

# 高品質再生粗骨材の高流動コンクリートへの適用性検討

A STUDY ON APPLICATION OF HIGH QUALITY RECYCLED AGGREGATE  
IN HIGH-FLUIDITY CONCRETE

村田浩三\*・古賀康男\*\*・黒岩義仁\*\*\*・嵩 英雄\*\*\*\*・立屋敷久志\*\*\*\*\*

by Kozo MURATA, Yasuo KOGA, Yoshihito KUROIWA, Hideo KASAMI and Hisashi TATEYASHIKI

## 1. はじめに

建設工事に伴って排出される建設廃棄物の量は、環境省の調査によれば約 7600 万 t (平成 11 年度実績) で、産業廃棄物全体の約 2 割を占めている<sup>1)</sup>。このうち、最終処分量は 1280 万 t で、産業廃棄物の最終処分量全体の約 3 割を占めている。しかし、最終処分場の残余容量は少なく、新たな処分場確保も困難になっている。このため、不法投棄が後を絶たず大きな社会問題となっている。

こうした状況の中、国土交通省は、公共工事において「工事現場から一定の距離以内に再資源化施設がある場合、再資源の活用を原則とする措置 (リサイクル原則化ルール)」等の施策を導入し、その徹底を図ってきた。その結果、平成 12 年度の建設副産物実態調査では、コンクリート塊のリサイクル率は平成 7 年度の 65% から 96% へと大幅に向上した。しかし、コンクリート塊のほとんどが道路の下層路盤材に再利用されている。将来、コンクリート塊の発生量が路盤材の需要量をはるかに超えることが予想されるため、その用途としてコンクリート用再生骨材への利用が期待されている。

筆者らは、コンクリート塊を建築用構造材料として再利用するべく、加熱・すりもみ処理による高品質再生骨材の製造技術を開発している<sup>2)~3)</sup>。本方法で製造された高品質再生骨材は、JASS 5 等の骨材規格を満足しており、高品質再生骨材を用いたコンクリートの各種性状についても研究されている<sup>4)</sup>。

加熱・すりもみ処理によってコンクリート塊から製造された高品質再生骨材の特徴の一つに、すりも

み作用によって角が取れて丸みをおび、原骨材より粒形が改善されることがある。このため、高品質再生骨材を用いたコンクリートの流動性は、原骨材を用いたコンクリートに比べて向上する<sup>5)</sup>。この特徴から、高品質再生骨材を高流動コンクリートやマスコンクリートに適用した場合、単位水量の減少により単位セメント量の低減や耐久性の向上などが期待される。そこで、本研究では、加熱・すりもみ処理によって製造された高品質再生粗骨材の高流動コンクリートへの適用性を調べることを目的に、コンクリートの各種性状について評価、検討した。

## 2. 実験概要

### 2. 1 使用材料

使用材料を表 1 に示す。高品質再生粗骨材 A は、表 2 に示す高強度コンクリート NH、LH および F DH の各試験体から加熱・すりもみ処理によって回収した高品質再生粗骨材を等量混合したものである。本試験体は、立屋敷らが高強度コンクリートから回収した高品質再生骨材の品質とそれを用いたコンクリートの性状の把握を目的に実施した研究<sup>6)~7)</sup>において、高品質再生骨材の回収に用いた原コンクリートである。原骨材は青梅産硬質砂岩砕石である。また、高品質再生粗骨材 B は、大井川産山砂利を用いた普通コンクリートから回収したものである。なお、比較用にはそれぞれ高品質再生粗骨材 2 種類の原骨材を使用した。

### 2. 2 調合条件

高流動コンクリートの調合条件は、水粉体比 35%、単位粗骨材かさ容積  $0.52\text{m}^3/\text{m}^3$ 、目標スランプフロー 65cm、目標空気量 4.5% とした。また、石灰石微粉末を粉体量の内割で 20% 使用した。

高性能 AE 減水剤の添加量は、青梅産硬質砂岩砕石を用いた高流動コンクリート (以下、砕石コンクリート) の単位水量が  $165\text{kg}/\text{m}^3$  で所定の流動性が得られる添加量とした。大井川産山砂利および高品質再生粗骨材を使用したコンクリート (以下、それぞれ「砂利コンクリート」、「再生コンクリート A」、「再

