

土 木 研 究 所 資 料

未利用骨材資源の利用技術に関する調査
(1)骨材の各種強度試験

1 9 9 6 年 2 月

建設省土木研究所
コンクリート研究室

「Copyright © (1996) 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。」

未利用骨材資源の利用技術に関する調査

(1) 骨材の各種強度試験

コンクリート研究室 室 長 河 野 広 隆
主任研究員 森 濱 和 正
加 藤 俊 二

要 旨

コンクリートダムにおいて、省資源・省エネルギー、環境保全の観点からこれまでは廃棄していたような岩をRCDの内部コンクリート用骨材として有効利用することを検討する。

そのうち、本報告書は、骨材の各種強度試験を行い、強度特性についてとりまとめたものである。

キーワード：未利用骨材の有効利用、骨材の低品質化、省資源・省エネルギー、環境保全、RCD用コンクリート、骨材強度、判定基準、品質管理

目 次

1. まえがき	1
2. 内部コンクリート用骨材の要求品質と調査対象	2
3. 実験方法	4
3.1 実験概要	4
3.2 使用骨材	4
3.3 骨材の強度試験	4
3.3.1 コアの供試体強度試験	4
3.3.2 骨材の強度試験	7
3.4 コンクリート試験	9
3.4.1 練混ぜによる粒度変化試験	9
3.4.2 RCD用コンクリートの特性試験	9
4. 骨材の強度試験結果	12
4.1 コア供試体の強度試験結果	12
4.1.1 コア供試体の比重分布	12
4.1.2 圧縮強度試験結果	12
4.1.3 割裂引張強度	17
4.1.4 点載荷圧裂強度	18
4.2 点載荷試験	19
4.2.1 載荷点距離と破壊荷重	19
4.2.2 載荷点距離と点載荷圧裂強度	19
4.2.3 圧裂強度の分布	22
4.3 破碎試験結果	31
4.3.1 破碎値および粗粒率	31
4.3.2 応力-ひずみ関係	31
4.3.3 粒度分布	36
4.3.4 破碎試験と点載荷試験	38
4.4 衝撃試験結果	40
4.5 すりへり試験結果	41
4.5.1 すりへり試験結果	41
4.5.2 粒度分布	42

5. 練混ぜによる粒度変化試験	43
5.1 練混ぜによる粒度変化試験結果	43
5.1.1 粒度変化試験結果	43
5.1.2 粒度変化によるコンクリートの性状変化試験結果	47
5.1.3 練混ぜによる粗骨材減少率とすりへり試験結果の関係	51
5.2 RCD用コンクリートの特性試験結果	53
5.2.1 フレッシュコンクリートの性状	53
5.2.2 圧縮強度	53
5.2.3 圧縮強度と骨材の強度の関係	53
6. まとめ	58
資料集	59

1. まえがき

コンクリートダムの合理化施工法のうち、RCD工法はほぼ確立された段階にいたっているが、環境保全や省資源、省エネルギー、省人化、安全化などのさまざまな観点からいっそうの合理化が求められている。ダム建設技術の大きな課題に築堤材料、とりわけ骨材採取の合理化が考えられる。現在、内部コンクリート用骨材についても外部と同じ品質基準を適用しているが、内部コンクリートは外部用コンクリートに比べ耐久性や水密性などについては要求条件が比較的ゆるやかでもよく、締固め特性などの観点から内部コンクリート用骨材に対して別の判断基準を適用した方が合理的であると考えられる。このためここでは、内部コンクリート用骨材に適した品質基準と品質管理手法を検討する。

骨材の品質は、大きくは物理的なものと化学的なものに分類される。ここでは、RCD用コンクリートを対象とし、転圧時に強力なローラによって骨材に大きな荷重が作用することなどを考慮し、骨材の強度や耐破碎性に関して調査し、内部コンクリートへの未利用骨材の利用のため、以下のことを明らかにする。

- ① 内部コンクリートの要求品質の明確化
- ② ①に適合する骨材の判定基準とその試験方法の提案
- ③ 低品質骨材を用いたコンクリートの物性

2. 内部コンクリート用骨材の要求品質と調査対象

ダム用コンクリート骨材に要求される品質を表-2.1に示す。

まず、内部コンクリートは表面から1 m以上深い部分であり、外部コンクリートに比べ、表面から進行するスリヘリや中性化の影響は受けない。表面付近に生じる乾燥収縮の影響もほとんどないものと考えられる。耐久性で重要な凍結融解についても宮ヶ瀬ダムの調査^{2.1)}などから、表面から1 mも内部であれば外気温の影響はほとんどないことがわかっており(図-2.1)、内部コンクリート用の骨材の品質に外部と同様の基準を適用する必要はないものと考えられる。

内部コンクリートのうち、ここではRCD工法を対象としていることから、転圧のしやすさなど施工性が確保されたうえで所要の強度、耐久性が確保されたRCD用コンクリートが得られる骨材の品質が要求される。

骨材の品質には、主に比重、吸水率、強度、粒度、弾性係数、形状など物理的な特性と、鉱物の反応性などにともなう化学的な特性に分けることができる。これらの特性とコンクリートに要求される品質を整理したのが表-2.1である。

表-2.1 内部コンクリートの要求品質と骨材品質の影響

工 程	コンクリートの要求品質	骨材の特性	コンクリートにおよぼす影響
配 合	強度 所要強度	強度 弾性係数	コンクリート強度程度の強度があればよい ただし、配合への影響(セメント量の変化など) コンクリートの弾性係数への影響
	重量 設計重量	比重	ダムの形状、体積など設計に影響
	耐久性 凍結融解 7%骨材反応 その他	安定性 反応試験	外気温の影響小さい すりへり、中性化、乾燥収縮などの影響なし
	温度上昇	岩種	配合(特にセメント量)
練混ぜ	品質のばらつき 練混ぜ	強度	製造時の粒度変化
施 工	施工性 転圧しやすさ	粒度、形状 強度 粘土鉱物	配合への影響(単位水量、s/a) 転圧時割れなどないこと 過早凝結、転圧

表-2.1のうち、ここでは骨材の強度を対象に検討することとした。強度が小さいと、コンクリートの練混ぜ時に粒度が変化し、配合に影響をおよぼし、施工性にも悪影響をおよぼすおそれがあること、コンクリート強度も骨材強度との関係が強いことなど、広範囲に影響を与えることが考えられることから、どの程度の強度を有していなければならないかについて検討する。

2.1) 永山、片平：宮ヶ瀬ダムにおけるRCD工法の試験施工(4)、ダム技術、No. 77、1993. 2

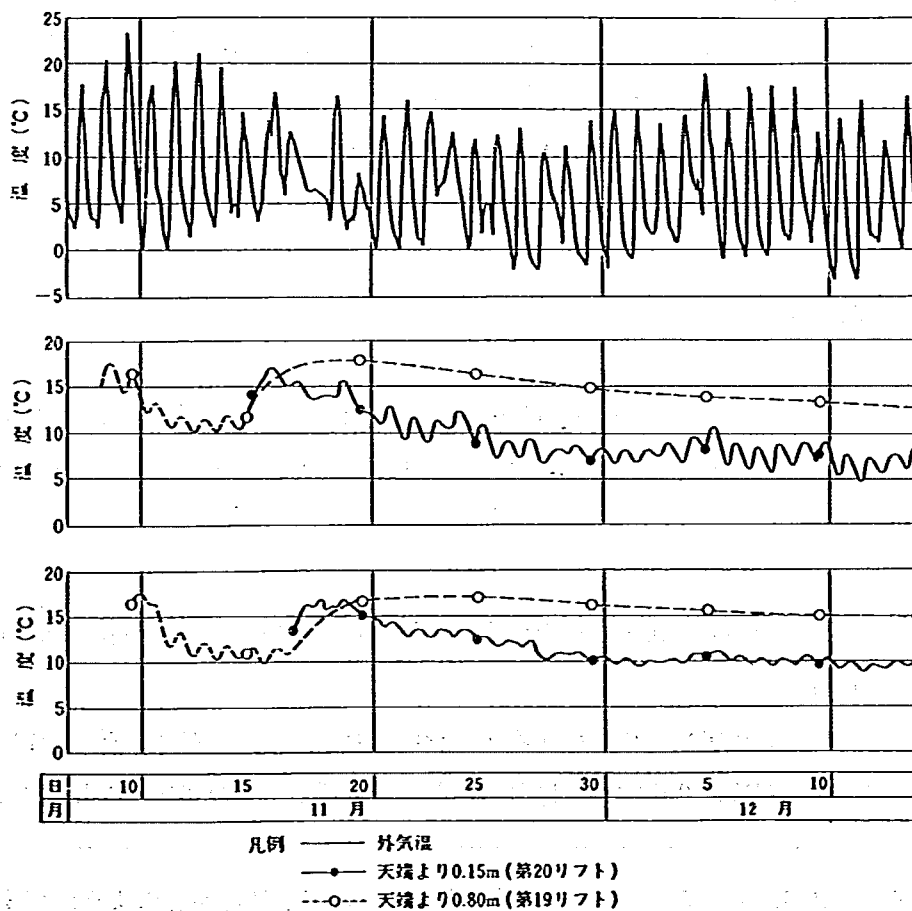
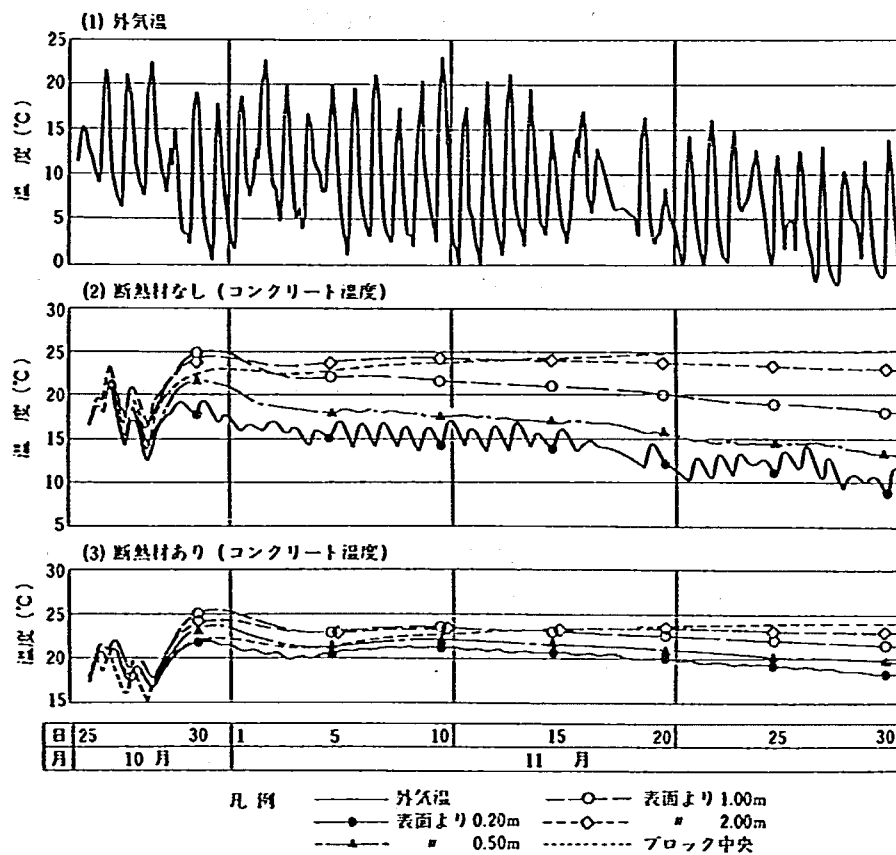


図-2.1 内部コンクリートの外気温の影響^{2.1)}

3. 実験方法

3. 1 実験概要

同一岩種で風化など変質の程度により品質の異なる数種類の骨材の各種強度試験と、それらの骨材を使用したコンクリートの特性について調査する。

本報告書では、とくに骨材の強度について骨材の品質を適切に表すことができる試験方法を見い出すための各種試験を実施した。

骨材の強度試験方法は、骨材から抜き取ったコア供試体と骨材自体について行った。コア供試体では、圧縮強度、弾性係数など基本的な特性を把握した。骨材自体では点載荷試験、破砕試験による静的強度、衝撃試験、すりへり試験による動的な強度を求めた。

コンクリートによる試験では、練混ぜによる骨材粒度の変化と、粒度が変化することによるコンクリートの性状の変化、RCD用コンクリートの場合の特性について試験した。

3. 2 使用骨材

試験に用いた骨材は、月山ダムの砕石場から採取した花崗閃緑斑岩であり、熱変性による変質の程度によりⅠ～Ⅲに分類した。骨材の粒度ごとに比重、吸水率などの物理試験を行った。一部の試験では、比較用の標準骨材として笠間産砕石を使用した。

骨材の物理試験結果を表-3.2.1に示す。今回使用した骨材の比重、吸水率は、粒度15005^{注)}の場合、Ⅰは2.67、0.45%、Ⅱは2.66、0.72%、Ⅲは2.64、1.24%となっており、変質の程度に応じて品質は低下しているものの、骨材の品質基準（比重2.50以上、吸水率3.0%以下）は十分満足している。

3. 3 骨材の強度試験

3.3.1 コア供試体の強度試験

1) コア採取・成形

80～150mmの骨材から、 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ のコアを各種10個ずつ採取した。そのうち5個は両端面を研磨し、圧縮強度試験用供試体とした。残り5個は半分に切断（ $\phi 5 \times 5\text{cm}$ ）したのち両端面を研磨し割裂、点載荷試験用とした。

2) 圧縮強度試験

$\phi 5 \times 10\text{cm}$ の供試体5個について形状・寸法の測定、質量測定、動弾性係数、超音波伝播速度を測定したあと、圧縮強度試験を行った。

圧縮試験時には、弾性係数、ポアソン比をひずみゲージにより測定した。ひずみゲージは、コア供試体1個あたり縦方向、円周方向に対称に2枚ずつ、はりつけた。弾性係数およびポアソン比はコンクリートの場

注) 粒度は、例えば15005は150mmから5mmの範囲の骨材を示す。以下、粒度をこのように表す。

表-3.2.1 骨材の物理試験結果

試料	粒 度 範 囲	比重	吸水率 %	安定性損失 質量 %	単位体積 質量kg/ℓ	実積率 %	FM
I	15080	2.68	0.14		1.39	51.9	9.96
	8040	2.66	0.44		1.44	54.4	8.98
	4020	2.66	0.56		1.50	56.7	7.94
	2005	2.66	0.66		1.52	57.5	6.66
	15005	2.67	0.45		1.79	67.3	8.38
	4005	2.66	0.61	0.08	1.58	59.3	7.30
II	15080	2.67	0.58		1.32	49.7	9.98
	8040	2.66	0.62		1.44	54.5	8.96
	4020	2.66	0.72		1.50	56.8	7.96
	2005	2.66	0.94		1.51	57.3	6.66
	15005	2.66	0.72		1.78	67.4	8.38
	4005	2.66	0.83	3.8	1.58	59.9	7.31
III	15080	2.64	0.85		1.30	49.7	9.98
	8040	2.64	1.10		1.42	54.4	8.95
	4020	2.64	1.30		1.46	56.0	7.96
	2005	2.63	1.54		1.44	55.6	6.98
	15005	2.64	1.24		1.76	67.5	8.34
	4005	2.63	1.52	8.6	1.55	59.7	7.23
笠間	4020	2.67	0.34		1.56	58.6	7.94
	2005	2.67	0.43		1.62	60.9	6.75
	4005	2.67	0.38	1.2	1.66	62.4	7.36

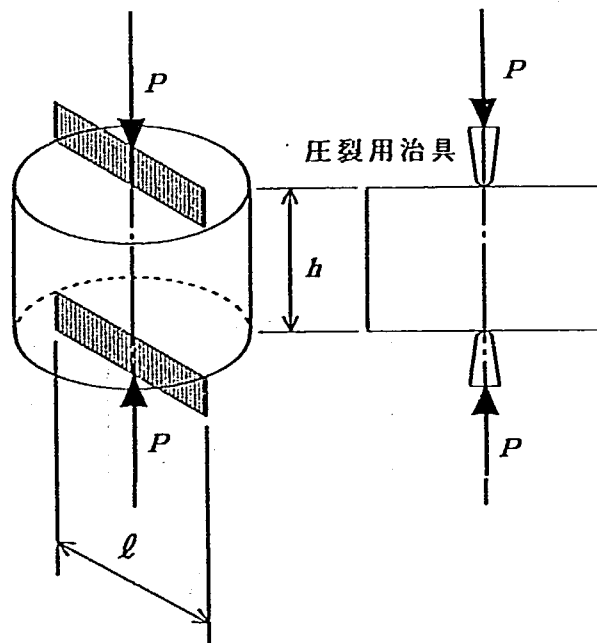


図-3.3.1 割裂引張試験

合と同様に、最大荷重の1/3のときの応力、ひずみと、ひずみ 50×10^{-6} のときの応力の割線の傾きから求めた。

3) 割裂、点载荷圧裂強度試験

$\phi 5 \times 5$ cmの供試体について、形状・寸法の測定、質量を測定したあと、5個ずつ割裂および点载荷圧裂強度を求めた。

試験に先立ち、割裂引張試験は図-3.3.1のように载荷し、割裂引張強度 f_t は(3.1)式により求めた。

$$f_t = \frac{2P}{\pi \ell h} \quad \text{-----} \quad (3.1)$$

ただし、 f_t : 割裂引張強度(N/mm²)

P : 最大荷重(N)

ℓ : 破壊断面の長さ(mm)

h : 破壊断面の高さ(mm)

点载荷試験は、「岩の調査と試験」(土質工学会、現、地盤工学会)に準じて行い(図-3.3.2)、点载荷圧裂強度 f_{pt} を(3.2)式より求めた。

$$f_{pt} = 0.9 \frac{P}{D^2} \quad \text{-----} \quad (3.2)$$

ただし、 f_{pt} : 点载荷圧裂強度(N/mm²)

P : 最大荷重(N)

D : 载荷点距離(mm)

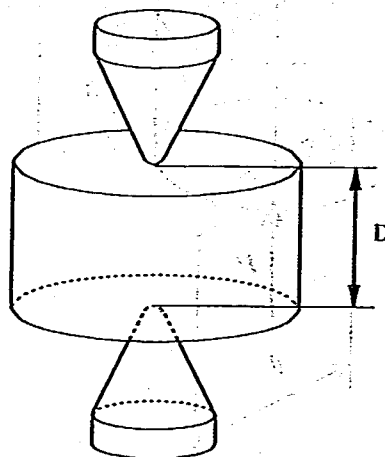


図-3.3.2 点载荷試験

3.3.2 骨材の強度試験

(1) 点載荷試験

粒度15080、8040、4020ごとに30個ずつ点載荷試験を行った。試験方法はコア試験の場合と同様（図-3.3.2）である。

(2) 破碎試験

BS 812に準拠した単粒試験と、連続粒度の試験についても実施した。単粒試験の粒度は、4025、2520、2015、1510、1005、連続粒度は8005、4005、2005である。粗骨材の最大寸法が20mm以下の試料に関しては直径152mmの円筒容器（小）を使用し、40tまで載荷した。20mm以上は、直径305mmの円筒容器（大）で160tまで載荷したが、4025の粒度については大小両方の容器による試験を行い、容器、荷重の違いによる影響を比較した。試験時には図-3.3.3のように、荷重と沈下量の関係を測定し、試験終了後は破碎値と粒度分布を測定した。

(3) 衝撃試験：BS 812に準じて試験を行い、衝撃値と粒度分布を測定した。

(4) すりへり試験：JIS A 1121に準じて粒度A、B、C、E、Fについて試験を行い、すりへり減量と粒度分布を測定した。

破碎、すりへりおよび衝撃試験を実施した骨材の粒度分布は表-3.3.1のとおりである。

表-3.3.1 試験項目と骨材粒度 (%)

粒度範囲	8060	6050	5040	4025	2520	2015	1510	1005
すりへり	A			25	25	25	25	
	B				50	50		
	C						50	50
	E	25	25	50				
	F			50	50			
破碎試験	4025			100				
	2520				100			
	2015					100		
	1510						100	
	1005							100
	8005	30		30		25		15
	4005				50	30		20
	2005					60		40
衝撃試験	3020			(3025) 50	50			
	2015					100		
	1510						100	
	1005							100

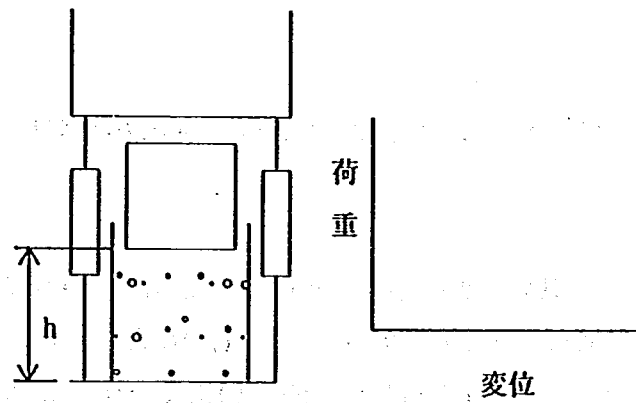


図-3.3.3 破砕試験時の沈下量測定

3.4 コンクリート試験

品質の異なる骨材を用いたコンクリートの特性の変化試験は、有スランプコンクリートを練混ぜた場合の骨材のかけによる粒度の変化、およびRCD用コンクリートの特性試験を行った。

粒度変化試験は、可傾式およびパン型の2種類のミキサについて試験した。そのあと、粒度変化がコンクリートのスランプに与える影響についても試験を行った。

RCD用コンクリートの試験では、VC値とその経時変化、凝固時間および圧縮強度試験などを行った。

3.4.1 練混ぜによる粒度変化試験

(1) 使用材料

試験に用いた材料は以下のとおりである。

- 1) セメント：普通ポルトランドセメント（試験成績表は資料集）
- 2) 細骨材：大井川川砂（比重2.62、吸水率1.71%、粗粒率2.81）
- 3) 粗骨材：変質度の異なるⅠ、Ⅱ、Ⅲおよび標準骨材（笠間産碎石）

物理試験結果は表-3.2.1のとおり。

- 4) AE減水剤：遅延形のサンフローR（主成分：リグニンスルホン酸誘導体）

空気量調整剤にサンフローAE-6（主成分：特殊アニオン界面活性剤）

(2) 試験方法

- 1) 粒度変化試験：変質度の異なる骨材Ⅰ、Ⅱ、Ⅲについて、可傾式およびパン型ミキサで練混ぜ、スランプ、空気量を測定し、粗骨材の洗い試験により粗骨材の減少率を求め、細骨材の洗い分析により得られた細骨材のふるい分け試験を行い、粒度の変化を測定した。

配合条件は表-3.4.1のとおりである。

- 2) 粒度変化によるコンクリートの性状変化試験：

粗骨材に標準骨材を使用し、粒度変化試験から得られた減少率をもとに粒度を調整した。

細骨材についても粒度分布を調整して用い、スランプ、空気量、圧縮強度試験を行った。

配合条件は表-3.4.2のとおりである。

3.4.2 RCD用コンクリートの特性試験

(1) 使用材料

- 1) セメント：中熱ポルトランドセメント（試験成績表は資料集）
- 2) 細骨材：骨材Ⅰ～Ⅲを破砕して造った細骨材i～iiiおよびそれらを混合したa、bの5種類を使用した。

それらの物理試験結果を表-3.4.3に示す。

- 3) 粗骨材：骨材Ⅰ～Ⅲの最大寸法40mmと、それらを混合したA～Cの6種類を使用した。

骨材Ⅰ～Ⅲの物理試験結果は表-3.2.1、骨材A～Cは表-3.4.4のとおりである。

- 4) 混和材：フライアッシュ（試験成績表は資料集）

- 5) 混和剤：AE減水剤；遅延形サンフローR（主成分：リグニンスルホン酸誘導体）

空気量調整剤；サンフローAE-6（主成分：特殊アニオン界面活性剤）

(2) 試験方法

(1) 練混ぜ

練混ぜは、JIS A 1138「試験室におけるコンクリートの作り方」に準じて、容量150ℓの可傾式ミキサを用い、全材料投入後3分間練り混ぜた。練り板上に排出したコンクリートは、直ちに1往復切返して資料として各試験に供した。

(2) VC試験

RCD工法技術指針(案)付録-1に従った。VC試験終了後、容器天端からコンクリートの下がりを測定して振動後のコンクリート容積を算出し、質量測定結果から単位容積質量を求めた。

(3) 空気量試験

JIS A 1128「まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法)」によった。

なお、コンクリートの締固めは3層に分けて行い、各層を空隙が残らないよう突き棒で突き固めたのち、更に図-3.4.1に示すバイブレーティングダンパーでモルタルが浮き上がってくるまで振動をかけた。

(4) 凝結試験

JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」附属書1コンクリートの凝結時間試験方法に準じ、コンクリートを5mmウェットスクリーニングして採取したモルタル資料を容器に入れ、コテにより上面を強く叩きながら平らにならし、凝結時間試験を行った。

(5) 圧縮強度試験

供試体の作製は、φ150×300mmの型枠に資料を3層に入れて、各層を振動タンパーにより型枠との隙間全周からペーストが上がるまで締め固めた。

圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じた。

表-3.4.1 粒度変化試験の配合条件

項 目	条 件
粗骨材の最大寸法	40mm
単位セメント量	300 kg/m ³
単位水量	165 kg/m ³
水セメント比	55.0 %
スランプ	—
空気量	5.0±1 %
ミキサ	可傾式、パン型

表-3.4.2 粒度変化によるコンクリートの性状変化試験の配合条件

項 目	条 件
粗骨材の最大寸法	40mm
単位セメント量	300 gf/m ³
単位水量	150 gf/m ³
水セメント比	50.0 %
スランプ	出放し
空気量	5.0±0.5%
ミキサ	可傾式、パン型

表-3.4.3 細骨材の物理試験結果

細骨材の種類		絶乾比重	表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率
s	標準骨材	2.58	2.62	1.71	2.81
i	変質度Ⅰ骨材	2.61	2.64	1.15	2.81
ii	変質度Ⅱ骨材	2.62	2.65	1.28	2.96
iii	変質度Ⅲ骨材	2.58	2.63	1.92	2.76
a	i:ii:iii=1:1:1	2.60	2.64	1.54	2.83
b	ii:iii=3:1	2.60	2.64	1.44	2.92

表-3.4.4 粗骨材の物理試験結果

混合骨材 40～5mm		表乾比重	吸水率 (%)	安定性 損失質量 (%)	単位容積 質 量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率
A	I : II : III = 1:1:1	2.65	0.99	4.4	1.58	60.2	7.28
B	II : III = 3:1	2.65	1.00	5.0	1.58	60.2	7.29
C	II : III = 1:1	2.64	1.18	6.2	1.57	60.1	7.26

4. 骨材の強度試験結果

4. 1 コア供試体の強度試験結果

4. 1. 1 コア供試体の比重分布

コアによる圧縮、割裂引張、点載荷圧裂強度試験を行った供試体45個の比重分布は図-4. 1. 1および4. 1. 2のように比重2. 58~2. 68の間ではほぼ一様分布していることがわかる。品質ごとにⅠ~Ⅲに分類された骨材の比重の分布もほぼ一様であることがわかる(図-4. 1. 3)。

Ⅰ~Ⅲの比重の平均、標準偏差は表-4. 1. 1のとおりであった。コアから求めた比重の平均は、骨材の物理試験から得られた値(表-3. 2. 1)よりも小さくなっている。

コアの比重分布(図-4. 1. 1および4. 1. 2)より比重の2. 58以下の骨材は少ないこと、また割裂試験に用いたコア供試体のみ比重が極端に小さいことから、表-4. 1. 1に割裂試験に用いたコア供試体および比重2. 58以下を除いた場合も示した。コアの比重測定は気乾状態で行っており、吸水率を考慮すると約0. 01%大きくなり、コアと供試体の表乾比重はほぼ一致する。

4. 1. 2 圧縮強度試験結果

(1) 比重と圧縮強度の関係

コア供試体の比重と圧縮強度、静弾性係数、ポアソン比、超音波伝播速度、動弾性係数の結果を表-4. 1. 2に示す。比重と圧縮強度の関係は、図-4. 1. 4のとおりである。圧縮強度は、ほぼ100~300N/mm²に分布している。平均値はⅠが258N/mm²、Ⅱは174N/mm²、Ⅲは166N/mm²と明らかに違っているが、Ⅲに分類されていた骨材の強度がⅠの上限近くにあるなど、ばらつきはかなり大きい。これは、前項の比重分布で明らかのように、Ⅰ~Ⅲに分類した骨材は幅広い比重のものが混ざりあっているためである。

圧縮強度は、図-4. 1. 4のように比重の増加にともない強度の増加率が大きくなっていることがわかる。この関係を(3. 3)式によって回帰した。(4. 1. 1)式の模式図を図-4. 1. 5に示す。

$$f_c = a \frac{\rho}{1 - \frac{\rho}{\rho_{\max}}} \quad \text{----- (4. 1. 1)}$$

ここに、 f_c : 圧縮強度(N/mm²)

a : 比重0のときの傾きを表す回帰係数

$\rho_{\max}$: 最大比重を表す回帰係数

ρ : 比重

(2) 圧縮強度と弾性係数、ポアソン比の関係

圧縮強度と静弾性係数、ポアソン比の関係は、図-4. 1. 6のとおり、圧縮強度の増加にともない静弾性係数、ポアソン比とも増加する傾向がある。ただし、圧縮強度が200N/mm²を超えると静弾性係数、ポアソン比はほぼ一定になる傾向になるようにも見受けられる。

表-4.1.1 コア供試体の比重

骨 材 分 類	コア15個ずつの比重				割裂試験に用いた17 および比重2.58以下 を除いた場合		骨 材 試験結果 (表-3.2.1)
	平均	最大	最小	標準偏差	平均	標準偏差	
I	2.65	2.71	2.60	0.257	2.67	0.017	2.67
II	2.62	2.67	2.54	0.257	2.64	0.027	2.66
III	2.60	2.68	2.55	0.260	2.62	0.024	2.64
全体	2.62	2.71	2.54	0.040	2.64	0.030	

表-4.1.2 コアの試験結果

試料	圧縮試験					割裂試験		点荷試験		
	比重	強度	弾性係数	ポアソン比	超音波	弾性係数	比重	割裂強度	比重	点荷強度
		(N/mm ²)	×10 ⁻⁴ (N/mm ²)		伝播速度 (m/sec)					
I	2.669	270	6.90	0.232	5349		2.596	78.8	2.676	118.0
	2.667	281	7.93	0.250	5337		2.598	89.6	2.634	78.2
	2.667	186	6.62	0.249	5459		2.629	91.5	2.662	81.8
	2.666	284	7.48	0.241	5578		2.608	38.3	2.707	86.5
	2.667	270	7.58	0.257	5544		2.613	42.5	2.661	86.4
平均	2.667	258	7.31	0.246	5453		2.609	68.1	2.668	90.2
II	2.648	191	6.87	0.234	5250		2.536	88.5	2.660	68.5
	2.601	112	4.18	0.210	4725	4.92	2.614	94.1	2.670	76.1
	2.596	129	4.33	0.218	4803	5.02	2.629	40.0	2.659	52.0
	2.659	218	7.60	0.245	5429		2.619	90.8	2.599	50.7
	2.651	221	7.44	0.237	5503		2.588	25.7	2.630	61.7
平均	2.631	174	6.09	0.229	5142	4.97	2.597	67.8	2.644	61.8
III	2.627	136	4.58	0.218	4748	4.80	2.553	53.2	2.604	19.9
	2.675	282	8.11	0.028	5250		2.583	93.7	2.588	25.6
	2.622	140	6.13	0.204	5199		2.599	35.8	2.628	64.4
	2.622	157	5.16	0.227	4725	5.82	2.547	32.3	2.562	23.1
	2.606	115	5.04	0.196	4813	5.24	2.604	68.0	2.547	30.5
平均	2.630	166	5.81	0.217	4947	5.28	2.577	56.6	2.586	32.7

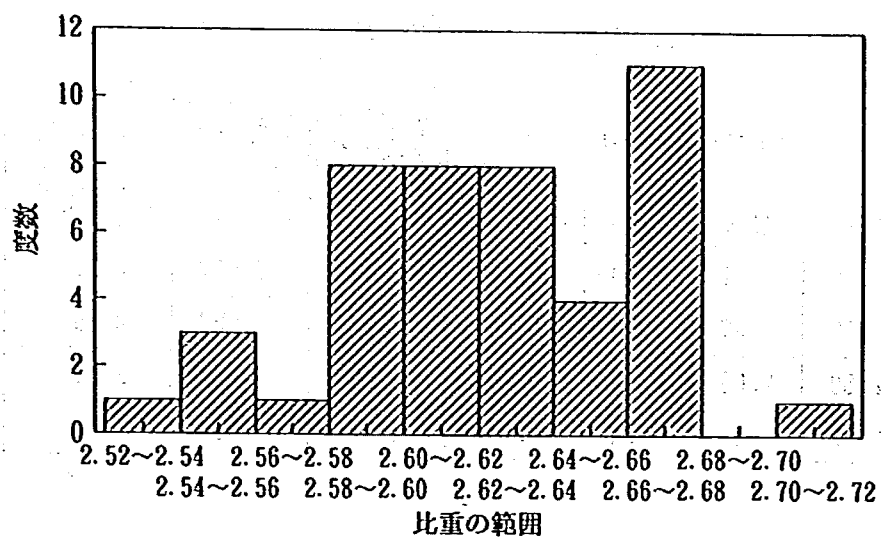


図-4.1.1 コア供試体の比重分布

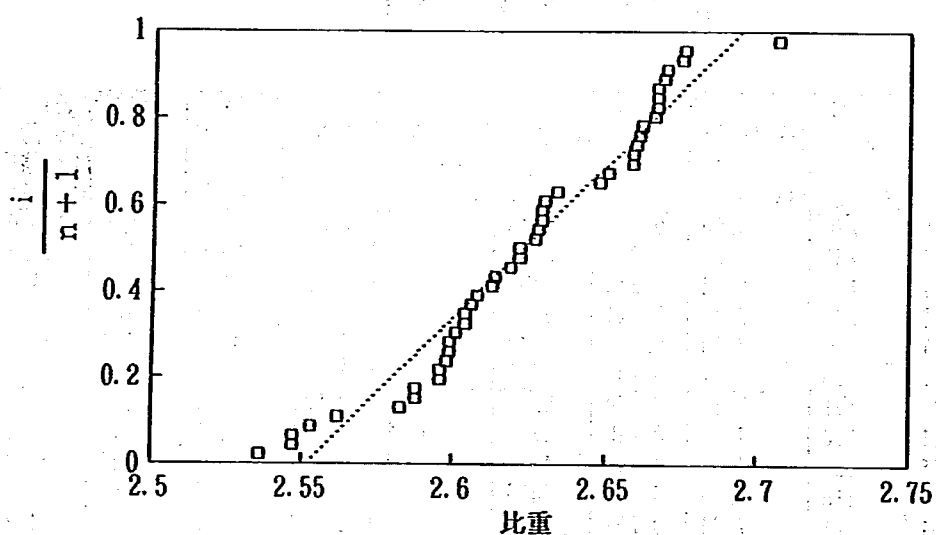


図-4.1.2 比重の分布

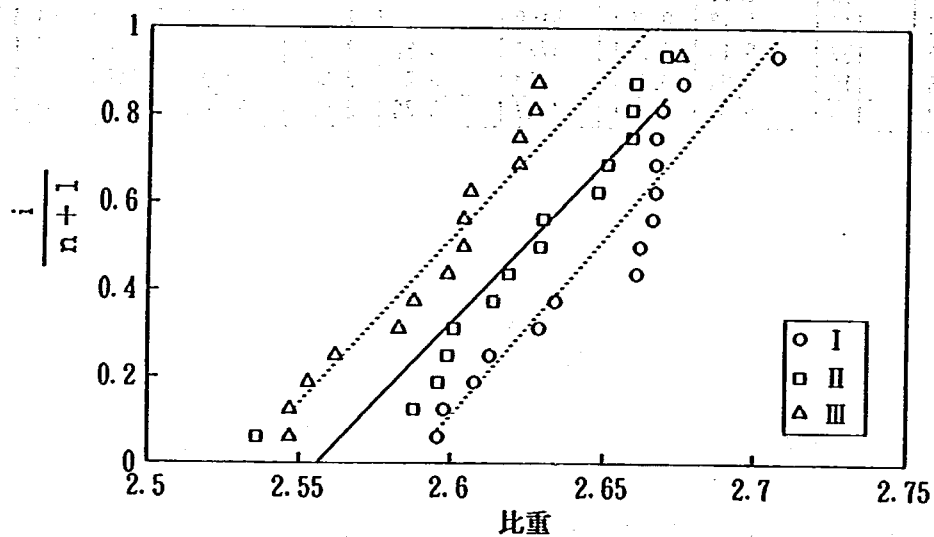


図-4.1.3 比重の分布 (骨材の品質ごと)

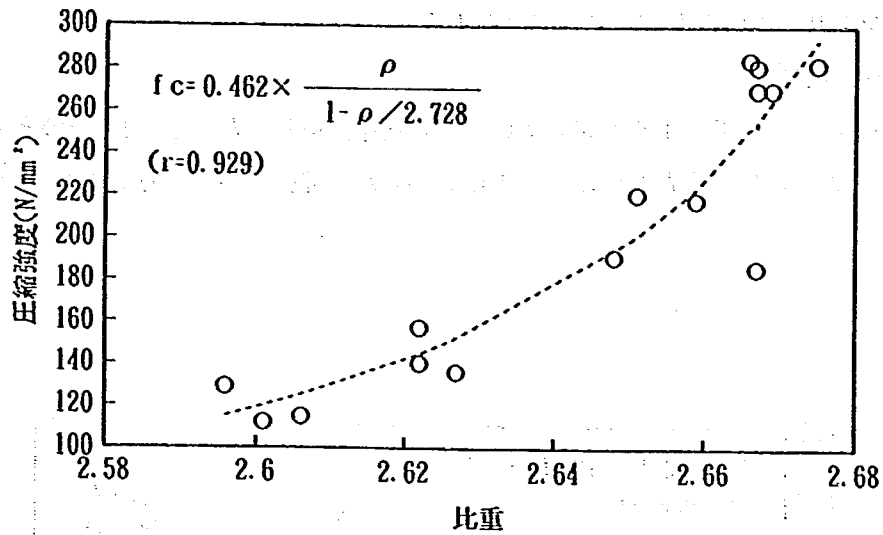


図-4.1.4 圧縮強度と比重の関係

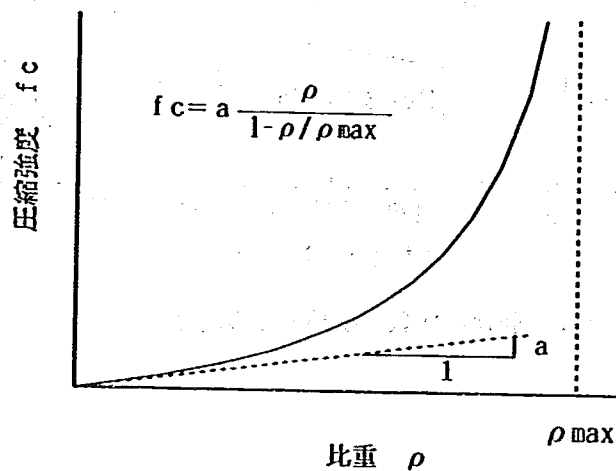


図-4.1.5 (4.1.1)式の模式図

図-4.1.6(a)に高強度コンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係式(4.1.2)も示した。高強度コンクリートの関係式^{3, 1)}は強度の1/3乗に対し、骨材の回帰式は約2/3乗となっており、100N/mm²付近では両者はほぼ同じであるが、強度が大きくなるにしたがい弾性係数の開きは大きくなっている。

$$E_c = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{r}{2.4} \right)^2 \times \left(\frac{f_c}{60} \right)^{1/3} \quad (4.1.2)$$

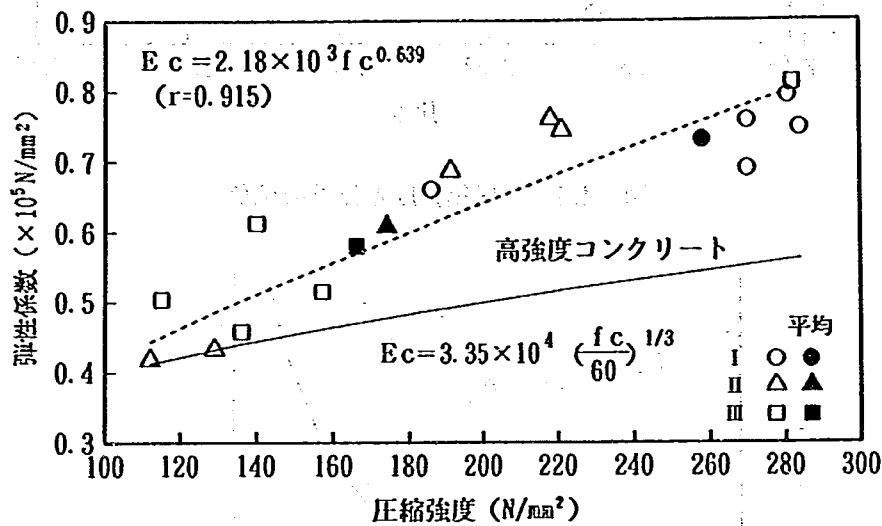
ここに、 E_c ：弾性係数(N/mm²)

