

## IV-5 低品質細骨材の有効利用に関する調査

研究予算：運営費交付金(治水勘定)

研究期間：平 15～平 17

担当チーム：技術推進本部(構造物マネジメント技術)

研究担当者：渡辺博志、片平博

**【要旨】**ダムに使用する骨材量は膨大でその採取に伴う環境への影響が大きいために、多少品質の劣る岩石であっても有効利用に努め、掘削量を減じる必要がある。これまで、低品質骨材の研究は粗骨材を中心に行われてきたが、品質の劣る原石は細粒化され細骨材となりやすい。このため、低品質細骨材の有効利用技術が確立すれば、廃棄される岩石の量を大幅に減じられる可能性がある。このことから、全国から品質の劣る骨材を多数収集し、これらがコンクリートの性能に与える影響について実験的な検討を行った。

この結果、低品質な細骨材を用いると、①フレッシュ性状が変化しやすいこと、②圧縮強度や耐凍害性はほとんど低下しないこと、③乾燥収縮の増加量は粗骨材に比較してやや小さいこと等が分かった。これらの結果から細骨材の品質基準(案)の提案を行った。

**キーワード：**コンクリート、低品質細骨材、フレッシュ性状、圧縮強度、凍結融解抵抗性、乾燥収縮

### 1. はじめに

一般に良質なコンクリートを製造するためには、良質な骨材資源の確保が重要である。

しかしながら、ダムに使用される骨材量は膨大である。近年、環境への配慮から原石採取場の掘削量を減らし、また、掘削したまま使用しないで廃棄する岩石の量を極力減らすことが望まれている。また、動物や植物の貴重種の保護のために、仮に良好は原石山が存在しても工事ができず、やむなく品質の劣る山から原石を採取する状況も生じている。これらの背景から多少品質の劣る骨材であっても、問題点を技術的に解決することで、有効利用する必要がある。

低品質骨材の有効利用に関する研究<sup>1)</sup>はこれまで粗骨材を中心に行われてきており、細骨材に関する研究は少ない。一般に岩石中の品質の劣る部分は骨材製造中に細粒化され、細骨材となりやすいのため、低品質細骨材の有効利用技術が確立すれば、廃棄される岩石量の削減に寄与できると考える。

このことから、本研究では全国から品質の劣る岩石(骨材)を収集し、①これを用いて製造(ふるい分け)した粗骨材と細骨材の物理的品質を調査し、②低品質細骨材をコンクリートに用いた場合のフレッシュ性状や硬化後の強度や耐久性への影響を調査<sup>2)3)</sup>し、③最終的に低品質細骨材の品質評価基準案の提案を目指すものである。

### 2. 実験方法

#### 2.1 骨材の収集

15年度は全国3箇所のダム建設現場から品質が悪く廃棄される岩石を収集した。16年度は全国の中でも地質の関係で品質の劣る東北地方の河川堆積物を3箇所から収集した。この6種類の岩石については洗浄しながらフルイ分けし、5～25mmを粗骨材、5mm以下を細骨材とした。なお、細骨材については、水洗いにより0.15mm以下を5%程度とし、また、必要に応じて2.5-5mmの粒度をカットして、各骨材

表-1 収集した骨材の種類

	記号	分類	岩種	備考
シリーズ1	A	良質骨材	細：川砂、粗：砂岩	
	Z	ダム現場掘削ずり	砂岩(強風化)	ふるい分けに
	T		安山岩(熱水変質)	より細骨材と粗
	D		花崗岩(強風化)	骨材に分類
	W	河川体積物	川砂利・川砂	ふるい分けに
	M		川砂利・川砂	より細骨材と粗
	Y		川砂利・川砂(玉砕)	骨材に分類
シリーズ2	東1	細骨材	川砂	細骨材のみ
	東2		川砂	
	東3		川砂	
	東4		川砂	
	東5		川砂	
	東6		川砂	
	九1		海砂	
	九2		海砂	
	九3		海砂	
	九4		砕砂	