\* (株)宇部三菱セメント研究所埼玉センターコンクリートグループ主席研究員 (〒368 埼玉県秩父郡横瀬町大字横瀬 2270 番地)、\*\* (株)宇部三菱セメント研究所埼玉センターコンクリートグループリーダー、\*\*\* (株)宇部三菱セメント研究所埼玉センターコンクリートグループ、\*\*\*\* 工学院大学教授 工学部建築学科、\*\*\*\*\* 三菱マテリアル(株)地球環境・エネルギーカンパニー環境リサイクル事業センター部長補佐

生コンクリートB)での高性能AE減水剤の添加量は、砕石コンクリートの添加量と同一とし、単位水量の増減によって流動性を調整した。

### 2.3 練混ぜ

ミキサには容量55リットルのパン型強制練りミキサを用いた。練混ぜ方法は、粉体と骨材を15秒間空練りした後、水と混和剤を投入し90秒間練り混ぜ

た。所定の時間練り混ぜた後、5分間静置し15秒間練り混ぜた後に排出した。

### 2.4 測定項目および試験方法

試験項目および試験方法を表3に示す。ただし、高品質再生粗骨材Bでは、フレッシュコンクリートの性状、強度性状および乾燥収縮のみ測定した。

表1 使用材料

材 料	種 類	品 質
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm <sup>3</sup>
水	水道水	
混和材	石灰石微粉末	密度:2.71g/cm <sup>3</sup>
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤標準形
細骨材	大井川産川砂	表乾密度:2.58g/cm <sup>3</sup> 、吸水率:1.97g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	青梅産硬質砂岩砕石	表乾密度:2.64g/cm <sup>3</sup> 、吸水率:0.50%、実積率:60.5%、最大寸法:20mm
	大井川産山砂利	表乾密度:2.63g/cm <sup>3</sup> 、吸水率:0.91%、実積率:65.9%、最大寸法:25mm
	高品質再生粗骨材A	表乾密度:2.62g/cm <sup>3</sup> 、吸水率:0.87%、実積率:65.5%、最大寸法:20mm モルタル付着率:14.2%
	高品質再生粗骨材B	表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup> 、吸水率:1.09%、実積率:65.1%、最大寸法:20mm モルタル付着率:1.88%

表2 原コンクリートの種類

記号	セメントの種類	水結合材比 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
			標準養生28日	コア強度91日
NH	普通ポルトランドセメント	33	78.8	69.8~74.3
LH	低熱ポルトランドセメント		81.2	72.0~75.8
FDH	普通ポルトランドセメント		59.1	60.2~64.6

表3 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法	備考
フレッシュ コンクリート	空気量	JIS A 1128	
	スランプフロー試験	JIS A 1150	スランプフロー 50cmフロー到達時間
	Vロート流下試験	日本建築学会「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説 付1」	
	Lフロー試験	日本建築学会「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説 付1」	Lフロー速度 (5~10cm、5~25cm)
	U型充填試験	土木学会「高流動コンクリート施工指針 IV 試験方法(土木学会基準)(案)」(障害R2)	
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	材齢:7、28、91日
	ヤング係数	JIS A 1149	材齢:7、28、91日
	引張強度	JIS A 1113	材齢:28日
	乾燥収縮	JIS A 1129に準じた傾斜型マイクロメータ法	
	凍結融解抵抗性	JIS A 1148	
	促進中性化性状	日本建築学会「高耐久性コンクリート造の設計施工指針(案)・同解説」	20℃、60%R.H.、 CO <sub>2</sub> 濃度5%

### 3. 実験結果

#### 3. 1 実施調査

高流動コンクリートの調合結果を表4に示す。再生コンクリートAの単位水量は、砕石コンクリートに比べて $10\text{kg}/\text{m}^3$ 減少し、再生コンクリートBおよび砂利コンクリートと同等であった。これは、高品質再生粗骨材Aの粒形が改善されたためと考えられる。

