

## 論 文

## [1036] 再生骨材コンクリートの諸性質について

正会員○江本幸雄（福岡大学土木工学科）

正会員 大和竹史（福岡大学土木工学科）

正会員 添田政司（福岡大学土木工学科）

## 1. はじめに

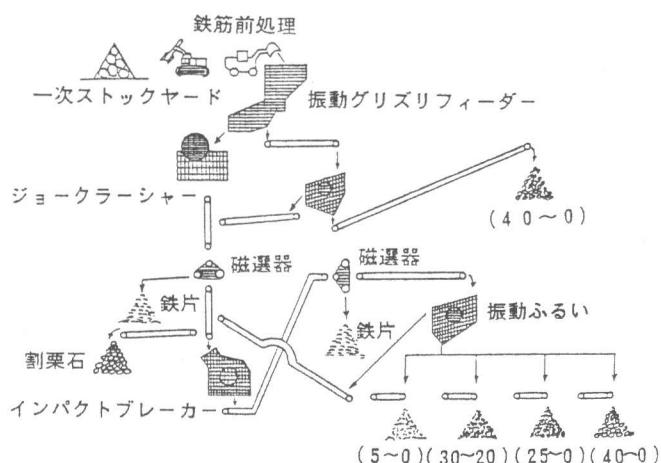
近年、構造物の老朽化や機能低下により解体されて出てくる建設廃材が増加しており、その処理方法が社会問題化している。強度的には半永久構造物と考えられていたコンクリート構造物も都市再開発や建て替えによる解体が増加しており、戦後、大量に建設されたコンクリート構造物の耐用年数を考えると今後益々増えることが予想される。コンクリート廃材は産業廃棄物として位置付けられているため指定地以外の投棄ができず、処理のための対策を早急に立てる必要に迫られている。一方、河川での骨材採取規制や環境問題による原石山の閉鎖などにより天然骨材の安定供給にかけりが見えている。

このような背景のもとで、従来、産業廃棄物として処理されていたコンクリート廃材を再生処理し、再び道路路盤材やコンクリート骨材などの建設用骨材として有効利用を図ることは産業廃棄物の減少や資源のリサイクルになり極めて有意義なことである。

本研究では、実際に建設廃材再生プラントから生産された再生骨材をコンクリートの粗骨材に使用することを目的に、再生骨材の物性を検討し、さらに、再生骨材を使用したコンクリートの諸性質について検討を行なったものである。

## 2. 再生骨材の製造方法

再生骨材の製造フローチャートを図-1に示す。本研究に用いた再生骨材の製造方法は粒形や粒度が良好といわれる圧縮力を利用したジョークラッシャーによる一次破碎と衝撃力を利用したインパクトブレーカーによる二次破碎を併用したものであり、投入したコンクリート廃材は一般に解体されて出てくる建築用コンクリートである。破碎からふるい分けの間に出てくる鉄片は磁選器により、木片は人力により取り除かれる。



## 3. 再生骨材の物性

## 3. 1 プラントにおける再生骨材の品質変動

再生粗骨材はプラントで生産された碎石2005に準じたものを使用した。プラントから生産される再生骨材の比重、吸水率および組成の変動を図-2, 3にそれぞれ示す。用途の異なるコンクリート構造物の解体から生じる廃材が搬入されるためバラツキが大きいが、比重および吸水率の

変動には相関性が認められる。また、再生骨材中には様々な不純物を含んでおり、アスファルト、れんがのほかプラスチック、ガラス、プラスター等を含む場合がある。真の骨材に付着するモルタルは平均で41%を占めており、吸水率を高めるのでコンクリートの耐久性に影響を与える可能性がある。

### 3.2 本実験に用いた粗骨材の物性

再生骨材コンクリートの実験に使用した再生骨材および普通碎石の品質を表-1に、粒度分布および吸水率-時間の関係を図-4、5にそれぞれ示す。再生粗骨材、普通碎石の粗骨材とも粒度分布および粗粒率はほとんど同じであるが、再生骨材は比重が小さく、吸水率が極めて大きくなっている。吸水率と吸水時間との関係から明らかなように瞬間吸水の割合が大きく、1分で吸水率は2%，30分吸水では24時間吸水の80%が終了している。ロサンゼルス試験によるすりへり減量およびBS規格による40t破碎値は再生骨材の場合、それぞれ31%および22%であり、普通碎石に比べて極めて大きい。この値は舗装コンクリートおよびダムコンクリートの示方書に示された規格値には入っているもののバラツキを考慮すれば注意が必要である。コンクリートの気象作用による耐久性に最も関係があるといわれている硫酸ナトリウムによる安定性試験の結果は、普通骨

