

# 論文 再生骨材の品質が再生コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

佐川 康貴\*<sup>1</sup>・松下 博通\*<sup>2</sup>・鶴田 浩章\*<sup>3</sup>・古賀 隆一\*<sup>4</sup>

要旨：本研究では，同一の原コンクリートから異なる製造方法で再生骨材を製造し，それを用いた再生コンクリートの圧縮強度を求め，再生骨材の品質が再生コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響について検討した。その結果，破碎装置を1回通過させた再生骨材を用いた場合，天然骨材コンクリートに比べて強度が低下することが示されたが，連続粒度の試料を用いた骨材試験結果から得られた密度，吸水率，実積率から判定した品質と，強度の大小は必ずしも一致しない結果となった。また，加熱すりもみ法により得られた再生骨材を用いた場合では，天然骨材コンクリートとほぼ同等の強度が得られた。  
 キーワード：再生骨材，再生コンクリート，破碎方法，圧縮強度，静弾性係数

## 1. はじめに

平成12年に制定されたTR A 0006「再生骨材を用いたコンクリート」では，再生骨材を用いたコンクリート（以下，再生コンクリート）は，高い強度や高い耐久性を要求されない部材や部位に限定するのが望ましい，とされており，基本的に再生骨材は呼び強度12（特注品では呼び強度18以下）という低強度コンクリートへの利用に制限されている。しかしながら，今後コンクリート塊の排出量が加速度的に増加することが予測されており，再生骨材の普通強度あるいは高強度コンクリートへの適用について検討する必要がある。

図-1に，コンクリート塊から再生骨材が製造され，再生コンクリートが製造されるまでの流れを示す。再生骨材の品質（密度，吸水率，モルタル付着率など）は，原コンクリートの配合や強度，処理方法（破碎方法や加熱処理）の違いの影響を受け，これらの定量的評価が各方面において進められている。著者ら<sup>1)</sup>もすでに，同一の原コンクリートから異なる製造方法で5種類の再生骨材を製造し，その物理的性質につ

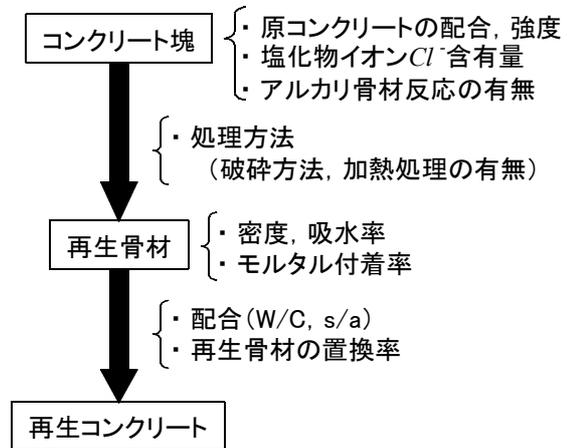


図-1 再生骨材及び再生コンクリートの品質に影響を及ぼす要因

いて検討を行った。

また，再生コンクリートの品質（スランブ，強度，耐久性，乾燥収縮など）は，再生骨材の品質の影響を受ける。一般的な破碎方法で製造された再生骨材は，天然骨材と比べて形状が悪く，吸水率が大きい。そのため，同一コンシステンシーを得るための単位水量が増加したり，中性化，塩分浸透，凍結融解に対する抵抗性が著しく低下することが知られている。また，塩

\* 1 九州大学大学院助手 工学研究院建設デザイン部門 修士（工学）（正会員）  
 \* 2 九州大学大学院教授 工学研究院建設デザイン部門 工博（正会員）  
 \* 3 九州大学大学院助教授 工学研究院建設デザイン部門 博士（工学）（正会員）  
 \* 4 九州大学大学院 工学府建設システム工学専攻

害やアルカリ骨材反応などの劣化を受けた構造物から得られるコンクリート塊を再生骨材として使用した場合、再生コンクリートにおいて劣化が再発することが考えられるが、これに関する研究はほとんど見られない。

一方、再生骨材の品質や再生コンクリートの配合などが再生コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響については、数多くのデータが蓄積されつつある<sup>2)</sup>。しかしながら、同一の原コンクリートから品質の異なる再生骨材を製造し、それらを用いて再生コンクリートの強度や耐久性について系統的に検討を行った研究事例は少ない。

