

論文 製造方法の異なる再生骨材を用いたコンクリートの調合と特性

早川 光敬^{*1}・丸嶋 紀夫^{*2}・石堂 修次^{*3}・飯島 真人^{*4}

要旨：高品質の再生骨材を製造する方法として、加熱すりもみ法とスクリュース摩砕法の2種類の方法をとりあげ、同一起源のコンクリート解体材からそれぞれ再生骨材を製造した。製造した再生骨材の品質を調査すると共に、コンクリートを製造して調合、強度などに与える影響を調査した。その結果、いずれの方法によっても JASS5 の品質基準を満足する骨材が得られることを確認した。また、それぞれの骨材を用いたコンクリートのセメント水比と強度の関係などを把握し、一般の骨材を用いたコンクリートと比べて遜色のない品質をもつコンクリートが製造できることをあきらかにした。

キーワード：再生骨材，加熱すりもみ法，スクリュース摩砕法，調合，強度特性，乾燥収縮

1. はじめに

昨年度、コンクリート解体材を比較的簡易な方法で処理し、吸水率 5%程度の再生粗骨材を製造し、コンクリートの品質に与える影響を調査した¹⁾。これに対し、解体材を処理して JASS5 に示される一般の骨材の品質基準を満足する骨材（吸水率 3%以下など）を取り出す方法も提案されている。ここでは加熱すりもみ法とスクリュース摩砕法の2種類の方法を取り上げ、同一起源の解体材を処理して製造される骨材の品質を調査した。またそれぞれの骨材を用いてコンクリートを製造し、骨材量がスランプや強度に与える影響、骨材種類によるセメント水比と圧縮強度、引張強度、静弾性係数、乾燥収縮の関係を調査した。

2. 再生骨材の製造

2.1 解体材

昭和 10 年頃に建設された都内の鉄筋コンクリート構造物の解体工事で発生する解体材を試験に用いた。建物の用途は精密機械の工場および事務所であった。

解体に先立ちコア供試体を採取し、コンクリ

ートの圧縮強度、中性化深さを調査し、調合推定試験を行った。圧縮強度は平均 34.6N/mm^2 であり、中性化深さはモルタル仕上げが 12~25mm ある箇所の測定で 0~17.7mm であった。調合推定の結果は、単位水量 168kg/m^3 、単位セメント量 255kg/m^3 、単位細骨材量 702kg/m^3 、単位粗骨材量 $1,276\text{kg/m}^3$ であった。コンクリート中の塩化物量は 0.23kg/m^3 であった。又酸で処理して取り出した骨材の品質は表 - 1 に示すようであった。この解体材に使用されていた粗骨材は川砂利である。

2.2 加熱すりもみ法（再生 1）²⁾

コンクリート塊を 300 程度で加熱して、セメントペースト部分を脱水、脆弱化した後、骨材を破碎しない程度の摩砕作用で骨材の周りに付着しているモルタルやセメントペーストを選択的に除去する方法である。ここでは千葉県に設置されていた処理能力 3t/h の設備を使用した。設備の概要を写真 - 1 に示す。40mm 以下に破碎したコンクリート解体材を約 80 トン処理し、再生粗骨材と再生細骨材を製造した。

2.3 スクリュー摩砕法（再生 2）

投入された解体材がケーシング内に取りつけ

*1 大成建設(株) 技術センター建築技術研究所 次長 博士(工学)(正会員)

*2 大成建設(株) 技術センター建築技術研究所 次長 (正会員)

*3 大成建設(株) 建築本部建築技術部 部長 博士(工学)(正会員)

*4 大成建設(株) 建築本部建築技術部 次長 (正会員)

表 - 1 使用骨材の試験結果

	粗骨材				細骨材			
製造方法	再生 1	再生 2	酸処理 *	砕石	再生 1	酸処理 *	陸砂	陸砂細
表乾密度(g/cm ³)	2.61	2.56	2.59	2.67	2.62	2.60	2.61	2.63
絶乾密度(g/cm ³)	2.57	2.50	2.55	2.65	2.57	2.53	2.56	2.57
吸水率(%)	1.62	2.54	1.72	0.68	2.03	2.79	1.90	2.26
粗粒率	6.44	6.99	6.94	6.62	3.90	2.78	2.97	1.66
単位容積質量(kg/l)	1.68	1.66	1.65	1.58	1.75	1.84	-	-