の粒度分布が概ね同程度となるように調整した。これらの骨材を用いた試験をシリーズ1とする。

17年度はコンクリート用骨材としては使用されない低品質細骨材を全国10箇所から収集した。このうち6材料は東北、4材料は九州のものであった。なお、これらの中には粒度分布が土木学会の標準粒度から外れるものもあったが、特に調整は行わず、そのままコンクリート用細骨材として実験に使用した。これらの骨材を用いた試験をシリーズ2とする。

収集した16種類の骨材を表-1に示す。表-1中のA骨材は比較対照用の良質な骨材である。

## 2.2 試験方法

骨材の物理試験としては、細骨材については密度、吸水率、安定性、実積率、粒度分布、微粒分量を測定した。粗骨材については密度、吸水率、安定性、実積率、すりへり減量、微粒分量を測定した。

表-1に示す各細骨材、粗骨材を用いてコンクリートを練混ぜた。シリーズ1の低品質骨材については、細骨材のみ使用(-s)、粗骨材のみ使用(-g)、細骨材と粗骨材の双方を使用(-sg)の3種類の配合を設定した。シリーズ2の低品質細骨材については、全て良質

な粗骨材との組合せでコンクリートを製造した。また、比較用に良質な細骨材と粗骨材を用いた配合(AA)でもコンクリートを製造した。

コンクリートの配合は単位水量 165kg/m<sup>3</sup> を標準としたが、スランプが小さく供試体の製造ができないものについては単位水量を増加させることとした。この結果、各配合は表-2のとおりとなった。

練り上がったコンクリートを用いてスランプ試験、空気量試験を行った後に圧縮強度、長さ変化、凍結融解試験用供試体を作製した。

圧縮強度試験用供試体はφ10×20cmとし、1配合あたり3本作製した。キャッピングを行った後、材齢28日まで水中養生を行い、JIS A 1108によって圧縮強度を測定した。

凍結融解試験用と長さ変化試験用供試体は10×10×40cmの角柱供試体とし、1配合あたり3本(凍結融解2本、長さ変化1本)作製し、材齢28日まで水中養生を行った。

凍結融解試験はJIS A 1148(A法)に従って実施し、300サイクルの試験結果から耐久性指数と質量減少量を求めた。

長さ変化試験はシリーズ1についてのみJIS A 1129に準拠して実施し、3ヶ月までの長さ変化と質量減少量を測定した。なお、長さ変化試験における環境条件としては温度については20℃とし、湿度の制御は行わなかった。

表-2 コンクリートの配合

対象	Gmax (mm)	水セメント 比(%)	目標空気 量(%)	細骨材 率(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )	
					水	セメント
下記以外	25	55	4.5	45~46	165	300
Z-s, Z-sg	25	55	4.5	45	195	355
九1-s	25	55	4.5	46	185	336
東2-s, 東4-s 九2-s, 九3-s	25	55	4.5	42	205	373

