

50%平均粒度は、表-3.2.3 のようにセメントの3種類とフライアッシュF1 はほぼ  $10\mu\text{m}$ 程度であったが、F2 は  $23.1\mu\text{m}$ であった。石粉は、骨材製造時にクラッシャーから集じん器によって採取した KsB1, KsC1 はそれぞれ  $27.1\mu\text{m}$ ,  $29.1\mu\text{m}$ であり、結合材より大きい。YCM, KsB2, KsC2 は、この順番に同じクラッシャーで石粉を製造したものであり、クラッシャーのディスクの摩耗、鉱物の違いにより、YCM は  $11.9\mu\text{m}$ で結合材程度であったのに対し、KsB2 は  $44.0\mu\text{m}$ , KsC2 は  $56.0\mu\text{m}$ と非常に粗くなったものと考えられる。

粒度分布を分布関数によって表現することにより、粉体の粒度分布を統一的に取り扱う。分布関数は正規分布や対数正規分布が用いられることが多い。前者は平均に対して対称な分布となるが、図-3.2.3~3.2.6 のように本試料の粒度分布は対称ではない。後者は広い粒度分布の場合（極値）は適合性が悪いので、いずれも採用できない。そこで式 (3.2.1) のロージーン-ラムラー (Rosin-Rammler) 式を用いて粒度分布を表示し、定数  $b$ ,  $n$  によって評価する<sup>3))</sup>。

$$R(D_i) = 100 \cdot \exp(-b \cdot D_i^n) \dots\dots (3.2.1)$$

ここで、 $R(D_i)$ : 通過累積百分率 (%),  $D_i$ : 粒子径,  $b, n$ : 定数である。

式(3.2.1)で  $b = 1/De^n$  とおくと、式(3.2.2)のように粒子径が無次元化される。

$$R(D_i) = 100 \cdot \exp\left[-\left(\frac{D_i}{De}\right)^n\right] \dots\dots (3.2.2)$$

式(3.2.2)を Rosin-Rammler-Bennet 式という。De を粒度特性数(absolute size constant)という。n を均等数といい、値が小さいほど粒度分布範囲が広がる。

式(3.2.1)の両辺の2回の対数をとると、次式を得る。

$$\ln \ln \frac{100}{R} = n \ln D_i + \ln b \dots\dots (3.2.3)$$

式(3.2.3)より、横軸に  $\ln D_i$ , 縦軸に  $\ln \ln(100/R)$  をプロットすると直線になり、傾きが  $n$ , 切片が  $\ln b$  になる。

ロージネーラムラー分布によって比表面積は次のように求めることができる。

単位質量の粒子群において、粒子径  $D_i$  の粒子の質量を  $dw$  とする。  $\sum dw=1$  である。その粒子径の全粒子数を  $dN$ , 全表面積を  $ds$  とし、粒子1個の体積を  $v$ , 表面積を  $s$  とすると、  $dw=\rho \cdot v \cdot dN$ ,  $ds=s \cdot dN$  であるから、比表面積は次式となる。

$$\frac{ds}{dw} = \frac{s \, dN}{\rho \, v \, dN} = \frac{s}{\rho \, v} \dots\dots (3.2.4)$$

体積  $v = \phi_v \cdot D_i^3$ , 表面積  $s = \phi_s \cdot D_i^2$  を代入すると

$$ds = \frac{\phi_s}{\rho \, \phi_v \, D_i} \, dw = \frac{\phi}{\rho \, D_i} \, dw \dots\dots (3.2.5)$$

$$\phi = \frac{\phi_s}{\phi_v} \dots\dots (3.2.6)$$

$\phi$  は粒形に関する係数であり、立方体の場合  $\phi = 6$ , 球の場合  $\phi = \pi$  となる。ロージネーラムラー分布は式(3.2.2)を微分することにより次式となる。

$$dw = dR(D_i) = \frac{n}{De^n} D_i^{n-1} \exp \left[ - \left( \frac{D_i}{De} \right)^n \right] dD_i \dots\dots (3.2.7)$$

したがって比表面積  $Sw$  は次式で表される。

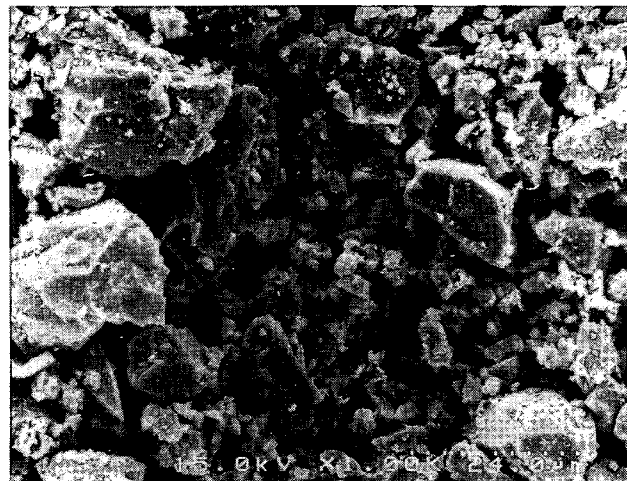
$$\rho Sw = S_v = \phi \frac{n}{De^n} \int_{D_{min}}^{D_{max}} D_i^{n-1} \exp \left[ - \left( \frac{D_i}{De} \right)^n \right] dD_i \dots\dots (3.2.8)$$

ここで、 $Sw$  は単位質量当たりの表面積、 $S_v$  は単位体積当たりの表面積である。詳細は文献 3.1)に譲るとして、 $n=0.5 \sim 2.5$  の近似解は次式となる。

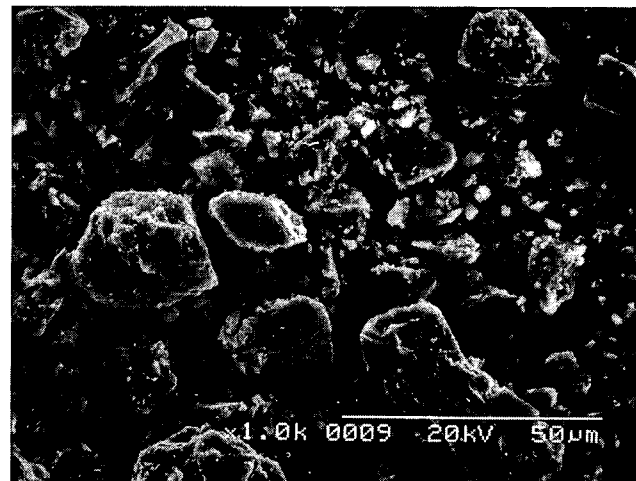
$$S_v \cdot De = \phi \cdot 1.065 \exp \left( \frac{1.795}{n^2} \right) \dots\dots (3.2.9)$$

$$Sw = \frac{S_v}{\rho} \dots\dots (3.2.10)$$

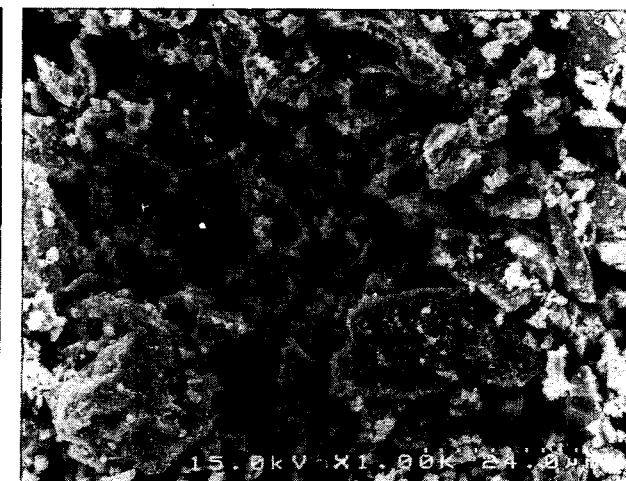
粒度分布から式(3.2.3)による回帰結果、式(3.2.10)による比表面積の結果は表-3.2.6 のとおりであった。



中庸熱セメント (M1) の顕微鏡写真 (×1000)



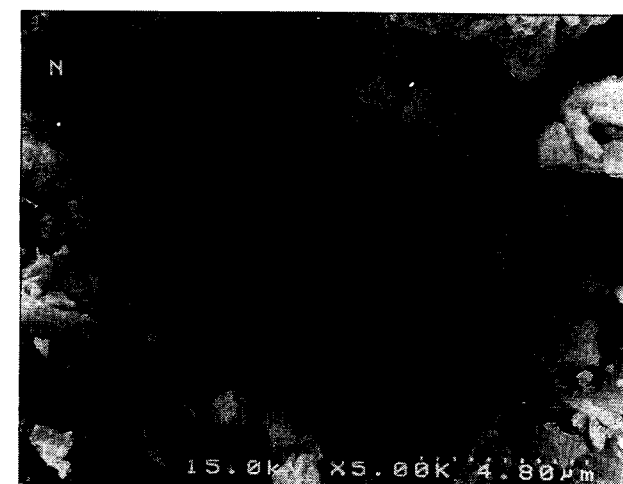
中庸熱セメント (M2) の顕微鏡写真 (×1000)



普通セメント (N) の顕微鏡写真 (×1000)

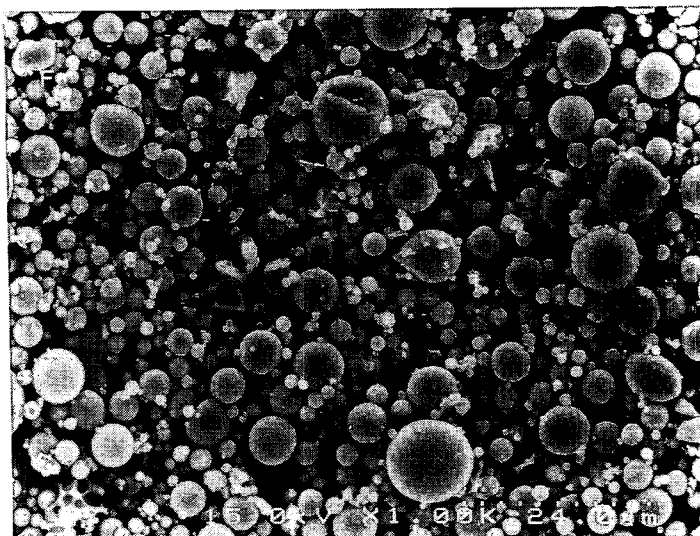


中庸熱セメント (M1) の顕微鏡写真 (×5000)

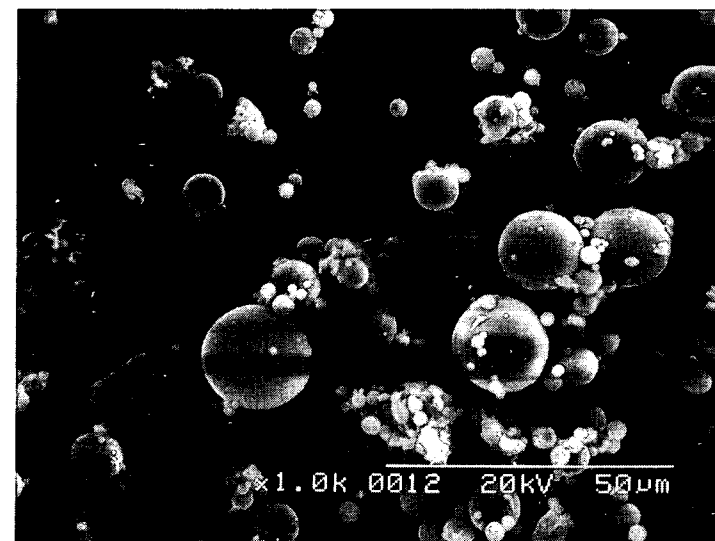


普通セメント (N) の顕微鏡写真 (×5000)

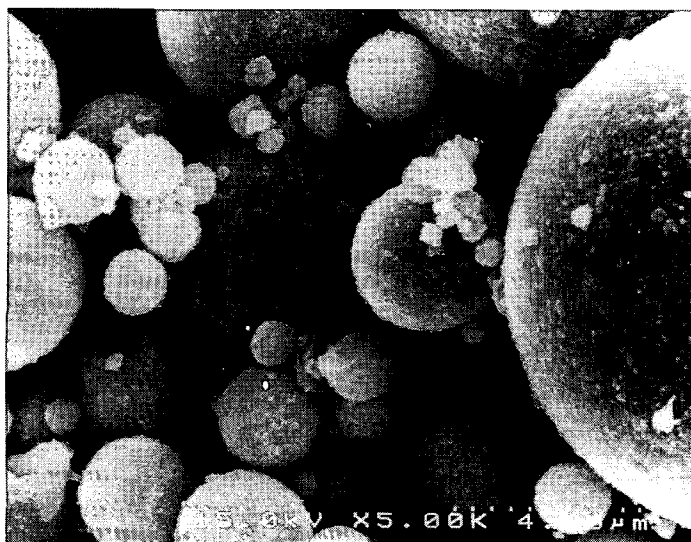
写真-3.2.2 セメントの電子顕微鏡写真



フライアッシュ (F1) の顕微鏡写真 (×1000)

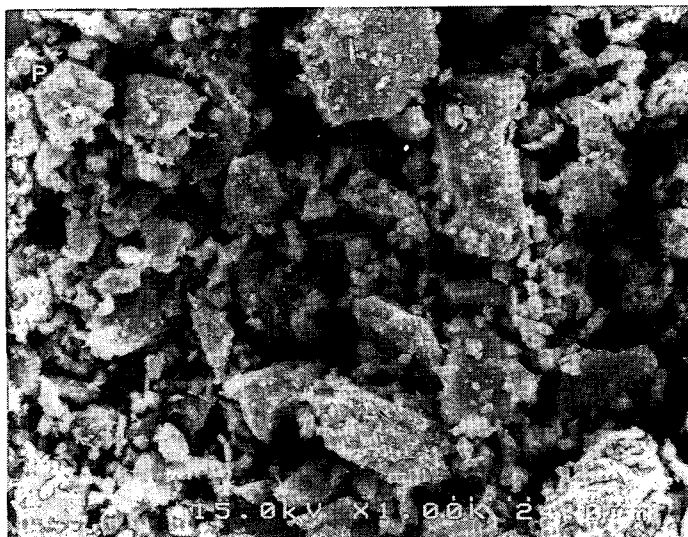


フライアッシュ (F2) の顕微鏡写真 (×1000)

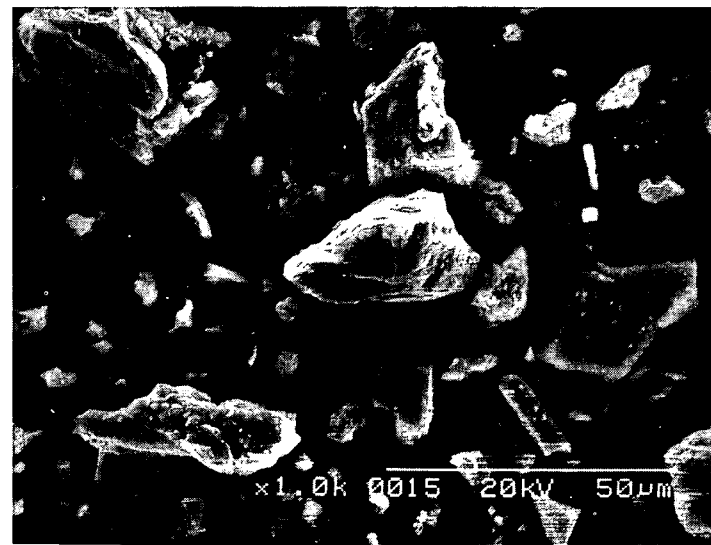


フライアッシュ (F1) の顕微鏡写真 (×5000)

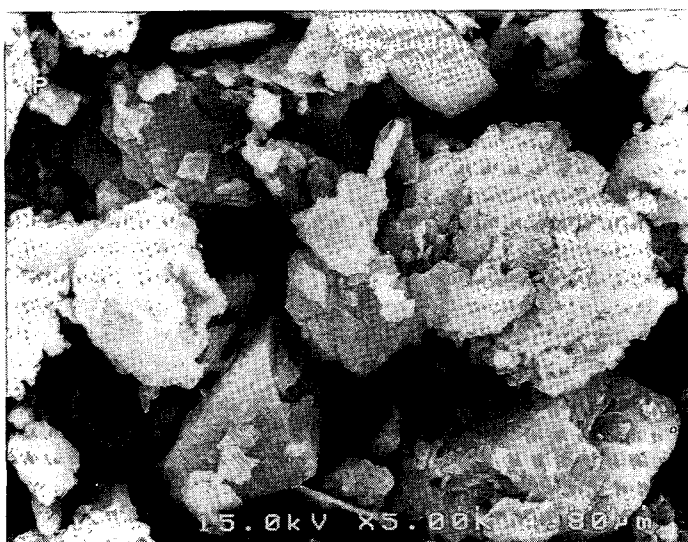
写真-3.2.3 フライアッシュのセメントの電子顕微鏡写真



石粉 (YCL) の顕微鏡写真 (× 1000)



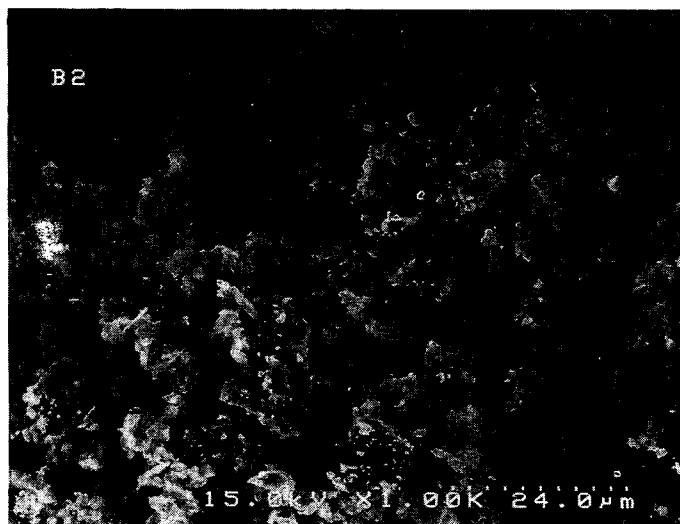
石粉 (KSB1) の顕微鏡写真 (× 1000)



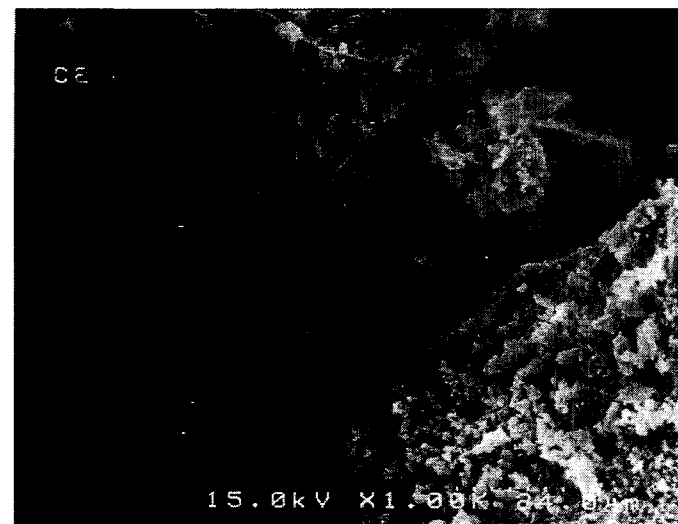
石粉 (YCL) の顕微鏡写真 (× 5000)



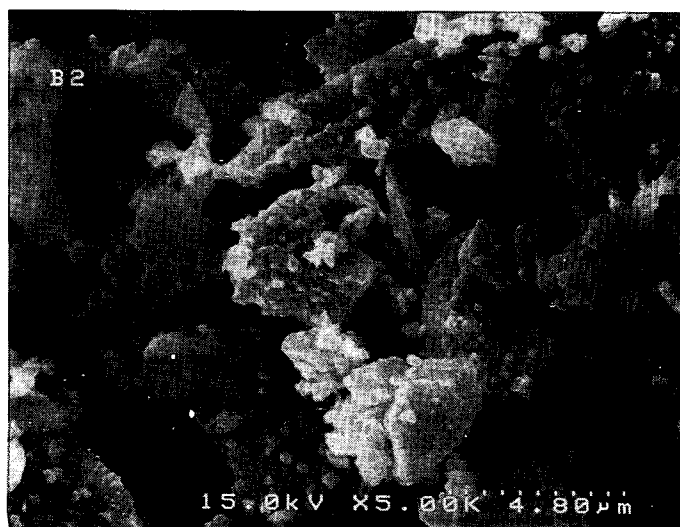
石粉 (KSC1) の顕微鏡写真 (× 1000)



石粉 (KSB2) の顕微鏡写真 (×1000)



石粉 (KSC2) の顕微鏡写真 (×1000)



石粉 (KSB2) の顕微鏡写真 (×5000)



石粉 (KSC2) の顕微鏡写真 (×5000)

写真- 3.2.4 石粉の電子顕微鏡写真 (その2)

表-3.2.5 粉体の粒度分布(その1)

| セメント             |            |          |                  |            |          | 混和材              |            |          |                  |            |          | 石粉               |            |          |                  |            |          |                  |            |          |                  |            |          |                  |            |          |                  |            |          |
|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|
| M1               |            |          | M2               |            |          | N                |            |          | F1               |            |          | F2               |            |          | YCM              |            |          | KsB1             |            |          | KsB2             |            |          | KsC1             |            |          | KsC2             |            |          |
| 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 | 粒径<br>( $\mu$ m) | 通過率<br>(%) | 頻度<br>分布 |
| 600.0            | 100.0      |          | 2000.0           | 100.0      |          | 600.0            | 100.0      |          | 600.0            | 100.0      |          | 2000.0           | 100.0      |          | 600.0            | 100.0      |          | 2000.0           | 100.0      |          | 600.0            | 100.0      |          | 2000.0           | 100.0      |          | 600.0            | 100.0      |          |
| 560.0            | 100.0      | 0.0      | 1640.6           | 100.0      | 0.0      | 560.0            | 100.0      | 0.0      | 560.0            | 100.0      | 0.0      | 1640.6           | 100.0      | 0.0      | 560.0            | 100.0      | 0.0      | 1640.6           | 100.0      | 0.0      | 560.0            | 100.0      | 0.0      | 1640.6           | 100.0      | 0.0      | 560.0            | 100.0      | 0.0      |
| 500.0            | 100.0      | 0.0      | 1345.8           | 100.0      | 0.0      | 500.0            | 100.0      | 0.0      | 500.0            | 100.0      | 0.0      | 1345.8           | 100.0      | 0.0      | 500.0            | 100.0      | 0.0      | 1345.8           | 100.0      | 0.0      | 500.0            | 100.0      | 0.0      | 1345.8           | 100.0      | 0.0      | 500.0            | 100.0      | 0.0      |
| 450.0            | 100.0      | 0.0      | 1104.0           | 100.0      | 0.0      | 450.0            | 100.0      | 0.0      | 450.0            | 100.0      | 0.0      | 1104.0           | 100.0      | 0.0      | 450.0            | 100.0      | 0.0      | 1104.0           | 100.0      | 0.0      | 450.0            | 100.0      | 0.0      | 1104.0           | 100.0      | 0.0      | 450.0            | 100.0      | 0.0      |
| 400.0            | 100.0      | 0.0      | 905.6            | 100.0      | 0.0      | 400.0            | 100.0      | 0.0      | 400.0            | 100.0      | 0.0      | 905.6            | 100.0      | 0.0      | 400.0            | 100.0      | 0.0      | 905.6            | 100.0      | 0.0      | 400.0            | 100.0      | 0.0      | 905.6            | 100.0      | 0.0      | 400.0            | 100.0      | 0.0      |
| 355.0            | 100.0      | 0.0      | 742.9            | 100.0      | 0.0      | 355.0            | 100.0      | 0.0      | 355.0            | 100.0      | 0.0      | 742.9            | 100.0      | 0.0      | 355.0            | 100.0      | 0.0      | 742.9            | 100.0      | 0.0      | 355.0            | 100.0      | 0.0      | 742.9            | 100.0      | 0.0      | 355.0            | 100.0      | 0.0      |
| 315.0            | 100.0      | 0.0      | 609.4            | 100.0      | 0.0      | 315.0            | 100.0      | 0.0      | 315.0            | 100.0      | 0.0      | 609.4            | 100.0      | 0.0      | 315.0            | 100.0      | 0.0      | 609.4            | 100.0      | 0.0      | 315.0            | 100.0      | 0.0      | 609.4            | 100.0      | 0.0      | 315.0            | 100.0      | 0.0      |
| 280.0            | 100.0      | 0.0      | 499.9            | 100.0      | 0.0      | 280.0            | 100.0      | 0.0      | 280.0            | 100.0      | 0.0      | 499.9            | 100.0      | 0.0      | 280.0            | 100.0      | 0.0      | 499.9            | 100.0      | 0.0      | 280.0            | 100.0      | 0.0      | 499.9            | 100.0      | 0.0      | 280.0            | 100.0      | 0.0      |
| 250.0            | 100.0      | 0.0      | 410.1            | 100.0      | 0.0      | 250.0            | 100.0      | 0.0      | 250.0            | 100.0      | 0.0      | 410.1            | 100.0      | 0.0      | 250.0            | 100.0      | 0.0      | 410.1            | 100.0      | 0.0      | 250.0            | 100.0      | 0.0      | 410.1            | 100.0      | 0.0      | 250.0            | 99.8       | 0.2      |
| 225.0            | 100.0      | 0.0      | 336.4            | 100.0      | 0.0      | 225.0            | 100.0      | 0.0      | 225.0            | 100.0      | 0.0      | 336.4            | 100.0      | 0.0      | 225.0            | 100.0      | 0.0      | 336.4            | 100.0      | 0.0      | 225.0            | 100.0      | 0.0      | 336.4            | 100.0      | 0.0      | 225.0            | 99.6       | 0.2      |
| 200.0            | 100.0      | 0.0      | 276.0            | 100.0      | 0.0      | 200.0            | 100.0      | 0.0      | 200.0            | 100.0      | 0.0      | 276.0            | 100.0      | 0.0      | 200.0            | 99.9       | 0.1      | 276.0            | 100.0      | 0.0      | 200.0            | 100.0      | 0.0      | 276.0            | 100.0      | 0.0      | 200.0            | 99.2       | 0.4      |
| 175.0            | 100.0      | 0.0      | 226.4            | 100.0      | 0.0      | 175.0            | 100.0      | 0.0      | 175.0            | 100.0      | 0.0      | 226.4            | 100.0      | 0.0      | 175.0            | 99.7       | 0.2      | 226.4            | 100.0      | 0.0      | 175.0            | 100.0      | 0.0      | 226.4            | 100.0      | 0.0      | 175.0            | 98.4       | 0.8      |
| 150.0            | 100.0      | 0.0      | 185.7            | 100.0      | 0.0      | 150.0            | 100.0      | 0.0      | 150.0            | 100.0      | 0.0      | 185.7            | 99.9       | 0.1      | 150.0            | 98.9       | 0.8      | 185.7            | 99.9       | 0.1      | 150.0            | 99.0       | 1.0      | 185.7            | 99.6       | 0.4      | 150.0            | 96.4       | 2.0      |
| 125.0            | 100.0      | 0.0      | 152.3            | 100.0      | 0.0      | 125.0            | 100.0      | 0.0      | 125.0            | 100.0      | 0.0      | 152.3            | 99.4       | 0.5      | 125.0            | 96.7       | 2.2      | 152.3            | 99.5       | 0.4      | 125.0            | 95.0       | 4.0      | 152.3            | 98.1       | 1.5      | 125.0            | 91.5       | 5.0      |
| 106.0            | 100.0      | 0.0      | 125.0            | 100.0      | 0.0      | 106.0            | 100.0      | 0.0      | 106.0            | 100.0      | 0.0      | 125.0            | 97.8       | 1.5      | 106.0            | 93.8       | 2.9      | 125.0            | 98.0       | 1.5      | 106.0            | 88.7       | 6.3      | 125.0            | 94.6       | 3.5      | 106.0            | 84.0       | 7.5      |
| 90.0             | 100.0      | 0.0      | 102.5            | 100.0      | 0.0      | 90.0             | 100.0      | 0.0      | 90.0             | 99.9       | 0.1      | 102.5            | 94.7       | 3.1      | 90.0             | 90.5       | 3.3      | 102.5            | 94.4       | 3.5      | 90.0             | 80.4       | 8.3      | 102.5            | 89.1       | 5.5      | 90.0             | 74.4       | 9.5      |
| 75.0             | 100.0      | 0.0      | 84.1             | 99.9       | 0.1      | 75.0             | 100.0      | 0.0      | 75.0             | 99.5       | 0.4      | 84.1             | 90.1       | 4.6      | 75.0             | 86.3       | 4.2      | 84.1             | 88.7       | 5.8      | 75.0             | 70.7       | 9.8      | 84.1             | 82.5       | 6.6      | 75.0             | 63.5       | 10.9     |
| 63.0             | 100.0      | 0.0      | 69.0             | 99.6       | 0.3      | 63.0             | 100.0      | 0.0      | 63.0             | 98.1       | 1.4      | 69.0             | 84.6       | 5.5      | 63.0             | 82.3       | 4.0      | 69.0             | 81.7       | 7.0      | 63.0             | 62.5       | 8.2      | 69.0             | 75.9       | 6.6      | 63.0             | 54.8       | 8.8      |
| 56.0             | 100.0      | 0.0      | 56.6             | 98.6       | 1.1      | 56.0             | 99.4       | 0.6      | 56.0             | 96.4       | 1.7      | 56.6             | 78.9       | 5.7      | 56.0             | 79.7       | 2.6      | 56.6             | 74.7       | 7.0      | 56.0             | 58.0       | 4.6      | 56.6             | 69.6       | 6.3      | 56.0             | 50.0       | 4.8      |
| 50.0             | 99.7       | 0.3      | 46.4             | 96.1       | 2.5      | 50.0             | 98.1       | 1.3      | 50.0             | 94.1       | 2.3      | 46.4             | 73.1       | 5.9      | 50.0             | 77.3       | 2.4      | 46.4             | 68.0       | 6.7      | 50.0             | 54.0       | 4.0      | 46.4             | 63.7       | 5.9      | 50.0             | 46.1       | 3.9      |
| 45.0             | 98.8       | 0.9      | 38.1             | 91.7       | 4.4      | 45.0             | 96.1       | 2.0      | 45.0             | 91.7       | 2.4      | 38.1             | 66.9       | 6.2      | 45.0             | 75.0       | 2.3      | 38.1             | 61.4       | 6.6      | 45.0             | 50.8       | 3.3      | 38.1             | 57.9       | 5.8      | 45.0             | 43.0       | 3.1      |
| 40.0             | 96.5       | 2.3      | 31.2             | 85.1       | 6.6      | 40.0             | 92.8       | 3.3      | 40.0             | 88.7       | 3.0      | 31.2             | 60.4       | 6.5      | 40.0             | 72.4       | 2.6      | 31.2             | 54.8       | 6.7      | 40.0             | 47.3       | 3.5      | 31.2             | 52.1       | 5.8      | 40.0             | 39.8       | 3.2      |
| 36.0             | 93.4       | 3.1      | 25.6             | 76.9       | 8.2      | 36.0             | 89.2       | 3.6      | 36.0             | 85.9       | 2.8      | 25.6             | 53.6       | 6.8      | 36.0             | 70.0       | 2.4      | 25.6             | 48.1       | 6.7      | 36.0             | 44.5       | 2.8      | 25.6             | 46.2       | 5.8      | 36.0             | 37.1       | 2.7      |
| 32.0             | 89.0       | 4.4      | 21.0             | 67.9       | 8.9      | 32.0             | 84.6       | 4.6      | 32.0             | 82.9       | 3.0      | 21.0             | 46.7       | 6.8      | 32.0             | 67.3       | 2.7      | 21.0             | 41.8       | 6.3      | 32.0             | 41.5       | 3.0      | 21.0             | 40.5       | 5.7      | 32.0             | 34.3       | 2.8      |
| 28.0             | 83.2       | 5.8      | 17.2             | 59.4       | 8.6      | 28.0             | 78.9       | 5.7      | 28.0             | 79.5       | 3.4      | 17.2             | 40.1       | 6.6      | 28.0             | 64.4       | 2.9      | 17.2             | 36.2       | 5.6      | 28.0             | 38.6       | 3.0      | 17.2             | 35.3       | 5.2      | 28.0             | 31.5       | 2.8      |
| 25.0             | 78.3       | 4.9      | 14.1             | 51.8       | 7.6      | 25.0             | 74.1       | 4.8      | 25.0             | 76.6       | 2.9      | 14.1             | 33.9       | 6.2      | 25.0             | 62.2       | 2.2      | 14.1             | 31.3       | 4.8      | 25.0             | 36.3       | 2.3      | 14.1             | 30.8       | 4.5      | 25.0             | 29.5       | 2.0      |
| 22.0             | 73.0       | 5.3      | 11.6             | 45.2       | 6.6      | 22.0             | 68.9       | 5.2      | 22.0             | 73.1       | 3.5      | 11.6             | 28.3       | 5.6      | 22.0             | 60.0       | 2.2      | 11.6             | 27.3       | 4.0      | 22.0             | 34.1       | 2.3      | 11.6             | 26.9       | 3.8      | 22.0             | 27.6       | 2.0      |
| 20.0             | 69.6       | 3.4      | 9.5              | 39.3       | 5.9      | 20.0             | 65.5       | 3.4      | 20.0             | 70.4       | 2.7      | 9.5              | 23.2       | 5.1      | 20.0             | 58.5       | 1.5      | 9.5              | 23.8       | 3.5      | 20.0             | 32.7       | 1.4      | 9.5              | 23.6       | 3.4      | 20.0             | 26.3       | 1.3      |
| 18.0             | 66.1       | 3.5      | 7.8              | 33.8       | 5.5      | 18.0             | 62.1       | 3.4      | 18.0             | 67.3       | 3.1      | 7.8              | 18.7       | 4.6      | 18.0             | 57.0       | 1.5      | 7.8              | 20.7       | 3.1      | 18.0             | 31.2       | 1.5      | 7.8              | 20.5       | 3.1      | 18.0             | 25.0       | 1.3      |
| 15.0             | 60.8       | 5.3      | 6.4              | 29.0       | 4.8      | 15.0             | 56.8       | 5.3      | 15.0             | 61.8       | 5.5      | 6.4              | 14.8       | 3.9      | 15.0             | 54.3       | 2.7      | 6.4              | 18.0       | 2.7      | 15.0             | 28.9       | 2.3      | 6.4              | 17.8       | 2.7      | 15.0             | 22.9       | 2.1      |
| 12.0             | 54.4       | 6.4      | 5.3              | 24.9       | 4.1      | 12.0             | 50.7       | 6.1      | 12.0             | 55.4       | 6.4      | 5.3              | 11.7       | 3.1      | 12.0             | 50.2       | 4.1      | 5.3              | 15.7       | 2.3      | 12.0             | 26.3       | 2.6      | 5.3              | 15.6       | 2.3      | 12.0             | 20.6       | 2.3      |
| 10.0             | 49.4       | 5.0      | 4.3              | 21.3       | 3.6      | 10.0             | 45.8       | 4.9      | 10.0             | 48.1       | 7.3      | 4.3              | 9.3        | 2.4      | 10.0             | 46.6       | 3.6      | 4.3              | 13.7       | 2.0      | 10.0             | 24.4       | 1.9      | 4.3              | 13.6       | 1.9      | 10.0             | 19.2       | 1.4      |
| 9.0              | 46.8       | 2.6      | 3.5              | 18.1       | 3.2      | 9.0              | 43.2       | 2.6      | 9.0              | 45.7       | 2.4      | 3.5              | 7.4        | 1.9      | 9.0              | 44.7       | 1.9      | 3.5              | 11.9       | 1.8      | 9.0              | 23.4       | 1.1      | 3.5              | 11.9       | 1.7      | 9.0              | 18.5       | 0.7      |
| 8.0              | 44.1       | 2.7      | 2.9              | 15.4       | 2.7      | 8.0              | 40.5       | 2.7      | 8.0              | 45.3       | 0.4      | 2.9              | 6.0        | 1.5      | 8.0              | 42.7       | 2.0      | 2.9              | 10.3       | 1.6      | 8.0              | 22.3       | 1.1      | 2.9              | 10.5       | 1.4      | 8.0              | 17.7       | 0.8      |
| 7.0              | 41.3       | 2.8      | 2.4              | 12.9       | 2.4      | 7.0              | 37.7       | 2.8      | 7.0              | 42.4       | 2.9      | 2.4              | 4.8        | 1.2      | 7.0              | 40.5       | 2.2      | 2.4              | 9.0        | 1.3      | 7.0              | 21.2       | 1.2      | 2.4              | 9.2        | 1.2      | 7.0              | 16.9       | 0.8      |
| 6.3              | 39.2       | 2.1      | 2.0              | 10.6       | 2.4      | 6.3              | 35.6       | 2.1      | 6.3              | 40.1       | 2.3      | 2.0              | 3.7        | 1.1      | 6.3              | 39.0       | 1.5      | 2.0              | 7.7        | 1.3      | 6.3              | 20.3       | 0.8      | 2.0              | 8.0        | 1.3      | 6.3              | 16.2       | 0.7      |
| 5.5              | 36.7       | 2.5      | 1.6              | 8.2        | 2.4      | 5.5              | 33.2       | 2.4      | 5.5              | 37.3       | 2.8      | 1.6              | 2.7        | 1.1      | 5.5              | 37.1       | 1.9      | 1.6              | 6.3        | 1.4      | 5.5              | 19.2       | 1.2      | 1.6              | 6.5        | 1.5      | 5.5              | 15.4       | 0.8      |
| 5.0              | 34.9       | 1.8      | 1.3              | 6.0        | 2.1      | 5.0              | 31.5       | 1.7      | 5.0              | 35.5       | 1.8      | 1.3              | 1.8        | 0.9      | 5.0              | 35.8       | 1.3      | 1.3              | 4.7        | 1.6      | 5.0              | 18.4       | 0.8      | 1.3              | 4.9        | 1.6      | 5.0              | 14.8       | 0.6      |
| 4.5              | 33.0       | 1.9      | 1.1              | 4.5        | 1.5      | 4.5              | 29.8       | 1.7      | 4.5              | 33.5       | 2.0      | 1.1              | 1.2        | 0.6      | 4.5              | 34.2       | 1.6      | 1.1              | 3.3        | 1.4      | 4.5              | 17.5       | 0.9      |                  |            |          |                  |            |          |

表-3.2.5 粉体の粒度分布(その2)

| M1にF1を層換         |       |       |       |       | N1にF1を層換         |       |       |       |       | M50にYCMを混合       |          |           |           |           | Y細骨材 (0.6mm以下)   |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-------|-------|-------|
| 粒径<br>( $\mu$ m) | M30   | M50   | M70   | M90   | 粒径<br>( $\mu$ m) | N30   | N50   | N70   | N90   | 粒径<br>( $\mu$ m) | M50-P7.5 | M50-P15.5 | M50-P23.5 | M50-P33.5 | 粒径<br>( $\mu$ m) | Y-CM  | Y-CL細 | Y-CL粗 |
| 通過率 (%)          |       |       |       |       | 通過率 (%)          |       |       |       |       | 通過率 (%)          |          |           |           |           | 通過率 (%)          |       |       |       |
| 600.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 600.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 600.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 600.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 560.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 560.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 560.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 560.0            | 98.7  | 99.2  | 99.4  |
| 500.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 500.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 500.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 500.0            | 94.1  | 96.3  | 97.3  |
| 450.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 450.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 450.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 450.0            | 88.0  | 92.3  | 94.4  |
| 400.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 400.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 400.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 400.0            | 80.3  | 87.0  | 90.5  |
| 355.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 355.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 355.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 355.0            | 73.1  | 81.4  | 86.3  |
| 315.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 315.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 315.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 315.0            | 67.4  | 76.2  | 82.3  |
| 280.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 280.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 280.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 280.0            | 63.4  | 71.5  | 78.7  |
| 250.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 250.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 250.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 250.0            | 60.4  | 67.2  | 75.3  |
| 225.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 225.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 225.0            | 100.0    | 100.0     | 100.0     | 100.0     | 225.0            | 58.1  | 63.2  | 71.9  |
| 200.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 200.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 200.0            | 100.0    | 100.0     | 99.9      | 99.9      | 200.0            | 55.3  | 58.5  | 67.6  |
| 175.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 175.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 175.0            | 99.9     | 99.9      | 99.8      | 99.8      | 175.0            | 51.6  | 52.7  | 62.0  |
| 150.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 150.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 150.0            | 99.7     | 99.5      | 99.4      | 99.3      | 150.0            | 46.3  | 45.4  | 54.9  |
| 125.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 125.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 125.0            | 99.0     | 98.4      | 98.1      | 97.9      | 125.0            | 39.6  | 37.1  | 46.5  |
| 106.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 106.0            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 106.0            | 98.1     | 97.0      | 96.5      | 96.0      | 106.0            | 34.4  | 30.6  | 40.0  |
| 90.0             | 100.0 | 100.0 | 99.9  | 99.9  | 90.0             | 100.0 | 100.0 | 99.9  | 99.9  | 90.0             | 97.0     | 95.4      | 94.6      | 93.8      | 90.0             | 30.3  | 25.3  | 35.0  |
| 75.0             | 99.9  | 99.8  | 99.7  | 99.6  | 75.0             | 99.9  | 99.8  | 99.7  | 99.6  | 75.0             | 95.6     | 93.3      | 92.1      | 91.0      | 75.0             | 26.8  | 20.8  | 30.7  |
| 63.0             | 99.4  | 99.1  | 98.7  | 98.3  | 63.0             | 99.4  | 99.1  | 98.7  | 98.3  | 63.0             | 93.8     | 91.1      | 89.5      | 88.2      | 63.0             | 23.8  | 17.2  | 27.2  |
| 56.0             | 98.9  | 98.2  | 97.5  | 96.8  | 56.0             | 98.5  | 97.9  | 97.3  | 96.7  | 56.0             | 92.4     | 89.4      | 87.6      | 86.2      | 56.0             | 22.1  | 15.2  | 25.1  |
| 50.0             | 98.0  | 96.9  | 95.8  | 94.7  | 50.0             | 96.9  | 96.1  | 95.3  | 94.5  | 50.0             | 90.8     | 87.6      | 85.7      | 84.2      | 50.0             | 20.4  | 13.5  | 23.3  |
| 45.0             | 96.7  | 95.3  | 93.8  | 92.4  | 45.0             | 94.8  | 93.9  | 93.0  | 92.1  | 45.0             | 89.0     | 85.6      | 83.7      | 82.1      | 45.0             | 19.2  | 12.2  | 21.8  |
| 40.0             | 94.2  | 92.6  | 91.0  | 89.5  | 40.0             | 91.6  | 90.8  | 89.9  | 89.1  | 40.0             | 86.3     | 83.0      | 81.1      | 79.5      | 40.0             | 17.9  | 10.9  | 20.3  |
| 36.0             | 91.2  | 89.7  | 88.2  | 86.7  | 36.0             | 88.2  | 87.6  | 86.9  | 86.2  | 36.0             | 83.5     | 80.3      | 78.4      | 76.9      | 36.0             | 17.0  | 10.1  | 19.4  |
| 32.0             | 87.2  | 86.0  | 84.7  | 83.5  | 32.0             | 84.1  | 83.8  | 83.4  | 83.1  | 32.0             | 80.1     | 77.1      | 75.3      | 73.8      | 32.0             | 16.2  | 9.4   | 18.5  |
| 28.0             | 82.1  | 81.4  | 80.6  | 79.9  | 28.0             | 79.1  | 79.2  | 79.3  | 79.4  | 28.0             | 76.1     | 73.3      | 71.7      | 70.3      | 28.0             | 15.4  | 8.8   | 17.9  |
| 25.0             | 77.8  | 77.5  | 77.1  | 76.8  | 25.0             | 74.9  | 75.4  | 75.9  | 76.4  | 25.0             | 72.7     | 70.2      | 68.7      | 67.6      | 25.0             | 14.9  | 8.3   | 17.4  |
| 22.0             | 73.0  | 73.1  | 73.1  | 73.1  | 22.0             | 70.2  | 71.0  | 71.8  | 72.7  | 22.0             | 69.0     | 66.8      | 65.6      | 64.6      | 22.0             | 14.3  | 7.9   | 16.9  |
| 20.0             | 69.8  | 70.0  | 70.2  | 70.3  | 20.0             | 67.0  | 68.0  | 68.9  | 69.9  | 20.0             | 66.4     | 64.5      | 63.4      | 62.5      | 20.0             | 13.9  | 7.6   | 16.5  |
| 18.0             | 66.5  | 66.7  | 66.9  | 67.2  | 18.0             | 63.7  | 64.7  | 65.7  | 66.8  | 18.0             | 63.7     | 62.1      | 61.2      | 60.4      | 18.0             | 13.5  | 7.3   | 16.0  |
| 15.0             | 61.1  | 61.3  | 61.5  | 61.7  | 15.0             | 58.3  | 59.3  | 60.3  | 61.3  | 15.0             | 59.1     | 58.0      | 57.3      | 56.8      | 15.0             | 12.8  | 6.8   | 15.2  |
| 12.0             | 54.7  | 54.9  | 55.1  | 55.3  | 12.0             | 52.1  | 53.1  | 54.0  | 54.9  | 12.0             | 53.4     | 52.7      | 52.2      | 51.8      | 12.0             | 12.0  | 6.3   | 14.3  |
| 10.0             | 49.0  | 48.8  | 48.5  | 48.2  | 10.0             | 46.5  | 47.0  | 47.4  | 47.9  | 10.0             | 48.1     | 47.7      | 47.5      | 47.4      | 10.0             | 11.4  | 6.0   | 13.6  |
| 9.0              | 46.5  | 46.3  | 46.0  | 45.8  | 9.0              | 44.0  | 44.5  | 45.0  | 45.5  | 9.0              | 45.8     | 45.5      | 45.4      | 45.2      | 9.0              | 11.0  | 5.8   | 13.1  |
| 8.0              | 44.5  | 44.7  | 44.9  | 45.2  | 8.0              | 41.9  | 42.9  | 43.9  | 44.8  | 8.0              | 44.1     | 43.7      | 43.6      | 43.4      | 8.0              | 10.5  | 5.5   | 12.5  |
| 7.0              | 41.6  | 41.9  | 42.1  | 42.3  | 7.0              | 39.1  | 40.1  | 41.0  | 41.9  | 7.0              | 41.4     | 41.2      | 41.1      | 41.0      | 7.0              | 10.0  | 5.2   | 11.8  |
| 6.3              | 39.5  | 39.7  | 39.8  | 40.0  | 6.3              | 37.0  | 37.9  | 38.8  | 39.7  | 6.3              | 39.4     | 39.3      | 39.3      | 39.2      | 6.3              | 9.5   | 4.9   | 11.3  |
| 5.5              | 36.9  | 37.0  | 37.1  | 37.2  | 5.5              | 34.4  | 35.3  | 36.1  | 36.9  | 5.5              | 37.0     | 37.0      | 37.1      | 37.1      | 5.5              | 9.0   | 4.6   | 10.6  |
| 5.0              | 35.1  | 35.2  | 35.3  | 35.4  | 5.0              | 32.7  | 33.5  | 34.3  | 35.1  | 5.0              | 35.4     | 35.5      | 35.5      | 35.6      | 5.0              | 8.6   | 4.4   | 10.2  |
| 4.5              | 33.2  | 33.3  | 33.4  | 33.5  | 4.5              | 30.9  | 31.7  | 32.4  | 33.1  | 4.5              | 33.5     | 33.7      | 33.8      | 33.9      | 4.5              | 8.1   | 4.1   | 9.7   |
| 4.0              | 31.0  | 31.2  | 31.3  | 31.4  | 4.0              | 29.0  | 29.7  | 30.4  | 31.1  | 4.0              | 31.5     | 31.7      | 31.8      | 31.9      | 4.0              | 7.5   | 3.9   | 9.1   |
| 3.5              | 28.7  | 28.9  | 29.1  | 29.4  | 3.5              | 26.8  | 27.6  | 28.4  | 29.1  | 3.5              | 29.3     | 29.5      | 29.6      | 29.7      | 3.5              | 6.9   | 3.6   | 8.4   |
| 3.0              | 26.2  | 26.6  | 26.9  | 27.3  | 3.0              | 24.6  | 25.5  | 26.3  | 27.1  | 3.0              | 26.8     | 26.9      | 27.0      | 27.0      | 3.0              | 6.3   | 3.3   | 7.5   |
| 2.6              | 24.1  | 24.6  | 25.1  | 25.6  | 2.6              | 22.7  | 23.6  | 24.5  | 25.4  | 2.6              | 24.7     | 24.7      | 24.7      | 24.7      | 2.6              | 5.7   | 3.1   | 6.8   |
| 2.2              | 22.0  | 22.6  | 23.1  | 23.6  | 2.2              | 20.7  | 21.6  | 22.5  | 23.4  | 2.2              | 22.4     | 22.3      | 22.3      | 22.3      | 2.2              | 5.1   | 2.7   | 6.0   |
| 2.0              | 20.9  | 21.5  | 22.0  | 22.5  | 2.0              | 19.7  | 20.6  | 21.5  | 22.4  | 2.0              | 21.2     | 21.1      | 21.1      | 21.0      | 2.0              | 4.7   | 2.5   | 5.6   |
| 1.8              | 19.9  | 20.4  | 20.9  | 21.4  | 1.8              | 18.5  | 19.4  | 20.3  | 21.2  | 1.8              | 20.1     | 19.9      | 19.9      | 19.8      | 1.8              | 4.3   | 2.3   | 5.1   |
| 1.6              | 18.6  | 19.0  | 19.4  | 19.9  | 1.6              | 17.2  | 18.1  | 18.9  | 19.7  | 1.6              | 18.7     | 18.6      | 18.5      | 18.4      | 1.6              | 3.9   | 2.1   | 4.6   |
| 1.4              | 17.2  | 17.5  | 17.8  | 18.1  | 1.4              | 15.7  | 16.5  | 17.2  | 17.9  | 1.4              | 17.3     | 17.1      | 17.0      | 17.0      | 1.4              | 3.5   | 1.8   | 4.0   |
| 1.2              | 15.4  | 15.6  | 15.7  | 15.8  | 1.2              | 13.9  | 14.5  | 15.0  | 15.6  | 1.2              | 15.4     | 15.3      | 15.2      | 15.2      | 1.2              | 3.0   | 1.5   | 3.4   |
| 1.0              | 13.0  | 13.0  | 13.0  | 12.9  | 1.0              | 11.6  | 12.0  | 12.3  | 12.7  | 1.0              | 12.9     | 12.9      | 12.9      | 12.9      | 1.0              | 2.4   | 1.1   | 2.7   |

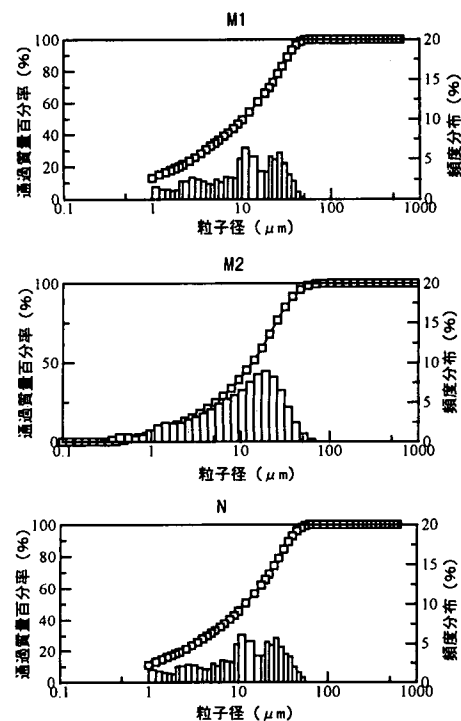


図-3.2.3 セメントの粒度分布

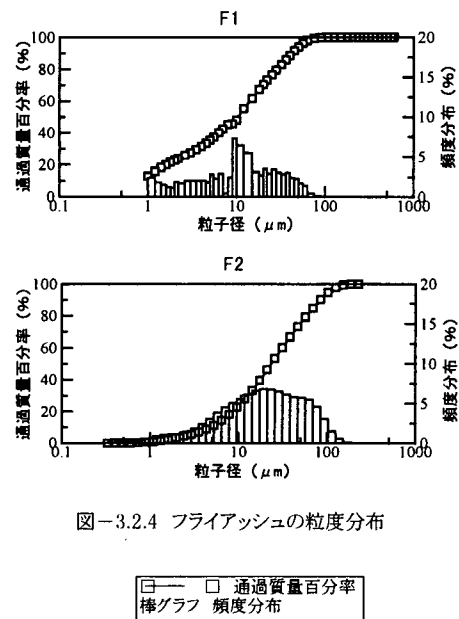


図-3.2.4 フライアッシュの粒度分布

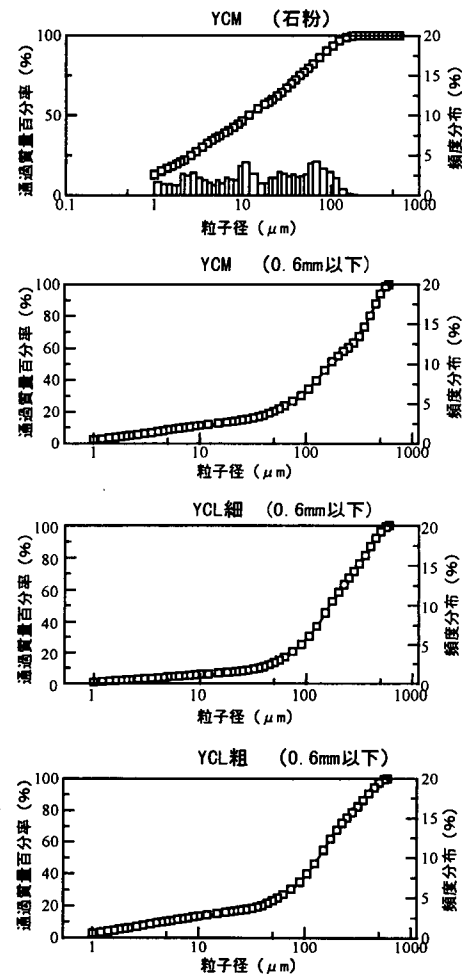


図-3.2.5 Y骨材の石粉および  
細骨材0.6mm以下の粒度分布

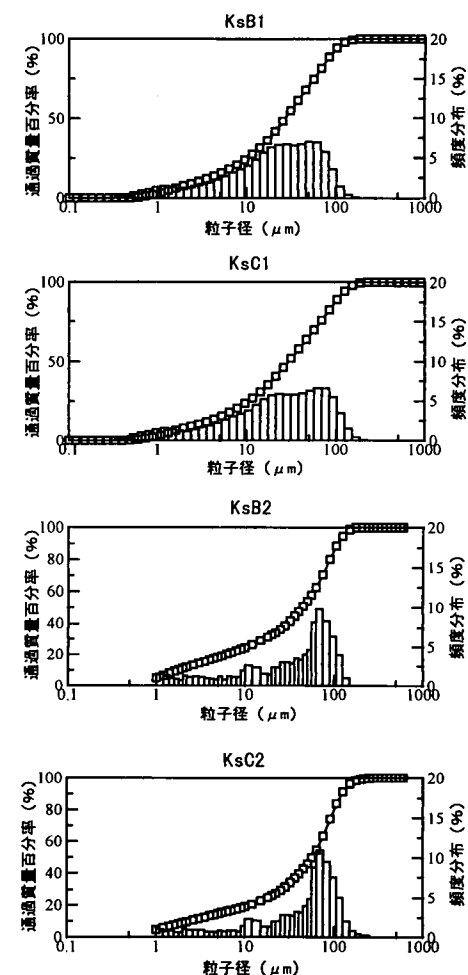


図-3.2.6 Ks骨材の石粉の粒度分布

表-3.2.6 粉体の粒度分布のロージナーラムラー式による回帰結果および比表面積

| 粉体の種類          |          | 回帰結果  |        |       | 密度                          | 粒度特性数  | 比表面積                  |
|----------------|----------|-------|--------|-------|-----------------------------|--------|-----------------------|
|                |          | n     | b      | r     | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | De(mm) | Sw(m <sup>2</sup> /g) |
| セメント           | M1       | 0.842 | 275.4  | 0.982 | 3.21                        | 0.0127 | 1.972                 |
|                | M2       | 1.204 | 2245.4 | 0.986 | 3.20                        | 0.0165 | 0.418                 |
|                | N        | 0.842 | 242.7  | 0.987 | 3.16                        | 0.0147 | 1.721                 |
| フライアッシュ<br>※   | F1       | 0.774 | 167.7  | 0.990 | 2.36                        | 0.0134 | 4.028                 |
|                |          |       |        |       |                             |        | 2.116                 |
|                | F2       | 1.284 | 1458.6 | 0.984 | 2.05                        | 0.0344 | 0.269                 |
| 石粉             | YCM      | 0.637 | 51.2   | 0.989 | 2.70                        | 0.0207 | 9.535                 |
|                | KsB1     | 1.100 | 521.2  | 0.966 | 2.66                        | 0.0339 | 0.312                 |
|                | KsC1     | 1.019 | 288.1  | 0.972 | 2.67                        | 0.0385 | 0.350                 |
|                | KsB2     | 0.698 | 38.0   | 0.976 | 2.65                        | 0.0546 | 1.753                 |
|                | KsC2     | 1.285 | 1465.7 | 0.984 | 2.65                        | 0.0344 | 0.109                 |
| M1のF1に<br>よる置換 | M30      | 0.840 | 272.8  | 0.988 | 2.90                        | 0.0126 | 2.236                 |
|                | M50      | 0.811 | 219.4  | 0.990 | 2.72                        | 0.0130 | 2.781                 |
|                | M70      | 0.803 | 206.9  | 0.991 | 2.56                        | 0.0130 | 3.106                 |
|                | M90      | 0.784 | 180.4  | 0.991 | 2.42                        | 0.0133 | 3.682                 |
| NのF1に<br>よる置換  | N30      | 0.842 | 254.8  | 0.987 | 2.87                        | 0.0139 | 2.017                 |
|                | N50      | 0.814 | 211.1  | 0.989 | 2.70                        | 0.0139 | 2.565                 |
|                | N70      | 0.806 | 204.8  | 0.990 | 2.55                        | 0.0136 | 2.931                 |
|                | N90      | 0.785 | 179.4  | 0.990 | 2.42                        | 0.0135 | 3.613                 |
| M50に石粉<br>を混合  | M50P7.5  | 0.721 | 105.6  | 0.998 | 2.71                        | 0.0157 | 4.740                 |
|                | M50P15.5 | 0.693 | 83.1   | 0.998 | 2.71                        | 0.0169 | 5.873                 |
|                | M50P23.5 | 0.684 | 77.1   | 0.997 | 2.71                        | 0.0175 | 6.230                 |
|                | M50P33.5 | 0.675 | 71.1   | 0.996 | 2.71                        | 0.0180 | 6.720                 |

※上段は  $\phi = 6$ , 下段は  $\phi = \pi$  のときの比表面積

## (5) 実積率・間隙比

図-3.2.7 にロージナーラムラー式 (3.3.1) によって求めた均等数  $n$  (表-3.2.6) と実積率 (表-3.2.3) の関係を示す。均等数と間隙比の関係を図-3.2.8 に示す。均等数  $n$  が大きくなるほど実積率は小さく、間隙比は大きくなる傾向がある。 $n$  が大きくなるほど粒度分布の範囲は狭く、実積率は小さくなっていると考えられる。

セメントにフライアッシュを置換した場合、結合材に石粉を混合した場合の実積率を図-3.2.9, 3.2.10 に示す。

フライアッシュ置換率と実積率は、図-3.2.9 のようにセメントのみ (置換率 0%) とフライアッシュ 100% の置換率の間をほぼ直線的に変化している。セメント M1, N, フライアッシュ F1 はともに 50% 平均粒径はほぼ  $10\mu\text{m}$ 、均等数  $n$  もほぼ 0.8 であり、粒径、粒度分布ともほぼ同じであることから直線的に変化したものと考えられる (3.6.2 項, 図-3.6.5 の A(x))。

結合材 M50 に石粉 YCM を混合したときの実積率は、図-3.2.10 のようにわずかに下に凸の分布をしている。石粉 YCM の 50% 平均粒径は結合材とほぼ同じであるが、均等数  $n$  は M50 は 0.811 に対し石粉 YCM は 0.637 と小さく、広い粒度分布をしていることから、結合材と石粉の間に「干渉」を生じているものと考えられる。「干渉」については 3.6 節で詳細に述べる。

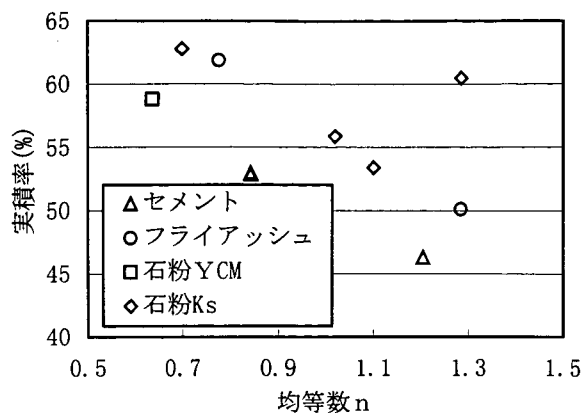


図-3.2.7 均等数nと実積率の関係

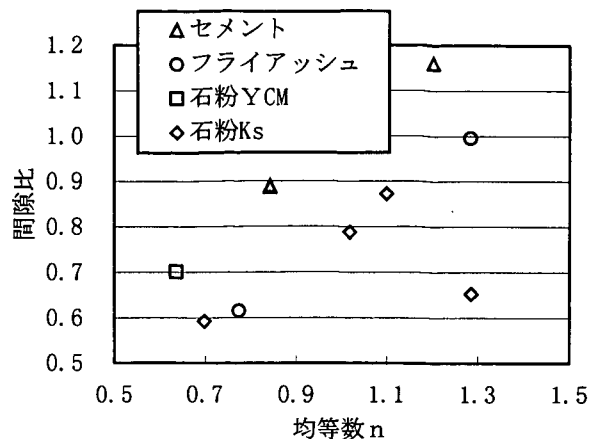


図-3.2.8 均等数nと間隙比の関係

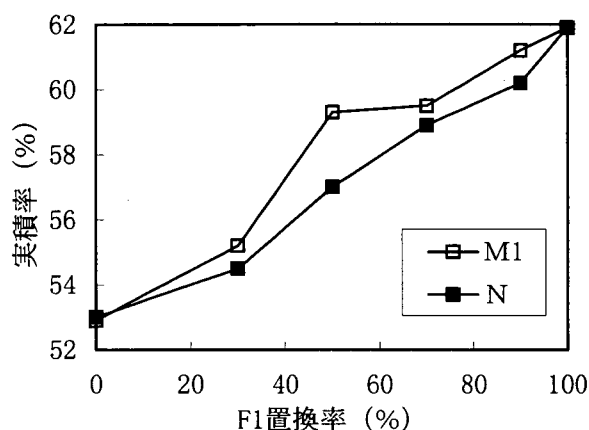


図-3.2.9 フライアッシュ置換率と実積率の関係

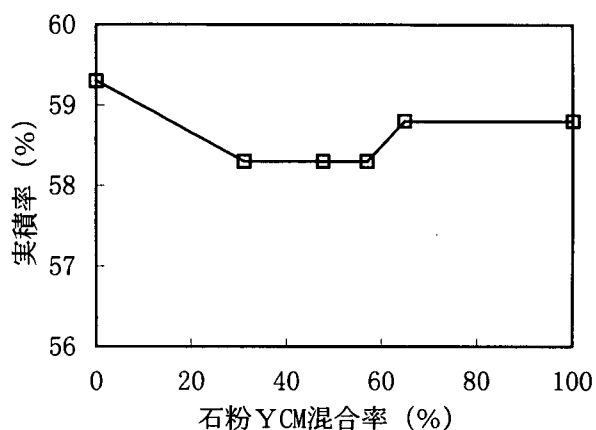


図-3.2.10 石粉混合率と実積率の関係

## (6) 比表面積

空気透過法, B E T 法, 粒度分布から求めた (以下, 粒度法と呼ぶ) 比表面積の比較を図-3.2.11 に示す。(a)図は B E T 法と空気透過法の比較である。空気透過法は B E T 法より 1 桁小さい値になっているものの, 両者はよい相関関係にあることがわかる。(b)図の粒度法と空気透過法の関係も同様の関係がある。

(c)図には B E T 法と空気透過法の関係を示す。両方法とも空気透過法と相関関係があったので, 両方法の間にも相関関係があってもよさそうであるが, その関係は明確ではない。ところが, セメント, フライアッシュ, 石粉を置換・混合した場合は, 図-3.2.12 のように, それぞれの種類ごとにより相関があり, 3 種類の方法の間にはある程度関係はありそうである。

図-3.2.13 には各粉体の平均粒径と比表面積の関係を示す。いずれの測定方法も平均粒径が小さくなるほど比表面積は大きくなっている。実際には粒度分布と粒子形状が影響しているであろうが, 均等数  $n = 0.6 \sim 1.3$  程度の分布を有していれば, ほぼ平均粒径で代表できることがわかる。

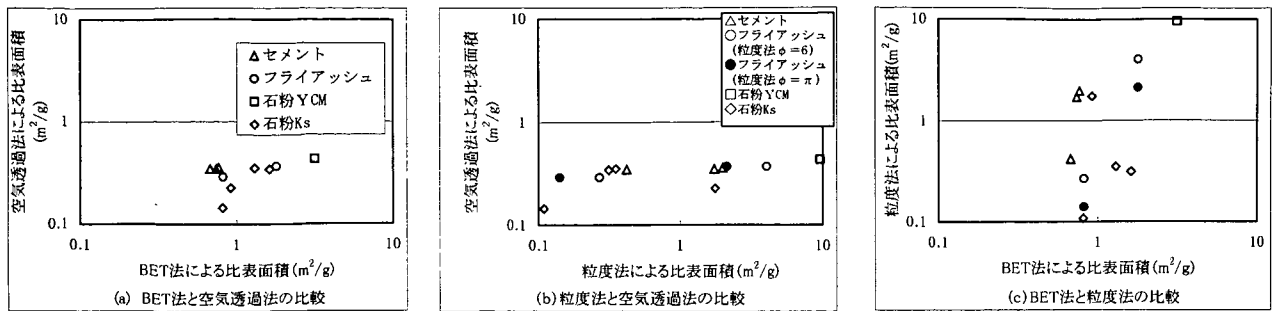


図-3.2.11 各種比表面積測定法の比較

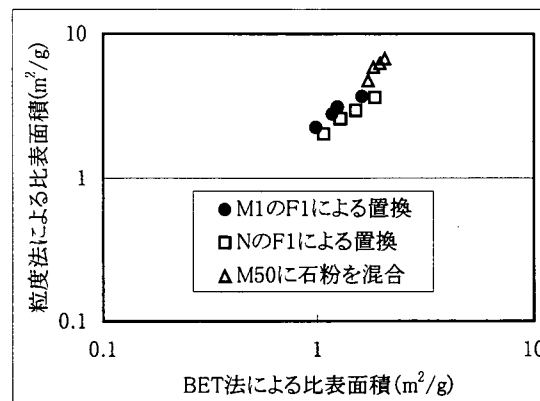


図-3.2.12 セメント、フライアッシュ、石粉を置換・混合したときの比表面積

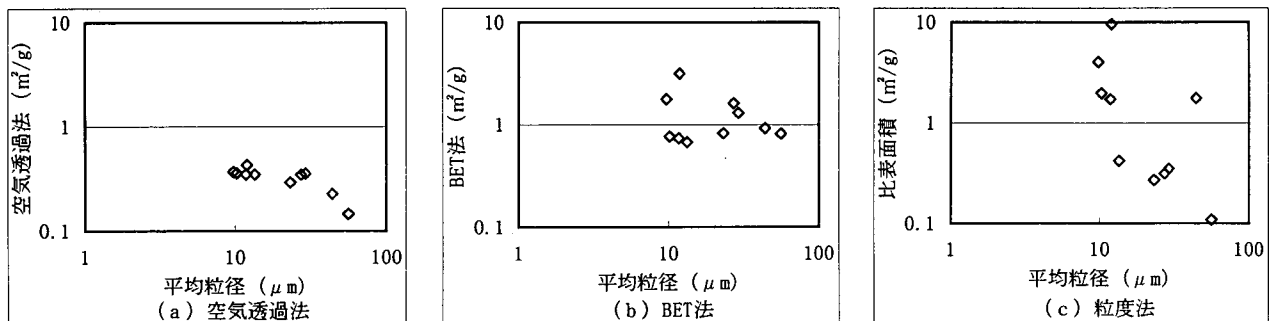


図-3.2.13 粉体の平均粒径と比表面積の関係

## (7) 安息角

図-3.2.14 に各粉体の気中、水中で測定した安息角の結果を示す。気中ではわずかではあるが  $F1 < M1 \approx YCM < N$  の順に大きくなっており、ほぼ粒子形状の角ばりがあるほど安息角が大きくなる傾向を示している。ところが、水中では、 $YCM < F < M1 < N$  の順に大きくなっており、球形をした F1 よりも YCM のほうが小さくなっている。この原因としては、YCM には比較的大きな粒子のまわりに微細な粒子が多数付着していることによる物理的効果や、水中で電離することによる電気化学的効果などが考えられる。しかし、電気化学的には(9)項の「ゼータ電位」で述べるとおり、この傾向は逆になっていることが考えられ、原因は不明である。ただし、この結果を受け入れるならば、石粉を混入することによりコンクリートの流動性は改善されるものと考えられる。

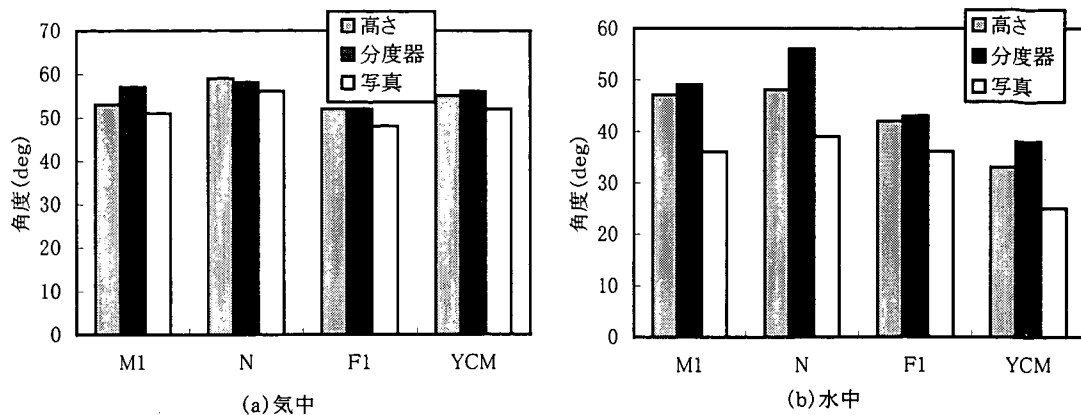


図-3.2.14 粉体の安息角

図-3.2.15 および図-3.2.16 にはセメントM1, NにフライアッシュF1を置換したときの気中, 水中での安息角の結果を, 図-3.2.17 にはM1にF1を50%置換(M50)したものに石粉YCMを混合したときの気中, 水中の結果を示す。セメントにフライアッシュを置換すると, フライアッシュ単味(置換率100%)の水中を除き, 置換率が増加すると安息角は小さくなっている。M50に石粉を混合した場合は, ほとんど変化がない。これは, フライアッシュの形状効果による流動性の改善効果があることを示しているものと考えられる。

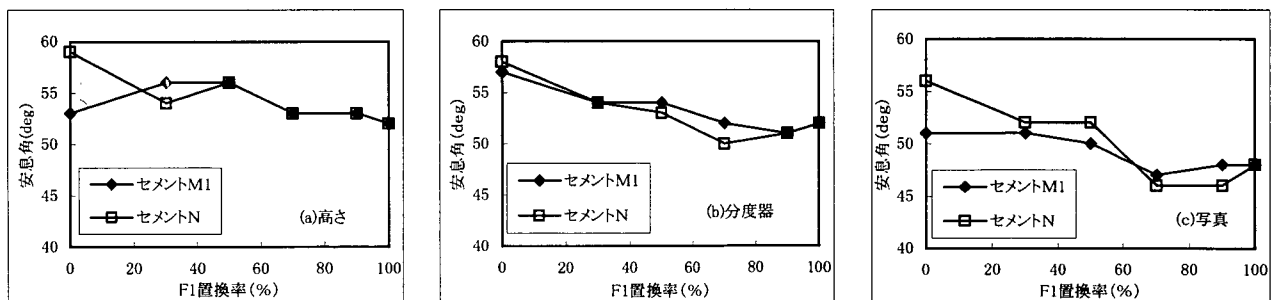


図-3.2.15 セメントにフライアッシュを置換した場合の安息角(気中)

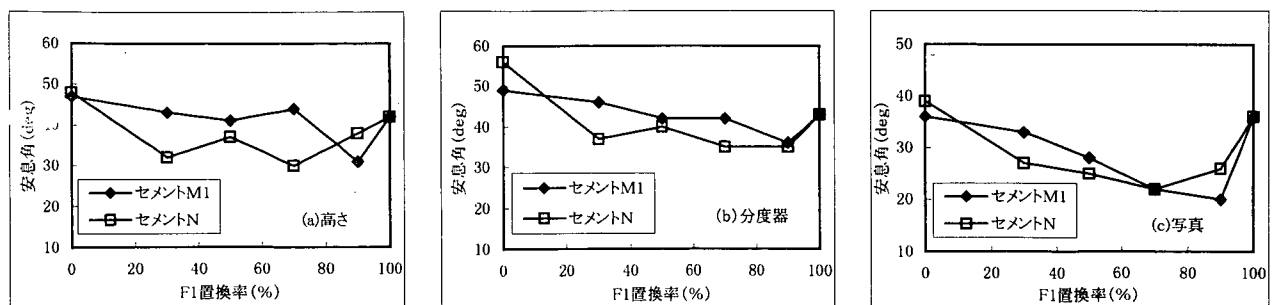


図-3.2.16 セメントにフライアッシュを置換した場合の安息角(水中)

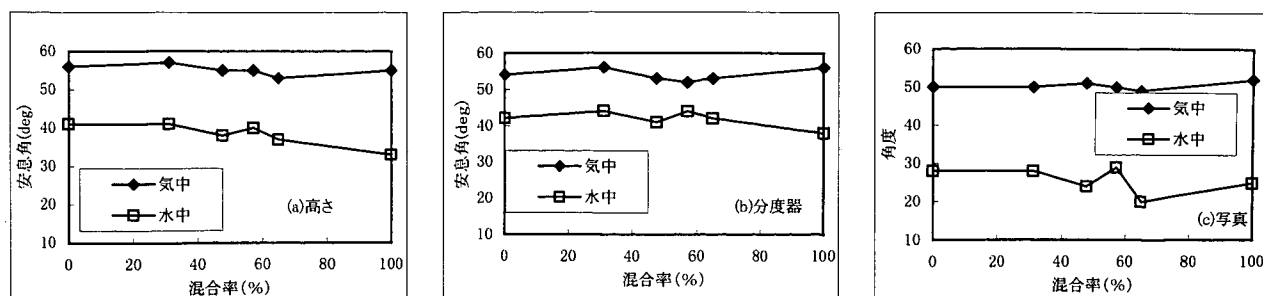


図-3.2.17 結合材M50に石粉を混合した場合の安息角

## (8) 内部摩擦角

一面せん断試験の結果は図-3.2.18 のようになった。各垂直応力 $\sigma$ ごとにせん断応力のピーク値 $\tau$ を求め、両者の関係をプロットすると図-3.2.19 のようになる。この関係を次式によって回帰し、粘着力 $C$ と内部摩擦角 $\phi$ を求めた。

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \cdots \cdots (3.2.11)$$

ここに、 $\tau$  : せん断応力

$\sigma$  : 垂直応力

$C$  : 粘着力

$\phi$  : 内部摩擦角

粉体の内部摩擦角は、表-3.2.3 のとおりセメントM1 が 24.9 度、Nが 26.0 度、フライアッシュ 26.6 度、セメントM1 にフライアッシュを 50%置換したM50 は 26.6 度、M50 に石粉を混合した場合 25.3~29.0 度であった。M50-P15.5 の場合は5回試験を行った平均であり 26.9 度であった。5回の測定値は最大が 28.0 度、最大が 25.3 度であり、上記結果はほとんどこの範囲に入っており、試験のばらつきの範囲と考えられる。

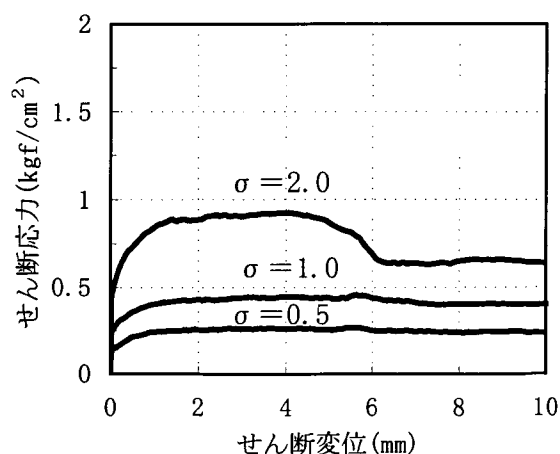


図-3.2.18 せん断変位とせん断応力の関係

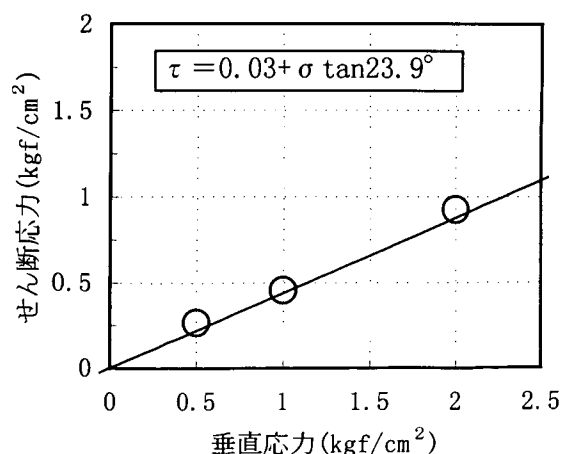


図-3.2.19 垂直応力とせん断応力の関係

このことから、一面せん断試験による内部摩擦角によって今回使用する粉体の品質の差異を表すことはできなかった。

## (9) ゼータ電位

粒子の液体中での分散効果は、粒子表面の電荷による静電気反発力の影響を受け、DLVO理論によって説明されている<sup>3,2)</sup>。この理論は、2つの粒子が近づいた時の反発力と引力の総和によって求めるものである。

### 1) ゼータ電位

#### a. 反発エネルギー ( $V_R$ )

粒子同士が接近すると反発力を生じる。この反発エネルギー  $V_R$  は次式で示される。反発エネルギーは距離  $\chi$  によって指数関数的に減少する。

$$V_R = K_R \cdot \exp(-2\kappa\chi) \cdots \cdots (3.2.12)$$

ここに、 $K_R$  : 表面電位、イオンの濃度、温度などによる係数

$\kappa$  : イオンの濃度

$\chi$  : 粒子間の中心距離

#### b. 引力エネルギー ( $V_A$ )

粒子間の引力エネルギー  $V_A$  は次式のように、距離  $\chi^2$  に逆比例して減少する。

$$V_A = \frac{K_A}{\chi^2} \cdots \cdots (3.2.13)$$

ここに、 $K_A$  : ハマカー定数

#### c. 全ポテンシャルエネルギー ( $V_T$ )

2個の粒子間の相互作用の全エネルギー  $V_T$  は、反発エネルギー  $V_R$  と引力エネルギー  $V_A$  の和で表される。

$$V_T = V_R + V_A \cdots \cdots (3.2.14)$$

これを図示すると図-3.2.20 のようになる。液体中の粒子が分散しやすいか、凝集しやすいかは、実線で示した全ポテンシャルエネルギー曲線の極大値  $V_{T, \max}$  が重要である。

すなわち、 $V_{T, \max}$  の両側の粒子は、それぞれ熱運動しており、 $V_{T, \max}$  が高ければ、それを越えることができないのでその位置で熱運動を続け、安定な分散状態を保つことになる。しかし、 $V_{T, \max}$  が低ければそれを乗り越え、粒子同士が衝突し凝集する。この  $V_{T, \max}$  は粒子の表面電位であるゼータ電位に強く依存し、 $V_{T, \max}$  はゼータ電位が大きいほど大きくなる。

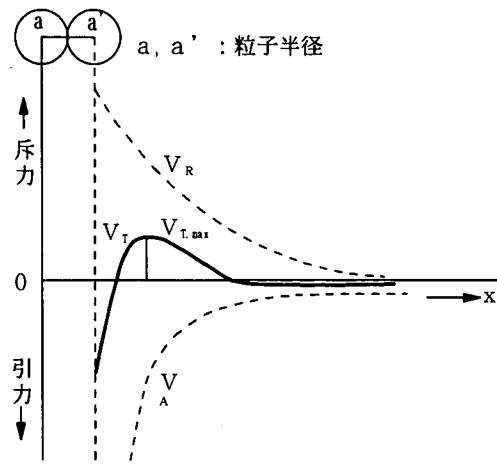
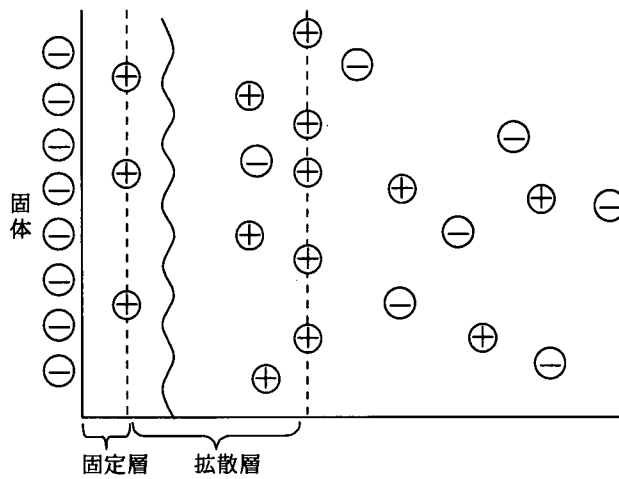
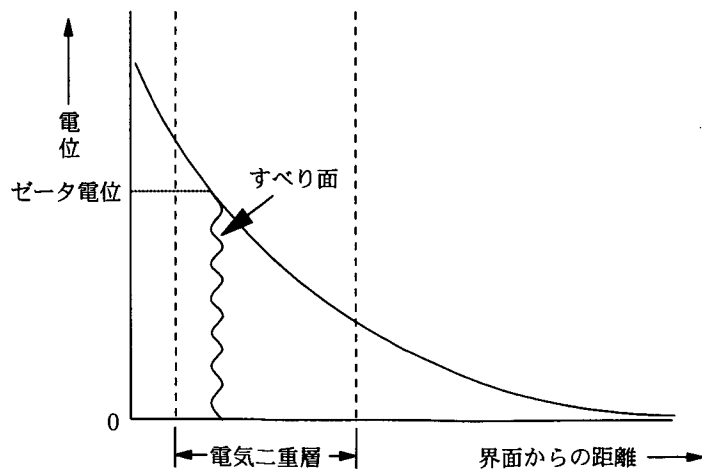


図-3.2.20 粒子間の距離とポテンシャルエネルギー曲線



(a) 粒子表面付近のイオンの分布



(b) 電位の状態

図-3.2.21 電気二重層と電位分布

#### d. ゼータ電位<sup>3.3)</sup>

分散か凝集かを左右する  $V_{T, \max}$  と関係の深いゼータ電位とは、次のように説明されている。

固体に液体が接すると、その界面付近には電荷の不均一な分布を生じ、それに基づく電位差を生じる。これは電気二重層と呼ばれている（図-3.2.21）。

固体と液体を相対的に運動させたり、外部から電気エネルギーを加えると、電位差を生じたり、液が移動したりする。このように固-液の相対運動と、電氣的動きに基づく現象を界面動電現象と呼んでいる。これらの現象は、固体と液体とを相対運動させたとき、すべりが起こる面における電位に依存する。このすべり面における電位がゼータ電位と呼ばれている。

#### 2) 試験結果

図-3.2.22 に粉体のゼータ電位を示す。飽和水酸化カルシウム溶液中では、セメントが 70mV 程度、フライアッシュと石粉は 50~60mV 程度であった。今回使用した石粉はフライアッシュと同程度の分散効果を有しているものと考えられる。

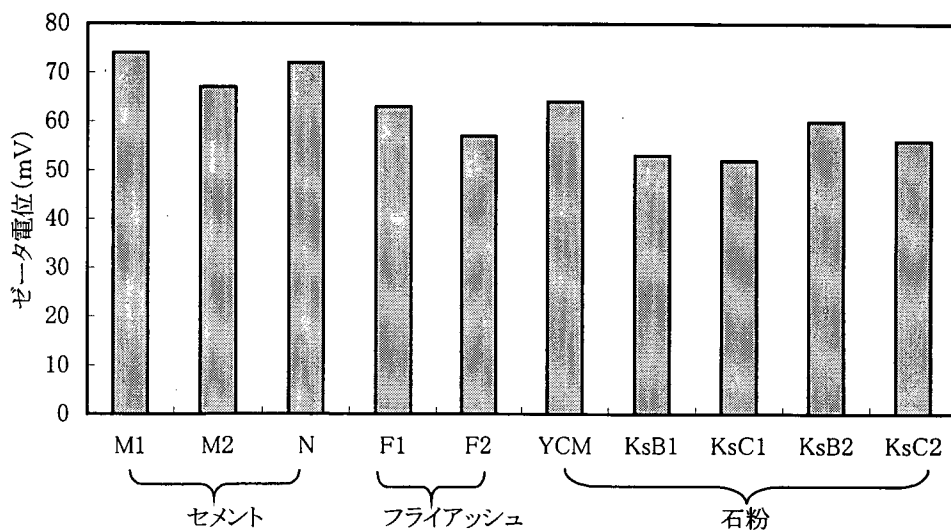


図-3.2.22 粉体のゼータ電位

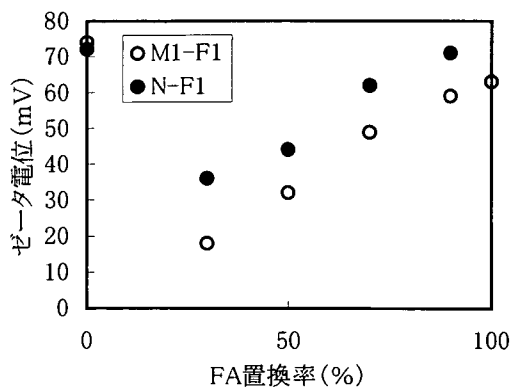


図-3.2.23 フライアッシュ置換率とゼータ電位

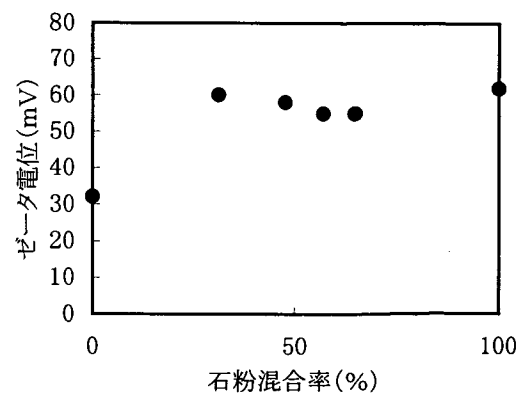


図-3.2.24 石粉混合率とゼータ電位

セメントM1, NにフライアッシュF1を置換した場合, M50の結合材に石粉YCMを混合した場合のゼータ電位を図-3.2.23 および 3.2.24 に示す。前者については, 理由はよく分からないが, 置換率が小さいときゼータ電位も小さく, 置換率の増加とともにゼータ電位も大きくなっている。結合材M50に石粉を混合すると, M50のゼータ電位は32mVしかないにもかかわらず, 石粉を混合することにより60mV程度になっている。混合率が増加するとわずかに低下傾向にある。

#### (10)メチレンブルー吸着量

メチレンブルー吸着量は比表面積と相関関係があるといわれている<sup>3,4)</sup>。そこで粒度法によって求めた比表面積とメチレンブルー吸着量の関係を図-3.2.25 に示した。石粉のメチレンブルー吸着量は3mg/g以下と範囲が狭く, 比較的品质が良いものであり, 今回の試験結果では吸着量と比表面積の関係は明確ではなかった。

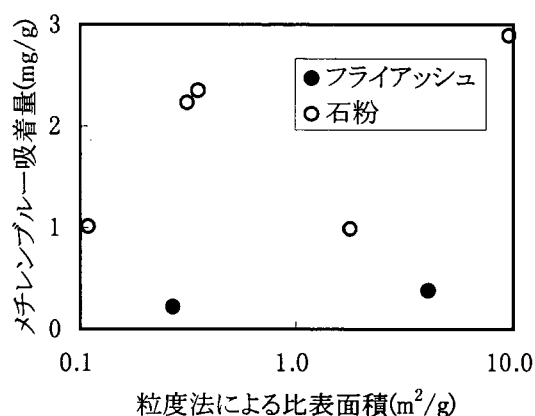


図-3.2.25 比表面積とメチレンブルー吸着量

### 3. 3 粒 体

#### 3.3.1 試験項目と試験方法

細骨材および粗骨材の試験は、表－3.3.1 のように密度・吸水率、ふるい分け、単位容積質量・実積率、安定性試験を、また粗骨材は強度試験も行った。

単位容積質量は JIS A 1102 による（棒突きによる締固め）に加え、締固め方法に VC 試験機を用いて振動を加えた場合（振動法）、試料を一定高さから落下させただけでそれ以外はいっさい締め固めを行わなかった場合（落下法）についても試験した。振動法は、RCD 工法のようにローラによる強力な振動締固めを想定し、その時の骨材のつまり状態、空隙量を求めるために行った。落下法は、高流動コンクリートのように流し込むだけで、いっさい締固めを行わないときの骨材状態を求めるために行った。

落下法の状況を写真－3.3.1 に示す。落下法では、試料盛り上がりの高さを測定し安息角も求めた。

表－3.3.1 骨材の試験項目と試験方法

| 試験項目             | 試験方法                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 密度・吸水率           | 細骨材:JIS A 1109                                                                                                                                                                                                                       |
|                  | 粗骨材:JIS A 1110                                                                                                                                                                                                                       |
| ふるい分け            | JIS A 1102                                                                                                                                                                                                                           |
| 単位容積質量<br>および実積率 | JIS法 : JIS A 1104                                                                                                                                                                                                                    |
|                  | 振動法: VC容器に試料を詰め、VC試験と同様に20kgの重りを載せ、振動を 5,10,20,40,80秒加えたときの沈下量を測定し、単位容積質量、実積率を求めた。<br>落下法: JIS A 1104と同じ容器に、ロートから試料を落下させた。ロートの排出口の床面からの高さは、容器の直径の2倍とした。盛り上がった試料の高さを測定し、安息角を求めた。その後、盛り上がった部分の試料を静かに取り除き、単位容積質量を測定した。試験状況を写真－3.3.1に示す。 |
| 安定性              | JIS A 1122                                                                                                                                                                                                                           |
| 強度試験             | 圧縮強度, 圧裂強度, 破碎試験:文献 3.5),3.6)参照                                                                                                                                                                                                      |

#### 3.3.2 試験結果

##### (1) 試験結果

骨材の物理試験結果は表－3.3.2 および 3.3.3 のとおりであった。粗骨材の強度試験結果を表－3.3.4 に示す。粉体の場合（表－3.2.6）と同様に、粒度分布が 50%のときの平均粒径も示した。粗骨材の平均粒径は最大寸法が 40mm の場合ほぼ 10～20mm、細骨材は約 1mm であった。

##### (2) 締固め方法と実積率

振動法による振動締固め時間と実積率の関係を表－3.3.5 および 3.3.6、図－3.3.1 および 3.3.2 に示す。

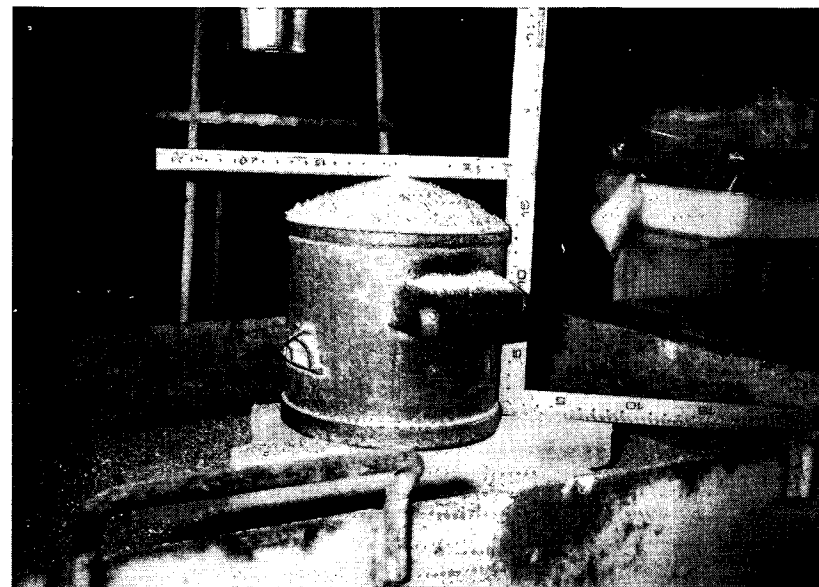
振動法および落下法による実積率を JIS 法と比較すると図－3.3.3 および 3.3.4 のようになる。振動法による振動時間 20 秒のときの実積率は JIS 法に比べ Y 骨材は 1.13 倍、Ks 骨材は平均 1.03 倍、Y 細骨材は 1.09 倍、Ks 細骨材は平均 1.08 倍であった。

落下法は Ks 骨材のみであるが、JIS 法に対して粗骨材は 0.89 倍、細骨材は 0.93 倍であった。

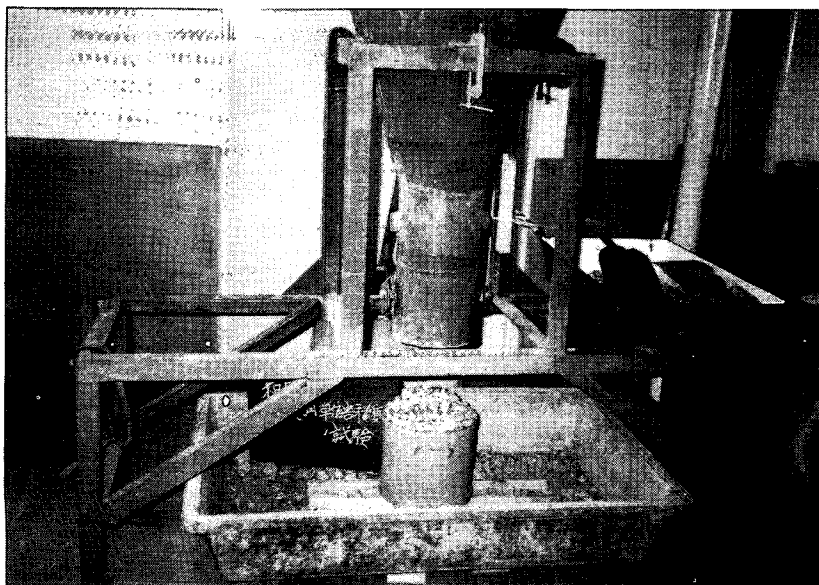
振動法、落下法による実積率は、JIS 法に対して 10%程度の増減があることがわかった。



(a-1) 細骨材の試験状況



(a-2) 細骨材の盛り上がった状況 (高さを測定し、安息角を求めた)



(b-1) 粗骨材の試験状況



(b-2) 粗骨材の盛り上がった状況 (高さを測定し、安息角を求めた)

写真- 3.3.1 落下法による単位容積質量試験の状況

表-3.3.2 Y 骨材の物理試験結果

(a) Y骨材の粗骨材の物理試験結果

|       |      | 表乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 絶乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 見かけの<br>真密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率<br>(%) | 安定性<br>損失<br>質量<br>(%) | FM   | 50%<br>平均<br>粒径<br>(mm) | 単位容積質量               |            |                      |            |
|-------|------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------|------------------------|------|-------------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
|       |      |                              |                              |                                     |            |                        |      |                         | JIS法                 |            | 振動法                  |            |
|       |      |                              |                              |                                     |            |                        |      |                         | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) |
| CL    | 4020 | 2.634                        | 2.614                        | 2.667                               | 0.76       | —                      | 7.89 | —                       | 1.445                | 55.5       |                      |            |
|       | 2005 | 2.620                        | 2.589                        | 2.671                               | 1.19       | —                      | 6.26 | —                       | 1.478                | 57.1       |                      |            |
| CM 砂質 | 4020 | 2.621                        | 2.596                        | 2.662                               | 0.96       | —                      | 7.81 | —                       | 1.437                | 55.4       |                      |            |
|       | 2005 | 2.623                        | 2.585                        | 2.688                               | 1.49       | —                      | 6.15 | —                       | 1.498                | 58.0       |                      |            |
| CM 泥質 | 4020 | 2.692                        | 2.669                        | 2.734                               | 0.89       | —                      | 7.69 | —                       | 1.499                | 56.2       |                      |            |
|       | 2005 | 2.691                        | 2.666                        | 2.733                               | 0.92       | —                      | 6.12 | —                       | 1.530                | 57.4       |                      |            |
| 混合*   |      | 2.642                        | 2.614                        | 2.689                               | 1.07       | —                      | 6.76 | 11.6                    | 1.528                | 58.5       | 1.74                 | 66.6       |
| CLのみ  |      | 2.624                        | 2.597                        | 2.67                                | 0.91       | 33.0                   | 6.75 | 11.4                    | 1.588                | 61.2       |                      |            |
| CMのみ  |      | 2.660                        | 2.632                        | 2.708                               | 1.07       | 19.3                   | 6.44 | 11.9                    | —                    | —          |                      |            |

※粗骨材の混合比

|      | CL   | CM泥質  | CM砂質  |
|------|------|-------|-------|
| 4020 | 0.15 | 0.11  | 0.09  |
| 2005 | 0.35 | 0.165 | 0.135 |

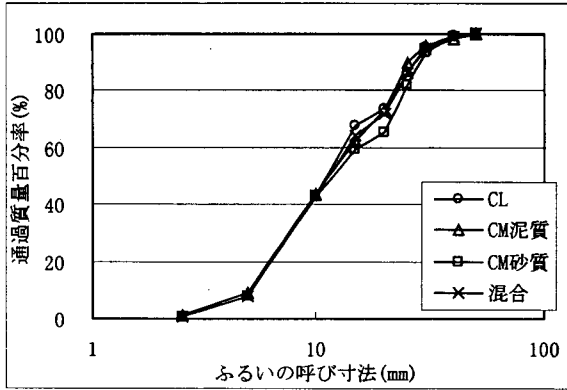
(b) Y骨材の細骨材の物理試験結果

|      |  | 表乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 絶乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 見かけの<br>真密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率<br>(%) | 安定性<br>損失<br>質量<br>(%) | FM   | 50%<br>平均<br>粒径<br>(mm) | 単位容積質量               |            |                      |            |
|------|--|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------|------------------------|------|-------------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
|      |  |                              |                              |                                     |            |                        |      |                         | JIS法                 |            | 振動法                  |            |
|      |  |                              |                              |                                     |            |                        |      |                         | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) |
| CL荒目 |  | 2.604                        | 2.566                        | 2.668                               | 1.48       | 0.7                    | 3.17 | 1.15                    | 1.672                | 65.2       | —                    | —          |
| CL細目 |  | 2.611                        | 2.579                        | 2.662                               | 1.2        | —                      | 1.22 | 0.245                   | 1.56                 | 60.5       | —                    | —          |
| CM   |  | 2.64                         | 2.609                        | 2.692                               | 1.17       | 0.8                    | 2.2  | 0.942                   | 1.761                | 67.8       | —                    | —          |
| 混合*  |  | 2.624                        | 2.591                        | 2.679                               | 1.26       | —                      | 2.54 | 0.659                   | 1.745                | 67.3       | 1.926                | 73.4       |

※CL荒目:CL細目:CM=1:1:2の割合で混合

(c) 粗骨材の粒度分布

| ふるいの<br>呼び寸法<br>(mm) | 通過質量百分率(%) |       |       |       |
|----------------------|------------|-------|-------|-------|
|                      | CL         | CM泥質  | CM砂質  | 混合    |
| 50                   | 100.0      | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 40                   | 99.3       | 98.3  | 99.0  | 98.9  |
| 30                   | 95.1       | 95.8  | 93.5  | 94.9  |
| 25                   | 86.5       | 90.0  | 81.9  | 86.4  |
| 20                   | 73.9       | 73.3  | 65.1  | 71.7  |
| 15                   | 67.5       | 62.4  | 59.2  | 64.2  |
| 10                   | 43.0       | 43.6  | 42.8  | 43.1  |
| 5                    | 7.5        | 9.1   | 7.9   | 8.0   |
| 2.5                  | 0.7        | 0.9   | 0.8   | 0.3   |



(d) Y骨材の細骨材の粒度分布

| ふるいの<br>呼び寸法<br>(mm) | 通過質量百分率(%) |       |       |       |
|----------------------|------------|-------|-------|-------|
|                      | CL荒目       | CL細目  | CM    | 混合*   |
| 10                   | 100.0      | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 5                    | 98.2       | 100.0 | 100.0 | 99.5  |
| 2.5                  | 81.8       | 99.8  | 83.7  | 87.3  |
| 1.2                  | 52.0       | 97.8  | 59.7  | 67.3  |
| 0.6                  | 29.3       | 88.8  | 37.2  | 48.1  |
| 0.3                  | 15.1       | 62.8  | 21.1  | 30.0  |
| 0.15                 | 6.7        | 28.2  | 9.3   | 13.4  |
| 受け皿                  | 0.0        | 0.0   | 0.0   | 0.0   |

※CL荒目:CL細目:CM=1:1:2の割合で混合

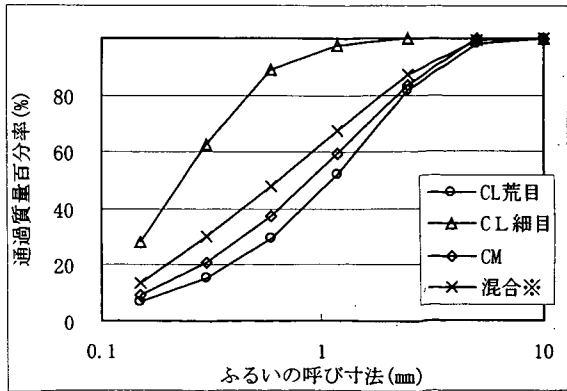


表-3.3.3 Ks骨材の物理試験結果

(a) 粗骨材, 細骨材の物理試験結果

| 骨材の種類   |          | 粒度      | 表乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 絶乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | みかけの<br>真密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率<br>(%) | 安定性損<br>失質量<br>(%) | 粗粒率  | 50%<br>平均<br>粒径<br>(mm) | 単位容積質量(kg/l) |            |            |        |            |            |
|---------|----------|---------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------|--------------------|------|-------------------------|--------------|------------|------------|--------|------------|------------|
|         |          |         |                              |                              |                                     |            |                    |      |                         | JIS法         |            | 振動(20秒)法   |        | 落下法        |            |
|         |          |         |                              |                              |                                     |            |                    |      |                         | 単位容積<br>質量   | 実積率<br>(%) | 単位容積<br>質量 | 実積率(%) | 単位容積<br>質量 | 実積率<br>(%) |
| 粗骨材     | 粗骨材<br>B | a 15080 | 2.658                        | 2.650                        | 2.674                               | 0.34       | 0.03               | 9.99 |                         | 1.488        | 56.2       |            |        |            |            |
|         |          | b 8040  | 2.684                        | 2.674                        | 2.700                               | 0.36       | 0.04               | 8.99 |                         | 1.532        | 57.3       |            |        |            |            |
|         |          | c 4020  | 2.658                        | 2.640                        | 2.689                               | 0.69       | 1.18               | 7.97 |                         | 1.488        | 56.4       |            |        |            |            |
|         |          | d 2005  | 2.628                        | 2.594                        | 2.687                               | 1.33       | 4.69               | 6.69 |                         | 1.478        | 57.0       |            |        |            |            |
|         | 細骨材<br>C | e 15080 | 2.638                        | 2.623                        | 2.663                               | 0.57       | 0.01               | 9.93 |                         | 1.468        | 56.0       |            |        |            |            |
|         |          | f 8040  | 2.636                        | 2.618                        | 2.667                               | 0.71       | 0.24               | 8.98 |                         | 1.526        | 58.3       |            |        |            |            |
|         |          | g 4020  | 2.636                        | 2.604                        | 2.690                               | 1.23       | 6.82               | 7.90 |                         | 1.468        | 56.4       |            |        |            |            |
|         |          | h 2005  | 2.606                        | 2.562                        | 2.678                               | 1.69       | 7.94               | 6.41 |                         | 1.491        | 58.2       |            |        |            |            |
|         | B*       | 4005    | 2.643                        | 2.617                        | 2.688                               | 1.01       | 2.54               | 7.34 | 19.2                    | 1.553        | 59.4       | 1.628      | 62.2   |            |            |
|         | C*       | 4005    | 2.624                        | 2.587                        | 2.685                               | 1.41       | 6.80               | 7.30 | 21.1                    | 1.582        | 61.1       | 1.608      | 62.2   |            |            |
| BC混合:M* | 4005     | 2.634   | 2.602                        | 2.687                        | 1.21                                | -          | 7.32               | 20.3 | 1.582                   | 60.8         | 1.628      | 62.6       | 1.402  | 53.9       | 30.4       |
| 細骨材     | B        | 5以下     | 2.616                        | 2.585                        | 2.668                               | 1.21       | 1.60               | 2.72 | 0.772                   | 1.700        | 65.8       | 1.842      | 71.3   |            |            |
|         | C        |         | 2.609                        | 2.584                        | 2.651                               | 0.98       | 2.31               | 2.68 | 0.752                   | 1.672        | 64.7       | 1.789      | 69.2   |            |            |
|         | BC混合:M** |         | 2.612                        | 2.584                        | 2.659                               | 1.09       | -                  | 2.71 | 0.761                   | 1.684        | 65.2       | 1.806      | 69.9   | 1.566      | 60.6       |

※粗骨材混合比 B 4005 a:b:c:d=0:0:50:50

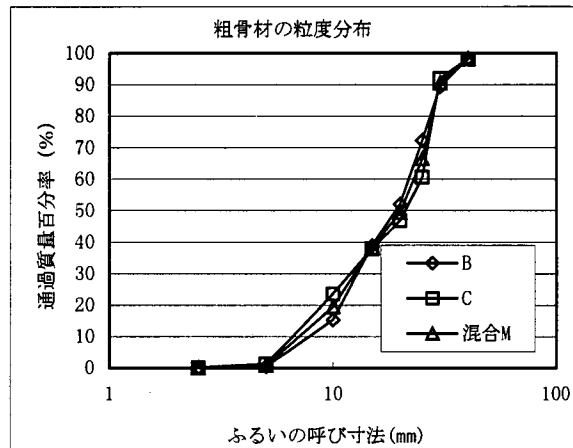
C 4005 e:f:g:h=0:0:60:40

BC混合:M B骨材:C骨材=50:50

※※細骨材混合比 B:C=50:50

(b) 粗骨材の粒度分布

| ふるいの<br>呼び寸法<br>(mm) | 通過百分率(%) |      |      |
|----------------------|----------|------|------|
|                      | B        | C    | 混合M  |
| 40                   | 98.4     | 98.1 | 98.2 |
| 30                   | 89.4     | 92   | 90.7 |
| 25                   | 72.4     | 60.6 | 66.5 |
| 20                   | 52.1     | 46.8 | 49.4 |
| 15                   | 38.9     | 37.8 | 38.3 |
| 10                   | 15.4     | 23.6 | 19.5 |
| 5                    | 0.6      | 1.2  | 0.9  |
| 2.5                  | 0.2      | 0.1  | 0.1  |



(c) 細骨材の粒度分布

| ふるいの<br>呼び寸法<br>(mm) | 通過百分率(%) |      |      |
|----------------------|----------|------|------|
|                      | B        | C    | 混合M  |
| 10                   | 100      | 100  | 100  |
| 5                    | 99.9     | 100  | 100  |
| 2.5                  | 83.6     | 86.6 | 85.1 |
| 1.2                  | 69.8     | 70.6 | 70.2 |
| 0.6                  | 42.1     | 43   | 42.6 |
| 0.3                  | 23       | 21.8 | 22.4 |
| 0.15                 | 9.3      | 9.2  | 9.2  |

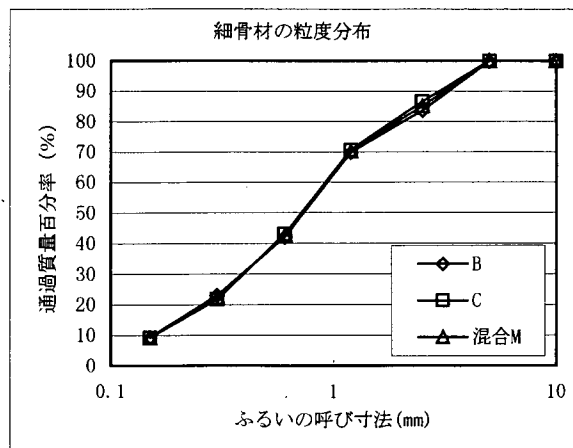


表-3.3.4 粗骨材の強度試験結果

|                            | Y骨材 |      |      | Ks骨材 |      |      |
|----------------------------|-----|------|------|------|------|------|
|                            | CM  | CL   | 混合   | B    | C    | 混合   |
| 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )   | —   | —    | —    | 84.5 | 58.0 | —    |
| ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> ) | —   | —    | —    | 26.6 | 15.9 | —    |
| 圧裂強度(N/mm <sup>2</sup> )   | 9.5 | 11.3 | 10.4 | 11.2 | 4.9  | 6.4  |
| 破碎値(%)                     | —   | 11.1 | 13.1 | 33.7 | 39.5 | 36.2 |
| 修正破碎率(%)                   | —   | 11.2 | 13.1 | 36.2 | 39.5 | 36.2 |

表-3.3.5 Y骨材の振動法による  
単位容積質量, 実積率, 間隙比

| 骨材の種類 | 振動締固め時間<br>(秒) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 間隙比   |
|-------|----------------|----------------------|------------|-------|
| 細骨材   | 0              | 1.745                | 67.35      | 0.485 |
|       | 5              | 1.908                | 73.64      | 0.358 |
|       | 10             | 1.920                | 74.10      | 0.349 |
|       | 20             | 1.926                | 74.33      | 0.345 |
|       | 40             | 1.932                | 74.57      | 0.341 |
|       | 80             | 1.940                | 74.87      | 0.336 |
| 粗骨材   | 0              | 1.520                | 58.15      | 0.720 |
|       | 5              | 1.711                | 65.46      | 0.528 |
|       | 10             | 1.735                | 66.37      | 0.507 |
|       | 20             | 1.740                | 66.56      | 0.502 |
|       | 40             | 1.755                | 67.14      | 0.489 |
|       | 80             | 1.782                | 68.17      | 0.467 |

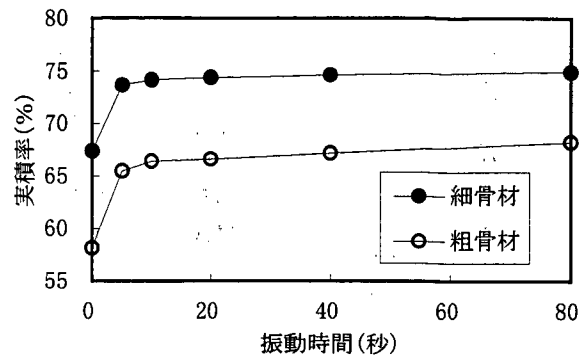
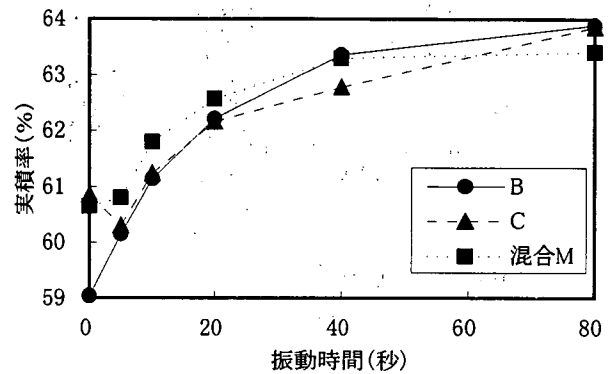


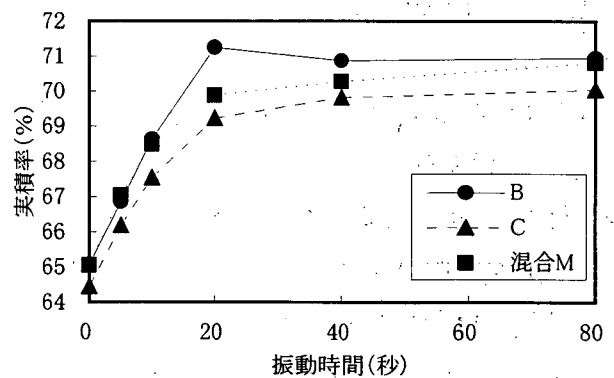
図-3.3.1 振動締固め時間と実積率の関係(Y骨材)

