

# 土 木 研 究 所 資 料

## 宮ヶ瀬ダムコンクリート特性試験 —コンクリート用骨材特性—

平成4年2月

建 設 省 土 木 研 究 所  
地質化学部コンクリート研究室

Copyright ©(1992) 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。

# 宮ヶ瀬ダムコンクリート特性試験 —コンクリート用骨材特性—

コンクリート研究室 室 長 河 野 広 隆  
研究員 高 橋 弘 人

## 要 旨

関東地方建設局管内、相模川水系に建設される宮ヶ瀬ダムは、RCD工法によって施工されるわが国の中でも最大規模のコンクリートダムである。

本報告書は、宮ヶ瀬ダム用コンクリートの施工性、耐久性を確保することを目的に行った凝結時間特性試験ならびに乾燥湿潤繰り返し作用に対する耐久性試験の結果について述べるものである。

キーワード：RCDコンクリート，モンモリロナイト，凝結時間，ローモンタイト，乾燥湿潤繰り返し

# 目 次

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 1. はじめに .....                    | 1  |
| 2. 粘土鉱物を含む骨材に関する試験 .....         | 2  |
| 2.1 粘土鉱物を含む骨材を用いたコンクリートの特徴 ..... | 2  |
| 2.2 試験項目 .....                   | 2  |
| 2.2.1 凝結時間確認試験 .....             | 2  |
| 2.2.2 凝結時間に影響する材料の要因に関する試験 ..... | 2  |
| 2.2.3 凝結時間の調整方法に関する試験 .....      | 3  |
| 2.2.4 圧縮強度試験 .....               | 3  |
| 2.3 試験方法 .....                   | 3  |
| 2.3.1 使用材料およびコンクリート配合 .....      | 3  |
| 2.3.2 凝結時間試験 .....               | 7  |
| 2.4 試験結果と考察 .....                | 7  |
| 2.4.1 凝結時間確認試験 .....             | 7  |
| 2.4.2 凝結時間に影響する各種要因に関する試験 .....  | 9  |
| 2.4.3 凝結時間の調整方法に関する試験 .....      | 10 |
| 2.4.4 圧縮強度試験 .....               | 10 |
| 2.5 まとめ .....                    | 10 |
| 3. 濁沸石を含む骨材に関する試験 .....          | 12 |
| 3.1 濁沸石を含む骨材を用いたコンクリートの特徴 .....  | 12 |
| 3.2 試験方法 .....                   | 12 |
| 3.2.1 使用材料およびコンクリート配合 .....      | 12 |
| 3.2.2 乾燥湿潤繰り返し試験 .....           | 15 |
| 3.3 試験結果 .....                   | 17 |
| 4. ま と め .....                   | 23 |

参考資料)

— 資 料 —

- (1) 乾燥湿潤繰り返し試験データ
- (2) 暴露試験用供試体初期値

## 1. はじめに

関東地方建設局管内、相模川水系に建設される宮ヶ瀬ダムは、RCD工法によって施工されるわが国のダムの中でも最大規模のコンクリートダムである。宮ヶ瀬ダムの施工にあたっては、所要の施工性や耐久性を確保できるよう、内部・外部コンクリートともに適切なコンクリート配合とすることが必要である。

骨材中にモンモリロナイトなどの粘土鉱物やローモンタイトなどの沸石族を含有している場合、フレッシュコンクリートが過早凝結したり、硬化後にポップアウトなどの劣化を生じることが知られている。これらの現象のメカニズムについては、現在のところ十分に解明されてはいないが、こうした現象がある場合には、何らかの対策が必要なことは言うまでもない。

そこで、本調査では、宮ヶ瀬ダム用コンクリートでのこうした現象の有無を確認するとともに、こうした場合でも所要の施工性、耐久性が確保できる対策についての試験を行った。試験は、内部コンクリートに関して所要の施工時間を確保するための凝結時間特性試験、ならびに外部コンクリートに関して乾燥湿潤繰り返し作用に対する耐久性試験を実施した。

## 2. 粘土鉱物を含む骨材に関する試験

### 2.1 粘土鉱物を含む骨材をコンクリートに用いた場合の特徴

モンモリロナイトは粘土鉱物の一種であり、これを溶液に浸すと、溶液中の陽イオンとモンモリロナイト中の交換性陽イオンとが容易に交換しあうという結晶構造上の特性を持っている。

こうした特性から、モンモリロナイトの含有量が5%以下の骨材をコンクリートに用いた場合には、硬化後の諸性状（強度、弾性係数、長さ変化）には影響は少ないものの、含有量が10%を越えると長さ変化が大きくなるとされている。

しかし、モンモリロナイトを含む骨材をコンクリートに用いた場合に最も問題になるのは、フレッシュ時の性状、特に凝結時間が早くなること（以下、過早凝結という）が報告されていることである。それによると、モンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートの過早凝結のメカニズムは次のように説明されている。

モンモリロナイトはその結晶構造から強い水和能を有し、溶液中においては層間に水を保有することで体積が増大（これを、膨潤という）する特徴を持っている。さらに、モンモリロナイトは溶液中の陽イオンと容易に交換する特徴も持っており、セメント溶液中では以下のような反応が生じているといわれている。すなわち、セメント水溶液中の $K^+$ とモンモリロナイト中の $Ca^{2+}$ とが交換し合い、溶液中に $Ca^{2+}$ がはきだされることで、セメントの凝結調整材である石膏（ $CaSO_4$ ）の分解が抑制されるために、 $C_3A$ の水和が進行することが過早凝結の原因とされている。

実際の工事では、コンクリートのコンシステンシーが所要の時間確保されないと、コンクリートの打設はもとより、十分な締め固めができないために硬化コンクリートの性状にも影響することになる。このため、宮ヶ瀬ダムコンクリートの凝結時間を把握するとともに、モンモリロナイトの影響によって過早凝結を生じるコンクリートの凝結時間の調整方法について検討することとした。

### 2.2 試験項目

適切な施工時間が得られるかどうかを把握するため、宮ヶ瀬ダムコンクリートの凝結時間を確認するとともに、凝結時間に影響するとされている材料に係わる要因について試験を行った。

#### 2.2.1 凝結時間確認試験

宮ヶ瀬ダムコンクリートに使用される材料を用いて凝結時間を確認した。実際の工事のコンクリート配合は温度応力を抑制したり、所要のワーカビリティを確保しつつ単位水量を減らす目的で、フライアッシュを混入（ $F/(C+F)=30\%$ ）しているが、今回の試験はコンクリートの過早凝結の有無の確認を目的としたことから、フライアッシュは添加せずに試験を行った。

#### 2.2.2 凝結時間に影響する材料の要因に関する試験

##### 1) セメント品質に関する要因（エチレングリコール添加量）

セメントの粉砕助剤として用いられているエチレングリコールは、その使用量がセメント重量の1%までは認められているが、エチレングリコールのような有機溶液は粘土鉱物の膨潤を助長するとされて

いる。このため、エチレングリコールが過剰に使用されて製造されたセメントを使用した場合の凝結時間特性を把握する。

## 2) 骨材品質に関する要因（モンモリロナイト含有量）

骨材、特に細骨材中のモンモリロナイトの含有量と凝結時間との関係を確認する目的で、モンモリロナイトの微細粒子であるベントナイト（モンモリロナイト含有量＝77.4％）を添加して凝結時間特性を把握した。

### 2.2.3 凝結時間の調整方法に関する試験

2.2.1の試験の結果、コンクリートの過早凝結が確認され、その原因がセメントにある場合には製品を取り替えるか、製造方法を変更して所定の品質のセメントが得られるように対処すればよい。しかし骨材品質にその原因がある場合には、材料の組み合わせの見直しを含めた対処が必要となる。そこで、コンクリートの凝結時間の調整方法として、凝結遅延作用のある混和剤（以下、凝結遅延剤）を添加して凝結遅延効果を把握することとした。

### 2.2.4 圧縮強度試験

2.2.3で効果が確認できた凝結遅延剤を添加して、コンクリートの圧縮強度を確認することとした。

## 2.3 試験方法

### 2.3.1 使用材料およびコンクリート配合

#### 1) 使用材料

##### (1) セメント

セメントは、N社製およびO社製中庸熱ポルトランドセメントの2種類とした。セメントの品質試験成績を表-1に示す。

##### (2) 骨 材

粗骨材は宮ヶ瀬産砕石（最大寸法40mm）を、細骨材は宮ヶ瀬産砕砂および比較用に笠間産砕砂を使用した。骨材の試験結果およびふるい分け試験結果を表-2および図-1に示す。

なお、骨材のX線回析試験は宮ヶ瀬ダム工事事務所の材料試験室にて実施した。また、試験に使用したモンモリロナイトおよびローモンタイトの検量線は玉川ダムの検量線を使用している。

##### (3) 混和剤

今回の試験では、F社製およびP社製のAE減水剤と凝結遅延剤を使用した。表-3にそれらの組み合わせを示す。

##### (4) 添加材料

今回の試験で用いた各種の添加材料（エチレングリコール、ベントナイト）を表-4に示す。

### 2) コンクリート配合

#### (1) コンクリートの練り混ぜ

コンクリートの練り混ぜには、100リットルパン型強制練りミキサーを用い、細骨材とセメント（添加材を含む）をミキサーに投入して10秒間練り混ぜ、次に粗骨材を投入して10秒間練り混ぜ、最後に水

表-1 セメントの試験成績

|     | 比重   | 比表面積<br>(cm <sup>2</sup> /g) | 始発   | 終結   | 安定性 | 圧縮強さ(kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |     | 水和熱(cal/g) |      |
|-----|------|------------------------------|------|------|-----|----------------------------|-----|-----|------------|------|
|     |      |                              | h-m  | h-m  |     | 3日                         | 7日  | 28日 | 7日         | 28日  |
| N社製 | 3.20 | 2990                         | 2-51 | 4-55 | 良   | 138                        | 188 | 351 | 64.8       | 77.9 |
| O社製 | 3.21 | 3380                         | 2-55 | 4-06 | 良   | 117                        | 169 | 328 | 60.9       | 76.9 |

表-2 骨材の試験結果

| 骨材の種類  |       | 比重   | 吸水率<br>(%) | モンモロナイト<br>含有量 | 粗粒率  |
|--------|-------|------|------------|----------------|------|
| 宮ヶ瀬粗骨材 |       | 2.66 | 1.35       | —              | 6.49 |
| 細骨材    | 宮ヶ瀬砕砂 | 2.63 | 2.03       | 5              | 2.74 |
|        | 笠間砕砂  | 2.64 | 0.60       | 0              | 3.10 |

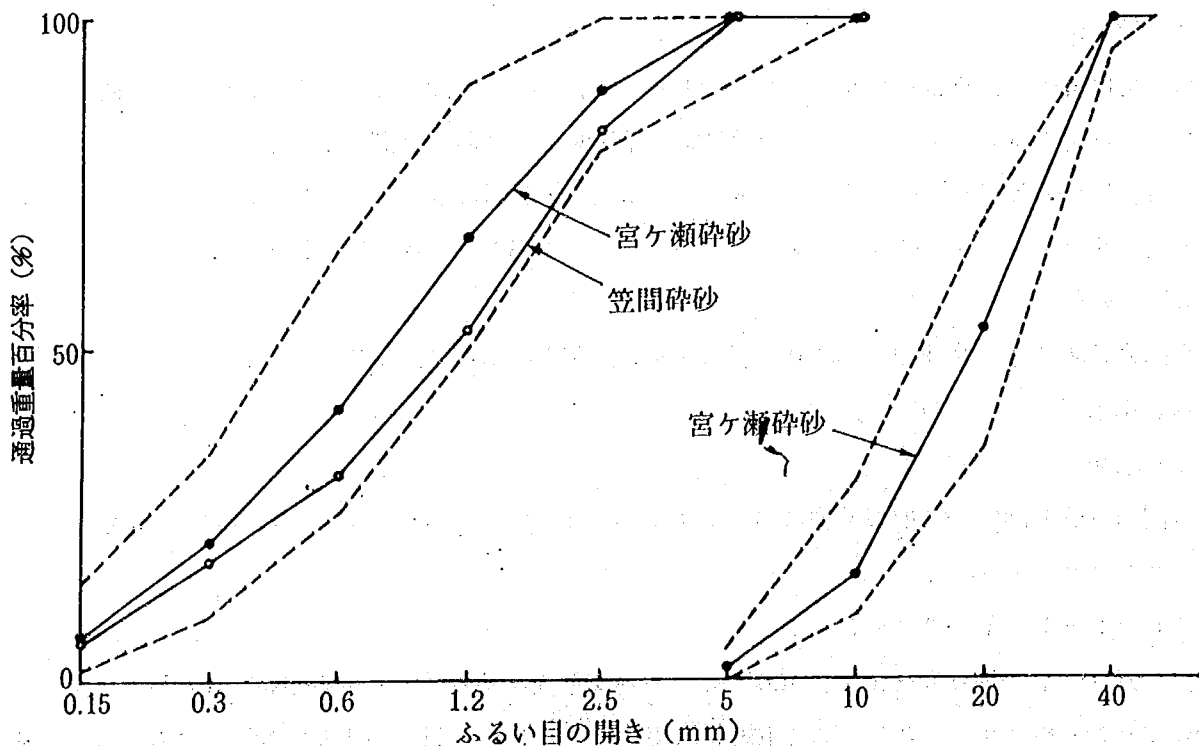


図-1 骨材のふるい分け試験結果

表-3 AE減水剤および超遅延剤の組合わせ

|     | AE減水剤        | 超遅延剤                                    |
|-----|--------------|-----------------------------------------|
| F社製 | A            | a                                       |
|     | ナリカルポソ酸塩     | グルコン酸を主体とするナリカルポソ酸塩                     |
| P社製 | B            | b                                       |
|     | リグニンスルホン酸化合物 | グルコン酸を主体とするナリカルポソ酸化合物<br>ポリオール系有機高分子複合体 |

表-4 試験に用いた添加材料

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| エチレングリコール | 比重=1.11                   |
| ベントナイト    | 比重=2.63、モンモリロナイト含有量=77.4% |