3.1)国土開発技術研究センター：平成4年度高強度コンクリート分科会報告書、1993.3

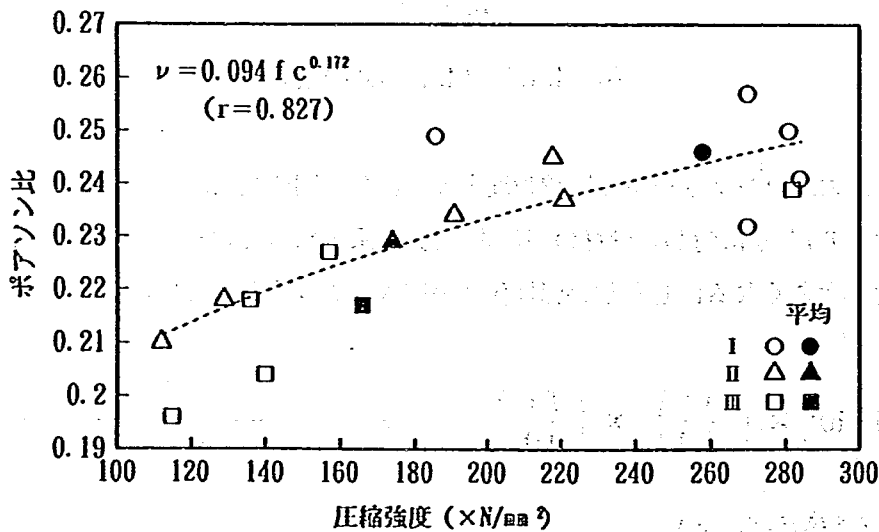
γ : コンクリートの密度(t/m^3)=2.4とする

f_c : 圧縮強度(N/mm^2)

動弾性係数は、通常のコンクリートを測定している測定器を使用したか、表-4.1.2のとおり、比重が大きい場合測定できなかった。測定できた5個については、いずれも静弾性係数より大きな値が測定された(図-4.1.7)。



(a) 静弾性係数と圧縮強度の関係



(b) ポアソン比と圧縮強度の関係

図-4.1.6 圧縮強度と静弾性係数、ポアソン比の関係

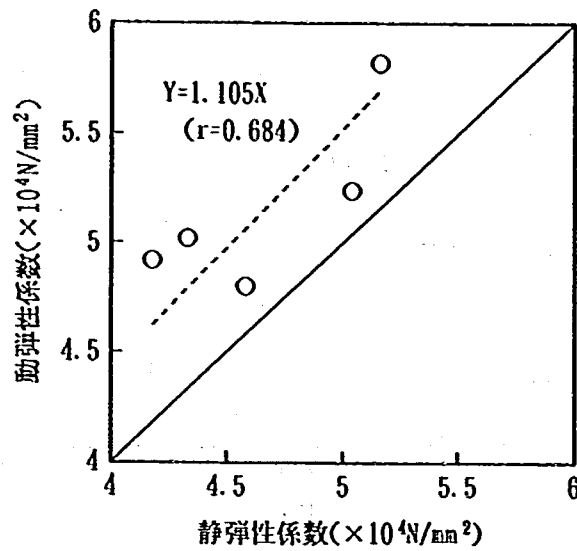


図-4.1.7 静弾性係数と動弾性係数の関係

(3) 圧縮強度と超音波伝播速度

図-4.1.8に圧縮強度と超音波伝播速度の関係を示す。弾性係数の場合(図-4.1.6(a))と同様の傾向にある。

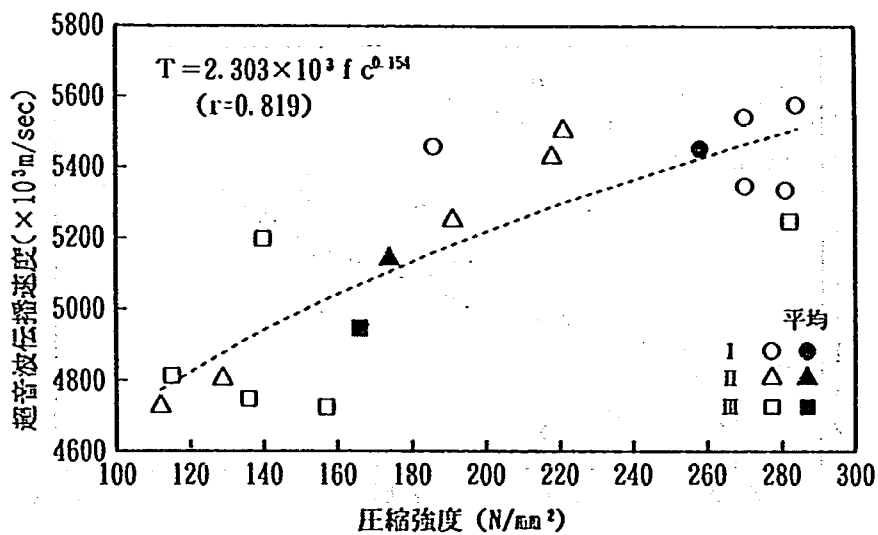


図-4.1.8 超音波伝播速度と圧縮強度の関係

4.1.3 割裂引張強度

割裂引張強度と比重の関係は表-4.1.2および図-4.1.9のとおり、非常にばらつきが大きい。比重の値も圧縮強度や4.1.4に示す点载荷圧裂強度の場合に比べ小さくなっている。試験方法に問題があるのか検討が必要である。

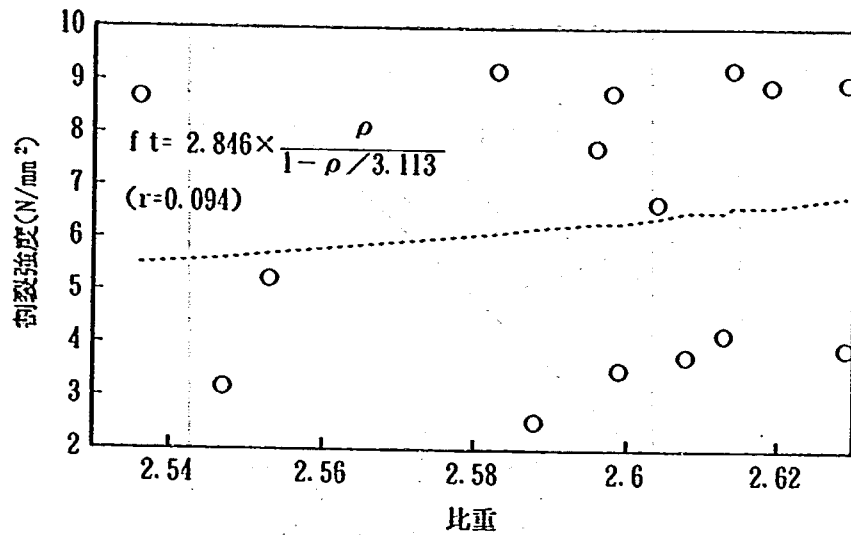


図-4.1.9 割裂強度と比重の関係

4.1.4 点载荷圧裂強度

点载荷圧裂強度と比重の関係は、表-4.1.2および図-4.1.10のとおりである。(4.1.1)式で回帰した結果も示してある。圧縮強度の場合と同様に比重との相関が高い。

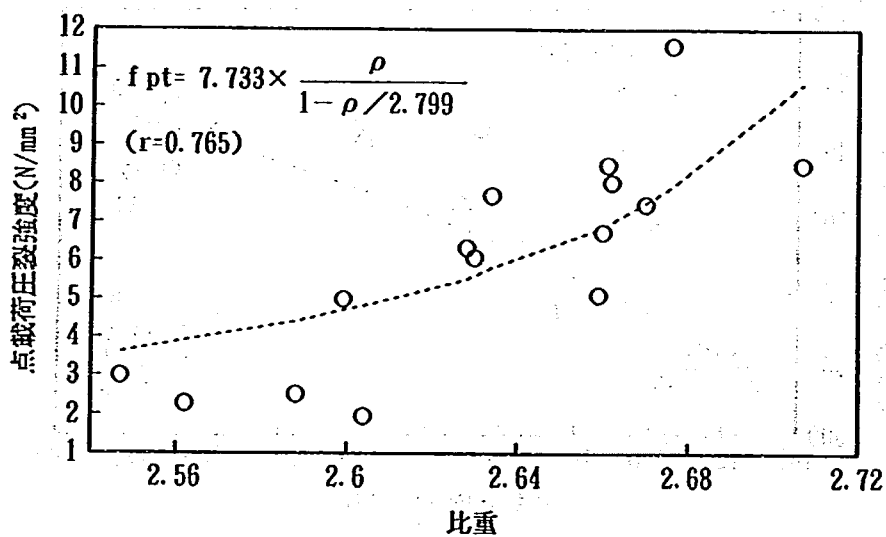


図-4.1.10 点载荷圧裂強度と比重の関係

4.2 点載荷試験

4.2.1 載荷点距離と破壊荷重

載荷点距離と破壊荷重（耐力）の関係は図-4.2.1のとおり、載荷点距離が大きくなるにしたがい、荷重の増加は小さくなる傾向にある。点載荷試験は、理論的には載荷点距離Dを直径とする球（円）の圧裂であり、(4.2.1)式のように、破壊荷重PはDの二次の関係になるはずであるが、結果は図-4.2.1のとおりDが大きくなるにしたがい、荷重の増加は鈍化している。そこでDの指数はDが増加するにともない低下するものと考え、(4.2.2)式によって回帰した。

$$P = f(D^2) \quad \text{-----} \quad (4.2.1)$$

$$P = a_1 D^{2-b_1 D} \quad \text{-----} \quad (4.2.2)$$

ここに、P：破壊荷重(N)

D：載荷点距離(mm)

a_1 、 b_1 ：回帰係数

回帰の結果を表-4.2.1に示す。図-4.2.1には回帰曲線と $\pm 1\sigma$ （ σ ：標準偏差）についても示した。骨材の品質が低下するほど強度は低下しており、変動も大きいことがわかる。

表-4.2.1 (4.2.2)式による回帰係数

骨材の種類	回 帰 係 数		相関係数 r	±1σのときの a_1 の係数	
	$a_1(\times 10^{-2})$	$b_1(\times 10^3)$		+σ	-σ
I	3.11	3.78	0.859	4.39	2.22
II	2.65	4.25	0.821	3.94	1.78
III	1.70	3.99	0.705	3.33	0.87

4.2.2 載荷点距離と点載荷圧裂強度

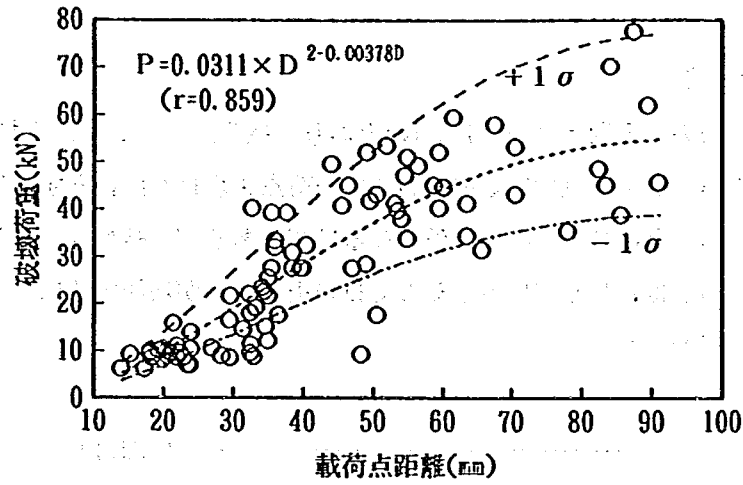
載荷点距離と点載荷圧裂強度（以下、単に圧裂強度という）の関係は図-4.2.2のとおりである。載荷点距離が大きくなるにしたがい圧裂強度は小さくなっており、寸法効果のあることがわかる。骨材は一般に弱いところから割れていくといわれており、骨材が小さくなるほど脆弱部が少なくなり、圧裂強度が大きくなるものと考えられる。

載荷点距離と圧裂強度の関係を(4.2.3)式で回帰すると表-4.2.2および図-4.2.2の曲線のようになる。

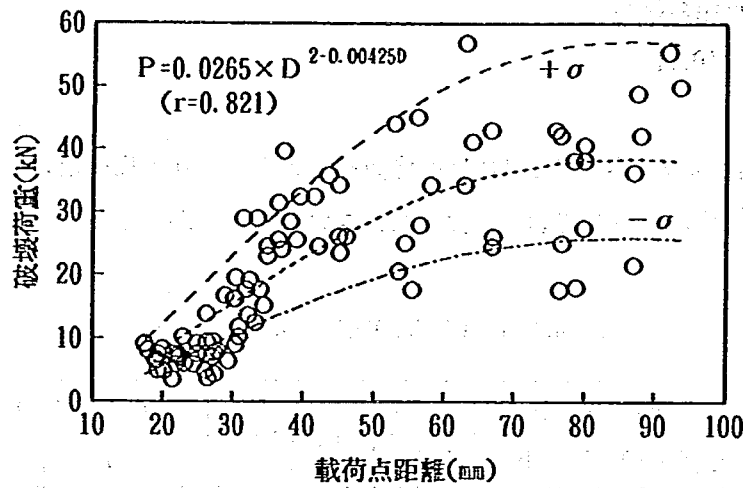
$$f_{pt} = a_2 D^{b_2} \quad \text{-----} \quad (4.2.3)$$

ここに、 f_{pt} ：圧裂強度(N/mm²)

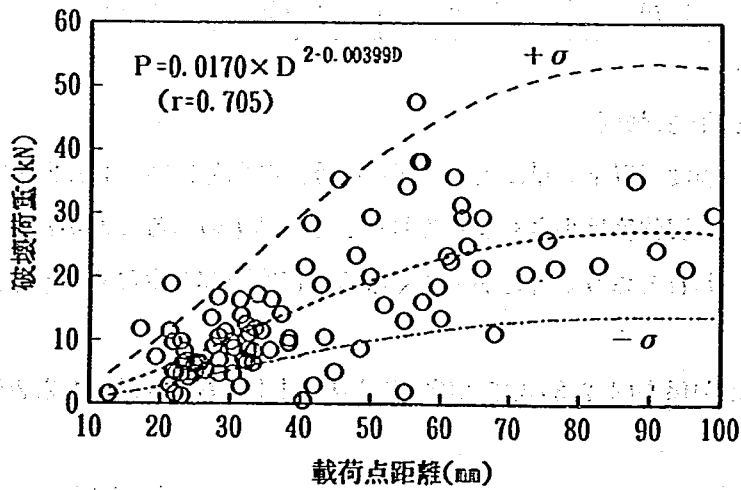
a_2 、 b_2 ：回帰係数



(a) 骨材 I

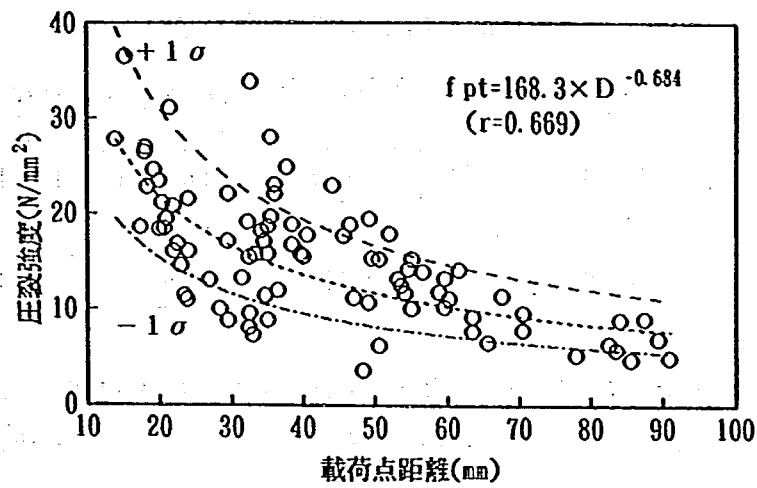


(b) 骨材 II

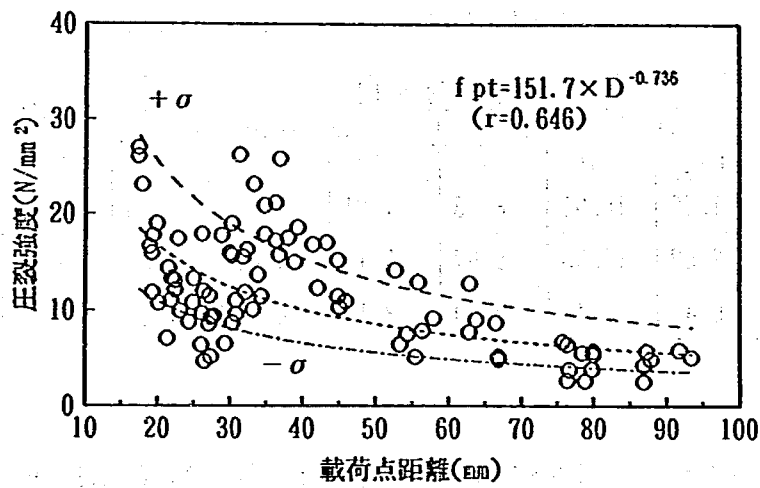


(c) 骨材 III

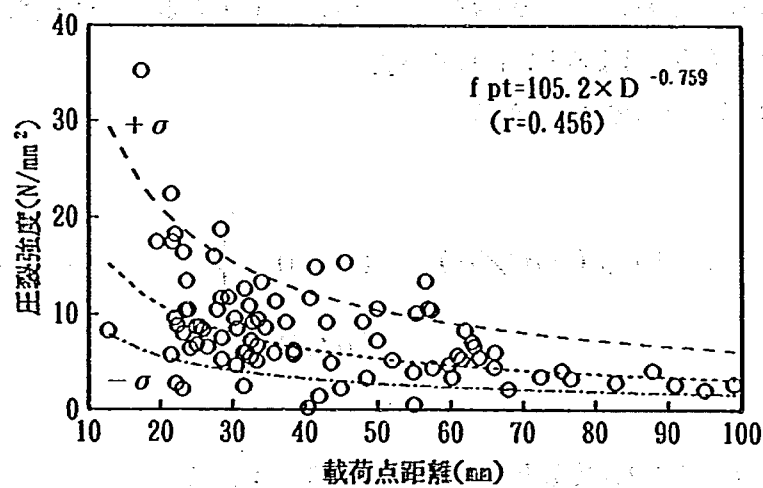
図-4.2.1 載荷点距離と破壊荷重の関係



(a) 骨材 I



(b) 骨材 II



(c) 骨材 III

図-4.2.2 荷点距離と点荷圧裂強度

表-4.2.2 (4.2.3)式の回帰結果

骨材の種類	回 帰 係 数		相関係数	±σのときのa ₂ の係数	
	a ₂	b ₂		+σ	-σ
I	168.3	0.684	0.669	239.8	118.1
II	151.7	0.736	0.646	231.9	99.2
III	105.2	0.759	0.456	203.6	54.4

回帰結果より、載荷点距離50mmおよび100mmのときの圧裂強度と、コア供試体の圧裂強度を比較すると表-4.2.3となる。コアの圧裂強度は、載荷点距離は約50mmであるが、大きなコアから抜き取ったため、D=100の場合にほぼ一致している。

表-4.2.3 骨材とコアの圧裂強度の比較

骨材の種類	骨材の圧裂強度 N/mm ²						コア供試体の圧裂強度		
	D = 50の場合			D = 100の場合					
	平均	+σ	-σ	平均	+σ	-σ	平均	+σ	-σ
I	11.59	16.51	8.13	7.21	10.3	5.06	5.34	9.06	3.15
II	8.52	13.03	5.57	5.12	7.82	3.35			
III	5.40	10.45	2.79	3.19	6.18	1.65			

4.2.3 圧裂強度の分布

圧裂強度のヒストグラムを図-4.2.3~4.2.5に示す。図中の曲線は、点線は正規分布であり、実線はワイブル分布である。

一般によく使用される正規分布は、その分布が $-\infty$ から $+\infty$ にわたるが、ワイブル分布は、強度のように負の値をとらない場合よく当てはまるといわれている。

この分布は、(4.2.4)式によって与えられる。

$$\left. \begin{aligned} f(\sigma) &= \frac{m}{\alpha} \sigma^{m-1} \exp(-\sigma^m/\alpha) & (\sigma > 0) \\ f(\sigma) &= 0 & (\sigma \leq 0) \end{aligned} \right\} \quad (4.2.4)$$

ここに、σ：応力

m：形状母数（ワイブル定数とも呼ばれる）（図-4.2.6）

0 < m < 1 のとき、左側に片寄った分布

m = 1 のとき、指数分布

m > 1 のとき、一山分布

α：尺度母数

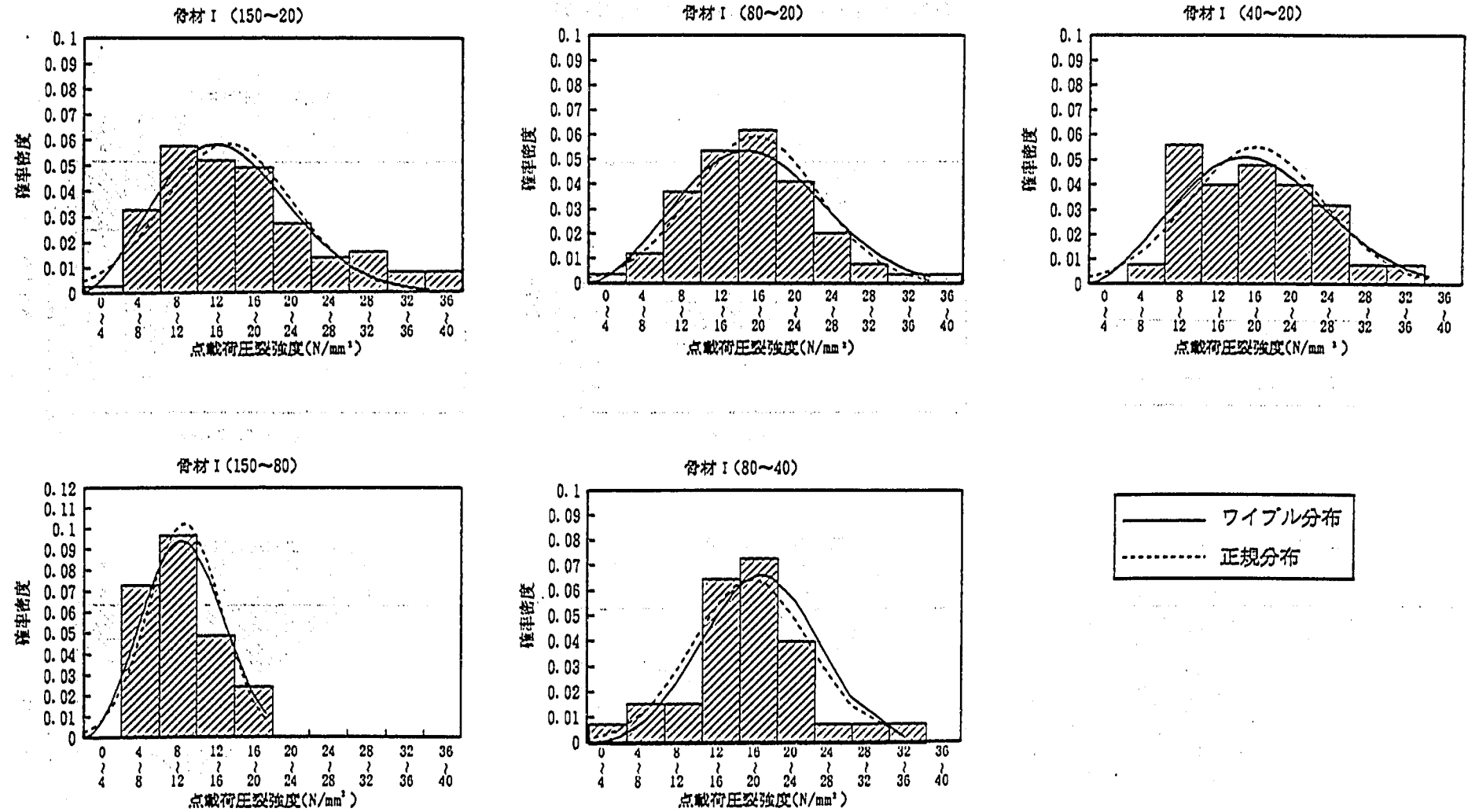


図-4.2.3 圧裂強度のヒストグラム (骨材 I)

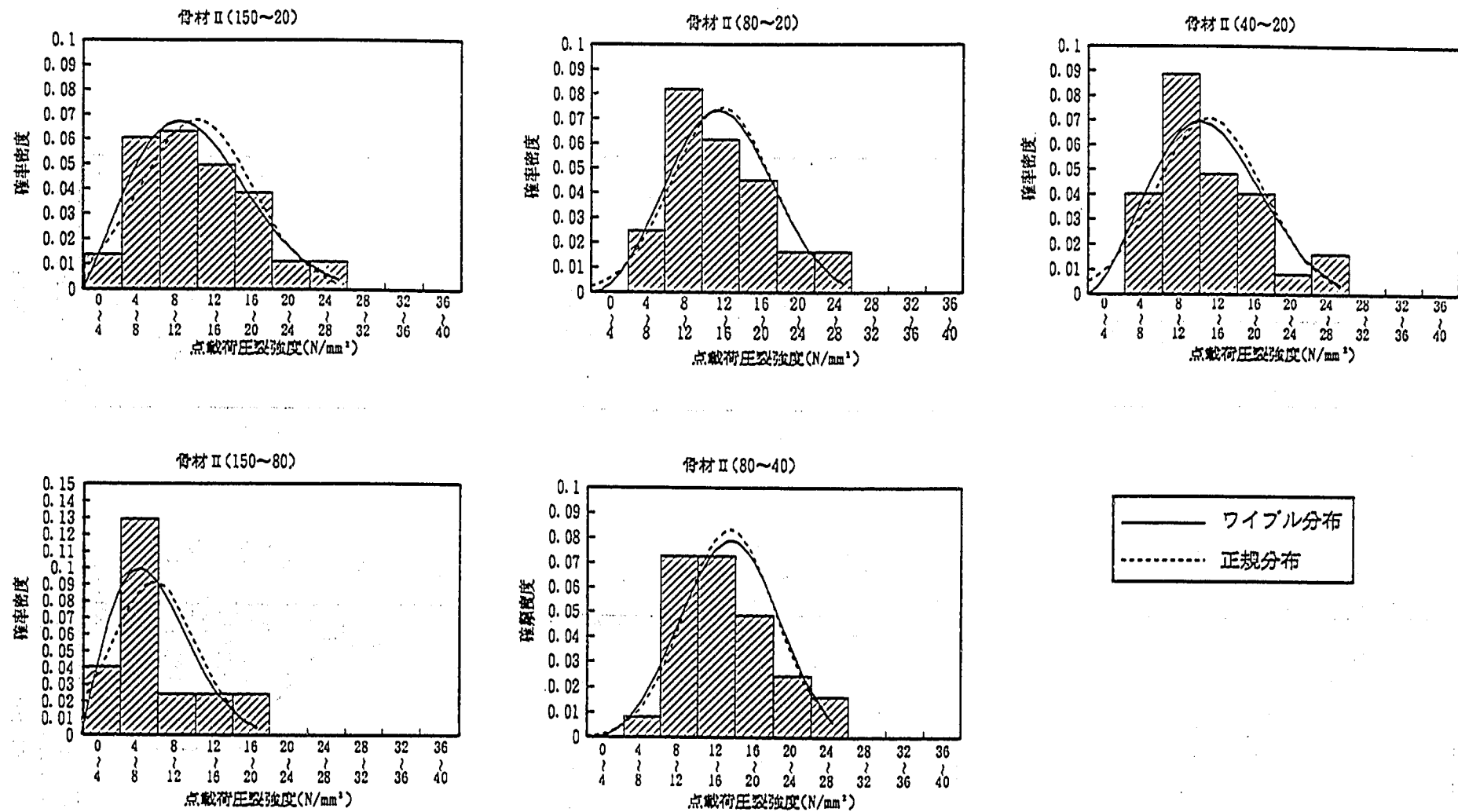


図-4.2.4 圧裂強度のヒストグラム (骨材Ⅱ)

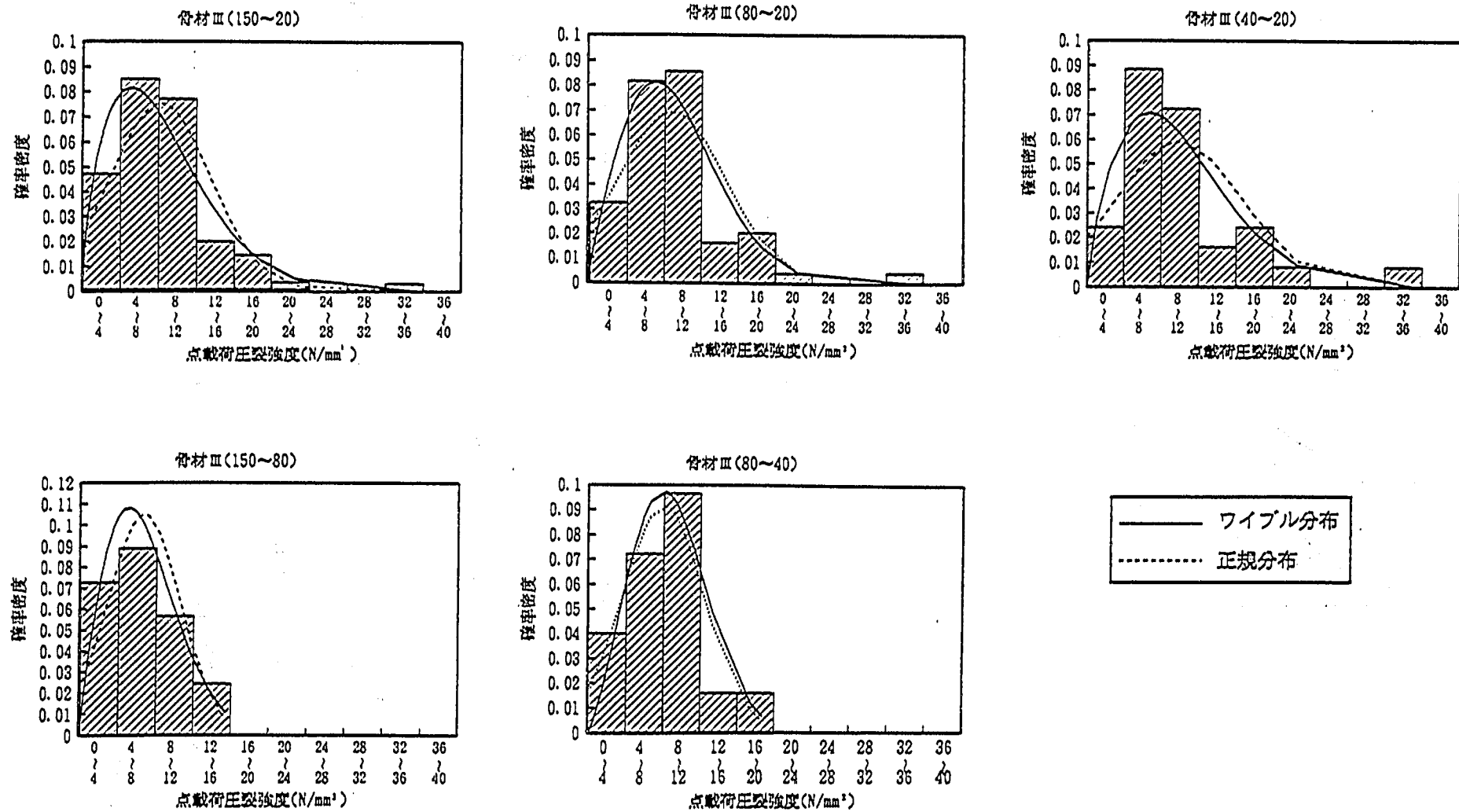


図-4.2.5 圧裂強度のヒストグラム (骨材Ⅲ)

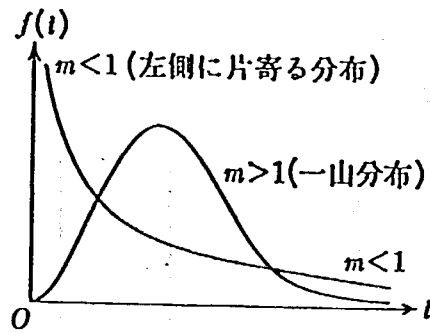


図-4.2.6 ワイブル分布

ワイブル分布の破壊確率分布関数 $P(\sigma)$ は、(4.2.5) 式で表される。

$$\left. \begin{aligned} P(\sigma) &= 1 - \exp(-\sigma^m/\alpha) & (\sigma > 0) \\ P(\sigma) &= 0 & (\sigma \leq 0) \end{aligned} \right\} \quad (4.2.5)$$

(4.2.5) 式の両辺の対数をとると、

$$\ln \frac{1}{1-P} = \sigma^m/\alpha \quad (4.2.6)$$

もう1回両辺の対数をとると、

$$\ln \ln \frac{1}{1-P} = m \ln \sigma - \ln \alpha \quad (4.2.7)$$

を得る。(4.2.7) 式は、縦軸に $\ln \ln \{1/(1-P)\}$ を、横軸に $\ln \sigma$ をとり、両者の関係が直線となれば、ワイブル分布にしたがい、この直線の傾きが m 、切片が α となる。

ワイブル分布の平均 μ は、

$$\mu = \alpha^{1/m} \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (4.2.8)$$

となる。ここで、 $\Gamma(a)$ はガンマ関数であり、

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx \quad (a > 0) \quad (4.2.9)$$

で定義される。さらに、分散 V は、

$$V = \alpha^{2/m} \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{2}{m} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{m} \right) \right\} \quad \text{----- (4.2.10)}$$

となり、標準偏差 S は、

$$S = \alpha^{1/m} \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{2}{m} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{m} \right) \right\}^{1/2} \quad \text{----- (4.2.11)}$$

となる。変動係数 CV は、

$$CV = \left\{ \frac{\Gamma \left(1 + \frac{2}{m} \right)}{\Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{m} \right)} - 1 \right\}^{1/2} \quad \text{----- (4.2.12)}$$

と表される。

圧裂強度の累積確率は、図-4.2.7~4.2.9のようにほぼ直線となっておりワイブル分布にしたがうことがわかる(表-4.2.4)。表-4.2.4には、(4.2.8)~(4.2.12)式から得られる、平均、標準偏差、変動係数についても示した。また、最も頻度の高い強度(ピーク値 f_p)についても示した。

ピーク値 f_p は(4.2.4)式の1階微分が0で得られる。

$$f_p = \left\{ \frac{\alpha}{m} (m-1) \right\}^{m-1} \quad \text{----- (4.2.13)}$$

形状母数 m は、品質低下にともない小さい値であり、強度分布は左側に片寄った分布となっていることを示している。

表-4.2.4 圧裂強度

骨材の種類	粒度範囲	個数	圧 裂 強 度 (N/mm ²)							ワイブル分布関数		
			平均値	ピーク値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数	%	形状母数 m	尺度母数 α	相関係数 r
I	150~80	30	10.72	10.38	19.41	4.76	4.06	37.9		2.876	1281	0.987
	80~40	30	17.79	16.02	33.83	3.60	7.92	44.5		2.396	1321	0.966
	40~20	30	17.95	16.70	36.48	6.18	7.51	41.9		2.571	2279	0.991
	150~20	90	15.32	14.05	36.48	3.60	6.60	43.0		2.491	1208	0.994
	80~20	60	17.74	16.75	38.29	3.60	7.20	40.6		2.662	2903	0.995
II	150~80	30	7.64	6.09	18.63	2.57	4.00	52.4		1.995	73.60	0.953
	80~40	30	15.27	15.43	26.28	7.58	4.90	32.1		3.478	19057	0.980
	40~20	30	12.98	11.99	27.06	5.23	5.52	42.5		2.526	878.7	0.982
	150~20	90	11.96	10.15	27.06	2.57	5.82	48.7		2.165	280.9	0.991
	80~20	60	14.11	13.77	27.06	4.73	5.21	36.9		2.963	3579	0.988
III	150~80	30	6.79	5.13	15.39	2.15	3.74	55.1		1.886	46.42	0.969
	80~40	30	9.34	7.95	18.73	0.27	8.10	86.7		2.384	241.7	0.988
	40~20	30	9.89	6.65	35.30	2.17	5.95	60.1		1.712	61.63	0.966
	150~20	90	8.38	5.11	35.30	0.27	5.34	63.7		1.607	36.39	0.982
	80~20	60	9.46	7.18	35.30	0.27	6.71	70.9		1.948	95.62	0.981

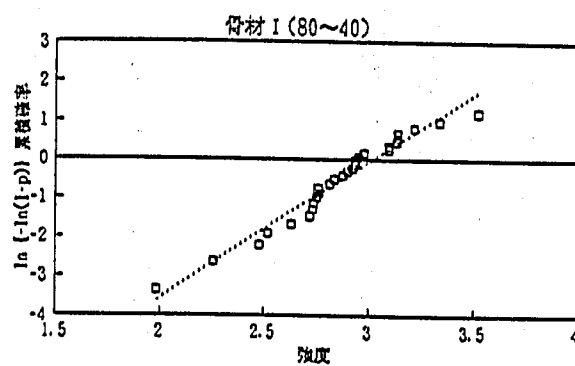
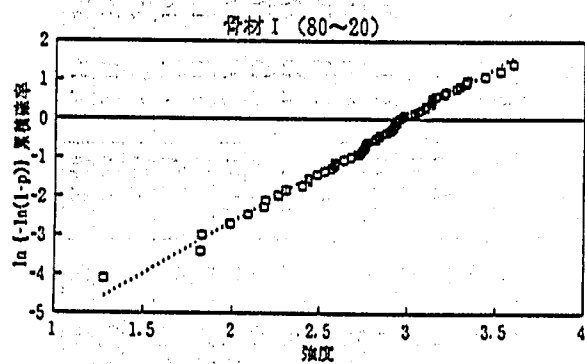
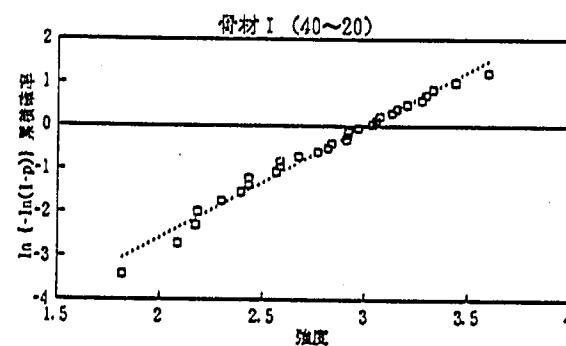
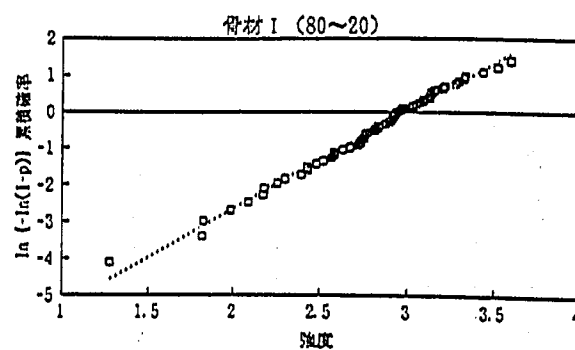
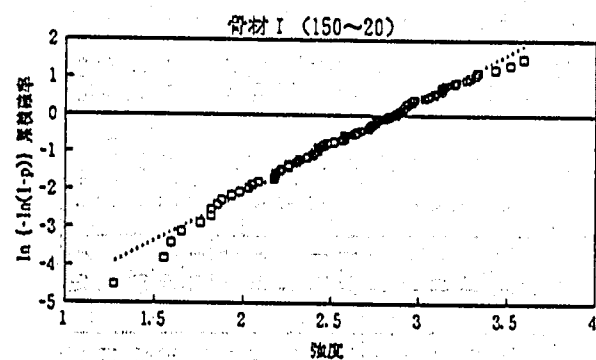


図-4.2.7 圧裂強度の確率分布 (骨材 I)

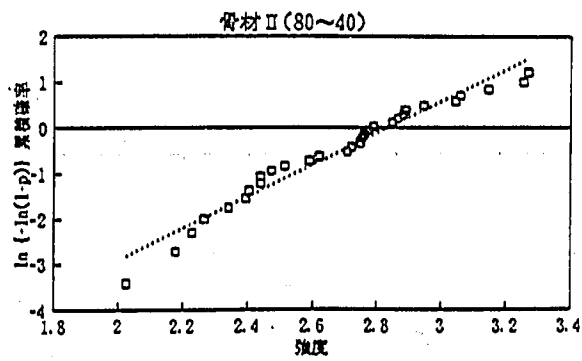
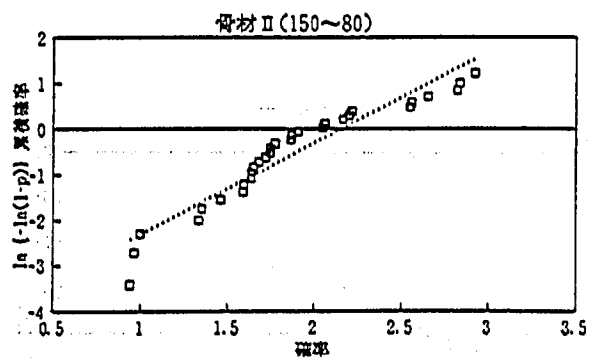
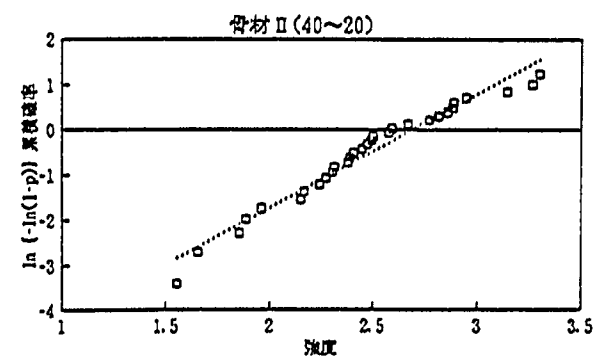
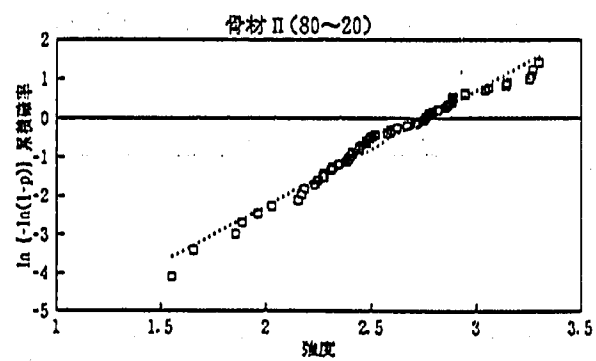
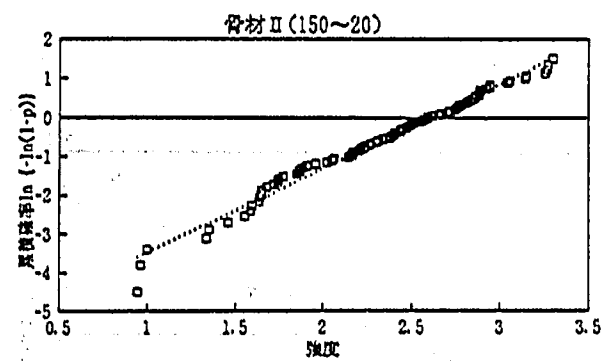


