

## ◆ コンクリート特集 ◆

## 砕砂を使用したコンクリートの単位水量低減手法の検討

片平 博\* 河野広隆\*\*

## 1. はじめに

コンクリート用の骨材については、全国各地で様々な種類の岩石が使用されているが、骨材はコンクリート容積中の7~8割を占め、その性状がコンクリートの品質に与える影響は大きい。

また、国内におけるコンクリート用骨材の年間需要量は約5億tという膨大な量に達しており、資源の枯渇や環境に対する配慮等から、その採取場所が次第に制限されてきた経緯がある。すなわち、コンクリート用骨材はかつては豊富な川砂利、川砂に依存していた。川砂利、川砂は粒度および粒子形状が良好でコンクリート用骨材に最適であった。しかしながら高度経済成長期に入り、骨材の採取量が増大すると河川景観の変化や泥水の発生等の環境負荷が増大し、また河床低下による治水能力の低下を招き、その採取場所・量が厳しく制限されるに至った。これに伴って、骨材採取の主流は陸砂利、山砂、海砂等に移行していった。陸砂利、山砂等は旧河川の堆積物であるので品質は川砂利、川砂と遜色ないが、良好な品質の骨材を大量に確保することは次第に困難となっており、岩石を人工的に砕いた碎石、砕砂の需要もかなり増加している<sup>1)</sup>。

骨材事情を地域的にみると次のような特徴がある。関東、中部、北陸地方は比較的良好である(ただし首都圏については多種多様な骨材が流通しており、その性状は様々である)。グリーンタフのような軟質な火山岩類の山岳を抱える東北地

方ではやや品質の劣る骨材が認められる。西日本(近畿、中国、四国、北九州地方)は陸地に良質な骨材の産地が少なく、粗骨材は碎石、細骨材には海砂と砕砂の混合砂の使用がほとんどである<sup>1)</sup>。

現在では、環境への配慮から海砂の採取を禁止する自治体が増えてきており、細骨材の大半を海砂に依存している西日本では、海砂に替わる細骨材を緊急に検討しなければならない。

海砂に替わる材料の候補としては砕砂、真砂、海外からの輸入砂、再生骨材<sup>2)</sup>、他産業副産物(フライアッシュ、スラグ等)などがあげられるが、単独では現在の海砂の需要量にとうてい及ばないため、多方面にわたる研究が必要である。

ここでは、比較的生産量の増加が見込める砕砂に着目し、細骨材に砕砂を使用した場合のコンクリートの問題点およびその改善策について検討した結果を報告する。砕砂は現在でも海砂等と混合して使用されているが、今回の検討では細骨材の全てを砕砂とした場合について検討した。

## 2. 目的

砕砂は川砂等の天然の細骨材に比較して粒子形状が角ばっているために、細骨材に砕砂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低下する。このため、同一の流動性を確保するための単位水量が増加するといった問題点がある。単位水量が増加すると硬化後のコンクリートの乾燥収縮、透水性、透気性等が増加し、このことは耐久性の低下につながるものである。

表-1 細骨材の物性

	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	形状判定実積率 (%)	岩種	備考
川砂	2.60	1.05	2.76	68.6	59.4		
砕砂A	2.63	0.94	2.66	69.0	55.6	硬質砂岩	
砕砂B	2.63	2.58	2.97	68.6	55.7	安山岩熔岩	洗い損失約10%
7号碎石	2.65	0.53	—	56.9	—	硬質砂岩	

そこで、単位水量の増加傾向を把握するとともに、単位水量を低減させるための方策として①高性能 AE 減水剤の使用、②粗骨材最大寸法の変更、③骨材粒度分布の調整、の効果について検討することを目的とした。

### 3. 実験方法

#### 3.1 実験に使用した材料

実験には表-1 に示す 3 種類の細骨材を使用した。砕砂 A は良質な岩石から製造された砕砂であり、砕砂 B は物理的性状がやや劣る砕砂である。川砂は比較用の細骨材である。砕砂と川砂の性状を比較すると形状判定実積率が砕砂のほうが約 4% 小さく、形状が良くないことがわかる。各細骨材の粒度分布は表-2 に示す通りである。川砂と砕砂 A の粒度分布はほぼ同程度、砕砂 B の粒度分布は川砂、砕砂 A に比較して 1.2~5mm がやや多めであるが、JIS A 5308(付属書 1) の標準粒度の範囲に概ね入っている。