* 解体建物より採取したコアから酸処理して取り出した骨材の試験結果

られたスクリーで攪拌され、回転するコーンや台座部分とのクリアランスを通過する際、骨材周囲に付着しているモルタル部分が除去される装置である。装置により 3 回以上処理を行えば JASS5 の基準を満足する高品質再生粗骨材が回収できることが確認されている³⁾。ここでは埼玉県に設置されていた 1 回あたりの処理能力 30t/h の装置を使用した。装置の状況を写真 - 2 に示す。40mm 以下に破碎したコンクリート解体材を約 30 トン、この装置により 4 回処理し、再生粗骨材を製造した。

2.4 再生骨材の品質

加熱すりもみ法（再生 1）により製造した再生粗骨材および再生細骨材、スクリー摩砕法（再生 2）により製造した再生粗骨材の試験結果を表 - 1 に示す。いずれも JASS5 の品質基準を満足するものであった。加熱すりもみ法（再生 1）による細骨材は粗粒率が大きくなったため、3 章の試験では細目の陸砂を 1 : 1 で混合して使用することにした。

製造した再生粗骨材を酸で処理し、付着しているモルタル、および団子状になったモルタル塊の量を測定した。その結果、加熱すりもみ法（再生 1）によるもののモルタル量は 10.4%，スクリー摩砕法（再生 2）によるもののモルタル量は 20.7% であった。

3. 再生骨材を用いたコンクリート

3.1 試験計画

(1) 調査に与える影響調査

骨材の組み合わせで、砕石と陸砂（A）、再生 1 粗骨材と陸砂（B）、再生 1 粗骨材と再生 1 細骨



写真 - 1 加熱すりもみ法設備



写真 - 2 スクリー摩砕法装置

材に細目陸砂を 1 : 1 で混合したもの（C）、再生 2 粗骨材と陸砂（D）の 4 種類について試験を行った。使用した骨材の品質を表 - 1 に示す。使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。骨材はほぼ表乾状態に調整して用いた。

水セメント比は 55, 42, 35% の 3 水準とした。水セメント比 55 と 42% では AE 減水剤を標準量使用し、粗骨材のかさ容積が 0.63m³/m³ の時に練り上り時のスランプが 20cm になるよう単位水量を定めた。そのまま単位水量を一定とし、