また、砕石コンクリートに比べて、再生コンクリートA、Bおよび砂利コンクリートの単位粗骨材量が大きく、細骨材率が小さくなった。これも、粒形の違いによる実積率の大小が影響していると考えられる。

表4 実施調査

粗骨材種類	細骨材種類	水粉体比 (%)	細骨材率 (%)	高性能 AE 減水剤 P*× (%)	単位量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				
					水	セメント	石灰石微粉末	細骨材	粗骨材
砕石	川砂	35	49.8	1.03	165	377	94	818	842
砂利			47.0		155	354	89	795	913
再生A			47.3		155	354	89	800	904
再生B			47.6		155	354	89	805	895

注)P：セメント+石灰石微粉末

#### 3. 2 フレッシュコンクリートの性状

(1) スランプフローおよび50cmフロー到達時間  
スランプフローと50cm到達時間を図1に示す。

高品質再生粗骨材を使用したコンクリートの単位水量は、砕石コンクリートより $10\text{kg}/\text{m}^3$ 少ないにもかかわらず、砕石コンクリートと同等の流動性が得られた。コンクリートの流動時の粘性を示す指標である50cmフロー到達時間では、砂利コンクリートと再生コンクリートBはほぼ同等で、砕石コンクリートに比べて約1秒程度短くなった。これは、粗骨材の粒形が砂利と同様に丸みを帯びたことで、流動速度が速くなったものと考えられる。一方、再生コンクリートAの50cmフロー到達時間は、砕石コンクリートと変わらなかった。

(2) Vロート流下時間

Vロート流下試験の結果を図2に示す。再生コン

クリートのVロート流下時間は、それぞれ原骨材を使用したコンクリートに比べて短く、良好な流動性であるものと判断された。砂利コンクリートの流下時間が砕石コンクリートと同等であった理由は、使用した砂利の最大寸法が他の粗骨材に比べて25mmと大きかったことが考えられる。

(3) LフローおよびLフロー速度

Lフロー試験結果を図3に示す。Lフロー値は、再生コンクリートBが若干大きい、ほぼ75~80mmの範囲内にあった。一方、Lフロー速度が示すコンクリートの流動速度は、砂利コンクリート、再生コンクリートが砕石コンクリートに比べて大きく、良好な流動性を示した。砕石コンクリートでは、特に初期速度(5~10cm速度)が、他のコンクリートに比べて小さい。この理由は、流動開始時に砕石のアーチングが生じたものと考えられる。