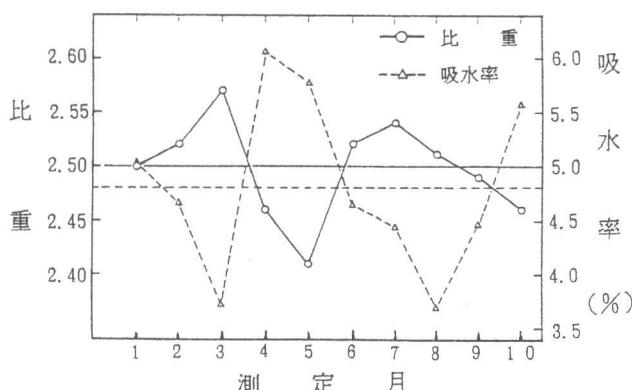


図-2 再生骨材の比重、吸水率の変動

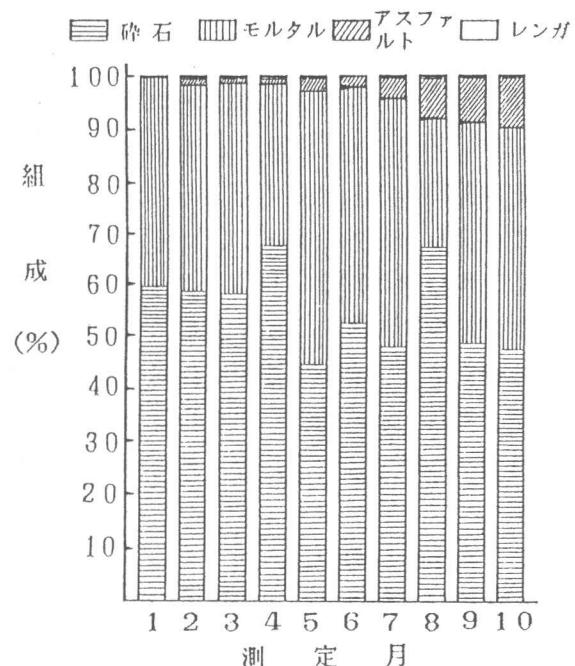


図-3 再生骨材の組成の変動

表-1 再生骨材および普通碎石の品質

	再生骨材	普通碎石
比重	2.52	2.90
吸水率 (%)	5.34	0.93
粗粒率	6.54	6.60
単位重量(t/m³)	1.46	1.66
実積率 (%)	61.0	57.8
すりへり減量 (%)	30.9	13.1
40t 破碎値 (%)	21.9	13.9
洗い試験 (%)	0.7	—
安定性試験 (%)	21.8	7.4
モルタル付着率 (%)	36.8	—
比重1.95に浮く量 (%)	2.1	—
不純物の割合 (%)	1.2	—

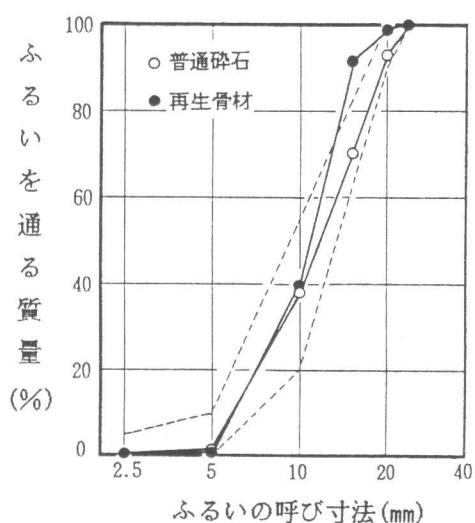


図-4 粒度分布

材の規格値12%を上回る22%である。再生骨材を塩酸溶液に浸漬し、溶解して求めたモルタル付着率は約37%であり、これが比重の低下、吸水率の増大、すりへり減量、破碎値等の強度に大きな影響を及ぼしていると考えられる。コンクリート用骨材としての品質を向上させるためには、破碎設備の改良などによりできるだけモルタル分を除去することが必要である。

