

# 論文 再生細骨材の品質がモルタルの性状に及ぼす影響についての検討

麓 隆行<sup>\*1</sup>・妹脊 吉彦<sup>\*2</sup>・山田 優<sup>\*3</sup>

**要旨：**再生細骨材は低品質であり、そのコンクリートへの利用は、まだ進んでいない。本研究では、小型ボールミルを用いた高品質化処理や普通骨材との混合を行い、再生細骨材の品質とモルタル性状との関係を検討し、ボールミルによる処理効果、高品質化処理と普通骨材との混合使用との効果比較、再生細骨材の粒子強度の影響について考察した。その結果、ボールミルによる処理では、再生細骨材の高品質化に限界があること、しかし粒形の改善を期待できること、再生細骨材の粒子強度のモルタル性状に及ぼす影響は小さいことを見いだした。

**キーワード：**再生細骨材, 高品質化処理, 原モルタル強度, ボールミル, モルタル性状

## 1. はじめに

現在、コンクリート塊の再利用用途のほとんどが、路盤材や裏込め材等であるが、コンクリート用骨材としての再利用も重要である。近年、再生粗骨材については、JIS規格に相当する高品質な骨材を比較的容易に製造できる見通しとなった。一方、再生細骨材は、再生粗骨材に比べて高品質化は困難である<sup>1)</sup>。したがって、再生細骨材を利用するには、可能な範囲まで高品質化して使用するか、普通骨材と少量混合して使用することになる。

本研究では、下記の室内実験を行い、再生細骨材の品質がモルタルの性状に及ぼす影響について検討し、再生細骨材の利用方法を考察した。

①ボールミルによる処理程度が再生細骨材およびそれをを用いたモルタルの性状に及ぼす影響を検討する実験

②ボールミル処理による効果と普通骨材との混合

による効果とを比較検討する実験

③再生細骨材の粒子強度（原モルタル強度）がそれをを用いたモルタルの性状に及ぼす影響を検討する実験

## 2. ボールミルによる処理効果の実験的検討

### 2.1 処理実験用再生細骨材の作製とその品質

原コンクリートとして、表-1の材料を用い、表-2に示す配合で、20×20×10cmのブロックを、計約1m<sup>3</sup>作製した。打設後1日で脱型、約3ヶ月間屋外放置後、図-1に示す手順で破碎、ふるい分けて再生細骨材RF0を得た。その物理的性質を表-3に示す。ここで、再生細骨材は個々の性質が大きく異なる粒子の集合物であるため、平均密度および平均吸水率としている。また、本論文中の密度は、すべて表乾状態の密度である。

### 2.2 実験方法

処理装置として、JIS M 4002-1976「粉碎仕事指数の試験方法」で規定されているボールミルを使用した。5kgの再生細骨材RF0を鋼球とともに投入して、4000回まで回転させ、再生細骨材の平均密度、平均吸水率、粒度および回収率の変化を調べた。さらに処理前および総回転数1000回、2000

表-1 原コンクリートに用いた材料\*

材料	産地または材料名	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.15 kg/ℓ
細骨材	大阪府高槻産砕砂	密度 2.66 kg/ℓ 吸水率 1.4% F.M. 2.72
粗骨材	大阪府高槻産碎石	密度 2.68 kg/ℓ 吸水率 1.07%

\*AE減水剤および空気量調整剤も使用

\*1 大阪市立大学 助手 工学部土木工学科 工修（正会員）

\*2 大阪市立大学 工学部土木工学科

\*3 大阪市立大学 教授 工学部環境都市工学科 工博（正会員）

表-2 原コンクリートの配合及び試験結果

W/C (%)		58
s/a (%)		47.8
スランプ(cm)		12.4
空気量(%)		6.7
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	標準養生(材齢 28 日)	40.4
	気中養生(材齢 107 日)	41.3

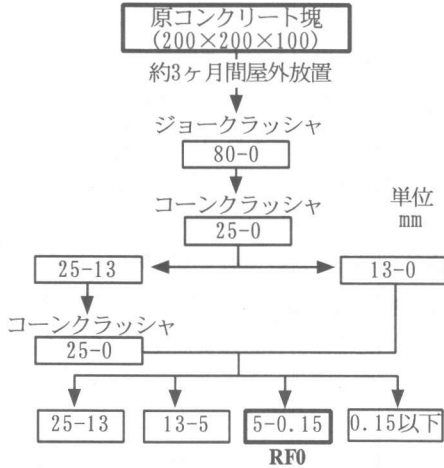


図-1 実験用再生細骨材作製フロー

表-3 製造した再生細骨材 RF0 の物理的性質\*

平均密度 (kg/l)	平均吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率
2.37	7.8	64.7	3.17