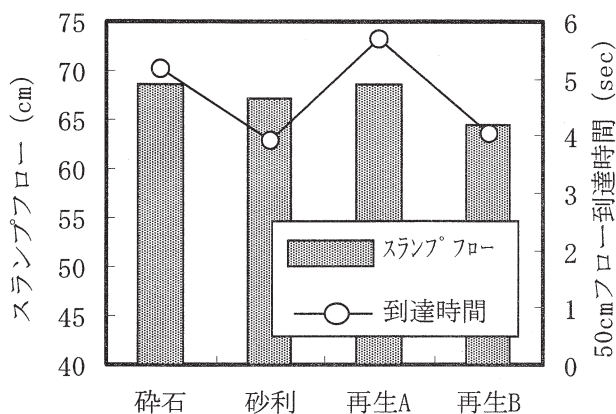


図1 スランプフローと50cmフロー到達時間

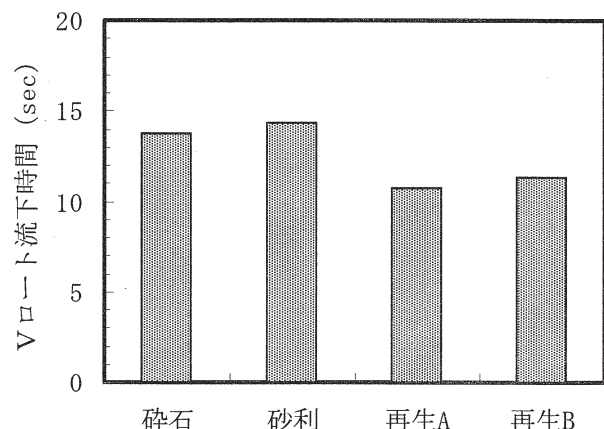


図2 Vロート流下時間



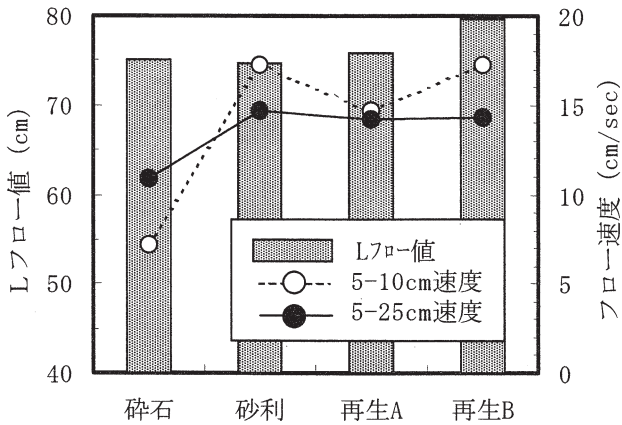


図3 Lフロー値およびLフロー速度

(4) U型充填高さ

高品質再生粗骨材Bを除く3種類の粗骨材を使用した高流動コンクリートについて検討した。その結果、いずれのコンクリートも充填高さは30cm以上を示し、良好な充填性が得られた。

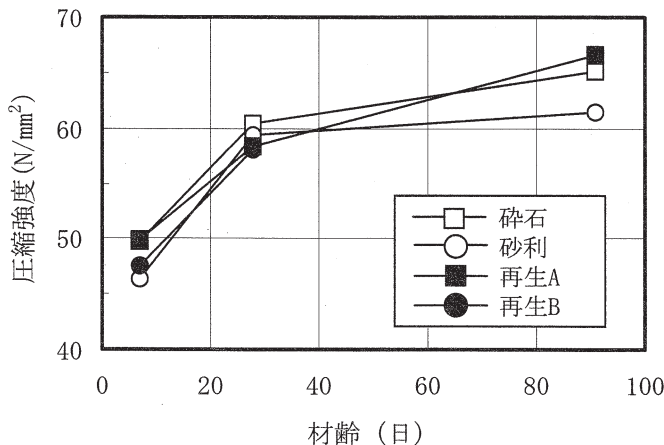


図4 圧縮強度発現性

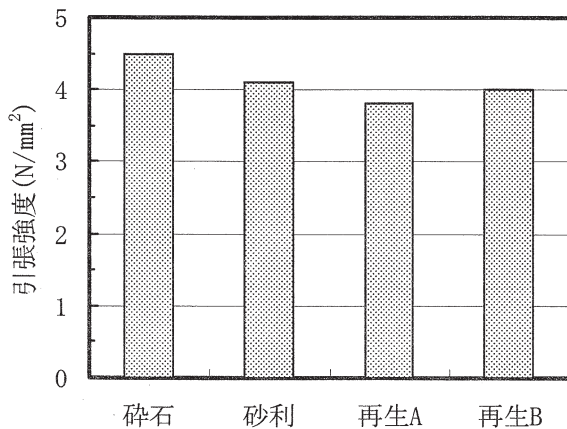


図6 引張強度

3.3 強度性状

(1) 圧縮強度

圧縮強度の発現性を図4に示す。材齢28日の圧縮強度では、粗骨材の種類による差は認められず60N/mm<sup>2</sup>程度の値であった。高品質再生粗骨材Aを使用したコンクリートの材齢91日の圧縮強度は、砂利を使用したものより8%程度大きく、砕石コンクリートと同程度の値を示した。なお、再生粗骨材Bを使用したコンクリートの長期強度については、これまでの検討結果から、砂利コンクリートと同程度と予想される。

(2) ヤング係数

図5に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。高品質再生粗骨材を使用したコンクリートのヤング係数は、砂利を使用したものとほぼ同等で、砕石を使用したものに比べて大きな値を示した。この理由は、高品質再生粗骨材が砕石に比べて、粒形が改善され実積率が大きくなり、コンクリートの単位粗骨材量が増加したためと考えられる。