#### 4. 再生骨材コンクリートの性質

##### 4. 1 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.15），細骨材は除塩した海砂、粗骨材には角閃岩碎石および再生粗骨材を使用した。コンクリートの配合を表-2に示す。表中の種類記号RA0, RA30は全粗骨材に占める再生骨材の割合を示したものであり、G1, G2はそれぞれ普通碎石、再生骨材量を表わしている。配合表のW170は再生骨材の混入に対してできるだけ強度を等しくしたもので、強度試験、水密性試験に使用した。強度試験および水密性試験は水中養生と蒸気養生の2種類で実施した。実験項目はブリッジング試験、強度試験、水密性試験、耐薬品性試験、乾燥収縮および圧縮クリープである。透水試験は $\phi 15 \times 30\text{cm}$ の中空円筒供試体を用いて水圧 $5\text{kgf/cm}^2$ 、透水時間48時間として行ない平均浸透深さから拡散係数を算出した。耐薬品性試験は5%硫酸、2%塩酸および10%硫酸ナトリウム溶液に浸せきした。硫酸ナトリウムの場合は供試体全体を浸せきしたものと半分浸せきしたものと2通り行なった。耐薬品性試験はいずれも水中養生28日後に開始した。乾燥収縮試験は $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を用い、一週間の水中養生後、温度 $20 \pm 1$ 度、湿度 $60 \pm 5\%$ RHの恒温恒湿室に入れ、所定の時間毎に取り出し質量および長さ変化を測定した。長さ変化の測定は供試体側面に鋼球を打ち込んだ黄銅板を貼付けコンタクトゲージ

法で行なった。圧縮クリープ試験は油圧装置により温度 $20 \pm 1$ 度、湿度 $60 \pm 5\%$ RHの恒温恒湿室で材令1ヶ月から開始した。

##### 4. 2 フレッシュコンクリートの性質

コンクリートの配合試験では、表-2の配合C350およびC280に示すように再生骨材混入率が変化してもスランプおよび空気量にはほ

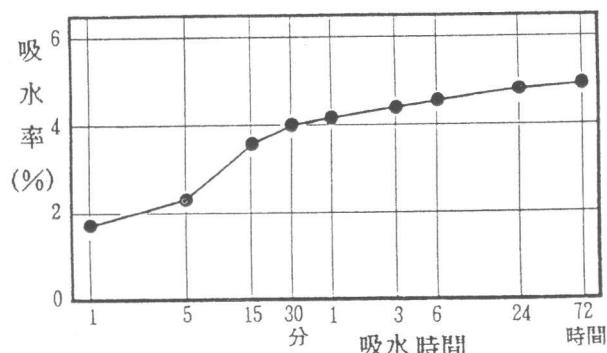


図-5 吸水率の経時変化

表-2 コンクリートの配合

種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		(L/m <sup>3</sup> )	減水剤	
					C	W	S		
C350	RA 0	7.6	2.1	49	42	350	170	758	1159 0
	RA 30	8.3	3.0						812 300
	RA 50	7.9	3.6						580 500
	RA 100	7.1	3.2						0 999
C280	RA 0	7.4	3.8	63	44	280	176	813	1146 0
	RA 30	7.5	3.8						802 296
	RA 50	8.1	3.8						573 494
	RA 100	9.0	3.6						0 988
W170	RA 0	11.1	3.1	47	44	362	170	772 1109 0	0.905
	RA 30	9.5	3.0						755 791 293 0.905
	RA 50	11.6	2.9						749 560 485 0.945
	RA 70	9.2	2.9						732 342 691 0.945
	RA 100	9.1	3.0						767 0 915 1.063

表-3 ブリッジング率

	C350	C280
RA 0	1.68	2.47
RA 30	1.88	1.80
RA 50	1.45	1.76
RA 100	1.42	1.54

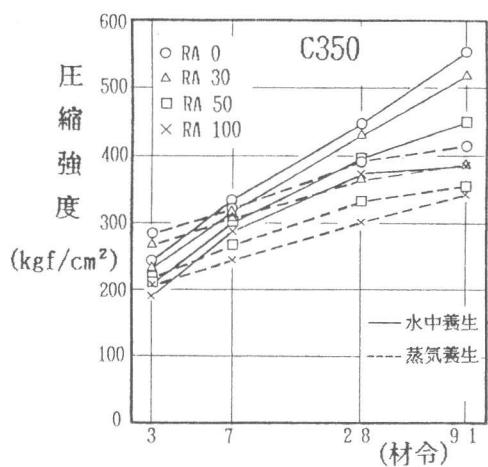


図-6 圧縮強度試験結果(C350)