表-3 骨材の品質試験結果とその他の材料

記号	細骨材(5mm以下)						粗骨材(5~25mm)						
	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	安定性 (%)	実積率 (%)	粗粒率 F.M	微粒分 量(%)	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	安定性 (%)	すりへり 減量(%)	実積率 (%)	微粒分 量(%)	
シリーズ1	A	2.56	1.58	3.5	66.0	2.60	0.71	2.65	0.50	3.3	10.7	60.1	0.06
	Z	<b>2.42</b>	<b>4.41</b>	<b>28.3</b>	66.7	3.02	<b>7.28</b>	2.45	<b>3.33</b>	<b>56.4</b>	27.7	57.6	0.57
	T	<b>2.37</b>	<b>4.33</b>	<b>30.4</b>	66.3	3.18	2.48	2.47	2.74	<b>72.9</b>	33.3	58.5	0.30
	D	2.57	1.37	5.9	63.9	2.86	1.47	2.53	1.47	<b>22.3</b>	10.8	59.3	0.04
	W	<b>2.44</b>	<b>5.38</b>	<b>12.5</b>	63.5	2.73	0.75	2.45	<b>4.21</b>	<b>21.0</b>	20.1	64.6	0.19
	M	<b>2.47</b>	3.18	8.5	64.5	3.17	2.19	2.45	<b>3.37</b>	<b>14.9</b>	17.2	65.8	0.21
	Y	<b>2.42</b>	<b>6.03</b>	<b>12.4</b>	60.3	2.90	1.18	2.48	<b>4.39</b>	<b>18.8</b>	22.4	58	0.38
シリーズ2	東1	<b>2.46</b>	<b>3.98</b>	6.5	65.0	2.63	3.59	骨材以外の材料 ・セメント:普通ポルトランドセメント ・水:水道水 ・減水剤:リグニンスルホン酸系AE減水剤 ・AE助剤:変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤					
	東2	<b>2.43</b>	<b>4.63</b>	9.8	57.7	2.35	4.67						
	東3	<b>2.46</b>	<b>3.57</b>	3.8	60.8	2.54	3.64						
	東4	<b>2.27</b>	<b>5.57</b>	<b>27.5</b>	51.2	1.50	3.31						
	東5	2.53	3.05	3.7	66.6	3.11	2.49						
	東6	2.54	3.46	8.3	62.5	2.69	3.54						
	九1	<b>2.24</b>	<b>7.73</b>	8.4	51.1	2.28	2.42						
	九2	<b>2.45</b>	<b>2.28</b>	7.5	55.1	1.72	1.39						
九3	<b>2.29</b>	<b>6.60</b>	7.5	51.6	2.06	1.63							
九4	<b>2.47</b>	<b>1.42</b>	1.6	66.8	2.55	<b>13.36</b>							

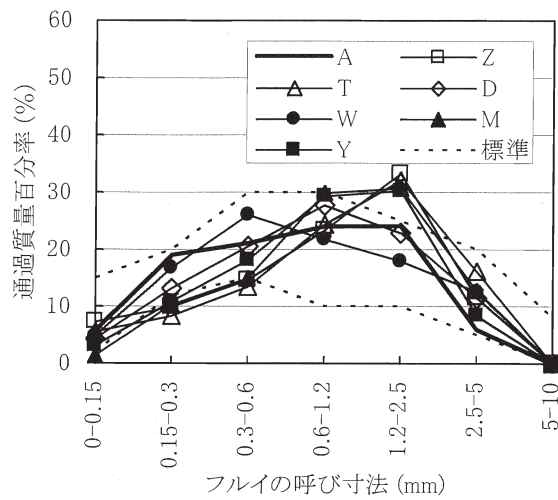


図-1 細骨材の粒度分布 (シリーズ1)

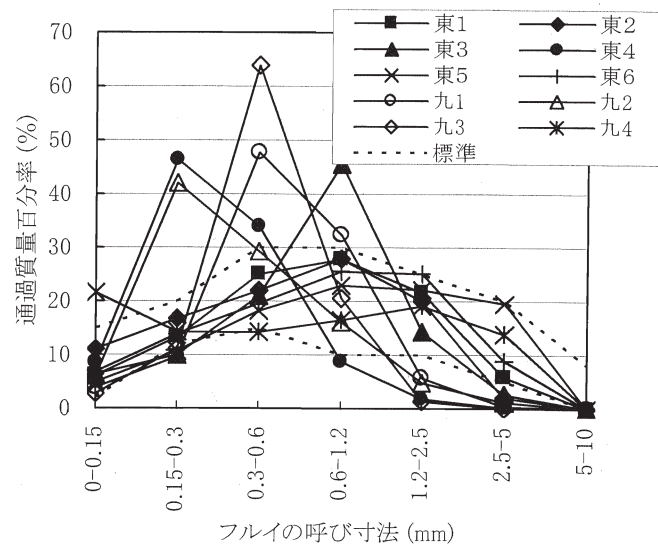


図-2 細骨材の粒度分布 (シリーズ2)