表 - 2 調合に与える影響

記号	粗骨材	細骨材	W/C (%)	S/a (%)	単位水量 (kg/m³)	混和剤 (C × %)	ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	圧 縮 強 度 (N/mm²)
1- A -55-1	碎石	陸砂	55	44.9	175	0.25	20.5	4.5	39.5
1- A -55-2				49.9	175	0.25	20.5	4.7	40.5
1- A -55-3				54.9	175	0.25	20.5	4.3	39.8
1- B -55-1	再生 1	陸砂		42.7	157	0.25	21.0	5.2	37.0
1- B -55-2				47.7	157	0.25	20.0	4.6	38.0
1- B -55-3				52.7	157	0.25	14.5	4.5	39.2
1- C -55-1	再生 1	再生 1 + 陸砂 細		41.5	167	0.25	20.5	4.3	38.4
1- C -55-2				46.5	167	0.25	19.5	4.6	40.7
1- C -55-3				51.5	167	0.25	9.5	5.1	40.2
1- D 55-1	再生 2	陸砂		42.1	157	0.25	20.5	4.1	35.6
1- D -55-2				47.1	157	0.25	19.5	5.3	36.1
1- D -55-3				52.1	157	0.25	19.5	5.9	36.1
1- A -42-1	碎石	陸砂	42	41.5	180	0.25	20.5	4.4	53.7
1- A -42-2				46.5	180	0.25	21.0	4.0	54.7
1- A -42-3				51.5	180	0.25	19.5	3.9	56.9
1- B -42-1	再生 1	陸砂		38.8	167	0.25	21.0	4.4	48.2
1- B -42-2				43.8	167	0.25	20.5	3.8	49.9
1- B -42-3				48.8	167	0.25	19.0	4.2	48.2
1- C -42-1	再生 1	再生 1 + 陸砂 細		37.1	177	0.25	21.0	3.7	54.0
1- C -42-2				42.1	177	0.25	20.0	4.0	53.4
1- C -42-3				47.1	177	0.25	17.5	4.0	53.5
1- D -42-1	再生 2	陸砂		38.2	167	0.25	20.0	3.6	47.5
1- D -42-2				43.2	167	0.25	21.0	5.1	45.7
1- D -42-3				48.2	167	0.25	20.0	5.4	43.7
1- A -35-1	碎石	陸砂	35	39.8	175	0.75	20.5	4.7	60.1
1- A -35-2				44.8	175	0.75	18.5	5.1	60.3
1- A -35-3				49.8	175	0.75	12.5	4.9	61.3
1- B -35-1	再生 1	陸砂		34.8	175	0.55	19.5	4.4	53.4
1- B -35-2				39.8	175	0.55	19.5	4.0	58.0
1- B -35-3				44.8	175	0.55	18.5	3.8	59.5
1- C -35-1	再生 1	再生 1 + 陸砂 細		34.8	175	0.6	21.0	5.2	57.0
1- C -35-2				39.8	175	0.6	17.5	4.7	59.8
1- C -35-3				44.8	175	0.6	10.0	4.2	62.7
1- D -35-1	再生 2	陸砂		34.1	175	0.5	20.5	5.4	45.5
1- D -35-2				39.1	175	0.5	19.5	4.7	49.4
1- D -35-3				44.1	175	0.5	18.0	3.8	52.3

細骨材率を 5%および 10%大きくしたコンクリートを練り混ぜた。水セメント比 35%では単位水量を 175kg/m³ と一定にし、粗骨材のかさ容積が 0.63m³/m³ の時に練り上り時のスランプが 20cm になるよう高性能 AE 減水剤の使用量を決定した。そのまま高性能 AE 減水剤の使用量一定で、細骨材率を 5%および 10%大きくしたコンクリートを練り混ぜた。

目標空気量はいずれも 4.5%である。全体の調合計画を表 - 2 に示す。

練り混ぜたコンクリートについて、スランプ、

空気量、および材齢 28 日における圧縮強度を測定した。

(2) 硬化コンクリートの物性調査

骨材の組み合わせは(1)の組み合わせに、スクリー摩砕法（再生 2）による粗骨材と碎石を 1 : 1 で混合したものと陸砂の組み合わせ（E）を加えた 5 種類とした。

水セメント比は 55, 42, 35%の 3 水準とした。

使用材料は(1)と同様である。練り上り時の目標スランプは 20cm、空気量は 4.5%とした。単位粗骨材かさ容積は 0.60m³/m³ とした。調合計画

表 - 3 調合計画

記号	粗骨材	細骨材	W/C(%)	S/a(%)	単位水量 (kg/m ³)	混和剤 (C × %)
2-A-55	碎石	陸砂	55	47.7	175	0.25
2-B-55	再生 1	陸砂		45.4	157	0.25
2-C-55	再生 1	再生 1 + 陸砂細		44.2	167	0.25
2-D-55	再生 2	陸砂		45.0	157	0.25
2-E-55	再生 2 + 碎石	陸砂		47.0	166	0.25
2-A-42	碎石	陸砂	42	44.4	180	0.25
2-B-42	再生 1	陸砂		41.7	167	0.25
2-C-42	再生 1	再生 1 + 陸砂細		40.1	177	0.25
2-D-42	再生 2	陸砂		41.2	167	0.25
2-E-42	再生 2 + 碎石	陸砂		43.5	173	0.25
2-A-35	碎石	陸砂	35	42.8	175	0.78
2-B-35	再生 1	陸砂		37.8	175	0.55
2-C-35	再生 1	再生 1 + 陸砂細		37.8	175	0.65
2-D-35	再生 2	陸砂		37.4	175	0.50
2-E-35	再生 2 + 碎石	陸砂		40.7	175	0.65
参考： 昨年度 実験 1)	簡易再生	陸砂	53	48.7	185	0.25
			42	47.0	185	0.40
			35	46.2	185	0.80