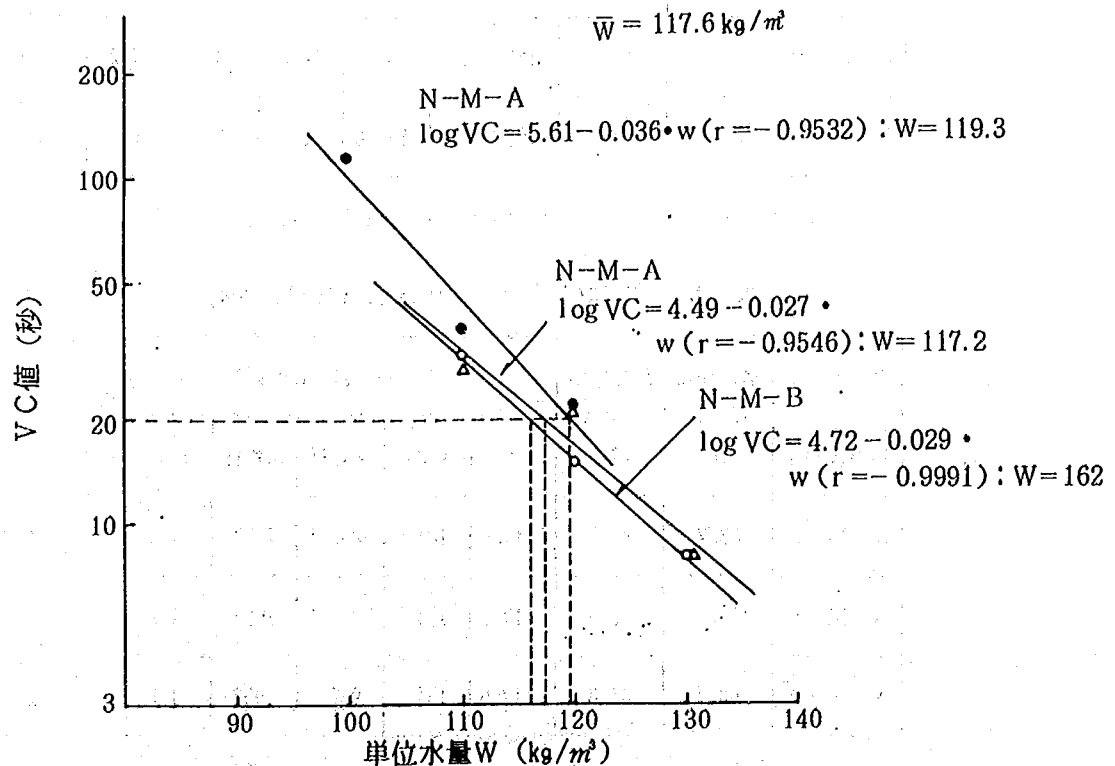


図-2 材料の組合せによる単位水量とVC値の関係

(混和剤を含む)を投入して120秒間練り混ぜて排出した。

## (2) コンクリート配合の種類

コンクリート配合は、以下の配合条件を満足するよう次の2種類の配合について試験練りを行って決定した。

### ① JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に規定されているコンクリート配合(以下、JIS配合)

配合条件：単位セメント量 =  $300\text{kg}/\text{m}^3$ ， $s/a = 40 \sim 50\%$ ，スランプ =  $8 \pm 1\text{cm}$ ，

空気量 =  $4 \pm 0.5\%$

### ② 宮ヶ瀬ダム用コンクリート配合(以下、RCD配合)

配合条件： $G_{\text{max}} = 40\text{mm}$ とした時の宮ヶ瀬RCDコンクリート配合，VC値 = 20秒

なお、VC値の測定は「RCD工法技術指針(案)」(国土開発技術研究センター)に示されている振動台式コンシステンシー試験方法によった。材料の組み合わせによる単位水量とVC値との関係を図-2に示す。

決定したコンクリート配合を表-5.1及び表-5.2に示す。

表-5.1 コンクリートの配合(JIS配合)

| 材 料 の<br>組 み 合 わ せ | 水セメント比<br>W/C<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単 位 量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |      |       |      |     | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) |
|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|------|-------|------|-----|--------------|------------|
|                    |                      |                    | 水                                | セメント | 細骨材   | 粗骨材  | 混和剤 |              |            |
| N-M-A              | 56.3                 | 46.0               | 169                              | 300  | 843.5 | 1002 | 3.0 | 8.4          | 3.5        |
| N-M-B              | 56.0                 | 46.0               | 168                              | 300  | 844.7 | 1003 | 3.0 | 7.2          | 4.0        |
| N-K-A              | 56.0                 | 48.0               | 168                              | 300  | 884.8 | 966  | 3.0 | 9.0          | 4.5        |

\*) 材料の組み合わせ：○-○-○=セメント-細骨材-混和剤

表-5.2 コンクリートの配合(RCD配合)

| 材 料 の<br>組 み 合 わ せ | 水セメント比<br>W/C<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単 位 量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |       |       |      |     |
|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|------|-----|
|                    |                      |                    | 水                                | セメント  | 細骨材   | 粗骨材  | 混和剤 |
| N-M-A              | 63.7                 | 45.6               | 117.6                            | 184.5 | 989.1 | 1093 | 1.9 |
| N-M-B              | 63.7                 | 45.6               | 117.6                            | 184.5 | 989.1 | 1093 | 1.9 |
| N-K-A              | 63.7                 | 45.6               | 117.6                            | 184.5 | 982.9 | 1093 | 1.9 |

\*) 材料の組み合わせ：○-○-○=セメント-細骨材-混和剤

### 2.3.2 凝結時間試験

凝結時間試験用試料は、2.3.1で決定したコンクリート配合のモルタル部分のみをモルタルミキサーで練り混ぜて採取することとし、凝結時間試験はJIS A 6204の附属書1「コンクリートの凝結時間試験方法」に準拠して行った。

#### 1) 凝結時間確認試験

凝結時間確認試験は、宮ヶ瀬ダム用コンクリート材料に比較用のセメントおよび細骨材を加えて行った。

#### 2) 凝結時間に影響する各種要因に関する試験

##### (1) 骨材に係わる要因に関する試験

今回の試験に用いた細骨材のモンモリロナイト含有量は、宮ヶ瀬砕砂=5%、笠間砕砂=0%であった。ここで、一般に粘土鉱物を含む骨材をコンクリートに用いた場合の凝結時間は、粘土鉱物を含まない骨材を用いたコンクリートに比べて早くなることが指摘されている。

このため、凝結時間に影響する要因として細骨材中のモンモリロナイト含有量を取りあげて試験を行った。試験は、モンモリロナイトの微細粒子であるベントナイト（モンモリロナイト含有量=77.4%）を添加して凝結時間試験を行った。

##### (2) セメントに係わる要因に関する試験

セメントの品質に係わって凝結時間に影響する要因として、エチレングリコールを取りあげて試験を行った。

セメントの粉砕助剤として使用されるエチレングリコールは、セメント重量の1%までの添加が認められている。一方で、エチレングリコールのような有機溶液は粘土鉱物の膨潤を助長するとされており、セメント中に過剰にエチレングリコールがある場合には凝結特性に影響を与える。このため、エチレングリコールをセメント量の1%まで添加して凝結時間試験を行った。

#### 3) 凝結時間の調整に関する試験

AE減水剤と同一メーカーの凝結遅延剤をAE減水剤と併用してコンクリートに添加して凝結時間試験を行った。なお、凝結遅延剤の添加による凝結遅延効果は、添加率や温度、添加時期によっても異なるが、今回の試験では、温度20℃、同時添加として添加率のみを変化させて試験を行った。

#### 4) 圧縮強度試験

凝結遅延剤を添加した場合の強度特性を確認する目的で材令7、28、91日で圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験用供試体の作製は、 $\phi 15 \times 30$  cmの型枠にコンクリートを3層に分けて入れ、各層ごとに25回突き棒で突き固め、凹凸のついた押し板をあてて1層当たり10秒間締固めて作成した。

## 2.4 試験結果と考察

図-3に凝結時間試験結果の一覧を示す。

### 2.4.1 凝結時間確認試験

(1) 凝結時間確認試験の結果、凝結時間に最も大きく影響しているのは、JISおよびRCD配合とも

| NO | 配合<br>種類 | 材料の<br>組合せ | 添加材料の添加率       | 凝 結 時 間 (時分) |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |      | 始発<br>(時分) | 終結<br>(時分) |
|----|----------|------------|----------------|--------------|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|------|------------|------------|
|    |          |            |                | 5            |  |  |  |  |  | 10 |  |  |  |  |      |            |            |
| 1  | JIS      | N-M-A      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 5-40 | 8-00       |            |
| 2  |          | N-M-B      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 6-55 | 9-50       |            |
| 3  |          | N-K-A      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 9-35 | 11-30      |            |
| 4  |          | O-M-A      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 5-45 | 8-50       |            |
| 5  |          | O-M-B      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 6-30 | 9-30       |            |
| 6  | RCD      | N-M-A      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-40 | 5-05       |            |
| 7  |          | N-M-B      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-35 | 5-00       |            |
| 8  |          | N-K-A      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 6-25 | 10-00      |            |
| 9  |          | O-M-A      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-30 | 4-55       |            |
| 10 |          | O-M-B      |                |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-35 | 5-30       |            |
| 11 | JIS      | N-M-A      | エポキシリジン:C+0.5% |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 5-40 | 7-40       |            |
| 12 |          | N-M-A      | :C+1%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 5-40 | 7-40       |            |
| 13 |          | N-M-B      | :C+0.5%        |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 7-10 | 8-50       |            |
| 14 |          | N-M-B      | :1%            |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 6-40 | 8-50       |            |
| 15 | RCD      | N-M-A      | :0.5%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-40 | 5-10       |            |
| 16 |          | N-M-A      | :1%            |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-45 | 5-10       |            |
| 17 |          | N-K-A      | :0.5%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 6-30 | 9-30       |            |
| 18 |          | N-K-A      | :1%            |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 6-30 | 9-20       |            |
| 19 |          | O-M-A      | :0.5%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-40 | 5-10       |            |
| 20 |          | O-M-A      | :1%            |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-40 | 5-10       |            |
| 21 |          | N-M-B      | :1%            |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 2-00 | 5-45       |            |
| 22 | JIS      | N-M-A      | ベツリ付:S+10%     |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 2-10 | 4-40       |            |
| 23 |          | N-K-A      | :S+10%         |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 3-25 | 5-50       |            |
| 24 | RCD      | N-M-A      | :S+1%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 測定   | 不可         |            |
| 25 |          | N-M-A      | :S+2%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 測定   | 不可         |            |
| 26 |          | N-K-A      | :S+1%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 4-35 | 7-30       |            |
| 27 |          | N-K-A      | :S+2%          |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 4-10 | 7-20       |            |
| 28 | RCD      | N-M-A      | 遅延剤 a :C+0.2%  |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-00 | 4-10       |            |
| 29 |          | N-M-A      | :C+0.4%        |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 3-30 | 6-50       |            |
| 30 |          | N-M-A      | :C+0.6%        |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 8-25 | 12-20      |            |
| 31 |          | N-M-B      | 遅延剤 b :C+0.2%  |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 1-50 | 5-50       |            |
| 32 |          | N-M-B      | :C+0.4%        |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 2-10 | 6-20       |            |
| 33 |          | N-M-B      | :C+0.6%        |              |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  | 4-20 | 8-10       |            |

\*) 材料の組合わせ: ○-○+○=セメント-細骨材-混和剤

図-3 凝結時間試験結果一覧

に細骨材であることがわかる。すなわち、宮ヶ瀬砕砂を用いたRCDコンクリートは笠間砕砂を用いたコンクリートに比べて始発および終結ともに5時間程度凝結時間が早まっている。

(2) 次に、AE減水剤の種類の違いによる凝結時間への影響をみると、JIS配合においてはA剤よりもB剤の方が1時間程度凝結遅延作用があるものの、RCD配合では混和剤の添加量が少なかったためか、差異は現れていない(AE減水剤の添加量はJIS配合、RCD配合ともセメント量の1%とした)。

(3) また、セメント種類の違いによる凝結時間の差はJIS配合、RCD配合ともあきらかな差はなく、セメントの品質が過早凝結の原因となっていることは考えにくい。

## 2.4.2 凝結時間に影響する各種要因に関する試験

### 1) 細骨材に係わる要因に関する試験

モンモリロナイトの微細粒子であるベントナイトを添加して凝結時間試験を行った結果を図-4に示す。これより、骨材中のモンモリロナイト含有量が多くなるに比例して凝結時間が早くなることがわかる。なお、モンモリロナイト含有量7.7%のRCDコンクリートの試験も行ったが、骨材の膨潤によって測定が不可能であったため、図には示していない。

### 2) セメントに係わる要因に関する試験

上述の試験結果から、コンクリートの過早凝結の原因は骨材品質にあり、セメント品質は関与していないことと推測されるが、このことを以下の試験を行って再度確認することとした。

#### (1) エチレングリコール添加試験

エチレングリコール添加試験の結果を図-5.1及び図-5.2に示す。これより、コンクリート配合、セメント、細骨材、AE減水剤の組み合わせを変えてもエチレングリコール添加による凝結時間に差異はなく、セメント重量の1%程度の添加量ではエチレングリコールの影響はないと考えられる。

以上の試験結果から、宮ヶ瀬ダム用コンクリートの過早凝結の原因は骨材中の粘土鉱物にあると考え

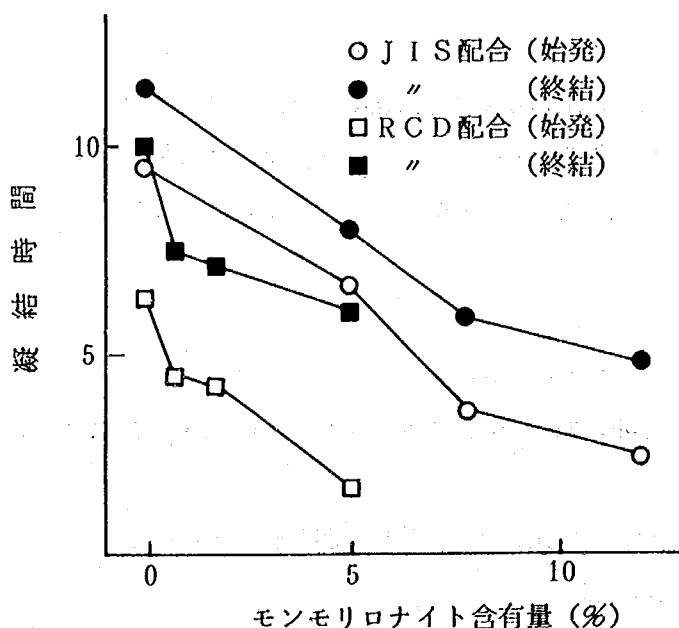


図-4 細骨材のモンモリロナイト含有量と凝結時間の関係

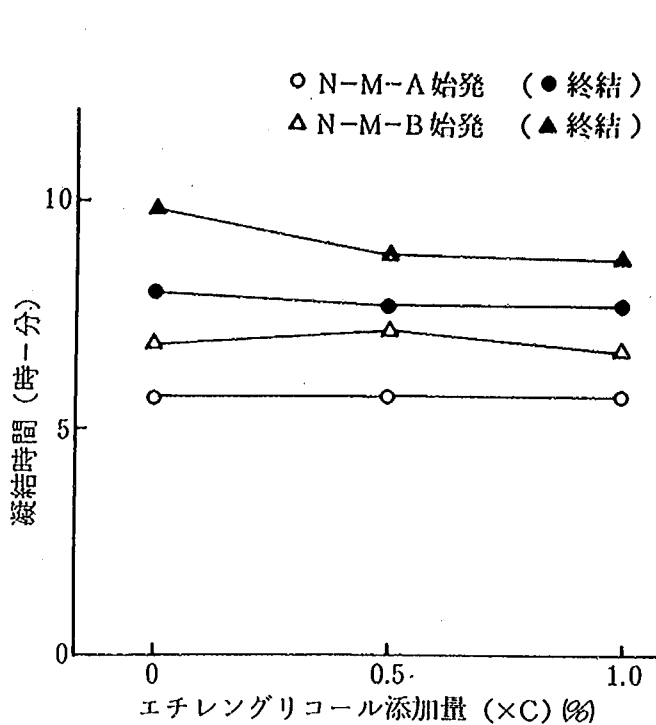


図-5.1 エチレングリコール添加量と凝結時間の関係 (JIS配合)