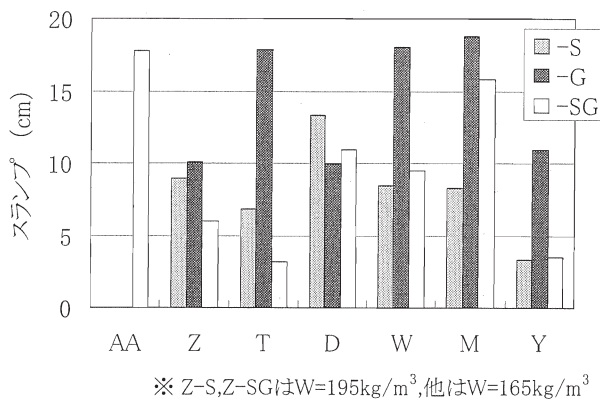


図-3 スランプ (シリーズ1)

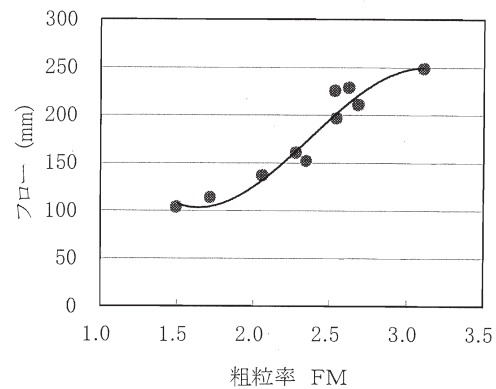


図-4 粗粒率とフロー値の関係 (シリーズ2)

### 3. 実験結果

#### 3.1 骨材試験結果

骨材試験結果を表-3に示す。表中の太字の部分  
が基準を満足しない物性である。

また、細骨材の粒度分布を図-1, 2に示す。図に  
は土木学会標準示方書ダム編の標準粒度範囲も合  
わせて示したが、特に東4, 九1, 九2, 九3は標  
準粒度範囲を大きく外れ、細かい粒子の割合が多  
いものであった。

#### 3.2 フレッシュコンクリートの流動性

シリーズ1のスランプ試験の結果を図-3に示  
す。今回の配合は単位水量  $165\text{kg/m}^3$  を基本とし  
たが、配合 Z-s と Z-sg ではフレッシュコンクリ  
ートが硬すぎ、供試体の製造が不可能となったた  
め、単位水量を  $195\text{kg/m}^3$  に変更した。Z骨材は  
風化による粘土分が多く、また練混ぜ中の粉碎も  
考えられ、これがスランプ低下の一因として考え

られる。また、Z以外の各配合でも細骨材に低品  
質骨材を使用した配合でのスランプはAAに比較  
して小さくなった。

シリーズ2では単位水量  $165\text{kg/m}^3$  のコンクリート配  
合から粗骨材を除いたモルタル配合でフローを測定  
した。このフローと粗粒率(FM)との関係を図-4に示  
すが、良く対応した関係を示しており、FMが2.5  
~ 3.0の範囲ではフローは大きく、FMが小さく(すな  
わち細かい粒子が多く)なるほどフローが小さくなる傾  
向を示した。

以上のようにコンクリートの流動性に与える影  
響は粗骨材よりも細骨材で顕著であり、細骨材の  
なかでも特に細粒分の多いもので流動性が低下す  
る傾向を示した。

#### 3.3 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-5, 6に示す。各配合  
ともにAAに比較して同程度かやや低い強度とな



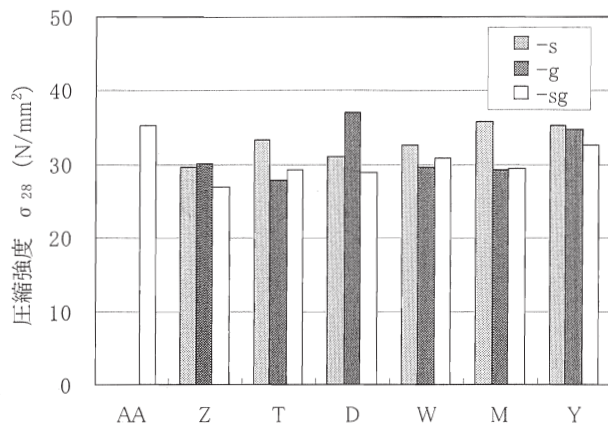


図-5 圧縮強度 (シリーズ 1)