表-3.3.6 Ks骨材の振動法による  
単位容積質量, 実積率, 間隙比

|     | 骨材の種類         | 振動時間<br>(秒) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 間隙比   |
|-----|---------------|-------------|----------------------|------------|-------|
| 粗骨材 | B             | 0           | 1.545                | 59.04      | 0.694 |
|     |               | 5           | 1.574                | 60.15      | 0.663 |
|     |               | 10          | 1.600                | 61.14      | 0.636 |
|     |               | 20          | 1.628                | 62.21      | 0.607 |
|     |               | 40          | 1.658                | 63.35      | 0.578 |
|     |               | 80          | 1.672                | 63.89      | 0.565 |
|     | C             | 0           | 1.574                | 60.84      | 0.644 |
|     |               | 5           | 1.560                | 60.30      | 0.658 |
|     |               | 10          | 1.584                | 61.23      | 0.633 |
|     |               | 20          | 1.608                | 62.16      | 0.609 |
|     |               | 40          | 1.624                | 62.78      | 0.593 |
|     |               | 80          | 1.652                | 63.86      | 0.566 |
| 細骨材 | BC<br>混合<br>M | 0           | 1.578                | 60.65      | 0.649 |
|     |               | 5           | 1.582                | 60.80      | 0.645 |
|     |               | 10          | 1.608                | 61.80      | 0.618 |
|     |               | 20          | 1.628                | 62.57      | 0.598 |
|     |               | 40          | 1.647                | 63.30      | 0.580 |
|     |               | 80          | 1.650                | 63.41      | 0.577 |
|     | B             | 0           | 1.682                | 65.07      | 0.537 |
|     |               | 5           | 1.728                | 66.85      | 0.496 |
|     |               | 10          | 1.774                | 68.63      | 0.457 |
|     |               | 20          | 1.842                | 71.26      | 0.403 |
|     |               | 40          | 1.832                | 70.87      | 0.411 |
|     |               | 80          | 1.834                | 70.95      | 0.409 |
| 粗骨材 | C             | 0           | 1.665                | 64.43      | 0.552 |
|     |               | 5           | 1.710                | 66.18      | 0.511 |
|     |               | 10          | 1.745                | 67.53      | 0.481 |
|     |               | 20          | 1.789                | 69.23      | 0.444 |
|     |               | 40          | 1.804                | 69.81      | 0.432 |
|     |               | 80          | 1.810                | 70.05      | 0.428 |
|     | BC<br>混合<br>M | 0           | 1.681                | 65.05      | 0.537 |
|     |               | 5           | 1.732                | 67.03      | 0.492 |
|     |               | 10          | 1.770                | 68.50      | 0.460 |
|     |               | 20          | 1.806                | 69.89      | 0.431 |
|     |               | 40          | 1.816                | 70.28      | 0.423 |
|     |               | 80          | 1.830                | 70.82      | 0.412 |



(a) 粗骨材



(b) 細骨材

図-3.3.2 振動締固め時間と実積率の関係(Ks骨材)

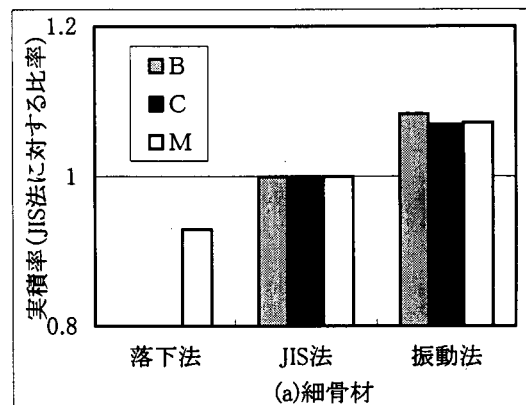
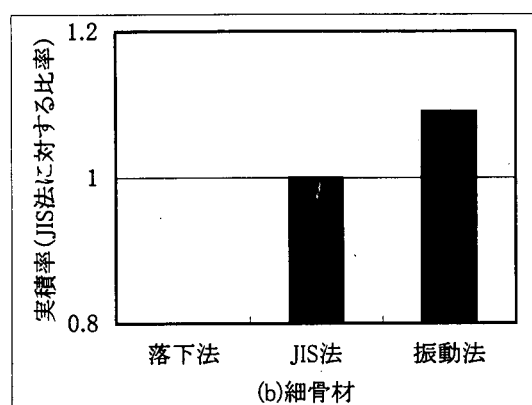
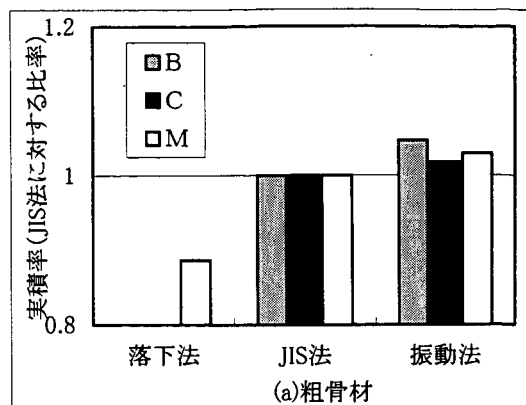
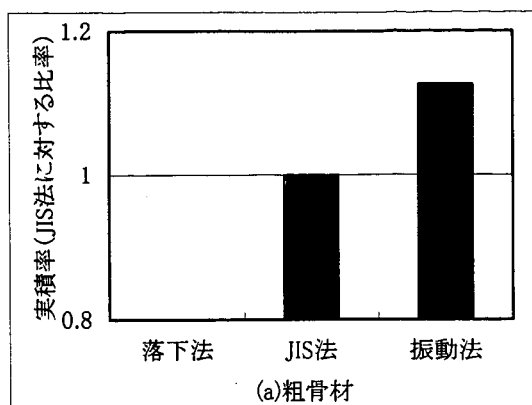


図-3.3.3 Y骨材の締固め方法の違いによる実積率の比較

図-3.3.4 Ks骨材の締固め方法の違いによる実積率の比較

### (3) 粒度分布と実積率，比表面積

細骨材，粗骨材の比表面積を粒度分布から式 (3.2.1) ～式 (3.2.10) によって求めた結果が表-3.3.7 である。

均等数  $n$  からみた粒度分布は，粉体が  $n \approx 0.6 \sim 0.8$  (表-3.1.6) に対し，細骨材は  $n \approx 1$ ，粗骨材は  $n \approx 2$  であり分布は狭くなっている。均等数  $n$  と JIS 法による実積率の関係を図-3.3.5 に示すように， $n$  が大きいほど，つまり粒度分布の範囲が狭いほど実積率は小さくなっている。

平均粒径と粒度分布から求めた比表面積の関係を図-3.3.6 に示す。図中には粉体も示してある。両者の間には高い相関関係があることがわかる。比表面積は，粉体が  $10^3 \sim 10^5 \text{cm}^2/\text{g}$  に対し，細骨材は  $10^2 \text{cm}^2/\text{g}$  程度，粗骨材は  $10^0 \text{cm}^2/\text{g}$  程度であり，粒度の違いにより  $10^2$  程度ずつ違っている。

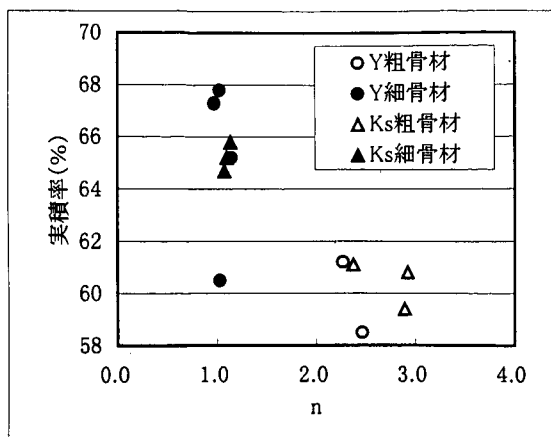


図-3.3.5 均等数 $n$ と実積率の関係

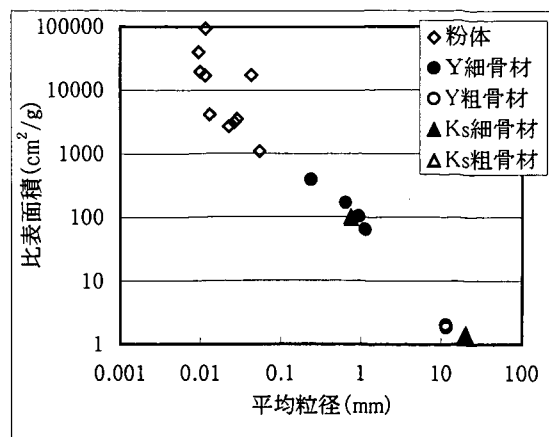


図-3.3.6 粉体, 粒体の平均粒径と比表面積の関係

表-3.3.7 粒体の粒度分布のロージンラムラー式による回帰結果および比表面積

| 粒体の種類 |     |      | 回帰結果  |        |       | 密度                          | 粒度特性数     | 比表面積                      |
|-------|-----|------|-------|--------|-------|-----------------------------|-----------|---------------------------|
|       |     |      | $n$   | $b$    | $r$   | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $De$ (mm) | $Sw$ (cm <sup>2</sup> /g) |
| Y骨材   | 粗骨材 | CL   | 2.269 | 0.295  | 0.983 | 2.597                       | 17.1      | 2.04                      |
|       |     | CM泥質 | 2.151 | 0.318  | 0.983 | 2.667                       | 17.0      | 2.07                      |
|       |     | CM砂質 | 2.165 | 0.282  | 0.983 | 2.589                       | 18.0      | 2.02                      |
|       |     | 混合   | 2.463 | 0.244  | 0.968 | 2.614                       | 17.7      | 1.85                      |
|       | 細骨材 | CL荒目 | 1.142 | 8.562  | 1.000 | 2.566                       | 1.53      | 64.7                      |
|       |     | CL細目 | 1.027 | 31.428 | 0.984 | 2.579                       | 0.35      | 390.1                     |
|       |     | CM   | 1.025 | 7.908  | 0.998 | 2.609                       | 1.33      | 101.9                     |
|       |     | 混合   | 0.969 | 9.291  | 0.995 | 2.591                       | 1.00      | 166.5                     |
| Ks骨材  | 粗骨材 | B    | 2.896 | 0.096  | 0.989 | 2.617                       | 22.5      | 1.35                      |
|       |     | M    | 2.374 | 0.147  | 0.973 | 2.602                       | 22.4      | 1.51                      |
|       |     | C    | 2.925 | 0.097  | 0.983 | 2.587                       | 22.2      | 1.37                      |
|       | 細骨材 | B    | 1.133 | 12.416 | 0.991 | 2.585                       | 1.08      | 92.3                      |
|       |     | M    | 1.072 | 10.112 | 0.992 | 2.584                       | 1.15      | 102.2                     |
|       |     | C    | 1.093 | 10.845 | 0.993 | 2.584                       | 1.13      | 98.2                      |

### 3. 4 粉 粒 体

#### 3.4.1 試験方法

粉体と細骨材を混合した粉粒体については、単位容積質量、実積率試験及び一面せん断試験を行った。粉体と細骨材の組合せは、石粉 YCM と細骨材 Y を混合した場合と、セメント M2、フライアッシュ F2、石粉 KsB2、KsC2 をそれぞれ 35 : 15 : 25 : 25 の比率で混合した粉体と細骨材 Ks 混合した場合の 2 種類である。

##### (1) 単位容積質量及び実積率試験

粉粒体の単位容積質量及び実積率試験は JIS A 1104 の細骨材に準じて、粉体と細骨材の混合比率を変化させたものについて行った。

##### (2) 一面せん断試験

土質で行われている一面せん断試験を行った。垂直応力は  $0.5\text{kgf/cm}^2(0.049\text{N/mm}^2)$ 、 $1.0\text{kgf/cm}^2(0.098\text{N/mm}^2)$ 、 $2.0\text{kgf/cm}^2(0.196\text{N/mm}^2)$  の 3 点とした。

粉体と細骨材の混合率は 4 章のコンクリート配合に合わせた。結合材は、セメント M1 に、フライアッシュ F1 を 50%置換したものを  $140\text{kg/m}^3$  に相当する量(140M50)とした。細骨材は、石粉の混合率を変化させ、細骨材に含まれている  $0.15\text{mm}$  以下を合わせた微粒分率が 0 ~ 33.5% の 5 水準である。細骨材率 38% のときの S/C は 5.84 であった。

#### 3.4.2 試験結果

##### (1) 単位容積質量・実積率・間隙比

石粉、細骨材に骨材 Y を用いたときの単位容積質量、実積率、間隙比の結果は表-3.4.1 および図-3.4.1 のとおりであった。細骨材混合率 80%程度で実積率は最大、間隙比は最小であった。

表-3.4.1 Y細骨材と石粉YCM混合の単位容積質量、実積率、間隙比

| 細骨材<br>混合率<br>x (%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 間隙比<br>e(x) | A(x)  | B(x)  | 干渉係数<br>k(x) |
|---------------------|----------------------|------------|-------------|-------|-------|--------------|
| 0.0                 | 1.195                | 44.25      | 1.260       | 1.260 | 1.260 |              |
| 51.0                | 1.626                | 61.48      | 0.627       | 0.893 | 0.617 | 0.035        |
| 61.0                | 1.710                | 64.93      | 0.540       | 0.821 | 0.492 | 0.147        |
| 67.4                | 1.773                | 67.50      | 0.482       | 0.775 | 0.411 | 0.195        |
| 72.3                | 1.821                | 69.48      | 0.439       | 0.739 | 0.349 | 0.232        |
| 77.2                | 1.861                | 71.14      | 0.406       | 0.704 | 0.287 | 0.285        |
| 79.7                | 1.871                | 71.59      | 0.397       | 0.686 | 0.256 | 0.327        |
| 82.1                | 1.874                | 71.78      | 0.393       | 0.669 | 0.225 | 0.378        |
| 84.5                | 1.872                | 71.78      | 0.393       | 0.651 | 0.195 | 0.435        |
| 85.0                | 1.871                | 71.75      | 0.394       | 0.648 | 0.189 | 0.447        |
| 87.0                | 1.851                | 71.06      | 0.407       | 0.634 | 0.164 | 0.518        |
| 92.8                | 1.810                | 69.66      | 0.436       | 0.592 | 0.091 | 0.688        |
| 100.0               | 1.682                | 64.93      | 0.540       | 0.540 | 0.000 | 1.000        |

細骨材混合率  $x$  は次式で定義する。

$$x = \frac{s}{b p + s} \cdot \cdot \cdot \cdot (3.4.1)$$

ここに、 $b p$  : 粉体の体積、 $s$  : 細骨材の体積である。

同様に  $Ks$  骨材の場合は表-3.4.2, 図-3.4.2 のようになった。

表-3.4.2  $Ks$  細骨材と粉体混合の単位容積質量, 実積率及び間隙比

| 細骨材<br>混合率<br>$x$ (%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 間隙比<br>$e(x)$ | $A(x)$ | $B(x)$ | 干渉係数<br>$k(x)$ |
|-----------------------|----------------------|------------|---------------|--------|--------|----------------|
| 0                     | 1.074                | 38.9       | 1.570         | 1.570  | 1.570  |                |
| 50                    | 1.499                | 56.1       | 0.783         | 1.101  | 0.785  | -0.007         |
| 60                    | 1.631                | 61.4       | 0.628         | 1.007  | 0.628  | 0.000          |
| 70                    | 1.755                | 66.5       | 0.503         | 0.913  | 0.471  | 0.072          |
| 75                    | 1.780                | 67.7       | 0.477         | 0.867  | 0.393  | 0.178          |
| 80                    | 1.801                | 68.7       | 0.455         | 0.820  | 0.314  | 0.278          |
| 85                    | 1.749                | 67.0       | 0.493         | 0.773  | 0.236  | 0.479          |
| 90                    | 1.713                | 65.8       | 0.519         | 0.726  | 0.157  | 0.637          |
| 100                   | 1.584                | 61.3       | 0.632         | 0.632  | 0.000  | 1.000          |

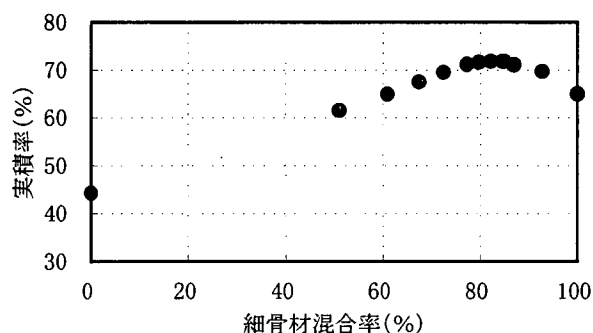
粉体の構成

セメントM2 35%

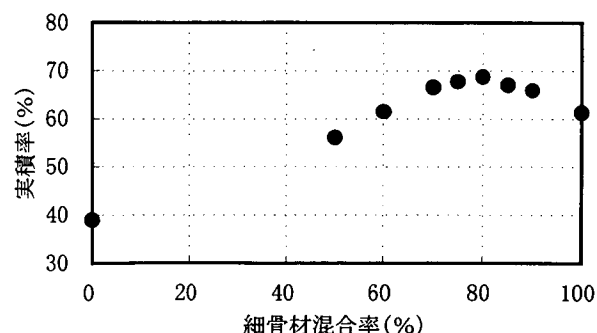
フライアッシュF2 15%

$KsB2$ (石粉) 25%

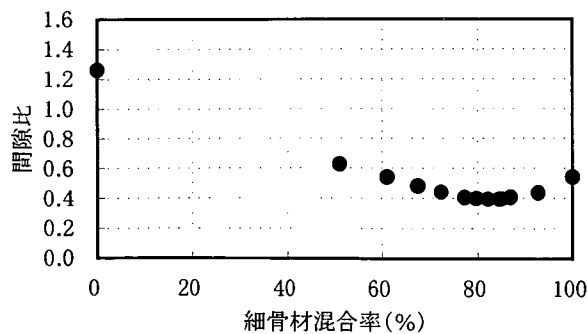
$KsC2$ (石粉) 25%



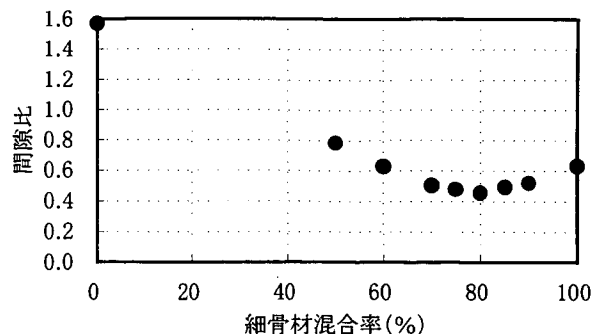
(a) 実積率



(a) 実積率



(b) 間隙比



(b) 間隙比

図-3.4.1 細骨材混合率と実積率, 間隙比の関係 (Y骨材)

図-3.4.2 細骨材混合率と実積率, 間隙比の関係 ( $Ks$ 骨材)

(2) 粘着力・内部摩擦角

各種要因・水準ごとの一面せん断試験から求めた粘着力、内部摩擦角の結果は表-3.4.3 のとおりであった。

図-3.4.3 には、(a)細骨材に石粉を混合したとき、(b)石粉に結合材を加えた場合の微粒分率（細骨材に占める 0.15mm 以下の石粉量）と粘着力、内部摩擦角の関係を示す。いずれも微粒分率が増えるほど粘着力、内部摩擦角は減少傾向にある。これは、微粒分率が増えることにより細骨材の粗粒分のまわりを微粒分が覆い、潤滑油の役割を果たしているためと考えられる。

図-3.4.4 には S/Bp との関係を示す。粘着力が大きいと内部摩擦角が小さくなる傾向がある。顕著ではないが、せん断（抵抗）力に着目すると、S/Bp が大きくなるほどせん断力も大きくなる傾向があった。これは、図-3.4.3 の場合と同様、S/Bp が大きくなるほど細骨材の占める比率が大きくなり、粉体は少なくなるためと考えられる。

図-3.4.5 は s/a との関係であり、この場合は細骨材と微粒分の比率は一定なのでせん断力はほぼ一定であった。

表-3.4.3 粉粒体の粘着力、内部摩擦角

| 結合材の種類 | 微粒分率 (%) | S/Bp | s/a (%) | 粘着力 (N/mm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角 (deg) |
|--------|----------|------|---------|--------------------------|-------------|
| -      | 0        | -    | -       | 0.026                    | 45.1        |
|        | 7.5      |      |         | 0.038                    | 40.6        |
|        | 15.5     |      |         | 0.026                    | 38.3        |
|        | 23.5     |      |         | 0.012                    | 43.6        |
|        | 33.5     |      |         | 0.016                    | 35.6        |
|        |          |      |         |                          |             |
| 140M50 | 0        | 5.84 | 38      | 0.016                    | 44.1        |
|        | 7.5      |      |         | 0.021                    | 44.9        |
|        | 15.5     |      |         | 0.014                    | 39.7        |
|        | 23.5     |      |         | 0.025                    | 34.0        |
|        | 33.5     |      |         | 0.000                    | 35.5        |
|        |          |      |         |                          |             |
| 140M50 | 15.5     | 0    | 38      | 0.000                    | 24.6        |
|        |          | 2.5  |         | 0.067                    | 21.3        |
|        |          | 5.84 |         | 0.014                    | 39.7        |
|        |          |      |         |                          |             |
| 140M50 | 15.5     | 5.84 | 30      | 0.014                    | 38.9        |
|        |          |      | 38      | 0.014                    | 39.8        |
|        |          |      | 45      | 0.054                    | 27.1        |

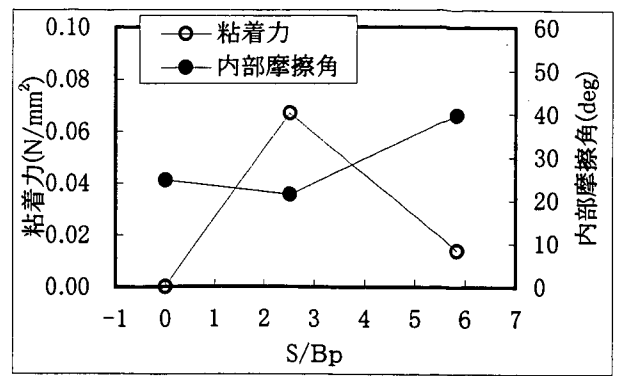
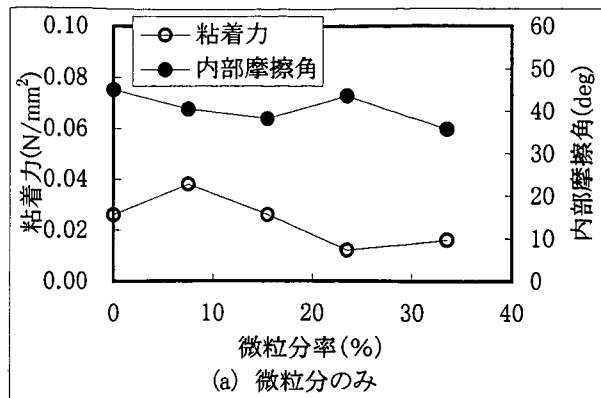


図-3.4.4 S/Bpと粘着力, 内部摩擦角の関係

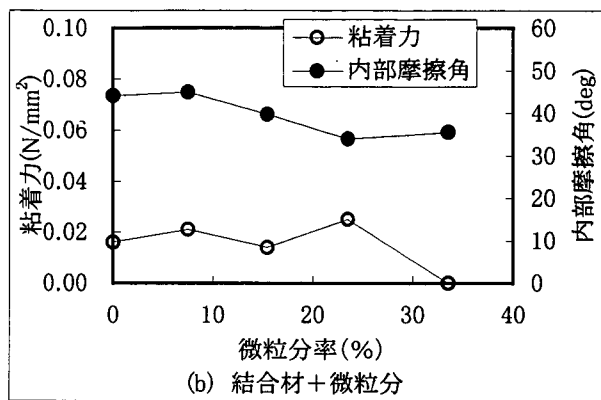


図-3.4.3 微粒分率と粘着力, 内部摩擦角の関係

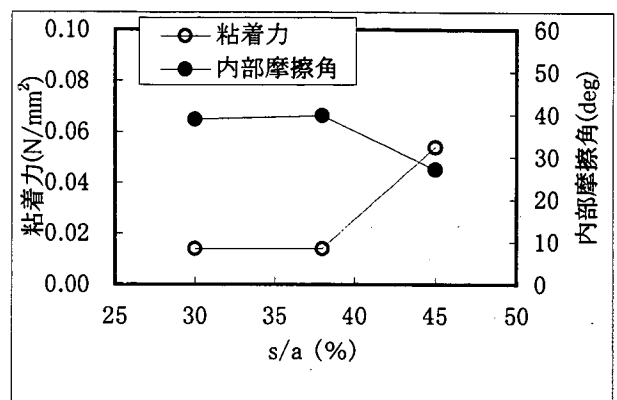


図-3.4.5 s/aと粘着力, 内部摩擦角の関係

### 3. 5 細粗混合骨材

#### 3.5.1 試験方法

細骨材に粗骨材混合率を増加させながら混合したときの単位容積質量及び実積率試験を行った。

粗骨材混合率  $x$  は次式で定義する。

$$x = \frac{g}{s + g} \cdots \cdots (3.5.1)$$

ここに、 $s$  : 細骨材の体積、 $g$  : 粗骨材の体積である。

試験した骨材の組合せは、Y骨材については細骨材、粗骨材ともCM、CLを混合したもの、Ks骨材については細骨材、粗骨材ともB、Cを混合したもの(M)と、粗骨材混合率60%一定でB、C、Mの各種組合せの場合についても行った。

試験方法はJIS A 1104の最大寸法40mmの場合に準じて行った。また、骨材Yについては表-3.3.1の振動法についても実施した。

#### 3.5.2 試験結果

##### (1) 単位容積質量・実積率・間隙比

表-3.5.1及び図-3.5.1にY骨材の場合、表-3.5.2及び図-3.5.2にKs骨材の試験結果を示す。A(x)、B(x)、干渉係数については3. 6節で説明する。

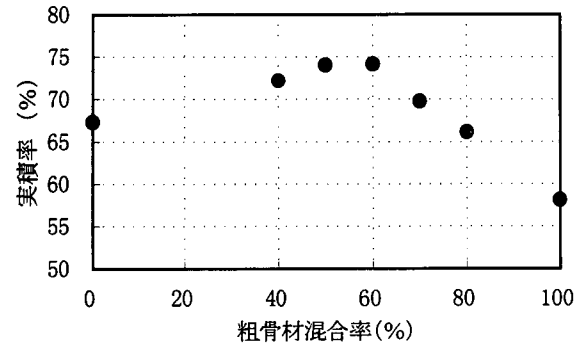
両骨材とも、粗骨材混合率と実積率、間隙比の関係は、粉粒体の場合(3. 4節)と同様に、実積率は上に凸、間隙比は下に凸になっている。ただし、実積率の最大値、間隙比の最小値となる混合率は、粉粒体の場合80%程度であったが、細粗混合骨材では50~60%程度になっている。

表-3.5.1 Y骨材の細粗混合骨材の単位容積質量、  
実積率、間隙比および干渉係数

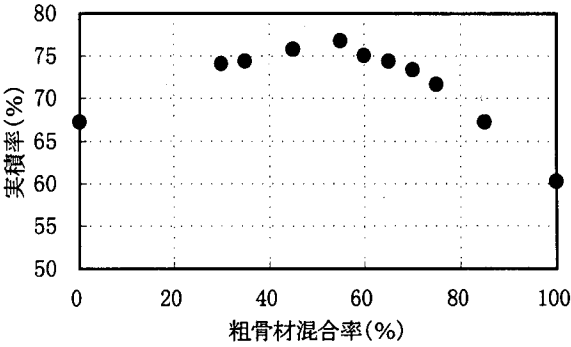
| 粗骨材<br>混合率<br>$x$ (%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 間隙比<br>$e(x)$ | A(x)  | B(x)  | 干渉係数<br>$k(x)$ |
|-----------------------|----------------------|------------|---------------|-------|-------|----------------|
| 0                     | 1.745                | 67.35      | 0.485         | 0.485 | 0.485 |                |
| 40                    | 1.877                | 72.19      | 0.385         | 0.579 | 0.291 | 0.327          |
| 50                    | 1.927                | 74.04      | 0.351         | 0.603 | 0.243 | 0.300          |
| 60                    | 1.932                | 74.17      | 0.348         | 0.626 | 0.194 | 0.357          |
| 70                    | 1.819                | 69.77      | 0.433         | 0.650 | 0.146 | 0.571          |
| 80                    | 1.727                | 66.18      | 0.511         | 0.673 | 0.097 | 0.719          |
| 100                   | 1.520                | 58.15      | 0.720         | 0.720 | 0.000 | 1.000          |

表-3.5.2 Ks骨材の細粗混合骨材の単位容積質量, 実積率及び間隙比

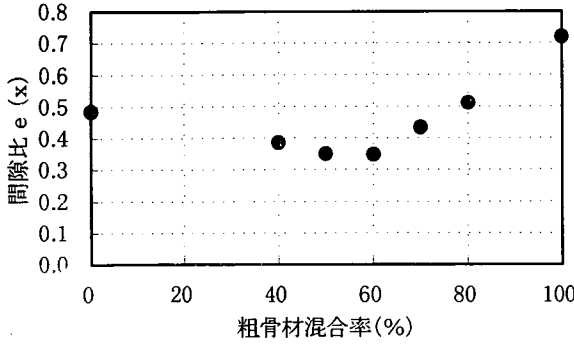
| 骨材の組合せ |     | 粗骨材<br>混合率 | 単位容積<br>質量 | 絶乾密度                 | 実積率  | 間隙比   |       |       | 干渉係数  |
|--------|-----|------------|------------|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 細骨材    | 粗骨材 | x(%)       | (kg/l)     | (g/cm <sup>3</sup> ) | (%)  | e(x)  | A(x)  | B(x)  | k(x)  |
| M      | M   | 0          | 1.740      | 2.584                | 67.3 | 0.485 | 0.485 | 0.485 |       |
|        |     | 30         | 1.918      | 2.589                | 74.1 | 0.350 | 0.537 | 0.340 | 0.053 |
|        |     | 35         | 1.926      | 2.590                | 74.4 | 0.345 | 0.545 | 0.315 | 0.129 |
|        |     | 45         | 1.964      | 2.592                | 75.8 | 0.320 | 0.562 | 0.267 | 0.180 |
|        |     | 55         | 1.992      | 2.594                | 76.8 | 0.302 | 0.580 | 0.218 | 0.232 |
|        |     | 60         | 1.948      | 2.595                | 75.1 | 0.332 | 0.588 | 0.194 | 0.350 |
|        |     | 65         | 1.931      | 2.596                | 74.4 | 0.344 | 0.597 | 0.170 | 0.408 |
|        |     | 70         | 1.906      | 2.597                | 73.4 | 0.362 | 0.605 | 0.146 | 0.471 |
|        |     | 75         | 1.863      | 2.598                | 71.7 | 0.394 | 0.614 | 0.121 | 0.554 |
|        |     | 85         | 1.750      | 2.599                | 67.3 | 0.485 | 0.631 | 0.073 | 0.738 |
|        |     | 100        | 1.570      | 2.602                | 60.3 | 0.657 | 0.657 | 0.000 | 1.000 |
| B      | B   | 60         | 1.964      | 2.604                | 75.4 | 0.326 | 0.588 | 0.194 | 0.335 |
| M      | B   | 60         | 1.960      | 2.604                | 75.3 | 0.328 | 0.588 | 0.194 | 0.340 |
| C      | B   | 60         | 1.962      | 2.604                | 75.4 | 0.327 | 0.588 | 0.194 | 0.337 |
| M      | C   | 60         | 1.942      | 2.595                | 75.1 | 0.332 | 0.588 | 0.194 | 0.350 |
| C      | C   | 60         | 1.942      | 2.595                | 75.1 | 0.332 | 0.588 | 0.194 | 0.350 |



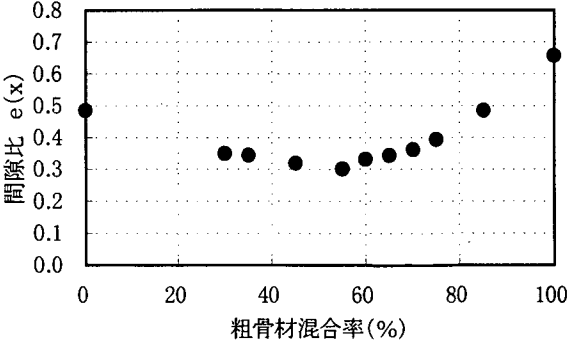
(a) 実積率(%)



(a) 実積率(%)



(b) 間隙比 e(x)



(b) 間隙比 e(x)

図-3.5.1 粗骨材混合率と実積率間隙比の関係 (Y骨材)

図-3.5.2 粗骨材混合率と実積率, 間隙比の関係 (Ks骨材)

## (2) 締固め方法と実積率

振動法の結果は表-3.5.3 及び図-3.5.3 のとおりである。図-3.5.3 は粗骨材混合率 60%の場合を示している。振動時間 10 秒までは実積率は大きくなっており、締固まっているが、それ以後は減少している。試験終了後に容器内を観察すると、細骨材と粗骨材が分離し、下に細骨材、上に粗骨材が集中していた。他の混合率の場合も同様の現象がみられている。大きい粒子の空隙を小さい粒子が通り抜けられるほど粒子径の異なる粒体同士を混合したものは、振動法による単位容積質量試験は困難なようである。

表-3.5.3 Y骨材の細粗混合骨材の振動法による単位容積質量、実積率、間隙比

| 粗骨材混合率 (%) | 振動締固め時間 (秒) | 単位容積質量 (kg/l) | 実積率 (%) | 間隙比   | 粗骨材混合率 (%) | 振動締固め時間 (秒) | 単位容積質量 (kg/l) | 実積率 (%) | 間隙比   |
|------------|-------------|---------------|---------|-------|------------|-------------|---------------|---------|-------|
| 0          | 0           | 1.745         | 67.35   | 0.485 | 70         | 0           | 1.819         | 69.77   | 0.433 |
|            | 5           | 1.908         | 73.64   | 0.358 |            | 5           | 2.035         | 78.06   | 0.281 |
|            | 10          | 1.920         | 74.10   | 0.349 |            | 10          | 2.047         | 78.52   | 0.274 |
|            | 20          | 1.926         | 74.33   | 0.345 |            | 20          | 2.029         | 77.83   | 0.285 |
|            | 40          | 1.932         | 74.57   | 0.341 |            | 40          | 1.997         | 76.60   | 0.306 |
|            | 80          | 1.940         | 74.87   | 0.336 |            | 80          | 1.978         | 75.87   | 0.318 |
| 40         | 0           | 1.877         | 72.19   | 0.385 | 80         | 0           | 1.727         | 66.18   | 0.511 |
|            | 5           | 2.040         | 78.46   | 0.275 |            | 5           | 1.965         | 75.30   | 0.328 |
|            | 10          | 2.031         | 78.11   | 0.280 |            | 10          | 1.967         | 75.38   | 0.327 |
|            | 20          | 2.027         | 77.96   | 0.283 |            | 20          | 1.965         | 75.30   | 0.328 |
|            | 40          | 2.014         | 77.46   | 0.291 |            | 40          | 1.933         | 74.08   | 0.350 |
|            | 80          | 1.990         | 76.53   | 0.307 |            | 80          | 1.917         | 73.47   | 0.361 |
| 50         | 0           | 1.927         | 74.04   | 0.351 | 100        | 0           | 1.520         | 58.15   | 0.720 |
|            | 5           | 2.110         | 81.08   | 0.233 |            | 5           | 1.711         | 65.46   | 0.528 |
|            | 10          | 2.104         | 80.85   | 0.237 |            | 10          | 1.735         | 66.37   | 0.507 |
|            | 20          | 2.104         | 80.85   | 0.237 |            | 20          | 1.740         | 66.56   | 0.502 |
|            | 40          | 2.084         | 80.08   | 0.249 |            | 40          | 1.755         | 67.14   | 0.489 |
|            | 80          | 2.033         | 78.12   | 0.280 |            | 80          | 1.782         | 68.17   | 0.467 |
| 60         | 0           | 1.932         | 74.17   | 0.348 |            |             |               |         |       |
|            | 5           | 2.101         | 80.66   | 0.240 |            |             |               |         |       |
|            | 10          | 2.103         | 80.74   | 0.239 |            |             |               |         |       |
|            | 20          | 2.080         | 79.85   | 0.252 |            |             |               |         |       |
|            | 40          | 2.042         | 78.39   | 0.276 |            |             |               |         |       |
|            | 80          | 2.026         | 77.78   | 0.286 |            |             |               |         |       |

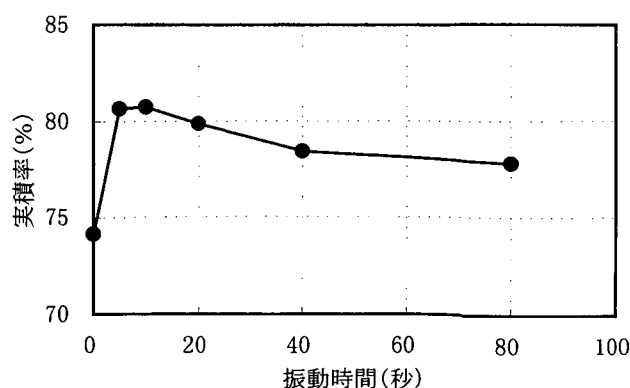


図-3.5.3 振動時間と実積率の関係  
(粗骨材混合率60%の場合)

### 3. 6 異なった粒度分布を有する2種類の粒子（2粒度粒子）を混合したときの間隙比

ここでは、3. 4節の粉体と細骨材の混合物（粉粒体）、3. 5節の細骨材と粗骨材の混合物（細粗混合骨材）のように、粒度を有する細粒子と粗粒子（以下、ここでは2粒度粒子と呼ぶ）混合物の空隙特性の解析を行う。

#### 3.6.1 混合2粒子の相互干渉と間隙比<sup>3.5)</sup>

細粒子の体積を  $s$ 、粗粒子の体積を  $g$  とすると、細粒子に対する粗粒子の混合率  $x$  は次式となる。

$$x = \frac{g}{s + g}, \quad 1 - x = \frac{s}{s + g} \dots \dots (3.6.1)$$

粉粒体の空隙に関する指標としては、コンクリート工学では一般に実積率が用いられる。空隙量を  $v$  とすると、実積率  $J$  は、

$$J = \frac{s + g}{s + g + v} \dots \dots \dots (3.6.2)$$

となり、分母に変化する空隙量  $v$  を含むことになるため、ここでは間隙比  $e$  を用いることとする。

$$e = \frac{v}{s + g} \dots \dots \dots (3.6.3)$$

まず、図-3.6.1 (a) のように細粒子だけ（細粒子相）のところに (b) のように粗粒子を加えた場合を考えると、全体の空隙体積  $v$  は細粒子相のみの空隙量と変わらない。全体の粒子体積は、細粒子のみの体積  $s$  より粗粒子の体積分だけ増加する ( $s + g$ )。

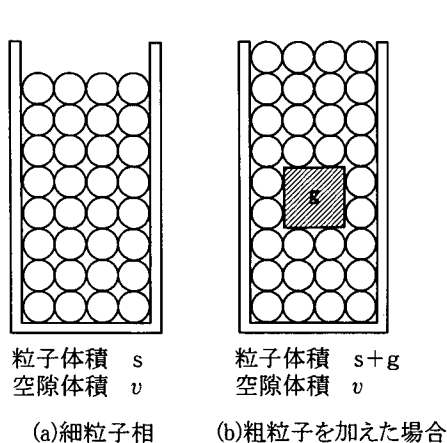


図-3.6.1 細粒子相に粗粒子を加えた場合

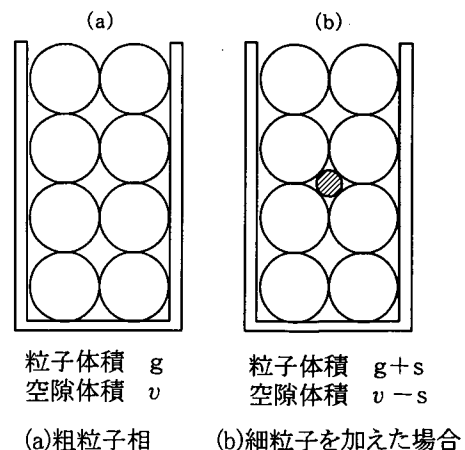


図-3.6.2 粗粒子相に細粒子を加えた場合

次に、図-3.6.2 (a) のように粗粒子だけ（粗粒子相）のところへ (b) のように細粒子を加えた場合、細粒子が粗粒子の間隙に入り込んだと想定すると、全体の空隙量は粗粒子相のみの空隙  $v$  より細粒子の体積

分だけ減少する ( $v - s$ )。全体の粒子体積は、粗粒子のみの体積  $g$  より細粒子分だけ増加する ( $s + g$ )。細粒子のみの空隙量 (図-3.6.1 (a)) は細粒子相の空隙比を  $e_0$  とすると、

$$v = s \cdot e_0 \cdots \cdots (3.6.4)$$

なので、図-3.6.1 (b) の状態の空隙比を  $B(x)$  とすると、

$$B(x) = \frac{s \cdot e_0}{s + g} = e_0 (1 - x) \cdots \cdots (3.6.5)$$

また、粗粒子のみの空隙量 (図-3.6.2 (a)) は、粗粒子相の空隙比を  $e_1$  とすると、図-3.6.2 (b) の状態の空隙比  $C(x)$  は、

$$C(x) = \frac{g \cdot e_1 - s}{s + g} = e_1 \cdot x - (1 - x) = (1 + e_1) x - 1 \cdots \cdots (3.6.6)$$

式 (3.6.5) および式 (3.6.6) は図-3.6.3 のようになる。これは、仮想の空隙比線図である。

実際には、図-3.6.4 の太い実線のように細粒子が粗粒子の接点に入り込む「相互干渉」を受けることによって空隙が増加する。この結果、仮想空隙比線図より空隙比は大きくなる (図-3.4.1, 3.4.2, 3.5.1, 3.5.2 の (b) 図参照)。

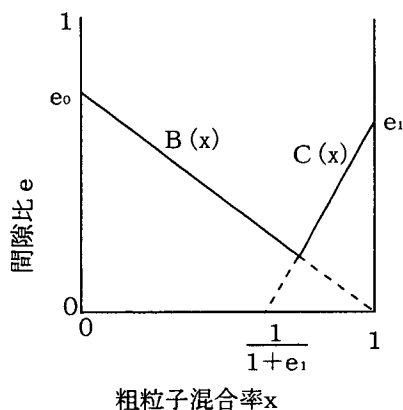


図-3.6.3 仮想空隙比線図

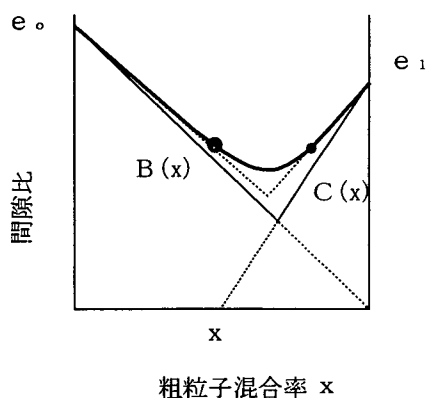


図-3.6.4 実際の間隙比曲線

### 3.6.2 単一粒度の2粒子を混合したときの空隙比モデル (干渉係数の導入)

ここでは、空隙比に及ぼす相互干渉の影響を検討するため、高田ら<sup>3.6)</sup>の空隙比のモデルの適用性を試みる。高田らは、ほぼ均一な粒径 (単一粒度) の球形のガラスビーズを用いてモデルを構築している。その空隙比モデルの概要を以下に示す。

#### (1) 空隙比モデルの基本概念

図-3.6.5 には、2粒子を混合したときの空隙比モデルの基本的な概念図を示す。

いま、細粒子相に粗粒子が置換される過程を、相互干渉がない仮想状態を仮定すると、図-3.6.6 のような2つの状態が考えられる。

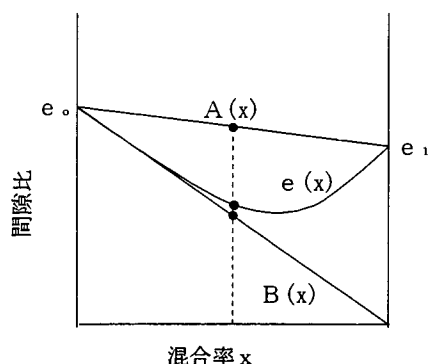


図-3.6.5 2粒子空隙比モデルの概念図

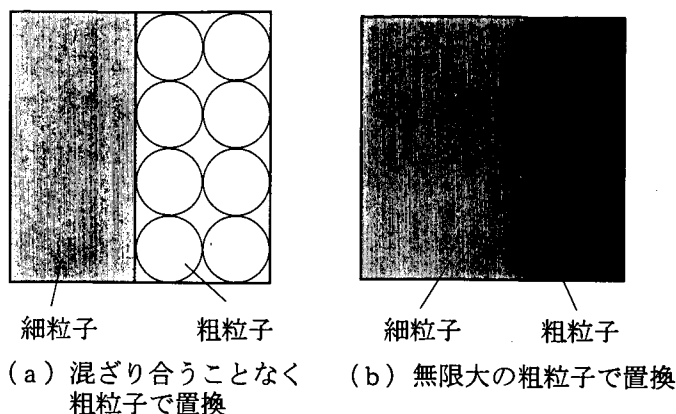


図-3.6.6 相互干渉のない混合状態

一つは(a)図のように2種類の粒子が全く混ざり合うことなく置換される場合であり、そのときの空隙比は図-3.6.5の直線A(x)となり、2粒子混合の場合の最大の空隙比を示す。

$$A(x) = e_0 (1 - x) + e_0 \cdot x \cdot \dots \cdot (3.6.7)$$

もう一つは、図-3.6.6(b)のように無限に大きい粗粒子で置換される場合であり、このときの空隙比は図-3.6.5の直線B(x)で示され、式(3.6.5)で表される。この場合は、2粒子混合の最小の空隙比を示す。

実際に2粒子を混合したときの空隙比は、A(x)とB(x)の2本の直線の間に存在することになる。

ここで、実際の空隙比e(x)に対し、粒子相互の干渉の程度を表す係数(以下、干渉係数と呼ぶ)k(x)を次式で定義する(図-3.6.5参照)。

$$k(x) = \frac{e(x) - B(x)}{A(x) - B(x)} \cdot \dots \cdot (3.6.8)$$

ここで、A(x)は式(3.6.7)、B(x)は式(3.6.5)である。

単一粒子を混合したときの干渉係数は図-3.6.7のように3本の直線で近似できるとされており、3つの領域にわけて検討されている。

## (2) 領域Iと干渉係数k<sub>I</sub>

混合率が小さい領域I(混合率0~x<sub>1</sub>)では、細粒子の中に少量の粗粒子が存在している領域であり、粗粒子の表面に細粒子が接している部分では局部的に空隙が大きくなるためと考えられており、空隙比がB(x)より混合率にほぼ比例して増大するため、干渉係数は一定値となる。このときの干渉係数をk<sub>I</sub>としている。

k<sub>I</sub>は細粒子と粗粒子の粒子径の比(以下、粒径比γ=細粒子の径d/粗粒子の径Dで表す)によって決

まる。実験より次式が示されている。

$$k_I = 1 - \exp(-6.1 \times \gamma^2) \dots \dots (3.6.9)$$

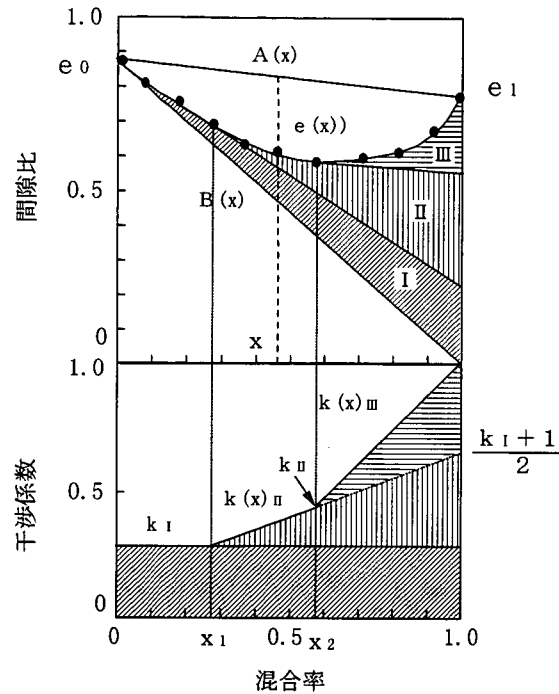


図-3.6.7 3領域の干渉係数

### (3)領域Ⅱの開始点 $x_1$ と干渉係数 $k(x)_{II}$

領域Ⅱは、混合率と間隙比の直線関係が崩れる  $x_1$  より大きい混合率の範囲である。混合率が増加すると粗粒子間隔は狭くなっていく。それに伴い細粒子と粗粒子の干渉によって空隙量がますます増大する領域である。

領域Ⅱの干渉係数  $k(x)_{II}$  とその開始点は次のように与えられている。

まず、開始点  $x_1$  は次のようになる。粗粒子の粒径を  $D$ 、粗粒子の間隔を  $t_1$  とすると次の関係式から、

$$x = \frac{1 + e_0}{\left(\frac{t_1}{D} + 1\right)^3 (1 + e_1) + e_0 - k(x) \cdot e_1} \dots \dots (3.6.10)$$

実験により  $x_1$  を求め、式 (3.6.10) に当てはめると  $t_1 = 1.2d$  ( $d$  : 細粒子の粒径) のときである。つまり、粗粒子の間隔が細粒子の粒径の 1.2 倍になったとき領域Ⅰから領域Ⅱへ移行する。

次に、 $k(x)_{II}$  は、実験結果から図-3.6.7 のように  $x = 1$  の切片が  $(k_I + 1)/2$  の直線に近似できることから、次式で与えられている。

$$k(x)_{II} = k_I + \frac{(1 - k_I)(x - x_1)}{2(1 - x_1)} \dots \dots (3.6.11)$$

#### (4)領域Ⅲの開始点 $x_2$ と干渉係数 $k(x)_{Ⅲ}$

領域Ⅲは、間隙比が最小値（最密状態）となる混合率  $x_2$  から混合率 100%までの領域がある。混合率が  $x_2$  より大きくなると、粗粒子の間隙に存在する細粒子が取り除かれていくことになるので間隙比はさらに増大し、最終的に  $e_1$  となる。

領域の開始点  $x_2$  は、実験結果を式 (3.6.10) に当てはめると、 $t_2=0.12D$  のとき、つまり粗粒子の間隔の  $0.12D$  より小さいとき領域ⅡからⅢへ移行する。

混合率が  $x_2$  より大きいときの干渉係数  $k(x)_{Ⅲ}$  は、次式で与えられる。

$$k(x)_{Ⅲ} = \frac{k_{Ⅱ} + (1 + k_{Ⅱ})(x - x_2)}{1 - x_2} \dots \dots (3.6.12)$$

ただし、 $k_{Ⅱ}$  は領域ⅡからⅢへ移行するときの干渉係数であり、 $x_2$  を式 (3.6.11) に代入して求めた値である。

#### (5) $x_1 > x_2$ のときの干渉係数

$x_1$  と  $x_2$  の定義から、粒径比  $\gamma$  が 0.1 より小さいときには  $x_1 > x_2$  となる。この場合、状態Ⅱが起こる前に状態Ⅲが起こり、状態Ⅰから状態Ⅲへ移行し、干渉係数は2直線でモデル化される。

### 3.6.3 混合2粒度粒子の間隙比

#### (1)試験結果

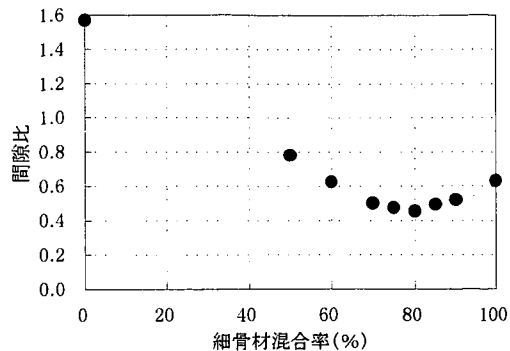
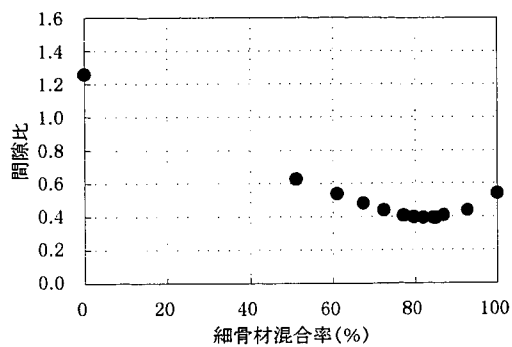
粉粒体の間隙比の結果は表-3.4.1, 3.4.2, 細粗混合骨材の間隙比の結果は表-3.5.1, 3.5.2 のとおりである。また、それらの結果から式 (3.6.8) によって求めた干渉係数も同表に示す。これらの結果をグラフに表したのが図-3.6.8 である。

混合率が小さいときの試験結果がないので領域Ⅰの干渉係数  $k_I$  は明確ではないが、いずれも  $k_I \doteq 0$  であることがわかる。また、間隙比モデルのようにほぼ3つの直線で干渉係数を表すことができそうである。

振動法の試験の結果は、細粒子と粗粒子が分離していたことから、図-3.6.6 の (a) 図のような状態になり、混合率と間隙比の関係は図-3.6.5 の直線  $A(x)$  のようになるのか確認した。表-3.5.3 の結果から、振動時間 80 秒のときの結果を表-3.6.1 に示す。JIS 法の場合 (表-3.5.1) と比較するため、 $A(x)$  で正規化した結果を図-3.6.9 に示す。振動法は JIS 法により間隙比が大きくなっており、分離が進んでいることを示している。

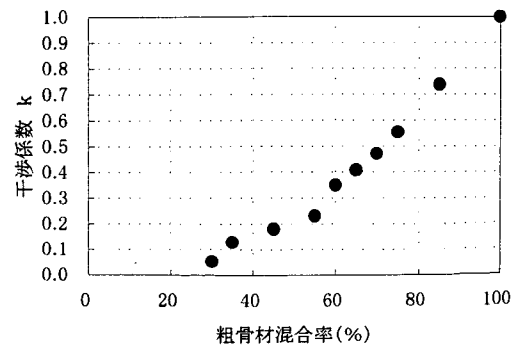
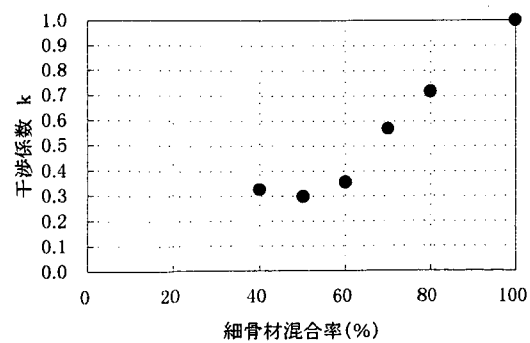
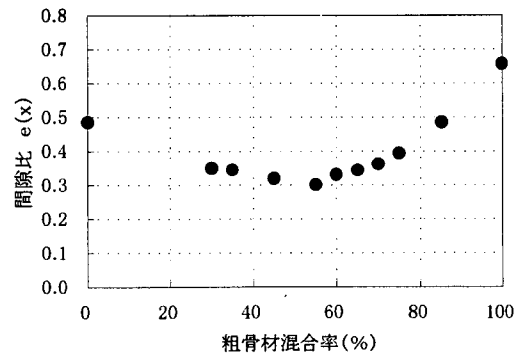
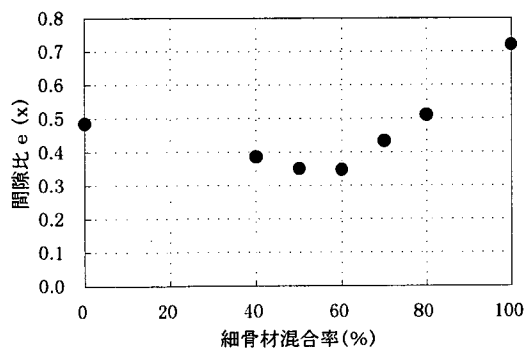
表-3.6.1 振動法80秒のときの実積率, 間隙比

| 細骨材<br>混合率<br>$x$ (%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 間隙比<br>$e(x)$ | $A(x)$ | $B(x)$ | 干渉係数<br>$k(x)$ |
|-----------------------|----------------------|------------|---------------|--------|--------|----------------|
| 0                     | 1.940                | 74.87      | 0.336         | 0.336  | 0.336  |                |
| 40                    | 1.990                | 76.53      | 0.307         | 0.388  | 0.202  | 0.564          |
| 50                    | 2.033                | 78.12      | 0.280         | 0.402  | 0.168  | 0.480          |
| 60                    | 2.026                | 77.78      | 0.286         | 0.415  | 0.134  | 0.541          |
| 70                    | 1.978                | 75.87      | 0.318         | 0.428  | 0.101  | 0.664          |
| 80                    | 1.917                | 73.47      | 0.361         | 0.441  | 0.067  | 0.786          |
| 100                   | 1.782                | 68.17      | 0.467         | 0.467  | 0.000  | 1.000          |



(a-1) 粉粒体 (Y骨材)

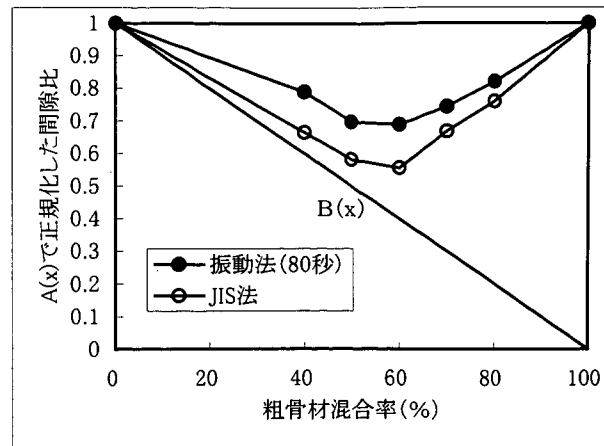
(a-2) 粉粒体 (Ks骨材)



(b-1) 細粗混合骨材 (Y骨材)

(b-2) 細粗混合骨材 (Ks骨材)

図-3.6.8 混合率と間隙比および干渉係数の関係



図－3.6.9 振動法とJIS法による間隙比の比較

## (2)間隙比モデルの適用

間隙比モデルによる計算結果を表－3.6.2 に示す。その結果を、試験結果と比較したのが図－3.6.10 である。

表－3.6.2 間隙比モデルの計算結果

| 2粒度粒子の種類 | 骨材の種類 | 平均粒径(mm) |       | 粒径比 $\gamma$<br>$d/D$ | 細・粗粒子の間隙比 |       | 間隙比モデルによる計算結果 |       |       |
|----------|-------|----------|-------|-----------------------|-----------|-------|---------------|-------|-------|
|          |       | 細粒子d     | 粗粒子D  |                       | $e_0$     | $e_1$ | $k_I$         | $x_1$ | $x_2$ |
| 粉粒体      | Y     | 0.0119   | 0.659 | 0.0181                | 1.260     | 0.540 | 0.00199       | 0.779 | 0.660 |
|          | Ks    | 0.0243   | 0.761 | 0.0319                | 1.570     | 0.632 | 0.0062        | 0.757 | 0.665 |
| 細粗混合骨材   | Y     | 0.659    | 11.6  | 0.0568                | 0.485     | 0.720 | 0.01949       | 0.575 | 0.512 |
|          | Ks    | 0.761    | 20.3  | 0.0375                | 0.485     | 0.657 | 0.00854       | 0.625 | 0.528 |

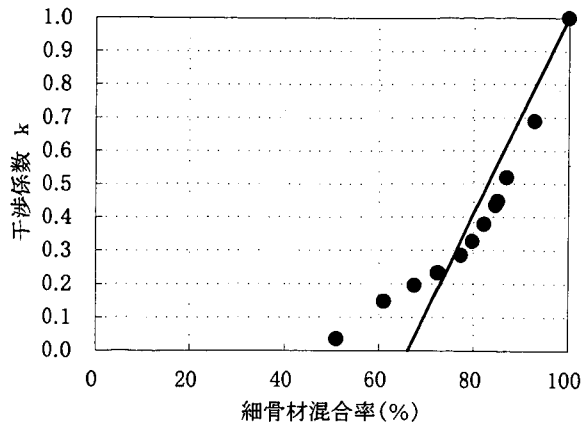
領域Ⅰの干渉係数  $k_I$  は試験値、計算値ともほぼゼロである。

領域ⅠとⅡの境界となる混合率  $x_1$ 、領域ⅡとⅢの境界となる混合率  $x_2$  の計算の結果、 $x_1 > x_2$  となっており、間隙比モデルでは領域Ⅱは存在せず、干渉係数は2直線で表されることになる。

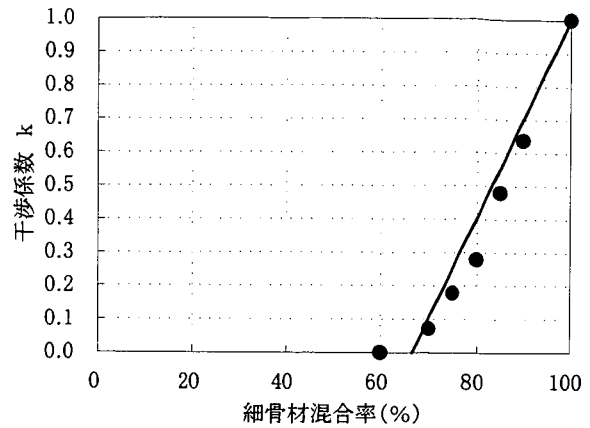
計算結果は図－3.6.10 のように実測値とは一致していない。この原因として、間隙比モデルは球形の単一の粒子によって構築されているのに対し、実際には今回実施したように粒度分布を有している（2粒度粒子）ためと考えられる。

## (3)間隙比モデルの修正

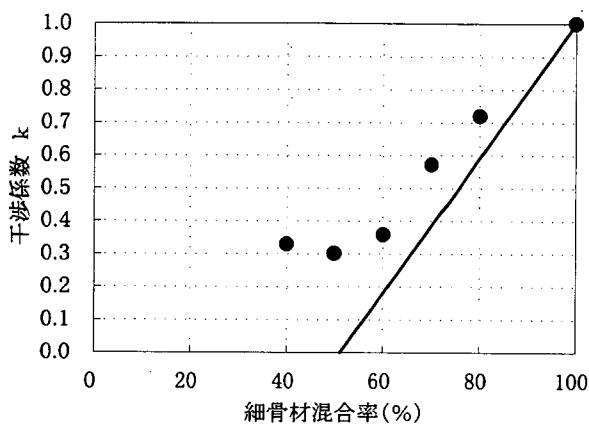
2粒度粒子の干渉係数を、今回実施した4つの試験結果から推測すると以下ようになる（図－3.6.11）。領域などの呼び方は踏襲することとする。



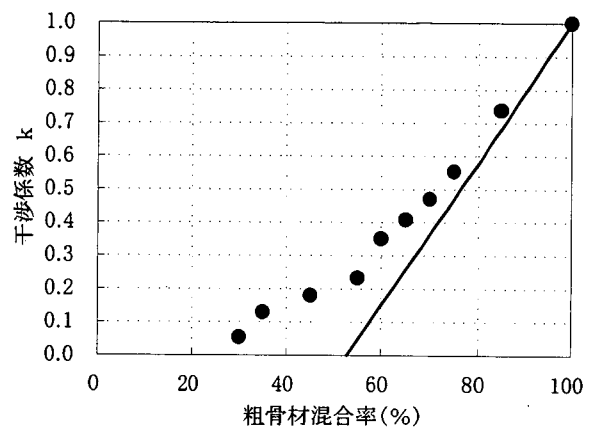
(a-1) 粉粒体 (Y骨材)



(a-2) 粉粒体 (Ks骨材)



(b-1) 細粗混合骨材 (Y骨材)



(b-2) 細粗混合骨材 (Ks骨材)

図-3.6.10 間隙比モデルによる干渉係数の試験値と解析値の比較

### 1) 干渉係数 $k_I$

まず、領域Ⅰの干渉係数  $k_I$  は、今回のように粒径比  $\gamma$  が小さい場合  $k_I \approx 0$  と考えてよいであろう。ただし、式 (3.2.1) で表す均等数  $n$  が小さく、粒度分布が広い場合、細粒子の大きい粒径と粗粒子の小さい粒径の相互干渉を生じやすくなり、さらに検討が必要になる可能性もある。

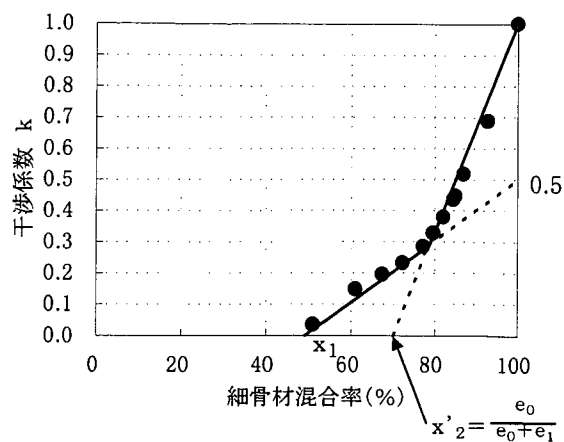
### 2) 領域Ⅱの開始点 $x_1$ と干渉係数 $k(x)_{II}$

干渉係数  $k(x)_{II}$  は、図-3.6.11 のように、間隙比モデルの場合と同様、混合率  $x = 1$  の切片が  $1/2$  になる直線で近似できている。

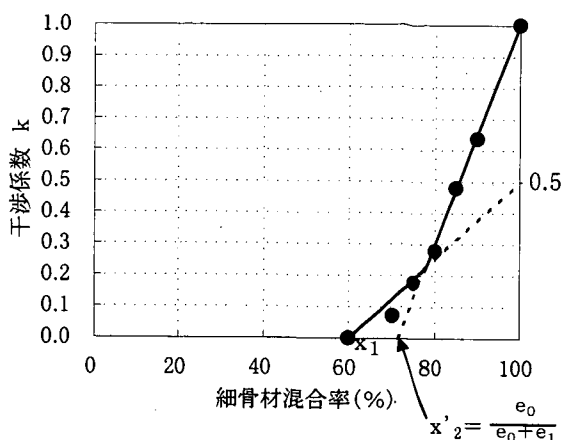
この結果から  $x$  軸に交わる点 ( $x_1$ ) を求め、次式に当てはめて回帰すると表-3.6.3 のようになった。

$$\frac{x_1}{x'_2} = \frac{a}{n^*} + b\gamma + c \cdots \cdots (3.6.13)$$

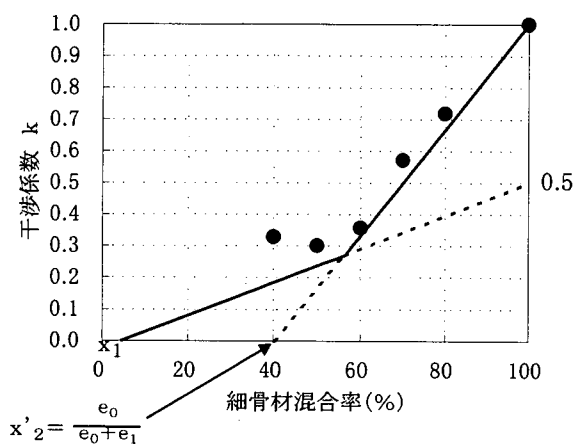
ここに、 $n^*$  : 細粒子と粗粒子の粒度分布から求めた均等数  $n$  の比



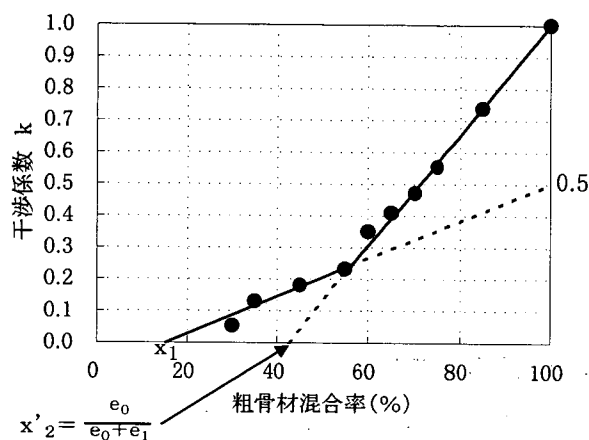
(a-1) 粉粒体 (Y骨材)



(a-2) 粉粒体 Ks骨材



(b-1) 細粗混合骨材 (Y骨材)



(b-2) 細粗混合骨材 (Ks骨材)

図-3.6.11 干渉係数の試験値と修正値の比較

表-3.6.3 修正間隙比モデルの計算結果

| 2粒度粒子の種類 | 骨材の種類 | 細・粗粒子の均等数 $n$ とその比 $n^*$ |           |                 | 領域Ⅱの開始点 |       | $x'_2 = \frac{e_0}{e_0 + e_1}$ | 領域Ⅲの開始点 |       |
|----------|-------|--------------------------|-----------|-----------------|---------|-------|--------------------------------|---------|-------|
|          |       | 細粒子 $n_0$                | 粗粒子 $n_1$ | $n^* = n_0/n_1$ | $x_1$   | 間隙比   |                                | $x_2$   | 間隙比   |
| 粉粒体      | Y     | 0.637                    | 0.969     | 0.657           | 0.492   | 0.640 | 0.700                          | 0.787   | 0.392 |
|          | Ks    | 1.2                      | 1.072     | 1.119           | 0.600   | 0.628 | 0.713                          | 0.776   | 0.460 |
| 細粗混合     | Y     | 0.969                    | 2.463     | 0.393           | 0.046   | 0.463 | 0.402                          | 0.565   | 0.322 |
|          | Ks    | 1.072                    | 2.374     | 0.452           | 0.153   | 0.411 | 0.425                          | 0.564   | 0.301 |

$\gamma$  : 粒径比

$x'_2$  : 干渉係数  $k(x)_{\text{III}}$  と  $x$  軸の交点 (次項で説明)

$a$ ,  $b$ ,  $c$  : 回帰係数, 回帰の結果  $a=0.637$ ,  $b=-10.9$ ,  $c=0.480$  であった。

式 (3.6.13) に細粒子と粗粒子の均等数の比  $n^*$  を取り入れたのは, 粒度分布の影響を考慮するためである。均等数が小さいほど粒度の分布範囲は広がるので, 細粒子の大きい粒径のものと粗粒子の小さい粒径のものの干渉の影響は大きくなるものと考えたものである。

干渉係数  $k(x)_{\text{II}}$  は次式となる。

$$k(x)_{II} = \frac{1}{2} \frac{x - x_1}{1 - x_1} \dots \dots (3.6.14)$$

### 3) 領域Ⅲの開始点 $x_2$ と干渉係数 $k(x)_{III}$

干渉係数  $k(x)_{III}$  と  $x$  軸の交点  $x'_2$  は、図-3.6.11 のように式 (3.6.15) で近似できている。

$$x'_2 = e_0 / (e_0 + e_1) \dots \dots (3.6.15)$$

$x = 1$  のとき  $k_{(1)} = 1$  を結ぶ直線にほぼ一致している。そのときの干渉係数  $k(x)_{III}$  は次式で与えられる。

$$k(x)_{III} = \left(1 + \frac{e_0}{e_1}\right) x - \frac{e_0}{e_1} \dots \dots (3.6.16)$$

間隙比の最小値となる領域Ⅲの開始点  $x_2$  は、式 (3.6.14) と式 (3.6.16) から次式で得られる。

$$x_2 = \frac{2e_0(1 - x_1) - e_1x_1}{2(e_0 + e_1)(1 - x_1) - e_1} \dots \dots (3.6.17)$$

### (4) 修正間隙比モデルから求めた間隙比と試験値の比較

前頃の修正した間隙比モデルを修正間隙比モデルと呼ぶことにする。修正間隙比モデルによって求まる干渉係数を使った間隙比の解析は以下ようになる (図-3.6.12)。

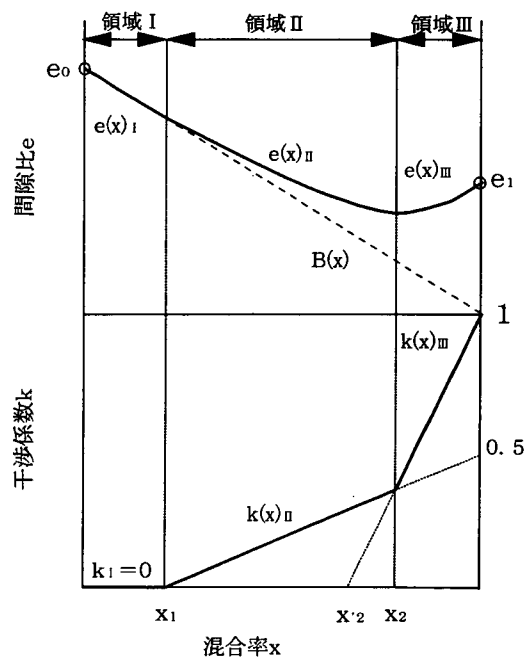


図-3.6.12 干渉係数と間隙比

### 1) 領域Ⅰ

細粒子と粗粒子の粒径比  $\gamma$  が小さく、実質的に  $k_I = 0$  と考えよい場合、領域Ⅱの開始点  $x_1$  までは直線  $B(x)$  となる。領域Ⅰの間隙比を  $e(x)_I$  とすると、式 (3.6.5) より

$$e(x)_I = e_0 (1 - x) \cdots \cdots (3.6.18)$$

ただし、 $0 \leq x \leq x_1$

### 2) 領域Ⅱ

$x > x_1$  の場合、式 (3.6.8) より間隙比は、

$$\begin{aligned} e(x) &= k(x) \{A(x) - B(x)\} + B(x) \\ &= \{k(x) \cdot e_1 - e_0\} x + e_0 \cdots \cdots (3.6.19) \end{aligned}$$

領域Ⅱの干渉係数  $k(x) = k(x)_{II}$  であり、式(3.6.14)を式(3.6.19)に代入することによって間隙比が求められる。ただし、 $x_1 < x \leq x_2$  である。

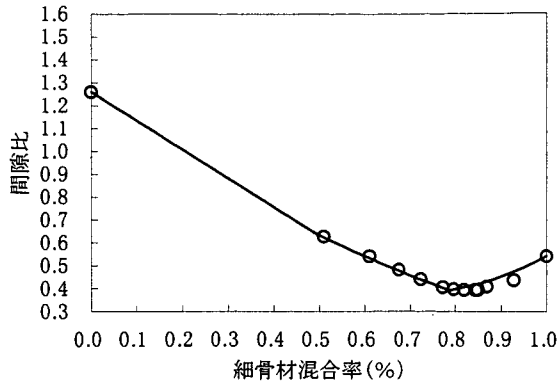
### 3) 領域Ⅲ

領域ⅢもⅡと同様に、式 (3.6.16) を式(3.6.19)に代入することによって間隙比が求められる。ただし、 $x_2 < x \leq 1$  である。

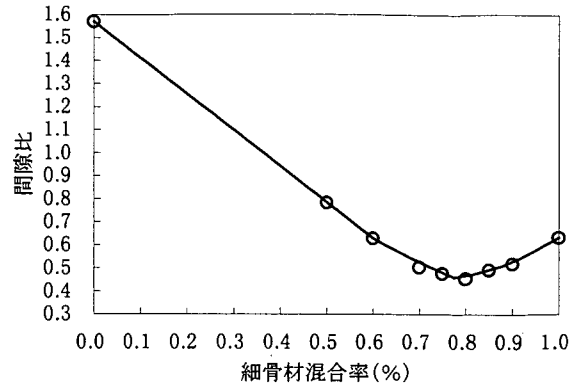
### 4) 解析値との比較

修正間隙比モデルによる間隙比の解析値と試験値を比較すると図-3.6.13 および表-3.6.3 のようになり、よく一致している。

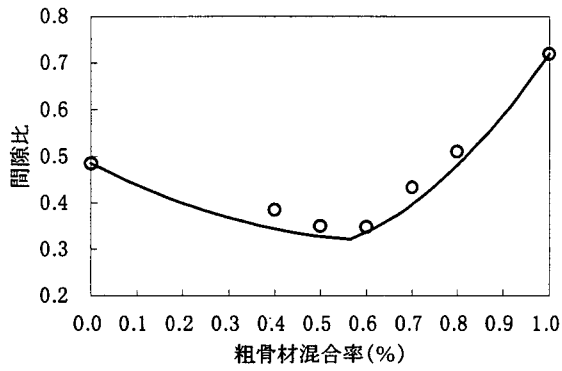
修正間隙比モデルは物理的説明が不明確という根本的な問題があり、今後の検討を要する。しかしながら、粉粒体、細粗混合骨材という粒度、粒径の異なる2種類4ケースの試験結果を統一的に示すことができることから、以降のコンクリートのワーカビリティを検討する場合にはこの修正モデルを用いることにする。



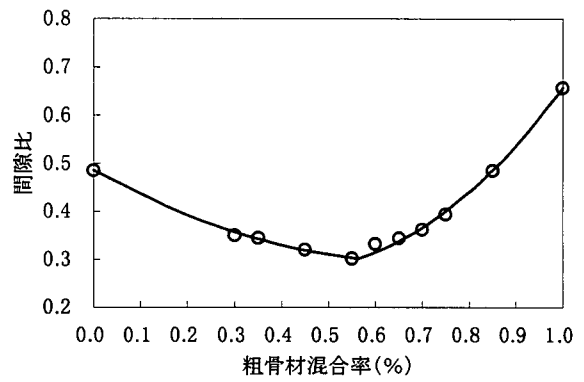
(a-1) Y細骨材と石粉YCM混合



(a-2) Ks細骨材と粉体混合



(b-1) Y骨材の細粗混合骨材



(b-2) Ks骨材の細粗混合骨材

図-3.6.13 修正間隙比モデルによる間隙比の試験値と解析値の比較

## 4章 Y骨材を用いた超硬練りコンクリート

### 4.1 使用材料

#### (1) 骨 材

粗骨材は、CLとCMを混合したものと、CLのみの2種類を用いた（表-3.3.2(a)参照）。

細骨材は、CLとCMを混合したものをを用いた（表-3.3.2(b)参照）。

#### (2) 石 粉

石粉は、YCMを用いた（表-3.2.3 参照）。

#### (3) 結合材

セメントは、中庸熟ポルトランドセメントM1 および普通ポルトランドセメントNを用いた（表-3.2.3 参照）。フライアッシュF1の置換率は50%とした。

#### (4) 混和剤

混和剤にはリグニンスルホン酸化合物を主成分とする遅延型のAE減水剤（ポゾリスNo.8）を標準量（結合材の質量×0.25%）を用いた。

### 4.2 基本配合

#### 4.2.1 配合条件

コンクリート試験は、まず粗骨材の最大寸法が40mmのRCD用コンクリートという条件を、ワーカビリティの面で満たす基本配合を決定することから行った。通常のRCD用コンクリートと比較すると、骨材の最大寸法が小さくなることからその空隙を埋めるためのペースト分がより多く必要になること、ペースト分の増大にともなう水和熱の増大が懸念されること等を考慮して、あらかじめ以下の条件を設定して試験練りを行った。

- ① 単位結合材量（B）140kg/m<sup>3</sup>
- ② フライアッシュF1によるセメントの置換率（F/B）50%
- ③ 目標VC値に30秒
- ④ 中庸熟ポルトランドセメントM1 および普通ポルトランドセメントNを使用

、単位結合材量は粗骨材の最大寸法が小さいことから粗骨材の実積率が低下するため、単位結合材量、通常の120kg/m<sup>3</sup>より増加させた。さらにフライアッシュ置換率も単位結合材量の増加にともなう水和熱の増大の抑制及び粉体量を増やすことを考慮して、通常の30%より増加させた。普通ポルトランドセメントを用いたのは、フライアッシュを多量置換したとき、中庸熟ポルトランドセメントではCa(OH)<sub>2</sub>の不足により長期の強度発現が得られないことが考えられたためである。目標VC値は、明石海峡大橋1Aアンカレイジで検討されたRCCを参考に30秒と設定した<sup>4.1)</sup>。

#### 4.2.2 配合試験

配合試験は通常どおり、以下の手順で行った。

##### (1)単位水量試験

単位結合材量  $140 \text{ kg/m}^3$ ，細骨材率を 40%一定としておき，単位水量を  $100 \sim 130 \text{ kg/m}^3$  まで  $10 \text{ kg/m}^3$  ずつ変化させ，VC 値が 30 秒のときの単位水量を求めた。

## (2)最適細骨材率

上記(1)で求めた単位水量一定としておき，細骨材率を 30～50%まで 5 %ずつ変化させて VC 試験を行い，VC 値が最小となる細骨材率（最適細骨材率）を求めた。

## (3)材料の組合せ

配合試験を行った材料の組合せは，表-4.2.1 のように結合材はフライアッシュを 50%置換した M1 および N を，粗骨材は CM と CL の混合と粗骨材の CL のみの 2 種類，細骨材は CM と CL の混合である。

表-4.2.1 Y骨材の配合試験(材料の組合せ)

| 結合材の種類 | フライアッシュ置換率 | 粗骨材 | 細骨材 | 単位水量 | 細骨材率 |
|--------|------------|-----|-----|------|------|
| M1     | 50         | 混合  | 混合  | ○    | ○    |
|        |            | CL  |     | ○    | ○    |
| N      | 50         | 混合  | 混合  | ○    |      |

## (4)練混ぜ方法

50 ℓ の 2 軸強制練りミキサーを用い，細骨材と結合材を投入して 10 秒空練りし，水を加えて 30 秒，粗骨材を加えて 90 秒練混ぜた。

## (5)VC 試験

土木学会規準(JSCE-F507-1995)「RCD 用コンクリートのコンシステンシー試験方法 (案)」によった。

## (6)強度試験

圧縮強度および割裂引張強度試験用供試体の作成は， $\phi 12.5 \times 25 \text{ cm}$  の型枠に 3 層に分けて試料を詰め，各層を突き棒で 15 回突き固め，表面を平らに均し，タンパー締固め機により型枠とタンパーのすき間からペーストが出てくるまで締め固めた。

圧縮強度試験は JIS A 1108-1993，割裂引張強度試験は JIS A 1113-1993 に準じて行った。

## 4.2.3 配合試験結果

### (1)試験配合

配合試験を行った配合は表-4.2.2 のとおりである。結合材 M50 の粗骨材に混合を用いた場合は，細骨材率 38%で石粉を細骨材中の 2 %混入している。

### (2)試験結果

配合試験結果を表-4.2.3 および図-4.2.1～4.2.7 に示す。

### (3)単位水量および細骨材率

単位水量と VC 値の関係は図-4.2.1 のとおり，VC 値を対数で表すと直線関係にあることがわかる。この関係を次式で回帰した結果を表-4.2.4 に示す。

$$\log VC = a \cdot w + b \cdots \cdots (4.2.1)$$

粗骨材，結合材が異なっても両者の関係は近似しており，VC 値 30 秒のときに相当する単位水量は粗骨

材に混合を用いた場合、113、114、CLの場合  $116\text{kg/m}^3$ であった。

細骨材率とVC値の関係は図-4.2.2のとおりであり、両者の関係を次式によって回帰した結果も表-4.2.4に示す。

$$VC = a(s/a)^2 + b(s/a) + c \dots\dots\dots (4.2.2)$$

細骨材率についても粗骨材の種類による違いはほとんどなく、細骨材率 38%のときVC値が最小値であった（最適細骨材率）。

表-4.2.4 配合試験による回帰結果

| 試験項目 | 結合材の種類 | 粗骨材の種類 | 回帰係数    |       |       | 相関係数  | 最適値*<br>kg/m <sup>3</sup> または% | 配合決定値<br>kg/m <sup>3</sup> または% |
|------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|--------------------------------|---------------------------------|
|      |        |        | a       | b     | c     |       |                                |                                 |
| 単位水量 | N50    | 混合     | -0.0316 | 5.053 | —     | 1.000 | 113.3                          | 113                             |
|      | M50    | 混合     | -0.0485 | 7.009 | —     | 1.000 | 114.1                          |                                 |
|      | M50    | CL     | -0.0371 | 5.779 | —     | 0.998 | 116.0                          | 116                             |
| 細骨材率 | M50    | 混合     | 0.0886  | -6.85 | 161.7 | 0.533 | 38.6                           | 38                              |
|      | M50    | CL     | 0.0729  | -5.46 | 127.6 | 0.881 | 37.5                           |                                 |

\*単位水量はVC値が30秒のときの値(kg/m<sup>3</sup>)  
細骨材率はVC値が最小のときの値(%)

強度試験の結果は図-4.2.3～4.2.7のとおりである。圧縮強度、割裂引張強度とも単位水量が増えると強度は低下する一般的傾向を示している(図-4.2.3 および図-4.2.6)。ヤング係数も圧縮強度が大きくなると大きくなる一般的傾向を示している(図-4.2.5)。細骨材率と強度の関係(図-4.2.4 および図-4.2.7)は、強度がほぼ一定値であり、この程度の細骨材率であれば強度に及ぼす影響はほとんどない。

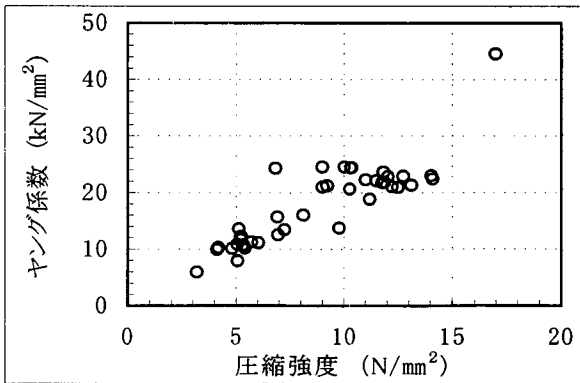


図-4.2.5 圧縮強度とヤング係数の関係

4.2.4 基本配合

以上の結果より、基本配合の単位水量は粗骨材が混合の場合  $113\text{kg/m}^3$ 、CLの場合  $116\text{kg/m}^3$ 、細骨材率は 38%とした。その時の配合を表-4.2.5に示す。

表-4.2.5 基本配合

| 粗骨材<br>の種類 | F/B<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |    |     |   |     |     |      |   |
|------------|------------|------------|-------------------------|-----|----|----|-----|---|-----|-----|------|---|
|            |            |            | W                       | B   | C  |    | F   | S | Pw1 | Pw0 | S0   | G |
|            |            |            |                         |     |    |    |     |   |     |     |      |   |
| 混合         | 50         | 38         | 113                     | 140 | 70 | 70 | 833 | 0 | 109 | 707 | 1367 |   |
| CL         | 50         | 38         | 113                     | 140 | 70 | 70 | 829 | 0 | 109 | 703 | 1353 |   |

表-4.2.2 Y骨材の配合試験の配合表

| 試験項目 | 結合材の種類 | 粗骨材の種類 | W/B (%) | F/B (%) | pw1/s (%) | s/a (%) | G/Ug (m³/m³) | G/Ugv (m³/m³) | 単位量 (kg/m³) |       |      |      |        |      |       |       |        |       |       | 単位体積質量 (kg/l) |        |
|------|--------|--------|---------|---------|-----------|---------|--------------|---------------|-------------|-------|------|------|--------|------|-------|-------|--------|-------|-------|---------------|--------|
|      |        |        |         |         |           |         |              |               | W           | B     | C    | F    | S      | Pw1  | Pw0   | S0    | G      | CL    | CM砂質  |               | CM泥質   |
|      |        |        |         |         |           |         |              |               |             |       |      |      |        |      |       |       |        |       |       |               |        |
| 単位水量 | N50    | 混合     | 71.4    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.884        | 0.769         | 100.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 890.5  | 0.0  | 121.0 | 771.2 | 1343.9 | 671.9 | 302.4 | 369.6         | 2476.0 |
|      |        |        | 78.6    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.874        | 0.760         | 110.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 880.0  | 0.0  | 119.5 | 762.1 | 1328.0 | 664.0 | 298.8 | 365.2         | 2459.6 |
|      |        |        | 85.7    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.863        | 0.751         | 120.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 869.5  | 0.0  | 118.1 | 753.0 | 1312.2 | 656.1 | 295.2 | 360.9         | 2443.3 |
|      |        |        | 92.9    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.853        | 0.742         | 130.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 859.0  | 0.0  | 116.7 | 743.9 | 1296.4 | 648.2 | 291.7 | 356.5         | 2426.9 |
|      | M50    | 混合     | 71.4    | 50.0    | 2.0       | 38.0    | 0.914        | 0.795         | 100.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 846.0  | 17.2 | 112.6 | 718.0 | 1388.7 | 694.3 | 312.5 | 381.9         | 2476.4 |
|      |        |        | 80.7    | 50.0    | 2.0       | 38.0    | 0.900        | 0.783         | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0  | 16.9 | 110.9 | 707.0 | 1367.4 | 683.7 | 307.7 | 376.0         | 2455.1 |
|      |        |        | 92.9    | 50.0    | 2.0       | 38.0    | 0.881        | 0.767         | 130.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 816.0  | 16.5 | 108.6 | 692.6 | 1339.6 | 669.8 | 301.4 | 368.4         | 2427.3 |
|      |        |        | 71.4    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.878        | 0.764         | 100.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 890.5  | 0.0  | 121.0 | 771.2 | 1334.2 | 671.9 | 302.4 | 369.6         | 2476.0 |
|      |        | CL     | 78.6    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.867        | 0.755         | 110.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 880.0  | 0.0  | 119.5 | 762.1 | 1318.5 | 664.0 | 298.8 | 365.2         | 2459.6 |
|      |        |        | 85.7    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.857        | 0.746         | 120.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 869.5  | 0.0  | 118.1 | 753.0 | 1302.8 | 656.1 | 295.2 | 360.9         | 2443.3 |
|      |        |        | 92.9    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.847        | 0.737         | 130.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 859.0  | 0.0  | 116.7 | 743.9 | 1287   | 648.2 | 291.7 | 356.5         | 2426.9 |
|      |        |        |         |         |           |         |              |               |             |       |      |      |        |      |       |       |        |       |       |               |        |
| 細骨材率 | M50    | 混合     | 80.7    | 50.0    | 0.0       | 30.0    | 1.016        | 0.884         | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 657.6  | 0.0  | 89.3  | 569.5 | 1543.8 | 771.9 | 347.4 | 424.6         | 2455.7 |
|      |        |        | 80.7    | 50.0    | 0.0       | 35.0    | 0.943        | 0.821         | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 767.2  | 0.0  | 104.2 | 664.4 | 1433.6 | 716.8 | 322.6 | 394.2         | 2455.2 |
|      |        |        | 80.7    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.871        | 0.757         | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 876.8  | 0.0  | 119.1 | 759.3 | 1323.3 | 661.6 | 297.7 | 363.9         | 2454.7 |
|      |        |        | 80.7    | 50.0    | 0.0       | 45.0    | 0.798        | 0.694         | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 986.4  | 0.0  | 134.0 | 854.3 | 1213.0 | 606.5 | 272.9 | 333.6         | 2454.3 |
|      |        |        | 80.7    | 50.0    | 0.0       | 50.0    | 0.725        | 0.631         | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 1096.1 | 0.0  | 148.9 | 949.2 | 1102.7 | 551.4 | 248.1 | 303.3         | 2453.8 |
|      |        | CL     | 82.9    | 50.0    | 0.0       | 30.0    | 1.005        | 0.874         | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 655.3  | 0.0  | 89.0  | 567.5 | 1527.2 | 771.9 | 347.4 | 424.6         | 2455.7 |
|      |        |        | 82.9    | 50.0    | 0.0       | 35.0    | 0.933        | 0.812         | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 764.5  | 0.0  | 103.8 | 662.0 | 1418.1 | 716.8 | 322.6 | 394.2         | 2455.2 |
|      |        |        | 82.9    | 50.0    | 0.0       | 40.0    | 0.861        | 0.749         | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 873.7  | 0.0  | 118.7 | 756.6 | 1309.0 | 661.6 | 297.7 | 363.9         | 2454.7 |
|      | M50    | CL     | 82.9    | 50.0    | 0.0       | 45.0    | 0.789        | 0.687         | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 982.9  | 0.0  | 133.5 | 851.2 | 1200.0 | 606.5 | 272.9 | 333.6         | 2454.3 |
|      |        |        | 82.9    | 50.0    | 0.0       | 50.0    | 0.718        | 0.624         | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 1092.1 | 0.0  | 148.4 | 945.8 | 1090.9 | 551.4 | 248.1 | 303.3         | 2453.8 |
|      |        |        |         |         |           |         |              |               |             |       |      |      |        |      |       |       |        |       |       |               |        |
|      |        |        |         |         |           |         |              |               |             |       |      |      |        |      |       |       |        |       |       |               |        |

注)記号は、表-2.2.3参照。UgはIS法による粗骨材の単位容積質量、Ugvは振動法の場合。よって、G/Ug、G/Ugvは単位粗骨材(かさ)容積である。

表-4.2.3 Y骨材の配合試験および強度結果

| 試験項目 | 材料・配合      |            |            |            |                           | VC試験    |      |       | 28日圧縮試験                      |                                | 28日割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 91日圧縮試験                      |                                |
|------|------------|------------|------------|------------|---------------------------|---------|------|-------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|      | 結合材<br>の種類 | 粗骨材<br>の種類 | 石粉量<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位水量<br>kg/m <sup>3</sup> | VC値 (秒) |      | 平均    | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kn/mm <sup>2</sup> ) |                                       | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kn/mm <sup>2</sup> ) |
| 単位水量 | N50        | 混合         | 0          | 40         | 100                       | 80      | 81   | 80.5  | 11.21                        | 18.9                           | 1.382                                 | 16.99                        | 44.6                           |
|      |            |            |            |            | 110                       | 37      | 37   | 37    | 9.78                         | 13.8                           | 1.102                                 | 14.12                        | 22.5                           |
|      |            |            |            |            | 120                       | 18      | 19   | 18.5  | 8.13                         | 16.0                           | 0.964                                 | 12.76                        | 22.9                           |
|      |            |            |            |            | 130                       | 9       | 9    | 9     | 6.95                         | 15.7                           | 0.766                                 | 11.79                        | 21.8                           |
|      | M50        | 混合         | 2          | 38         | 100                       | 140     | 143  | 141.5 | 7.27                         | 13.4                           | 0.859                                 | 14.06                        | 23.0                           |
|      |            |            |            |            | 113                       | 36      | 35   | 35.5  | 5.73                         | 11.3                           | 0.786                                 | 11.84                        | 23.7                           |
|      |            |            |            |            | 130                       | 5       | 5    | 5     | 4.13                         | 9.9                            | 0.531                                 | 9.23                         | 21.2                           |
|      |            | CL         | 0          | 40         | 100                       | 111     | 115  | 113   | 6.98                         | 12.6                           | 0.779                                 | 13.13                        | 21.4                           |
|      |            |            |            |            | 110                       | 45      | 57   | 51    | 6.04                         | 11.2                           | 0.710                                 | 11.03                        | 22.3                           |
|      |            |            |            |            | 120                       | 26      | 21   | 23.5  | 5.22                         | 12.3                           | 0.603                                 | 10.29                        | 20.6                           |
|      |            |            |            |            | 130                       | 8       | 9    | 8.5   | 4.18                         | 10.3                           | 0.517                                 | 9.02                         | 21.0                           |
| 細骨材率 | M50        | 混合         | 0          | 113        | 30                        | 33      | 31.5 | 5.38  | 10.6                         | 0.730                          | 11.88                                 | 21.8                         |                                |
|      |            |            |            |            | 41                        | 43      | 42   | 5.13  | 13.6                         | 0.816                          | 12.05                                 | 22.8                         |                                |
|      |            |            |            |            | 22                        | 23      | 22.5 | 5.26  | 12.3                         | 0.766                          | 11.54                                 | 22.1                         |                                |
|      |            |            |            |            | 27                        | 35      | 31   | 5.34  | 10.8                         | 0.876                          | 12.23                                 | 21.1                         |                                |
|      |            |            |            |            | 41                        | 45      | 43   | 5.42  | 10.2                         | 0.763                          | 12.51                                 | 20.9                         |                                |
|      |            | CL         | 0          | 113        | 30                        | 32      | 31   | 4.84  | 10.1                         | 0.600                          | 9.00                                  | 24.6                         |                                |
|      |            |            |            |            | 35                        | 21      | 23   | 22    | 5.08                         | 8.0                            | 0.590                                 | 10.03                        | 24.6                           |
|      |            |            |            |            | 40                        | 27      | 29   | 28    | 5.25                         | 11.7                           | 0.612                                 | 10.34                        | 24.5                           |
|      |            |            |            |            | 31                        | 30      | 30.5 | 5.06  | 10.9                         | 0.675                          | 10.37                                 | 24.4                         |                                |
|      |            |            |            |            | 37                        | 35      | 36   | 3.18  | 6.0                          | 0.370                          | 6.85                                  | 24.3                         |                                |
|      |            |            |            |            |                           |         |      |       |                              |                                |                                       |                              |                                |

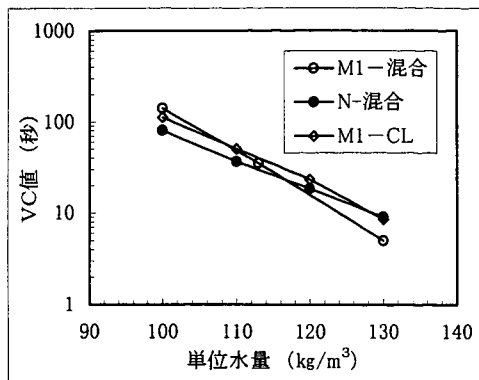


図-4.2.1 単位水量とVC値の関係

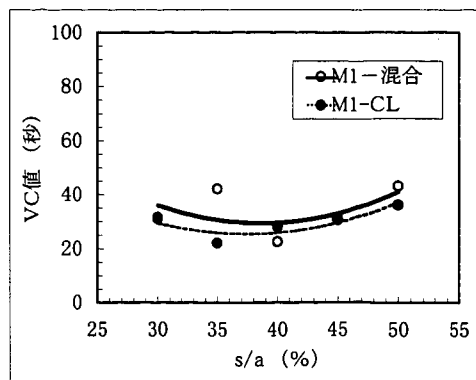
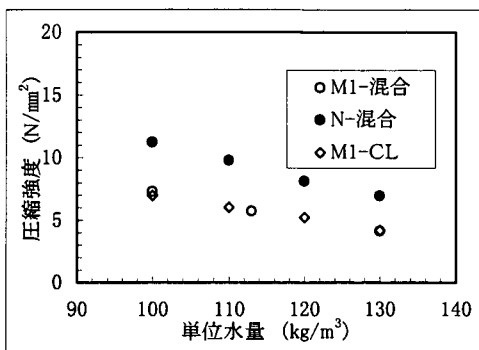
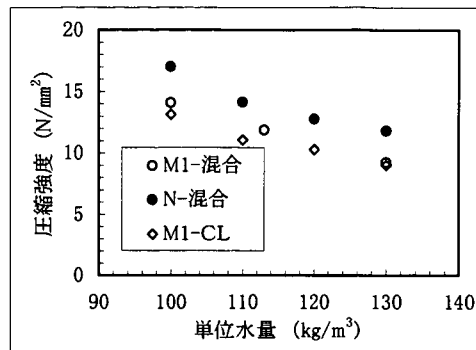


図-4.2.2 細骨材率と VC値の関係

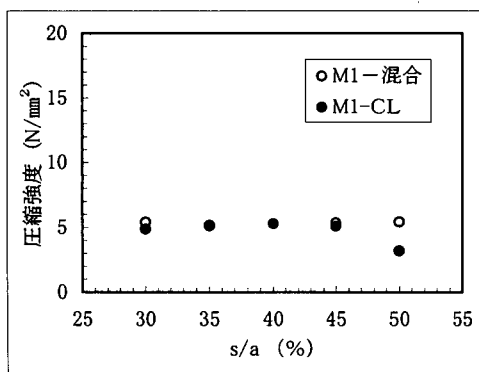


(a)28日

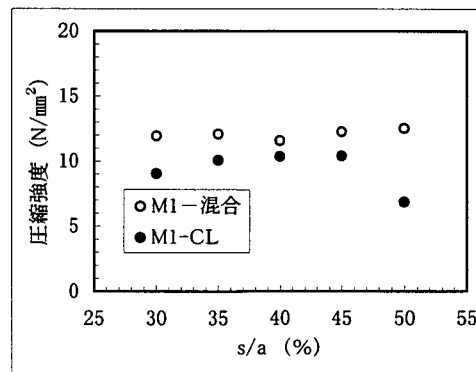


(b)91日

図-4.2.3 単位水量と圧縮強度の関係



(a)28日



(b)91日

図-4.2.4 細骨材率と圧縮強度の関係

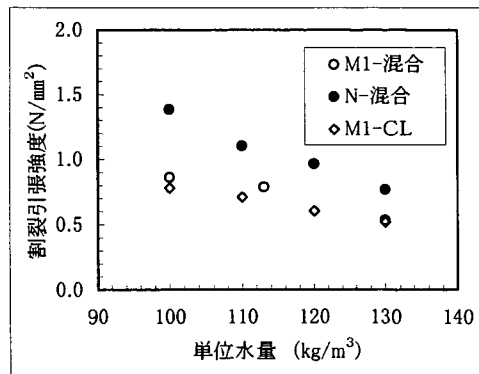


図-4.2.6 単位水量と割裂引張強度  
の関係(28日)

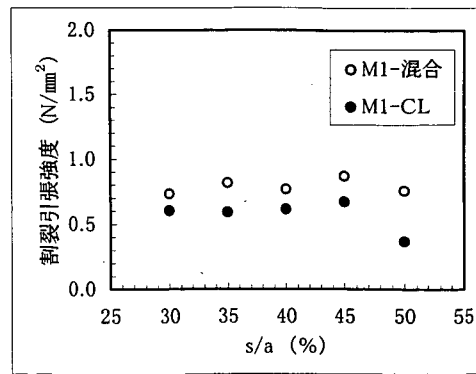


図-4.2.7 細骨材率と割裂引張強度  
の関係(28日)

#### 4. 3 ペーストおよびモルタル試験

##### 4.3.1 試験方法

###### (1)練混ぜ方法

ペーストは、水、混和剤、結合材、石粉を同時に投入し、120 秒練混ぜた。

モルタルは、結合材、細骨材、石粉を投入して 30 秒練混ぜた後、水と混和剤を投入し 120 秒練混ぜた。

###### (2) フロー試験

ペーストおよびモルタルのフローは JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準拠した。

###### (3) ハーフスランプ試験およびスプレッド試験

ペーストおよびモルタルのハーフスランプ試験に用いるスランプコーンは、コンクリート用スランプコーンの半分の寸法（高さ 15cm）であり、試験方法は JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準拠した。ハーフスランプ試験の状況は写真-4.3.1 のとおりである。

スプレッド試験とは DIN1048 に準拠した拡がり試験のことであり、試験台中央でペーストおよびモルタルのハーフスランプ試験を実施した後に 4 cm の落下運動を 15 回繰り返した時の拡がり（直径）を測定した。スプレッド試験の状況は写真-4.3.2 のとおりである。

(2)(3)については、練混ぜ直後（0 時間）と 1 時間ごとに 5 時間まで経時変化も測定した。また、打撃回数 0 回（0 打）と、5 回ごとにフロー値および拡がりを測定した。

###### (4) 粘性試験

ペーストおよびモルタルのレオロジー定数は、ずり応力-ずり速度曲線から、降伏値および塑性粘度を求めた。求め方は、図-4.3.1 のとおりである。

試験装置には、システム総合開発社製音叉型振動式粘度計 CJV2001 および振動式粘度計システムを用いた。

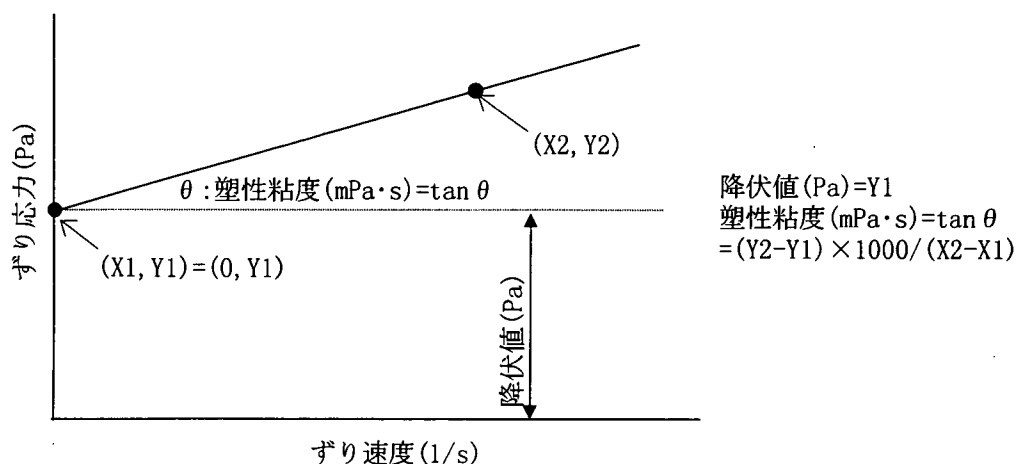


図-4.3.1 レオロジー定数の計算概念図

###### (5) 一面せん断試験

練混ぜ直後に、土質で行われている一面せん断試験を行った。垂直応力は  $0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$  ( $0.049\text{N}/\text{mm}^2$ ) ,  $1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$  ( $0.098\text{N}/\text{mm}^2$ ) ,  $2.0\text{kgf}/\text{cm}^2$  ( $0.196\text{N}/\text{mm}^2$ ) の 3 点とした。

#### (6) モルタルの圧縮強度試験

モルタルの圧縮強度試験は JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠した。ただし、供試体の寸法は $\phi 5 \times 10\text{cm}$ であり、成形は振幅 0.6mm、振動数 1500rpm の振動台上で2層に分けて締め固めた（1層 15 秒）。なお、試験材齢は 3, 7, 28, 91, 182, 365 日の 6 材齢とした。

#### 4.3.2 試験水準

ペースト、モルタルのフロー、ハーフスランプ、スプレッド、粘性試験を行った要因、水準は表-4.3.1 のとおりである。

表-4.3.1 の試験は、セメント M1 を使用し、セメント水比 C/W と細骨材セメント比 S/C を変化させた。S/C = 0 の場合がペーストであり、それ以外はモルタルである。備考欄の単位結合材量、細骨材率に該当するものは、4. 4 節で検討したコンクリートの配合に相当するものである。

ペースト、モルタルの配合は表-4.3.2, 4.3.3 のとおりである。

表-4.3.1 ペースト、モルタル試験の要因と水準

| C/W  | W/C (%) | S/C            |      |      |      |      |      |      | 備考                                       |
|------|---------|----------------|------|------|------|------|------|------|------------------------------------------|
|      |         | 0.00<br>(ペースト) | 2.50 | 4.70 | 5.16 | 5.95 | 7.00 | 7.83 |                                          |
| 3.5  | 28.6    | ○              |      |      |      |      |      |      | 単位<br>結合材量<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |
| 3.0  | 33.3    | ○              |      |      |      |      |      |      |                                          |
| 2.5  | 40.0    | ○              |      |      |      |      |      |      |                                          |
| 2.0  | 50.0    | ○              |      |      |      |      |      |      |                                          |
| 1.42 | 70.6    | ○              |      |      | ○    |      |      |      |                                          |
| 1.24 | 80.7    | ◎              | ○    | ○    |      | ◎    |      | ○    | 160                                      |
| 1.06 | 94.2    | ○              |      |      |      |      | ○    |      | 140                                      |
| 備考   |         | 細骨材率 (%)       |      | 30   | 38   |      | 50   |      | 120                                      |

◎: 表-3.2.2 の 5 水準の石粉混合率、微粒分率について測定した。

表-4.3.2 ペーストの配合

| 試験項目                               | 石粉混合率 (%) | W/C (%) | 単位水量<br>$\text{kg}/\text{m}^3$ | 単位量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |       |       |       |
|------------------------------------|-----------|---------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
|                                    |           |         |                                | W                              | C     | F     | Pw    |
| 石粉混合率 (%)                          | 0         | 80.7    | 113                            | 686.5                          | 425.3 | 425.3 | 0.0   |
|                                    | 31.1      |         |                                | 599.5                          | 371.4 | 371.4 | 335.8 |
|                                    | 47.7      |         |                                | 531.0                          | 328.9 | 328.9 | 600.5 |
|                                    | 57.1      |         |                                | 481.1                          | 298.1 | 298.1 | 792.8 |
|                                    | 64.9      |         |                                | 430.5                          | 266.7 | 266.7 | 988.3 |
| W/C                                | 47.7      | 28.6    | 113                            | 288.3                          | 504.0 | 504.0 | 921.0 |
|                                    |           | 33.3    |                                | 320.5                          | 481.2 | 481.2 | 879.4 |
|                                    |           | 40.0    |                                | 361.7                          | 452.1 | 452.1 | 825.9 |
|                                    |           | 50.0    |                                | 414.6                          | 414.6 | 414.6 | 757.4 |
| 単位水量<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 47.7      | 70.6    | 130                            | 568.2                          | 305.9 | 305.9 | 546.8 |
|                                    |           | 80.7    | 113                            | 531.0                          | 328.9 | 328.9 | 600.5 |
|                                    |           | 94.2    | 100                            | 498.6                          | 349.0 | 349.0 | 647.1 |

※F 置換率

表-4.3.3 モルタルの配合

| 試験項目                         | 水準   | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |                |        |
|------------------------------|------|--------------------------|-------|-------|----------------|--------|
|                              |      | W                        | C     | F     | P <sub>w</sub> | S      |
| 微粒分率<br>(%)                  | 0    | 234.4                    | 145.2 | 145.2 | 0.0            | 1728.0 |
|                              | 7.5  | 234.4                    | 145.2 | 145.2 | 131.3          | 1598.2 |
|                              | 15.5 | 234.1                    | 145.0 | 145.0 | 35.0           | 1694.5 |
|                              | 23.5 | 234.1                    | 145.0 | 145.0 | 174.9          | 1556.0 |
|                              | 33.5 | 234.1                    | 145.0 | 145.0 | 349.9          | 1382.9 |
| 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 130  | 263.6                    | 141.9 | 141.9 | 33.5           | 1624.6 |
|                              | 113  | 234.1                    | 145.0 | 145.0 | 35.0           | 1694.5 |
|                              | 100  | 210.7                    | 147.5 | 147.5 | 36.2           | 1750.0 |
| S/Bp                         | 0    | 531.0                    | 328.9 | 328.9 | 600.5          | 0.0    |
|                              | 2.5  | 375.8                    | 232.8 | 232.8 | 23.6           | 1164.1 |
|                              | 5.95 | 234.1                    | 145.0 | 145.0 | 35.0           | 1694.5 |
| s/a<br>(%)                   | 30   | 271.9                    | 168.4 | 168.4 | 0.0            | 1584.9 |
|                              | 38   | 234.4                    | 145.2 | 145.2 | 0.0            | 1728.0 |
|                              | 45   | 209.1                    | 129.5 | 129.5 | 0.0            | 1824.9 |

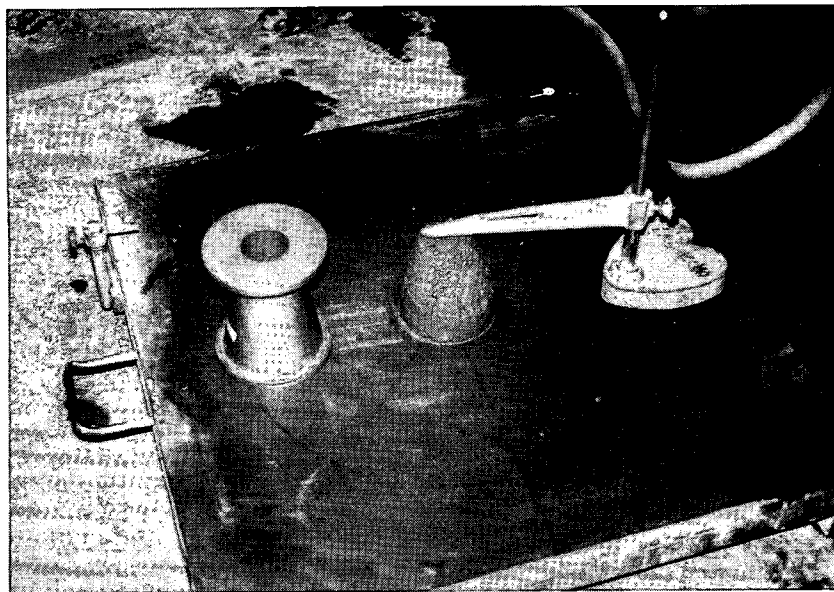


写真- 4.3.1 ハーフスランプの状況

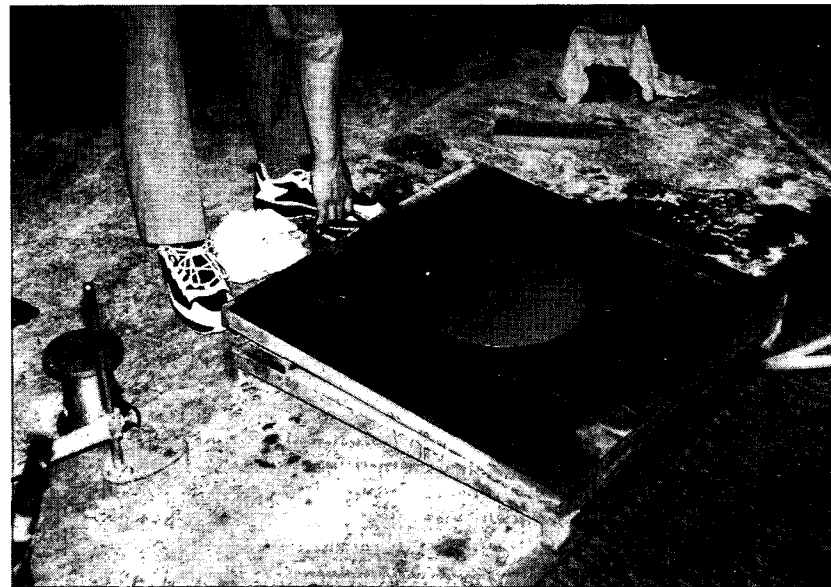


写真- 4.3.2 スプレッド試験の状況

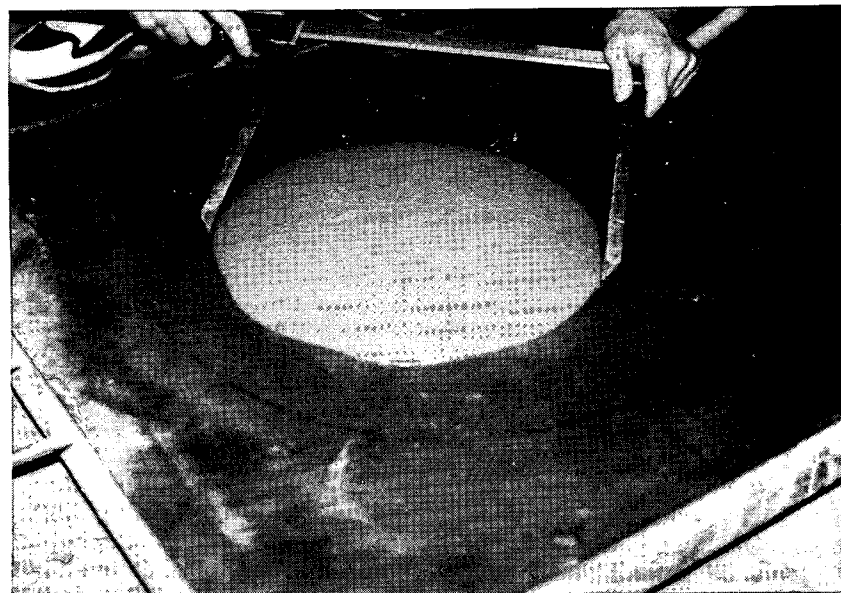


写真- 4.3.3 スプレッド (広がり) の測定

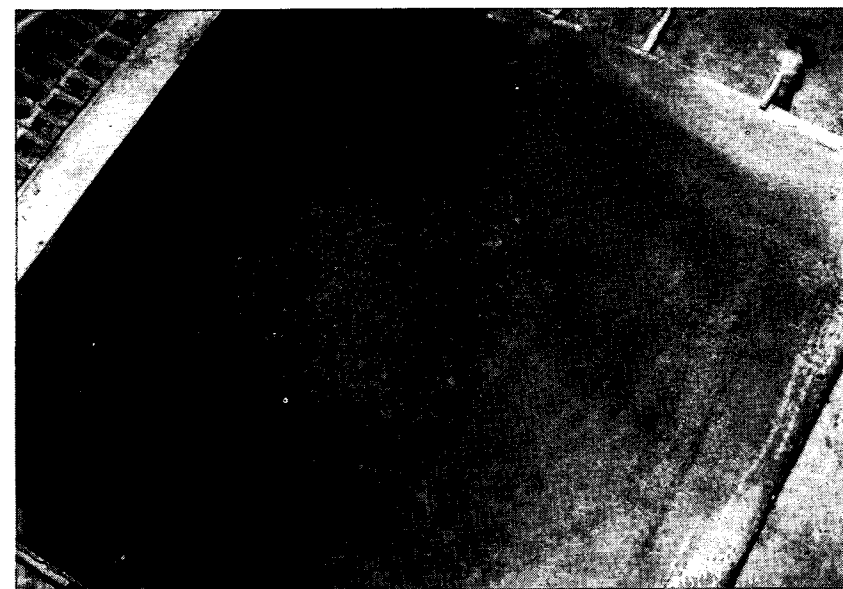


写真- 4.3.4 スプレッド試験後の状況 (こわばってバサバサ)