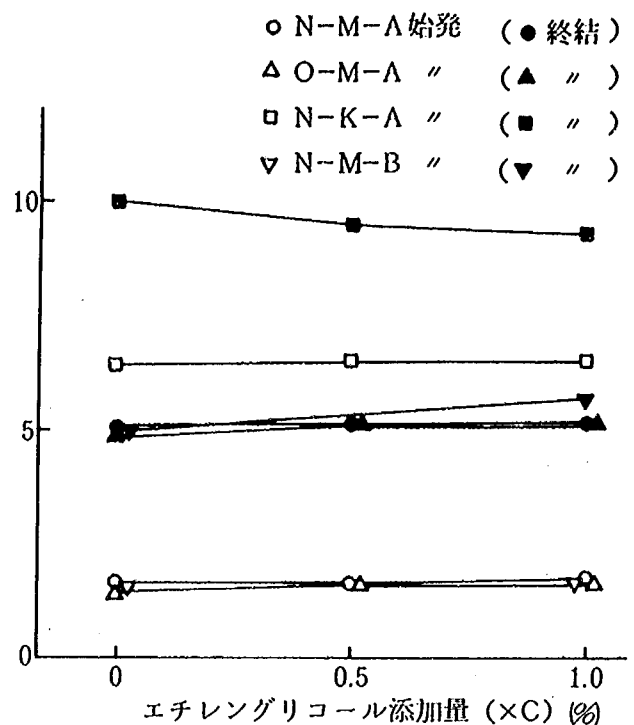


図-5.2 エチレングリコール添加量と凝結時間の関係 (RCD配合)

られる。

#### 2.4.3 凝結時間の調整方法に関する試験

コンクリートの過早凝結に対して実際の施工で対処できる方法として、凝結遅延剤の添加による凝結時間の調整に関する試験を行った結果を図-6に示す。この結果より、凝結遅延剤の種類によって凝結遅延効果に差異はあるものの、今回使用した2種類の凝結遅延剤ともにセメント量の0.3~0.4%程度の添加率から凝結遅延効果を示し始めている。また、凝結の開始が遅れても始発から終結までの時間には変化はない。

#### 2.4.4 圧縮強度試験

凝結遅延剤を添加して凝結時間を調整した場合の圧縮強度に与える影響を調査する目的で、遅延剤を0.6%添加して供試体を作製して圧縮強度試験を行った。試験結果を図-7に示したように、今回程度の遅延剤添加量では材令7日以降の圧縮強度には影響しないことが確認できた。

### 2.5 まとめ

今回の試験の結果をまとめると以下のようなものである。

- (1) 宮ヶ瀬ダムコンクリートは、笠間産砕砂を用いたコンクリートに比べて5時間程度凝結開始時間が早い。
- (2) この原因は、モンモリロナイト量と凝結開始(終結)時間が直線関係にあることから、細骨材中のモンモリロナイトにあると考えられる。
- (3) 凝結時間の調整には、凝結遅延剤の添加が有効であり、今回程度の添加量(セメント重量の0.6%)では強度特性にも影響しないことが確認できた。

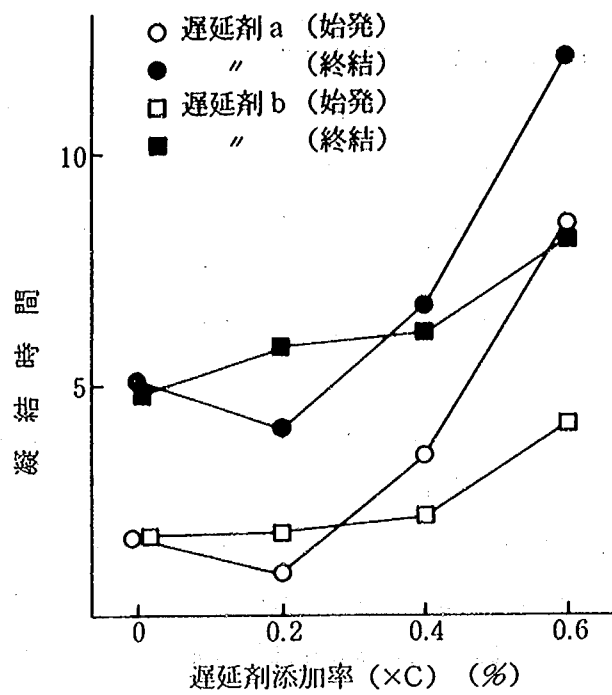


図-6 遅延剤添加率と凝結時間の関係 (R C D配合)

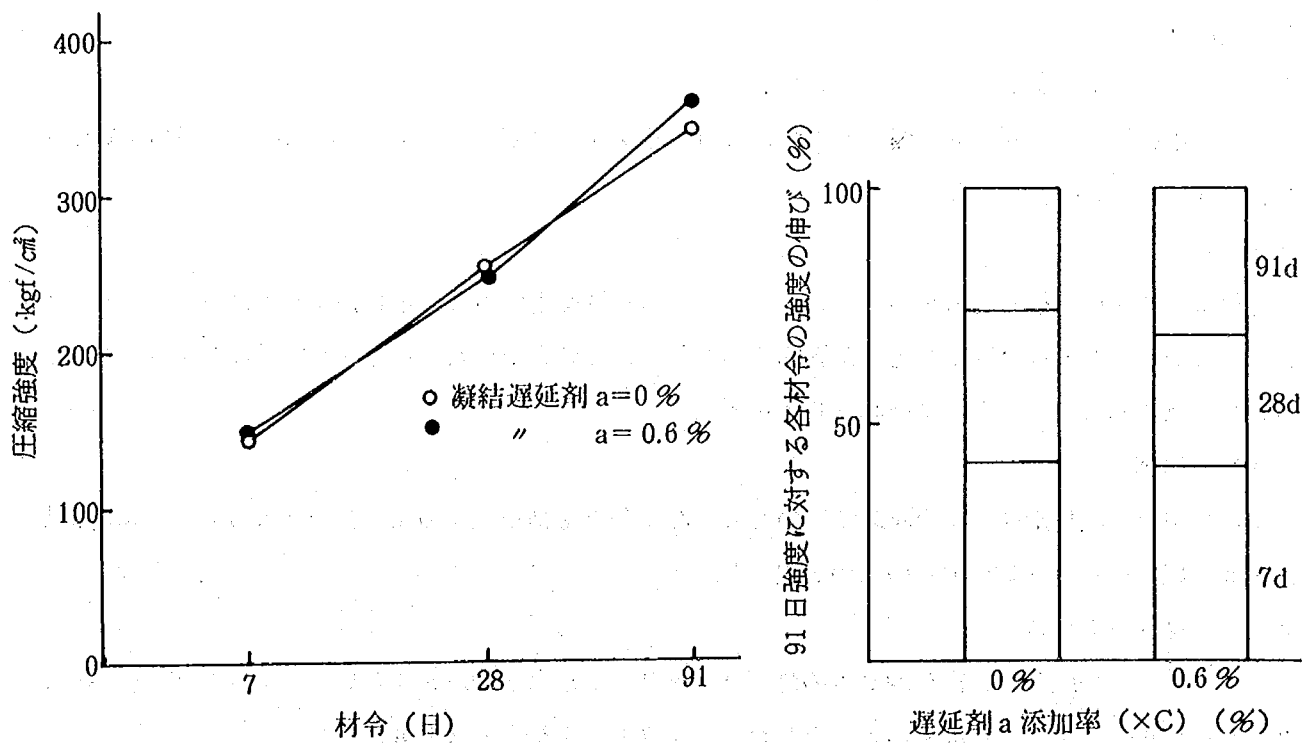


図-7 凝結遅延剤の添加と圧縮強度の関係

### 3. 濁沸石を含む骨材に関する試験

#### 3.1 濁沸石を含む骨材をコンクリートに用いた場合の特徴

濁沸石（ローモンタイト）は沸石の一鉱物であり、2で記述したモンモリロナイトのようにフレッシュなコンクリートの性状には影響はないものの、含有量の程度や含有形態によっては、硬化コンクリートを劣化させるとされている。これは、鉱物中の結晶水は加熱・湿潤を受けるとその一部が容易に着脱し、その際に体積変化を生じることから、コンクリート表面のスケーリングやポップアウトといった劣化を引き起こすためとされている。また、こうした作用によってコンクリートの組織が緩み、中性化の進行や強度の低下を招くとされている。

自然環境下においてコンクリートにこうした作用をする条件としては、乾燥湿潤の繰り返し作用が考えられる。宮ヶ瀬ダムコンクリート用骨材にも濁沸石が含有されていることが判明していることから、本調査では、濁沸石を含む骨材を乾燥湿潤繰り返し作用を受けるコンクリートに用いた場合の耐久性を促進試験ならびに暴露試験によって確認することとした。なお、外部コンクリートにも内部コンクリートと同様の骨材を使用することから、試験要因には凝結遅延剤の添加量も加えて試験を行うこととした。

#### 3.2 試験方法

コンクリートの乾燥湿潤繰り返し作用に対する耐久性試験として、1) 乾燥湿潤促進繰り返し試験（以下、乾湿促進試験）および2) 暴露試験を行った。

##### 3.2.1 使用材料およびコンクリート配合

###### 1) 使用材料

###### (1) ダム用中熱フライアッシュセメント

試験に用いるセメントは宮ヶ瀬ダムで用いる中熱フライアッシュセメントを用いた。品質試験結果を表-6.1～6.3に示す。

###### (2) 骨 材

骨材は、細・粗骨材とも宮ヶ瀬ダムコンクリート用骨材を用いることとし、比較用にローモンタイトを含まないことをX線分析で確認した笠間産砕石および砕砂を用いた。骨材の品質試験結果ならびにふるい分け試験結果を表-7および図-8に示す。

###### (3) 混和剤

試験に用いた混和剤は、2.の試験で用いたA E減水剤と凝結遅延剤の組み合わせのうち、主に混和剤A-aの組み合わせ（F社製）のものをを用いた。

###### 2) コンクリート配合

コンクリートの配合は、宮ヶ瀬ダムの外部コンクリート配合を20mmふるいでウェットスクリーニングした配合を試験室で練り混ぜることとした。コンクリート配合を表-8に示す。

###### 3) 供試体の作製

供試体の作製は、JIS A 1132 に準拠して作製することとし、曲げ試験用供試体には長さ変化試験

表 - 6.1 ダム用中腐熱フライアッシュセメント試験成績表

| 種 類               | 比 重   | 比表面積<br>( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) | 凝 結        |                |                | 安定性 | 酸 化<br>マグネシウム<br>(%) | 三酸化<br>硫 黄<br>(%) | 強熱減量<br>(%) | フライアッシュ<br>の混合率<br>(%) |
|-------------------|-------|------------------------------------|------------|----------------|----------------|-----|----------------------|-------------------|-------------|------------------------|
|                   |       |                                    | 水 量<br>(%) | 始 発<br>(h-min) | 終 結<br>(h-min) |     |                      |                   |             |                        |
| ダム用中腐熱フライアッシュセメント | 2.90  | 3430                               | 29.2       | 3～21           | 5～0.8          | 良   | 0.5                  | 1.6               | 1.5         | 29.7                   |
| 仕 様               | 2.8以上 | 2500以上                             | —          | 60min以上        | 10h以下          | 良   | 3.0以下                | 2.0以下             | 3.0以下       | 30±2                   |

| 種 類               | 項 目 | 圧 縮 強 さ<br>( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) |      |       |      | 水 和 熱<br>( $\text{cal}/\text{g}$ ) |      | ア ル カ リ 量 (%)     |                  |                  |
|-------------------|-----|-----------------------------------------|------|-------|------|------------------------------------|------|-------------------|------------------|------------------|
|                   |     | 3 d                                     | 7 d  | 28 d  | 91 d | 7 d                                | 28 d | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | R <sub>2</sub> O |
| ダム用中腐熱フライアッシュセメント |     | 76                                      | 113  | 218   | 422  | 50.0                               | 63.8 | 0.25              | 0.27             | 0.43             |
| 仕 様               |     | 45以上                                    | 90以上 | 190以上 | —    | 60以下                               | 75以下 | —                 | —                | —                |

表 - 6.2 セメント試験成績表

| 種 類        | 比 重  | 比表面積<br>( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) | 凝 結                                     |                |                | 安定性  | 酸 化<br>マグネシウム<br>(%)               | 三酸化<br>硫 黄<br>(%) | 強熱減量<br>(%)       | 不溶残分<br>(%)      | け い 酸<br>三カルシウム<br>(%) | アルミン酸<br>三カルシウム<br>(%) |
|------------|------|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|----------------|------|------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------------|------------------------|
|            |      |                                    | 水 量<br>(%)                              | 始 発<br>(h-min) | 終 結<br>(h-min) |      |                                    |                   |                   |                  |                        |                        |
| 中腐熱セメント    | 3.20 | 2980                               | 27.9                                    | 2-32           | 4-31           | 良    | 0.8                                | 1.9               | 0.7               | 0.1              | 45                     | 3                      |
| 仕 様        | —    | 2500~3000                          | —                                       | —              | —              | —    | 3.0以下                              | 3.0以下             | 2.0以下             | 0.5以下            | —                      | 5以下                    |
| JIS R 5210 | —    | 2500以上                             | —                                       | 60min以上        | 10h以下          | 良    | 5.0以下                              | 3.0以下             | 3.0以下             | —                | 50以下                   | 8以下                    |
| 種 類        | 比 重  | 比表面積<br>( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) | 圧 縮 強 さ<br>( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) |                |                |      | 水 和 熱<br>( $\text{cal}/\text{g}$ ) |                   | ア ル カ リ 量 (%)     |                  |                        | 塩 素<br>(%)             |
|            |      |                                    | 3 d                                     | 7 d            | 28 d           | 91 d | 7 d                                | 28 d              | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | R <sub>2</sub> O       |                        |
| 中腐熱セメント    | 131  | 180                                | 371                                     | 516            | 64.0           | 76.9 | —                                  | —                 | —                 | —                | —                      | —                      |
| 仕 様        | 50以上 | 100以上                              | —                                       | —              | 65以下           | 80以下 | —                                  | —                 | —                 | —                | —                      | —                      |
| JIS R 5210 | 50以上 | 100以上                              | 230以上                                   | —              | 70以下           | 83以下 | —                                  | —                 | —                 | —                | —                      | —                      |

表 - 6.3 フライアッシュ試験成績表

物理的性質

| 種 別        | 比 重    | 粉 末 度                              |                    | メチレンブルー<br>吸着量<br>( $\text{mg}/\text{g}$ ) | 単位水量比<br>(%) | 圧縮強度比 (%) |      |
|------------|--------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|--------------|-----------|------|
|            |        | 比表面積<br>( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) | 44 $\mu$ 残分<br>(%) |                                            |              | 28 日      | 91 日 |
| フライアッシュ    | 2.24   | 4410                               | 1.7                | 0.51                                       | 97           | 81.3      | 92.3 |
| 仕 様 書      | 2.0以上  | 3000以上                             | 25以下               | 0.8以下                                      | —            | —         | —    |
| JIS A 6201 | 1.95以上 | 2400以上                             | —                  | —                                          | 102以下        | 60以上      | 70以上 |

化 学 成 分

| 種 別        | 二酸化けい素<br>(%) | 湿 分<br>(%) | 強熱減量<br>(%) | 備 考 |
|------------|---------------|------------|-------------|-----|
| フライアッシュ    | 58.1          | 0.3        | 2.0         |     |
| 仕 様 書      | —             | —          | —           |     |
| JIS A 6201 | 45以上          | 1以下        | 6以下         |     |

