

論文 高品質再生粗骨材を用いた再生コンクリートに関する研究

小島正朗^{*1}・米澤敏男^{*2}・神山行男^{*3}・柳橋邦生^{*4}

要旨： 堅型偏心ローター式処理装置を用いて、実解体建物のコンクリート塊から製造した再生粗骨材の品質と、この再生粗骨材を使用したコンクリートの物性について検討した。再生粗骨材の品質は、解体コンクリート塊に含まれる粗骨材の品質を管理することで、JASS5やJISの基準を満足するものを得ることができる。再生粗骨材を使用したコンクリートの単位水量は、砂利と碎石の中間の値となり、フレッシュコンクリートの性状や硬化コンクリートの物性についても砂利や碎石を使用したコンクリートと同等であることが明らかになった。

キーワード： 再生骨材、絶乾密度、吸水率、品質変動、単位水量、強度発現、耐久性

1. はじめに

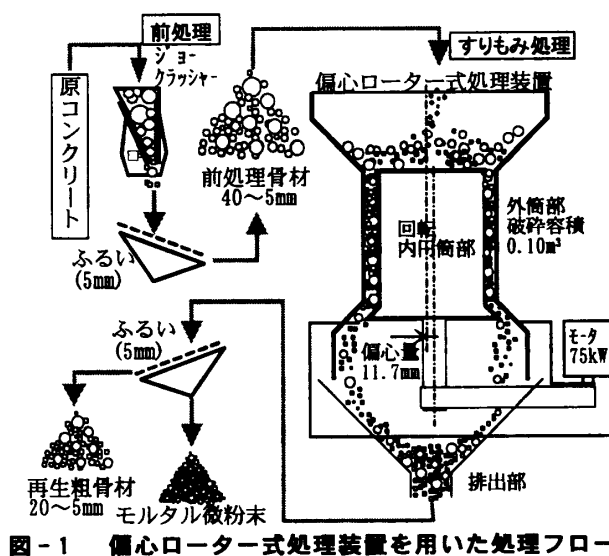
建設副産物の約4割に相当する3600万トンのコンクリート塊のうち、約1300万トンが再利用されずに処分されている¹⁾。これを資源として有効利用するには、需要の多いコンクリート用骨材として利用することが有効であると考えられる。筆者らは、堅型の偏心ローター式再生粗骨材製造装置を用いて、コンクリート塊からJASS5やJIS A 5005に規定される砂利や碎石の品質を満足する再生粗骨材が製造できることを報告した²⁾。本報では、起源の異なる4種類の実解体建物のコンクリート塊から再生粗骨材を製造し、コンクリート塊に含まれる粗骨材（以下、原粗骨材とする）の品質が再生粗骨材の品質に与える影響と、大量に製造したときの品質のばらつきについて検討した。また、この再生粗骨材を用いたコンクリートの調合、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの特性について検討した。

2. 高品質再生骨材の品質

2.1 原コンクリート

原コンクリートの種類を表-1に示す。解体現

場で粗粉碎後に鉄筋等を除去した原コンクリートを、ジョークラッシャーで40mm以下の粒度に破碎した後5mmふるいにかけて、ふるい上（以下、前処理骨材とする）をすりもみ処理した。原コンクリートに含まれる粗骨材（以下原粗骨材）の品質を表-2に示す。原粗骨材の絶乾密度および吸水率は、前処理骨材を塩酸5%溶液に1週間浸漬し、5mmでふるいに残ったものをJIS A 1110に従って測定した。また、取り出した原粗骨材について、JIS A 5308付属書7（化学法）に従いアルカリ骨材反応性を調べた。



* 1(株)竹中工務店技術研究所研究開発部 工修（正会員）

* 2(株)竹中工務店技術研究所研究開発部副部長 Ph.D.（正会員）

* 3(株)竹中工務店技術研究所研究開発部主任研究員 工博（正会員）

* 4(株)竹中工務店技術研究所研究開発部（正会員）

表-1 原コンクリートの種類

種類	建物用途	部 位
A	倉 庫	地下躯体
B	住 宅	地上躯体
C	工場建屋	地上躯体
D	模擬塊	川砂利川砂コンクリート(水セメント比 50%, 単位水量 157kg/m ³) 破碎材齢 42 週