### 4.3.3 ペーストの試験結果

ペーストのフロー、ハーフスランプ、スプレッド、およびレオロジー定数の試験結果を表-4.3.4 に示す。フローとスプレッドは打撃回数ごとおよび経時変化も示した。表-4.3.5 には一面せん断試験による内部摩擦角を示す。一面せん断試験の結果を式 (3.2.11) によって回帰すると、粘着力Cはゼロ近辺であったので、切片をゼロにして回帰し、内部摩擦角だけを求めた。

各試験の石粉混合率の影響を図-4.3.2 に、経時変化を図-4.3.3 に示す。水セメント比の影響を図-4.3.4、経時変化を図-4.3.5 に示す。

RCD用の石粉を混合したものは、ペーストでも硬すぎてレオロジー定数はほとんど測定できなかった。

フロー、ハーフスランプ、スプレッドは、石粉混合率が大きくなるほど、また、W/Cが小さくなるほど低下した。RCD用コンクリートの配合に相当するW/C=80.7%のときは分離して測定できていない。経時変化は、石粉混合率の影響は小さかったが、低W/Cは0～1時の低下が著しい。

レオロジー定数が測定できたものについて、図-4.3.6 には降伏値とハーフスランプ、塑性粘度と0打のときのスプレッドとフローの関係を示す。ハーフスランプが大きくなると、降伏値は小さくなる一般的な傾向を示している。塑性粘度は、石粉混合の場合スプレッド、フローが大きくなると小さくなる傾向を示している。W/Cを変化させた場合同様の傾向と、スプレッド、フローが小さくなると塑性粘度が小さくなるという逆の傾向を示した。

図-4.3.7 には石粉混合率と内部摩擦角の関係を示す。石粉は混合率が増加しても内部摩擦角にはほとんど影響を及ぼしていない。

これらの結果より、石粉をRCD用に適用したときの施工性の評価を、ペーストによってこれらの試験で行うことは難しいようである。

表-4.3.5 ペーストの内部摩擦角

| 単位<br>結合材量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | セメント<br>の種類 | フライアッシュ<br>置換率<br>(%) | 石粉混合率<br>(%) | 単位水量 <sup>※※</sup><br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 内部摩擦角<br>(deg) |
|------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------|--------------------------------------------|----------------|
| 140                                | M1          | 0                     | 47.7         | 113                                        | 28.1           |
| 140                                | N           | 0                     |              | 113                                        | 26.0           |
| 140                                | F1          | 100                   |              |                                            | 29.2           |
| 140                                | M1          | 50                    | 0            | 113                                        | 27.2           |
|                                    |             |                       | 31.1         |                                            | 26.4           |
|                                    |             |                       | 47.7         |                                            | 27.5           |
|                                    |             |                       | 57.1         |                                            | 26.6           |
|                                    |             |                       | 64.9         |                                            | 30.5           |
| 120                                | M1          | 50                    | 47.7         | 113                                        | 27.2           |
| 140                                | M1          | 50                    |              |                                            | 27.5           |
| 160                                | M1          | 50                    |              |                                            | 25.7           |
| 140                                | M1          | 50                    | 47.7         | 130                                        | 28.0           |
|                                    | M1          |                       |              | 100                                        | 26.8           |

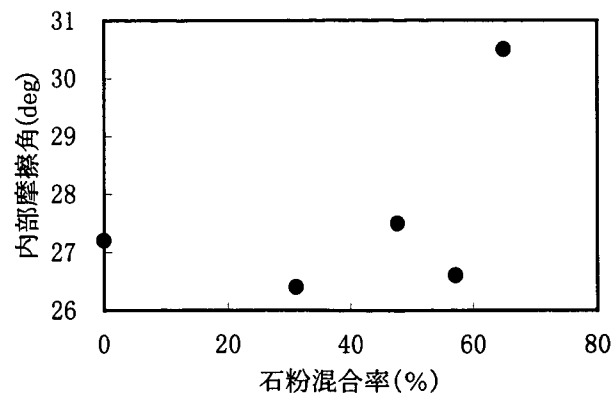


図-4.3.7 石粉混合率と内部摩擦角の関係

表-4.3.4 ペーストのフロー、ハーフスランプ、スプレッドおよびレオロジー定数の試験結果

| 試験項目      | 配合条件       |              | 経過<br>時間<br>(時間) | フロー<br>(mm) |      |      |      | ハーフ<br>スランプ<br>(cm) | スプレッド試験による<br>拡がり(mm) |      |      |      |      | 降伏値<br>(Pa) | 塑性<br>粘度<br>(mPa・s) |
|-----------|------------|--------------|------------------|-------------|------|------|------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|-------------|---------------------|
|           | W/C<br>(%) | 石粉混合率<br>(%) |                  | 0打          | 5打   | 10打  | 15打  |                     | 0打                    | 5打   | 10打  | 15打  |      |             |                     |
| 石粉<br>混合率 | 80.7       | 0            | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.3  | 7.2         |                     |
|           |            |              | 1                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 15.3        |                     |
|           |            |              | 2                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 9.7         |                     |
|           |            |              | 3                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.6  | 13.0        |                     |
|           |            |              | 4                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 10.1        |                     |
|           |            |              | 5                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 10.8        |                     |
|           |            | 31.1         | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.6  | 15.3        |                     |
|           |            |              | 1                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.3                | 428                   | 472  | 491  | 504  | 0.5  | 28.7        |                     |
|           |            |              | 2                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.5                | 481                   | 511  | 522  | 538  | 0.6  | 23.4        |                     |
|           |            |              | 3                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.6                | 494                   | 518  | 530  | 540  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 4                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.7                | 491                   | 522  | 540  | 549  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 5                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.7                | 491                   | 516  | 538  | 543  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            | 47.7         | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.5                | 436                   | 457  | 464  | 476  | 0.8  | 34.0        |                     |
|           |            |              | 1                | 247         | 263  | 300> | 300> | 14.3                | 343                   | 388  | 414  | 428  | 0.9  | 54.0        |                     |
|           |            |              | 2                | 244         | 269  | 300> | 300> | 14.4                | 339                   | 390  | 423  | 434  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 3                | 246         | 272  | 283  | 300> | 14.4                | 350                   | 397  | 420  | 441  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 4                | 242         | 270  | 284  | 300> | 14.4                | 351                   | 390  | 421  | 439  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 5                | 246         | 262  | 280  | 288  | 14.3                | 362                   | 402  | 424  | 442  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            | 57.1         | 0                | 132         | 186  | 210  | 224  | 13.0                | 250                   | 324  | 353  | 374  | 2.2  | 89.6        |                     |
|           |            |              | 1                | 129         | 186  | 209  | 224  | 10.5                | 191                   | 303  | 339  | 363  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 2                | 133         | 185  | 204  | 218  | 11.8                | 194                   | 301  | 339  | 361  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 3                | 126         | 180  | 202  | 218  | 11.2                | 189                   | 294  | 328  | 360  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 4                | 131         | 186  | 206  | 220  | 11.4                | 198                   | 301  | 333  | 367  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 5                | 124         | 180  | 202  | 216  | 11.5                | 184                   | 311  | 342  | 370  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            | 64.9         | 0                | 109         | 143  | 165  | 179  | 8.8                 | 112                   | 213  | 275  | 301  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 1                | 106         | 142  | 163  | 176  | 11.9                | 108                   | 217  | 281  | 310  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 2                | 106         | 146  | 167  | 183  | 11.5                | 111                   | 234  | 287  | 314  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 3                | 107         | 144  | 167  | 181  | 10.8                | 107                   | 223  | 277  | 306  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 4                | 106         | 141  | 163  | 177  | 10.7                | 111                   | 228  | 276  | 306  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 5                | 109         | 144  | 165  | 177  | 10.5                | 109                   | 234  | 283  | 309  | ND-1 | ND-1        |                     |
| W/C       |            | 28.6         | 0                | 107         | 137  | 158  | 173  | 5.6                 | 145                   | 259  | 296  | 322  | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 1                | ND-1        | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1                | ND-1                  | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 2                | ND-1        | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1                | ND-1                  | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 3                | ND-1        | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1                | ND-1                  | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 4                | ND-1        | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1                | ND-1                  | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            |              | 5                | ND-1        | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1                | ND-1                  | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1 | ND-1        |                     |
|           |            | 33.3         | 0                | 260         | 275  | 300> | 300> | 12.2                | 229                   | 295  | 329  | 347  | 2.3  | 43.0        |                     |
|           |            |              | 1                | 109         | 146  | 173  | 191  | 8.5                 | 114                   | 247  | 299  | 331  | 9.3  | 30.8        |                     |
|           |            |              | 2                | 108         | 146  | 172  | 191  | 7.4                 | 115                   | 250  | 298  | 324  | 9.7  | 24.8        |                     |
|           |            |              | 3                | 110         | 157  | 182  | 198  | 7.7                 | 116                   | 271  | 311  | 343  | 7.4  | 42.8        |                     |
|           |            |              | 4                | 110         | 158  | 187  | 205  | 7.1                 | 117                   | 271  | 318  | 342  | 8.8  | 22.4        |                     |
|           |            |              | 5                | 110         | 165  | 189  | 207  | 7.4                 | 117                   | 268  | 316  | 341  | 7.8  | 98.0        |                     |
|           |            | 40.0         | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.3                | 454                   | 473  | 482  | 498  | 0.9  | 23.3        |                     |
|           |            |              | 1                | 132         | 187  | 209  | 220  | 11.2                | 178                   | 311  | 341  | 380  | 5.2  | 23.0        |                     |
|           |            |              | 2                | 139         | 190  | 215  | 230  | 10.5                | 191                   | 311  | 345  | 374  | 3.6  | 48.3        |                     |
|           |            |              | 3                | 142         | 197  | 220  | 234  | 11.3                | 200                   | 308  | 340  | 371  | 2.9  | 70.3        |                     |
|           |            |              | 4                | 150         | 202  | 221  | 235  | 12.0                | 208                   | 310  | 350  | 374  | 2.6  | 73.3        |                     |
|           |            |              | 5                | 158         | 200  | 219  | 235  | 12.6                | 207                   | 307  | 346  | 370  | 2.7  | 66.3        |                     |
|           |            | 50.0         | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.6  | 13.8        |                     |
|           |            |              | 1                | 178         | 215  | 234  | 246  | 13.0                | 260                   | 358  | 392  | 416  | 1.2  | 51.8        |                     |
|           |            |              | 2                | 214         | 233  | 255  | 267  | 12.8                | 276                   | 350  | 385  | 405  | 1.2  | 46.7        |                     |
|           |            |              | 3                | 216         | 241  | 254  | 269  | 12.9                | 290                   | 357  | 394  | 416  | 0.9  | 53.5        |                     |
|           |            |              | 4                | 231         | 255  | 266  | 277  | 13.2                | 298                   | 358  | 391  | 412  | 0.9  | 60.3        |                     |
|           |            |              | 5                | 239         | 261  | 274  | 283  | 13.4                | 293                   | 357  | 390  | 411  | 0.8  | 53.3        |                     |
|           |            | 70.6         | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.3  | 8.7         |                     |
|           |            |              | 1                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.6  | 19.6        |                     |
|           |            |              | 2                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.4                | 435                   | 479  | 498  | 508  | 0.6  | 15.8        |                     |
|           |            |              | 3                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.4                | 469                   | 492  | 513  | 530  | 0.5  | 16.1        |                     |
|           |            |              | 4                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.5                | 474                   | 502  | 521  | 541  | 0.6  | 12.6        |                     |
|           |            |              | 5                | 300>        | 300> | 300> | 300> | 14.6                | 488                   | 517  | 535  | 549  | 0.6  | 19.2        |                     |
|           |            | 80.7         | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.3  | 7.2         |                     |
|           |            |              | 1                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 15.3        |                     |
|           |            |              | 2                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 9.7         |                     |
|           |            |              | 3                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.6  | 13.0        |                     |
|           |            |              | 4                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 10.1        |                     |
|           |            |              | 5                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.5  | 10.8        |                     |
|           |            | 94.2         | 0                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | 0.4  | 6.4         |                     |
|           |            |              | 1                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2        |                     |
|           |            |              | 2                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2        |                     |
|           |            |              | 3                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2        |                     |
|           |            |              | 4                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2        |                     |
|           |            |              | 5                | 300>        | 300> | 300> | 300> | ND-2                | ND-2                  | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2 | ND-2        |                     |

ND-1: こわばって(固くて)測定不可能

ND-2: 分離したため測定不可能

300&gt;: フロー300mm以上

網掛け: 参考値(試験機器の設定が他と異なるため)

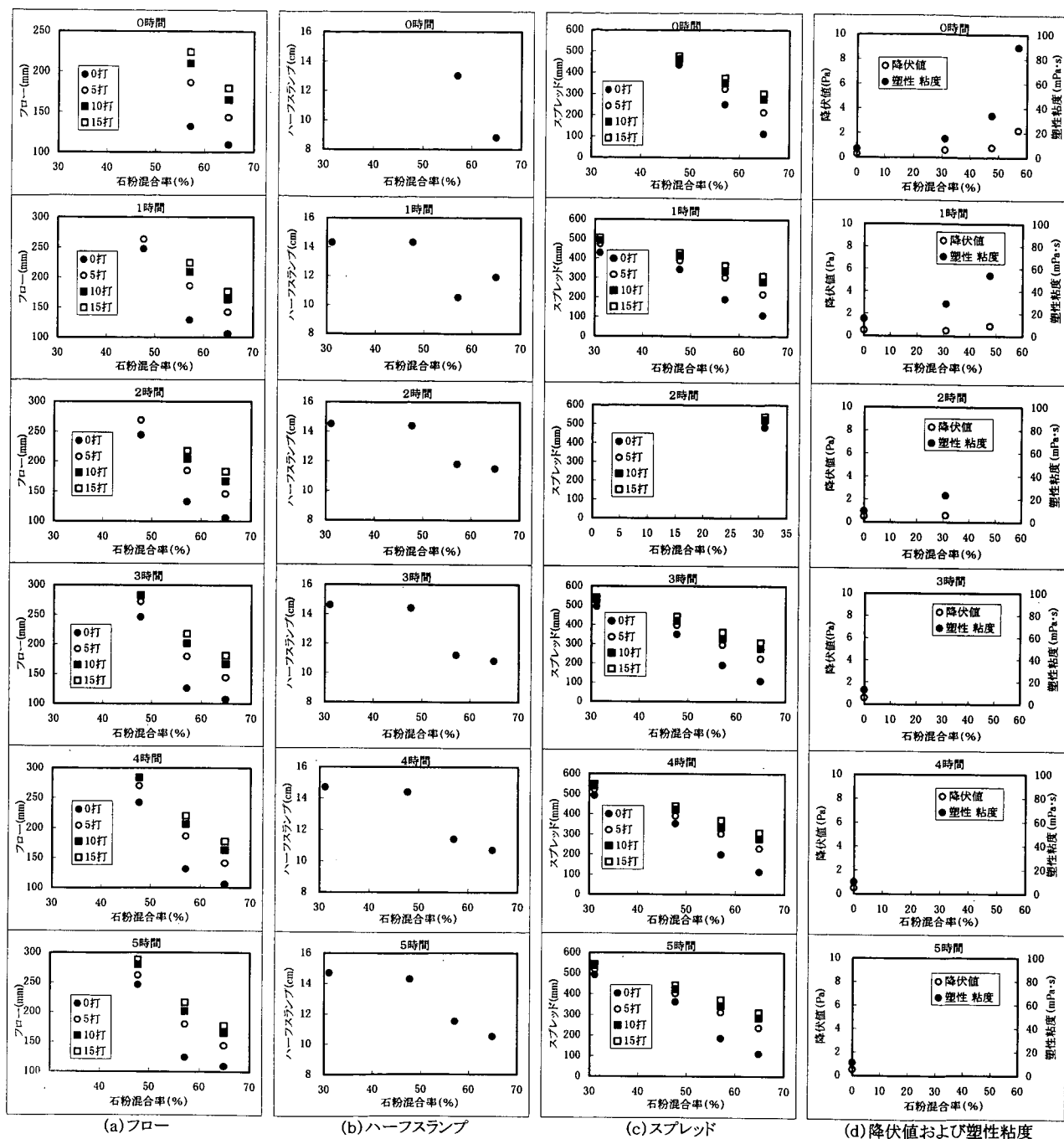


図-4.3.2 ペースト中の石粉混合率がフレッシュ性状に及ぼす影響

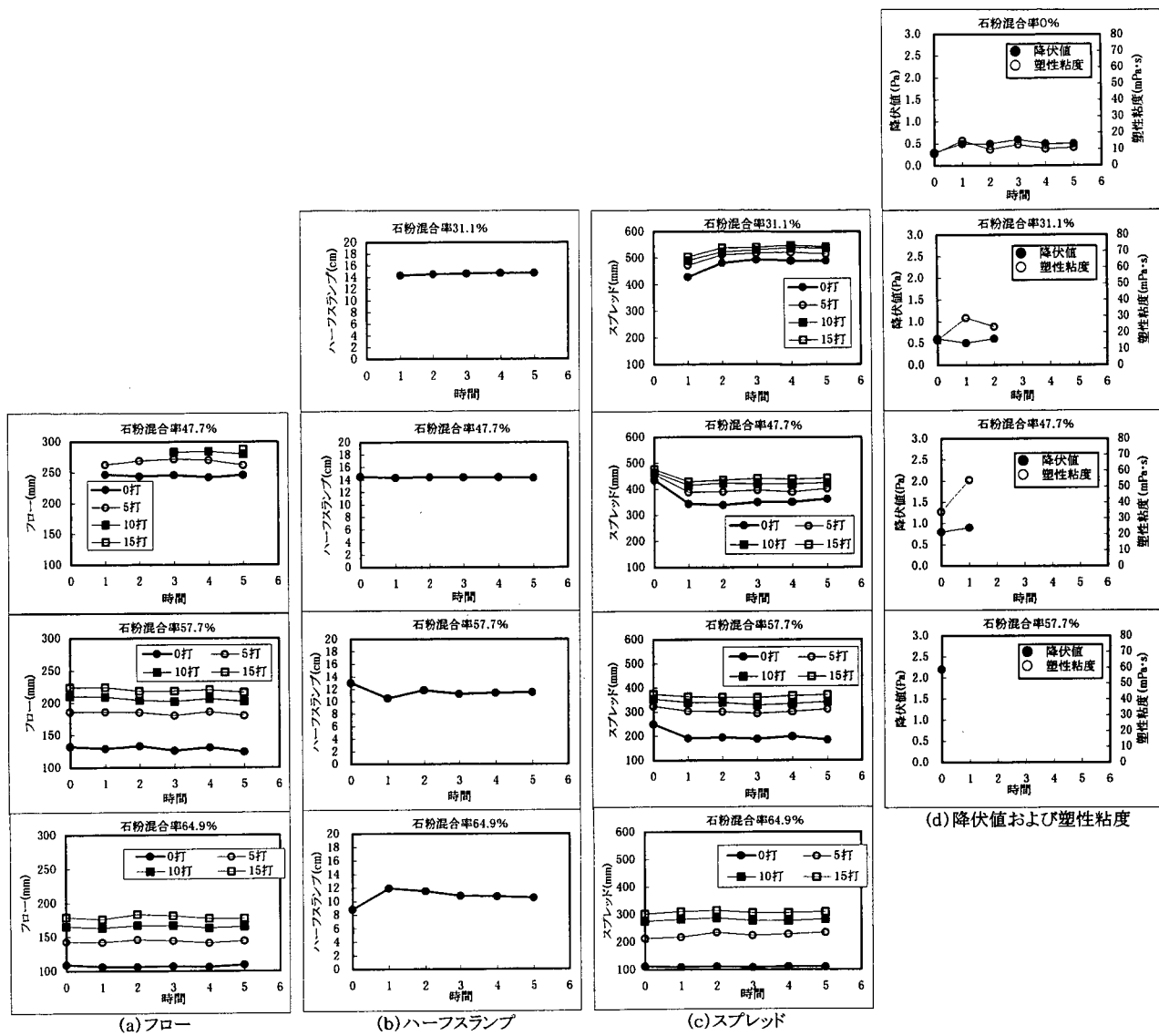


図-4.3.3 ペーストの石粉混合率ごとの経時変化

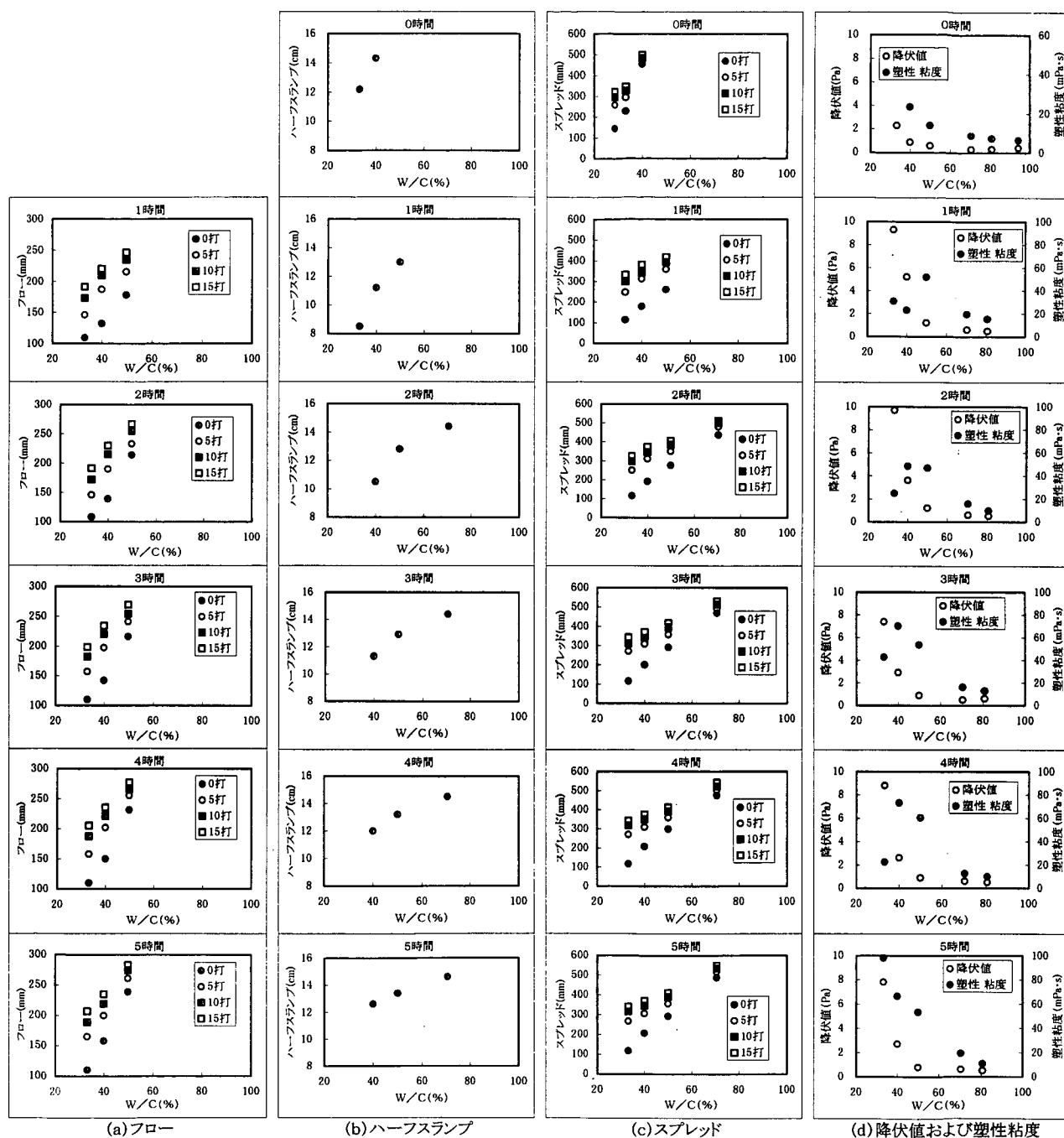


図-4.3.4 ペーストのW/Cがフレッシュ性状に及ぼす影響

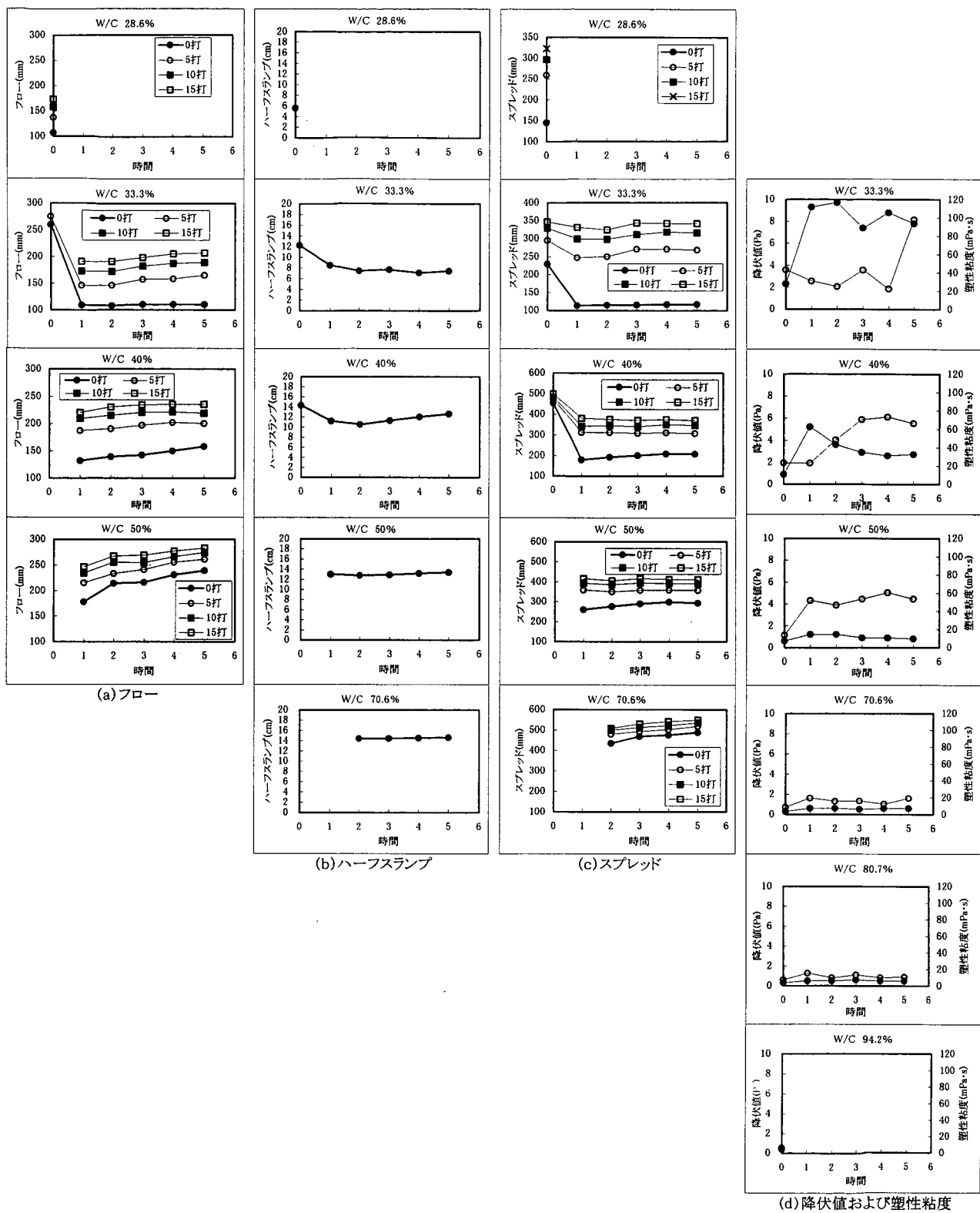
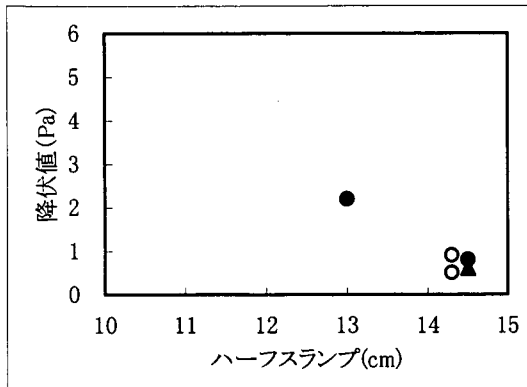
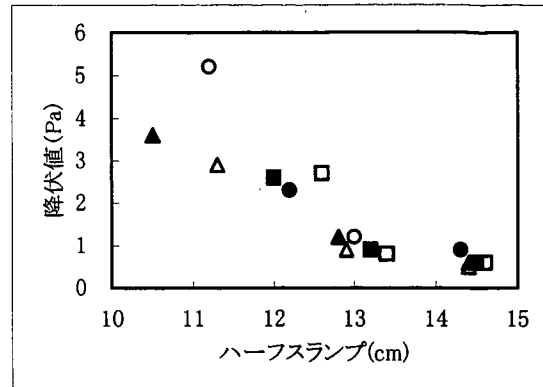
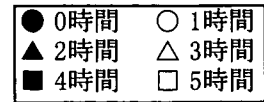


図-4.3.5 ペーストのW/Cごとの経時変化

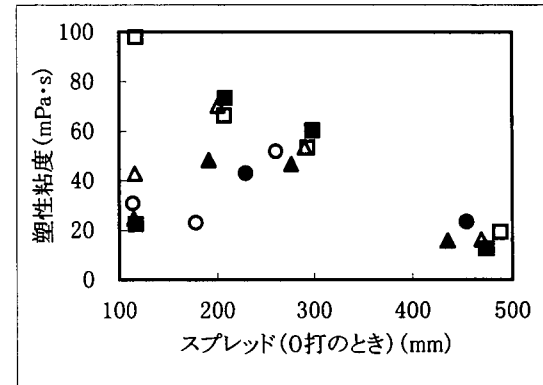
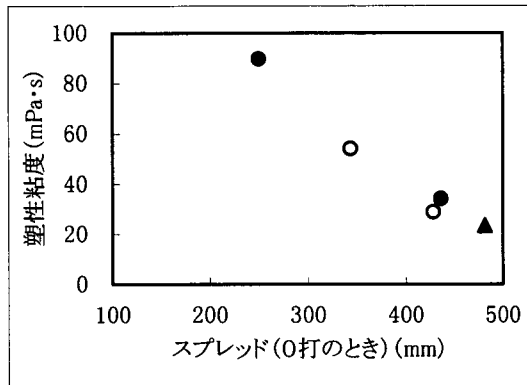
石粉混合率の影響



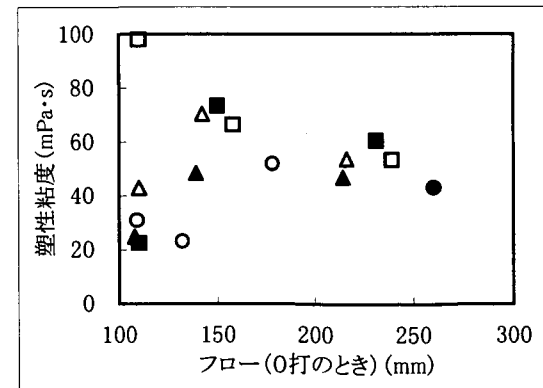
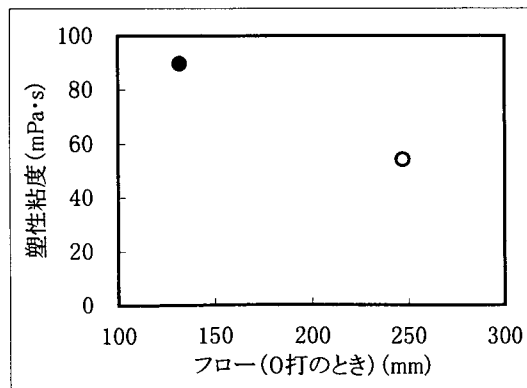
W/Cの影響



(a) ハーフスランプと降伏値の関係



(b) スプレッド (0打) と塑性粘度の関係



(c) フロー (0打) と塑性粘度の関係

図-4.3.6 ハーフスランプ, スプレッド (0打), フロー (0打) とレオロジー定数の関係

#### 4.3.4 モルタルの試験結果

##### (1) フレッシュ性状

モルタルのフロー、ハーフスランプ、スプレッドおよびレオロジー定数の試験結果を表-4.3.6 に示す。

微粒分率がフレッシュ性状に及ぼす影響を図-4.3.8 に、その経時変化を図-4.3.9 に示す。同様に S/C の場合を図-4.3.10 および 4.3.11 に示す。

図-4.3.12 には、降伏値とハーフスランプの関係、塑性粘度と 0 打のときのスプレッドとフローの関係を示した。

表-4.3.7 には、一面せん断試験による粘着力と内部摩擦角の結果を示した。図-4.3.13 には各要因ごとの粘着力、内部摩擦角の関係である。

微粒分率を変化させた場合の結果は、ペーストの石粉混合率を変化させた場合と同様の傾向であった。

S/C を変化させた場合は、RCD 用コンクリートの配合に相当する  $S/C = 5.95$  以上ではこわばってほとんど測定できなかった。

以上の結果より、ペーストの場合と同様、これらの試験により石粉を RCD 用に適用した場合の施工性の評価は難しそうである。

表-4.3.6 モルタルのフロー、ハーフスランプ、スプレッド試験、レオロジー定数結果

| 試験項目 | 配合条件 |               |      |      | 経過<br>時間<br>(時間) | フロー<br>(mm) |      |      |      | ハーフ<br>スランプ<br>(cm) | スプレッド試験による<br>拡がり (mm) |      |      |      | 降伏値<br>(Pa) | 塑性<br>粘度<br>(mPa·s) |
|------|------|---------------|------|------|------------------|-------------|------|------|------|---------------------|------------------------|------|------|------|-------------|---------------------|
|      | 微粒分率 | フライッシュ<br>置換率 | W/C  | S/C  |                  | 0打          | 5打   | 10打  | 15打  |                     | 0打                     | 5打   | 10打  | 15打  |             |                     |
|      |      |               |      |      |                  |             |      |      |      |                     |                        |      |      |      |             |                     |
| 微粒分率 | 0    | 50            | 80.7 | 4.70 | 0                | 107         | 136  | 164  | 186  | 4.2                 | 106                    | 220  | 299  | 341  | 15.3        | 37.0                |
|      |      |               |      |      | 1                | 105         | 131  | 157  | 181  | 3.9                 | 114                    | 236  | 306  | 340  | 18.2        | 44.4                |
|      |      |               |      |      | 2                | 106         | 129  | 150  | 168  | 3.0                 | 106                    | 220  | 299  | 333  | 17.4        | 42.4                |
|      |      |               |      |      | 3                | 107         | 129  | 149  | 169  | 2.6                 | 104                    | 217  | 295  | 332  | 19.3        | 42.4                |
|      |      |               |      |      | 4                | 106         | 125  | 143  | 165  | 2.2                 | 103                    | 198  | 270  | 312  | 19.2        | 43.4                |
|      | 5    |               |      |      | 103              | 122         | 139  | 155  | 2.0  | 102                 | 190                    | 260  | 309  | 17.3 | 38.8        |                     |
|      | 7.5  |               |      |      | 0                | 117         | 149  | 176  | 192  | 7.2                 | 123                    | 260  | 314  | 344  | 10.9        | 103.4               |
|      |      |               |      |      | 1                | 111         | 142  | 163  | 178  | 4.0                 | 108                    | 248  | 310  | 338  | 24.3        | 77.4                |
|      |      |               |      |      | 2                | 110         | 138  | 159  | 178  | 2.8                 | 106                    | 230  | 291  | 320  | 28.9        | 73.3                |
|      |      |               |      |      | 3                | 109         | 135  | 155  | 171  | 2.2                 | 102                    | 205  | 268  | 308  | 30.5        | 74.5                |
|      |      |               |      |      | 4                | 106         | 134  | 154  | 170  | 2.4                 | 100                    | 200  | 260  | 300  | 34.4        | 82.2                |
|      | 5    |               |      |      | 105              | 126         | 143  | 159  | 2.0  | 100                 | 186                    | 244  | 286  | 26.7 | 80.7        |                     |
|      | 15.5 |               |      |      | 0                | 128         | 167  | 188  | 202  | 6.0                 | 121                    | 251  | 294  | 323  | 18.2        | 187.6               |
|      |      |               |      |      | 1                | 110         | 142  | 163  | 177  | 3.5                 | 105                    | 231  | 288  | 320  | 34.5        | 142.9               |
|      |      |               |      |      | 2                | 109         | 143  | 163  | 178  | 2.9                 | 102                    | 223  | 281  | 309  | 38.8        | 143.8               |
|      |      |               |      |      | 3                | 108         | 139  | 161  | 173  | 3.1                 | 102                    | 219  | 270  | 300  | 44.6        | 110.0               |
|      |      |               |      |      | 4                | 109         | 141  | 162  | 175  | 3.4                 | 101                    | 222  | 271  | 305  | 47.0        | 134.2               |
|      | 5    |               |      |      | 109              | 138         | 159  | 171  | 3.0  | 101                 | 216                    | 272  | 301  | 46.0 | 124.3       |                     |
|      | 23.5 |               |      |      | 0                | 108         | 142  | 163  | 177  | 2.5                 | 101                    | 216  | 269  | 293  | 42.6        | 98.0                |
|      |      |               |      |      | 1                | 104         | 135  | 152  | 165  | 2.3                 | 100                    | 195  | 241  | 268  | 46.7        | 123.0               |
|      |      |               |      |      | 2                | 107         | 141  | 160  | 172  | 2.4                 | 102                    | 208  | 261  | 278  | 42.7        | 177.0               |
|      |      |               |      |      | 3                | 104         | 137  | 155  | 168  | 2.1                 | 100                    | 200  | 243  | 271  | 48.0        | 129.5               |
|      |      |               |      |      | 4                | 102         | 135  | 152  | 165  | 1.6                 | 100                    | 198  | 244  | 270  | 47.8        | 125.3               |
|      | 5    |               |      |      | 103              | 137         | 156  | 171  | 1.5  | 100                 | 201                    | 248  | 275  | 57.1 | 73.6        |                     |
|      | 33.5 |               |      |      | 0                | 103         | 120  | 133  | 146  | 0.6                 | 100                    | 151  | 188  | 212  | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 1                | 100         | 112  | 122  | 130  | 0.6                 | 100                    | 144  | 181  | 207  | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 2                | 100         | 115  | 126  | 133  | 0.7                 | 100                    | 139  | 173  | 193  | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 3                | 100         | 113  | 124  | 131  | 0.6                 | 100                    | 137  | 168  | 192  | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 4                | 100         | 111  | 121  | 130  | 0.7                 | 100                    | 138  | 170  | 190  | ND-1        | ND-1                |
|      | 5    |               |      |      | 100              | 114         | 125  | 133  | 0.8  | 100                 | 143                    | 177  | 205  | ND-1 | ND-1        |                     |
| S/C  | 15.5 | 50            | 80.7 | 2.50 | 0                | 291         | 300> | 300> | 300> | 14.5                | 400                    | 432  | 452  | 467  | 1.4         | 51.6                |
|      |      |               |      |      | 1                | 252         | 272  | 286  | 300> | 14.0                | 324                    | 373  | 399  | 417  | 1.5         | 61.0                |
|      |      |               |      |      | 2                | 242         | 268  | 280  | 289  | 13.8                | 318                    | 368  | 393  | 409  | 1.7         | 64.0                |
|      |      |               |      |      | 3                | 239         | 263  | 276  | 282  | 13.8                | 316                    | 367  | 394  | 412  | 1.5         | 73.0                |
|      |      |               |      |      | 4                | 242         | 266  | 278  | 284  | 13.3                | 303                    | 351  | 386  | 406  | 1.6         | 71.8                |
|      |      |               |      | 5    | 240              | 264         | 275  | 283  | 13.5 | 280                 | 344                    | 378  | 393  | 1.6  | 69.9        |                     |
|      |      |               |      | 4.70 | 0                | 120         | 160  | 189  | 205  | 5.3                 | 112                    | 240  | 297  | 327  | 23.3        | 69.7                |
|      |      |               |      |      | 1                | 112         | 146  | 170  | 189  | 3.9                 | 111                    | 229  | 287  | 319  | 35.8        | 65.1                |
|      |      |               |      |      | 2                | 109         | 145  | 171  | 188  | 2.7                 | 119                    | 224  | 281  | 314  | 34.8        | 84.3                |
|      |      |               |      |      | 3                | 108         | 137  | 160  | 178  | 3.2                 | 109                    | 214  | 273  | 307  | 32.4        | 94.8                |
|      |      |               |      |      | 4                | 103         | 130  | 149  | 165  | 0.7                 | 103                    | 194  | 255  | 291  | 50.9        | 57.1                |
|      |      |               |      | 5    | 105              | 128         | 145  | 159  | 0.3  | 101                 | 178                    | 238  | 280  | 42.1 | 59.6        |                     |
|      |      |               |      | 5.95 | 0                | 101         | 119  | 135  | 145  | 0.0                 | 101                    | 140  | 170  | 208  | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 1                | 100         | 108  | 114  | 120  | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 2                | 100         | 107  | 115  | 123  | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 3                | 100         | 110  | 118  | 127  | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 4                | 100         | 105  | 114  | 118  | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      | 5    | 100              | 106         | 111  | 115  | 0.0  | ND-3                | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-1 | ND-1        |                     |
|      |      |               |      | 7.83 | 0                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 1                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 2                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 3                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 4                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      | 5    | 100              | ND-3        | ND-3 | ND-3 | 0.0  | ND-3                | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-1 | ND-1        |                     |
|      |      |               |      | 5.16 | 0                | 103         | 113  | 120  | 130  | 0.1                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 1                | 100         | 104  | 110  | 114  | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 2                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 3                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      |      | 4                | 100         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | 0.0                 | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1        | ND-1                |
|      |      |               |      | 5    | 100              | ND-3        | ND-3 | ND-3 | 0.0  | ND-3                | ND-3                   | ND-3 | ND-3 | ND-1 | ND-1        |                     |
| 7.00 | 0    | 100           | ND-3 | ND-3 | ND-3             | 0.0         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-3                | ND-1                   | ND-1 |      |      |             |                     |
|      | 1    | 100           | ND-3 | ND-3 | ND-3             | 0.0         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-3                | ND-1                   | ND-1 |      |      |             |                     |
|      | 2    | 100           | ND-3 | ND-3 | ND-3             | 0.0         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-3                | ND-1                   | ND-1 |      |      |             |                     |
|      | 3    | 100           | ND-3 | ND-3 | ND-3             | 0.0         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-3                | ND-1                   | ND-1 |      |      |             |                     |
|      | 4    | 100           | ND-3 | ND-3 | ND-3             | 0.0         | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-3                | ND-1                   | ND-1 |      |      |             |                     |
| 5    | 100  | ND-3          | ND-3 | ND-3 | 0.0              | ND-3        | ND-3 | ND-3 | ND-3 | ND-1                | ND-1                   |      |      |      |             |                     |

ND-1: 固いため測定不可能

ND-3: 固いため、モルタル塊が飛散して測定不可能

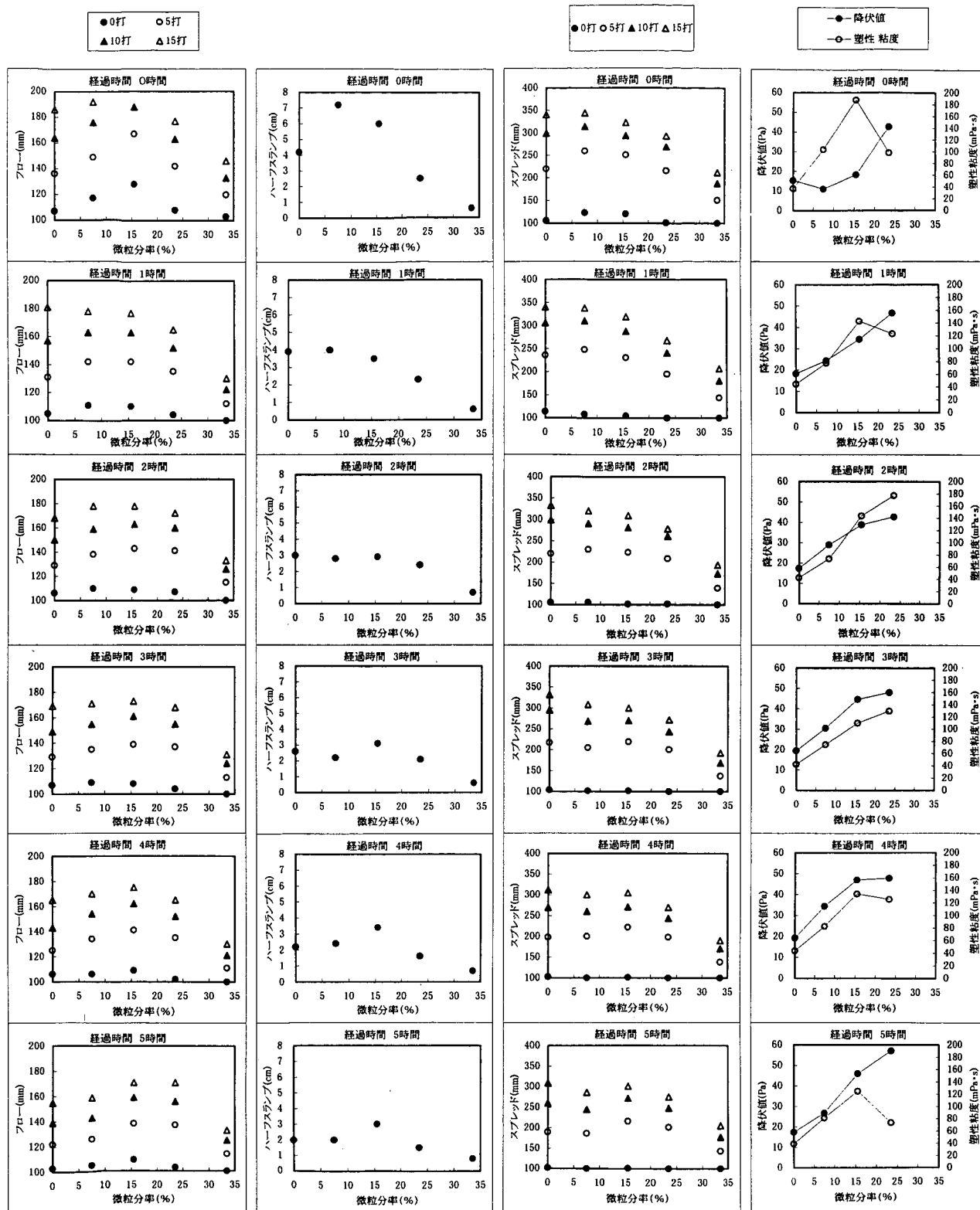


図-4.3.8 微粒分率がフレッシュ性状に及ぼす影響

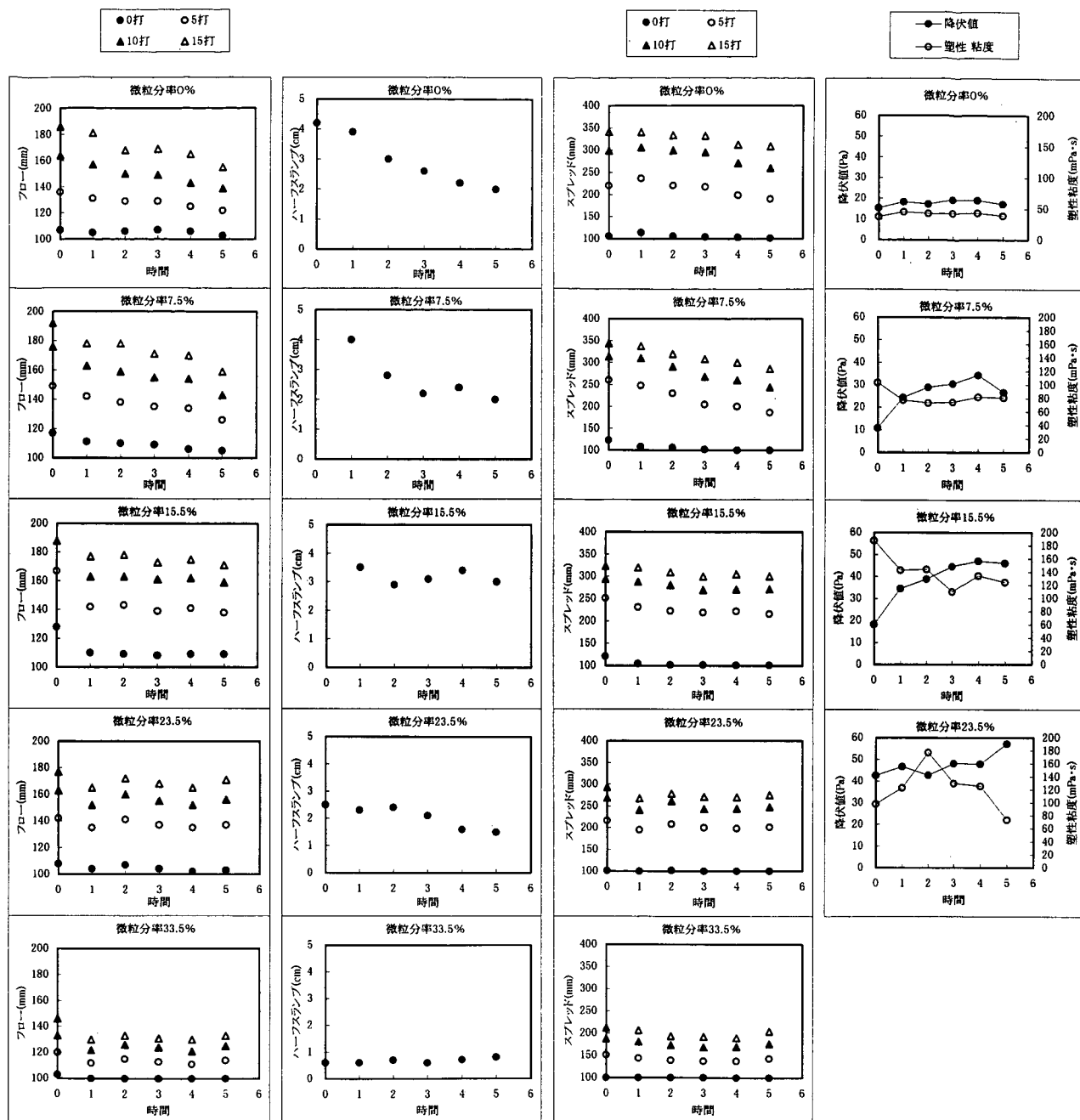


図-4.3.9 微粒分率ごとの経時変化

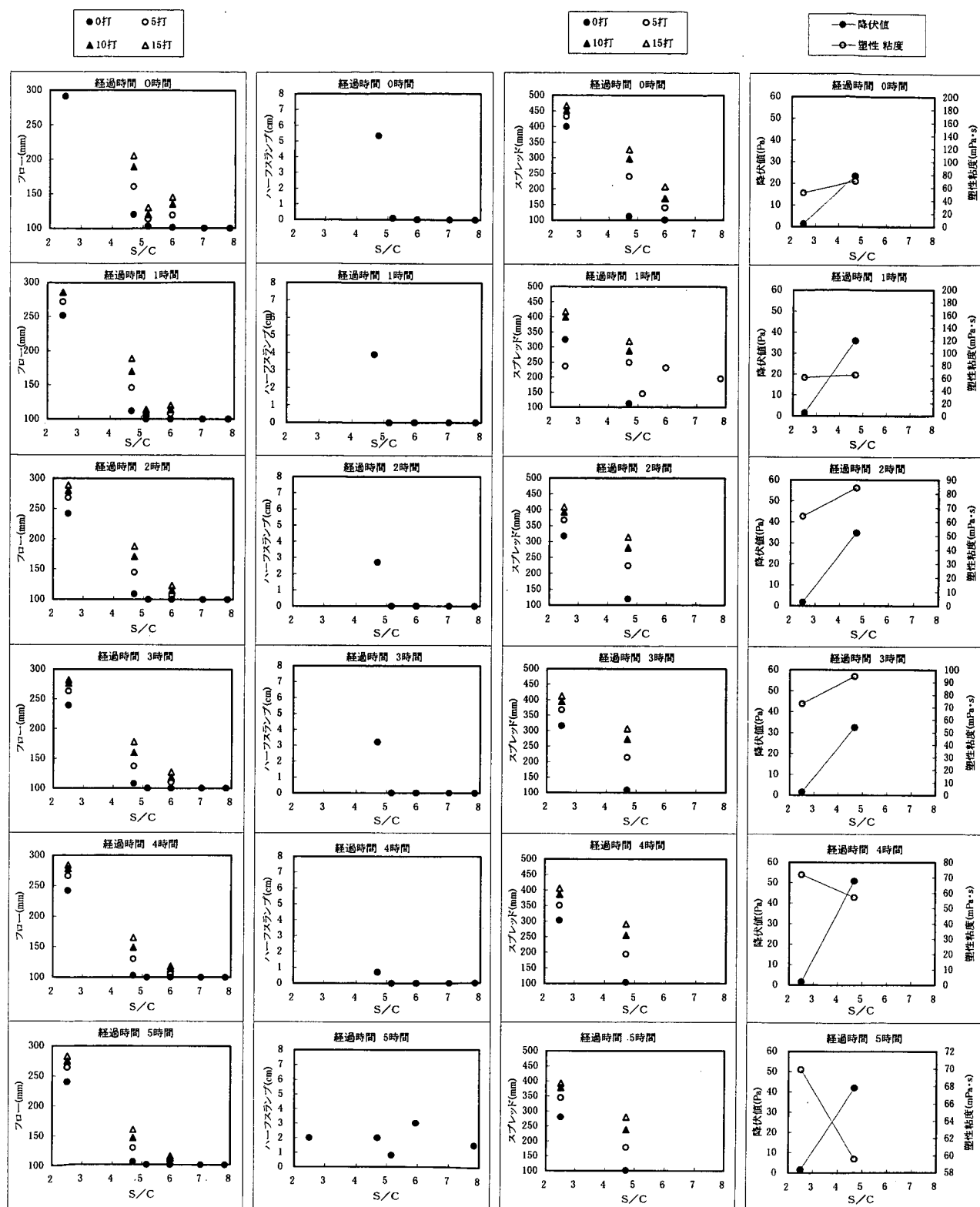


図-4.3.10 S/Cがフレッシュ性状に及ぼす影響

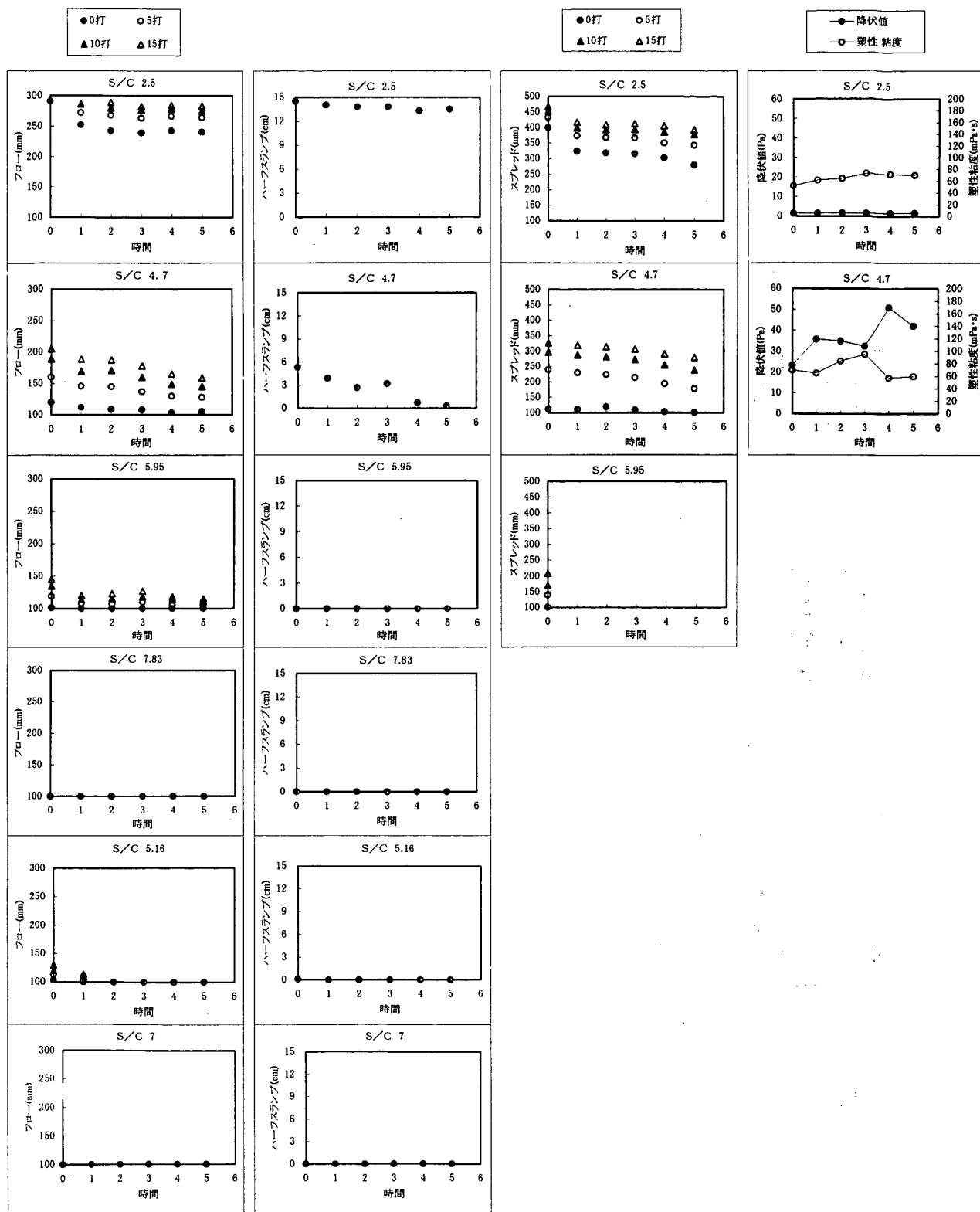
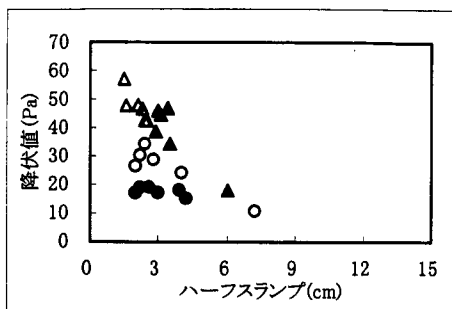
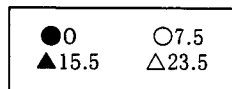
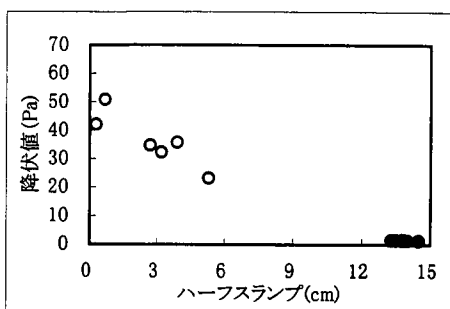
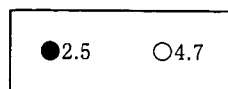


図-4.3.11 S/Cごとの経時変化

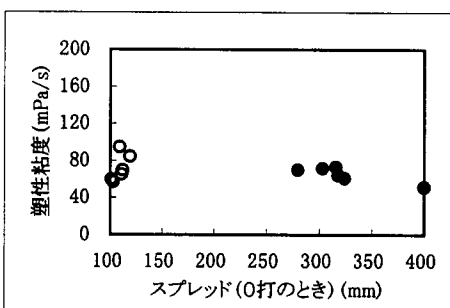
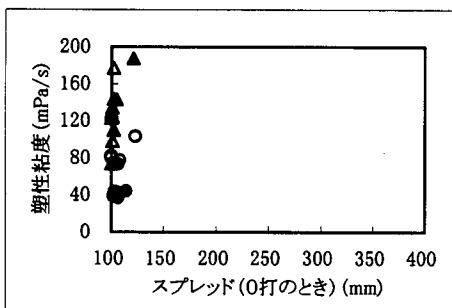
微粒分の影響



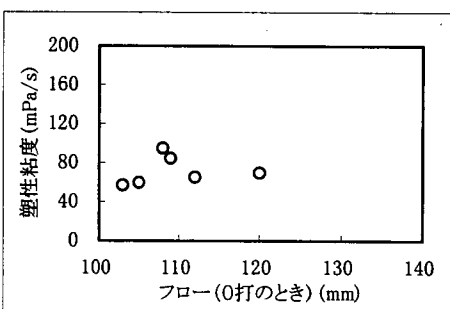
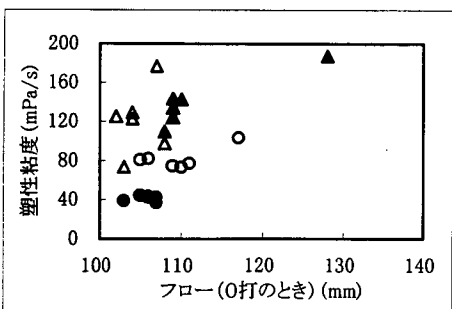
S/Cの影響



(a) ハーフスランプと降伏値の関係



(b) スプレッド (0 打) と塑性粘度の関係



(c) フロー (0 打) と塑性粘度の関係

図-4.3.12 ハーフスランプ, スプレッド(0打), フロー(0打)とレオロジー定数の関係

表-4.3.7 モルタルの粘着力, 内部摩擦角

| 結合材    | 微粒分率<br>(%) | S/C  | s/a<br>(%) | 単位水量<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | 粘着力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>(deg) |
|--------|-------------|------|------------|------------------------------|-----------------------------|----------------|
| 140M50 | 15.5        | 0    | 38         | 113                          | 0.000                       | 27.5           |
|        |             | 2.5  |            |                              | 0.006                       | 42.2           |
|        |             | 5.84 |            |                              | 0.019                       | 39.9           |
|        |             | 5.84 | 30         | 113                          | 0.031                       | 41.0           |
|        |             |      | 38         |                              | 0.019                       | 39.9           |
|        |             |      | 45         |                              | 0.017                       | 38.7           |
|        | 0           | 5.84 | 38         | 113                          | 0.002                       | 45.4           |
|        | 7.5         |      |            |                              | 0.020                       | 40.4           |
|        | 15.5        |      |            |                              | 0.019                       | 39.9           |
|        | 23.5        |      |            |                              | 0.011                       | 40.9           |
|        | 33.5        |      |            |                              | 0.022                       | 37.1           |
|        |             |      |            |                              |                             |                |
| 120M50 | 15.5        | 5.84 | 38         | 113                          | 0.025                       | 38.8           |
| 140M50 |             |      |            |                              | 0.019                       | 39.9           |
| 160M50 |             |      |            |                              | 0.007                       | 40.7           |
| 140M50 | 15.5        | 5.84 | 38         | 130                          | 0.008                       | 43.5           |
|        |             |      |            | 113                          | 0.019                       | 39.9           |
|        |             |      |            | 100                          | 0.026                       | 40.2           |

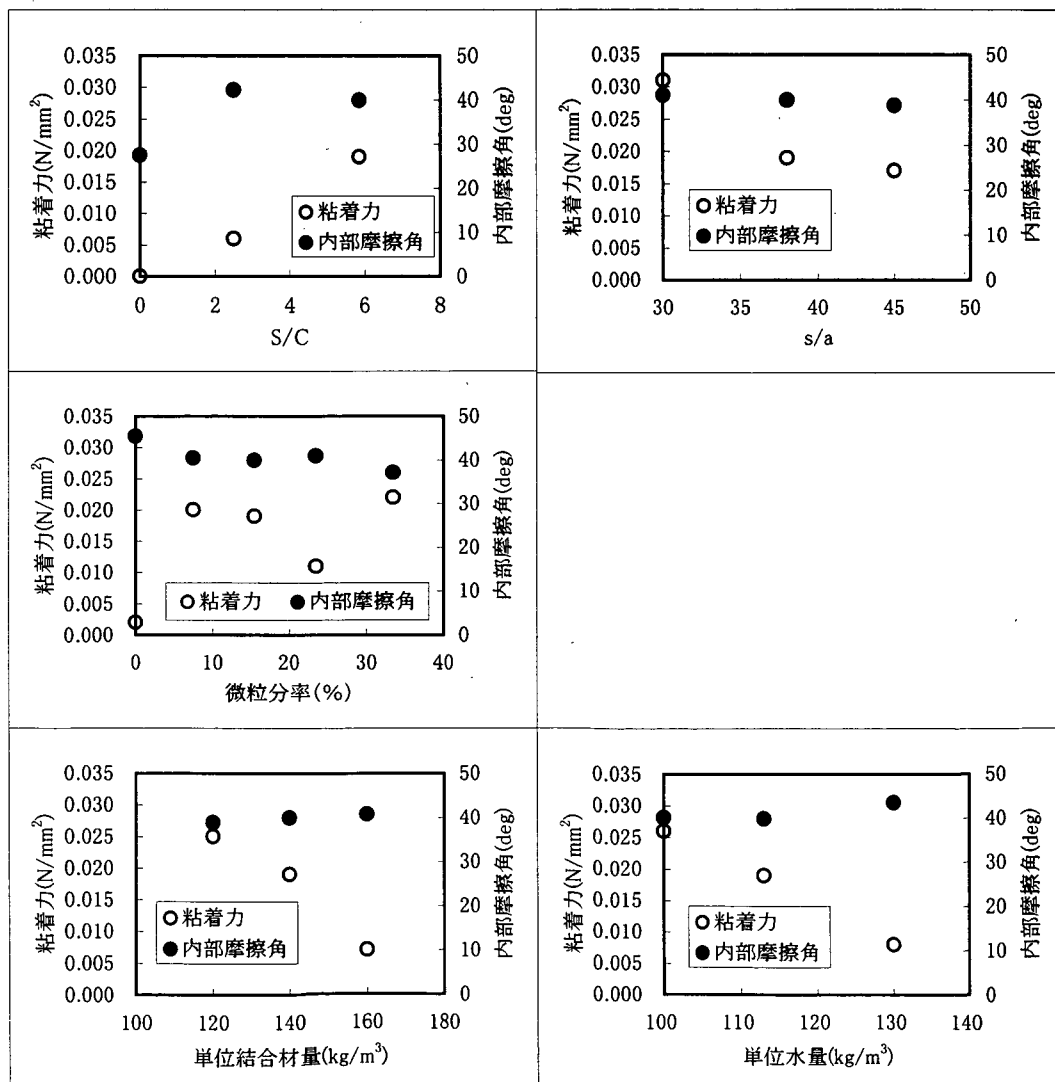


図-4.3.13 各種要因と粘着力, 内部摩擦角

(2) 強度試験結果

1) 微粒分率

微粒分率を変化させたときのフロー試験結果および圧縮強度試験結果を表-4.3.8 に示す。

微粒分率とフロー値の関係を図-4.3.14 に示すように 10%程度をピークにそれ以上になると低下している。

図-4.3.15 に材齢と圧縮強度の関係、図-4.3.16 に微粒分率と圧縮強度の関係を示す。微粒分の増加に伴い圧縮強度は直線的に増加している。

2) 単位結合材量

単位結合材量を変化させたときの圧縮強度試験結果は表-4.3.9、図-4.3.17、4.3.18 のとおりである。

表-4.3.8 モルタルの微粒分率と圧縮強度試験の結果

| セメントの種類 | 単位結合材量(kg/m <sup>3</sup> ) | フライアッシュ置換率(%) | 微粒分率(%) | フロー値 | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |       |       |
|---------|----------------------------|---------------|---------|------|--------------------------|------|------|------|-------|-------|
|         |                            |               |         |      | 3日                       | 7日   | 28日  | 91日  | 182日  | 365日  |
| M1      | 140                        | 50            | 0       | 121  | 1.02                     | 1.98 | 2.54 | 5.65 | 8.65  | 14.80 |
|         |                            |               | 7.5     | 130  | 1.48                     | 2.57 | 3.61 | 6.33 | 11.40 | 21.10 |
|         |                            |               | 15.5    | 123  | 1.40                     | 2.21 | 3.21 | 6.16 | 10.70 | 19.50 |
|         |                            |               | 23.5    | 114  | 1.58                     | 2.47 | 3.70 | 6.42 | 13.60 | 21.80 |
|         |                            |               | 33.5    | 106  | 1.91                     | 2.74 | 4.22 | 8.08 | 15.60 | 24.30 |

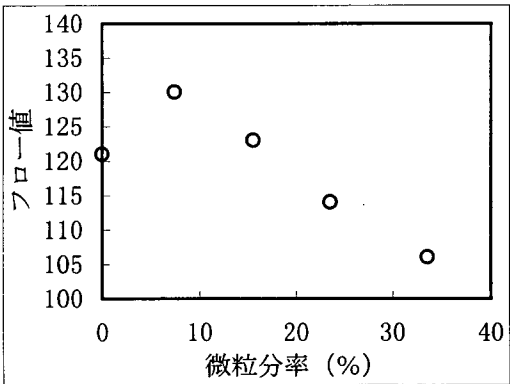


図-4.3.14 微粒分率とフロー値の関係

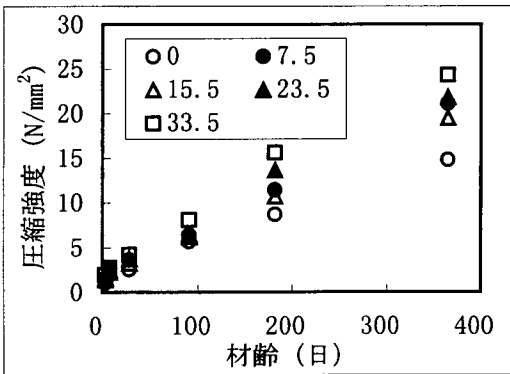


図-4.3.15 微粒分率と強度発現

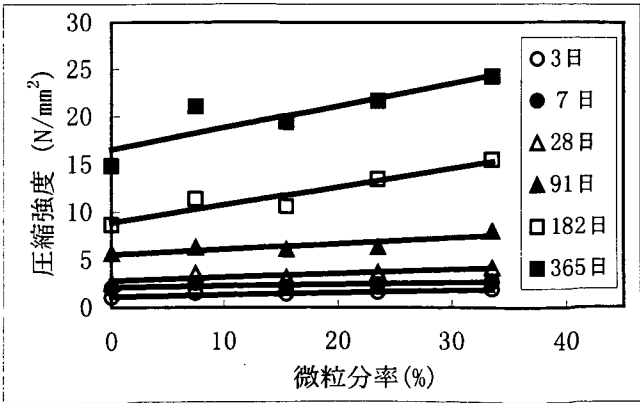


図-4.3.16 微粒分率と圧縮強度の関係

$$f_{c365}=0.236x+16.5$$

$$(r=0.878)$$

$$f_{c182}=0.194x+8.9$$

$$(r=0.952)$$

$$f_{c91}=0.061x+5.5$$

$$(r=0.876)$$

$$f_{c28}=0.042x+2.8$$

$$(r=0.871)$$

$$f_{c7}=0.017x+2.1$$

$$(r=0.749)$$

$$f_{c3}=0.023x+1.1$$

$$(r=0.928)$$

表-4.3.9 単位結合材量と圧縮強度結果

| セメントの種類 | 単位結合材量(kg/m <sup>3</sup> ) | フライアッシュ置換率(%) | フロー値(mm) | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      |
|---------|----------------------------|---------------|----------|--------------------------|------|------|------|------|------|
|         |                            |               |          | 3日                       | 7日   | 28日  | 91日  | 182日 | 365日 |
| M1      | 120                        | 50            | -        | 1.08                     | 1.71 | 2.11 | 4.36 | 8.74 | 13.6 |
|         | 140                        | 50            | 194      | 1.32                     | 2.14 | 3.3  | 5.51 | 9.18 | 18.5 |
|         | 160                        | 50            | -        | 2.04                     | 3.12 | 4.38 | 8.53 | 13.1 | 25.2 |

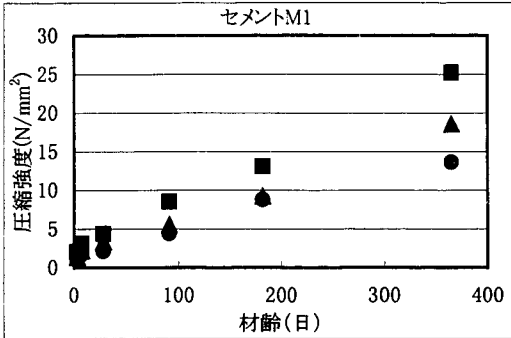


図-4.3.17 単位結合材量と強度発現

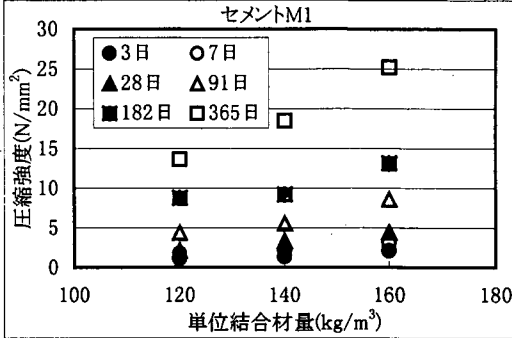


図-4.3.18 単位結合材量と圧縮強度の関係

## 4. 4 石粉を混入した超硬練りコンクリートの試験

### 4.4.1 試験方法

#### (1) 石粉混入率試験

表-4.2.5 の基本配合に対し、細骨材中に石粉を  $pw/s=2.5, 5.0, 10.0, 20.0\%$  混入した。また、粗骨材に混合を用いたものは、細骨材中に本来含まれている  $0.15\text{mm}$  以下の微粒分を約  $50\%$ 、 $100\%$  カットしたケース ( $pw/s=-6.0, -13.5\%$ ) も加えた。配合表を表-4.4.1 に示す。

各配合についてフレッシュ時には VC 試験は JSCE-F507、圧縮強度試験は JIS A 1108-1993、割裂引張強度試験は JIS A 1113-1993 に準じて行った。

#### (2) フレッシュコンクリートの圧縮試験

フレッシュコンクリートの側面が拘束された場合の変形性状を調べるため、側面の拘束がない場合（無拘束）とある場合（側面拘束）についてフレッシュコンクリートの圧縮試験を実施した。(3)の繰返し三軸試験は、低圧の側面拘束がある場合に相当する。

##### 1) 無拘束圧縮試験

通常のコンクリートの圧縮強度試験用型枠  $\phi 15 \times 30\text{cm}$  に、試料を所定の締固め率になるように詰め、圧縮試験を行い、荷重-変位関係を求めた。締固め率は  $90\%, 94\%, 98\%$  の3種類とした。

供試体の作成は、この締固め率になるようにあらかじめ試料量を計算・計量しておき、その試料を型枠内に満たすように詰め込んだ。詰め込み方法は、3層に分け、各層は 15 回ずつ突き棒で突固め、そのあとタンパーで所定の高さになるまで締め固めた。

型枠のまま圧縮試験機に載せ、静かに脱型し、圧縮試験を行った。載荷は、 $2\text{mm}$  の倍数ごとに、繰返しを行った。

##### 2) 側面拘束圧縮試験

大型の破碎容器 ( $\phi 305\text{mm}$ ) に  $15\%$  分の試料を詰め、圧縮荷重を加えた。試料の詰め込み方法は、試料  $15\%$  分 ( $34.8\text{kg}$ ) を3層に分け、各層を 40 回ずつ突固め、上面を平らに仕上げた。

圧縮試験は最大荷重により 3 回実施し、荷重と変位の関係を求めた。1 回目は最大荷重  $800\text{kN}$  とし、 $400\text{kN}$  に達したとき除荷し、その後  $800\text{kN}$  まで載荷した。2 回目は、 $400\text{kN}$ 、 $800\text{kN}$  で繰返し、 $1,600\text{kN}$  まで載荷した。3 回目は、 $400$ 、 $800$ 、 $1600\text{kN}$  で繰返し、 $3200\text{kN}$  まで載荷した。

#### (3) 繰返し三軸試験

繰返し三軸試験は、後述のとおり、標準供試体 ( $\phi 50 \times 100\text{mm}$ ) で各種要因について検討し、大型供試体 ( $\phi 300 \times 600\text{mm}$ ) で確認試験を行った。小型供試体は粗骨材最大寸法 ( $G_{\text{max}}$ ) を  $10\text{mm}$  とする必要があることから、微粒分率  $2\%$  の配合を基本としつつ、以下のように配合修正を行った。また、比較用に良質な骨材 (B 骨材) の場合についても追加した。

##### 1) 配合

$G_{\text{max}}10\text{mm}$  のコンクリートで供試体を作成するため、表-4.4.2 に示す基本配合 (Y 骨材は表-4.2.5 の基本配合) を  $20\text{mm}$  ふるいでウェットスクリーニングしたコンクリートと同じ VC 値となる  $G_{\text{max}}20\text{mm}$  の超硬練りコンクリートの配合を求め、これを  $10\text{mm}$  ふるいでウェットスクリーニングした試料を用いること

表－4.4.1 石粉混入コンクリートの配合

| 結合材<br>の種類 | 粗骨材<br>の種類 | W/B<br>(%) | FA/B<br>(%) | pw1/s<br>(%) | s/a<br>(%) | G/Ug<br>(m³/m³) | G/Ugv<br>(m³/m³) | 単位量 (kg/m³) |       |      |      |       |       |       |       |        |        |       |       | 単位体<br>積質量<br>(kg/l) |
|------------|------------|------------|-------------|--------------|------------|-----------------|------------------|-------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|----------------------|
|            |            |            |             |              |            |                 |                  | W           | B     | C    |      | S     | Pw1   | Pw0   | S0    | G      | CL     | CM砂質  | CM泥質  |                      |
|            |            |            |             |              |            |                 |                  |             |       |      |      |       |       |       |       |        |        |       |       |                      |
| M50        | 混合         | 80.7       | 50.0        | -13.5        | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0 | 0.0   | 0.0   | 833.0 | 1367.4 | 683.7  | 307.7 | 376.0 | 2453.4               |
|            |            | 80.7       | 50.0        | -6.0         | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0 | 0.0   | 63.3  | 770.5 | 1367.4 | 683.7  | 307.7 | 376.0 | 2454.2               |
|            |            | 80.7       | 50.0        | 0.0          | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0 | 0.0   | 113.2 | 721.4 | 1367.4 | 683.7  | 307.7 | 376.0 | 2454.9               |
|            |            | 80.7       | 50.0        | 2.5          | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0 | 21.1  | 110.3 | 703.3 | 1367.4 | 683.7  | 307.7 | 376.0 | 2455.2               |
|            |            | 80.7       | 50.0        | 5.1          | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0 | 42.2  | 107.5 | 685.3 | 1367.4 | 683.7  | 307.7 | 376.0 | 2455.4               |
|            |            | 80.7       | 50.0        | 10.1         | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0 | 84.4  | 101.8 | 649.2 | 1367.4 | 683.7  | 307.7 | 376.0 | 2455.9               |
|            |            | 80.7       | 50.0        | 20.3         | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 833.0 | 168.9 | 90.5  | 577.1 | 1367.4 | 683.7  | 307.7 | 376.0 | 2456.9               |
|            | CL         | 82.9       | 50.0        | 0.0          | 38.0       | 0.890           | 0.774            | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 830.0 | 0.0   | 112.7 | 718.8 | 1352.7 | 1352.7 | 0.0   | 0.0   | 2440.2               |
|            |            | 82.9       | 50.0        | 2.5          | 38.0       | 0.890           | 0.774            | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 830.0 | 21.0  | 109.9 | 700.8 | 1352.7 | 1352.7 | 0.0   | 0.0   | 2440.5               |
|            |            | 82.9       | 50.0        | 5.1          | 38.0       | 0.890           | 0.774            | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 830.0 | 42.1  | 107.1 | 682.8 | 1352.7 | 1352.7 | 0.0   | 0.0   | 2440.7               |
|            |            | 82.9       | 50.0        | 10.1         | 38.0       | 0.890           | 0.774            | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 830.0 | 84.1  | 101.5 | 646.9 | 1352.7 | 1352.7 | 0.0   | 0.0   | 2441.2               |
|            |            | 82.9       | 50.0        | 20.3         | 38.0       | 0.890           | 0.774            | 116.0       | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 830.0 | 168.3 | 90.2  | 575.0 | 1352.7 | 1352.7 | 0.0   | 0.0   | 2442.2               |

表－4.4.2 基本配合 (Gmax40mm)

|     | Gmax | W/B<br>水結合比<br>(%) | F/C+F<br>フライアッシュ<br>結合材比<br>(%) | s/a<br>細骨材<br>率<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |            |     |      |
|-----|------|--------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|------------|-----|------|
|     |      |                    |                                 |                        | W<br>水                  | C+F<br>結合材 | S   | G    |
| Y骨材 | 40mm | 80.7               | 50                              | 38                     | 113                     | 140        | 804 | 1351 |
| B骨材 | 40mm | 71.4               | 50                              | 38                     | 100                     | 140        | 841 | 1415 |

表－4.4.3 使用材料一覧表

|         |         |         | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率(%) | FM   |
|---------|---------|---------|------------------------|--------|------|
| Y骨材     | 細骨材     |         | 2.580                  | 1.94   | 2.11 |
|         | 細骨材(G1) | 40-20mm | 2.665                  | 1.4    | 7.03 |
|         | 粗骨材(G2) | 20-5mm  | 2.650                  | 1.15   | 6.26 |
| B骨材     | 細骨材     |         | 2.610                  | 1.34   | 2.56 |
|         | 細骨材(G1) | 40-20mm | 2.690                  | 0.76   | 7.83 |
|         | 粗骨材(G2) | 20-5mm  | 2.690                  | 0.68   | 6.54 |
| 中庸熱セメント |         |         | 3.210                  | —      | —    |
| フライアッシュ |         |         | 2.350                  | —      | —    |

とした。試験練りでは、B 骨材を使用した Gmax40mm のコンクリートを、20mm、10mm ふるいでウェットスクリーニングしたものについて、VC 値、沈下量の変化を検討し、各骨材の配合を決定した。VC 値は 30 秒を基準に、10 秒、50 秒の配合も求めた。

### 2) 繰返し三軸試験装置

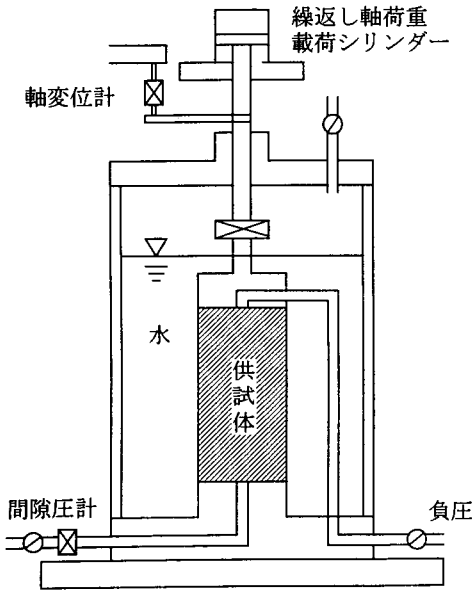
試験では土質の液状化試験に使用される繰返し三軸試験装置を使用した。この試験装置は応力状態を変化させることが可能であり、フレッシュコンクリートの応力や間隙水圧を測定することができる。大型試験装置においてもその基本的な構造は標準供試体を用いる繰返し三軸試験装置と同様である。試験装置を図－4.4.1 に示す。

装置は  $\phi 50 \times 100\text{mm}$  の供試体（大型装置は  $\phi 300 \times 600\text{mm}$ ）に対して、油圧により鉛直圧  $\sigma_1$  を、空気圧から水圧を介して拘束圧  $\sigma_3$  を載荷するものである。鉛直圧  $\sigma_1$  は繰返し載荷を行うことができる。軸応力測定はセルの内部で行うことができ、応力制御で繰返し載荷を行う。供試体はゴムスリーブにより包まれており、拘束水が侵入することなく、供試体下面において間隙圧を計測することができる。

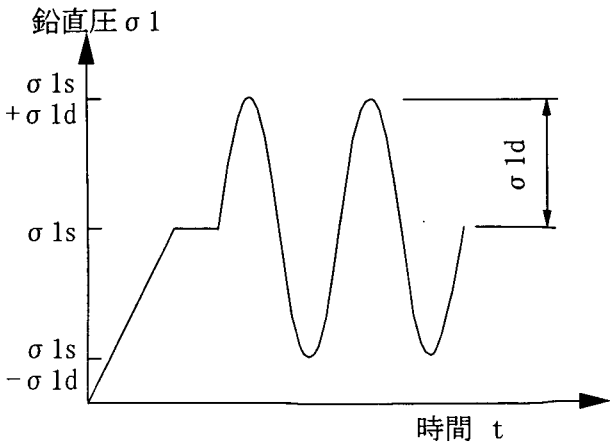
### 3) 試験ケース

繰返し三軸試験の試験ケースとして、鉛直圧・側圧は実際の応力状態を想定して設定した。振動ローラによる荷重は SD450（酒井重工業社製）の仕様を元に算定した。1m リフトのコンクリート中の応力状態として、振動ローラおよびコンクリートの自重に相当する静的鉛直圧  $\sigma_{1s}=98\text{kPa}$ （ $1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）と、起振力が作用している時の鉛直圧に相当する鉛直圧振幅  $\sigma_{1d}=49\text{kPa}$ （ $0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ ），および側圧に相当する  $\sigma_3=49\text{kPa}$ （ $0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）を基本ケースとした。試験時の鉛直圧の変化の状態を図－4.4.2 に示す。

基本ケースを基準として、静的鉛直圧  $\sigma_{1s}$ 、振動鉛直圧  $\sigma_{1d}$ 、周波数、VC 値、初期締固め率をパラメータとして、非排水状態および排水状態で試験を実施した。表－4.4.4 に試験ケース一覧表を示す。



図－4.4.1 繰返し三軸試験装置



図－4.4.2 試験時の鉛直圧の変化

表-4.4.4 試験ケースの一覧表

| 供試体寸法                                              |     | 標準(φ 50×100) |     |     |     |     |     |     |     |       |      |     |     | (1.0kgf/cm <sup>2</sup> =98kPa)<br>大型(φ 300×600) |     |  |  |
|----------------------------------------------------|-----|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|--------------------------------------------------|-----|--|--|
| 排水条件                                               |     | 非排水          |     |     |     |     |     |     |     |       |      | 排水  |     | 非排水                                              |     |  |  |
| 周波数                                                |     | 1Hz          |     |     |     |     |     |     |     | 0.1Hz | 10Hz | 1Hz |     |                                                  |     |  |  |
| 初期締固め率                                             |     | 85%          |     | 90% |     | 80% |     | 90% |     | 85%   | 90%  | 85% | 90% |                                                  |     |  |  |
| VC値                                                |     | 30秒          |     |     |     |     |     |     |     | 50秒   | 10秒  | 30秒 |     |                                                  |     |  |  |
| 静的鉛直圧 σ <sub>1s</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )       |     | 1.0          | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 1.5 | 1.0 |       |      |     | 1.5 |                                                  | 1.0 |  |  |
| 振動鉛直圧<br>σ <sub>1d</sub><br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 0.2 | ○            |     | ○   | ○   |     | ○   |     |     |       |      |     |     |                                                  |     |  |  |
|                                                    | 0.4 |              |     | ○   |     |     |     |     |     |       |      |     |     |                                                  |     |  |  |
|                                                    | 0.5 | ○            | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○     | ○    | ○   | ○   | ○                                                | ○   |  |  |
|                                                    | 0.8 | ○            | ○   |     | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○     |      |     | ○   | ○                                                | ○   |  |  |

#### 4.4.2 試験結果

表-4.4.5 に石粉混入コンクリートのVC試験, 圧縮強度, 割裂引張強度結果を示す。

表-4.4.5 石粉混入コンクリートの試験結果

| 材料・配合  |           | VC試験    |    |      | 28日圧縮試験                   |                             | 28日割裂                     | 91日圧縮試験                   |                             |
|--------|-----------|---------|----|------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 粗骨材の種類 | pw1/s (%) | VC値 (秒) | 平均 |      | 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> ) |
| 混合     | -13.5     | 62      | 58 | 60   | 5.833                     | 11.220                      | 0.792                     | 10.759                    | 20.190                      |
|        | -6.0      | 50      | 48 | 49   | 6.350                     | 11.880                      | 0.814                     | 11.453                    | 21.690                      |
|        | 0.0       | 20      | 22 | 21   | 5.952                     | 14.390                      | 0.659                     | 11.760                    | 20.970                      |
|        | 2.5       | 25      | 25 | 25   | 6.509                     | 14.980                      | 0.812                     | 12.933                    | 22.390                      |
|        | 5.0       | 17      | 20 | 18.5 | 6.610                     | 14.570                      | 0.834                     | 13.034                    | 24.560                      |
|        | 10.0      | 39      | 37 | 38   | 7.091                     | 14.980                      | 0.855                     | 14.909                    | 25.050                      |
|        | 20.0      | 102     | 96 | 99   | 7.261                     | 15.740                      | 0.985                     | 15.240                    | 24.220                      |
| CL     | 0.0       | 23      | 25 | 24   | 4.841                     | 16.390                      | 0.563                     | 9.447                     | 20.200                      |
|        | 2.5       | 32      | 38 | 35   | 5.265                     | 11.080                      | 0.638                     | 9.909                     | 21.010                      |
|        | 5.0       | 27      | 29 | 28   | 5.427                     | 11.880                      | 0.637                     | 10.327                    | 20.660                      |
|        | 10.0      | 30      | 32 | 31   | 5.887                     | 13.240                      | 0.648                     | 11.684                    | 23.680                      |
|        | 20.0      | 60      | 52 | 56   | 6.380                     | 14.080                      | 0.773                     | 12.860                    | 23.080                      |

#### (I) VC試験結果

石粉混入率 pw1/s と VC 値の関係は図-4.4.3 のようになった。曲線は二次曲線で回帰した結果である。

コンクリートの状態は, 微粒分が少ないと“がさがさ”していたが, 多くなるにしたがい, しだいに粘性が増し, “ねっとり”してきた。それに伴いVC値も次第に低下していき, ある石粉混入率から増加に転じ

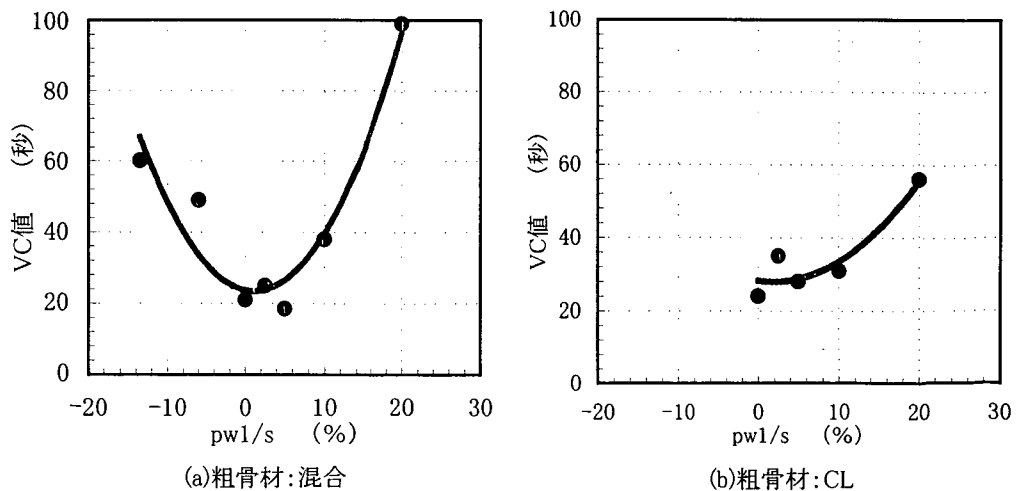


図-4.4.3 pw1/sとVC値の関係

ており、VC値が最小となる  $pw1/s$  が存在する。そこで、式(4.2.2)の二次式で回帰した結果は表-4.4.6のとおりであり、VC値が最小となる石粉混入率  $pw1/s=1\sim2\%$  であり、そのときのVC値は23秒と28秒であった。

表-4.4.6 VC試験の回帰結果

| 粗骨材<br>の種類 | 回帰係数  |        |      | 相関係数  | 最小VC値となる |      |
|------------|-------|--------|------|-------|----------|------|
|            | a     | b      | c    | r     | $pw1/s$  | VC値  |
| 混合         | 0.204 | -0.445 | 23.7 | 0.962 | 1.1      | 23.4 |
| CL         | 0.084 | -0.322 | 28.3 | 0.939 | 1.9      | 28.0 |

## (2) フレッシュコンクリートの圧縮試験結果

### 1) 無拘束圧縮試験

フレッシュコンクリートを無拘束で圧縮試験をした結果は図-4.4.4のとおりである。硬化コンクリートの圧縮試験時の応力-ひずみ関係と同様の形をしており、初期載荷では最大荷重の2/3程度までほぼ直線的に上昇している。最大荷重到達後は徐々に荷重が低下しながら破壊に至った。最大荷重は締固め率が高いほど高くなっているが締固め率98%の場合でも最大荷重は700Nであり応力にすると $0.04\text{N/mm}^2$ である。途中除荷したときほとんど塑性変形して残留変形を生じている。

### 2) 側面拘束圧縮試験

側面拘束がある場合の荷重-変位関係を図-4.4.5に示す。初期載荷では、試料が十分締め固められていないので大きな変位を生じている。その後は傾きが徐々に小さくなっている。除荷時の場合は、無拘束の場合と同様にほとんど塑性変形しており、大きな残留変形を生じている。

無拘束の場合と異なるのは、荷重が大きくなり変形が大きくなるほど拘束も大きくなるので、最大荷重3200kN( $43.8\text{N/mm}^2$ )に達しても荷重-変位関係の傾きが小さくなることはなかった。試験後に骨材の粒度変化も調べたが、荷重による影響は明確ではなかった<sup>4.2)</sup>。

### 3) 実施工における締固めとの関係

RCD工法におけるローラによる転圧・締固めでは、移動するためせん断力が加わり、しかも振動による締固めが行われる。また、側面拘束は、実施工では一層あたり50~100cmであり、拘束力は深さによって異なるものの、わずかしかない。

側面拘束が小さい場合、今回の実験から、締固め率によって異なるが、わずかな圧縮応力によって塑性変形しながら締め固まることがわかる。

## (3) 繰返し三軸試験結果

### 1) 配合

$G_{\max}40\text{mm}$ のコンクリートの単位水量とVC値の関係を図-4.4.6に示す。VC値は小さくなると沈下量も小さくなっていることが分かる。

次に $G_{\max}40\text{mm}$ のコンクリートを20mmふるい、10mmふるいでウェットスクリーニングしたコンクリートの粗骨材最大寸法とVC値の関係、粗骨材最大寸法と単位体積質量の関係を図-4.4.7に示す。ウェットスクリーニングによって最大骨材径が小さくなるとVC値が増加し、単位体積質量は減少する。これはウ

ェットスクリーニングによって粗骨材が少なくなり、モルタル量が増加し、空隙が増加するため、振動エネルギーにより空隙を埋める時間がかかることによると考えられる。

試験練りの結果求められた  $G_{max20mm}$  の配合（Y骨材使用）を表-4.4.7 に示す。

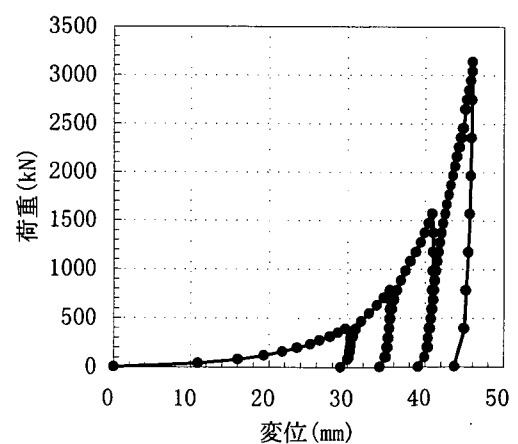
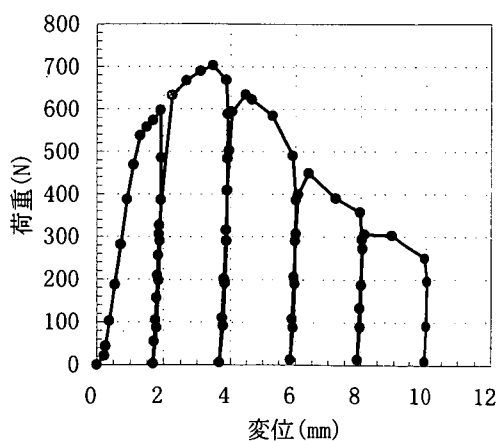
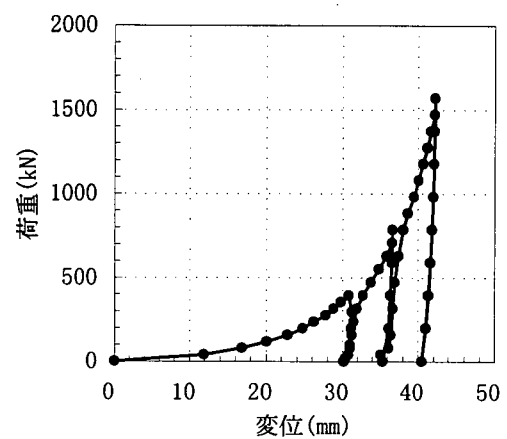
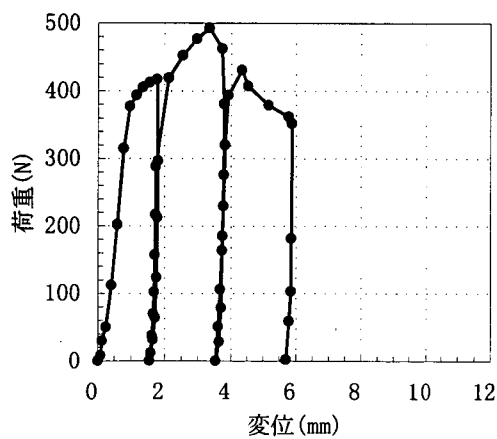
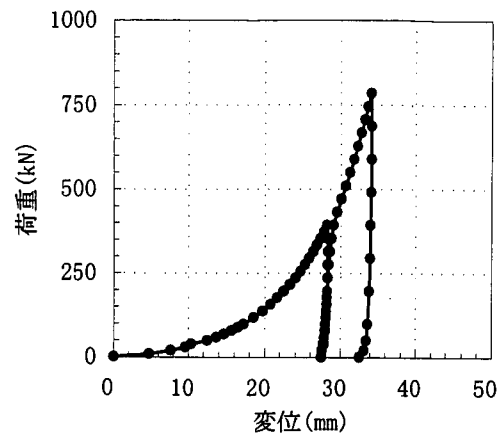
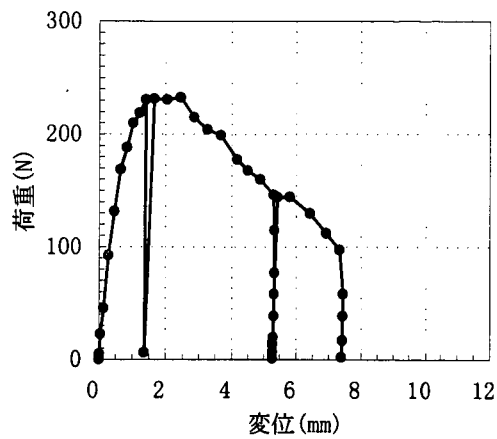


図-4.4.4 フレッシュコンクリートの無拘束圧縮試験  
(荷重と変位)

図-4.4.5 フレッシュコンクリートの側面拘束圧縮試験  
(荷重と変位)

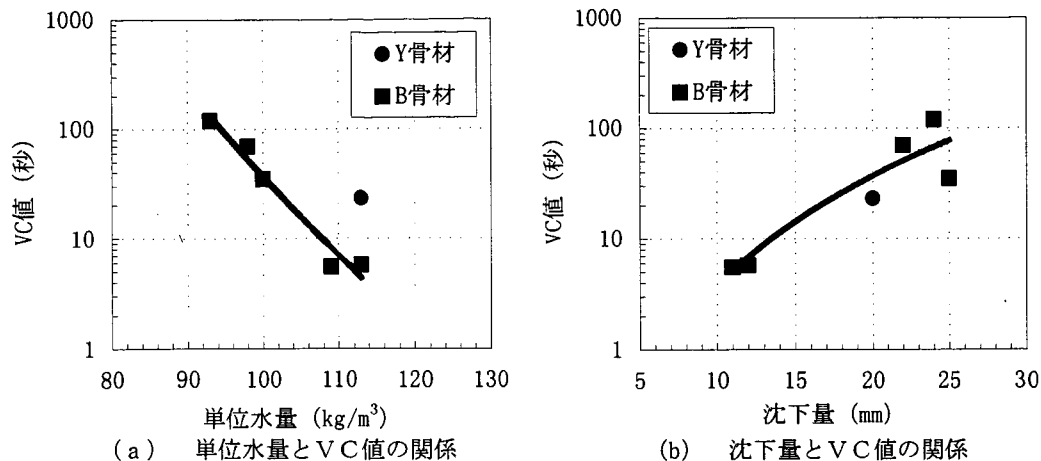


図-4.4.6 単位水量とVC値, 沈下量の関係

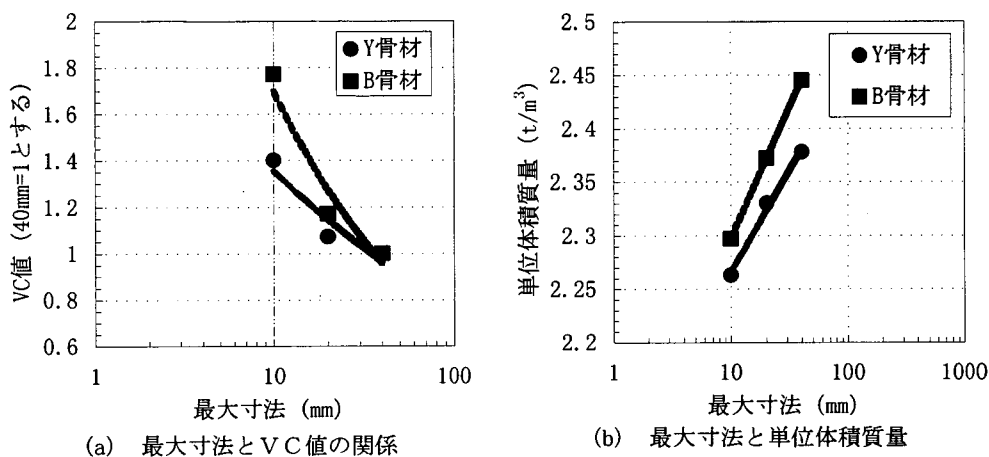


図-4.4.7 粗骨材最大寸法とVC値, 単位体積質量の関係

表-4.4.7 繰返し三軸試験に用いた配合 (Gmax20mm)

| Gmax | W/B<br>水結合材比<br>(%) | F/C+F<br>フライッシュ<br>結合材比<br>(%) | s/a<br>細骨材率<br>(%) | 単位量(kg/m³) |     |      |      |
|------|---------------------|--------------------------------|--------------------|------------|-----|------|------|
|      |                     |                                |                    | W          | C+F | S    | G    |
|      |                     |                                |                    | 水          | 結合材 |      |      |
| 20mm | 80.7                | 50                             | 48.5               | 133        | 165 | 1009 | 1100 |

## 2) 試験結果

繰返し三軸試験結果の一例を図-4.4.8 および 4.4.9 に示す。応力状態を変化させたケースでは、図-4.4.8 の (b) 図, (c) 図に示すように変位や間隙圧がある一定の値へと収束するケースと、図-4.4.9 の (b) 図, (c) 図に示すように繰返し载荷によって急激に鉛直ひずみと間隙圧が上昇し拘束圧に近くなった後、破壊するケースがみられた。後者は、繰返し回数 70 回付近から鉛直ひずみ、間隙圧が急激に増加している。これは、コンクリート中のモルタルが液状化したため、骨材間の空隙にその液状化したモルタルが充填され、その圧力を感じたものと思われる。

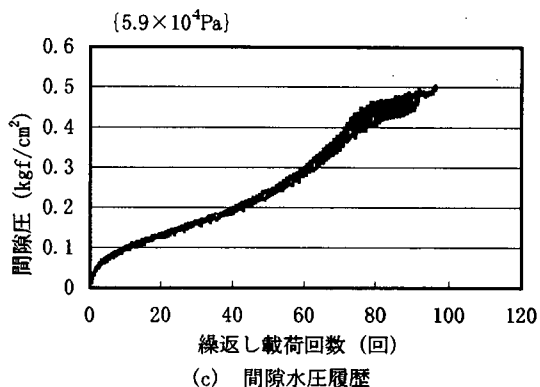
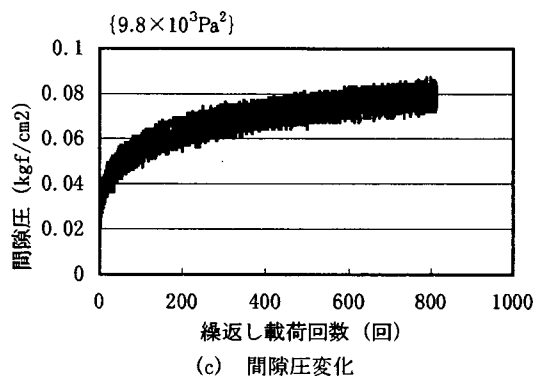
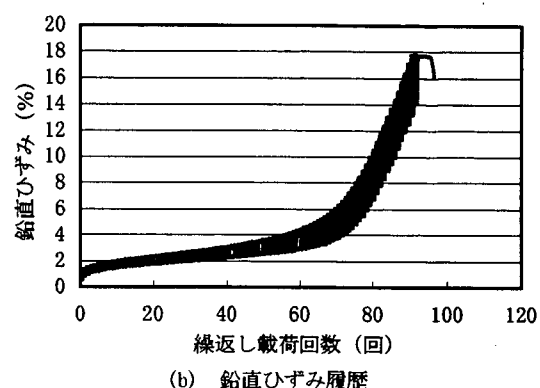
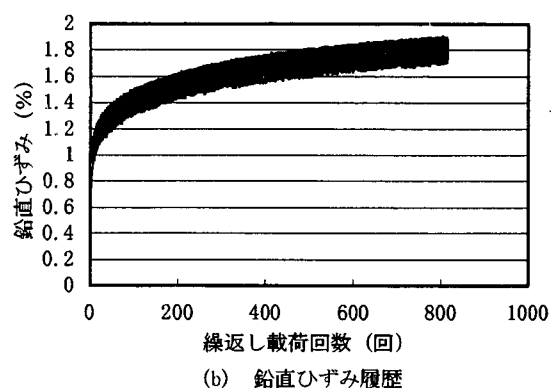
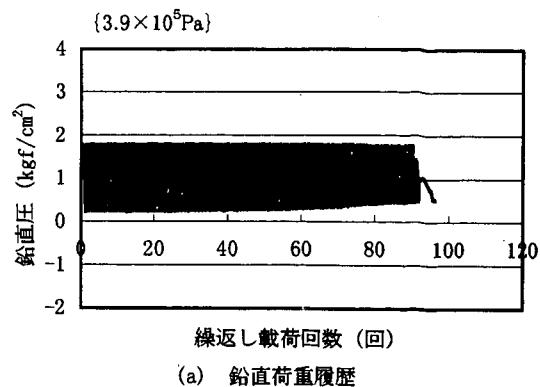
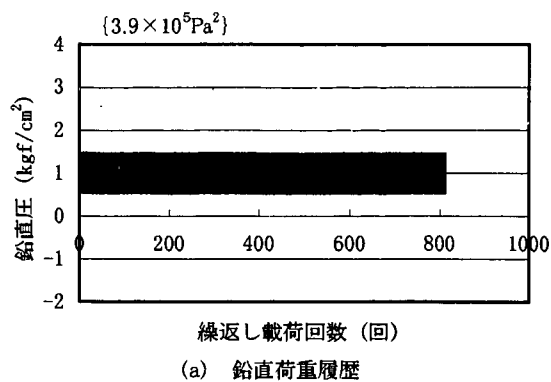


図-4.4.8 繰返し三軸試験結果  
(初期締固め率 90%,  $\sigma_{1d}=49\text{kPa}(0.5\text{kgf/cm}^2)$ )

図-4.4.9 繰返し三軸試験結果  
(初期締固め率 90%,  $\sigma_{1d}=78\text{kPa}(0.8\text{kgf/cm}^2)$ )

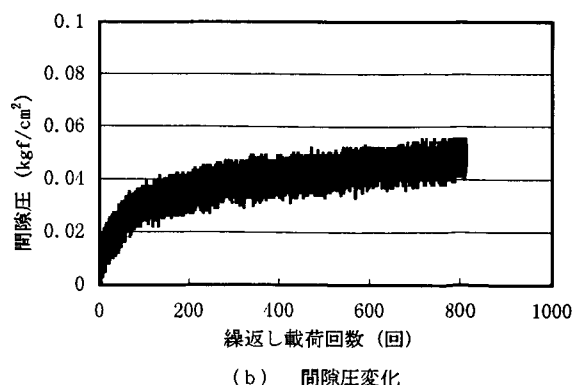
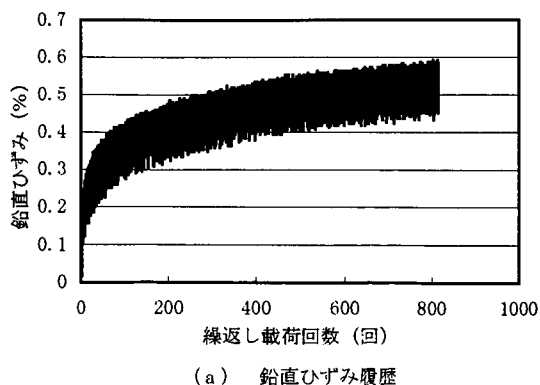


図-4.4.10 大型繰返し三軸試験結果(初期密度 85%,  $\sigma_{1d}=9.8 \times 10^4 \text{Pa}(0.5\text{kgf/cm}^2)$ )

大型繰返し三軸試験結果の一例を図-4.4.10 に示す。繰返し载荷が進むにつれて、鉛直ひずみ、間隙圧とも増加し、その後、徐々に勾配が緩くなっている。この傾向は、標準供試体と同様のものである。

(4) 強度試験結果

強度試験結果を表-4.4.5 および図-4.4.11～4.4.13 に示す。

図-4.4.11 および 4.4.12 より、圧縮強度、割裂引張強度とも細骨材中の石粉混入率が増加するとほぼ直線的に強度も増加している。これは、微粉末効果により結合材の分散がよくなったり、緻密化したために強度が増進したものと考えられる。

圧縮強度とヤング係数の関係は、図-4.4.13 のように強度が大きくなるとヤング係数も大きくなっている。石粉混入率による違いは明確でない。

割裂引張試験後、割裂断面の骨材が割裂破壊した面積を測定し、割裂面積率を求めた。割裂面積率は、図-4.5.1 から次式によって求められる。

$$\begin{aligned} \text{割裂面積率} &= \frac{\text{粗骨材の割裂面積}}{\text{理論的な粗骨材面積}} \\ &= \frac{\text{粗骨材の割裂面積} / \text{コンクリートの割裂断面面積}}{\text{単位粗骨材絶対容積}} \dots\dots\dots (4.4.1) \end{aligned}$$

表-4.4.8 に割裂面積率を示す。表中には文献 4.2)で検討した各種要因についても示した。図-4.4.14 に割裂引張強度と割裂面積率の関係を示す。割裂引張強度にかかわらず割裂面積率は数%となっている。割裂面積率は、骨材の圧裂強度の確率分布から破壊確率を考慮すると、コンクリートの割裂引張強度と正の相関関係があることが報告されている<sup>4.3)</sup>。ところが今回、両者の間に相関関係がないのは、Y骨材は節理が発達しており、骨材面のテクスチャーはほぼ平滑であったことから、コンクリートの割裂断面面積を観察するとほとんど付着破壊していたことによる。