表-7 骨材の品質試験結果

| 骨材の種類       |        | 比重   | 吸水率<br>(%) | 粗粒率  | 安定性損失重量<br>(%) | ロ-モリ付含有量<br>(%) | モリロ付含有量<br>(%) |
|-------------|--------|------|------------|------|----------------|-----------------|----------------|
| 粗<br>骨<br>材 | 宮ヶ瀬碎石  | 2.61 | 2.71       | 6.49 | ---            | ---             | ---            |
|             | 笠間碎石   | 2.69 | 0.61       | 6.67 | ---            | ---             | ---            |
| 細<br>骨<br>材 | 宮ヶ瀬碎砂① | 2.56 | 3.00       | 2.85 | 13.9           | 1.0             | 2.0            |
|             | 宮ヶ瀬碎砂② | 2.54 | 3.21       | 2.70 | 12.9           | 6.4             | 2.0            |
|             | 笠間碎砂   | 2.64 | 0.60       | 3.10 | 4.1            | 0.0             | 0.0            |

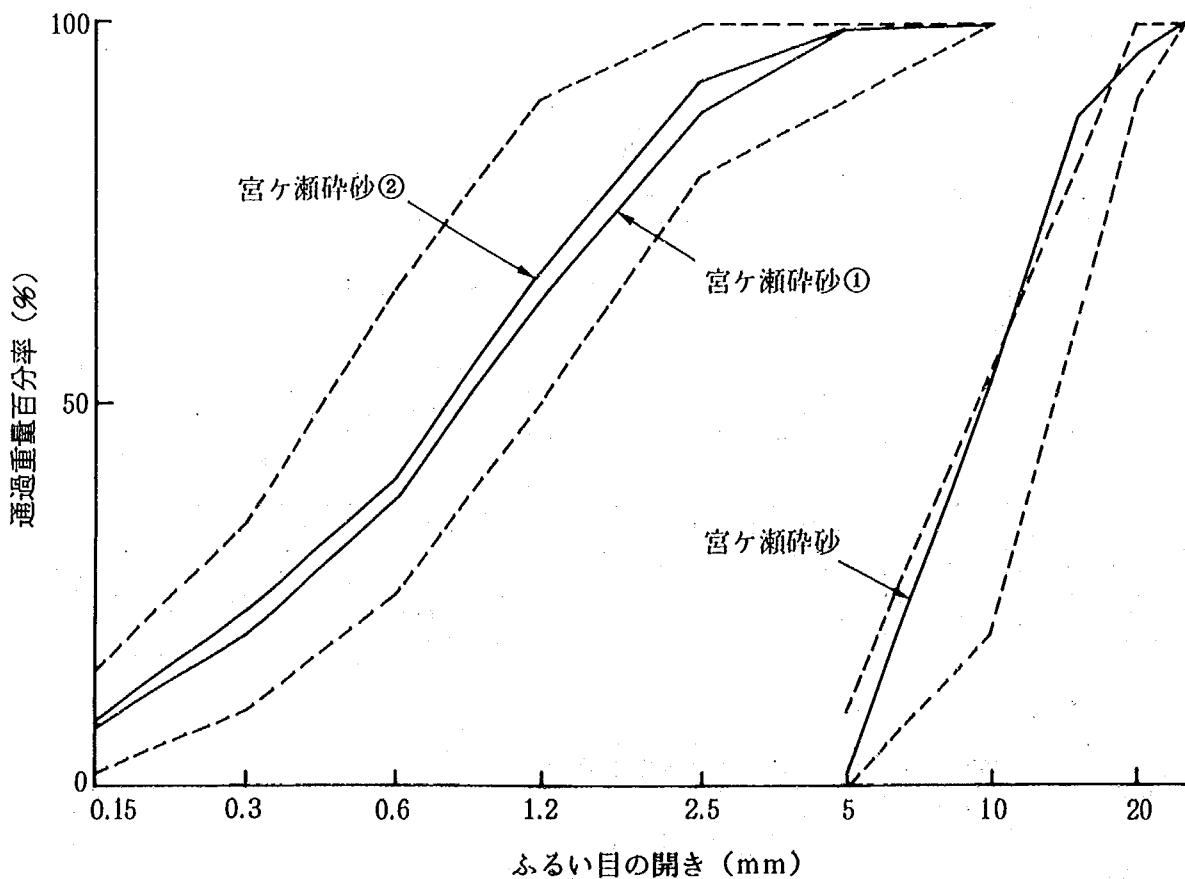


図-8 骨材のふるい分け試験結果

表-8 コンクリートの配合

| 粗骨材の<br>最大寸法<br>(mm) | スラフの<br>範囲<br>(cm) | 空気量<br>の範囲<br>(%) | 水結合材比<br>W/(C+F)<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |        |     |       |     |     |     |
|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|-------|--------|-----|-------|-----|-----|-----|
|                      |                    |                   |                         |                    | 水                          | セメント  | フライッシュ | 細骨材 | 粗 骨 材 |     |     |     |
|                      |                    |                   |                         |                    | W                          | C     | F      | S   | G1    | G2  | G3  | G4  |
| 150                  | 4 ± 1              | 3.5 ± 1           | 50                      | 26                 | 108                        | 151.2 | 64.8   | 544 | 461   | 307 | 307 | 461 |

\* 1) ここに、G1: 5~20mm、G2: 20~40mm、G3: 40~80mm、G4: 80~150mm

\* 2) 試験室では、20mmふるいでウェットスクリーニングした配合とした。

用のプラグを取り付けた。供試体は作製後、28日間標準養生を行った。作製した供試体の種類を表-9に示す。

### 3.2.2 乾燥湿潤繰り返し試験

#### 1) 促進試験

乾湿促進試験は、供試体を28日間標準養生したのち、80℃・48時間気中乾燥、20℃・48時間水中湿潤（4日1サイクル）の行程を繰り返すこととし、試験工程上乾湿繰り返しを中断するときは、供試体を20℃の水中で湿潤状態に保つこととした。

乾湿促進試験における動弾性係数、長さ変化および重量変化の測定サイクルは、1~10まで毎回および15, 20, 25, 30サイクルとした。また、10, 20サイクルの測定時には、圧縮強度試験および中性化試験を行った。

#### 2) 暴露試験

暴露試験は、28日間標準養生を行ったのち、長さ変化、動弾性係数、重量および圧縮強度の初期値を測定した後、土木研究所構内の暴露場において試験を開始した。

#### 3) 測定項目及び測定方法

- (1) 長さ変化試験：JIS A 1129に準拠して行った。
- (2) 動弾性係数測定試験：JIS A 1127に準拠して行った。
- (3) 外観観察：目視によってコンクリート表面を観察した。
- (4) 圧縮強度試験：JIS A 1108に準拠して行った。
- (5) 中性化試験：圧縮強度試験を行った供試体を割裂して、その断面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、赤色に変化しない部分を中性化部分としてそのコンクリート表面からの深さを測定した。

表-9 乾湿試験用供試体種類

| NO | 粗骨材 |     | 細骨材ローソク含有量(%) |     |     |     | 遅延剤添加量 <sup>*1</sup> |                 |      | 試験方法 |    | 備 考          |
|----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|----------------------|-----------------|------|------|----|--------------|
|    | 笠 間 | 宮ヶ瀬 | 0.0           | 1.0 | 3.7 | 6.4 | 0%                   | 0.3%            | 0.9% | 促進   | 暴露 |              |
| 1  |     | ○   | ○             |     |     |     |                      | ○               |      | ○    | ○  | φ10×20 : 18本 |
| 2  |     | ○   |               | ○   |     |     |                      | ○               |      | ○    | ○  | "            |
| 3  |     | ○   |               |     | ○   |     |                      | ○               |      | ○    | ○  | "            |
| 4  |     | ○   |               |     |     | ○   |                      | ○               |      | ○    | ○  | "            |
| 5  |     | ○   | ○             |     |     |     |                      |                 | ○    | ○    | ○  |              |
| 6  | ○   |     | ○             |     |     |     | ○                    |                 |      | ○    | ○  | φ10×20 : 18本 |
| 7  |     | ○   |               |     |     | ○   |                      |                 | ○    | ○    | ○  | "            |
| 8  |     | ○   |               |     |     | ○   | ○                    |                 |      | ○    | ○  | "            |
| 9  |     | ○   |               |     |     | ○   |                      | ○ <sup>*2</sup> |      | ○    | -  |              |

\* 1 : 結合材料に対する添加量。

\* 2 : AE減水剤および凝結遅延剤は、P社製のものを用了。

### 3.3 試験結果

(1) これまでローモンタイト含有骨材を用いたコンクリートが短時間のうちに変状した事例をみると、骨材の吸水率あるいは安定性損失重量の値が規格値を大きく上回っているものが多い。今回使用した骨材は、安定性損失重量の値がわずかに規格値を上回っているものの、ローモンタイト含有量以外の骨材品質が乾湿繰り返し試験の結果に及ぼす影響は少ないと考えられる。

(2) そこで、各配合ごとの動弾性係数、長さ変化および重量変化の測定結果を図－9.1～9.3に示す。これより、細骨材中のローモンタイト含有量が6.4%のコンクリートはいずれの測定値とも顕著な変化を示している。すなわち、ローモンタイト含有量と各測定値との関係は図－10に示すようになる。なお、ローモンタイト含有骨材を用いたコンクリートの重量が一端減少した後に回復する傾向にあるのは、乾湿繰り返し作用によってコンクリート表面に微細なひびわれが生じ、そのためにコンクリート中のローモンタイトに吸水される水分が増えるためと考えられる。

(3) 次に、外部コンクリートにも内部コンクリートと同様にモンモリロナイトによる過早凝結を調整する目的で超遅延剤を添加するため、今回の試験でも  $(C + F) \times 0.9\%$  (標準使用量の3倍) の超遅延剤を添加して試験を行った。試験の結果を図－11に示す。これより、超遅延剤が乾湿繰り返しによるコンクリートの変状に与える影響は認められない。

(4) 図－12に  $10 \times 10 \times 40$  cm 供試体と同様に乾湿促進繰り返しを行った  $\phi 10 \times 20$  cm 供試体のコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。細骨材中のローモンタイト含有量が6.4%の場合には、乾湿繰り返し10サイクル程度から、また、含有量3.7%の場合には20サイクル程度から強度の伸びがなくなり始める。

(5) 以上の結果から、今回の試験の範囲内では、細骨材中のローモンタイト量が6.4%の場合には、コンクリートが乾湿繰り返しを受けて顕著な変状を示すものの、ローモンタイト含有量が3.7%以下の場合にはほとんど問題を生じていない。

(6) なお、乾湿促進試験と同様の配合でコンクリート供試体を作製して土木研究所構内で暴露試験を開始したが、今後はさらに試験要因を増やして暴露試験を行う予定である。

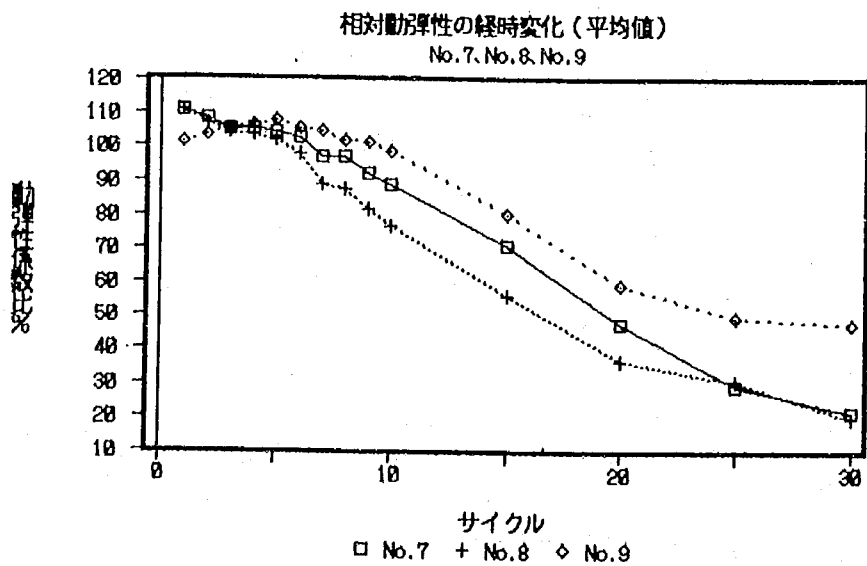
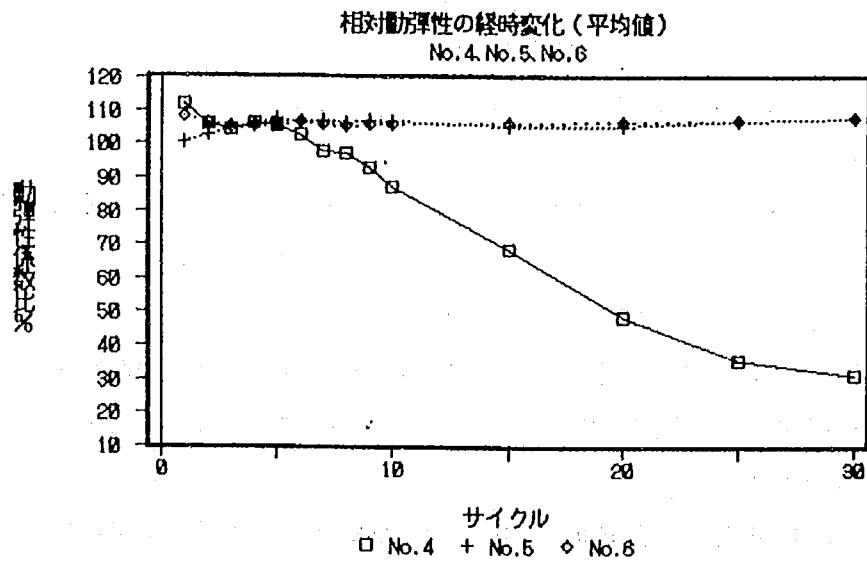
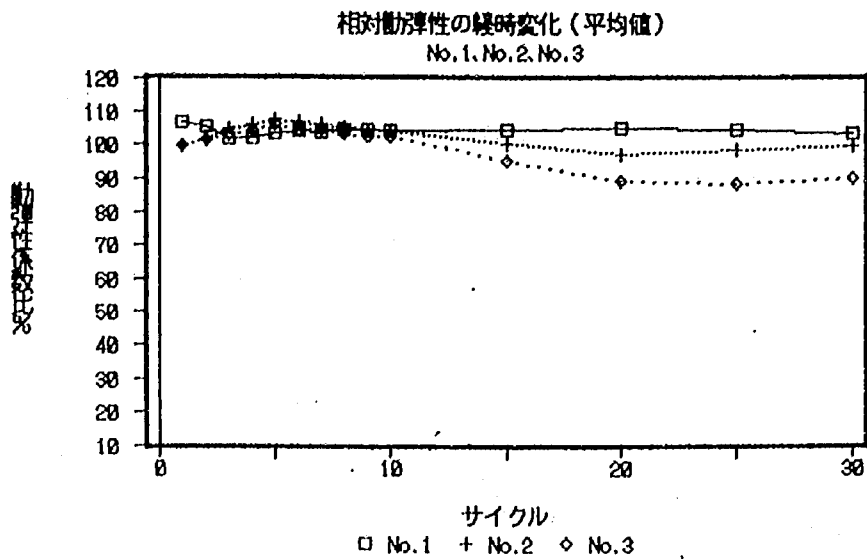