表-2 原コンクリートに含まれる粗骨材の品質

種類	粗骨材の種類	絶乾密度 (kg/ℓ)	吸水率 (%)	アルカリ骨材反応性
A	砂利	2.58	2.03	無害
B	砂利	2.50	3.59	無害
C	砂利	2.53	2.26	無害
D	砂利	2.61	1.28	無害

2. 2 再生粗骨材の製造方法

再生粗骨材は、縦型偏心ローター式処理装置を利用し、図-1に示すフローで再生処理を行った。処理速度は0.75トン/分とし、再生処理後に5mmふるいにかけ、留まったものを再生粗骨材として回収した。

2. 3 試験項目および方法

A～Dの4種類の原コンクリートから各々約3 m³の再生粗骨材を製造し、JIS A 1110に従い絶乾密度および吸水率試験を行った。大量に処理した時の品質のばらつきを把握するため、原コンクリートAから40m³の再生粗骨材を製造し、5 m³に一度の割合で表-3の各試験を行った。不純物試験として、JIS A 5308 付属書2による密度1.95g/cm³の塩化亜鉛溶液に浮く粒子の量と、塩化亜鉛水溶液濃度を变化させ重液の密度を1.7g/cm³、1.4g/cm³としたもの、密度1.2g/cm³のグリセリンを使用した場合について同様の方法で試験を行った。

2. 4 試験結果

(1) 原粗骨材の品質と再生粗骨材の品質の関係

図-2に原粗骨材と得られた再生粗骨材の絶乾密度の関係を示す。JASS5やJISの品質規定値は2.5g/cm³であるが、JISの数字の丸めかたに基づくと2.45g/cm³が下限となる。原粗骨材の絶乾密度が2.52g/cm³以上であれば、絶乾密度の下限値を満足するものが得られる。図-3は吸水率の場合であり、原粗骨材の吸水率が2.5%以下であれば、吸水率が3.0%以下の再生粗骨材が得られる。再生粗骨材を製造する際、上記の原粗骨材の品質限界値に、後述の製造のばらつきを考慮して管理値を定めることが望ましい。

(2) 大量に製造したときの品質のばらつき

表-3 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
絶乾密度	JIS A 1110
吸水率	JIS A 1110
粒形判定実積率	JIS A 5005
微粒分量	JIS A 1103
ふるい分け	JIS A 1102
不純物量	JIS A 5308 付属書 2,これに準じて重液の密度を1.7,1.4,1.2に変化させて実施

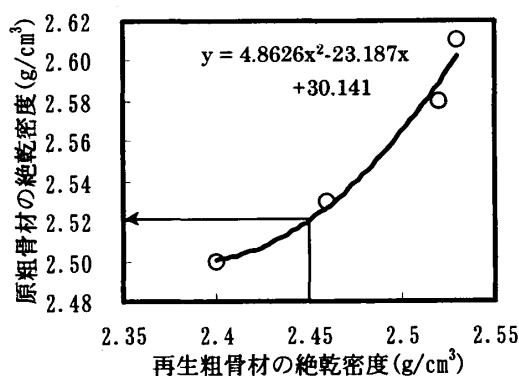


図-2 原粗骨材と再生粗骨材の絶乾密度の関係

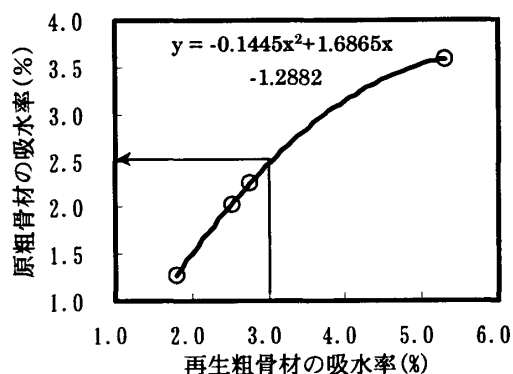
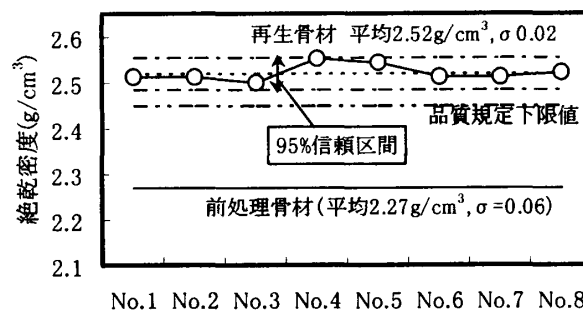