なお、表-1 中の 7 号砕石は、品名上は砕石となっているが、粒度分布としては 2.5~5mm の材料であり、細骨材の範囲である。この 7 号砕石を上記の砕砂 A, B に混入して粒度を調整することとした。岩質としては砕砂 A と同一のものである。

表-2 細骨材の粒度分布 (質量百分率)

粒径(mm)	川砂	砕砂 A	砕砂 B
5.0以上	0	0	1.1
2.5-5.0	7.3	8.8	13.3
1.2-2.5	30.5	27.4	32.5
0.6-1.2	20.5	22.1	20.0
0.3-0.6	16.9	15.9	12.6
0.15-0.3	17.3	14.1	9.1
0.15以下	7.5	11.7	11.4
計	100	100	100

細骨材以外のコンクリート材料の物性は表-3 に示すとおりである。

#### 3.2 単位水量低減の方法

コンクリートの単位水量を低減する方法として以下の 3 とおりの検討を行った。

- (1) 高性能 AE 減水剤の使用：通常の AE 減水剤にかわり、高性能 AE 減水剤を使用することによる単位水量の低減効果を検討した。使用した高性能 AE 減水剤はポリカルボン酸エーテル系のもので、添加量はメーカーの標準使用量に準拠して単位セメント量の 1.1% (質量比) とした。
- (2) 粗骨材最大寸法の変更：最大骨材寸法を大きくするとコンクリート中の粗骨材容積が大きくなるため、その空隙を埋めるためのペースト量 (しいては単位水量) は少なくして済む。本実験では粗骨材最大寸法を 20mm, 30mm, 40mm として単位水量を比較した。
- (3) 細骨材の粒度調整：図-1 は粗骨材最大寸法を 20mm、細骨材率を 45% と仮定して、各細骨材を使用した場合の骨材全体の粒度分布を示したものである。図には JIS A 5308 (付属書 1) に示されるレディミクストコンクリート用骨材の標準粒度の上下限値もあわせて示したが、いずれの曲線も 2.5~5.0mm の部分の勾配が小さく、2.5~5.0mm の分布量が少ないことが分かる。そこで、2.5~5.0mm 粒径の 7 号砕石を細骨材に適量 (細骨材質量に対して 0~30%) 添加することにより粒度分布を改善し、これによる単位水量の低減効果を検討した。

#### 3.3 コンクリートの配合と評価方法

表-1 に示す 3 種類の細骨材を用い、3.2 に示す (1), (2) の手法を適用した場合に、スランプが 6~8cm、空気量 4.0~6.0% の範囲に入るコンクリートの配合を実験により求め、各配合の単位水量を比較した。

また、3.2 (3) の手法については単位水量を一定

表-3 細骨材以外のコンクリート材料の物性

セメント	普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm <sup>3</sup> 、比表面積 3,320cm <sup>2</sup> /g
水	水道水
粗骨材 (3, 4, 5, 6 号砕石)	硬質砂岩、密度 2.67g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 0.45~0.75%
AE 減水剤	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系
AE 剤	界面活性剤

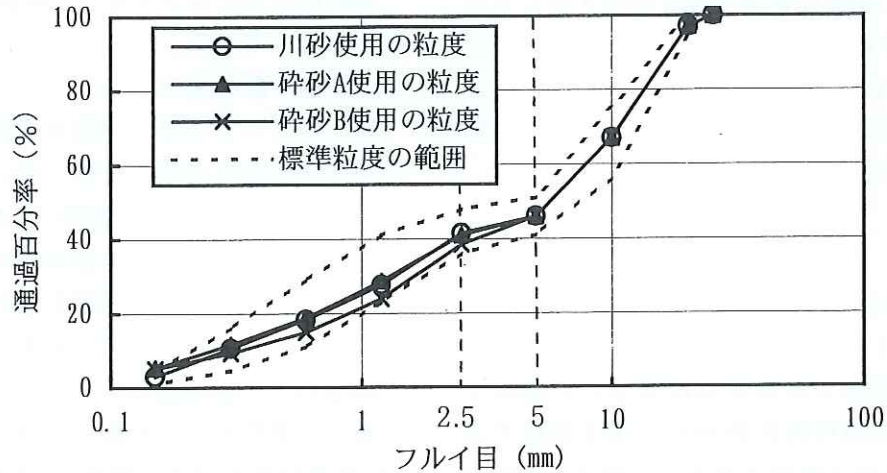


図-1 骨材全体の粒度分布

とした配合でスランプの違いを比較した。

なお、主要な配合について供試体を採取し、材齢 28 日の圧縮強度を測定した。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 各細骨材を使用したコンクリートの標準的な配合