図-9.1 乾湿繰返しによる動弾性係数の変化

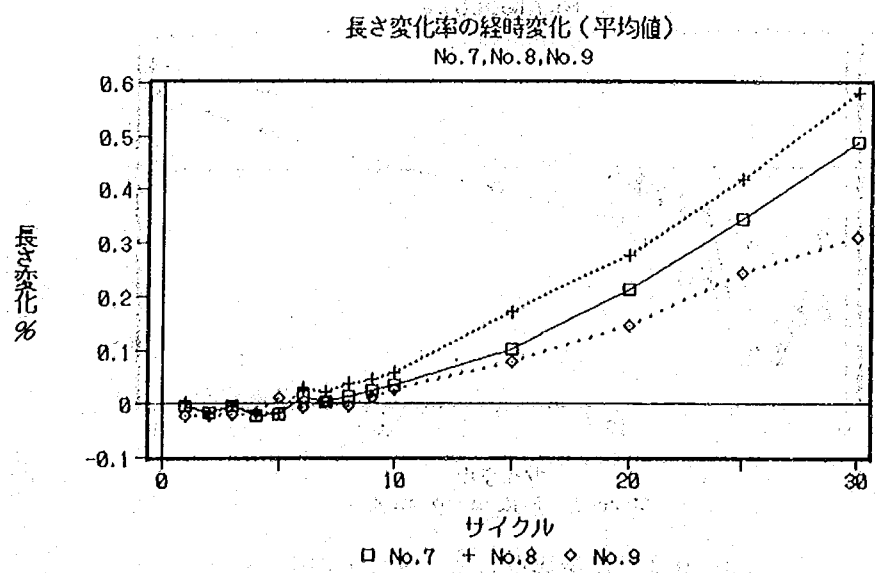
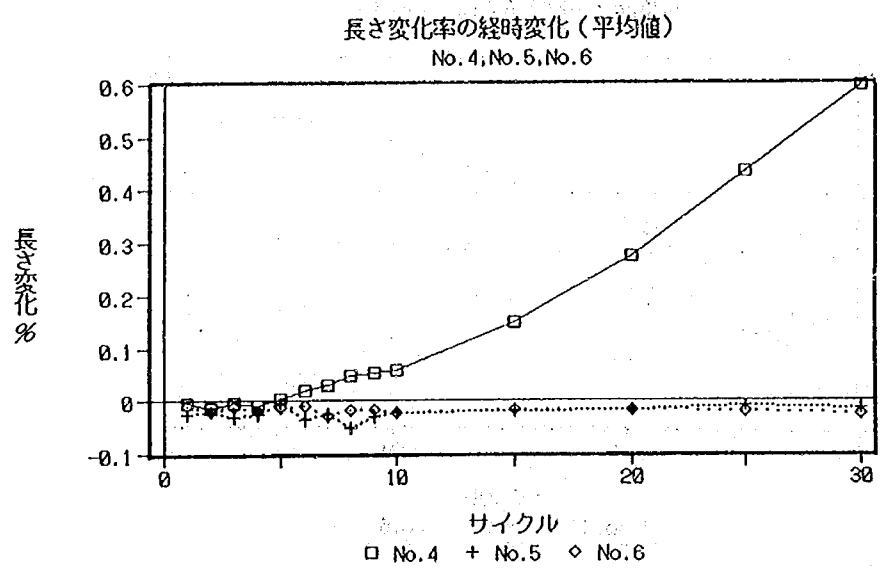
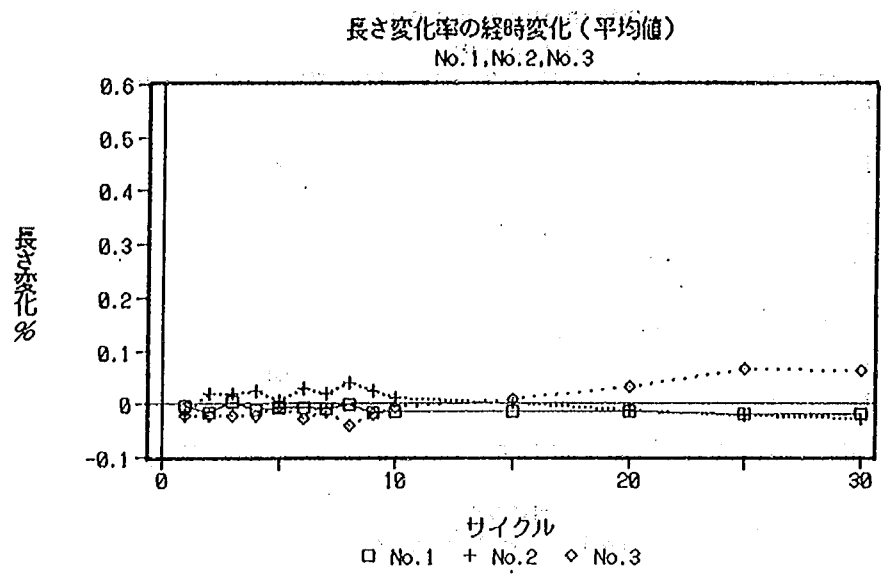


図-9.2 乾湿繰返しによる長さ変化

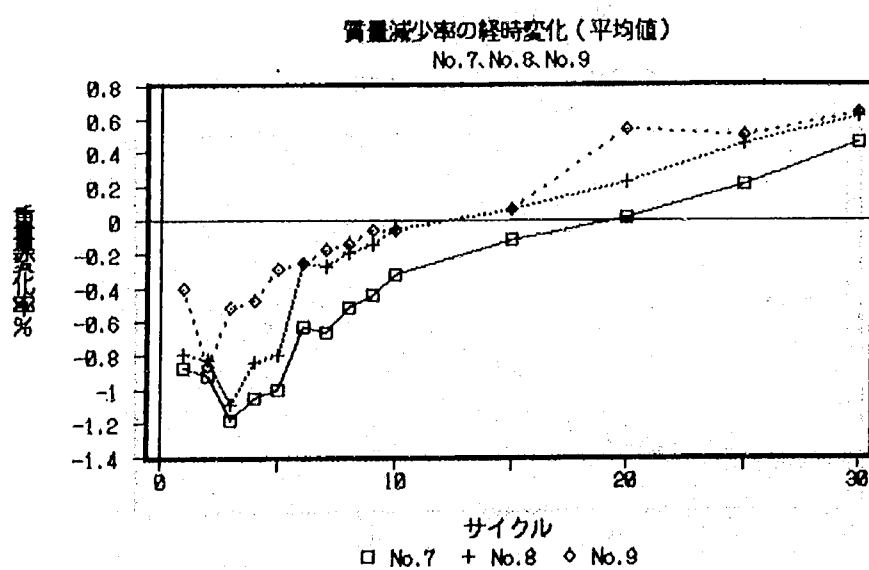
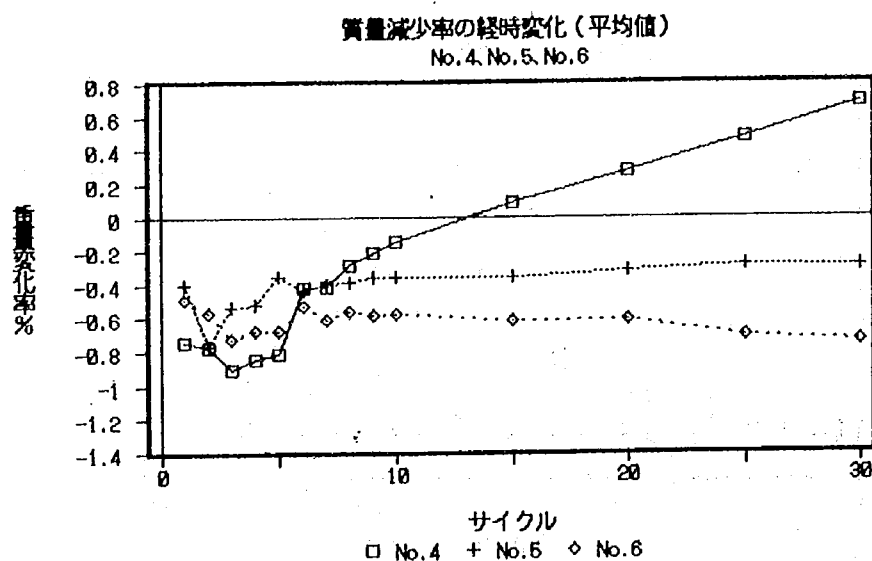
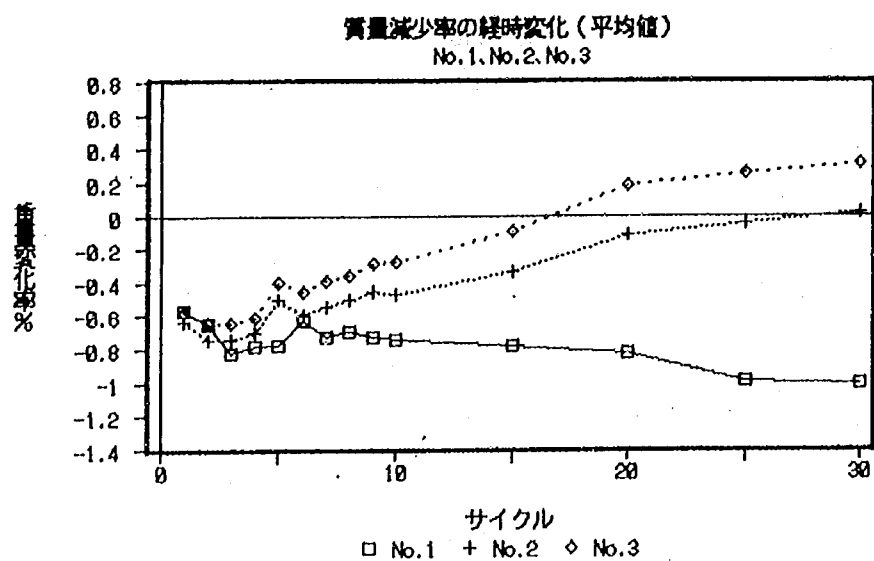


図-9.3 乾湿繰返しによる重量変化

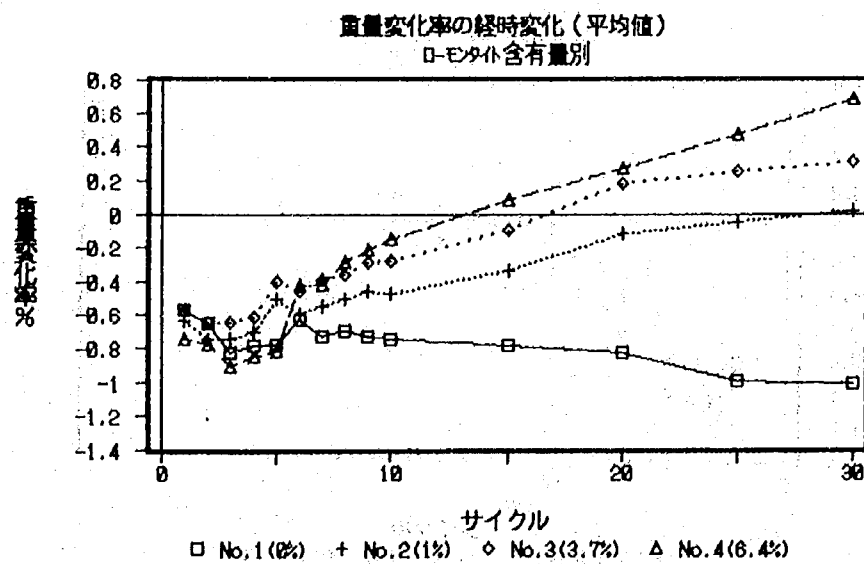
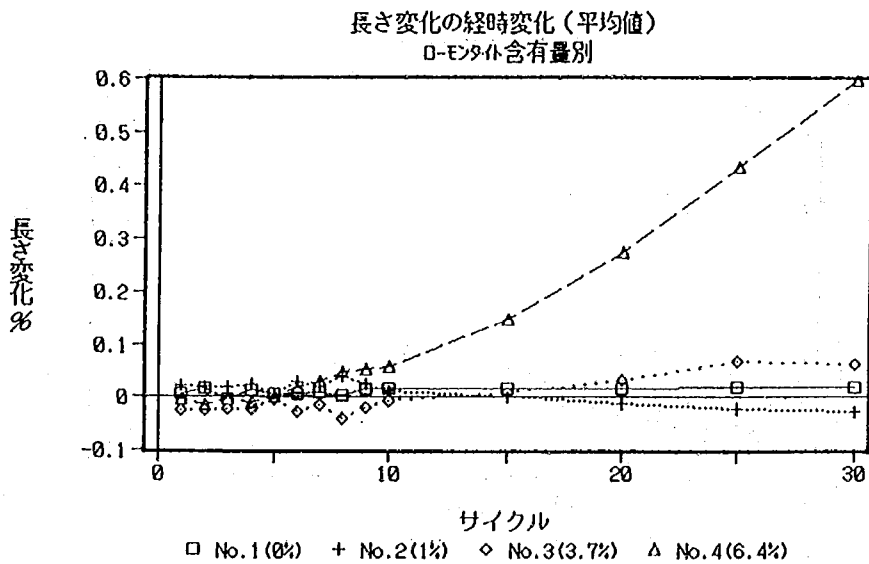
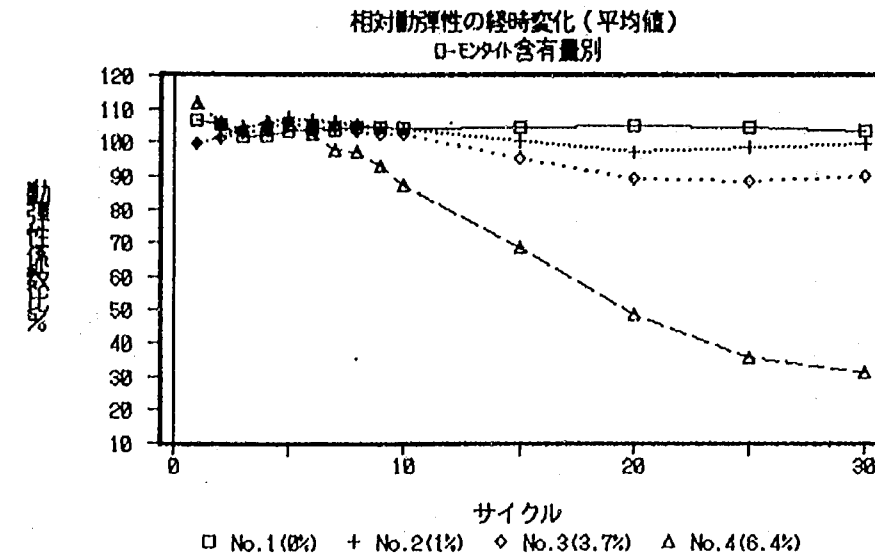