図-3 原粗骨材と再生粗骨材の吸水率の関係



No.1 No.2 No.3 No.4 No.5 No.6 No.7 No.8

図-4 絶乾密度試験結果

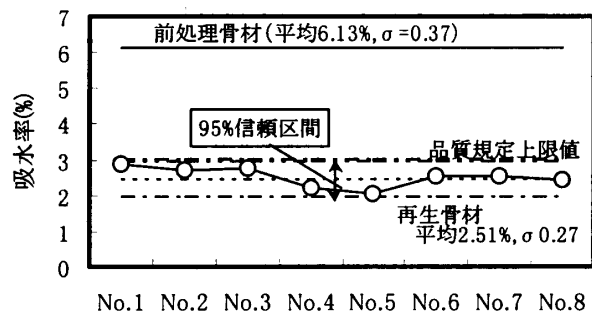


図-5 吸水率試験結果

図4～5に原コンクリートAを使用して大量の再生粗骨材を製造した場合の、絶乾密度および吸水率の測定結果を示す。処理前の骨材と比較して品質は大きく向上し、JASS5およびJISの粗骨材の規定値を満足した。今回の実験では、品質のばらつきを考慮すると吸水率の規定値3.0%のほうが絶乾密度より厳しかったが、不良率は3%程度であった。図-6にふるい分け試験結果を示す。いずれもJASS5に示された標準粒度2005の範囲であった。表-4に粒形判定実積率、微粉量および密度1.95g/cm³浮遊不純物の試験結果を示す。いずれの試験項目もJASS5およびJISの規定値を満足した。

(2) 重液の密度を変化させた場合の浮遊不純物量試験

密度1.2～1.95g/cm³の重液に浮遊する不純物量の試験結果を図-7に示す。図-8に再生骨材中に混入する可能性のある主な不純物の密度を示す。密度1.95g/cm³の重液の場合、浮遊物の多くがモルタル粒子であった。密度1.7g/cm³以下の重液ではモルタル粒子は少なく、木片やプラスチック、雑ゴミが浮遊した。モルタル粒子の混入量は結果的に絶乾密度や吸水率で評価できることから、高品質再生粗骨材では、不純物を密度1.7g/cm³の重液に浮遊する量として評価することが望ましい。

3. 再生骨材を用いたコンクリートの特性

3.1 実験因子および水準

原コンクリートAから製造した再生粗骨材を用い、スランプ8～18cm、水セメント比40～60%

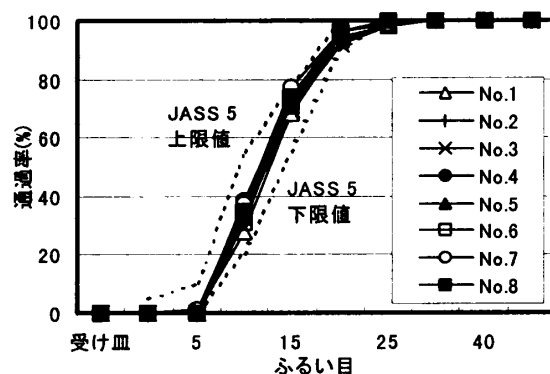


図-6 ふるい分け試験結果

表-4 再生粗骨材の品質試験結果

試験項目	試験結果	JASS5またはJIS規定値
粒形判定実積率(%)	61.3 (N=8, σ=1.02)	55以上
微粉量(%)	0.21 (N=8, σ=0.14)	1.0以下
1.95浮遊粒子量(%)	0.46 (N=8, σ=0.16)	1.0*以下
モルタル付着率(%)	11.1 (N=8, σ=1.62)	—