3種類 of 細骨材を使用し、粗骨材最大寸法 20mm、一般の AE 減水剤を使用し、細骨材の粒度調整を行わない条件で、スランプ 8cm、空気量 5%の条件を満足する配合は表-4 のとおりであった。川砂を使用した場合の単位水量が  $155\text{kg/m}^3$  であったのに対して、砕砂 A では  $163\text{kg/m}^3$ 、砕砂 B では  $190\text{kg/m}^3$  となり、砕砂を使用することにより単位水量は増加する傾向を示した。

##### 4.2 高性能 AE 減水剤による単位水量低減効果

高性能 AE 減水剤の使用と粗骨材最大寸法の違いがコンクリートの単位水量に与える影響を図-2~4 に示す。

図-2~4 の (1) の図が単位水量の値であり、(2) の図は各配合におけるスランプと空気量の値である。スランプは 6~8cm の範囲、空気量は 4~6% の範囲となり、各配合とも概ね同一のフレッシュ性状と考えられる。

図-2~4 の (1) の図から、高性能 AE 減水剤使用による単位水量の低減効果は次のとおりであった。

① 川砂を使用した配合では高性能 AE 減水剤の使用による単位水量低減効果は認められなかった。

② 砕砂 A および砕砂 B を使用した全ての配合で、高性能 AE 減水剤を使用したことにより、単位水量は約  $10\text{kg/m}^3$  低下する傾向を示した。

##### 4.3 粗骨材最大寸法の違いによる単位水量低減効果

図-2~4 より、高性能 AE 減水剤使用による単位水量の低減効果は次のとおりであった。

細骨材や減水剤の種類によらず、最大粗骨材寸法が 10mm 大きくなるごとに単位水量は約  $5\text{kg/m}^3$  低下する傾向を示した。

##### 4.4 細骨材の粒度調整による単位水量低減

砕砂 A, B に 7号砕石を混入して 2.5-5mm の含有率を増加させた場合について、単位水量を一定とした場合のスランプの変化を図-5 に示す。

砕砂 A の 2.5-5mm の含有率は約 9% であり、これに 7号砕石を添加することによって、2.5-5mm の含有率を 9~39% まで変化させた。20% 程度まではスランプの変化はないが、20% を超えるとスランプは低下する傾向を示した。ただし空気量もやや低下しており、空気量調整剤等で空気量を

表-4 実験から得られた基本配合

使用細骨材	粗骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )				スランプ (cm)	空気量 (%)
				水	セメント	細骨材	粗骨材		
川砂	20	55	46	155	282	847	1,100	7.9	5.3
砕砂 A	20	55	45	163	296	815	1,100	8.3	6.0
砕砂 B	20	55	45	190	345	765	950	8.5	5.3

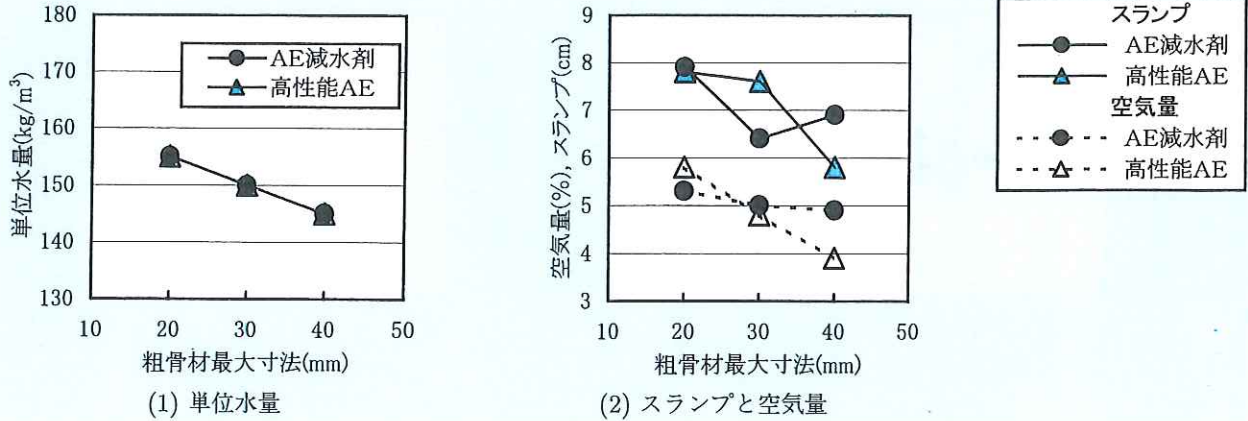


図-2 高性能 AE 減水剤と粗骨材最大寸法の影響 (川砂)