図-10 ローモンタイト含有量と動弾性係数・長さ変化  
および重量変化の関係

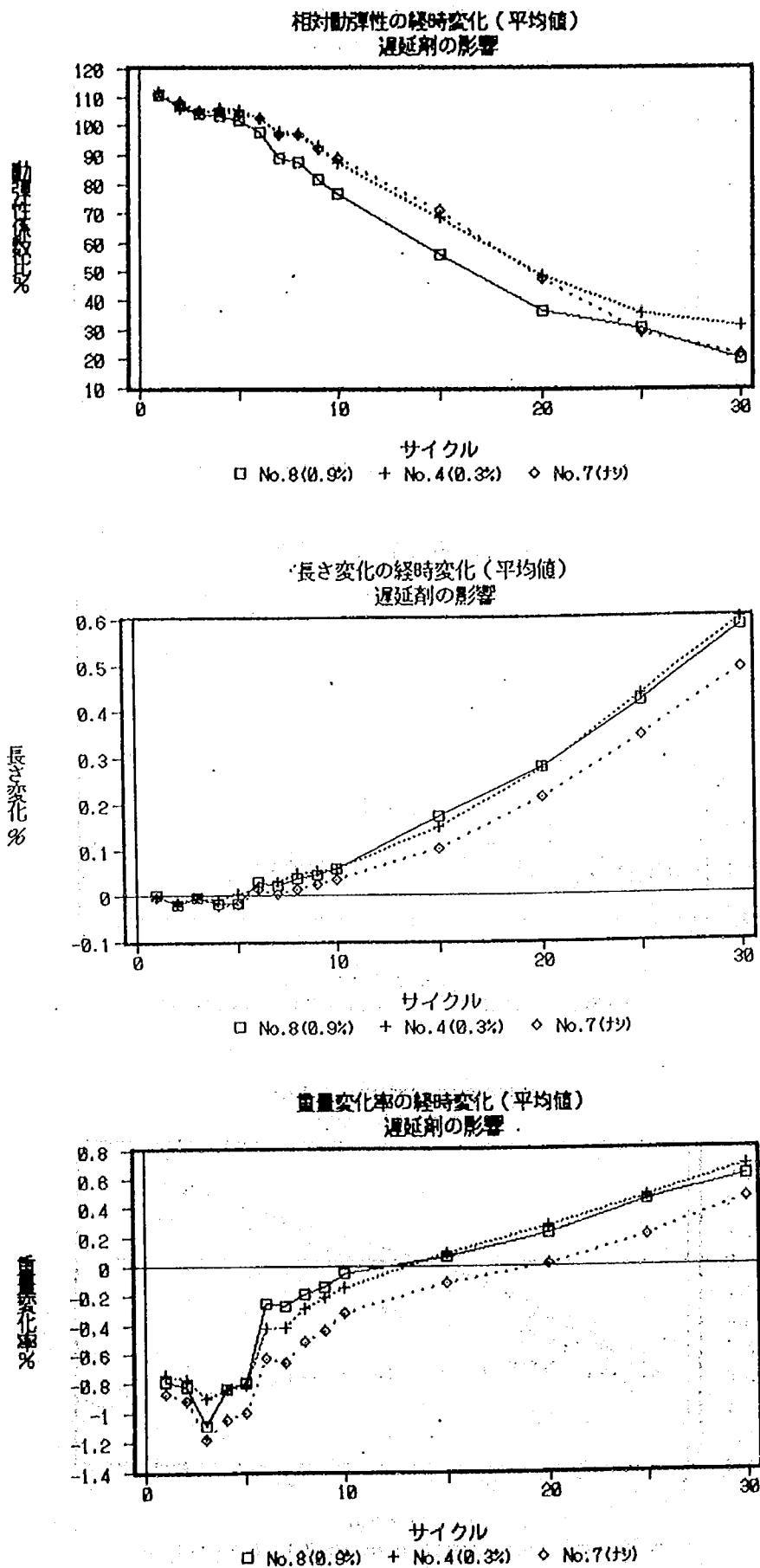


図-11 凝結遅延剤添加量と動弾性係数・長さ変化  
および重量変化の関係

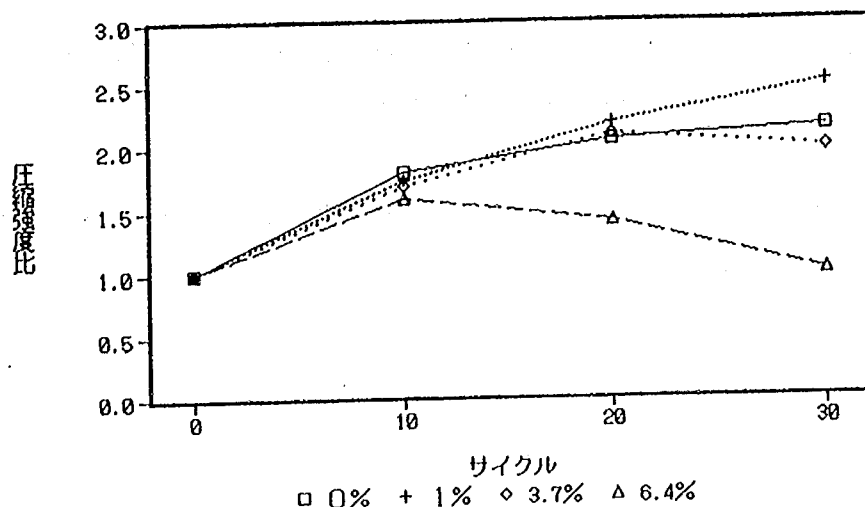


図-12 乾湿繰返しによる圧縮強度の変化

#### 4. ま と め

- (1) コンクリートの凝結時間は、骨材中のモンモリロナイト量が増えるに従って、ほぼ直線的に短くなり、RCDコンクリートの場合にモンモリロナイト量が5%を超えるとコンクリートの締め固めが難しくなるほどの施工性の低下をきたす。
- (2) しかし、この場合でも凝結遅延剤を添加することで硬化後のコンクリートが所要の強度を確保しつつ凝結時間を調整することができる。
- (3) また、ローモンタイト含有骨材による外部コンクリートの乾燥湿潤繰返しに対する耐久性を調査した結果、今回の試験の範囲内では細骨材中のローモンタイト含有量が6.4%の場合にコンクリートに顕著な変状が現れていた。
- (4) 宮ヶ瀬ダムにおいては、骨材中のモンモリロナイト含有量は凝結遅延剤を用いることで5%に、また、ローモンタイト含有量は1%で管理されており、この程度の含有量ならばフレッシュ時の性状や硬化コンクリートの耐久性に影響を与えることはないと考えられる。
- (5) 近年、良質な骨材が枯渇化する傾向にあることから、宮ヶ瀬ダムに限らずモンモリロナイトやローモンタイトを含有する骨材をコンクリート用骨材として用いることを検討する必要があると思われる。いうまでもなく、コンクリートの性状はモンモリロナイトやローモンタイトの含有量や含有形態によって異なることから、そのような場合には、その都度試験によってその使用の可否を確認するのがよいといえる。

参考資料)

- 1) 小林, 丹野, 石井: 「宮ヶ瀬ダムコンクリート用骨材に関する試験」土木研究所資料第2331号, 1986. 3
- 2) 脇坂, 藤原, 前田, 三谷: 「モンモリロナイト含有骨材とセメントとの鉱物化学反応」コンクリート工学年次論文報告集, 1990
- 3) 脇坂, 宇治, 林, 佐々木: 「モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートの物理的性質」コンクリート工学年次論文報告集, 1990

( 資 料 )

－ 乾 湿 繰 返 し 試 験 測 定 デ ー タ －

－ 暴 露 試 験 用 供 試 体 初 期 測 定 デ ー タ －



| No |   | 試験開始時振動数 |      | 各サイクルごとの共鳴振動数 (Hz) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
|----|---|----------|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
|    |   | 0        | 1    | 2                  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |      |  |  |
| 1  | ① | f 1      | 2129 | 2197               | 2181 | 2187 | 2154 | 2186 | 2172 | 2166 | 2172 | 2178 | 2187 | 2192 | 2178 | 2177 | 2104 |  |  |
|    |   | f 2      | 2123 | 2191               | 2189 | 2114 | 2154 | 2161 | 2154 | 2146 | 2168 | 2158 | 2152 | 2165 | 2162 | 2136 | 2140 |  |  |
|    | ② | f 1      | 2127 | 2186               | 2178 | 2132 | 2154 | 2158 | 2164 | 2166 | 2166 | 2178 | 2154 | 2173 | 2175 | 2159 | 2167 |  |  |
|    |   | f 2      | 2129 | 2185               | 2177 | 2135 | 2128 | 2147 | 2162 | 2162 | 2167 | 2162 | 2162 | 2160 | 2158 | 2162 | 2163 |  |  |
|    | ③ | f 1      | 2100 | 2171               | 2149 | 2116 | 2108 | 2128 | 2143 | 2138 | 2143 | 2154 | 2145 | 2142 | 2171 | 2161 | 2171 |  |  |
|    |   | f 2      | 2103 | 2193               | 2170 | 2135 | 2139 | 2150 | 2172 | 2168 | 2170 | 2162 | 2167 | 2175 | 2175 | 2197 | 2185 |  |  |
| 2  | ① | f 1      | 1921 | 1939               | 1941 | 1969 | 1973 | 1993 | 1975 | 1979 | 1982 | 1980 | 1956 | 1932 | 1886 | 1893 | 1902 |  |  |
|    |   | f 2      | 1923 | 1894               | 1920 | 1935 | 1972 | 1968 | 2005 | 1954 | 1931 | 1926 | 1924 | 1892 | 1853 | 1860 | 1898 |  |  |
|    | ② | f 1      | 1922 | 1942               | 1968 | 1998 | 1997 | 2016 | 2020 | 2015 | 1999 | 2001 | 2001 | 1952 | 1912 | 1944 | 1969 |  |  |
|    |   | f 2      | 1925 | 1934               | 1948 | 1978 | 1988 | 2001 | 1980 | 1997 | 1984 | 1977 | 1979 | 1932 | 1898 | 1925 | 1934 |  |  |
|    | ③ | f 1      | 1955 | 1952               | 1985 | 2007 | 2005 | 2032 | 2016 | 2021 | 2011 | 2004 | 2000 | 1984 | 1958 | 1966 | 1954 |  |  |
|    |   | f 2      | 1952 | 1928               | 1944 | 1966 | 1990 | 2000 | 1987 | 1981 | 1982 | 1966 | 1971 | 1936 | 1920 | 1925 | 1932 |  |  |
| 3  | ① | f 1      | 1979 | 1952               | 1963 | 1979 | 1979 | 1999 | 1986 | 1994 | 1983 | 1975 | 1983 | 1930 | 1849 | 1884 | 1909 |  |  |
|    |   | f 2      | 1972 | 1903               | 1935 | 1946 | 1941 | 1967 | 1953 | 1945 | 1948 | 1925 | 1932 | 1888 | 1829 | 1855 | 1888 |  |  |
|    | ② | f 1      | 1867 | 1919               | 1940 | 1955 | 1972 | 1989 | 1973 | 1975 | 1981 | 1971 | 1977 | 1895 | 1839 | 1811 | 1813 |  |  |
|    |   | f 2      | 1879 | 1885               | 1931 | 1934 | 1959 | 1958 | 1968 | 1962 | 1951 | 1954 | 1939 | 1873 | 1826 | 1780 | 1819 |  |  |
|    | ③ | f 1      | 1921 | 1934               | 1945 | 1966 | 1991 | 2002 | 1960 | 1966 | 1954 | 1949 | 1936 | 1842 | 1777 | 1775 | 1763 |  |  |
|    |   | f 2      | 1915 | 1916               | 1900 | 1926 | 1930 | 1953 | 1925 | 1938 | 1900 | 1892 | 1896 | 1821 | 1758 | 1730 | 1732 |  |  |
| 4  | ① | f 1      | 1896 | 2008               | 1934 | 1939 | 1968 | 1968 | 1941 | 1927 | 1924 | 1908 | 1889 | 1707 | 1431 | 1253 | 1099 |  |  |
|    |   | f 2      | 1883 | 2015               | 1942 | 1939 | 1943 | 1940 | 1931 | 1904 | 1894 | 1874 | 1852 | 1695 | 1412 | 1235 | 1094 |  |  |
|    | ② | f 1      | 1895 | 1997               | 1948 | 1923 | 1954 | 1930 | 1906 | 1846 | 1817 | 1760 | 1712 | 1457 | 1258 | 1033 | 1007 |  |  |
|    |   | f 2      | 1880 | 1963               | 1920 | 1908 | 1928 | 1928 | 1882 | 1803 | 1872 | 1722 | 1678 | 1455 | 1232 | 1035 | 1033 |  |  |
|    | ③ | f 1      | 1878 | 2009               | 1963 | 1938 | 1952 | 1944 | 1919 | 1868 | 1846 | 1833 | 1684 | 1534 | 1253 | 1048 | 1013 |  |  |
|    |   | f 2      | 1893 | 1986               | 1940 | 1922 | 1921 | 1915 | 1898 | 1846 | 1826 | 1796 | 1754 | 1507 | 1305 | 1138 | 1049 |  |  |
| 5  | ① | f 1      | 2042 | 2034               | 2066 | 2081 | 2088 | 2109 | 2104 | 2100 | 2091 | 2109 | 2110 | 2090 | 2078 | 2097 | 2109 |  |  |
|    |   | f 2      | 2050 | 2046               | 2059 | 2079 | 2117 | 2125 | 2108 | 2118 | 2109 | 2107 | 2107 | 2096 | 2097 | 2103 | 2118 |  |  |
|    | ② | f 1      | 2036 | 2046               | 2063 | 2094 | 2103 | 2112 | 2102 | 2119 | 2107 | 2119 | 2109 | 2093 | 2094 | 2097 | 2110 |  |  |
|    |   | f 2      | 2041 | 2052               | 2072 | 2098 | 2097 | 2121 | 2107 | 2124 | 2123 | 2123 | 2128 | 2112 | 2125 | 2126 | 2125 |  |  |
|    | ③ | f 1      | 2049 | 2053               | 2066 | 2080 | 2083 | 2109 | 2104 | 2098 | 2078 | 2098 | 2098 | 2093 | 2096 | 2132 | 2133 |  |  |
|    |   | f 2      | 2031 | 2050               | 2071 | 2075 | 2076 | 2112 | 2106 | 2102 | 2106 | 2104 | 2102 | 2098 | 2082 | 2109 | 2119 |  |  |
| 6  | ① | f 1      | 2124 | 2194               | 2173 | 2165 | 2166 | 2168 | 2179 | 2176 | 2141 | 2185 | 2172 | 2177 | 2173 | 2186 | 2154 |  |  |
|    |   | f 2      | 2110 | 2183               | 2157 | 2136 | 2130 | 2150 | 2164 | 2159 | 2152 | 2162 | 2160 | 2173 | 2185 | 2183 | 2191 |  |  |
|    | ② | f 1      | 2071 | 2198               | 2181 | 2160 | 2172 | 2175 | 2178 | 2186 | 2186 | 2173 | 2195 | 2184 | 2181 | 2197 | 2206 |  |  |
|    |   | f 2      | 2070 | 2194               | 2179 | 2163 | 2165 | 2172 | 2185 | 2172 | 2182 | 2182 | 2179 | 2186 | 2190 | 2195 | 2211 |  |  |
|    | ③ | f 1      | 2137 | 2203               | 2193 | 2165 | 2197 | 2170 | 2199 | 2185 | 2158 | 2169 | 2166 | 2165 | 2170 | 2171 | 2171 |  |  |
|    |   | f 2      | 2137 | 2175               | 2146 | 2155 | 2144 | 2139 | 2163 | 2139 | 2151 | 2141 | 2140 | 2144 | 2162 | 2157 | 2186 |  |  |
| 7  | ① | f 1      | 1864 | 1990               | 1971 | 1944 | 1926 | 1916 | 1892 | 1846 | 1823 | 1779 | 1745 | 1542 | 1276 | 1003 | 838  |  |  |
|    |   | f 2      | 1854 | 1988               | 1956 | 1937 | 1933 | 1917 | 1893 | 1839 | 1838 | 1789 | 1735 | 1537 | 1338 | 1029 | 852  |  |  |
|    | ② | f 1      | 1891 | 1938               | 1960 | 1938 | 1943 | 1938 | 1924 | 1851 | 1868 | 1808 | 1779 | 1606 | 1255 | 1001 | 810  |  |  |
|    |   | f 2      | 1891 | 1982               | 1949 | 1927 | 1932 | 1917 | 1910 | 1852 | 1849 | 1798 | 1753 | 1562 | 1222 | 1003 | 881  |  |  |
|    | ③ | f 1      | 1889 | 1979               | 1945 | 1915 | 1931 | 1910 | 1913 | 1852 | 1849 | 1820 | 1811 | 1625 | 1339 | 1016 | 909  |  |  |
|    |   | f 2      | 1891 | 1984               | 1946 | 1901 | 1913 | 1924 | 1901 | 1855 | 1865 | 1814 | 1799 | 1627 | 1328 | 1022 | 931  |  |  |
| 8  | ① | f 1      | 1882 | 1985               | 1953 | 1939 | 1913 | 1905 | 1869 | 1771 | 1736 | 1678 | 1619 | 1368 | 1149 | 1030 | 817  |  |  |
|    |   | f 2      | 1879 | 1971               | 1928 | 1902 | 1897 | 1872 | 1837 | 1735 | 1718 | 1648 | 1587 | 1389 | 1164 | 1006 | 793  |  |  |
|    | ② | f 1      | 1855 | 2004               | 1965 | 1933 | 1939 | 1930 | 1891 | 1802 | 1786 | 1718 | 1672 | 1414 | 1146 | 1056 | 836  |  |  |
|    |   | f 2      | 1887 | 1963               | 1928 | 1918 | 1887 | 1872 | 1836 | 1775 | 1778 | 1676 | 1642 | 1379 | 1163 | 1044 | 871  |  |  |
|    | ③ | f 1      | 1888 | 1947               | 1944 | 1917 | 1928 | 1912 | 1880 | 1790 | 1778 | 1753 | 1687 | 1456 | 1092 | 1028 | 833  |  |  |
|    |   | f 2      | 1875 | 1971               | 1946 | 1895 | 1892 | 1882 | 1832 | 1750 | 1748 | 1693 | 1641 | 1427 | 1074 | 1049 | 857  |  |  |
| 9  | ① | f 1      | 1894 | 1894               | 1927 | 1940 | 1954 | 1978 | 1958 | 1940 | 1926 | 1918 | 1898 | 1743 | 1504 | 1388 | 1364 |  |  |
|    |   | f 2      | 1856 | 1874               | 1913 | 1900 | 1917 | 1932 | 1896 | 1906 | 1887 | 1876 | 1858 | 1713 | 1510 | 1383 | 1375 |  |  |
|    | ② | f 1      | 1869 | 1876               | 1891 | 1917 | 1930 | 1942 | 1934 | 1914 | 1885 | 1870 | 1870 | 1674 | 1439 | 1312 | 1311 |  |  |
|    |   | f 2      | 1835 | 1843               | 1857 | 1876 | 1873 | 1907 | 1880 | 1876 | 1856 | 1848 | 1822 | 1637 | 1439 | 1317 | 1295 |  |  |
|    | ③ | f 1      | 1895 | 1921               | 1937 | 1965 | 1967 | 1976 | 1945 | 1948 | 1917 | 1942 | 1868 | 1634 | 1378 | 1249 | 1176 |  |  |
|    |   | f 2      | 1860 | 1875               | 1881 | 1907 | 1912 | 1907 | 1884 | 1887 | 1839 | 1821 | 1802 | 1631 | 1332 | 1229 | 1171 |  |  |