※コンクリートの外観が特に問題のない場合

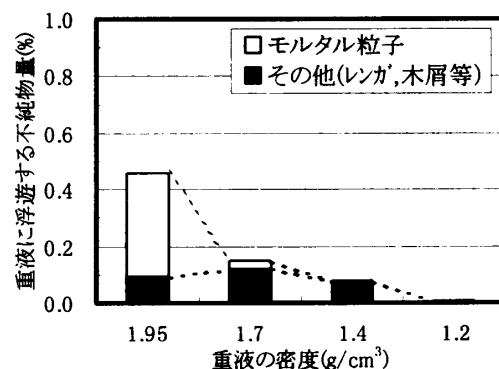
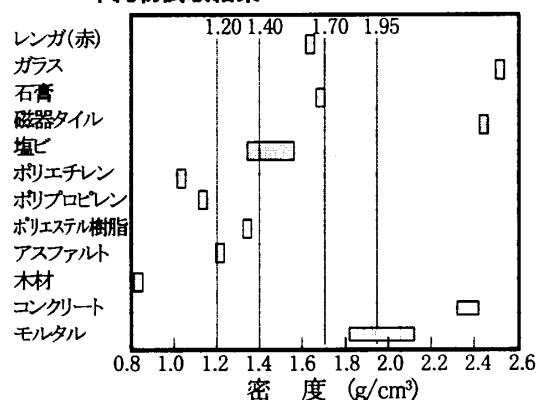
図-7 密度1.2～1.95g/cm³の重液に浮遊する不純物試験結果

図-8 コンクリート塊に含まれる主な不純物の密度

表-5 実験因子および水準

因子	水準
細骨材の種類	山砂, 海砂+砕砂
粗骨材の種類	再生粗骨材, 砕石, 砂利
水セメント比	40%, 50%, 60%
スランプ	8cm, 12cm, 15cm, 18cm

のコンクリートの特性を調べた。実験の因子および水準を表-5に示す。

3.2 使用材料および調合条件

使用材料を表-6に示す。コンクリートの調合条件は、空気量4.5%、粗骨材かさ容積 $0.6\text{m}^3/\text{m}^3$ 一定とした。化学混和剤は、細骨材が山砂の場合はAE減水剤を用い、海砂と砕砂の混合砂では高性能AE減水剤を用いた。スランプは単位水量で調整した。

表-6 コンクリートの使用材料

種別	品 質
セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.15 g/cm^3
粗骨材	再生骨材: 絶乾密度 2.51 g/cm^3 , 吸水率 2.73%, 実積率 60.7% 砂利: 大井川産陸砂利 絶乾密度 2.62 g/cm^3 , 吸水率 0.79%, 実積率 63.9% 砕石: 八王子産砕石 絶乾密度 2.66 g/cm^3 , 吸水率 0.71%, 実積率 60.3%
細骨材	山砂: 君津産 絶乾密度 2.54 g/cm^3 , 吸水率 1.75%, 粗粒率 2.72 海砂: 大槌産(70%) 絶乾密度 2.52 g/cm^3 , 吸水率 2.00%, 粗粒率 2.57 砕砂: 茨木産(30%) 絶乾密度 2.52 g/cm^3 , 吸水率 2.03%, 粗粒率 2.78
混和剤	AE減水剤 (リグニン系) 高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系) AE助剤 (アルキルエーテル系)
水	上水道

3.3 練り混ぜ

練り混ぜは50ℓのパン型ミキサを使用した。1バッチ当りの量は40ℓとし、全材料投入後2分間練り混ぜた。

3.4 試験項目および試験方法

練りあがったコンクリートに対して表-7に示すフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの試験を行った。

表-7 試験項目および試験方法

種 別	試験項目	試験方法
フレッシュコンクリート	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	温度	棒状温度計
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結	JIS A 6204 附属書 1
硬化コンクリート	圧縮強度, ヤング係数	JIS A 1108
	引張強度試験	JIS A 1113
	乾燥収縮試験	JIS A 1129
	凍結融解抵抗性試験	JIS A 6204 附属書 2
	中性化促進試験	高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針 付 1.

3.5 試験結果

(1) コンクリートの調合

表-8にスランプ18cmの調合例とフレッシュコンクリートの試験結果を合せてを示す。

図-9に水セメント比50%でのスランプと単位水量の関係を示す。再生粗骨材を使用したコンクリートは、単位水量が砕石と砂利の間であり、スランプの増減に伴う単位水量の調整は砂利や砕