\*粗粒率は粒度調整前, その他は砕砂の粒度に調整後

表-4 モルタルの配合 (体積比)

W/C(%)	W(ℓ/m <sup>3</sup> )	C(ℓ/m <sup>3</sup> )	S(ℓ/m <sup>3</sup> )
40	316	251	432
50	318	202	478
60	317	168	514

回, 4000 回の処理で得られた再生細骨材を用いてモルタルを作製し, 圧力法による空気量, モルタルフローおよび圧縮, 引張, 曲げ強度を試験した。なお, 平均密度, 平均吸水率およびモルタルの各試験に使用する際には, 再生細骨材を原骨材である砕砂の粒度に調整して用いた。モルタルは, セメントの物理試験 (JIS A 5201) に準じた手順により, モルタル製造用ミキサを用い, 5 リットルのモルタルを表-4 に示す各配合で作製した。なお,

密度の異なる骨材を用いるので, 表-4 では配合を体積で示した。

## 2.3 実験結果と考察

### (1) 再生細骨材の物理的性質について

ボールミルを用いた処理による再生細骨材の物理的性質および回収率の変化を図-2~4 に示す。

総回転数を増加させると平均密度は上昇し, 平均吸水率は低下した。また, 粗粒率は減少し, 回収率も低下した。回収率と平均吸水率は, 図-5 が示すとおり, 直線関係にある。図-6 には, 回収再生細骨材の粒径分布を処理前 (RF0) および砕砂の JIS 中央粒度と比較して示した。総回転数を多くしすぎると, 細かくなりすぎるのがわかる。すなわち, ボールミルの総回転数を増加させることによって, 再生細骨材中のセメント分が除去され, 平均密度や平均吸水率は改善されることになるが, 細粒化し, 回収率も悪くなると言える。

実積率は少ない回転数で上昇するが, 1000 回転程度以後ではほとんど変化しなかった。実積率の上昇は, 粒形の改善を意味していると考えられる。

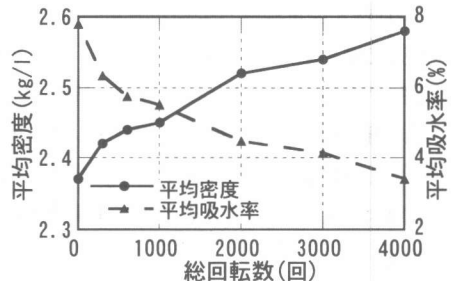


図-2 回収再生細骨材の平均密度および平均吸水率の変化

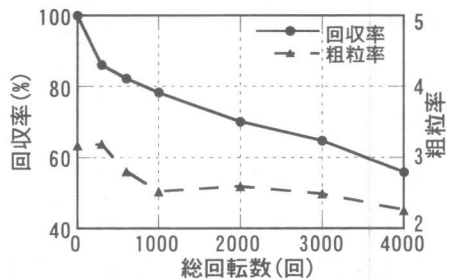


図-3 回収再生細骨材の粗粒率および回収率の変化

以上の結果より、ボールミルによる処理により、再生細骨材の平均密度・平均吸水率を改善することができるが、実積率、粒径および回収率も考え合わせると、処理効果には限界があると言える。