本研究では、同一の原コンクリートから異なる製造方法で製造した再生骨材を使用し、再生コンクリートを製造した上で圧縮強度を求め、再生骨材の品質が再生コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 再生骨材

#### (1) 再生骨材の製造方法

本研究で検討に用いた再生骨材は、試料 J、試料 I、試料 C、試料 JK および試料 IM の 5 種類である (図 - 2)<sup>1)</sup>。これらは、材齢約 6 ヶ月のプレストレストコンクリート版を原コンクリートとし、粗骨材の最大寸法が 20mm 程度となるよう、異なる製造方法で製造された再生骨材である。本研究では、5mm ふるいにとどまるものを粗骨材、5mm ふるいを通過するものを細骨材として使用した。製造方法の概要は、以下の通りである。

試料 J: ジョークラッシャを 1 回通過させたもの全量を試料とした。

試料 I: インパクトクラッシャを 1 回通過させたもの全量を試料とした。

試料 C: コーンクラッシャを 1 回通過させたもの全量を試料とした。

試料 JK: ジョークラッシャで最大寸法 40mm 程度となるよう破碎した後、加熱すりもみ法<sup>3)</sup>により製造 (加熱

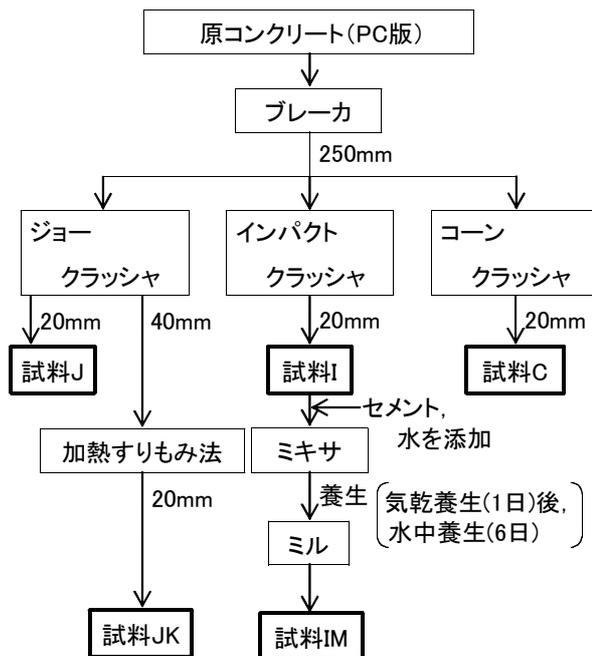


図 - 2 再生骨材の製造方法

温度: 300 ) したものである。

本方法では、すりもみ時にミル内で通風を行っており、微粒分が骨材とは別に回収される。本研究では骨材のみを試料として使用した。

試料 IM: セメントペーストで再生骨材表面の凹凸を埋め、粒形を改善すると同時に微粉分の量を減少させることを目的として製造した試料である。試料 I にセメント、水を添加し、ミキサで混合し、7 日間養生した後にミルで再破碎したものを試料とした。

また、再生骨材製造時に原コンクリートから採取したコア供試体 (10 × 20cm) より求めた圧縮強度、静弾性係数およびコア供試体の吸水率はそれぞれ、42.2N/mm<sup>2</sup>、30.5kN/mm<sup>2</sup>、7.7%であった。

#### (2) 再生骨材の物理的性質

再生細骨材、再生粗骨材の物理的性質をそれぞれ表 - 1、表 - 2 に示す。なお、著者らの既報<sup>1)</sup>においては、ふるい分け試験後の各粒度ごとの物理的性質のみについて報告したが、ここでは連続粒度について各試験を行った結果を示

表 - 1 再生細骨材の物理的性質

項目	試料 原骨材	試料 J	試料 I	試料 C	試料 JK	試料 IM
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.47	1.96	2.00	1.96	2.60	1.99
吸水率 (%)	2.5	11.26	11.05	11.61	2.44	13.33
単位容積 質量 (kg/l)	1.62	1.38	1.46	1.39	1.78	1.47
実積率 (%)	66.2	66.5	69.9	68.0	68.0	73.7
F.M.	3.11	3.52	3.43	3.43	3.63	3.69
ペースト 付着率 (%)	-	38.3	37.7	39.1	14.1	39.1