表-8 コンクリートの調合とフレッシュコンクリートの試験結果

コンクリートの調合													フレッシュコンクリートの試験結果							
No	骨材種類		水セメント比 (%)	設定スランプ (cm)	骨材最大寸法 (mm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m³)				混和剤使用量		測定スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (t/m³)	温度 (℃)	ブリーディング量 (cm³/cm²)	凝結(h:m)	
	細骨材	粗骨材						水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤 (Cx%)	AE 助剤(A)						始発	終結
A1	山砂	再生	40	18	20	4.5	44.8	167	418	758	930	0.25*1	0.80	17.0	4.1	2.31	18.0	0.15	6:10	8:31
A5			50	18	20	4.5	47.8	160	320	856	930	0.25*1	0.80	18.7	3.9	2.31	18.0	0.25	6:07	8:50
A6			60	18	20	4.5	49.3	158	263	907	930	0.25*1	1.00	18.0	4.3	2.28	18.5	0.21	6:30	9:20
A7		砕石	40	18	20	4.5	44.0	172	430	735	970	0.25*1	1.50	18.5	4.4	2.34	17.5	0.23	6:07	8:25
A11			50	18	20	4.5	47.2	165	330	834	970	0.25*1	1.35	17.8	3.5	2.35	17.5	0.24	6:05	8:27
A12			60	18	20	4.5	48.7	163	272	887	970	0.25*1	2.00	19.0	4.4	2.33	18.0	0.37	7:00	9:45
A16			砂利	50	18	20	4.5	45.2	156	312	817	1012	0.25*1	1.50	18.5	4.3	2.33	16.5	0.25	6:06
B1	砂 + 砕砂	再生	40	18	20	4.5	42.9	177	443	702	936	0.80*2	1.00	18.5	4.5	2.28	18.0	0.03	7:02	9:21
B5			50	18	20	4.5	45.8	173	346	791	936	1.00*2	1.50	17.0	5.0	2.25	18.0	0.05	7:19	9:39
B6			60	18	20	4.5	47.3	173	288	839	936	1.70*2	1.00	19.0	4.4	2.25	16.0	0.15	7:40	9:57
B7		砕石	40	18	20	4.5	42.4	182	455	686	970	0.80*2	1.50	18.5	4.2	2.33	18.0	0.04	7:11	9:14
B11			50	18	20	4.5	45.5	178	356	777	970	1.05*2	1.50	19.5	4.3	2.31	19.0	0.11	7:13	9:41
B12			60	18	20	4.5	47.3	176	293	833	970	1.40*2	1.50	17.0	4.1	2.30	18.0	0.24	7:30	9:59
B16			砂利	50	18	20	4.5	43.2	171	342	751	1012	1.00*2	1.00	17.5	4.0	2.30	16.5	0.11	7:11

※1: AE減水剤使用

※2: 高性能AE減水剤使用

石と同程度に調整可能であった。図-10に、各水セメント比でスランプ18cmを得るために必要な単位水量を示す。再生粗骨材を使用したコンクリートの単位水量は碎石を使用したときより少なく、水セメント比が高くなるにつれ単位水量は少なくなった。再生粗骨材は、原粗骨材が砂利であること、解体や前処理の原コンクリートの破碎段階で一部の原骨材も破碎されることから、砂利と碎石の中間の性質を持つものと考えられる。