図-4.2.8 圧裂強度の確率分布 (骨材Ⅱ)

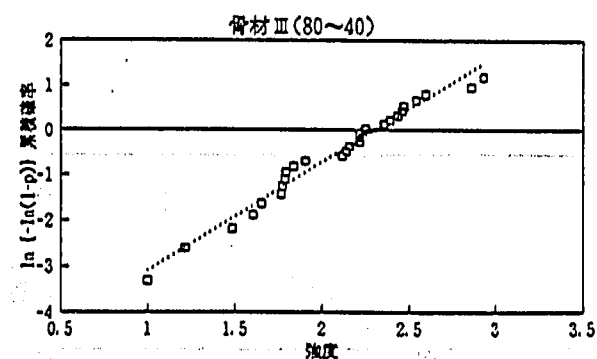
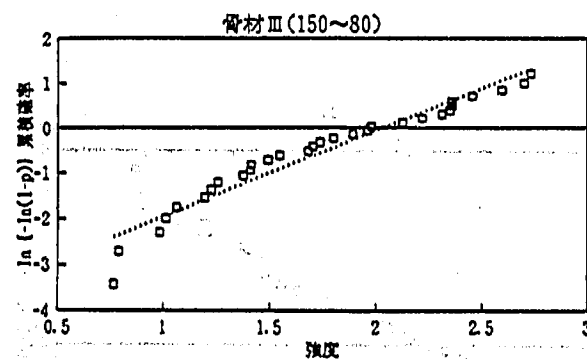
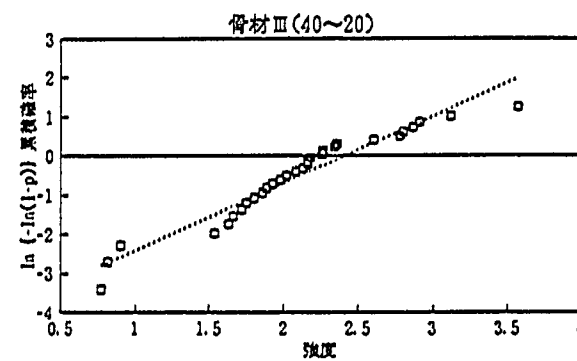
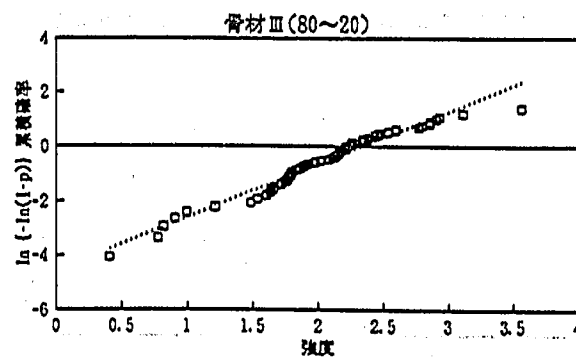
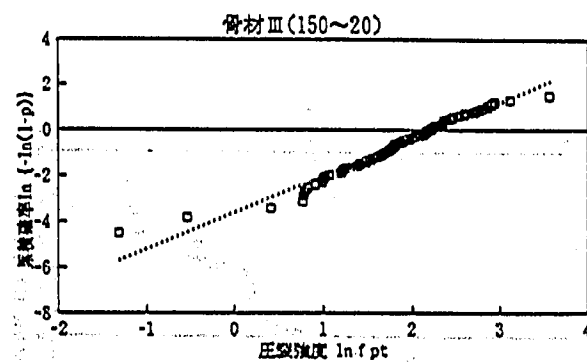


図-4.2.9 圧裂強度のヒストグラム (骨材Ⅲ)

4.3 破砕試験結果

4.3.1 破砕値および粗粒率

破砕試験による破砕値と、粒度分布から求めた粗粒率の結果は、表-4.3.1および図-4.3.1のとおりであった。

破砕値は骨材の品質の低下にともない大きくなる傾向にあり、粗粒率は小さくなっており、破砕試験により骨材の相対的な強度を表すことができる。しかしながら、今回試験に用いた骨材の品質は大きな違いがなかったこともあり、骨材品質による違いはわずかである。

4.3.2 応力-ひずみ関係

荷重と沈下量の測定結果から、(4.3.1)式により応力、ひずみを求め、図示したのが図-4.3.2である。応力-ひずみ関係を(4.3.2)式によって回帰した結果は表-4.3.2のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \frac{\text{荷重}}{\text{容器の断面積} \times \text{粗骨材の実積率}} \\ \varepsilon &= \frac{\text{試験機圧盤間変位}}{\text{試料の高さ } h} \end{aligned} \right\} \text{----- (4.3.1)}$$

$$\sigma = E_0 \frac{\varepsilon}{1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\max}}} \text{----- (4.3.2)}$$

ここに、 σ : 応力(N/mm²)

ε : ひずみ

E_0 : 初期接線弾性係数(N/mm²)を表す回帰係数

$\varepsilon_{\max}$: 最終ひずみを表す回帰係数

応力-ひずみ関係は、骨材の品質に応じて傾きが異なっている。回帰結果より、初期弾性係数は品質が低下するにしたがって小さくなっていることがわかる。

単粒度と連続粒度では最終ひずみが異なっている。単粒度の最終ひずみは連続粒度の場合よりも大きくなっている。この傾向を(4.3.3)式によって比較したのが、図-4.3.3である。

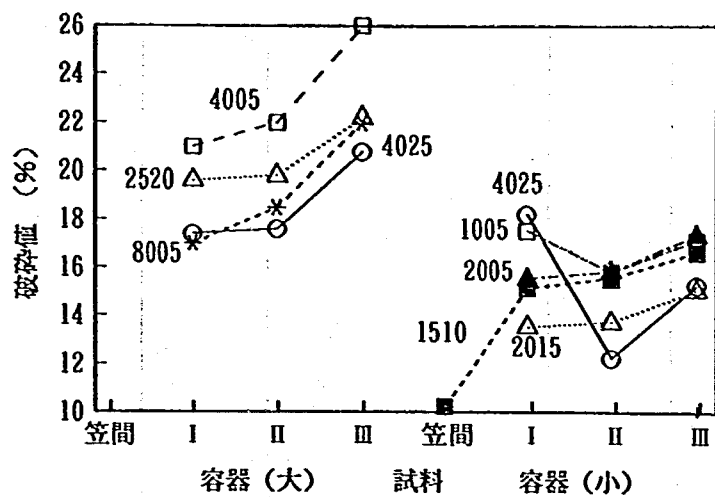
$$\left. \begin{aligned} \frac{\text{最終ひずみ} - \text{空隙率}}{\text{空隙率}} \\ \text{空隙率} = 1 - \text{実積率} \end{aligned} \right\} \text{----- (4.3.3)}$$

表-4.3.1 破砕試験

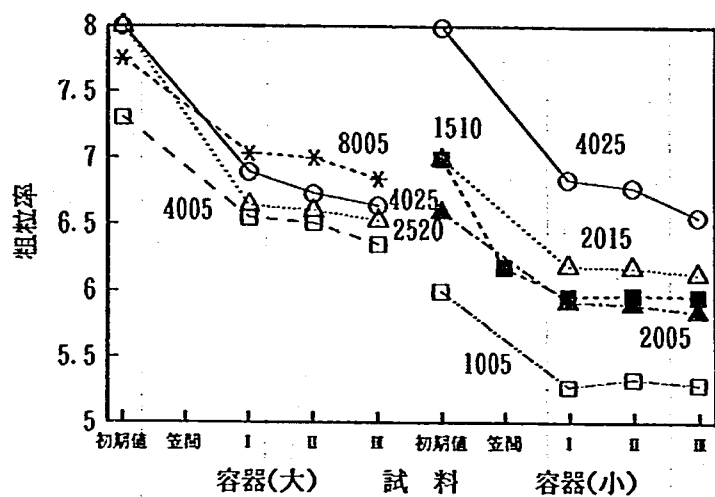
	試料 区分	粗粒率 初期値	試 料			
			笠間	I	II	III
破 砕 値 (%)	4025			17.4	17.6	20.8
	2520			19.6	19.8	22.2
	4025			18.4	12.4	15.4
	2015			13.7	13.9	15.2
	1510		10.4	15.3	15.7	16.8
	1005			17.7	16.0	17.3
	8005			17.0	18.5	22.0
	4005			21.0	22.0	26.0
	2005			15.7	16.0	17.5
粗 粒 率	4025	8.00		6.89	6.73	6.64
	2520	8.00		6.64	6.60	6.53
	4025	8.00		6.84	6.78	6.56
	2015	7.00		6.19	6.18	6.13
	1510	7.00	6.18	5.96	5.97	5.96
	1005	6.00		5.27	5.33	5.29
	8005	7.75		7.03	7.00	6.84
	4005	7.30		6.55	6.51	6.35
	2005	6.60		5.92	5.90	5.84

表-4.3.2 破壊荷重の荷重・沈下量から求めた応力-ひずみ関係

材料の種類	粗粒率範囲 (mm)	最大荷重 (tf)	破砕値 (%)	粗粒率 (%)	回 帰 結 果						
					初期接線 弾性係数 E0 (N/mm ²)	最終 ひずみ ϵ_{max} (%)	相関係数	5N/mm ² 時		10N/mm ² 時	
								接線弾 性係数 (N/mm ²)	ひずみ (%)	接線弾 性係数 (N/mm ²)	ひずみ (%)
I	40~25	1569	17.4	6.89	71.6	53.0	0.999	91.7	6.2	114.3	11.1
	40~25	392	18.4	6.84	67.2	53.3	0.997	88.4	6.6	113.0	11.6
	25~20	1569	19.6	6.64	72.2	53.9	0.999	92.2	6.2	114.8	11.1
	20~15	392	13.7	6.19	50.4	43.1	0.998	76.3	8.1	107.6	13.6
	15~10	392	15.3	5.96	66.7	47.8	0.999	89.3	6.5	115.2	11.4
	10~5	392	17.7	5.27	51.9	52.9	0.999	72.5	8.2	96.7	14.2
	80~5	1569	17.0	7.03	66.0	33.4	0.999	99.4	6.2	139.6	10.4
	40~5	1569	21.0	6.55	70.9	41.0	0.999	97.5	6.0	128.2	10.5
	20~5	392	15.7	5.92	55.4	38.7	0.998	84.4	7.4	119.6	12.4
II	40~25	1569	17.6	6.73	67.7	54.5	0.999	87.3	6.5	109.5	11.7
	40~25	392	12.4	6.78	79.4	66.0	0.998	95.3	5.7	112.8	10.6
	25~20	1569	19.8	6.60	65.6	51.9	0.998	86.3	6.6	109.8	11.8
	20~15	392	13.9	6.18	57.9	44.9	0.999	83.2	7.3	113.4	12.5
	15~10	392	15.7	5.97	57.1	45.5	0.999	81.2	7.3	109.6	12.6
	10~5	392	16.0	5.33	58.7	43.3	0.999	84.1	7.1	114.0	12.2
	80~5	1569	18.5	7.00	54.5	34.3	0.999	87.6	7.2	128.4	12.0
	40~5	1569	22.0	6.51	61.8	40.6	0.999	89.0	6.8	121.1	11.6
	20~5	392	16.0	5.90	27.5	38.0	0.997	62.9	14.5	116.5	20.4
III	40~25	1569	20.8	6.64	52.3	50.8	0.999	74.0	8.2	99.6	14.0
	40~25	392	15.4	6.56	45.8	53.8	0.995	66.4	9.1	90.8	15.5
	25~20	1569	22.2	6.53	58.3	49.2	0.999	80.5	7.3	106.2	12.7
	20~15	392	15.2	6.13	46.1	45.8	0.998	70.6	8.8	100.4	14.7
	15~10	392	16.8	5.96	48.5	46.1	0.999	72.7	8.5	101.8	14.3
	10~5	392	17.3	5.29	56.4	45.8	0.999	80.5	7.5	109.1	12.8
	80~5	1569	22.0	6.84	50.3	35.7	0.999	82.3	7.9	122.2	12.9
	40~5	1569	26.0	6.35	53.5	39.1	0.999	82.2	7.6	117.0	12.7
	20~5	392	17.5	5.84	37.2	39.2	0.997	67.1	10.0	105.7	15.9



(a) 骨材の種類と破砕値の関係



(b) 骨材の種類と破砕値の関係

図-4.3.1 破砕試験結果

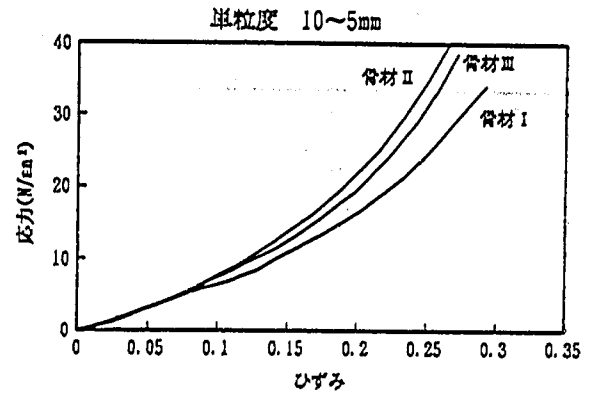
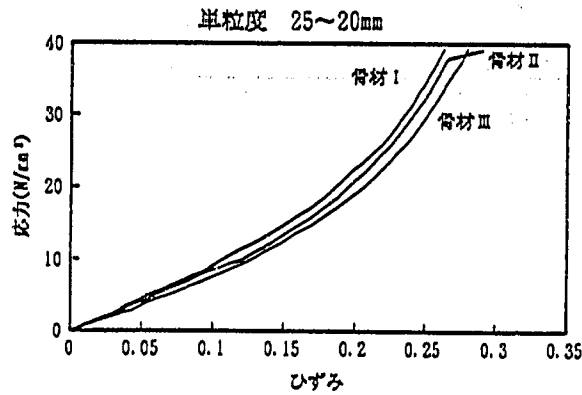
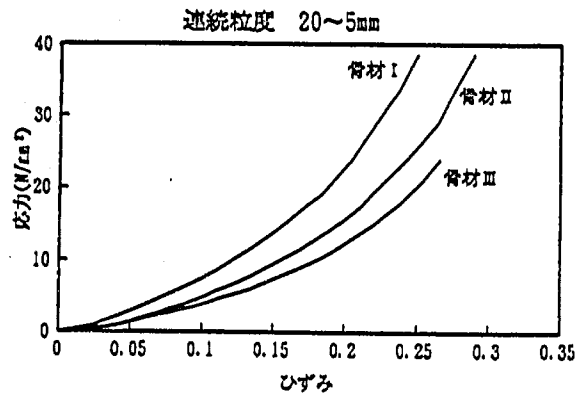
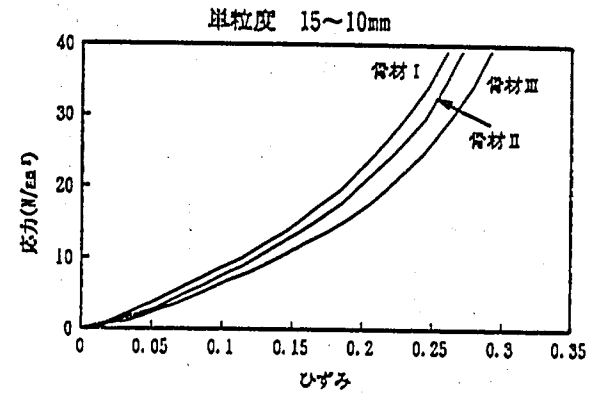
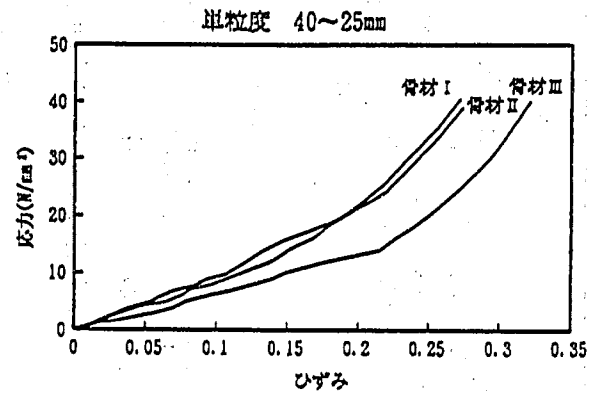
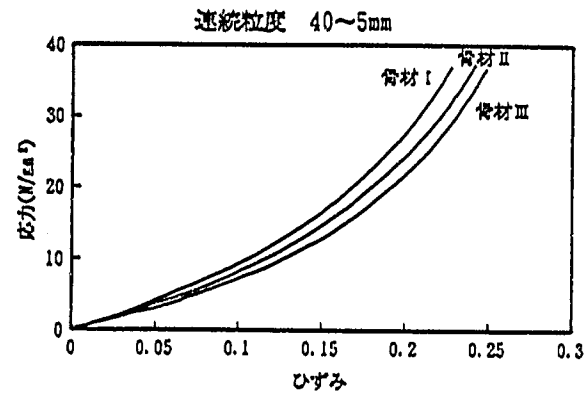
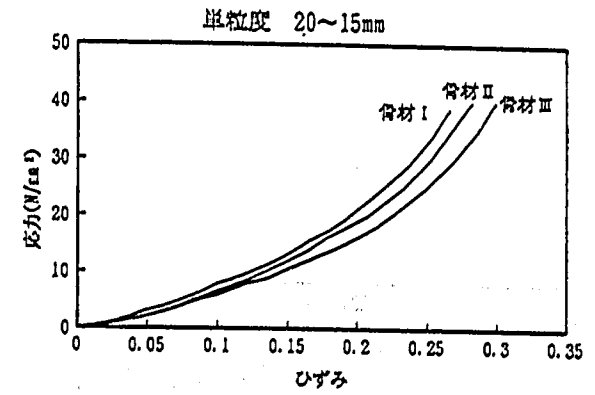
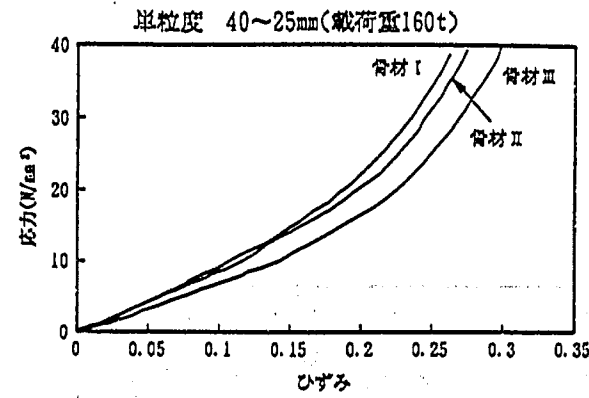
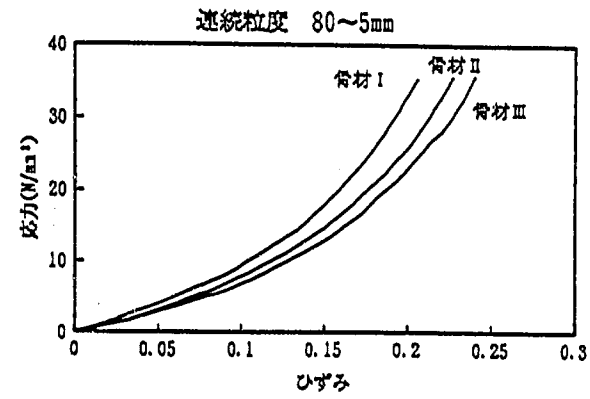


図-4.3.2 破碎試験から求めた応力-ひずみ関係

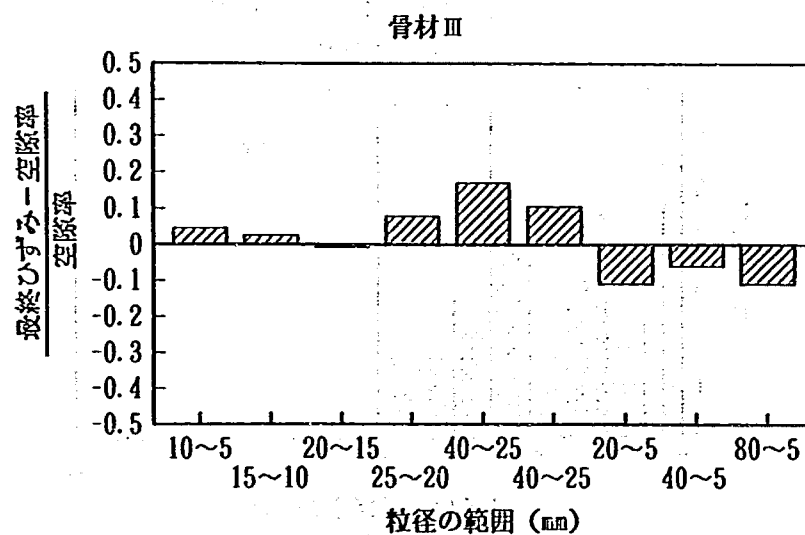
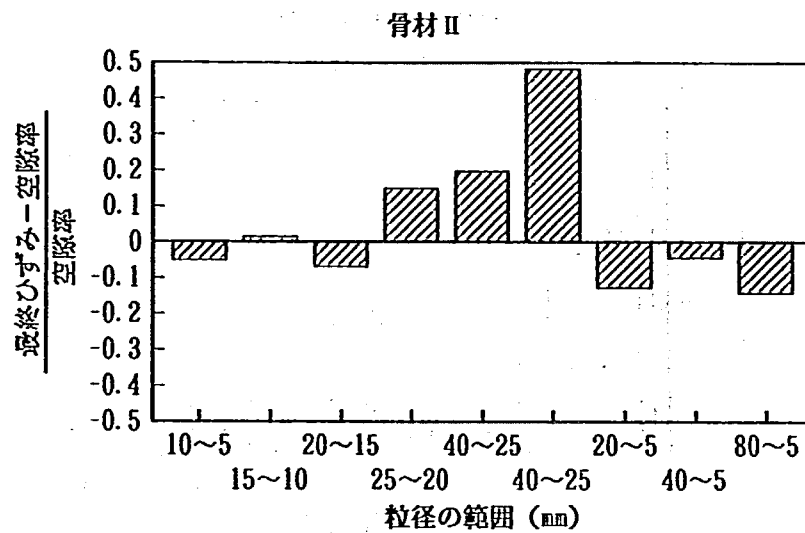
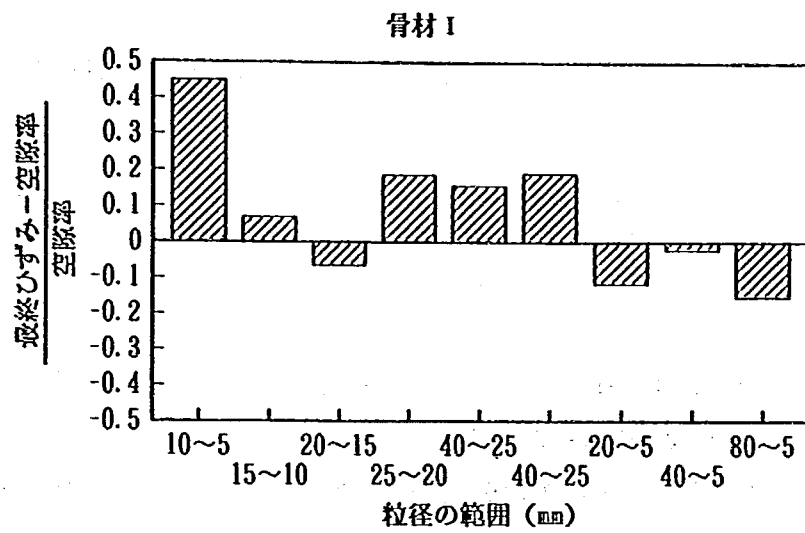


図-4.3.3 最終ひずみと空隙率の比較

4.3.3 粒度分布

試験前後の粒度分布の比較の一例を図-4.3.4に示す。図は、各粒度範囲の骨材量を面積に換算して示してある。

$$\text{縦軸} = \frac{A_s}{d_a - d_b} \quad \text{-----} \quad (4.3.4)$$

ここに、 A_s : ふるいの呼び寸法 d_a から d_b の骨材量

単粒度の場合は、(b)図のように割れて小さくなっていくしかない。連続粒度の場合は、(a)図のように割れやすい粒度と、割れにくい粒度のあることがわかる。

図-4.3.5に、骨材品質の比較を示す。粒度4005、2005は粒度の範囲が狭く、骨材品質の違いは明確ではないが、8005を見ると60~80では品質が低下するほど損失は多くなっている。逆に30~40では骨材Iの損失が多くなっている。

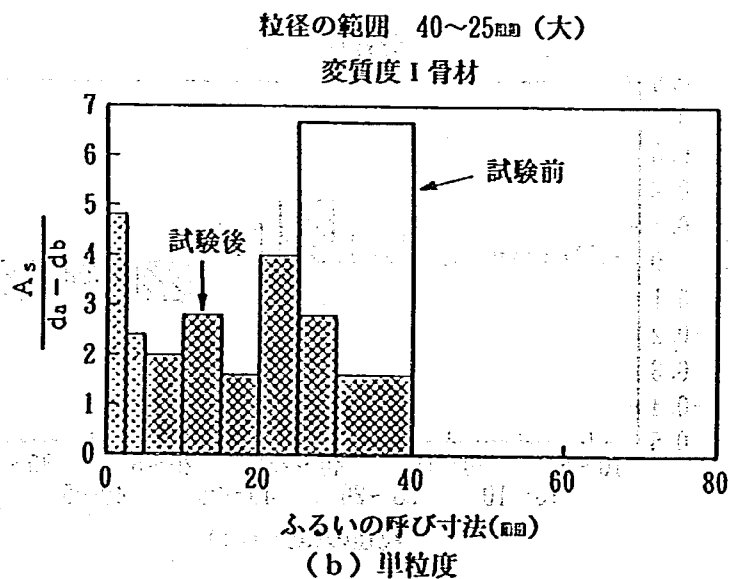
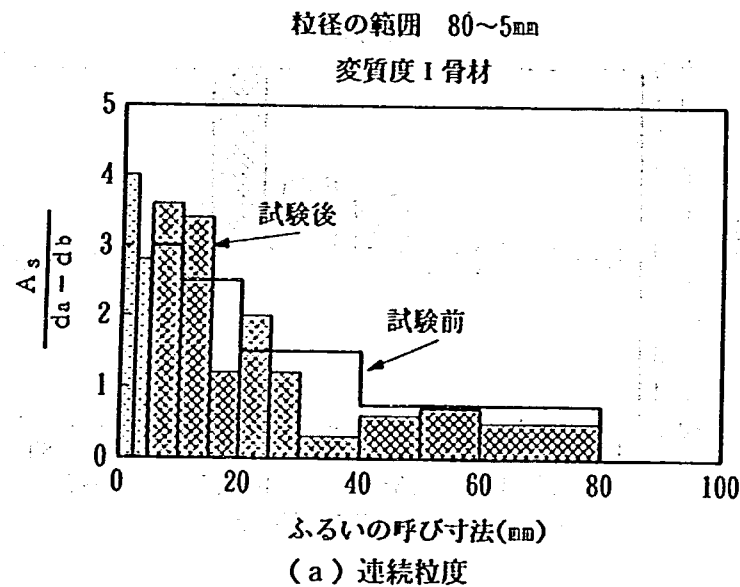


図-4.3.4 試験前後の粒度分布の比較

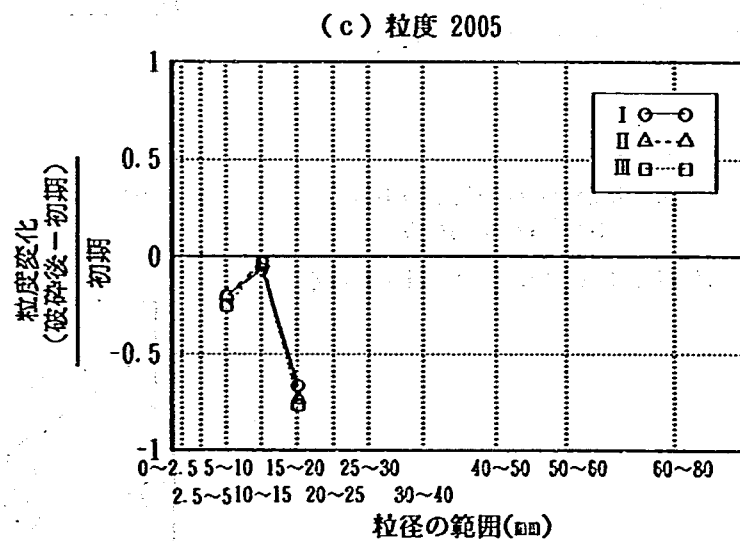
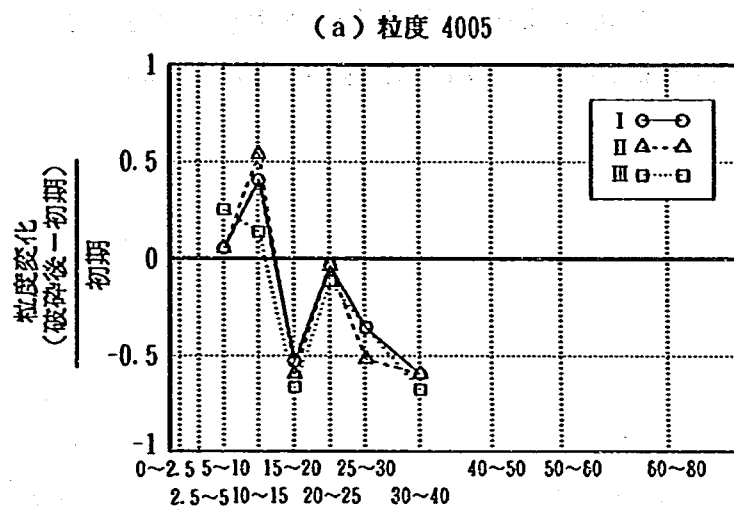
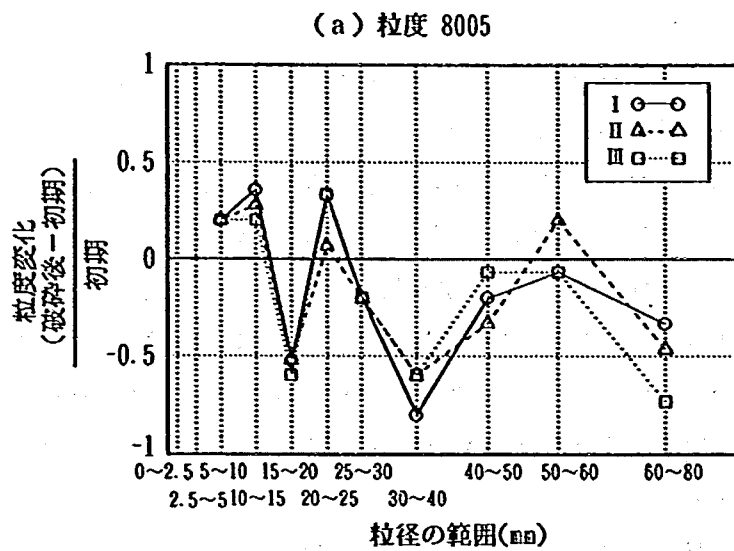


図-4.3.5 粒度変化

4.3.4 破砕試験と点载荷試験

連続粒度の破砕試験を行うと割れやすい粒度と割れにくい粒度が存在するのは、骨材の分布状態と骨材の耐力（破壊荷重）とに関係するものと考えられる。

連続粒度の骨材は、大きな骨材の空隙を順次小さい骨材が充填し、骨材どうしは点接触している。一方、骨材の耐力は、点载荷の試験結果（図-4.3.1）より、骨材が大きくなるにしたがい大きくなる。そのため、大きな骨材にはさまれている中程度の骨材がまず割れていき、次第に空隙を充填していくと、つぎにもう少し小さい骨材、あるいは大きい骨材でも耐力が比較的小さい場合には大きい骨材も割れていくものと考えられる。このような過程を模式的に表すと図-4.3.6のようになるものと考えられる。

破砕荷重と骨材耐力の違いによる粒度変化の関係を把握するために、今後破砕荷重を変化させた場合の粒度分布を測定する必要がある。

図-4.3.7に、破砕値、回帰係数 E_0 と圧裂強度のピーク値（ワイブル分布で頻度が最も高いときの強度）の関係を示すように、ピーク値の増加により破砕値は低下しており、 E_0 は増加している。骨材の比重の変動、大きさにより骨材強度は広く分布するが、その平均的な強度、変形性を破砕試験によって表せる可能性を示している。

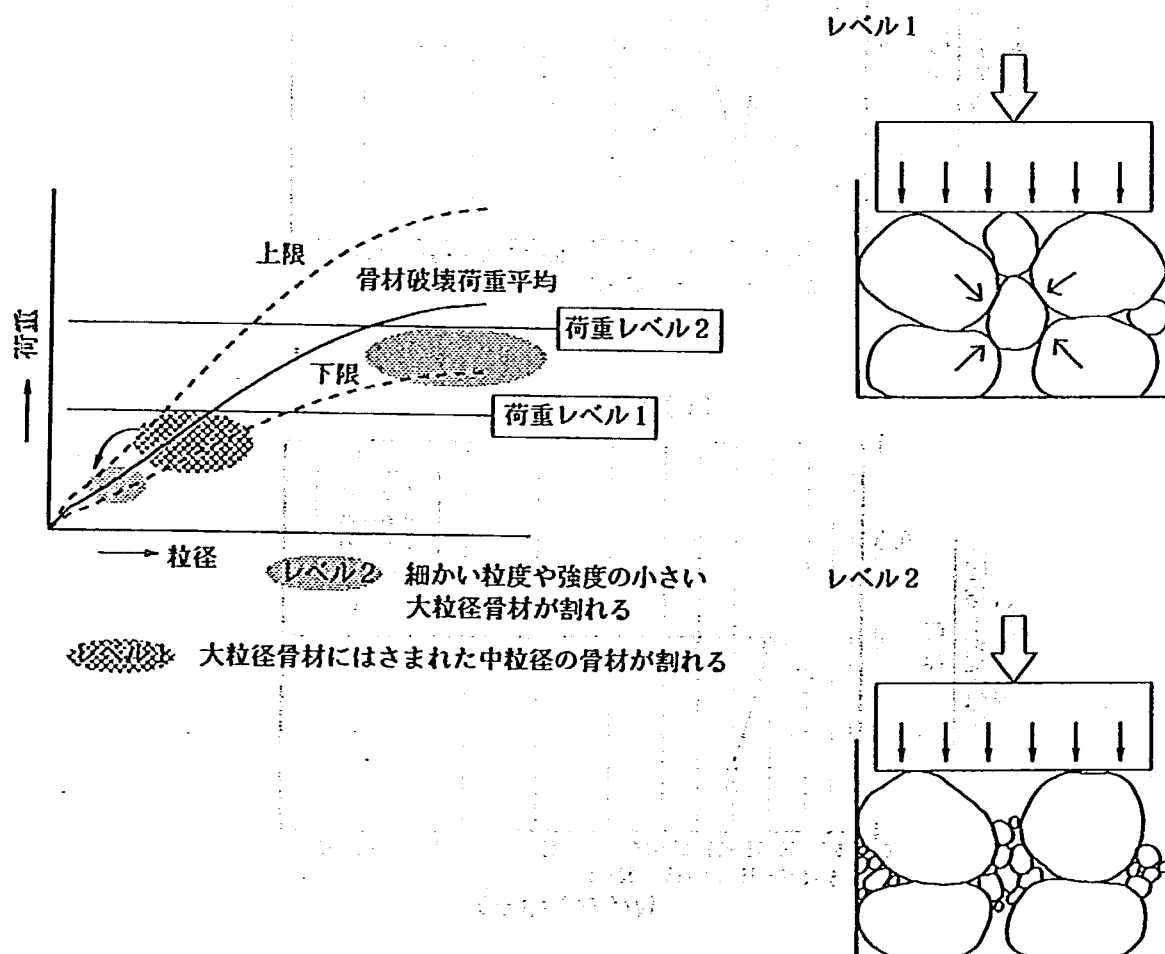


図-4.3.6 骨材破砕の過程予想

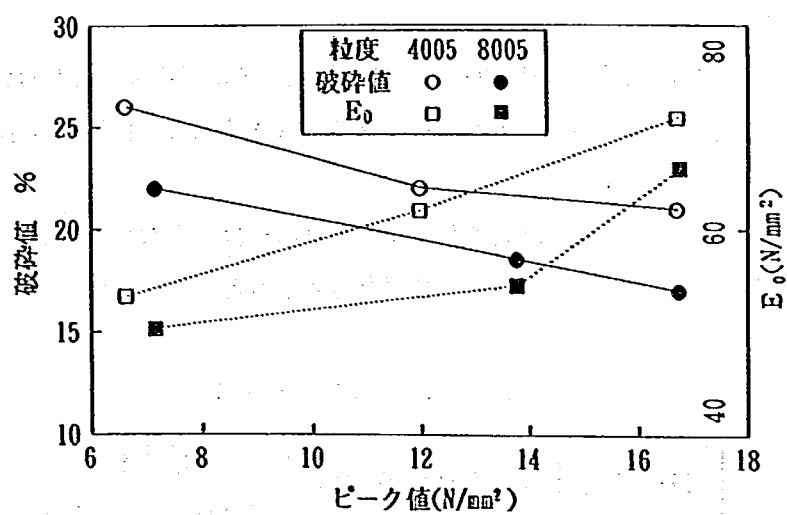
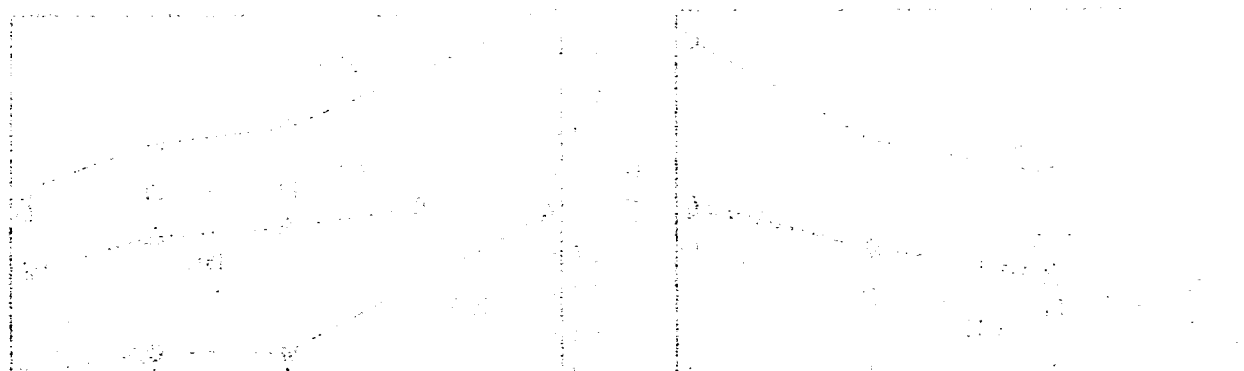


図-4.3.7 ピーク強度と初期接線弾性係数



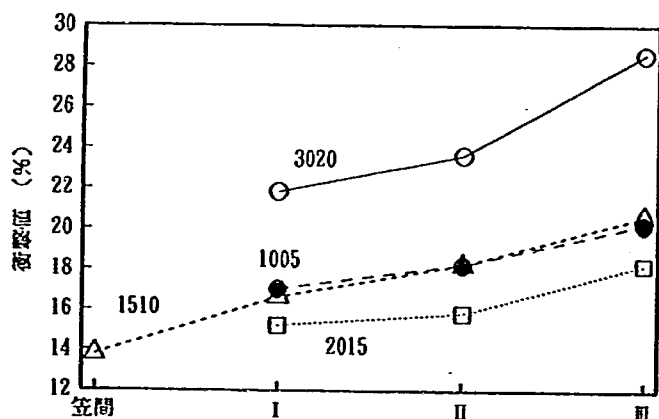
4.4 衝撃試験結果

衝撃試験結果を表-4.4.1に、試料の種類と衝撃値、粗粒率の関係を図-4.4.1に示す。衝撃試験についても他の試験と同様に、骨材の品質が低下するほど衝撃値は大きくなり、粗粒率は小さくなる傾向にあり、骨材の相対的強度を表すことができる。

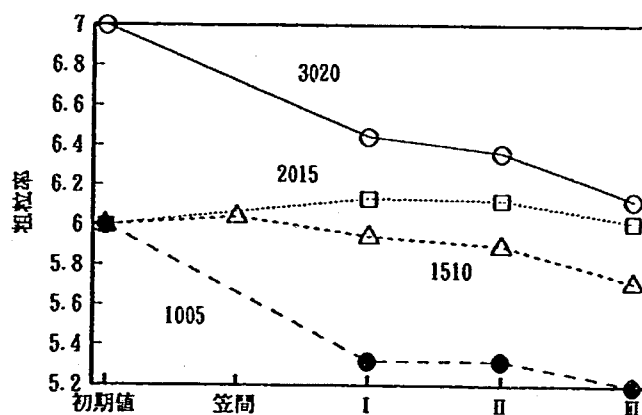
しかしながら、BS基準の試験機では大きな粒径の骨材試験はできないため、こういった試験で評価するためには、大型の試験機による試験法の検討が必要と考えられる。

表-4.4.1 衝撃試験結果

骨材の種類	粒度範囲 (mm)	衝撃値 (%)	粗粒率	
			試験前	試験後
S	15~10	13.8	6.00	6.04
I	30~20	21.8	7.00	6.44
	20~15	15.2	6.00	6.13
	15~10	16.6	6.00	5.94
	10~5	17.0	6.00	5.32
II	30~20	23.6	7.00	6.36
	20~15	15.8	6.00	6.12
	15~10	18.2	6.00	5.89
	10~5	18.2	6.00	5.32
III	30~20	28.6	7.00	6.12
	20~15	18.2	6.00	6.01
	15~10	20.6	6.00	5.71
	10~5	20.2	6.00	5.20