表 - 2 再生粗骨材の物理的性質

項目	試料 原骨材	試料 J	試料 I	試料 C	試料 JK	試料 IM
最大寸法 (mm)	20	15	20	25	20	20
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.91	2.44	2.47	2.39	2.82	2.28
吸水率 (%)	0.6	5.54	5.12	5.82	1.14	8.01
単位容積 質量 (kg/l)	1.74	1.33	1.40	1.34	1.70	1.44
実積率 (%)	57.8	54.6	56.6	56.0	60.3	63.2
F.M.	6.80	6.55	6.54	6.58	6.64	6.47
400kN 破砕値 (%)	-	20	19	20	12	19
モルタル 付着率 (%)	-	39.0	36.1	44.1	7.8	50.0
ペースト 付着率 (%)	-	17.5	16.6	21.5	5.0	24.3

す。また、表中のモルタル付着率及びペースト付着率は、7倍希釈（約5%）の塩酸に再生骨材を浸漬した後の水洗いの際、5mmふるいを通じたものの割合をモルタル付着率、0.075mmふるいを通じたものの割合をペースト付着率として表したものである。

破砕装置を1回だけ通過させた試料 J、試料 I 及び試料 C を比較すると、試料 I が細骨材、粗骨材共に絶乾密度が最も大きく、吸水率が最も小さいことが分かる。また、試料 J と試料 C とでは、細骨材の物性値はほぼ同様であるが、試料 J の粗骨材の実積率が低く、粒形が悪いことが分かる。

加熱すりもみ法により製造された試料 JK の物性値は細骨材、粗骨材共に原骨材に近い値を

示しており、高品質な再生骨材が回収されていることが分かる。表 - 1 中において、絶乾密度が原骨材の値を上回っているのは、製造時に元の粗骨材の一部が破砕され、再生細骨材になったことによるものと考えられる。

試料 IM はセメントペーストを骨材に付着させたため、全ての試料の中で最も吸水率、モルタル付着率及びペースト付着率が高くなっている。一方、骨材の粒形が丸みを帯び、実積率の値が他の試料に比べ、極端に大きくなっている。

## 2.2 コンクリートの配合

製造したコンクリートは、水セメント比 50% で骨材の全てを再生骨材に置換したもの 5 通り、セメント水比 C/W と圧縮強度との関係を求めるために、再生骨材に試料 I を使用し、C/W を変化させたもの 2 通り、細骨材には天然骨材を用い、粗骨材のみ再生骨材に置換したもの 2 通り、再生骨材を使用しない普通コンクリート 1 通りの計 10 種類である。

コンクリートの配合は、目標スランプが 8±1 cm、目標空気量が 4.5±0.5 % となるよう、単位水量を変化させて求めた。この際、AE 減水剤（リグニンスルホン酸系）添加量はセメント質量 C に対して一定（C × 0.25 %）とし、必要に応じてアルキルアリルスルホン酸系の空気連行剤を使用した。ただし、粗骨材のみに再生骨材を用いた配合では、単位水量を一定とし、上記の目標スランプ及び目標空気量を満足させるために AE 減水剤及び空気連行剤の量を変化させた。

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm<sup>3</sup>）を、天然骨材として細骨材には海砂（絶乾密度 2.53g/cm<sup>3</sup>、吸水率 1.56 %、粗粒率 2.67）を、粗骨材には福岡県久山産砕石（絶乾密度 2.86g/cm<sup>3</sup>、吸水率 1.10 %、実積率 58.4 %）を用いた。なお、試料 C を用いた配合については、再生粗骨材のうち、20mm 以上の粒径の骨材は取り除いた。

## 2.3 試験項目

2.2で述べた 10 種類の配合について、10×

表 - 3 コンクリートの配合

配合	試料名	細骨材置換率 (%)	粗骨材置換率 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							実測スランプ (cm)	実測空気量 (%)	備考	
						水 W	セメント C	細骨材 S		粗骨材 G		AE 減水剤				空気 連行剤*
								海砂	再生	砕石	再生					
No.1	天然	0	0	50.0	45.0	169	338	785	0	1079	0	1.056	2A	8.5	4.5	普通コンクリート
No.2	J	100	100	50.0	44.0	192	384	0	615	0	927	1.200	0	9.0	4.0	製造方法の違いによる影響
No.3	I	100	100			178	356	0	649	0	967	1.113	0	8.0	4.5	
No.4	C	100	100			179	358	0	639	0	939	1.119	0	9.0	4.0	
No.5	JK	100	100			149	298	0	833	0	1136	0.931	2A	7.5	4.8	
No.6	IM	100	100			157	314	0	684	0	962	0.981	0	8.0	4.0	
No.7	I	100	100			44.4	43.0	178	401	0	621	0	963	1.253	0	
No.8		100	100	57.1	45.0	178	312	0	678	0	970	0.974	0	9.0	4.5	
No.9	J	0	100	50.0	45.0	169	338	785	0	0	964	1.268	2A	8.5	4.0	再生粗骨材のみ置換
No.10	I	0	100			169	338	785	0	0	971	1.056	2A	7.5	4.5	