(2) フレッシュコンクリートの性質

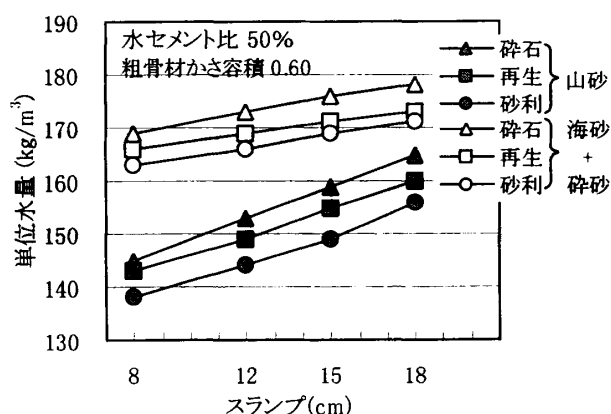


図-9 スランプと単位水量の関係

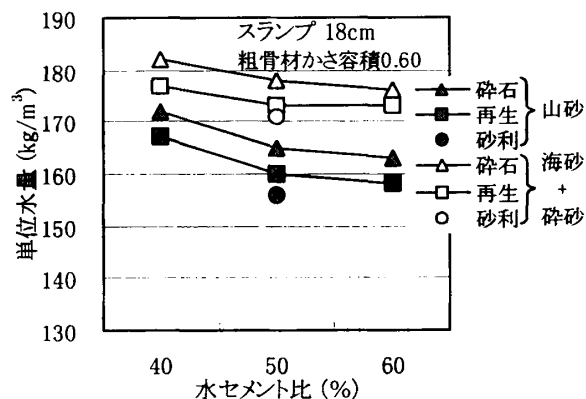


図-10 水セメント比とスランプの関係

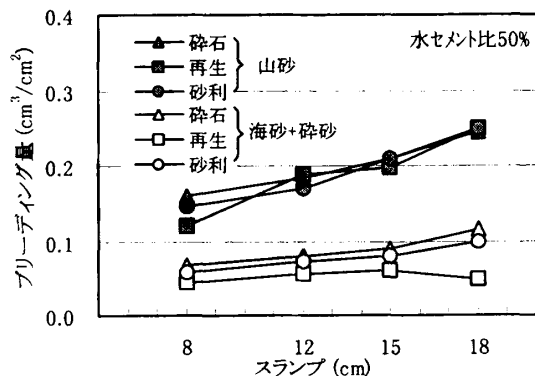


図-11 スランプとブリーディング量の関係

表-8よりフレッシュコンクリートの単位容積質量および凝結時間は、砂利や碎石を使用したコンクリートと同程度であった。図-11に水セメント比50%でスランプを変化させた時のブリーディング量を示す。再生粗骨材を使用したコンクリートは、砂利や碎石を使用したコンクリートのブリーディング量と同程度であった。