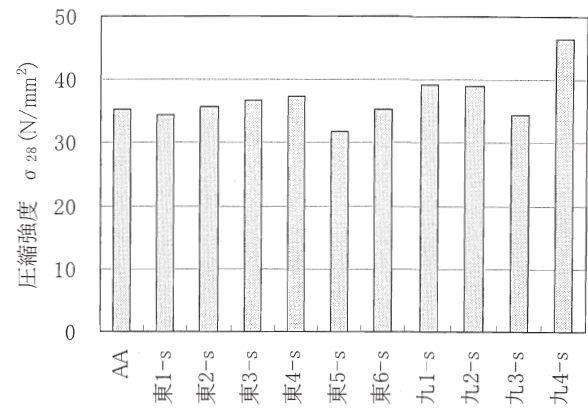


図-6 圧縮強度 (シリーズ 2)

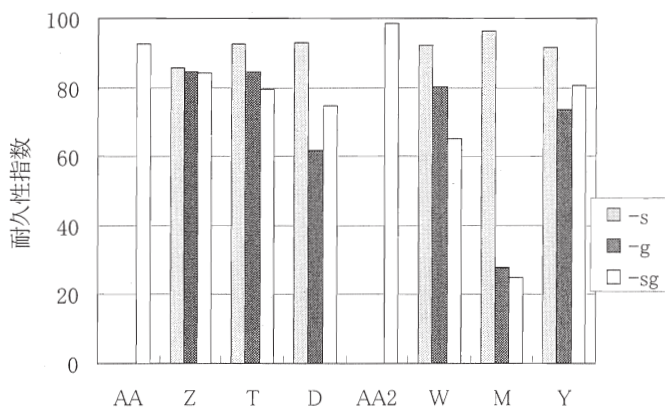


図-7 凍結融解試験結果 (シリーズ 1, 耐久性指数)

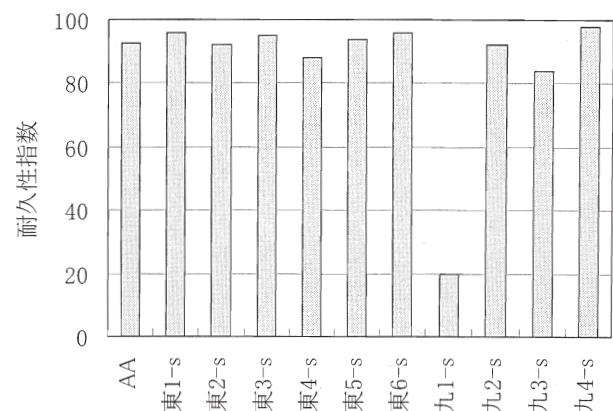


図-8 凍結融解試験結果 (シリーズ 2, 耐久性指数)

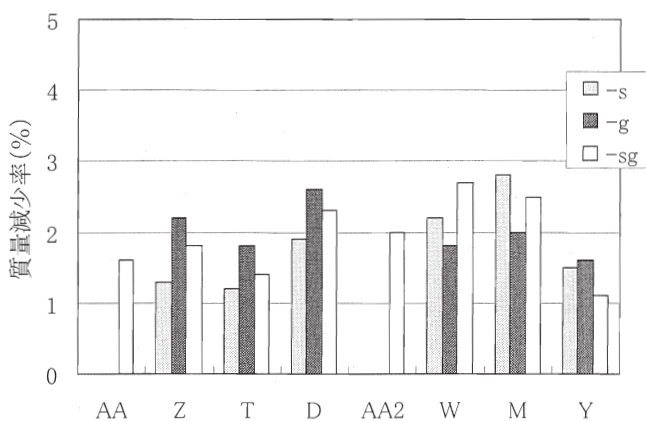


図-9 凍結融解試験結果 (シリーズ 1, 質量減少率)