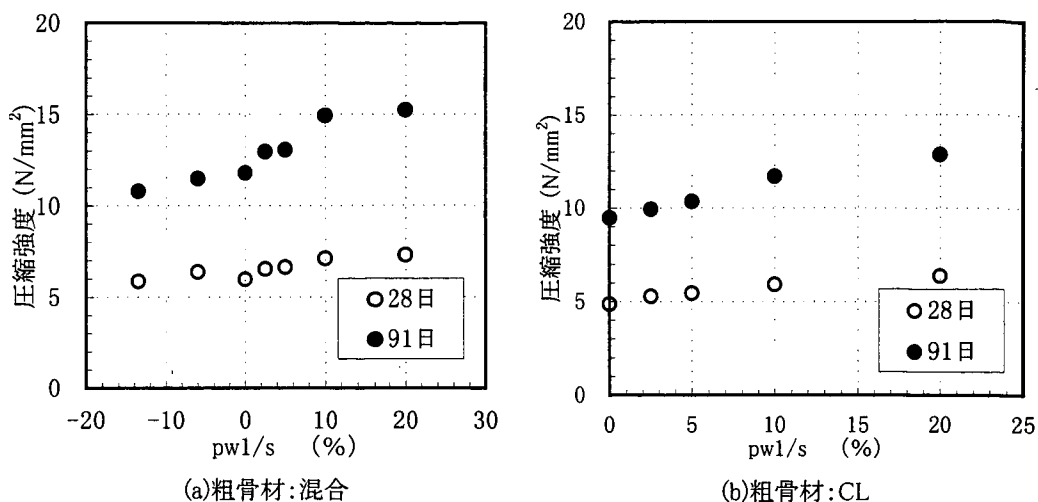


図-4.4.11 pw1/sと圧縮強度の関係

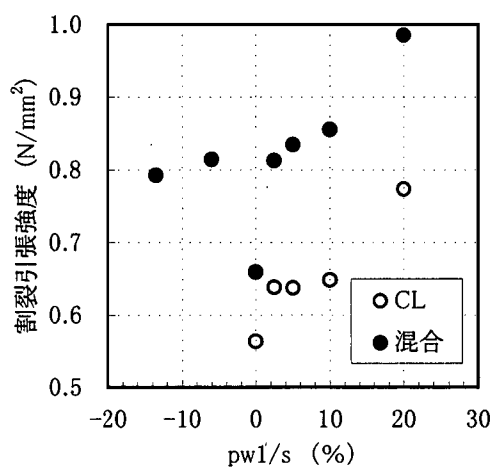


図-4.4.12 pw1/sと割裂引張強度の関係  
(材齢28日)

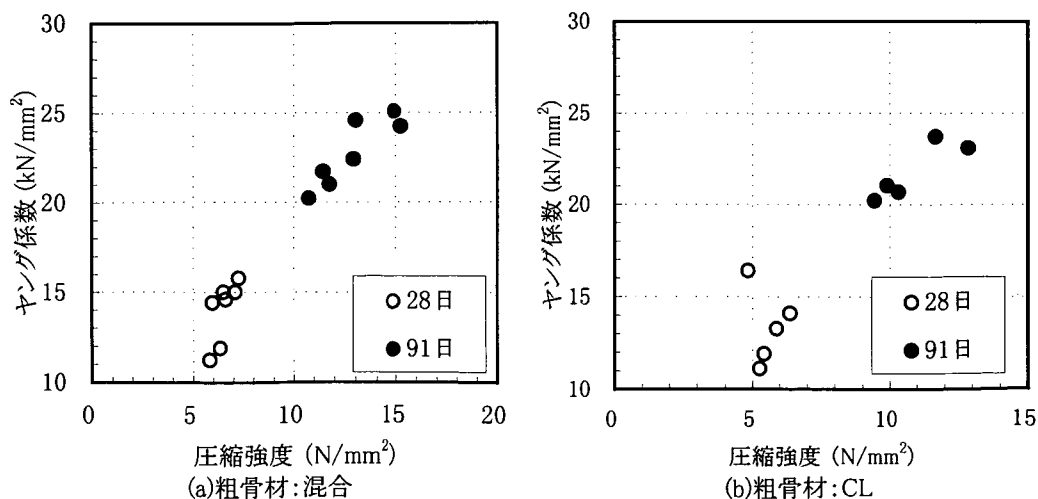


図-4.4.13 圧縮強度とヤング係数の関係

表-4.4.8 粗骨材の割裂面積率

(a)粗骨材:混合

| 材齢 | 粗骨材 | セメント | 試験項目 | 単位水量<br>kg/m <sup>3</sup> | s/a<br>% | 微粒分<br>率<br>% | 割裂<br>面積率<br>% | 引張強度<br>N/mm <sup>2</sup> |
|----|-----|------|------|---------------------------|----------|---------------|----------------|---------------------------|
| 28 | 混合  | N    | 単位水量 | 100                       | 38       | 13.5          | 1.35           | 1.38                      |
|    |     |      |      | 110                       |          |               | 0.20           | 1.10                      |
|    |     |      |      | 120                       |          |               | 2.04           | 0.96                      |
|    |     |      |      | 130                       |          |               | 1.30           | 0.77                      |
|    |     | M1   | 単位水量 | 100                       | 38       | 13.5          | 0.97           | 0.86                      |
|    |     |      |      | 113                       |          |               | 10.33          | 0.79                      |
|    |     |      |      | 130                       |          |               | 1.43           | 0.53                      |
|    |     | M1   | s/a  | 113                       | 30       | 13.5          | 1.13           | 0.73                      |
|    |     |      |      |                           | 30       |               | 1.75           | 0.73                      |
|    |     |      |      |                           | 35       |               | 3.20           | 0.82                      |
|    |     |      |      |                           | 40       |               | 0.08           | 0.77                      |
|    |     |      |      |                           | 45       |               | 4.95           | 0.88                      |
|    |     |      |      |                           | 50       |               | 2.33           | 0.76                      |
|    |     | M1   | 微粒分  | 113                       | 38       | 0.0           | 4.46           | 0.79                      |
|    |     |      |      |                           |          | 7.5           | 3.40           | 0.81                      |
|    |     |      |      |                           |          | 13.5          | 0.46           | 0.66                      |
|    |     |      |      |                           |          | 16.0          | 1.78           | 0.99                      |
|    |     |      |      |                           |          | 18.5          | 1.69           | 0.86                      |
|    |     |      |      |                           |          | 23.5          | 0.71           | 0.83                      |
|    |     |      |      |                           |          | 33.5          | 2.32           | 0.81                      |
|    |     | M1   | 混和剤① | 113                       | 38       | 13.5          | 1.87           | 1.81                      |
|    |     |      | 混和剤② |                           |          |               | 1.18           | 1.79                      |
|    |     |      | 混和剤③ |                           |          |               | 2.33           | 1.57                      |
|    |     |      | 混和剤④ |                           |          |               | 3.35           | 1.88                      |
| 91 | 混合  | N    | 単位水量 | 100                       | 38       | 13.5          | 3.09           | ナシ                        |
|    |     |      |      | 110                       |          |               | 2.42           | ナシ                        |
|    |     |      |      | 130                       |          |               | 1.66           | ナシ                        |
|    |     |      |      | 120                       |          |               | 4.70           | ナシ                        |

混和剤① NO.8  
混和剤② RD100  
混和剤③ MA785  
混和剤④ RD100+MA785

(b)粗骨材:CL

| 材齢 | 粗骨材 | セメント | 試験項目 | 単位水量<br>kg/m <sup>3</sup> | s/a<br>% | 微粒分<br>率<br>% | 割裂<br>面積率<br>% | 引張強度<br>N/mm <sup>2</sup> |
|----|-----|------|------|---------------------------|----------|---------------|----------------|---------------------------|
| 28 | CL  | M1   | 単位水量 | 100                       | 38       | 13.5          | 3.12           | 0.779                     |
|    |     |      |      | 110                       |          |               | 4.19           | 0.710                     |
|    |     |      |      | 120                       |          |               | 0.66           | 0.603                     |
|    |     |      |      | 130                       |          |               | 2.96           | 0.517                     |
|    |     |      |      | 116                       |          |               | 0.45           | 0.600                     |
|    |     |      | s/a  | 116                       | 30       | 13.5          | 0.87           | 0.590                     |
|    |     |      |      |                           | 35       |               | 0.51           | 0.612                     |
|    |     |      |      |                           | 40       |               | 2.25           | 0.675                     |
|    |     |      |      |                           | 45       |               | 0.16           | 0.370                     |
|    |     |      |      |                           | 50       |               | 0.43           | 0.563                     |
|    |     |      | 微粒分  | 116                       | 38       | 13.5          | 0.28           | 0.638                     |
|    |     |      |      |                           |          | 16.0          | 0.91           | 0.637                     |
|    |     |      |      |                           |          | 18.5          | 0.08           | 0.648                     |
|    |     |      |      |                           |          | 23.5          | 0.20           | 0.648                     |
|    |     |      |      |                           |          | 33.5          | 0.94           | 0.773                     |

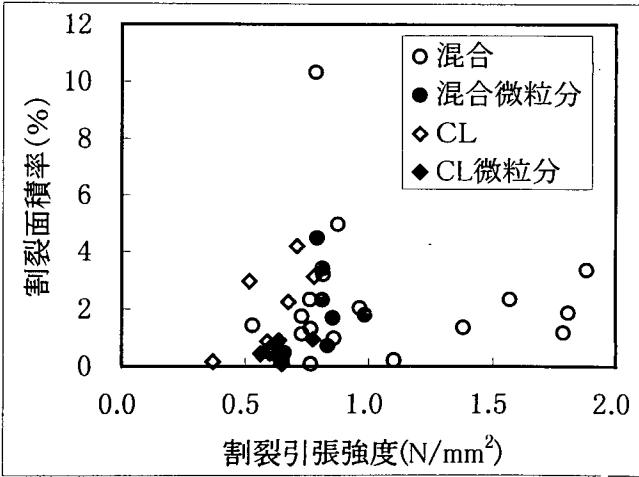


図-4.4.14 割裂引張強度と割裂面積率の関係

## 4. 5 石粉のワーカビリティ改善効果

### 4.5.1 量的な改善効果

#### (1) ワーカビリティに影響を及ぼす諸指標

RCD用コンクリートのような超硬練りコンクリートのワーカビリティを表す指標として、「ペースト/細骨材空隙比 $\alpha$ 」,「モルタル/粗骨材空隙比 $\beta$ 」が重要といわれている<sup>4.5)</sup>。硬練りである舗装用コンクリート<sup>4.6)</sup>や、軟練りである建築用コンクリート<sup>4.7)</sup>では、所要のワーカビリティを持たせ、粗骨材量を確保するために「単位粗骨材(かさ)容積」が用いられている。これらの関係は以下のようにになっている<sup>4.8)</sup>。

両指標が共通しているのは、骨材の空隙を充填するモルタル量、ペースト量と、ワーカビリティを確保するための潤骨材的な役割を果たすモルタル量、ペースト量を確保する必要があるということである。後者の例として「余剰ペースト膜厚理論」<sup>4.9)</sup>などがある。

まず、モルタル容積と粗骨材容積の関係について考える。単位体積当たりのコンクリートを単位面積で表すと、粗骨材容積とモルタルの容積は図-4.5.1 のようになり、横軸の粗骨材部分が実積率になるようにすると、縦軸は粗骨材のかさ容積(単位粗骨材(かさ)容積  $uG$ )、 $g$  が粗骨材絶対容積となり、残りは空隙になる。空隙のうち、 $m1$  は粗骨材の空隙を充填するモルタル容積、 $m2$  は残りの空隙部分のモルタル容積であり、粗骨材を分散させる役割、すなわち粗骨材粒の潤滑材的役割を果たすものということができる。このことから、コンクリートのワーカビリティは、コンクリート中に占める $m2$  の大きさと、モルタルのレオロジー定数、粗骨材の粒度、形状などによって決まることになる。 $m2$  に関する指標は、上記のように $\beta$ ,  $uG$ ,  $g$  などいくつかある。それらの関係は式(4.5.1)となり、 $\beta$ ,  $uG$ ,  $g$  の間には密接な関係がある。RCD用コンクリートについて、これらの関係を調査した結果は、 $\beta$ が大きくなると $g$ は大きくなり、 $uG$ は小さくなっている<sup>4.10)</sup>。このことは、式(4.5.1)から理解できる。

$$\beta = \frac{m1+m2}{m1} = \frac{1-g}{(1-J)uG} \dots\dots (4.5.1)$$

ここに、 $\beta$  : モルタル/粗骨材空隙比

$g$  : 粗骨材絶対容積

$uG$  : 単位粗骨材(かさ)容積

$J$  : 実積率

また、同じワーカビリティであっても、粗骨材のFMが異なれば $uG$ は異なるといわれている<sup>4.11)</sup>。これは、細骨材の粒度、すなわち表面積が異なることによりモルタルの粘性に影響を及ぼしていることが考えられる。

モルタル中における細骨材量とペースト量の関係も、細骨材空隙の充填と、細骨材粒子を分散させる効果に分けることができる(図-4.5.2)。

さらに、ペースト中の粉体と水の関係も図-4.5.3のように示すことができるものと考えられる。

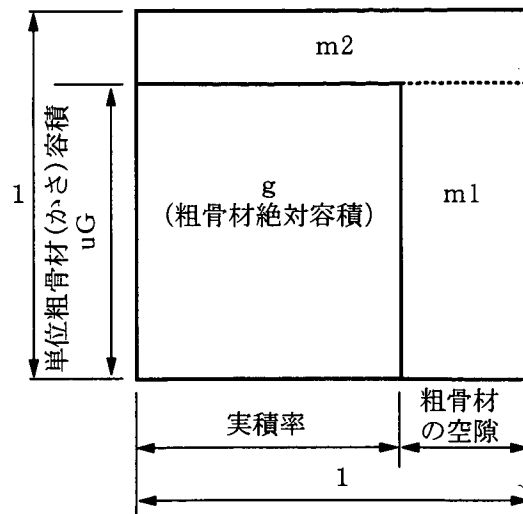


図-4.5.1 粗骨材量とモルタル量の関係

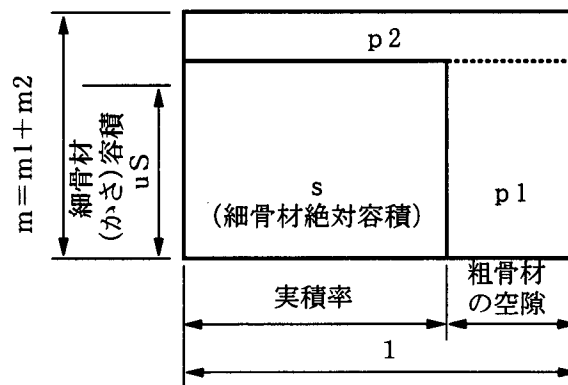


図-4.5.2 細骨材とペースト量の関係

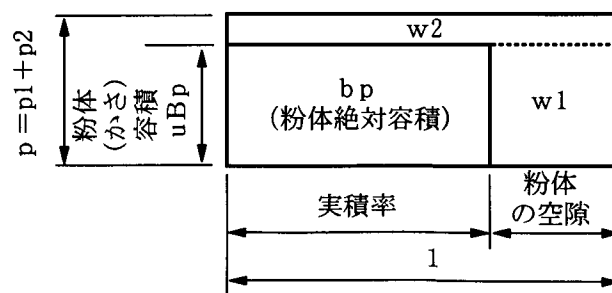


図-4.5.3 粉体量と水量の関係

表-4.5.1 ワーカビリティーの検討に用いた指標

| 粒子の<br>状態           | ペースト                                                                                                                                           | モルタル                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | コンクリート |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|-----------|------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------|-----------|---------|-----------|-----------------|----------------|-----------------|
| 単体                  | <div><div><div>w2</div><div>bp</div><div>w1</div></div></div> <p>水／粉体空隙比＝<math>\alpha_0</math><br/>粉体かさ／ペースト容積比＝<math>\frac{uBp}{p}</math></p> | <div><div><div>p2</div><div>s</div><div>p1</div></div></div> <p>ペースト／細骨材空隙比＝<math>\alpha</math><br/>細骨材かさ／モルタル容積比＝<math>\frac{uS}{m}</math><br/>実積率の試験法ごとの記号</p> <table><tr><td>落下法</td><td>JIS法</td><td>振動法</td></tr><tr><td><math>\alpha d</math></td><td><math>\alpha</math></td><td><math>\alpha v</math></td></tr><tr><td><math>\frac{uSd}{m}</math></td><td><math>\frac{uS}{m}</math></td><td><math>\frac{uSv}{m}</math></td></tr></table> | 落下法    | JIS法 | 振動法       | $\alpha d$ | $\alpha$            | $\alpha v$           | $\frac{uSd}{m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\frac{uS}{m}$ | $\frac{uSv}{m}$ | <div><div><div>m2</div><div>g</div><div>m1</div></div></div> <p>モルタル／粗骨材空隙比＝<math>\beta</math><br/>粗骨材かさ／コンクリート容積比＝<math>\frac{uG}{c}</math></p> <table><tr><td>落下法</td><td>JIS法</td><td>振動法</td></tr><tr><td><math>\beta d</math></td><td><math>\beta</math></td><td><math>\beta v</math></td></tr><tr><td><math>\frac{uGd}{c}</math></td><td><math>\frac{uG}{c}</math></td><td><math>\frac{uGv}{c}</math></td></tr></table> | 落下法       | JIS法               | 振動法                 | $\beta d$ | $\beta$ | $\beta v$ | $\frac{uGd}{c}$ | $\frac{uG}{c}$ | $\frac{uGv}{c}$ |
| 落下法                 | JIS法                                                                                                                                           | 振動法                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\alpha d$          | $\alpha$                                                                                                                                       | $\alpha v$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\frac{uSd}{m}$     | $\frac{uS}{m}$                                                                                                                                 | $\frac{uSv}{m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| 落下法                 | JIS法                                                                                                                                           | 振動法                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\beta d$           | $\beta$                                                                                                                                        | $\beta v$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\frac{uGd}{c}$     | $\frac{uG}{c}$                                                                                                                                 | $\frac{uGv}{c}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| 混合                  |                                                                                                                                                | <div><div><div>w2</div><div>s</div><div>bp</div><div>w1</div></div></div> <p>水／粉粒体空隙比＝<math>\alpha'</math><br/>粉粒体かさ／モルタル容積比＝<math>\frac{u(S+Bp)}{m}</math></p> <table><tr><td>JIS法</td><td>振動法</td></tr><tr><td><math>\alpha'</math></td><td><math>\alpha'v</math></td></tr><tr><td><math>\frac{u(S+Bp)}{m}</math></td><td><math>\frac{u(S+Bp)v}{m}</math></td></tr></table>                                                                    | JIS法   | 振動法  | $\alpha'$ | $\alpha'v$ | $\frac{u(S+Bp)}{m}$ | $\frac{u(S+Bp)v}{m}$ | <div><div><div>p2</div><div>g</div><div>s</div><div>p1</div></div></div> <p>ペースト／細粗混合骨材空隙比＝<math>\beta'</math><br/>細粗混合骨材かさ／コンクリート容積比＝<math>\frac{u(G+S)}{c}</math></p> <table><tr><td>JIS法</td><td>振動法</td></tr><tr><td><math>\beta'</math></td><td><math>\beta'v</math></td></tr><tr><td><math>\frac{u(G+S)}{c}</math></td><td><math>\frac{u(G+S)v}{c}</math></td></tr></table> | JIS法           | 振動法             | $\beta'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\beta'v$ | $\frac{u(G+S)}{c}$ | $\frac{u(G+S)v}{c}$ |           |         |           |                 |                |                 |
| JIS法                | 振動法                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\alpha'$           | $\alpha'v$                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\frac{u(S+Bp)}{m}$ | $\frac{u(S+Bp)v}{m}$                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| JIS法                | 振動法                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\beta'$            | $\beta'v$                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |
| $\frac{u(G+S)}{c}$  | $\frac{u(G+S)v}{c}$                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |           |            |                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                    |                     |           |         |           |                 |                |                 |

## (2) 検討に用いた指標

ここで検討に用いる指標は、上記のような $\alpha$ 、 $\beta$ 、単位粗骨材かさ容積に加え、細骨材かさ容積、粉体かさ容積である。これらは、粗骨材、細骨材、粉体それぞれ単体の実積率に対する指標である。

RCD用コンクリートの場合、ワーカビリティに影響を及ぼす指標として $\alpha$ 、 $\beta$ 、が便宜上用いられることが多い。 $\alpha$ の分子のペースト容積は、通常、水と結合材の容積で定義されている。しかし、今回のように微粒分率を変化させていても単位結合材量が一定であれば $\alpha$ は変化せず、微粒分の効果を評価することができない。

そこで、ペースト容積に細骨材に含まれている微粒分、混入した石粉も加えた粉体全量で評価することとした。

また、3.4節～3.6節では、粉体と細骨材の混合物（粉粒体）と細骨材と粗骨材の混合物（細粗混合骨材）の空隙特性についても検討した。そこで、これらの結果に基づいた指標についても検討する。

これらの関係を整理したのが表-4.5.1である。従来のものに比べて変更点、追加点は以下のとおりである。

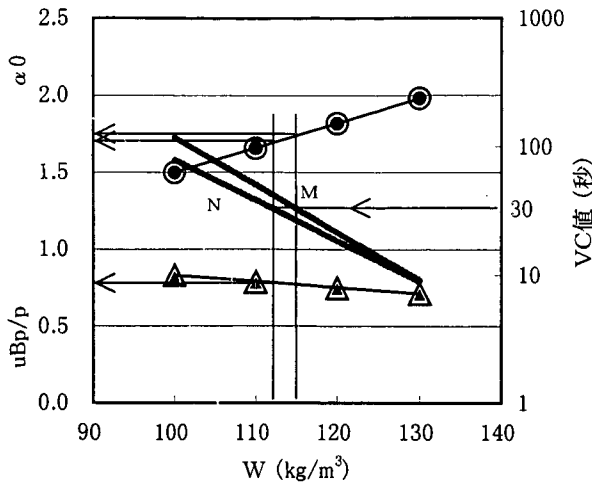
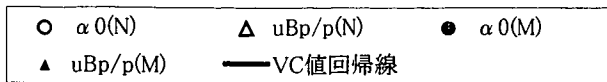
- ①  $\alpha$ 、 $\beta$ に、ペースト状態での「水／粉体空隙比 $\alpha_0$ 」を加えた。
- ② かさ容積については無次元化するため、それぞれのかさ容積をペースト、モルタル、コンクリートの体積で割った。  
それに伴い名称も「単位粗骨材（かさ）容積」→「粗骨材かさ／コンクリート容積比」とし、記号も「 $uG/c$ 」のように名称と一致するようにした。
- ③  $\alpha$ 、 $\beta$ は、元来、振動法による単位体積質量・実積率を基に定義されている。しかし、別の章では有スランプコンクリート、高流動コンクリートについても同じ指標で検討していることから、ここでは、JIS法に基づいて計算したものを $\alpha$ 、 $\beta$ とし、振動法から求めたものは添字 $v$ を付し、 $\alpha_v$ 、 $\beta_v$ 、落下法によるものは $d$ を付し、 $\alpha_d$ 、 $\beta_d$ とした。かさ容積に対しても、同様に添字を付した。
- ④ 従来から行われている粗骨材、細骨材単体に対し、混合した細粗混合骨材、粉粒体については、 $\alpha$ 、 $\beta$ には“ダッシュ”を付け、かさ容積には混合物がわかるように（ $G+S$ ）、（ $S+Bp$ ）とした。

## (3) ワーカビリティ改善効果

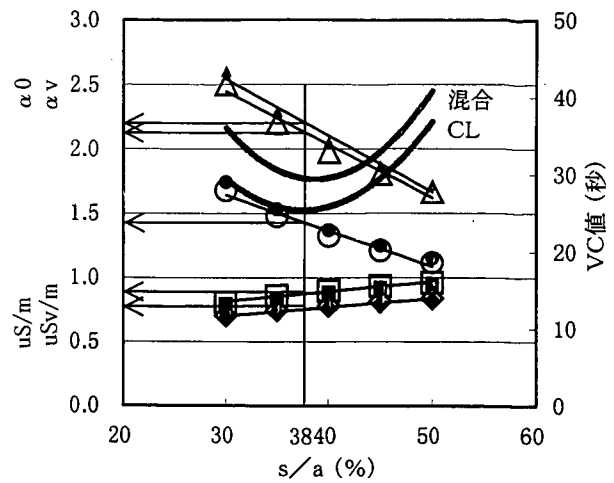
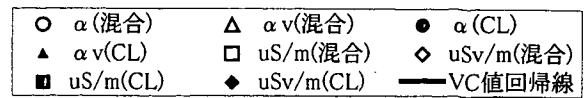
表-4.2.2の配合試験、表-4.4.1の石粉混入コンクリートの配合について、表-4.5.1の指標を計算した結果が表-4.5.2および表-4.5.3である。表-4.5.3の微粒分率 $pw/s$ と各指標値、VC値の関係を図-4.5.4に示す。

図-4.5.4（a）から、目標VC値（ここでは30秒）のときの単位水量が求められ、その時の水／粉体空隙比または粉体かさ／ペースト容積比が求められる。同様に（b）図からVC値が最小となる最適な微粒分率（表-4.5.3の太い枠囲）が求められる。微粒分率とVC値の関係も図-4.5.5のようになり、図-4.5.4と同様にそれらの各指標値を求めると、表-4.5.4のとおりであった。

一般にかさ容積は1未満、 $\alpha$ 、 $\beta$ は1より大きい値となる。表-4.5.4も粉体、細骨材、粗骨材の場合はそのようになっているが、混合した粉粒体、細粗混合骨材のJIS法の場合は逆になっている。RCDのよ



(a) 単位水量とVC値, 各指標の関係



(b) 細骨材率とVC値, 各指標の関係

図-4.5.4 配合試験時のワーカビリティと各指標値

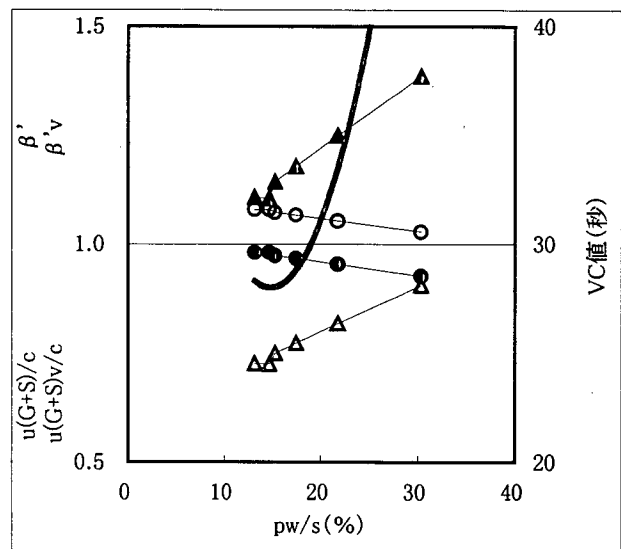
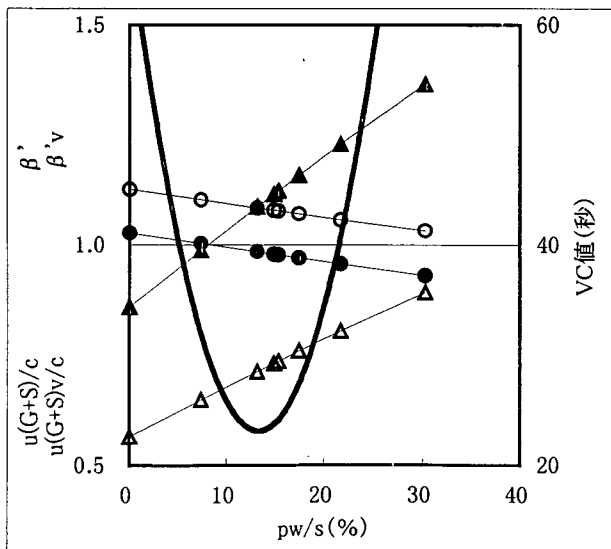
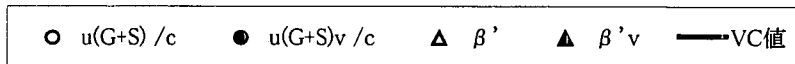


図-4.5.6 細粗混合骨材の微粒分率と各指標値の関係

うに強力に締め固める場合は、混合物の実積率を J I S 法で求めた値では配合設計に使えない。

図-4.5.5 の右端の  $u(G+S)v/c$ 、 $\beta'v$  と VC 値の関係を、縦軸を拡大して示したのが図-4.5.6 である。微粒分率  $pw/s$  が小さいときは  $u(G+S)v/c$  は 1 以上、 $\beta'v$  は 1 以上であり空隙を完全に充填できるだけ  
の微粒分が不足していることを示している。 $pw/s$  が 10% 程度になると両指標はほぼ 1 になり、15% 程度で VC 値が最小となっている。微粒分率は 15% 程度が最適であることを示している。このとき、 $u(G+S)v/c$

$c=0.98$ ,  $\beta'v=1.1$  程度であり、空隙充填以外のペースト量は極めてわずかであり、微妙なバランスの基で配合が決められていることがわかる。

通常、細骨材に含まれている 0.15mm 以下の微粒分は数%である。この場合、VC 値は右下がりの変化率が大きいところに位置しており、微粒分率の変化に対して VC 値の変化も大きい鋭敏な配合になっていることを示している。ところが、微粒分を VC 値が最小になるように混入すれば、微粒分率の変化に対して VC 値の変化の小さい鈍感な配合にできるという効果も期待できる。

RCD 用コンクリートの場合によく用いられている  $\alpha v$ ,  $\beta v$  と、それに担当するかさ容積  $uSv/m$ ,  $uGv/c$  について見てみると、 $\alpha v \approx 2.1$ ,  $\beta v \approx 1.8$  となっている。 $uSv/m \approx 0.76$ ,  $uGv/c \approx 0.78$  である。ちなみに、 $uGv/c$  について、JIS 法による  $uG/c$  と比較すると、 $uG/c \approx 0.9$  であり、0.1 程度小さくなっている。また舗装用コンクリートや建築の配合では、 $G_{max40mm}$  の場合、 $uG/c \approx 0.7$  であり、RCD は骨材がよく充填されていることがわかる。

以下の結果より、石粉のワーカビリティ改善効果を検討するには、細骨材に含まれている微粒分と合わせて検討する必要がある。一般的には、結合材も加える必要があるが、RCD 用コンクリートの場合には温度ひびわれ抑制の観点から結合材量はほぼ一定なので、微粒分率で検討できる。

次に、空隙充填と粗骨材、細骨材を充填しやすくするための潤滑材的な役割を果たす余剰のモルタル量、ペースト量の検討を行った。指標としては、通常 RCD 用コンクリートによく用いられている  $\alpha$  (ここでは  $\alpha v$ )、 $\beta$  ( $\beta v$ ) とかさ容積  $uS/m$ ,  $uG/c$ , さらに、粉粒体、細粗混合骨材についても同様な考えに基づいた  $\alpha'(\alpha'v)$ ,  $\beta'(\beta'v)$ ,  $u(S+Bp)v/m$ ,  $u(G+S)v/c$  についても検討した。最小の VC 値となる微粒分率は 15% 程度であり、そのとき  $\beta'v \approx 1.1$ ,  $u(G+S)v/c = 0.98$  であることがわかった。

これらの結果より、粗骨材、細骨材の空隙を充填するのに必要な微粒分は、RCD の場合結合材量と水量はほぼ一定なので、石粉で確保しようとするとき細骨材の 10% 程度であることがわかった。さらに潤滑材の効果を期待するには数% 増加させる必要があること、今回の結果では 15% 程度が最適であった。

これらの指標について、配合設計の観点から見てみると、通常よく用いられている  $\alpha$ ,  $\beta$  というのは、1 以上であれば理論上空隙が充填されるに十分なペースト量、モルタル量が確保されていることはわかる。しかしながら、どの程度の値であればよいのか、未だに明確になっていない。これは、骨材の形状 (実積率) などによって異なるためではないかと考えられる。また、骨材量が十分確保されているかどうか重要なファクターと考えられるが、 $\alpha$ ,  $\beta$  ではわかり難い。それに対して、今回検討したかさ容積、とくに混合した粉粒体、細粗混合骨材のかさ容積を用いるとその数値で直接把握できる。とくに混合骨材を用いると、 $u(G+S)v/c = 0.98$  であり潤滑材の役割を果たしているペーストは、わずかに 0.02 しかないことがわかる。逆に細骨材、粗骨材はかさ容積で 0.98 占めていることが一目瞭然である。

これらのことから、RCD 用コンクリートの配合にもかさ容積を用いるほうが設計しやすいものと考えられる。

表-4.5.2 RCD用コンクリート(Y骨材)の試験配合の各指標値

| 試験条件 |     | 試験項目 | 結合材の種類 | 粗骨材の種類 | W/B (%) | W/Bp (%) | Pw/Bp (%) | pw/s (%) | s0/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |      |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       | uBp/p | α0    | uS/m  | uSv/α | αv    | uG/c  | uGv/c | β | βv | u(S+Bp)/m | α' | u(G+S)/c | u(G+S)v/c | β' | β'v |
|------|-----|------|--------|--------|---------|----------|-----------|----------|----------|--------------------------|------|------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|----|-----------|----|----------|-----------|----|-----|
| W    | Bp  |      |        |        |         |          |           |          |          |                          |      |      |       | S0    | G      |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        |        |         |          |           |          |          | C                        | FA   | Pw1  | Pw0   |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
| 単位水量 | N50 | 混合   |        | 71.4   | 38.3    | 46.4     | 13.2      | 36.7     | 100.0    | 261.0                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 121.0 | 771.2  | 1343.9 | 0.831 | 1.499 | 0.925 | 0.808 | 1.230 | 1.833 | 0.880 | 0.772 | 1.362 | 1.926 | 1.128 | 0.616 | 1.088 | 0.991 | 0.690 | 1.050 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 78.6   | 42.4    | 46.1     | 13.2      | 36.7     | 110.0    | 259.5                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 119.5 | 762.1  | 1328.0 | 0.788 | 1.658 | 0.904 | 0.789 | 1.305 | 1.944 | 0.869 | 0.763 | 1.395 | 1.973 | 1.103 | 0.683 | 1.075 | 0.979 | 0.732 | 1.114 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 85.7   | 46.5    | 45.8     | 13.2      | 36.7     | 120.0    | 258.1                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 118.1 | 753.0  | 1312.2 | 0.750 | 1.819 | 0.882 | 0.771 | 1.381 | 2.058 | 0.859 | 0.754 | 1.429 | 2.021 | 1.079 | 0.751 | 1.063 | 0.967 | 0.775 | 1.179 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 92.9   | 50.6    | 45.5     | 13.2      | 36.7     | 130.0    | 256.7                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 116.7 | 743.9  | 1296.4 | 0.714 | 1.982 | 0.861 | 0.752 | 1.460 | 2.175 | 0.848 | 0.745 | 1.463 | 2.070 | 1.056 | 0.821 | 1.050 | 0.956 | 0.819 | 1.246 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      | M50 | 混合   |        | 71.4   | 37.1    | 48.1     | 14.9      | 34.3     | 100.0    | 269.8                    | 70.0 | 70.0 | 17.2  | 112.6 | 718.0  | 1388.7 | 0.845 | 1.449 | 0.892 | 0.780 | 1.344 | 2.003 | 0.909 | 0.798 | 1.272 | 1.800 | 1.128 | 0.622 | 1.095 | 0.993 | 0.678 | 1.034 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 80.7   | 42.2    | 47.7     | 14.9      | 34.3     | 113.0    | 267.8                    | 70.0 | 70.0 | 16.9  | 110.9 | 707.0  | 1367.4 | 0.790 | 1.650 | 0.864 | 0.755 | 1.448 | 2.159 | 0.895 | 0.786 | 1.314 | 1.859 | 1.096 | 0.710 | 1.078 | 0.978 | 0.731 | 1.115 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 92.9   | 49.0    | 47.2     | 14.9      | 34.3     | 130.0    | 265.1                    | 70.0 | 70.0 | 16.5  | 108.6 | 692.6  | 1339.6 | 0.727 | 1.918 | 0.828 | 0.724 | 1.591 | 2.371 | 0.877 | 0.770 | 1.370 | 1.939 | 1.054 | 0.829 | 1.056 | 0.958 | 0.802 | 1.224 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 71.4   | 38.3    | 46.4     | 13.2      | 36.9     | 100.0    | 261.0                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 121.0 | 771.2  | 1334.2 | 0.816 | 1.499 | 0.919 | 0.802 | 1.253 | 1.867 | 0.873 | 0.767 | 1.382 | 1.955 | 1.119 | 0.616 | 1.083 | 0.986 | 0.708 | 1.077 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      | CL  |      | 78.6   | 42.4   | 46.1    | 13.2     | 36.9      | 110.0    | 259.5    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 119.5 | 762.1 | 1318.5 | 0.775  | 1.658 | 0.897 | 0.784 | 1.327 | 1.978 | 0.863 | 0.758 | 1.415 | 2.002 | 1.095 | 0.683 | 1.070 | 0.974 | 0.750 | 1.142 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      | 85.7   | 46.5   | 45.8    | 13.2     | 36.9      | 120.0    | 258.1    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 118.1 | 753.0 | 1302.8 | 0.737  | 1.819 | 0.876 | 0.765 | 1.404 | 2.092 | 0.853 | 0.749 | 1.449 | 2.050 | 1.072 | 0.751 | 1.057 | 0.962 | 0.793 | 1.207 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      | 92.9   | 50.6   | 45.5    | 13.2     | 36.9      | 130.0    | 256.7    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 116.7 | 743.9 | 1287.7 | 0.703  | 1.982 | 0.855 | 0.747 | 1.483 | 2.210 | 0.842 | 0.740 | 1.484 | 2.099 | 1.049 | 0.821 | 1.044 | 0.951 | 0.838 | 1.275 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      | 80.7   | 49.3   | 38.9    | 13.2     | 27.2      | 113.0    | 229.3    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 89.3  | 569.5 | 1543.8 | 0.724  | 1.932 | 0.808 | 0.706 | 1.678 | 2.501 | 1.010 | 0.887 | 1.003 | 1.418 | 1.048 | 0.850 | 1.137 | 1.021 | 0.590 | 0.904 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
| 細骨材率 | M50 | 混合   |        | 80.7   | 46.3    | 42.7     | 13.2      | 31.9     | 113.0    | 244.2                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 104.2 | 664.4  | 1433.6 | 0.751 | 1.812 | 0.857 | 0.748 | 1.478 | 2.202 | 0.938 | 0.824 | 1.188 | 1.681 | 1.074 | 0.770 | 1.102 | 0.997 | 0.665 | 1.016 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 80.7   | 43.6    | 46.0     | 13.2      | 36.7     | 113.0    | 259.1                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 119.1 | 759.3  | 1323.3 | 0.776 | 1.706 | 0.897 | 0.784 | 1.328 | 1.979 | 0.866 | 0.761 | 1.405 | 1.987 | 1.096 | 0.703 | 1.072 | 0.975 | 0.744 | 1.134 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 80.7   | 41.2    | 48.9     | 13.2      | 41.6     | 113.0    | 274.0                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 134.0 | 854.3  | 1213.0 | 0.801 | 1.612 | 0.931 | 0.814 | 1.210 | 1.804 | 0.794 | 0.697 | 1.661 | 2.349 | 1.115 | 0.647 | 1.045 | 0.957 | 0.825 | 1.251 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      |        | 80.7   | 39.1    | 51.5     | 13.2      | 46.5     | 113.0    | 288.9                    | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 148.9 | 949.2  | 1102.7 | 0.824 | 1.528 | 0.961 | 0.839 | 1.117 | 1.665 | 0.722 | 0.634 | 1.968 | 2.784 | 1.130 | 0.599 | 1.023 | 0.953 | 0.903 | 1.274 |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      | CL  |      | 82.9   | 50.7   | 38.9    | 13.2     | 27.3      | 116.0    | 229.0    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 89.0  | 567.5 | 1527.2 | 0.698  | 1.986 | 0.793 | 0.693 | 1.744 | 2.600 | 0.999 | 0.878 | 1.029 | 1.456 | 1.030 | 0.874 | 1.127 | 1.011 | 0.618 | 0.947 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      | 82.9   | 47.6   | 42.6    | 13.2     | 32.1      | 116.0    | 243.8    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 103.8 | 662.0 | 1418.1 | 0.725  | 1.863 | 0.843 | 0.736 | 1.533 | 2.284 | 0.928 | 0.815 | 1.217 | 1.721 | 1.057 | 0.792 | 1.092 | 0.988 | 0.695 | 1.062 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      | 82.9   | 44.8   | 45.9    | 13.2     | 36.9      | 116.0    | 258.7    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 118.7 | 756.6 | 1309.0 | 0.752  | 1.754 | 0.884 | 0.772 | 1.373 | 2.047 | 0.857 | 0.752 | 1.435 | 2.031 | 1.081 | 0.724 | 1.062 | 0.967 | 0.776 | 1.181 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      | 82.9   | 42.4   | 48.8    | 13.2     | 41.8      | 116.0    | 273.5    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 133.5 | 851.2 | 1200.0 | 0.777  | 1.658 | 0.920 | 0.803 | 1.249 | 1.862 | 0.785 | 0.690 | 1.694 | 2.396 | 1.101 | 0.666 | 1.037 | 0.949 | 0.858 | 1.299 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |
|      |     |      | 82.9   | 40.2   | 51.5    | 13.2     | 46.7      | 116.0    | 288.4    | 70.0                     | 70.0 | 0.0  | 148.4 | 945.8 | 1090.9 | 0.801  | 1.571 | 0.950 | 0.830 | 1.150 | 1.715 | 0.714 | 0.627 | 2.004 | 2.835 | 1.119 | 0.617 | 1.015 | 0.946 | 0.936 | 1.317 |       |   |    |           |    |          |           |    |     |

表-4.5.3 石粉混入RCD用コンクリート(Y骨材)の各指標値

| 粗骨材<br>の種類 | W/B<br>(%) | W/Bp<br>(%) | Pw/Bp<br>(%) | pw/s<br>(%) | s0/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |      |      |       |       |       |        | uBp/p | α 0   | uS/m  | uSv/m | α     | α v   | uG/c  | uGv/c | β     | β v   | u(S+Bp)<br>/m | α ’   | u(G+S)<br>/c | u(G+S)v<br>/c | β ’   | β ’ v |
|------------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|-------|-------|
|            |            |             |              |             |             | W                        | Bp    |      |      |       |       | S0    | G      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |       |       |
|            |            |             |              |             |             |                          |       | C    | FA   | Pw1   | Pw0   |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |       |       |
| 混合         | 80.7       | 80.7        | 0.0          | 0.0         | 38.1        | 113.0                    | 140.0 | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 0.0   | 833.0 | 1367.4 | 0.531 | 1.743 | 1.018 | 0.889 | 0.949 | 1.415 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.094         | 0.718 | 1.126        | 1.027         | 0.565 | 0.859 |
|            | 80.7       | 55.6        | 31.1         | 7.4         | 36.3        | 113.0                    | 203.3 | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 63.3  | 770.5 | 1367.4 | 0.676 | 1.197 | 0.942 | 0.823 | 1.177 | 1.754 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.070         | 0.773 | 1.102        | 1.002         | 0.648 | 0.987 |
|            | 80.7       | 44.6        | 44.7         | 13.2        | 34.8        | 113.0                    | 253.2 | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 113.2 | 721.4 | 1367.4 | 0.767 | 0.960 | 0.882 | 0.770 | 1.383 | 2.061 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.088         | 0.728 | 1.083        | 0.984         | 0.712 | 1.086 |
|            | 80.7       | 42.2        | 47.7         | 14.9        | 34.3        | 113.0                    | 267.8 | 70.0 | 70.0 | 16.9  | 110.9 | 707.0 | 1367.4 | 0.790 | 0.908 | 0.864 | 0.755 | 1.448 | 2.159 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.096         | 0.710 | 1.078        | 0.978         | 0.731 | 1.115 |
|            | 80.7       | 41.6        | 48.4         | 15.3        | 34.2        | 113.0                    | 271.4 | 70.0 | 70.0 | 21.1  | 110.3 | 703.3 | 1367.4 | 0.795 | 0.896 | 0.860 | 0.751 | 1.466 | 2.185 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.097         | 0.706 | 1.077        | 0.977         | 0.736 | 1.122 |
|            | 80.7       | 39.0        | 51.7         | 17.4        | 33.6        | 113.0                    | 289.7 | 70.0 | 70.0 | 42.2  | 107.5 | 685.3 | 1367.4 | 0.823 | 0.839 | 0.838 | 0.732 | 1.553 | 2.315 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.108         | 0.684 | 1.070        | 0.970         | 0.759 | 1.158 |
|            | 80.7       | 34.6        | 57.1         | 21.7        | 32.4        | 113.0                    | 326.2 | 70.0 | 70.0 | 84.4  | 101.8 | 649.2 | 1367.4 | 0.873 | 0.745 | 0.793 | 0.693 | 1.742 | 2.597 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.129         | 0.643 | 1.057        | 0.956         | 0.804 | 1.229 |
|            | 80.7       | 28.3        | 64.9         | 30.3        | 29.9        | 113.0                    | 399.4 | 70.0 | 70.0 | 168.9 | 90.5  | 577.1 | 1367.4 | 0.957 | 0.608 | 0.705 | 0.616 | 2.191 | 3.266 | 0.895 | 0.786 | 0.760 | 1.224 | 1.175         | 0.569 | 1.032        | 0.930         | 0.892 | 1.365 |
| CL         | 82.9       | 45.9        | 44.6         | 13.2        | 35.0        | 116.0                    | 252.7 | 70.0 | 70.0 | 0.0   | 112.7 | 718.8 | 1352.7 | 0.754 | 0.988 | 0.875 | 0.764 | 1.408 | 2.099 | 0.885 | 0.777 | 0.771 | 1.243 | 1.080         | 0.750 | 1.079        | 0.980         | 0.726 | 1.107 |
|            | 82.9       | 43.6        | 47.3         | 14.7        | 34.5        | 116.0                    | 265.8 | 70.0 | 70.0 | 16.6  | 109.2 | 705.7 | 1352.7 | 0.755 | 0.988 | 0.876 | 0.765 | 1.404 | 2.092 | 0.885 | 0.777 | 0.771 | 1.243 | 1.081         | 0.749 | 1.080        | 0.980         | 0.724 | 1.105 |
|            | 82.9       | 42.8        | 48.3         | 15.3        | 34.4        | 116.0                    | 270.9 | 70.0 | 70.0 | 21.0  | 109.9 | 700.8 | 1352.7 | 0.783 | 0.921 | 0.853 | 0.745 | 1.492 | 2.223 | 0.885 | 0.777 | 0.771 | 1.243 | 1.090         | 0.726 | 1.072        | 0.973         | 0.749 | 1.143 |
|            | 82.9       | 40.1        | 51.6         | 17.5        | 33.8        | 116.0                    | 289.2 | 70.0 | 70.0 | 42.1  | 107.1 | 682.8 | 1352.7 | 0.810 | 0.863 | 0.831 | 0.726 | 1.580 | 2.355 | 0.885 | 0.777 | 0.771 | 1.243 | 1.100         | 0.704 | 1.066        | 0.966         | 0.772 | 1.178 |
|            | 82.9       | 35.6        | 57.0         | 21.7        | 32.6        | 116.0                    | 325.6 | 70.0 | 70.0 | 84.1  | 101.5 | 646.9 | 1352.7 | 0.860 | 0.766 | 0.787 | 0.688 | 1.770 | 2.639 | 0.885 | 0.777 | 0.771 | 1.243 | 1.121         | 0.662 | 1.053        | 0.953         | 0.817 | 1.249 |
|            | 82.9       | 29.1        | 64.9         | 30.3        | 30.1        | 116.0                    | 398.5 | 70.0 | 70.0 | 168.3 | 90.2  | 575.0 | 1352.7 | 0.944 | 0.625 | 0.700 | 0.611 | 2.223 | 3.314 | 0.885 | 0.777 | 0.771 | 1.243 | 1.167         | 0.586 | 1.028        | 0.926         | 0.905 | 1.385 |

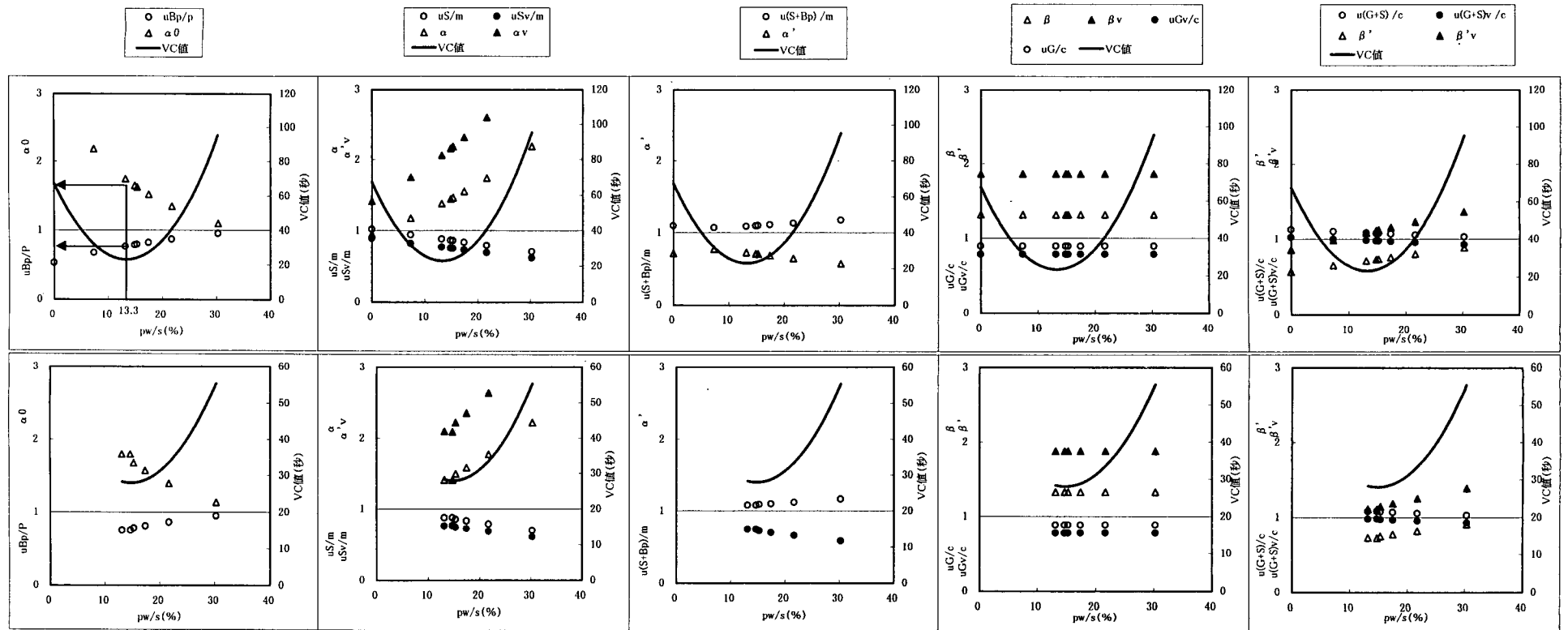


図-4.5.5 微粒分率と各指標値の関係(上段, 下段は粗骨材との違いであり, 上段:混合, 下段:CL)

## 4.5.2 振動締固め効果

### (1) 流動化の要因

超硬練りコンクリートは繰返し加圧を受けることにより図-4.4.4のように塑性変形しながら締め固まる。ある条件のもとでは、図-4.4.9のように流動化して締め固まる。文献 4.3)のデータも加え、初期締固め率と鉛直圧振幅 $\sigma_{1d}$ の関係を示すと図-4.5.7 になる。黒印が流動化したもの、白印は流動化しなかった（非流動化）ものである。実線の左上側が流動化範囲であり、初期締固め率が小さく、鉛直圧振幅が大きいほど流動化しやすいことがわかる。

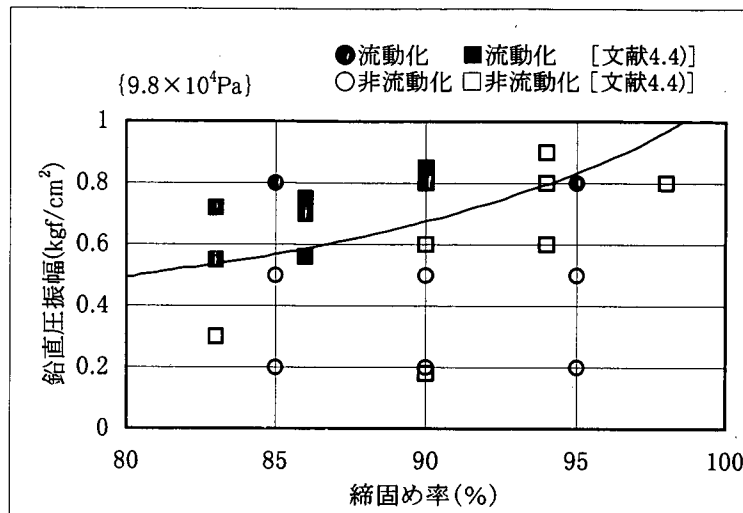


図-4.5.7 流動化の範囲

### (2) 締固め率の変化

非排水試験において締固め率の経時変化は、間隙圧に関して $PV = \text{一定}$ （ $P$ ：圧力、 $V$ ：体積）が成り立つとして締固め率を式（4.5.2）により計算した。

$$Dc = Dc_0 \times (1 + \Delta u) / (1 + Dc_0 / 100 \times \Delta u) \quad \cdots (4.5.2)$$

$Dc$  : 締固め率

$Dc_0$  : 初期締固め率

$\Delta u$  : 間隙比の変化

また、繰返し載荷回数と締固め率変化の関係は図-4.5.8 のように、双曲線で近似出来ることが経験的に明らかにされている。

$$Dc - Dc_0 = N / (a + b \times N) \quad \cdots (4.5.3)$$

$N$  : 繰返し載荷回数

$a, b$  : 鉛直圧振幅や初期締固め率によって決まる定数

式（4.5.3）で $1/a$ は式を繰返し載荷回数 $N$ で微分すると明らかなように、 $N=0$ としたときの初期接

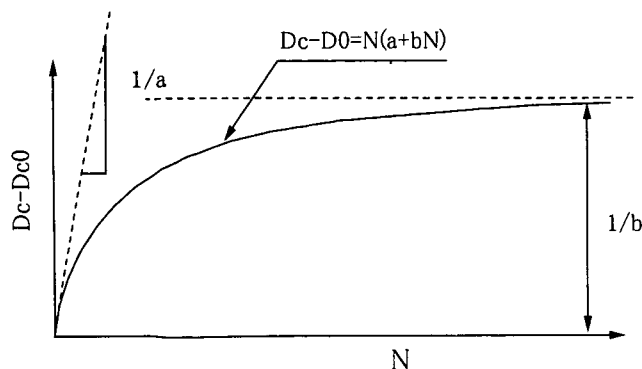


図-4.5.8 締固め率変化の双曲線近似

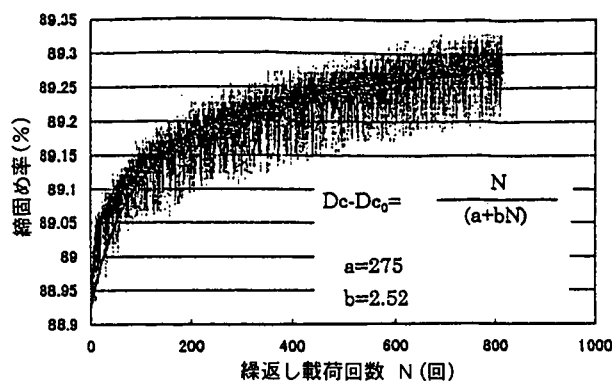


図-4.5.9 双曲線近似の一例

線勾配を表す。すなわち  $a$  は曲線のなだらかさを表し、繰返し载荷回数（転圧回数）による密度増加の効果を現している。また、 $1/b$  は  $N \rightarrow \infty$  としたときに達成できる締固め率を表している。各試験ケースについて、双曲線近似を行い、定数  $a$ 、 $b$  の値を求めた。その一例を図-4.5.9 に示す。

この定数  $a$ 、 $b$  は、各要因で変化するが、初期締固め率が 85%、90%、95% の各ケースについて、鉛直圧振幅と定数  $a$ 、 $b$  の関係を図-4.5.10～図-4.5.11 に示す

同じ鉛直圧振幅であれば、鉛直圧振幅が大きい方が、また同じ鉛直圧振幅であれば、初期締固め率の小さい方が、定数  $a$ 、 $b$  の値はそれぞれ小さくなり、繰返し载荷の効果が大きく、かつ到達できる締固め率が大きいことを表している。

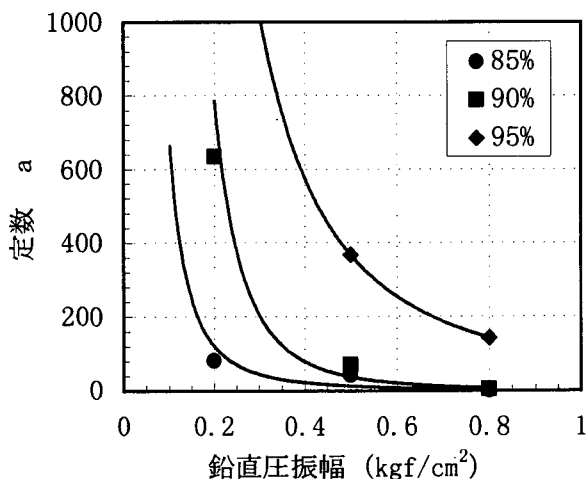


図-4.5.10 鉛直圧振幅と定数  $a$  の関係

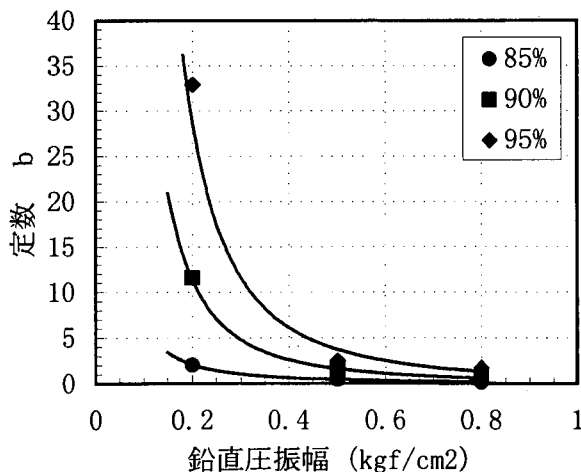


図-4.5.11 鉛直圧振幅と定数  $b$  の関係

### (3) 締固め率変化の推定

これまでの試験結果について締固め特性を表す定数  $a$ 、 $b$  を用いて、例として図-4.5.12 に鉛直圧振幅  $1.96 \times 10^4$ 、 $4.9 \times 10^4$ 、 $7.8 \times 10^4$  Pa {0.2, 0.5, 0.8 kgf/cm²}、初期締固め率 92% の場合の締固めの特性曲線を示す。

鉛直圧振幅が相違する場合、鉛直圧振幅が大きいものほど締固め率が早く増加することになる。この鉛直圧振幅は振動ローラの起振力の大きさや、コンクリートの深度方向での圧力の大きさを表している。

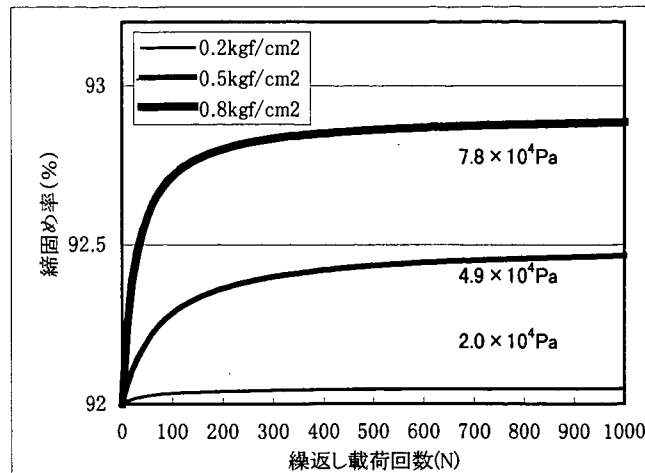


図-4.5.12 締固め特性曲線

#### (4) 繰返し三軸試験による振動締固め効果

超硬練りコンクリートの繰返し三軸試験を行った結果、次のように挙動することがわかった。

- ① ウェットスクリーニングによって骨材径が小さい試料を用いて試験した。このコンクリートは空隙が多くなり、 $VC$ 値は大きく、単位体積質量は小さくなった。
- ② 繰返し三軸試験では、条件（鉛直圧振幅：大、初期締固め率：小）によって、鉛直ひずみと間隙圧が急激に上昇し供試体が破壊する。これは土質の液状化の状態（コンクリートの流動化）を示している。
- ③ 締固め率変化は、 $D_c - D_{c_0} = N / (a + b \times N)$  で表される双曲線で近似できることが分かった。定数  $1/a$  は締固め率増加の傾きを表しており、 $1/b$  は終局的な締固め率を表している。
- ④ 定数  $a$ 、 $b$  について、初期締固め率と鉛直圧振幅が既知であれば、締固め率変化の推定特性曲線が求まることが分かった。
- ⑤ 大型繰返し試験では、標準の繰返し三軸試験とほぼ同様の挙動を示すことが分かった。

4. 6 石粉の強度特性改善効果

図-4.3.18, 図-4.4.11 および 4.4.12 のように微粒分率と強度の間には正の相関関係がある。微粒分混入により強度が増加した理由は、今回使用した微粒分が不活性であることから、化学的反応によって強度が増加したとは考え難い。微粒分を増やすと、セメント粒子の集団の一部に微粒分が入り込み、セメント粒子周辺における水和物を析出できるスペースが増すことによって水和反応が促進されるという微粒末効果<sup>4.12)</sup>によるものと考えられる。

微粒分の強度増進効果を見るため、単位結合材量Bに対する微粒分量P<sub>w</sub>の比P<sub>w</sub>/Bと微粒分率0%のときの強度に対する増加率をモルタルおよびコンクリートについて求めると図-4.6.1 のようになった。通常、コンクリートの圧縮強度はセメント水比に比例する。石粉を混入する場合、次式のように結合材量にある係数γ(図-4.6.1の傾き)をかけた微粒分量を加えて評価できるものと考えられる。

有効結合材水比 =  $\frac{B + \gamma \cdot P_w}{W}$  . . . . . (4.6.1)

ここに、B：単位結合材量、P<sub>w</sub>：単位微粒分量、W：単位水量、γ：微粒分の強度増進効果を現す係数。  
係数γは、今回の試験では表-4.6.1 および図-4.6.2 のようにモルタルの場合 0.327~0.801 と極めて高い。コンクリートの場合は、圧縮が 0.130~0.233, 割裂引張が 0.064~0.147 であった。係数γは、図-4.6.2 のとおり微粒分の品質はもちろん、材齢の影響などを受けることが考えられることから、一定値ではなく時間などを含んだ関数になるものと考えられる。

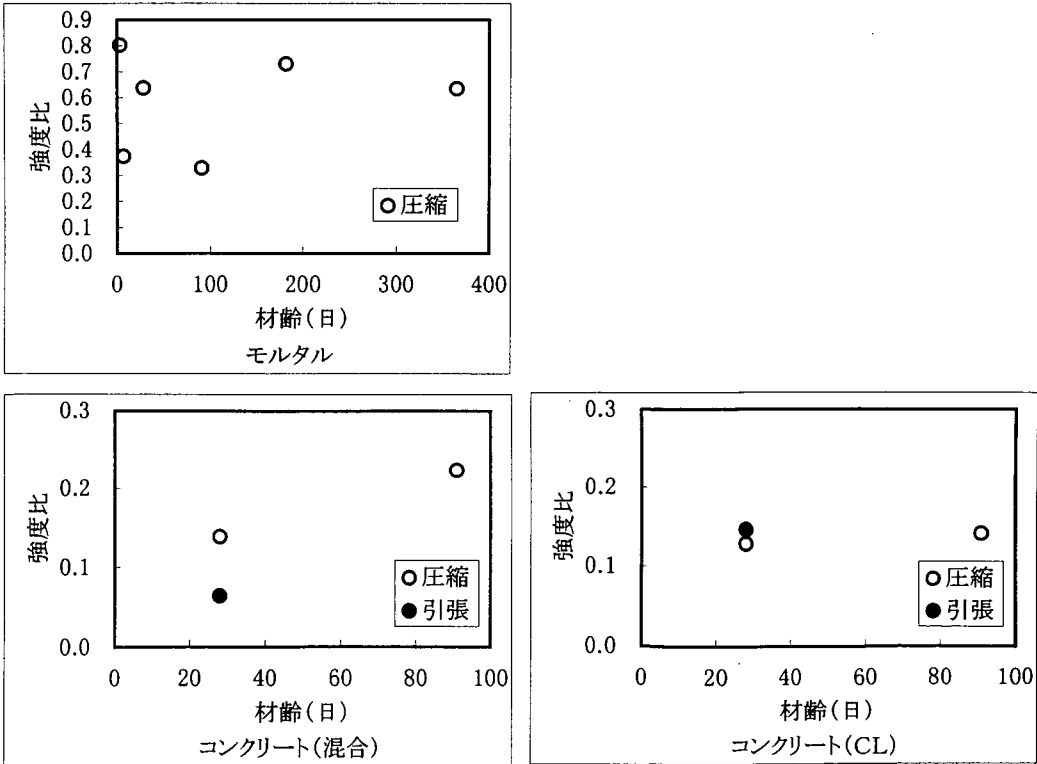
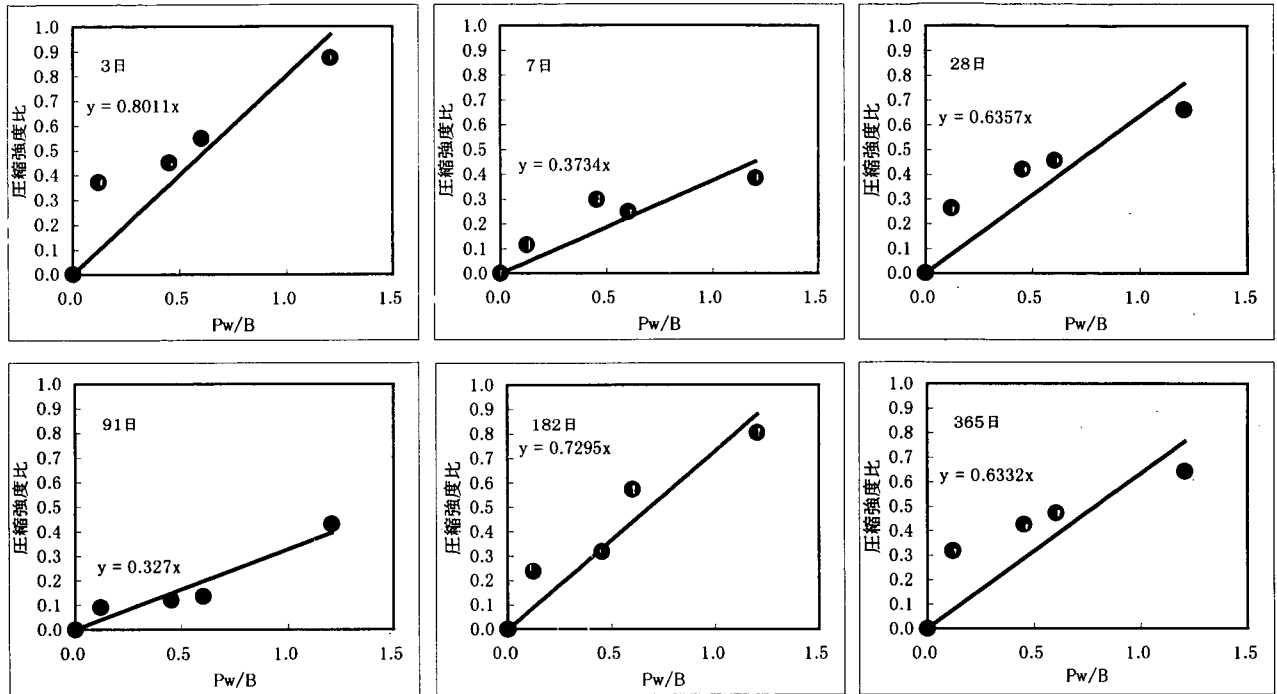


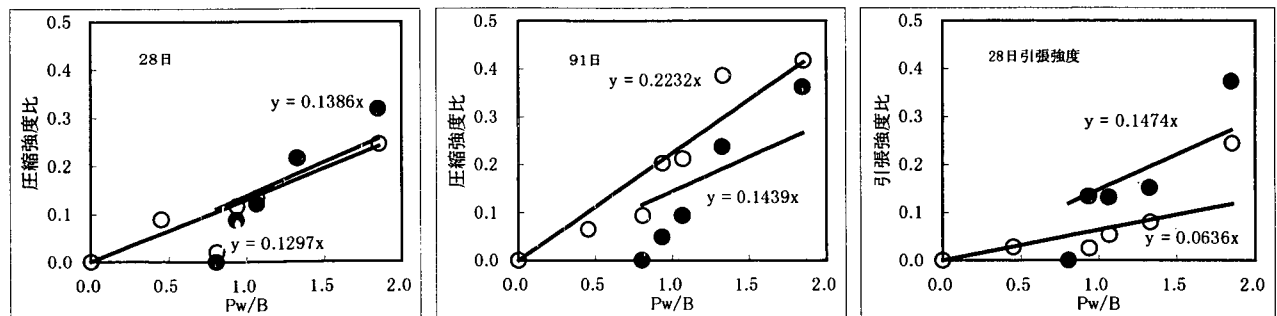
図-4.6.2 材齢と強度比の関係

表-4.6.1 強度比

|        |    | 材齢(日) |       |       |       |       |       |       |
|--------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |    | 3     | 7     | 28    | 91    | 182   | 365   | 平均    |
| モルタル   | 圧縮 | 0.801 | 0.373 | 0.636 | 0.327 | 0.730 | 0.633 | 0.583 |
| コンクリート | 混合 |       |       | 0.139 | 0.223 |       |       | 0.181 |
|        |    |       |       | 0.064 |       |       |       | 0.064 |
|        | CL |       |       | 0.130 | 0.144 |       |       | 0.137 |
|        |    |       |       | 0.147 |       |       |       | 0.147 |



(a) モルタル



(b) コンクリート

図-4.6.1  $Pw/B$ と強度比の関係

## 5 章 Ks 骨材を用いた超硬練りコンクリート

### 5.1 使用材料

### (1) 骨材

粗骨材、細骨材ともKs骨材のB、Cを1対1で混合したMを用いた。

### (2) 石粉

石粉は KsB1 と KsC1 を 2 対 1 で混合したものを用いた。

### (3) 結合材

結合材は、中庸熱ポルトランドセメントM2 に、フライアッシュF2 を、セメントの 30%置換したものを  
用いた。

#### (4) 混和剂

リグニンスルホン酸化合物を主成分とする遅延型の A E 減水剤（ポゾリス No.8）を標準量（結合材の質量×0.25%）用いた。

## 5. 2 基本配合<sup>5. 1)</sup>

### 5.2.1 配合条件

石粉を混入していない、以下の条件の配合（以下基本配合と呼ぶ）を決めるため、配合試験を行った。

粗骨材の最大寸法 (G<sub>max</sub>): 40mm

単位結合材料 : 160kg/m<sup>3</sup>

フルミックス時を  $120\text{kg/m}^3$  と考え、40mm ふるい

でウェットスクリーニングすることを想定した。

フライアッシュ置換率 : 30%

これらの条件の下で、VC 値が 20 秒のときの単位水量と、VC 値が最小になる細骨材率（最適細骨材率）を試験練りによって決定し、強度試験などを行った。

### 5.2.2 配合試験

### (1) 單位水量試驗

細骨材率を 40%一定とし、それぞれ単位水量を 100~130kg/m<sup>3</sup>まで 10kg/m<sup>3</sup>ずつ変化させ、VC 試験を行った。

### (2) 最適細骨材率

細骨材率を 30～50%まで 5 %ずつ変化させ、V C 試験を行った。単位水量は(1)で V C 値が 20 秒のときの値を用いた。

### (3) 練混ぜ方法

50 ⅓%の2軸強制練りミキサーを用い、細骨材と結合材を投入して10秒空練りし、水を加えて30秒、粗骨材を加えて90秒練混ぜた。

#### (4) VC試験

土木学会規準 (JSCE-F507-1995)「RCD用コンクリートのコンシステンシー試験方法 (案)」によった。

### 5.2.3 配合試験結果

配合試験用の配合およびVC試験結果は表-5.2.1のとおりであった。

#### (1) 単位水量とVC値の関係

単位水量とVC値の関係は図-5.2.1のようになった。式(4.2.1)での回帰結果は表-5.2.2のとおりである。単位水量 100kg/m<sup>3</sup>のときのVC値は 120 秒以上だったので、回帰には用いていない。回帰結果からVC値 20 秒のときの単位水量を求めると、表-5.2.2の最適値のとおり、約 120kg/m<sup>3</sup>であった。

#### (2) 細骨材率とVC値の関係

細骨材率とVC値の関係は図-5.2.2のとおりである。式(4.2.2)で回帰した結果は表-5.2.2のようになった。回帰結果からVC値が最小のときの細骨材率(最適細骨材率)を求めると 32.5%となった。

表-5.2.1 Ks骨材を使用したRCD用コンクリートの配合試験の配合および結果

| 粗骨材の<br>最大<br>寸法<br>(mm) | 骨材の組合せ |     | 試験<br>内容 | 目標<br>VC<br>値<br>(秒) | 水結合<br>材比<br>W/B<br>(%) | 細骨材<br>率<br>s/a<br>(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |          |          |           | VC値   |
|--------------------------|--------|-----|----------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|----------|----------|-----------|-------|
|                          |        |     |          |                      |                         |                        | 水<br>W                     | 結合材<br>B<br>(C+F) | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | AE<br>減水剤 |       |
|                          | 粗骨材    | 細骨材 |          |                      |                         |                        |                            |                   |          |          |           |       |
| 40                       | M      | M   | 単位<br>水量 | 20                   | 62.5                    | 40                     | 100                        | C=112<br>F= 48    | 867      | 1312     | 0.400     | 120以上 |
|                          |        |     |          |                      | 68.8                    |                        | 110                        |                   | 857      | 1296     | 0.400     | 55.3  |
|                          |        |     |          |                      | 75.0                    |                        | 120                        |                   | 846      | 1280     | 0.400     | 25.2  |
|                          |        |     |          |                      | 81.2                    |                        | 130                        |                   | 836      | 1265     | 0.400     | 6.2   |
|                          |        |     |          |                      |                         |                        |                            |                   |          |          |           |       |
|                          | M      | M   | 細骨<br>材率 |                      | 76.9                    | 30                     | 123                        |                   | 634      | 1486     | 0.400     | 15.8  |
|                          |        |     |          |                      | 35                      | 739                    |                            |                   | 1381     | 0.400    | 16.2      |       |
|                          |        |     |          |                      | 40                      | 844                    |                            |                   | 1275     | 0.400    | 18.3      |       |
|                          |        |     |          |                      | 45                      | 948                    |                            |                   | 1170     | 0.400    | 27.2      |       |
|                          |        |     |          |                      | 50                      | 1055                   |                            |                   | 1063     | 0.400    | 36.4      |       |
|                          |        |     |          |                      |                         |                        |                            |                   |          |          |           |       |
|                          |        |     |          |                      |                         |                        |                            |                   |          |          |           |       |
|                          |        |     |          |                      |                         |                        |                            |                   |          |          |           |       |
|                          |        |     |          |                      |                         |                        |                            |                   |          |          |           |       |
|                          |        |     |          |                      |                         |                        |                            |                   |          |          |           |       |

表-5.2.2 回帰結果

|                 | 粗骨材 | 回帰係数    |       |       | 相関係数<br>r | 最適値*<br>kg/m <sup>3</sup> または% | 配合決定<br>kg/m <sup>3</sup> または% |
|-----------------|-----|---------|-------|-------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
|                 |     | a       | b     | c     |           |                                |                                |
| 単位水量と<br>VC値の関係 | M   | -0.0475 | 7.01  | -     | 0.987     | 120.2                          | 122                            |
| 細骨材率と<br>VC値の関係 | M   | 0.0697  | -4.53 | 89.08 | 0.997     | 32.5                           | 40                             |

\*単位水量は、VC値が20秒のとき

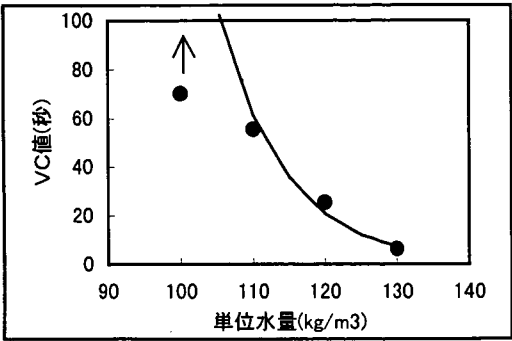
細骨材率は、VC値が最小のとき

### 5.2.4 基本配合

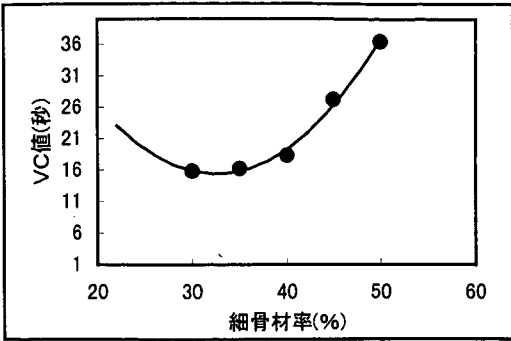
石粉を混入するときの基本となる配合は次のように決めた (表-5.2.3)。

単位水量は表-5.2.2の結果から 122kg/m<sup>3</sup>とした。

細骨材率は、配合試験では 32.5%が最適値となった。しかしながら、フルミックスのコンクリートを実際にウェットスクリーニングしてVC試験を行うと、フルミックス配合の最適細骨材率は、通常、30%程度である。それをウェットスクリーニングしたときに換算すると 40%程度になることから、ここでも 40%とした。



図－5.2.1 単位水量とVC値の関係



図－5.2.2 細骨材率とVC値の関係

表－5.2.3 RCD用コンクリートの基本配合

| 粗骨材<br>の最大<br>寸法<br>(mm) | 骨材の組合せ |     | 目標<br>VC<br>値<br>(秒) | 水結合<br>材比<br>W/B<br>(%) | 細骨材<br>率<br>s/a<br>(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |                       |          |          |           |
|--------------------------|--------|-----|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|----------|----------|-----------|
|                          |        |     |                      |                         |                        | 水<br>W                     | 結合材<br>B<br>(C+F)     | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | AE<br>減水剤 |
|                          | 粗骨材    | 細骨材 |                      |                         |                        |                            |                       |          |          |           |
| 40                       | M      | M   | 20                   | 76.2                    | 40                     | 122                        | 160<br>C=112<br>F= 48 | 844      | 1278     | 0.400     |

### 5. 3 石粉を混入した超硬練りコンクリートの試験

#### 5.3.1 試験方法

表-5.2.3 の基本配合に対し、細骨材中に石粉を  $pw1/s = 5, 10, 20\%$  混入した。また、細骨材中の  $0.15\text{mm}$  以下の微粒分をカットしたケース ( $pw1/s = -9.2\%$ ) も加えた。配合表を表-5.3.1 に示す。

各配合について、VC試験、圧縮および割裂引張強度試験を行った。VC試験では、試料を容器に詰めて振動を加える直前の試料の高さを測定して締固め率を求めた。また、VC試験直後も沈下量を測定して締め固まった後の締固め率も求めた。

表-5.3.1 石粉混入コンクリートの配合

| W/B (%) | pw1/s (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |      |       |       |      |       | G      | AE減水剤<br>ポゾリスNo8 |
|---------|-----------|---------|--------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|--------|------------------|
|         |           |         | W                        | B     | C     | F    | S     | Pw1   | Pw0  | S0    |        |                  |
| 76.2    | -9.2      | 40.0    | 122.0                    | 160.0 | 112.0 | 48.0 | 844.0 | 0     | 0    | 844.0 | 1278.0 | 0.400            |
|         | 0         |         |                          |       |       |      |       | 0     | 77.6 | 806.4 |        | 0.400            |
|         | +5.0      |         |                          |       |       |      |       | 42.2  | 77.6 | 724.2 |        | 0.400            |
|         | +10.0     |         |                          |       |       |      |       | 84.4  | 77.6 | 682.0 |        | 0.400            |
|         | +20.0     |         |                          |       |       |      |       | 168.8 | 77.6 | 597.6 |        | 0.400            |
|         |           |         |                          |       |       |      |       |       |      |       |        |                  |

#### 5.3.2 試験結果

##### (1) 試験結果

VC試験、圧縮および割裂引張強度試験結果は表-5.3.2 のとおりであった。

表-5.3.2 石粉混入コンクリートの試験結果

| 材料・配合            |            |                              | VC試験       |         |      | 28日圧縮試験                          |                                    | 28日割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 91日圧縮試験                          |                                    | 91日割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------|------------|------------------------------|------------|---------|------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 石粉<br>混入率<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | VC値<br>(秒) | 締固め率(%) |      | 圧縮<br>強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング<br>係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |                                       | 圧縮<br>強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング<br>係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
| -9               | 40         | 122                          | 16.7       | 試験前     | 試験後  | 10.6                             | 13.8                               | 1.19                                  | 17.3                             | 20.5                               | 2.14                                  |
| 0                |            |                              | 19.9       | 85.9    | 96.0 | 12.1                             | 14.2                               | 1.29                                  | 18.9                             | 19.7                               | 2.19                                  |
| +5               |            |                              | 16.7       | 86.8    | 96.6 | 12.5                             | 16.2                               | 1.59                                  | 20.4                             | 20.4                               | 2.49                                  |
| +10              |            |                              | 15.3       | 84.3    | 97.4 | 15.4                             | 17.1                               | 1.64                                  | 24.1                             | 20.1                               | 2.47                                  |
| +20              |            |                              | 23.5       | 83.7    | 98.3 | 17.9                             | 16.2                               | 1.61                                  | 25.6                             | 22.5                               | 2.26                                  |

##### (2) VC試験結果

石粉混入率  $pw1/s$  とVC値の関係を図-5.3.1 に示す。この結果を式 (4.2.2) の二次式で回帰した結果が、図中の曲線および表-5.3.3 である。回帰は5点全部の場合と、 $pw1/s = -9.2\%$  を無視し4点の場合について行った。5点回帰の場合、VC値が最小となる  $pw1/s$  は  $0.1\%$  であり、4点回帰の場合は  $8.6\%$  となった。細骨材に含まれている  $0.15\text{mm}$  以下の微粒分  $9.2\%$  も考慮すると、微粒分は  $10\sim 20\%$  程度が最適値となっている。

VC試験開始直前と直後の試料の締固め率を図-5.3.2 に示す。図-5.3.2 は石粉混入率  $pw1/s$  と締固め率の関係であり、試験前は  $pw1/s$  が大きいほど締固め率は小さくなる傾向にあるが、試験後は逆に大きくなる傾向がある。これは  $pw1/s$  が大きいと試験前は粗骨材のまわりに石粉が付着し、大きな空隙を形成していたものが、振動締固めにより、ち密になったものと考えられる。

表-5.3.3 VC試験の回帰結果

|       | 回帰結果   |         |       |       | 最小VC値となる |      |
|-------|--------|---------|-------|-------|----------|------|
|       | a      | b       | c     | r     | pwl/s    | VC値  |
| 5点回帰  | 0.0149 | -0.0022 | 16.62 | 0.123 | 0.1      | 16.6 |
| 4点回帰* | 0.0615 | -1.059  | 20.05 | 0.999 | 8.6      | 15.5 |

\* pwl/s=-9.2%無視

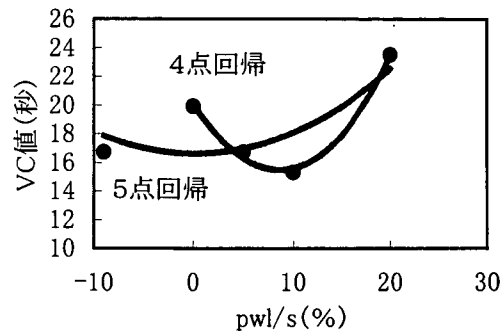


図-5.3.1 石粉混入率とVC値の関係

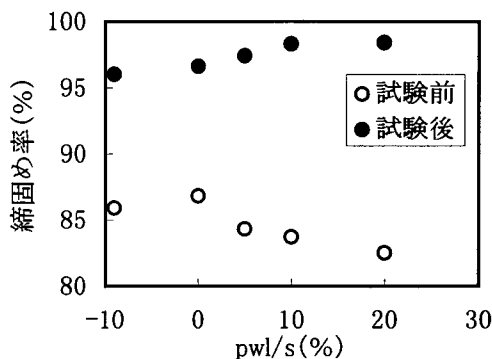


図-5.3.2 石粉混入率と締固め率の関係

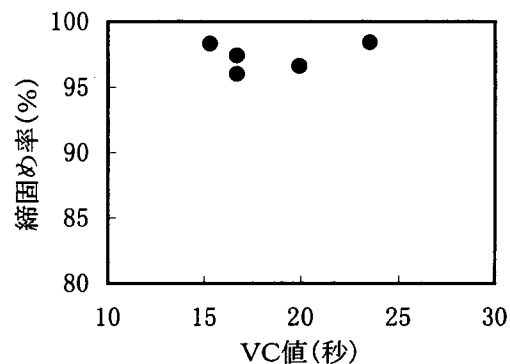


図-5.3.3 VC値と締固め率の関係

### (3)強度試験結果

pwl/s と圧縮強度、割裂引張強度の関係は図-5.3.4 および 5.3.5 のとおりである。4章の図-4.4.10 の場合と同様、pwl/s の増加にともない、強度は直線的に増加している。超硬練りの場合、微粒分による強度改善効果のあることがわかる。

圧縮強度とヤング係数の関係を図-5.3.6 に示す。図中には「コンクリート標準示方書」の値も示した。示方書よりわずかに小さくなっているが、これは粗骨材の影響によるものである。

割裂引張試験時の粗骨材の割裂面積率は表-5.3.4、図-5.3.7 のとおりであった。図表には文献 5.2)で検討した骨材品質の結果も示した。割裂引張強度と割裂面積率の間には正の相関関係があること、低品質の C の割裂面積率は、B、混合よりも大きくなっていることがわかる。微粒分を混入すると割裂引張強度は増加するが(図-5.3.5)、割裂面積率はほとんど変化していない。この原因としては強度の低下が考えられないことはない。しかし、石粉混入率の増加により割裂引張強度も増加しており、付着強度の低下は考えにくく、原因は不明である。

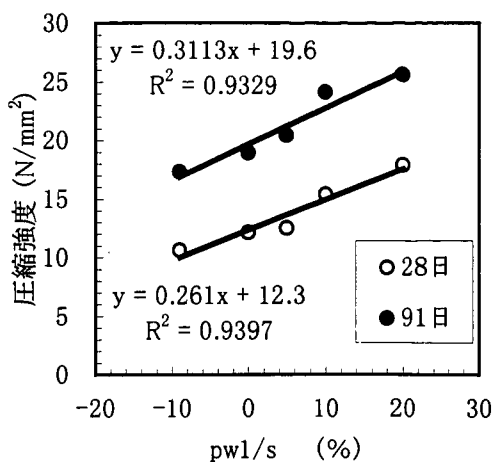


図-5.3.4 pw1/sと圧縮強度の関係

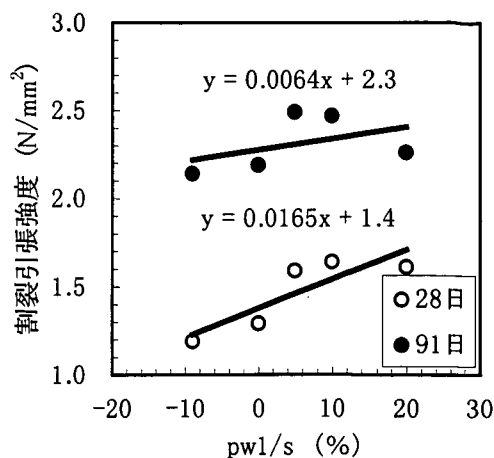


図-5.3.5 pw1/sと割裂引張強度の関係

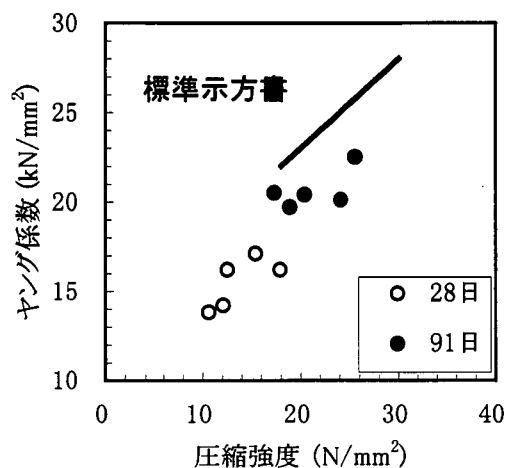


図-5.3.6 圧縮強度とヤング係数の関係

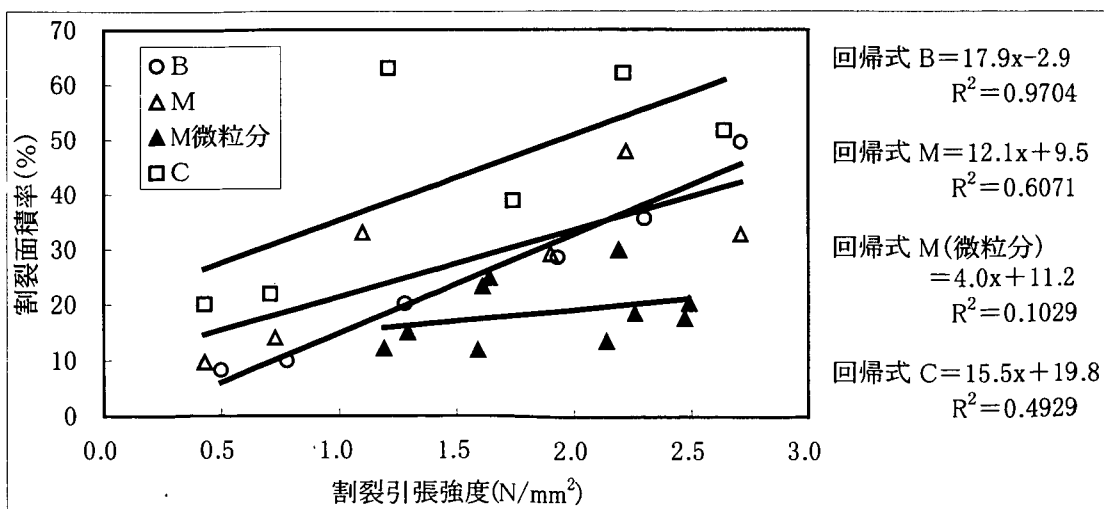


図-5.3.7 割裂引張強度と割裂面積率の関係

表－5.3.4 割裂面積率

| 骨材の組合せ |            | 材齢  | 割裂面積率<br>(%) | 引張強度<br>(N/mm2) |
|--------|------------|-----|--------------|-----------------|
| 粗骨材    | 細骨材        |     |              |                 |
| B      | M          | 3   | 8.2          | 0.50            |
|        |            | 7   | 9.9          | 0.78            |
|        |            | 28  | 20.3         | 1.28            |
|        |            | 91  | 28.7         | 1.93            |
|        |            | 182 | 35.6         | 2.30            |
|        |            | 365 | 49.5         | 2.71            |
| M      | M          | 3   | 9.7          | 0.43            |
|        |            | 7   | 14.1         | 0.73            |
|        |            | 28  | 33.1         | 1.10            |
|        |            | 91  | 29.3         | 1.90            |
|        |            | 182 | 47.9         | 2.22            |
|        |            | 365 | 32.8         | 2.71            |
| M      | M<br>(微粒分) | 28  | 12.2         | 1.19            |
|        |            |     | 15.1         | 1.29            |
|        |            |     | 11.9         | 1.59            |
|        |            |     | 25.0         | 1.64            |
|        |            |     | 23.4         | 1.61            |
|        |            | 91  | 13.5         | 2.14            |
|        |            |     | 29.9         | 2.19            |
|        |            |     | 20.3         | 2.49            |
|        |            |     | 17.6         | 2.47            |
|        |            |     | 18.5         | 2.26            |
| C      | M          | 3   | 20.1         | 0.43            |
|        |            | 7   | 22.1         | 0.71            |
|        |            | 28  | 63.0         | 1.21            |
|        |            | 91  | 38.9         | 1.74            |
|        |            | 182 | 62.1         | 2.21            |
|        |            | 365 | 51.7         | 2.64            |

#### 5. 4 石粉のワーカビリティ改善効果

表-5.2.1 の配合試験，表-5.3.1 の石粉混入コンクリートの配合について，表-4.5.1 の各指標を計算した結果が表-5.4.1 および表-5.4.2 である。表-5.4.1 の単位水量，細骨材率と各指標値の関係を図-5.4.1，表-5.4.2 の微粒分率と各指標値の関係を図-5.4.2 に示す。

VC 値が最小となる最適微粒分率（表-5.4.2 の太い枠囲）のときの各指標値は表-5.4.3 のとおりであった。振動法で求めた実積率を使って計算した結果について，4 章の Y 骨材の場合（表-4.5.4）と比較すると，最適な微粒分率は 10～20% の範囲にあること，かさ容積比は， $uBp/p \approx 0.75$ ， $uSv/m \approx 0.75$ ， $uBv/c = 0.78$ ， $u(B+S)v/c = 0.98$  でありほぼ一致していた。空隙比も比較的よく一致した。

4.5.1 節(3)で考察したとおり，空隙比またはかさ容積比でワーカビリティを評価できる。

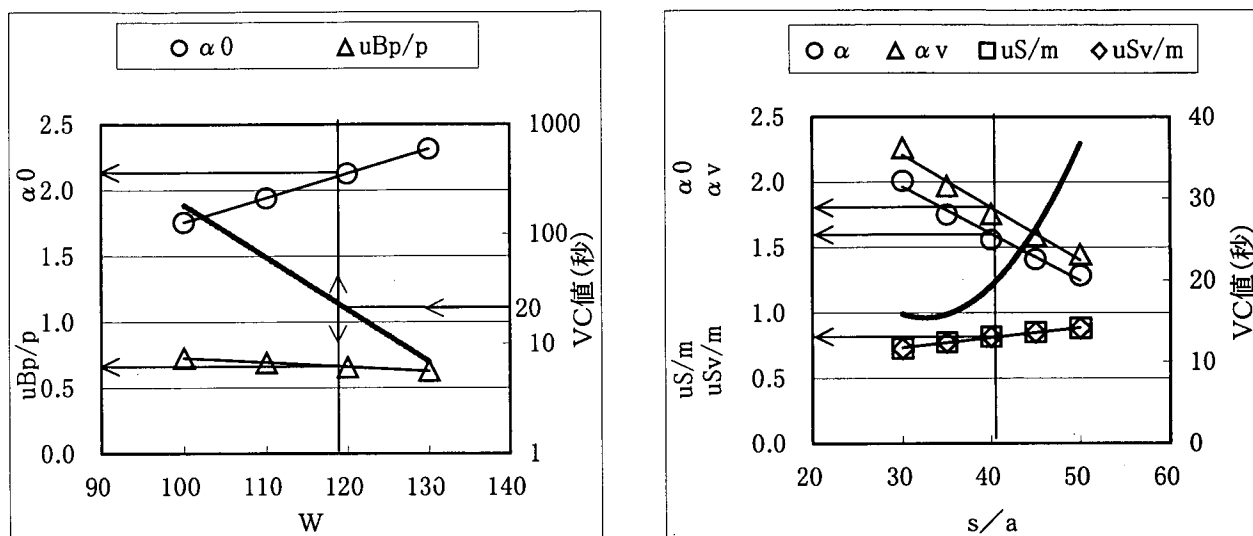
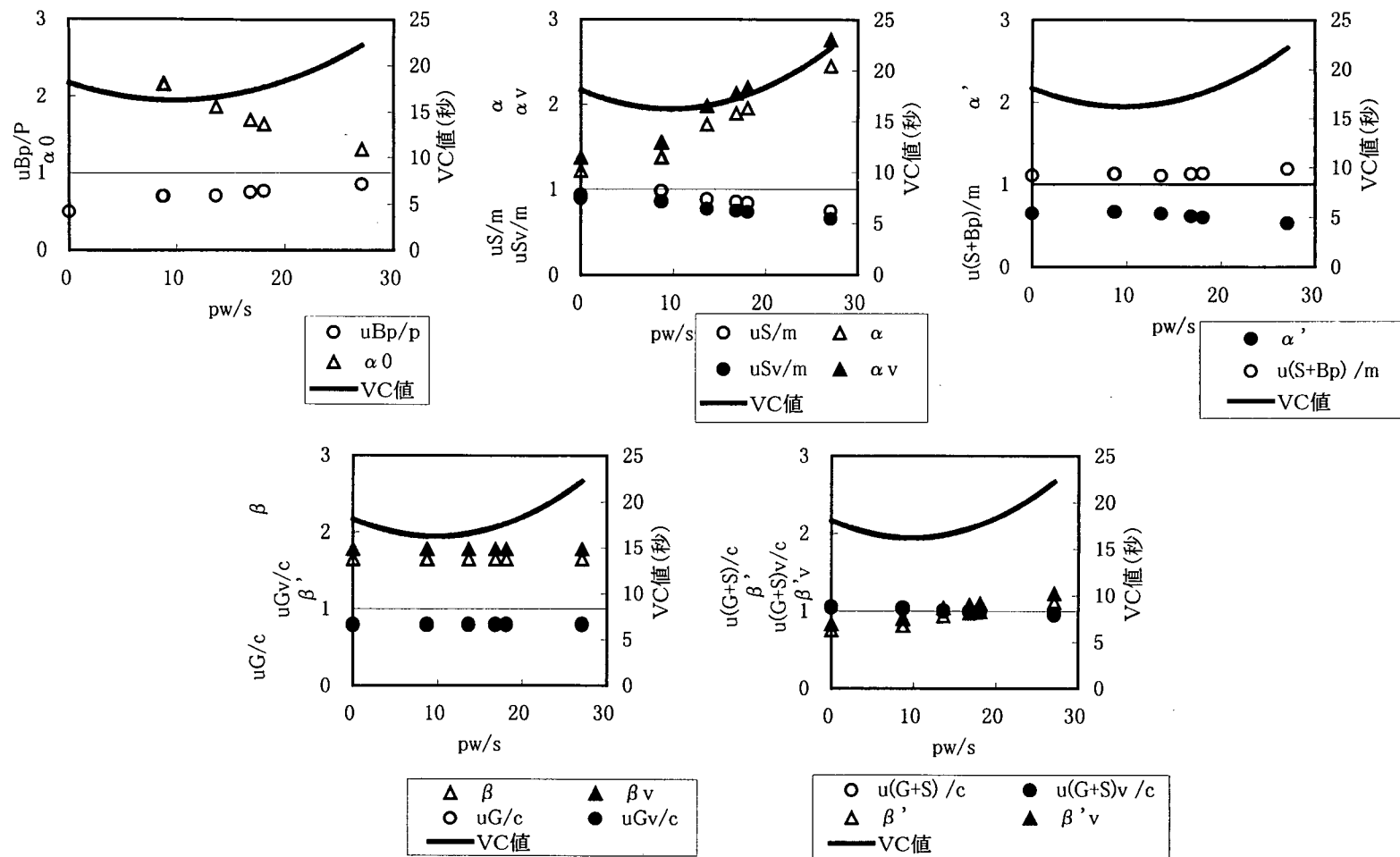


図-5.4.1 配合試験時のワーカビリティと各指標値



図—5.4.2 微粒分率と各指標値の関係

表-5.4.1 RCD用コンクリート(Ks骨材)の試験配合の各指標値

|          | W/B<br>(%) | W/Bp<br>(%) | Bp/W  | Pw/Bp<br>(%) | pw/s<br>(%) | s0/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |    |     |      |       |      |       |       | uBp/p | α 0   | uS/m  | uSv/m | α     | α v   | uG/c  | uGv/c | β     | β v   | u(S+Bp)<br>/m | α'    | u(G+S)<br>/c | u(G+S)v<br>/c | β' | β' v |
|----------|------------|-------------|-------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-------|-----|----|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|----|------|
|          |            |             |       |              |             |             | W                        | Bp    |     |    |     |      | S0    | G    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |    |      |
|          |            |             |       |              |             |             |                          |       | C   | FA | Pw1 | Pw0  |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |    |      |
| 単位水<br>量 | 62.5       | 41.7        | 2.398 | 33.3         | 9.1         | 37.8        | 100                      | 239.8 | 112 | 48 | 0   | 79.8 | 787.2 | 1312 | 0.726 | 1.757 | 0.894 | 0.861 | 1.366 | 1.538 | 0.829 | 0.806 | 1.563 | 1.687 | 1.136 | 0.555 | 1.059         | 1.034 | 0.772        | 0.853         |    |      |
|          | 68.8       | 46.1        | 2.171 | 33.0         | 9.1         | 37.8        | 110                      | 238.8 | 112 | 48 | 0   | 78.8 | 778.2 | 1296 | 0.690 | 1.940 | 0.873 | 0.841 | 1.448 | 1.630 | 0.819 | 0.796 | 1.601 | 1.728 | 1.113 | 0.615 | 1.046         | 1.022 | 0.819        | 0.905         |    |      |
|          | 75.0       | 50.5        | 1.982 | 32.7         | 9.1         | 37.8        | 120                      | 237.8 | 112 | 48 | 0   | 77.8 | 768.2 | 1280 | 0.656 | 2.126 | 0.852 | 0.820 | 1.536 | 1.729 | 0.809 | 0.786 | 1.641 | 1.771 | 1.088 | 0.677 | 1.033         | 1.009 | 0.868        | 0.960         |    |      |
|          | 81.3       | 54.9        | 1.822 | 32.5         | 9.1         | 37.8        | 130                      | 236.9 | 112 | 48 | 0   | 76.9 | 759.1 | 1265 | 0.628 | 2.312 | 0.832 | 0.801 | 1.619 | 1.823 | 0.800 | 0.777 | 1.679 | 1.811 | 1.067 | 0.739 | 1.021         | 0.997 | 0.915        | 1.012         |    |      |
|          | 76.9       | 56.3        | 1.775 | 26.7         | 9.1         | 28.2        | 123                      | 218.3 | 112 | 48 | 0   | 58.3 | 575.7 | 1486 | 0.614 | 2.377 | 0.753 | 0.725 | 2.009 | 2.261 | 0.939 | 0.913 | 1.198 | 1.293 | 1.033 | 0.824 | 1.081         | 1.054 | 0.725        | 0.800         |    |      |
| 細骨<br>材率 | 76.9       | 54.0        | 1.854 | 29.8         | 9.1         | 33.0        | 123                      | 228.0 | 112 | 48 | 0   | 68.0 | 671.0 | 1381 | 0.632 | 2.274 | 0.804 | 0.774 | 1.750 | 1.970 | 0.873 | 0.848 | 1.407 | 1.519 | 1.060 | 0.754 | 1.054         | 1.028 | 0.802        | 0.886         |    |      |
|          | 76.9       | 51.8        | 1.932 | 32.7         | 9.1         | 37.8        | 123                      | 237.6 | 112 | 48 | 0   | 77.6 | 766.4 | 1275 | 0.648 | 2.180 | 0.847 | 0.815 | 1.558 | 1.754 | 0.806 | 0.783 | 1.653 | 1.784 | 1.082 | 0.695 | 1.030         | 1.006 | 0.882        | 0.975         |    |      |
|          | 76.9       | 49.8        | 2.010 | 35.3         | 9.1         | 42.7        | 123                      | 247.2 | 112 | 48 | 0   | 87.2 | 860.8 | 1170 | 0.664 | 2.095 | 0.883 | 0.850 | 1.410 | 1.587 | 0.740 | 0.719 | 1.941 | 2.094 | 1.108 | 0.632 | 1.010         | 0.987 | 0.957        | 1.060         |    |      |
|          | 76.9       | 47.8        | 2.090 | 37.8         | 9.1         | 47.7        | 123                      | 257.1 | 112 | 48 | 0   | 97.1 | 957.9 | 1063 | 0.681 | 2.013 | 0.915 | 0.881 | 1.285 | 1.447 | 0.672 | 0.653 | 2.292 | 2.474 | 1.136 | 0.572 | 1.007         | 0.982 | 0.969        | 1.085         |    |      |

表-5.4.2 石粉混入RCD用コンクリート(Ks骨材)の各指標値

| 結合材の種類 | 粗骨材の種類 | W/B (%) | W/Bp (%) | Bp/W  | Pw/Bp | pw/s (%) | s0/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |      |       |      |       |        |       |       | uBp/p | α 0   | uS/m  | uSv/m | α     | α v   | uG/c  | uGv/c | β     | β v   | u(S+Bp)/m | α'    | u(G+S)/c | u(G+S)v/c | β' | β v |
|--------|--------|---------|----------|-------|-------|----------|----------|--------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|----------|-----------|----|-----|
|        |        |         |          |       |       |          |          | W                        | Bp    |       |      |       |      | S0    | G      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |       |          |           |    |     |
|        |        |         |          |       |       |          |          |                          |       | C     | FA   | Pw1   | Pw0  |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |       |          |           |    |     |
| M50    | 混合     | 76.2    | 76.3     | 1.311 | 0.0   | 0.0      | 40.0     | 122.0                    | 160.0 | 112.0 | 48.0 | 0.0   | 0.0  | 844.0 | 1278.0 | 0.503 | 3.239 | 0.934 | 0.900 | 1.217 | 1.371 | 0.808 | 0.785 | 1.646 | 1.776 | 1.106 | 0.651 | 1.063     | 1.039 | 0.752    | 0.8322    |    |     |
|        |        | 76.2    | 51.3     | 1.948 | 32.7  | 8.7      | 39.0     | 122.0                    | 237.6 | 112.0 | 48.0 | 0.0   | 77.6 | 806.4 | 1278.0 | 0.700 | 2.163 | 0.980 | 0.860 | 1.370 | 1.543 | 0.808 | 0.785 | 1.646 | 1.776 | 1.126 | 0.668 | 1.048     | 1.023 | 0.812    | 0.8981    |    |     |
|        |        | 76.2    | 51.2     | 1.954 | 32.9  | 8.8      | 38.9     | 122.0                    | 238.4 | 112.0 | 48.0 | 0.8   | 77.6 | 805.6 | 1278.0 | 0.702 | 2.156 | 0.979 | 0.859 | 1.374 | 1.547 | 0.808 | 0.785 | 1.646 | 1.776 | 1.125 | 0.668 | 1.047     | 1.023 | 0.813    | 0.8995    |    |     |
|        |        | 76.2    | 44.2     | 2.262 | 42.0  | 13.7     | 36.4     | 122.0                    | 276.0 | 112.0 | 48.0 | 42.2  | 73.8 | 724.2 | 1278.0 | 0.707 | 1.858 | 0.880 | 0.772 | 1.760 | 1.981 | 0.808 | 0.785 | 1.646 | 1.776 | 1.104 | 0.646 | 1.015     | 0.991 | 0.941    | 1.0405    |    |     |
|        |        | 76.2    | 40.2     | 2.489 | 47.3  | 16.8     | 35.7     | 122.0                    | 303.6 | 112.0 | 48.0 | 72.6  | 71.0 | 700.4 | 1278.0 | 0.750 | 1.687 | 0.851 | 0.747 | 1.890 | 2.128 | 0.808 | 0.785 | 1.646 | 1.776 | 1.125 | 0.615 | 1.005     | 0.982 | 0.978    | 1.081     |    |     |
|        |        | 76.2    | 38.8     | 2.576 | 49.1  | 18.1     | 35.3     | 122.0                    | 314.3 | 112.0 | 48.0 | 84.4  | 69.9 | 689.7 | 1278.0 | 0.764 | 1.628 | 0.838 | 0.735 | 1.951 | 2.197 | 0.808 | 0.785 | 1.646 | 1.776 | 1.133 | 0.603 | 1.001     | 0.977 | 0.995    | 1.0991    |    |     |
|        |        | 76.2    | 31.2     | 3.204 | 59.1  | 27.1     | 32.7     | 122.0                    | 390.9 | 112.0 | 48.0 | 168.8 | 62.1 | 613.1 | 1278.0 | 0.852 | 1.306 | 0.745 | 0.654 | 2.453 | 2.761 | 0.808 | 0.785 | 1.646 | 1.776 | 1.187 | 0.528 | 0.972     | 0.949 | 1.110    | 1.2254    |    |     |

表-5.4.3 最適配合の各指標値

| 実績率<br>試験方法 | ペースト  |            | モルタル    |            |           |             | コンクリート  |           |            |            |
|-------------|-------|------------|---------|------------|-----------|-------------|---------|-----------|------------|------------|
|             | uBp/p | $\alpha$ 0 | 細骨材かさ容積 |            | 粉粒体かさ容積   |             | 粗骨材かさ容積 |           | 細粗混合骨材かさ容積 |            |
|             |       |            | uS/m    | $\alpha$   | u(S+Bp)/m | $\alpha'$   | uG/c    | $\beta$   | u(G+S)/c   | $\beta'$   |
|             |       |            | uSv/m   | $\alpha$ v |           | $\alpha'$ v | uBv/c   | $\beta$ v | u(G+S)v/c  | $\beta'$ v |
| JIS法        | 0.750 | 1.687      | 0.851   | 1.890      | 1.125     | 0.615       | 0.808   | 1.646     | 1.005      | 0.978      |
| 振動法         | -     | -          | 0.747   | 2.128      | -         | -           | 0.785   | 1.776     | 0.982      | 1.081      |

5. 5 石粉の強度特性改善効果

Ks 骨材も4章のY骨材と同様、微粒分率と圧縮強度、割裂引張強度の間には正の相関関係がある（図－5.3.4 および 5.3.5）。

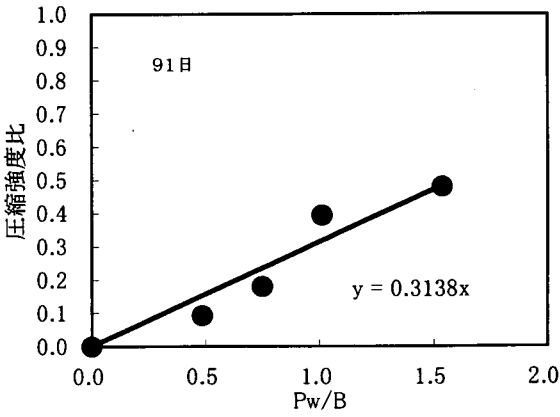
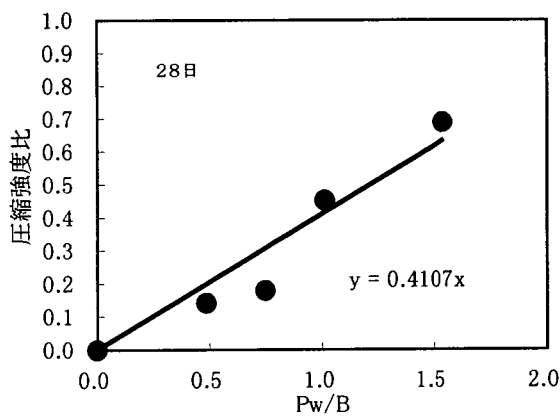
ここでも式(4.6.1)の有効結合材水比を考えると、微粒分率と強度増加率の関係は図－5.4.3 および図－5.4.4 のとおり 0.3～0.4 程度であった。材齢と強度増加率の関係は、表－5.4.5 および図－5.4.5 のとおりであった。この値はY骨材の2倍程度になっており、 $\gamma$  値は微粒分の品質や材齢などによって異なる。 $\gamma$  値を求めることにより強度増進効果がわかり、配合設計において式(4.6.1)によって強度の設定も可能になる。

表－5.4.4 微粒分率と強度比

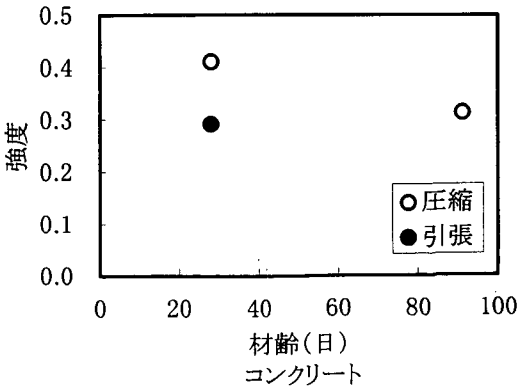
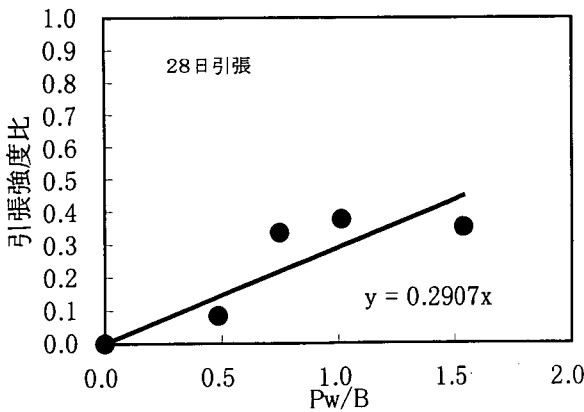
| Pw/B  | 28圧縮  | 91圧縮  | 28引張  |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.485 | 0.142 | 0.092 | 0.084 |
| 0.749 | 0.179 | 0.179 | 0.336 |
| 1.013 | 0.453 | 0.393 | 0.378 |
| 1.540 | 0.689 | 0.480 | 0.353 |

表－5.4.5 材齢と強度増加率

| コンクリート | 材齢(日) |       |       |
|--------|-------|-------|-------|
|        | 28    | 91    | 平均    |
| 圧縮     | 0.411 | 0.314 | 0.362 |
| 引張     | 0.291 |       | 0.291 |



図－5.4.3 微粒分率と強度比の関係



図－5.4.4 微粒分率と強度比の関係(割裂)

図－5.4.5 材齢と強度増加率の関係

## 6 章 超硬練りコンクリートにおけるフライアッシュの効果

### 6. 1 使用材料

#### (1) 骨 材

粗骨材は，CLとCMを混合したものを用いた（表-3.3.2(a)参照）。

細骨材は，CLとCMを混合したものを用いた（表-3.3.2(b)参照）。

#### (2) 石 粉

石粉は，YCMを用いた（表-3.2.3 参照）。

#### (3) 結合材

セメントは，中庸熟ポルトランドセメントM1 および普通ポルトランドセメントNを用いた（表-3.2.3 参照）。フライアッシュはF 1を用いた（表-3.2.3 参照）。