## (2) モルタル性状について

まず、フレッシュ性状の変化として総回転数とモルタルフローおよび空気量との関係を、**図-7**および**図-8**に示す。

実験結果に多少ばらつきがあるが、処理後の再生細骨材のモルタルでは、モルタルフローが増加し、空気量が減少する傾向が見られた。これは、

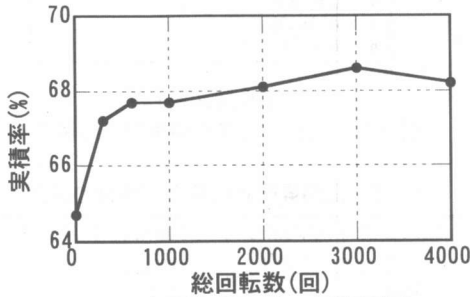


図-4 回収再生細骨材の実積率変化

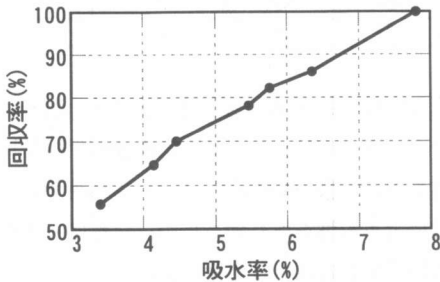


図-5 回収再生細骨材の回収率と平均吸水率との関係

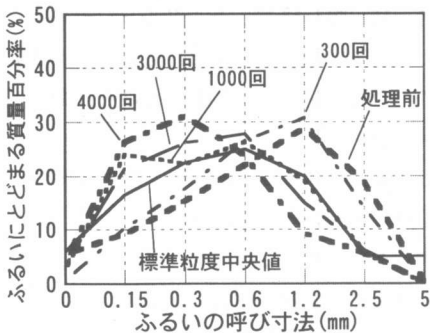


図-6 回収再生細骨材の粒度分布の比較

ボールミル処理による粒形の改善のためと考えられる。しかし、前項に示したとおり、1000回以上では実積率の変化は小さく、モルタルのフレッシュ性状の変化も見られなかった。

次に、硬化後のモルタルの圧縮強度、引張強度および曲げ強度と総回転数との関係を、**図-9**、**図-10**および**図-11**に示す。

圧縮強度は、総回転数が1000回の際は、処理前より明確に強度が増加しているが、2000回、4000回となると、W/Cが大きいと処理前との差が小さく、その効果が見られなかった。

引張強度は、回転数の増加により、処理前の再生骨材を用いたモルタルと比べて、若干低下する

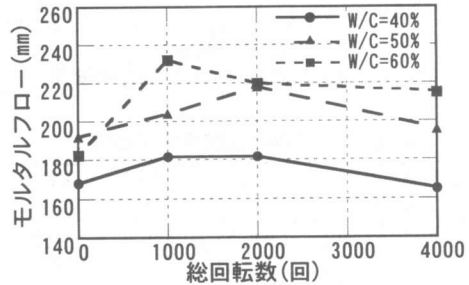


図-7 モルタルフローと総回転数との関係

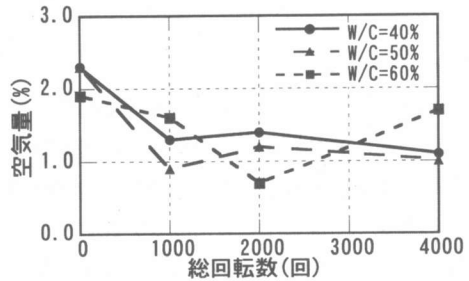


図-8 空気量と総回転数との関係

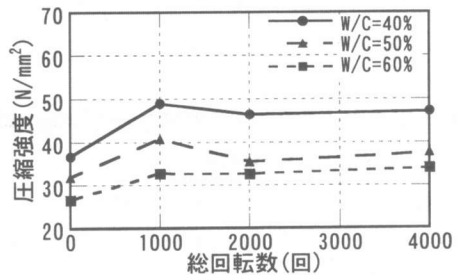


図-9 圧縮強度と総回転数との関係

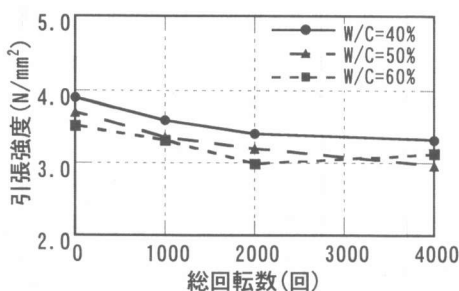


図-10 引張強度と総回転数との関係

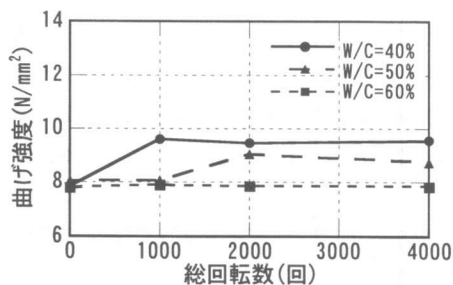


図-11 曲げ強度と総回転数との関係

表-5 混合再生細骨材の品質

砕砂 (%)	RF0 (%)	平均密度 (kg/L)	平均吸水率 (%)	実積率 (%)
100	0	2.66	1.4	61.9
70	30	2.57	3.3	65.1
55	45	2.53	4.3	64.9
40	60	2.49	5.2	65.1
0	100	2.37	7.8	64.7