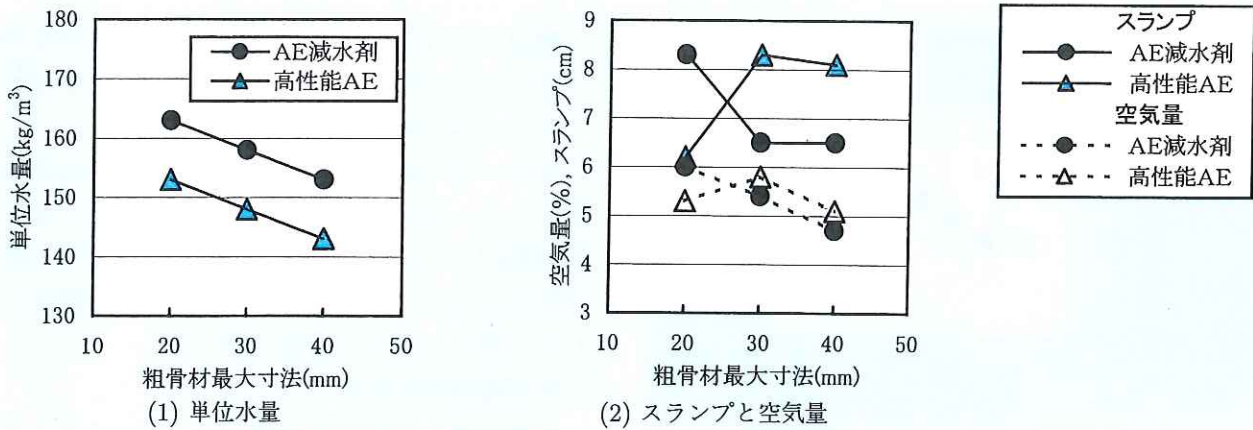


図-3 高性能 AE 減水剤と粗骨材最大寸法の影響 (砕砂 A)

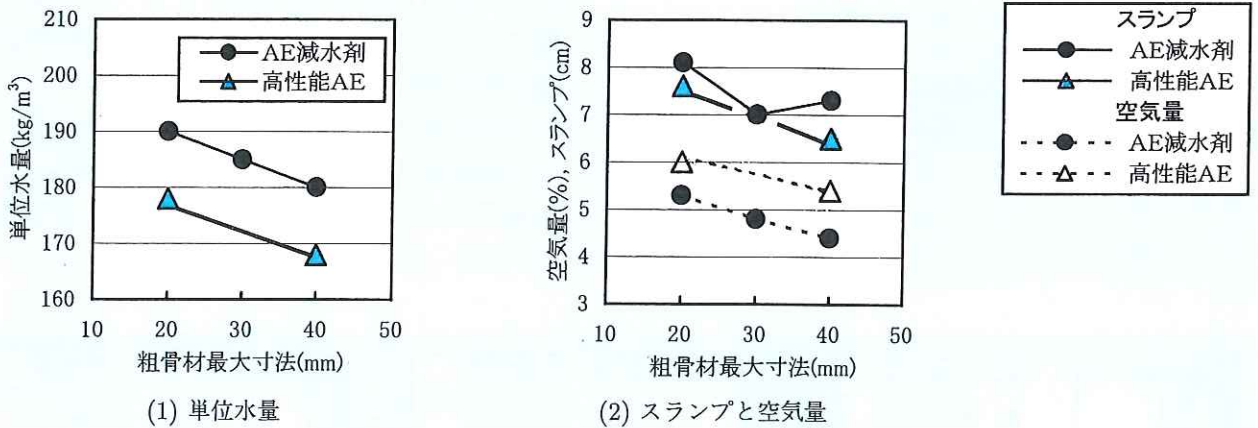


図-4 高性能 AE 減水剤と粗骨材最大寸法の影響 (砕砂 B)