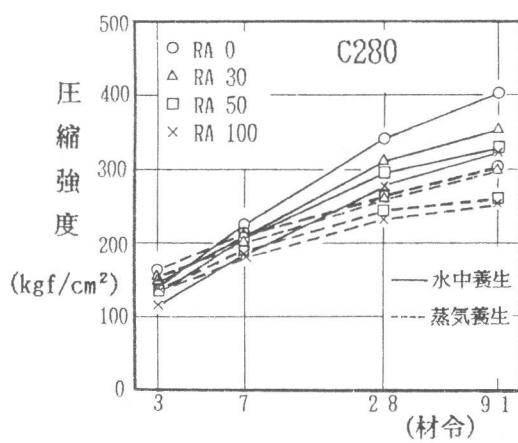


図-7 圧縮強度試験結果(C280)

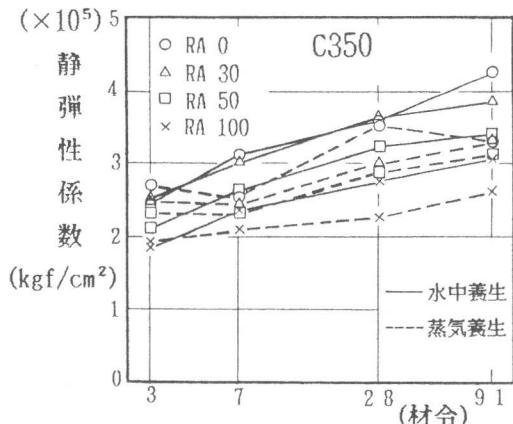


図-8 静弾性係数試験結果(C350)

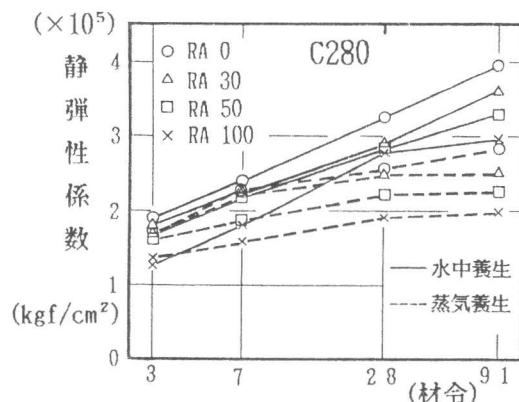


図-9 静弾性係数試験結果(C280)

とんど変化は認められなかった。これは、再生骨材が普通碎石に比べ丸みを帯びていることや吸水率が大きくても十分にプレウェッ칭を行なって使用しているためと考えられる。ブリージング試験の結果を表-3に示す。ブリージング率はセメント量の異なる配合C350およびC280とともに再生骨材混入率が大きくなるにつれ小さくなる傾向が認められる。これは再生骨材の表面が普通碎石に比べて多孔質であるため保水性が良くなることや練り混ぜ中にすり減った再生骨材に付着するモルタル分が水を取り込むためではないかと考えられる。

#### 4.3 硬化コンクリートの性質

圧縮強度および静弾性係数の結果を図-6～9にそれぞれ示す。圧縮強度は材令とともに増加するが、再生骨材混入率の増加とともに低下する傾向が認められる。また、再生骨材混入率が大きいほど長期強度の伸びが低下し、強度差が大きくなっている。これは再生骨材自体の破碎値が