したが、最低でも AA の強度の 80 % 以上の値を示しており、骨材の品質が強度に与える影響は比較的小さい結果となった。

この理由としては今回の配合は水セメント比が 55 % であり、この程度の配合の場合には、骨材よりもペースト硬化体の強度のほうが小さいために、コンクリートの強度は主にペースト硬化体の強度に依存するためと考えられる。

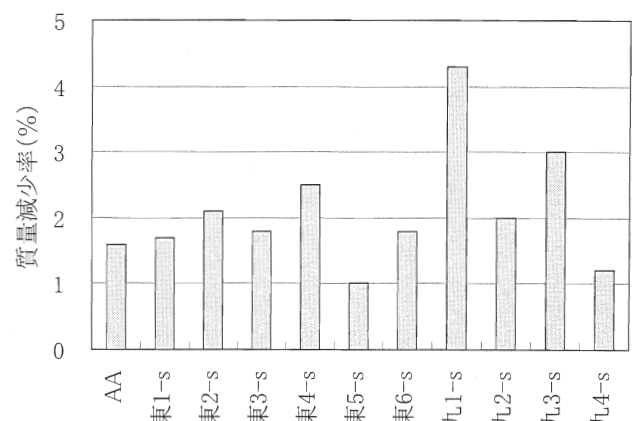


図-10 凍結融解試験結果 (シリーズ 2, 質量減少率)

図-5から、細骨材と粗骨材の影響度合いを比較すると、Dを除いて僅かながら粗骨材の影響が大きい傾向が認められた。

### 3.4 凍結融解抵抗性

凍結融解試験から得られる耐久性指数について、シリーズ1の試験結果を図-7に、シリーズ2の試験結果を図-8に示す。

図-7のシリーズ1の結果について、細骨材と粗骨

材の影響を比較すると、いずれの骨材でも粗骨材を低品質としたケースで動弾性係数の低下が大きくなっており、細骨材のみが低品質骨材に置き換わったケースの耐久性指数はいずれも 80 %以上の高い値を示した。凍結融解による骨材の劣化は骨材の空隙中の水が凍結する際の膨張圧によって生じると考えられるが、粒子径の小さな細骨材のほうが粗骨材に比較して骨材内部に発生する膨張圧が相対的に小さく、劣化しにくいものと考えられる。また、骨材を覆うセメントペーストによる拘束効果も粒子の小さい細骨材に対してのほうが大きいものと考えられる。

図-8のシリーズ2の耐久性指数は九1-s のみが低下し、その他の配合ではいずれも 80 %以上の高い値を示した。九1の細骨材の物理的性質は表-1に示すように絶乾密度  $2.24\text{g/cm}^3$ 、吸水率 7.73 %であり、今回試験に用いた 16 種類の細骨材の中で最も低品質であった。また、九1-s のコンクリートの練混ぜは単位水量  $185\text{kg/m}^3$  で行い、測定空気量は 5.7 %を得たが、スランプは 1.2cm と硬練りとなってしまった。エントレインドエアが十分であったかどうかについて懸念がある。従って、九1-s の耐久性指数が低かった原因については細骨材の物性によるものか、エントレインドエアの不足によるものかについて、今後の検討が必要である。

300 サイクル終了時点の質量減少率を図-9, 10に示す。九1-sを除いて、質量減少率は3%以下であり、極端に大きな欠損は見られなかった。九1-sについても相対動弾性係数が 60 %を切ったのは 150 サイクル程度であったが、その時点での質量減少量は 1%以下であった。

骨材の耐凍害性を評価する指標として安定損失質量がある。そこで各細骨材、粗骨材の安定性損失質量と、その細骨材または粗骨材を使用した場合のコンクリートの耐久性指数との関係を図-11に示す。今回の試験の範囲では双方の間に対応関係は見られなかった。

### 3.5 長さ変化

長さ変化試験結果について3ヶ月経過時点の長さ変化を図-12に示す。これより、長さ変化の与える影響を細骨材と粗骨材とで比較すると、粗骨材の影響のほうがやや大きいようである。