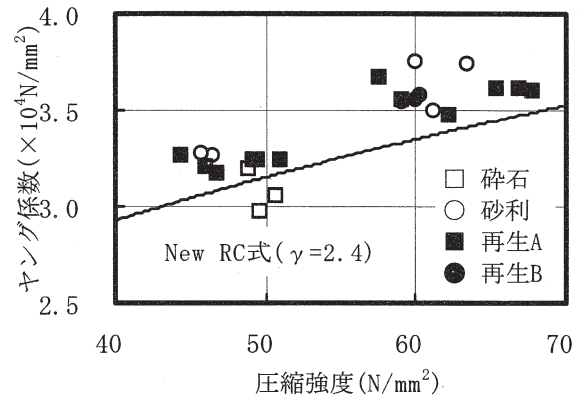


図5 圧縮強度とヤング係数の関係

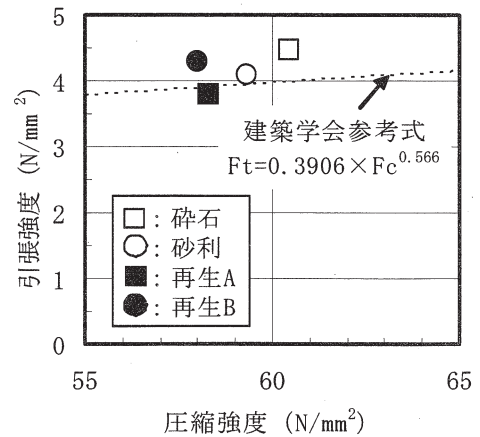


図7 圧縮強度と引張強度の関係

(3) 引張強度

材齢 28 日の引張強度を図 6 に、圧縮強度と引張強度の関係を図 7 に示す。

再生コンクリートの引張強度は、それぞれ原骨材である砕石、砂利を使用したものとほぼ同等であった。また、日本建築学会の圧縮強度と引張強度の関係式(参考式)<sup>8)</sup>において、圧縮強度から推定される値とは同程度であった。再生コンクリート A の引張強度が原骨材である砕石を用いたものに比べて低くなった理由は、コンクリートの粗骨材量が多くなったことに加え、骨材とペーストの付着特性の相違などが考えられる。

3. 4 耐久性

(1) 乾燥収縮

図 8 に保存期間 30 週までの乾燥収縮の結果を示す。なお、再生コンクリート B については、12 週までの結果である。これより、再生コンクリートの長さ変化率は、砕石コンクリートに比べて小さく、砂利コンクリートとほぼ同程度であった。再生コンクリート A の長さ変化率が砕石コンクリートに比べて小さくなった理由は、単位水量が減少したことおよび単位粗骨材量が増えたことなどが考えられる。

(2) 凍結融解抵抗性

凍結融解 300 サイクルまでの相対動弾性係数の測定結果を図 9 に示す。粗骨材種類による差は認められず、いずれのコンクリートも相対動弾性係数が 90% 以上を示し、十分な凍結融解抵抗性を有することが確認された。

(3) 中性化

中性化促進試験の結果を表 5 に示す。いずれのコンクリートも、ほとんど中性化は認められず、粗骨材の種類による差は認められない。これは、水粉体比が 35% と小さく、マトリックスが緻密なためと考えられる。