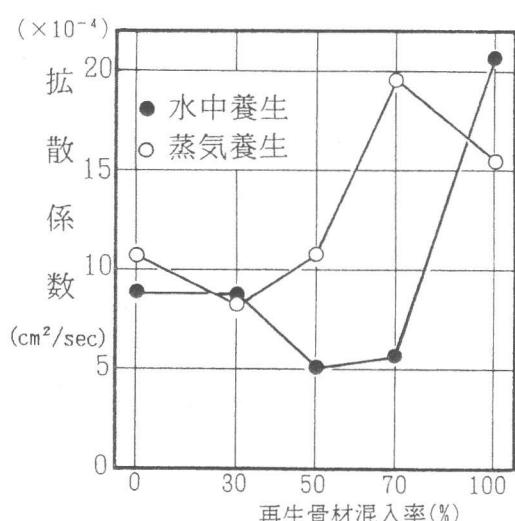


図-10 透水試験結果

表-4 耐薬品性試験結果(HCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

		C350		C280	
		F	W	F	W
塩 酸	RA 0	67.0	84.2	53.4	72.4
	RA 30	67.0	81.4	55.4	72.0
	RA 50	71.0	83.7	55.7	69.7
	RA 100	68.2	81.7	55.4	67.6
硫酸 全 浸 漬 ト リ ウ ム	RA 0	106	100.6	89.9	99.3
	RA 30	107	100.3	88.3	98.4
	RA 50	106	100.2	85.7	96.0
	RA 100	108	99.9	83.1	92.5
	RA 0	105	100.1	102	100.0
	RA 30	106	100.0	101	99.1
	RA 50	106	99.8	99.0	99.7
	RA 100	106	99.9	103	96.7

F : 動弾性係数百分率(%) W : 質量百分率

大きいことに起因すると考えられる。静弾性係数の値も若干ばらつきはあるが、圧縮強度と同様な傾向を示している。

インプット法で実施した材令91日における透水試験の結果を図-10に示す。再生骨材混入率50%程度までは普通碎石のコンクリートとほとんど差は認められないが、普通養生の100%，蒸気養生の70%以上では拡散係数の増加が認められる。これは、再生骨材の混入率が増すと付着しているモルタル分の割合が増し、水が浸透し易くなるためと考えられる。

耐薬品性試験の結果を図-11および表-4に示す。硫酸溶液に浸せきした場合、浸せき日数とともに動弾性係数および質量百分率は急激に低下するが、再生骨材を用いたものの方が質量百分率がやや大きい。しかし、再生骨材を用いた場合でも質量百分率の低下に対して動弾性百分率の低下は凍結融解試験のように急激ではないことから内部からの劣化ではなく、外部からのみ侵食されていると考えられる。塩酸の場合は硫酸に比べて動弾性係数および質量百分率の低下はゆるやかで再生骨材混入率の差は

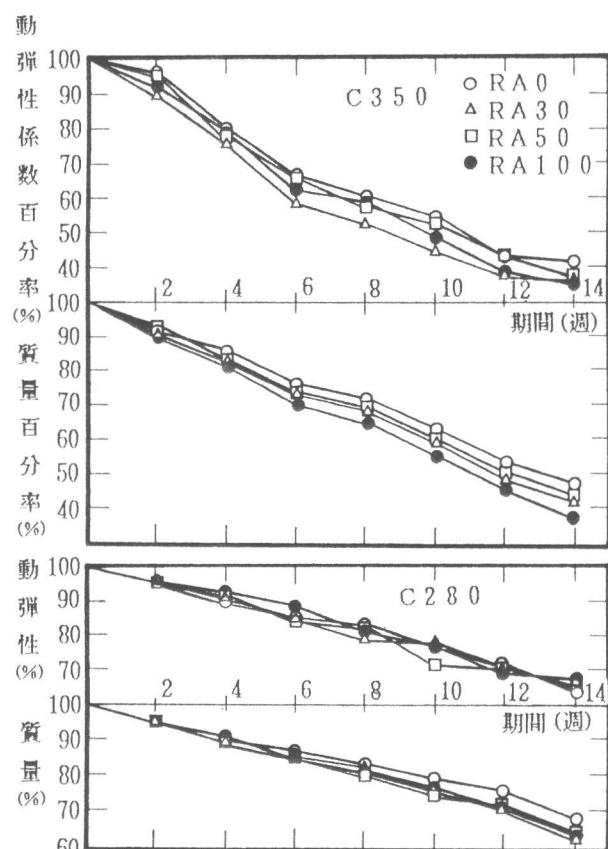
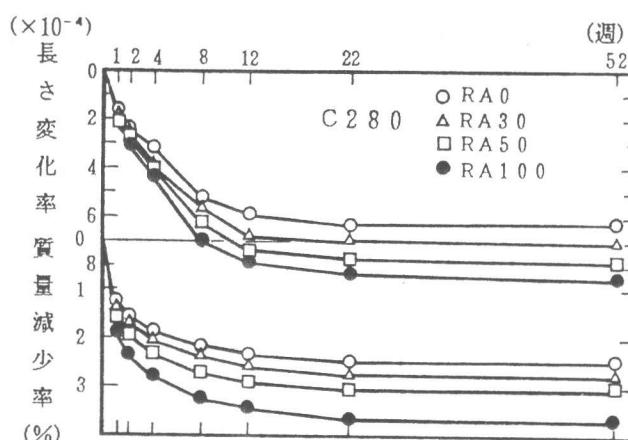
図-11 耐薬品性試験結果(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