(3) 硬化コンクリートの物性

セメント水比と圧縮強度の関係を図-12に示す。再生粗骨材を使用したコンクリートの強度

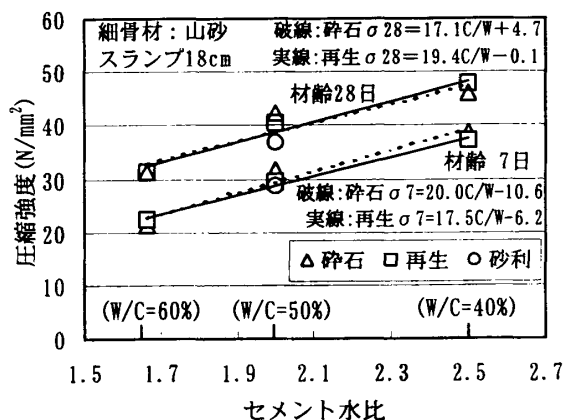


図-12 セメント水比と圧縮強度の関係

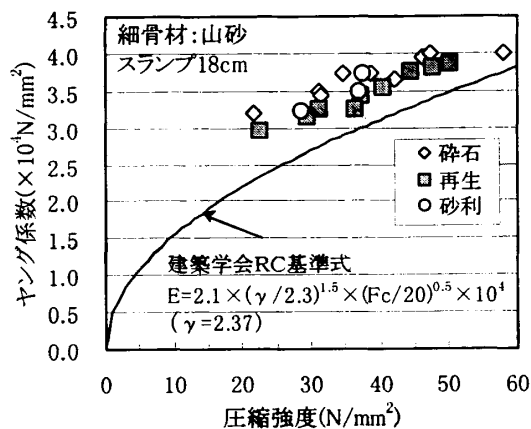


図-13 圧縮強度とヤング係数の関係

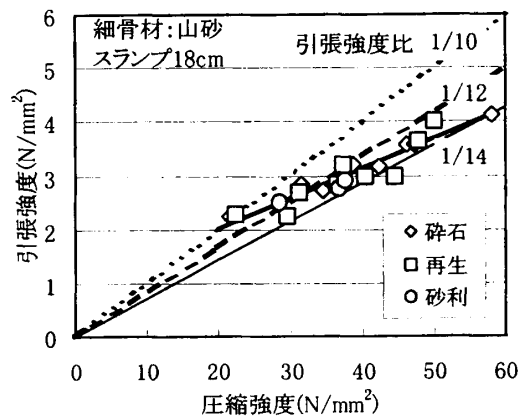


図-14 圧縮強度と引張強度の関係

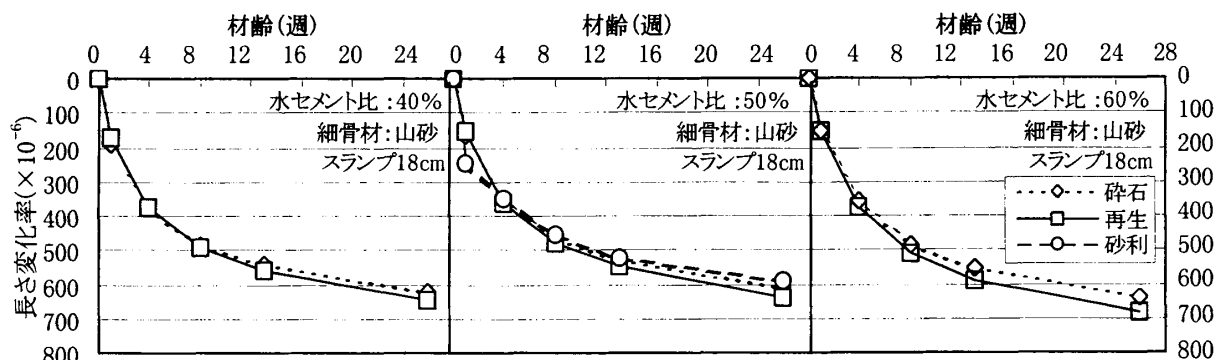


図-15 乾燥収縮試験結果

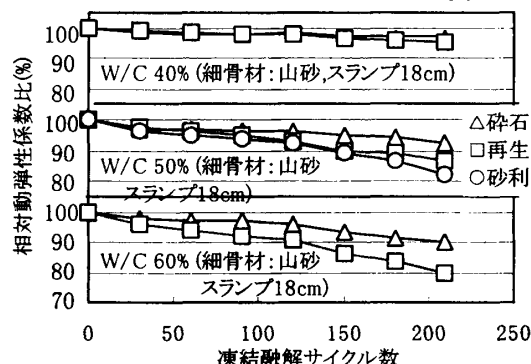


図-16 凍結融解抵抗試験結果

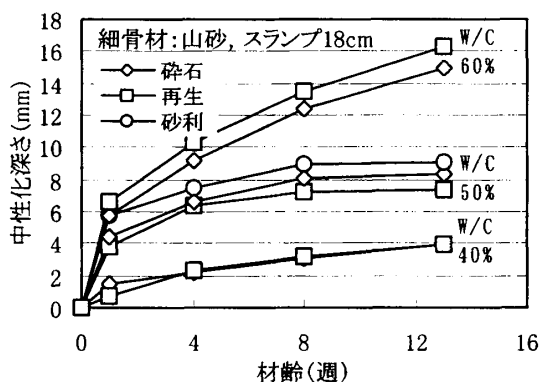


図-17 促進中性化深さ試験結果

発現は、砕石を使用したコンクリートと同等であった。図-13に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。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や砕石を使用したコンクリートより若干小さい傾向があった。図-14に圧縮強度と引張強度の関係を示す。圧縮強度が 40N/mm^2 程度以上になると圧縮強度に対する引張強度比が低下する傾向が認められるが、再生粗骨材と砕石や砂利による違いは認められなかった。図-15に乾燥収縮の試験結果を示す。再生粗骨材を使用したコンクリートは、砕石の場合より単位水量が 5kg/m^3 少ないが乾燥収縮は材齢26週において最大で 50μ 程度大きくなった。付着

モルタルの影響や骨材物性の違いなどが原因として考えられるが、乾燥収縮率の差としては僅かであった。図-16に凍結融解抵抗性試験結果を示す。いずれの骨材を使用したコンクリートも200サイクル経過時の耐久性指数は60%以上の値であった。図-17に促進中性化深さ試験結果を示す。再生粗骨材を使用したコンクリートは、砕石を使用したコンクリートと同等か若干大きい中性化深さであった。これは、単位セメント量の違いによるものと考えられる。

4. まとめ

以上の実験の結果から以下のことが明らかになった。

- (1) 偏心ローター式処理装置により製造した再生粗骨材の品質は、原粗骨材の品質と関係があり、原粗骨材の品質を管理することにより JASS5 や JISの基準を満足する再生粗骨材を製造することができる。
- (2) 上記の再生粗骨材を使用したコンクリートの単位水量は、砂利と砕石を用いたコンクリートの中間の値であった。
- (3) 上記の再生粗骨材を使用したコンクリートのフレッシュコンクリートおよび硬化後の性状は通常のコンクリートと同等であった。

〈謝辞〉本研究は、大阪市立大学の山田優教授、(株)栗本鉄工所の荒川和明氏に多大な御指導・御援助をいただきました。ここに感謝の意を表します。

〈参考文献〉

- 1) 建設省：平成7年度建設副産物実態調査
- 2) 柳橋邦生 他：高品質再生粗骨材の研究，コンクリート工学年次論文報告集 Vol21, No. 1, pp. 205～210, 1999