を表 - 3 に示す。

練り混ぜたコンクリートについて、スランプ、空気量、材齢 7, 28, 56, 91 日における圧縮強度、材齢 28 日における引張強度、静弾性係数、ポアソン比、および長さ変化率を測定した。

3.2 調合に与える影響

水セメント比 55%の時の骨材の種類による単位水量の違いを図 - 1 に示す。解体材に使用されていた骨材が川砂利であったため、加熱すりもみ法（再生 1）による粗骨材を使用したコンクリート（B）、スクリー摩砕法（再生 2）による粗骨材を使用したコンクリート（D）の単位水量は碎石を用いたコンクリートに比べて 20kg/m³ 近く小さくなっている。

水セメント比 55%の時の骨材の種類による細骨材率とスランプの関係を図 - 2 に示す。細骨材率が大きくなるとスランプは小さくなる傾向にあるが、スランプが低下する細骨材率は骨材により異なっている。いずれのコンクリートでも粗骨材のかさ容積が 0.63m³/m³ の場合は粗骨材が目立つ状態であり、かさ容積を 0.60m³/m³ 程度で良好な性状が得られることがわかった。

水セメント比 55%の時の骨材の種類による細骨材率と圧縮強度の関係を図 - 3 に、35%の場

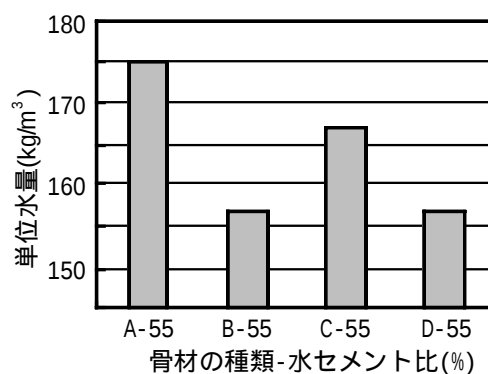


図 - 1 骨材の種類と単位水量 (W/C=55%)

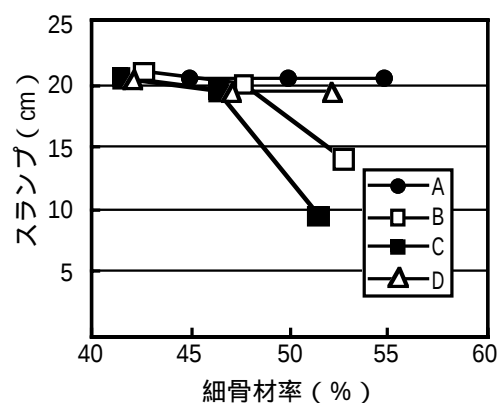


図 - 2 細骨材率とスランプ (W/C=55%)

合を図 - 4 に示す。粗骨材量が大きくなると強度は小さくなる傾向にあるが、この傾向は水セ

表 - 4 硬化コンクリートの物性

記号	圧縮強度(N/mm ²)			引張強度 *1(N/mm ²)	静弾性係数 *1(×10 ⁴ N/mm ²)	ポアソン 比*1	長さ変化 率*2(%)
	7日	28日	91日				
2-A-55	27.8	38.7	46.2	2.82	3.19	0.20	-0.061
2-B-55	27.9	38.2	44.6	2.33	3.51	0.19	-0.047
2-C-55	29.2	39.6	45.3	2.39	3.24	0.18	-0.060
2-D-55	25.7	34.5	41.4	2.55	3.33	0.20	-0.048
2-E-55	26.6	38.4	44.3	2.91	3.30	0.21	-0.058
2-A-42	42.3	50.2	62.1	3.65	3.37	0.21	-0.059
2-B-42	37.1	47.1	53.8	3.28	3.47	0.20	-0.043
2-C-42	37.4	47.2	55.8	3.26	3.38	0.20	-0.052
2-D-42	34.9	45.2	51.7	3.31	3.48	0.20	-0.046
2-E-42	38.4	46.6	56.2	3.32	3.36	0.21	-0.057
2-A-35	44.4	54.5	66.8	3.77	3.38	0.18	-0.056
2-B-35	44.9	54.9	67.3	3.69	3.55	0.20	-0.041
2-C-35	46.8	57.5	65.7	3.65	3.53	0.19	-0.047
2-D-35	42.9	49.2	58.7	3.46	3.67	0.18	-0.048
2-E-35	43.8	52.8	63.6	3.33	3.41	0.21	-0.052