傾向が見られた。

曲げ強度については、ボールミル処理を行うことによって、W/Cが小さいとモルタルの曲げ強度は高くなるが、総回転数を1000回から4000回まで増加させてもほとんど変化はなかった。

以上より、1000回程度の処理で、モルタルのフレッシュ性状と強度からみた再生細骨材の品質は改善されるが、それ以上の処理による効果は小さいと言える。

### 3. 砕砂との混合による効果との比較検討実験

#### 3.1 実験に用いた細骨材

原骨材である砕砂と再生細骨材RF0を混合して細骨材としたモルタルの試験を行い、ボールミルにより高品質化処理した再生細骨材を用いたモルタルについての前章の結果と比較した。混合割合

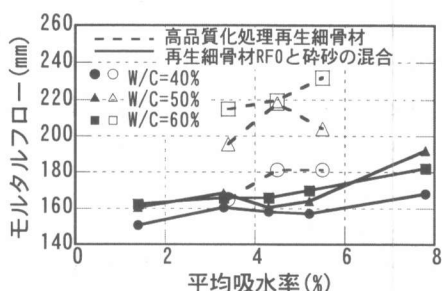


図-12 モルタルフローと平均吸水率の関係

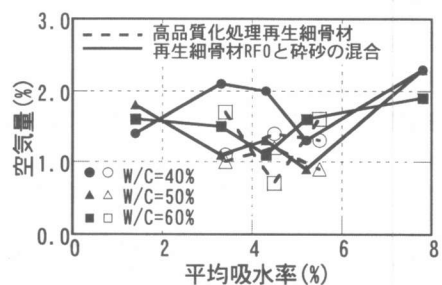


図-13 空気量と平均吸水率との関係

表-6 高品質化処理再生細骨材の品質

総回転数 (回)	平均密度 (kg/L)	平均吸水率 (%)	実積率 (%)
1000	2.45	5.5	67.9
2000	2.52	4.5	68.1
4000	2.58	3.4	68.2
砕砂	2.66	1.4	61.9

および作製された再生細骨材の品質を、表-5に示す。また、使用した高品質化処理再生細骨材の品質を改めて表-6に示す。なお、各再生骨材は、粒度による影響を取り除くため、原骨材である砕砂の粒径分布に調整して使用した。

#### 3.2 実験結果と考察

図-12、図-13に、モルタルフローおよび空気量と平均吸水率との関係を高品質化処理再生細骨材の場合と再生細骨材RF0と砕砂を混合して用いた場合を比較した。

モルタルフローについては、高品質化処理再生細骨材の場合のほうが、混合再生細骨材の場合より大きくなった。これは、高品質化処理再生細骨材のほうが、実積率が高い、すなわち粒形が改善されているためと考えられる。