(a) 骨材の種類と衝撃値の関係



(b) 骨材の種類と粗粒率の関係

図-4.4.1 衝撃試験結果

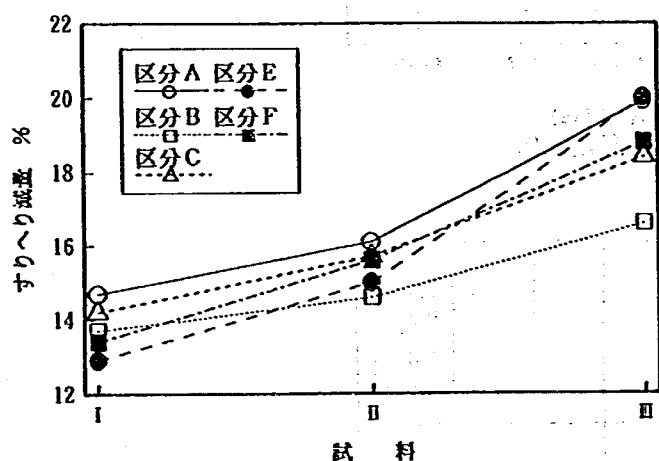
4.5 すりへり試験結果

4.5.1 すりへり試験結果

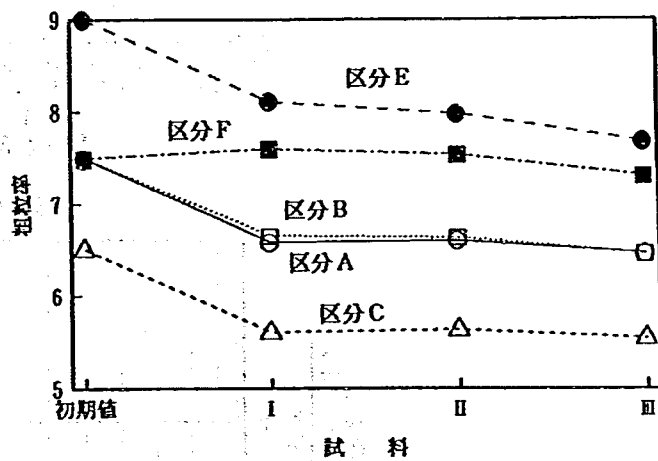
すりへり試験結果を表-4.5.1に、試料の種類とすりへり減量、粗粒率の関係を図-4.5.1に示す。すりへり試験でも骨材の品質が低下するほどすり減り減量は大きくなる傾向にある。粗粒率は明確な関係は得られなかった。

表-4.5.1 すりへり試験結果

骨材の種類	粒度区分	粒度範囲 (mm)	すりへり減量 (%)	粗粒率	
				試験前	試験後
S	C	15~5	11.2	—	—
I	A	40~10	14.7	7.50	6.58
	B	25~15	13.7	7.50	6.65
	C	15~5	14.2	6.50	5.60
	E	80~40	12.9	9.00	8.11
	F	50~25	13.4	7.50	7.40
II	A	40~10	16.1	7.50	6.60
	B	25~15	14.6	7.50	6.63
	C	15~5	15.7	6.50	5.63
	E	80~40	15.0	9.00	7.98
	F	50~25	15.6	7.50	7.54
III	A	40~10	19.9	7.50	6.46
	B	25~15	16.6	7.50	6.46
	C	15~5	18.4	6.50	5.54
	E	80~40	20.0	9.00	7.68
	F	50~25	18.8	7.50	7.31



(a) 骨材の種類とすりへり減量



(b) 骨材の種類と粗粒率の関係

図-4.5.1 すりへり試験結果

4.5.2 粒度分布

図-4.5.2から図-4.5.4にすりへり試験前後の粒度変化の一例を示す。表し方は4.3.2と同じである。破碎試験の場合とは異なり、各粒度ともほぼ均一にすりへり減量していることがわかる。

コンクリートの練混ぜ時の粒度変化との関係について検討する必要がある。

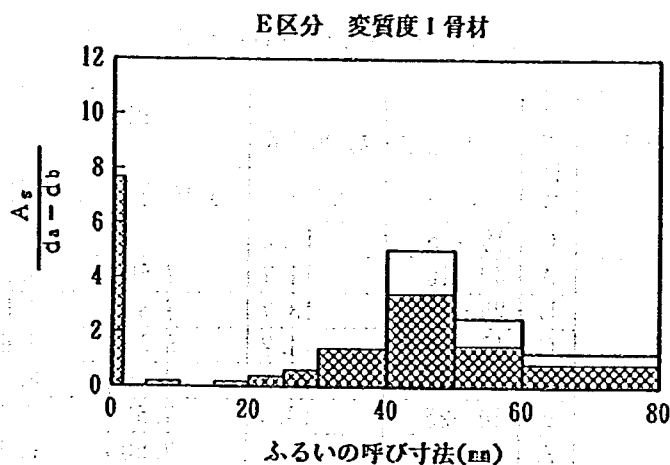


図-4.5.2 試験前後の粒度分布の比較

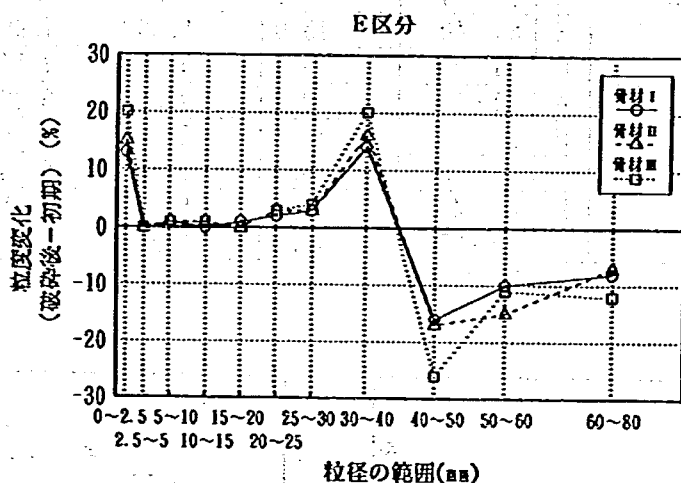


図-4.5.3 粒度変化

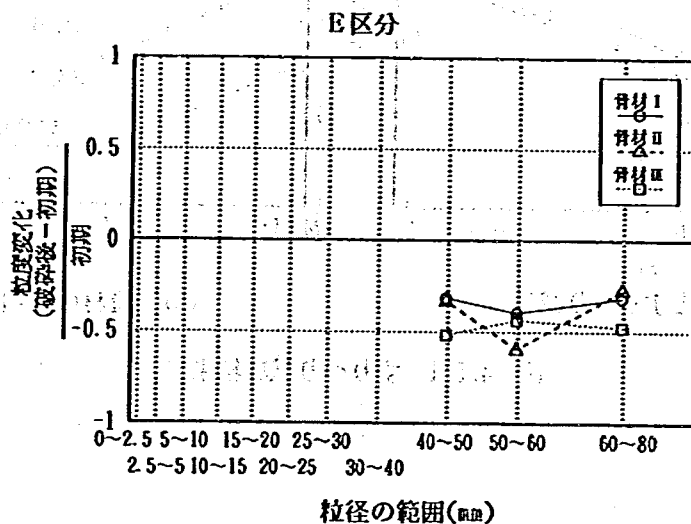


図-4.5.4 粒度変化

5. 練混ぜによる粒度変化試験

5. 1 練混ぜによる粒度変化試験結果

5.1.1 粒度変化試験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を表-5.1.1に示す。目標空気量 $5.0 \pm 1\%$ として練混ぜたフレッシュコンクリートのスランプは、可傾式ミキサで12.0~14.0cm、パン型ミキサで12.0~13.0cmであり、骨材の違いによる影響及びミキサの違いによる影響は見られずほぼ同等であった。また、空気量についてもほぼ同等であった。

このフレッシュコンクリートを試料として、粗骨材の重量減少率（粒度分布）、細骨材の粒度分布及び洗い分析について試験を行った。

(2) 粗骨材の重量減少率

練混ぜによる粗骨材の重量減少率を表-5.1.2及び図-5.1.1及び5.1.2に示す。これより、可傾式ミキサで練り混ぜた場合、各骨材の分級別40~20mm及び20~5mmの重量変化率は練混ぜにより骨材の増加を示す場合もあり、 $-0.11 \sim 0.79\%$ 及び $-0.12 \sim 1.20\%$ であった。40~5mmで示した場合、 $1.11\% \sim 2.06\%$ の減少であり、変質度が大きいほど、骨材減少率も大きくなる傾向を示した。表-5.1.3に示すように、この40~5mmの減少率を単位量で示すと $11 \sim 20\text{kg}/\text{m}^3$ であり、この単位量が細骨材へ移行したものと見え、この移行により細骨材率も平行して変化したと言える。パン型ミキサで練り混ぜた場合の重量減少率は、分級別40~20mmで $0.10 \sim 1.43\%$ 、20~5mmで $2.15 \sim 5.12\%$ であり、40~20mmでは変質度が大きいほど減少率も大きくなる傾向であるが、20~5mmではこの傾向がみられていない。40~5mmで示すと、 $1.80 \sim 3.19\%$ で、単位量では $18 \sim 32\text{kg}/\text{m}^3$ であり、骨材Ⅱを用いたものが最も減少率が大きく、可傾式ミキサによる重量減少率の傾向とは異なるものであった。なお、可傾式ミキサおよびパン型ミキサともに骨材寸法が小さいほど練混ぜによる骨材のかけが多く、重量減少率が大きい傾向にあった。ただし、可傾式の骨材Aについては異なっている。また、可傾式ミキサとパン型ミキサでは骨材Ⅲの減少率を同等とみた場合には、パン型ミキサによって練り混ぜた場合の方が骨材のかけが多く重量減少率が大きいものと言える。

配合修正は、細骨材率のみの修正とし、表-5.1.3に示す粗骨材の重量減少率から求めた細骨材率を次の「粒度変化によるコンクリートの性状変化試験」の配合に用いることとした。

(3) 粗骨材の粒度分布

練混ぜ後の粗骨材の粒度分布を表-5.1.4に示す。これより、練混ぜ前の粒度と比べ粗骨材の重量減少率からも見られるように、20~5mmが減少し、これにより粗粒率が大きくなり粗くなっているようである。

(4) 細骨材の粒度分布

練混ぜ後の細骨材の粒度分布を表-5.1.5に示す。これより、練混ぜにより粗骨材のかけたものが細骨材へ移行したことにより、練混ぜ前の粒度と比較し、一部0.3mm以上に増加がみられるが概ね0.6mm以上の粒径において増加がみられている。この増加により粗粒率が $0.04 \sim 0.09$ 大きくなっている。また、粗粒率はパン型

ミキサよりも可傾式ミキサの方が大きくなる傾向にある。

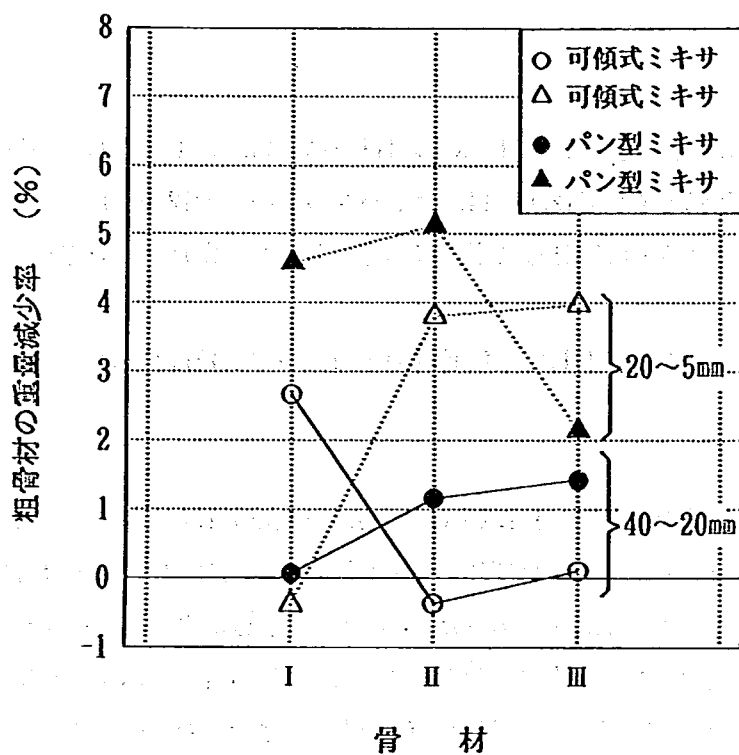


図-5.1.1 分級骨材の粗骨材の重量減少率

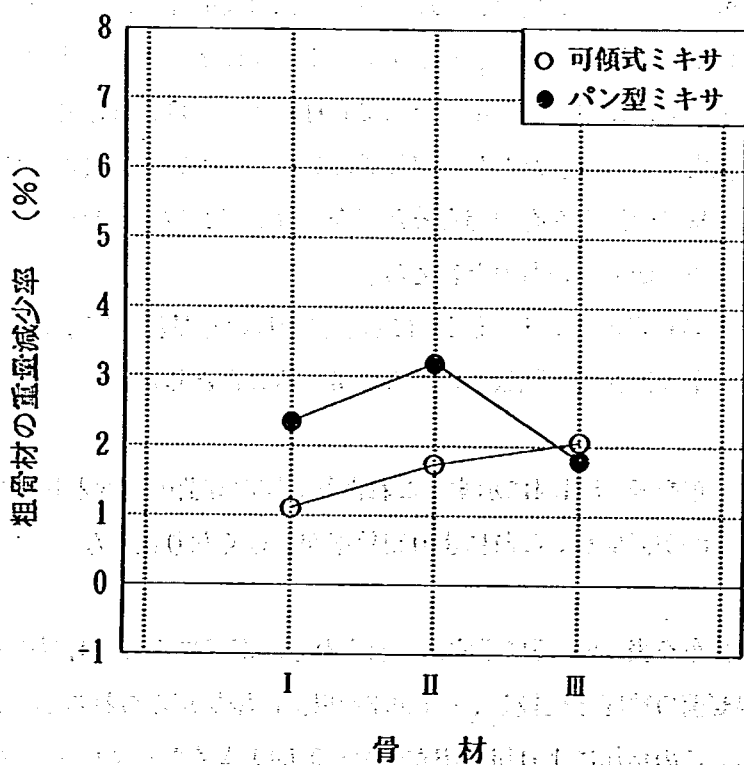


図-5.1.2 粗骨材の重量減少率 (40~5mm)

表-5.1.1 粒度変化試験時のフレッシュコンクリートの性状

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	空気量 の範囲 (%)	ミキサ の種類	骨 材	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						スラン [°] (cm)	空気量 (%)	練上り 温 度 (℃)						
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		AE減水剤				空気量 調節剤 (C×%)					
									40-20	20-5										
40	5.0 ± 1	可傾式	I - s	55.0	45.0	165	300	875	1008 504 504		0.75	0.002	13.0	4.9	20.5					
			II - s					875	1008 504 504							0.75	0.002	14.0	4.3	20.0
			III - s					815	997 499 498											
		パン型	I - s	55.0	45.0	165	300	875	1008 504 504		0.75	0.002	12.0	5.0	19.5					
			II - s					875	1008 504 504							0.75	0.002	13.0	5.5	19.0
			III - s					815	997 499 498											

表-5.1.2 練混ぜによる粗骨材減少率

ミキサ	粗 骨 材		練混ぜ前の質量 (kg)	練混ぜ後の質量 (kg)	減少量*1 (kg)	減少率 (%)
	種別	大きさmm				
可傾式	I	40~20	29.70	28.91	0.79	2.66
		20~ 5	30.59	30.71	-0.12	-0.39
		40~ 5	60.29	59.62	0.67	1.11
	II	40~20	29.69	29.8	-0.11	-0.37
		20~ 5	30.56	29.4	1.16	3.80
		40~ 5	60.25	59.2	1.05	1.74
	III	40~20	29.36	29.33	0.03	0.10
		20~ 5	30.21	29.01	1.20	3.97
		40~ 5	59.57	58.34	1.23	2.06
パン型	I	40~20	29.76	29.74	0.02	0.07
		20~ 5	30.36	28.97	1.39	4.58
		40~ 5	60.12	58.34	1.41	2.35
	II	40~20	29.29	28.95	0.34	1.16
		20~ 5	30.85	29.27	1.58	5.12
		40~ 5	60.14	58.22	1.92	3.19
	III	40~20	29.35	28.93	0.42	1.43
		20~ 5	30.19	29.54	0.65	2.15
		40~ 5	59.54	58.47	1.07	1.80

注) *1 減少量の- (マイナス) は、増加を示す。
コンクリートは、60ℓで練り混ぜた。

表-5.1.3 練混ぜ後の配合

ミキサ	骨材 種別	粗骨材の減少量		練混ぜ後の配合		
		kg/0.06m³	kg/m³	s/a(%)	細骨材 kg/m³	粗骨材 kg/m³
可傾式	I - s	0.67	11	45.7 (45.0)	826 (815)	997 (1008)
	II - s	1.05	18	46.4 (45.0)	833 (815)	990 (1008)
	III - s	1.23	20	46.4 (45.0)	835 (815)	977 (997)
パン型	I - s	1.41	24	46.4 (45.0)	839 (815)	984 (1008)
	II - s	1.92	32	46.8 (45.0)	847 (815)	976 (1008)
	III - s	1.07	18	46.1 (45.0)	833 (815)	979 (997)

練混ぜ後の配合の () は配合値。

表-5.1.4 練混ぜ後の粗骨材の粒度

ミキサ	粗骨材 種別	各ふるい(mm)の残留%					粗粒率
		40mm	30	20	10	5	
可傾式	I	0	12	48	82	100	7.30
	II	0	15	50	85	100	7.30
	III	0	19	50	79	100	7.29
パン型	I	0	14	51	82	100	7.33
	II	0	13	50	82	100	7.32
	III	0	14	49	80	100	7.29
ふるい分け 試験結果	I	0	14	47	83	100	7.30
	II	0	12	48	83	100	7.31
	III	0	12	48	74	100	7.22

表-5.1.5 練混ぜ後の細骨材の粒度

ミキサ	粗骨材 種別	細骨材 種別	各ふるい(㎜)の残留%						粗粒率
			5㎜	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
可傾式	I	s	0	14	42	62	76	92	2.86
	II		0	14	41	62	77	93	2.87
	III		0	15	42	62	78	93	2.90
パン型	I	s	0	14	41	62	77	93	2.87
	II		0	14	41	61	77	92	2.85
	III		0	14	41	62	76	92	2.85
標準細骨材ふるい分け			0	13	40	60	75	93	2.81

5.1.2 粒度変化によるコンクリートの性状変化試験結果

(1) 粒度調整

粗骨材の粒度調整は、5.1.1項によって得られた骨材 I、II 及び III の粒度変化を本試験で使用する骨材 s (標準骨材) に置き換えて粒度を調整した(表-5.1.6)。また、細骨材については、5.1 節によって得られた粒度(表-5.1.5)に調整し、試験に用いた。

(2) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を表-5.1.7 および図-5.1.3 に示す。

これより、スランプは、修正前の粒度を用いたコンクリートと比較し、可傾式ミキサおよびパン型ミキサ

ともに若干細骨材率の影響がみられる。

この細骨材率について、土木学会コンクリート標準示方書「施工編」に示される補正方法に従いスランブを推定すると表-5.1.8に示すように、推定スランブと実測スランブがほぼ近似しており、このことから練り混ぜられたコンクリートの細骨材による影響がうかがえる。

フレッシュコンクリートを目視観察すると、粒度調整後のコンクリートの性状と粒度調整前の性状は、可傾式ミキサおよびパン型ミキサともにスランブが若干影響を受けているものの目視観察による大きな違いが見られず、コンクリートの性状としては良好であった。

(3) 圧縮強度

圧縮強度試験結果を表-5.1.9に示す。

これより、可傾式ミキサの場合の圧縮強度は、 $39.1 \sim 39.5 \text{ N/mm}^2$ であり、パン型ミキサの場合の圧縮強度は $38.5 \sim 39.1 \text{ N/mm}^2$ である。いずれのミキサを用いても粒度変化および細骨材率の変化による圧縮強度への影響は見られず、練混ぜにより骨材が欠けることによる圧縮強度への影響はないものと考えられる。

表-5.1.6 修正後の粗骨材の粒度

ミキサ	対応 骨材	粗骨材 種別	各ふるい(mm)の残留%					粗粒率
			40mm	30	20	10	5	
可傾式	I	S	0	12	47	88	100	7.37
	II		0	12	49	88	100	7.37
	III		0	12	49	88	100	7.37
パン型	I	S	0	12	49	88	100	7.37
	II		0	12	49	88	100	7.37
	III		0	12	48	88	100	7.36

表-5.1.8 スランブの推定

ミキサ	骨材	細骨材率の 変化量 (%)	単位水量 の変化量 (kg/m ³)	スランブの 変化量 (cm)	推定スランブ (cm)	実測スランブ (cm)
可傾式	(I)S-s	0.7	→ 1.05	→ 0.6	→ 8.4	8.0
	(II)S-s	1.1	→ 1.65	→ 0.9	→ 8.1	8.0
	(III)S-s	1.2	→ 1.80	→ 1.0	→ 8.0	8.0
パン型	(I)S-s	1.4	→ 2.10	→ 1.2	→ 7.8	8.0
	(II)S-s	1.8	→ 2.70	→ 1.5	→ 7.5	7.5
	(III)S-s	1.1	→ 1.65	→ 0.9	→ 8.1	7.5

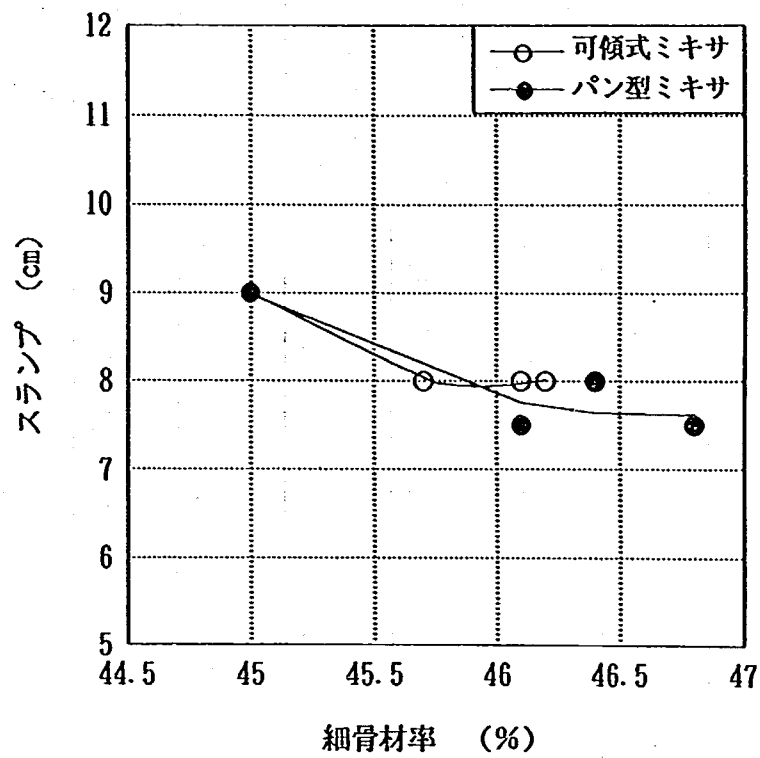


図-5.1.3 細骨材率とスランプの関係

表-5.1.7 粒度修正によるフレッシュコンクリートの性状

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	空気量 の範囲 (%)	ミキサ の種類	骨 材 粒 度	骨 材	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	練 上 り 温 度 (℃)	目視によるコンクリートの 性状	
							水 W	セメント C	細骨 材 S	粗骨材 G		AE減水剤					空気量 調節剤 (C×%)
										40-20	20-5						
40	5.0 ±0.5	可傾式	修正前	S - s	50.0	45.0	150	300	831	1036 ----- 518 518		0.75	0.002	9.0	4.6	19.0	良好
			修正後	S - s (Ⅰ-s)		45.7			844	1023 ----- 512 511		0.75	0.002	8.0	5.1	19.0	修正前の配合による コンクリートとほぼ同じで 良好
				S - s (Ⅱ-s)		46.1			852	1015 ----- 508 507		0.75	0.002	8.0	5.2	19.0	修正前の配合による コンクリートとほぼ同じで 良好
				S - s (Ⅲ-s)		46.2			854	1012 ----- 506 506		0.75	0.002	8.0	4.7	20.0	修正前の配合による コンクリートとほぼ同じで 良好
		パン型	修正前	S - s	50.0	45.0	150	300	831	1036 ----- 518 518		0.75	0.002	9.0	5.1	19.5	良好
			修正後	S - s (Ⅰ-s)		46.4			857	1009 ----- 505 504		0.75	0.002	8.0	5.5	19.5	修正前の配合による コンクリートとほぼ同じで 良好
				S - s (Ⅱ-s)		46.8			865	1001 ----- 501 500		0.75	0.002	7.5	5.2	19.0	修正前の配合による コンクリートとほぼ同じで 良好
				S - s (Ⅲ-s)		46.1			852	1015 ----- 508 507		0.75	0.002	7.5	5.4	19.0	修正前の配合による コンクリートとほぼ同じで 良好

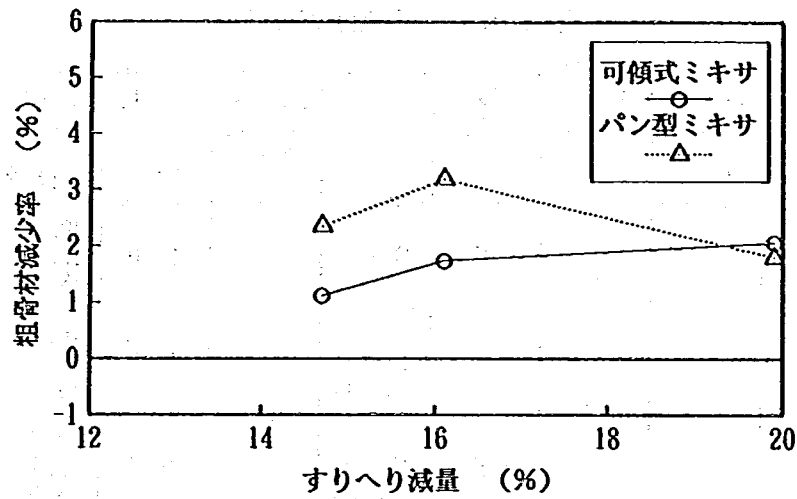
表-5.1.9 圧縮強度試験結果

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	空気量 の範囲 (%)	ミキサ の種類	骨材 粒度	骨材	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 (%)	圧 縮 強 度 (N/mm ²)	
							材 齢 28 日	
40	5.0 ±0.5	可傾式	修正前	S - s	50.0	45.0	39.9 40.1 38.6	39.5
			修正後	S - s (I - s)		45.7	40.9 39.1 38.3	39.5
				S - s (II - s)		46.1	39.9 39.1 38.3	39.1
				S - s (III - s)		46.2	38.8 38.5 39.2	38.8
		パン型	修正前	S - s	50.0	45.0	38.3 38.3 38.8	38.5
			修正後	S - s (I - s)		46.4	38.6 38.3 38.5	38.5
				S - s (II - s)		46.8	39.0 39.0 39.2	39.1
				S - s (III - s)		46.1	38.9 38.9 39.4	39.1

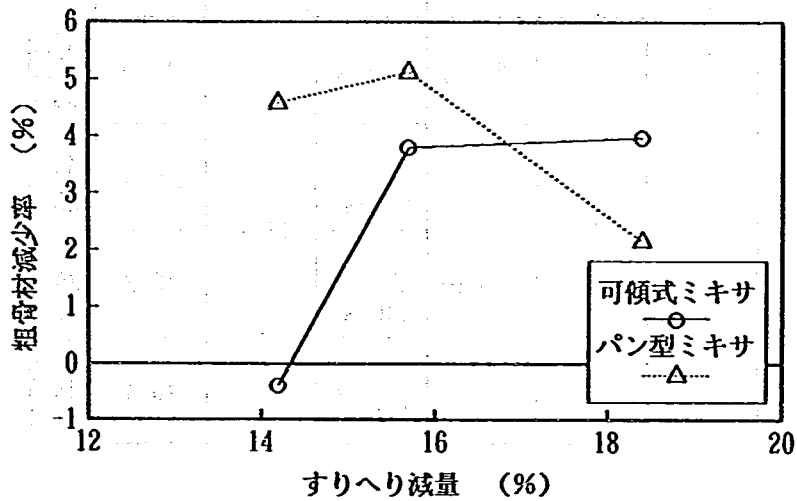
5.1.3 練混ぜによる粗骨材減少率とすりへり試験結果の関係

練混ぜによる粗骨材減少率(表-5.1.2)とすりへり試験結果(表-4.5.1)の関係は、図-5.1.4のとおりである。(a)図は、練り混ぜた全粒度(4005)、(b)、(c)図は粒度2005と4020であり、すりへり試験結果はそれぞれの粒度に近いA、C、F粒度のすりへり減量と比較した。

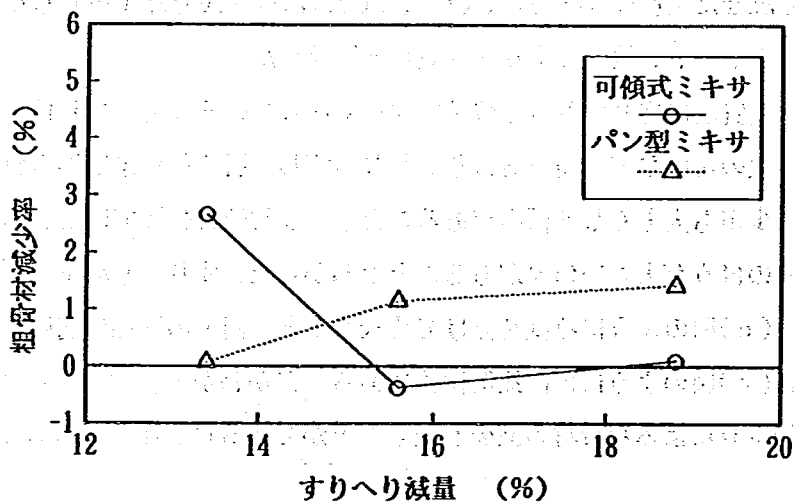
すりへり試験結果は、変質度に応じすりへり減量は大きくなっている(図-4.5.1)。練混ぜによる粗骨材の減少率は、洗い分析試験の精度などの問題もあり、かならずしも明確な結果は得られていないが、ほぼ変質度に応じて粗骨材の減少率も大きくなる傾向があること、粒度2005と4020では前者のほうが大きいこと、可傾式よりパン型ミキサのほうが大きい傾向があることがわかった。すりへり減量と練混ぜによる粗骨材の減少率の関係は、(b)、(c)図のように粒度を分けて比較すると、両者の関係は明確ではない。しかしながら、全粒度で比較すると(a)図のようにほぼ比例関係にあることがわかる。すりへり試験を練混ぜに近い粒度で行うことにより、練混ぜによる粗骨材の減少を表すことができる可能性があるものと考えられる。



(a) 粗骨材4005とすりへりA粒度の関係



(b) 粗骨材2005とすりへりC粒度の関係



(c) 粗骨材4020とすりへりF粒度の関係

図-5.1.4 粗骨材減少率とすりへり減量の関係

5.2 RCD用コンクリートの特性試験結果

粗骨材と細骨材の組合せをS-s、A-a、A-b、B-a、B-b、C-a、C-bの7種類とし、単位水量を一定にしたRCD用コンクリートのフレッシュコンクリート性状、圧縮強度試験を行った。

5.2.1 フレッシュコンクリートの性状

(1) コンクリートの配合

コンクリートの配合と、VC値、空気量、単位容積質量、凝結時間の測定結果は表-5.2.1のとおりであった。

コンクリートの配合は、事前にダムの実施工で使用されている配合 ($G_{\max}$ 150mm) のコンクリートについて、40mmふるいでウェットスクリーニングした試料を洗い分析試験して $G_{\max}$ 40mmの配合を決定した。

(2) VC値

単位水量を一定にして、骨材S-s (標準骨材) を使用したコンクリートのVC値が2.0秒となり、変質度骨材 (A-a~C-b) を使用したコンクリートでは18.1秒~22.7秒であった。これは、使用している粗骨材の実積率の差が影響しているものと考えられ、一般に実積率が大きい骨材を用いた方がワーカビリティが良く、単位水量を少なくできると言われている。本試験でも、骨材Sの実積率が62.4%、変質度骨材では59.8~60.2%と約2%の差がみられ、これらがVC値に影響したものと考えられる。なお、変質度骨材間でのVC値には大きな差はみられずほぼ同等のVC値であった。

(3) 凝結時間

骨材品質による凝結時間の影響は、表-5.2.1にみられるように始発時間及び終結時間はほぼ近似しており品質による傾向が見られず、凝結時間の影響は認められなかった。また、標準骨材S-sとの比較においてはコンクリートのワーカビリティが異なり、骨材A-a、C-bと比較を行うには無理が生じるものと思われる。

5.2.2 圧縮強度

圧縮強度試験結果を表-5.2.2及び図-5.2.1に示す。

骨材品質による強度への影響は、骨材間では強度の差は見られるが、骨材品質順で比較した場合には、強度傾向は見られない。また、標準骨材と比較した場合には、強度差は小さい。

5.2.3 圧縮強度と骨材の強度の関係

(1) 混合した粗骨材の物理試験結果、強度試験結果

RCD用コンクリートの圧縮強度試験に用いた粗骨材は粒度4005の骨材Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを混合して、Ⅰ:Ⅱ:Ⅲ=1:1:1をA、Ⅱ:Ⅲ=3:1をB、Ⅱ:Ⅲ=1:1をCとした。そのときの物理試験結果は表-3.2.1のとおりである。細骨材についても、Ⅰ:Ⅱ:Ⅲ=1:1:1をa、Ⅱ:Ⅲ=3:1をbとし、そのときの物理試験結果は表-3.4.3のとおりである。

各種強度試験結果は、4章の結果から、破砕値、衝撃値、すりへり減量は粒度4005に近い粒度を混合比率に合わせて加重平均して求めた。圧裂強度は、粒度4020の結果から混合比率に合わせA骨材はⅠ~Ⅲの30個ずつ計90個、B骨材はⅡの30個とⅢは30個のうちからランダムに10個抽出して計40個、C骨材はⅡの30個とⅢの30個の計60個について、4.2.3と同様に求めたワイブル分布関数と、その結果から求めた各種強度は表-

表-5.2.1 フレッシュコンクリートの性状

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	空気量 の範囲 (%)	骨材	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						V C 値 (秒)	空気量 (%)	単位容 積質量 (t/m³)	凝結時間		練上り 温度 (°C)	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		AE 減水剤				空気量 調整剤 (C×%)	始発 (h:m)		終結 (h:m)
								40-20	20-5								
40	2.5± 0.5	S-s	55.1	42	118	150 /64 7717 7シユ	854	1202 ----- 601 601		0.535	0.01	2.0	0.01	2.637	6:30	9:25	19.0
		A-a					864	1193 ----- 597 596		0.535	0.01	18.3	0.01	2.394	4:30	9:30	19.0
		A-b					863	1193 ----- 597 596		0.535	0.01	20.9	0.01	2.385	4:30	9:45	19.0
		B-a					864	1194 ----- 597 597		0.535	0.01	22.7	0.01	2.380	4:10	9:00	19.0
		B-b					863	1194 ----- 597 597		0.535	0.01	21.7	0.01	2.394	4:00	9:00	19.0
		C-a					864	1190 ----- 595 595		0.535	0.01	18.7	0.01	2.386	4:20	8:55	19.0
		C-b					863	1190 ----- 595 595		0.535	0.01	18.1	0.01	2.362	4:00	9:00	19.0

表-5.2.2 圧縮強度試験結果 (材齢91日)

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	空気量 の範囲 (%)	骨材	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	圧 縮 強 度(N/mm ²)			
						平均値	標準偏差	変動係数 (%)
40	2.5±0.5	S-s	55.1	42	40.6 40.2 41.0	40.6	0.32	0.79
		A-a			35.6 38.5 37.5	37.2	1.22	3.27
		A-b			38.2 31.4 38.5	36.1	3.31	9.17
		B-a			36.8 34.6 34.5	35.3	1.04	2.95
		B-b			37.1 37.6 37.4	37.3	0.20	0.54
		C-a			39.6 36.8 38.5	38.3	1.17	3.06
		C-b			35.4 34.0 38.8	36.1	2.02	5.60

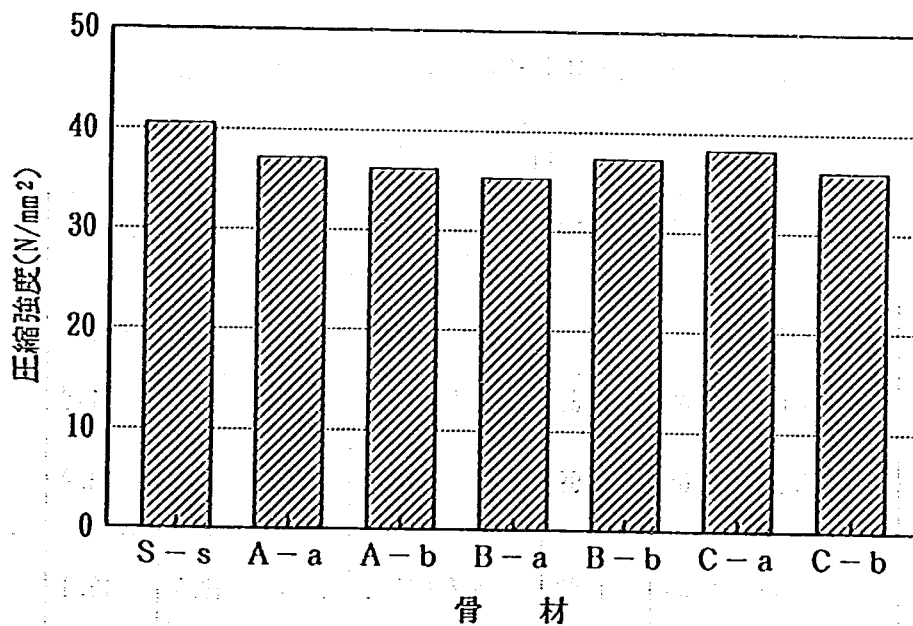


図-5.2.1 圧縮強度試験結果 (材齢91日)

5.2.3のとおりである。それらの結果をまとめたのが表-5.2.4である。

表-5.2.4より、混合した骨材の物理試験結果、強度試験結果は、A、B骨材はほぼ同等の品質、C骨材はそれらよりわずかに低下したものであることがわかる。

(2) 圧縮強度と骨材の強度の関係

RCD用コンクリートの圧縮強度と粗骨材の物理試験結果、強度試験結果の関係を図-5.2.2に示す。粗骨材A～Cの物理、強度試験にはほとんど違いがなかったことから、粗骨材の違いによる圧縮強度の違いはほとんどない。標準骨材Sと比べると、Sはすべてに優れており、A～Cより強度は大きい。

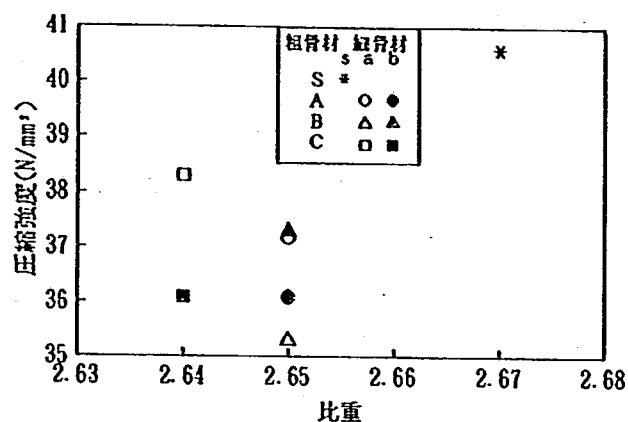
細骨材a、bの影響についても、今回はほとんど物理試験結果に違いがなく、強度に与える影響も明確ではなかった。

表-5.2.3 混合した粗骨材の圧裂強度のワイブル分布

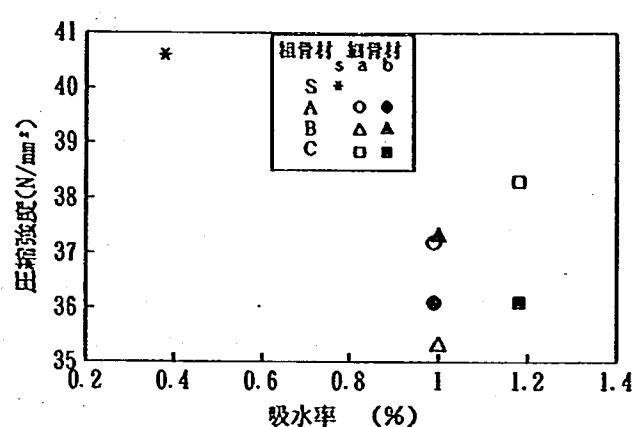
骨材種類	粒度範囲	個数	圧 裂 強 度 (N/mm ²)						ワイブル関数		
			平均値	ヒュー値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数 %	形状母数 m	尺度母数 α	相関係数 r
A	40~20	90	13.56	11.01	36.48	2.17	7.38	54.3	2.041	262.3	0.988
B		40	12.15	10.45	27.06	2.27	5.82	48.1	2.207	324.7	0.986
C		60	11.40	9.20	35.30	2.17	6.41	56.1	2.022	175.7	0.983