*1：材齢 28 日、*2：乾燥材齢 91 日

メント比が小さい時のほうが大きくなっている。

3.3 硬化コンクリートの物性

試験結果を表 - 4 に示す。

骨材種類毎のセメント水比と材齢 28 日における圧縮強度の関係を図 - 5 に示す。図には昨年度の結果¹⁾から吸水率 5.0%の再生粗骨材（簡易再生）を用いたコンクリートの結果をあわせて示した（調査は表 - 3 参照）。

加熱すりもみ法による再生粗骨材を用いたコンクリート（B と C）は砕石を用いたコンクリート（A）とほぼ同等の強度を示した。スクリー摩砕法による再生粗骨材を用いたコンクリート（D）は 10%程度強度が低くなる傾向がみられた。これは再生 2 粗骨材の残存モルタル量が 20%程度と、再生 1 粗骨材の 10%に比べて大きいことが影響しているものと思われる。一方スクリー摩砕法による再生粗骨材に砕石を混合したコンクリート（E）は砕石を用いたコンクリート（A）とほぼ同等の強度となった。

骨材種類毎のセメント水比と材齢 28 日における静弾性係数の関係を図 - 6 に示す。図には昨年度の結果をあわせて示した。吸水率 5.0%の再生骨材の結果を除き、ほぼ同等の静弾性係数を示した。今回の結果から、残存モルタル量が 20%程度あっても、静弾性係数にはほとんど影響しないものと考えられる。

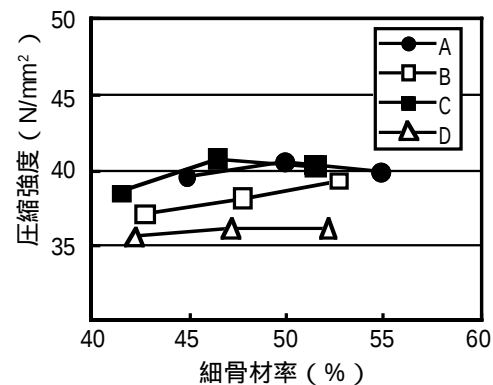


図 - 3 細骨材率と強度の関係 (W/C=55%)

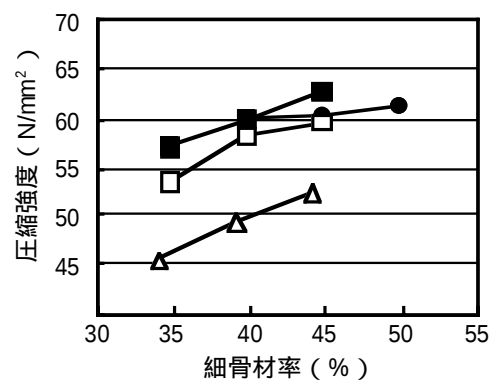


図 - 4 細骨材率と強度の関係 (W/C=35%)

骨材種類毎のセメント水比と乾燥材齢 91 日における乾燥収縮による長さ変化の関係を図 - 7 に示す。図には昨年度の結果をあわせて示した。加熱すりもみ法による再生粗骨材を用いたコンクリート（B）およびスクリー摩砕法に

よる再生粗骨材を用いたコンクリート（D）は砕石を用いたコンクリート（A）に比べて収縮量が小さくなる傾向を示した。これには単位水量の違いも影響しているものと思われる。