図-13は単位水量が  $165\text{m}^3$  のコンクリート配合について、コンクリート  $1\text{ m}^3$  中の全ての骨材に含まれる水量(骨材の吸水率に相当する水量、これをここでは骨材含水量と呼ぶ)と3ヶ月経過時点の質量減少量と

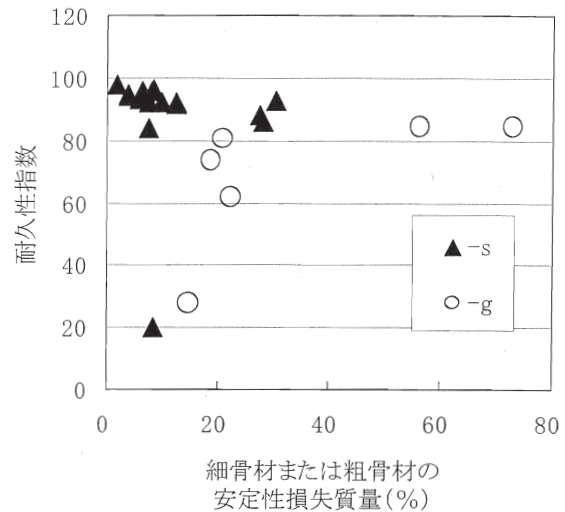


図-11 安定性損失質量と耐久性指数

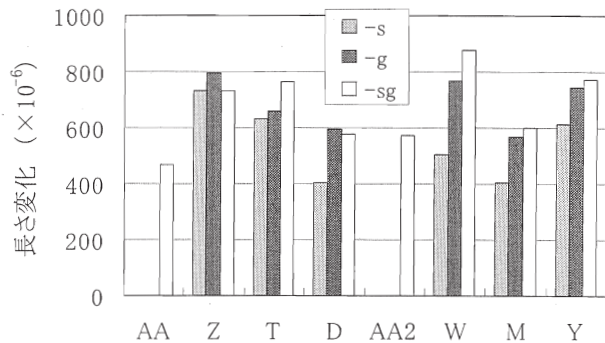


図-12 長さ変化 (シリーズ1, 3ヶ月)

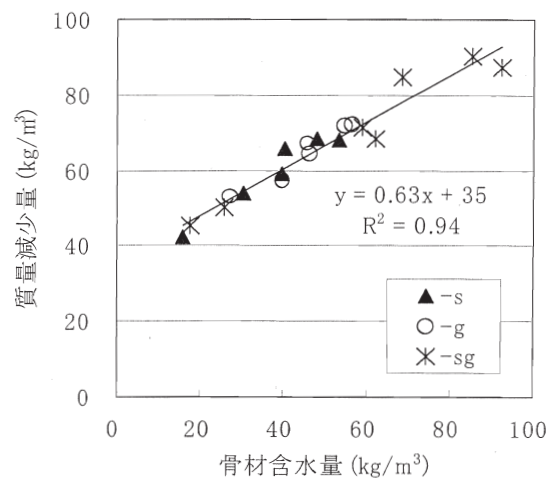


図-13 長さ変化試験における質量減少量と骨材含水量の関係

の関係を示したものであるが、質量減少量は骨材含水量と良く対応したものであった。一方、図-14は3ヶ月経過時点の質量減少量と長さ変化の関係を示したものであるが、この関係にはバラツキが認められ