測定値

乾燥湿潤の繰り返しによる供試体の長さ変化

| No. | 供試体寸法<br>(読み値) | 各サイクルごとの読み値 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |                | 初期値         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    |
| 1   | ①              | 687.0       | 686.8 | 691.0 | 684.0 | 690.7 | 688.8 | 688.7 | 687.9 | 687.5 | 690.9 | 688.8 | 691.6 | 689.3 | 692.0 | 692.0 |
|     | ②              | 494.9       | 496.9 | 500.8 | 494.8 | 500.0 | 498.6 | 498.1 | 499.3 | 499.7 | 500.8 | 500.0 | 498.8 | 500.3 | 501.1 | 501.0 |
|     | ③              | 803.3       | 806.7 | 811.2 | 801.4 | 808.2 | 805.4 | 805.1 | 807.8 | 800.9 | 810.8 | 811.8 | 811.5 | 811.4 | 813.1 | 812.3 |
| 2   | ①              | 689.8       | 696.5 | 697.1 | 697.4 | 698.5 | 692.4 | 700.0 | 695.9 | 702.1 | 698.0 | 692.8 | 688.7 | 683.0 | 681.0 | 678.8 |
|     | ②              | 483.5       | 490.5 | 489.2 | 489.0 | 491.0 | 484.8 | 492.4 | 488.8 | 497.1 | 490.6 | 486.8 | 483.0 | 478.0 | 476.1 | 474.3 |
|     | ③              | 502.5       | 511.0 | 509.8 | 510.4 | 512.9 | 505.9 | 514.6 | 510.2 | 517.7 | 513.0 | 507.6 | 503.7 | 501.3 | 495.0 | 492.5 |
| 3   | ①              | 359.0       | 370.6 | 371.8 | 369.3 | 368.2 | 362.4 | 370.0 | 366.2 | 375.2 | 369.1 | 363.2 | 356.8 | 352.5 | 344.2 | 344.6 |
|     | ②              | 533.2       | 538.6 | 536.6 | 540.2 | 540.0 | 534.4 | 541.8 | 537.5 | 546.8 | 539.8 | 535.8 | 531.4 | 523.3 | 503.2 | 510.2 |
|     | ③              | 432.5       | 440.9 | 441.7 | 440.1 | 440.3 | 433.6 | 441.8 | 437.2 | 445.4 | 437.0 | 432.2 | 426.9 | 416.5 | 406.5 | 402.1 |
| 4   | ①              | 233.9       | 405.0 | 409.8 | 405.2 | 408.1 | 405.9 | 401.0 | 401.3 | 398.1 | 397.6 | 395.2 | 376.1 | 347.0 | 305.3 | 260.2 |
|     | ②              | 646.0       | 647.0 | 650.2 | 646.8 | 649.7 | 643.2 | 638.3 | 633.2 | 625.0 | 624.0 | 622.7 | 589.8 | 542.5 | 481.5 | 420.1 |
|     | ③              | 497.2       | 499.0 | 502.9 | 500.0 | 500.6 | 498.3 | 492.1 | 489.5 | 485.0 | 482.0 | 480.0 | 448.9 | 406.5 | 353.6 | 298.4 |
| 5   | ①              | 491.6       | 500.7 | 499.3 | 502.0 | 499.3 | 495.1 | 502.7 | 499.6 | 507.0 | 500.0 | 498.5 | 498.0 | 495.7 | 494.2 | 496.0 |
|     | ②              | 504.0       | 513.1 | 509.6 | 514.0 | 513.0 | 507.9 | 516.1 | 512.8 | 521.8 | 515.8 | 512.4 | 510.3 | 511.0 | 507.8 | 508.8 |
|     | ③              | 420.8       | 429.5 | 428.8 | 431.2 | 430.5 | 418.2 | 434.5 | 430.0 | 440.4 | 433.0 | 429.8 | 428.5 | 428.1 | 424.7 | 426.0 |
| 6   | ①              | 441.0       | 453.0 | 455.0 | 453.2 | 455.9 | 453.1 | 453.9 | 458.0 | 455.8 | 454.7 | 458.7 | 455.5 | 456.1 | 455.2 | 457.9 |
|     | ②              | 235.5       | 233.9 | 238.3 | 236.1 | 238.0 | 234.2 | 234.0 | 240.5 | 237.0 | 237.9 | 239.6 | 239.0 | 238.2 | 238.4 | 242.5 |
|     | ③              | 515.2       | 514.7 | 520.3 | 516.3 | 518.3 | 516.0 | 514.8 | 522.0 | 517.9 | 518.6 | 517.4 | 516.5 | 517.1 | 518.5 | 517.6 |
| 7   | ①              | 616.2       | 616.5 | 622.9 | 618.4 | 624.0 | 622.0 | 611.4 | 615.2 | 610.2 | 607.5 | 598.8 | 579.3 | 536.0 | 489.0 | 431.7 |
|     | ②              | 431.5       | 433.5 | 438.4 | 434.4 | 439.0 | 439.4 | 426.9 | 430.0 | 425.9 | 422.2 | 420.8 | 391.8 | 352.0 | 302.0 | 251.8 |
|     | ③              | 430.0       | 431.2 | 434.5 | 430.9 | 439.9 | 437.3 | 425.6 | 430.3 | 426.0 | 423.9 | 421.2 | 398.2 | 363.2 | 319.7 | 273.7 |
| 8   | ①              | 385.0       | 386.5 | 392.3 | 387.8 | 392.0 | 392.2 | 375.0 | 377.4 | 370.6 | 366.3 | 362.0 | 314.3 | 275.5 | 220.8 | 158.1 |
|     | ②              | 522.0       | 520.6 | 527.6 | 524.1 | 527.0 | 527.8 | 510.4 | 513.5 | 507.4 | 504.8 | 501.2 | 459.1 | 424.2 | 372.0 | 314.6 |
|     | ③              | 654.1       | 654.1 | 661.9 | 655.3 | 660.5 | 660.0 | 644.3 | 648.2 | 642.8 | 642.5 | 637.5 | 605.0 | 566.6 | 521.9 | 469.1 |
| 9   | ①              | 429.4       | 438.2 | 439.2 | 439.0 | 438.0 | 428.4 | 435.2 | 431.1 | 435.9 | 429.8 | 424.0 | 409.0 | 386.5 | 353.8 | 333.0 |
|     | ②              | 534.0       | 541.3 | 540.9 | 539.0 | 539.9 | 529.1 | 536.3 | 532.5 | 534.8 | 529.3 | 525.0 | 507.1 | 484.9 | 451.6 | 428.5 |
|     | ③              | 548.3       | 556.1 | 554.4 | 554.6 | 553.5 | 543.4 | 548.0 | 544.0 | 546.9 | 540.5 | 534.4 | 511.5 | 485.4 | 446.2 | 418.4 |

※No4の①は初期値の信頼性にかけるためデータ整理には使用していない

測定値

乾燥浸潤の繰り返しによる供試体の重量変化

| No. | 試験開始時の<br>供試体重量(g) | 各サイクルごとの重量(g) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     |                    | 0             | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     |
| 1   | ①                  | 9264.5        | 9210.7 | 9203.2 | 9185.7 | 9191.6 | 9191.0 | 9204.9 | 9196.1 | 9198.7 | 9194.5 | 9192.3 | 9186.9 | 9183.2 | 9163.0 | 9162.9 |
|     | ②                  | 9220.5        | 9168.3 | 9160.6 | 9145.6 | 9149.2 | 9149.7 | 9162.4 | 9154.7 | 9157.0 | 9155.1 | 9153.1 | 9148.8 | 9141.0 | 9123.7 | 9121.8 |
|     | ③                  | 9058.2        | 9006.8 | 9000.0 | 8984.3 | 8987.5 | 8988.2 | 9001.6 | 8993.3 | 8996.7 | 8994.3 | 8992.6 | 8992.3 | 8991.9 | 8982.1 | 8980.0 |
| 2   | ①                  | 8801.2        | 8744.2 | 8736.3 | 8736.3 | 8740.9 | 8758.7 | 8749.8 | 8753.5 | 8757.7 | 8762.8 | 8760.4 | 8774.7 | 8792.9 | 8800.7 | 8807.8 |
|     | ②                  | 8899.9        | 8846.8 | 8839.9 | 8839.9 | 8843.8 | 8860.6 | 8854.5 | 8858.8 | 8861.7 | 8866.6 | 8864.6 | 8875.6 | 8896.7 | 8899.3 | 8904.7 |
|     | ③                  | 8908.6        | 8848.6 | 8836.1 | 8836.1 | 8838.2 | 8854.9 | 8846.7 | 8851.3 | 8854.4 | 8859.2 | 8857.8 | 8868.9 | 8888.5 | 8897.4 | 8902.7 |
| 3   | ①                  | 8936.7        | 8878.8 | 8872.7 | 8872.7 | 8875.9 | 8894.7 | 8889.1 | 8894.3 | 8896.2 | 8902.3 | 8903.5 | 8921.1 | 8947.2 | 8952.7 | 8958.0 |
|     | ②                  | 8807.8        | 8765.8 | 8763.0 | 8763.0 | 8765.2 | 8782.8 | 8779.9 | 8784.8 | 8787.3 | 8793.1 | 8792.9 | 8811.2 | 8833.3 | 8845.0 | 8849.9 |
|     | ③                  | 8882.8        | 8829.1 | 8820.8 | 8820.8 | 8823.9 | 8843.3 | 8837.0 | 8844.0 | 8847.0 | 8854.3 | 8855.5 | 8871.2 | 8894.7 | 8897.5 | 8901.8 |
| 4   | ①                  | 8874.2        | 8810.8 | 8807.1 | 8792.9 | 8798.7 | 8804.4 | 8836.5 | 8835.3 | 8845.1 | 8850.2 | 8856.2 | 8881.0 | 8895.4 | 8909.9 | 8929.2 |
|     | ②                  | 8891.1        | 8824.7 | 8823.1 | 8813.1 | 8819.3 | 8819.8 | 8858.2 | 8860.4 | 8873.1 | 8879.0 | 8883.7 | 8901.4 | 8920.8 | 8939.7 | 8957.4 |
|     | ③                  | 8774.5        | 8707.3 | 8704.4 | 8694.4 | 8697.3 | 8699.2 | 8732.9 | 8733.5 | 8745.4 | 8752.7 | 8760.1 | 8779.6 | 8796.3 | 8815.5 | 8834.4 |
| 5   | ①                  | 9154.6        | 9119.5 | 9085.7 | 9107.1 | 9109.7 | 9125.0 | 9116.7 | 9120.2 | 9121.3 | 9125.1 | 9125.5 | 9124.9 | 9131.6 | 9135.9 | 9136.0 |
|     | ②                  | 9115.3        | 9079.3 | 9046.8 | 9065.7 | 9067.0 | 9081.5 | 9074.5 | 9077.9 | 9078.5 | 9081.3 | 9080.0 | 9080.0 | 9082.9 | 9086.6 | 9087.0 |
|     | ③                  | 9059.2        | 9021.6 | 8986.1 | 9008.0 | 9009.4 | 9025.4 | 9017.2 | 9021.7 | 9022.0 | 9024.2 | 9024.5 | 9024.8 | 9027.7 | 9028.5 | 9026.0 |
| 6   | ①                  | 9090.7        | 9046.3 | 9037.9 | 9022.7 | 9026.5 | 9027.8 | 9041.2 | 9034.6 | 9038.7 | 9036.2 | 9038.5 | 9034.8 | 9035.9 | 9030.8 | 9028.6 |
|     | ②                  | 9065.2        | 9023.6 | 9017.7 | 9003.8 | 9006.3 | 9007.4 | 9019.7 | 9012.7 | 9016.2 | 9014.5 | 9015.2 | 9013.3 | 9011.1 | 9005.8 | 9004.1 |
|     | ③                  | 9071.0        | 9023.6 | 9015.9 | 9003.1 | 9008.8 | 9007.4 | 9021.9 | 9013.6 | 9017.9 | 9015.4 | 9016.3 | 9009.8 | 9013.6 | 8996.3 | 8991.0 |
| 7   | ①                  | 8680.1        | 8603.1 | 8599.2 | 8581.1 | 8589.8 | 8591.4 | 8622.9 | 8621.0 | 8634.2 | 8641.1 | 8651.8 | 8668.8 | 8681.2 | 8698.5 | 8719.8 |
|     | ②                  | 8851.1        | 8772.1 | 8768.7 | 8746.9 | 8756.9 | 8760.8 | 8794.8 | 8793.3 | 8806.8 | 8812.9 | 8823.6 | 8842.4 | 8854.9 | 8872.8 | 8895.8 |
|     | ③                  | 8756.1        | 8683.1 | 8677.5 | 8648.6 | 8664.4 | 8670.8 | 8704.5 | 8700.1 | 8711.6 | 8716.5 | 8726.9 | 8744.4 | 8755.3 | 8770.2 | 8792.5 |
| 8   | ①                  | 8877.2        | 8803.9 | 8801.9 | 8787.7 | 8801.6 | 8805.8 | 8855.9 | 8853.1 | 8859.5 | 8863.7 | 8871.0 | 8881.5 | 8897.0 | 8917.6 | 8930.1 |
|     | ②                  | 9036.4        | 8964.7 | 8962.8 | 8937.3 | 8961.2 | 8965.1 | 9015.3 | 9013.8 | 9021.1 | 9026.1 | 9033.6 | 9044.6 | 9058.7 | 9079.2 | 9094.3 |
|     | ③                  | 8904.1        | 8836.0 | 8831.9 | 8800.0 | 8829.4 | 8832.8 | 8878.9 | 8877.5 | 8886.6 | 8890.8 | 8898.2 | 8908.2 | 8921.2 | 8942.5 | 8958.3 |
| 9   | ①                  | 8825.9        | 8790.3 | 8745.7 | 8779.0 | 8782.6 | 8798.1 | 8798.7 | 8805.9 | 8808.9 | 8817.3 | 8819.5 | 8832.0 | 8861.6 | 8863.2 | 8875.0 |
|     | ②                  | 8847.2        | 8812.4 | 8772.3 | 8803.2 | 8806.2 | 8825.5 | 8826.3 | 8833.3 | 8836.2 | 8842.5 | 8844.6 | 8858.8 | 8899.9 | 8894.3 | 8907.3 |
|     | ③                  | 8909.9        | 8873.9 | 8834.2 | 8864.7 | 8867.3 | 8883.4 | 8890.1 | 8897.8 | 8900.4 | 8906.2 | 8903.3 | 8909.5 | 8964.2 | 8958.4 | 8971.2 |