#### (4) 混和剤

混和剤にはリグニンスルホン酸化合物を主成分とする遅延型のAE減水剤（ポゾリス No.8）を標準量（結合材の質量×0.25%）用いた。

### 6. 2 基本配合

基本配合は，4. 2 節の配合試験結果より，表-6.2.1 のとおりとした。

表-6.2.1 基本配合

| 粗骨材<br>の種類 | F/B<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |    |     |     |     |     |      |
|------------|------------|------------|--------------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|
|            |            |            | W                        | B   |    |    | S   |     |     |     | G    |
|            |            |            |                          |     | C  | F  |     | Pw1 | Pw0 | S0  |      |
| 混合         | 50         | 38         | 113                      | 140 | 70 | 70 | 833 | 0   | 109 | 707 | 1367 |

### 6. 3 モルタル試験

#### 6.3.1 試験方法

フライアッシュ置換率を変化させたときのモルタルのフロー試験，ハーフスランプ，スプレッド試験，粘性試験，一面せん断試験，モルタルの圧縮強度試験を行った。試験方法は4.3.1 項のとおりである。

#### 6.3.2 試験水準

モルタルのフロー，ハーフスランプ，スプレッド，粘性試験，圧縮試験を行った要因，水準は表-6.3.1 および表-6.3.2 のとおりである。

表-6.3.1 は，セメントはM1 およびNについて試験したフライアッシュの置換率を示す。モルタルの試験は，表-4.3.1 の◎のW/C=80.7%，S/C=5.95，微粒分率 15.5%の配合についてフライアッシュを置換した。

モルタルの圧縮強度試験の水準は表-6.3.2 のとおり，セメントM1 についてはフライアッシュ置換率，単位結合材量を変化させた。セメントNについてはフライアッシュ置換率の変化のみである。

表-6.3.1 フライアッシュ置換率の試験水準

| セメント<br>の種類 | フライアッシュ置換率(%) |    |    |    |    |     |
|-------------|---------------|----|----|----|----|-----|
|             | 0             | 30 | 50 | 70 | 90 | 100 |
| M1          | ○             | ○  | ○  | ○  | ○  | ○   |
| N           | ○             |    | ○  |    |    |     |

表-6.3.2 モルタルの圧縮強度試験水準

| セメント<br>種類 | 結合材量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | フライアッシュ置換率(%) |    |    |    |    |    |
|------------|------------------------------|---------------|----|----|----|----|----|
|            |                              | 0             | 15 | 30 | 50 | 70 | 90 |
| M1         | 120                          |               |    |    | ○  |    |    |
|            | 140                          | ○             | ○  | ○  | ◎  | ○  | ○  |
|            | 160                          |               |    |    | ○  |    |    |
| N          | 140                          | ○             |    | ○  | ○  | ○  | ○  |

◎:表-3.2.2の微粒分率5水準についても試験した。

モルタルの配合は表-6.3.3 のとおりである。

表-6.3.3 モルタルの配合

| 試験項目  | 結合材量 | セメントの種類 | 置換率<br>% | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |                |        |
|-------|------|---------|----------|--------------------------|-------|-------|----------------|--------|
|       |      |         |          | W                        | C     | F     | P <sub>w</sub> | S      |
| F 置換※ | 120  | M       | 50       | 236.4                    | 125.5 | 125.5 | 35.6           | 1725.9 |
|       | 140  |         | 0        | 236.6                    | 293.1 | 0.0   | 35.6           | 1728.4 |
|       | 140  |         | 15       | 235.8                    | 248.3 | 43.8  | 35.5           | 1718.1 |
|       | 140  |         | 30       | 235.1                    | 203.9 | 87.4  | 35.4           | 1707.9 |
|       | 140  |         | 50       | 234.1                    | 145.0 | 145.0 | 35.0           | 1694.5 |
|       | 140  |         | 70       | 233.2                    | 86.7  | 202.2 | 34.7           | 1681.2 |
|       | 140  |         | 90       | 232.2                    | 28.8  | 259.0 | 34.5           | 1667.8 |
|       | 160  | N       | 50       | 231.9                    | 164.2 | 164.2 | 34.3           | 1663.8 |
|       | 140  |         | 0        | 236.3                    | 297.4 | 0.0   | 35.6           | 1725.5 |
|       | 140  |         | 30       | 235.0                    | 207.0 | 87.3  | 35.1           | 1705.9 |
|       | 140  |         | 50       | 234.0                    | 147.3 | 145.0 | 35.0           | 1693.0 |
|       | 140  |         | 70       | 233.1                    | 88.0  | 202.2 | 34.7           | 1680.3 |
|       | 140  |         | 90       | 232.2                    | 29.2  | 258.9 | 34.5           | 1667.5 |

### 6.3.3 試験結果

#### (1)フレッシュ性状

モルタルのフロー、ハーフスランプ、スプレッドおよびレオロジー定数の試験結果を表-6.3.4 に示す。フライアッシュ置換率がフレッシュ性状に及ぼす影響を図-6.3.1 に、その経時変化をセメント M1, N ごとに図-6.3.2 および 6.3.3 に示す。図-6.3.4 には、降伏値とハーフスランプの関係、塑性粘度と 0 打のときのスプレッドとフローの関係を示した。

0 時間（練り上がり直後）と 5 時間経過後のフライアッシュ置換率と各試験結果の関係を示したのが図-6.3.5 である。フローとスプレッドについては 0 打と 15 打の結果も示した。これらの結果より、フライアッシュ置換率が増加するほどフロー、ハーフスランプ、スプレッドは大きくなっており、施工性が改善されることがわかる。特に、置換率 30~70%の間で変化が大きく、置換率 30%以上になると急激に施工性が改善される可能性を示している。

レオロジー定数を見ると、置換率が増加するほど降伏値は小さくなっており、変形性が改善されることを示している。これは、降伏値との関係が強いといわれているハーフスランプの結果と一致している。塑性粘度は、置換率が増加するほど大きくなる傾向にあり、材料分離抵抗性が改善されているものと考えられる。

表-6.3.4 モルタルのフロー、ハーフスランプ、スプレッド試験、モルタルのフロー結果

| 試験項目       | セメントの種類および配合条件 |            |      |      |      | 経過<br>時間<br>(時間) | フロー<br>(mm) |     |     |     | ハーフ<br>スランプ<br>(cm) | スプレッド試験による<br>拡がり(mm) |     |     |     | 降伏値<br>(Pa) | 塑性<br>粘度<br>(mPa・s) |  |  |  |
|------------|----------------|------------|------|------|------|------------------|-------------|-----|-----|-----|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-------------|---------------------|--|--|--|
|            | セメントの<br>種類    | フライアッシュ置換率 | 微粒分率 | W/C  | S/C  |                  | 0打          | 5打  | 10打 | 15打 |                     | 0打                    | 5打  | 10打 | 15打 |             |                     |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      |                  |             |     |     |     |                     |                       |     |     |     |             |                     |  |  |  |
| フライアッシュ置換率 | M              | 0          | 15.5 | 80.7 | 4.70 | 0                | 113         | 161 | 185 | 201 | 3.2                 | 106                   | 210 | 266 | 301 | 31.5        | 76.0                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 1                | 103         | 140 | 158 | 173 | 1.1                 | 100                   | 200 | 253 | 285 | 51.8        | 101.4               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 2                | 102         | 135 | 155 | 170 | 0.8                 | 100                   | 198 | 251 | 266 | 47.9        | 140.3               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 3                | 103         | 133 | 142 | 154 | 0.3                 | 100                   | 194 | 243 | 258 | 59.6        | 101.3               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 4                | 101         | 120 | 133 | 147 | 0.0                 | 100                   | 187 | 227 | 255 | ND-1        | ND-1                |  |  |  |
|            | M1             | 30         |      |      |      | 5                | 100         | 116 | 125 | 136 | 0.0                 | 100                   | 180 | 222 | 242 | ND-1        | ND-1                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 0                | 113         | 151 | 178 | 200 | 2.1                 | 105                   | 200 | 267 | 306 | 47.3        | 61.1                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 1                | 108         | 131 | 149 | 160 | 0.8                 | 100                   | 190 | 247 | 285 | 43.1        | 123.8               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 2                | 109         | 129 | 146 | 155 | 1.0                 | 100                   | 188 | 243 | 280 | 49.3        | 91.3                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 3                | 105         | 126 | 143 | 151 | 0.7                 | 100                   | 186 | 246 | 286 | 51.7        | 75.3                |  |  |  |
|            | M              | 50         |      |      |      | 4                | 104         | 127 | 143 | 150 | 0.6                 | 100                   | 192 | 246 | 289 | 59.1        | 63.6                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 5                | 102         | 124 | 134 | 142 | 0.3                 | 100                   | 197 | 253 | 288 | 58.7        | 65.5                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 0                | 116         | 155 | 178 | 194 | 5.0                 | 111                   | 240 | 291 | 319 | 18.6        | 99.9                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 1                | 111         | 148 | 170 | 187 | 5.3                 | 115                   | 242 | 295 | 325 | 34.9        | 185.0               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 2                | 108         | 143 | 162 | 184 | 3.9                 | 110                   | 236 | 288 | 314 | 43.7        | 113.3               |  |  |  |
|            | M              | 70         |      |      |      | 3                | 106         | 138 | 157 | 178 | 3.7                 | 108                   | 229 | 288 | 317 | 38.0        | 139.5               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 4                | 109         | 144 | 164 | 181 | 4.2                 | 103                   | 226 | 285 | 319 | 55.2        | 41.0                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 5                | 106         | 140 | 163 | 180 | 4.5                 | 104                   | 227 | 283 | 316 | 67.6        | 28.8                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 0                | 124         | 169 | 192 | 208 | 7.9                 | 142                   | 270 | 321 | 347 | 13.3        | 90.3                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 1                | 114         | 153 | 188 | 194 | 6.1                 | 118                   | 256 | 305 | 334 | 22.9        | 128.6               |  |  |  |
|            | M              | 90         |      |      |      | 2                | 115         | 155 | 188 | 197 | 7.0                 | 124                   | 261 | 310 | 329 | 25.8        | 98.3                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 3                | 111         | 152 | 176 | 195 | 7.2                 | 132                   | 255 | 306 | 335 | 32.8        | 81.4                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 4                | 116         | 157 | 186 | 201 | 7.1                 | 128                   | 260 | 307 | 338 | 30.8        | 121.3               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 5                | 115         | 158 | 184 | 200 | 6.6                 | 136                   | 261 | 309 | 333 | 38.4        | 92.6                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 0                | 131         | 175 | 199 | 216 | 10.1                | 186                   | 283 | 338 | 364 | 7.4         | 127.2               |  |  |  |
|            | M              | 100        |      |      |      | 1                | 122         | 167 | 192 | 210 | 9.2                 | 162                   | 278 | 325 | 353 | 20.8        | 104.4               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 2                | 120         | 162 | 186 | 204 | 9.0                 | 161                   | 278 | 320 | 343 | 17.5        | 132.0               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 3                | 117         | 159 | 184 | 201 | 8.0                 | 142                   | 270 | 318 | 346 | 26.4        | 106.0               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 4                | 116         | 156 | 182 | 200 | 6.8                 | 123                   | 266 | 317 | 342 | 24.8        | 137.8               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 5                | 113         | 156 | 182 | 198 | 7.5                 | 124                   | 259 | 310 | 340 | 23.5        | 94.9                |  |  |  |
|            | M              | 0          |      |      |      | 0                | 132         | 174 | 200 | 217 | 10.0                | 187                   | 302 | 345 | 368 | 7.8         | 121.5               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 1                | 128         | 169 | 192 | 208 | 9.7                 | 176                   | 289 | 331 | 368 | 15.0        | 103.8               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 2                | 127         | 171 | 196 | 211 | 9.5                 | 176                   | 286 | 329 | 354 | 13.0        | 128.4               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 3                | 117         | 155 | 184 | 200 | 7.5                 | 137                   | 264 | 309 | 341 | 16.4        | 107.4               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 4                | 120         | 156 | 187 | 203 | 8.3                 | 141                   | 271 | 312 | 348 | 23.3        | 131.3               |  |  |  |
|            | N              | 0          |      |      |      | 5                | 117         | 151 | 180 | 197 | 7.2                 | 136                   | 262 | 307 | 343 | 17.3        | 134.4               |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 0                | 105         | 142 | 166 | 181 | 0.9                 | 102                   | 216 | 278 | 304 | 48.8        | 76.5                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 1                | 100         | 122 | 137 | 152 | 0.1                 | 100                   | 184 | 235 | 264 | ND-1        | ND-1                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 2                | 100         | 118 | 135 | 149 | 0.1                 | 100                   | 180 | 229 | 250 | ND-1        | ND-1                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 3                | 100         | 124 | 140 | 153 | 0.0                 | 100                   | 181 | 222 | 240 | ND-1        | ND-1                |  |  |  |
|            | N              | 50         |      |      |      | 4                | 100         | 120 | 132 | 143 | 0.0                 | 100                   | 176 | 223 | 243 | ND-1        | ND-1                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 5                | 100         | 120 | 134 | 146 | 0.0                 | 100                   | 174 | 217 | 237 | ND-1        | ND-1                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 0                | 112         | 148 | 173 | 190 | 4.6                 | 117                   | 242 | 318 | 338 | 35.4        | 52.3                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 1                | 107         | 132 | 151 | 168 | 2.7                 | 102                   | 232 | 301 | 328 | 44.9        | 42.6                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 2                | 105         | 132 | 150 | 162 | 1.9                 | 102                   | 230 | 289 | 322 | 42.0        | 83.3                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 3                | 105         | 134 | 154 | 167 | 2.0                 | 101                   | 218 | 279 | 316 | 46.3        | 40.8                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 4                | 105         | 132 | 151 | 166 | 1.3                 | 100                   | 214 | 276 | 314 | 43.9        | 56.8                |  |  |  |
|            |                |            |      |      |      | 5                | 104         | 132 | 152 | 165 | 1.0                 | 100                   | 218 | 273 | 313 | 37.4        | 102.9               |  |  |  |

ND-1: 固いため測定不可能

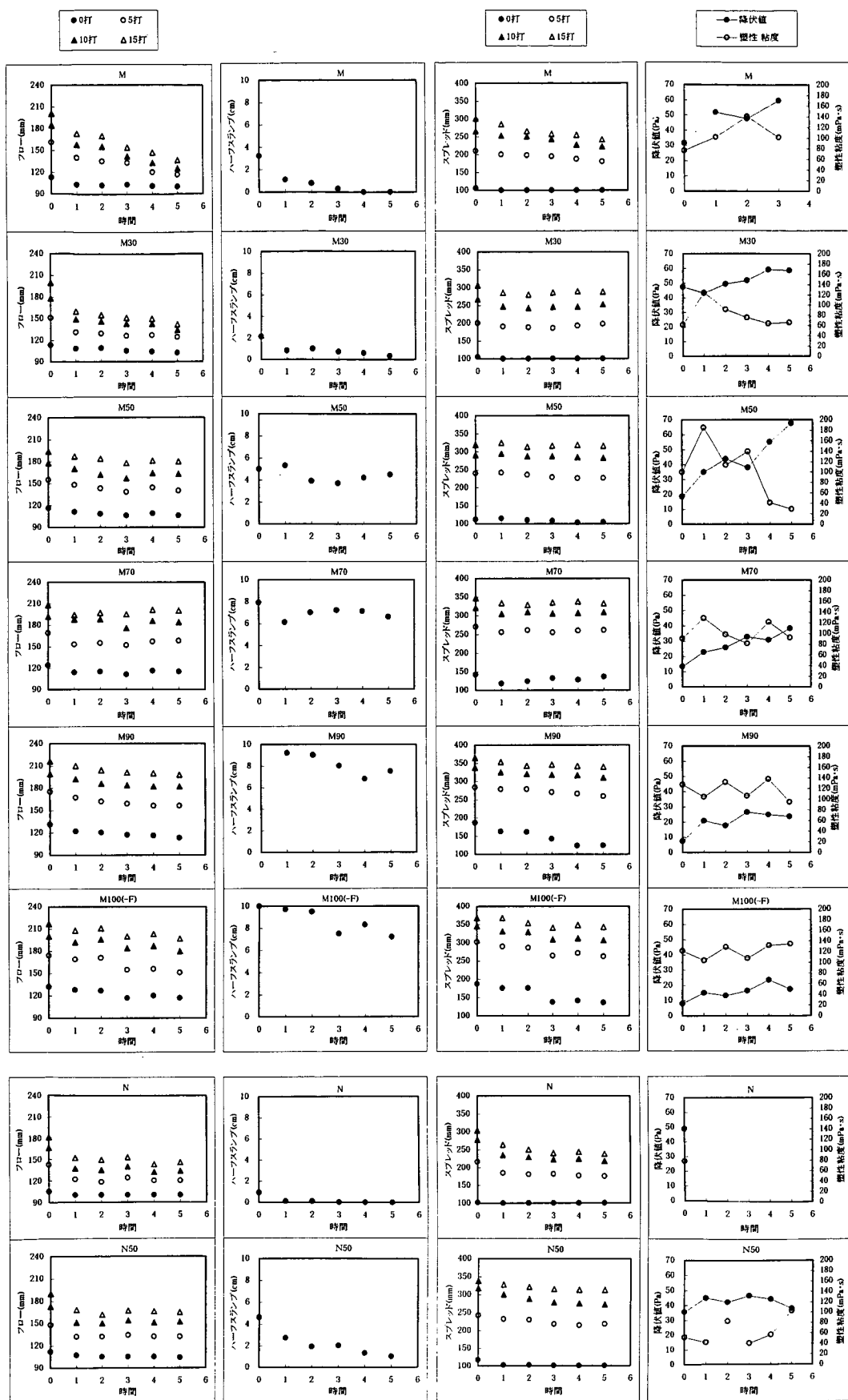


図-6.3.1 フライアッシュ置換率がフレッシュ性状に及ぼす影響

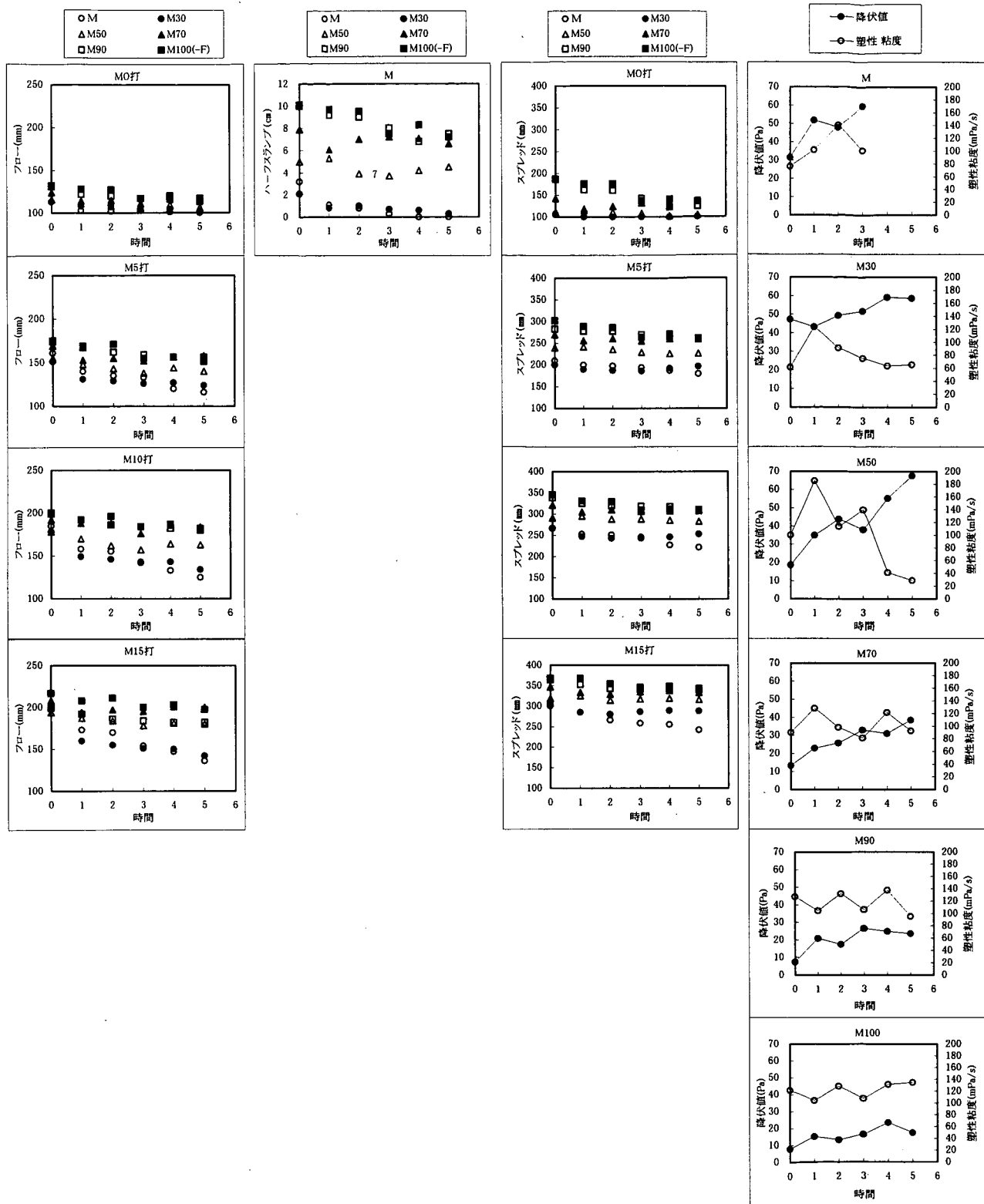


図-6.3.2 フライアッシュ置換率ごとの経時変化  
(セメントM1)

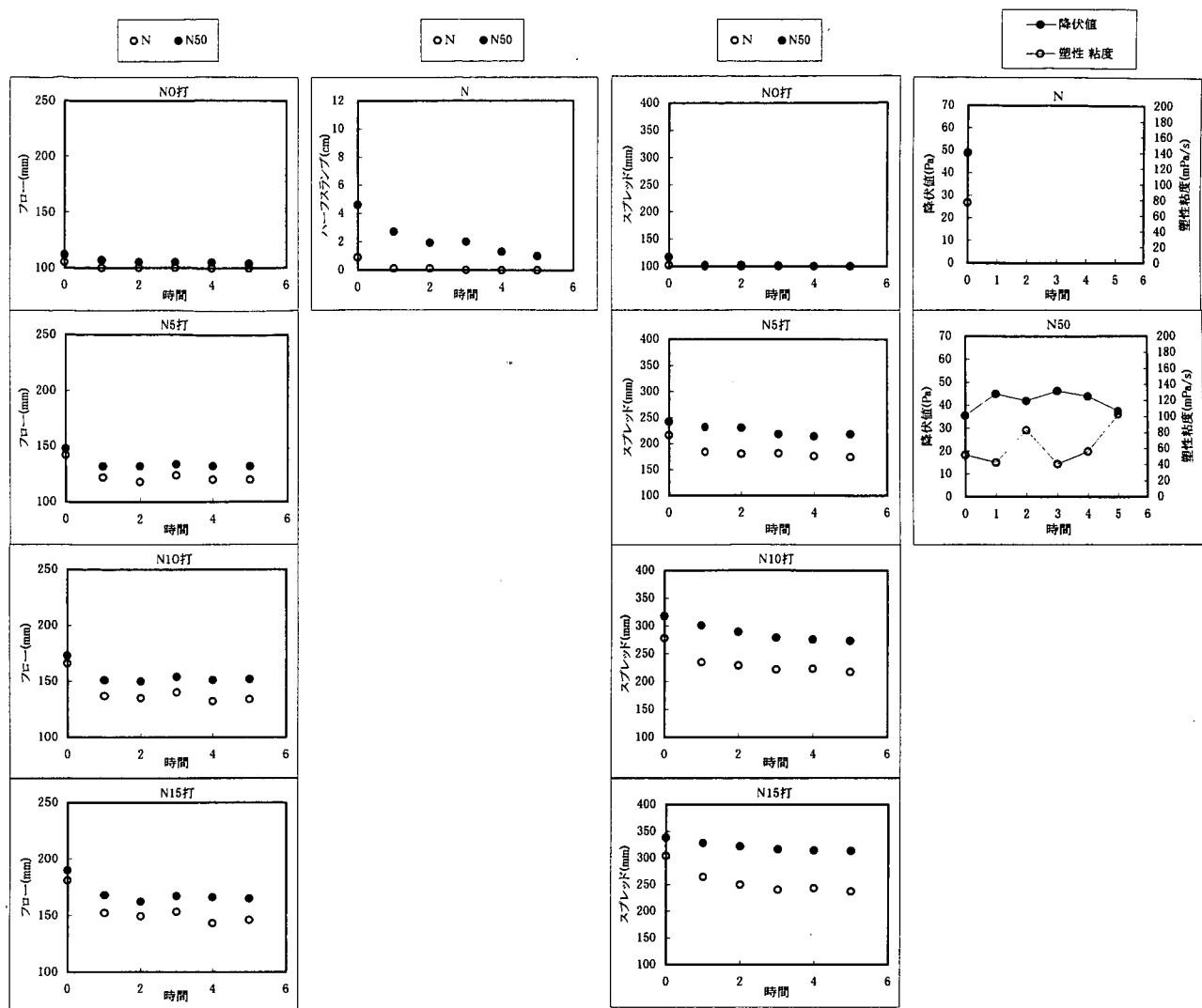


図-6.3.3 フライアッシュ置換率ごとの経時変化  
(セメントN)

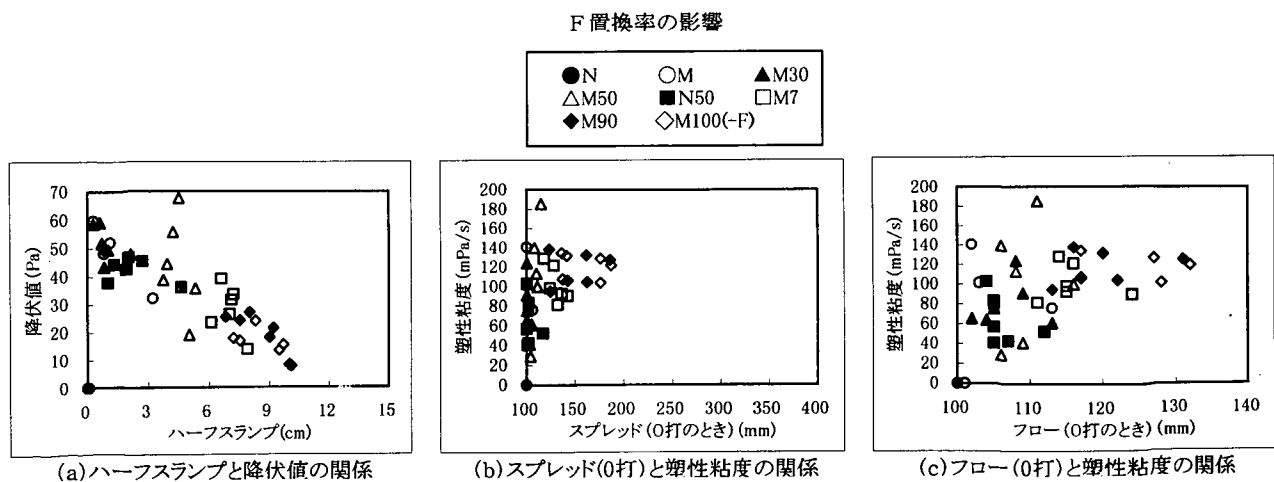


図-6.3.4 ハーフスランプ、スプレッド(0打)、フロー(0打)とレオロジー定数の関係

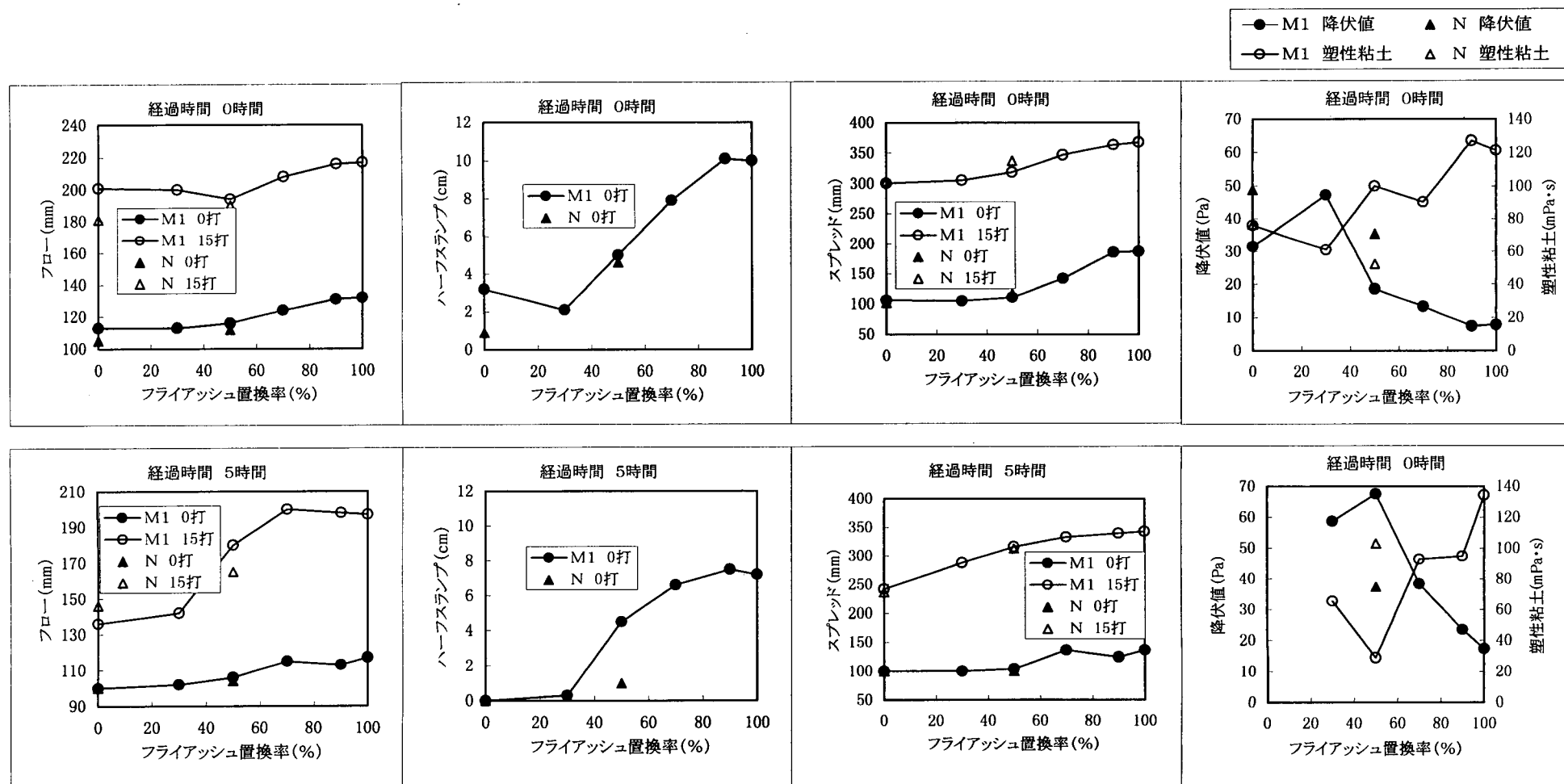


図-6.3.5 フライアッシュ置換率の影響

(2)強度試験結果

1) フライアッシュ置換率

フライアッシュ置換率を変化させたときのフロー試験結果および圧縮強度試験結果を表-6.3.5 に示す。

フライアッシュ置換率とフロー値の関係を図-6.3.6 に示すように置換率が増加するほどフロー値もほぼ直線的に大きくなっており図-6.3.5 と同様の傾向を示している。

図-6.3.7 に材齢と圧縮強度の関係、図-6.3.8 に置換率と圧縮強度の関係を示す。

置換率が大きくなるとセメント量が少なくなり強度は低下している。材齢が進むとポゾラン反応により強度が増進し、強度の低下割合は小さくなる。

置換率 0%を基準とした場合の置換率と強度の関係は、図-6.3.9 のようになった。中庸熱セメントM1 は 91 日まではほとんど強度増進効果は望めないが、それ以降になるとしだいに増進効果が大きくなっている。普通セメントNの場合は、91 日には増進効果がでてきている。

表-6.3.5 フライアッシュ置換率とフロー試験、圧縮強度試験の結果

| セメントの種類 | 単位結合材量 (kg/m <sup>3</sup> ) | フライアッシュ置換率 (%) | フロー値 (mm) | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |      |
|---------|-----------------------------|----------------|-----------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
|         |                             |                |           | 3日                       | 7日    | 28日   | 91日   | 182日  | 365日 |
| M1      | 140                         | 0              | 117       | 4.63                     | 6.47  | 11.8  | 18.0  | 21.0  | 23.5 |
|         |                             | 15             | 114       | 3.85                     | 6.24  | 9.98  | 17.0  | 20.2  | 23.2 |
|         |                             | 30             | 126       | 2.55                     | 3.74  | 6.24  | 11.4  | 17.2  | 19.7 |
|         |                             | 50             | 116       | 1.32                     | 2.14  | 3.30  | 5.51  | 9.18  | 18.5 |
|         |                             | 70             | 136       | 0.708                    | 1.04  | 1.50  | 2.01  | 5.84  | 12.3 |
|         |                             | 90             | 149       | 0.303                    | 0.342 | 0.387 | 0.42  | 0.629 | 1.19 |
| N       | 140                         | 0              | 116       | 9.66                     | 14.9  | 19.4  | 20.2  | 21.5  | 22.2 |
|         |                             | 30             | 123       | 5.46                     | 7.85  | 11.2  | 14.2  | 15.5  | 21.1 |
|         |                             | 50             | 126       | 2.63                     | 4.41  | 6.79  | 8.97  | 10.7  | 20.0 |
|         |                             | 70             | 135       | 0.926                    | 1.68  | 2.45  | 3.14  | 6.97  | 13.7 |
|         |                             | 90             | 144       | 0.427                    | 0.482 | 0.546 | 0.627 | 1.00  | 1.91 |
| M1      | 120                         | 50             | 121       | 1.08                     | 1.71  | 2.11  | 4.36  | 8.74  | 13.6 |
|         | 160                         | 50             | 134       | 2.04                     | 3.12  | 4.38  | 8.53  | 13.1  | 25.2 |

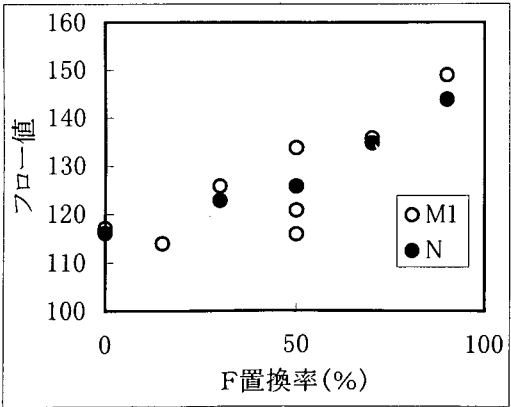
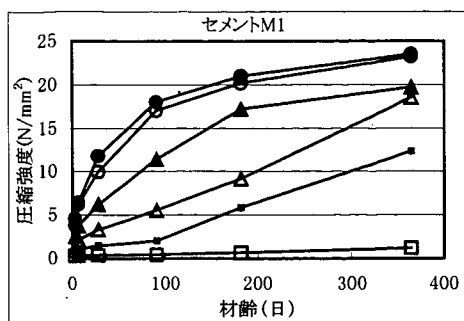
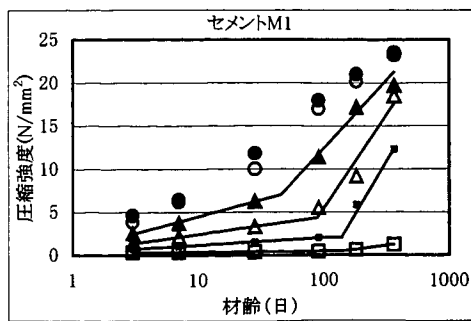


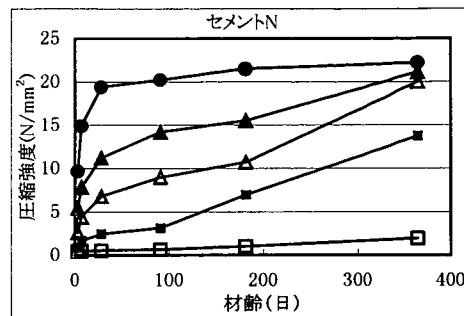
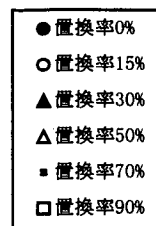
図-6.3.6 フライアッシュ置換率とフロー値の関係



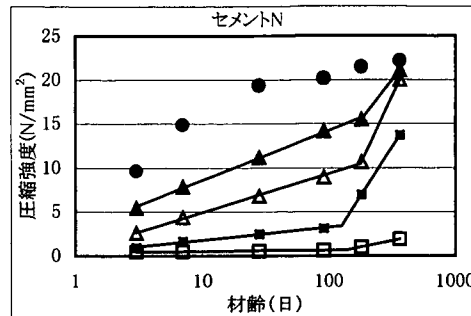
(a-1)セメントM1



(a-2) セメントM1 (対数)

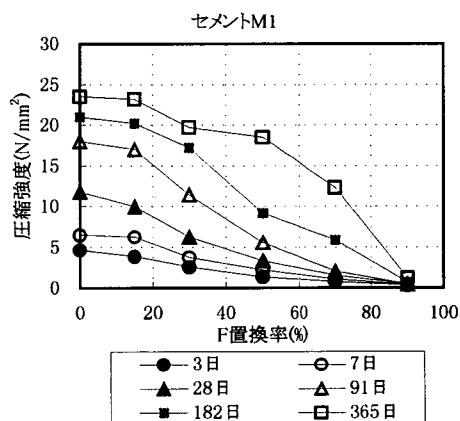


(b-1)セメントN

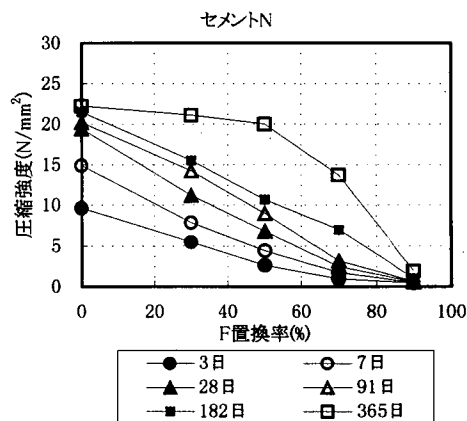


(b-2) セメントN (対数)

図-6.3.7 フライアッシュ置換率と強度発現

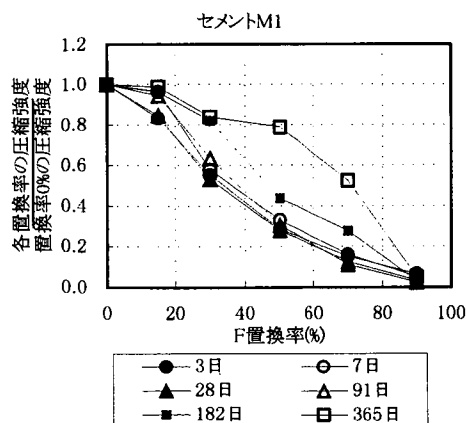


(a) セメント M1

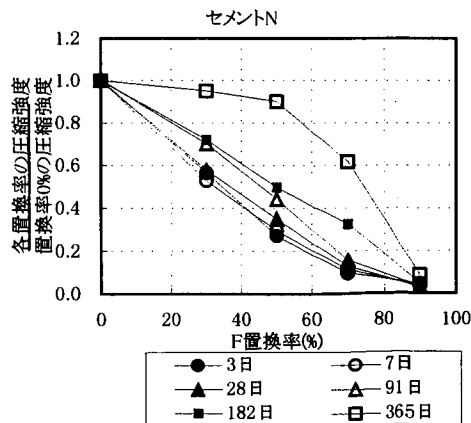


(b) セメント N

図-6.3.8 フライアッシュ置換率と圧縮強度の関係



(a) セメント M1



(b) セメント N

図-6.3.9 フライアッシュ置換率と正規化した圧縮強度

6. 4 フライアッシュ多量置換した超硬練りコンクリートの試験

6.4.1 試験方法

表－6.2.1 の基本配合（単位結合材料 140kg/m<sup>3</sup>，フライアッシュ（F）置換率 50％）に対し，表－6.4.1 のように単位結合材量 120，160kg/m<sup>3</sup>を加え，F置換率を 0，30，50，70，90％変化させた。石粉は 4. 4 節の結果より細骨材に 2.0％混入した。

配合表を表－6.4.2 に示す。

表－6.4.1 検討した配合ケース

| セメント種類    | 単位結合材量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | フライアッシュ置換率(%) |    |    |    |    |
|-----------|--------------------------------|---------------|----|----|----|----|
|           |                                | 0             | 30 | 50 | 70 | 90 |
| 中庸熱<br>M1 | 120                            | —             | ●  | ●  | —  | —  |
|           | 140                            | ●             | ●  | ●  | ●  | ●  |
|           | 160                            | —             | ●  | ●  | —  | —  |
|           | 181                            | —             | ●  | —  | —  | —  |
| 普通<br>N   | 140                            | ●             | ●  | ●  | ●  | ●  |
|           | 160                            | —             | ●  | ●  | ●  | —  |

\*M1の単位結合材量 181kg/m<sup>3</sup>は有スランプコンクリート

各配合について，フレッシュ時にはV C試験，硬化時に断熱温度上昇試験，硬化後は圧縮強度試験および割裂引張強度試験を行った。

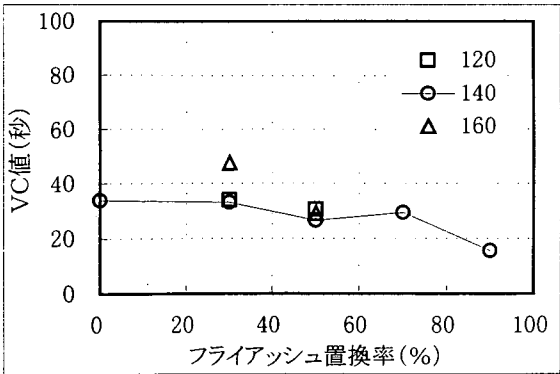
6.4.2 試験結果

V C試験結果および強度試験結果は表－6.4.3 のとおりであった。

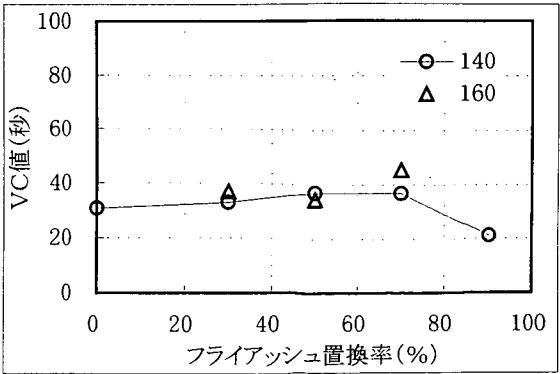
(1) V C試験結果

基本配合から単位結合材量・フライアッシュ置換率を変化させた場合の，V C値への影響を図－6.4.1 および図－6.4.2 に示す。セメントの種類にかかわらず，置換率 90％のケースを除くと，フライアッシュ置換率の変化によるV C値への影響は明確ではなかった。

通常，フライアッシュによる置換を行うと，コンクリートのワーカビリティが改善されると考えられている。その理由としては，フライアッシュの粒子が滑らかな球状であること，密度の違いから同じ質量のセメントをフライアッシュで置換した場合，コンクリート中のペースト容積が増加することなどが挙げられる。



図－6.4.1 フライアッシュ置換率とVC値の関係 (セメント:M1)



図－6.4.2 フライアッシュ置換率とVC値の関係 (セメント:N)

表-6.4.2 フライアッシュを多量置換したコンクリートの配合

(1) 中熱ポルトランドセメントM1

| 粗骨材<br>の種類 | W/B<br>(%) | FA/B<br>(%) | pw1/s<br>(%) | s/a<br>(%) | G/Ug<br>(m³/m³) | G/Ugv<br>(m³/m³) | 単位量 (kg/m³) |       |       |       |       |      |       |       |        |       |       |       | 単位体<br>積質量<br>(kg/l) |
|------------|------------|-------------|--------------|------------|-----------------|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------------------|
|            |            |             |              |            |                 |                  | W           | B     | C     | FA    | S     | Pw1  | Pw0   | S0    | G      | CL    | CM砂質  | CM泥質  |                      |
|            |            |             |              |            |                 |                  |             |       |       |       |       |      |       |       |        |       |       |       |                      |
| 混合         | 94.2       | 30.0        | 2.0          | 38.0       | 0.910           | 0.792            | 113.0       | 120.0 | 84.0  | 36.0  | 843.1 | 17.1 | 112.2 | 715.5 | 1383.9 | 692.0 | 311.4 | 380.6 | 2461.8               |
|            | 94.2       | 50.0        | 2.0          | 38.0       | 0.908           | 0.790            | 113.0       | 120.0 | 60.0  | 60.0  | 840.3 | 17.0 | 111.9 | 713.2 | 1379.5 | 689.7 | 310.4 | 379.4 | 2454.6               |
|            | 80.7       | 0.0         | 2.0          | 38.0       | 0.908           | 0.790            | 113.0       | 140.0 | 140.0 | 0.0   | 841.0 | 17.0 | 111.9 | 713.7 | 1380.5 | 690.2 | 310.6 | 379.6 | 2476.2               |
|            | 80.7       | 30.0        | 2.0          | 38.0       | 0.903           | 0.786            | 113.0       | 140.0 | 98.0  | 42.0  | 836.2 | 17.0 | 111.3 | 709.7 | 1372.6 | 686.3 | 308.8 | 377.5 | 2463.5               |
|            | 80.7       | 50.0        | 2.0          | 38.0       | 0.900           | 0.783            | 113.0       | 140.0 | 70.0  | 70.0  | 833.0 | 16.9 | 110.9 | 707.0 | 1367.4 | 683.7 | 307.7 | 376.0 | 2455.1               |
|            | 80.7       | 70.0        | 2.0          | 38.0       | 0.896           | 0.780            | 113.0       | 140.0 | 42.0  | 98.0  | 829.8 | 16.8 | 110.5 | 704.2 | 1362.2 | 681.1 | 306.5 | 374.6 | 2446.7               |
|            | 80.7       | 90.0        | 2.0          | 38.0       | 0.893           | 0.777            | 113.0       | 140.0 | 14.0  | 126.0 | 826.6 | 16.8 | 110.0 | 701.5 | 1356.9 | 678.5 | 305.3 | 373.2 | 2438.3               |
|            | 70.6       | 30.0        | 2.0          | 38.0       | 0.896           | 0.779            | 113.0       | 160.0 | 112.0 | 48.0  | 829.3 | 16.8 | 110.4 | 703.8 | 1361.3 | 680.6 | 306.3 | 374.4 | 2465.3               |
|            | 70.6       | 50.0        | 2.0          | 38.0       | 0.892           | 0.776            | 113.0       | 160.0 | 80.0  | 80.0  | 825.7 | 16.7 | 109.9 | 700.7 | 1355.3 | 677.7 | 304.9 | 372.7 | 2455.7               |

(2) 普通ポルトランドセメント N

| 粗骨材<br>の種類 | W/B<br>(%) | FA/B<br>(%) | pw1/s<br>(%) | s/a<br>(%) | G/Ug<br>(m³/m³) | G/Ugv<br>(m³/m³) | 単位量 (kg/m³) |       |       |       |       |      |       |       |        |       |       |       | 単位体<br>積質量<br>(kg/l) |
|------------|------------|-------------|--------------|------------|-----------------|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------------------|
|            |            |             |              |            |                 |                  | W           | B     | C     | FA    | S     | Pw1  | Pw0   | S0    | G      | CL    | CM砂質  | CM泥質  |                      |
|            |            |             |              |            |                 |                  |             |       |       |       |       |      |       |       |        |       |       |       |                      |
| 混合         | 80.7       | 0.0         | 2.0          | 38.0       | 0.907           | 0.790            | 113.0       | 140.0 | 140.0 | 0.0   | 840.3 | 17.0 | 111.9 | 713.1 | 1379.3 | 689.7 | 310.3 | 379.3 | 2474.3               |
|            | 80.7       | 30.0        | 2.0          | 38.0       | 0.903           | 0.785            | 113.0       | 140.0 | 98.0  | 42.0  | 835.7 | 16.9 | 111.2 | 709.2 | 1371.8 | 685.9 | 308.7 | 377.3 | 2462.3               |
|            | 80.7       | 50.0        | 2.0          | 38.0       | 0.899           | 0.782            | 113.0       | 140.0 | 70.0  | 70.0  | 832.7 | 16.9 | 110.8 | 706.7 | 1366.8 | 683.4 | 307.5 | 375.9 | 2454.2               |
|            | 80.7       | 70.0        | 2.0          | 38.0       | 0.896           | 0.780            | 113.0       | 140.0 | 42.0  | 98.0  | 829.6 | 16.8 | 110.4 | 704.4 | 1361.8 | 680.9 | 306.4 | 374.5 | 2446.2               |
|            | 80.7       | 90.0        | 2.0          | 38.0       | 0.893           | 0.777            | 113.0       | 140.0 | 14.0  | 126.0 | 826.6 | 16.8 | 110.0 | 701.5 | 1356.8 | 678.4 | 305.3 | 373.1 | 2438.1               |
|            | 70.6       | 30.0        | 2.0          | 38.0       | 0.895           | 0.779            | 113.0       | 160.0 | 112.0 | 48.0  | 828.7 | 16.8 | 110.3 | 703.3 | 1360.4 | 680.2 | 306.1 | 374.1 | 2463.9               |
|            | 70.6       | 50.0        | 2.0          | 38.0       | 0.891           | 0.775            | 113.0       | 160.0 | 80.0  | 80.0  | 825.3 | 16.7 | 109.9 | 700.4 | 1354.7 | 677.3 | 304.8 | 372.5 | 2454.7               |
|            | 70.6       | 70.0        | 2.0          | 38.0       | 0.887           | 0.772            | 113.0       | 160.0 | 48.0  | 112.0 | 821.8 | 16.7 | 109.4 | 697.4 | 1349.0 | 674.5 | 303.5 | 371.0 | 2445.5               |

表-6.4.3 VCおよび強度試験結果

## (1) 中庸熟ポルトランドセメントM1

| 単位結<br>合材量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | F<br>置換率<br>(%) | VC値 |    |      |      | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      | ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      | 割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------------|-----------------|-----|----|------|------|--------------------------|------|------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------------------------------------|
|                                    |                 |     |    |      |      | 材齢(日)                    |      |      |      |      |      | 材齢(日)                      |      |      |      |      |      | 材齢(日)                              |
|                                    |                 | (秒) | 平均 |      |      | 3                        | 7    | 28   | 91   | 182  | 365  | 3                          | 7    | 28   | 91   | 182  | 365  | 28                                 |
| 120                                | 30              | 32  | 36 | 34.0 |      |                          |      | 8.2  | 14.1 |      |      |                            |      | 16.2 | 27.9 |      |      | 1.09                               |
|                                    | 50              | 30  | 31 | 30.5 |      |                          |      | 4.8  | 10.0 |      |      |                            |      | 12.8 | 21.8 |      |      | 0.64                               |
| 140                                | 0               | 31  | 31 | 31.0 | 33.8 | 8.17                     | 10.7 | 19.2 | 25.1 | 27.8 | 27.7 | 14.9                       | 19.6 | 26.0 | 29.0 | 31.0 | 31.6 | 2.39                               |
|                                    |                 | 38  | 40 | 39.0 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 29  | 34 | 31.5 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    | 30              | 27  | 29 | 28.0 | 33.0 | 5.33                     | 6.34 | 11.7 | 19.4 | 22.9 | 29.6 | 10.1                       | 12.4 | 19.2 | 25.5 | 28.9 | 34.9 | 1.48                               |
|                                    |                 | 32  | 45 | 38.5 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 33  | 32 | 32.5 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    | 50              | 26  | 25 | 25.5 | 26.3 | 2.93                     | 3.59 | 6.47 | 12.5 | 20.1 | 27.2 | 4.84                       | 7.48 | 14.5 | 24.3 | 29.6 | 30.4 | 0.88                               |
|                                    |                 | 27  | 27 | 27.0 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 25  | 28 | 26.5 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    | 70              | 31  | 32 | 31.5 | 29.3 | 1.69                     | 2.16 | 2.86 | 5.93 | 8.44 | 11.5 | 1.12                       | 2.96 | 6.57 | 12.3 | 17.9 | 22.1 | 0.31                               |
|                                    |                 | 30  | 30 | 30.0 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 26  | 27 | 26.5 |      |                          |      |      |      |      |      |                            |      |      |      |      |      |                                    |
| 160                                | 90              | 15  | 15 | 15.5 |      |                          |      | 1.11 | 1.53 |      |      |                            |      | 0.75 | 1.40 |      |      | 0.95                               |
|                                    | 30              | 47  | 48 | 47.5 |      |                          |      | 15.7 | 24.5 |      |      |                            |      | 23.7 | 29.2 |      |      | 18.5                               |
|                                    | 50              | 30  | 28 | 29   |      |                          |      | 9.45 | 16.8 |      |      |                            |      | 19.4 | 26.9 |      |      | 11.3                               |

## (2) 普通ポルトランドセメントN

| 単位結<br>合材量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | F<br>置換率<br>(%) | VC値 |    |      |      | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |       | ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      | 割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------------|-----------------|-----|----|------|------|--------------------------|------|------|------|------|-------|----------------------------|------|------|------|------|------|------------------------------------|
|                                    |                 |     |    |      |      | 材齢(日)                    |      |      |      |      |       | 材齢(日)                      |      |      |      |      |      | 材齢(日)                              |
|                                    |                 | (秒) | 平均 |      |      | 3                        | 7    | 28   | 91   | 182  | 365   | 3                          | 7    | 28   | 91   | 182  | 365  | 28                                 |
| 140                                | 0               | 25  | 43 | 34.0 | 30.7 | 13.1                     | 18.1 | 22.0 | 24.4 | 24.5 | 25.3  | 20.4                       | 24.1 | 20.6 | 27.8 | 29.4 | 31.5 | 2.61                               |
|                                    |                 | 28  | 27 | 27.5 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 29  | 32 | 30.5 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    | 30              | 33  | 43 | 38.0 | 32.8 | 8.16                     | 11.0 | 15.5 | 20.1 | 22.3 | 27.6  | 16.2                       | 18.9 | 24.5 | 27.0 | 30.4 | 31.8 | 1.95                               |
|                                    |                 | 30  | 30 | 30.0 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 26  | 35 | 30.5 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    | 50              | 29  | 28 | 28.5 | 37.0 | 5.10                     | 6.86 | 9.92 | 14.3 | 21.0 | 27.4  | 8.75                       | 14.9 | 19.0 | 23.8 | 28.4 | 31.9 | 1.23                               |
|                                    |                 | 38  | 41 | 39.5 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 41  | 45 | 43.0 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    | 70              | 48  | 46 | 47.0 | 36.8 | 2.43                     | 3.45 | 4.87 | 9.48 | 12.7 | 15.69 | 3.21                       | 3.75 | 11.8 | 18.7 | 22.0 | 23.3 | 0.58                               |
|                                    |                 | 30  | 28 | 29.0 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
|                                    |                 | 35  | 34 | 34.5 |      |                          |      |      |      |      |       |                            |      |      |      |      |      |                                    |
| 160                                | 90              | 22  | 20 | 21.0 |      |                          |      | 1.42 | 2.13 |      |       |                            |      | 0.84 | 2.24 |      |      | 0.16                               |
|                                    | 30              | 39  | 35 | 37   |      |                          |      | 20.1 | 24.2 |      |       |                            |      | 27.0 | 31.6 |      |      | 2.49                               |
|                                    | 50              | 50  | 19 | 34.5 |      |                          |      | 13.2 | 18.6 |      |       |                            |      | 22.9 | 25.5 |      |      | 1.64                               |
|                                    | 70              | 70  | 21 | 45.5 |      |                          |      | 5.64 | 10.6 |      |       |                            |      | 13.2 | 20.4 |      |      | 0.75                               |

しかし、今回は、基本配合決定の段階で、ワーカビリティーの改善を目的として石粉による置換を行い、細骨材中の微粒分の量を調整して、最適な条件のもとでフライアッシュの置換を行った。そのため、フライアッシュのワーカビリティー改善効果を確認することができなかったものと考えられる。

また、この結果は 6.3.3 項のモルタルのコンシステンシー、レオロジー試験結果とも異なる。モルタルの場合は置換率 30～70%で急激にワーカビリティーが改善されたのは、粉粒体の空隙が大きいため置換率の増加により空隙が充填されたためと考えられる。コンクリートの場合は上述のとおり、すでに石粉の混入により最適な状態になっていたためである。

## (2) 断熱温度上昇試験結果

断熱温度上昇試験結果は表-6.4.4 のとおりであった。

フライアッシュ置換率と最大温度上昇量の関係は、図-6.4.3 のように置換率の増加により温度上昇量は直線的に低下しているものの、置換率 0%のときの温度上昇量と 100%を結ぶ線よりも上にあり、置換率の増加により、温度上昇に及ぼす影響は大きくなっている。また、単位結合材量が増加すると図-6.4.4 のように大きくなっている。

これらのことから、結合材に含まれているセメント量のみと温度上昇量の関係を求めると図-6.4.5 のようになった。このときの傾きは、M 1 は 0.095、N は 0.107 であった。図-6.4.4 のセメント M 1、F 置換率 30%のときの単位結合材量の関係は 0.114 であり、セメント量の場合より大きく、フライアッシュもポゾラン反応によりわずかに温度上昇に関与している。さらには、図-6.4.6 のように F 置換率とセメント単位量当たりの温度上昇量の関係をとってみると、置換率 0%、30%の場合はほぼ一定であるが、それ以上になると急激に上昇している。この原因として、フライアッシュのポゾラン反応も含まれてはいるであろうが、初期においてはポゾラン反応はわずかであり、フライアッシュによるセメント粒子の分散効果によるものと考えられる。

表-6.4.4 断熱温度上昇試験結果

| コンクリート種別 | セメント種類 | 単位結合材量<br>kg/m <sup>3</sup> | F置換率<br>% | 単位セメント量<br>kg/m <sup>3</sup> | 単位フライアッシュ量<br>kg/m <sup>3</sup> | 測定最大温度上昇量<br>℃ | セメント単位量当たりの温度上昇量<br>℃/kg | 断熱温度上昇式       |       |       |                             |       |       |       |
|----------|--------|-----------------------------|-----------|------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------|---------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|          |        |                             |           |                              |                                 |                |                          | K{1-exp(-αt)} |       |       | K{1-exp(-αt <sup>β</sup> )} |       |       |       |
|          |        |                             |           |                              |                                 |                |                          | K             | α     | 相関係数  | K                           | α     | β     | 相関係数  |
| RCD      | M1     | 120                         | 30        | 84                           | 36                              | 12.3           | 0.146                    | 11.7          | 0.688 | 0.976 | 12.1                        | 0.772 | 0.656 | 0.990 |
|          |        | 140                         | 0         | 140                          | 0                               | 18.0           | 0.129                    | 17.5          | 1.046 | 0.982 | 17.8                        | 1.082 | 0.639 | 0.997 |
|          |        |                             | 30        | 98                           | 42                              | 13.6           | 0.139                    | 13.3          | 0.747 | 0.983 | 13.5                        | 0.818 | 0.719 | 0.993 |
|          |        |                             | 50        | 70                           | 70                              | 11.2           | 0.160                    | 11.1          | 0.647 | 0.993 | 11.2                        | 0.710 | 0.828 | 0.997 |
|          |        |                             | 70        | 42                           | 98                              | 8.7            | 0.207                    | 8.4           | 0.539 | 0.981 | 8.7                         | 0.643 | 0.688 | 0.994 |
|          | 160    | 30                          | 112       | 48                           | 15.7                            | 0.140          | 15.2                     | 0.675         | 0.979 | 15.5  | 0.753                       | 0.697 | 0.990 |       |
|          | N      | 140                         | 0         | 140                          | 0                               | 21.1           | 0.151                    | 21.2          | 1.122 | 0.995 | 21.1                        | 1.104 | 1.293 | 1.000 |
|          |        |                             | 30        | 98                           | 42                              | 15.0           | 0.153                    | 15.0          | 0.922 | 0.998 | 15.0                        | 0.899 | 1.105 | 0.999 |
|          |        |                             | 50        | 70                           | 70                              | 13.3           | 0.190                    | 13.3          | 0.828 | 0.999 | 13.3                        | 0.835 | 0.977 | 0.999 |
|          |        |                             | 70        | 42                           | 98                              | 10.4           | 0.248                    | 10.4          | 0.733 | 0.998 | 10.4                        | 0.685 | 1.147 | 0.999 |
| 有スラブ     | M1     | 181                         | 30        | 126.7                        | 54.3                            | 19.3           | 0.152                    | 18.9          | 0.594 | 0.986 | 19.2                        | 0.679 | 0.754 | 0.994 |

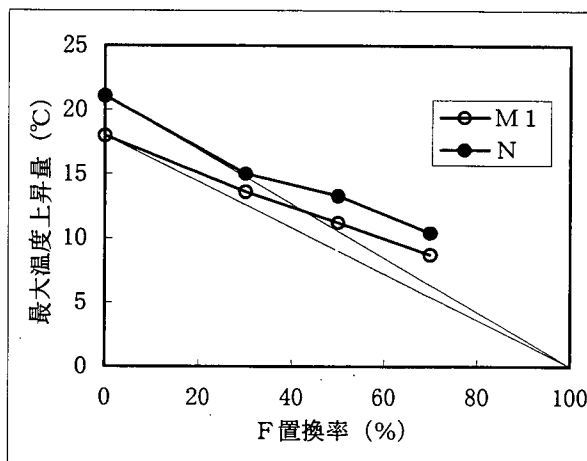


図-6.4.3 F置換率と最大温度上昇量の関係  
(単位結合材量140kg/m<sup>3</sup>)

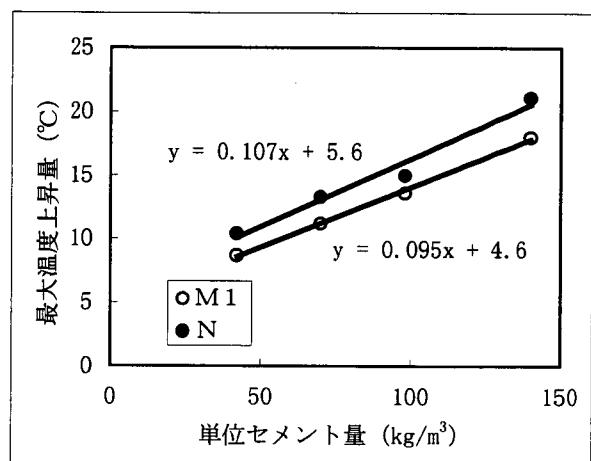


図-6.4.5 単位セメント量と最大温度上昇量の関係

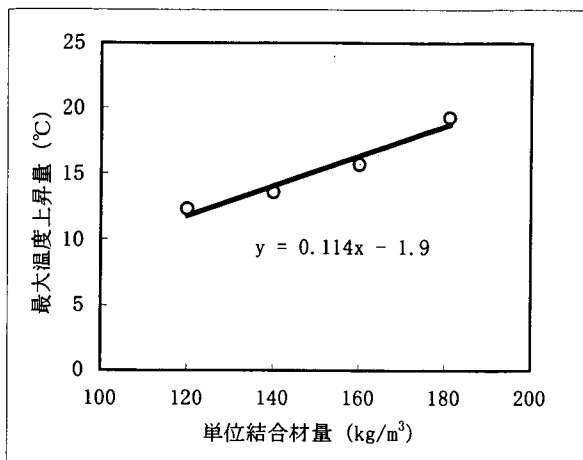


図-6.4.4 単位結合材量と  
最大温度上昇量の関係  
(セメント:M1, FA置換率30%)

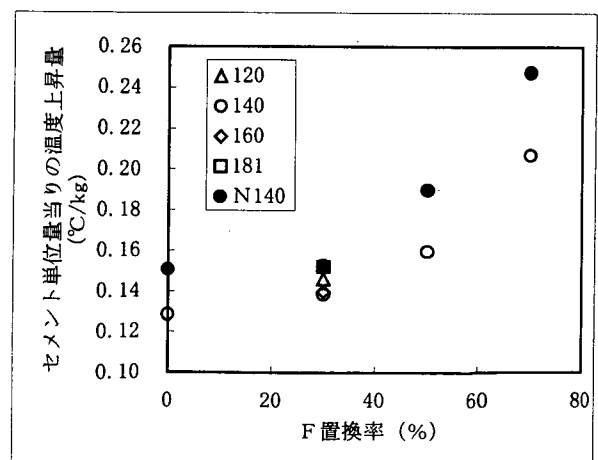


図-6.4.6 F置換率と  
単位セメント量当りの温度上昇量

### (3) 強度試験結果

フライアッシュ置換率，単位結合材量を変化させたときの強度発現，圧縮強度とヤング係数の関係は図-6.4.7のとおりであった。

モルタルの場合(6.3.3 節(3))と同様，置換率と圧縮強度，割裂引張強度の関係，置換率0%のときを規準にした場合の置換率と強度の関係を図-6.4.8に示す。モルタルと同様の傾向を示しているが，フライアッシュが強度増進効果を示す材齢は，中庸熱セメントの場合モルタル182日に対しコンクリートは91日，普通セメントのモルタルは，91日に対しコンクリートは28日であり，コンクリートの方が早くなっている。また，両セメントとも，材齢1年では，置換率0%のときの強度を上回っている。

表-6.4.5に粗骨材の割裂面積の結果を，図-6.4.9に割裂引張強度と割裂面積率の関係を示す。図-6.4.9より割裂面積率は小さいものの，割裂引張強度と正の相関関係がある。4.4.2 節(4)の表-4.4.6，図-4.4.14では両者の関係は明確ではなかった。図-4.4.14では割裂引張強度は $2.0\text{N/mm}^2$ 以下であったが，今回は $2.5\text{N/mm}^2$ を上回る強度発現があったためと考えられる。ただし，5章のK s 骨材の結果(図-5.3.7)に比べると極めて小さく，これは4.4.2 節(4)で考察したとおり骨材の節理の発達と表面のテクスチャーによるものであろう。

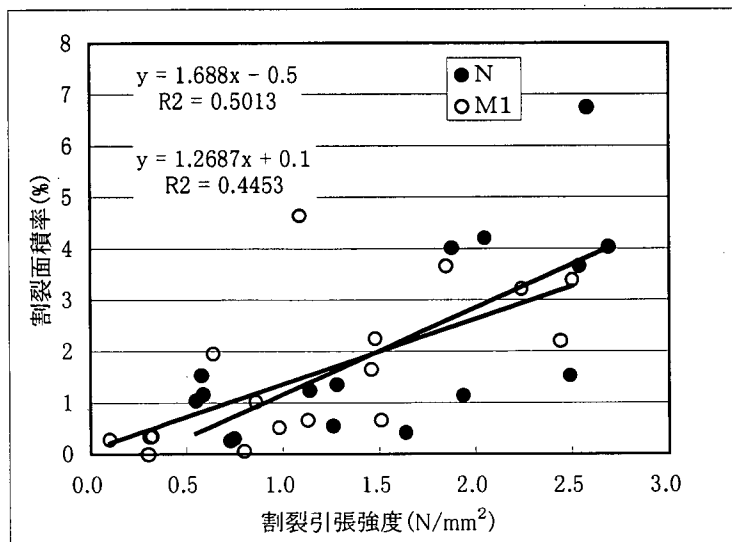
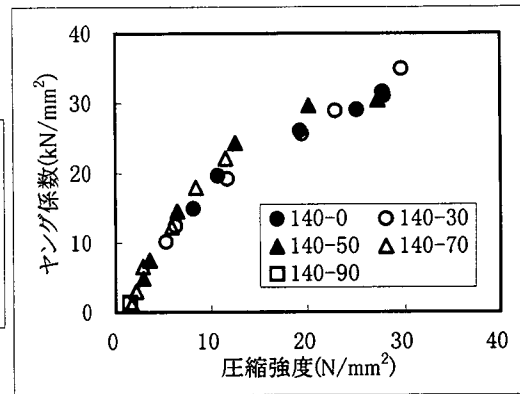
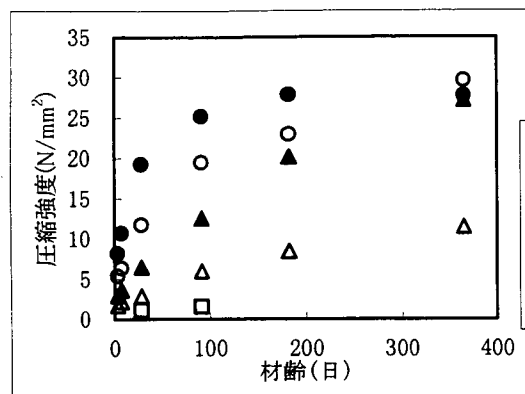
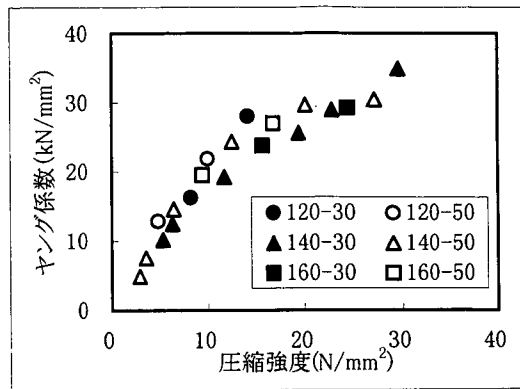
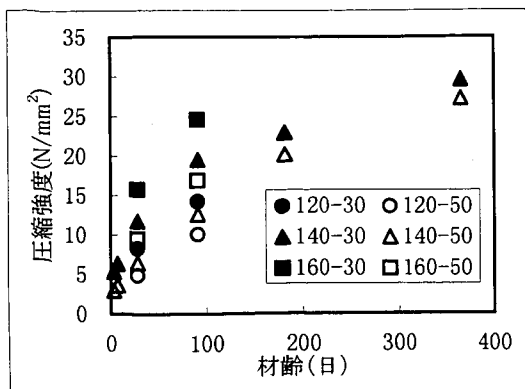
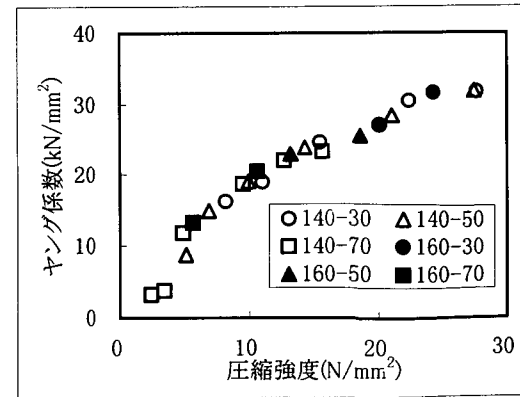
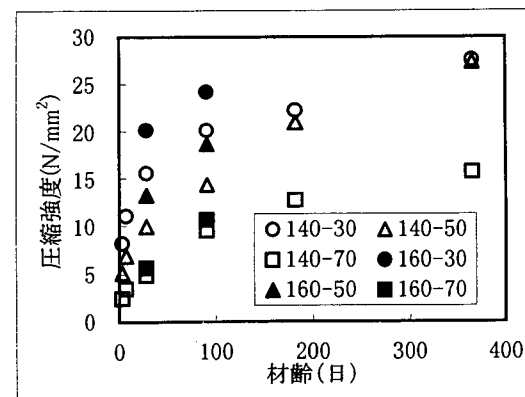
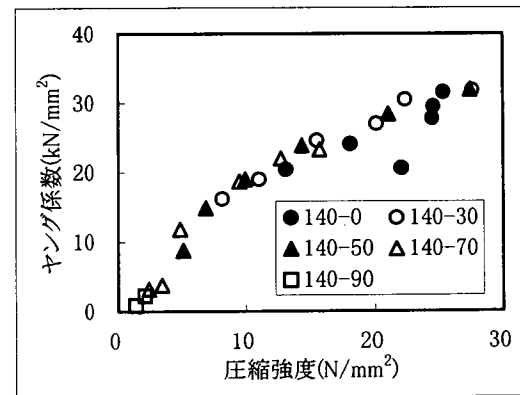
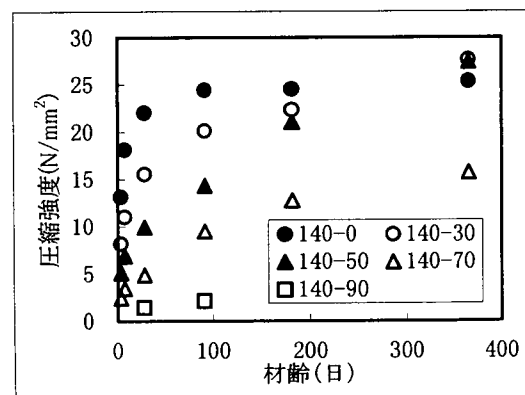


図-6.4.9 割裂引張強度と割裂面積の関係



(1) 中庸熱ポルトランドセメントM1



(2) 普通ポルトランドセメントN

図-6.4.7 圧縮強度およびヤング係数

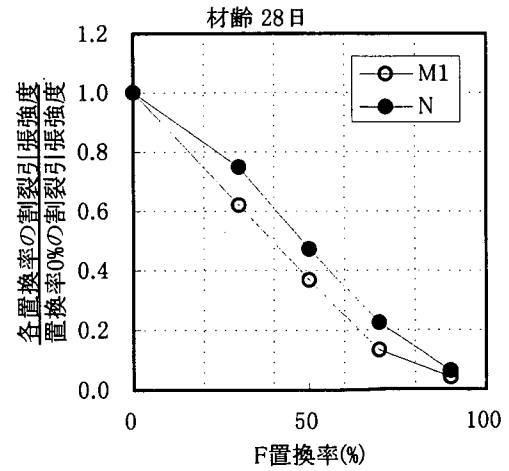
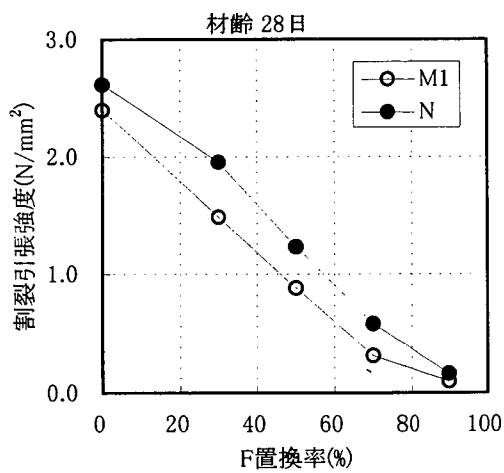
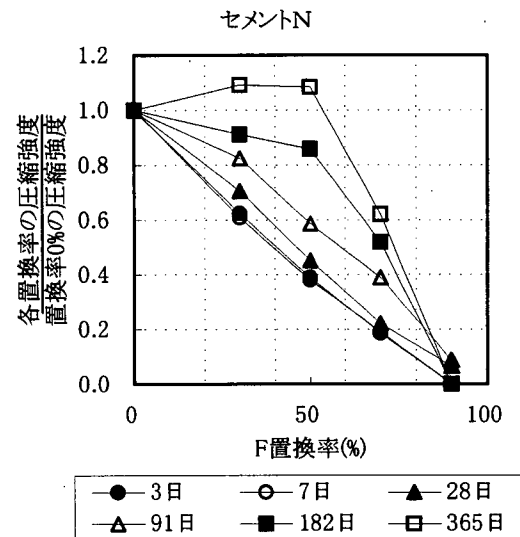
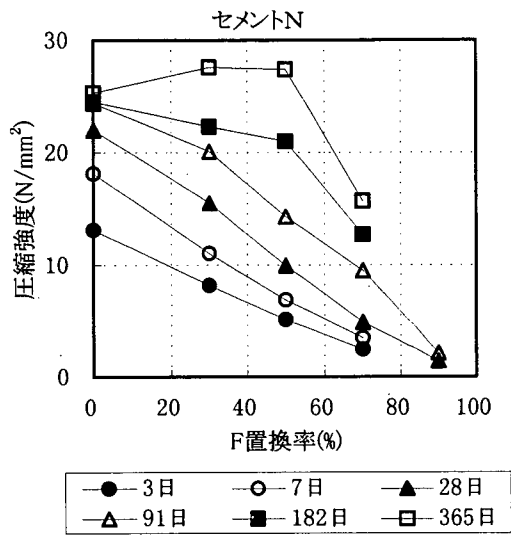
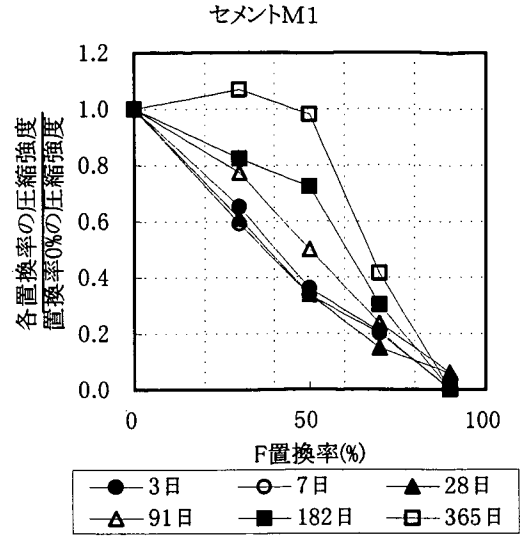
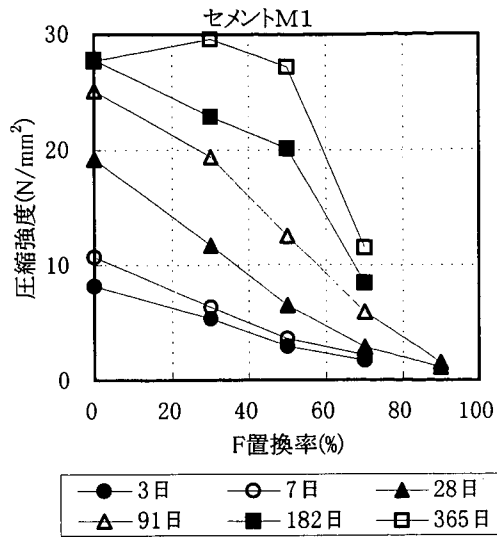


図-6.4.8 フライアッシュ置換率と強度の関係

表-6.4.5 割裂面積率

| 材齡 | 粗骨材 | セメント | 試験項目 | 単位水量 | s/a | 微粒分率<br>% | 結合材料<br>kg/m3 | F置換率<br>% | 割裂面積<br>率 | 引張強度<br>N/mm2 |
|----|-----|------|------|------|-----|-----------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| 28 | 混合  | N    | F置換率 | 113  | 38  | 15.5      | 140           | 0         | 3.66      | 2.54          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 6.75      | 2.58          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 4.03      | 2.69          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 30        | 1.14      | 1.94          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 4.01      | 1.88          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 4.2       | 2.05          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 50        | 1.24      | 1.14          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 1.35      | 1.28          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 0.55      | 1.26          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 70        | 1.16      | 0.59          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 1.53      | 0.58          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 1.04      | 0.55          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 90        | 0.26      | 0.73          |
|    |     |      |      |      |     |           | 160           | 30        | 1.52      | 2.49          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 50        | 0.42      | 1.64          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 70        | 0.31      | 0.75          |
| 28 | 混合  | M1   | F置換率 | 113  | 38  | 15.5      | 140           | 0         | 3.21      | 2.24          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 2.2       | 2.44          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 3.39      | 2.5           |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 30        | 2.25      | 1.48          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 1.65      | 1.46          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 0.66      | 1.51          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 50        | 1.02      | 0.86          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 0.52      | 0.98          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 0.06      | 0.8           |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 70        | 0.34      | 0.31          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 0.35      | 0.32          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 0         | 0.3           |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 90        | 0.28      | 0.1           |
|    |     |      |      |      |     |           | 120           | 30        | 4.64      | 1.09          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 3.66      | 1.85          |
|    |     |      |      |      |     |           |               | 50        | 0.66      | 1.13          |
|    |     |      |      |      |     |           |               |           | 1.95      | 0.64          |

## 6. 5 フライアッシュのワーカビリティ改善効果

表-4.5.1 に基づき各種かさ容積比と空隙比を求めると表-6.5.1 のとおりであった。フライアッシュ置換率，単位結合材量と各指標値の関係を図-6.5.1 に示す。

VC値は図-6.4.1 および図-6.4.2 のようにほとんど変化がなかった。その理由は 6.4.2 節で考察したように石粉混入によって最適な条件のもとでフライアッシュ置換率を変化させたのでフライアッシュによるワーカビリティ改善効果がなかったことは，図-6.5.1 のように各指標がほぼ一定であることから裏づけられる。

VC値は微粒分率によって図-4.4.3 のように下に凸の曲線となる。通常，細骨材に含まれている微粒分率では，図-4.4.3 の曲線の左側の右下がりに位置している。そのため，フライアッシュを添加すると，空隙充填効果と，フライアッシュの形状効果により，VC値は小さくなり，施工性が改善される。ところが，今回の実験のように石粉を添加し，すでに空隙充填効果を発揮する混入率になっていればフライアッシュの効果は現れない。

ただし，6.3.3 節のモルタルによるレオロジー試験効果(図-6.3.5)のようにフライアッシュ置換率の増加により材料分離抵抗性の改善が期待される。比表面積など石粉の品質によっては，充填効果は期待されても，材料分離抵抗性の改善には寄与しない場合も考えられる。このような場合には石粉とフライアッシュの混入率を調整することにより最適なワーカビリティを確保する方法も考えられる。

表-6.5.1 フライアッシュを多量置換したコンクリートの各指標値

(1) 中庸熟ポルトランドセメントM1

| 試験項目 |      | W/B     | W/Bp     | f/bp     | pw/s     | s0/a     | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |     |      |       |       |      | uBp/p |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |       |          |           |       |       |  |
|------|------|---------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|-------|-----|-----|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|----------|-----------|-------|-------|--|
| 結合材量 | F置換率 | W/B (%) | W/Bp (%) | f/bp (%) | pw/s (%) | s0/a (%) | W                        | Bp    |     |     |      |       | S0    | G    |       | α0    | uS/m  | uSv/m | α     | αv    | uG/c  | uGv/c | β     | βv    | u(S+Bp)/m | α'    | u(G+S)/c | u(G+S)v/c | β'    | β'v   |  |
|      |      |         |          |          |          |          |                          |       | C   | FA  | Pw1  | Pw0   |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |       |          |           |       |       |  |
| 120  | 30   | 94.2    | 45.3     | 51.9     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 249.3 | 84  | 36  | 17.1 | 112.2 | 715.5 | 1384 | 0.748 | 1.823 | 0.886 | 0.774 | 1.367 | 2.037 | 0.906 | 0.795 | 1.281 | 1.813 | 1.079     | 0.750 | 1.091    | 0.990     | 0.690 | 1.052 |  |
|      | 50   | 94.2    | 45.4     | 51.8     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 248.9 | 60  | 60  | 17.0 | 111.9 | 713.2 | 1380 | 0.76  | 1.773 | 0.880 | 0.769 | 1.389 | 2.070 | 0.903 | 0.793 | 1.290 | 1.825 | 1.084     | 0.739 | 1.088    | 0.987     | 0.701 | 1.069 |  |
| 140  | 0    | 80.7    | 42.0     | 47.9     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 268.9 | 140 | 0   | 17.0 | 111.9 | 713.7 | 1381 | 0.758 | 1.782 | 0.881 | 0.770 | 1.384 | 2.063 | 0.903 | 0.793 | 1.288 | 1.822 | 1.083     | 0.741 | 1.088    | 0.988     | 0.698 | 1.065 |  |
|      | 30   | 80.7    | 42.1     | 47.8     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 268.3 | 98  | 42  | 17.0 | 111.3 | 709.7 | 1373 | 0.778 | 1.699 | 0.871 | 0.761 | 1.423 | 2.120 | 0.898 | 0.789 | 1.304 | 1.844 | 1.091     | 0.722 | 1.082    | 0.982     | 0.718 | 1.095 |  |
|      | 50   | 80.7    | 42.2     | 47.7     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 267.8 | 70  | 70  | 16.9 | 110.9 | 707.0 | 1367 | 0.79  | 1.648 | 0.864 | 0.755 | 1.448 | 2.159 | 0.895 | 0.786 | 1.314 | 1.859 | 1.096     | 0.710 | 1.078    | 0.978     | 0.731 | 1.115 |  |
|      | 70   | 80.7    | 42.3     | 47.6     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 267.3 | 42  | 98  | 16.8 | 110.5 | 704.2 | 1362 | 0.802 | 1.600 | 0.857 | 0.749 | 1.475 | 2.199 | 0.891 | 0.783 | 1.324 | 1.873 | 1.101     | 0.699 | 1.074    | 0.974     | 0.744 | 1.135 |  |
|      | 90   | 80.7    | 42.4     | 47.5     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 266.8 | 14  | 126 | 16.8 | 110.0 | 701.5 | 1357 | 0.814 | 1.555 | 0.850 | 0.743 | 1.502 | 2.238 | 0.888 | 0.780 | 1.335 | 1.888 | 1.105     | 0.687 | 1.070    | 0.971     | 0.758 | 1.156 |  |
| 160  | 30   | 70.6    | 39.3     | 44.3     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 287.2 | 112 | 48  | 16.8 | 110.4 | 703.8 | 1361 | 0.805 | 1.591 | 0.856 | 0.748 | 1.479 | 2.205 | 0.891 | 0.782 | 1.326 | 1.876 | 1.102     | 0.696 | 1.073    | 0.974     | 0.746 | 1.139 |  |
|      | 50   | 70.6    | 39.4     | 44.2     | 14.9     | 34.3     | 113                      | 286.6 | 80  | 80  | 16.7 | 109.9 | 700.7 | 1355 | 0.819 | 1.540 | 0.848 | 0.741 | 1.510 | 2.250 | 0.887 | 0.779 | 1.338 | 1.893 | 1.107     | 0.684 | 1.068    | 0.969     | 0.762 | 1.162 |  |

(2) 普通ポルトランドセメントN

| 試験項目 |      | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |            |              |             |             |     |       |     |     |      |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |    |      |
|------|------|--------------------------|------------|--------------|-------------|-------------|-----|-------|-----|-----|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|----|------|
| 結合材量 | F置換率 | W/Bp<br>(%)              | W/B<br>(%) | Pw/Bp<br>(%) | pw/s<br>(%) | s0/a<br>(%) | W   |       | Bp  |     | C    | FA    | Pw1   | Pw0    | S0    | G     | uBp/p | α 0   | uS/m  | uSv/m | α     | α v   | uG/c  | uGv/c | β     | β v   | u(S+Bp)<br>/m | α'    | u(G+S)<br>/c | u(G+S)v<br>/c | β' | β' v |
|      |      |                          |            |              |             |             |     |       |     |     |      |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |    |      |
| 140  | 0    | 80.7                     | 42.0       | 47.9         | 14.9        | 34.3        | 113 | 268.9 | 140 | 0   | 17.0 | 111.9 | 713.1 | 1379.3 | 0.761 | 0.974 | 0.880 | 0.769 | 1.390 | 2.071 | 0.903 | 0.793 | 0.746 | 1.202 | 1.084 | 0.738 | 1.087         | 0.987 | 0.701        | 1.070         |    |      |
|      | 30   | 80.7                     | 42.1       | 47.8         | 14.9        | 34.3        | 113 | 268.1 | 98  | 42  | 16.9 | 111.2 | 709.2 | 1371.8 | 0.779 | 0.932 | 0.870 | 0.760 | 1.427 | 2.127 | 0.898 | 0.788 | 0.755 | 1.216 | 1.091 | 0.721 | 1.081         | 0.981 | 0.720        | 1.098         |    |      |
|      | 50   | 80.7                     | 42.2       | 47.7         | 14.9        | 34.3        | 113 | 267.7 | 70  | 70  | 16.9 | 110.8 | 706.7 | 1366.8 | 0.791 | 0.905 | 0.863 | 0.754 | 1.451 | 2.163 | 0.895 | 0.786 | 0.761 | 1.225 | 1.096 | 0.709 | 1.078         | 0.978 | 0.732        | 1.117         |    |      |
|      | 70   | 80.7                     | 42.3       | 47.6         | 14.9        | 34.3        | 113 | 267.2 | 42  | 98  | 16.8 | 110.4 | 704.4 | 1361.8 | 0.803 | 0.880 | 0.857 | 0.749 | 1.475 | 2.199 | 0.891 | 0.783 | 0.766 | 1.235 | 1.101 | 0.698 | 1.074         | 0.974 | 0.745        | 1.136         |    |      |
|      | 90   | 80.7                     | 42.4       | 47.5         | 14.9        | 34.3        | 113 | 266.8 | 14  | 126 | 16.8 | 110.0 | 701.5 | 1356.8 | 0.815 | 0.856 | 0.850 | 0.743 | 1.502 | 2.239 | 0.888 | 0.780 | 0.772 | 1.244 | 1.106 | 0.687 | 1.070         | 0.971 | 0.758        | 1.156         |    |      |
| 160  | 30   | 70.6                     | 39.4       | 44.3         | 14.9        | 34.3        | 113 | 287.1 | 112 | 48  | 16.8 | 110.3 | 703.3 | 1360.4 | 0.807 | 0.872 | 0.855 | 0.747 | 1.484 | 2.212 | 0.890 | 0.782 | 0.768 | 1.237 | 1.103 | 0.694 | 1.072         | 0.973 | 0.749        | 1.142         |    |      |
|      | 50   | 70.6                     | 39.4       | 44.2         | 14.9        | 34.3        | 113 | 286.6 | 80  | 80  | 16.7 | 109.9 | 700.4 | 1354.7 | 0.820 | 0.845 | 0.848 | 0.740 | 1.513 | 2.255 | 0.887 | 0.779 | 0.775 | 1.248 | 1.108 | 0.682 | 1.068         | 0.969 | 0.763        | 1.164         |    |      |
|      | 70   | 70.6                     | 39.5       | 44.1         | 14.9        | 34.3        | 113 | 286.1 | 48  | 112 | 16.7 | 109.4 | 697.4 | 1349.0 | 0.833 | 0.820 | 0.840 | 0.734 | 1.542 | 2.299 | 0.883 | 0.775 | 0.781 | 1.259 | 1.114 | 0.670 | 1.063         | 0.965 | 0.778        | 1.187         |    |      |

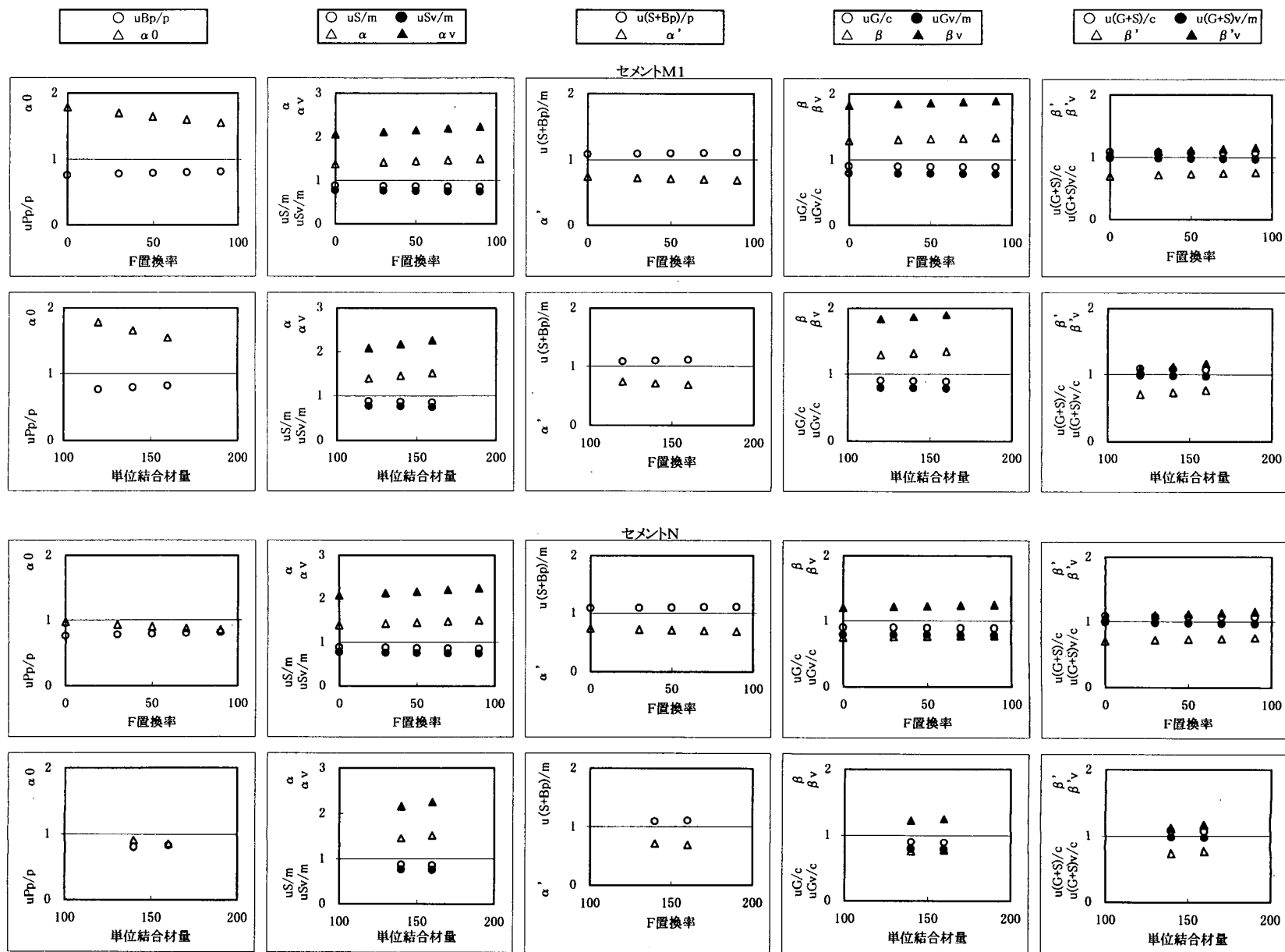


図-6.5.1 フライアッシュ置換率, 単位結合材量と各指標値の関係

## 6.6 フライアッシュの強度発現効果

### 6.6.1 強度発現効果の推定方法

フライアッシュの強度発現に寄与する効果について文献 6.1～6.3) を参考に、フライアッシュの置換率を変化させたモルタルおよびコンクリートの強度結果 (表-6.3.5 および表-6.4.3) から次のように推定した。

#### (1)セメントの強度発現

セメントに不活性な粉体を置換した場合の材齢  $t$  における強度および強度発現効果は図-6.6.1 のようになるものと考えられる。

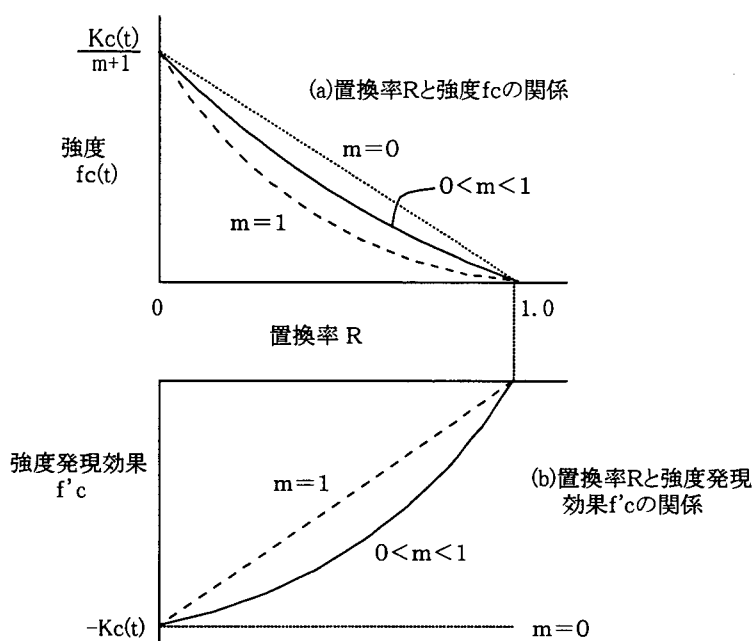


図-6.6.1 材齢 $t$ における不活性な粉体を置換した場合の強度発現

置換率  $R$  と強度  $f'c$  の関係が(a)図のようになる。これを  $R$  で微分するとことにより強度発現速度は(b)図のようになる。縦軸  $f'c$  をここでは強度発現効果と呼ぶこととする。

(b)図の  $R$ - $f'c$  関係が破線のようにセメント量に対して比例関係 ( $m=1$ ) にあるものと仮定すると、 $R$ - $f'c$  関係は次式となる。

$$f'c(t) = -Kc(t)(1-R) \cdots \cdots (6.6.1)$$

式 6.6.1 を積分することにより  $R$ - $f'c$  関係は次式のように二次式となり、(a)図の破線のようになる。

$$f'c(t) = -\frac{Kc(t)}{2}(1-R)^2 \cdots \cdots (6.6.2)$$

しかしながら、粉体を混入した場合「微粉末効果」により強度が増加することが知られている<sup>64)</sup>。それを考慮すると図-6.6.1 (b)の実線のように強度発現効果も大きくなるものと考えられる ( $0 < m < 1$ )。  $R$ - $f'c$  関係を  $m$  乗の累乗式で与えると次式となる。

$$f'c(t) = -Kc(t)(1-R)^m \cdots \cdots (6.6.3)$$

R - f c 関係は、式(6.6.3)を積分することにより、

$$fc(t) = \frac{Kc(t)}{m+1} (1-R)^{m+1} \cdots \cdots (6.6.4)$$

となり、(a)図の実線のようなものと考えられる。

## (2) フライアッシュの強度寄与分の分離

図-6.3.9 または図-6.4.8 の置換率と圧縮強度および図-6.6.1(a)の関係から、フライアッシュの強度発現に寄与する効果は図-6.6.2 のようになる。

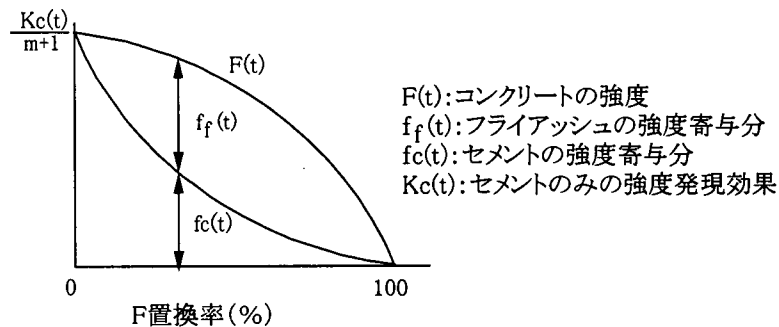


図-6.6.2 フライアッシュの強度発現寄与分の概念図

置換率 0% の場合の強度はセメントのみの強度発現であり式 (6.6.4) から  $Kc(t)/(m+1)$  となる。フライアッシュを置換したときのコンクリートの強度を  $F(t)$  とすると、フライアッシュの強度寄与分  $ff(t)$  は次式となる。

$$ff(t) = F(t) - fc(t) \cdots \cdots (4.7.5)$$

ここに、 $fc(t)$ 、 $ff(t)$  : 材齢  $t$  におけるセメント、フライアッシュの強度寄与分

$Kc(t)$  : 材齢  $t$  におけるセメントのみの強度発現効果

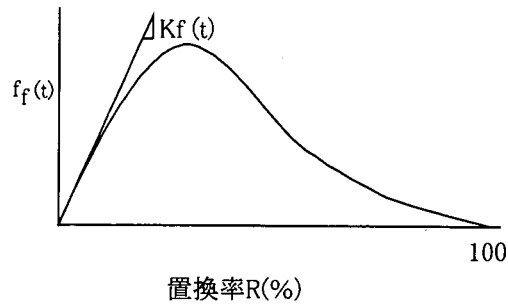
$F(t)$  : 材齢  $t$  におけるコンクリートまたはモルタル強度

$R$  : 置換率

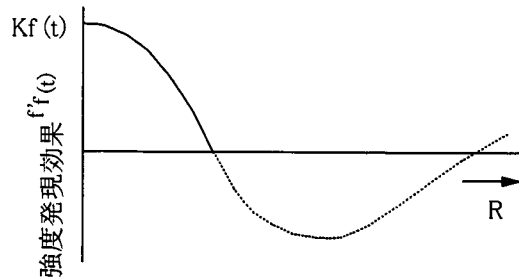
$m$  : 強度発現効果を表わす係数

## (3) フライアッシュの強度発現効果

フライアッシュの強度寄与分  $ff(t)$  は、式 (6.6.5) に式 (6.6.4) を代入することによって得られる (図-6.6.3(a))。



(a)フライアッシュの強度寄与分  $f_f$



(b)フライアッシュの強度発現効果  $f'_f$

図-6.6.3 フライアッシュの強度発現効果

式 (6.6.6) を微分することにより、材齢  $t$  のときのフライアッシュの強度発現効果  $f'_f(t)$  が得られることになる (図-6.6.3(b))。最も強度発現効果の大きい置換率 0 % のときを  $Kf(t)$  とする。

材齢  $t$  とそのときの強度発現効果  $Kf(t)$  の関係を次式によって表す (図-6.6.4)。

$$Kf(t) = \frac{t - t_0}{\frac{1}{K_s} + \frac{t - t_0}{K_{inf}}} \dots (6.6.7)$$

ここに、 $t_0$  : フライアッシュの強度発現開始材齢 (日)

$K_s$  :  $t_0$  のときの傾き ( $N/mm^2$ )

$K_{inf}$  :  $t = \infty$  のときの強度発現 ( $N/mm^2$ )

$t_0, K_s, K_{inf}$  の 3 係数によってフライアッシュの強度発現を表すことができる。

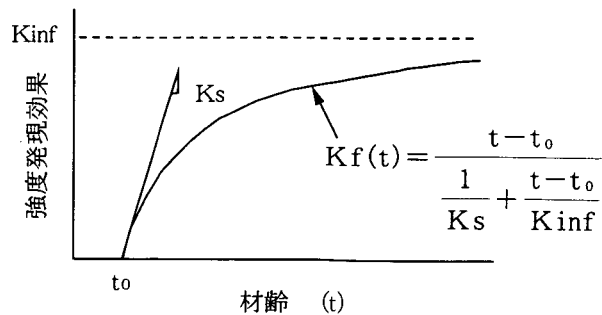


図-6.6.4 フライアッシュの強度発現

### 6.6.2 フライアッシュの強度発現効果の算定

モルタルおよびコンクリートの強度結果からフライアッシュの強度発現効果を求めると図-6.6.5～6.6.8 のようになった。(a)図が強度寄与分  $f_f$  , (b)図が強度発現効果  $f'_f$  である。

フライアッシュの強度寄与分を求めるにあたり、セメントの強度発現効果を表す式 (6.6.3) の  $m$  の値は、図-6.3.9, 図-6.4.8 から、フライアッシュの強度発現がほとんどないと考えられる材齢 3 および 7 日の結果を回帰して求めた。そのときの結果は表-6.6.1 のとおりであった。 $0 < m < 1$  であり、ほぼ 0.5 程度である。強度発現効果は、図-6.6.1(b)の実線のようにになっていることがわかる。式(6.6.4)から、セメントは、置換率 100%から小さくなるにしたがい  $(1-R)$  の約 1.5 乗で強度増加することになる(図-6.6.1(a)の実線)。

表-6.6.1  $m$  の値

| モルタル、<br>コンクリートの別 | セメント<br>の種類 | $m$ の値 | 相関関係  |
|-------------------|-------------|--------|-------|
| モルタル              | M1          | 0.562  | 0.980 |
|                   | N           | 0.774  | 0.999 |
| コンクリート            | M1          | 0.438  | 0.997 |
|                   | N           | 0.372  | 1.000 |

図-6.6.5～6.6.8 の(a)図または(b)図より、セメント M1 は材齢 28 日、N は 7 日まではほとんど強度発現がないことがわかる。その後は、材齢とともに強度発現効果も大きくなっている。(b)図の左側の低下部分から材齢  $t$  の強度発現効果  $Kf(t)$  を、次式を回帰することによって求めた (図-6.6.9)。

$$f'_f = Kf(t) - AR^n \cdots \cdots (6.6.8)$$

ここに、 $A$ 、 $n$  は回帰係数である。

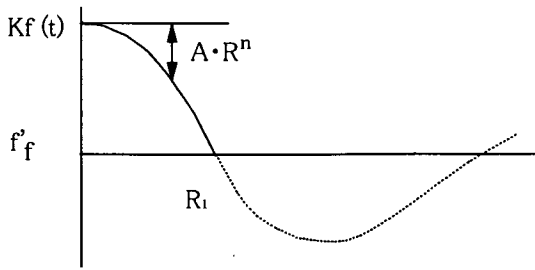
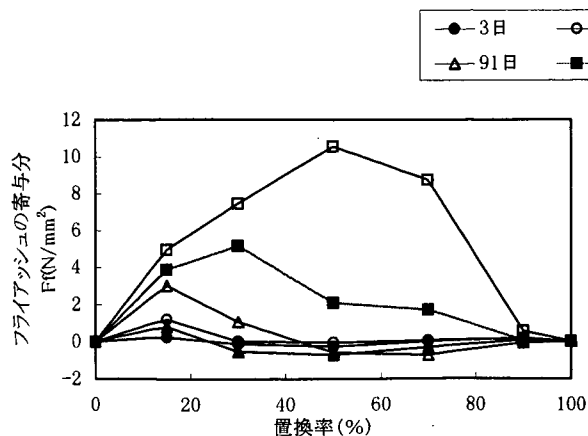


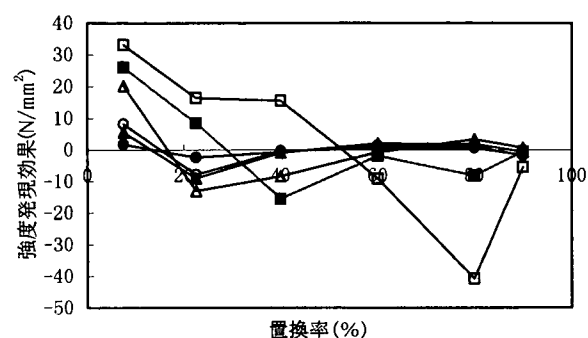
図-6.6.9 強度発現効果

式 (6.6.8) の微分  $f'_f = 0$  のとき、フライアッシュの強度発現寄与の最大値を与える。そのときの置換率  $R_1$  は式 (6.6.9) となる。

$$R_1 = \left( \frac{Kf(t)}{A} \right)^{1/n} \cdots \cdots (6.6.9)$$

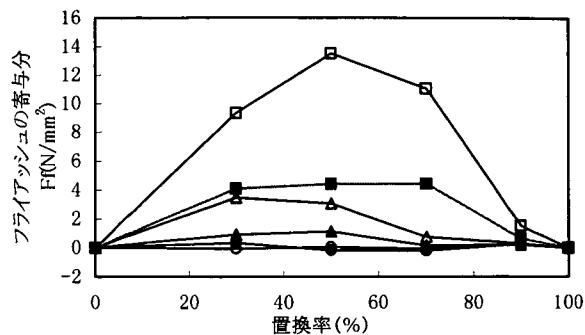


(a) フライアッシュの強度寄与分布

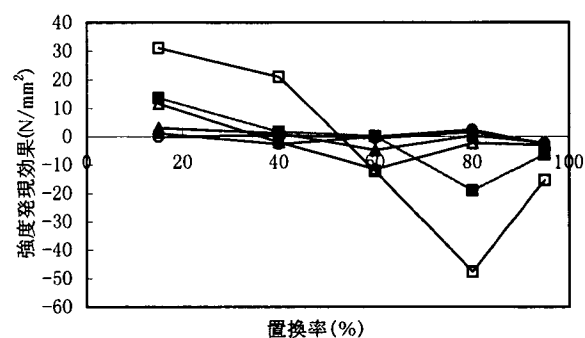


(b) フライアッシュの強度発現効果

図-6.6.5 フライアッシュの強度発現効果  
(モルタル、セメントM1)

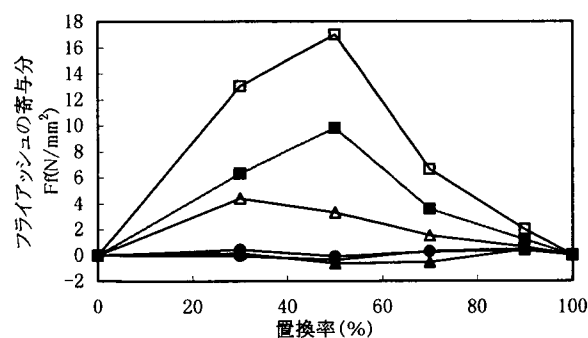


(a) フライアッシュの強度寄与分布

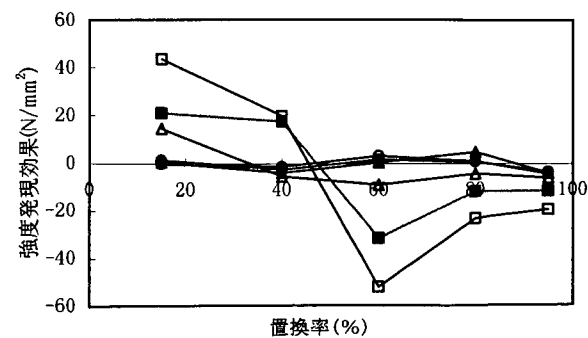


(b) フライアッシュの強度発現効果

図-6.6.6 フライアッシュの強度発現効果  
(モルタル、セメントN)

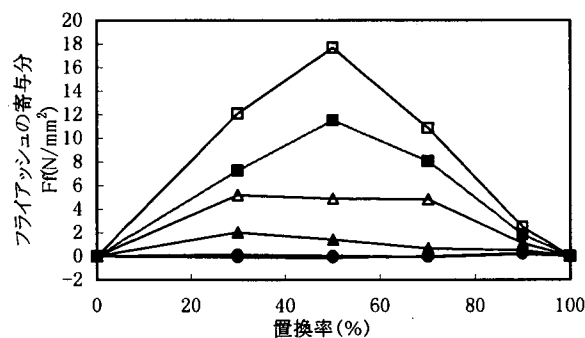


(a) フライアッシュの強度寄与分布

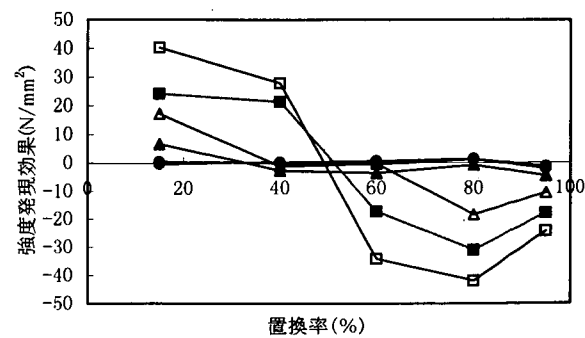


(b) フライアッシュの強度発現効果

図-6.6.7 フライアッシュの強度発現効果  
(コンクリート、セメントM1)



(a) フライアッシュの強度寄与分布



(b) フライアッシュの強度発現効果

図-6.6.8 フライアッシュの強度発現効果  
(コンクリート、セメントN)

式 (6.6.8) の回帰結果および強度発現寄与の最大値を与える置換率  $R_1$  は表-6.6.2 のようになった。

表-6.6.2 強度発現効果

| モルタル、<br>コンクリートの別 | セメントの<br>種類 | 材齢  | $f'f = Kf(t) - AR^n$ |       |      |       | $R_1$ |
|-------------------|-------------|-----|----------------------|-------|------|-------|-------|
|                   |             |     | $Kf(t)$              | A     | n    | r     |       |
| コンクリート            | M1          | 28  | 1.32                 | 32.0  | 1.99 | 1.000 | 0.199 |
|                   |             | 91  | 17.80                | 146.2 | 2.01 | 1.000 | 0.350 |
|                   |             | 182 | 21.90                | 956.0 | 5.66 | 0.999 | 0.513 |
|                   |             | 365 | 44.20                | 548.0 | 3.40 | 1.000 | 0.477 |
|                   | N           | 28  | 7.98                 | 81.8  | 2.19 | 1.000 | 0.346 |
|                   |             | 91  | 20.30                | 134.2 | 1.99 | 1.000 | 0.387 |
|                   |             | 182 | 25.20                | 618.0 | 5.24 | 0.999 | 0.543 |
|                   |             | 365 | 40.90                | 651.0 | 4.23 | 1.000 | 0.520 |
| モルタル              | M1          | 28  | 7.90                 | 247.0 | 1.80 | 1.000 | 0.148 |
|                   |             | 91  | 25.50                | 564.0 | 1.80 | 1.000 | 0.179 |
|                   |             | 182 | 28.60                | 182.0 | 1.53 | 0.998 | 0.298 |
|                   |             | 365 | 30.60                | 95.0  | 1.74 | 0.955 | 0.521 |
|                   | N           | 28  | 3.30                 | 37.4  | 3.01 | 0.999 | 0.446 |
|                   |             | 91  | 14.70                | 57.0  | 1.44 | 0.993 | 0.390 |
|                   |             | 182 | 13.00                | 49.4  | 2.12 | 0.966 | 0.532 |
|                   |             | 365 | 34.60                | 137.0 | 2.24 | 0.996 | 0.541 |

表-6.6.2 より、強度発現の最大となる置換率は材齢の進行とともに大きくなる傾向があり、182 日、365 日ではほぼ 50% で一定になっているようである。

また、材齢と強度発現効果  $Kf(t)$  の関係からフライアッシュの強度発現を式 (6.6.7) によって求めると表-6.6.3、図-6.6.10 のようになった。

表-6.6.3 フライアッシュの強度発現

| モルタル、<br>コンクリートの別 | セメントの<br>種類 | $t_0$<br>(日) | $K_s$<br>( $N/mm^2/日$ ) | $K_{inf}$<br>( $N/mm^2$ ) | $K_{IV}$<br>( $N/mm^2$ ) |
|-------------------|-------------|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| モルタル              | M1          | 22.1         | 1.770                   | 32.1                      | 28.7                     |
|                   | N           | 0            | 0.107                   | 238.7                     | 33.6                     |
| コンクリート            | M1          | 10.1         | 0.182                   | 132.3                     | 43.4                     |
|                   | N           | 0            | 0.280                   | 64.8                      | 39.6                     |