表-5.2.4 混合した粗骨材の物理試験、強度試験結果

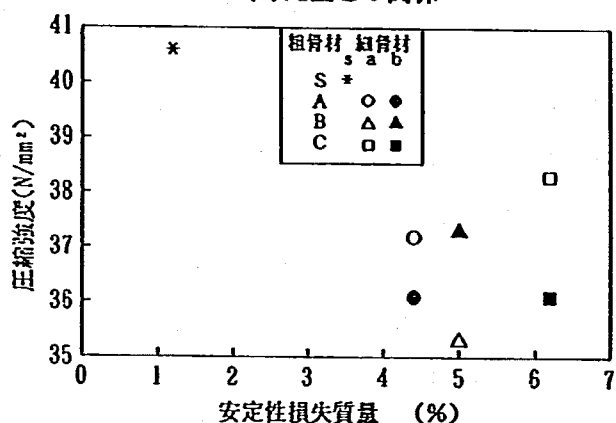
骨 材 組合せ		圧縮強度 (N/mm ²)	粗 骨 材								
			圧縮強度 (N/mm ²)	比 重	吸水率 (%)	安定性 損失質 量 (%)	破砕値(%)		衝撃値 (%)	すりり値 (%)	圧裂強度 ヒュー値 (N/mm ²)
							平均	4005			
S	s	40.6	40.6	2.67	0.38	1.2	10.4	10.4	13.8	11.2	——
A	a	37.2	36.6	2.65	0.99	4.4	17.3	23.0	19.5	16.9	11.01
	b	36.1									
B	a	35.3	36.3	2.65	1.00	5.0	17.1	23.0	19.7	17.1	10.45
	b	37.3									
C	a	38.3	37.2	2.64	1.18	6.2	17.5	24.0	20.4	18.0	9.20
	b	36.1									



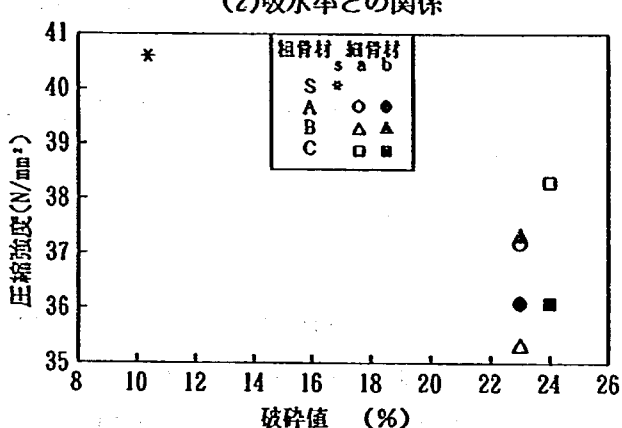
(1) 比重との関係



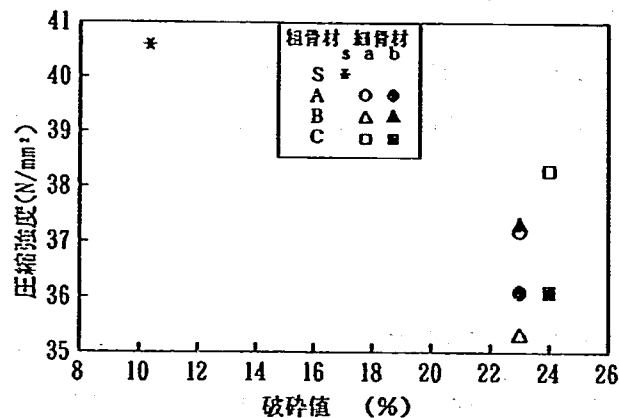
(2) 吸水率との関係



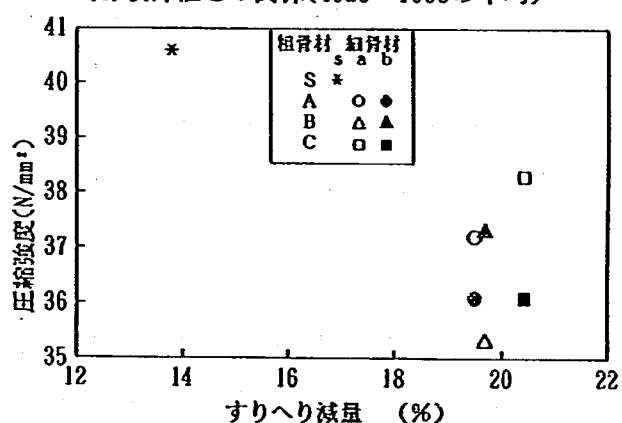
(3) 安定性損失質量との関係



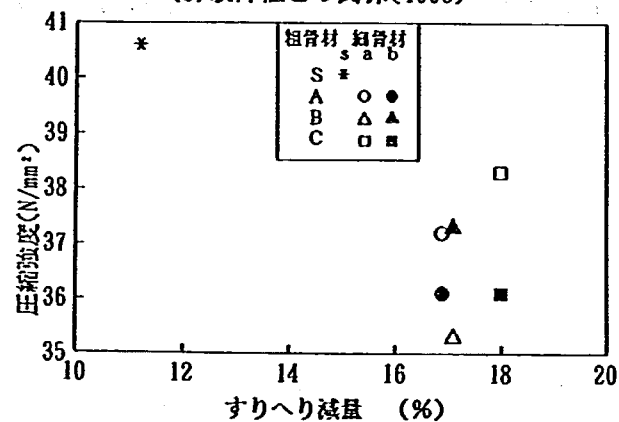
(4) 破砕値との関係(4025~1005の平均)



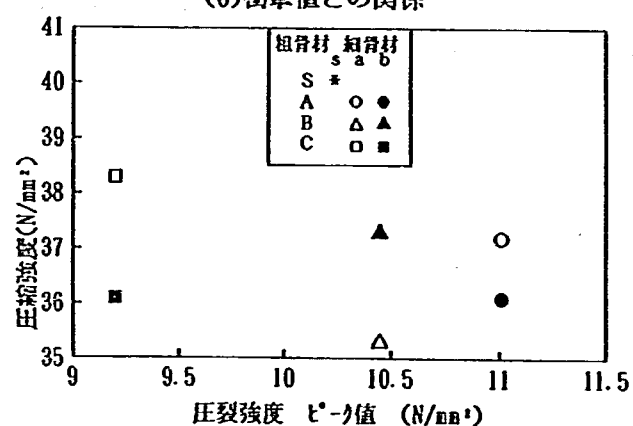
(5) 破砕値との関係(4005)



(6) 衝撃値との関係



(7) すりへり減量との関係



(8) 圧裂強度比・α値との関係

図-5.2.2 圧縮強度と物理試験、強度試験結果の関係

6. まとめ

コンクリートダムの内部コンクリート用骨材の判定基準およびその試験方法を作成することを目的に、変質度の異なる骨材を3種類に分類した骨材について、各種強度試験およびコンクリートの練混ぜによる骨材の粒度変化試験を行い、以下のようなことがわかった。

- ① 3種類に分類した骨材ごとでも、変質度の異なる骨材を多く含んでいる。コア供試体による圧縮強度、点載荷試験の結果は、比重との相関が高く、変質度は比重で近似できる。
- ② 点載荷試験は、数多くの実験を実施することにより、変質度に応じ強度分布を求めることができる。
- ③ 破碎試験、衝撃試験、すりへり試験は、BS、JIS基準どおりに試験を行えば変質度による相対的な強度を求めることができる。
- ④ BS812 破碎試験を修正し、試験に使用する試料はコンクリートに使用する連続粒度の骨材とし、載荷時に沈下量を測定し、載荷終了後に粒度分布を測定することにより、広範囲に分布する品質の骨材の割れやすさ（または耐破碎性）や変形性などを表すことができる。
- ⑤ 練混ぜ試験による粒度変化試験では、今回使用した骨材は粗骨材のかけによる重量減少率が1～2%、それにとまなう細骨材率の増加は1～2%程度であった。練混ぜによる粒度変化は、コンクリートと同じような連続粒度の骨材のすりへり試験を行うことにより評価できる可能性のあることがわかった。粒度変化にとまなうコンクリートの性状は、スランプは細骨材の増加により低下するがその割合はコンクリート標準示方書の参考表に示されている値程度であった。
- ⑥ RCD用コンクリートの圧縮強度試験と、J 混合した粗骨材の物理試験および強度試験結果を比較したが、今回使用した混合骨材は品質がほぼ一定であったため明確な関係は得られなかった。ただし、良質な標準骨材と比較した場合、骨材の強度を表す指標によってコンクリートの圧縮強度試験を表せる可能性がある。

今回使用した試料骨材は比較的良質なものであった。今後、廃棄されているような低品質な骨材でも修正した破碎試験によって骨材の強度特性、連続粒度によるすりへり試験によって練混ぜによる粒度変化を表すことができるかどうかの確認が必要である。また、低品質骨材を使用したコンクリートの品質との関係についても調査する必要がある。

資料

1. 点载荷試験結果

2. 破砕試験結果

- (1) 破砕値および粒度分布
- (2) 試験前の資料および実積率
- (3) 沈下量
- (4) 応力-ひずみ回帰結果
- (5) 粒度変化
- (6) 骨材の種類ごとの粒度変化（量）の比較
- (7) 骨材の種類ごとの粒度変化（初期値に対する比）の比較

3. 衝撃試験結果

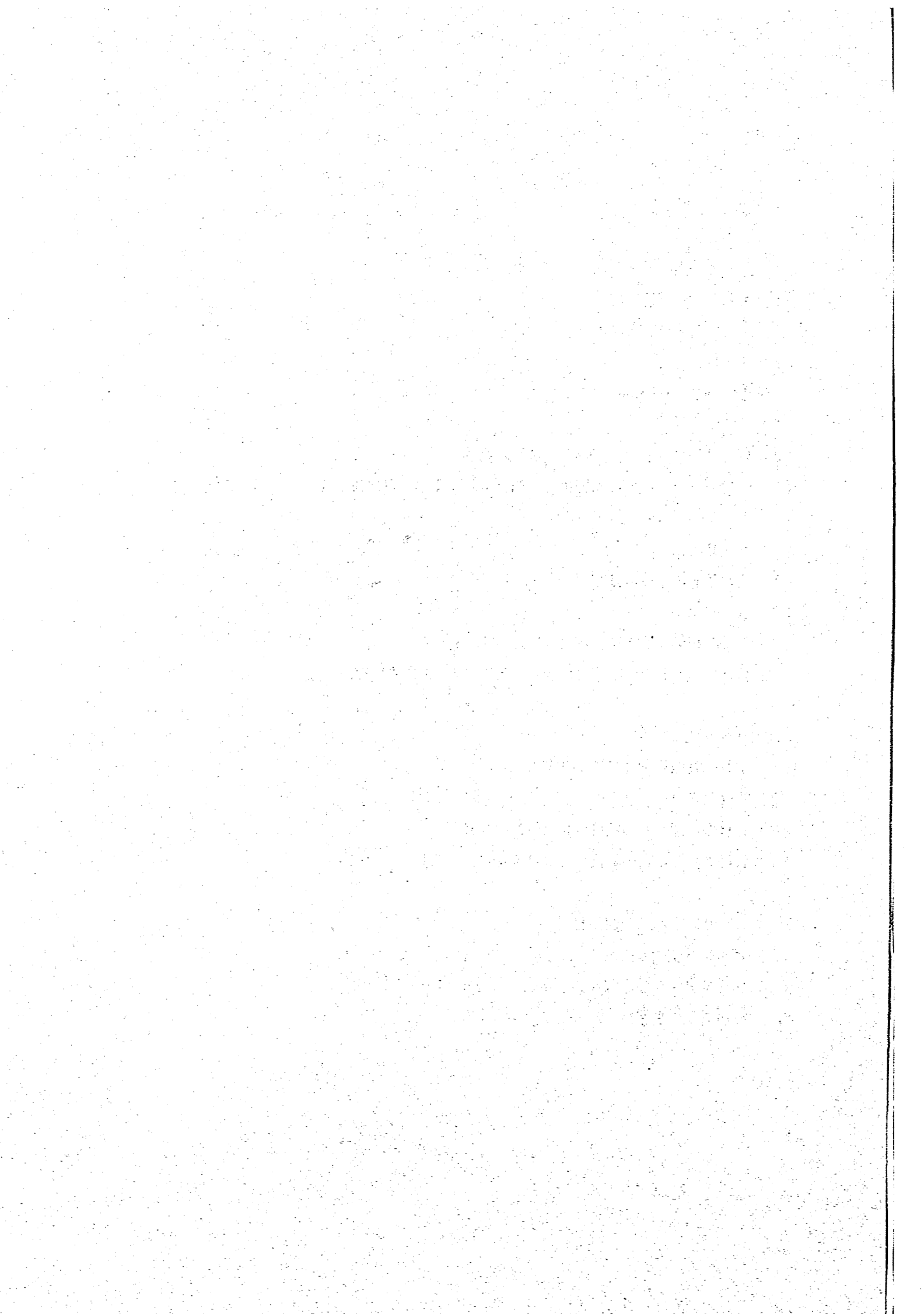
- (1) 衝撃値および粒度分布
- (2) 粒度変化
- (3) 骨材の種類ごとの粒度変化（量）の比較
- (4) 骨材の種類ごとの粒度変化（初期値に対する比）の比較

4. すりへり試験

- (1) すりへり減量および粒度分布
- (2) 粒度変化
- (3) 骨材の種類ごとの粒度変化（量）の比較
- (4) 骨材の種類ごとの粒度変化（初期値に対する比）の比較

5. コンクリート試験の使用材料

- (1) セメント試験成績表
- (2) フライアッシュ品質試験成績表
- (3) 混和剤試験成績表



1. 点载荷試驗結果

150~80mm

No.	変質度Ⅰ骨材			変質度Ⅱ骨材			変質度Ⅲ骨材		
	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)
1	70.5	53.2	9.62	76.8	25.0	3.81	75.5	26.0	4.10
2	67.5	57.9	11.38	93.5	50.0	5.15	56.9	38.2	10.59
3	59.5	52.0	13.24	87.5	49.0	5.76	61.0	23.5	5.70
4	47.0	27.5	11.18	87.0	36.3	4.31	57.3	38.2	10.49
5	63.5	34.3	7.67	78.9	18.1	2.62	88.0	35.3	4.11
6	58.7	45.1	11.77	63.0	56.9	12.85	45.5	35.3	15.40
7	49.5	41.7	15.30	55.5	17.7	5.16	95.1	21.6	2.15
8	54.5	47.1	14.22	52.8	44.1	14.22	99.0	29.9	2.75
9	63.5	41.2	9.20	41.6	32.4	16.87	76.7	21.6	3.30
10	45.5	40.7	17.65	58.0	34.3	9.20	66.0	21.6	4.45
11	70.5	43.1	7.82	75.9	43.1	6.75	61.5	22.6	5.37
12	61.5	59.3	14.12	56.0	45.1	12.94	63.0	31.4	7.11
13	54.9	51.0	15.20	80.0	38.2	5.37	64.0	25.0	5.49
14	53.1	41.2	13.14	87.0	21.6	2.57	82.9	22.1	2.89
15	87.5	77.5	9.10	76.5	42.2	6.49	54.9	13.2	3.96
16	91.0	45.6	4.95	91.9	55.4	5.90	60.2	13.7	3.41
17	82.5	48.5	6.41	80.0	40.7	5.73	59.7	18.6	4.71
18	65.6	31.4	6.57	88.0	42.2	4.90	48.0	23.5	9.21
19	49.1	52.0	19.42	63.9	41.2	9.08	50.0	20.1	7.24
20	83.5	45.1	5.83	76.5	17.7	2.72	56.5	47.6	13.44
21	85.6	38.7	4.76	66.6	43.1	8.75	62.0	35.8	8.38
22	89.5	61.8	6.94	78.5	38.2	5.59	91.0	24.5	2.67
23	60.1	44.6	11.08	62.9	34.3	7.80	50.0	29.4	10.59
24	59.5	40.2	10.20	79.9	27.5	3.87	66.1	29.4	6.06
25	54.0	37.8	11.67	66.9	24.5	4.92	68.0	11.3	2.20
26	51.9	53.4	17.85	53.5	20.6	6.48	55.2	34.3	10.10
27	54.9	33.8	10.10	56.5	27.9	7.88	40.8	21.6	11.67
28	49.0	28.4	10.69	39.5	32.4	18.63	41.5	28.4	14.91
29	84.1	70.1	8.92	43.5	35.8	17.06	72.5	20.6	3.52
30	78.0	35.3	5.23	67.0	26.0	5.21	63.2	29.4	6.64
平均値	64.9	46.0	10.71	69.5	35.4	7.62	64.4	26.5	6.75
最大値	91.0	77.5	19.42	93.5	56.9	18.63	99.0	47.6	15.40
最小値	45.5	27.5	4.76	39.5	17.7	2.57	40.8	11.3	2.15
標準偏差	13.9	11.4	3.89	15.0	10.8	4.36	14.9	8.1	3.80
変動係数 %	21.4	24.7	36.38	21.6	30.6	57.22	23.1	30.5	56.27

80~40mm

No.	変質度Ⅰ骨材			変質度Ⅱ骨材			変質度Ⅲ骨材		
	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)
1	37.7	39.2	24.91	36.5	31.4	21.28	55.0	2.0	0.58
2	36.0	31.9	22.06	45.2	23.5	10.40	42.0	2.9	1.50
3	35.5	39.2	28.05	24.5	5.9	8.83	22.2	1.5	2.71
4	36.0	33.3	23.05	30.5	16.2	15.69	57.5	16.2	4.40
5	34.2	23.5	18.14	34.5	15.2	11.47	34.0	17.2	13.34
6	50.6	17.7	6.21	45.0	34.3	15.20	12.8	1.5	8.28
7	53.5	39.7	12.45	30.2	16.2	15.98	30.6	8.8	8.45
8	40.0	27.5	15.49	27.5	7.8	9.29	40.5	0.5	0.27
9	50.5	43.1	15.20	34.0	17.7	13.73	48.6	8.8	3.36
10	32.7	40.2	33.83	36.5	25.5	17.26	33.6	11.9	9.45
11	36.0	33.3	23.05	32.5	19.1	16.28	31.7	14.0	12.65
12	44.0	49.5	22.95	31.0	11.8	11.08	34.6	11.5	8.61
13	32.5	18.1	15.40	33.5	28.9	23.24	28.5	10.5	11.67
14	40.5	32.4	17.75	39.1	25.5	15.00	43.6	10.5	4.97
15	38.5	30.9	18.83	46.1	26.0	10.98	28.4	16.9	18.73
16	38.5	27.5	16.67	38.2	28.4	17.55	52.0	15.7	5.23
17	39.6	27.5	15.79	35.0	23.0	20.99	32.3	12.6	10.89
18	33.2	19.1	15.69	30.5	19.6	19.02	29.5	11.4	11.77
19	35.0	21.6	15.79	29.0	16.7	17.85	32.8	11.0	9.15
20	46.5	45.1	18.83	25.1	9.3	13.34	36.0	16.5	11.38
21	56.5	49.2	13.93	32.3	13.7	11.87	27.9	9.1	10.49
22	35.0	25.5	18.63	42.2	24.5	12.36	38.5	10.3	6.27
23	32.6	11.3	9.57	31.5	28.9	26.28	21.6	18.9	17.46
24	33.0	8.8	7.29	45.0	26.0	11.47	31.5	16.4	5.97
25	35.5	27.5	19.61	37.0	24.0	15.79	35.8	8.5	6.00
26	48.3	9.3	3.60	35.0	24.5	17.95	43.0	18.8	9.16
27	34.5	22.6	17.06	37.2	39.7	25.89	38.5	9.6	5.84
28	36.5	17.7	11.96	32.0	17.7	15.59	38.4	9.6	5.88
29	32.3	22.1	19.12	54.5	25.0	7.58	33.5	8.3	6.70
30	29.6	21.6	22.06	31.0	10.3	9.65	37.4	14.2	9.14
平均値	38.8	28.5	17.43	35.4	21.2	15.30	35.7	10.8	8.01
最大値	56.5	49.5	33.83	54.5	39.7	26.28	57.5	18.9	18.73
最小値	29.6	8.8	3.60	24.5	5.9	7.58	12.8	0.5	0.27
標準偏差	6.9	11.0	6.21	6.7	7.9	4.79	9.5	5.2	4.37
変動係数 %	17.7	38.5	35.65	18.8	37.3	31.31	26.5	47.5	54.57

40~20mm

No.	變質度Ⅰ骨材			變質度Ⅱ骨材			變質度Ⅲ骨材		
	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	載荷点 間距離 (mm)	破壊荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)
1	24.0	10.3	15.98	22.5	7.5	13.14	19.5	7.4	17.46
2	18.1	9.9	26.97	26.4	7.6	9.71	21.5	2.9	5.76
3	20.0	10.4	23.44	18.0	8.2	23.14	22.0	9.7	18.24
4	23.0	8.5	14.51	21.6	7.6	14.42	33.4	6.4	5.12
5	20.7	8.8	18.44	26.4	13.9	17.95	23.4	6.4	10.40
6	24.0	13.9	21.57	20.0	8.4	19.02	21.5	11.5	22.46
7	35.0	12.2	8.89	19.3	6.6	15.98	32.5	6.6	5.58
8	31.5	14.6	13.24	19.4	5.0	11.87	22.0	5.1	9.56
9	31.5	14.6	13.24	28.0	8.1	9.39	30.3	9.8	9.59
10	21.5	15.9	31.09	17.5	9.0	26.18	17.3	11.8	35.30
11	22.5	9.5	16.77	19.5	7.6	17.85	45.0	5.1	2.27
12	29.6	8.6	8.83	22.5	6.9	12.16	23.9	6.7	10.49
13	22.0	11.1	20.79	27.5	4.4	5.23	25.5	6.3	8.69
14	34.7	15.2	11.38	33.3	12.5	10.10	26.0	6.4	8.43
15	23.9	7.0	10.98	30.5	9.0	8.73	23.2	9.8	16.38
16	23.5	7.0	11.38	27.2	7.1	8.59	23.1	1.3	2.17
17	29.5	16.5	17.06	23.0	10.3	17.46	31.6	2.7	2.47
18	32.5	9.5	8.08	25.0	7.6	10.89	22.4	4.9	8.83
19	27.0	10.6	13.04	26.6	3.7	4.73	26.6	5.2	6.59
20	28.4	9.0	10.00	27.3	9.6	11.57	32.0	6.9	6.06
21	22.0	8.5	15.98	19.0	6.7	16.67	28.6	4.8	5.28
22	20.0	8.1	18.34	22.0	5.9	11.08	32.6	8.5	7.25
23	18.0	9.4	26.48	29.5	6.4	6.59	28.6	6.9	7.53
24	18.4	8.6	22.85	26.2	4.9	6.39	27.5	13.5	15.98
25	21.0	9.5	19.42	23.2	6.0	10.00	23.2	4.8	8.01
26	19.3	10.1	24.61	22.1	7.3	13.34	30.5	4.8	4.65
27	15.3	9.3	36.48	20.3	4.9	10.79	25.0	6.1	8.69
28	20.5	9.9	21.18	21.5	3.6	7.10	25.1	4.8	6.86
29	17.4	6.2	18.53	26.5	9.4	12.06	24.2	4.2	6.43
30	14.0	6.2	27.85	17.5	9.3	27.07	23.6	8.3	13.44
平均值	23.6	10.3	18.25	23.6	7.5	12.97	26.4	6.6	9.87
最大值	35.0	16.5	36.48	33.3	13.9	27.07	45.0	13.5	35.30
最小值	14.0	6.2	8.08	17.5	3.6	4.73	17.3	1.3	2.17
標準偏差	5.6	2.8	6.95	4.1	2.3	5.62	5.4	2.7	6.76
変動係數 %	23.6	26.8	38.09	17.3	30.7	43.34	20.4	40.8	68.56

2. 破碎試験結果

(1) 破碎値および粒度分布

単粒度骨材40~25mm (大)

試料		40~25(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		160			
破碎値(%)		—	17.4	17.6	20.8
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm	100	100	100	100
	30mm	—	84	90	90
	25mm	0	70	76	78
	20mm		50	52	58
	15mm		42	44	50
	10mm		28	30	34
	◎5mm		18	18	21
	2.5mm		12	11	14
粗粒率		8	6.89	6.73	6.64

単粒度骨材20~15mm

試料		20~15(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		40			
破碎値(%)		—	13.7	13.9	15.2
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm				
	30mm				
	25mm	100	100	100	100
	20mm	0	87	84	84
	15mm		45	45	47
	10mm		23	24	25
	◎2.5mm		13	13	15
	1.7mm				
粗粒率			6.19	6.18	6.13

単粒度骨材80~5mm

試料		80~5(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		160			
破碎値(%)		—	17.0	18.5	22.0
粒 度 分 布	80mm	100	100	100	100
	60mm		90	92	96
	50mm		83	83	89
	40mm	70	77	78	82
	30mm		74	72	76
	25mm		68	66	70
	20mm	40	58	58	60
	15mm		52	52	55
	10mm	15	35	36	40
	5mm	0	17	18	22
	◎2.5mm		10	10	12
粗粒率		7.75	7.03	7.00	6.84

単粒度骨材25~20mm

試料		25~20(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		160			
破碎値(%)		—	19.6	19.8	22.2
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm				
	30mm				
	25mm	100	100	100	100
	20mm	0	70	83	83
	15mm		56	57	59
	10mm		34	35	38
	◎5mm		20	20	22
	2.5mm		12	12	14
粗粒率		8.00	6.64	6.60	6.53

単粒度骨材15~10mm

試料		15~10(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		40			
破碎値(%)		—	10.4	15.3	15.7
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm				
	30mm				
	25mm				
	20mm				
	15mm	100	100	100	100
	10mm	0	52	62	60
	5mm		20	27	28
	◎2.5mm		10	15	15
粗粒率			6.18	5.96	5.97

単粒度骨材40~5mm

試料		40~5(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		160			
破碎値(%)		—	21.0	22.0	26.0
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm	100	100	100	100
	30mm		90	90	92
	25mm		82	84	84
	20mm	50	70	72	73
	15mm		63	66	68
	10mm	20	42	43	51
	5mm	0	21	22	26
	◎2.5mm		12	12	15
粗粒率		7.30	6.55	6.51	6.35

単粒度骨材40~25mm (小)

試料		40~25(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		40			
破碎値(%)		—	17.4	17.6	20.8
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm	100	100	100	100
	30mm	—	92	92	93
	25mm	0	80	72	78
	20mm		54	58	64
	15mm		48	51	56
	10mm		32	32	40
	◎5mm		18	20	24
	2.5mm		12	12	16
粗粒率		8	6.84	6.78	6.56

単粒度骨材10~5mm

試料		10~5(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		40			
破碎値(%)		—	17.7	16.0	17.3
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm				
	30mm				
	25mm				
	20mm				
	15mm				
	10mm	100	100	100	100
	5mm	0	49	46	48
	2.5mm		24	21	23
粗粒率		6.00	5.27	5.33	5.29

単粒度骨材20~5mm

試料		20~5(mm)	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
載荷重(t)		40			
破碎値(%)		—	15.7	16.0	17.5
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm				
	30mm				
	25mm				
	20mm	100	100	100	100
	15mm		90	92	93
	10mm	40	62	63	64
	5mm	0	30	31	34
	◎2.5mm		16	16	18
粗粒率		6.60	5.92	5.90	5.84

(2) 試験前の試料高さおよび実積率

骨材種類		荷重 (kN)	粒径の範囲 (mm)		質量 (g)	試験前の試料高さ(mm)					比重	実積率
						①	②	③	④	平均		
I	単粒度	大 (1569)	40~25	1回目	22698	202	203	208	205	204.5	2.66	0.5711
				2回目	21268	203	201	209	201	203.5	2.66	0.5378
			25~20	1回目	21295	201	202	202	201	201.5	2.66	0.5438
				2回目	21470	201	203	201	201	201.5	2.66	0.5483
		小 (392)	40~25	1回目	2648.5	105	106	106	106	105.8	2.66	0.5189
				2回目	2673.7	100	99	102	101	100.5	2.66	0.5512
			20~15	1回目	2619.4	99	102	102	101	101.0	2.66	0.5373
				2回目	2600.1	99	100	100	100	99.8	2.66	0.54
			15~10	1回目	2627.2	97	98	99	98	98.0	2.66	0.5554
				2回目	2628.1	97	99	101	99	99.0	2.66	0.55
			10~5	1回目	2599.1	85	84	84	84	84.3	2.66	0.6391
				2回目	2579.0	83	84	87	85	84.8	2.66	0.6305
	連続粒度	大 (1569)	80~5	1回目	23665	201	197	201	201	200.0	2.66	0.6088
				2回目	23603	204	198	201	202	201.3	2.66	0.6035
			40~5	1回目	23350	208	203	202	205	204.5	2.66	0.5875
				2回目	23562	214	212	207	211	211.0	2.66	0.5746
		小 (392)	20~5	1回目	2743.3	102	103	104	103	103.0	2.66	0.5518
				2回目	2741.7	99	99	100	100	99.5	2.66	0.5709
II	単粒度	大 (1569)	40~25	1回目	21249	203	207	207	202	204.8	2.66	0.534
				2回目	21457	204	203	194	196	199.3	2.66	0.5541
			25~20	1回目	21950	211	204	201	207	205.8	2.66	0.5489
				2回目	21323	199	200	201	200	200.0	2.66	0.5486
		小 (392)	40~25	1回目	2562.5	97	95	98	98	97.0	2.66	0.5473
				2回目	2582.8	94	94	96	96	95.0	2.66	0.5633
			20~15	1回目	2605.6	97	100	100	97	98.5	2.66	0.548
				2回目	2652.2	102	103	105	103	103.3	2.66	0.5322
			15~10	1回目	2658.3	98	101	101	99	99.8	2.66	0.5521
				2回目	2617	98	98	100	98	98.5	2.66	0.5504
			10~5	1回目	2602.3	98	99	99	99	98.8	2.66	0.546
				2回目	2612.2	99	100	100	100	99.8	2.66	0.5425
	連続粒度	大 (1569)	80~5	1回目	23782	202	204	203	202	202.8	2.66	0.6036
				2回目	23441	199	203	206	202	202.5	2.66	0.5956
			40~5	1回目	22546	199	202	204	201	201.5	2.66	0.5757
				2回目	22534	205	202	198	200	201.3	2.66	0.5761
		小 (392)	20~5	1回目	2713.6	99	100	100	100	99.8	2.66	0.5636
				2回目	2734.8	99	100	101	101	100.3	2.66	0.5652
III	単粒度	大 (1569)	40~25	1回目	21080	197	205	208	200	202.5	2.64	0.5397
				2回目	21039	203	198	200	204	201.3	2.64	0.542
			25~20	1回目	20711	199	196	197	199	197.8	2.63	0.5451
				2回目	21070	201	206	203	198	202.0	2.63	0.5428
		小 (392)	40~25	1回目	2525.2	94	96	100	97	96.8	2.64	0.5448
				2回目	2552.1	100	98	99	102	99.8	2.64	0.5341
			20~15	1回目	2584.5	103	100	102	102	101.8	2.63	0.5322
				2回目	2568.5	97	99	100	98	98.5	2.63	0.5464
			15~10	1回目	2475.5	94	94	95	96	94.8	2.63	0.5475
				2回目	2587.3	97	97	99	98	97.8	2.63	0.5546
			10~5	1回目	2612	100	100	99	100	99.8	2.62	0.5508
				2回目	2616.2	95	97	97	96	96.3	2.62	0.5717
	連続粒度	大 (1569)	80~5	1回目	23438	204	211	209	202	206.5	2.63	0.5907
				2回目	23964	207	203	203	208	205.3	2.63	0.6076
			40~5	1回目	22572	201	205	204	201	202.8	2.63	0.5794
				2回目	23070	201	208	207	200	204.0	2.63	0.5885
		小 (392)	20~5	1回目	2686.1	99	100	101	101	100.3	2.62	0.5636
				2回目	2693.2	100	102	103	102	101.8	2.62	0.5567

(3) 沈下量 (その1)

骨材40~25mm (大)

栈荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.3	0.3	0.8	0.6	0.6	0.7
20	0.6	0.9	2.3	1.2	1.8	1.8
29	1.4	1.7	3.1	1.6	3.0	2.6
39	2.2	2.9	3.5	2.2	4.3	3.3
49	2.8	3.8	4.2	2.8	5.3	3.8
59	3.4	4.4	4.6	3.3	5.9	4.7
69	4.0	5.0	5.1	3.8	7.0	5.7
78	4.4	5.5	5.9	4.3	7.5	6.3
88	4.8	6.1	6.5	4.8	8.5	7.1
98	5.3	6.9	7.2	5.3	9.3	7.5
118	6.3	8.0	7.8	6.5	10.7	8.7
137	7.6	8.9	9.6	7.3	12.3	9.7
157	8.3	10.2	10.8	8.5	13.7	11.4
177	9.5	11.2	11.8	9.7	15.5	12.8
196	10.7	12.1	13.2	10.6	16.9	14.5
216	11.7	12.8	14.3	11.6	18.4	16.0
235	12.3	14.2	15.7	13.0	19.7	17.7
255	13.4	15.4	17.0	13.7	21.2	19.3
275	14.6	16.2	18.2	14.5	23.1	20.5
294	15.1	17.0	19.6	15.9	24.7	21.4
314	15.8	18.3	21.0	16.5	26.0	22.6
333	17.2	19.2	21.7	17.5	27.0	24.2
353	18.6	20.3	24.0	18.3	28.3	24.8
373	19.7	21.2	25.2	19.1	29.9	26.1
392	20.6	22.2	26.7	20.1	31.2	27.3
441	22.6	24.5	27.8	23.0	33.9	30.3
490	25.4	27.1	29.8	24.5	37.1	32.8
539	27.2	29.5	32.1	26.8	39.4	35.0
588	28.9	31.3	34.3	29.1	41.6	36.7
637	31.0	33.5	36.7	31.2	43.6	38.7
686	32.5	35.0	39.2	33.2	45.4	40.6
735	34.7	37.4	41.3	34.6	47.0	42.1
785	36.0	38.6	43.1	36.1	48.3	43.5
834	37.6	40.3	44.5	38.1	49.6	45.2
883	38.9	41.4	46.1	40.1	50.6	46.3
932	40.1	42.9	47.4	41.2	51.7	47.8
981	41.5	43.9	48.7	42.3	52.6	49.1
1030	42.5	45.6	49.7	43.4	53.4	50.3
1079	43.2	46.8	50.9	44.4	54.6	51.4
1128	44.3	47.7	52.0	45.3	55.6	52.5
1177	45.2	48.7	52.7	46.1	56.4	53.3
1226	46.4	49.6	53.7	47.0	57.3	54.1
1275	47.2	50.5	54.5	48.0	58.1	54.9
1324	48.0	51.3	55.3	48.9	58.8	55.5
1373	48.8	52.1	56.0	49.5	59.8	56.1
1422	49.7	52.8	56.9	50.1	60.5	56.7
1471	50.4	53.6	58.0	50.7	61.2	57.3
1520	51.0	54.2	58.6	51.3	61.7	58.0
1569	51.7	54.7	59.0	51.8	62.2	58.7

骨材25~20mm

栈荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1.0	0.6	1.0	0.5	0.8	1.0
20	1.7	1.2	1.5	1.2	1.0	2.0
29	2.5	1.8	2.3	1.9	1.5	2.9
39	3.2	2.4	2.8	2.4	2.2	3.8
49	3.8	2.9	3.5	3.2	2.8	4.4
59	4.6	3.4	4.2	3.8	3.7	5.1
69	5.3	4.1	4.6	4.4	4.5	5.8
78	5.8	4.5	5.2	5.1	5.4	6.6
88	6.5	5.0	5.8	5.7	6.0	7.2
98	7.1	5.4	6.5	6.3	6.7	7.9
118	7.8	6.4	7.6	7.3	8.3	9.3
137	8.7	6.8	8.6	8.5	9.4	10.1
157	10.1	7.7	9.7	9.5	10.6	11.0
177	11.2	8.5	11.1	10.8	11.7	12.3
196	12.3	9.4	12.1	11.7	13.3	13.5
216	13.6	10.3	13.4	12.9	14.7	14.8
235	15.1	11.5	14.4	13.8	15.9	15.8
255	16.0	12.5	15.5	15.4	16.9	17.2
275	17.2	13.9	16.8	16.5	18.3	18.4
294	18.4	14.8	17.9	17.3	19.6	19.5
314	19.6	15.6	19.1	18.1	20.7	20.6
333	20.8	17.0	20.1	19.4	22.0	21.8
353	21.6	17.8	22.0	20.4	23.1	22.9
373	22.6	18.5	23.0	22.2	24.6	23.7
392	23.5	19.2	23.8	24.8	25.9	24.8
441	25.6	21.6	26.0	26.7	28.4	26.0
490	28.5	23.9	28.1	29.1	31.1	28.2
539	30.8	25.9	30.5	30.8	33.1	30.4
588	33.0	27.8	32.7	32.5	35.4	32.7
637	34.9	29.6	34.7	34.5	37.0	34.7
686	36.9	31.7	36.2	36.4	38.8	36.5
735	38.3	33.7	38.0	38.0	40.2	38.5
785	39.6	34.9	39.2	39.2	41.9	40.1
834	40.8	36.4	40.6	40.6	43.4	41.4
883	42.0	37.8	42.3	41.7	44.8	42.6
932	43.4	39.6	43.5	42.9	45.9	43.9
981	44.6	41.0	44.6	44.2	46.9	45.2
1030	45.9	42.7	46.1	45.2	48.4	46.3
1079	47.0	43.5	47.2	46.2	49.4	47.4
1128	47.9	44.5	48.2	47.2	50.1	48.4
1177	48.7	45.3	49.2	48.1	50.9	49.4
1226	49.6	46.7	50.1	49.0	51.6	50.2
1275	50.5	47.3	51.2	49.8	52.5	51.0
1324	51.2	48.0	52.0	50.4	53.3	51.8
1373	52.0	48.9	52.7	51.1	53.8	52.5
1422	52.5	49.6	53.5	51.7	54.7	53.1
1471	53.3	50.3	54.3	52.4	55.4	54.2
1520	54.0	51.0	54.9	53.0	56.0	54.8
1569	54.5	51.6	55.5	62.2	56.6	55.3

(3) 沈下量 (その2)

骨材40~25mm (小)

被荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1.1	1.2	1.2	1.1	1.9	0.9
20	2.4	2.4	1.9	1.9	3.5	3.9
29	3.9	3.4	3.0	2.7	4.5	6.5
39	5.6	3.9	3.9	3.3	5.8	8.2
49	7.2	6.3	5.7	4.5	6.3	9.1
59	8.8	6.9	6.3	5.3	8.1	10.3
69	9.5	7.4	6.9	6.6	10.0	11.9
78	12.2	8.1	8.7	7.5	12.2	12.5
88	12.9	9.6	9.4	8.4	13.1	14.5
98	14.7	10.1	10.9	9.6	13.9	15.3
118	16.2	12.7	11.9	11.1	17.0	18.0
137	17.6	13.9	12.9	12.3	20.4	22.0
157	19.6	15.2	14.5	13.7	21.7	22.9
177	20.7	16.3	16.7	15.4	23.0	24.0
196	21.5	18.0	18.2	17.8	24.3	25.1
245	22.7	22.1	22.3	20.0	26.5	27.2
294	24.8	24.1	24.3	21.7	28.3	29.4
343	26.4	26.5	26.2	23.5	29.5	31.1
392	28.2	27.9	27.7	24.8	30.7	32.6

骨材20~15mm 沈下量平均

被荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	2.6	3.3	1.6	3.3	2.5	3.8
20	4.6	4.6	2.7	5.2	4.2	5.3
29	6.2	5.8	3.9	6.4	5.7	6.9
39	7.5	7.2	5.0	7.7	7.1	8.0
49	8.4	8.1	6.1	9.0	8.3	9.1
59	9.6	9.2	7.2	10.6	9.8	10.4
69	11.0	10.1	7.9	11.7	10.9	11.3
78	11.7	11.3	8.7	12.7	12.2	12.2
88	12.8	12.1	9.7	13.9	13.8	13.5
98	13.7	13.0	10.8	15.0	14.5	14.4
118	15.1	15.1	13.0	17.5	16.5	16.4
137	16.9	16.3	14.3	18.7	18.7	17.9
157	18.1	17.6	15.7	20.0	20.1	19.8
177	19.6	19.1	17.4	21.4	21.4	21.4
196	21.1	20.6	18.5	22.4	22.7	22.2
245	23.6	23.2	21.0	23.5	25.1	24.8
294	25.5	25.1	23.3	26.9	27.3	26.7
343	27.1	26.6	25.0	28.5	28.9	28.3
392	28.4	28.2	26.4	29.8	30.3	29.5

骨材15~10mm

被荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1.9	1.8	2.3	2.3	3.3	2.5
20	3.1	2.9	3.7	3.8	4.9	3.9
29	4.3	3.9	5.2	5.2	6.2	4.9
39	5.4	5.0	6.1	6.3	7.3	6.3
49	6.2	6.1	7.2	7.3	8.7	7.3
59	7.1	7.1	8.4	8.2	9.7	8.3
69	8.0	8.2	9.3	9.3	10.7	9.4
78	9.2	9.0	10.4	10.2	12.0	10.7
88	10.0	10.0	11.6	11.1	12.9	11.8
98	11.3	11.0	12.3	12.0	13.9	12.6
118	12.7	12.6	14.0	13.7	15.9	14.4
137	14.3	14.3	15.7	15.3	17.6	16.3
157	15.6	15.6	17.0	16.9	19.2	17.7
177	17.0	16.7	18.5	18.2	20.5	19.1
196	18.1	18.3	19.6	19.3	21.5	20.3
245	20.7	20.5	22.1	21.9	23.8	23.0
294	22.7	22.5	24.2	24.3	25.8	24.8
343	24.3	24.3	25.8	25.6	27.4	26.5
392	25.6	25.8	27.0	26.9	28.5	27.7

骨材10~5mm

被荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1.7	1.6	2.5	2.4	2.7	1.0
20	2.0	2.8	3.8	3.7	4.2	2.4
29	3.3	4.0	4.9	5.0	5.6	3.5
39	4.3	5.1	6.1	6.2	6.8	4.9
49	5.3	6.2	7.2	7.2	8.1	5.9
59	6.2	7.1	8.3	8.2	9.3	6.9
69	7.2	8.1	9.2	9.2	10.3	8.0
78	8.3	9.8	10.2	10.2	11.2	9.1
88	9.2	10.8	11.2	11.0	12.3	10.0
98	10.2	11.6	12.1	11.9	13.1	10.8
118	11.7	12.5	13.7	13.5	15.3	12.7
137	13.0	14.1	15.2	15.0	16.9	14.3
157	14.4	15.5	16.6	16.4	18.1	15.7
177	15.5	16.8	17.7	17.6	19.4	16.9
196	16.7	17.9	18.8	18.8	20.7	18.2
245	19.1	20.3	21.3	21.4	23.1	20.5
294	20.9	22.2	23.2	23.2	24.9	22.5
343	22.6	23.7	24.8	24.9	26.6	24.1
392	24.3	25.1	26.2	26.3	27.8	25.4