同一に保てばスランプの低下量は小さかった可能性がある。

砕砂 B の場合は 2.5-5mm の含有率は約 14% であり、これに 7号砕石を添加することによって、2.5-5mm の含有率を 14~44% まで変化させたが、スランプの変化はほとんど生じなかった。

いずれにしても、粒度改善による単位水量低減効果はほとんど認められなかった。この理由とし

ては以下のことが考えられる。

- ① 細骨材の粒度を変えると、細骨材率も変更しないとワーカブルな性状が得られない。実験から得られた最適細骨材率は図-6 に示すようになり、結果的に細骨材と粗骨材を組合わせた粒度曲線に大きな違いが生じなかったこと
- ② 細骨材と粗骨材を組合わせた骨材全体の単位容積質量試験の結果を表-5 に示すが、単に粒度

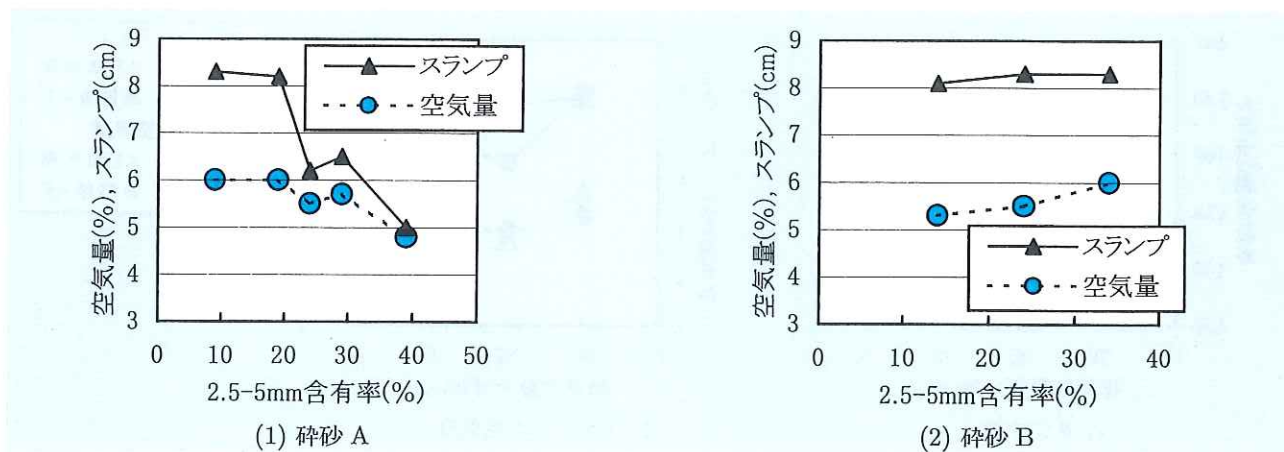


図-5 2.5-5mm 含有率とスランプ・空気量の関係

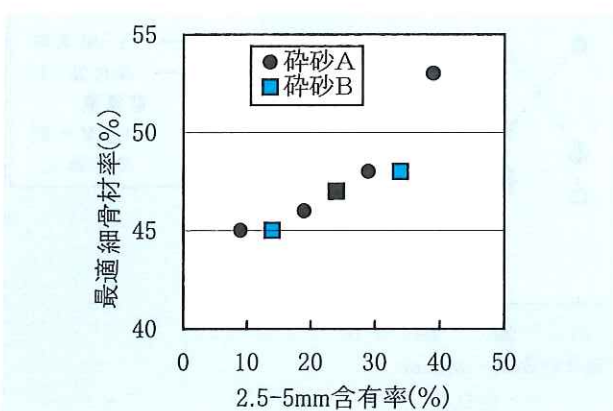


図-6 2.5-5mm 含有率と最適細骨材率

表-5 骨材の単位容積質量 (砕砂 A 使用、粗骨材最大寸法 20mm)

2.5-5mmの含有率 (%)	細骨材率 (%)	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )
9	46	2,008
29	46	1,987
29	51	1,989

曲線をなめらかにした配合 (2.5-5mm の割合が 20~30%) の値が必ずしも最大にはならなかったこと等が考えられる。

なお、他の研究者からは、骨材の粒度は連続粒度よりも一部の粒度を省いたほうがコンクリートの流動性は向上するという見解もあり<sup>3),4)</sup>、骨材の粒度分布とコンクリートの流動性との関連については更なる研究が必要と考える。