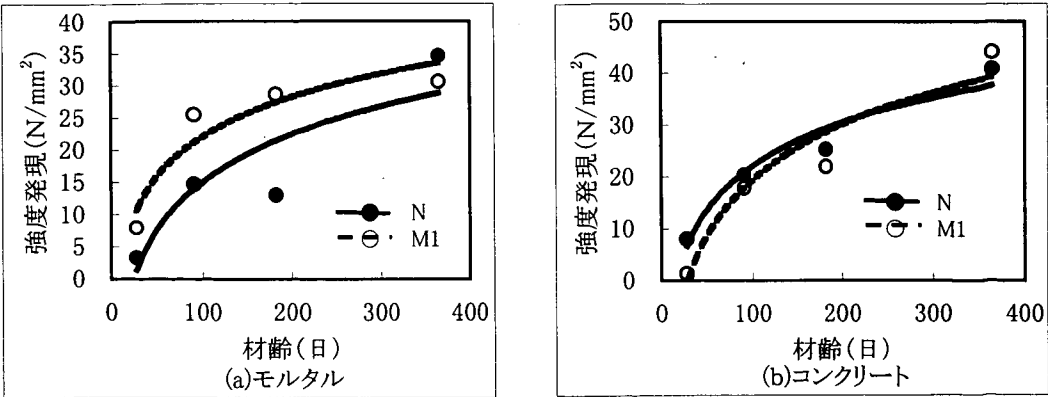


図-6.6.10 フライアッシュの強度発現

表-6.6.3 には、 $t_0, K_s, K_{inf}$  に加え、材齢 1 年の強度発現  $K_{1Y}$  も示した。セメント N の  $t_0$  はマイナスになったため、ゼロとしてある。 $K_{1Y}$  を加えたのは、図-6.6.10 のように、まだ強度発現は収束していないので回帰による  $K_{inf}$  もかなり大きな値になった。そのため、今回の試験の最終材齢である 365 日（1 年）のときの強度発現を回帰結果から求めたものである。

フライアッシュを置換したコンクリートの強度も材齢 1 年以後の増進はわずかであり、 $K_{1Y}$  はほぼフライアッシュの最終に近い強度発現を示しているものと考えられる。この結果、セメント M1, N にはあまり関係なく、モルタルの場合約  $30\text{N/mm}^2$ 、コンクリートの場合約  $40\text{N/mm}^2$  という値が得られた。

## 7 章 Ks 骨材を用いた有スランブコンクリート

### 7.1 使用材料

### (1) 骨材

粗骨材、細骨材ともK<sub>s</sub>骨材のB、Cを1対1で混合したMを用いた。

## (2) 石粉

石粉はKsB2 と KsC2 を1対1で混合したものを用いた。

### (3) 結合材

結合材は、中庸熱ポルトランドセメントM2 に、フライアッシュF2 を、セメントの 30%置換したものを  
用いた。

#### (4) 混和剂

リグニンスルホン酸化合物を主成分とする遅延型のAE減水剤（ポゾリス No.8）を標準量（結合材の質量×0.25%）用いた。空気量調整用の AE 剤は、主成分が変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤であるポゾリスのマイクロエア 202 を用いた。

## 7. 2 基本配合<sup>7.1)</sup>

配合を決めるにあたって、B,M,Cのさまざまな粗骨材－細骨材の組合せを実施した。詳細については、文献 7.1)を参照していただき、ここでは、結果のみを記述する。

### 7.2.1 配合条件

石粉を混入していない状態で以下の配合（以下基本配合と呼ぶ）を試験練りによって決定した。

粗骨材の最大寸法 ( $G_{\max}$ ): 40mm

単位結合材料 : 300kg/m<sup>3</sup>

フルミックス時を  $220\text{kg/m}^3$  と考え、40mm ふるい

でウェットスクリーニングしたときを想定した。

これらの条件のもとで、スランプ 5 cm、空気量  $4.5 \pm 0.5\%$  になるように単位水量、AE 剤量を決定した。

試験練りの配合を表-7.2.1 に示す。

### 7.2.2 基本配合

試験練りによって決定した基本配合は、表-7.2.1 のとおりである。

表-7.2.1 基本配合

| 粗骨材の<br>最大寸法<br>(mm) | 骨材の組合せ |   | W/B<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |    |     |      |       |                  |
|----------------------|--------|---|------------|------------|--------------------------|-----|-----|----|-----|------|-------|------------------|
|                      |        |   |            |            | W                        | B   | C   |    | FA  | S    | G     | AE減水剤<br>ボツリスNo8 |
|                      |        |   |            |            |                          |     |     |    |     |      |       |                  |
| 40                   | M      | M | 51.7       | 40         | 155                      | 300 | 210 | 90 | 723 | 1090 | 0.750 | 0.013            |

## 7. 3 石粉を混入した有スランブコンクリートの試験

### 7.3.1 試験方法

#### (1) 石粉混入率試験

表-7.2.1 の基本配合に対し、細骨材中に石粉混入率  $pw1/s = 5$ 、10%混入したケースと、細骨材中には 0.15mm 以下の微粒分が 9.2%含まれているが、これを約半分カットしたケース ( $pw1/s = -5\%$ )、100%カットしたケース ( $pw1/s = -9\%$ ) の 5 ケースについて試験した。配合表を表-7.3.1 に示す。

表-7.3.1 微粒分試験用配合

| W/B<br>(%) | pw1/s<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |      |       |      |      |       | G      | AE減水剤<br>ボツリスNo8 |
|------------|--------------|------------|--------------------------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|--------|------------------|
|            |              |            | W                        | B     |       |      | S     | Pw1  | Pw0  | S0    |        |                  |
|            |              |            |                          |       | C     | F    |       |      |      |       |        |                  |
| 51.7       | -9.2         | 40.0       | 155.0                    | 300.0 | 210.0 | 90.0 | 723.0 | 0    | 0    | 723.0 | 1090.0 | 0.750            |
|            | -5           |            |                          |       |       |      |       | 0    | 36.2 | 686.8 |        | 0.750            |
|            | 0            |            |                          |       |       |      |       | 0    | 66.5 | 656.5 |        | 0.750            |
|            | +5           |            |                          |       |       |      |       | 36.2 | 66.5 | 620.3 |        | 0.750            |
|            | +10          |            |                          |       |       |      |       | 72.3 | 66.5 | 584.2 |        | 0.750            |

試験は、フレッシュ時にはスランブおよび空気量試験、硬化時は圧縮および割裂引張強度試験、凍結融解試験、乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験を行った。

#### (2) 凍結融解試験方法

凍結融解試験は土木学会規準 (JSCE-G501-1986) 「コンクリートの凍結融解試験方法」に準じて行った。ただし試験開始材齢は 14 日とした。また、動ヤング係数は、たわみ振動のほか、縦振動についても測定した。

#### (3) 乾燥収縮、曲げ強度、中性化深さ試験方法<sup>7,2)</sup>

この試験は、 $pw1/s = 0\%$  の場合のみについて行った。

乾燥収縮試験を 7 日から開始した。方法は JIS A 1129 「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法」に準じた。測定項目は、質量、長さ変化のほか、動ヤング係数である。

材齢 6 月、1 年、2 年後には、図-7.3.1 のように通常の 2 点曲げ強度試験を行った。2 分割された切片をさらに中央 1 点曲げ強度試験を行った。破断した横断面 3 面にフェノールフタレインを散布して中性化深さを測定した。その後、さらに 4 分割された切片を縦断方向に 4 分割し、縦断面の中性化深さを測定した。

### 7.3.2 試験結果

#### (1) 試験結果

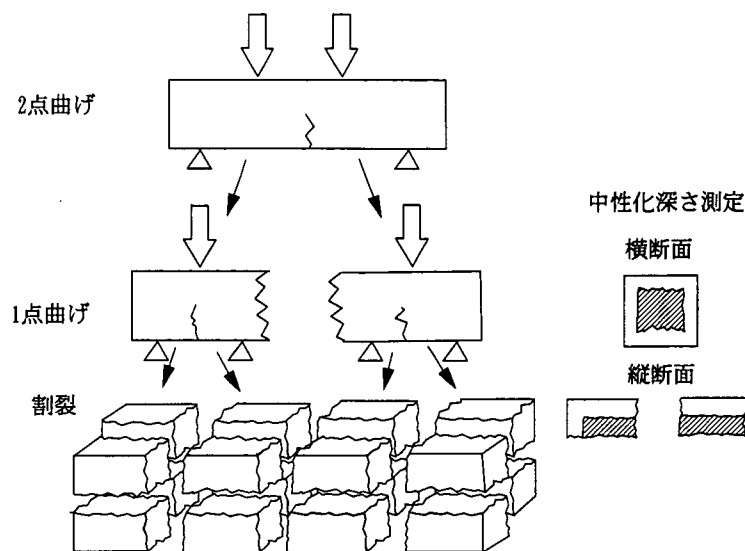
フレッシュ性状 (スランブ、空気量)、強度試験結果を表-7.3.2 に、骨材の割裂面積率を図-7.3.3 に、凍結融解試験結果を表-7.3.4 および 7.3.5 に、乾燥収縮、曲げ強度、中性化試験結果を表-7.3.6、中性化深さを表-7.3.7 に示す。表-7.3.5 の耐久性指数は、 $pw1/s$  が -5、0、5% のときは 300 サイクルのとき、-9.2 は 210 サイクル、10% は 240 サイクルで求めた。

#### (2) フレッシュ性状

$pw1/s$  とスランブ、空気量の関係は図-7.3.2 のようになった。スランブは微粒分が増加するほど低下し、

pw1/s が 5 %を超えるとその傾向は著しくなる。空気量は凸の関係にあり，特に置換率 10%のとき空気量調整剤を他より 5 倍も混和したが所定の空気量を得ることができなかった。

今回使用した細骨材には 0.15mm 以下の微粒分が 9.2%含まれている。スランプ，空気量の結果から，有スランプの場合の細骨材に占める微粒分の混入率は 5 ～10%程度が最適と考えられる。



図－7.3.1 曲げ強度と中性化深さの測定

表－7.3.2 微粒分試験結果

| 材料・配合       |            | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 28日圧縮試験                      |                                | 28日割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 91日圧縮試験                      |                                | 91日割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------|--------------|------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 微粒分量<br>(%) | s/a<br>(%) |              |            | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |                                       | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
| -9.2        | 40         | 6.4          | 4.4        | 24.4                         | 17.4                           | 2.24                                  | 38.4                         | 22.8                           | 2.89                                  |
| -5          |            | 6.3          | 5.3        | 23.5                         | 17.5                           | 1.83                                  | 36.9                         | 21.7                           | 2.74                                  |
| 0           |            | 5.4          | 5.1        | 23.6                         | 18.0                           | 1.99                                  | 36.5                         | 22.3                           | 2.88                                  |
| 5           |            | 4.5          | 4.1        | 27.0                         | 18.1                           | 2.32                                  | 40.9                         | 21.9                           | 3.17                                  |
| 10          |            | 2.1          | 3.1        | 29.0                         | 19.5                           | 2.04                                  | 41.6                         | 23.3                           | 3.18                                  |

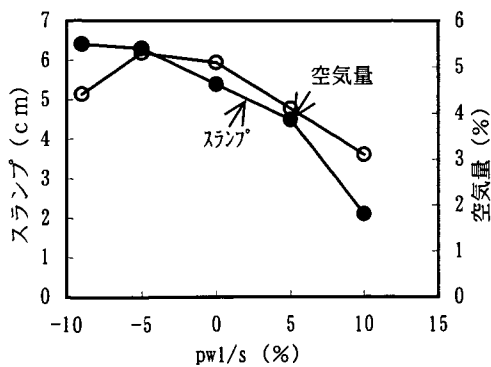


図-7.3.2 石粉混入率とスランプの関係

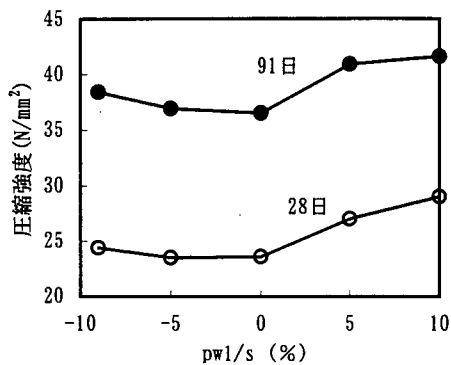


図-7.3.3 石粉混入率と圧縮強度の関係

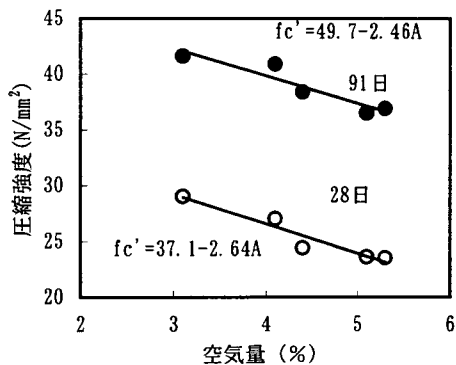


図-7.3.4 空気量と圧縮強度の関係

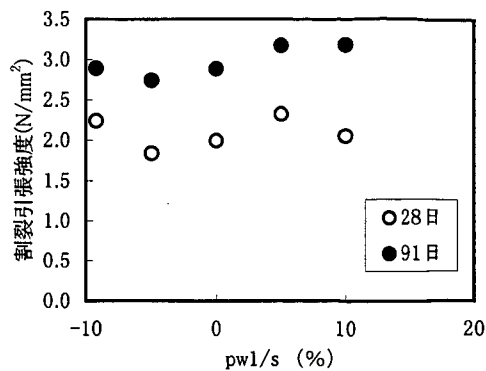


図-7.3.5 石粉混入率と割裂引張強度の関係

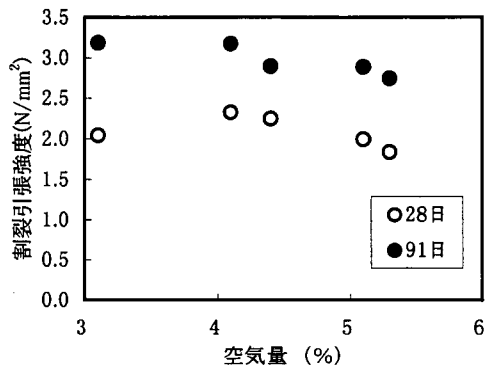


図-7.3.6 空気量と割裂引張強度の関係

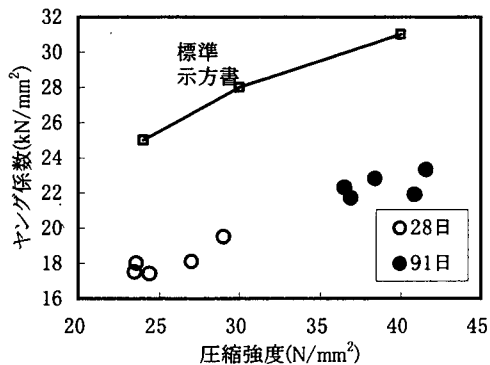


図-7.3.7 圧縮強度とヤング係数の関係

### (3) 強度試験結果

石粉混入率と圧縮強度の関係は、図-7.3.3 のように凹の関係になった。しかしながら、図-7.3.4 のように空気量との関係は負の相関関係となり、石粉混入率と圧縮強度の関係は明確ではなかった。

割裂引張強度も同様に示すと図-7.3.5 および 7.3.6 のように明確な関係はなかった。

有スランブコンクリートで今回の微粒分の範囲では、強度に及ぼす影響は明確ではなく、空気量の影響が大きく現れている。

圧縮強度とヤング係数の関係は、図-7.3.7 のとおり圧縮強度が増加するとヤング係数も増加している。材齢 28 日、91 日ごとに見ると、圧縮強度の影響はあるものの、微粒分の影響は明確ではない。コンクリート標準示方書の値と比較すると、かなり小さくなっている。これは粗骨材強度の影響と考えられる<sup>7.3)</sup>。

骨材の割裂面積率を表-7.3.3、図-7.3.8 に示す。表-7.3.7 の(a)は今回実施した石粉混入、(b)は文献<sup>7.4)</sup>の配合試験したコンクリートの強度試験結果、(c)は文献<sup>7.5)</sup>の強度試験結果である。表-7.3.7 の(b)と(c)の割裂引張強度と割裂面積率の関係は、図-7.3.8 のとおり 5 章 超硬練りコンクリート(RCD)の場合(図-5.3.7) とほぼ同様の傾向にある。割裂面積率は骨材の品質に応じ  $C > M > B$  の順になっている。その傾きも RCD の場合 12~18、有スランブも 13~14 とほぼ同じであった。

ところが、石粉を混入した場合は傾きが非常に大きくなっている。この原因として、使用した骨材は、圧裂強度の小さいものが比較的多くなったことが考えられる。次章の高流動コンクリートの場合(図-8.4.6)と比較すると、有スランブはその上限値となっていることから推測される。

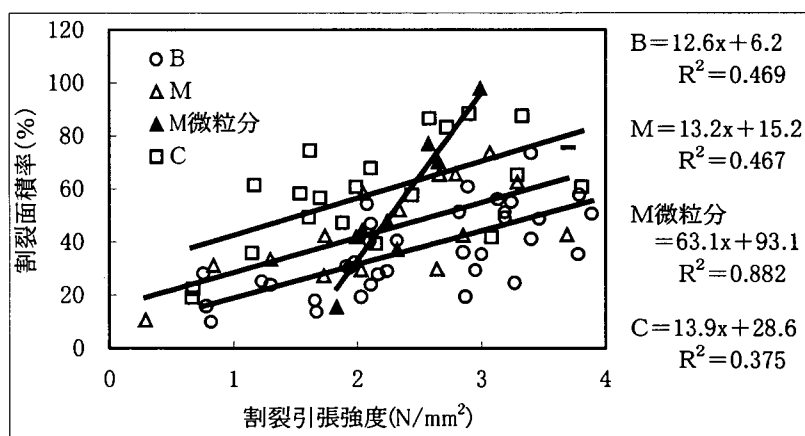


図-7.3.8 割裂引張強度と割裂面積率の関係

表-7.3.3 割裂面積率

(a) 石粉混入

| 石粉<br>混入率<br>(%) | 粗骨材 | 細骨材 | 28日          |                                | 91日          |                                |
|------------------|-----|-----|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
|                  |     |     | 割裂面積率<br>(%) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂面積率<br>(%) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| -9               | M   | M   | 47.8         | 2.24                           | 46.6         | 2.89                           |
| -5               | M   | M   | 15.5         | 1.83                           | 37.5         | 2.74                           |
| 0                | M   | M   | 41.9         | 1.99                           | 38.0         | 2.88                           |
| 5                | M   | M   | 37.1         | 2.32                           | 36.0         | 3.17                           |
| 10               | M   | M   | 44.3         | 2.04                           | 20.5         | 3.18                           |

(b) 配合試験

| 骨材の組合せ |     | W/C<br>(%) | 28日          |                                | 91日          |                                |
|--------|-----|------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 粗骨材    | 細骨材 |            | 割裂面積率<br>(%) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂面積率<br>(%) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| B      | M   | 49.3       | 19.38        | 2.03                           | 56.1         | 3.13                           |
|        |     | 51.7       | 27.83        | 2.17                           | 51.4         | 2.82                           |
|        |     | 54.0       | 54.27        | 2.08                           | 60.8         | 2.89                           |
| B      | B   | 49.3       | 29.07        | 2.24                           | 55.0         | 3.24                           |
|        |     | 51.7       | 23.86        | 2.11                           | 73.4         | 3.40                           |
|        |     | 54.0       | 30.78        | 1.91                           | 51.1         | 3.19                           |
| B      | C   | 49.3       | 46.81        | 2.11                           | 41.2         | 3.40                           |
|        |     | 51.7       | 40.47        | 2.32                           | 35.3         | 3.00                           |
|        |     | 54.0       | 40.22        | 2.10                           | 49.2         | 3.19                           |
| M      | M   | 49.3       | 29.46        | 2.03                           | 73.7         | 3.07                           |
|        |     | 51.7       | 52.01        | 2.34                           | 42.5         | 2.85                           |
|        |     | 54.0       | 27.31        | 1.73                           | 29.8         | 2.64                           |
| C      | M   | 49.3       | 47.14        | 1.88                           | 83.2         | 2.72                           |
|        |     | 51.7       | 39.29        | 2.15                           | 88.4         | 2.90                           |
|        |     | 54.0       | 49.27        | 1.61                           |              |                                |
| C      | C   | 49.3       | 67.81        | 2.11                           | 97.8         | 2.99                           |
|        |     | 51.7       | 74.42        | 1.62                           | 77.1         | 2.57                           |
|        |     | 54.0       | 60.74        | 1.99                           | 70.2         | 2.65                           |

(c) 強度試験

| 骨材の組合せ |     | 材齢<br>(日) | 割裂面積率<br>(%) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 骨材の組合せ |     | 材齢<br>(日) | 割裂面積率<br>(%) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|-----|-----------|--------------|--------------------------------|--------|-----|-----------|--------------|--------------------------------|
| 粗骨材    | 細骨材 |           |              |                                | 粗骨材    | 細骨材 |           |              |                                |
| B      | M   | 1         |              |                                | B      | B   | 1         |              |                                |
|        |     | 3         | 15.9         | 0.78                           |        |     | 3         | 9.9          | 0.82                           |
|        |     | 7         | 25.2         | 1.23                           |        |     | 7         | 13.7         | 1.67                           |
|        |     | 14        |              |                                |        |     | 14        |              |                                |
|        |     | 28        | 32.2         | 1.98                           |        |     | 28        | 30.4         | 1.94                           |
|        |     | 56        |              |                                |        |     | 56        |              |                                |
|        |     | 91        | 36.1         | 2.85                           |        |     | 91        | 19.4         | 2.87                           |
|        |     | 182       | 24.7         | 3.27                           |        |     | 182       | 48.7         | 3.47                           |
|        |     | 365       | 75.6         | 3.7                            |        |     | 365       | 50.6         | 3.89                           |
| M      | M   | 1         | 10.6         | 0.29                           | B      | C   | 1         |              |                                |
|        |     | 3         | 31.3         | 0.84                           |        |     | 3         | 28.1         | 0.76                           |
|        |     | 7         | 33.4         | 1.3                            |        |     | 7         | 23.9         | 1.30                           |
|        |     | 14        | 42.3         | 1.74                           |        |     | 14        |              |                                |
|        |     | 28        | 58.4         | 2.05                           |        |     | 28        | 17.9         | 1.66                           |
|        |     | 56        | 65.5         | 2.66                           |        |     | 56        |              |                                |
|        |     | 91        | 65.5         | 2.79                           |        |     | 91        | 29.3         | 2.95                           |
|        |     | 182       | 62.5         | 3.29                           |        |     | 182       | 35.3         | 3.78                           |
|        |     | 365       | 42.7         | 3.69                           |        |     | 365       | 57.8         | 3.79                           |
| C      | M   | 1         |              |                                | C      | C   | 1         |              |                                |
|        |     | 3         | 22.5         | 0.68                           |        |     | 3         | 19.0         | 0.67                           |
|        |     | 7         | 61.5         | 1.17                           |        |     | 7         | 35.8         | 1.15                           |
|        |     | 14        |              |                                |        |     | 14        |              |                                |
|        |     | 28        | 56.6         | 1.7                            |        |     | 28        | 58.2         | 1.54                           |
|        |     | 56        |              |                                |        |     | 56        |              |                                |
|        |     | 91        | 86.7         | 2.58                           |        |     | 91        | 57.7         | 2.44                           |
|        |     | 182       | 41.7         | 3.08                           |        |     | 182       | 87.5         | 3.33                           |
|        |     | 365       | 65.3         | 3.29                           |        |     | 365       | 60.8         | 3.81                           |

#### (4) 凍結融解試験結果

図-7.3.9 にたわみ振動および縦振動から求めた相対動ヤング係数を示す。たわみ振動／縦振動比を図-7.3.10 に示す。これらの図より、たわみ振動は縦振動より小さく、90%程度になっているものの、今回の場合は、たわみ振動も縦振動も同様の傾向を示している（図-7.3.9 の(a)と(b)）。

図-7.3.9 の相対動ヤング係数より、石粉混入率の影響は、-5, 0, 5%はほぼ同じ傾向であり、耐久性指数もたわみ振動のとき78%と良好であった。しかし、-9.2, 10%は240サイクル以後急激に低下し、300サイクルまで測定できたのはいずれも3本中1本のみであった。耐久性指数を3本とも計測可能であったサイクル数で求めると、-9.2%の場合は44%, 10%の場合は45%であった。

この原因として、石粉混入率に伴う連行空気量と空隙の形成の影響が考えられる。石粉混入率-5~5%の場合は密実であり、空気の連行も良好であったが、-9.2%の場合は微粒分が不足し、骨材間の空隙の充填が不十分なため、大きな空隙が形成され凍結融解抵抗性が低下したものと考えられる。10%の場合は、逆に微粒分が多すぎてAE剤が吸着され空気を連行しにくかったためと考えられる。

有スランプコンクリートの場合、強度面から最適な石粉混入率は不明であったが、凍結融解抵抗性からは最適な石粉混入率が存在するようである。

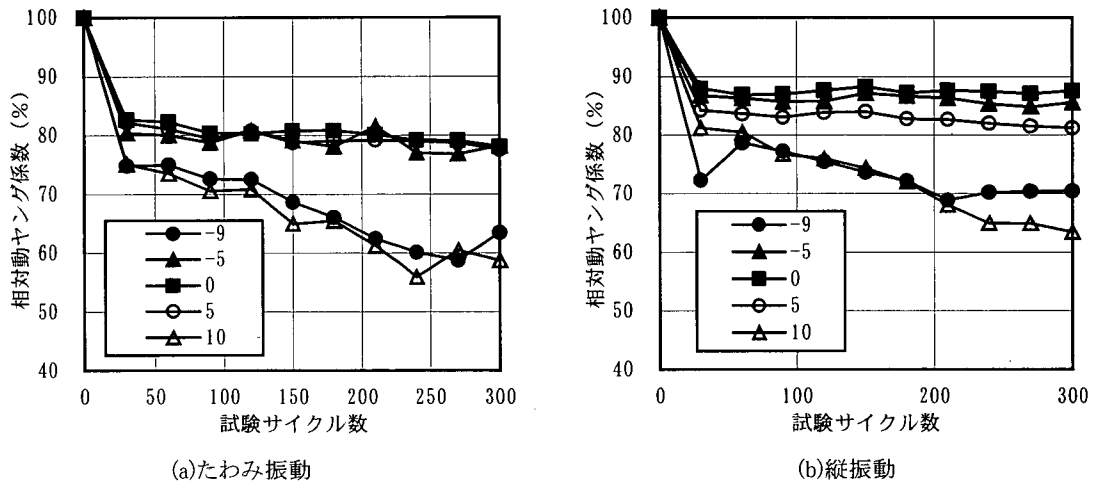


図-7.3.9 相対動ヤング係数

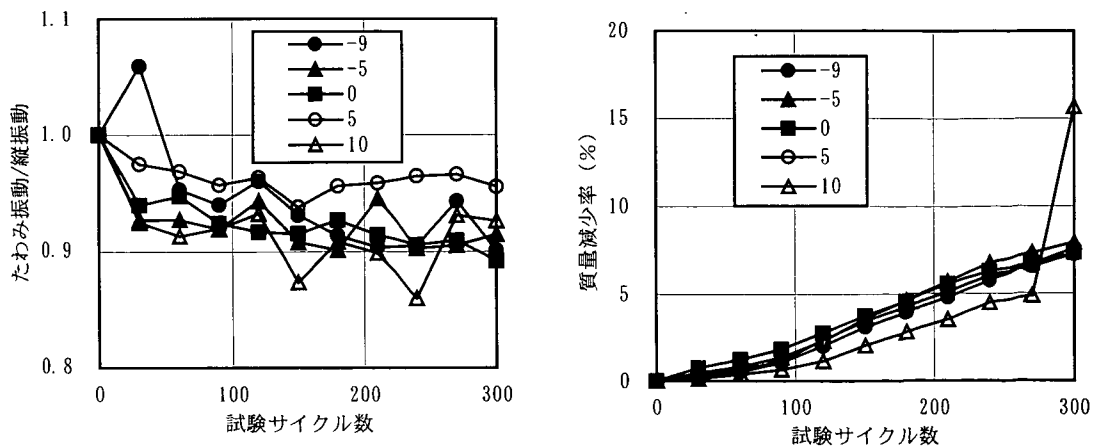


図-7.3.10 たわみ振動／縦振動比

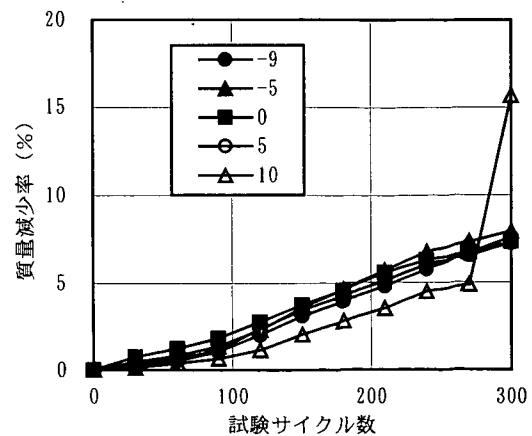


図-7.3.11 質量減少率

表-7.3.4 凍結融解試験結果(その1)

| 微粒分          | 開始<br>材齢 | 供試体寸法 mm           |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(g) |                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |   |
|--------------|----------|--------------------|-------|------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---|
|              |          | L                  | T     |                        |                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |   |
|              |          |                    |       |                        | 0                               | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270  | 300  |   |
| -9           | 14日      | 400                | 100   | たわみ振動                  | 2129                            | 1833  | 1835  | 1807  | 1821  | 1786  | 1748  | 1710  | 1652  | —    | —    |   |
|              |          | 400                | 100   |                        | 2121                            | 1828  | 1839  | 1803  | 1782  | 1687  | 1627  | 1560  | 1545  | 1517 | —    |   |
|              |          | 401                | 100   |                        | 2117                            | 1844  | 1838  | 1813  | 1816  | 1798  | 1793  | 1751  | 1730  | 1724 | 1686 |   |
|              |          | 400                | 100   |                        | 縦振動                             | 4906  | 3714  | 4346  | 4317  | 4265  | 4195  | 4172  | 4099  | 4036 | —    | — |
|              |          | 400                | 100   | 4878                   |                                 | 4364  | 4321  | 4270  | 4174  | 4146  | 4061  | 3888  | —     | —    |      |   |
|              |          | 401                | 100   | 4890                   |                                 | 4356  | 4346  | 4305  | 4307  | 4250  | 4228  | 4183  | 4167  | 4101 | 4104 |   |
|              |          | 400                | 100   | 質量                     |                                 | 9777  | 9758  | 9733  | 9696  | 9618  | 9524  | 9443  | 9369  | 9269 | —    | — |
|              |          | 400                | 100   |                        | 9538                            | 9512  | 9482  | 9432  | 9346  | 9227  | 9152  | 9074  | 8979  | 8913 | —    |   |
|              |          | 400                | 100   |                        | 9665                            | 9653  | 9616  | 9547  | 9430  | 9323  | 9241  | 9152  | 9063  | 9006 | 8934 |   |
|              |          | 401                | 100   |                        | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | たわみ振動 | 37.1  | 27.5  | 27.5  | 26.5  | 26.7  | 25.4  | 24.2  | 22.9 | 21.2 | — |
|              |          | 35.9               | 26.6  | 26.9                   |                                 |       | 25.7  | 24.9  | 22.0  | 20.3  | 18.5  | 18.0  | 17.2  | —    |      |   |
|              |          | 36.6               | 27.7  | 27.4                   |                                 | 26.5  | 26.2  | 25.4  | 25.1  | 23.7  | 22.9  | 22.6  | 21.4  |      |      |   |
|              |          | 平均                 | 36.5  | 27.3                   |                                 | 27.2  | 26.2  | 25.9  | 24.3  | 23.2  | 21.7  | 20.7  | 19.9  | 21.4 |      |   |
|              |          | 縦振動                | 37.7  | 21.5                   |                                 | 29.4  | 28.9  | 28.0  | 26.8  | 26.3  | 25.2  | 24.2  | —     | —    |      |   |
|              |          |                    | 36.3  | 29.0                   |                                 | 28.3  | 27.5  | 26.1  | 25.4  | 24.1  | 21.9  | —     | —     | —    |      |   |
|              |          | 37.1               | 29.4  | 29.1                   |                                 | 28.4  | 28.1  | 27.0  | 26.5  | 25.7  | 25.2  | 24.3  | 24.1  |      |      |   |
|              |          | 平均                 | 37.0  | 26.6                   |                                 | 29.0  | 28.3  | 27.4  | 26.4  | 25.6  | 24.3  | 24.7  | 24.3  | 24.1 |      |   |
|              |          | 相対動ヤング係数<br>(%)    | たわみ振動 | 100.0                  | 74.1                            | 74.3  | 72.0  | 73.2  | 70.4  | 67.4  | 64.5  | 60.2  | —     | —    |      |   |
|              |          |                    |       | 100.0                  | 74.3                            | 75.2  | 72.3  | 70.6  | 63.3  | 58.8  | 54.1  | 53.1  | 51.2  | —    |      |   |
|              |          |                    | 100.0 | 75.9                   | 75.4                            | 73.3  | 73.6  | 72.1  | 71.7  | 68.4  | 66.8  | 66.3  | 63.4  |      |      |   |
|              |          |                    | 平均    | 100.0                  | 74.8                            | 74.9  | 72.5  | 72.4  | 68.6  | 62.3  | 60.0  | 58.7  | 63.4  |      |      |   |
|              |          |                    | 縦振動   | 100.0                  | 57.3                            | 78.5  | 77.4  | 75.6  | 73.1  | 72.3  | 69.8  | 67.7  | —     | —    |      |   |
|              |          |                    |       | 100.0                  | 80.0                            | 78.5  | 76.6  | 73.2  | 72.2  | 69.3  | 63.5  | —     | —     | —    |      |   |
|              |          |                    | 100.0 | 79.4                   | 79.0                            | 77.5  | 77.6  | 75.5  | 74.8  | 73.2  | 72.6  | 70.3  | 70.4  |      |      |   |
|              |          |                    | 平均    | 100.0                  | 72.2                            | 78.6  | 77.2  | 75.5  | 73.6  | 72.1  | 68.8  | 70.1  | 70.3  | 70.4 |      |   |
|              |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦 |       | 1.00                   | 1.293                           | 0.947 | 0.930 | 0.968 | 0.963 | 0.932 | 0.924 | 0.890 | —     | —    |      |   |
|              |          |                    |       | 1.00                   | 0.928                           | 0.958 | 0.943 | 0.964 | 0.876 | 0.849 | 0.852 | —     | —     | —    |      |   |
|              |          |                    | 1.00  | 0.956                  | 0.954                           | 0.946 | 0.949 | 0.955 | 0.960 | 0.935 | 0.920 | 0.943 | 0.900 |      |      |   |
| 平均           | 1.00     |                    | 1.059 | 0.953                  | 0.940                           | 0.960 | 0.931 | 0.914 | 0.904 | 0.905 | 0.943 | 0.900 |       |      |      |   |
| 質量減少率<br>(%) | 質量       | 0.00               | 0.19  | 0.45                   | 0.83                            | 1.63  | 2.59  | 3.42  | 4.17  | 5.20  | —     | —     |       |      |      |   |
|              |          | 0.00               | 0.27  | 0.59                   | 1.11                            | 2.01  | 3.26  | 4.05  | 4.86  | 5.86  | 6.55  | —     |       |      |      |   |
|              | 0.00     | 0.12               | 0.51  | 1.22                   | 2.43                            | 3.54  | 4.39  | 5.31  | 6.23  | 6.82  | 7.56  |       |       |      |      |   |
| 平均           | 0.00     | 0.20               | 0.51  | 1.05                   | 2.02                            | 3.13  | 3.95  | 4.78  | 5.76  | 6.69  | 7.56  |       |       |      |      |   |

| 微粒分          | 開始<br>材齢 | 供試体寸法 mm                        |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(g) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|--------------|----------|---------------------------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|              |          | L                               | T     |                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|              |          |                                 |       |                        | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300  |      |
| -5           | 14日      | 401                             | 100   | たわみ振動                  | 2066  | 1840  | 1849  | 1826  | 1850  | 1836  | 1826  | 1846  | 1844  | 1840  | 1835 |      |
|              |          | 399                             | 100   |                        | 2072  | 1880  | 1844  | 1842  | 1862  | 1851  | 1832  | 1960  | 1848  | 1842  | 1838 |      |
|              |          | 400                             | 100   |                        | 2051  | 1829  | 1843  | 1824  | 1852  | 1817  | 1810  | 1778  | 1738  | 1741  | 1800 |      |
|              |          | 401                             | 100   |                        | 縦振動   | 4829  | 4491  | 4507  | 4479  | 4511  | 4514  | 4495  | 4508  | 4468  | 4490 | 4481 |
|              |          | 399                             | 100   | 4858                   |       | 4506  | 4504  | 4496  | 4456  | 4524  | 4516  | 4499  | 4484  | 4497  | 4485 |      |
|              |          | 400                             | 100   | 4826                   |       | 4519  | 4471  | 4459  | 4469  | 4509  | 4497  | 4471  | 4452  | 4378  | 4456 |      |
|              |          | 401                             | 100   | 質量                     |       | 9484  | 9445  | 9408  | 9359  | 9255  | 9137  | 9049  | 8955  | 8856  | 8805 | 8752 |
|              |          | 399                             | 100   |                        | 9417  | 9372  | 9344  | 9294  | 9204  | 9085  | 8991  | 8879  | 8774  | 8716  | 8665 |      |
|              |          | 400                             | 100   |                        | 9446  | 9405  | 9363  | 9315  | 9232  | 9108  | 9000  | 8899  | 8905  | 8753  | 8689 |      |
|              |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | たわみ振動 |                        | 34.2  | 27.0  | 27.1  | 26.3  | 26.7  | 26.0  | 25.5  | 25.8  | 25.4  | 25.2  | 24.9 |      |
|              |          |                                 |       | 33.6                   | 27.5  | 26.4  | 26.2  | 26.5  | 25.9  | 25.1  | 28.4  | 24.9  | 24.6  | 24.3  |      |      |
|              |          |                                 | 33.3  | 26.4                   | 26.6  | 26.0  | 26.5  | 25.2  | 24.7  | 23.6  | 25.1  | 22.2  | 23.6  |       |      |      |
|              |          |                                 | 平均    | 33.7                   | 27.0  | 26.7  | 26.2  | 26.6  | 25.7  | 25.1  | 25.9  | 25.1  | 24.0  | 24.3  |      |      |
|              |          |                                 | 縦振動   | 35.5                   | 30.6  | 30.7  | 30.1  | 30.2  | 29.9  | 29.3  | 29.2  | 28.4  | 28.5  | 28.2  |      |      |
|              |          |                                 |       | 35.5                   | 30.4  | 30.3  | 30.0  | 29.2  | 29.7  | 29.3  | 28.7  | 28.2  | 28.1  | 27.8  |      |      |
|              |          |                                 | 35.2  | 30.7                   | 29.9  | 29.6  | 29.5  | 29.6  | 29.1  | 28.5  | 31.4  | 26.8  | 27.6  |       |      |      |
|              |          |                                 | 平均    | 35.4                   | 30.6  | 30.3  | 29.9  | 29.6  | 29.7  | 29.2  | 28.8  | 29.3  | 27.8  | 27.9  |      |      |
|              |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 | たわみ振動 | 100.0                  | 79.3  | 80.1  | 78.1  | 80.2  | 79.0  | 78.1  | 79.8  | 79.7  | 79.3  | 78.9  |      |      |
|              |          |                                 |       | 100.0                  | 82.3  | 79.2  | 79.0  | 80.8  | 79.8  | 78.2  | 89.5  | 79.5  | 79.0  | 78.7  |      |      |
|              |          |                                 | 100.0 | 79.5                   | 80.7  | 79.1  | 81.5  | 78.5  | 77.9  | 75.2  | 71.8  | 72.1  | 77.0  |       |      |      |
|              |          |                                 | 平均    | 100.0                  | 80.4  | 80.0  | 78.7  | 80.8  | 79.1  | 78.1  | 81.5  | 77.0  | 76.8  | 78.2  |      |      |
|              |          |                                 | 縦振動   | 100.0                  | 86.5  | 87.1  | 86.0  | 87.3  | 87.4  | 86.6  | 87.1  | 85.6  | 86.5  | 86.1  |      |      |
|              |          |                                 |       | 100.0                  | 86.0  | 86.0  | 85.7  | 84.1  | 86.7  | 86.4  | 85.8  | 85.2  | 85.7  | 85.2  |      |      |
|              |          |                                 | 100.0 | 87.7                   | 85.8  | 85.4  | 85.8  | 87.3  | 86.8  | 85.8  | 85.1  | 82.3  | 85.3  |       |      |      |
|              |          |                                 | 平均    | 100.0                  | 86.7  | 86.3  | 85.7  | 85.7  | 87.1  | 86.6  | 86.2  | 85.3  | 84.8  | 85.5  |      |      |
|              |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              |       | 1.00                   | 0.917 | 0.920 | 0.908 | 0.919 | 0.904 | 0.902 | 0.916 | 0.931 | 0.917 | 0.916 |      |      |
|              |          |                                 |       | 1.00                   | 0.957 | 0.921 | 0.923 | 0.960 | 0.920 | 0.905 | 1.043 | 0.934 | 0.922 | 0.923 |      |      |
|              |          |                                 | 1.00  | 0.907                  | 0.941 | 0.926 | 0.951 | 0.899 | 0.897 | 0.876 | 0.844 | 0.876 | 0.903 |       |      |      |
| 平均           | 1.00     |                                 | 0.927 | 0.927                  | 0.919 | 0.943 | 0.908 | 0.901 | 0.945 | 0.903 | 0.905 | 0.914 |       |       |      |      |
| 質量減少率<br>(%) | 質量       | 0.00                            | 0.41  | 0.80                   | 1.32  | 2.41  | 3.66  | 4.59  | 5.58  | 6.62  | 7.16  | 7.72  |       |       |      |      |
|              |          | 0.00                            | 0.48  | 0.78                   | 1.31  | 2.26  | 3.53  | 4.52  | 5.71  | 6.83  | 7.44  | 7.99  |       |       |      |      |
|              | 0.00     | 0.43                            | 0.88  | 1.39                   | 2.27  | 3.58  | 4.72  | 5.79  | 6.86  | 7.34  | 8.01  |       |       |       |      |      |
| 平均           | 0.00     | 0.44                            | 0.82  | 1.34                   | 2.31  | 3.59  | 4.61  | 5.69  | 6.77  | 7.31  | 7.91  |       |       |       |      |      |

表-7.3.4 凍結融解試験結果(その2)

| 微粒分 | 開始<br>材齢 | 供試体寸法 mm                        |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(g) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|----------|---------------------------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |          | L                               | T     |                        | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   |
| 0   | 14日      | 399                             | 101   | たわみ振動                  | 2077  | 1894  | 1874  | 1872  | 1868  | 1866  | 1878  | 1866  | 1848  | 1855  | 1862  |
|     |          | 400                             | 100   |                        | 2117  | 1941  | 1934  | 1875  | 1879  | 1880  | 1880  | 1870  | 1878  | 1876  | 1874  |
|     |          | 400                             | 102   |                        | 2054  | 1845  | 1860  | 1854  | 1851  | 1868  | 1858  | 1854  | 1834  | 1827  | 1784  |
|     |          | 399                             | 101   | 縦振動                    | 4846  | 4567  | 4520  | 4524  | 4524  | 4541  | 4530  | 4539  | 4547  | 4529  | 4542  |
|     |          | 400                             | 100   |                        | 4872  | 4528  | 4509  | 4517  | 4542  | 4576  | 4522  | 4525  | 4544  | 4538  | 4558  |
|     |          | 400                             | 102   |                        | 4801  | 4521  | 4503  | 4498  | 4521  | 4522  | 4505  | 4525  | 4486  | 4480  | 4483  |
|     |          | 399                             | 101   | 質量                     | 9379  | 9360  | 9334  | 9292  | 9210  | 9117  | 9029  | 8956  | 8888  | 8844  | 8755  |
|     |          | 400                             | 100   |                        | 9566  | 9541  | 9509  | 9465  | 9381  | 9282  | 9212  | 9132  | 9056  | 9012  | 8957  |
|     |          | 400                             | 102   |                        | 9273  | 9108  | 9026  | 8948  | 8846  | 8766  | 8691  | 8564  | 8504  | 8479  | 8445  |
|     |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |       | たわみ振動                  | 32.3  | 26.8  | 26.2  | 26.0  | 25.7  | 25.4  | 25.5  | 24.9  | 24.3  | 24.3  | 24.3  |
|     |          |                                 |       |                        | 35.9  | 30.1  | 29.8  | 27.9  | 27.7  | 27.5  | 27.3  | 26.8  | 26.8  | 26.6  | 26.4  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 32.9  | 27.0  | 26.7  | 25.9  | 25.6  | 25.5  | 25.3  | 24.8  | 24.4  | 24.3  | 23.8  |
|     |          |                                 |       | 縦振動                    | 34.5  | 30.5  | 29.8  | 29.8  | 29.5  | 29.4  | 29.0  | 28.9  | 28.8  | 28.4  | 28.3  |
|     |          |                                 |       |                        | 36.3  | 31.3  | 30.9  | 30.9  | 31.0  | 31.1  | 30.1  | 29.9  | 29.9  | 29.7  | 29.8  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 32.9  | 28.6  | 28.1  | 27.8  | 27.8  | 27.6  | 27.1  | 27.0  | 26.3  | 26.2  | 26.1  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 34.6  | 30.2  | 29.6  | 29.5  | 29.4  | 29.4  | 28.8  | 28.6  | 28.3  | 28.1  | 28.0  |
|     |          |                                 |       | 相対動ヤング係数<br>(%)        |       | たわみ振動 | 100.0 | 83.2  | 81.4  | 81.2  | 80.9  | 80.7  | 81.8  | 80.7  | 79.2  |
|     |          | 100.0                           | 84.1  |                        |       |       | 83.5  | 78.4  | 78.8  | 78.9  | 78.9  | 78.0  | 78.7  | 78.5  | 78.4  |
|     |          | 平均                              | 100.0 |                        |       | 80.7  | 82.0  | 81.5  | 81.2  | 82.7  | 81.8  | 81.5  | 79.7  | 79.1  | 75.4  |
|     |          | 平均                              | 100.0 |                        |       | 82.6  | 82.3  | 80.4  | 80.3  | 80.8  | 80.8  | 80.1  | 79.2  | 79.1  | 78.1  |
|     |          | 縦振動                             | 100.0 |                        |       | 88.8  | 87.0  | 87.2  | 87.2  | 87.8  | 87.4  | 87.7  | 88.0  | 87.3  | 87.8  |
|     |          |                                 | 100.0 |                        |       | 86.4  | 85.7  | 86.0  | 86.9  | 88.2  | 86.1  | 86.3  | 87.0  | 86.8  | 87.5  |
|     |          | 平均                              | 100.0 |                        |       | 88.7  | 88.0  | 87.8  | 88.7  | 88.7  | 88.0  | 88.8  | 87.3  | 87.1  | 87.2  |
|     |          | 平均                              | 100.0 |                        |       | 88.0  | 86.9  | 87.0  | 87.6  | 88.2  | 87.2  | 87.6  | 87.4  | 87.1  | 87.5  |
|     |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ／縦              |       |                        | 1.00  | 0.936 | 0.936 | 0.932 | 0.928 | 0.919 | 0.936 | 0.920 | 0.899 | 0.913 | 0.915 |
|     |          |                                 |       |                        | 1.00  | 0.973 | 0.974 | 0.913 | 0.906 | 0.894 | 0.915 | 0.905 | 0.905 | 0.905 | 0.895 |
|     |          |                                 |       |                        | 1.00  | 0.910 | 0.932 | 0.928 | 0.916 | 0.932 | 0.929 | 0.917 | 0.913 | 0.909 | 0.865 |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 1.00  | 0.940 | 0.947 | 0.924 | 0.917 | 0.915 | 0.927 | 0.914 | 0.906 | 0.909 | 0.892 |
|     |          | 質量減少率<br>(%)                    |       | 質量                     | 0.00  | 0.20  | 0.48  | 0.93  | 1.80  | 2.79  | 3.73  | 4.51  | 5.24  | 5.70  | 6.65  |
|     |          |                                 |       |                        | 0.00  | 0.26  | 0.60  | 1.06  | 1.93  | 2.97  | 3.70  | 4.54  | 5.33  | 5.79  | 6.37  |
|     |          |                                 |       |                        | 0.00  | 1.78  | 2.66  | 3.50  | 4.60  | 5.47  | 6.28  | 7.65  | 8.29  | 8.56  | 8.93  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 0.00  | 0.75  | 1.25  | 1.83  | 2.78  | 3.74  | 4.57  | 5.56  | 6.29  | 6.69  | 7.32  |
|     |          |                                 |       |                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 微粒分 | 開始<br>材齢 | 供試体寸法 mm                        |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(g) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|     |          | L                               | T     |                        | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   |
| 5   | 14日      | 401                             | 100   | たわみ振動                  | 2033  | 1818  | 1832  | 1807  | 1830  | 1786  | 1800  | 1818  | 1818  | 1818  | 1800  |
|     |          | 402                             | 100   |                        | 2050  | 1894  | 1850  | 1839  | 1843  | 1839  | 1838  | 1834  | 1829  | 1830  | 1818  |
|     |          | 400                             | 100   |                        | 2051  | 1848  | 1839  | 1822  | 1839  | 1819  | 1815  | 1806  | 1806  | 1794  | 1783  |
|     |          | 401                             | 100   | 縦振動                    | 4819  | 4367  | 4383  | 4365  | 4442  | 4444  | 4441  | 4368  | 4373  | 4355  | 4355  |
|     |          | 402                             | 100   |                        | 4781  | 4450  | 4391  | 4380  | 4359  | 4368  | 4294  | 4360  | 4365  | 4349  | 4335  |
|     |          | 400                             | 100   |                        | 4784  | 4387  | 4380  | 4361  | 4370  | 4372  | 4348  | 4346  | 4284  | 4282  | 4270  |
|     |          | 401                             | 100   | 質量                     | 9507  | 9470  | 9433  | 9374  | 9185  | 9099  | 9047  | 8976  | 8904  | 8857  | 8791  |
|     |          | 402                             | 100   |                        | 9546  | 9522  | 9497  | 9453  | 9376  | 9278  | 9192  | 9117  | 9030  | 8989  | 8928  |
|     |          | 400                             | 100   |                        | 9481  | 9450  | 9421  | 9377  | 9295  | 9170  | 9084  | 8989  | 8876  | 8822  | 8748  |
|     |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |       | たわみ振動                  | 33.2  | 26.4  | 26.7  | 25.8  | 26.0  | 24.5  | 24.7  | 25.0  | 24.8  | 24.7  | 24.0  |
|     |          |                                 |       |                        | 34.1  | 29.0  | 27.6  | 27.2  | 27.1  | 26.7  | 26.4  | 26.1  | 25.7  | 25.6  | 25.1  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 33.4  | 27.0  | 26.7  | 26.1  | 26.3  | 25.4  | 25.1  | 24.6  | 24.3  | 23.8  | 23.3  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 33.6  | 27.5  | 27.0  | 26.4  | 26.5  | 25.5  | 25.4  | 25.2  | 24.9  | 24.7  | 24.1  |
|     |          |                                 |       | 縦振動                    | 35.4  | 29.0  | 29.1  | 28.6  | 29.1  | 28.8  | 28.6  | 27.5  | 27.3  | 26.9  | 26.7  |
|     |          |                                 |       |                        | 35.1  | 30.3  | 29.4  | 29.2  | 28.6  | 28.5  | 27.3  | 27.9  | 27.7  | 27.3  | 27.0  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 34.7  | 29.1  | 28.9  | 28.5  | 28.4  | 28.0  | 27.5  | 27.2  | 26.1  | 25.9  | 25.5  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 35.1  | 29.5  | 29.1  | 28.8  | 28.7  | 28.4  | 27.8  | 27.5  | 27.0  | 26.7  | 26.4  |
|     |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |       | たわみ振動                  | 100.0 | 80.0  | 81.2  | 79.0  | 81.0  | 77.2  | 78.4  | 80.0  | 80.0  | 80.0  | 78.4  |
|     |          |                                 |       |                        | 100.0 | 85.4  | 81.4  | 80.5  | 80.8  | 80.5  | 80.4  | 80.0  | 79.6  | 79.7  | 78.6  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 100.0 | 81.2  | 80.4  | 78.9  | 80.4  | 78.7  | 78.3  | 77.5  | 77.5  | 76.5  | 75.6  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 100.0 | 82.2  | 81.0  | 79.5  | 80.7  | 78.8  | 79.0  | 79.2  | 79.0  | 78.7  | 77.5  |
|     |          |                                 |       | 縦振動                    | 100.0 | 82.1  | 82.7  | 82.0  | 85.0  | 85.0  | 84.9  | 82.2  | 82.3  | 81.7  | 81.7  |
|     |          |                                 |       |                        | 100.0 | 86.6  | 84.4  | 83.9  | 83.1  | 83.5  | 80.7  | 83.2  | 83.4  | 82.7  | 82.2  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 100.0 | 84.1  | 83.8  | 83.1  | 83.4  | 83.5  | 82.6  | 82.5  | 80.2  | 80.1  | 79.7  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 100.0 | 84.3  | 83.6  | 83.0  | 83.8  | 84.0  | 82.7  | 82.6  | 82.0  | 81.5  | 81.2  |
|     |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ／縦              |       |                        | 1.00  | 0.974 | 0.982 | 0.963 | 0.954 | 0.908 | 0.923 | 0.973 | 0.971 | 0.979 | 0.960 |
|     |          |                                 |       |                        | 1.00  | 0.985 | 0.965 | 0.959 | 0.972 | 0.964 | 0.997 | 0.962 | 0.955 | 0.963 | 0.957 |
|     |          |                                 |       |                        | 1.00  | 0.965 | 0.959 | 0.950 | 0.963 | 0.942 | 0.948 | 0.940 | 0.967 | 0.955 | 0.949 |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 1.00  | 0.975 | 0.969 | 0.957 | 0.963 | 0.938 | 0.956 | 0.958 | 0.964 | 0.966 | 0.955 |
|     |          | 質量減少率<br>(%)                    |       | 質量                     | 0.00  | -0.39 | 0.78  | 1.40  | 3.39  | 4.29  | 4.84  | 5.59  | 6.34  | 6.84  | 7.53  |
|     |          |                                 |       |                        | 0.00  | 0.25  | 0.51  | 0.97  | 1.78  | 2.81  | 3.71  | 4.49  | 5.41  | 5.83  | 6.47  |
|     |          |                                 |       |                        | 0.00  | 0.33  | 0.63  | 1.10  | 1.96  | 3.28  | 4.19  | 5.19  | 6.38  | 6.95  | 7.73  |
|     |          |                                 |       | 平均                     | 0.00  | 0.32  | 0.64  | 1.16  | 2.38  | 3.46  | 4.24  | 5.09  | 6.04  | 6.54  | 7.25  |

表-7.3.4 凍結融解試験結果(その3)

| 微粒分 | 開始<br>材齢 | 供試体寸法 mm                        |     | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(g) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|----------|---------------------------------|-----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |          | L                               | T   |                        | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   |
| 10  | 14日      | 400                             | 101 | たわみ振動                  | 2147  | 1852  | 1840  | 1801  | 1823  | 1787  | 1787  | 1684  | 1635  | —     | —     |
|     |          | 400                             | 102 |                        | 2151  | 1842  | 1825  | 1795  | 1796  | 1629  | 1644  | 1641  | 1511  | —     | —     |
|     |          | 400                             | 102 |                        | 2162  | 1902  | 1871  | 1829  | 1816  | 1783  | 1790  | 1725  | 1678  | 1680  | 1656  |
|     |          | 400                             | 101 | 縦振動                    | 4955  | 4523  | 4502  | 4383  | 4362  | 4277  | 4247  | 4150  | 4125  | —     | —     |
|     |          | 400                             | 102 |                        | 4884  | 4369  | 4350  | 4259  | 4220  | 4199  | 4083  | 3932  | 3776  | —     | —     |
|     |          | 400                             | 102 |                        | 5001  | 4478  | 4458  | 4355  | 4349  | 4313  | 4259  | 4159  | 4052  | 4028  | 3981  |
|     |          | 400                             | 101 | 質量                     | 9780  | 9756  | 9735  | 9708  | 9653  | 9565  | 9489  | 9410  | 9306  | —     | —     |
|     |          | 400                             | 102 |                        | 9832  | 9825  | 9798  | 9769  | 9714  | 9625  | 9562  | 9506  | 9421  | —     | —     |
|     |          | 400                             | 102 |                        | 9789  | 9783  | 9756  | 9733  | 9695  | 9611  | 9527  | 9450  | 9357  | 9314  | 8256  |
|     |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |     | たわみ振動                  | 36.3  | 27.0  | 26.5  | 25.4  | 25.8  | 24.6  | 24.4  | 21.5  | 20.0  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 35.2  | 25.8  | 25.3  | 24.4  | 24.3  | 19.8  | 20.0  | 19.8  | 16.7  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 35.4  | 27.4  | 26.5  | 25.2  | 24.8  | 23.7  | 23.6  | 21.8  | 20.4  | 20.4  | 17.5  |
|     |          |                                 |     | 平均                     | 35.7  | 26.7  | 26.1  | 25.0  | 25.0  | 22.7  | 22.7  | 21.0  | 19.0  | 20.4  | 17.5  |
|     |          |                                 |     | 縦振動                    | 37.7  | 31.3  | 30.9  | 29.3  | 28.8  | 27.4  | 26.8  | 25.4  | 24.8  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 36.1  | 28.8  | 28.5  | 27.3  | 26.6  | 26.1  | 24.5  | 22.6  | 20.7  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 37.7  | 30.2  | 29.8  | 28.4  | 28.2  | 27.5  | 26.6  | 25.1  | 23.6  | 23.2  | 20.1  |
|     |          |                                 |     | 平均                     | 37.1  | 30.1  | 29.8  | 28.3  | 27.9  | 27.0  | 26.0  | 24.4  | 23.0  | 23.2  | 20.1  |
|     |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |     | たわみ振動                  | 100.0 | 74.4  | 73.4  | 70.4  | 72.1  | 69.3  | 69.3  | 61.5  | 58.0  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 100.0 | 73.3  | 72.0  | 69.6  | 69.7  | 57.4  | 58.4  | 58.2  | 49.3  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 100.0 | 77.4  | 74.9  | 71.6  | 70.6  | 68.0  | 68.5  | 63.7  | 60.2  | 60.4  | 58.7  |
|     |          |                                 |     | 平均                     | 100.0 | 75.0  | 73.4  | 70.5  | 70.8  | 64.9  | 65.4  | 61.1  | 55.9  | 60.4  | 58.7  |
|     |          |                                 |     | 縦振動                    | 100.0 | 83.3  | 82.6  | 78.2  | 77.5  | 74.5  | 73.5  | 70.1  | 69.3  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 100.0 | 80.0  | 79.3  | 76.0  | 74.7  | 73.9  | 69.9  | 64.8  | 59.8  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 100.0 | 80.2  | 79.5  | 75.8  | 75.6  | 74.4  | 72.5  | 69.2  | 65.6  | 64.9  | 63.4  |
|     |          |                                 |     | 平均                     | 100.0 | 81.2  | 80.4  | 76.7  | 75.9  | 74.3  | 72.0  | 68.0  | 64.9  | 64.9  | 63.4  |
|     |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ／縦              |     |                        | 1.00  | 0.893 | 0.890 | 0.899 | 0.930 | 0.930 | 0.943 | 0.877 | 0.837 | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 1.00  | 0.916 | 0.907 | 0.916 | 0.934 | 0.776 | 0.836 | 0.898 | 0.826 | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 1.00  | 0.965 | 0.942 | 0.944 | 0.933 | 0.914 | 0.945 | 0.920 | 0.918 | 0.931 | 0.926 |
|     |          |                                 |     | 平均                     | 1.00  | 0.925 | 0.913 | 0.920 | 0.932 | 0.873 | 0.908 | 0.898 | 0.860 | 0.931 | 0.926 |
|     |          | 質量減少率<br>(%)                    |     | 質量                     | 0.00  | 0.25  | 0.46  | 0.74  | 1.30  | 2.20  | 2.98  | 3.78  | 4.85  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 0.00  | 0.07  | 0.35  | 0.64  | 1.20  | 2.11  | 2.75  | 3.32  | 4.18  | —     | —     |
|     |          |                                 |     |                        | 0.00  | 0.06  | 0.34  | 0.57  | 0.96  | 1.82  | 2.68  | 3.46  | 4.41  | 4.85  | 15.66 |
|     |          |                                 |     | 平均                     | 0.00  | 0.13  | 0.38  | 0.65  | 1.15  | 2.04  | 2.80  | 3.52  | 4.48  | 4.85  | 15.66 |

表一7.3.5 凍結融解試験結果

| 空気<br>量<br>% | 試験<br>開始<br>材齢<br>日 | 微粒<br>分量<br>(%) | 注)  | 初期動ヤ<br>ング係数<br>kN/mm <sup>2</sup> | サイクルごとの相対動ヤング係数 (%) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 耐久<br>性指<br>数 | サイクルごとの質量減少率(%) |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------|---------------------|-----------------|-----|------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|              |                     |                 |     |                                    |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|              |                     |                 |     |                                    | 30                  | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   |               | 30              | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 240  | 270  | 300   |
| 5.0          | 14                  | -9.2            | たわみ | 36.5                               | 74.8                | 74.9  | 72.5  | 72.4  | 68.6  | 66.0  | 62.3  | 60.0  | 58.7  | 63.4  | 43.6          | 0.20            | 0.51 | 1.05 | 2.02 | 3.13 | 3.95 | 4.78 | 5.76 | 6.69 | 7.56  |
|              |                     |                 | 縦   | 37.0                               | 72.2                | 78.6  | 77.2  | 75.5  | 73.6  | 72.1  | 68.8  | 70.1  | 70.3  | 70.4  | 48.2          |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|              |                     |                 | 係数比 | 1.0                                | 1.059               | 0.953 | 0.940 | 0.960 | 0.931 | 0.914 | 0.904 | 0.905 | 0.943 | 0.900 |               |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 5.0          | 14                  | -5              | たわみ | 33.7                               | 80.4                | 80.0  | 78.7  | 80.8  | 79.1  | 78.1  | 81.5  | 77.0  | 76.8  | 78.2  | 78.2          | 0.44            | 0.82 | 1.34 | 2.31 | 3.59 | 4.61 | 5.69 | 6.77 | 7.31 | 7.91  |
|              |                     |                 | 縦   | 35.4                               | 86.7                | 86.3  | 85.7  | 85.7  | 87.1  | 86.6  | 86.2  | 85.3  | 84.8  | 85.5  | 85.5          |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|              |                     |                 | 係数比 | 1.0                                | 0.927               | 0.927 | 0.919 | 0.943 | 0.908 | 0.901 | 0.945 | 0.903 | 0.905 | 0.914 |               |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 5.0          | 14                  | 0               | たわみ | 32.9                               | 82.6                | 82.3  | 80.4  | 80.3  | 80.8  | 80.8  | 80.1  | 79.2  | 79.1  | 78.1  | 78.1          | 0.75            | 1.25 | 1.83 | 2.78 | 3.74 | 4.57 | 5.56 | 6.29 | 6.69 | 7.32  |
|              |                     |                 | 縦   | 34.6                               | 88.0                | 86.9  | 87.0  | 87.6  | 88.2  | 87.2  | 87.6  | 87.4  | 87.1  | 87.5  | 87.5          |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|              |                     |                 | 係数比 | 1.0                                | 0.940               | 0.947 | 0.924 | 0.917 | 0.915 | 0.927 | 0.914 | 0.906 | 0.909 | 0.892 |               |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 5.0          | 14                  | 5               | たわみ | 33.6                               | 82.2                | 81.0  | 79.5  | 80.7  | 78.8  | 79.0  | 79.2  | 79.0  | 78.7  | 77.5  | 77.5          | 0.32            | 0.64 | 1.16 | 2.38 | 3.46 | 4.24 | 5.09 | 6.04 | 6.54 | 7.25  |
|              |                     |                 | 縦   | 35.1                               | 84.3                | 83.6  | 83.0  | 83.8  | 84.0  | 82.7  | 82.6  | 82.0  | 81.5  | 81.2  | 81.2          |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|              |                     |                 | 係数比 | 1.0                                | 0.975               | 0.969 | 0.957 | 0.963 | 0.938 | 0.956 | 0.958 | 0.964 | 0.966 | 0.955 |               |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 5.0          | 14                  | 10              | たわみ | 35.7                               | 75.0                | 73.4  | 70.5  | 70.8  | 64.9  | 65.4  | 61.1  | 55.9  | 60.4  | 58.7  | 44.7          | 0.13            | 0.38 | 0.65 | 1.15 | 2.04 | 2.80 | 3.52 | 4.48 | 4.85 | 15.66 |
|              |                     |                 | 縦   | 37.1                               | 81.2                | 80.4  | 76.7  | 75.9  | 74.3  | 72.0  | 68.0  | 64.9  | 60.4  | 63.4  | 51.9          |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|              |                     |                 | 係数比 | 1.0                                | 0.925               | 0.913 | 0.920 | 0.932 | 0.873 | 0.908 | 0.898 | 0.860 | 0.931 | 0.926 |               |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |       |

注)たわみ:たわみ振動, 縦:縦振動, 係数比:たわみ振動/縦振動

表一7.3.6 乾燥収縮, 曲げ強度, 中性化深さ, 試験結果

| 試験項目                            | 試験片<br>番号 | 材齢(日)  |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                 |           | 7      | 28     | 56     | 91     | 182    | 356    | 712    |
| 長さ変化率<br>(%)                    | 1         | -0.021 | -0.042 | -0.052 | -0.059 | -0.062 | —      | —      |
|                                 | 2         | -0.019 | -0.039 | -0.047 | -0.055 | -0.055 | -0.060 | —      |
|                                 | 3         | -0.019 | -0.041 | -0.049 | -0.055 | -0.057 | -0.060 | -0.070 |
|                                 | 平均        | -0.020 | -0.041 | -0.049 | -0.056 | -0.058 | -0.060 | -0.070 |
| 質量減少率<br>(%)                    | 1         | 2.32   | 2.83   | 2.99   | 3.06   | 3.12   | —      | —      |
|                                 | 2         | 2.10   | 2.55   | 2.67   | 2.75   | 2.79   | 2.83   | —      |
|                                 | 3         | 2.29   | 2.78   | 2.92   | 2.98   | 3.02   | 3.06   | -3.08  |
|                                 | 平均        | 2.24   | 2.72   | 2.86   | 2.93   | 2.98   | 2.94   | -3.08  |
| 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 1         |        |        |        |        | 27.3   | —      | —      |
|                                 | 2         |        |        |        |        | 27.7   | 30.2   | —      |
|                                 | 3         |        |        |        |        | 28.6   | 29.8   | 30.5   |
|                                 | 平均        |        |        |        |        | 27.9   | 30.0   | 30.5   |
| 曲げ強度<br>(N/mm <sup>2</sup> )    | 1         |        |        |        |        | 4.60   | —      | —      |
|                                 | 2         |        |        |        |        | —      | 4.99   | —      |
|                                 | 3         |        |        |        |        | —      | —      | 5.22   |
|                                 | 平均        |        |        |        |        | 4.60   | 4.99   | 5.22   |
| 中性化深さ<br>(mm)                   | 1         |        |        |        |        | 3.7    | —      | —      |
|                                 | 2         |        |        |        |        | —      | 5.9    | —      |
|                                 | 3         |        |        |        |        | —      | —      | 9.10   |

注) 中性化深さは, 表一7.3.6の全体の平均

表-7.3.7 中性化深さ

(単位:mm)

|      |         |   | 6ヶ月 |     |     |     | 1年   |      |     |     | 2年   |      |      |      |
|------|---------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|
|      |         |   | 打設面 | 1側  | 2側  | 下面  | 打設面  | 1側   | 2側  | 下面  | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面   |
| 横断面  | ①       | 1 | 5.0 | 3.0 | 4.5 | 1.0 | 6.0  | 7.0  | 7.0 | 3.0 | 10.5 | 8.5  | 8.5  | 9.0  |
|      |         | 2 | 4.5 | 3.5 | 3.5 | 0.5 | 7.0  | 5.0  | 7.0 | 2.0 | 10.0 | 7.5  | 10.5 | 8.5  |
|      |         | 3 | 4.5 | 4.0 | 4.5 | 1.0 | 6.0  | 5.0  | 5.0 | 3.0 | 10.5 | 7.0  | 10.0 | 11.0 |
|      |         | 4 | 4.5 | 3.0 | 4.5 | 0.5 | 9.0  | 8.0  | 5.0 | 3.0 | 9.5  | 9.5  | 9.5  | 8.0  |
|      |         | 5 | 4.5 | 4.0 | 4.0 | 1.0 | 10.0 | 5.0  | 6.0 | 4.0 | 9.5  | 8.0  | 9.0  | 5.5  |
|      | ②       | 1 | 7.5 | 3.0 | 3.5 | 3.0 | 10.0 | 7.0  | 7.0 | 5.0 | 10.0 | 7.5  | 8.5  | 9.0  |
|      |         | 2 | 6.5 | 3.0 | 3.0 | 2.5 | 9.0  | 5.0  | 5.0 | 3.0 | 10.0 | 9.0  | 8.0  | 14.5 |
|      |         | 3 | 6.5 | 3.0 | 4.0 | 2.5 | 9.0  | 5.0  | 5.0 | 4.0 | 9.5  | 10.0 | 9.5  | 9.5  |
|      |         | 4 | 6.5 | 2.5 | 5.0 | 2.5 | 8.0  | 4.0  | 6.0 | 4.0 | 9.5  | 9.0  | 9.0  | 8.0  |
|      |         | 5 | 5.5 | 3.0 | 5.0 | 2.5 | 8.0  | 6.0  | 7.0 | 3.0 | 9.5  | 8.0  | 8.5  | 7.5  |
|      | ③       | 1 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 2.5 | 8.0  | 5.0  | 5.0 | 4.0 | 12.0 | 8.0  | 10.0 | 9.5  |
|      |         | 2 | 3.0 | 4.5 | 2.0 | 3.0 | 7.0  | 6.0  | 6.0 | 6.0 | 11.5 | 8.0  | 8.0  | 8.5  |
|      |         | 3 | 4.0 | 4.5 | 3.0 | 4.0 | 7.0  | 6.0  | 6.0 | 4.0 | 11.0 | 8.5  | 7.5  | 8.0  |
|      |         | 4 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 3.5 | 8.0  | 7.0  | 7.0 | 3.0 | 11.0 | 8.5  | 10.0 | 7.0  |
|      |         | 5 | 4.5 | 3.0 | 4.0 | 2.0 | 9.0  | 7.0  | 7.0 | 3.0 | 12.5 | 8.0  | 8.5  | 8.0  |
| 縦断面  | A       | 1 | 6.0 | 3.5 | 6.0 | 3.0 | 7.0  | 7.0  | 7.0 | 5.0 | 13.0 | 9.0  | 13.5 | 13.0 |
|      |         | 2 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 3.0 | 7.0  | 6.0  | 4.0 | 6.0 | 9.5  | 10.5 | 12.5 | 13.0 |
|      |         | 3 | 6.0 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 9.0  | 7.0  | 5.0 | 6.0 | 10.0 | 10.5 | 8.5  | 8.0  |
|      |         | 4 | 5.0 | 3.0 | 3.5 | 3.5 | 5.0  | 7.0  | 5.0 | 5.0 | 9.5  | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
|      |         | 5 | 4.5 | 3.5 | 4.5 | 2.0 | 7.0  | 6.0  | 6.0 | 3.0 | 8.5  | 10.0 | 7.5  | 6.0  |
|      | B       | 1 | 5.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 8.0  | 4.0  | 6.0 | 5.0 | 10.0 | 8.5  | 8.0  | 8.0  |
|      |         | 2 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 10.0 | 4.0  | 5.0 | 7.0 | 10.5 | 6.5  | 8.5  | 8.0  |
|      |         | 3 | 5.0 | 3.5 | 3.5 | 2.5 | 8.0  | 4.0  | 6.0 | 3.0 | 9.0  | 8.5  | 7.0  | 7.5  |
|      |         | 4 | 6.0 | 3.0 | 3.5 | 3.5 | 8.0  | 4.0  | 6.0 | 3.0 | 10.0 | 9.5  | 6.0  | 7.5  |
|      |         | 5 | 5.5 | 3.0 | 3.5 | 3.5 | 8.0  | 4.0  | 6.0 | 5.0 | 10.5 | 9.5  | 6.0  | 8.0  |
|      | C       | 1 | 3.5 | 3.5 | 4.0 | 4.0 | 9.0  | 4.0  | 5.0 | 3.0 | 10.0 | 9.5  | 8.0  | 7.5  |
|      |         | 2 | 3.0 | 3.5 | 3.0 | 3.0 | 8.0  | 4.0  | 5.0 | 2.0 | 9.5  | 8.0  | 8.0  | 7.0  |
|      |         | 3 | 4.0 | 3.5 | 4.0 | 2.5 | 8.0  | 5.0  | 5.0 | 5.0 | 9.5  | 6.5  | 6.0  | 7.0  |
|      |         | 4 | 4.0 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 10.0 | 5.0  | 4.0 | 5.0 | 10.0 | 9.5  | 7.0  | 6.5  |
|      |         | 5 | 4.0 | 3.5 | 4.0 | 2.5 | 8.0  | 8.0  | 7.0 | 5.0 | 11.0 | 10.5 | 7.5  | 8.0  |
|      | D       | 1 | 4.5 | 3.0 | 5.0 | 2.0 | 7.0  | 10.0 | 5.0 | 2.0 | 10.5 | 10.0 | 8.5  | 7.0  |
|      |         | 2 | 4.5 | 3.0 | 3.5 | 1.5 | 8.0  | 6.0  | 2.0 | 3.0 | 9.5  | 10.0 | 9.5  | 7.5  |
|      |         | 3 | 5.0 | 3.0 | 4.0 | 4.5 | 7.0  | 6.0  | 6.0 | 5.0 | 10.0 | 10.0 | 8.0  | 11.0 |
|      |         | 4 | 5.0 | 3.5 | 5.0 | 3.5 | 8.0  | 4.0  | 7.0 | 5.0 | 12.5 | 10.5 | 8.0  | 10.5 |
|      |         | 5 | 5.0 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 9.0  | 7.0  | 8.0 | 4.0 | 12.0 | 12.0 | 8.5  | 10.0 |
| 横断面  | 最大      |   | 7.5 | 4.5 | 5.0 | 4.0 | 10.0 | 8.0  | 7.0 | 6.0 | 12.5 | 10.0 | 10.5 | 14.5 |
|      | 最小      |   | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 0.5 | 6.0  | 4.0  | 5.0 | 2.0 | 9.5  | 7.0  | 8.0  | 5.5  |
|      | 平均      |   | 4.9 | 3.5 | 3.8 | 2.1 | 8.1  | 5.9  | 6.1 | 3.6 | 10.4 | 8.3  | 9.0  | 8.8  |
|      | 標準偏差    |   | 1.3 | 0.6 | 0.8 | 1.1 | 1.3  | 1.1  | 0.9 | 1.0 | 1.0  | 0.8  | 0.9  | 2.0  |
| 縦断面  | 最大      |   | 6.0 | 5.5 | 6.0 | 4.5 | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 7.0 | 13.0 | 12.0 | 13.5 | 13.0 |
|      | 最小      |   | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 | 5.0  | 4.0  | 2.0 | 2.0 | 8.5  | 6.5  | 6.0  | 6.0  |
|      | 平均      |   | 4.8 | 3.4 | 4.0 | 2.9 | 8.0  | 5.7  | 5.6 | 4.3 | 10.4 | 9.4  | 8.3  | 8.5  |
|      | 標準偏差    |   | 0.8 | 0.6 | 0.9 | 0.8 | 1.1  | 1.7  | 1.3 | 1.4 | 1.1  | 1.3  | 1.9  | 2.0  |
| 横縦断面 | 最大      |   | 7.5 | 5.5 | 6.0 | 4.5 | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 7.0 | 13.0 | 12.0 | 13.5 | 14.5 |
|      | 最小      |   | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 0.5 | 5.0  | 4.0  | 2.0 | 2.0 | 8.5  | 6.5  | 6.0  | 5.5  |
|      | 平均      |   | 4.8 | 3.4 | 3.9 | 2.6 | 8.0  | 5.7  | 5.7 | 4.0 | 10.3 | 9.0  | 8.6  | 8.6  |
|      | 標準偏差    |   | 1.0 | 0.6 | 0.9 | 1.0 | 1.2  | 1.5  | 1.2 | 1.3 | 1.1  | 1.3  | 1.6  | 2.0  |
| 全体   | 最大      |   | 7.5 |     |     |     | 10.0 |      |     |     | 14.5 |      |      |      |
|      | 最小      |   | 2.0 |     |     |     | 2.0  |      |     |     | 5.5  |      |      |      |
|      | 平均      |   | 3.7 |     |     |     | 5.9  |      |     |     | 9.1  |      |      |      |
|      | 標準偏差    |   | 1.2 |     |     |     | 1.9  |      |     |     | 1.7  |      |      |      |
|      | 変動係数(%) |   | 32  |     |     |     | 32   |      |     |     | 18   |      |      |      |

横断面

縦断面

打設面

2側

1側

下

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
|   | ① | ② | ③ |  |
| A | B | C | D |  |

(5) 乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験結果

図-7.3.12 に材齢を長さ変化率の関係、図-7.3.13 に材齢と質量減少率の関係を示す。長さ変化率は1年で0.06%であり、一般的なコンクリートとほぼ同じ収縮であった。

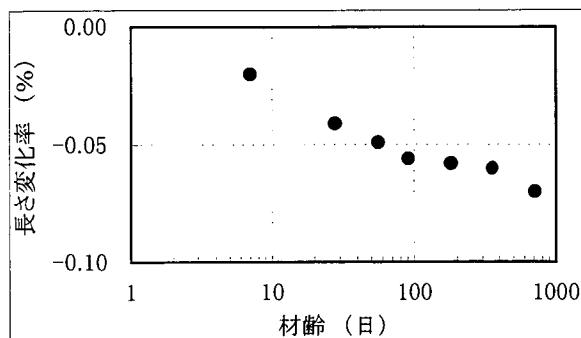


図-7.3.12 長さ変化率

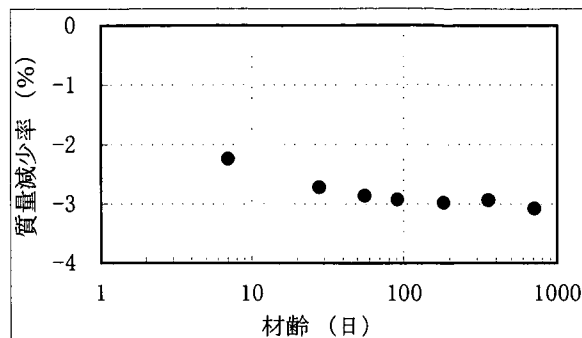


図-7.3.13 質量減少率

図-7.3.13 に材齢と中性化深さの関係を示す。図中には岸谷式<sup>7.6)</sup> (7.3.1) の計算結果も示した。

$$C = \frac{R (x - 0.25)}{\sqrt{0.3 (1.15 + 3x)}} \sqrt{t} \dots \dots (7.3.1)$$

ここに、C：中性化深さ (cm)  
t：中性化する期間 (年)  
x：強度上の水セメント比  
R：中性化比率

ここでは、岸谷式を求めたときの材料、配合が異なるので、次のように仮定し、xおよびRを定めた。まずxは、水結合材比は0.517であるが、今回、中庸熟ポルトランドセメントを用い、そのうち30%をフライアッシュで置換しているので、強度発現が遅くなる。それをフライアッシュの50%が有効と考え、x=0.6とした。Rは、岸谷の示した表の中の高炉セメント（スラグ60%前後）の川砂・川砂利、AE剤使用の場合とし、R=1.3としている。

実験結果の平均値（図-7.3.14の×印）は岸谷式とほぼ同じであり、妥当な結果と考えられる。

図-7.3.15には供試体断面の測定位置ごとに中性化深さのばらつきを示した。各断面ごとの中性化深さを見ると、打設面が大きく、次に側面、下面が最小という一般的傾向を示している。ばらつきは、変動係数で32%であった（表-7.3.6）。

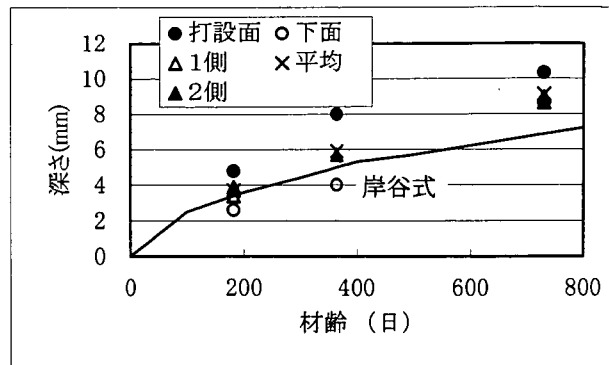


図-7.3.14 材齢と中性化深さの関係

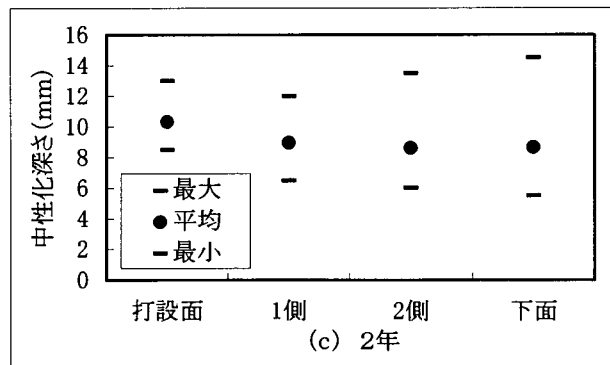
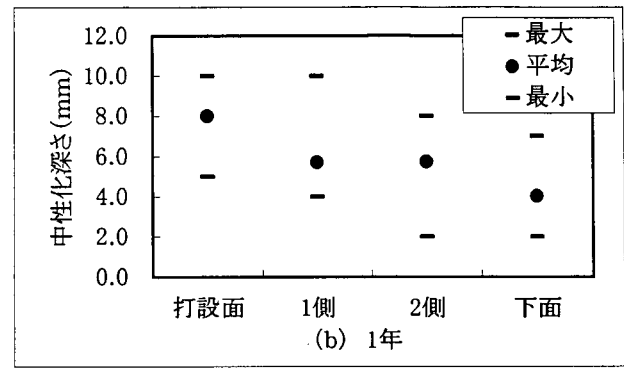
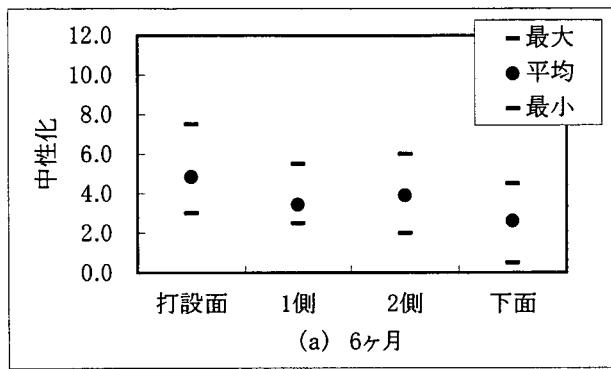


図-7.3.15 供試体断面と中性化深さ

## 7. 4 石粉混入による有スランプコンクリートの品質

### 7.4.1 ワーカビリティー

表-7.2.1 の配合試験, 表-7.3.1 の石粉混入コンクリートの配合を, 表-4.5.1 の各指標を計算した結果が表-7.4.1 および表-7.4.2 である。表-7.4.1 の単位水量と粉体のかさ容積比, 空隙比の関係を図-7.4.1, 表-7.4.2 の微粒分率と各指標値の関係を図-7.4.2 に示す。

スランプは微粒分率が増えると小さくなったので, 空気量が最大になるときの微粒分率を最適微粒分率(表-7.4.2 の太い枠囲)としたときの各指標値は表-7.4.3 のとおりであった。JIS 法のかさ容積比を RCD の場合(表-4.5.4 と表-7.4.3)を比較すると, 有スランプの場合は 0.1 程度小さくなっている。

空気連行性は微粒分率によって異なり, 連行しやすい微粒分率が存在するようである。

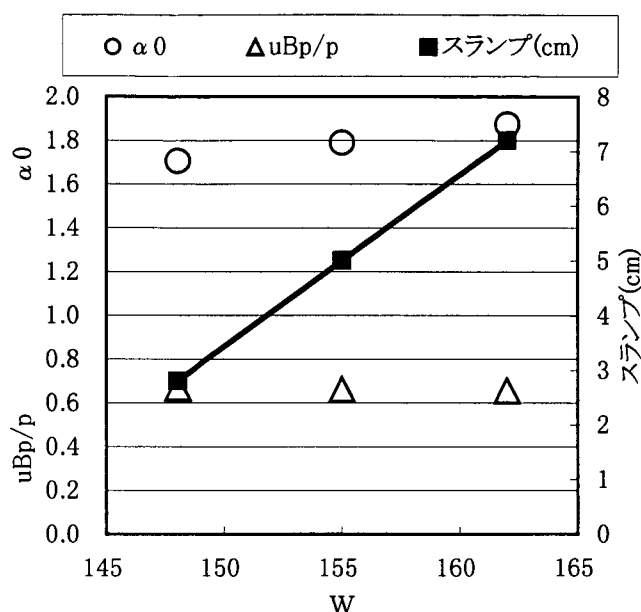


図-7.4.1 単位水量と粉体のかさ容積比, 空隙比

### 7.4.2 強 度

微粒分率と微粒分率 0 % に対する圧縮強度比, 割裂引張強度比の間には正の相関関係がある(表-7.4.4 および図-7.4.4)。

微粒分率と強度増加率の関係は, 表-7.4.5 および図-7.4.5 のとおり圧縮は平均 0.2, 引張は 28 日しかないが-0.19 であった。圧縮強度の増加は空気量の減少によるものであり, 有スランプコンクリートの場合は石粉による強度増進効果は期待できそうにない。

表-7.4.1 有スランブコンクリート(Ks骨材)の配合試験の各指標値

| W/B<br>(%) | W/Bp<br>(%) | Pw/Bp<br>(%) | pw/s<br>(%) | s0/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |    |     |      |       |      | uBp/p | α 0   | uS/m  | α     | uG/c  | β     | u(S+Bp)<br>/m | α ’   | u(G+S)<br>/c | β ’   |
|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------------------|-------|-----|----|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------------|-------|
|            |             |              |             |             | W                       | Bp    |     |    |     |      | S0    | G    |       |       |       |       |       |       |               |       |              |       |
|            |             |              |             |             |                         |       | C   | FA | Pw1 | Pw0  |       |      |       |       |       |       |       |       |               |       |              |       |
| 49.3       | 40.3        | 18.3         | 9.1         | 38.1        | 148                     | 367.1 | 210 | 90 | 0   | 67.1 | 661.9 | 1090 | 0.666 | 1.705 | 0.644 | 2.699 | 0.689 | 2.197 | 1.042         | 0.666 | 0.883        | 1.543 |
| 51.7       | 42.3        | 18.1         | 9.1         | 37.9        | 155                     | 366.5 | 210 | 90 | 0   | 66.5 | 656.5 | 1090 | 0.661 | 1.788 | 0.638 | 2.739 | 0.689 | 2.197 | 1.037         | 0.700 | 0.881        | 1.554 |
| 54.0       | 44.3        | 18.0         | 9.1         | 37.6        | 162                     | 365.8 | 210 | 90 | 0   | 65.8 | 649.2 | 1090 | 0.654 | 1.873 | 0.631 | 2.793 | 0.689 | 2.197 | 1.030         | 0.735 | 0.878        | 1.567 |

表-7.4.2 石粉混入有スランブコンクリート(Ks骨材)の各指標値

| W/B<br>(%) | W/Bp<br>(%) | Pw/Bp<br>(%) | pw/s<br>(%) | s0/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |      |      |      |       |        | uBp/p | α 0   | uS/m  | α     | uG/c  | β     | u(S+Bp)<br>/m | α ’   | u(G+S)<br>/c | β ’   |
|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------------|-------|
|            |             |              |             |             | W                       | Bp    |       |      |      |      | S0    | G      |       |       |       |       |       |       |               |       |              |       |
|            |             |              |             |             |                         |       | C     | FA   | Pw1  | Pw0  |       |        |       |       |       |       |       |       |               |       |              |       |
| 51.7       | 51.7        | 0.0          | 0.0         | 40.2        | 155.0                   | 300.0 | 210.0 | 90.0 | 0    | 0    | 723.0 | 1090.0 | 0.583 | 2.195 | 0.703 | 2.297 | 0.689 | 2.197 | 0.997         | 0.785 | 0.908        | 1.425 |
| 51.7       | 46.1        | 10.8         | 5.0         | 38.9        | 155.0                   | 336.2 | 210.0 | 90.0 | 0    | 36.2 | 686.8 | 1090.0 | 0.627 | 1.953 | 0.733 | 2.527 | 0.689 | 2.197 | 1.018         | 0.737 | 0.893        | 1.495 |
| 51.7       | 42.6        | 17.5         | 8.7         | 38.0        | 155.0                   | 363.6 | 210.0 | 90.0 | 0    | 63.6 | 659.4 | 1090.0 | 0.658 | 1.803 | 0.704 | 2.718 | 0.689 | 2.197 | 1.035         | 0.704 | 0.882        | 1.548 |
| 51.7       | 42.3        | 18.1         | 9.1         | 37.9        | 155.0                   | 366.5 | 210.0 | 90.0 | 0    | 66.5 | 656.5 | 1090.0 | 0.661 | 1.788 | 0.701 | 2.739 | 0.689 | 2.197 | 1.037         | 0.700 | 0.881        | 1.554 |
| 51.7       | 38.8        | 24.9         | 13.6        | 36.7        | 155.0                   | 399.4 | 210.0 | 90.0 | 36.2 | 63.2 | 623.6 | 1090.0 | 0.696 | 1.638 | 0.666 | 2.992 | 0.689 | 2.197 | 1.058         | 0.662 | 0.868        | 1.615 |
| 51.7       | 35.9        | 30.6         | 18.1        | 35.4        | 155.0                   | 432.2 | 210.0 | 90.0 | 72.3 | 59.9 | 590.8 | 1090.0 | 0.727 | 1.512 | 0.631 | 3.273 | 0.689 | 2.197 | 1.084         | 0.621 | 0.855        | 1.676 |

表-7.4.3 最適配合の各指標値

| 実積率<br>試験方法 | ペースト  |            | モルタル    |          |           |           | コンクリート  |         |            |          |
|-------------|-------|------------|---------|----------|-----------|-----------|---------|---------|------------|----------|
|             | uBp/p | $\alpha_0$ | 細骨材かさ容積 |          | 粉粒体かさ容積   |           | 粗骨材かさ容積 |         | 細粗混合骨材かさ容積 |          |
|             |       |            | uS/m    | $\alpha$ | u(S+Bp)/m | $\alpha'$ | uG/c    | $\beta$ | u(G+S)/c   | $\beta'$ |
| JIS法        | 0.658 | 1.803      | 0.704   | 2.718    | 1.035     | 0.704     | 0.689   | 2.197   | 0.882      | 1.548    |

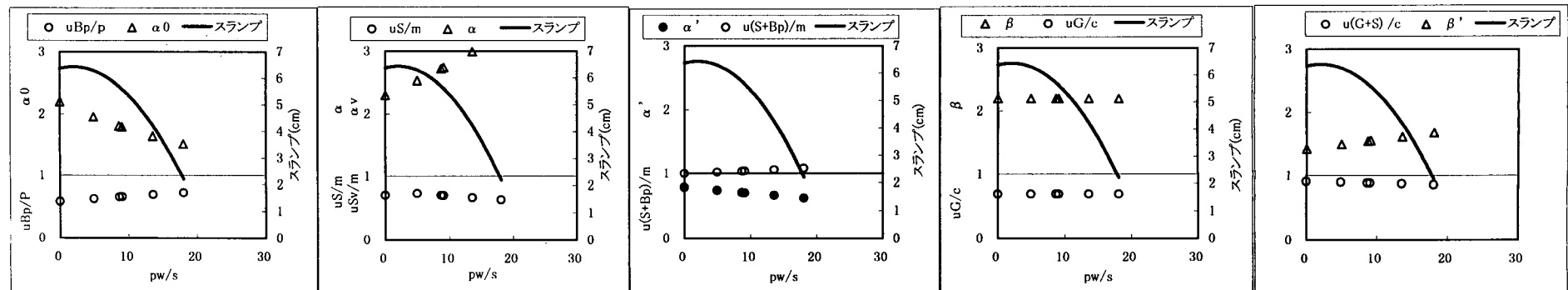
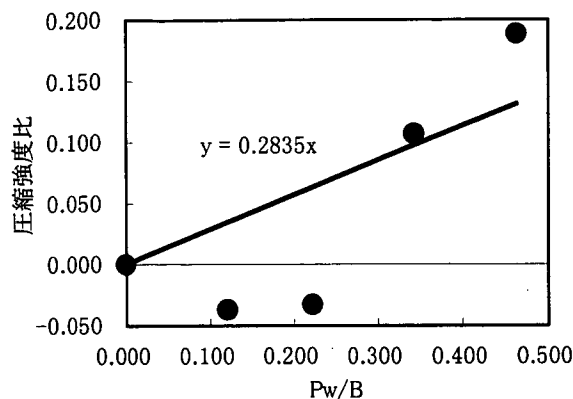
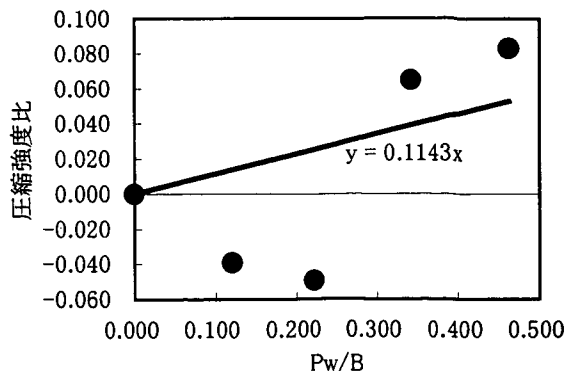


図-7.4.2 微粒分量と各指標値



(a) 28日



(b) 91日

図-7.4.3 微粒分率と強度比の関係(圧縮)

表-7.4.4 微粒分率と強度比

| Pw/B  | 28圧縮   | 91圧縮   | 28引張   |
|-------|--------|--------|--------|
| 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 0.121 | -0.037 | -0.039 | -0.183 |
| 0.222 | -0.033 | -0.049 | -0.112 |
| 0.342 | 0.107  | 0.065  | 0.036  |
| 0.463 | 0.189  | 0.083  | -0.089 |

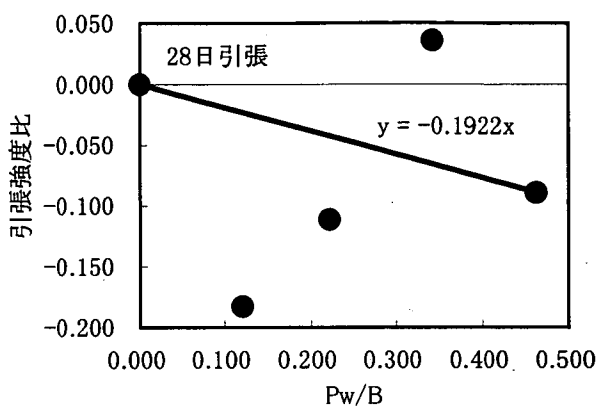


図-7.4.4 微粒分率と強度比の関係(割裂)

表-7.4.5 材齢と強度増加率

| コンクリート | 材齢(日)  |       |        |
|--------|--------|-------|--------|
|        | 28     | 91    | 平均     |
| 圧縮     | 0.284  | 0.114 | 0.199  |
| 引張     | -0.192 |       | -0.192 |

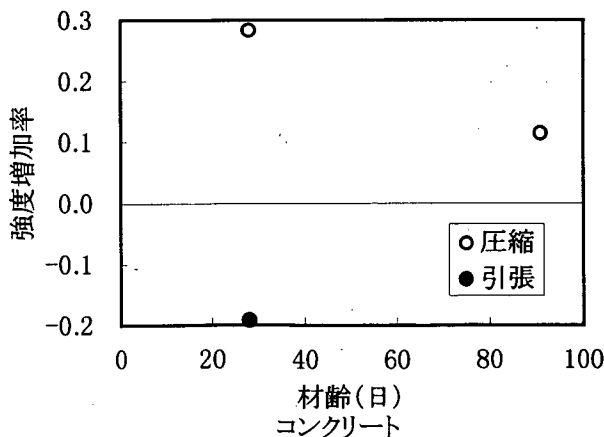


図-7.4.5 材齢と強度増加率

### 7.4.3 凍結融解抵抗性

凍結融解抵抗性を確保するためには適度な連行空気量が必要であるが、微粒分率が少なすぎても、多すぎても連行しにくく、空気量は減少し、凍結融解抵抗性も低下する。今回の試験結果では、AE 剂量が少なくても空気が連行しやすく凍結融解抵抗性を確保するには、細骨材に換算して5～15%程度の微粒分が必要である。

## 8 章 Ks 骨材を用いた高流動コンクリート

### 8. 1 使用材料

#### (1) 骨材

粗骨材は、BとCを1：1で混合したMを用いた。

細骨材も、BとCを1：1で混合したMを用いた。

#### (2) 石粉

石粉は KsB2, KsC2 を 1：1 混合したものを用了。

#### (3) 結合材

セメントは、中庸熟ポルトランドセメントM2 を用了。

フライアッシュはF2 を用い、セメントの 30%を置換した。

#### (4) 混和剤

混和剤には①増粘剤、②高性能AE減水剤、③空気量調整剤の3種類をを使用した。

①の増粘剤 (SFCA2000) は、水溶性セルロースエーテルを主成分とするものである。

②の高性能AE減水剤 (レオビルド SP8SX<sub>2</sub>) はポリカルボン酸エーテル系の複合体を主成分とする、消泡剤入りのものである。

③の空気量調整剤 (マイクロエア 775S) は、変性アルキルカルボン酸化合物陰イオン界面活性剤を主成分とするものである。

### 8. 2 配合試験

#### 8.2.1 配合条件

単位結合材量一定で、石粉量を変化させたとき、スランプフロー50, 60, 70cm, 空気量 4.5%に対応する配合を求めることを目標とした。そのために表-8.2.1 のように因子を6種類とし、各因子ごとの水準を3水準変化させることを考え、実験計画法によって配合試験を行った。

表-8.2.1 因子と水準

| 因子          | 単位                             | 水準    |       |       |
|-------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
|             |                                | 1     | 2     | 3     |
| A 単位水量      | kg/m <sup>3</sup>              | 155   | 160   | 165   |
| B 高性能AE減水剤量 | %                              | 3     | 4     | 5     |
| C 石粉量       | kg/m <sup>3</sup>              | 100   | 200   | 300   |
| D 増粘剤量      | kg/m <sup>3</sup>              | 0     | 0.2   | 0.4   |
| E AE剤量      | %                              | 0.009 | 0.012 | 0.015 |
| F 単位粗骨材かさ容積 | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 0.50  | 0.55  | 0.60  |

交互作用A×B, B×C, B×Dを考慮し、L<sub>27</sub>の直交表へ因子と交互作用をわりつけると、表-8.2.2 のようになる。

表-8.2.2 わりつけ表

| 因子   | A  | B | A×B | A×B | C | D | E | B×C | B×D | F  | B×C | B×D | e  |
|------|----|---|-----|-----|---|---|---|-----|-----|----|-----|-----|----|
| 列番   | 1  | 2 | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8   | 9   | 10 | 11  | 12  | 13 |
| 配合番号 | 1  | 1 | 1   | 1   | 1 | 1 | 1 | 1   | 1   | 1  | 1   | 1   | 1  |
|      | 2  | 1 | 1   | 1   | 2 | 2 | 2 | 2   | 2   | 2  | 2   | 2   | 2  |
|      | 3  | 1 | 1   | 1   | 3 | 3 | 3 | 3   | 3   | 3  | 3   | 3   | 3  |
|      | 4  | 1 | 2   | 2   | 1 | 1 | 1 | 2   | 2   | 2  | 3   | 3   | 3  |
|      | 5  | 1 | 2   | 2   | 2 | 2 | 2 | 3   | 3   | 3  | 1   | 1   | 1  |
|      | 6  | 1 | 2   | 2   | 3 | 3 | 3 | 1   | 1   | 1  | 2   | 2   | 2  |
|      | 7  | 1 | 3   | 3   | 1 | 1 | 1 | 3   | 3   | 3  | 2   | 2   | 2  |
|      | 8  | 1 | 3   | 3   | 2 | 2 | 2 | 1   | 1   | 1  | 3   | 3   | 3  |
|      | 9  | 1 | 3   | 3   | 3 | 3 | 3 | 2   | 2   | 2  | 1   | 1   | 1  |
|      | 10 | 2 | 1   | 2   | 1 | 2 | 3 | 1   | 2   | 3  | 1   | 2   | 3  |
|      | 11 | 2 | 1   | 2   | 2 | 3 | 1 | 2   | 3   | 1  | 2   | 3   | 1  |
|      | 12 | 2 | 1   | 2   | 3 | 1 | 2 | 3   | 1   | 2  | 3   | 1   | 2  |
|      | 13 | 2 | 2   | 3   | 1 | 2 | 3 | 2   | 3   | 1  | 3   | 1   | 2  |
|      | 14 | 2 | 2   | 3   | 1 | 2 | 3 | 1   | 3   | 1  | 2   | 1   | 2  |
|      | 15 | 2 | 2   | 3   | 1 | 3 | 1 | 2   | 1   | 2  | 3   | 2   | 3  |
|      | 16 | 2 | 3   | 1   | 2 | 1 | 2 | 3   | 3   | 1  | 2   | 2   | 3  |
|      | 17 | 2 | 3   | 1   | 2 | 2 | 3 | 1   | 1   | 2  | 3   | 3   | 1  |
|      | 18 | 2 | 3   | 1   | 2 | 3 | 1 | 2   | 2   | 3  | 1   | 1   | 2  |
|      | 19 | 3 | 1   | 3   | 2 | 1 | 3 | 2   | 1   | 3  | 2   | 1   | 3  |
|      | 20 | 3 | 1   | 3   | 2 | 2 | 1 | 3   | 2   | 1  | 3   | 2   | 1  |
|      | 21 | 3 | 1   | 3   | 2 | 3 | 2 | 1   | 3   | 2  | 1   | 3   | 2  |
|      | 22 | 3 | 2   | 1   | 3 | 1 | 3 | 2   | 2   | 1  | 3   | 3   | 2  |
|      | 23 | 3 | 2   | 1   | 3 | 2 | 1 | 3   | 3   | 2  | 1   | 1   | 3  |
|      | 24 | 3 | 2   | 1   | 3 | 3 | 2 | 1   | 1   | 3  | 2   | 2   | 1  |
|      | 25 | 3 | 3   | 2   | 1 | 1 | 3 | 2   | 3   | 2  | 1   | 2   | 1  |
|      | 26 | 3 | 3   | 2   | 1 | 2 | 1 | 3   | 1   | 3  | 2   | 3   | 2  |
|      | 27 | 3 | 3   | 2   | 1 | 3 | 2 | 1   | 2   | 1  | 3   | 1   | 3  |

注)数字は水準を表す(表-8.2.1)

## 8.2.2 配合試験

表-8.2.2 に基づく配合は表-8.2.3 のとおりである。

各配合について、スランブフロー試験、空気量試験、28 日、91 日に圧縮および割裂引張強度試験を行った。試験方法は以下のとおりである。

### (1) 練混ぜ方法

細骨材、石粉、結合材を投入して 10 秒空練りしたあと、水を入れて 30 秒練り混ぜ、粗骨材を入れて 120 秒練り混ぜた。そのあと 5 分間静置しておき、排出前に 30 秒再度練り混ぜた。その間約 10 分であった。

### (2) スランブフロー試験

スランブフロー試験は、土木学会規準 (案)「スランブフロー試験」に準じてスランブフロー値を測定した。そのほかにスランブ、フロー50cm 時間、フロー停止時間も測定した。

### (3) 空気量試験

空気量は土木学会規準 (案)「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法 (空気室圧力法)」の B 法に準じ、試料を 3 層に分けて詰め、各層を 10 回突き、木づちで 5 回程度たたいた。

### (4) 強度試験

強度試験用の供試体作成も土木学会規準 (案)「強度試験用供試体の作り方」の B 法に準じた。

圧縮強度試験は JIS A 1108、割裂引張試験は JIS A 1113 に準じた。圧縮試験時には縦ひずみ、横ひずみも

測定し、ヤング係数、ポアソン比も求めた。

### 8.2.3 配合試験結果

配合試験結果は表-8.2.4 のとおりであった。

#### (1) スランプフロー

スランプとスランプフローの関係を図-8.2.1 に示す。

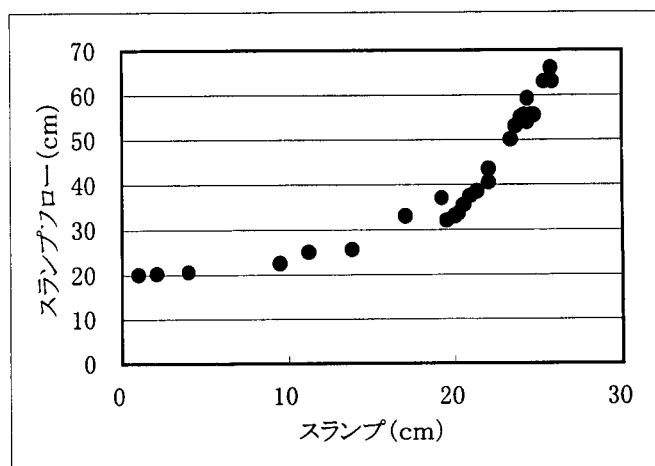


図-8.2.1 スランプとスランプフローの関係

スランプが5 cm 程度まではほとんど底部の拡がりはない。

スランプ5 cm 以上になると徐々に広がるものの、20cm 程度でスランプフローは30cm 程度とわずかである。ところがスランプが20cm を超えるとスランプフローは急激に増加している。そこでスランプ20cm (スランプフロー約30cm) 以上について、スランプフローと表-8.2.1 の6因子による重回帰を行うと次式のようになった。

$$Sf = 0.893A + 6.22B + 0.015C - 0.0028D - 7.09E + 266.2F - 301.3 \quad (8.2.1)$$

(r=0.966)

ここに、Sf : スランプフロー(cm)

A~F : 因子

式(8.2.1)より、単位水量A、高性能AE減水剤量Bが増えればスランプフローは大きくなり、増粘剤Dが増えると小さくなるという一般的な傾向を示している。しかし、石粉量Cはわずかではあるが増えればスランプフローも大きくなる結果となっており、増粘効果が期待できない結果となった。この理由は、使用した石粉は表-3.2.3のように平均径が大きく、比表面積が小さいためと考えられる。

今回、実験計画法に基づき実験を行ったが、図-8.2.1のように流動性状が良い場合と硬い場合に分かれたので、流動性状のよいスランプフローが30cm以上の結果をもとに、所定のスランプフローが得られる配合を求める。

図-8.2.2 に重回帰分析の結果と実測値の関係を示す。

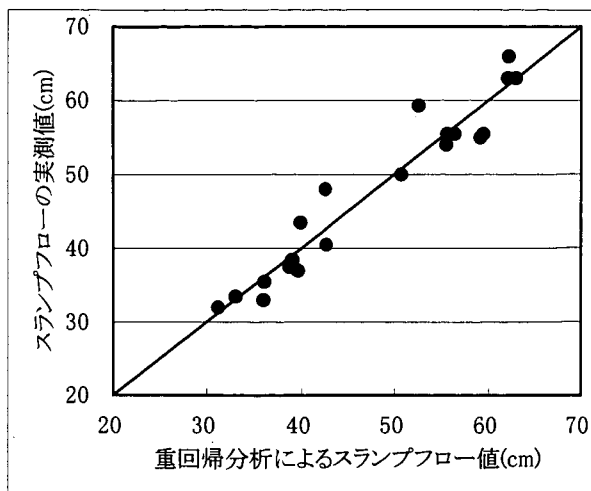


図-8.2.2 スランプフロー値の重回帰分析結果

## (2) 空気量

全配合についても6因子による空気量の重回帰分析を行った結果は次式のとおりである。図-8.2.3 に重回帰分析の結果と実測値の関係を示す。

$$\text{Air} = -0.110A - 0.461B + 0.00383C + 0.00136D + 0.444E - 7.22F + 24.8 \quad (8.2.2)$$

(r=0.871)

ここに、Air：空気量（%）

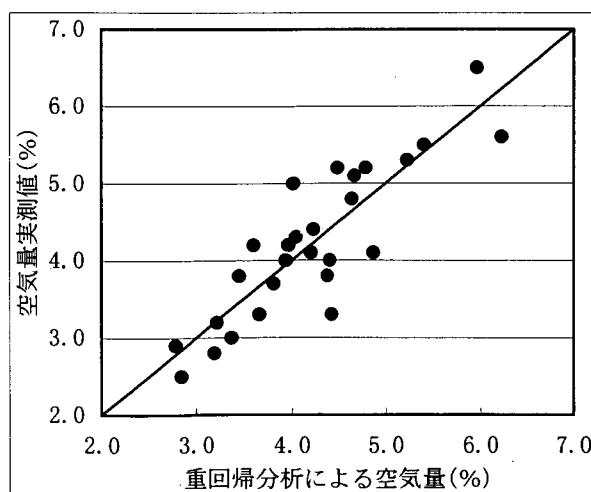


図-8.2.3 空気量の重回帰分析結果

## (3) 強度試験

圧縮および割裂引張強度試験結果は表-8.2.4 のとおりであった。

単位水量を変化させた時の粉体水比と圧縮強度、割裂引張強度の関係は、図－8.2.4、図－8.2.5 のとおり  $W=155\text{kg/m}^3$  のときは粉体水比と正の相関関係があるが、 $W=160, 165\text{kg/m}^3$  の場合は粉体水比にかかわらず強度はほぼ一定である。

8.2.4 配 合

ペースト、モルタルの粘性試験、コンクリート試験を行った石粉量と目標スランブフローの組み合わせは、表－8.2.5 のように石粉量を 100, 200, 300 $\text{kg/m}^3$ 、スランブフロー50, 60, 70 $\text{cm}$  である。石粉量 100, 300 $\text{kg/m}^3$  のスランブフロー50, 70 $\text{cm}$  の黒丸は、ペースト、モルタルの粘性試験を行った。

表－8.2.5 石粉量とスランブフローの組合せ

| 石粉量<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | 目標<br>スランブフロー<br>( $\text{cm}$ ) |    |    |
|----------------------------|----------------------------------|----|----|
|                            | 50                               | 60 | 70 |
| 100                        | ●                                | ○  | ●  |
| 200                        | ○                                | ○  | ○  |
| 300                        | ●                                | ○  | ●  |

○:ペースト、モルタル、コンクリートの試験  
●:ペースト、モルタルの粘性試験

配合試験の結果から求めた表－8.2.5 の組合せの配合を表－8.2.6 に示す。

表－8.2.6 高流動コンクリートの配合

| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランブ<br>フロー<br>(cm) | 目標<br>空気量<br>(%) | W/B<br>(%) | 粉体<br>水比 | 細骨<br>材率<br>s/a<br>(%) | 単位<br>粗骨材<br>かさ<br>容積<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |                      |     |     |    |     |     |      |     |      |        |        |
|--------------------------|---------------------------|------------------|------------|----------|------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|-----|-----|----|-----|-----|------|-----|------|--------|--------|
|                          |                           |                  |            |          |                        |                                                            | W                        | B                    | S   |     |    |     | G   | 混和剤＊ |     |      |        |        |
|                          |                           |                  |            |          |                        |                                                            |                          |                      |     |     |    |     |     | ①    | ②   |      | ③      |        |
|                          |                           |                  |            |          |                        |                                                            |                          |                      |     |     |    |     |     | 単位量  | B×% | 単位量  | B×%    | 単位量    |
| 200                      | 50                        | 4.5              | 53.3       | 3.55     | 45.5                   | 0.58                                                       | 160                      | 300<br>C=210<br>F=90 | 931 | 200 | 67 | 664 | 882 | 0.2  | 3.7 | 11.1 | 0.0165 | 0.0495 |
| 100                      | 60                        |                  | 53.3       | 2.95     | 46.9                   | 0.60                                                       | 160                      |                      | 886 | 100 | 72 | 714 | 913 | 0.3  | 4.0 | 12.0 | 0.0204 | 0.0612 |
| 200                      | 60                        |                  | 53.3       | 3.55     | 45.5                   | 0.58                                                       | 160                      |                      | 931 | 200 | 67 | 664 | 882 | 0.2  | 4.1 | 12.3 | 0.0189 | 0.0567 |
| 300                      | 60                        |                  | 55.0       | 3.96     | 39.3                   | 0.60                                                       | 165                      |                      | 887 | 300 | 54 | 533 | 913 | 0.1  | 5.0 | 15.0 | 0.0174 | 0.0522 |
| 200                      | 70                        |                  | 53.3       | 3.55     | 45.5                   | 0.58                                                       | 160                      |                      | 931 | 200 | 67 | 664 | 882 | 0.2  | 4.7 | 14.1 | 0.0213 | 0.0639 |

\*) 混和剤 ①増粘剤(SFCA2000)  
②高性能AE減水剤(レオピルトSP8SX<sub>2</sub>)  
③空気量調整剤(マイクロエア775S)