\* 1A は、セメント1kgに対し、0.01cc混入

20cm の円柱供試体を用い、材齢 7 日、28 日、91 日における圧縮強度及び静弾性係数をそれぞれ JIS A 1108, JIS A 1149 に準じて測定した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 コンクリートのフレッシュ性状

試験練りにより得られた配合を表 - 3 に示す。天然骨材及び製造方法を変化させた再生骨材を用いた配合 No.1 ~ No.6 では、再生粗骨材の実積率が最も低い試料 J を用いた場合の単位水量が最も大きくなった。図 - 3 に、粗骨材の実積率と同一スランプを得るための単位水量との関係を示す。本研究では、各配合で用いた細骨材の物性がそれぞれ異なるものの、天然骨材を用いたコンクリートにおいて一般的に認められる傾向<sup>4)</sup>と同様に、右下がりの傾向が見られた。

また、C/W を変化させた配合 (No.3, No.7, No.8) では、C/W が 0.25 の増減に対し、細骨材率を 1% 増減させたところ、同一の単位水量で目標のスランプ及び空気量が得られた。さらに、単位水量一定とし、粗骨材のみ再生骨材を用いた配合 (No.9, No.10) では、目標スランプを満足させるための AE 減水剤の量は、試料 J では C × 0.3%, 試料 I では、C × 0.25% となり、骨材試験において形状の悪い結果が得られた試料 J の方が AE 減水剤の使用量が増加す

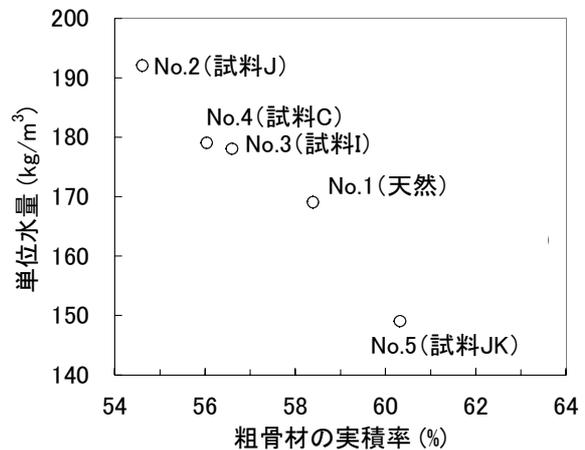


図 - 3 粗骨材の実積率と単位水量の関係  
る結果となった。

#### 3.2 圧縮強度及び静弾性係数

##### (1) 再生骨材の種類の影響

製造方法を変化させた再生骨材を用いたコンクリートの材齢 7 日、28 日、91 日における圧縮強度を図 - 4 に示す。また、図中には、同一材齢で比較した場合の、天然骨材コンクリートの強度 (1.00) に対する強度の比 (強度比) 及び圧縮強度試験時の円柱供試体の単位単位体積重量を示す。

破碎装置を 1 回だけ通過させた試料 J, 試料 I, 試料 C を用いた再生コンクリートは天然骨材コンクリートよりも強度が低下した。試料 I は、この 3 種類の再生骨材の中で最も密度が高