#### 4.5 圧縮強度の比較

圧縮強度の試験結果を図-7に示す。これより以下の傾向が認められた。

- ① 高性能 AE 減水剤を使用したケースでは、川砂については変化がないが、砕砂に対しては圧縮強度が増加する傾向を示した。
- ② 粗骨材最大寸法を 20mm から 40mm にすると圧縮強度は 8%程度低下する傾向を示した。
- ③ 細骨材の粒度調整による影響はほとんど認められなかった。

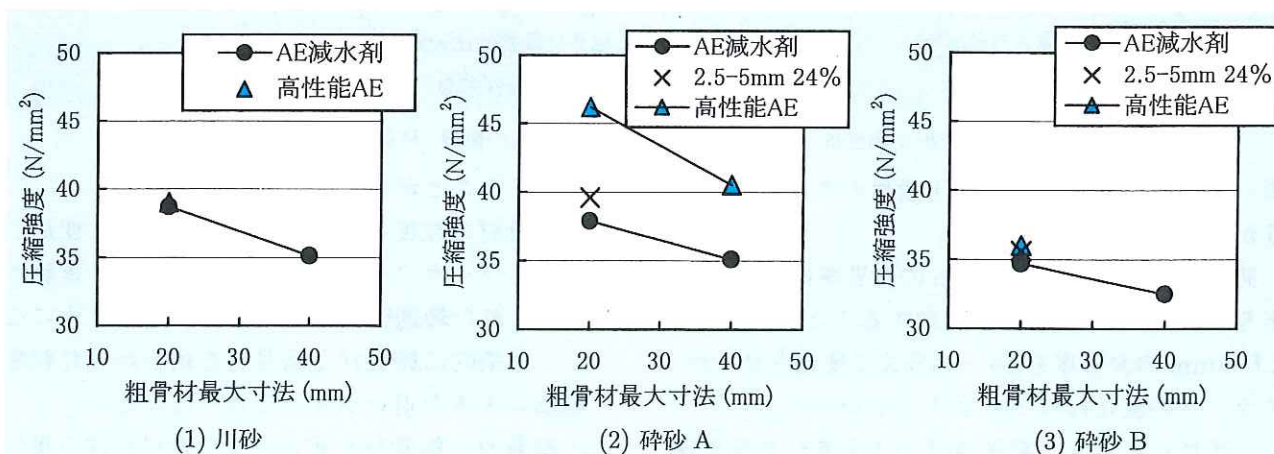


図-7 2.5-5mm 含有率とスランプ・空気量の関係

#### 4. まとめ

- (1) 砕砂を用いることによりコンクリートの単位水量は増加する。その増加量は砕砂の種類によって異なる。
- (2) 高性能 AE 減水剤を標準量添加した場合、川砂使用のコンクリートでは単位水量低減効果はみられなかったが、砕砂使用のコンクリートでは単位水量を  $10\text{kg}/\text{m}^3$  程度低減することができた。また、強度を上げる効果も認められた。
- (3) 粗骨材最大寸法を  $10\text{mm}$  大きくすることで単位水量を  $5\text{kg}/\text{m}^3$  程度低減することができた。ただし圧縮強度はやや低下する傾向を示した。
- (4) 7号砕石を混入し細骨材の粒度を調整する方法を試みたが、単位水量低減効果は認められなかった。

#### 参考文献

- 1) 片平博、河野広隆：1992～99年に実施したコンクリート用骨材の実態調査報告，土木技術資料 42-8，pp.62-67，2000.8
- 2) 片平博、河野広隆：再生骨材コンクリートの強度・耐久性調査，土木技術資料 40-10，pp.60-65，1998.10
- 3) 吉兼亨：コンクリートの製造，コンクリート工学，Vol.39，No.5，2001.5
- 4) 柏木隆男、寺嶋明彦、大橋正治：単位水量を少なくするための骨材粒度に関する研究，2001年度大会（関東）学術講演梗概集 A-1，（社）日本建築学会，pp.1-2，2001.9

片平 博\*



独立行政法人土木研究所  
技術推進本部構造物マネ  
ジメント技術チーム  
主任研究員  
Hiroshi KATAHIRA

河野広隆\*\*



独立行政法人土木研究所  
技術推進本部構造物マネ  
ジメント技術チーム  
主席研究員  
Hirotaka KAWANO