表-8.2.3 試験配合

| 配合<br>番号 | A        | B                     | C       | D        | E        | F                     | 骨材の組合せ |         | 水結合<br>材比<br>W/B<br>(%) | 粉体<br>水比 | 細骨<br>材率<br>s/a<br>(%) | 単位<br>粗骨材<br>かさ<br>容積<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |    |      |         |     |         |     |      |   |    |       |       |
|----------|----------|-----------------------|---------|----------|----------|-----------------------|--------|---------|-------------------------|----------|------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------|-----|-----|----|------|---------|-----|---------|-----|------|---|----|-------|-------|
|          | 単位<br>水量 | 高性能<br>AE<br>減水<br>剤量 | 石粉<br>量 | 増粘<br>剤量 | AE<br>剤量 | 単位<br>粗骨材<br>かさ<br>容積 |        |         |                         |          |                        |                                                            | 粗骨材                      | 細骨材 | W   | B  | S    |         |     |         | G   | 混和剤* |   |    |       |       |
|          |          |                       |         |          |          |                       | ①      | ②       |                         |          |                        |                                                            |                          |     |     |    | ③    |         |     |         |     |      |   |    |       |       |
|          |          |                       |         |          |          |                       |        | 単位<br>量 |                         |          |                        |                                                            |                          |     |     |    | B×%  | 単位<br>量 | B×% | 単位<br>量 |     |      |   |    |       |       |
| 1        | 1        | 1                     | 1       | 1        | 1        | 1                     | M      | M       | 51.7                    | 3.15     | 56.1                   | 0.50                                                       | 155                      | 300 | 210 | 90 | 1064 | 100     | 89  | 875     | 760 | 0    | 3 | 9  | 0.009 | 0.027 |
| 2        | 1        | 1                     | 2       | 2        | 2        | 2                     |        |         |                         | 3.69     | 48.7                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 989  | 200     | 73  | 716     | 837 | 0.2  | 3 | 9  | 0.012 | 0.036 |
| 3        | 1        | 1                     | 3       | 3        | 3        | 3                     |        |         |                         | 4.23     | 40.3                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 913  | 300     | 56  | 557     | 913 | 0.4  | 3 | 9  | 0.015 | 0.045 |
| 4        | 1        | 2                     | 1       | 1        | 1        | 2                     |        |         |                         | 3.11     | 51.7                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 988  | 100     | 82  | 806     | 837 | 0    | 4 | 12 | 0.009 | 0.027 |
| 5        | 1        | 2                     | 2       | 2        | 2        | 3                     |        |         |                         | 3.65     | 44.0                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 913  | 200     | 66  | 647     | 913 | 0.2  | 4 | 12 | 0.012 | 0.036 |
| 6        | 1        | 2                     | 3       | 3        | 3        | 1                     |        |         |                         | 4.33     | 50.3                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1065 | 300     | 70  | 695     | 760 | 0.4  | 4 | 12 | 0.015 | 0.045 |
| 7        | 1        | 3                     | 1       | 1        | 1        | 3                     |        |         |                         | 3.06     | 47.3                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 912  | 100     | 75  | 737     | 913 | 0    | 5 | 15 | 0.009 | 0.027 |
| 8        | 1        | 3                     | 2       | 2        | 2        | 1                     |        |         |                         | 3.74     | 53.4                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1065 | 200     | 80  | 785     | 760 | 0.2  | 5 | 15 | 0.012 | 0.036 |
| 9        | 1        | 3                     | 3       | 3        | 3        | 2                     |        |         |                         | 4.28     | 45.3                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 989  | 300     | 63  | 626     | 837 | 0.4  | 5 | 15 | 0.015 | 0.045 |
| 10       | 2        | 1                     | 1       | 2        | 3        | 3                     | M      | M       | 53.3                    | 2.96     | 46.9                   | 0.60                                                       | 160                      | 300 | 210 | 90 | 899  | 100     | 74  | 725     | 913 | 0.2  | 3 | 9  | 0.015 | 0.045 |
| 11       | 2        | 1                     | 2       | 3        | 1        | 1                     |        |         |                         | 3.61     | 53.0                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1052 | 200     | 78  | 774     | 760 | 0.4  | 3 | 9  | 0.009 | 0.027 |
| 12       | 2        | 1                     | 3       | 1        | 2        | 2                     |        |         |                         | 4.14     | 44.9                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 976  | 300     | 62  | 614     | 837 | 0    | 3 | 9  | 0.012 | 0.036 |
| 13       | 2        | 2                     | 1       | 2        | 3        | 1                     |        |         |                         | 3.05     | 55.8                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1051 | 100     | 87  | 864     | 760 | 0.2  | 4 | 12 | 0.015 | 0.045 |
| 14       | 2        | 2                     | 2       | 3        | 1        | 2                     |        |         |                         | 3.57     | 48.3                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 976  | 200     | 71  | 705     | 837 | 0.4  | 4 | 12 | 0.009 | 0.027 |
| 15       | 2        | 2                     | 3       | 1        | 2        | 3                     |        |         |                         | 4.10     | 39.8                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 900  | 300     | 55  | 545     | 913 | 0    | 4 | 12 | 0.012 | 0.036 |
| 16       | 2        | 3                     | 1       | 2        | 3        | 2                     |        |         |                         | 3.00     | 51.3                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 975  | 100     | 81  | 795     | 837 | 0.2  | 5 | 15 | 0.015 | 0.045 |
| 17       | 2        | 3                     | 2       | 3        | 1        | 3                     |        |         |                         | 3.53     | 43.6                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 900  | 200     | 64  | 636     | 913 | 0.4  | 5 | 15 | 0.009 | 0.027 |
| 18       | 2        | 3                     | 3       | 1        | 2        | 1                     |        |         |                         | 4.18     | 49.9                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1052 | 300     | 69  | 683     | 760 | 0    | 5 | 15 | 0.012 | 0.036 |
| 19       | 3        | 1                     | 1       | 3        | 2        | 2                     | M      | M       | 55.0                    | 2.90     | 50.9                   | 0.55                                                       | 165                      | 300 | 210 | 90 | 962  | 100     | 79  | 783     | 837 | 0.4  | 3 | 9  | 0.012 | 0.036 |
| 20       | 3        | 1                     | 2       | 1        | 3        | 3                     |        |         |                         | 3.41     | 43.1                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 886  | 200     | 63  | 623     | 913 | 0    | 3 | 9  | 0.015 | 0.045 |
| 21       | 3        | 1                     | 3       | 2        | 1        | 1                     |        |         |                         | 4.05     | 49.5                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1039 | 300     | 68  | 671     | 760 | 0.2  | 3 | 9  | 0.009 | 0.027 |
| 22       | 3        | 2                     | 1       | 3        | 2        | 3                     |        |         |                         | 2.86     | 46.4                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 886  | 100     | 72  | 714     | 913 | 0.4  | 4 | 12 | 0.012 | 0.036 |
| 23       | 3        | 2                     | 2       | 1        | 3        | 1                     |        |         |                         | 3.50     | 52.6                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1038 | 200     | 77  | 761     | 760 | 0    | 4 | 12 | 0.015 | 0.045 |
| 24       | 3        | 2                     | 3       | 2        | 1        | 2                     |        |         |                         | 4.01     | 44.4                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 963  | 300     | 61  | 602     | 837 | 0.2  | 4 | 12 | 0.009 | 0.027 |
| 25       | 3        | 3                     | 1       | 3        | 2        | 1                     |        |         |                         | 2.95     | 55.4                   | 0.50                                                       |                          |     |     |    | 1038 | 100     | 86  | 852     | 760 | 0.4  | 5 | 15 | 0.012 | 0.036 |
| 26       | 3        | 3                     | 2       | 1        | 3        | 2                     |        |         |                         | 3.46     | 47.9                   | 0.55                                                       |                          |     |     |    | 962  | 200     | 70  | 692     | 837 | 0    | 5 | 15 | 0.015 | 0.045 |
| 27       | 3        | 3                     | 3       | 2        | 1        | 3                     |        |         |                         | 3.96     | 39.3                   | 0.60                                                       |                          |     |     |    | 887  | 300     | 54  | 533     | 913 | 0.2  | 5 | 15 | 0.009 | 0.027 |

\*) 混和剤 ①増粘剤(SFCA2000)

②高性能AE減水剤(レオトル'SP8SX2)

③空気量調整剤(マイクロエア775S)

表-8.2.4 配合試験結果

| 配合<br>番号 | Pw1<br>kg/m <sup>3</sup> | W<br>kg/m <sup>3</sup> | 単位<br>粗骨材<br>かさ<br>容積<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 粉体<br>水比 | 混和剤＊                     |     |       | スランプフロー試験    |                     |                          |                        | 空気量<br>(%) | 28日圧縮試験                          |                                    | 28日割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 91日圧縮試験                          |                                    | 91日割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|--------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-----|-------|--------------|---------------------|--------------------------|------------------------|------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
|          |                          |                        |                                                            |          | ①                        | ②   | ③     | スランプ<br>(cm) | スランプ<br>フロー<br>(cm) | フロー<br>50cm<br>時間<br>(秒) | フロー<br>停止<br>時間<br>(秒) |            | 圧縮<br>強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング<br>係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |                                       | 圧縮<br>強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング<br>係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
|          |                          |                        |                                                            |          | 単位量<br>kg/m <sup>3</sup> | B×% | B×%   |              |                     |                          |                        |            |                                  |                                    |                                       |                                  |                                    |                                       |
| 1        | 100                      | 155                    | 0.50                                                       | 3.15     | 0                        | 3   | 0.009 | 17.0         | 33.0                | —                        | 95.8                   | 5.2        | 18.0                             | 32.7                               | 1.51                                  | 32.7                             | 23.4                               | 1.98                                  |
| 2        | 200                      |                        | 0.55                                                       | 3.69     | 0.2                      | 3   | 0.012 | 20.2         | 33.5                | —                        | 102.3                  | 5.3        | 25.2                             | 39.9                               | 2.14                                  | 39.9                             | 21.6                               | 2.59                                  |
| 3        | 300                      |                        | 0.60                                                       | 4.23     | 0.4                      | 3   | 0.015 | 11.2         | 25.0                | —                        | 55.8                   | 6.5        | 25.6                             | 42.2                               | 2.13                                  | 42.2                             | 22.0                               | 2.85                                  |
| 4        | 100                      |                        | 0.55                                                       | 3.11     | 0                        | 4   | 0.009 | 19.5         | 32.0                | —                        | 131.3                  | 3.3        | 21.5                             | 36.6                               | 1.89                                  | 36.6                             | 23.6                               | 2.60                                  |
| 5        | 200                      |                        | 0.60                                                       | 3.65     | 0.2                      | 4   | 0.012 | 24.3         | 59.3                | 68.5                     | 186.7                  | 4.0        | 26.3                             | 39.7                               | 2.46                                  | 39.7                             | 21.5                               | 2.82                                  |
| 6        | 300                      |                        | 0.50                                                       | 4.33     | 0.4                      | 4   | 0.015 | 2.1          | 20.2                | —                        | —                      | 5.6        | 27.4                             | 43.7                               | 2.22                                  | 43.7                             | 22.6                               | 2.90                                  |
| 7        | 100                      |                        | 0.60                                                       | 3.06     | 0                        | 5   | 0.009 | 23.3         | 50.0                | —                        | 187.5                  | 2.5        | 22.8                             | 37.1                               | 1.94                                  | 37.1                             | 22.6                               | 2.42                                  |
| 8        | 200                      |                        | 0.50                                                       | 3.74     | 0.2                      | 5   | 0.012 | 13.8         | 25.5                | —                        | 236.3                  | 5.1        | 23.8                             | 38.5                               | 1.85                                  | 38.5                             | 22.9                               | 2.67                                  |
| 9        | 300                      |                        | 0.55                                                       | 4.28     | 0.4                      | 5   | 0.015 | 1.0          | 20.0                | —                        | —                      | 5.5        | 28.4                             | 41.1                               | 1.95                                  | 41.1                             | 23.9                               | 2.56                                  |
| 10       | 100                      | 160                    | 0.60                                                       | 2.96     | 0.2                      | 3   | 0.015 | 24.7         | 55.5                | 70.5                     | 161.7                  | 3.8        | 20.9                             | 16.5                               | 1.86                                  | 36.2                             | 21.0                               | 2.63                                  |
| 11       | 200                      |                        | 0.50                                                       | 3.61     | 0.4                      | 3   | 0.009 | 9.5          | 22.5                | —                        | 49.0                   | 6.1        | 23.7                             | 16.8                               | 2.10                                  | 38.1                             | 20.3                               | 2.94                                  |
| 12       | 300                      |                        | 0.55                                                       | 4.14     | 0                        | 3   | 0.012 | 19.2         | 37.0                | —                        | 188.8                  | 5.2        | 21.3                             | 17.9                               | 2.05                                  | 34.8                             | 21.3                               | 2.44                                  |
| 13       | 100                      |                        | 0.50                                                       | 3.05     | 0.2                      | 4   | 0.015 | 20.0         | 33.0                | —                        | 117.8                  | 4.8        | 21.3                             | 18.0                               | 1.93                                  | 35.1                             | 21.4                               | 2.82                                  |
| 14       | 200                      |                        | 0.55                                                       | 3.57     | 0.4                      | 4   | 0.009 | 20.5         | 35.5                | —                        | 114.8                  | 4.3        | 25.8                             | 17.5                               | 1.89                                  | 42.9                             | 21.6                               | 2.68                                  |
| 15       | 300                      |                        | 0.60                                                       | 4.10     | 0                        | 4   | 0.012 | 23.9         | 55.0                | 121.1                    | 245.1                  | 4.2        | 23.0                             | 18.0                               | 2.01                                  | 37.6                             | 21.3                               | 2.75                                  |
| 16       | 100                      |                        | 0.55                                                       | 3.00     | 0.2                      | 5   | 0.015 | 24.3         | 54.0                | 115.6                    | 175.5                  | 3.7        | 22.1                             | 17.3                               | 2.03                                  | 37.3                             | 20.6                               | 2.63                                  |
| 17       | 200                      |                        | 0.60                                                       | 3.53     | 0.4                      | 5   | 0.009 | 24.5         | 55.5                | 100.0                    | 181.1                  | 3.2        | 28.7                             | 18.3                               | 2.02                                  | 45.1                             | 21.5                               | 2.91                                  |
| 18       | 300                      |                        | 0.50                                                       | 4.18     | 0                        | 5   | 0.012 | 20.9         | 37.5                | —                        | 276.4                  | 4.4        | 24.6                             | 18.1                               | 1.93                                  | 37.7                             | 22.8                               | 2.76                                  |
| 19       | 100                      | 165                    | 0.55                                                       | 2.90     | 0.4                      | 3   | 0.012 | 22.0         | 43.5                | —                        | 161.8                  | 5.0        | 23.6                             | 17.4                               | 1.75                                  | 38.7                             | 26.0                               | 2.81                                  |
| 20       | 200                      |                        | 0.60                                                       | 3.41     | 0                        | 3   | 0.015 | 25.3         | 63.0                | 22.1                     | 118.6                  | 4.0        | 20.2                             | 17.0                               | 1.72                                  | 32.6                             | 22.1                               | 2.35                                  |
| 21       | 300                      |                        | 0.50                                                       | 4.05     | 0.2                      | 3   | 0.009 | 4.0          | 20.5                | —                        | —                      | 3.3        | 22.9                             | 16.6                               | 2.00                                  | 36.5                             | 21.4                               | 2.45                                  |
| 22       | 100                      |                        | 0.60                                                       | 2.86     | 0.4                      | 4   | 0.012 | 24.1         | 55.5                | 79.8                     | 156.3                  | 2.8        | 25.0                             | 16.8                               | 1.96                                  | 39.3                             | 21.3                               | 2.91                                  |
| 23       | 200                      |                        | 0.50                                                       | 3.50     | 0                        | 4   | 0.015 | 23.6         | 53.0                | —                        | 194.6                  | 4.1        | 21.2                             | 17.4                               | 1.71                                  | 32.7                             | 21.0                               | 2.47                                  |
| 24       | 300                      |                        | 0.55                                                       | 4.01     | 0.2                      | 4   | 0.009 | 22.0         | 40.5                | —                        | 174.6                  | 4.2        | 25.0                             | 17.4                               | 2.18                                  | 38.7                             | 21.8                               | 2.63                                  |
| 25       | 100                      |                        | 0.50                                                       | 2.95     | 0.4                      | 5   | 0.012 | 21.3         | 38.5                | —                        | 177.4                  | 3.8        | 24.3                             | 17.2                               | 2.14                                  | 36.0                             | 21.4                               | 2.49                                  |
| 26       | 200                      |                        | 0.55                                                       | 3.46     | 0                        | 5   | 0.015 | 25.8         | 63.0                | 35.3                     | 119.6                  | 3.0        | 24.2                             | 18.1                               | 2.02                                  | 35.6                             | 21.5                               | 2.31                                  |
| 27       | 300                      |                        | 0.60                                                       | 3.96     | 0.2                      | 5   | 0.009 | 25.7         | 66.0                | 54.2                     | 207.1                  | 2.9        | 27.3                             | 17.5                               | 1.99                                  | 38.9                             | 21.4                               | 2.79                                  |

\*) 混和剤 ①増粘剤(SFCA2000)

②高性能AE減水剤(レオヒルト'SP8SX2)

③空気量調整剤(マイクロエア775S)

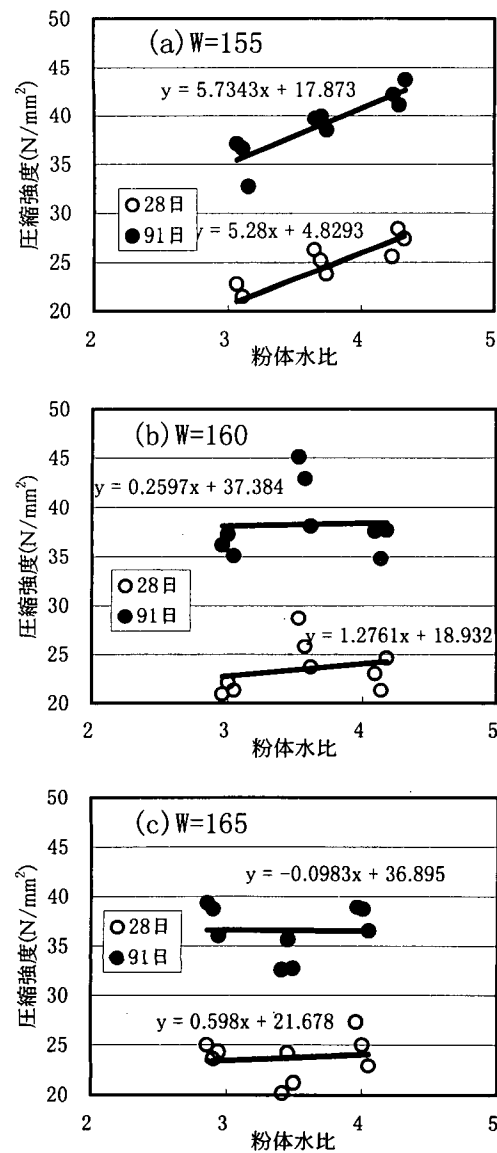


図-8.2.4 粉体水比と圧縮強度の関係

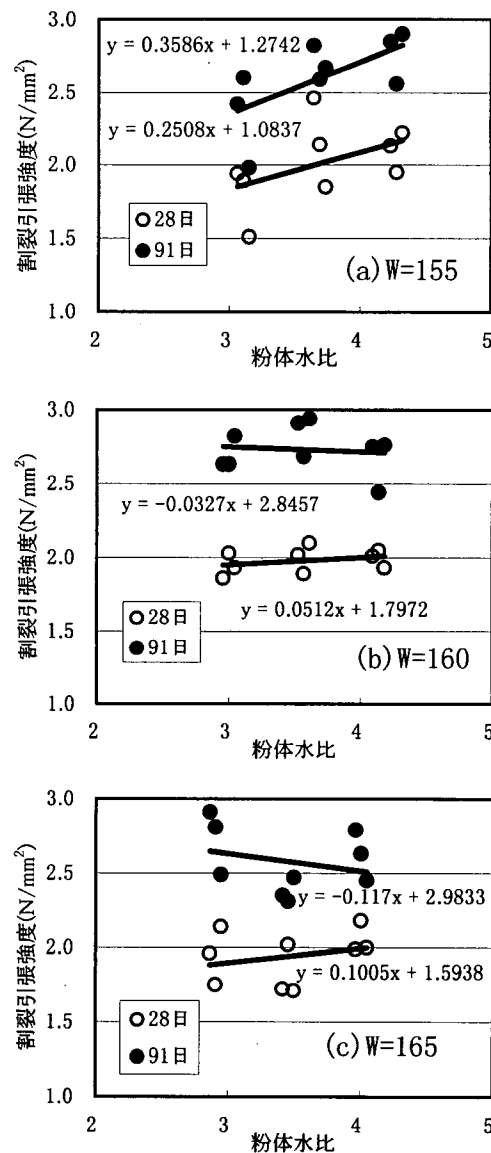


図-8.2.5 粉体水比と割裂引張強度の関係

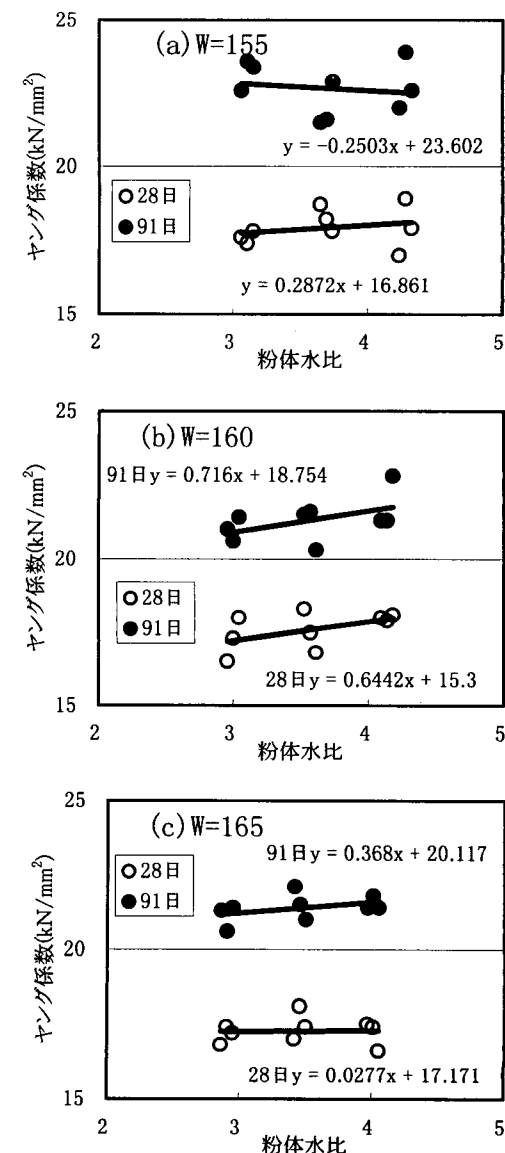


図-8.2.6 圧縮強度とヤング係数の関係

### 8. 3 ペーストおよびモルタルの粘性試験

表－8.2.6 のように決定した配合の高流動コンクリートから粗骨材を取り除いたモルタル，さらに細骨材の粗粒分（0.15mm 以上）を取り除いたペーストのフロー試験，粘性試験を行った。

#### 8.3.1 試験方法

（１）モルタルはフローテーブルを用い，打撃回数 0， 5， 10， 15， 20 打のときにフロー値を測定した。

ペーストはフローが大きいので，ガラス板上（打撃なし）で測定した。

（２）粘性試験

ペーストおよびモルタルの降伏値および塑性粘度は，JIS K 7117（液状の樹脂の回転粘度計による粘度試験方法）に準じて求めた。

試験器は，（株）東京計器製の B 型回転粘度計（型式 BM）を用いた。これは，単一円筒回転粘度計（S 法）であり，SB 3 号スピンドルを用いた。

降伏値，塑性粘度の求め方は以下のとおりである。

① ローターの回転数  $N$  を変え，そのときの各粘度の指示値  $\theta$  を求める。

② 回転数  $N$ ，指示値  $\theta$  より，ずり応力  $s$ ，ずり速度  $D$  は次のように求められる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{ずり応力 } s = 0.298 \theta \\ \text{ずり速度 } D = 0.244 N \end{array} \right\} \text{----- (8.3.1)}$$

③ ずり応力とずり速度は次式（流動方程式）のような関係がある。

$$\text{ずり応力} = \text{降伏値} + \text{塑性粘度} \times \text{ずり速度} \cdots \cdots (8.3.2)$$

④ 式（8.3.2）から降伏値，塑性粘度を求めた。

#### 8.3.2 試験結果

ペースト，モルタルのフロー試験，粘性試験結果を表－8.3.1，8.3.2，図－8.3.1，8.3.2 に示す。

フロー試験結果は，図－8.3.1 のようにペースト，モルタルとも石粉量が増えるとフロー値は小さくなっている。目標スランプフローが大きいほど，わずかではあるがフロー値も大きくなる傾向を示しており，粘性が増加していることを示している。

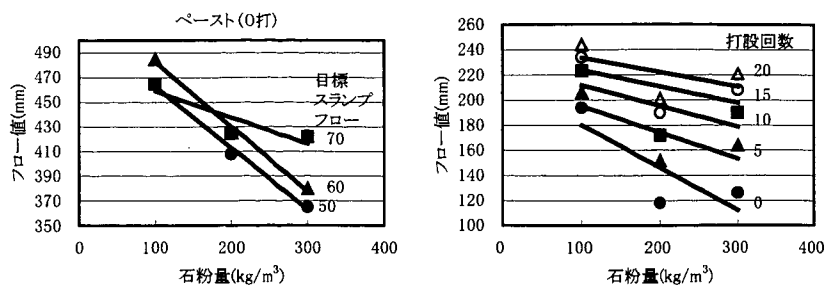
ところが粘性試験では，ペーストの塑性粘度が石粉量の増加にともない大きくなっているほかはフロー値との明確な関係は得られなかった

表-8.3.1 ペースト試験結果

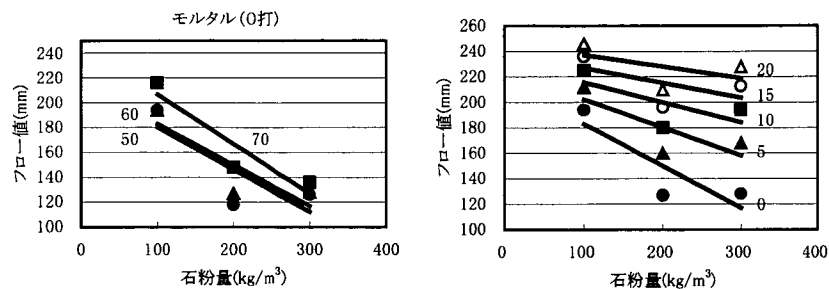
| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランプ・<br>フロー<br>(cm) | 水結合材比<br>W/C+F<br>(%) | ペースト換算単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     | 混和剤   |     |       |     |        | フロー<br>(mm) | 指示値(4号スピンドル使用) |      |           |      | 降伏値   | 塑性<br>粘度 |    |      |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-----|--------|-------------|----------------|------|-----------|------|-------|----------|----|------|
|                          |                            |                       | W                             | B   | C   |     | F   | Pw1   | ①   |       | ②   |        |             | ③              |      | 回転数 (rpm) |      |       |          |    |      |
|                          |                            |                       |                               |     |     |     |     |       | 単位量 | B×%   | 単位量 | B×%    |             | 単位量            | 6    | 12        | 30   |       |          | 60 |      |
|                          |                            |                       |                               |     |     |     |     |       |     |       |     |        |             |                |      |           |      |       |          |    | (Pa) |
| 300                      | 50                         | 55.0                  | 384                           | 698 | 489 | 209 | 698 | 0.233 | 4.5 | 31.41 | 5.0 | 0.1047 | 365         | 12.0           | 20.5 | 46.5      | 90.3 | 0.937 | 1.77     |    |      |
|                          | 60                         |                       |                               |     |     |     |     |       | 5.0 | 34.90 | 5.8 | 0.1215 | 380         | 10.1           | 18.4 | 42.7      | 84.1 | 0.553 | 1.67     |    |      |
|                          | 70                         |                       |                               |     |     |     |     |       | 5.5 | 38.39 | 6.6 | 0.1382 | 422         | 8.9            | 16.5 | 37.0      | 80.0 | 0.042 | 1.60     |    |      |
| 200                      | 50                         | 53.3                  | 413                           | 775 | 543 | 232 | 517 | 0.517 | 3.7 | 28.68 | 5.5 | 0.1279 | 408         | 7.7            | 13.0 | 29.0      | 54.5 | 0.790 | 1.06     |    |      |
|                          | 60                         |                       |                               |     |     |     |     |       | 4.1 | 31.78 | 6.3 | 0.1465 | 425         | 6.7            | 11.4 | 25.3      | 48.0 | 0.660 | 0.93     |    |      |
|                          | 70                         |                       |                               |     |     |     |     |       | 4.7 | 36.42 | 7.1 | 0.1651 | 425         | 6.5            | 11.0 | 25.0      | 46.9 | 0.634 | 0.91     |    |      |
| 100                      | 50                         | 53.3                  | 458                           | 860 | 602 | 258 | 287 | 0.860 | 3.5 | 30.10 | 6.0 | 0.1548 | 465         | 4.4            | 6.7  | 15.0      | 27.0 | 0.567 | 0.51     |    |      |
|                          | 60                         |                       |                               |     |     |     |     |       | 4.0 | 34.40 | 6.8 | 0.1754 | 485         | 3.5            | 6.4  | 11.5      | 20.3 | 0.667 | 0.37     |    |      |
|                          | 70                         |                       |                               |     |     |     |     |       | 4.5 | 38.70 | 7.6 | 0.1961 | 465         | 4.0            | 6.5  | 14.1      | 25.0 | 0.567 | 0.48     |    |      |

表-8.3.2 モルタル試験結果

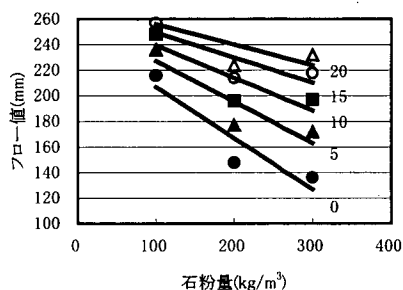
| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランプ・<br>フロー<br>(cm) | 水結合<br>材比<br>W/C+F<br>(%) | モルタル換算単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |      |     |     |      | 混和剤   |          |       |        |        | フロー(mm) |      |     |     |      | 指示値(4号スピンドル使用) |           |      |        | 降伏値<br>(Pa) | 塑性<br>粘度<br>(mPa・s) |    |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-------|----------|-------|--------|--------|---------|------|-----|-----|------|----------------|-----------|------|--------|-------------|---------------------|----|
|                          |                            |                           | W                              | B   | C   |     | F    | S   | Pw1 | Pw0  | S0    | ①<br>単位量 | ②     |        | ③      |         | 落下回数 |     |     |      |                | 回転数 (rpm) |      |        |             |                     |    |
|                          |                            |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       |          | B×%   | 単位量    | B×%    | 単位量     | 0打   | 5打  | 10打 | 15打  | 20打            | 6         | 12   | 30     |             |                     | 60 |
|                          |                            |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       |          |       |        |        |         |      |     |     |      |                |           |      |        |             |                     |    |
| 300                      | 50                         | 55.0                      | 253                            | 459 | 321 | 138 | 1353 | 459 | 82  | 812  | 0.153 | 4.5      | 20.66 | 5.0    | 0.0688 | 126     | 164  | 190 | 208 | 221  | 10.0           | 11.0      | 16.2 | 20.5   | 11.696      | 1.19                |    |
|                          | 5.0                        |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       | 22.95    | 5.8   | 0.0799 | 128    | 168     | 194  | 213 | 228 | 10.0 | 10.5           | 11.4      | 17.2 | 11.209 | 0.80        |                     |    |
|                          | 5.5                        |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       | 25.24    | 6.6   | 0.0909 | 136    | 172     | 197  | 218 | 232 | 5.0  | 5.5            | 10.0      | 15.8 | 4.522  | 1.24        |                     |    |
| 200                      | 50                         | 53.3                      | 240                            | 450 | 315 | 135 | 1398 | 300 | 101 | 997  | 0.300 | 3.7      | 16.65 | 5.5    | 0.0742 | 118     | 152  | 172 | 190 | 201  | 22.5           | 23.2      | 30.0 | 41.7   | 25.114      | 2.20                |    |
|                          | 4.1                        |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       | 18.45    | 6.3   | 0.0850 | 127    | 160     | 180  | 196 | 210 | 15.0 | 17.0           | 22.6      | 31.0 | 17.323 | 1.77        |                     |    |
|                          | 4.7                        |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       | 21.15    | 7.1   | 0.0958 | 148    | 177     | 196  | 214 | 224 | 13.0 | 13.5           | 20.2      | 27.5 | 14.203 | 1.68        |                     |    |
| 100                      | 50                         | 53.3                      | 245                            | 459 | 321 | 138 | 1465 | 153 | 121 | 1191 | 0.459 | 3.5      | 16.06 | 6.0    | 0.0826 | 194     | 206  | 223 | 234 | 244  | 6.7            | 9.0       | 14.8 | 23.2   | 6.769       | 1.82                |    |
|                          | 4.0                        |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       | 18.36    | 6.8   | 0.0936 | 194    | 212     | 225  | 236 | 246 | 5.7  | 8.0            | 14.0      | 22.4 | 5.465  | 1.84        |                     |    |
|                          | 4.5                        |                           |                                |     |     |     |      |     |     |      |       | 20.66    | 7.6   | 0.1047 | 216    | 236     | 248  | 257 | 264 | 5.5  | 7.3            | 13.0      | 21.4 | 4.951  | 1.77        |                     |    |



(a) 目標スランプフロー 50cm

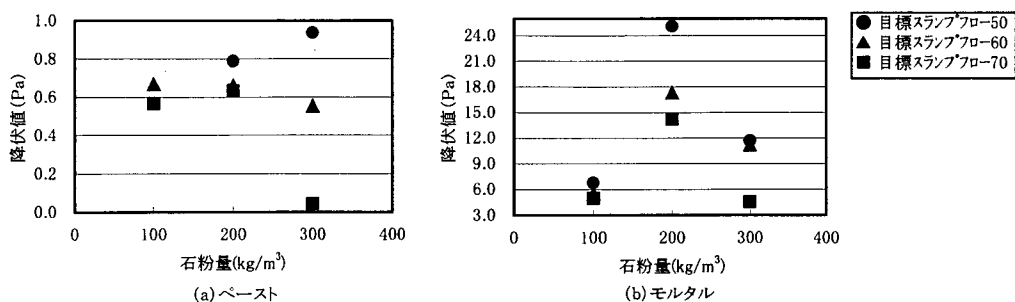


(b) 目標スランプフロー 60cm

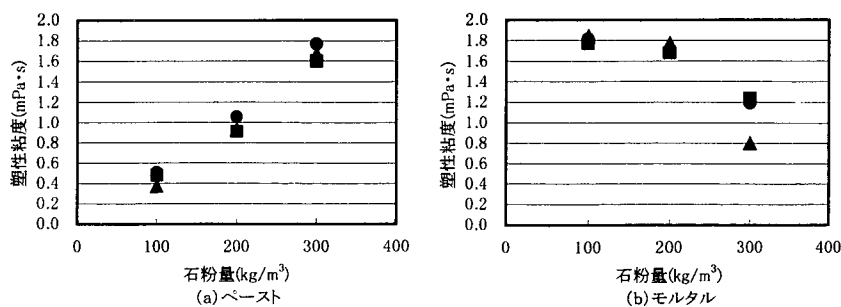


(c) 目標スランプフロー 70cm

図-8.3.1 ペースト、モルタルのフロー試験結果



(A) 降伏値



(B) 塑性粘度

図-8.3.2 ペースト、モルタルの粘性試験結果

## 8. 4 石粉を混入した高流動コンクリートの試験

### 8.4.1 試験方法

試験はフレッシュ時には通常のスランブコーンを使ったスランブフロー試験（以下、小型スランブフロー試験と呼ぶ）、通常のスランブコーンの2倍のものをを使った大型スランブフロー試験、大型Oロート試験、空気量試験を行った。硬化後は、圧縮および割裂引張強度試験、凍結融解試験、乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験を行った。8.2.2 節に記述していない試験法を以下に示す。

#### (1) 練混ぜと各試験

練混ぜ方法は配合試験（8.2.2 節(1)）と同様である。

1種類の配合につきa～cの3バッチ練り混ぜた。各バッチと試験、供試体作成は表-8.4.1のように、各バッチで小型スランブフロー、空気量を測定した。大型スランブフロー試験はaおよびcバッチ、大型Oロート試験はbバッチで行った。

各フレッシュ性状を試験した後、強度試験、凍結融解、乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験用供試体の作成は、図-8.4.1のようにバッチ間のバラツキが出ないようにした。

#### (2) 大型スランブフロー試験

小型スランブフロー試験と同様に、スランブフロー値を測定した。フロー速度は、フロー100cm 到達時間、フロー停止時間を測定して求めた。

大型スランブコーンと小型スランブコーンの比較を写真-8.4.1に示す。

#### (3) 大型Oロート試験

土木学会規準（案）「編斗を用いた流下試験方法」に準じて流下時間を測定した。

大型Oロートを写真-8.4.2に、スランブコーンとの比較を写真-8.4.3に示す。

#### (4) 凍結融解試験および乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験

各試験は7.3.1 節(2),(3)と同様に行った。

凍結融解試験の試験開始材齢は14日および28日とした。

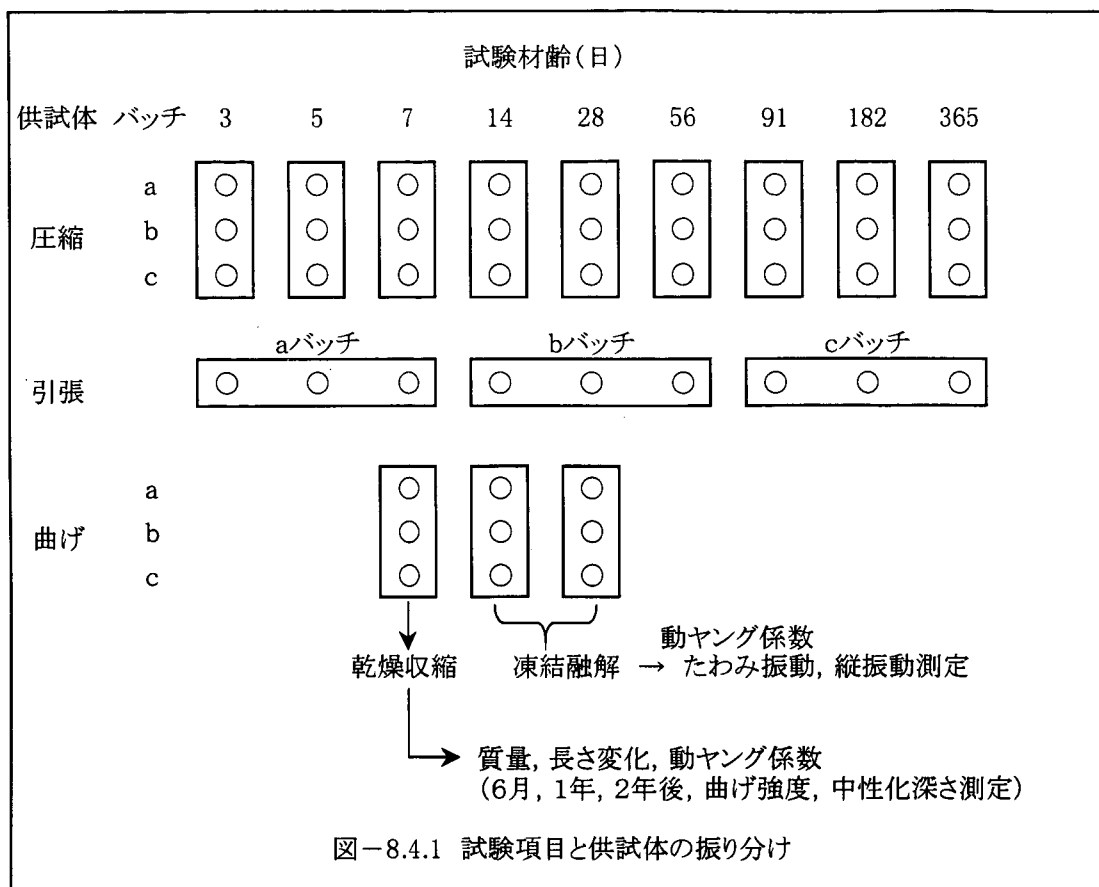
乾燥収縮の開始は7日とし、曲げ強度、中性化深さ試験は6ヶ月、1年、2年（実際には1年10ヶ月）で行った。

表-8.4.1 試験項目・回数

|                       | 配 合 混 合   | 1バッチ       | 3バッチ |
|-----------------------|-----------|------------|------|
|                       |           | 1回(65リットル) | 3回   |
| フ<br>レ<br>ッ<br>シ<br>ュ | 小型スランブフロー | 1回(8)      |      |
|                       | フロー速度     | 1回(8)      | 3回   |
|                       | Vロート流下時間  | 1回(8)      | 3回   |
|                       | 空気量       | 1回         | 3回   |
| 供<br>試<br>体           | 圧縮作製      | 9本(27)     | 27本  |
|                       | 割裂引張作製    | 3本(9)      | 9本   |
|                       | 曲げ作製      | 3本(12)     | 9本   |
| 硬<br>化<br>時           | 圧縮強度      |            | 27本  |
|                       | ひずみ測定     |            | 27回  |
|                       | 割裂引張強度    |            | 9本   |
|                       | 割裂面写真撮影   |            | 9本   |
|                       | 凍結融解      |            | 6本   |
|                       | 乾燥収縮      |            | 3本   |

大型  
試験

スランブフロー a, cバッチ  
Oロート bバッチ



## 8.4.2 試験結果

### (1) フレッシュ性状

フレッシュ性状の試験結果を表-8.4.2 に示す。

小型スランプフローは、目標値 50cm, 60cm は±10cm 以内に入ったが、石粉量が増えるほどスランプフローは小さくなった。目標値 70cm は 61.0cm であった。この原因は、主に高性能AE減水剤でスランプフローを大きくしようとしたが、使用量が石粉 300kg/m<sup>3</sup> のとき結合材量に対して 5.0%, スランプフロー目標値 70cm のとき 4.7%と多く、流動性を増す効果が頭打ちになったものと考えられる。

小型スランプフローと大型スランプフローの関係を図-8.4.2 に示す。大型スランプフローは小型の 2.3 倍になっている。

空気量は、目標スランプフロー50cm の場合 5.4%とやや大きかったものの、そのほかは 4.5±0.5%以内に入っている。

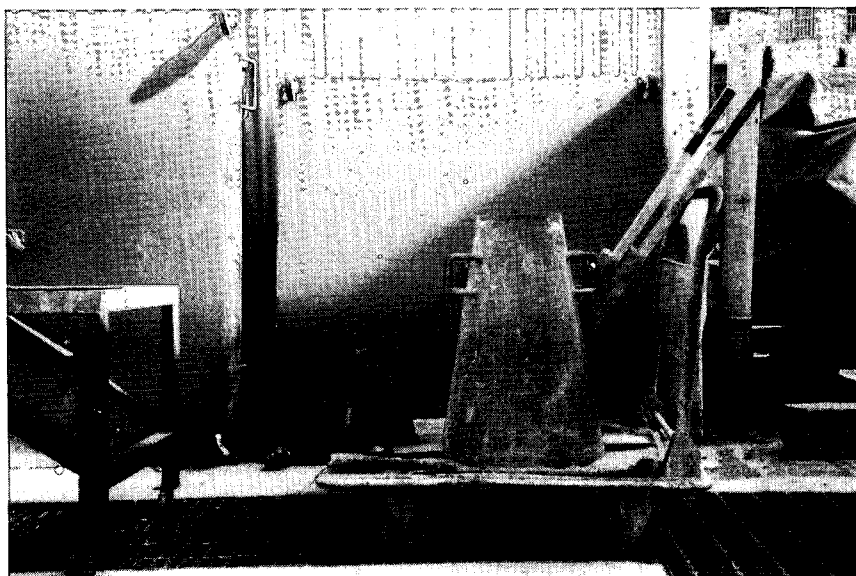


写真-8.4.1 大型スランプコーンと小型スランプコーン

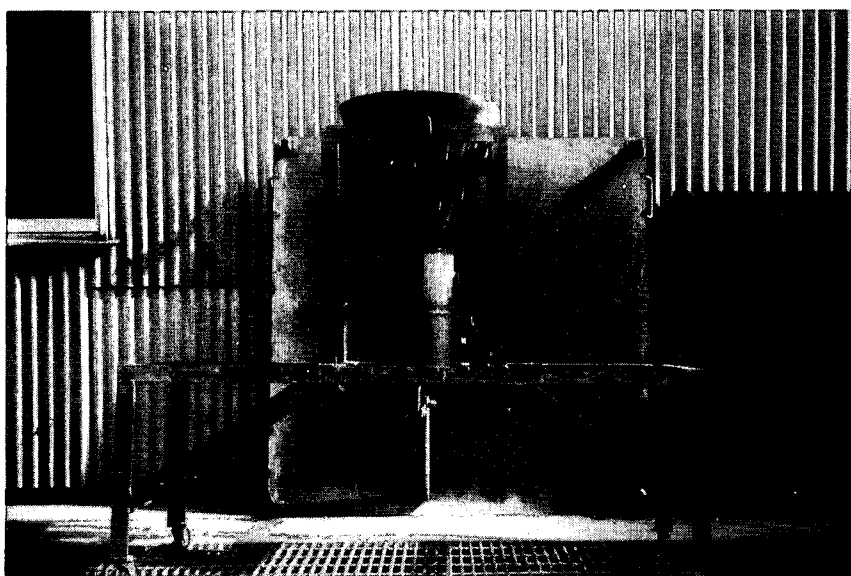


写真-8.4.2 大型Oロート

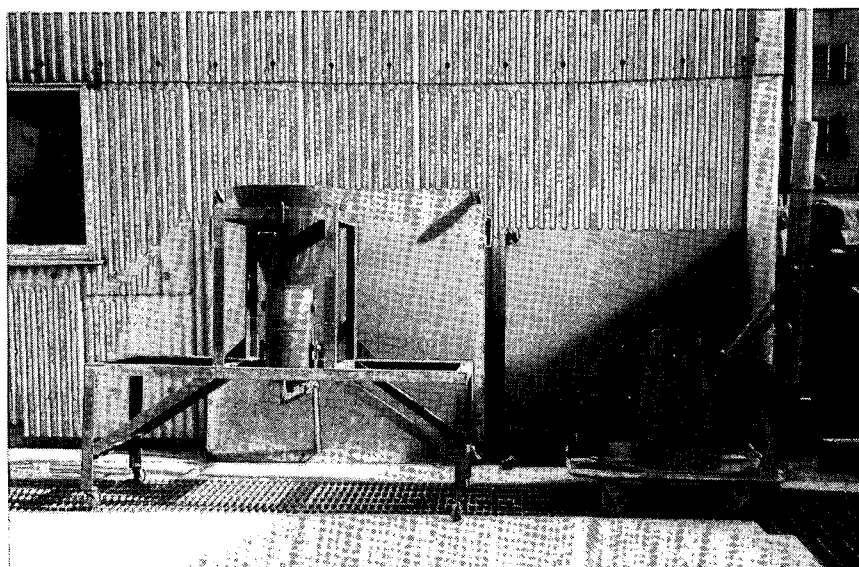


写真-8.4.3 大型Oロートとスランプコーン

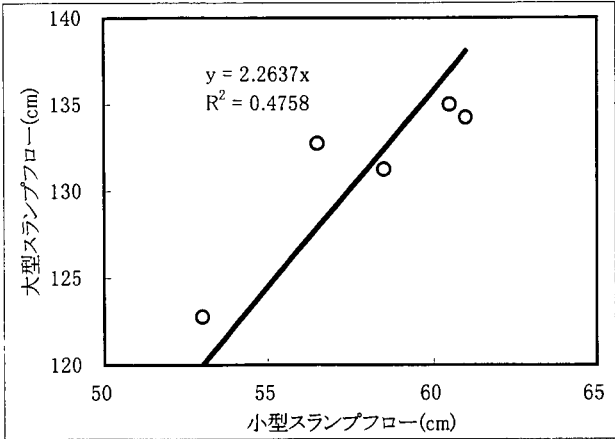


図-8.4.2 小型と大型スランプフローの関係

表-8.4.2 フレッシュ性状  
(a)小型試験

| 試験条件                     |                           | 小型スランプフロー試験 |      |      |      |                 |      |      |      |                    |       |       |       |                |       |       |       | 空気量 (%) |     |     |     |
|--------------------------|---------------------------|-------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|--------------------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|---------|-----|-----|-----|
| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランプ<br>フロー<br>(cm) | スランプ(cm)    |      |      |      | スランプフロー<br>(cm) |      |      |      | フロー50cm到達時間<br>(秒) |       |       |       | フロー停止時間<br>(秒) |       |       |       |         |     |     |     |
|                          |                           | a           | b    | c    | 平均   | a               | b    | c    | 平均   | a                  | b     | c     | 平均    | a              | b     | c     | 平均    | a       | b   | c   | 平均  |
| 200                      | 50                        | 22.8        | 24.5 | 22.7 | 23.3 | 51.0            | 56.0 | 52.0 | 53.0 | 151.4              | 85.3  | 155.7 | 130.8 | 206.4          | 184.0 | 178.0 | 189.5 | 5.5     | 5.3 | 5.5 | 5.4 |
| 100                      | 60                        | 25.1        | 25.3 | 25.6 | 25.3 | 60.5            | 59.5 | 61.5 | 60.5 | 58.5               | 55.9  | 51.0  | 55.1  | 174.6          | 169.9 | 180.0 | 174.8 | 4.5     | 4.2 | 4.2 | 4.3 |
| 200                      | 60                        | 24.8        | 25.3 | 24.2 | 24.8 | 56.0            | 60.5 | 59.0 | 58.5 | 82.1               | 58.4  | 99.8  | 80.1  | 240.5          | 195.7 | 262.2 | 232.8 | 5.0     | 4.8 | 4.9 | 4.9 |
| 300                      | 60                        | 22.7        | 25.0 | 25.2 | 24.3 | 51.0            | 59.5 | 59.0 | 56.5 |                    | 105.4 | 128.4 | 116.9 | 338.1          | 253.2 | 292.7 | 294.7 | 4.3     | 4.6 | 4.3 | 4.4 |
| 200                      | 70                        | 25.6        | 24.8 | 25.4 | 25.3 | 60.5            | 57.5 | 65.0 | 61.0 | 68.9               | 106.3 | 64.8  | 80.0  | 227.4          | 261.8 | 246.8 | 245.3 | 4.0     | 4.3 | 4.2 | 4.2 |

注)a～cはバッチ番号

(b)大型試験

| 試験条件                     |                           | 大型スランプフロー試験     |       |       |                     |      |       |                |       |       | 大型Oロート      |  |
|--------------------------|---------------------------|-----------------|-------|-------|---------------------|------|-------|----------------|-------|-------|-------------|--|
| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランプ<br>フロー<br>(cm) | スランプフロー<br>(cm) |       |       | フロー100cm到達時間<br>(秒) |      |       | フロー停止時間<br>(秒) |       |       | 流下時間<br>(秒) |  |
|                          |                           | a               | c     | 平均    | a                   | c    | 平均    | a              | c     | 平均    | b           |  |
| 200                      | 50                        | 124.0           | 121.5 | 122.8 | 62.7                | 58.1 | 60.4  | 275.9          | 250.4 | 263.2 | 44.8        |  |
| 100                      | 60                        | 137.0           | 133.0 | 135.0 | 25.5                | 29.0 | 27.3  | 285.2          | 229.4 | 257.3 | 21.6        |  |
| 200                      | 60                        | 129.0           | 133.5 | 131.3 | 56.5                | 40.5 | 48.5  | 312.6          | 290.5 | 301.6 | 33.1        |  |
| 300                      | 60                        | 128.0           | 137.5 | 132.8 | 150.0               | 82.3 | 116.2 | 492.0          | 384.0 | 438.0 | 154.1       |  |
| 200                      | 70                        | 135.5           | 133.0 | 134.3 | 41.3                | 58.3 | 49.8  | 314.9          | 342.0 | 328.5 | 63.0        |  |

注)a～cはバッチ番号

(2) 強度試験結果

強度試験結果を表-8.4.3、図-8.4.3～8.4.5 に示したが、石粉量、スランプフローが変化しても強度はほぼ一定であり、これらから強度に及ぼす影響は見受けられない。

圧縮強度とヤング係数の関係は、図-8.4.5 のとおりであった。これは7章 有スランプコンクリートの場合(図-7.3.7) とほぼ同じである。

割裂面積率の結果は表-8.4.4 のとおりである。割裂引張強度と割裂面積率の関係は図-8.4.6 のとおりである。これについても7章の結果(図-7.3.8) とほぼ同じである。

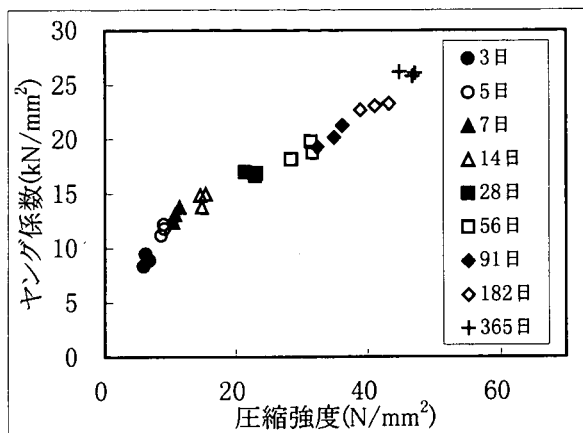


図-8.4.5 圧縮強度とヤング係数の関係

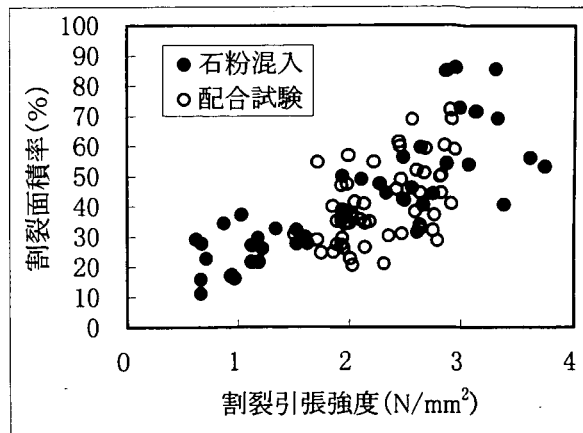


図-8.4.6 割裂引張強度と割裂面積率の関係

表-8.4.3 強度試験結果

(a)圧縮強度

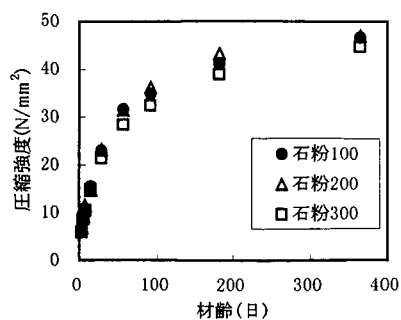
| 試験条件                     |                   | 試験結果                |            | (a)圧縮強度                      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-------------------|---------------------|------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランブ<br>フロー | スランブ<br>フロー<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 圧 縮 強 度 (N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                          |                   |                     |            | 3日                           | 5日   | 7日   | 14日  | 28日  | 56日  | 91日  | 182日 | 365日 |
| 200                      | 50                | 53.0                | 5.4        | 6.52                         | 9.18 | 11.0 | 14.3 | 22.1 | 30.2 | 36.1 | 43.2 | 47.2 |
| 100                      | 60                | 60.5                | 4.3        | 6.18                         | 8.99 | 10.7 | 15.4 | 22.9 | 31.6 | 34.9 | 41.1 | 46.6 |
| 200                      | 60                | 58.5                | 4.9        | 6.77                         | 9.07 | 11.4 | 14.6 | 23.1 | 31.4 | 36.2 | 43.2 | 47.0 |
| 300                      | 60                | 56.5                | 4.4        | 5.87                         | 8.59 | 10.4 | 14.8 | 21.4 | 28.4 | 32.4 | 38.9 | 44.7 |
| 200                      | 70                | 61.0                | 4.2        | 6.52                         | 9.02 | 11.5 | 15.9 | 23.9 | 31.4 | 36.9 | 44.1 | 49.3 |

(b)ヤング係数

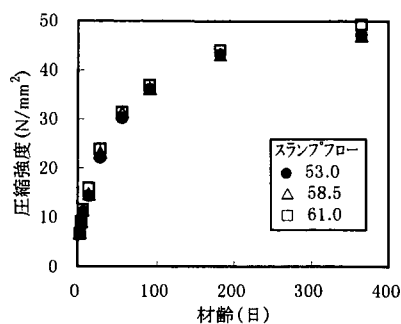
| 試験条件                     |                    | 試験結果                 |            | (D) ヤング係数                   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|--------------------|----------------------|------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランブ・<br>フロー | スランブ・<br>フロー<br>(cm) | 空気量<br>(%) | ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                          |                    |                      |            | 3日                          | 5日   | 7日   | 14日  | 28日  | 56日  | 91日  | 182日 | 365日 |
| 200                      | 50                 | 53.0                 | 5.4        | 9.60                        | 11.4 | 13.2 | 14.5 | 16.5 | 19.7 | 21.2 | 24.2 | 26.2 |
| 100                      | 60                 | 60.5                 | 4.3        | 9.49                        | 12.2 | 13.1 | 15.0 | 16.7 | 18.8 | 20.2 | 23.1 | 25.8 |
| 200                      | 60                 | 58.5                 | 4.9        | 8.88                        | 11.8 | 13.8 | 14.9 | 16.9 | 19.8 | 21.3 | 23.3 | 26.1 |
| 300                      | 60                 | 56.5                 | 4.4        | 8.36                        | 11.2 | 12.4 | 13.8 | 17.0 | 18.2 | 19.3 | 22.7 | 26.2 |
| 200                      | 70                 | 61.0                 | 4.2        | 9.06                        | 11.5 | 13.4 | 15.3 | 17.0 | 19.6 | 21.2 | 23.8 | 27.2 |

(c)割裂引張強度

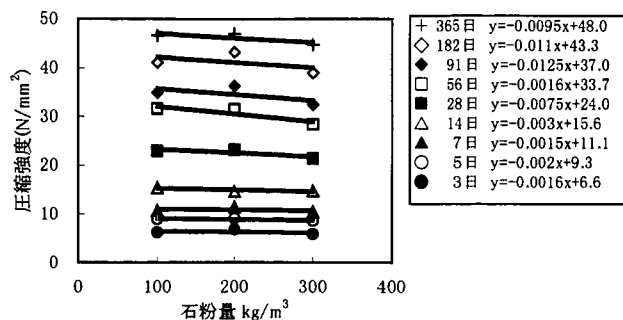
| 試験条件                     |                                | 試験結果                             |            | 割 裂 引 張 強 度 (N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 石粉量<br>kg/m <sup>3</sup> | 目標<br>スランブ <sup>o</sup><br>フロー | スランブ <sup>o</sup><br>フロー<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 3日                               | 5日   | 7日   | 14日  | 28日  | 56日  | 91日  | 182日 | 365日 |
| 200                      | 50                             | 53.0                             | 5.4        | 0.66                             | 1.03 | 1.19 | 1.34 | 1.94 | 2.48 | 2.75 | 3.32 | 3.61 |
| 100                      | 60                             | 60.5                             | 4.3        | 0.67                             | 0.87 | 1.18 | 1.61 | 1.93 | 2.61 | 2.87 | 2.99 | 3.38 |
| 200                      | 60                             | 58.5                             | 4.9        | 0.66                             | 0.97 | 1.12 | 1.53 | 1.98 | 2.33 | 2.64 | 3.13 | 3.30 |
| 300                      | 60                             | 56.5                             | 4.4        | 0.71                             | 0.94 | 1.22 | 1.63 | 2.11 | 2.48 | 2.66 | 2.86 | 3.07 |
| 200                      | 70                             | 61.0                             | 4.2        | 0.62                             | 0.93 | 1.12 | 1.53 | 1.94 | 2.27 | 2.56 | 2.95 | 3.74 |



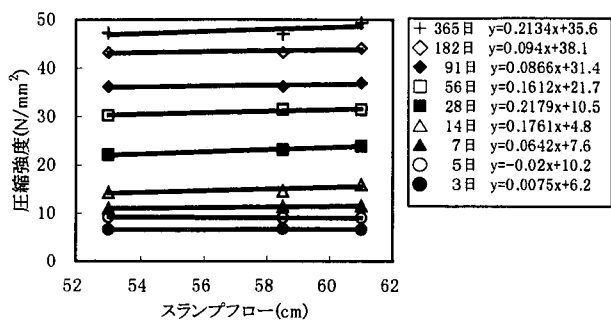
(a-1) 材齢と圧縮強度



(a-2) 材齢と圧縮強度

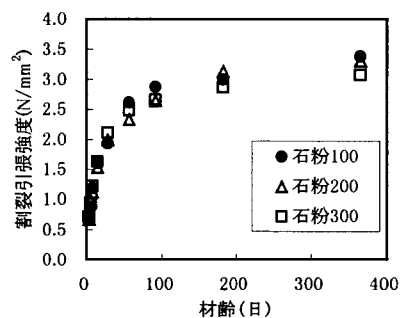


(b) 石粉量と圧縮強度

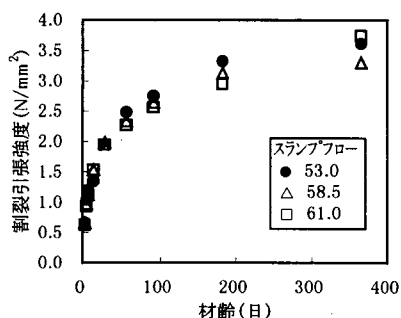


(c) スランプフローと圧縮強度

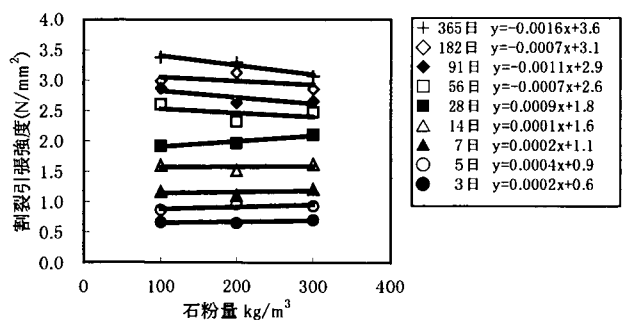
図-8.4.3 圧縮強度



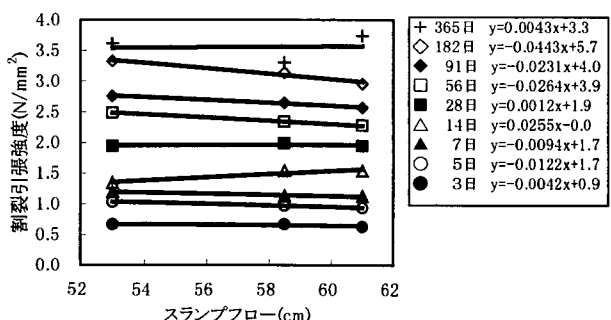
(a-1) 材齢と割裂引張強度



(a-2) 材齢と割裂引張強度



(b) 石粉量と割裂引張強度



(c) スランプフローと割裂引張強度

図-8.4.4 割裂引張強度

表-8.4.4 割裂面積率

| (a) 配合   |   |   |                  |                              |                  | (b) 石粉混入                           |                       |   |   |           |                  |                                    |
|----------|---|---|------------------|------------------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------|---|---|-----------|------------------|------------------------------------|
| 配合<br>番号 | 粗 | 細 | 28日              |                              | 91日              |                                    | 石粉量一<br>目標スランブ<br>フロー | 粗 | 細 | 材齢<br>(日) | 割裂<br>面積率<br>(%) | 割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|          |   |   | 割裂<br>面積率<br>(%) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂<br>面積率<br>(%) | 割裂<br>引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |                       |   |   |           |                  |                                    |
| 1        | M | M | 30.8             | 1.51                         | 47.3             | 1.98                               | 100-60                | M | M | 3         | 27.7             | 0.67                               |
| 2        | M | M | 26.4             | 2.14                         | 38.2             | 2.59                               | 200-50                | M | M | 3         | 15.8             | 0.66                               |
| 3        | M | M | 40.9             | 2.13                         | 60.2             | 2.85                               | 200-60                | M | M | 3         | 11.2             | 0.66                               |
| 4        | M | M | 27.3             | 1.89                         | 51.9             | 2.60                               | 200-70                | M | M | 3         | 29.1             | 0.62                               |
| 5        | M | M | 48.9             | 2.46                         | 50.2             | 2.82                               | 300-60                | M | M | 3         | 22.8             | 0.71                               |
| 6        | M | M | 54.7             | 2.22                         | 72.1             | 2.90                               | 100-60                | M | M | 5         | 34.5             | 0.87                               |
| 7        | M | M | 29.5             | 1.94                         | 45.6             | 2.42                               | 200-50                | M | M | 5         | 37.2             | 1.03                               |
| 8        | M | M | 40.0             | 1.85                         | 51.1             | 2.67                               | 200-60                | M | M | 5         | 16.0             | 0.97                               |
| 9        | M | M | 26.2             | 1.95                         | 68.8             | 2.56                               | 200-70                | M | M | 5         | 16.9             | 0.93                               |
| 10       | M | M | 24.8             | 1.86                         | 32.4             | 2.63                               | 300-60                | M | M | 5         | 17.3             | 0.94                               |
| 11       | M | M | 35.6             | 2.10                         | 59.1             | 2.94                               | 100-60                | M | M | 7         | 29.5             | 1.18                               |
| 12       | M | M | 41.4             | 2.05                         | 61.3             | 2.44                               | 200-50                | M | M | 7         | 21.5             | 1.19                               |
| 13       | M | M | 46.9             | 1.93                         | 44.5             | 2.82                               | 200-60                | M | M | 7         | 27.0             | 1.12                               |
| 14       | M | M | 35.1             | 1.89                         | 59.1             | 2.68                               | 200-70                | M | M | 7         | 21.6             | 1.12                               |
| 15       | M | M | 22.7             | 2.01                         | 32.1             | 2.75                               | 300-60                | M | M | 7         | 26.0             | 1.22                               |
| 16       | M | M | 20.4             | 2.03                         | 44.5             | 2.63                               | 100-60                | M | M | 14        | 29.9             | 1.61                               |
| 17       | M | M | 37.5             | 2.02                         | 69.0             | 2.91                               | 200-50                | M | M | 14        | 32.7             | 1.34                               |
| 18       | M | M | 27.3             | 1.93                         | 37.1             | 2.76                               | 200-60                | M | M | 14        | 27.5             | 1.53                               |
| 19       | M | M | 24.7             | 1.75                         | 49.8             | 2.81                               | 200-70                | M | M | 14        | 32.3             | 1.53                               |
| 20       | M | M | 54.8             | 1.72                         | 30.2             | 2.35                               | 300-60                | M | M | 14        | 27.7             | 1.63                               |
| 21       | M | M | 34.5             | 2.00                         | 59.9             | 2.45                               | 100-60                | M | M | 28        | 35.4             | 1.93                               |
| 22       | M | M | 34.3             | 1.96                         | 41.0             | 2.91                               | 200-50                | M | M | 28        | 38.8             | 1.94                               |
| 23       | M | M | 29.0             | 1.71                         | 30.8             | 2.47                               | 200-60                | M | M | 28        | 38.2             | 1.98                               |
| 24       | M | M | 34.9             | 2.18                         | 33.7             | 2.63                               | 200-70                | M | M | 28        | 50.1             | 1.94                               |
| 25       | M | M | 34.5             | 2.14                         | 42.0             | 2.49                               | 300-60                | M | M | 28        | 49.0             | 2.11                               |
| 26       | M | M | 36.5             | 2.02                         | 21.0             | 2.31                               | 100-60                | M | M | 56        | 31.4             | 2.61                               |
| 27       | M | M | 56.8             | 1.99                         | 28.6             | 2.79                               | 200-50                | M | M | 56        | 42.2             | 2.48                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 200-60                | M | M | 56        | 44.3             | 2.33                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 200-70                | M | M | 56        | 47.5             | 2.27                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 300-60                | M | M | 56        | 56.2             | 2.48                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 100-60                | M | M | 91        | 54.2             | 2.87                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 200-50                | M | M | 91        | 44.2             | 2.75                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 200-60                | M | M | 91        | 59.5             | 2.64                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 200-70                | M | M | 91        | 46.1             | 2.56                               |
|          |   |   |                  |                              |                  |                                    | 300-60                | M | M | 91        | 40.5             | 2.66                               |

## (3) 凍結融解試験結果

表-8.4.6 に試験開始材齢 14 日の結果, 表-8.4.7 に 28 日の結果を示す。これらの結果を 3 本の平均で示したのが表-8.4.5 である。

図-8.4.7 にはサイクルごとの相対動ヤング係数, 図-8.4.8 には質量減少率を示した。

これらの結果から, 各要因ごとに 3 本とも計測可能であった最終サイクルから, 300 サイクルのときの耐久性指数 (DF) を求めると, 表-8.4.5 および図-8.4.9 のようであった。

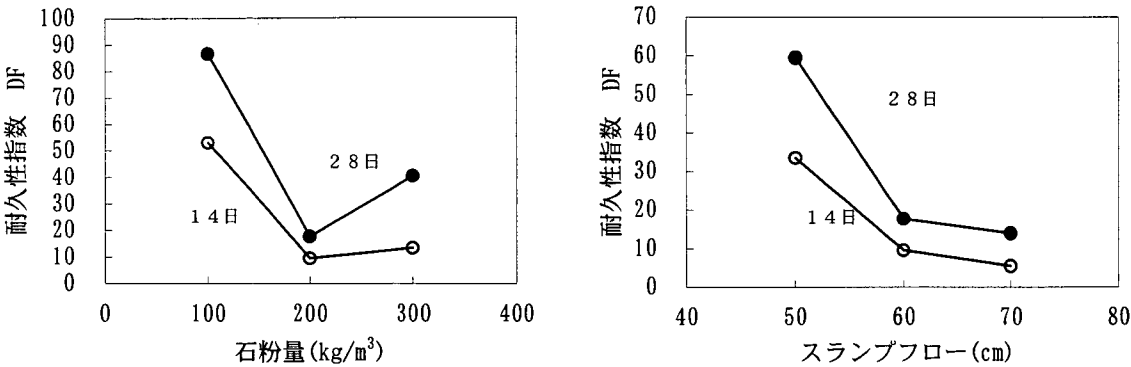
図-8.4.9 より, 目標スランブフロー60cm で石粉量を変化させた場合, 石粉量 100kg/m<sup>3</sup> のとき DF=87 (試験開始材齢 28 日) と良好であった。Ks 骨材の有スランブの凍結融解試験結果は表-7.3.4 より DF=78 (試験開始材齢 14 日) であった。そのほかは凍結融解抵抗性は小さかった。石粉量を 200kg/m<sup>3</sup> 一定とし, 目標スランブフローを変化させた場合は, スランブフローが大きくなるほど耐久性指数は小さくなった。

この原因として, 石粉量が増えるほど, また目標スランブフローが大きくなるほど空気は連行しにくかったこと (表-8.4.5 の空気量), スランブフローを大きくするために高性能 AE 減水剤を大量に使用している

ため粘性が増し、巻きこんだ空気が多くなった（そのために消泡剤入りの高性能AE減水剤を使用した）ことなどが考えられる。

石粉の品質などにより、凍結融解抵抗性を確保するために石粉の使用料には限界がある可能性がある。

なお、試験材齢 14 日の結果は有スランプの結果（表-7.3.4）より小さくなっているのは高性能AE減水剤により強度発現が遅いためと考えられる。



(a) 目標スランプフロー 60cm

(b) 石粉量 200g/m³

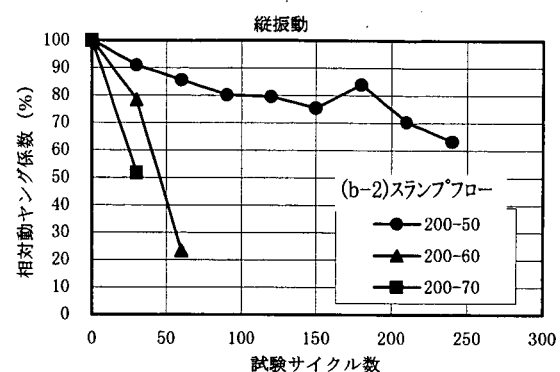
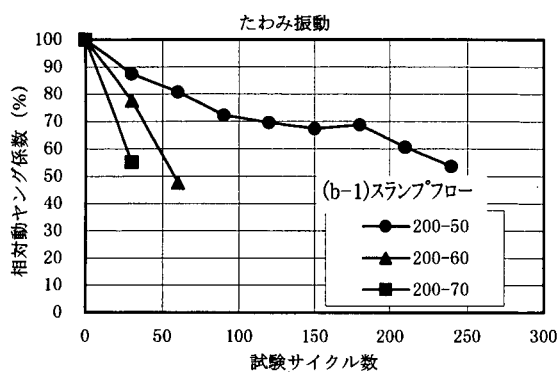
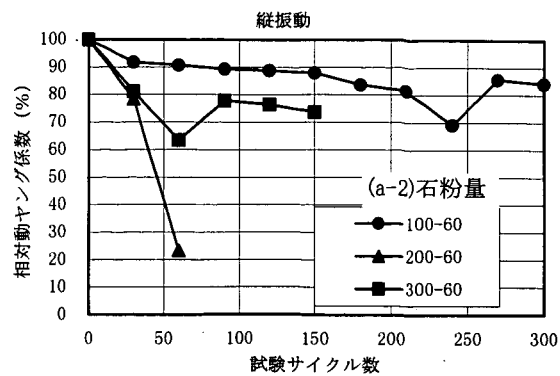
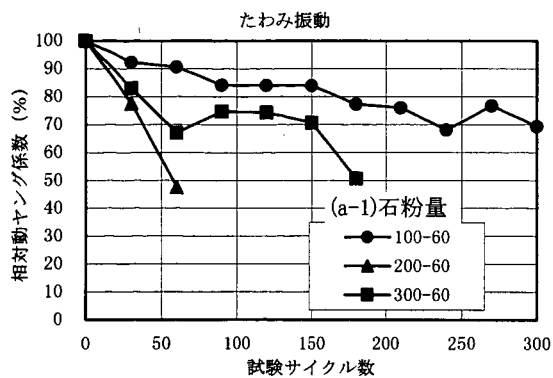
図-8.4.9 耐久性指数

(4) 乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験結果

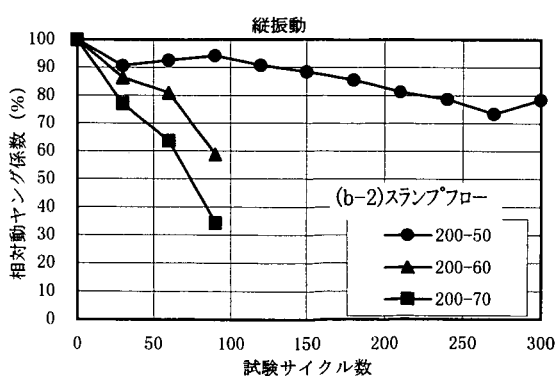
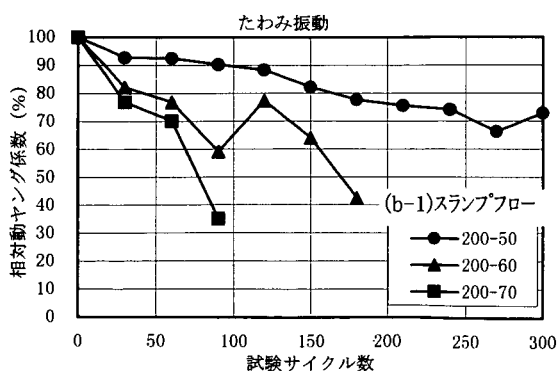
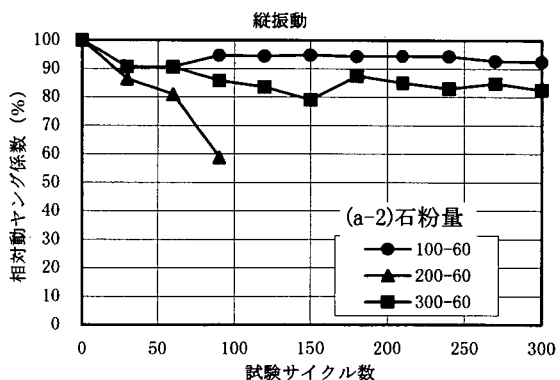
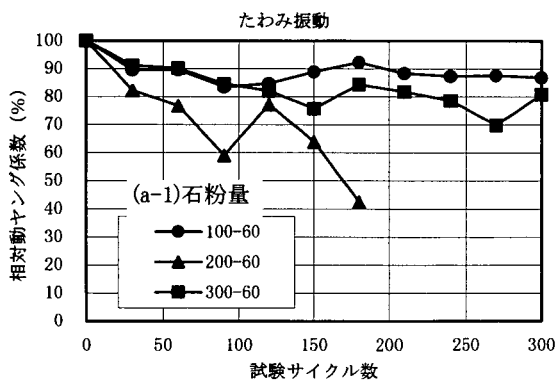
試験結果は表-8.4.8 のとおりであった。中性化深さの詳細な測定結果は表-8.4.9 のとおりである。

長さおよび質量と経時変化を図-8.4.10 に示す。長さ変化は、1 年で有スランプコンクリートでは 0.06% 程度であった（図-7.3.12）が、高流動コンクリートは 0.08% 程度であり、大きい傾向にある。

図-8.4.11 には中性化の経時変化を示す。図-8.4.12 には供試体の各測定面ごとに測定値のばらつきの範囲を示した。図中には式 (7.3.1) の予測値も示した。これについても有スランプコンクリートはほぼ予測値に一致していた（図-7.3.14）が、高流動コンクリートは下面が予測値程度であったが、そのほかの面は大きくなっている。

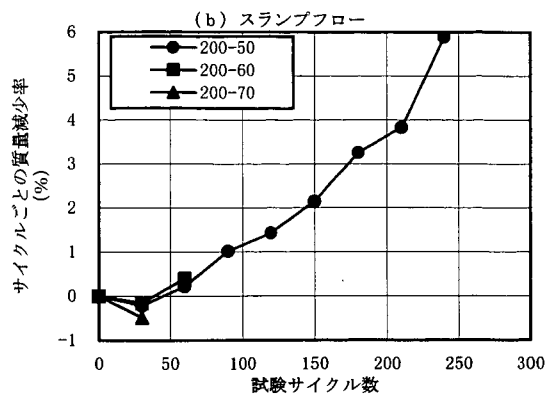
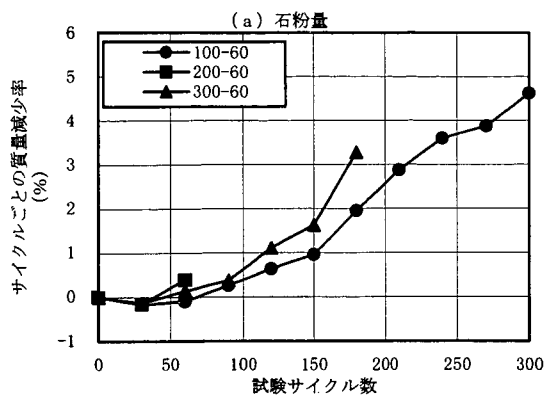


(A) 試験開始材齢 14日

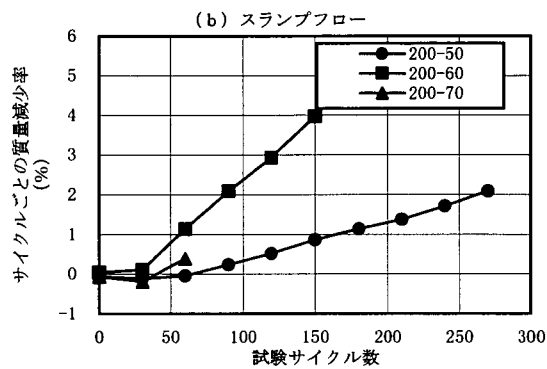
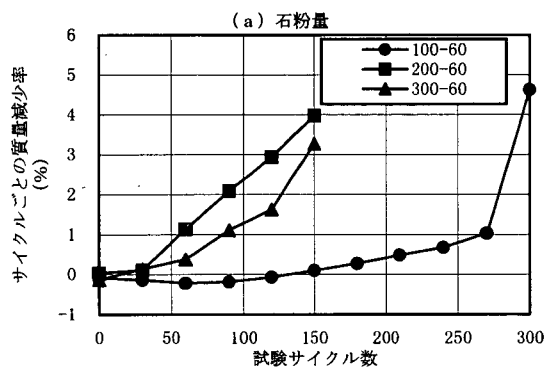


(B) 試験開始材齢 28日

図-8.4.7 相対動ヤング係数



(A) 試験開始材齢 14日



(B) 試験開始材齢 28日

図-8.4.8 質量減少率

表-8.4.5 凍結融解試験結果

| 試験条件 |                   |     | 空気<br>量<br>% | 試験<br>開始<br>材齢<br>日 | 注)   | 初期<br>ヤング<br>係数<br>kN/mm <sup>2</sup> | サイクルごとの相対動ヤング係数 (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 耐久性<br>指数 | サイクルごとの質量減少率(%) |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|------|-------------------|-----|--------------|---------------------|------|---------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|-----------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|--|
| 石粉量  | 目標<br>スランプ<br>フロー |     |              |                     |      |                                       |                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   | 30  |              |                     |      |                                       | 60                  | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 240  | 270  | 300  | 30   | 60        | 90              | 120   | 150   | 180   | 210  | 240  | 270  | 300  |      |  |
| 100  | 60                | 5.4 | 14           | たわみ<br>縦<br>係数比     | 27.3 | 92.3                                  | 90.6                | 84.1 | 84.0 | 83.9 | 77.2 | 76.0 | 68.0 | 76.7 | 69.3 | 53.2 | -0.17     | -0.10           | 0.26  | 0.64  | 0.96  | 1.95 | 2.87 | 3.60 | 3.87 | 4.62 |  |
|      |                   |     |              |                     | 28.5 | 91.7                                  | 90.6                | 89.3 | 88.8 | 87.8 | 83.6 | 81.4 | 69.1 | 85.7 | 84.1 | 57.0 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 1.01                                  | 1.00                | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.92 | 0.94 | 1.18 | 0.89 | 0.89 |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 200  | 50                | 4.3 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 26.8 | 87.4                                  | 80.7                | 72.2 | 69.5 | 67.3 | 68.7 | 60.5 | 53.6 | —    | —    | 33.6 | -0.22     | 0.22            | 1.02  | 1.43  | 2.15  | 3.25 | 3.83 | 5.89 | —    | —    |  |
|      |                   |     |              |                     | 28.2 | 90.9                                  | 85.5                | 80.1 | 79.5 | 75.4 | 83.9 | 70.4 | 63.2 | —    | —    | 37.7 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 0.96                                  | 0.94                | 0.90 | 0.87 | 0.89 | 0.82 | 0.85 | 0.85 | —    | —    |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 200  | 60                | 4.9 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 27.6 | 77.5                                  | 47.6                | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 9.5  | -0.16     | 0.40            | —     | —     | —     | —    | —    | —    | —    |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 30.1 | 78.4                                  | 23.4                | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 5.7  |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 0.99                                  | 2.88                | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 200  | 70                | 4.4 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 28.2 | 55.1                                  | —                   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 5.5  | -0.49     | —               | —     | —     | —     | —    | —    | —    | —    |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 30.6 | 51.7                                  | —                   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 5.2  |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 1.07                                  | —                   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 300  | 60                | 4.2 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 26.4 | 82.9                                  | 66.9                | 74.7 | 74.4 | 70.5 | 50.6 | —    | —    | —    | —    | 13.4 | -0.13     | 0.14            | 0.38  | 1.11  | 1.63  | 3.27 | —    | —    | —    | —    |  |
|      |                   |     |              |                     | 28.1 | 81.0                                  | 63.4                | 77.9 | 76.4 | 73.6 | —    | —    | —    | —    | —    | 12.7 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 1.02                                  | 1.21                | 0.96 | 0.97 | 0.96 | —    | —    | —    | —    | —    |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 100  | 60                | 5.4 | 28           | たわみ<br>縦<br>係数比     | 30.7 | 89.5                                  | 89.6                | 83.4 | 84.6 | 88.9 | 92.2 | 88.3 | 87.3 | 87.6 | 86.8 | 86.8 | -0.08     | -0.14           | -0.22 | -0.19 | -0.07 | 0.10 | 0.28 | 0.48 | 0.67 | 1.03 |  |
|      |                   |     |              |                     | 31.3 | 90.6                                  | 90.6                | 94.6 | 94.4 | 94.7 | 94.3 | 94.4 | 94.3 | 92.6 | 92.4 | 92.4 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 0.99                                  | 0.99                | 0.88 | 0.90 | 0.94 | 0.98 | 0.94 | 0.93 | 0.95 | 0.94 |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 200  | 50                | 4.3 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 32.1 | 92.7                                  | 92.5                | 90.2 | 88.3 | 82.1 | 77.6 | 75.6 | 74.1 | 66.2 | 72.8 | 59.6 | -0.06     | -0.12           | -0.05 | 0.23  | 0.52  | 0.86 | 1.13 | 1.37 | 1.71 | 2.09 |  |
|      |                   |     |              |                     | 32.8 | 90.6                                  | 92.5                | 94.2 | 90.8 | 88.3 | 85.5 | 81.2 | 78.6 | 73.3 | 78.4 | 66.0 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 1.02                                  | 1.00                | 0.96 | 0.97 | 0.93 | 0.90 | 0.93 | 0.94 | 0.89 | 0.93 |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 200  | 60                | 4.9 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 31.5 | 82.2                                  | 76.8                | 59.0 | 77.2 | 63.9 | 42.4 | —    | —    | —    | —    | 17.7 | 0.04      | 0.11            | 1.13  | 2.09  | 2.93  | 3.97 | —    | —    | —    | —    |  |
|      |                   |     |              |                     | 33.6 | 86.3                                  | 80.9                | 58.7 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 17.6 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 0.95                                  | 0.95                | 1.04 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 200  | 70                | 4.4 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 32.6 | 76.8                                  | 70.1                | 35.0 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 14.0 | -0.07     | -0.19           | 0.38  | —     | —     | —    | —    | —    | —    |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 34.1 | 77.0                                  | 63.5                | 34.3 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 13.1 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 1.00                                  | 1.13                | 1.49 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
| 300  | 60                | 4.2 |              | たわみ<br>縦<br>係数比     | 30.4 | 91.1                                  | 90.2                | 84.6 | 82.0 | 75.7 | 84.3 | 81.8 | 78.6 | 69.8 | 80.8 | 40.4 | -0.13     | 0.14            | 0.38  | 1.11  | 1.63  | 3.27 | —    | —    | —    | —    |  |
|      |                   |     |              |                     | 31.8 | 90.7                                  | 90.5                | 85.7 | 83.4 | 79.0 | 87.4 | 85.0 | 82.9 | 84.7 | 82.5 | 41.2 |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |
|      |                   |     |              |                     | 1.0  | 1.01                                  | 1.00                | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.82 | 0.98 |      |           |                 |       |       |       |      |      |      |      |      |  |

注)たわみ:たわみ振動, 縦:縦振動, 係数比:たわみ振動/縦振動

表-8.4.6 凍結融解試験結果(その1 材齢14日)

| 試験条件 |             |          | 供試体寸法 mm |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(kg)         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |  |  |
|------|-------------|----------|----------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--|--|
| 石粉量  | スランブ<br>フロー | 開始<br>材齢 | L        | T     |                                 | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   |     |  |  |
| 100  | 60          | 14日      | 400      | 100   | たわみ振動                           | 1855  | 1790  | 1780  | 1725  | 1718  | 1728  | 1718  | 1682  | 1625  | 1617  | 1608  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 1870  | 1785  | 1764  | 1616  | 1618  | 1612  | 1503  | 1515  | 1349  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 1867  | 1797  | 1779  | 1783  | 1786  | 1778  | 1683  | 1671  | 1620  | 1642  | 1488  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 4295  | 4150  | 4137  | 4124  | 4165  | 4151  | 4100  | 4102  | 4017  | 3975  | 3939  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   | 縦振動                             | 4425  | 4162  | 4046  | 4036  | 3956  | 3929  | 3725  | 3615  | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 4353  | 4202  | 4255  | 4186  | 4186  | 4157  | 4100  | 4042  | 3098  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 9357  | 9380  | 9377  | 9351  | 9317  | 9292  | 9198  | 9124  | 9059  | 9002  | 8952  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 9386  | 9395  | 9377  | 9318  | 9267  | 9244  | 9137  | 9048  | 8970  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   | 質量                              | 9383  | 9399  | 9399  | 9383  | 9363  | 9320  | 9242  | 9146  | 9085  | 9012  | 8922  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 27.0  | 25.2  | 24.9  | 23.3  | 23.0  | 23.2  | 22.7  | 21.6  | 20.0  | 19.7  | 19.4  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 27.5  | 25.1  | 24.4  | 20.4  | 20.3  | 20.1  | 17.3  | 17.4  | 13.7  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 27.4  | 25.4  | 24.9  | 25.0  | 25.0  | 24.7  | 21.9  | 21.4  | 20.0  | 20.4  | 16.5  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 27.3  | 25.2  | 24.7  | 22.9  | 22.8  | 22.7  | 20.7  | 20.1  | 17.9  | 20.0  | 18.0  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 27.6  | 25.8  | 25.7  | 25.4  | 25.9  | 25.6  | 24.7  | 24.6  | 23.4  | 22.8  | 22.2  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 29.4  | 26.0  | 24.6  | 24.3  | 23.2  | 22.8  | 20.3  | 18.9  | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 28.4  | 26.6  | 27.2  | 26.3  | 26.3  | 25.8  | 24.9  | 23.9  | 14.0  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   | 平均                              | 28.5  | 26.1  | 25.8  | 25.3  | 25.1  | 24.7  | 23.3  | 22.5  | 18.7  | 22.8  | 22.2  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 100.0 | 93.1  | 92.1  | 86.5  | 85.8  | 86.8  | 85.8  | 82.2  | 76.7  | 76.0  | 75.1  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 100.0 | 91.1  | 89.0  | 74.7  | 74.9  | 74.3  | 64.6  | 65.6  | 52.0  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 100.0 | 92.6  | 90.8  | 91.2  | 91.5  | 90.7  | 81.3  | 80.1  | 75.3  | 77.3  | 63.5  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   | 相対動ヤング係数<br>(%)                 | 100.0 | 92.3  | 90.6  | 84.1  | 84.0  | 83.9  | 77.2  | 76.0  | 68.0  | 76.7  | 69.3  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 100.0 | 93.4  | 92.8  | 92.2  | 94.0  | 93.4  | 91.1  | 91.2  | 87.5  | 85.7  | 84.1  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 100.0 | 88.5  | 83.6  | 83.2  | 79.9  | 78.8  | 70.9  | 66.7  | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 100.0 | 93.2  | 95.5  | 92.5  | 92.5  | 91.2  | 88.7  | 86.2  | 50.7  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   | 平均                              | 100.0 | 91.7  | 90.6  | 89.3  | 88.8  | 87.8  | 83.6  | 81.4  | 69.1  | 85.7  | 84.1  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 1.000 | 0.997 | 0.992 | 0.938 | 0.912 | 0.929 | 0.941 | 0.901 | 0.877 | 0.887 | 0.893 |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 1.000 | 1.030 | 1.064 | 0.898 | 0.937 | 0.943 | 0.912 | 0.983 | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 1.000 | 0.994 | 0.950 | 0.986 | 0.990 | 0.994 | 0.916 | 0.929 | 1.486 | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              | 1.00  | 1.01  | 1.00  | 0.94  | 0.95  | 0.96  | 0.92  | 0.94  | 1.18  | 0.89  | 0.89  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 0.00  | -0.25 | -0.21 | 0.06  | 0.43  | 0.69  | 1.70  | 2.49  | 3.18  | 3.79  | 4.33  |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 0.00  | -0.10 | 0.10  | 0.72  | 1.27  | 1.51  | 2.65  | 3.60  | 4.43  | —     | —     |     |  |  |
|      |             |          | 400      | 100   |                                 | 0.00  | -0.17 | -0.17 | 0.00  | 0.21  | 0.67  | 1.50  | 2.53  | 3.18  | 3.95  | 4.91  |     |  |  |
| 400  | 100         | 平均       | 0.00     | -0.17 | -0.10                           | 0.26  | 0.64  | 0.96  | 1.95  | 2.87  | 3.60  | 3.87  | 4.62  |       |       |       |     |  |  |
| 試験条件 |             |          | 供試体寸法 mm |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(kg)         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |  |  |
| 石粉量  | スランブ<br>フロー |          | 開始<br>材齢 | L     | T                               |       | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300 |  |  |
| 300  | 60          |          | 14日      | 400   | 100                             | たわみ振動 | 1873  | 1792  | 1709  | 1599  | 1594  | 1528  | 1293  | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             | 398      |          | 100   | 1830                            |       | 1789  | 1674  | 1600  | 1599  | 1580  | 1339  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 397      |          | 100   | 1815                            |       | 1425  | 1057  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   | 4324                            |       | 4135  | 4035  | 3816  | 3755  | 3635  | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 398      |          | 100   | 縦振動                             | 4368  | 4144  | 3975  | 3855  | 3844  | 3823  | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 397      |          | 100   |                                 | 4282  | 3363  | 1930  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 9285  | 9303  | 9294  | 9294  | 9230  | 9189  | 9052  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 398      |          | 100   |                                 | 9488  | 9498  | 9470  | 9407  | 9334  | 9277  | 9106  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 397      |          | 100   | 質量                              | 9480  | 9490  | 9450  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 27.3  | 25.0  | 22.7  | 19.9  | 19.6  | 18.0  | 12.7  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 26.2  | 25.1  | 21.9  | 19.9  | 19.7  | 19.1  | 13.5  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 25.6  | 15.8  | 8.7   | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 26.4  | 22.0  | 17.8  | 19.9  | 19.7  | 18.5  | 13.1  | —     | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 27.8  | 25.5  | 24.2  | 21.7  | 20.8  | 19.4  | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 28.8  | 26.0  | 23.8  | 22.3  | 22.0  | 21.6  | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 27.6  | 17.0  | 5.6   | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   | 平均                              | 28.1  | 22.8  | 17.9  | 22.0  | 21.4  | 20.5  | —     | —     | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 100.0 | 91.5  | 83.3  | 72.9  | 72.4  | 66.6  | 47.7  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 100.0 | 95.6  | 83.7  | 76.4  | 76.3  | 74.5  | 53.5  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 100.0 | 61.6  | 33.9  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   | 相対動ヤング係数<br>(%)                 | 100.0 | 82.9  | 66.9  | 74.7  | 74.4  | 70.5  | 50.6  | —     | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 100.0 | 91.4  | 87.1  | 77.9  | 75.4  | 70.7  | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 100.0 | 90.0  | 82.8  | 77.9  | 77.4  | 76.6  | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 100.0 | 61.7  | 20.3  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              | 1.000 | 1.001 | 0.956 | 0.936 | 0.960 | 0.942 | —     | —     | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 1.000 | 1.062 | 1.010 | 0.981 | 0.986 | 0.973 | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 1.000 | 0.999 | 1.669 | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 1.00  | 1.02  | 1.21  | 0.96  | 0.97  | 0.96  | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   | 質量減少率<br>(%)                    | 0.00  | -0.19 | -0.10 | -0.10 | 0.59  | 1.03  | 2.51  | —     | —     | —     | —     | —   |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 0.00  | -0.11 | 0.19  | 0.85  | 1.62  | 2.22  | 4.03  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 0.00  | -0.11 | 0.32  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |     |  |  |
|      |             | 400      |          | 100   |                                 | 0.00  | -0.13 | 0.14  | 0.38  | 1.11  | 1.63  | 3.27  | —     | —     | —     | —     |     |  |  |

表-8.4.6 凍結融解試験結果(その2 材齢14日)

| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(kg) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
|------|----------|----------|---------------------------------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T     |                         | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270  | 300  |  |
| 200  | 50       | 14日      | 400                             | 100   | たわみ振動                   | 2010  | 1940  | 1934  | 1947  | 1914  | 1829  | 1823  | 1791  | 1739  | 1688 | 1617 |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 2022  | 1936  | 1930  | 1870  | 1822  | 1787  | 1633  | 1625  | 1625  | 1382 |      |  |
|      |          |          | 399                             | 100   |                         | 1995  | 1928  | 1932  | 1905  | 1924  | 1844  | 1842  | 1815  | 1816  | 1800 | 1795 |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 4661  | 4421  | 4516  | 4511  | 4458  | 4450  | 4341  | 4267  | 4188  | 4045 | 4014 |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 4689  | 4472  | 4500  | 4528  | 4361  | 4251  | 4156  | 3940  | 3829  | 3596 |      |  |
|      |          |          | 399                             | 100   |                         | 4572  | 4360  | 4377  | 4470  | 4440  | 4376  | 4367  | 4317  | 4295  | 4231 | 4154 |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 9495  | 9500  | 9504  | 9490  | 9457  | 9420  | 9383  | 9355  | 9329  | 9296 | 9267 |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 9554  | 9560  | 9564  | 9557  | 9530  | 9507  | 9479  | 9457  | 9435  | 9401 |      |  |
|      |          |          | 399                             | 100   | 9486                    | 9493  | 9500  | 9501  | 9481  | 9461  | 9428  | 9400  | 9380  | 9350  | 9318 |      |  |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | たわみ振動 | 32.1                    | 30.0  | 29.8  | 30.1  | 29.0  | 26.4  | 26.1  | 25.1  | 23.6  | 22.2  | 20.3 |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 32.7                    | 30.0  | 29.8  | 28.0  | 26.5  | 25.4  | 21.2  | 20.9  | 20.9  | 15.0  |      |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 31.4                    | 29.3  | 29.5  | 28.7  | 29.2  | 26.8  | 26.6  | 25.7  | 25.7  | 25.2  | 25.0 |      |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 32.1                    | 29.8  | 29.7  | 28.9  | 28.2  | 26.2  | 24.6  | 23.9  | 23.4  | 20.8  | 22.6 |      |  |
|      |          |          |                                 | 縦振動   | 33.0                    | 29.7  | 31.0  | 30.9  | 30.1  | 29.8  | 28.3  | 27.3  | 26.2  | 24.3  | 23.9 |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 33.6                    | 30.6  | 31.0  | 31.4  | 29.0  | 27.5  | 26.2  | 23.5  | 22.1  | 19.5  |      |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 31.6                    | 28.8  | 29.0  | 30.3  | 29.8  | 28.9  | 28.7  | 28.0  | 27.6  | 26.7  | 25.7 |      |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 32.8                    | 29.7  | 30.3  | 30.8  | 29.6  | 28.7  | 27.7  | 26.2  | 25.3  | 23.5  | 24.8 |      |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 | たわみ振動 | 100.0                   | 93.2  | 92.6  | 93.8  | 90.7  | 82.8  | 82.3  | 79.4  | 74.9  | 70.5  | 64.7 |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 91.7  | 91.1  | 85.5  | 81.2  | 78.1  | 65.2  | 64.6  | 64.6  | 46.7  |      |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 93.4  | 93.8  | 91.2  | 93.0  | 85.4  | 85.2  | 82.8  | 82.9  | 81.4  | 81.0 |      |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 100.0                   | 92.7  | 92.5  | 90.2  | 88.3  | 82.1  | 77.6  | 75.6  | 74.1  | 66.2  | 72.8 |      |  |
|      |          |          |                                 | 縦振動   | 100.0                   | 90.0  | 93.9  | 93.7  | 91.5  | 91.2  | 86.7  | 83.8  | 80.7  | 75.3  | 74.2 |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 91.0  | 92.1  | 93.3  | 86.5  | 82.2  | 78.6  | 70.6  | 66.7  | 58.8  |      |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 90.9  | 91.7  | 95.6  | 94.3  | 91.6  | 91.2  | 89.2  | 88.2  | 85.6  | 82.6 |      |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 100.0                   | 90.6  | 92.5  | 94.2  | 90.8  | 88.3  | 85.5  | 81.2  | 78.6  | 73.3  | 78.4 |      |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              | 1.000 | 1.035                   | 0.986 | 1.002 | 0.991 | 0.908 | 0.948 | 0.947 | 0.927 | 0.936 | 0.873 |      |      |  |
|      |          |          |                                 | 1.000 | 1.008                   | 0.989 | 0.917 | 0.939 | 0.950 | 0.830 | 0.915 | 0.969 | 0.794 |       |      |      |  |
|      |          |          |                                 | 1.000 | 1.027                   | 1.023 | 0.954 | 0.986 | 0.933 | 0.934 | 0.928 | 0.939 | 0.951 | 0.981 |      |      |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 1.00                    | 1.02  | 1.00  | 0.96  | 0.97  | 0.93  | 0.90  | 0.93  | 0.94  | 0.89  | 0.93 |      |  |
|      |          |          | 質量減少率<br>(%)                    | 質量    | 0.00                    | -0.05 | -0.09 | 0.05  | 0.40  | 0.79  | 1.18  | 1.47  | 1.75  | 2.10  | 2.40 |      |  |
|      |          |          |                                 |       | 0.00                    | -0.06 | -0.10 | -0.03 | 0.25  | 0.49  | 0.79  | 1.02  | 1.25  | 1.60  |      |      |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 0.00                    | -0.07 | -0.15 | -0.16 | 0.05  | 0.26  | 0.61  | 0.91  | 1.12  | 1.43  | 1.77 |      |  |
|      |          |          |                                 |       |                         | 0.00  | -0.06 | -0.12 | -0.05 | 0.23  | 0.52  | 0.86  | 1.13  | 1.37  | 1.71 | 2.09 |  |

| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |       | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(kg) |       |       |      |      |      |      |      |     |     |     |     |  |
|------|----------|----------|---------------------------------|-------|-------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|--|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T     |                         | 0     | 30    | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210 | 240 | 270 | 300 |  |
| 200  | 60       | 14日      | 399                             | 100   | たわみ振動                   | 1994  | 1799  | 1782 | 1660 | 1752 | 1594 | 1299 | -   | -   | -   | -   |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 1991  | 1789  | 1684 | 1504 | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 398                             | 100   |                         | 2010  | 1846  | 1785 | 1430 | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 399                             | 100   |                         | 4689  | 4363  | 4270 | 3912 | 3485 | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 4689  | 4378  | 4146 | 3828 | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 398                             | 100   |                         | 4735  | 4373  | 4278 | 2992 | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 399                             | 100   |                         | 9522  | 9518  | 9511 | 9415 | 9323 | 9243 | 9144 | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 400                             | 100   |                         | 9448  | 9443  | 9431 | 9325 | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 398                             | 100   | 9533                    | 9531  | 9530  | 9440 | -    | -    | -    | -    | -   | -   |     |     |  |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | たわみ振動 | 31.5                    | 25.6  | 25.1  | 21.6 | 23.8 | 19.5 | 12.8 | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 31.4                    | 25.3  | 22.4  | 17.7 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 31.8                    | 26.8  | 25.1  | 15.9 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 31.5                    | 25.9  | 24.2  | 18.4 | 23.8 | 19.5 | 12.8 | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 | 縦振動   | 33.4                    | 28.9  | 27.7  | 23.0 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 33.2                    | 29.0  | 25.9  | 21.9 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 34.0                    | 29.0  | 27.8  | 13.5 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 33.6                    | 29.0  | 27.1  | 19.4 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 | たわみ振動 | 100.0                   | 81.4  | 79.9  | 69.3 | 77.2 | 63.9 | 42.4 | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 80.7  | 71.5  | 57.1 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 84.3  | 78.9  | 50.6 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 100.0                   | 82.2  | 76.8  | 59.0 | 77.2 | 63.9 | 42.4 | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 | 縦振動   | 100.0                   | 86.6  | 82.9  | 69.6 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 87.2  | 78.2  | 66.6 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 100.0                   | 85.3  | 81.6  | 39.9 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 100.0                   | 86.3  | 80.9  | 58.7 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              | 1.000 | 0.940                   | 0.963 | 0.996 | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -   |     |     |  |
|      |          |          |                                 | 1.000 | 0.926                   | 0.915 | 0.856 | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -   |     |     |  |
|      |          |          |                                 | 1.000 | 0.989                   | 0.966 | 1.268 | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -   |     |     |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 1.00                    | 0.95  | 0.95  | 1.04 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          | 質量減少率<br>(%)                    | 質量    | 0.00                    | 0.04  | 0.12  | 1.12 | 2.09 | 2.93 | 3.97 | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 |       | 0.00                    | 0.05  | 0.18  | 1.30 | -    | -    | -    | -    | -   | -   | -   |     |  |
|      |          |          |                                 | 0.00  | 0.02                    | 0.03  | 0.98  | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -   |     |     |  |
|      |          |          |                                 | 平均    | 0.00                    | 0.04  | 0.11  | 1.13 | 2.09 | 2.93 | 3.97 | -    | -   | -   | -   |     |  |

表-8.4.6 凍結融解試験結果(その3 材齢14日)

| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |     | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(kg) |      |       |       |       |      |     |     |     |     |     |     |   |   |   |   |
|------|----------|----------|---------------------------------|-----|-------------------------|------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T   |                         | 0    | 30    | 60    | 90    | 120  | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |   |   |   |   |
| 200  | 70       | 14日      | 399                             | 100 | たわみ振動                   | 1898 | 1431  | 1040  | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |   |   |   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 1876 | 1318  | —     | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   |   |   |   |   |
|      |          |          | 399                             | 100 |                         | 1860 | 1429  | —     | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   |   |   |   |   |
|      |          |          | 399                             | 100 | 縦振動                     | 4475 | 3300  | —     | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — |   |   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 4561 | 3355  | —     | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   |   |   |   |   |
|      |          |          | 399                             | 100 |                         | 4366 | 2982  | —     | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   |   |   |   |   |
|      |          |          | 399                             | 100 | 質量                      | 9522 | 9575  | 9401  | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — |   |   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 9637 | 9674  | —     | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   |   |   |   |   |
|      |          |          | 399                             | 100 |                         | 9627 | 9678  | —     | —     | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   |   |   |   |   |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |     |                         |      | たわみ振動 | 28.5  | 16.3  | 8.5  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 28.4  | 14.1  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 27.7  | 16.4  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 平均    | 28.2  | 15.6  | 8.5  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — | — |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 縦振動   | 30.4  | 16.6 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — | — |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       |       | 32.1  | 17.4 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — | — |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 29.3  |       | 13.7  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 平均    | 30.6  | 15.9  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |     |                         |      | たわみ振動 | 100.0 | 56.8  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 100.0 | 49.4  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 100.0 | 59.0  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 平均    | 100.0 | 55.1  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 縦振動   | 100.0 | 54.4 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — | — |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       |       | 100.0 | 54.1 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — | — |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 100.0 |       | 46.6  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 平均    | 100.0 | 51.7  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              |     |                         |      |       | 1.000 | 1.045 | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — |   |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 1.000 | 0.912 | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 1.000 | 1.265 | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 平均    | 1.00  | 1.07  | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          | 質量減少率<br>(%)                    |     |                         |      | 質量    | 0.00  | -0.56 | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 0.00  | -0.38 | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      |       | 0.00  | -0.53 | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |
|      |          |          |                                 |     |                         |      | 平均    | 0.00  | -0.49 | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — | — |   |

表-8.4.7 凍結融解試験結果(その1 材齢28日)

| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |     | サイクルごとの振動数 (Hz) および質量 (kg) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------|----------|----------|---------------------------------|-----|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T   |                            | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   |      |
| 100  | 60       | 28日      | 400                             | 100 | たわみ振動                      | 1975  | 1878  | 1869  | 1660  | 1683  | 1872  | 1877  | 1854  | 1847  | 1865  | 1855  |      |
|      |          |          | 402                             | 100 |                            | 1974  | 1880  | 1885  | 1932  | 1893  | 1894  | 1910  | 1838  | 1834  | 1833  | 1831  |      |
|      |          |          | 401                             | 100 |                            | 1964  | 1835  | 1843  | 1797  | 1856  | 1809  | 1892  | 1864  | 1845  | 1835  | 1824  |      |
|      |          |          | 400                             | 100 | 縦振動                        | 4564  | 4342  | 4331  | 4434  | 4413  | 4437  | 4395  | 4430  | 4467  | 4375  | 4349  |      |
|      |          |          | 402                             | 100 |                            | 4574  | 4349  | 4375  | 4433  | 4443  | 4455  | 4451  | 4448  | 4422  | 4422  | 4413  |      |
|      |          |          | 401                             | 100 |                            | 4554  | 4339  | 4329  | 4451  | 4445  | 4433  | 4452  | 4427  | 4405  | 4381  | 4400  |      |
|      |          |          | 400                             | 100 | 質量                         | 9297  | 9302  | 9309  | 9319  | 9317  | 9307  | 9293  | 9279  | 9265  | 9247  | 9224  |      |
|      |          |          | 402                             | 100 |                            | 9459  | 9467  | 9473  | 9480  | 9475  | 9461  | 9442  | 9418  | 9390  | 9373  | 9346  |      |
|      |          |          | 401                             | 100 |                            | 9359  | 9369  | 9373  | 9378  | 9375  | 9367  | 9353  | 9340  | 9324  | 9305  | 9256  |      |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |     | たわみ振動                      | 30.4  | 27.5  | 27.2  | 21.5  | 22.1  | 27.3  | 27.4  | 26.7  | 26.5  | 26.9  | 26.6  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 31.3  | 28.4  | 28.6  | 30.1  | 28.9  | 28.9  | 29.3  | 27.0  | 26.8  | 26.8  | 26.6  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 30.5  | 26.6  | 26.9  | 25.6  | 27.3  | 25.9  | 28.3  | 27.4  | 26.8  | 26.4  | 26.0  |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 30.7  | 27.5  | 27.6  | 25.7  | 26.1  | 27.3  | 28.3  | 27.1  | 26.7  | 26.7  | 26.4  |      |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                        | 31.0  | 28.1  | 27.9  | 29.3  | 29.0  | 29.3  | 28.7  | 29.1  | 29.6  | 28.3  | 27.9  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 31.8  | 28.8  | 29.2  | 30.0  | 30.1  | 30.2  | 30.1  | 30.0  | 29.5  | 29.5  | 29.3  |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 31.1  | 28.3  | 28.2  | 29.8  | 29.7  | 29.5  | 29.7  | 29.4  | 29.0  | 28.6  | 28.7  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 31.3  | 28.4  | 28.4  | 29.7  | 29.6  | 29.7  | 29.5  | 29.5  | 29.4  | 28.8  | 28.6  |      |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |     | たわみ振動                      | 100.0 | 90.4  | 89.6  | 70.6  | 72.6  | 89.8  | 90.3  | 88.1  | 87.5  | 89.2  | 88.2  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 90.7  | 91.2  | 95.8  | 92.0  | 92.1  | 93.6  | 86.7  | 86.3  | 86.2  | 86.0  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 87.3  | 88.1  | 83.7  | 89.3  | 84.8  | 92.8  | 90.1  | 88.2  | 87.3  | 86.3  |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 100.0 | 89.5  | 89.6  | 83.4  | 84.6  | 88.9  | 92.2  | 88.3  | 87.3  | 87.6  | 86.8  |      |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                        | 100.0 | 90.5  | 90.1  | 94.4  | 93.5  | 94.5  | 92.7  | 94.2  | 95.8  | 91.9  | 90.8  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 90.4  | 91.5  | 93.9  | 94.4  | 94.9  | 94.7  | 94.6  | 93.5  | 93.5  | 93.1  |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 100.0 | 90.8  | 90.4  | 95.5  | 95.3  | 94.8  | 95.6  | 94.5  | 93.6  | 92.5  | 93.4  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 90.6  | 90.6  | 94.6  | 94.4  | 94.7  | 94.3  | 94.4  | 94.3  | 92.6  | 92.4  |      |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ／縦              |     |                            | 1.000 | 0.999 | 0.994 | 0.748 | 0.777 | 0.951 | 0.974 | 0.935 | 0.913 | 0.970 | 0.972 |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 1.000 | 1.003 | 0.997 | 1.020 | 0.975 | 0.970 | 0.989 | 0.917 | 0.924 | 0.923 | 0.924 |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 1.000 | 0.962 | 0.974 | 0.876 | 0.937 | 0.895 | 0.971 | 0.953 | 0.943 | 0.943 | 0.924 |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 1.00  | 0.99  | 0.99  | 0.88  | 0.90  | 0.94  | 0.98  | 0.94  | 0.93  | 0.95  | 0.94  |      |
|      |          |          |                                 |     | 質量減少率<br>(%)               | 質量    | 0.00  | -0.05 | -0.13 | -0.24 | -0.22 | -0.11 | 0.04  | 0.19  | 0.34  | 0.54  | 0.79 |
|      |          |          |                                 |     |                            | 質量    | 0.00  | -0.08 | -0.15 | -0.22 | -0.17 | -0.02 | 0.18  | 0.43  | 0.73  | 0.91  | 1.19 |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 質量    | 0.00  | -0.11 | -0.15 | -0.20 | -0.17 | -0.09 | 0.06  | 0.20  | 0.37  | 0.58  | 1.10 |
|      |          |          |                                 |     |                            | 平均    | 0.00  | -0.08 | -0.14 | -0.22 | -0.19 | -0.07 | 0.10  | 0.28  | 0.48  | 0.67  | 1.03 |

| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |     | サイクルごとの振動数 (Hz) および質量 (kg) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------|----------|----------|---------------------------------|-----|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T   |                            | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   |      |
| 300  | 60       | 28日      | 400                             | 100 | たわみ振動                      | 2000  | 1935  | 1922  | 1932  | 1896  | 1883  | 1879  | 1846  | 1820  | 1817  | 1798  |      |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 1982  | 1882  | 1870  | 1836  | 1821  | 1788  | 1777  | 1754  | 1709  | 1496  | —     |      |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 1890  | 1789  | 1784  | 1632  | 1602  | 1427  | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          | 400                             | 100 | 縦振動                        | 4633  | 4445  | 4431  | 4455  | 4413  | 4442  | 4440  | 4432  | 4343  | 4332  | 4208  |      |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 4585  | 4366  | 4361  | 4306  | 4275  | 4156  | 4176  | 4060  | 4049  | 4149  | —     |      |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 4534  | 4283  | 4288  | 3966  | 3863  | 3595  | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          | 400                             | 100 | 質量                         | 9556  | 9567  | 9573  | 9543  | 9517  | 9495  | 9466  | 9413  | 9384  | 9357  | 9331  |      |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 9475  | 9488  | 9486  | 9462  | 9409  | 9366  | 9255  | 9290  | 9245  | 9126  | —     |      |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 9341  | 9349  | 9352  | 9313  | 9241  | 9177  | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |     | たわみ振動                      | 32.0  | 30.0  | 29.6  | 29.8  | 28.7  | 28.2  | 28.0  | 26.9  | 26.0  | 25.9  | 25.3  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 31.2  | 28.2  | 27.8  | 26.7  | 26.1  | 25.1  | 24.5  | 23.9  | 22.6  | 17.1  | —     |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 28.0  | 25.1  | 24.9  | 20.8  | 19.9  | 15.7  | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 30.4  | 27.7  | 27.4  | 25.8  | 24.9  | 23.0  | 26.2  | 25.4  | 24.3  | 21.5  | 25.3  |      |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                        | 32.8  | 30.2  | 30.1  | 30.3  | 29.7  | 30.0  | 29.9  | 29.6  | 28.3  | 28.1  | 26.4  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 31.9  | 28.9  | 28.9  | 28.1  | 27.5  | 25.9  | 25.8  | 24.5  | 24.3  | 25.1  | —     |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 30.7  | 27.4  | 27.5  | 23.4  | 22.1  | 19.0  | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 31.8  | 28.9  | 28.8  | 27.3  | 26.4  | 24.9  | 27.8  | 27.0  | 26.3  | 26.6  | 26.4  |      |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |     | たわみ振動                      | 100.0 | 93.6  | 92.4  | 93.3  | 89.9  | 88.6  | 88.3  | 85.2  | 82.8  | 82.5  | 80.8  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 90.2  | 89.0  | 85.8  | 84.4  | 81.4  | 80.4  | 78.3  | 74.3  | 57.0  | —     |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 89.6  | 89.1  | 74.6  | 71.8  | 57.0  | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 100.0 | 91.1  | 90.2  | 84.6  | 82.0  | 75.7  | 84.3  | 81.8  | 78.6  | 69.8  | 80.8  |      |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                        | 100.0 | 92.0  | 91.5  | 92.5  | 90.7  | 91.9  | 91.8  | 91.5  | 87.9  | 87.4  | 82.5  |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 90.7  | 90.5  | 88.2  | 86.9  | 82.2  | 83.0  | 78.4  | 78.0  | 81.9  | —     |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 100.0 | 89.2  | 89.4  | 76.5  | 72.6  | 62.9  | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 90.7  | 90.5  | 85.7  | 83.4  | 79.0  | 87.4  | 85.0  | 82.9  | 84.7  | 82.5  |      |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ／縦              |     |                            | 1.000 | 1.017 | 1.010 | 1.009 | 0.991 | 0.964 | 0.961 | 0.931 | 0.942 | 0.944 | 0.980 |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 1.000 | 0.994 | 0.984 | 0.973 | 0.971 | 0.991 | 0.969 | 0.999 | 0.953 | 0.696 | —     |      |
|      |          |          |                                 |     |                            | 1.000 | 1.004 | 0.996 | 0.974 | 0.990 | 0.907 | —     | —     | —     | —     | —     |      |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 1.00  | 1.01  | 1.00  | 0.99  | 0.98  | 0.95  | 0.97  | 0.96  | 0.95  | 0.82  | 0.98  |      |
|      |          |          |                                 |     | 質量減少率<br>(%)               | 質量    | 0.00  | -0.12 | -0.18 | 0.14  | 0.41  | 0.64  | 0.94  | 1.50  | 1.80  | 2.08  | 2.35 |
|      |          |          |                                 |     |                            | 質量    | 0.00  | -0.14 | -0.12 | 0.14  | 0.70  | 1.15  | 2.32  | 1.95  | 2.43  | 3.68  | —    |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 質量    | 0.00  | -0.09 | -0.12 | 0.30  | 1.07  | 1.76  | —     | —     | —     | —     | —    |
|      |          |          |                                 |     |                            | 平均    | 0.00  | -0.11 | -0.14 | 0.19  | 0.73  | 1.18  | 1.63  | 1.72  | 2.11  | 2.88  | 2.35 |