(3) 沈下量 (その3)

骨材80~5mm

載荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.7	0.5	1.1	1.0	1.3	0.6
20	1.4	1.1	1.9	2.3	3.0	1.4
29	2.0	1.8	2.7	3.1	3.9	2.2
39	2.8	2.6	3.7	4.0	5.2	3.2
49	3.3	2.9	4.2	4.7	6.0	3.7
59	3.8	3.6	4.8	5.4	6.7	4.6
69	4.3	4.2	5.5	6.1	7.8	5.1
78	4.9	4.8	6.3	6.7	8.4	5.8
88	5.5	5.3	6.8	7.2	9.1	6.3
98	6.1	5.7	7.4	8.0	9.9	7.0
118	7.1	6.8	8.7	9.0	11.5	8.2
137	8.3	7.7	9.7	10.2	12.9	9.4
157	9.3	8.8	10.7	11.4	14.4	10.7
177	10.3	9.9	12.0	12.7	15.6	11.7
196	11.3	10.8	13.0	13.5	16.8	12.9
216	12.0	11.6	14.3	14.4	18.2	13.9
235	13.2	12.3	15.3	15.2	19.5	15.2
255	14.3	13.1	16.4	16.6	20.8	16.3
275	15.1	13.8	17.2	17.5	21.8	17.1
294	15.9	14.8	18.0	18.5	22.7	18.1
314	16.6	15.7	18.8	19.3	23.7	19.3
333	17.4	17.0	19.6	20.2	24.6	20.0
353	18.5	17.6	20.7	21.2	25.6	20.7
373	19.1	18.3	21.3	21.9	26.5	21.4
392	19.8	19.0	22.0	22.6	27.2	22.1
441	21.3	20.4	23.8	24.5	29.4	23.8
490	23.0	22.2	25.6	26.4	31.4	25.6
539	24.2	23.9	27.2	27.8	33.3	27.0
588	25.7	25.3	28.5	29.4	34.9	28.6
637	27.3	26.5	30.0	30.6	36.2	29.9
686	28.2	27.7	31.1	31.9	37.7	31.1
735	29.3	28.7	32.5	33.0	39.0	32.4
785	30.3	29.7	33.6	34.1	40.0	33.1
834	31.2	30.7	34.4	35.1	41.1	34.1
883	32.2	31.5	35.4	36.2	42.1	35.2
932	33.0	32.3	36.3	37.3	43.3	36.4
981	34.0	33.2	37.2	38.5	44.3	37.2
1030	34.8	34.0	38.2	39.3	45.3	38.0
1079	35.7	34.7	39.0	40.2	46.0	38.9
1128	36.3	35.5	40.0	41.0	46.8	39.7
1177	37.0	36.1	40.6	41.7	47.6	40.4
1226	37.7	36.8	41.3	42.4	48.5	41.9
1275	38.3	37.4	42.0	43.0	49.3	42.6
1324	38.9	38.0	42.6	43.6	49.9	43.3
1373	39.5	38.6	43.2	44.2	50.6	43.9
1422	40.1	39.0	43.9	44.7	51.2	44.5
1471	40.7	39.6	44.5	45.3	51.8	45.2
1520	41.2	40.1	45.0	45.8	52.2	45.6
1569	41.8	40.6	45.5	46.3	52.7	46.0

骨材40~5mm

載荷荷重 (kN)	沈下量 平均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.6	0.7	0.2	1.0	0.3	0.3
20	1.4	1.3	0.5	1.9	1.3	0.7
29	2.2	2.1	1.2	2.9	2.5	1.5
39	3.0	2.7	1.9	3.6	3.3	2.2
49	3.4	3.3	2.6	4.2	4.3	3.1
59	4.1	4.0	3.5	4.8	5.2	3.8
69	4.7	4.5	4.1	5.6	5.9	4.6
78	5.3	5.2	4.7	6.2	6.7	5.4
88	6.0	5.7	5.3	6.8	7.4	6.0
98	6.5	6.1	6.0	7.5	8.1	6.6
118	7.6	7.1	7.0	8.6	9.7	8.2
137	8.7	8.2	8.2	9.8	11.2	9.6
157	9.9	9.1	9.3	10.9	12.5	11.0
177	10.6	10.1	10.5	12.3	13.9	12.1
196	11.7	11.2	11.9	13.3	15.0	13.2
216	12.7	12.1	12.8	14.5	16.3	14.4
235	13.7	13.0	14.1	15.6	17.2	15.5
255	14.8	14.0	15.0	16.6	18.3	16.7
275	15.6	15.0	16.1	17.6	19.2	17.6
294	16.4	16.0	17.0	18.5	20.4	18.7
314	17.0	16.9	18.0	19.3	21.4	19.7
333	18.1	17.9	19.0	20.4	22.4	20.7
353	18.9	18.7	19.7	21.0	23.4	21.6
373	19.8	19.8	20.7	21.8	24.5	22.5
392	20.6	20.5	21.4	22.8	25.2	23.4
441	22.8	22.5	23.8	24.7	27.1	25.9
490	24.6	24.3	25.4	26.7	29.2	27.7
539	26.4	26.0	27.1	28.4	31.0	29.5
588	27.8	27.6	28.6	30.0	32.7	31.0
637	29.6	29.1	30.1	31.5	34.1	32.5
686	31.0	30.6	31.6	32.8	35.6	33.9
735	32.2	31.8	32.9	34.2	36.9	35.2
785	33.5	33.3	34.1	35.5	38.2	36.4
834	34.6	34.5	35.5	36.7	39.4	37.6
883	35.8	35.6	36.5	37.9	40.6	38.7
932	37.0	36.8	37.8	39.0	41.7	39.8
981	38.0	37.8	38.9	40.0	42.8	40.8
1030	38.9	38.8	40.0	41.0	43.8	41.7
1079	39.8	39.7	40.9	41.9	44.7	42.6
1128	40.9	40.9	41.8	42.7	45.6	43.5
1177	41.8	41.7	42.8	43.5	46.3	44.2
1226	42.6	42.5	43.6	44.4	47.0	45.1
1275	43.3	43.2	44.3	45.2	47.8	45.9
1324	44.0	43.9	45.0	45.9	48.4	46.5
1373	44.7	44.7	45.6	46.6	49.1	47.2
1422	45.4	45.4	46.5	47.3	49.8	47.8
1471	46.1	46.0	47.1	47.9	50.3	48.4
1520	46.6	46.6	47.7	48.5	50.9	49.0
1569	47.1	47.3	48.3	49.1	51.5	49.4

(3) 沈下量 (その4)

骨材20~5mm

積荷荷重 (kN)	沈 下 量 平 均 (mm)					
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	3.4	1.8	4.6	3.1	4.2	4.5
20	4.8	3.0	5.3	4.6	5.8	6.2
29	6.1	4.2	6.4	5.7	7.4	7.5
39	7.1	5.4	7.7	7.2	8.7	9.1
49	8.4	6.4	8.7	8.1	9.8	10.6
59	9.5	7.3	9.7	9.3	10.7	11.6
69	10.5	8.3	10.9	10.2	12.0	12.9
78	11.3	9.3	11.6	11.1	12.9	13.9
88	12.2	10.1	12.7	12.3	14.0	14.9
98	12.9	11.0	13.5	13.1	14.8	15.8
118	14.8	12.4	15.0	14.6	16.5	17.7
137	16.2	13.8	16.5	16.0	18.0	19.2
157	17.5	15.0	17.8	17.2	19.3	20.7
177	18.8	16.1	18.9	18.5	20.5	22.1
196	19.8	17.5	19.9	19.6	21.6	22.9
245	22.0	19.6	22.2	21.9	23.9	25.4
294	24.0	20.9	24.0	23.7	26.3	27.2
343	25.5	22.7	25.5	25.3	27.3	28.6
392	26.6	24.1	26.8	26.4	28.6	30.0

(4) 応力-ひずみ回帰結果
 破砕試験 1回目

材料の種類	粒度範囲	最大荷重	破砕値	粗粒率	回 帰 結 果						
					初期接線 弾性係数	最終 ひずみ	相関係数	5N/mm ² 時		10N/mm ² 時	
								接線弾 性係数 (N/mm ²)	ひずみ (%)	接線弾 性係数 (N/mm ²)	ひずみ (%)
	(mm)	(kN)	(%)	(%)	(N/mm ²)	(%)		(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%)
I	40~25	1569	17.4	6.89	74.6	52.8	0.999	94.8	5.9	117.3	10.7
	40~25	392	18.4	6.84	56.2	42.1	0.995	82.4	7.3	113.7	12.5
	25~20	1569	19.6	6.64	62.5	48.9	0.999	84.6	6.9	110.1	12.1
	20~15	392	13.7	6.19	49.3	42.4	0.999	75.7	8.2	107.7	13.7
	15~10	392	15.3	5.96	64.5	46.8	0.999	87.7	6.6	114.3	11.6
	10~5	392	17.7	5.27	55.9	55.1	0.999	75.5	7.7	98.1	13.5
	80~5	1569	17.0	7.03	64.5	33.8	0.999	97.5	6.3	137.3	10.6
	40~5	1569	21.0	6.55	66.7	40.2	0.999	93.9	6.3	125.7	10.9
II	20~5	392	15.7	5.92	48.8	37.4	0.998	79.2	8.0	116.9	13.2
	40~25	1569	17.6	6.73	61.3	53.5	0.999	81.5	7.1	104.4	12.5
	40~25	392	12.4	6.78	78.7	70.5	0.998	93.6	5.8	109.7	10.8
	25~20	1569	19.8	6.60	65.8	51.0	0.999	86.9	6.6	110.8	11.7
	20~15	392	13.9	6.18	68.5	51.3	0.999	89.4	6.4	113.0	11.4
	15~10	392	15.7	5.97	56.8	45.0	0.999	81.2	7.4	110.0	12.7
	10~5	392	16.0	5.33	57.5	42.9	0.999	83.1	7.2	113.5	12.4
	80~5	1569	18.5	7.00	55.2	34.1	0.999	88.5	7.2	129.5	11.8
III	40~5	1569	22.0	6.51	65.8	42.0	0.999	91.8	6.4	122.0	11.2
	20~5	392	16.0	5.90	43.1	37.2	0.995	74.2	8.8	113.6	14.3
	40~25	1569	20.8	6.64	44.4	48.2	0.999	67.6	9.1	95.6	15.3
	40~25	392	15.4	6.56	48.8	56.5	0.993	68.1	8.7	90.6	15.0
	25~20	1569	22.2	6.53	56.8	50.7	0.999	78.3	7.5	103.1	13.1
	20~15	392	15.2	6.13	49.5	47.5	0.999	72.8	8.3	100.6	14.2
	15~10	392	16.8	5.96	43.5	45.0	0.999	68.5	9.2	99.3	15.2
	10~5	392	17.3	5.29	49.5	43.0	0.999	75.5	8.2	106.9	13.7
	80~5	1569	22.0	6.84	43.5	36.6	0.999	75.1	8.8	115.3	14.1
	40~5	1569	26.0	6.35	50.5	38.8	0.999	79.6	7.9	115.2	13.1
	20~5	392	17.5	5.84	38.5	39.0	0.996	68.4	9.8	106.8	15.6

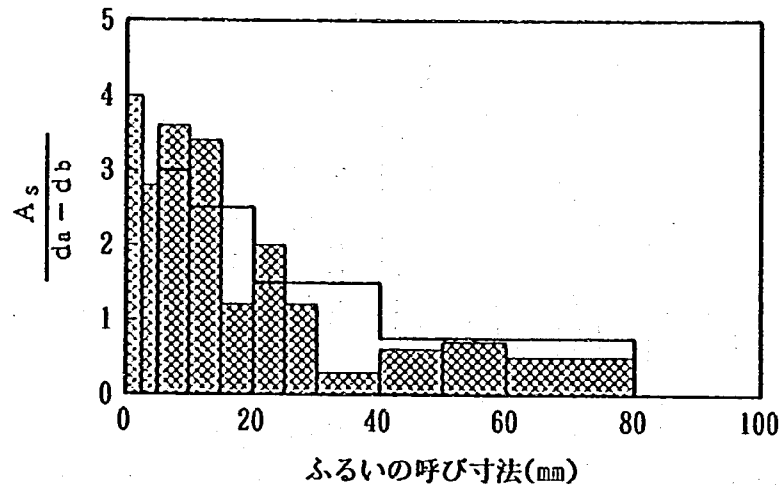
破砕試験 2回目

材の種別	粒度範囲	最大荷重	破砕値	粗粒率	回 帰 結 果						
					初期接線 弾性係数	最終 ひずみ	相関係数	5N/mm ² 時		10N/mm ² 時	
								接線弾 性係数	ひずみ	接線弾 性係数	ひずみ
	(mm)	(kN)	(%)	(%)	(N/mm ²)	(%)		(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%)
I	40~25	1569	17.4	6.89	68.5	53.2	0.999	88.6	6.4	111.2	11.5
	40~25	392	18.4	6.84	78.1	64.5	0.999	94.4	5.8	112.2	10.7
	25~20	1569	19.6	6.64	82.0	58.8	0.999	99.9	5.5	119.5	10.1
	20~15	392	13.7	6.19	51.5	43.7	0.998	77.0	7.9	107.5	13.4
	15~10	392	15.3	5.96	69.0	48.8	0.999	91.0	6.3	116.0	11.2
	10~5	392	17.7	5.27	47.8	50.7	0.999	69.6	8.7	95.4	14.8
	80~5	1569	17.0	7.03	67.6	32.9	0.999	101.4	6.0	142.0	10.2
	40~5	1569	21.0	6.55	75.2	41.7	0.999	101.1	5.7	130.8	10.1
II	20~5	392	15.7	5.92	62.1	39.9	0.999	89.7	6.7	122.4	11.5
	40~25	1569	17.6	6.73	74.1	55.5	0.999	93.2	6.0	114.5	10.9
	40~25	392	12.4	6.78	80.0	61.4	0.997	97.1	5.7	115.9	10.4
	25~20	1569	19.8	6.60	65.4	52.7	0.997	85.7	6.7	108.8	11.9
	20~15	392	13.9	6.18	47.4	38.4	0.998	77.0	8.3	113.8	13.6
	15~10	392	15.7	5.97	57.5	46.0	0.999	81.3	7.3	109.2	12.6
	10~5	392	16.0	5.33	59.9	43.6	0.999	85.0	7.0	114.5	12.1
	80~5	1569	18.5	7.00	53.8	34.5	0.999	86.7	7.3	127.4	12.1
III	40~5	1569	22.0	6.51	57.8	39.1	0.999	86.2	7.1	120.3	12.0
	20~5	392	16.0	5.90	11.9	38.8	0.998	51.6	20.2	119.3	26.6
	40~25	1569	20.8	6.64	60.2	53.3	0.999	80.5	7.2	103.6	12.7
	40~25	392	15.4	6.56	42.9	51.1	0.997	64.7	9.5	91.0	16.0
	25~20	1569	22.2	6.53	59.9	47.6	0.999	82.7	7.1	109.3	12.4
	20~15	392	15.2	6.13	42.7	44.0	0.998	68.5	9.2	100.3	15.3
	15~10	392	16.8	5.96	53.5	47.1	0.999	76.8	7.8	104.4	13.4
	10~5	392	17.3	5.29	63.3	48.5	0.999	85.6	6.8	111.2	11.9
	80~5	1569	22.0	6.84	57.1	34.8	0.999	89.5	7.0	129.1	11.6
	40~5	1569	26.0	6.35	56.5	39.3	0.999	84.8	7.2	118.8	12.2
	20~5	392	17.5	5.84	36.0	39.4	0.997	65.8	10.3	104.6	16.3

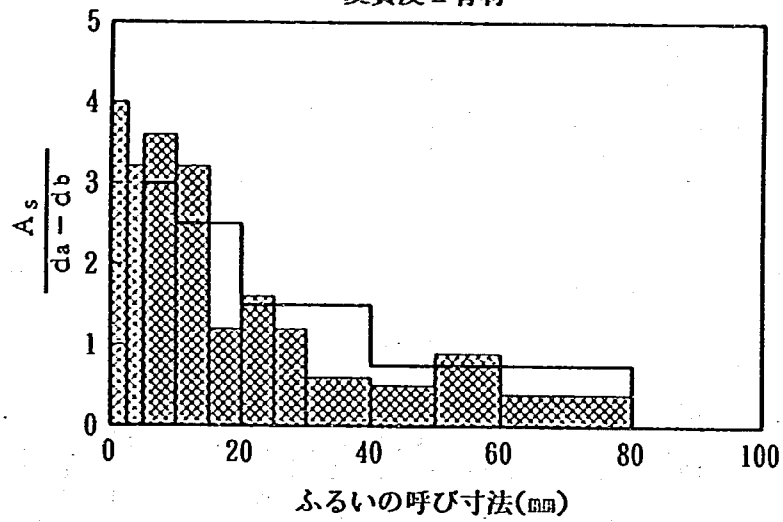
(5) 粒度変化 (その1)

粒径の範囲 80~5mm

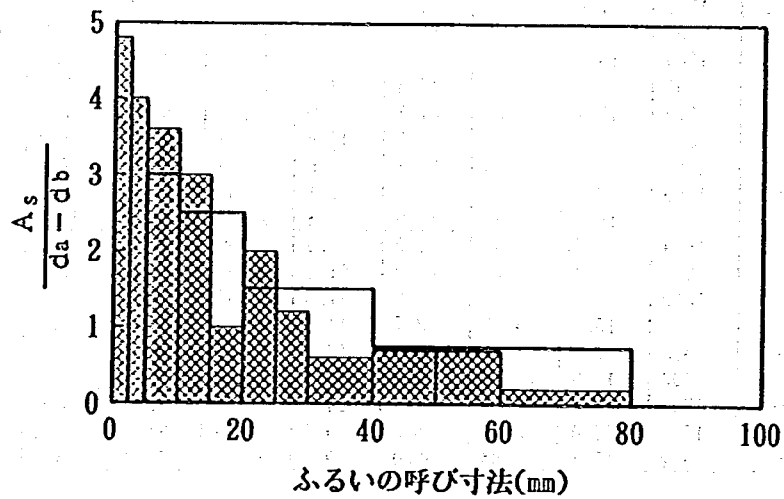
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



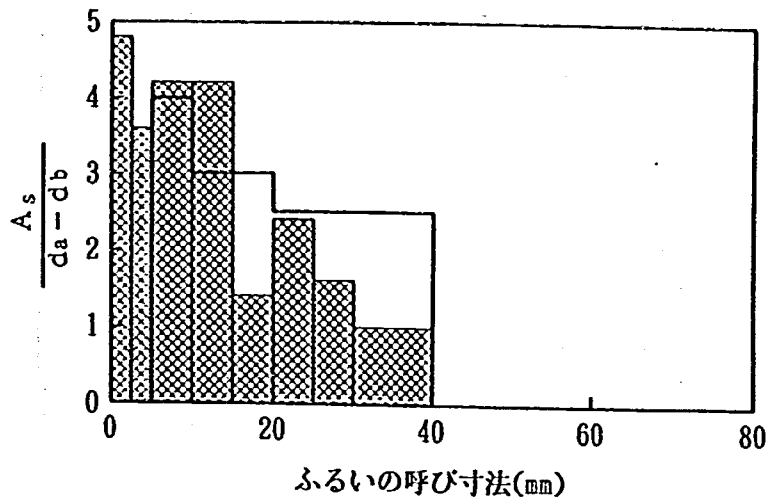
変質度Ⅲ骨材



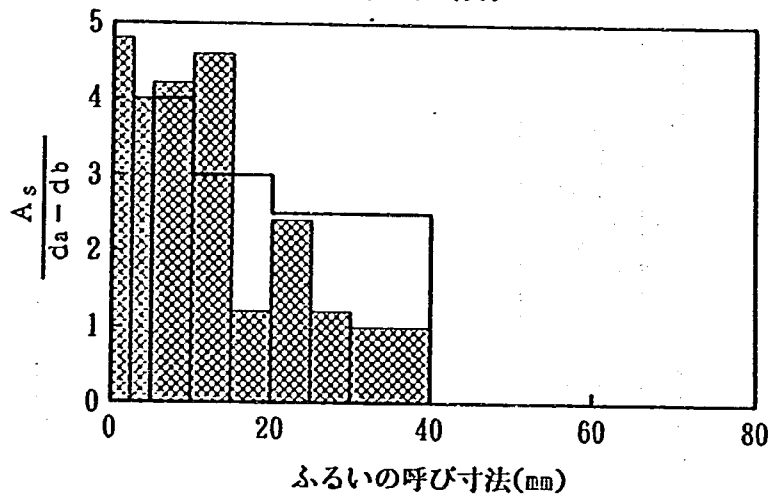
(5) 粒度変化 (その2)

粒径の範囲 40~5mm

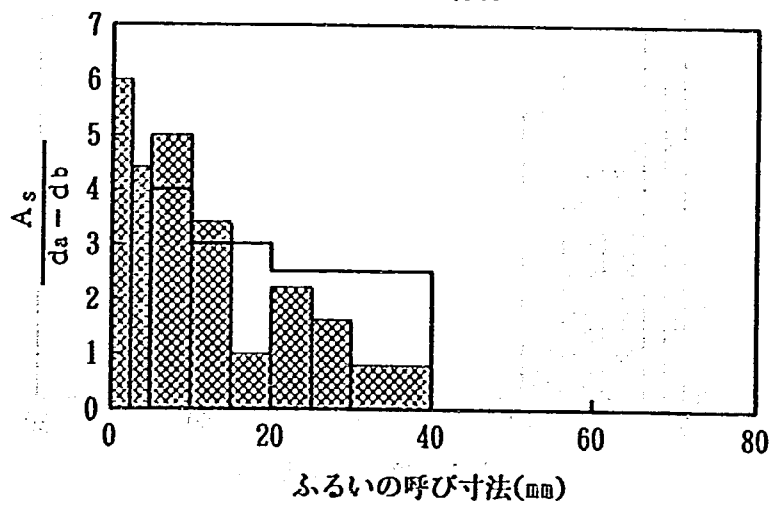
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



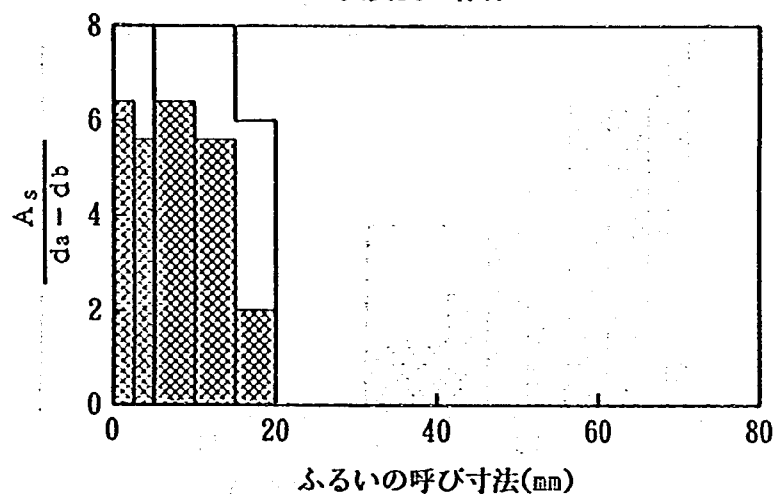
変質度Ⅲ骨材



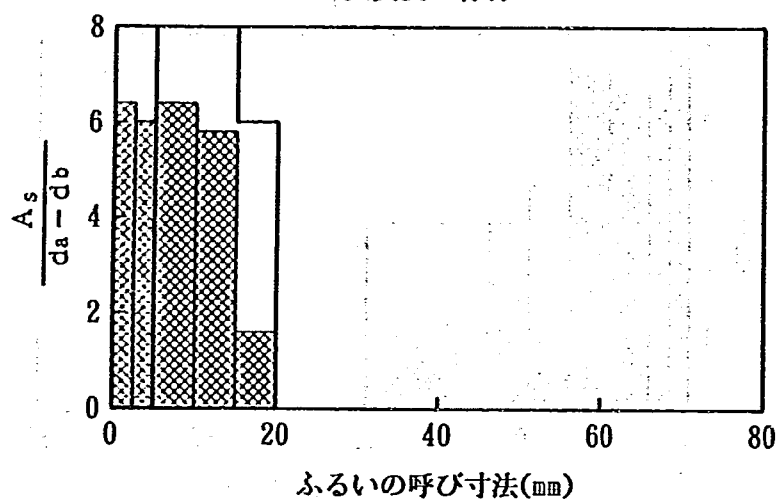
(5) 粒度変化 (その3)

粒径の範囲 20~5mm

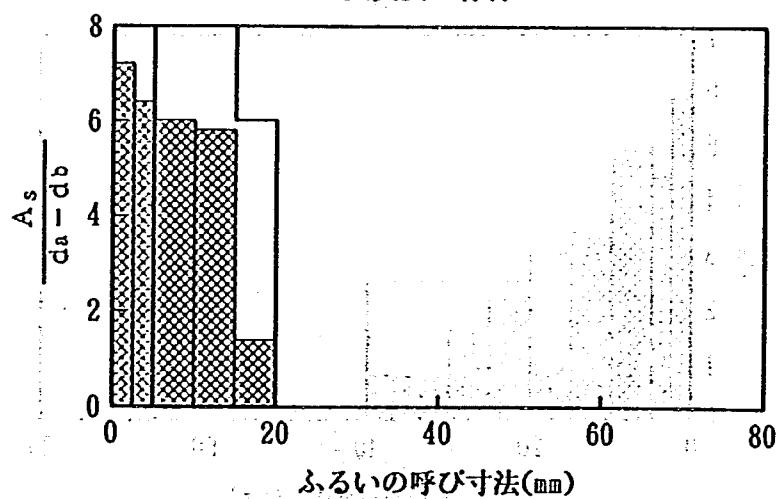
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



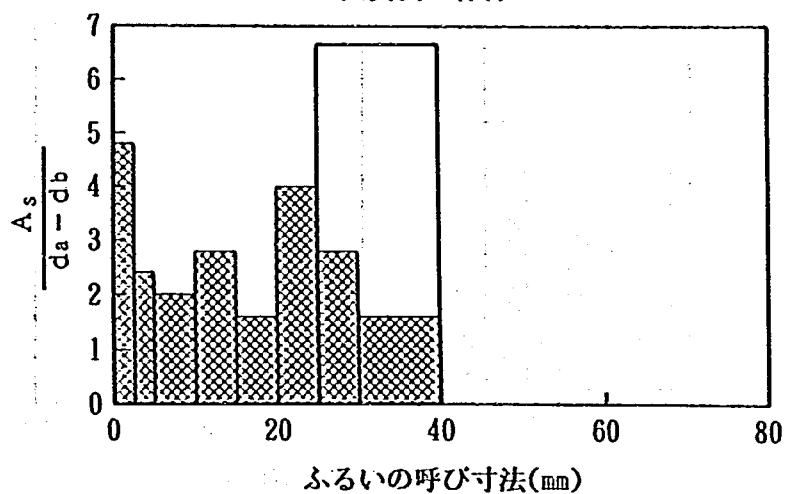
変質度Ⅲ骨材



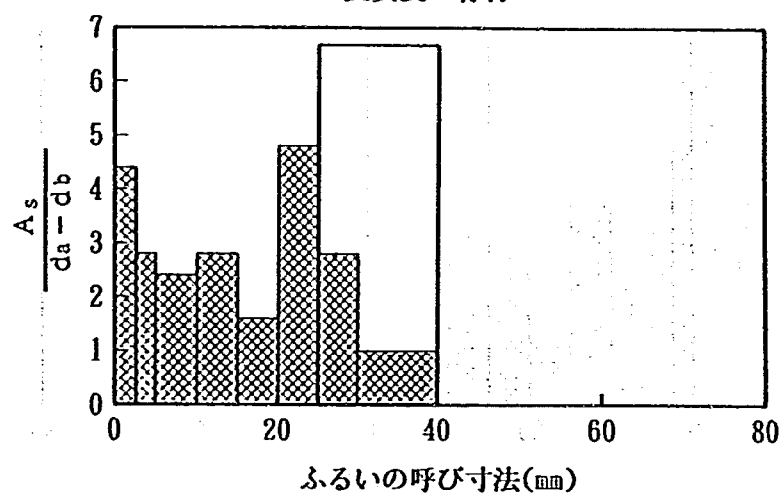
(5) 粒度変化 (その4)

粒径の範囲 40~25mm (大)

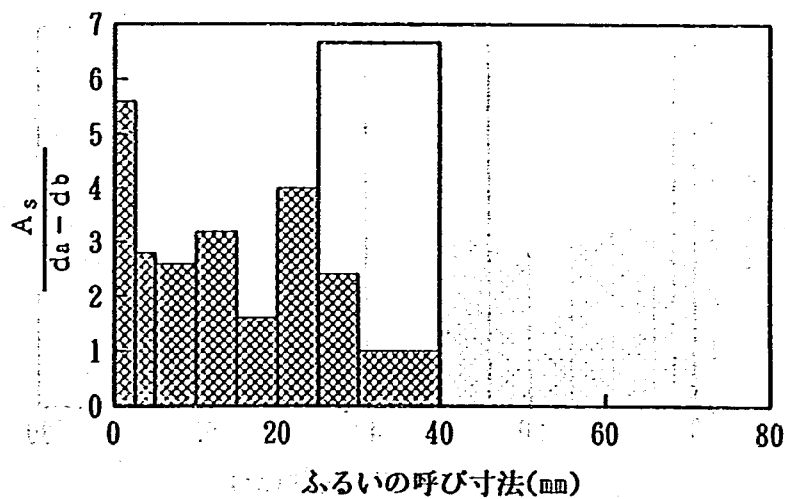
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



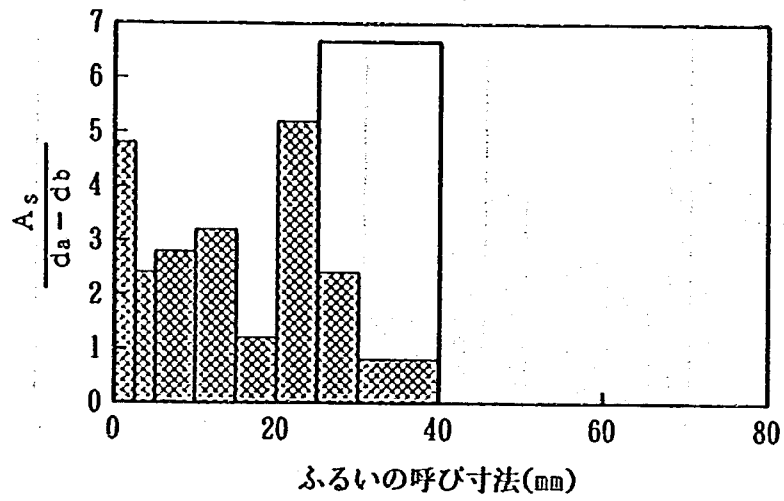
変質度Ⅲ骨材



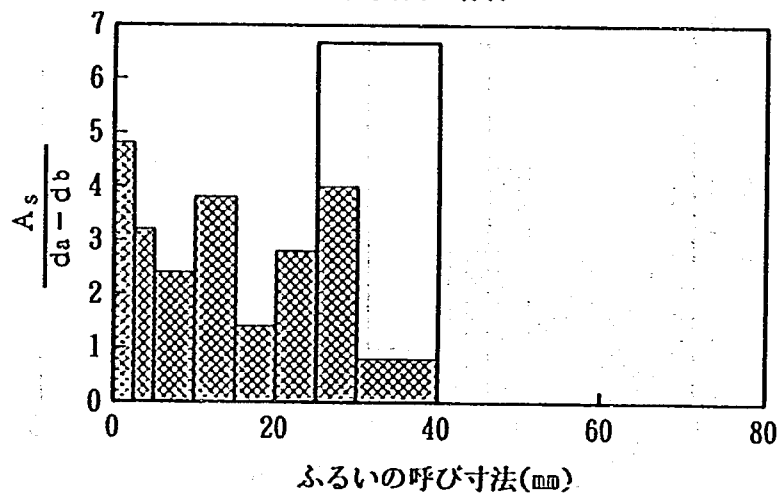
(5) 粒度変化 (その5)

粒径の範囲 40~25mm (小)

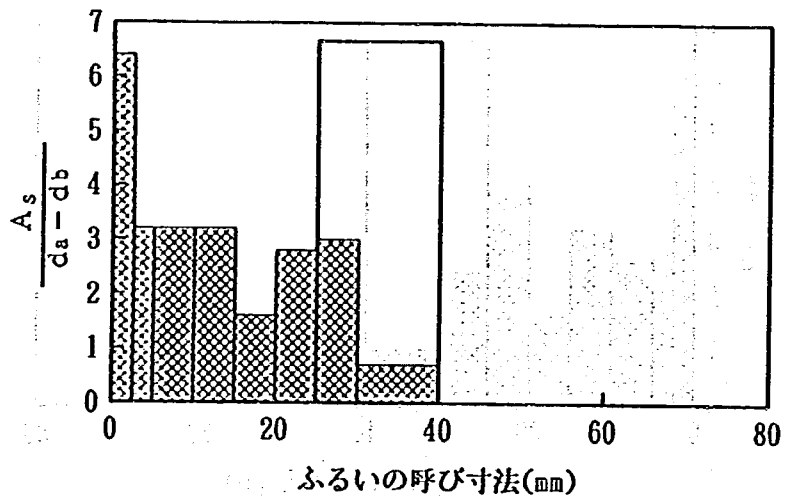
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



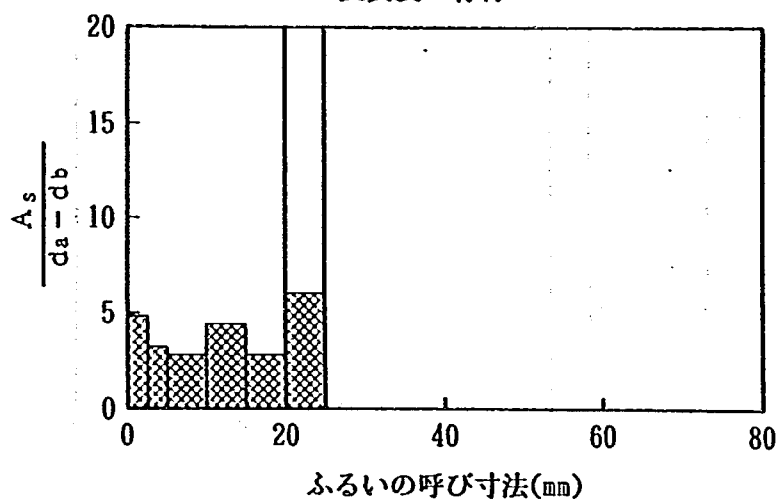
変質度Ⅲ骨材



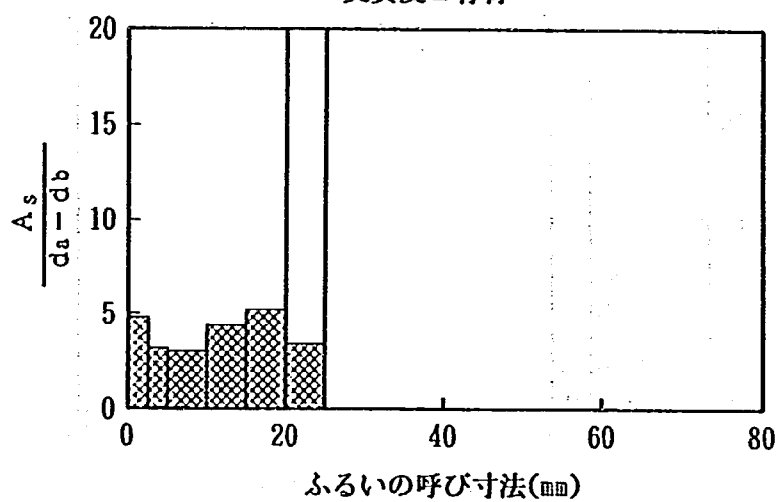
(5) 粒度変化 (その6)

粒径の範囲 25~20mm

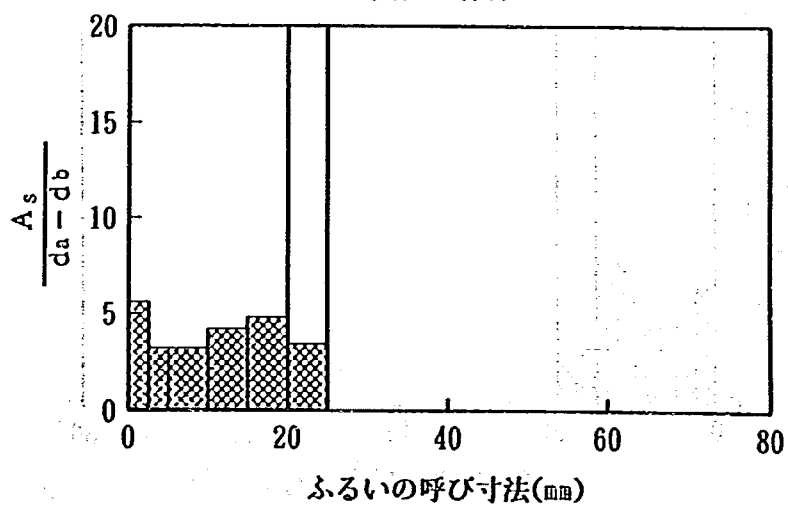
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



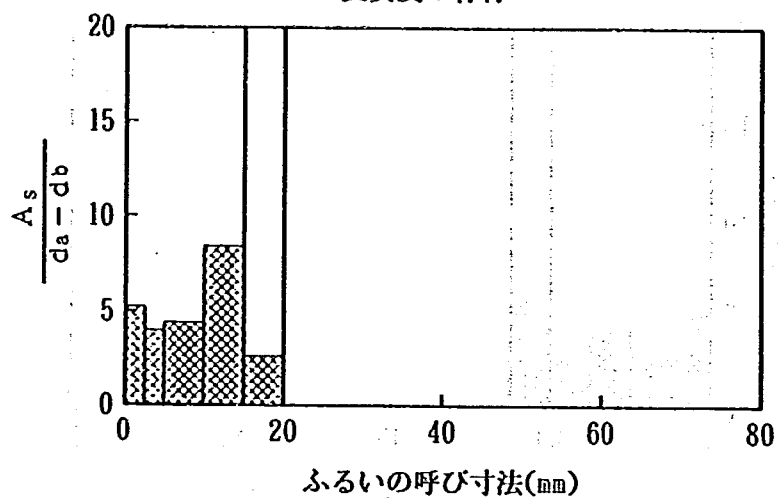
変質度Ⅲ骨材



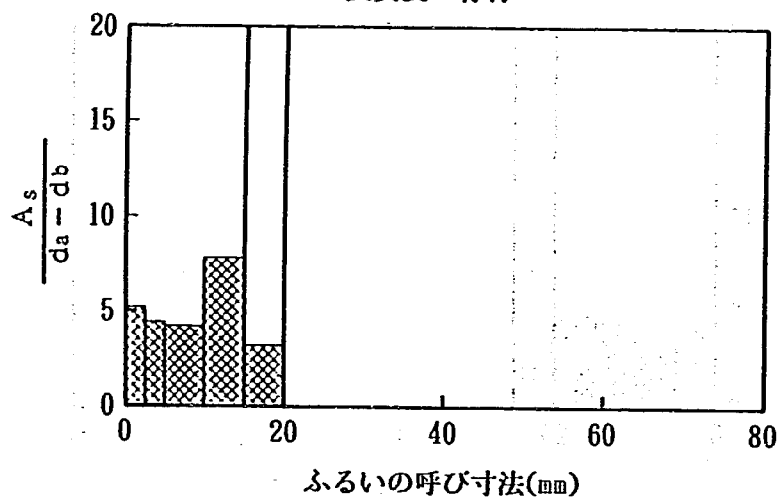
(5) 粒度変化 (その7)

粒径の範囲 20~15mm

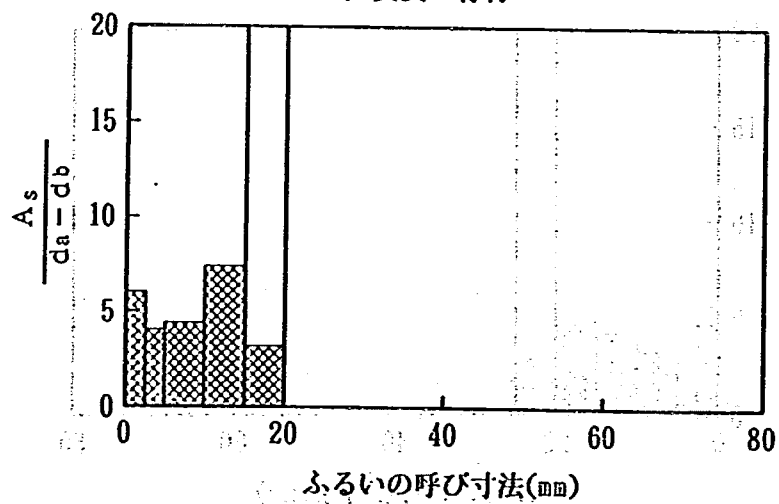
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



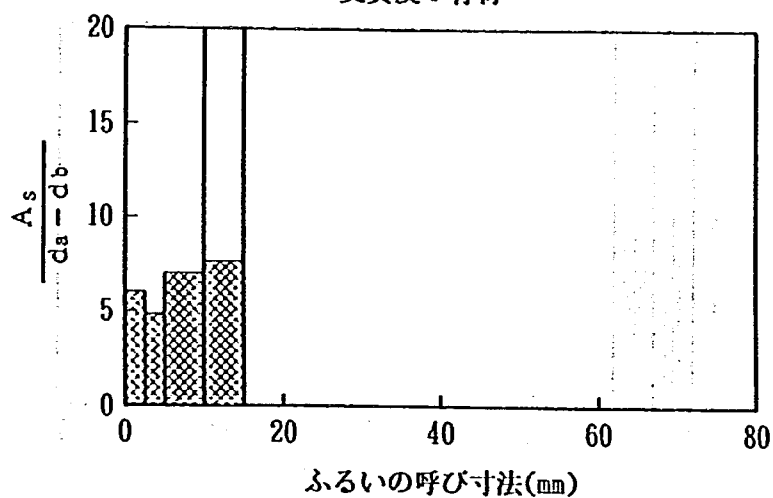
変質度Ⅲ骨材



(5) 粒度変化 (その8)