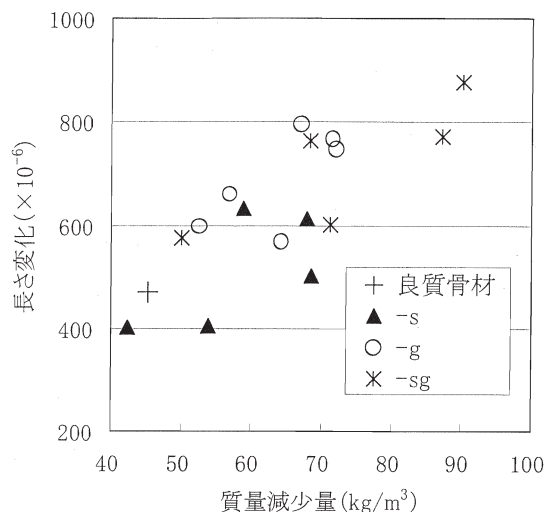


図-14 長さ変化試験における 質量減少量と長さ変化の関係

た。傾向としては質量減少量が多いものほど長さ変化量も大きい傾向が認められるものの、同じ質量減少量のものでも長さ変化量は  $150 \times 10^6$  程度の幅で違いが認められた。粗骨材と細骨材を比較すると、同じ質量減少量では細骨材のほうが長さ変化が小さい傾向が認められ、長さ変化に対する影響は細骨材のほうがやや小さい結果となった。

#### 4. まとめ

##### 4.1 実験結果のまとめ

実験の結果、品質の劣る細骨材を使用した場合のコンクリート性能への影響は以下のように整理される。

- (1) フレッシュコンクリートの流動性は細骨材の種類によって大きく異なり、単位水量が大幅に増えるケースも認められた。
- (2) 圧縮強度はほとんど低下しなかった。
- (3) 凍結融解試験における耐久性指数は1ケース(九1-s)のみ低下した。このケースは細骨材の物理的性質が試験ケース中最も悪かったが、スランプも小さかったことからエントレインドエアが不足していた可能性も考えられる。
- (4) 長さ変化はやや大きくなるが、粗骨材を低品質化した場合に比較するとその影響は小さかった。

##### 4.2 品質評価基準の提案

以上のように、品質の劣る細骨材を使用した場合にはフレッシュコンクリートの流動性が大きく変化する可能性があること、硬化後の強度や耐久性に対する影響は小さいことが分かった。このことから、コンクリー

ト用細骨材の品質評価基準について以下のように提案する。

(1) 流動性に影響を与えると考えられる粒度分布、微粒分量、実積率の基準は現在の水準を維持するのが良いと考える。

(2) 硬化後の強度や耐凍害性に与える影響は小さいことから、密度、吸水率の基準については大幅に緩和できると考える。ただし、限られた試験数の結果であることや、品質の劣る骨材は密度や吸水率の変動幅も大きい傾向にあり、コンクリートの品質が安定しなくなる可能性もある。これらのことから、現在の基準を幾分か下回る基準として、密度 2.4 以上、吸水率 5% 以下とする基準案を提案する。

(3) ただし、コンクリートの長さ変化については細骨材でも長さ変化が大きくなるものもあることから、乾燥収縮に特に留意が必要なコンクリート用骨材の基準としては現行水準を維持するのが良いと考える。

(4) 安定性損失質量の値は、コンクリートの耐凍害性との間に対応関係が認められず、試験の意義も含めて今後とも検討する必要がある。少なくとも、今回の試験で用いた細骨材の安定性損失質量の最大値は 30% であり、この範囲までは許容して良いと考える。

今回の試験結果から上記のような基準(案)を提案するが、限られた試験結果であり、当面はダムなどの品質管理の行き届いた構造物において試行的な適用を行い、実施工において問題が無いことを十分に確認した時点で基準類を改正するのが良いと考える。

#### 参考文献

- 1) 小林茂敏, 河田博之, 高橋正志, 高橋弘人, 石井良美「コンクリート用骨材に関する調査報告書(1)物理的品質不良骨材に関する試験調査」土木研究所資料第 1838 号, 昭和 57 年 6 月
- 2) 片平博, 河野広隆「低品質細骨材の使用がコンクリートのフレッシュ性状、強度および耐久性に与える影響」第 59 回土木学会年次学術講演会講演概要集, No. 5, pp. 499-500, 2004. 9
- 3) 片平博, 渡辺博志「低品質細骨材がコンクリートのフレッシュ性状、強度および耐久性に与える影響」骨材の品質と有効利用に関するシンポジウム論文集, (社)日本コンクリート工学協会, pp.45-50, 2005.12