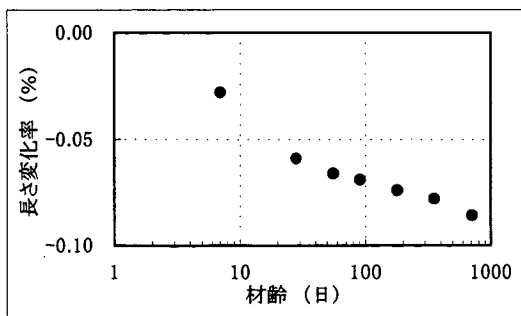
表-8.4.7 凍結融解試験結果(その2 材齢28日)

| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |     | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(kg) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |     |  |
|------|----------|----------|---------------------------------|-----|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|--|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T   |                         | 0     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270 | 300 |  |
| 200  | 50       | 28日      | 400                             | 100 | たわみ振動                   | 1848  | 1715  | 1711  | 1663  | 1663  | 1664  | 1555  | 1554  | 1353  | —   | —   |  |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 1849  | 1715  | 1609  | 1425  | 1359  | 1318  | —     | —     | —     | —   |     |  |
|      |          |          | 402                             | 100 |                         | 1814  | 1720  | 1630  | 1584  | 1555  | 1519  | 1481  | 1287  | —     | —   |     |  |
|      |          |          | 400                             | 100 | 縦振動                     | 4352  | 4161  | 4127  | 4053  | 4100  | 4042  | 4020  | 3860  | 3460  | —   | —   |  |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 4352  | 4080  | 3840  | 3496  | 3473  | 3318  | —     | —     | —     | —   |     |  |
|      |          |          | 402                             | 100 |                         | 4259  | 4115  | 4014  | 4016  | 3950  | 3849  | 3870  | 3357  | —     | —   |     |  |
|      |          |          | 400                             | 100 | 質量                      | 9462  | 9479  | 9402  | 9309  | 9255  | 9172  | 9067  | 9007  | 8905  | —   | —   |  |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 9449  | 9463  | 9436  | 9374  | 9341  | 9281  | —     | —     | —     | —   |     |  |
|      |          |          | 402                             | 100 |                         | 9385  | 9415  | 9396  | 9325  | 9295  | 9234  | 9167  | 9118  | —     | —   |     |  |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |     | たわみ振動                   | 27.1  | 23.4  | 23.1  | 21.6  | 21.4  | 21.3  | 18.4  | 18.2  | 13.7  | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 27.1  | 23.3  | 20.5  | 15.9  | 14.5  | 13.5  | —     | —     | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 26.3  | 23.7  | 21.2  | 19.9  | 19.1  | 18.1  | 17.1  | 12.8  | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 26.8  | 23.4  | 21.6  | 19.1  | 18.3  | 17.6  | 17.7  | 15.5  | 13.7  | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                     | 28.7  | 26.3  | 25.6  | 24.5  | 24.9  | 24.0  | 23.4  | 21.5  | 17.1  | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 28.6  | 25.2  | 22.3  | 18.3  | 18.0  | 16.3  | —     | —     | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 27.4  | 25.6  | 24.3  | 24.2  | 23.3  | 22.0  | 22.1  | 16.5  | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 28.2  | 25.7  | 24.1  | 22.3  | 22.1  | 20.8  | 22.8  | 19.0  | 17.1  | —   | —   |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |     | たわみ振動                   | 100.0 | 86.1  | 85.7  | 81.0  | 81.0  | 81.1  | 70.8  | 70.7  | 53.6  | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 86.0  | 75.7  | 59.4  | 54.0  | 50.8  | —     | —     | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 89.9  | 80.7  | 76.2  | 73.5  | 70.1  | 66.7  | 50.3  | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 100.0 | 87.4  | 80.7  | 72.2  | 69.5  | 67.3  | 68.7  | 60.5  | 53.6  | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                     | 100.0 | 91.4  | 89.9  | 86.7  | 88.8  | 86.3  | 85.3  | 78.7  | 63.2  | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 87.9  | 77.9  | 64.5  | 63.7  | 58.1  | —     | —     | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 100.0 | 93.4  | 88.8  | 88.9  | 86.0  | 81.7  | 82.6  | 62.1  | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 90.9  | 85.5  | 80.1  | 79.5  | 75.4  | 83.9  | 70.4  | 63.2  | —   | —   |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              |     |                         | 1.000 | 0.942 | 0.953 | 0.934 | 0.912 | 0.940 | 0.830 | 0.899 | 0.848 | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 1.000 | 0.979 | 0.973 | 0.920 | 0.848 | 0.874 | —     | —     | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 1.000 | 0.963 | 0.909 | 0.858 | 0.854 | 0.859 | 0.807 | 0.810 | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 1.00  | 0.96  | 0.94  | 0.90  | 0.87  | 0.89  | 0.82  | 0.85  | 0.85  | —   | —   |  |
|      |          |          | 質量減少率<br>(%)                    |     | 質量                      | 0.00  | -0.18 | 0.63  | 1.62  | 2.19  | 3.06  | 4.17  | 4.81  | 5.89  | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 0.00  | -0.15 | 0.14  | 0.79  | 1.14  | 1.78  | —     | —     | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 0.00  | -0.32 | -0.12 | 0.64  | 0.96  | 1.61  | 2.32  | 2.84  | —     | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 0.00  | -0.22 | 0.22  | 1.02  | 1.43  | 2.15  | 3.25  | 3.83  | 5.89  | —   | —   |  |

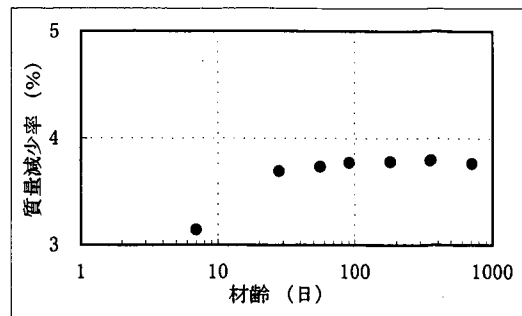
| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |     | サイクルごとの振動数(Hz)および質量(kg) |       |       |       |    |     |     |     |     |     |     |     |  |
|------|----------|----------|---------------------------------|-----|-------------------------|-------|-------|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T   |                         | 0     | 30    | 60    | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |  |
| 200  | 60       | 28日      | 399                             | 100 | たわみ振動                   | 1863  | 1719  | 1430  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 1860  | 1593  | 1323  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   |     |  |
|      |          |          | 399                             | 100 |                         | 1885  | 1623  | 1086  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   |     |  |
|      |          |          | 399                             | 100 | 縦振動                     | 4320  | 4016  | 1430  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 4528  | 3842  | 2976  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   |     |  |
|      |          |          | 399                             | 100 |                         | 4527  | 3964  | 1808  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   |     |  |
|      |          |          | 399                             | 100 | 質量                      | 9470  | 9482  | 9434  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          | 400                             | 100 |                         | 9447  | 9464  | 9389  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   |     |  |
|      |          |          | 399                             | 100 |                         | 9468  | 9483  | 9449  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   |     |  |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |     | たわみ振動                   | 27.3  | 23.3  | 16.0  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 27.4  | 20.1  | 13.8  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 28.0  | 20.8  | 9.3   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 27.6  | 21.4  | 13.0  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                     | 28.2  | 24.4  | 3.1   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 31.0  | 22.4  | 13.3  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 31.0  | 23.8  | 4.9   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 30.1  | 23.5  | 7.1   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |     | たわみ振動                   | 100.0 | 85.1  | 58.9  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 73.4  | 50.6  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 74.1  | 33.2  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 100.0 | 77.5  | 47.6  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                     | 100.0 | 86.4  | 11.0  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 72.0  | 43.2  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 100.0 | 76.7  | 16.0  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 100.0 | 78.4  | 23.4  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              |     |                         | 1.000 | 0.985 | 5.377 | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 1.000 | 1.019 | 1.171 | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 1.000 | 0.967 | 2.081 | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 1.00  | 0.99  | 2.88  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          | 質量減少率<br>(%)                    |     | 質量                      | 0.00  | -0.13 | 0.38  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 0.00  | -0.18 | 0.61  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     | 平均                      | 0.00  | -0.16 | 0.20  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
|      |          |          |                                 |     |                         | 0.00  | -0.16 | 0.40  | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |

表-8.4.7 凍結融解試験結果(その3 材齢28日)

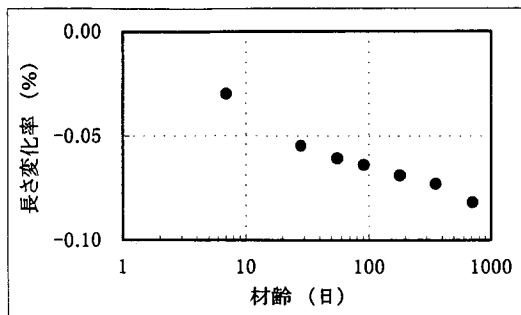
| 試験条件 |          |          | 供試体寸法 mm                        |     | サイクルごとの振動数 (Hz) および質量 (kg) |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |     |
|------|----------|----------|---------------------------------|-----|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 石粉量  | スラン<br>プ | 開始<br>材齢 | L                               | T   |                            | 0     | 30    | 60    | 90    | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| 200  | 70       | 28日      | 400                             | 100 | たわみ振動                      | 2027  | 1905  | 1804  | 1450  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 1990  | 1600  | 1618  | 1002  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 2023  | 1780  | 1632  | 1082  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 | 縦振動                        | 4748  | 4470  | 4233  | 2780  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 4648  | 3913  | 3701  | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 4747  | 4012  | 3278  | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 | 質量                         | 9575  | 9577  | 9586  | 9586  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 9666  | 9674  | 9687  | 9568  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 400                             | 100 |                            | 9540  | 9550  | 9562  | 9516  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |     | たわみ振動                      | 33.0  | 29.1  | 26.1  | 16.9  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 32.1  | 20.7  | 21.2  | 8.0   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 32.7  | 25.3  | 21.3  | 9.3   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 32.6  | 25.1  | 22.9  | 11.4  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | 縦振動                        | 34.5  | 30.6  | 27.5  | 11.9  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 33.4  | 23.7  | 21.2  | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 相対動ヤング係数<br>(%)                 |     |                            | 34.4  | 24.6  | 16.4  | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 34.1  | 26.3  | 21.7  | 11.9  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | たわみ振動                      | 100.0 | 88.3  | 79.2  | 51.2  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 64.6  | 66.1  | 25.4  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 77.4  | 65.1  | 28.6  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 100.0 | 76.8  | 70.1  | 35.0  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 相対動ヤング係数比<br>たわみ/縦              |     | 縦振動                        | 100.0 | 88.6  | 79.5  | 34.3  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 70.9  | 63.4  | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 100.0 | 71.4  | 47.7  | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 100.0 | 77.0  | 63.5  | 34.3  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 1.000 | 0.997 | 0.997 | 1.493 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 1.000 | 0.912 | 1.043 | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 1.000 | 1.084 | 1.365 | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 1.00  | 1.00  | 1.13  | 1.49  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          | 質量減少率<br>(%)                    |     | 質量                         | 0.00  | -0.02 | -0.11 | -0.11 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     |                            | 0.00  | -0.08 | -0.22 | 1.01  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
|      |          |          |                                 |     | 平均                         | 0.00  | -0.10 | -0.23 | 0.25  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |



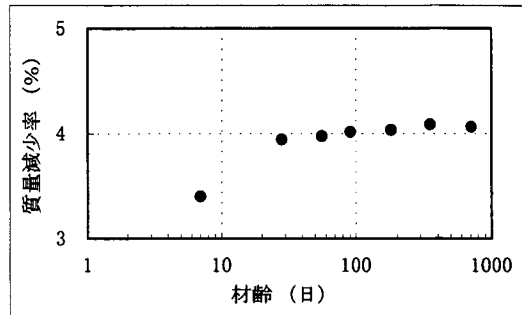
(a-1)(100-60)



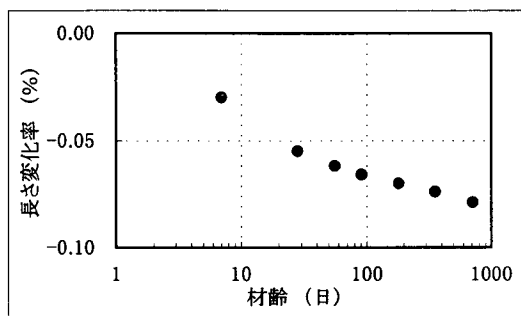
(a-2)(100-60)



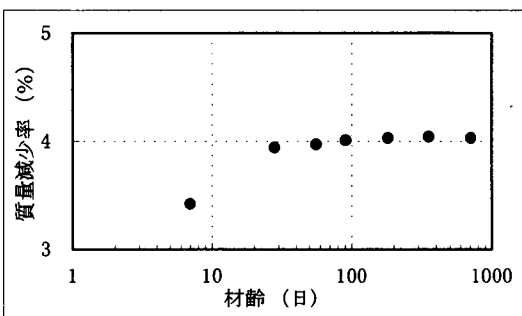
(b-1)(200-50)



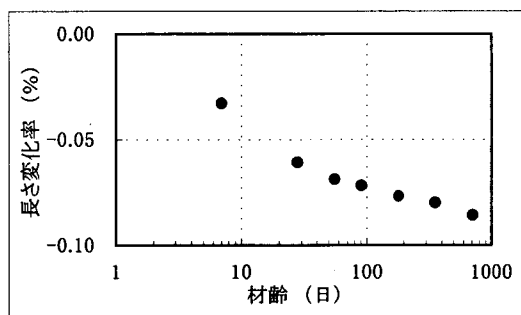
(b-2)(200-50)



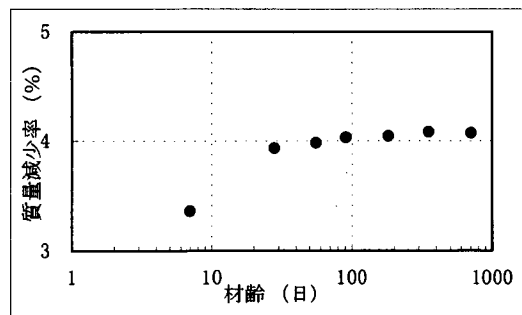
(c-1)(200-60)



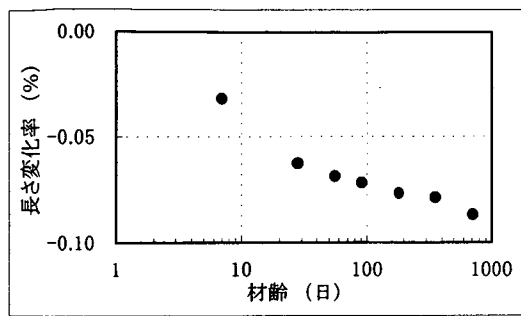
(c-2)(200-60)



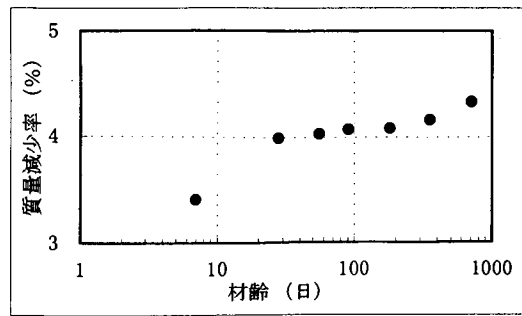
(d-1)(200-70)



(d-2)(200-70)



(e-1)(300-60)



(e-2)(300-60)

図-8.4.10 長さ変化率および質量減少率

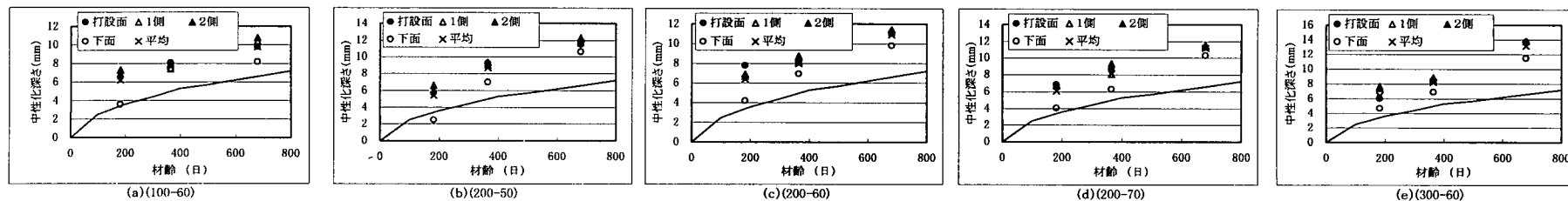


図-8.4.11 材齢と中性化深さ

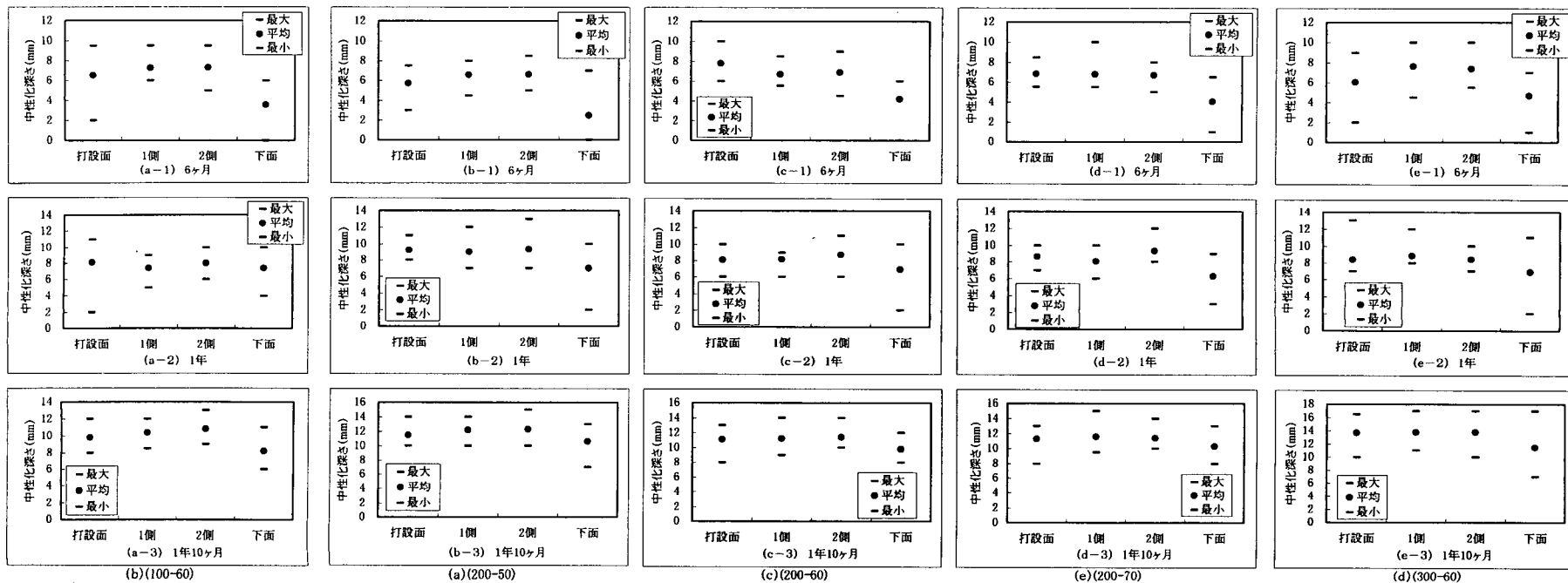


図-8.4.12 測定値とばらつき

表-8.4.8 乾燥収縮・曲げ強度・中性化深さ試験結果

| 試験項目                            | 試験片<br>番号 | 石粉量 | 100             |  |  |  |  |  |  | 200             |        |        |        |        |        |        | 300             |        |        |        |        |        |        |        |  |
|---------------------------------|-----------|-----|-----------------|--|--|--|--|--|--|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|                                 |           |     | 材齢(日)           |  |  |  |  |  |  | 材齢(日)           |        |        |        |        |        |        | 材齢(日)           |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 長さ変化率<br>(%)                    | 1         | 50  |                 |  |  |  |  |  |  | 7               | 28     | 56     | 91     | 182    | 365    | 680    |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.029          | -0.055 | -0.062 | -0.065 | -0.069 | —      | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.029          | -0.053 | -0.059 | -0.062 | -0.067 | -0.071 | —      | —               |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.031          | -0.056 | -0.062 | -0.066 | -0.070 | -0.074 | -0.082 |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 質量減少率<br>(%)                    | 1         | 50  |                 |  |  |  |  |  |  | 3.30            | 3.85   | 3.88   | 3.95   | 3.96   | —      | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.45            | 4.00   | 4.03   | 4.06   | 4.08   | 4.09   | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.44            | 3.98   | 4.01   | 4.03   | 4.05   | 4.07   | 4.06   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.40            | 3.94   | 3.97   | 4.01   | 4.03   | 4.08   | 4.06   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 1         | 50  |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | 27.6   | —      | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | 27.0   | 27.4   | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | 27.1   | 28.3   | 28.2   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | 27.2   | 27.9   | 28.2   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 曲げ強度<br>(N/mm <sup>2</sup> )    | 1         | 50  |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | 4.92   | —      | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | —      | 5.13   | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | —      | —      | 5.16   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | 4.92   | 5.13   | 5.16   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 中性化深さ<br>(mm)                   |           |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        | 5.4    | 8.7    | 11.7   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 試験項目                            | 試験片<br>番号 | 石粉量 | 100-60<br>材齢(日) |  |  |  |  |  |  | 200-60<br>材齢(日) |        |        |        |        |        |        | 300-60<br>材齢(日) |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 長さ変化率<br>(%)                    | 1         | 60  |                 |  |  |  |  |  |  | 7               | 28     | 56     | 91     | 182    | 365    | 680    | 7               | 28     | 56     | 91     | 182    | 365    | 680    |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.029          | -0.061 | -0.066 | -0.070 | -0.075 | —      | —      | -0.032          | -0.063 | -0.069 | -0.073 | -0.078 | —      | —      |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.027          | -0.058 | -0.065 | -0.068 | -0.073 | -0.077 | —      | -0.031          | -0.062 | -0.068 | -0.072 | -0.077 | -0.080 | —      |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.029          | -0.059 | -0.066 | -0.068 | -0.074 | -0.078 | -0.086 | -0.030          | -0.055 | -0.062 | -0.065 | -0.070 | -0.072 | -0.079 | -0.087 |  |
| 質量減少率<br>(%)                    | 1         | 60  |                 |  |  |  |  |  |  | 3.12            | 3.67   | 3.74   | 3.77   | 3.77   | —      | —      | 3.25            | 3.82   | 3.86   | 3.91   | 3.92   | —      | —      |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.17            | 3.71   | 3.75   | 3.79   | 3.80   | 3.81   | —      | 3.28            | 3.86   | 3.93   | 3.97   | 3.97   | 3.98   | —      |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.14            | 3.68   | 3.70   | 3.75   | 3.76   | 3.77   | 3.76   | 3.43            | 3.94   | 3.97   | 4.02   | 4.04   | 4.05   | 4.03   |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.14            | 3.69   | 3.73   | 3.77   | 3.78   | 3.79   | 3.76   | 3.42            | 3.94   | 3.97   | 4.01   | 4.03   | 4.04   | 4.03   |        |  |
| 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 1         | 60  |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 26.9   | —      | —               |        |        |        |        | 26.5   | —      | —      |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 27.1   | 27.9   | —               |        |        |        |        | 25.0   | 25.7   | —      |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 27.0   | 27.5   | 28.8            |        |        |        |        | 25.4   | 27.5   | 26.6   |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 27.0   | 27.7   | 28.8            |        |        |        |        | 25.8   | 26.6   | 26.6   |  |
| 曲げ強度<br>(N/mm <sup>2</sup> )    | 1         | 60  |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 4.29   | —      | —               |        |        |        |        | 4.39   | —      | —      |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | —      | 4.78   | —               |        |        |        |        | —      | 4.57   | —      |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | —      | —      | 4.80            |        |        |        |        | —      | —      | 4.65   |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 4.29   | 4.78   | 4.80            |        |        |        |        | 4.39   | 4.57   | 4.65   |  |
| 中性化深さ<br>(mm)                   |           |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 6.4    | 8.0    | 10.9            |        |        |        |        | 6.4    | 8.2    | 13.2   |  |
| 試験項目                            | 試験片<br>番号 | 石粉量 | 200-70<br>材齢(日) |  |  |  |  |  |  | 200-70<br>材齢(日) |        |        |        |        |        |        | 200-70<br>材齢(日) |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 長さ変化率<br>(%)                    | 1         | 70  |                 |  |  |  |  |  |  | 7               | 28     | 56     | 91     | 182    | 365    | 680    |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.033          | -0.062 | -0.070 | -0.074 | -0.078 | —      | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.033          | -0.060 | -0.069 | -0.073 | -0.077 | -0.080 | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  | -0.032          | -0.060 | -0.068 | -0.070 | -0.075 | -0.080 | -0.086 |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 質量減少率<br>(%)                    | 1         | 70  |                 |  |  |  |  |  |  | 3.30            | 3.87   | 3.94   | 3.98   | 3.99   | —      | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.37            | 3.96   | 4.01   | 4.07   | 4.08   | 4.09   | —      |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.40            | 3.97   | 4.00   | 4.05   | 4.06   | 4.08   | 4.07   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  | 3.36            | 3.93   | 3.98   | 4.03   | 4.04   | 4.08   | 4.07   |                 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 動ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 1         | 70  |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 27.4   | —      | —               |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 26.9   | 27.1   | —               |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 27.0   | 28.3   | 28.0            |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 27.1   | 27.7   | 28.0            |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 曲げ強度<br>(N/mm <sup>2</sup> )    | 1         | 70  |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 4.68   | —      | —               |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 2         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | —      | 5.16   | —               |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 3         |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | —      | —      | 5.16            |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                 | 平均        |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 4.68   | 5.16   | 5.16            |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 中性化深さ<br>(mm)                   |           |     |                 |  |  |  |  |  |  |                 |        |        |        |        | 6.1    | 8.1    | 11.2            |        |        |        |        |        |        |        |  |

表—8.4.9 中性化深さ (その1 100-60)

(単位:mm)

|      |         | 6ヶ月 |     |     |     | 1年   |      |      |      | 1年10ヶ月 |      |      |      |      |
|------|---------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
|      |         | 打設面 | 1側  | 2側  | 下面  | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面   | 打設面    | 1側   | 2側   | 下面   |      |
| 横断面  | ①       | 1   | 6.5 | 6.5 | 7.0 | 2.0  | 6.0  | 9.0  | 8.0  | 6.0    | 9.0  | 11.0 | 13.0 | 10.0 |
|      |         | 2   | 5.0 | 6.5 | 7.5 | 0.0  | 2.0  | 9.0  | 9.0  | 7.0    | 9.5  | 8.5  | 11.0 | 7.0  |
|      |         | 3   | 5.0 | 6.5 | 7.5 | 0.0  | 3.0  | 9.0  | 8.0  | 7.0    | 10.0 | 11.0 | 12.5 | 7.0  |
|      |         | 4   | 4.0 | 6.5 | 9.5 | 1.0  | 2.0  | 8.0  | 10.0 | 6.0    | 10.5 | 11.0 | 10.0 | 8.0  |
|      |         | 5   | 3.5 | 6.0 | 8.0 | 2.0  | 2.0  | 8.0  | 9.0  | 4.0    | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
|      | ②       | 1   | 2.0 | 6.5 | 8.0 | 1.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0    | 9.5  | 10.5 | 11.5 | 11.0 |
|      |         | 2   | 4.0 | 6.5 | 8.0 | 2.0  | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 6.0    | 9.0  | 10.0 | 11.0 | 11.0 |
|      |         | 3   | 4.5 | 6.5 | 8.5 | 3.0  | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0    | 10.0 | 10.0 | 12.5 | 8.0  |
|      |         | 4   | 5.5 | 6.5 | 8.0 | 4.0  | 10.0 | 8.0  | 8.0  | 7.0    | 9.0  | 10.5 | 12.0 | 7.0  |
|      |         | 5   | 4.5 | 6.0 | 5.0 | 3.5  | 9.0  | 8.0  | 7.0  | 7.0    | 8.0  | 11.0 | 10.0 | 7.0  |
|      | ③       | 1   | 6.5 | 9.5 | 6.5 | 4.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0    | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
|      |         | 2   | 6.0 | 9.0 | 6.5 | 4.0  | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 6.0    | 9.0  | 10.0 | 11.0 | 8.0  |
|      |         | 3   | 6.0 | 8.0 | 6.5 | 3.0  | 7.0  | 8.0  | 8.0  | 7.0    | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 7.0  |
|      |         | 4   | 6.5 | 8.0 | 7.0 | 3.0  | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 7.0    | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 7.0  |
|      |         | 5   | 5.0 | 7.5 | 7.5 | 2.5  | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 7.0    | 9.5  | 10.5 | 11.5 | 7.0  |
| 縦断面  | A       | 1   | 7.5 | 9.5 | 7.5 | 5.5  | 9.0  | 6.0  | 8.0  | 10.0   | 8.0  | 12.0 | 10.0 | 8.0  |
|      |         | 2   | 7.5 | 9.5 | 7.5 | 4.0  | 9.0  | 7.0  | 6.0  | 9.0    | 10.0 | 12.0 | 10.0 | 6.0  |
|      |         | 3   | 8.0 | 6.5 | 7.5 | 3.5  | 9.0  | 7.0  | 9.0  | 10.0   | 10.0 | 12.0 | 11.0 | 7.0  |
|      |         | 4   | 8.0 | 7.0 | 7.0 | 3.0  | 9.0  | 7.0  | 7.0  | 8.0    | 11.0 | 10.0 | 11.0 | 7.0  |
|      |         | 5   | 9.5 | 7.0 | 6.0 | 2.0  | 9.0  | 7.0  | 6.0  | 8.0    | 12.0 | 11.0 | 11.0 | 7.0  |
|      | B       | 1   | 8.0 | 7.0 | 6.0 | 4.5  | 10.0 | 8.0  | 8.0  | 7.0    | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 7.0  |
|      |         | 2   | 8.5 | 7.0 | 7.0 | 4.5  | 11.0 | 7.0  | 8.0  | 9.0    | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 8.0  |
|      |         | 3   | 8.0 | 7.5 | 6.5 | 4.5  | 10.0 | 8.0  | 8.0  | 7.0    | 11.0 | 10.0 | 11.5 | 8.0  |
|      |         | 4   | 7.5 | 7.5 | 8.0 | 5.0  | 9.0  | 7.0  | 8.0  | 6.0    | 11.0 | 10.5 | 11.0 | 8.0  |
|      |         | 5   | 7.5 | 7.0 | 8.5 | 5.0  | 11.0 | 8.0  | 8.0  | 8.0    | 10.0 | 10.0 | 11.5 | 8.0  |
|      | C       | 1   | 7.5 | 7.0 | 7.5 | 6.0  | 10.0 | 7.0  | 9.0  | 9.0    | 11.0 | 12.0 | 11.0 | 9.0  |
|      |         | 2   | 7.5 | 7.5 | 6.5 | 5.5  | 9.0  | 7.0  | 8.0  | 8.0    | 10.0 | 11.0 | 10.0 | 9.0  |
|      |         | 3   | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 5.0  | 8.0  | 7.0  | 9.0  | 8.0    | 9.0  | 11.0 | 11.0 | 8.5  |
|      |         | 4   | 7.5 | 6.5 | 8.5 | 4.5  | 10.0 | 6.0  | 8.0  | 9.0    | 9.0  | 10.0 | 11.0 | 9.0  |
|      |         | 5   | 8.0 | 7.5 | 6.0 | 4.0  | 11.0 | 5.0  | 9.0  | 9.0    | 10.0 | 9.0  | 11.0 | 9.0  |
|      | D       | 1   | 8.0 | 7.5 | 7.0 | 2.5  | 9.0  | 5.0  | 7.0  | 8.0    | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 7.0  |
|      |         | 2   | 7.5 | 6.5 | 7.0 | 5.5  | 9.0  | 6.0  | 8.0  | 7.0    | 9.0  | 9.5  | 10.0 | 8.0  |
|      |         | 3   | 7.5 | 7.0 | 6.5 | 5.0  | 8.0  | 5.0  | 7.0  | 8.0    | 9.0  | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
|      |         | 4   | 7.5 | 7.5 | 8.5 | 5.0  | 8.0  | 6.0  | 9.0  | 9.0    | 9.0  | 10.0 | 9.0  | 9.0  |
|      |         | 5   | 5.0 | 8.0 | 8.5 | 5.5  | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0    | 10.0 | 9.0  | 10.0 | 10.0 |
| 横断面  | 最大      | 6.5 | 9.5 | 9.5 | 4.0 | 10.0 | 9.0  | 10.0 | 7.0  | 10.5   | 11.0 | 13.0 | 11.0 |      |
|      | 最小      | 2.0 | 6.0 | 5.0 | 0.0 | 2.0  | 8.0  | 7.0  | 4.0  | 8.0    | 8.5  | 10.0 | 7.0  |      |
|      | 平均      | 5.0 | 7.1 | 7.4 | 2.3 | 6.5  | 8.3  | 8.1  | 6.3  | 9.6    | 10.3 | 11.1 | 8.3  |      |
|      | 標準偏差    | 1.3 | 1.1 | 1.1 | 1.4 | 2.8  | 0.5  | 0.8  | 0.8  | 0.7    | 0.6  | 1.0  | 1.6  |      |
|      | 標準偏差率   | 9.5 | 9.5 | 8.5 | 6.0 | 11.0 | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 12.0   | 12.0 | 11.5 | 10.0 |      |
| 縦断面  | 最大      | 5.0 | 6.5 | 6.0 | 2.0 | 8.0  | 5.0  | 6.0  | 6.0  | 8.0    | 9.0  | 9.0  | 6.0  |      |
|      | 最小      | 7.7 | 7.4 | 7.3 | 4.5 | 9.4  | 6.7  | 7.9  | 8.3  | 9.9    | 10.4 | 10.5 | 8.1  |      |
|      | 平均      | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 0.9  | 1.0  | 0.9  | 1.0  | 1.0    | 1.0  | 0.7  | 1.1  |      |
|      | 標準偏差    | 9.5 | 9.5 | 9.5 | 6.0 | 11.0 | 9.0  | 10.0 | 10.0 | 12.0   | 12.0 | 13.0 | 11.0 |      |
|      | 標準偏差率   | 2.0 | 6.0 | 5.0 | 0.0 | 2.0  | 5.0  | 6.0  | 4.0  | 8.0    | 8.5  | 9.0  | 6.0  |      |
| 横縦断面 | 最大      | 6.5 | 7.3 | 7.3 | 3.6 | 8.1  | 7.4  | 8.0  | 7.4  | 9.8    | 10.4 | 10.8 | 8.2  |      |
|      | 最小      | 1.7 | 0.9 | 0.9 | 1.6 | 2.4  | 1.1  | 0.9  | 1.3  | 0.9    | 0.9  | 0.9  | 1.3  |      |
|      | 平均      | 9.5 |     |     |     | 11.0 |      |      |      | 13.0   |      |      |      |      |
|      | 標準偏差    | 0.0 |     |     |     | 2.0  |      |      |      | 6.0    |      |      |      |      |
|      | 標準偏差率   | 6.2 |     |     |     | 7.6  |      |      |      | 9.8    |      |      |      |      |
| 全体   | 最大      | 2.0 |     |     |     | 1.2  |      |      |      | 1.4    |      |      |      |      |
|      | 最小      | 33  |     |     |     | 15   |      |      |      | 14     |      |      |      |      |
|      | 平均      |     |     |     |     |      |      |      |      |        |      |      |      |      |
|      | 標準偏差    |     |     |     |     |      |      |      |      |        |      |      |      |      |
|      | 変動係数(%) |     |     |     |     |      |      |      |      |        |      |      |      |      |

表—8.4.9 中性化深さ (その2 200-50)

(単位:mm)

|     |         | 6ヶ月 |     |     |     | 1年   |      |      |      | 1年10ヶ月 |      |      |      |      |
|-----|---------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
|     |         | 打設面 | 1側  | 2側  | 下面  | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面   | 打設面    | 1側   | 2側   | 下面   |      |
| 横断面 | ①       | 1   | 3.0 | 8.0 | 6.5 | 0.0  | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 8.0    | 13.0 | 14.0 | 13.0 | 11.5 |
|     |         | 2   | 4.5 | 7.5 | 5.5 | 0.0  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0    | 12.0 | 13.0 | 13.0 | 11.0 |
|     |         | 3   | 5.0 | 6.5 | 6.5 | 0.0  | 9.0  | 8.0  | 9.0  | 8.0    | 10.5 | 13.0 | 12.0 | 12.0 |
|     |         | 4   | 3.5 | 6.5 | 6.5 | 0.0  | 10.0 | 9.0  | 9.0  | 8.0    | 12.5 | 11.5 | 13.0 | 11.5 |
|     |         | 5   | 6.5 | 6.0 | 5.0 | 1.0  | 10.0 | 9.0  | 9.0  | 7.0    | 12.5 | 10.0 | 13.0 | 12.0 |
|     | ②       | 1   | 5.0 | 7.0 | 6.0 | 3.0  | 11.0 | 8.0  | 9.0  | 7.0    | 12.0 | 12.5 | 13.0 | 11.0 |
|     |         | 2   | 5.0 | 6.0 | 8.0 | 2.0  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0    | 13.0 | 13.0 | 12.5 | 11.0 |
|     |         | 3   | 5.0 | 8.0 | 5.5 | 3.0  | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 9.0    | 11.0 | 12.5 | 12.0 | 11.5 |
|     |         | 4   | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 2.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 8.0    | 12.0 | 12.0 | 13.0 | 10.5 |
|     |         | 5   | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 3.5  | 9.0  | 8.0  | 9.0  | 8.0    | 11.0 | 11.0 | 13.0 | 10.0 |
|     | ③       | 1   | 5.5 | 7.0 | 5.5 | 0.0  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 4.0    | 14.0 | 13.5 | 14.5 | 11.0 |
|     |         | 2   | 5.5 | 6.5 | 6.0 | 0.0  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 2.0    | 13.5 | 13.0 | 14.5 | 11.0 |
|     |         | 3   | 5.5 | 6.5 | 5.5 | 0.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 2.0    | 13.0 | 11.0 | 15.0 | 12.0 |
|     |         | 4   | 5.0 | 4.5 | 5.0 | 0.0  | 10.0 | 9.0  | 10.0 | 2.0    | 14.0 | 13.5 | 13.0 | 12.0 |
|     |         | 5   | 5.0 | 5.0 | 6.0 | 1.0  | 9.0  | 8.0  | 10.0 | 4.0    | 13.0 | 13.0 | 13.5 | 11.0 |
| 縦断面 | A       | 1   | 4.0 | 7.0 | 7.5 | 3.5  | 8.0  | 11.0 | 9.0  | 7.0    | 11.0 | 11.0 | 10.0 | 13.0 |
|     |         | 2   | 4.0 | 6.5 | 8.5 | 3.5  | 8.0  | 10.0 | 9.0  | 8.0    | 10.0 | 12.0 | 11.0 | 12.0 |
|     |         | 3   | 5.5 | 6.5 | 6.5 | 3.0  | 9.0  | 10.0 | 9.0  | 7.0    | 10.0 | 11.0 | 11.0 | 12.0 |
|     |         | 4   | 6.5 | 7.5 | 8.5 | 3.0  | 9.0  | 10.0 | 10.0 | 8.0    | 11.0 | 12.0 | 11.0 | 11.0 |
|     |         | 5   | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 3.0  | 10.0 | 9.0  | 9.0  | 5.0    | 12.0 | 11.0 | 12.0 | 10.0 |
|     | B       | 1   | 6.5 | 6.5 | 7.5 | 3.5  | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 10.0   | 10.0 | 12.0 | 11.0 | 7.0  |
|     |         | 2   | 6.5 | 6.5 | 7.5 | 3.5  | 9.0  | 10.0 | 8.0  | 8.0    | 11.0 | 11.5 | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 3   | 7.0 | 7.0 | 6.0 | 3.5  | 9.0  | 7.0  | 9.0  | 8.0    | 10.0 | 11.5 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 4   | 6.5 | 6.5 | 6.0 | 3.0  | 10.0 | 9.0  | 10.0 | 9.0    | 11.0 | 12.5 | 12.0 | 11.0 |
|     |         | 5   | 5.5 | 7.5 | 7.0 | 3.0  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 9.0    | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
|     | C       | 1   | 6.5 | 5.5 | 7.5 | 3.5  | 10.0 | 9.0  | 9.0  | 8.0    | 11.0 | 13.0 | 12.0 | 11.0 |
|     |         | 2   | 5.5 | 6.0 | 7.0 | 2.0  | 10.0 | 8.0  | 13.0 | 8.0    | 11.5 | 12.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 3   | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 2.5  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0    | 11.0 | 11.0 | 12.0 | 8.5  |
|     |         | 4   | 7.0 | 6.0 | 6.5 | 2.5  | 9.0  | 9.0  | 7.0  | 8.0    | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 8.5  |
|     |         | 5   | 7.0 | 6.5 | 7.0 | 2.5  | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0    | 10.0 | 12.0 | 11.0 | 9.0  |
|     | D       | 1   | 7.0 | 7.5 | 7.0 | 3.5  | 9.0  | 10.0 | 9.0  | 7.0    | 12.0 | 13.0 | 12.5 | 11.0 |
|     |         | 2   | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 4.5  | 9.0  | 8.0  | 10.0 | 6.0    | 11.0 | 14.0 | 12.0 | 8.0  |
|     |         | 3   | 7.5 | 7.0 | 7.0 | 4.5  | 10.0 | 12.0 | 10.0 | 6.0    | 10.0 | 12.0 | 13.0 | 10.0 |
|     |         | 4   | 7.0 | 7.5 | 7.5 | 6.5  | 10.0 | 9.0  | 10.0 | 6.0    | 10.0 | 12.0 | 12.0 | 9.0  |
|     |         | 5   | 7.5 | 8.0 | 7.5 | 7.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 8.0    | 11.0 | 13.0 | 10.0 | 10.0 |
| 横断面 | 最大      | 6.5 | 8.0 | 8.0 | 3.5 | 11.0 | 10.0 | 11.0 | 9.0  | 14.0   | 14.0 | 15.0 | 12.0 |      |
|     | 最小      | 3.0 | 4.5 | 5.0 | 0.0 | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 2.0  | 10.5   | 10.0 | 12.0 | 10.0 |      |
|     | 平均      | 4.9 | 6.4 | 5.9 | 1.0 | 9.4  | 8.7  | 9.5  | 6.2  | 12.5   | 12.4 | 13.2 | 11.3 |      |
|     | 標準偏差    | 0.8 | 1.1 | 0.8 | 1.3 | 0.6  | 0.6  | 0.7  | 2.6  | 1.1    | 1.1  | 0.9  | 0.6  |      |
| 縦断面 | 最大      | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 7.0 | 10.0 | 12.0 | 13.0 | 10.0 | 12.0   | 14.0 | 13.0 | 13.0 |      |
|     | 最小      | 4.0 | 5.5 | 6.0 | 2.0 | 8.0  | 7.0  | 7.0  | 5.0  | 10.0   | 11.0 | 10.0 | 7.0  |      |
|     | 平均      | 6.3 | 6.8 | 7.1 | 3.6 | 9.2  | 9.3  | 9.3  | 7.6  | 10.8   | 12.0 | 11.6 | 10.2 |      |
|     | 標準偏差    | 1.0 | 0.6 | 0.7 | 1.2 | 0.7  | 1.1  | 1.2  | 1.2  | 0.7    | 0.8  | 0.8  | 1.5  |      |
| 横断面 | 最大      | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 7.0 | 11.0 | 12.0 | 13.0 | 10.0 | 14.0   | 14.0 | 15.0 | 13.0 |      |
|     | 最小      | 3.0 | 4.5 | 5.0 | 0.0 | 8.0  | 7.0  | 7.0  | 2.0  | 10.0   | 10.0 | 10.0 | 7.0  |      |
|     | 平均      | 5.7 | 6.6 | 6.6 | 2.5 | 9.3  | 9.0  | 9.4  | 7.0  | 11.5   | 12.2 | 12.3 | 10.6 |      |
|     | 標準偏差    | 1.2 | 0.8 | 0.9 | 1.8 | 0.7  | 1.0  | 1.0  | 2.0  | 1.2    | 1.0  | 1.1  | 1.3  |      |
| 全体  | 最大      | 8.5 |     |     |     | 13.0 |      |      |      | 15.0   |      |      |      |      |
|     | 最小      | 0.0 |     |     |     | 2.0  |      |      |      | 7.0    |      |      |      |      |
|     | 平均      | 5.4 |     |     |     | 8.7  |      |      |      | 12.0   |      |      |      |      |
|     | 標準偏差    | 2.1 |     |     |     | 1.6  |      |      |      | 1.2    |      |      |      |      |
|     | 変動係数(%) | 39  |     |     |     | 18   |      |      |      | 10     |      |      |      |      |

表-8.4.9 中性化深さ (その3 200-60)

(単位:mm)

|     |         |      | 6ヶ月  |     |     |      | 1年   |      |      |      | 1年10ヶ月 |      |      |      |
|-----|---------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
|     |         |      | 打設面  | 1側  | 2側  | 下面   | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面   | 打設面    | 1側   | 2側   | 下面   |
| 横断面 | ①       | 1    | 10.0 | 6.0 | 5.0 | 1.0  | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 5.0  | 13.0   | 9.0  | 14.0 | 10.0 |
|     |         | 2    | 8.0  | 6.0 | 5.0 | 1.0  | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 4.0  | 11.0   | 10.0 | 13.0 | 9.0  |
|     |         | 3    | 8.0  | 6.0 | 4.5 | 0.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 4.0  | 11.0   | 11.0 | 11.0 | 9.0  |
|     |         | 4    | 7.0  | 5.5 | 7.0 | 0.0  | 8.0  | 7.0  | 7.0  | 3.0  | 11.0   | 9.0  | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 5    | 6.0  | 5.5 | 6.0 | 0.0  | 8.0  | 6.0  | 11.0 | 4.0  | 10.0   | 9.0  | 10.0 | 8.0  |
|     | ②       | 1    | 8.0  | 7.5 | 6.5 | 6.0  | 7.0  | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 10.0   | 11.0 | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 2    | 8.5  | 6.5 | 7.0 | 6.0  | 8.0  | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 12.0   | 9.0  | 10.0 | 10.0 |
|     |         | 3    | 8.5  | 5.5 | 6.5 | 5.0  | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 8.0  | 10.0   | 12.0 | 13.0 | 11.0 |
|     |         | 4    | 8.0  | 5.5 | 8.0 | 5.5  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 11.0   | 10.0 | 10.0 | 11.0 |
|     |         | 5    | 8.5  | 5.5 | 7.5 | 6.0  | 8.0  | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 11.0   | 11.0 | 10.0 | 12.0 |
|     | ③       | 1    | 9.0  | 6.5 | 8.0 | 5.0  | 7.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 11.0   | 12.0 | 11.0 | 9.0  |
|     |         | 2    | 10.0 | 6.5 | 6.5 | 6.0  | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 10.0   | 12.5 | 12.0 | 9.5  |
|     |         | 3    | 8.0  | 7.0 | 5.5 | 4.5  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0  | 10.0   | 12.0 | 11.0 | 8.0  |
|     |         | 4    | 8.0  | 6.0 | 7.5 | 5.0  | 8.0  | 9.0  | 6.0  | 3.0  | 9.0    | 12.5 | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 5    | 7.0  | 5.5 | 7.5 | 4.5  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 12.0   | 11.5 | 12.0 | 10.0 |
| 縦断面 | A       | 1    | 7.5  | 7.5 | 8.0 | 5.0  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 9.0  | 12.0   | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
|     |         | 2    | 7.0  | 7.0 | 6.5 | 4.0  | 9.0  | 6.0  | 10.0 | 9.0  | 12.0   | 13.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 3    | 7.5  | 6.5 | 8.0 | 5.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0  | 12.0   | 11.0 | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 4    | 6.5  | 7.0 | 7.0 | 4.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 6.0  | 12.0   | 12.0 | 10.0 | 12.0 |
|     |         | 5    | 8.0  | 7.0 | 6.5 | 3.5  | 9.0  | 8.0  | 10.0 | 2.0  | 11.5   | 12.0 | 10.0 | 10.0 |
|     | B       | 1    | 6.5  | 6.5 | 8.0 | 6.0  | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 7.0  | 12.0   | 12.0 | 11.0 | 9.0  |
|     |         | 2    | 6.0  | 6.5 | 7.0 | 5.0  | 10.0 | 9.0  | 7.0  | 7.0  | 11.5   | 14.0 | 11.0 | 9.0  |
|     |         | 3    | 7.0  | 7.0 | 7.0 | 5.5  | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 9.0  | 11.0   | 13.0 | 10.0 | 8.0  |
|     |         | 4    | 7.5  | 7.5 | 8.5 | 5.0  | 8.0  | 8.0  | 10.0 | 9.0  | 12.5   | 11.0 | 11.0 | 8.0  |
|     |         | 5    | 6.5  | 7.5 | 7.5 | 6.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 9.0  | 13.0   | 10.0 | 12.0 | 8.0  |
|     | C       | 1    | 7.5  | 6.0 | 6.0 | 5.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0  | 10.0   | 12.0 | 13.0 | 11.0 |
|     |         | 2    | 8.0  | 6.5 | 7.0 | 3.5  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0  | 10.0   | 13.0 | 13.0 | 10.0 |
|     |         | 3    | 8.0  | 6.5 | 6.5 | 4.5  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0  | 11.0   | 11.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 4    | 8.0  | 8.0 | 6.5 | 4.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 7.0  | 10.0   | 11.0 | 12.0 | 8.0  |
|     |         | 5    | 8.0  | 6.5 | 7.5 | 6.0  | 8.0  | 7.0  | 10.0 | 7.0  | 10.0   | 11.0 | 11.0 | 9.0  |
|     | D       | 1    | 7.5  | 7.5 | 7.0 | 4.0  | 8.0  | 7.0  | 8.0  | 3.0  | 10.0   | 11.0 | 11.0 | 9.0  |
|     |         | 2    | 8.0  | 8.5 | 6.5 | 0.0  | 8.0  | 7.0  | 9.0  | 8.0  | 12.0   | 12.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 3    | 8.5  | 7.5 | 6.5 | 4.0  | 8.0  | 7.0  | 8.0  | 8.0  | 11.0   | 10.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 4    | 8.0  | 7.0 | 6.5 | 6.0  | 7.0  | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 11.0   | 11.0 | 11.0 | 11.0 |
|     |         | 5    | 8.5  | 8.5 | 9.0 | 6.0  | 6.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 11.0   | 10.0 | 12.0 | 12.0 |
| 横断面 | 最大      | 10.0 | 7.5  | 8.0 | 6.0 | 8.0  | 9.0  | 11.0 | 9.0  | 13.0 | 12.5   | 14.0 | 12.0 |      |
|     | 最小      | 6.0  | 5.5  | 4.5 | 0.0 | 7.0  | 6.0  | 6.0  | 3.0  | 9.0  | 9.0    | 10.0 | 8.0  |      |
|     | 平均      | 8.2  | 6.1  | 6.5 | 3.7 | 7.9  | 8.0  | 8.0  | 6.1  | 10.8 | 10.8   | 11.3 | 9.8  |      |
|     | 標準偏差    | 1.0  | 0.6  | 1.1 | 2.5 | 0.4  | 0.8  | 1.1  | 2.1  | 1.0  | 1.3    | 1.2  | 1.1  |      |
| 縦断面 | 最大      | 8.5  | 8.5  | 9.0 | 6.0 | 10.0 | 9.0  | 10.0 | 10.0 | 13.0 | 14.0   | 13.0 | 12.0 |      |
|     | 最小      | 6.0  | 6.0  | 6.0 | 0.0 | 6.0  | 6.0  | 7.0  | 2.0  | 10.0 | 10.0   | 10.0 | 10.0 |      |
|     | 平均      | 7.5  | 7.1  | 7.2 | 4.6 | 8.3  | 8.3  | 9.3  | 7.5  | 11.3 | 11.6   | 11.5 | 9.8  |      |
|     | 標準偏差    | 0.7  | 0.7  | 0.8 | 1.4 | 0.9  | 1.0  | 1.0  | 2.0  | 0.9  | 1.1    | 0.9  | 1.3  |      |
| 横断面 | 最大      | 10.0 | 8.5  | 9.0 | 6.0 | 10.0 | 9.0  | 11.0 | 10.0 | 13.0 | 14.0   | 14.0 | 12.0 |      |
|     | 最小      | 6.0  | 5.5  | 4.5 | 0.0 | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 2.0  | 8.0  | 9.0    | 10.0 | 8.0  |      |
|     | 平均      | 7.8  | 6.7  | 6.9 | 4.2 | 8.1  | 8.1  | 8.7  | 6.9  | 11.1 | 11.2   | 11.4 | 9.8  |      |
|     | 標準偏差    | 0.9  | 0.8  | 1.0 | 2.0 | 0.7  | 0.9  | 1.2  | 2.1  | 1.0  | 1.3    | 1.0  | 1.2  |      |
| 全体  | 最大      | 10.0 |      |     |     | 11.0 |      |      |      | 14.0 |        |      |      |      |
|     | 最小      | 0.0  |      |     |     | 2.0  |      |      |      | 8.0  |        |      |      |      |
|     | 平均      | 6.4  |      |     |     | 8.0  |      |      |      | 10.9 |        |      |      |      |
|     | 標準偏差    | 1.8  |      |     |     | 1.5  |      |      |      | 1.3  |        |      |      |      |
|     | 変動係数(%) | 29   |      |     |     | 19   |      |      |      | 12   |        |      |      |      |

表-8.4.9 中性化深さ (その4 200-70)

(単位:mm)

|     |         | 6ヶ月  |      |      |     | 1年   |      |      |      | 1年10ヶ月 |      |      |      |      |
|-----|---------|------|------|------|-----|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
|     |         | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面  | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面   | 打設面    | 1側   | 2側   | 下面   |      |
| 横断面 | ①       | 1    | 8.5  | 5.5  | 6.0 | 1.0  | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 7.0    | 11.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 |
|     |         | 2    | 7.0  | 6.0  | 5.0 | 2.0  | 8.0  | 8.0  | 9.0  | 5.0    | 11.0 | 11.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 3    | 6.0  | 6.0  | 5.5 | 2.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0    | 11.0 | 11.0 | 13.0 | 11.0 |
|     |         | 4    | 6.0  | 7.0  | 7.0 | 3.5  | 8.0  | 6.0  | 9.0  | 6.0    | 12.0 | 10.5 | 12.0 | 12.0 |
|     |         | 5    | 6.0  | 6.0  | 8.0 | 3.5  | 9.0  | 8.0  | 10.0 | 5.0    | 11.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 |
|     | ②       | 1    | 6.0  | 6.5  | 6.5 | 5.0  | 9.0  | 7.0  | 10.0 | 7.0    | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 9.5  |
|     |         | 2    | 7.5  | 6.5  | 7.0 | 4.5  | 9.0  | 7.0  | 12.0 | 7.0    | 11.0 | 10.0 | 13.0 | 11.0 |
|     |         | 3    | 6.0  | 6.5  | 6.0 | 3.5  | 8.0  | 7.0  | 9.0  | 5.0    | 9.5  | 9.5  | 12.0 | 11.0 |
|     |         | 4    | 7.0  | 6.0  | 6.5 | 6.0  | 7.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0    | 10.5 | 13.5 | 13.0 | 10.0 |
|     |         | 5    | 6.0  | 7.0  | 6.0 | 4.5  | 9.0  | 7.0  | 11.0 | 6.0    | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 9.0  |
|     | ③       | 1    | 8.0  | 7.0  | 7.0 | 2.0  | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 8.0    | 12.0 | 12.0 | 10.0 | 11.0 |
|     |         | 2    | 6.0  | 7.0  | 8.0 | 1.5  | 8.0  | 8.0  | 9.0  | 7.0    | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 3    | 7.0  | 7.0  | 6.5 | 3.0  | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 7.0    | 12.0 | 12.0 | 10.0 | 9.0  |
|     |         | 4    | 7.0  | 6.0  | 8.0 | 3.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0    | 13.0 | 11.5 | 11.0 | 8.0  |
|     |         | 5    | 8.0  | 6.0  | 7.5 | 5.0  | 10.0 | 8.0  | 8.0  | 6.0    | 13.0 | 11.0 | 12.0 | 10.0 |
| 縦断面 | A       | 1    | 7.0  | 7.5  | 7.5 | 4.0  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 9.0    | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 11.0 |
|     |         | 2    | 6.0  | 7.0  | 6.5 | 3.5  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 6.0    | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 9.0  |
|     |         | 3    | 6.5  | 6.5  | 6.5 | 3.5  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 5.0    | 11.0 | 15.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 4    | 6.5  | 7.0  | 6.5 | 3.5  | 10.0 | 10.0 | 9.0  | 5.0    | 11.0 | 13.0 | 11.0 | 9.0  |
|     |         | 5    | 6.5  | 6.5  | 6.0 | 3.5  | 9.0  | 10.0 | 9.0  | 6.0    | 12.0 | 11.0 | 11.0 | 8.0  |
|     | B       | 1    | 6.0  | 6.0  | 6.5 | 3.5  | 9.0  | 7.0  | 9.0  | 6.0    | 12.0 | 12.0 | 11.0 | 13.0 |
|     |         | 2    | 5.5  | 6.0  | 6.5 | 3.5  | 8.0  | 8.0  | 10.0 | 6.0    | 12.0 | 12.0 | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 3    | 6.0  | 6.5  | 6.0 | 4.5  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 6.0    | 11.0 | 10.0 | 12.0 | 10.0 |
|     |         | 4    | 6.5  | 6.5  | 7.0 | 5.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 5.0    | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 10.0 |
|     |         | 5    | 6.5  | 8.0  | 6.0 | 5.5  | 9.0  | 10.0 | 10.0 | 6.0    | 10.0 | 11.0 | 10.0 | 11.0 |
|     | C       | 1    | 7.0  | 6.5  | 6.5 | 5.0  | 9.0  | 7.0  | 11.0 | 7.0    | 11.0 | 12.0 | 10.0 | 12.0 |
|     |         | 2    | 7.0  | 8.0  | 6.0 | 5.0  | 9.0  | 7.0  | 10.0 | 7.0    | 12.0 | 12.0 | 10.0 | 12.0 |
|     |         | 3    | 7.5  | 6.5  | 8.0 | 5.0  | 8.0  | 6.0  | 10.0 | 7.0    | 12.0 | 14.0 | 11.0 | 12.0 |
|     |         | 4    | 7.5  | 8.5  | 7.0 | 5.5  | 8.0  | 7.0  | 8.0  | 8.0    | 12.5 | 12.0 | 10.0 | 12.0 |
|     |         | 5    | 7.5  | 7.0  | 6.5 | 5.5  | 8.0  | 7.0  | 9.0  | 7.0    | 12.0 | 13.0 | 11.0 | 11.0 |
|     | D       | 1    | 7.0  | 5.5  | 6.0 | 5.0  | 8.0  | 10.0 | 10.0 | 3.0    | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 8.0  |
|     |         | 2    | 8.5  | 7.0  | 7.0 | 3.0  | 9.0  | 8.0  | 9.0  | 5.0    | 12.0 | 10.0 | 10.0 | 9.0  |
|     |         | 3    | 6.5  | 7.5  | 7.0 | 5.5  | 9.0  | 7.0  | 9.0  | 7.0    | 11.0 | 11.0 | 12.0 | 9.0  |
|     |         | 4    | 7.5  | 7.5  | 7.0 | 6.0  | 9.0  | 8.0  | 10.0 | 7.0    | 11.0 | 12.0 | 10.0 | 9.0  |
|     |         | 5    | 8.0  | 10.0 | 7.5 | 6.5  | 9.0  | 9.0  | 10.0 | 8.0    | 12.0 | 11.0 | 10.0 | 9.0  |
| 横断面 | 最大      | 8.5  | 7.0  | 8.0  | 6.0 | 10.0 | 9.0  | 12.0 | 8.0  | 13.0   | 13.5 | 14.0 | 13.0 |      |
|     | 最小      | 6.0  | 5.5  | 5.0  | 1.0 | 7.0  | 6.0  | 8.0  | 5.0  | 9.5    | 9.5  | 10.0 | 8.0  |      |
|     | 平均      | 6.8  | 6.4  | 6.7  | 3.3 | 8.5  | 7.8  | 9.1  | 6.3  | 11.2   | 11.3 | 12.0 | 10.4 |      |
|     | 標準偏差    | 0.9  | 0.5  | 0.9  | 1.5 | 0.7  | 0.9  | 1.2  | 0.9  | 1.0    | 1.0  | 1.1  | 1.3  |      |
|     | 最大      | 8.5  | 10.0 | 8.0  | 6.5 | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 9.0  | 12.5   | 15.0 | 12.0 | 13.0 |      |
| 縦断面 | 最大      | 5.5  | 5.5  | 6.0  | 3.0 | 8.0  | 6.0  | 8.0  | 3.0  | 10.0   | 10.0 | 10.0 | 8.0  |      |
|     | 最小      | 6.9  | 7.1  | 6.7  | 4.6 | 8.8  | 8.3  | 9.6  | 6.3  | 11.4   | 11.8 | 10.9 | 10.2 |      |
|     | 平均      | 0.7  | 1.0  | 0.6  | 1.0 | 0.5  | 1.3  | 0.7  | 1.3  | 0.7    | 1.3  | 0.8  | 1.5  |      |
|     | 標準偏差    | 8.5  | 10.0 | 8.0  | 6.5 | 10.0 | 10.0 | 12.0 | 9.0  | 13.0   | 15.0 | 14.0 | 13.0 |      |
|     | 最大      | 5.5  | 5.5  | 5.0  | 1.0 | 7.0  | 6.0  | 8.0  | 3.0  | 9.5    | 9.5  | 10.0 | 8.0  |      |
| 横断面 | 最大      | 6.8  | 6.8  | 6.7  | 4.1 | 8.7  | 8.1  | 9.4  | 6.3  | 11.3   | 11.6 | 11.4 | 10.3 |      |
|     | 最小      | 0.8  | 0.9  | 0.7  | 1.4 | 0.6  | 1.1  | 1.0  | 1.2  | 0.9    | 1.2  | 1.1  | 1.4  |      |
|     | 平均      |      |      |      |     |      |      |      |      |        |      |      |      |      |
|     | 標準偏差    |      |      |      |     |      |      |      |      |        |      |      |      |      |
|     | 最大      | 10.0 |      |      |     | 12.0 |      |      |      | 15.0   |      |      |      |      |
| 全体  | 最大      | 1.0  |      |      |     | 3.0  |      |      |      | 8.0    |      |      |      |      |
|     | 最小      | 6.1  |      |      |     | 8.1  |      |      |      | 11.2   |      |      |      |      |
|     | 平均      | 1.5  |      |      |     | 1.5  |      |      |      | 1.2    |      |      |      |      |
|     | 標準偏差    |      |      |      |     |      |      |      |      |        |      |      |      |      |
|     | 変動係数(%) | 25   |      |      |     | 19   |      |      |      | 11     |      |      |      |      |

表-8.4.9 中性化深さ (その5 300-60)

(単位:mm)

|      |         |   | 6ヶ月  |      |      |     | 1年   |      |      |      | 1年10ヶ月 |      |      |      |
|------|---------|---|------|------|------|-----|------|------|------|------|--------|------|------|------|
|      |         |   | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面  | 打設面  | 1側   | 2側   | 下面   | 打設面    | 1側   | 2側   | 下面   |
|      |         |   | 1    | 2    | 3    | 4   | 1    | 2    | 3    | 4    | 1      | 2    | 3    | 4    |
| 横断面  | ①       | 1 | 8.5  | 7.0  | 9.0  | 1.0 | 8.0  | 10.0 | 9.0  | 8.0  | 12.0   | 15.0 | 14.0 | 11.0 |
|      |         | 2 | 8.0  | 8.0  | 8.5  | 1.0 | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 6.0  | 10.0   | 15.0 | 14.0 | 9.0  |
|      |         | 3 | 9.0  | 9.0  | 8.5  | 1.0 | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 4.0  | 13.0   | 13.0 | 14.0 | 9.5  |
|      |         | 4 | 8.0  | 7.5  | 8.0  | 1.0 | 8.0  | 8.0  | 9.0  | 2.0  | 13.0   | 12.0 | 12.0 | 11.0 |
|      |         | 5 | 6.5  | 6.5  | 7.5  | 2.0 | 8.0  | 8.0  | 9.0  | 4.0  | 10.0   | 14.0 | 14.0 | 12.0 |
|      | ②       | 1 | 7.5  | 9.5  | 6.0  | 5.0 | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 15.0   | 13.0 | 14.0 | 12.0 |
|      |         | 2 | 7.0  | 6.5  | 6.5  | 4.5 | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 6.0  | 14.0   | 13.0 | 13.0 | 12.0 |
|      |         | 3 | 7.5  | 8.0  | 7.0  | 4.5 | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 16.0   | 12.5 | 13.0 | 13.0 |
|      |         | 4 | 7.5  | 8.0  | 7.5  | 4.5 | 9.0  | 8.0  | 10.0 | 7.0  | 14.0   | 14.0 | 14.5 | 13.0 |
|      |         | 5 | 7.0  | 5.0  | 8.5  | 4.5 | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 16.0   | 14.5 | 16.0 | 12.0 |
|      | ③       | 1 | 8.0  | 6.0  | 7.0  | 3.0 | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 6.0  | 16.0   | 13.5 | 16.0 | 15.0 |
|      |         | 2 | 8.0  | 6.5  | 7.5  | 2.0 | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 7.0  | 14.0   | 13.5 | 17.0 | 14.0 |
|      |         | 3 | 7.0  | 6.0  | 7.0  | 4.0 | 8.0  | 11.0 | 8.0  | 8.0  | 11.0   | 14.0 | 15.0 | 14.0 |
|      |         | 4 | 6.0  | 6.0  | 8.0  | 3.0 | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 7.0  | 11.0   | 14.0 | 16.0 | 14.0 |
|      |         | 5 | 6.5  | 4.5  | 8.5  | 4.5 | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 8.0  | 13.0   | 16.0 | 15.0 | 14.0 |
| 縦断面  | A       | 1 | 4.5  | 6.5  | 8.5  | 5.0 | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 7.0  | 14.5   | 12.0 | 14.0 | 17.0 |
|      |         | 2 | 3.0  | 7.5  | 8.0  | 6.0 | 9.0  | 8.0  | 10.0 | 8.0  | 15.0   | 13.0 | 14.0 | 13.5 |
|      |         | 3 | 3.5  | 7.5  | 6.0  | 6.0 | 13.0 | 8.0  | 9.0  | 7.0  | 13.0   | 13.0 | 14.0 | 14.0 |
|      |         | 4 | 2.0  | 8.5  | 6.5  | 6.0 | 8.0  | 10.0 | 7.0  | 6.0  | 12.0   | 11.0 | 14.5 | 14.0 |
|      |         | 5 | 3.0  | 8.5  | 6.5  | 7.0 | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 2.0  | 12.0   | 12.0 | 15.5 | 12.0 |
|      | B       | 1 | 5.5  | 8.5  | 6.0  | 6.0 | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 8.0  | 12.0   | 13.0 | 14.5 | 9.0  |
|      |         | 2 | 4.0  | 8.5  | 7.5  | 6.0 | 9.0  | 8.0  | 9.0  | 7.0  | 13.0   | 15.0 | 14.0 | 10.0 |
|      |         | 3 | 2.0  | 8.0  | 7.5  | 6.0 | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 11.0 | 13.0   | 15.0 | 14.0 | 11.0 |
|      |         | 4 | 4.5  | 8.0  | 7.0  | 5.5 | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 9.0  | 14.0   | 15.0 | 13.0 | 8.0  |
|      |         | 5 | 5.5  | 8.5  | 7.0  | 5.5 | 9.0  | 9.0  | 7.0  | 8.0  | 14.0   | 13.0 | 14.0 | 7.0  |
|      | C       | 1 | 6.0  | 8.0  | 8.0  | 6.0 | 8.0  | 10.0 | 8.0  | 6.0  | 14.0   | 14.0 | 14.0 | 10.0 |
|      |         | 2 | 5.5  | 9.0  | 7.5  | 6.5 | 8.0  | 11.0 | 9.0  | 7.0  | 14.0   | 17.0 | 14.5 | 9.0  |
|      |         | 3 | 6.0  | 8.5  | 7.0  | 6.0 | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 11.0 | 14.0   | 14.0 | 14.5 | 11.0 |
|      |         | 4 | 6.5  | 8.0  | 7.5  | 6.0 | 8.0  | 10.0 | 8.0  | 8.0  | 15.0   | 15.0 | 13.0 | 11.0 |
|      |         | 5 | 5.5  | 7.5  | 5.5  | 5.5 | 8.0  | 12.0 | 10.0 | 5.0  | 16.5   | 14.5 | 14.0 | 12.0 |
|      | D       | 1 | 6.0  | 8.0  | 7.5  | 6.0 | 8.0  | 9.0  | 9.0  | 5.0  | 16.5   | 15.0 | 13.0 | 9.0  |
|      |         | 2 | 6.0  | 10.0 | 10.0 | 5.5 | 8.0  | 8.0  | 9.0  | 7.0  | 15.0   | 13.0 | 10.0 | 8.0  |
|      |         | 3 | 7.0  | 8.5  | 7.5  | 6.5 | 9.0  | 8.0  | 9.0  | 6.0  | 14.0   | 14.0 | 10.0 | 10.0 |
|      |         | 4 | 7.5  | 8.0  | 6.5  | 6.0 | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 14.5   | 14.5 | 11.0 | 10.0 |
|      |         | 5 | 5.0  | 8.0  | 5.5  | 5.0 | 7.0  | 8.0  | 9.0  | 8.0  | 14.5   | 14.0 | 11.0 | 11.5 |
| 横断面  | 最大      |   | 9.0  | 9.5  | 9.0  | 5.0 | 9.0  | 11.0 | 10.0 | 8.0  | 16.0   | 15.0 | 17.0 | 15.0 |
|      | 最小      |   | 6.0  | 4.5  | 6.0  | 1.0 | 8.0  | 8.0  | 7.0  | 2.0  | 10.0   | 12.0 | 12.0 | 9.0  |
|      | 平均      |   | 7.5  | 6.9  | 7.7  | 3.0 | 8.3  | 8.7  | 8.3  | 6.5  | 13.2   | 13.8 | 14.5 | 12.4 |
|      | 標準偏差    |   | 0.8  | 1.4  | 0.9  | 1.6 | 0.5  | 0.9  | 0.7  | 1.8  | 2.1    | 1.0  | 1.3  | 1.7  |
| 縦断面  | 最大      |   | 7.5  | 10.0 | 10.0 | 7.0 | 13.0 | 12.0 | 10.0 | 11.0 | 16.5   | 17.0 | 15.5 | 17.0 |
|      | 最小      |   | 2.0  | 6.5  | 5.5  | 5.0 | 7.0  | 8.0  | 7.0  | 2.0  | 12.0   | 11.0 | 10.0 | 7.0  |
|      | 平均      |   | 4.9  | 8.2  | 7.2  | 5.9 | 8.5  | 9.0  | 8.6  | 7.2  | 14.0   | 13.9 | 13.3 | 10.9 |
|      | 標準偏差    |   | 1.6  | 0.7  | 1.1  | 0.5 | 1.2  | 1.1  | 0.9  | 2.0  | 1.3    | 1.4  | 1.6  | 2.4  |
| 横縦断面 | 最大      |   | 9.0  | 10.0 | 10.0 | 7.0 | 13.0 | 12.0 | 10.0 | 11.0 | 16.5   | 17.0 | 17.0 | 17.0 |
|      | 最小      |   | 2.0  | 4.5  | 5.5  | 1.0 | 7.0  | 8.0  | 7.0  | 2.0  | 10.0   | 11.0 | 10.0 | 7.0  |
|      | 平均      |   | 6.0  | 7.6  | 7.4  | 4.7 | 8.4  | 8.9  | 8.5  | 6.9  | 13.7   | 13.8 | 13.8 | 11.5 |
|      | 標準偏差    |   | 1.8  | 1.2  | 1.0  | 1.8 | 0.9  | 1.0  | 0.9  | 2.0  | 1.7    | 1.2  | 1.6  | 2.3  |
| 全体   | 最大      |   | 10.0 |      |      |     | 13.0 |      |      |      | 17.0   |      |      |      |
|      | 最小      |   | 1.0  |      |      |     | 2.0  |      |      |      | 7.0    |      |      |      |
|      | 平均      |   | 6.4  |      |      |     | 8.2  |      |      |      | 13.8   |      |      |      |
|      | 標準偏差    |   | 1.9  |      |      |     | 1.5  |      |      |      | 1.5    |      |      |      |
|      | 変動係数(%) |   | 30   |      |      |     | 18   |      |      |      | 11     |      |      |      |

8. 5 石粉混入による高流動コンクリートの品質

8.5.1 ワーカビリティ

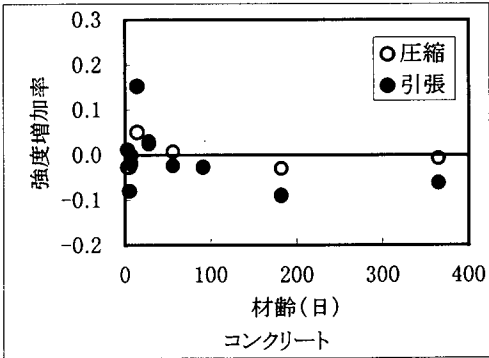
表－8.2.3 の配合試験，表－8.2.6 の石粉混入コンクリートの配合を，表－4.5.1 の各指標を計算した結果が表－8.5.1 および表－8.5.2 である。表－8.5.2 の石粉量，目標スランブフローごとの各指標値の関係を図－8.5.3 に示す。ペースト，モルタルの粘性試験，コンクリートのスランブフロー試験結果などから，今回使用した石粉は粒子径が大きく，比表面積が小さかったので，ワーカビリティの改善にはほとんど寄与しなかったものと考えられる。

8.5.2 強 度

微粒分率と圧縮強度比，割裂引張強度比の関係を表－8.5.4，図－8.5.1，表－8.5.5，図－8.5.2 に示す。また，材齢と強度増加率の関係を表－8.5.6，図－8.5.3 に示す。図－8.5.3 のように強度増進効果はほとんどなかった。このことは，強度上からは，石粉の混入量をかなり増やすことが可能であることを示している。

表－8.5.6 材齢と強度増加率

|        |    | 材齢(日)  |        |        |       |       |        |        |        |        |        |
|--------|----|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        |    | 3      | 5      | 7      | 14    | 28    | 56     | 91     | 182    | 365    | 平均     |
| コンクリート | 圧縮 | -0.028 | -0.028 | -0.002 | 0.050 | 0.024 | 0.007  | -0.029 | -0.031 | -0.008 | -0.005 |
|        | 引張 | 0.011  | -0.081 | -0.020 | 0.152 | 0.029 | -0.024 | -0.027 | -0.090 | -0.063 | -0.013 |



図－8.5.3 材齢と強度増加率の関係

8.5.3 耐久性

凍結融解抵抗性は，石粉量が少なく，スランブフローが小さいほど良好であった。長さ変化および中性化深さは有スランブコンクリートに比べ大きい傾向であった。これらのことから，石粉の混入量は耐久性から決まる可能性がある。

表-8.5.1 高流動コンクリートの試験配合の各指標値

| W/B<br>(%) | W/Bp<br>(%) | Pw/Bp<br>(%) | pw/s<br>(%) | s0/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |    |     |      |       |     |       |       | uBp/p | α 0   | uS/m  | uSd/m | α     | α d   | uG/c  | uGd/c | β     | β d   | u(S+Bp)<br>/m | α '   | u(G+S)<br>/c | u(G+S)d<br>/c | β ' | β ' d |
|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-------|-----|----|-----|------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|-----|-------|
|            |             |              |             |             | W                        | Bp    |     |    |     |      | S0    | G   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |     |       |
|            |             |              |             |             |                          |       | C   | FA | PwI | Pw0  |       |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |     |       |
| 51.7       | 19.7        | 23.9         | 17.4        | 53.8        | 155                      | 788.7 | 210 | 90 | 100 | 88.7 | 875.3 | 760 | 0.789 | 1.334 | 0.770 | 0.779 | 2.308 | 1.721 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.142 | 0.523 | 0.799         | 0.888 | 2.145        | 1.427         |     |       |
| 51.7       | 17.8        | 31.2         | 27.1        | 46.4        | 155                      | 872.6 | 210 | 90 | 200 | 72.6 | 716.4 | 837 | 0.854 | 1.136 | 0.657 | 0.665 | 3.058 | 2.280 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.200 | 0.467 | 0.766         | 0.833 | 2.345        | 1.697         |     |       |
| 51.7       | 16.2        | 37.3         | 38.5        | 38.1        | 155                      | 956.4 | 210 | 90 | 300 | 56.4 | 556.6 | 913 | 0.909 | 0.989 | 0.533 | 0.539 | 4.250 | 3.169 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.283 | 0.406 | 0.741         | 0.796 | 2.438        | 1.862         |     |       |
| 51.7       | 19.8        | 23.2         | 18.0        | 49.3        | 155                      | 781.7 | 210 | 90 | 100 | 81.7 | 806.3 | 837 | 0.783 | 1.354 | 0.740 | 0.748 | 2.487 | 1.855 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.135 | 0.539 | 0.807         | 0.885 | 2.074        | 1.447         |     |       |
| 51.7       | 17.9        | 30.7         | 28.6        | 41.7        | 155                      | 865.6 | 210 | 90 | 200 | 65.6 | 647.4 | 913 | 0.849 | 1.150 | 0.620 | 0.627 | 3.365 | 2.509 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.202 | 0.472 | 0.778         | 0.835 | 2.214        | 1.687         |     |       |
| 51.7       | 50.3        | 38.2         | 34.2        | 48.0        | 155                      | 970.4 | 210 | 90 | 300 | 70.4 | 694.6 | 760 | 0.917 | 0.968 | 0.611 | 0.618 | 3.445 | 2.569 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.271 | 0.398 | 0.716         | 0.782 | 2.771        | 1.964         |     |       |
| 51.7       | 47.3        | 22.6         | 18.8        | 44.9        | 155                      | 774.7 | 210 | 90 | 100 | 74.7 | 737.3 | 913 | 0.777 | 1.374 | 0.706 | 0.714 | 2.703 | 2.015 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.127 | 0.556 | 0.816         | 0.883 | 1.981        | 1.462         |     |       |
| 51.7       | 53.4        | 31.8         | 25.8        | 51.1        | 155                      | 879.6 | 210 | 90 | 200 | 79.6 | 785.4 | 760 | 0.859 | 1.122 | 0.691 | 0.699 | 2.809 | 2.094 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.197 | 0.461 | 0.757         | 0.835 | 2.451        | 1.676         |     |       |
| 51.7       | 45.3        | 37.7         | 36.2        | 43.0        | 155                      | 963.4 | 210 | 90 | 300 | 63.4 | 625.6 | 837 | 0.913 | 0.979 | 0.574 | 0.580 | 3.802 | 2.835 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.277 | 0.402 | 0.727         | 0.780 | 2.617        | 1.993         |     |       |
| 53.3       | 46.9        | 22.4         | 18.9        | 44.5        | 160                      | 773.5 | 210 | 90 | 100 | 73.5 | 725.5 | 913 | 0.765 | 1.422 | 0.695 | 0.703 | 2.780 | 2.073 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.117 | 0.577 | 0.811         | 0.876 | 2.012        | 1.493         |     |       |
| 53.3       | 53.0        | 31.7         | 26.0        | 50.7        | 160                      | 878.4 | 210 | 90 | 200 | 78.4 | 773.6 | 760 | 0.848 | 1.161 | 0.680 | 0.688 | 2.883 | 2.150 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.189 | 0.477 | 0.752         | 0.828 | 2.492        | 1.711         |     |       |
| 53.3       | 44.9        | 37.6         | 36.6        | 42.6        | 160                      | 962.2 | 210 | 90 | 300 | 62.2 | 613.8 | 837 | 0.903 | 1.012 | 0.563 | 0.569 | 3.914 | 2.919 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.269 | 0.416 | 0.722         | 0.774 | 2.651        | 2.020         |     |       |
| 53.3       | 55.8        | 23.8         | 17.5        | 53.4        | 160                      | 787.5 | 210 | 90 | 100 | 87.5 | 863.5 | 760 | 0.778 | 1.381 | 0.759 | 0.768 | 2.368 | 1.766 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.133 | 0.543 | 0.794         | 0.881 | 2.184        | 1.458         |     |       |
| 53.3       | 48.3        | 31.1         | 27.3        | 46.0        | 160                      | 871.4 | 210 | 90 | 200 | 71.4 | 704.6 | 837 | 0.843 | 1.175 | 0.646 | 0.654 | 3.144 | 2.344 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.192 | 0.483 | 0.761         | 0.826 | 2.380        | 1.732         |     |       |
| 53.3       | 39.8        | 37.2         | 38.9        | 37.6        | 160                      | 955.2 | 210 | 90 | 300 | 55.2 | 544.8 | 913 | 0.898 | 1.023 | 0.522 | 0.528 | 4.387 | 3.271 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.274 | 0.420 | 0.736         | 0.792 | 2.466        | 1.883         |     |       |
| 53.3       | 51.3        | 23.1         | 18.2        | 49.0        | 160                      | 780.5 | 210 | 90 | 100 | 80.5 | 794.5 | 837 | 0.772 | 1.401 | 0.729 | 0.737 | 2.555 | 1.905 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.125 | 0.560 | 0.801         | 0.878 | 2.110        | 1.478         |     |       |
| 53.3       | 43.6        | 30.6         | 28.9        | 41.3        | 160                      | 864.4 | 210 | 90 | 200 | 64.4 | 635.6 | 913 | 0.837 | 1.190 | 0.609 | 0.616 | 3.465 | 2.584 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.193 | 0.489 | 0.773         | 0.830 | 2.244        | 1.711         |     |       |
| 53.3       | 49.9        | 38.1         | 34.6        | 47.6        | 160                      | 969.2 | 210 | 90 | 300 | 69.2 | 682.8 | 760 | 0.907 | 1.001 | 0.601 | 0.607 | 3.541 | 2.640 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.263 | 0.411 | 0.710         | 0.775 | 2.813        | 2.004         |     |       |
| 55.0       | 50.9        | 23.0         | 18.3        | 48.6        | 165                      | 779.3 | 210 | 90 | 100 | 79.3 | 782.7 | 837 | 0.761 | 1.448 | 0.718 | 0.726 | 2.625 | 1.957 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.116 | 0.580 | 0.796         | 0.871 | 2.145        | 1.509         |     |       |
| 55.0       | 43.1        | 30.5         | 29.2        | 40.8        | 165                      | 863.1 | 210 | 90 | 200 | 63.1 | 622.9 | 913 | 0.826 | 1.230 | 0.597 | 0.603 | 3.578 | 2.668 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.184 | 0.505 | 0.768         | 0.824 | 2.276        | 1.736         |     |       |
| 55.0       | 49.5        | 38.0         | 34.9        | 47.1        | 165                      | 968.0 | 210 | 90 | 300 | 68.0 | 671.0 | 760 | 0.896 | 1.035 | 0.590 | 0.597 | 3.639 | 2.713 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.255 | 0.425 | 0.705         | 0.768 | 2.855        | 2.045         |     |       |
| 55.0       | 46.4        | 22.3         | 19.1        | 44.1        | 165                      | 772.3 | 210 | 90 | 100 | 72.3 | 713.7 | 913 | 0.754 | 1.470 | 0.684 | 0.691 | 2.860 | 2.133 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.107 | 0.598 | 0.806         | 0.869 | 2.043        | 1.525         |     |       |
| 55.0       | 52.6        | 31.6         | 26.2        | 50.3        | 165                      | 877.1 | 210 | 90 | 200 | 77.1 | 760.9 | 760 | 0.836 | 1.200 | 0.669 | 0.677 | 2.965 | 2.211 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.181 | 0.493 | 0.746         | 0.820 | 2.536        | 1.750         |     |       |
| 55.0       | 44.4        | 37.6         | 36.9        | 42.1        | 165                      | 961.0 | 210 | 90 | 300 | 61.0 | 602.0 | 837 | 0.892 | 1.046 | 0.552 | 0.559 | 4.032 | 3.006 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.260 | 0.429 | 0.717         | 0.769 | 2.686        | 2.047         |     |       |
| 55.0       | 55.4        | 23.7         | 17.6        | 53.1        | 165                      | 786.3 | 210 | 90 | 100 | 86.3 | 851.7 | 760 | 0.766 | 1.427 | 0.749 | 0.758 | 2.429 | 1.811 | 0.480 | 0.542 | 3.824 | 2.883 | 1.123 | 0.563 | 0.788         | 0.874 | 2.224        | 1.489         |     |       |
| 55.0       | 47.9        | 31.0         | 27.6        | 45.5        | 165                      | 870.1 | 210 | 90 | 200 | 70.1 | 691.9 | 837 | 0.831 | 1.215 | 0.635 | 0.642 | 3.240 | 2.416 | 0.529 | 0.597 | 3.330 | 2.510 | 1.183 | 0.499 | 0.756         | 0.819 | 2.419        | 1.771         |     |       |
| 55.0       | 39.3        | 37.1         | 39.3        | 37.1        | 165                      | 954.0 | 210 | 90 | 300 | 54.0 | 533.0 | 913 | 0.887 | 1.057 | 0.510 | 0.516 | 4.530 | 3.377 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.265 | 0.434 | 0.731         | 0.787 | 2.494        | 1.905         |     |       |

表-8.5.2 石粉混入高流動コンクリートの各指標値

| W/B<br>(%) | W/Bp<br>(%) | Pw/Bp<br>(%) | pw/s<br>(%) | s0/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |    |     |     |     |     |       |       | uBp/p | α 0   | uS/m  | uSd/m | α d   | uG/c  | uGd/c | β     | β d   | u(S+Bp)<br>/m | α ’   | u(G+S)<br>/c | u(G+S)d<br>/c | β ’   | β ’ d |
|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|-------|-------|
|            |             |              |             |             | W                        | Bp  |     |    |     |     | S0  | G   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |       |       |
|            |             |              |             |             |                          |     | C   | FA | PwI | Pw0 |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |               |       |              |               |       |       |
| 53.3       | 28.2        | 47.1         | 28.2        | 43.2        | 160                      | 567 | 210 | 90 | 200 | 67  | 664 | 882 | 0.840 | 1.184 | 0.624 | 0.632 | 3.326 | 2.480 | 0.558 | 0.629 | 3.081 | 2.322 | 1.193 | 0.486         | 0.768 | 0.824        | 2.302         | 1.754 |       |
| 53.3       | 33.9        | 36.5         | 19.1        | 44.1        | 160                      | 472 | 210 | 90 | 100 | 72  | 714 | 913 | 0.754 | 1.426 | 0.684 | 0.691 | 2.860 | 2.133 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.107 | 0.580         | 0.808 | 0.869        | 2.027         | 1.524 |       |
| 53.3       | 28.2        | 47.1         | 28.2        | 43.2        | 160                      | 567 | 210 | 90 | 200 | 67  | 664 | 882 | 0.840 | 1.184 | 0.624 | 0.632 | 3.326 | 2.480 | 0.558 | 0.629 | 3.081 | 2.322 | 1.193 | 0.486         | 0.768 | 0.828        | 2.302         | 1.719 |       |
| 55.0       | 25.2        | 54.1         | 39.3        | 37.1        | 165                      | 654 | 210 | 90 | 300 | 54  | 533 | 913 | 0.887 | 1.057 | 0.510 | 0.516 | 4.530 | 3.377 | 0.577 | 0.651 | 2.924 | 2.204 | 1.265 | 0.434         | 0.731 | 0.791        | 2.494         | 1.871 |       |
| 53.3       | 28.2        | 47.1         | 28.2        | 43.2        | 160                      | 567 | 210 | 90 | 200 | 67  | 664 | 882 | 0.840 | 1.184 | 0.624 | 0.632 | 3.326 | 2.480 | 0.558 | 0.629 | 3.081 | 2.322 | 1.193 | 0.486         | 0.768 | 0.828        | 2.302         | 1.719 |       |

表-8.5.3 各指標値

| 実積率<br>試験方法 | ペースト  |            | モルタル    |          |          |           | コンクリート  |         |            |          |
|-------------|-------|------------|---------|----------|----------|-----------|---------|---------|------------|----------|
|             | uBp/p | $\alpha$ 0 | 細骨材かさ容積 |          | 粉粒体かさ容積  |           | 粗骨材かさ容積 |         | 細粗混合骨材かさ容積 |          |
|             |       |            | uS/m    | $\alpha$ | u(S+B)/m | $\alpha'$ | uG/c    | $\beta$ | u(G+S)/c   | $\beta'$ |
|             |       |            | 0.684   | 2.860    | 1.107    | 0.580     | 0.577   | 2.924   | 0.808      | 2.027    |
| 落下法         | —     | —          | 0.691   | 2.133    | —        | —         | 0.651   | 2.204   | 0.869      | 1.524    |

表-8.5.4 微粒分率と圧縮強度比

| Pw/B  | 圧 縮 強 度 (N/mm <sup>2</sup> ) |       |       |      |       |       |       |       |       |
|-------|------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 3日                           | 5日    | 7日    | 14日  | 28日   | 56日   | 91日   | 182日  | 365日  |
| 0.891 | 0.00                         | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 0.574 | -0.05                        | -0.02 | -0.03 | 0.08 | 0.04  | 0.05  | -0.03 | -0.05 | -0.01 |
| 0.891 | 0.04                         | -0.01 | 0.04  | 0.02 | 0.05  | 0.04  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 1.180 | -0.10                        | -0.06 | -0.05 | 0.03 | -0.03 | -0.06 | -0.10 | -0.10 | -0.05 |
| 0.891 | 0.00                         | -0.02 | 0.05  | 0.11 | 0.08  | 0.04  | 0.02  | 0.02  | 0.04  |

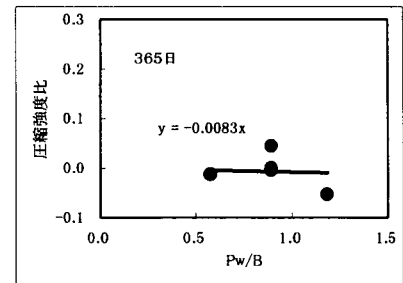
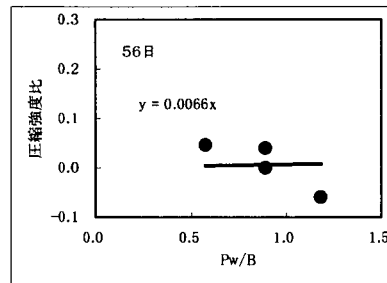
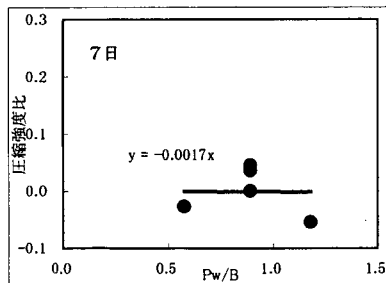
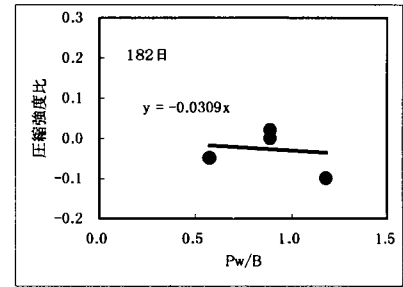
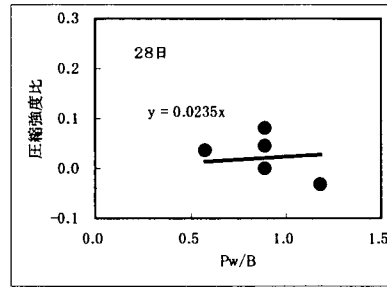
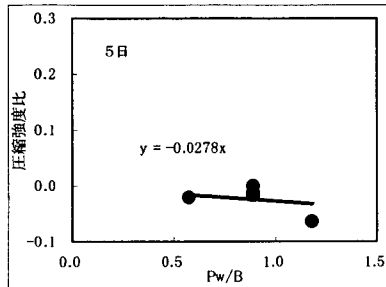
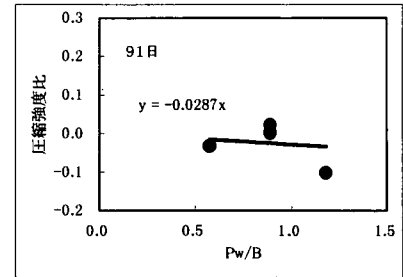
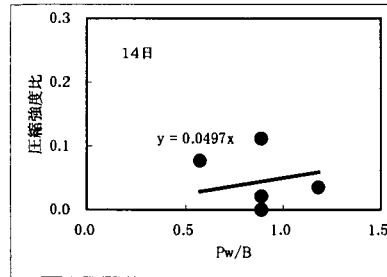
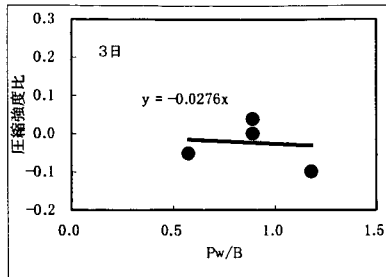


図-8.5.1 微粒分率と圧縮強度比の関係

表-8.5.5 微粒分率と割裂引張強度比

| P/B   | 割 裂 引 張 強 度 (N/mm <sup>2</sup> ) |        |        |       |        |        |        |        |        |
|-------|----------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | 3日                               | 5日     | 7日     | 14日   | 28日    | 56日    | 91日    | 182日   | 365日   |
| 0.891 | 0.000                            | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 0.574 | 0.015                            | -0.155 | -0.008 | 0.201 | -0.005 | 0.052  | 0.044  | -0.099 | -0.064 |
| 0.891 | 0.000                            | -0.058 | -0.059 | 0.142 | 0.021  | -0.060 | -0.040 | -0.057 | -0.086 |
| 1.180 | 0.076                            | -0.087 | 0.025  | 0.216 | 0.088  | 0.000  | -0.033 | -0.139 | -0.150 |
| 0.891 | -0.061                           | -0.097 | -0.059 | 0.142 | 0.000  | -0.085 | -0.069 | -0.111 | 0.036  |

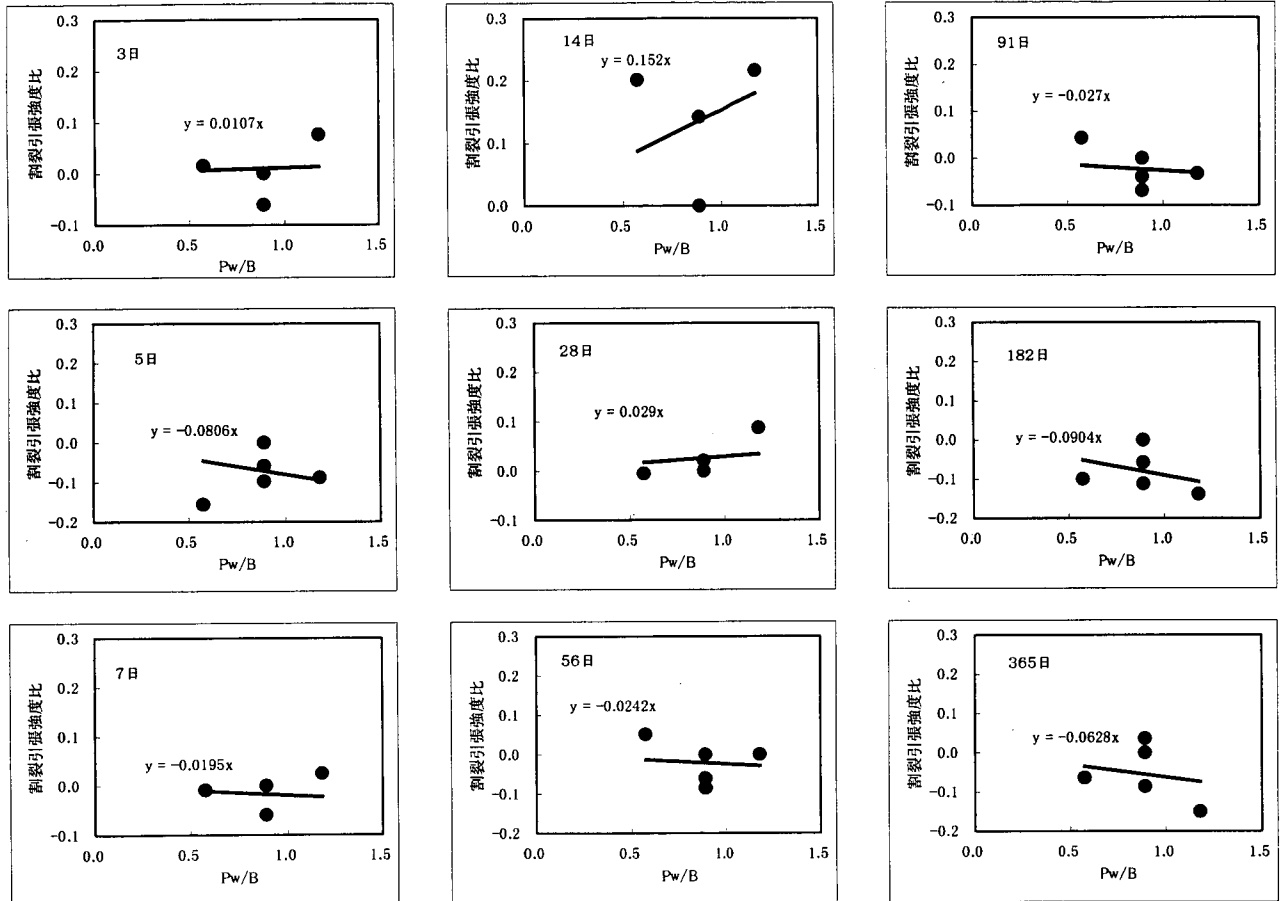


図-8.5.2 微粒分率と割裂引張強度比の関係

## 9章 ま と め

### —— 微粒分の品質および微粒分混入コンクリートの配合設計方法の提案 ——

#### 9.1 微粒分の品質評価

コンクリートの品質改善のために微粒分に要求される性能として、充填性、分散性、潤滑性、増粘性が重要と考え、これらを評価するための各種試験を行った。これらの特性と主にコンクリートのワーカビリティの関係について検討した。一部の試験ケースでは、ペースト、モルタルのレオロジーとの関係についても検討した。

また、粉体と細骨材の混合物（粉粒体）、細骨材と粗骨材の混合物（細粗混合骨材）の空隙・充填特性についてもワーカビリティとの関係について検討した。

これらの検討結果より、材料分離抵抗性を改善するための増粘性を付与するためには、微粒分の比表面積が重要であること、流動性の改善に関しては限定された試料の範囲で潤滑性、分散性について明確な関係を求めることはできなかったものの、充填性は重要であること、がわかった。

特にRCD用コンクリートについては、粉体、細骨材、粗骨材の混合物としての空隙・充填特性を知ること、ワーカビリティの改善において極めて重要であることが明らかになった。

#### 9.2 微粒分混入コンクリートの品質

RCD、有スランプ、高流動コンクリートに石粉、フライアッシュを混入したときの品質は次のようであった。ここでは、フライアッシュはもちろん、石粉、細骨材に含まれている 0.15mm 以下の微粒分は、セメントも含めて粉体として取扱って検討した結果である。

##### 9.2.1 RCD用コンクリート

###### (1) ワーカビリティ

###### 1) 石 粉

石粉混入によるワーカビリティ改善効果を、空隙比またはかさ容積比による量的な評価を行なった結果、施工性に最適な微粒分率（最適微粒分率）が存在すること、最適微粒分率は 15%程度であることがわかった。

石粉を最適微粒分率まで混入することにより、VC値の変化が小さい鈍感な配合となることから、品質の変化が小さく安定した、施工しやすいRCD用コンクリートが得られる。

ペースト、モルタルのレオロジー試験による石粉の評価を試みたが、硬すぎてほとんど結果を得ることができなかった。

###### 2) フライアッシュ

今回、フライアッシュを混入した試験は、石粉を最適微粒分率まで混入した配合で行なったため、フライアッシュのワーカビリティ改善効果を確認することができなかった。

ただし、レオロジー試験結果から、フライアッシュを多量に混入することにより降伏値が低下し流動性の改善が図られること、塑性粘度は増加し材料分離抵抗性が改善されることが明らかになった。

## (2) 強 度

### 1) 石 粉

微粒分率が増加すると強度も大きくなることがわかった。微粒分の強度増進効果を、式(4.6.1)の有効結合材水比によって評価することを提案した。

### 2) フライアッシュ

フライアッシュを混入すると初期の強度発現はほとんどないが、長期ではポズラン反応により大きな増進効果が期待される。このフライアッシュの反応速度を考慮した強度発現効果を求める方法を提案した。

## 9.2.2 有スランブコンクリート

有スランブコンクリートに石粉を混入した場合、明確なワーカビリティの改善効果、強度増進効果は得られなかった。この理由は、有スランブコンクリートの場合、結合材量と水量がある程度多いため、通常細骨材に含まれている微粒分の量（数%）を加えると、空隙を充填し、潤滑材としての役割を果たすペーストの量がほぼ最適になっているためである。そのときの単位粗骨材かさ容積比がほぼ 0.7 程度であり、この値は一般のコンクリートの推奨値とほぼ一致していたことから明らかである。

石粉が通常の量より多くなると空気連行性が低下し、凍結融解抵抗性が低下するおそれがあるので注意を要する。

## 9.2.3 高流動コンクリート

高流動コンクリートの場合も石粉混入によるワーカビリティ改善効果、強度増進効果は明確には認められなかった。ただし、 $300\text{kg/m}^3$  まで混入してもワーカビリティおよび強度が低下することもなかったことから、かなり多量に混入できる可能性がある。

しかし、凍結融解抵抗性に関しては、石粉を  $100\text{kg/m}^3$  混入した場合、有スランブコンクリートの試験結果よりわずかに改善されたものの、200 と  $300\text{kg/m}^3$  の場合はかなり低下した。凍結融解抵抗性から石粉の品質に応じた適切な混入量が存在するものと考えられる。

## 9. 3 微粒分混入RCD用コンクリートの配合設計方法

RCD用コンクリートに石粉を混入することでワーカビリティおよび強度を改善することができることがわかった。石粉の有効利用を促進するためには、石粉の効果を正當に評価し配合設計に反映させることが重要と考えられる。

そこで、RCD用コンクリートに石粉を混入する場合の配合設計の考え方を次のように提案する。

①石粉および細骨材に含まれている一定の粒径以下の微粒分を混和材と考え、結合材として扱う。ただし、今回は分級機の関係で  $0.15\text{ mm}$  以下の粒径を対象としたが、混和材として取り扱える粒子径の上限について、この数値は今後の詳細な検討が必要であろう。

②微粒分の混入率は、安定したワーカビリティを確保するためにVC値が最小となるようにすることが望ましい。

③強度の評価には、結合材水比または水結合材比に代えて式(4.6.1)の有効結合材水比または有効水結合材比を用いる。ただし、式(4.6.1)の係数 $\gamma$ については、微粒分の品質、材齢などを考慮して決める必要がある。

#### 9. 4 今後の検討課題

今回の試験では、限られた品質の石粉を使用し、RCD用コンクリート、有スランブコンクリート、高流動コンクリートというコンシステンシーの極端に違う3種類のコンクリートへの適用性について検討したため、微粒分の評価方法およびこれらすべてのコンクリートを網羅する体系的な配合設計を提案するには至らなかった。今回、RCD用コンクリートには適用できることを示したものの、そのほかのコンクリートについては今後も多くの検討が必要である。共通する基本的な問題として以下のようなことがある。

①コンクリートの種類に応じた微粒分に要求される品質は何か。例えば、増粘性や充填性を評価する試験項目として粒子径、比表面積、かさ密度（実積率）や粒度分布などが考えられるが、これらの試験結果を用いる際にはどの程度の品質のものが適しているのかを明らかにする必要がある。

②微粒分混入コンクリートの配合設計方法として、微粒分は混和材として扱い、混入率はワーカビリティが安定する量を用いること、強度は有効結合材水比を使い、微粒分の効果を表す係数 $\gamma$ を導入することを提案したが、これらの値をどのように求めるかを明らかにする必要がある。

## 参考文献

### 【まえがき】

- 1)河野広隆，森濱和正，加藤俊二：未利用骨材の利用技術に関する調査(1)骨材の各種強度試験，土木研究所資料第 3420 号，1996.2
- 2) 河野広隆，森濱和正，加藤俊二：未利用骨材の利用技術に関する調査(2)骨材強度と有スランブコンクリートの品質，土木研究所資料第 3469 号，1996.12
- 3) 河野広隆，森濱和正，加藤俊二，土屋浩樹：未利用骨材の利用技術に関する調査(3)骨材強度と R C D コンクリートの品質(4)骨材の強度・破砕性に関する評価試験方法の提案，土木研究所資料第 3491 号，1997.3
- 4) 河野広隆，森濱和正，古賀裕久：未利用骨材の利用技術に関する調査(5)横川ダム原石山骨材，土木研究所資料第 3631 号，1999.2
- 5) 河野広隆，森濱和正，古賀裕久：未利用骨材の利用技術に関する調査(6)嘉瀬川ダム骨材，土木研究所資料第 3639 号，1999.2
- 6)森濱和正，河野広隆，加藤俊二：コンクリート用骨材の破砕性・強度・変形性の評価，土木技術資料，Vol.39, No.12, pp.38-43, 1997.12
- 7)森濱和正，河野広隆，加藤俊二，土屋浩樹：骨材強度と R C D 用コンクリートの品質の関係，土木技術資料，Vol.39, No.12, pp.44-49, 1997.12
- 8)森濱和正，河野広隆，加藤俊二，土屋浩樹：コンクリートの品質に及ぼす骨材強度の影響，土木技術資料，Vol.40, No.2, pp.50-55, 1998.2
- 9)森濱和正，河野広隆，加藤俊二：コンクリート用骨材の各種強度試験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.1, pp.417-422, 1996.6
- 10)加藤俊二，河野広隆，森濱和正，土屋浩樹：骨材強度と練混ぜ時の骨材の破砕性に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.325-330, 1997.7
- 11)森濱和正，河野広隆，加藤俊二，土屋浩樹：骨材強度がコンクリートの圧縮および引張強度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.331-336, 1997.7
- 12)土屋浩樹，河野広隆，森濱和正，加藤俊二：骨材強度が R C D 用コンクリートの性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.331-336, 1997.7
- 13)土屋浩樹，河野広隆，森濱和正，加藤俊二：ダムコンクリート用骨材の評価手法に関する実験的検討，ダム工学，Vol.8, No.1, pp.15-26, 1998.4
- 14)森濱和正，河野広隆，加藤俊二，土屋浩樹，古賀裕久：ダムコンクリート用低品質骨材の新しい評価手法，ダム技術，No.149, pp.29-40, 1999.2
- 15)永山功，渡辺和夫，西澤賢太郎：原石山における骨材採取状況に関する実態調査，ダム技術，No.134, pp.12-18, 1979.2
- 16)中原康，横田慎一，平田重信：超かた練りコンクリートの配合の考え方とコンシステンシー，セメント・コンクリート，No.384, pp.12-18, 1979.2

17)山崎寛司：鉱物質微粉末がコンクリートの強度におよぼす効果に関する基礎研究，土木学会論文集，第 85 号，pp.15-46，1962.9

18)土木学会：高流動コンクリート施工指針，コンクリートライブラリー93，p.5，1998.7

## 【2章】

2.1)例えば，日本コンクリート工学協会：フレッシュコンクリートの力学モデル研究委員会報告書，pp.23，1996.4

2.2)大橋正治，寺田早苗，関口賢二，田村博：碎石粉の品質評価試験方法ならびに品質基準に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp.393-398，1995.7

## 【3章】

3.1)粉体工学会：粉体工学便覧，日刊工業新聞社，pp.7-11，1986.2

3.2)萩野圭三：表面の世界，堂華房，pp.109-116，1998.10

3.3)例えば，林田和弘：ゼータ電位測定法について，粉体と工業，Vol.20，No.6，pp.36-41，1988.6

3.4)大橋正治，寺田早苗，関口賢二，田村博：碎石粉の品質評価試験法ならびに品質基準に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp.393-398，1995.6

3.5)骨材の圧裂強度については，前掲 1)，pp.19-27

3.6)骨材の破碎試験については，前掲 3)，pp.87-92

3.7)岩崎訓明：コンクリート配合の原点，セメント・コンクリート，No.564，pp.20-27，1994.2

3.8)高田和法，小澤一雅：粒子の相互干渉を考慮した 2 粒度粒子の間隙比算定モデル，ダム工学，No.18，pp.34-42，1995.6

## 【4章】

4.1)糸日谷淑光，斉藤哲男，後藤英夫，十河茂幸：最大粗骨材寸法 40 mm の転圧コンクリートによる橋台基礎の施工，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.1，pp.1079-1084，1993.6

4.2)前掲 4)，pp.22-26

4.3)前掲 8)，pp.54-55，図-13

4.4)中島聡，堤知明，松島学，村上祐治：超硬練りコンクリートの流動化特性に関する繰返し三軸試験，第 52 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 V 部，pp.232-233，1997.9

4.5)中原康，横田慎一，平田重信：超かた練りコンクリートの配合の考え方とコンシステンシー，セメント・コンクリート，No.384，pp.12～18，1979.2

4.6)日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，pp.68～71，1984.2

4.7)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.219～221，1997.1

4.8)超硬練りコンクリート研究委員会：超硬練りコンクリート研究委員会報告書・第 2 章 超硬練りコンクリートの品質と用語，日本コンクリート工学協会，pp.56～58，1998.6

4.9)T.C.Powers：The Properties of Fresh Concrete，John Wiley & Sons Inc.，p.284，1968

4.10)例えば，柳田力：配合設計からみた RCD と RCC，ダム工学，Vol.1，No.4，pp.6～19，1991.12

4.11)伊藤茂富，磯崎正晴，養王田栄一：舗装コンクリートの配合について，セメントコンクリート，No.183，

pp.21～27, 1962.5

4.12)前掲 17)

【 5 章】

5.1)前掲 5), pp.30-33

5.2)前掲 5), pp.34-36

【 6 章】

6.1)河野広隆, 森濱和正: 高炉スラグ微粉末の R C D コンクリートへの利用, 土木研究所資料第 3248 号, pp.17-19, 1994.1

6.2)森濱和正, 河野広隆: コンクリート用混和材としての高炉スラグ微粉末の反応性, 土木技術資料, Vol.37, No.8, pp.56-59, 1995.8

6.3)森濱和正, 河野広隆: 高炉スラグ微粉末を置換した R C D 用コンクリートの諸特性, 土木技術資料, Vol.37, No.9, pp.44-51, 1995.9

6.4)前掲 17)

【 7 章】

7.1)前掲 5), pp.37-54

7.2)前掲 6.3), p.49, 図-16

7.3)前掲 8), pp.52-54

7.4)前掲 5), p.44, 表-6.2.3

7.5)前掲 5), p.51, 表-6.3.3

7.6)岸谷孝一: 鉄筋コンクリートの耐久性, 鹿島建設技術研究所出版部, 1963