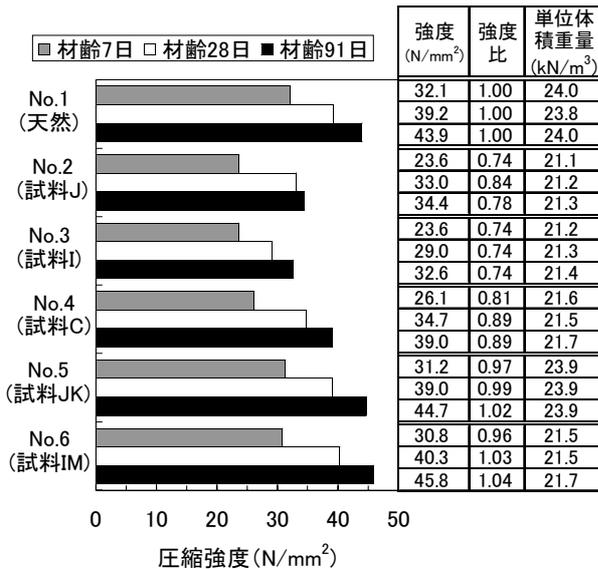


図 - 4 骨材全量を置換した再生コンクリートの圧縮強度試験結果

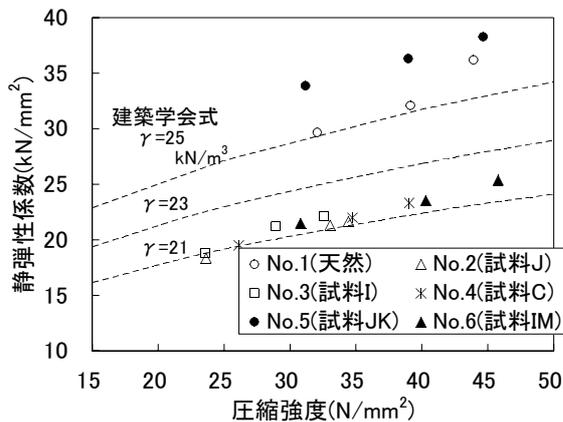


図 - 5 骨材全量を置換した再生コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係

く、吸水率が低いにも関わらず、強度は最も低く、天然骨材コンクリートの約 74 % となった。

また、加熱すりもみ法で製造した試料 JK 及び骨材表面にセメントペーストを付着させた試料 IM を用いた再生コンクリートは、天然骨材コンクリートとほぼ同等の強度が得られた。

図 - 5 は、圧縮強度と静弾性係数との関係を示したものである。なお、図中には、コンクリートの単位体積重量 を考慮した建築学会式<sup>5)</sup>を用いて求めた、 $\gamma=21, 23, 25\text{kN/m}^3$  の場合における関係を併せて示す。試料 J, 試料 I, 試料 C は、 $\gamma$  が 21 から  $22\text{kN/m}^3$  の間の値であり、 $\gamma$  を考慮した建築学会式とほぼ一致している。また、試料 IM を用いた配合では、強度は

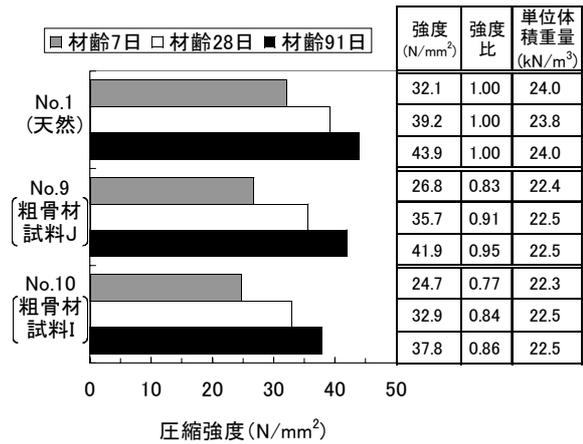


図 - 6 粗骨材のみ置換した再生コンクリートの圧縮強度

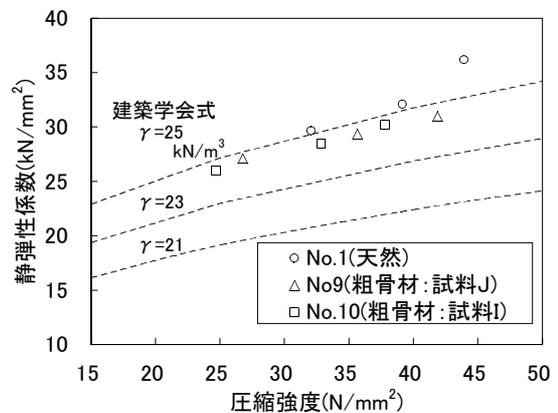


図 - 7 粗骨材のみ置換した再生コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係

天然骨材コンクリートと同等であるにも関わらず、静弾性係数は、天然骨材コンクリートのそれを大幅に下回った。さらに、試料 JK を用いた配合では、天然骨材コンクリートよりも静弾性係数が大きくなった。