4. まとめ

高品質の再生骨材を製造する方法として、加熱すりもみ法とスクリー摩砕法を取り上げ、同一起源のコンクリート解体材から再生骨材を製造、試験を行った。その結果、加熱すりもみ法では JASS5 の品質基準を満足する粗骨材と細骨材を、スクリー摩砕法では品質基準を満足する粗骨材を製造できることを確認した。

続いて製造した再生骨材を用いてコンクリート試験を行った。その結果、加熱すりもみ法による骨材を用いたコンクリートは一般の骨材を用いたコンクリートと同等の品質が得られた。スクリー摩砕法による粗骨材を用いたコンクリートは一般の骨材を用いたコンクリートに比べて、10%程度圧縮強度が低くなる傾向が見られたが、静弾性係数は同等、乾燥収縮は小さくなる結果が得られた。強度特性と乾燥収縮に関しては、今回製造した再生骨材を用い、一般の骨材を用いたコンクリートと比べて遜色のない品質をもつコンクリートが製造できることがあきらかになった。

本研究にあたり東京大学野口貴文助教授のご指導を、また三菱マテリアル(株)、(株)太平洋コンサルタント、および太平洋エンジニアリング(株)の協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 早川光敬ほか：再生骨材を用いたコンクリートの強度特性と耐久性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.24，No.1，pp.1203-1208，2002.6
- 2) 三菱マテリアル株式会社：新建築技術認定事業報告書：建築構造用再生骨材「ダイヤゲイト」，財団法人日本建築センター，1999.12

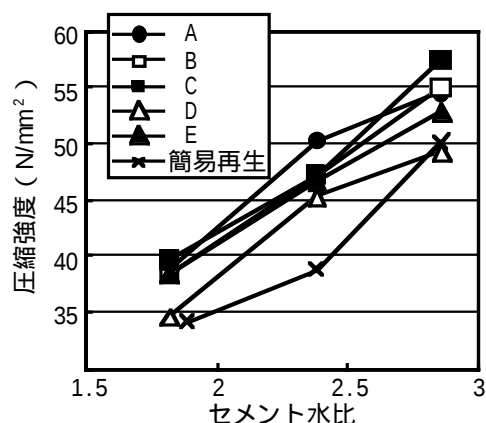


図 - 5 セメント水比と圧縮強度の関係

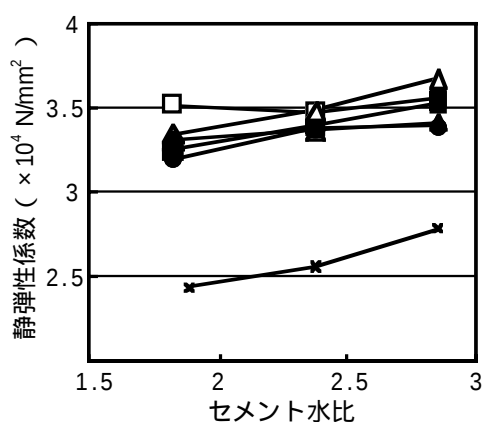


図 - 6 セメント水比と静弾性係数の関係

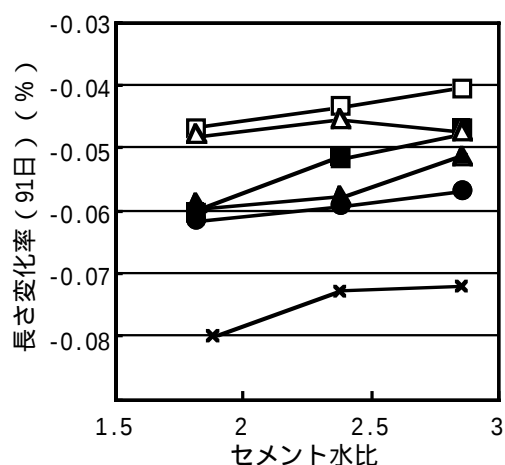


図 - 7 セメント水比と乾燥収縮の関係

- 3) 石倉武ほか：高品質再生骨材の製造技術に関する開発 [VI] その 1 開発の全体概要及び再生骨材試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.1021-1022，2002.8