《暴露試験供試体初期データ》

| 配合<br>NO | 供試体<br>NO | 共鳴振動数 |      | 長さ変化<br>読み値 | 重 量<br>(g) |
|----------|-----------|-------|------|-------------|------------|
|          |           | f 1   | f 2  |             |            |
| 1        | 4         | 2071  | 2083 | 362.0       | 9186.0     |
|          | 5         | 2114  | 2107 | 720.0       | 9209.7     |
|          | 6         | 2113  | 2121 | 480.0       | 9321.6     |
| 2        | 4         | 1937  | 1936 | 500.0       | 8829.8     |
|          | 5         | 1990  | 1982 | 768.3       | 8938.7     |
|          | 6         | 1935  | 1940 | 673.0       | 8948.2     |
| 3        | 4         | 1909  | 1884 | 531.5       | 8894.9     |
|          | 5         | 1883  | 1888 | 917.7       | 8838.6     |
|          | 6         | 1902  | 1879 | 432.0       | 8911.4     |
| 4        | 4         | 1890  | 1894 | 642.3       | 8793.5     |
|          | 5         | 1885  | 1873 | 680.0       | 8730.7     |
|          | 6         | 1894  | 1888 | 572.7       | 8774.3     |
| 5        | 4         | 2046  | 2048 | 817.0       | 9001.3     |
|          | 5         | 2053  | 2051 | 657.0       | 9173.1     |
|          | 6         | 2059  | 2069 | 430.0       | 9156.2     |
| 6        | 4         | 2162  | 2159 | 548.5       | 9168.7     |
|          | 5         | 2125  | 2127 | 667.1       | 9166.5     |
|          | 6         | 2158  | 2149 | 477.1       | 9213.0     |
| 7        | 4         | 1905  | 1904 | 440.2       | 8761.6     |
|          | 5         | 1900  | 1899 | 645.8       | 8686.4     |
|          | 6         | 1904  | 1905 | 612.5       | 8785.9     |
| 8        | 4         | 1933  | 1917 | 669.2       | 8906.6     |
|          | 5         | 1856  | 1833 | 662.9       | 8955.0     |
|          | 6         | 1960  | 1943 | 470.2       | 8977.5     |
| 9        | 4         | 1874  | 1867 | 348.7       | 8823.5     |
|          | 5         | 1869  | 1846 | 733.0       | 8822.7     |
|          | 6         | 1846  | 1840 | 427.8       | 8818.8     |

φ10×20供試体検閲表

単位 {重量:(g) 圧縮強度:(kgf/cm<sup>2</sup>)}

| 配合No. |        | 0時外<br>平均値 | 1      | 2      | 3      | 10時外<br>平均値 | 4      | 5      | 20時外<br>平均値 | 6      | 7      | 30時外<br>平均値 | 8      | 9      |
|-------|--------|------------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|
| 1     | 0時外重量  | 3601.1     | 3598.7 | 3603.4 | 3601.2 | 3604.1      | 3605.5 | 3602.6 | 3606.8      | 3610.4 | 3603.2 | 3615.2      | 3605.4 | 3624.9 |
|       | 10時外重量 | 3601.1     | 3598.7 | 3603.4 | 3601.2 | 3590.2      | 3592.9 | 3587.4 | 3592.6      | 3598.2 | 3587.0 | 3599.8      | 3592.1 | 3607.4 |
|       | 変化率(%) | 0.0        | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.4         | 0.3    | 0.4    | 0.4         | 0.3    | 0.4    | 0.4         | 0.4    | 0.5    |
|       | 0時外強度  | 237.7      | 234.9  | 231.7  | 246.4  | 237.7       |        |        | 237.7       |        |        | 237.7       |        |        |
|       | 10時外強度 | 237.7      | 234.9  | 231.7  | 246.4  | 427.8       | 414.8  | 440.7  | 490.5       | 470.9  | 510.1  | 512.9       | 494.9  | 530.8  |
|       | 圧縮強度比  | 1.0        | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.8         | 1.7    | 1.9    | 2.1         | 2.0    | 2.1    | 2.2         | 2.1    | 2.2    |
| 2     | 0時外重量  | 3466.3     | 3466.6 | 3452.4 | 3479.9 | 3462.0      | 3463.9 | 3460.1 | 3467.6      | 3469.9 | 3465.2 | 3452.6      | 3459.3 | 3445.8 |
|       | 10時外重量 | 3466.3     | 3466.6 | 3452.4 | 3479.9 | 3445.8      | 3449.4 | 3442.1 | 3457.4      | 3460.4 | 3454.4 | 3449.2      | 3457.8 | 3440.5 |
|       | 変化率(%) | 0.0        | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.5         | 0.4    | 0.5    | 0.3         | 0.3    | 0.3    | 0.1         | 0.0    | 0.2    |
|       | 0時外強度  | 171.3      | 175.7  | 166.8  | 171.3  | 171.3       |        |        | 171.3       |        |        | 171.3       |        |        |
|       | 10時外強度 | 171.3      | 175.7  | 166.8  | 171.3  | 297.9       | 316.7  | 279.0  | 376.3       | 365.2  | 387.4  | 431.0       | 430.0  | 432.0  |
|       | 圧縮強度比  | 1.0        | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.7         | 1.8    | 1.6    | 2.2         | 2.1    | 2.3    | 2.5         | 2.5    | 2.5    |
| 3     | 0時外重量  | 3462.5     | 3476.0 | 3450.9 | 3460.7 | 3481.0      | 3474.1 | 3487.8 | 3466.4      | 3457.3 | 3475.5 | 3474.2      | 3477.7 | 3470.7 |
|       | 10時外重量 | 3462.5     | 3476.0 | 3450.9 | 3460.7 | 3465.5      | 3459.0 | 3472.0 | 3466.9      | 3460.8 | 3472.9 | 3477.4      | 3479.8 | 3475.0 |
|       | 変化率(%) | 0.0        | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.4         | 0.4    | 0.5    | 0.0         | -0.1   | 0.1    | -0.1        | -0.1   | -0.1   |
|       | 0時外強度  | 184.4      | 180.2  | 188.4  | 184.6  | 184.4       |        |        | 184.4       |        |        | 184.4       |        |        |
|       | 10時外強度 | 184.4      | 180.2  | 188.4  | 184.6  | 313.0       | 325.2  | 300.8  | 387.4       | 425.9  | 348.9  | 368.3       | 353.6  | 382.9  |
|       | 圧縮強度比  | 1.0        | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.7         | 1.8    | 1.6    | 2.1         | 2.3    | 1.9    | 2.0         | 1.9    | 2.1    |
| 4     | 0時外重量  | 3413.1     | 3416.9 | 3408.0 | 3414.4 | 3432.4      | 3443.7 | 3421.1 | 3427.8      | 3412.1 | 3443.4 | 3417.7      | 3418.4 | 3417.0 |
|       | 10時外重量 | 3413.1     | 3416.9 | 3408.0 | 3414.4 | 3438.2      | 3439.9 | 3436.4 | 3426.1      | 3422.8 | 3429.3 | 3439.8      | 3441.1 | 3438.4 |
|       | 変化率(%) | 0.0        | 0.0    | 0.0    | 0.0    | -0.2        | 0.1    | -0.4   | 0.0         | -0.3   | 0.4    | 0.6         | 0.7    | 0.6    |
|       | 0時外強度  | 152.8      | 159.8  | 150.2  | 148.3  | 152.8       |        |        | 152.8       |        |        | 152.8       |        |        |
|       | 10時外強度 | 152.8      | 159.8  | 150.2  | 148.3  | 243.9       | 249.7  | 238.1  | 216.5       | 212.8  | 220.2  | 154.0       | 149.9  | 158.0  |
|       | 圧縮強度比  | 1.0        | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.6         | 1.6    | 1.6    | 1.4         | 1.4    | 1.4    | 1.0         | 1.0    | 1.0    |
| 6     | 0時外重量  | 3584.7     | 3585.3 | 3581.2 | 3587.6 | 3592.5      | 3591.1 | 3593.8 | 3590.2      | 3599.9 | 3580.5 | 3581.7      | 3577.5 | 3585.9 |
|       | 10時外重量 | 3584.7     | 3585.3 | 3581.2 | 3587.6 | 3571.4      | 3571.1 | 3571.6 | 3567.9      | 3575.9 | 3559.9 | 3552.0      | 3545.1 | 3558.8 |
|       | 変化率(%) | 0.0        | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.6         | 0.6    | 0.6    | 0.6         | 0.7    | 0.6    | 0.8         | 0.9    | 0.8    |
|       | 0時外強度  | 190.1      | 198.6  | 157.2  | 214.5  | 190.1       |        |        | 190.1       |        |        | 190.1       |        |        |
|       | 10時外強度 | 190.1      | 198.6  | 157.2  | 214.5  | 328.4       | 313.9  | 342.8  | 398.5       | 418.6  | 378.3  | 420.4       | 428.0  | 412.7  |
|       | 圧縮強度比  | 1.0        | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.7         | 1.7    | 1.8    | 2.1         | 2.2    | 2.0    | 2.2         | 2.3    | 2.2    |
| 7     | 0時外重量  | 3439.8     | 3424.2 | 3446.0 | 3449.1 | 3463.3      | 3443.5 | 3483.1 | 3446.8      | 3439.6 | 3453.9 | 3425.2      | 3427.5 | 3422.8 |
|       | 10時外重量 | 3439.8     | 3424.2 | 3446.0 | 3449.1 | 3457.5      | 3438.1 | 3476.8 | 3448.3      | 3442.8 | 3453.7 | 3440.2      | 3444.2 | 3436.2 |
|       | 変化率(%) | 0.0        | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.2         | 0.2    | 0.2    | 0.0         | -0.1   | 0.0    | 0.4         | 0.5    | 0.4    |
|       | 0時外強度  | 140.7      | 154.7  | 143.9  | 123.5  | 140.7       |        |        | 140.7       |        |        | 140.7       |        |        |
|       | 10時外強度 | 140.7      | 154.7  | 143.9  | 123.5  | 292.7       | 290.0  | 295.4  | 309.8       | 295.3  | 324.3  | 264.7       | 244.4  | 285.0  |
|       | 圧縮強度比  | 1.0        | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 2.1         | 2.1    | 2.1    | 2.2         | 2.1    | 2.3    | 1.9         | 1.7    | 2.0    |
| 8     | 0時外重量  | 3426.5     | 3426.0 | 3427.2 | 3426.4 | 3439.1      | 3440.5 | 3437.6 | 3430.0      | 3428.7 | 3431.2 | 3438.6      | 3441.0 | 3436.1 |
|       | 10時外重量 | 3426.5     | 3426.0 | 3427.2 | 3426.4 | 3439.3      | 3442.3 | 3436.3 | 3439.0      | 3435.7 | 3442.2 | 3456.8      | 3459.3 | 3454.3 |
|       | 変化率(%) | 0.0        | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0         | -0.1   | 0.0    | 0.3         | -0.2   | -0.3   | 0.5         | 0.5    | 0.5    |
|       | 0時外強度  | 166.2      | 170.0  | 164.9  | 163.6  | 166.2       |        |        | 166.2       |        |        | 166.2       |        |        |
|       | 10時外強度 | 166.2      | 170.0  | 164.9  | 163.6  | 287.5       | 286.8  | 288.1  | 251.9       | 256.9  | 246.9  | 222.5       | 202.5  | 242.4  |
|       | 圧縮強度比  | 1.0        | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.7         | 1.7    | 1.7    | 1.5         | 1.5    | 1.5    | 1.3         | 1.2    | 1.5    |

宮ヶ瀬ダムコンクリート特性試験

ーコンクリート用骨材特性ー

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3085号

1992年2月

コンクリート研究室 室長 河野広隆

研究員 高橋弘人

要旨

関東地方建設局管内、相模川水系に建設される宮ヶ瀬ダムは、RCD工法によって施工されるわが国の中でも最大規模のものである。

本報告書は、宮ヶ瀬ダム用コンクリートの施工性、耐久性を確保することを目的に行った凝結時間特性試験ならびに乾燥湿潤繰り返し作用に対する耐久性試験の結果について述べるものである。

キーワード：RCDコンクリート，モンモリロナイト，凝結時間，ローモンタイト，乾燥湿潤繰り返し

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切  
手をはって  
下さい。

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

地質化学部コンクリート研究室

行

No. 0000003

No. 0000008

配布先住所

配布先氏名

○

○

土木研究所資料 第 3 0 8 5 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

○