## (2) 再生粗骨材の品質の影響

図 - 6 に、粗骨材のみ再生骨材に置換した再生コンクリートの圧縮強度試験結果を示す。細骨材、粗骨材全てに再生骨材を用いた場合と同様に、天然骨材コンクリートに比べて試料 J を用いた場合が低く、さらに、試料 I を用いた場合が最も低くなった。しかしながら、天然骨材コンクリートに対する強度の低下率は、全て再生骨材を用いた場合よりも小さくなっており、再生細骨材の使用が圧縮強度におよぼす影響が大きいものと考えられる。

図 - 7 は、粗骨材のみ再生骨材に置換した再

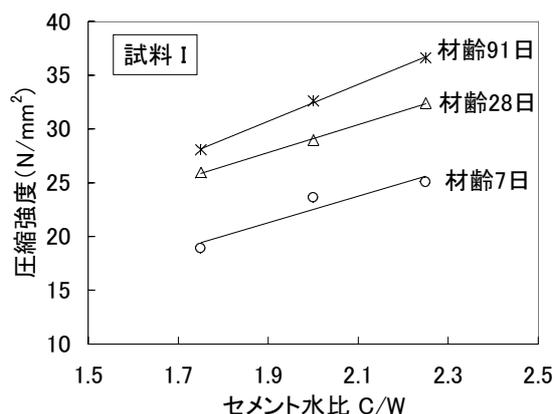


図 - 8 骨材全量を試料Iで置換した場合のセメント水比と圧縮強度の関係

生コンクリートの圧縮強度と静弾性係数との関係を示したものである。強度の低下に伴う静弾性係数の低下はほとんど見られなかった。

### (3) セメント水比C/Wの影響

図 - 8 に、骨材全量を再生骨材に置換し、種類を試料 I に固定して C/W を変化させた場合の再生コンクリートの圧縮強度を示す。材齢 7 日、28 日、91 日いずれの材齢においてもほぼ直線関係が認められた。

## 4. まとめ

本研究では、同一の原コンクリートから異なる製造方法で製造した再生骨材を使用した再生コンクリートの圧縮強度を求め、再生骨材の品質が再生コンクリートのフレッシュ性状、圧縮強度及び静弾性係数に及ぼす影響について検討した。本研究において得られた知見は以下の通りである。

- (1) 骨材に全量再生骨材を用いた再生コンクリートにおいて、同一スランプを得るための単位水量は、再生粗骨材の実積率の増加に伴いほぼ直線的に小さくなる。
- (2) 本研究において、破碎装置を 1 回通過させた再生骨材について、連続粒度における骨材試験結果では、インパクトクラッシャーで製造した骨材の密度が大きく、吸水率が低く、品質の高い再生骨材であることが示されたが、圧縮強度試験結果では、ジョーク

ラッシャやコーンクラッシャーで製造した骨材を用いた再生コンクリートの強度の方が高い強度となる結果が得られた。また、これは、粗骨材のみ再生骨材を用いた場合にも同様の結果となった。

- (3) 粗骨材のみを再生骨材に置換した場合の方が、細骨材、粗骨材両者を置換した場合に比べて天然骨材コンクリートに対する圧縮強度の低下率が小さく、再生細骨材の使用が強度に及ぼす影響が大きい。
- (4) 加熱すりもみ法により製造された再生骨材を用いた場合、天然骨材コンクリートと同等の強度が得られた。
- (5) 再生骨材の表面にセメントペーストを付着させて加工した骨材を用いた場合、圧縮強度は天然骨材コンクリートと同等の結果が得られたが、静弾性係数は小さくなった。

## 参考文献

- 1) 佐川康貴，松下博通，鶴田浩章，陶佳宏：異なる破碎方法により製造された再生骨材の物性に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1347-1352，2002.6
- 2) 高橋智彦，大久保嘉雄，長瀧重義：重回帰分析等を用いた再生コンクリートの強度特性に関する評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1227-1232，2002.6
- 3) 島裕和，鴻巣一巳，橋本光一，古賀康男：加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.1093-1098，2000.6
- 4) 山本泰彦：コンクリートのワーカビリティおよび強度におよぼす粗骨材粒の特質：コンクリート・ジャーナル，Vol.7，No.11，pp.11-21，1969.11
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 - 許容応力度設計法 - ，p.38，1999.10