図-12 長さ変化率および質量減少率

表-5 クリーブ試験結果(C280)

	弾性歪 ×10 <sup>-6</sup>	a	b	最終クリーブ° 係数	単位クリーブ° ×10 <sup>-6</sup> /kgf/cm <sup>2</sup>
RA 0	349	0.00543	0.000965	2.97	8.8
RA 30	344	0.01053	0.00125	2.33	6.5
RA 50	349	-0.00125	0.00112	2.56	7.6
RA 100	460	0.00284	0.000890	2.45	9.7

混入率100%で質量減少率がやや小さい程度である。硫酸ナトリウムの場合、配合C280の再生骨材混入率100%のものでは全浸せき、半浸せきとともに24週から隅角部に欠損が見られ、52週後では再生骨材混入率により差が現われている。

C280の配合で実施した乾燥収縮およびクリープ試験の結果を図-12および表-5に示す。乾燥収縮試験の結果、長さ変化率および質量減少率とも再生骨材混入率の増加とともに大きくなり、普通碎石コンクリートに比べ再生骨材混入率100%の再生骨材コンクリートの方が長さ変化率で $2 \times 10^{-4}$ 、質量減少率で1%程度大きくなっている。このように再生骨材混入率により差が出るのは再生骨材自体の吸水率が大きいことやコンクリートの弾性係数の差によるものと考えられる。圧縮クリープ試験の8か月後の測定値から求めた双曲線近似式による最終クリープ係数は、再生骨材を用いた方が用いないものに比べて若干小さい。また、最終の単位クリープは $10 \times 10^{-6}$ 以下であり通常の値である。

## 5.まとめ

再生骨材の品質および再生骨材を用いたコンクリートの諸性質を検討した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 再生粗骨材はモルタル付着率が大きいため比重が小さく、吸水率、破碎値、すりへり減量および安定性の値が極めて大きい。
- (2) 十分なプレウェッ칭を行なえば、再生粗骨材は普通碎石に比べて丸みを帯びているので、再生骨材混入率が増加しても単位水量は普通碎石コンクリートと変わらない。
- (3) 再生骨材コンクリートのブリージング率は再生骨材混入率の増加とともに減少する。
- (4) 100%再生粗骨材を用いたコンクリートの強度および静弾性係数は普通コンクリートより2割程度小さい。
- (5) 水密性は再生骨材混入率50%までは普通碎石コンクリートと大差はない。
- (6) 100%再生粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮は普通碎石コンクリートの場合よりも $2 \times 10^{-4}$ 程度大きい。
- (7) 再生骨材コンクリートのクリープ係数は普通碎石コンクリートより若干小さい。

以上のことから、再生骨材を多量に使用したコンクリートは普通碎石を用いたものに比べて強度、水密性、乾燥収縮などの諸性質はやや低下する傾向が認められるが、再生骨材の品質やコンクリートの種類に応じて再生骨材混入率を適切に選び、普通碎石コンクリートより水セメント比を下げるか単位セメント量を増すことにより強度を同程度に保てば、強度以外の性質もかなり改善されると考えられる。また、これまで実施してきた耐凍害性試験などの結果を考慮すると再生骨材の混入率が30%程度であれば実用上普通コンクリートと同等に扱っても差し支えないと考えられる。

## 参考文献

- 1) 河野：再生骨材を用いたコンクリートの特性とその利用、セメント・コンクリート、No.490, pp.23~30, Dec.1987,
- 2) 江本、大和、添田：再生骨材の品質および再生骨材コンクリートの性状に関する研究、土木学会第46回年次学術講演会概要集 V, pp.562~563, 1990, 9