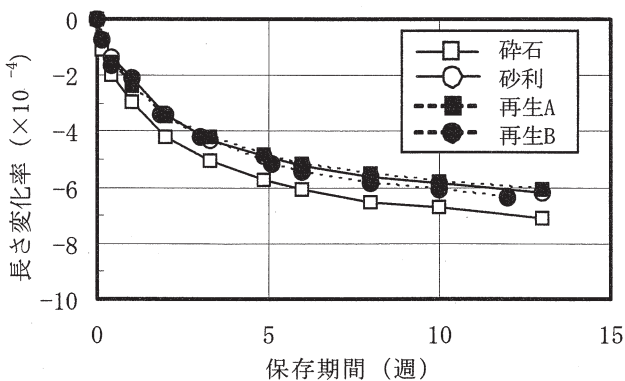


図 8 長さ変化率

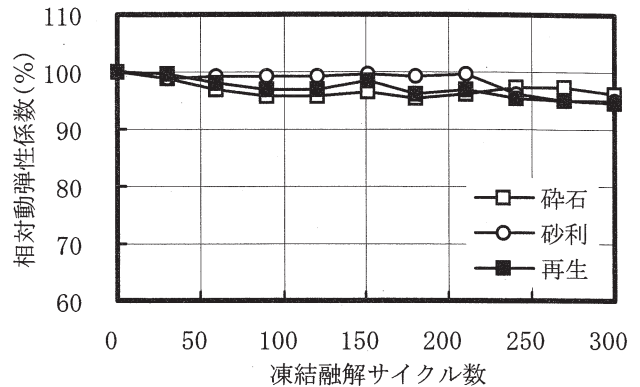


図 9 相対動弾性係数

表 5 促進中性化性状

促進 種類	中性化深さ (mm)				
	1 週	4 週	8 週	13 週	26 週
砕石	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3
砂利	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
再生 A	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9

4. まとめ

加熱・すりもみ法により製造された高品質再生粗骨材の高流動コンクリートへの適用性を検討した結果、以下の知見が得られた。

- ① 砕石を原骨材とする高品質再生粗骨材を用いたコンクリートの単位水量は、原骨材(砕石)を用いたものに比べて、 $10\text{kg/m}^3$  程度減少し、粒形の良い砂利を用いたコンクリートと同程度であった。また、砂利を起源とする高品質再生粗骨材を使用したコンクリートの単位水量は、原骨材(砂利)を用いたものと同じであった。
- ② 高品質再生粗骨材を使用したコンクリートの流動性は、砂利を用いたものと同様に優れていた。
- ③ 高品質再生粗骨材コンクリートの圧縮強度は、原骨材を用いたコンクリートと同程度であった。また、ヤング係数は砂利コンクリートと同程度で、砕石コンクリートより大きくなった。
- ④ 高品質再生粗骨材コンクリートの引張強度は、原骨材コンクリートとほぼ同等であり、日本建築学会の参考式により圧縮強度から推定される値と同程度であった。
- ⑤ 高品質再生粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮は、砂利コンクリートと同程度で、砕石コンクリートに比べて  $1 \times 10^{-4}$  程度小さい。
- ⑥ 高品質再生粗骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性および中性化は、原骨材を用いたコンクリ

ートと同等で、優れた耐久性を示した。

本研究より、加熱・すりもみ処理により製造された高品質再生粗骨材は、高流動コンクリートへの適用が可能であることが明らかとなった。実用化に向けては、さらに高品質再生細骨材の適用性も検討する必要があり、今後さらなるデータの積み重ねが必要である。

#### 参考文献

- 1) 山下 尚：月刊コンクリートテクノ，Vol. 21，No. 5，pp. 46-50 (2002)
- 2) 島 裕和・鴻巣一巳・橋本光一・古賀康男：コンクリート工学論文集，Vol. 22，pp. 1093-1098 (2000)
- 3) 立屋敷久志・岡本雅道・西村祐介・黒田泰弘：コンクリート工学論文集，Vol. 22，pp. 1099-1104 (2000)
- 4) 古賀康男・井上敏克・下村 祥・高尾 昇：宇部三菱セメント研究報告，No. 1，pp. 40-46 (2000)
- 5) 藤野 守・古賀康男・高尾 昇：宇部三菱セメント研究報告，No. 3，pp. 44-52 (2002)
- 6) 立屋敷久志・嵩 英雄・杉山成明・梅宮博貴・浅野研一・山崎 実：日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp. 777-778 (2001)
- 7) 嵩 英雄・杉山成明・梅宮博貴・立屋敷久志・山崎 実・浅野研一：日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp. 779-780 (2001)
- 8) 日本建築学会，高強度コンクリート技術の現状，pp. 83-88 (1991)

(2002年11月1日受付 2003年1月8日受理)