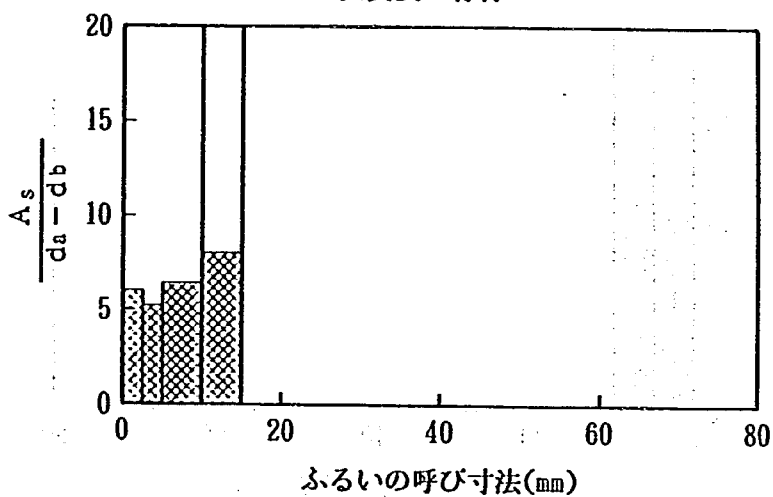
粒径の範囲 15~10mm

変質度Ⅰ骨材



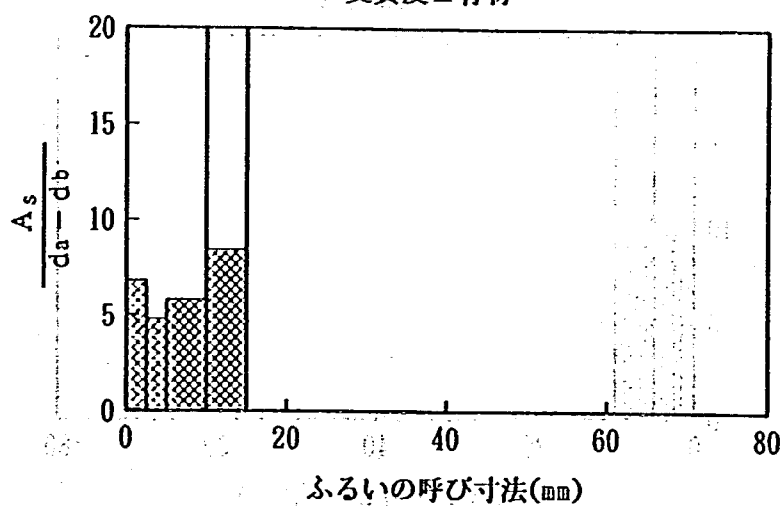
粒径の範囲 15~10mm

変質度Ⅱ骨材



粒径の範囲 15~10mm

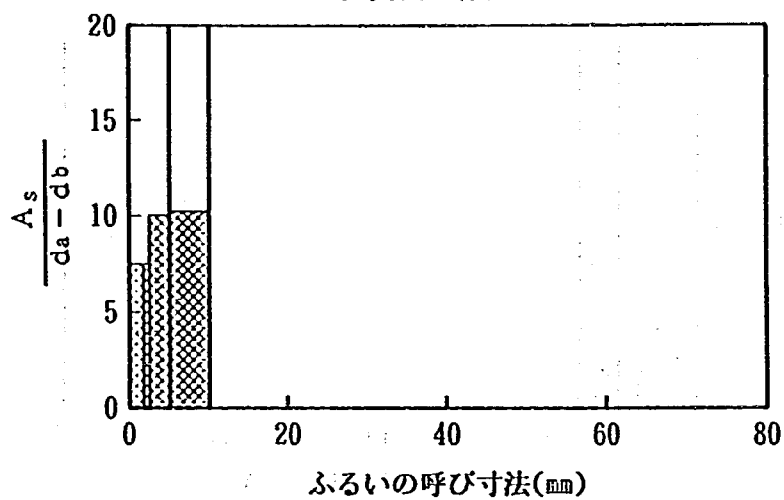
変質度Ⅲ骨材



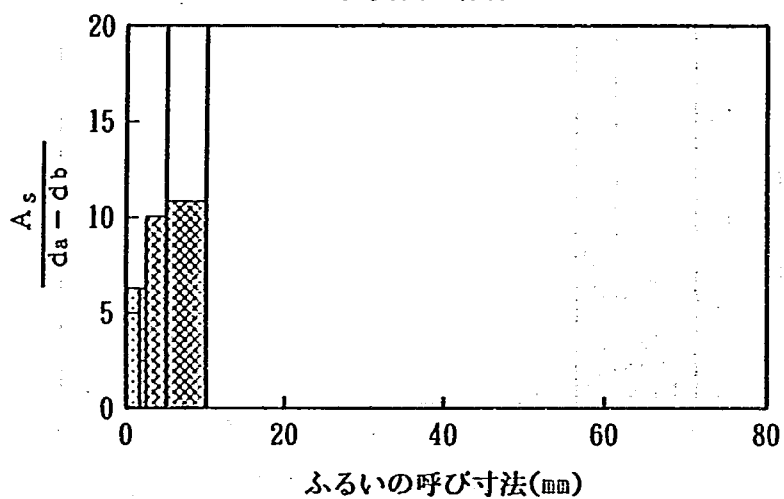
(5) 粒度変化 (その9)

粒径の範囲 10~5mm

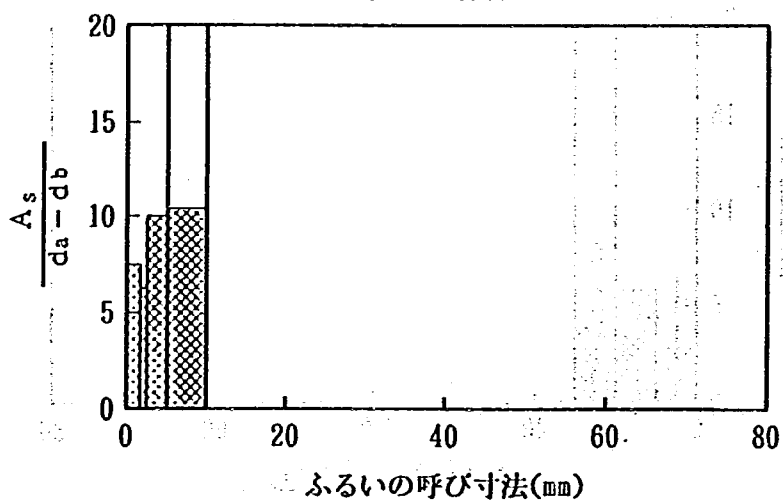
変質度Ⅰ骨材



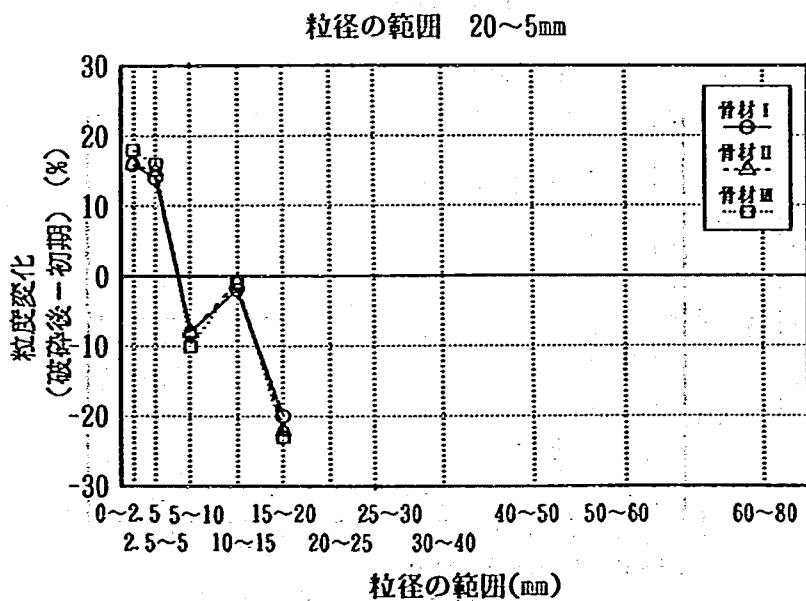
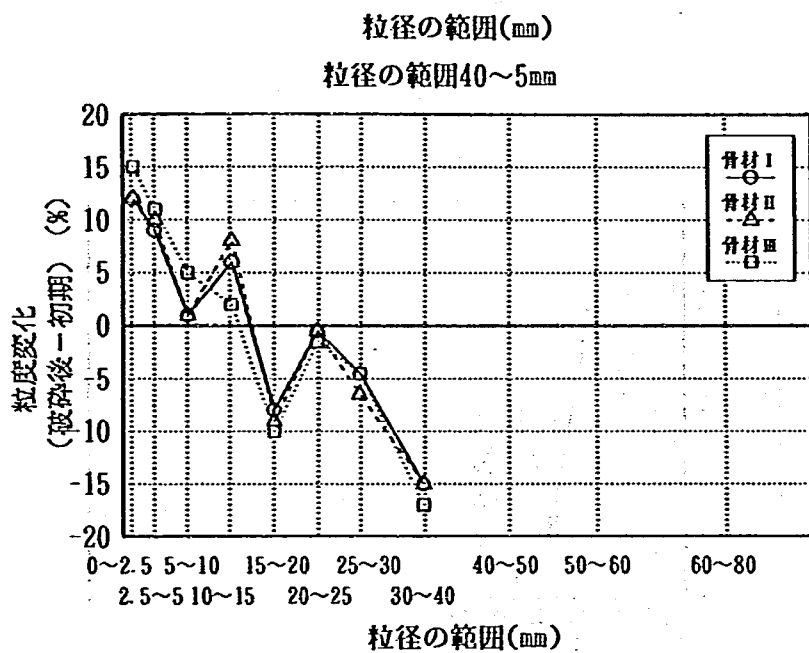
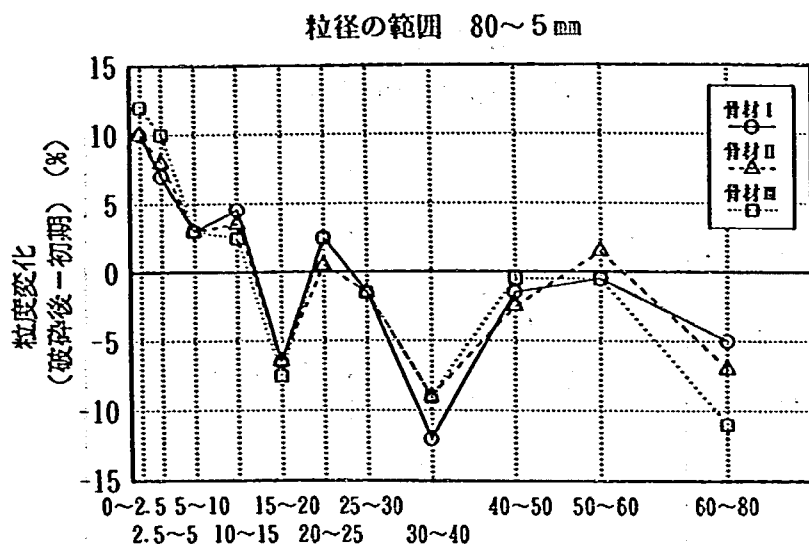
変質度Ⅱ骨材



変質度Ⅲ骨材



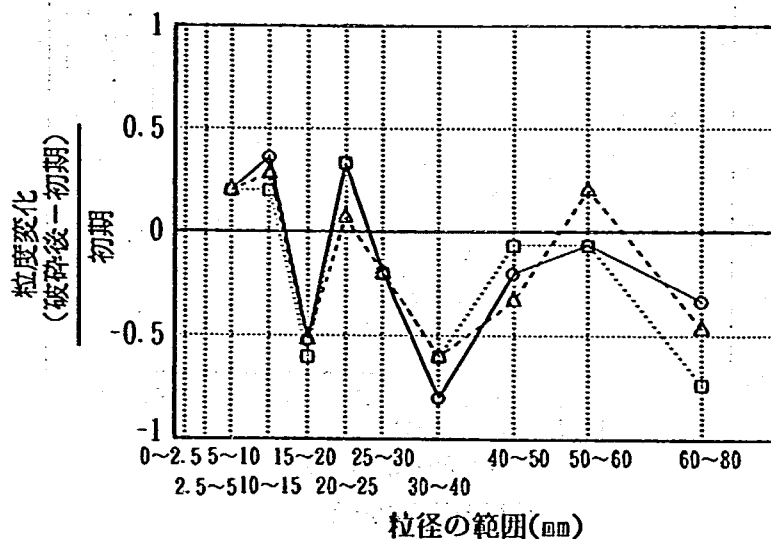
(6) 骨材の種類ごとの粒度変化(量)の比較



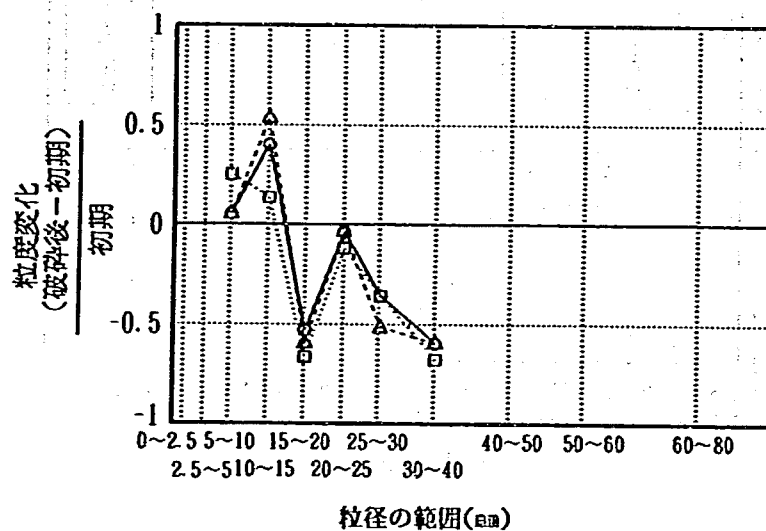
(7) 骨材の種類ごとの粒度変化（初期値に対する比）の比較

破碎試験

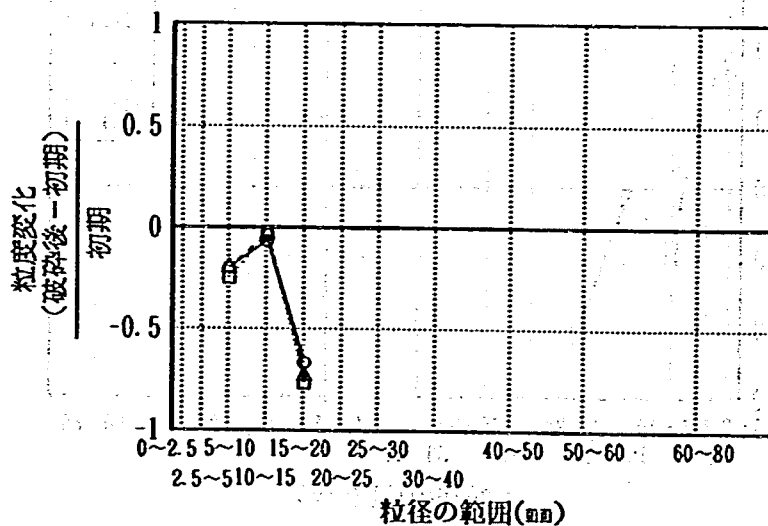
粒径の範囲 80~5mm



粒径の範囲 40~5mm



粒径の範囲 20~5mm



3. 衝撃試験結果

(1) 衝撃値および粒度分布

骨材の大きさ		単粒度砕石30～20mm			
試料		粒径の範囲	試験後の粒度		
		30～20mm	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
衝撃値(%)		—	21.8	23.6	28.6
粒 度 分 布	30mm	100	100	100	100
	25mm	50	92	95	97
	20mm	0	82	84	90
	15mm	0	58	66	76
	10mm	0	38	42	49
	◎5mm	0	22	34	29
	2.5mm	0	14	14	20
粗粒率		7.00	6.44	6.36	6.12

骨材の大きさ		単粒度砕石20～15mm			
試料		粒径の範囲	試験後の粒度		
		20～15mm	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
衝撃値(%)		—	15.2	15.8	18.2
粒 度 分 布	30mm				
	25mm				
	20mm	100	100	100	100
	15mm	0	82	85	87
	10mm	0	46	46	50
	◎5mm	0	36	36	31
	2.5mm	0	15	16	18
粗粒率		6.00	6.13	6.12	6.01

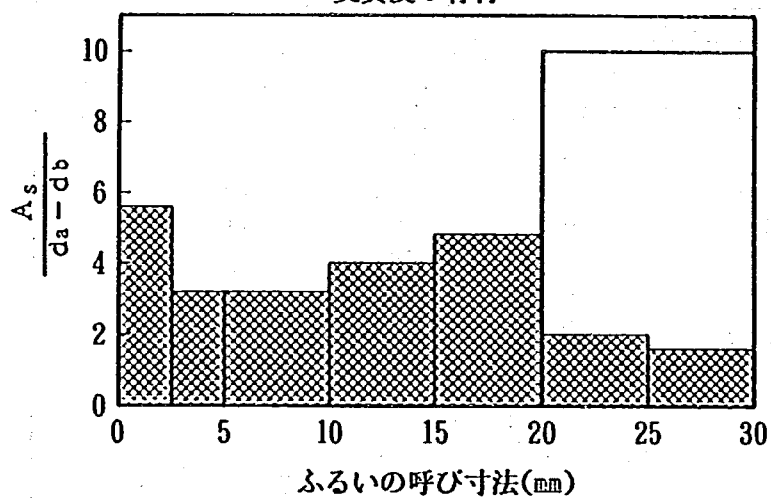
骨材の大きさ		単粒度砕石15～10mm				
試料		粒径の範囲	試験後の粒度			
		15～10mm	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ	笠間
衝撃値(%)		—	16.6	18.2	20.6	13.8
粒 度 分 布	30mm					
	25mm					
	20mm					
	15mm	100	100	100	100	100
	10mm	0	56	60	72	56
	◎5mm	0	26	30	36	26
	2.5mm	0	14	26	21	14
粗粒率		6.00	5.94	5.89	5.71	6.04

骨材の大きさ		単粒度砕石10～5mm			
試料		粒径の範囲	試験後の粒度		
		10～5mm	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ
スリット減量(%)		—	17.0	18.2	20.2
粒 度 分 布	30mm				
	25mm				
	20mm				
	15mm				
	10mm	100	100	100	100
	5mm	0	46	45	54
	2.5mm	0	22	23	26
布	◎1.7mm	0	17	18	20
	粗粒率	6.00	5.32	5.32	5.20

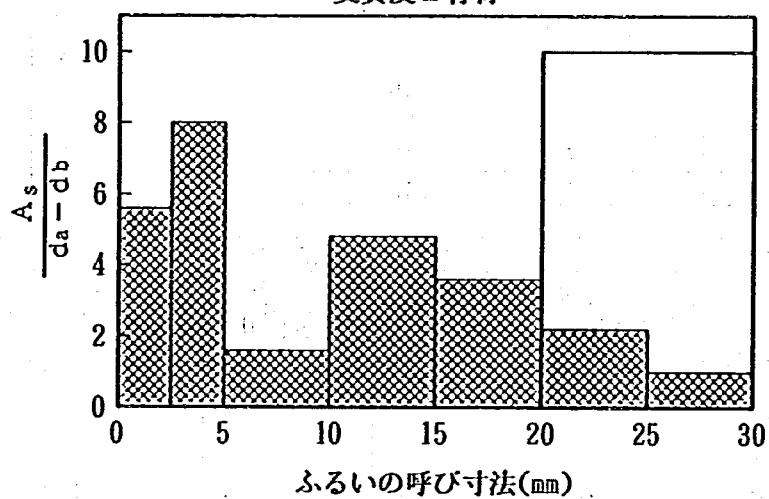
(2) 粒度変化 (その1)

粒径の範囲 30~20mm

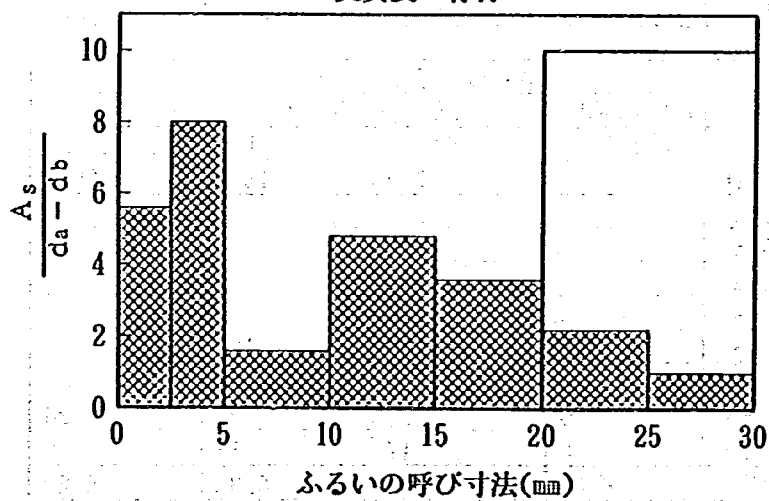
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



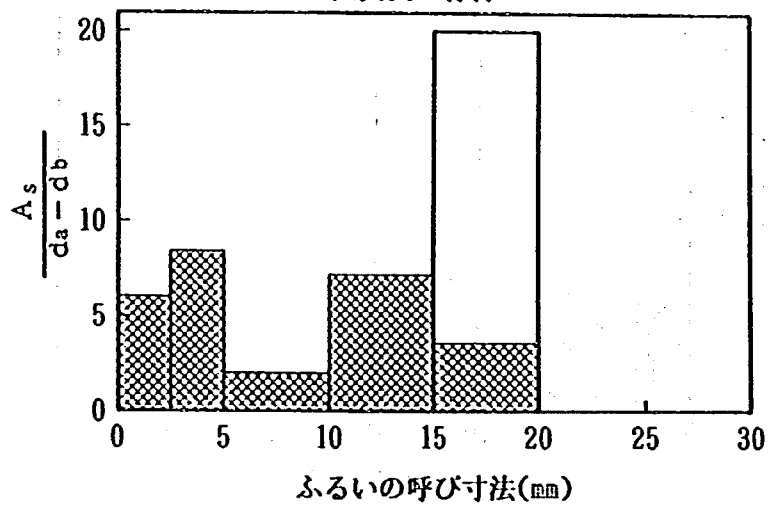
変質度Ⅲ骨材



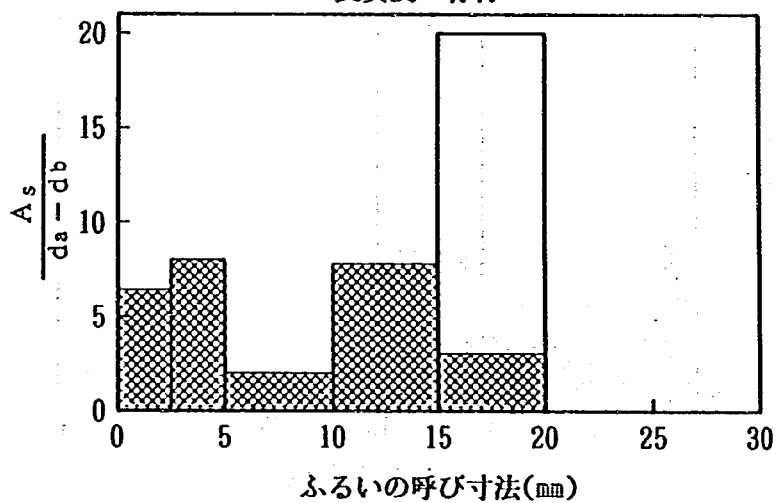
(2) 粒度変化 (その2)

粒径の範囲 20~15mm

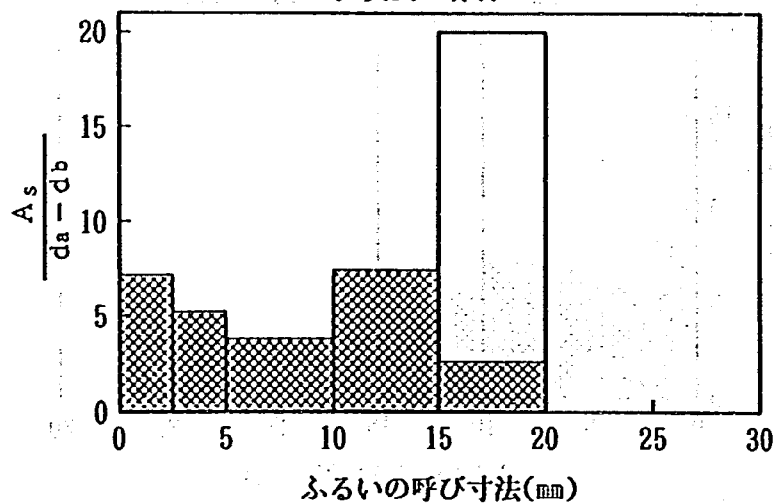
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



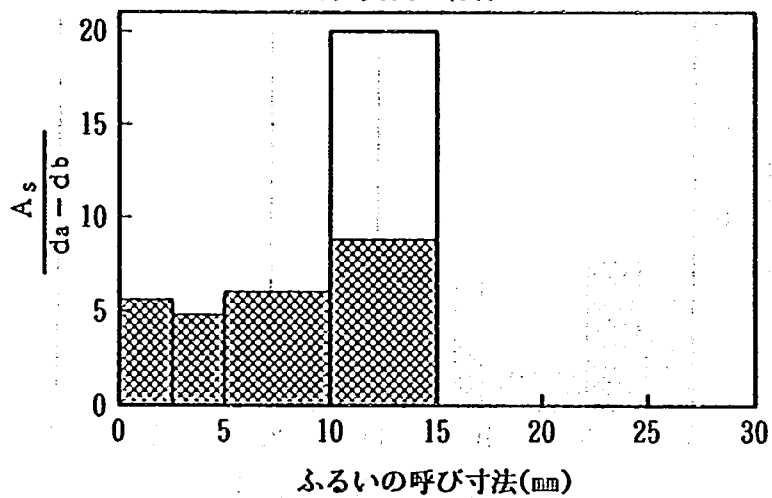
変質度Ⅲ骨材



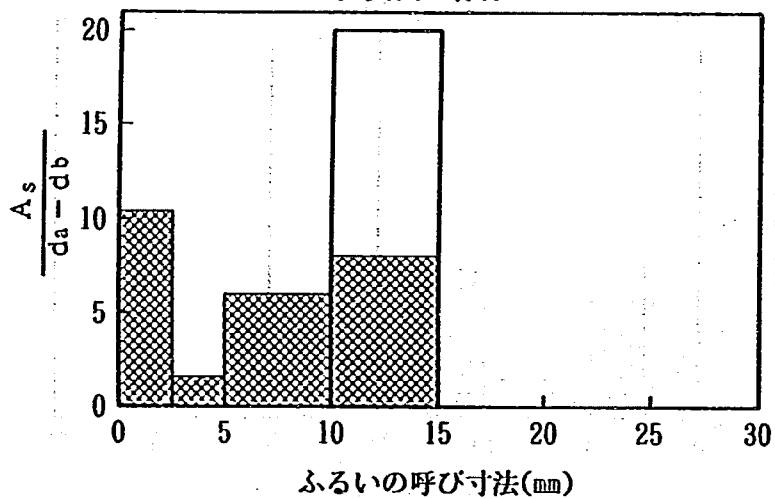
(2) 粒度変化 (その3)

衝撃試験 粒径の範囲 15~10mm

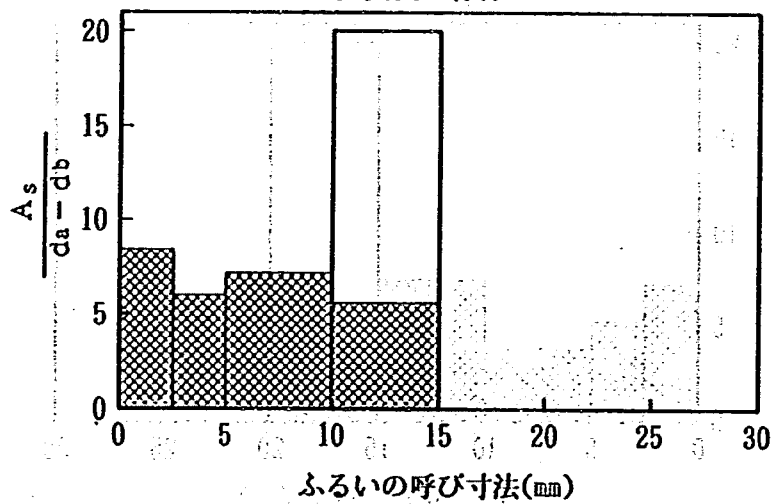
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



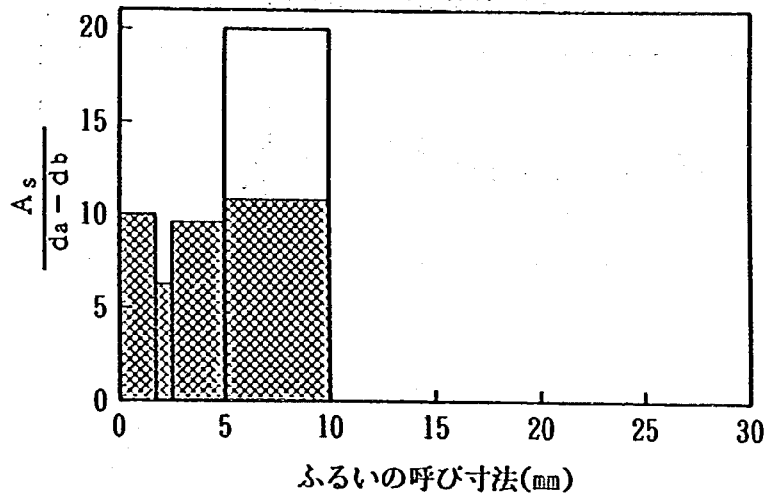
変質度Ⅲ骨材



(2) 粒度変化 (その4)

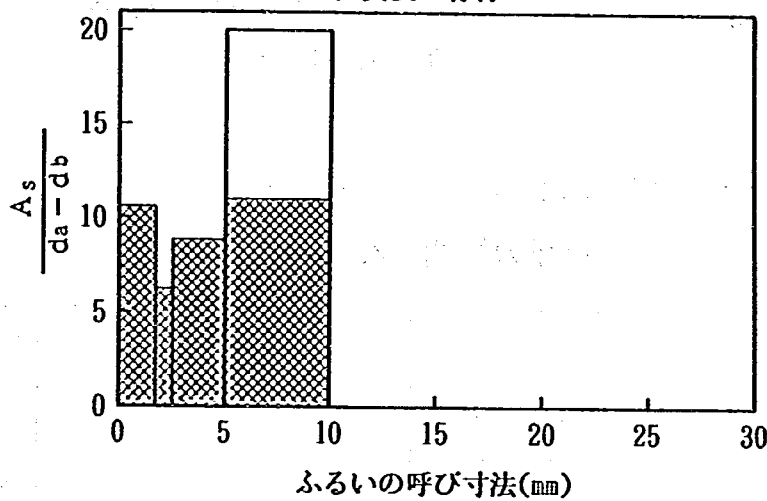
衝撃試験 粒径の範囲 10~5mm

変質度Ⅰ骨材



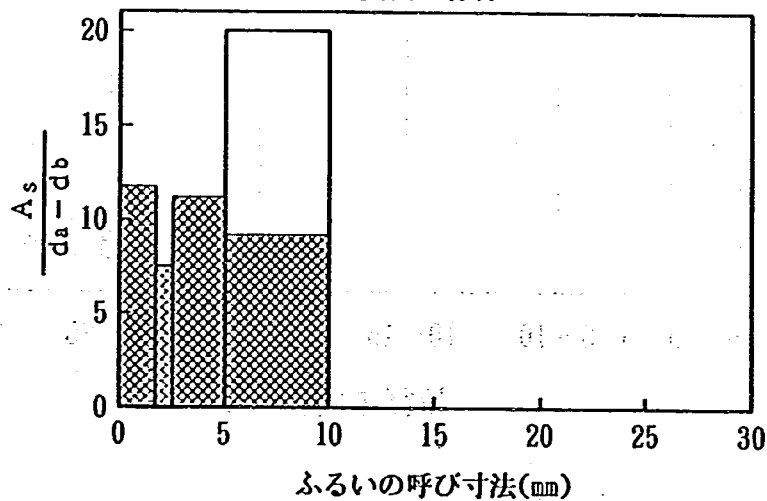
衝撃試験 粒径の範囲 10~5mm

変質度Ⅱ骨材

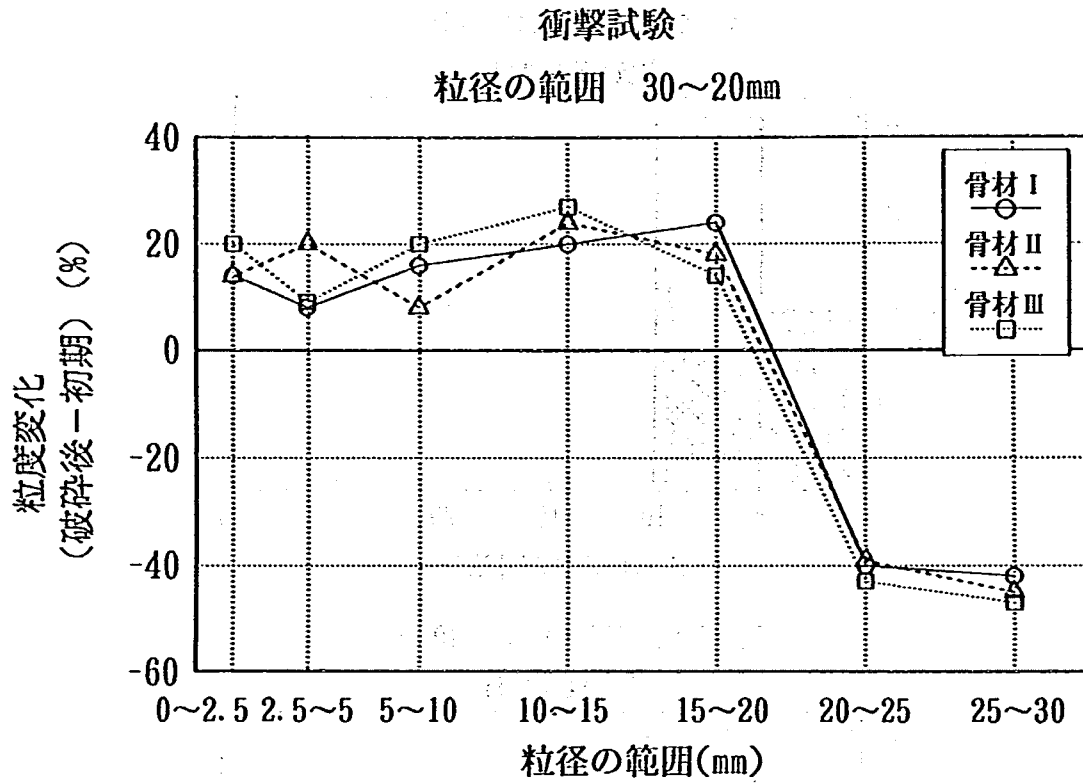


衝撃試験 粒径の範囲 10~5mm

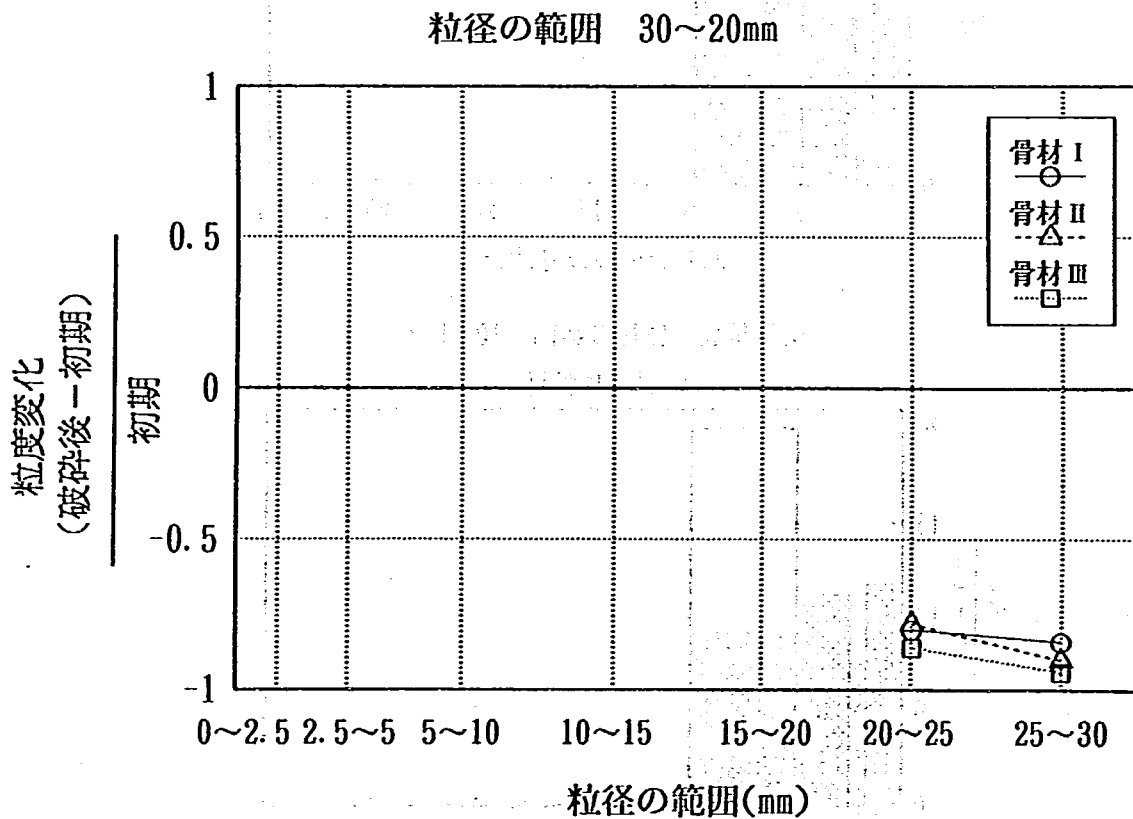
変質度Ⅲ骨材



(3) 骨材の種類ごとの粒度変化(量)の比較



(4) 骨材の種類ごとの粒度変化(初期値に対する比)の比較



4. すりへり試験

(1) すりへり減量および粒度分布

試験粒度区分		A区分			
試料	A区分の粒度	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ	
		試験後の粒度	試験後の粒度	試験後の粒度	
すりへり減量(%)	—	14.7	16.1	19.9	
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm	100	100	100	100
	30mm	75	92	95	96
	25mm	75	84	83	88
	20mm	50	66	65	66
	15mm	25	56	55	58
	10mm	0	35	34	39
	5mm	0	23	23	27
	◎2.5mm	0	18	18	22
	1.7mm	0	15	16	20
粗粒率		7.50	6.58	6.60	6.46

試験粒度区分		B区分			
試料	B区分の粒度	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ	
		試験後の粒度	試験後の粒度	試験後の粒度	
すりへり減量(%)	—	13.7	14.6	16.6	
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm				
	30mm				
	25mm	100	100	100	100
	20mm	50	73	71	76
	15mm	0	55	58	60
	10mm	0	28	30	36
	5mm	0	19	20	24
	◎2.5mm	0	15	16	18
	1.7mm	0	14	15	17
粗粒率		7.50	6.65	6.63	6.46

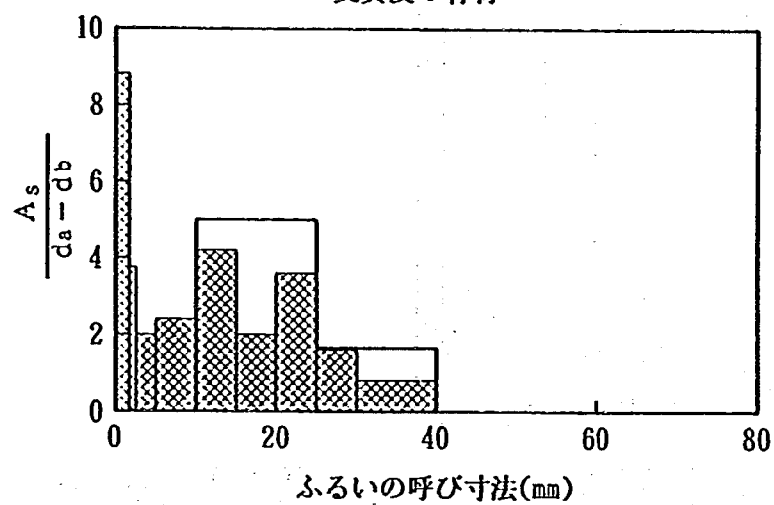
試験粒度区分		C区分			
試料	C区分の粒度	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ	
		試験後の粒度	試験後の粒度	試験後の粒度	
すりへり減量(%)	—	14.2	15.7	18.4	
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm				
	40mm				
	30mm				
	25mm				
	20mm				
	15mm	100	100	100	100
	10mm	50	81	78	80
	5mm	0	39	39	43
	◎2.5mm	0	20	20	23
	1.7mm	0	14	16	18
粗粒率		6.50	5.60	5.63	5.54

試験粒度区分		E区分			
試料	E区分の粒度	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ	
		試験後の粒度	試験後の粒度	試験後の粒度	
すりへり減量(%)	—	12.9	15.0	20.0	
粒 度 分 布	80mm	100	100	100	100
	60mm	75	83	82	87
	50mm	50	68	72	73
	40mm	0	34	39	49
	30mm	0	20	23	29
	25mm	0	17	20	25
	20mm	0	15	17	22
	15mm	0	14	17	22
	10mm	0	14	16	21
	5mm	0	13	15	20
	◎2.5mm	0	13	15	20
	1.7mm	0	13	15	20
粗粒率		9.00	8.11	7.98	7.68

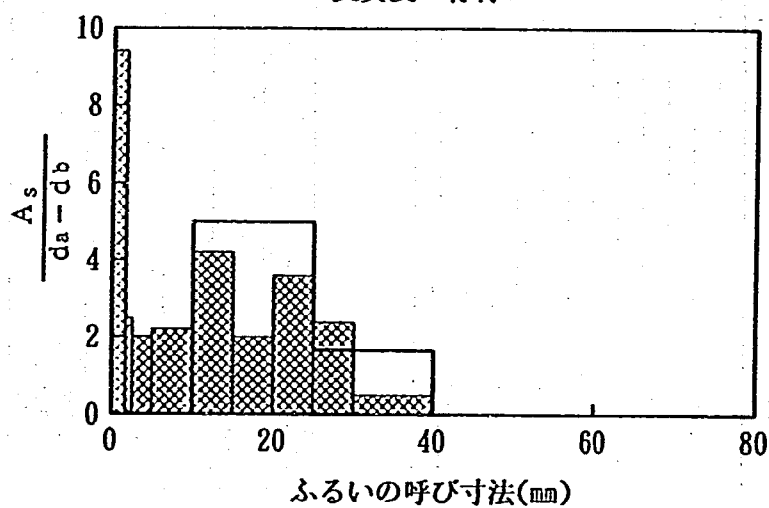
試験粒度区分		F区分			
試料	F区分の粒度	変質度Ⅰ	変質度Ⅱ	変質度Ⅲ	
		試験後の粒度	試験後の粒度	試験後の粒度	
すりへり減量(%)	—	13.4	15.6	18.8	
粒 度 分 布	80mm				
	60mm				
	50mm	100	100	100	100
	40mm	50	77	75	83
	30mm	50	56	53	63
	25mm	0	35	39	39
	20mm	0	20	22	26
	15mm	0	18	20	24
	10mm	0	15	17	21
	5mm	0	14	16	20
	2.5mm	0	14	16	19
	1.7mm	0	13	16	19
粗粒率		7.50	7.60	7.54	7.31

(2) 粒度変化 (その1)

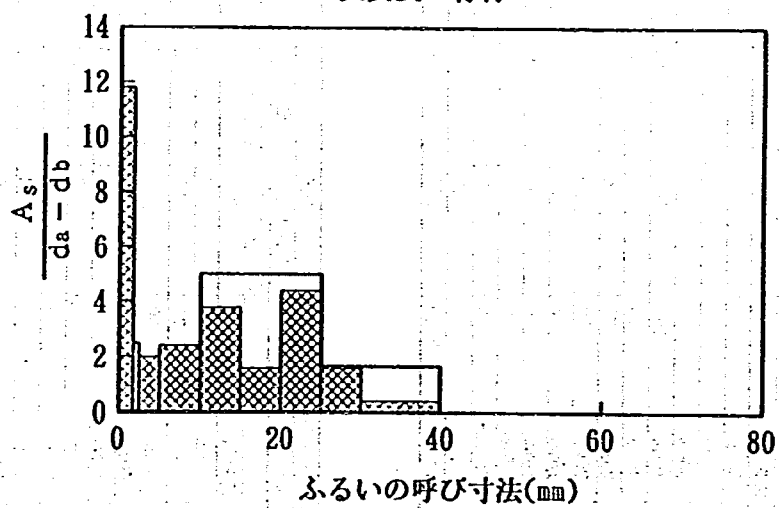
A区分
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材

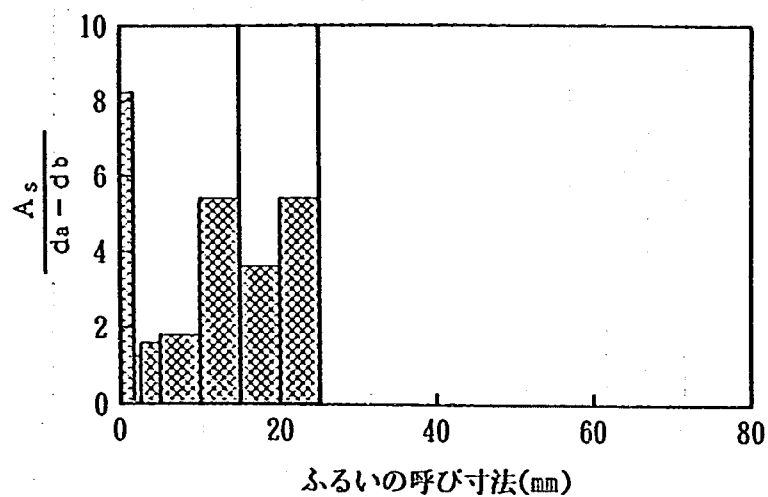


変質度Ⅲ骨材

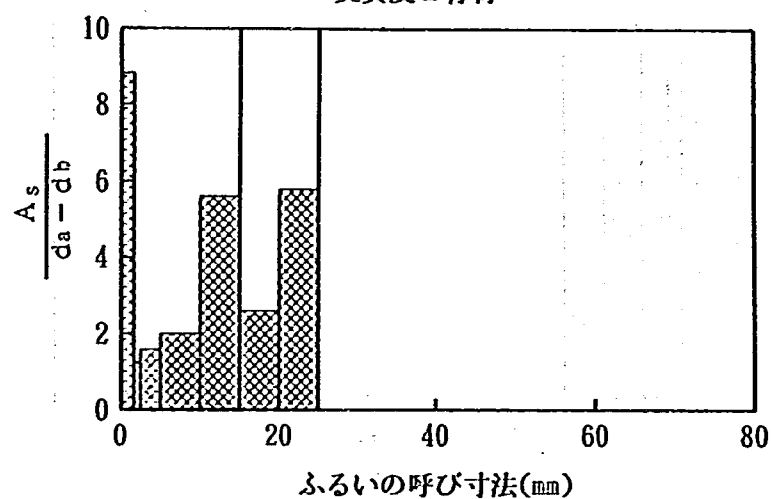


(2) 粒度変化 (その2)

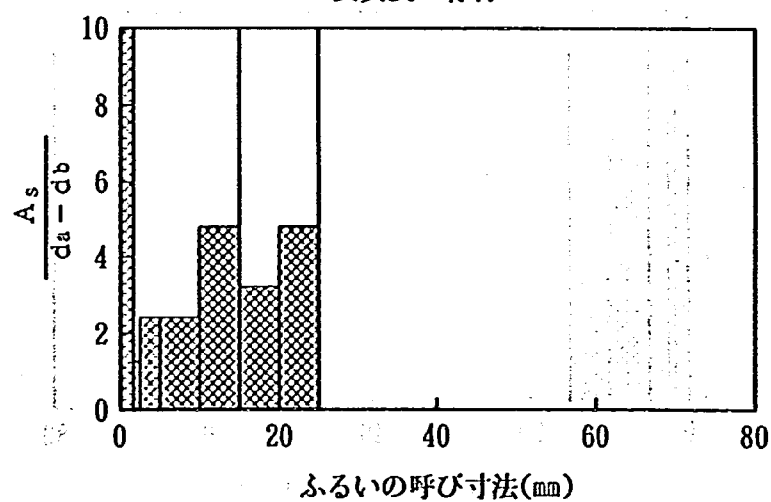
B区分
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



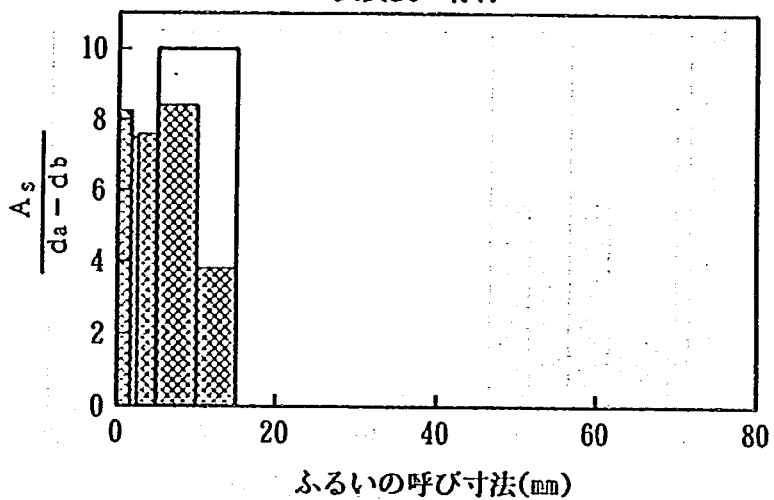
変質度Ⅲ骨材



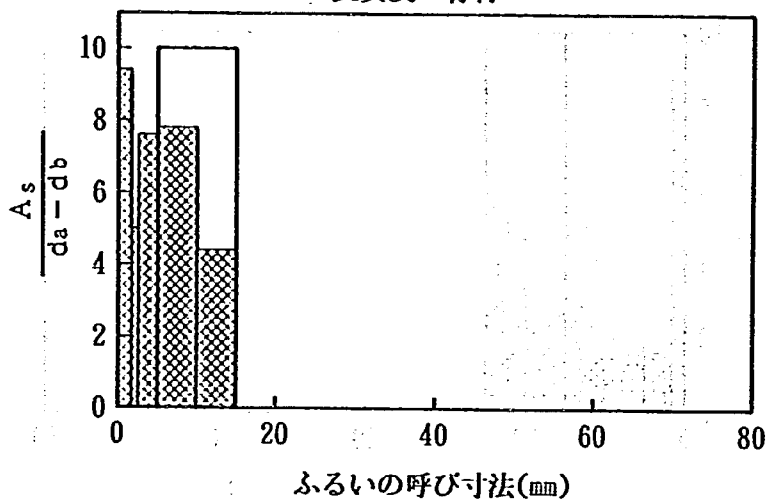
(2) 粒度変化 (その3)

C区分

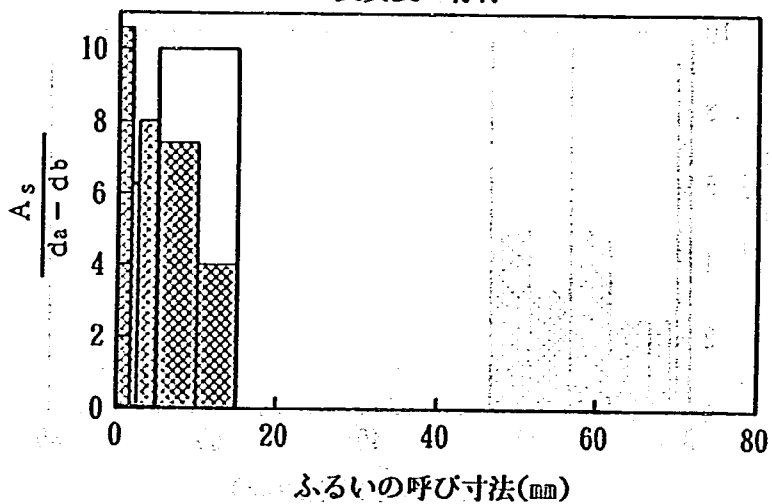
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材

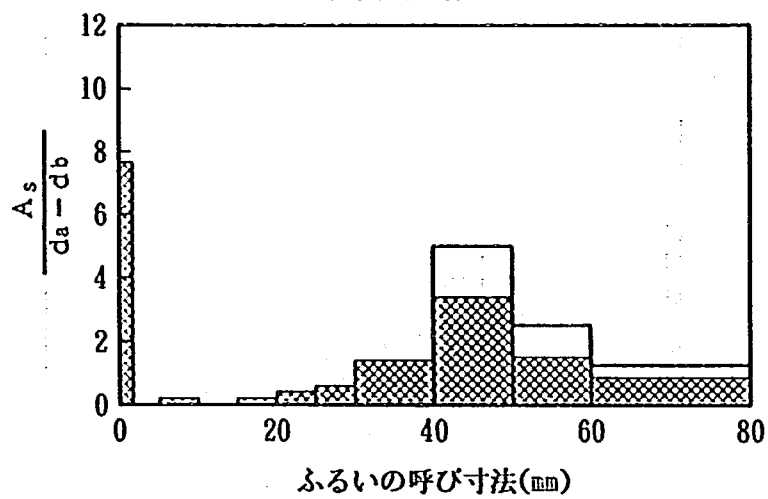


変質度Ⅲ骨材

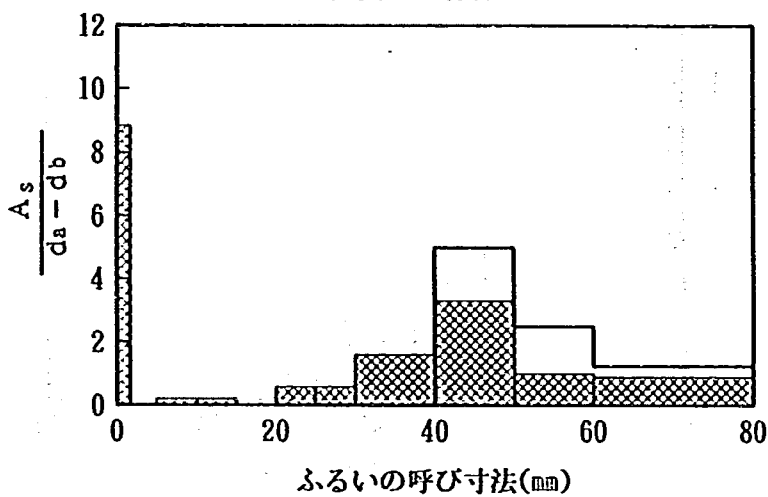


(2) 粒度変化 (その4)

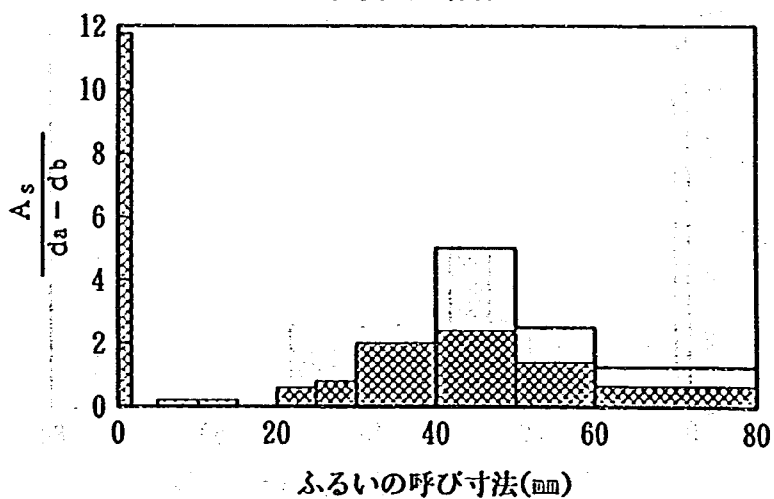
E区分
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材



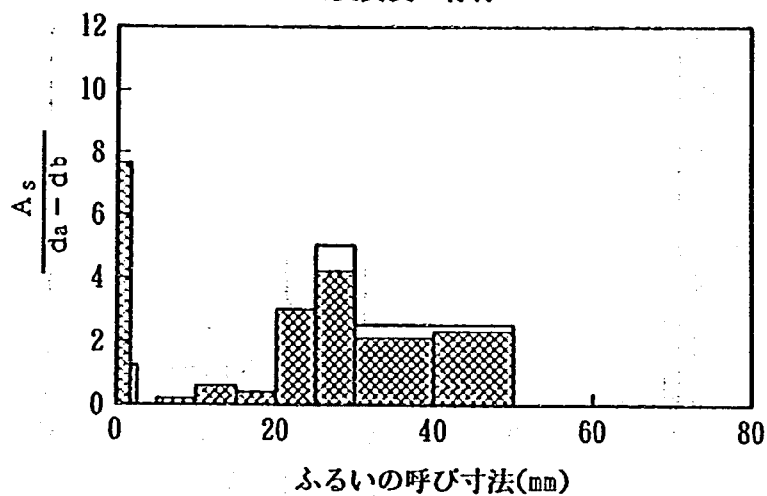
変質度Ⅲ骨材



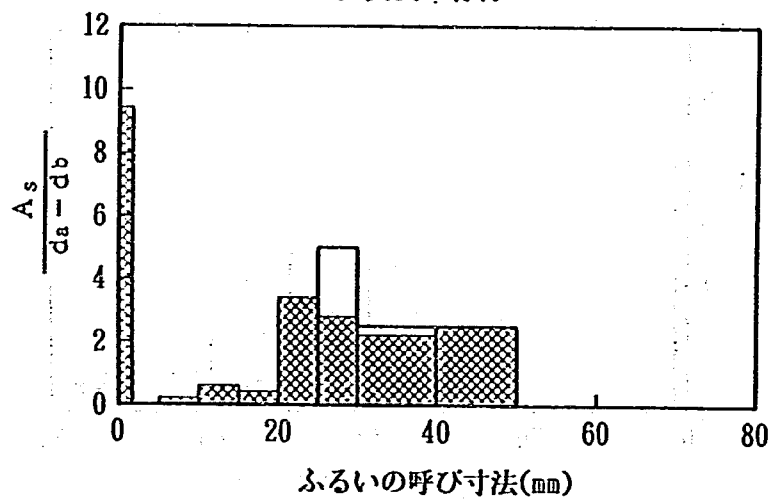
(2) 粒度変化 (その5)

F区分

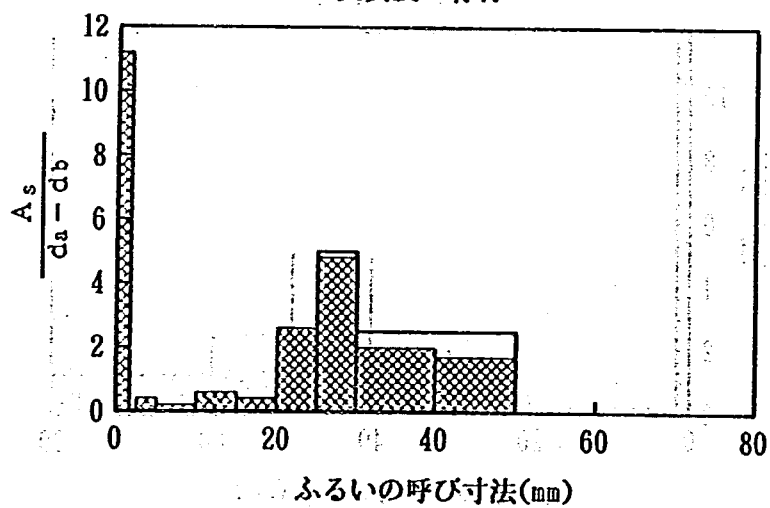
変質度Ⅰ骨材



変質度Ⅱ骨材

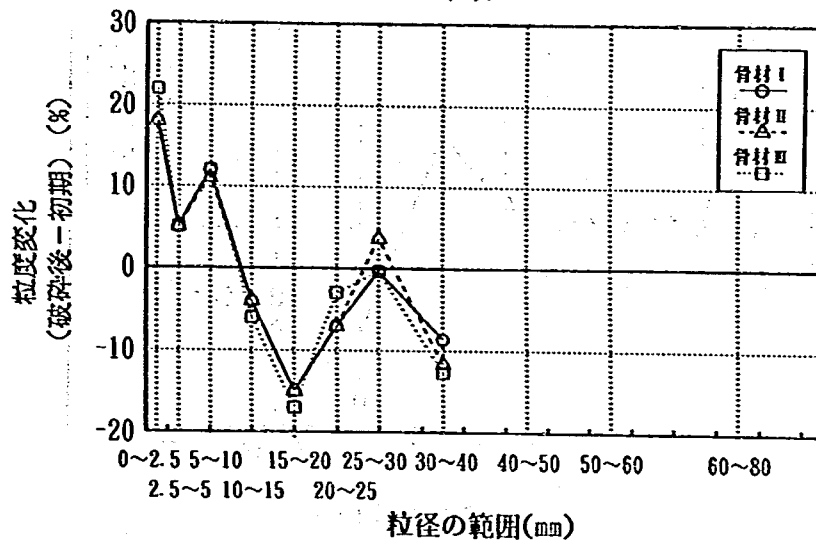


変質度Ⅲ骨材

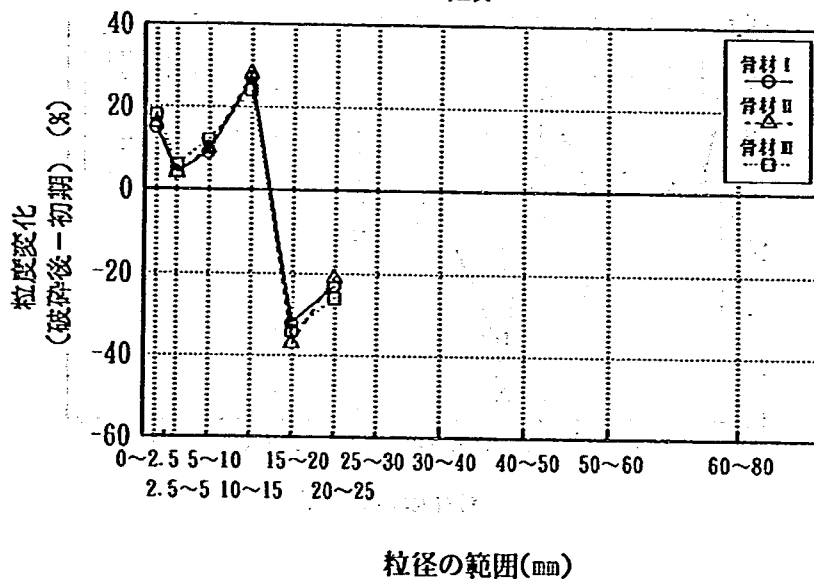


(3) 骨材の種類ごとの粒度変化(量)の比較(その1)

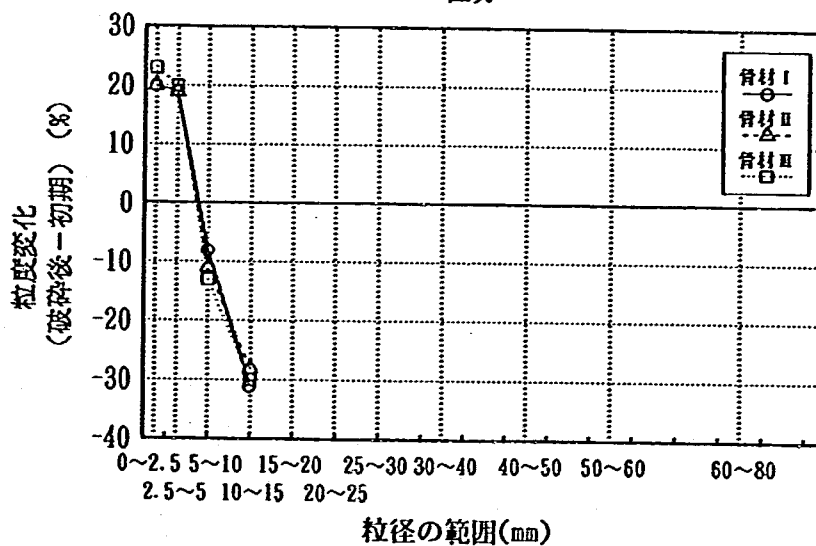
A区分



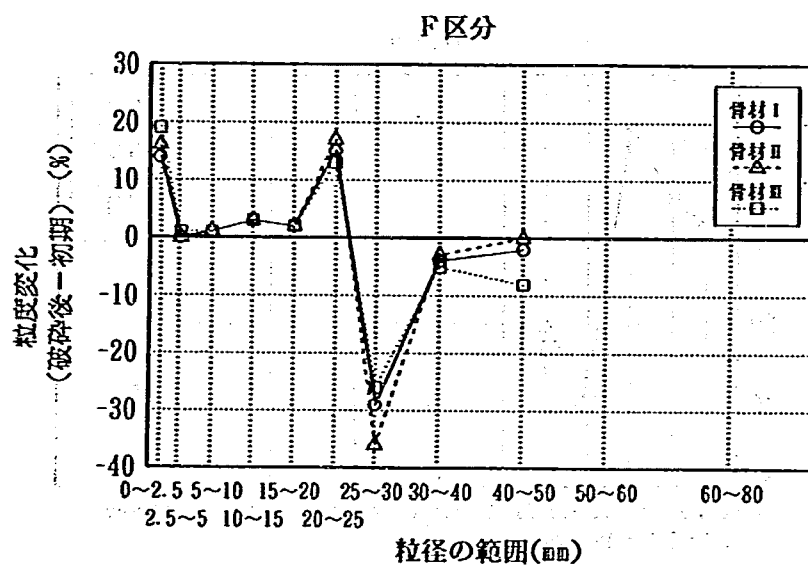
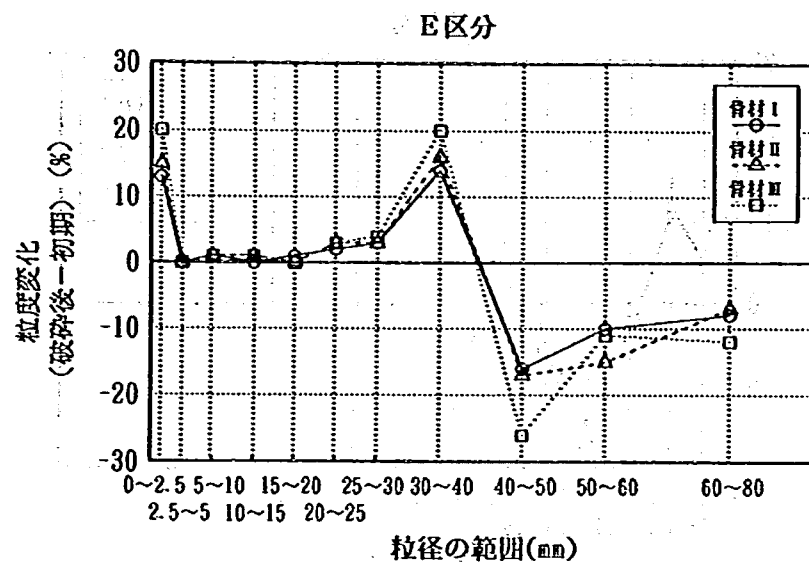
B区分



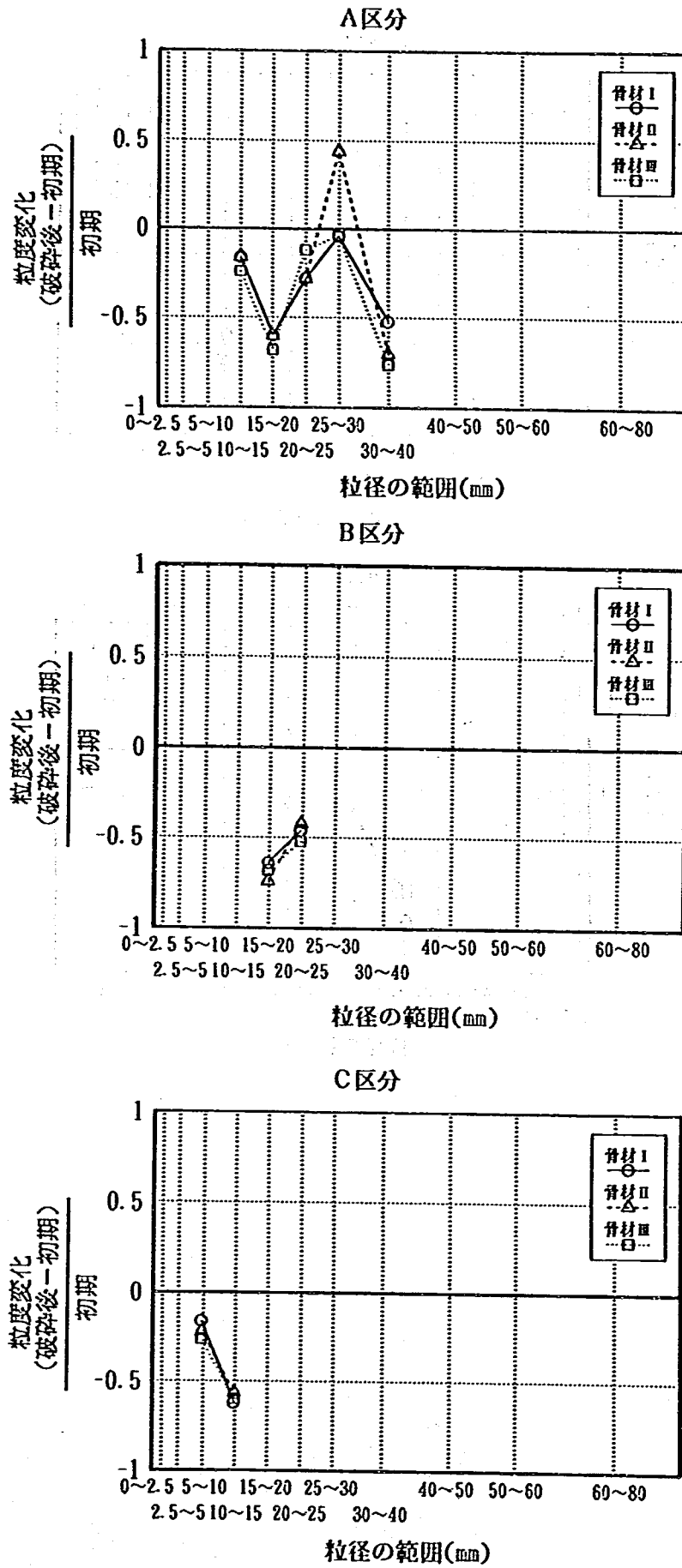
C区分



(3) 骨材の種類ごとの粒度変化(量)の比較(その2)

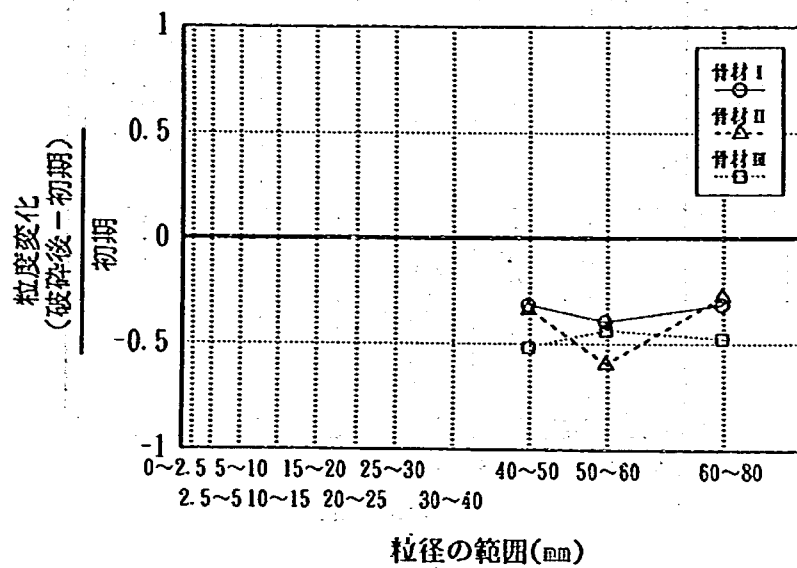


(4) 骨材の種類ごとの粒度変化（初期値に対する比）の比較（その1）

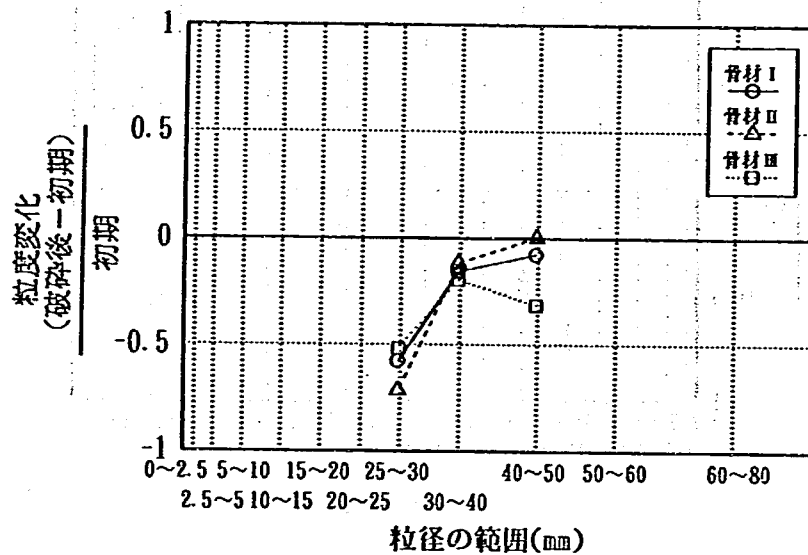


(4) 骨材の種類ごとの粒度変化（初期値に対する比）の比較（その2）

E 区分



F 区分



セメント試験成績表

八洲コンクリート株式会社
技術部 第三部 中
No. 3227477
株式会社

平成 7 年 2 月度

住友大阪セメント株式会社

品 質	規 格	普通ポルトランドセメント			早強ポルトランドセメント		
		JIS R 5210 規格値	試 験 成 績 平均値	標準偏差 最大値 (最小値)	JIS R 5210 規格値	試 験 成 績 平均値	標準偏差 最大値 (最小値)
比 重		—	3.15	—	—	3.13	—
比表面積 cm^2/g	2500以上	3280	77	—	3300以上	4500	77
減 縮	水 量 %	—	27.9	—	—	29.6	—
	始 発 h-min	60min以上	2 - 27	(2 - 0)	45min以上	1 - 48	(1 - 25)
	終 結 h-min	10h以下	3 - 58	—	10h以下	3 - 0	3 - 29
安 定 性	良	良	—	—	良	良	—
圧縮強さ kgf/cm^2 $[\text{N}/\text{mm}^2]$	1 日	—	—	—	65以上 16.37以上	163 15.98	8.8 0.86
	3 日	70以上 16.86以上	168 16.48	8.2 0.80	130以上 12.75以上	280 27.46	11.6 1.14
	7 日	150以上 14.71以上	271 26.58	11.3 1.11	230以上 22.56以上	376 36.87	12.5 1.23
	28 日	300以上 29.42以上	423 41.48	13.2 1.29	330以上 32.36以上	486 47.66	13.4 1.31
水 和 熱 cal/g $[\text{J}/\text{g}]$	7 日	—	77.6 324.8	—	—	—	—
	28 日	—	89.3 373.8	—	—	—	—
酸 化 マ グ ネ シ ウ ム %	5.0以下	1.7	—	2.2	5.0以下	1.5	1.8
三 酸 化 硫 黄 %	3.0以下	1.9	—	2.2	3.5以下	3.1	3.3
強 熱 減 量 %	3.0以下	1.6	—	1.8	3.0以下	1.1	1.3
全 アルカリ %	0.75以下	0.65	—	0.70	0.75以下	0.57	0.62
塩化物イオン %	0.02以下	0.008	—	0.012	0.02以下	0.006	0.010

記号:

- (備考) 1. 試験方法は、JIS R 5201、JIS R 5202及びJIS R 5203による。
2. 28日圧縮強さ及び水と熱は、前月度の値を示す。

お問い合わせその他ご連絡先:

住友大阪セメント株式会社
東京支店 技術課
〒101 東京都千代田区神田錦町1丁目8番
(OPビル6F)

セメント試験成績表



平成 7 年 2 月度

秋父小野田株式会社

品 質	規 格	中速ポルトランドセメント JIS R 5210	
		JIS 規格値	試 験 成 績
比 重		—	3.22
比表面積 cm^2/g	2500以上	—	3110
減 縮	水 量 (N)	—	27.0
	始発(h-min)	60min以上	3-10
	終結(h-min)	10h以下	4-15
安 定 性	良	良	—
圧 縮 強 さ kgf/cm^2 $[\text{N}/\text{mm}^2]$	3 d	50以上 (4.90以上)	95 (9.32)
	7 d	100以上 (9.81以上)	142 (13.93)
	28 d	230以上 (22.64以上)	382 (37.46)
水 和 熱 Cal/g $[\text{J/g}]$	7 d	70以下 (293以下)	60.1 (252)
	28 d	83以下 (347以下)	76.4 (320)
酸 化 マ グ ネ シ ウ ム (N)	5.0以下	—	1.5
三 酸 化 硫 黄 (N)	3.0以下	—	2.2
強 熱 減 量 (N)	3.0以下	—	0.9
全 アルカリ (N)	0.75以下	—	0.53
塩 化 物 イ オ ン (N)	0.02以下	—	0.002
けい酸三カルシウム(N)	50以下	—	42
アルミン酸三カルシウム(N)	8以下	—	4

- 備 考 1. 試験方法は、JIS R 5201、JIS R 5202およびJIS R 5203による。
2. ロット生産方式のため、ロット代表試料についての試験成績です。
3. 28日強さおよび水と熱は前月度の値です。

お問い合わせその他ご連絡先

〒100 東京都千代田区丸の内1の8の2

秋父小野田株式会社

電話 03(3214)7814

フライアッシュ品質試験成績報告書

平成 7 年 1 月 9 日

御中

仙台市青葉区大町2丁目15番29号
東北発電工業株式会社
開発部 フライアッシュ課
電話 (022) (261) 5431番

報告番号
製造工場 酒田工場
製造年月 平成 6 年 11 月
試験方法 JISA6201-1991

試験結果

試 験 項 目		規 格	試 験 成 績
化 学 成 分	二 酸 化 ケ イ 素(%)	45以上	63.6
	湿 分(%)	1以下	0.11
	強 熱 減 量(%)	5以下	3.50
比 重		1.95以上	2.24
粉 末 度	標準網フルイ45μ残分(%)	—	—
	比表面積 (ブレン方法)(cm ² /g)	2400以上	3,800
単 位 水 量 比(%)		102以下	98.0
圧 縮 強 度 比(%)		7日 ※(60以上)	67.9
		28日 60以上	71.6
		91日 70以上	86.1
吸 着 量(eg/g)		—	0.60
フ ロ ー 値(mm)		—	219

※社内規格

但し、28日の圧縮強度比は10月分、91日の圧縮強度比は8月分の試験結果。

平成 7 年 1 月度 コンクリート用化学混和剤試験結果報告書



販

種類 減水剤遅延形 I 種
品名 サンフロー ER-2

1. コンクリートの試験結果

試験項目	JIS A 6204 による規定値	試験値	
		スランプ 8cm	スランプ 18cm
減水率 (%)	4 以上	8	8
ブリーディング量の比 (%)	100 以下	81	85
凝結時間の差 (min)	始 発 +60~+210	+175	+180
	終 結 +210 以下	+175	+180
圧縮強度比 (%)	材齢 3日 105 以上	129	129
	材齢 7日 110 以上	125	125
	材齢 28日 110 以上	122	123
長さ変化比 (%)	120 以下	100	101
凍結融解に対する抵抗性 (相対動弾性係数比, %)	-	-	-

- 備考 1. 化学混和剤使用量 (セメント質量に対する。) $C \times 0.392\%$
 2. 材齢 28 日の圧縮強度比の値は、前月度の値である。
 3. 長さ変化比および凍結融解に対する抵抗性の試験は、年 1 回の頻度で実施し、
 当表に表示されている試験値は、平成 6 年 10 月分の試験結果である。

2. 塩化物イオン (Cl^-) 量

項 目	化学混和剤中の 塩化物イオン量	種 類	規 定 値	試験値
塩化物イオン (Cl^-) 量	0.11 %	I	0.02 kg/m ³ 以下	0.00 kg/m ³

備考 単位セメント量 320kg/m³ , 1m³ 当りの化学混和剤の使用量 1.25 kg/m³

3. 全アルカリ量

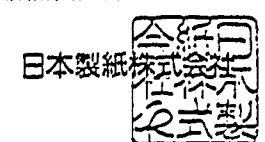
項 目	化学混和剤中の 全アルカリ量	規 定 値	試験値
全アルカリ量	3.1 %	0.30 kg/m ³ 以下	0.04 kg/m ³

備考 単位セメント量 320kg/m³ , 1m³ 当りの化学混和剤の使用量 1.25 kg/m³

4. その他必要な事項
比重

項 目	規 格 値	測 定 値
比 重 (20℃)	1.120 ± 0.010	1.120

平成 7 年 1 月度 コンクリート用化学混和剤試験結果報告書



販

種類 AE 減水剤遅延形 I 種
品名 サンフロー R (250g/ℓ)

1. コンクリートの試験結果

試験項目	JIS A 6204 による規定値	試験値	
		スランプ 8cm	スランプ 18cm
減水率 (%)	10 以上	13	13
ブリーディング量の比 (%)	70 以下	53	57
凝結時間の差 (min)	始 発 +60~+210	+115	+115
	終 結 +210 以下	+115	+120
圧縮強度比 (%)	材齢 3日 105 以上	124	124
	材齢 7日 110 以上	122	122
	材齢 28日 110 以上	115	115
長さ変化比 (%)	120 以下	99	100
凍結融解に対する抵抗性 (相対動弾性係数比, %)	80 以上	97	-

- 備考 1. 化学混和剤使用量 (セメント質量に対する。) $C \times 1.11\%$
 2. 材齢 28 日の圧縮強度比の値は、前月度の値である。
 3. 長さ変化比および凍結融解に対する抵抗性の試験は、年 1 回の頻度で実施し、当表に表
 示されている試験値は、平成 6 年 10 月分の試験結果である。

2. 塩化物イオン (Cl^-) 量

項 目	化学混和剤中の 塩化物イオン量	種 類	規 定 値	試験値
塩化物イオン (Cl^-) 量	0.12 %	I	0.02kg/m ³ 以下	0.00 kg/m ³

備考 単位セメント量 320kg/m³ , 1m³ 当りの化学混和剤の使用量 3.55kg/m³

3. 全アルカリ量

項 目	化学混和剤中の 全アルカリ量	規 定 値	試験値
全アルカリ量	0.2 %	0.30kg/m ³ 以下	0.01 kg/m ³

備考 単位セメント量 320kg/m³ , 1m³ 当りの化学混和剤の使用量 3.55kg/m³

4. その他必要な事項
比重

項 目	規 格 値	測 定 値
比 重 (20℃)	1.110 ± 0.010	1.110