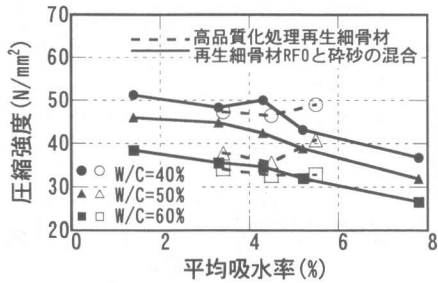


図-14 圧縮強度と平均吸水率との関係

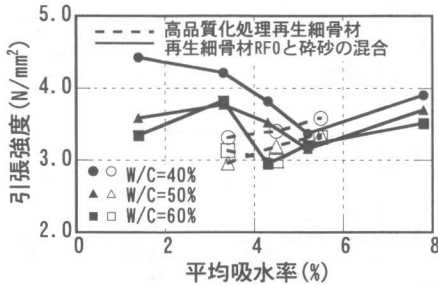


図-15 引張強度と平均吸水率との関係

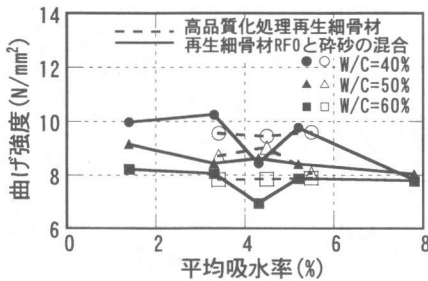


図-16 曲げ強度と平均吸水率との関係

空気量については、高品質化処理再生細骨材の場合のほうが、混合再生細骨材の場合よりも若干小さくなったが、顕著な差ではなかった。

図-14、図-15 および図-16 に、硬化後のモルタルの圧縮強度、引張強度および曲げ強度と平均吸水率との関係を示す。

いずれの強度の場合でも、高品質化処理再生細骨材と混合再生細骨材では、顕著な差は見られなかった。すなわち、どちらの骨材でも平均吸水率が同じであれば、同程度の強度になると言える。ただし、本実験では、両骨材の場合の配合を同じにした。高品質化処理再生細骨材の場合には、モルタルフローが大きくなるので、W/C を混合再生細骨材の場合より小さくすることが可能である。

表-7 モルタルの配合 (質量比)

W/C(%)	W(kg/m <sup>3</sup> )	C(kg/m <sup>3</sup> )	S(kg/m <sup>3</sup> )
35	299	853	1141
50	312	624	1300
65	320	491	1393

表-8 原モルタルの試験結果

原モルタルの W/C(%)		35	50	65
モルタルフロー(mm)		121	129	126
空気量(%)		3.4	3.1	2.8
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	材齢 28 日 (標準養生)	57.1	41.7	31.6
	材齢 97 日 (気中養生)	76.1	58.7	43.1
弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	材齢 97 日 (気中養生)	29.5	25.9	22.2

\*材齢 97 日は、原モルタル破砕日にあたる

表-9 W/C の異なる原モルタルから作製した再生細骨材の物理的性質

原モルタル W/C(%)	平均密度 (kg/l)	平均吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率
35	2.28	12.3	68.0	2.83
50	2.26	12.9	69.5	2.96
65	2.29	11.8	68.2	2.83
砕砂	2.66	1.4	61.9	2.72

したがって、モルタルフローが同程度の大きさになるような配合では、高品質化処理再生細骨材の方向、高い強度を得ることができる。

#### 4. 原モルタル強度の影響の検討実験

##### 4.1 原モルタルと作製した再生細骨材

再生細骨材の粒子強度がそれを用いたモルタルの性状に及ぼす影響を検討するため、これまでと同じ砕砂を用いて、表-7 の配合で、表-8 に示すとおり、強度が異なる 3 種類の原モルタルを作製し、それを破砕して再生細骨材を作製した。得られた再生細骨材の物理的性質を表-9 に示す。

なお、原モルタルの破砕には、実験室用の小型ジョークラッシャを用い、2 回処理後、2.5-0.15mm の間にとどまったものを実験用再生細骨材とした。また、破砕直後の粒度が 3 種類の再生細骨材でほとんど違いが見られなかったため、粒度調整は行わなかった。

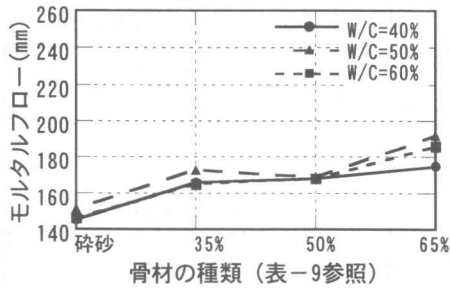


図-17 モルタルフローと骨材の種類との関係

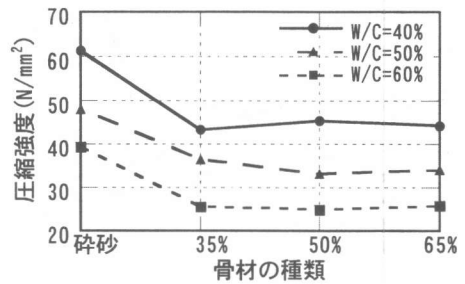


図-19 圧縮強度と骨材の種類との関係

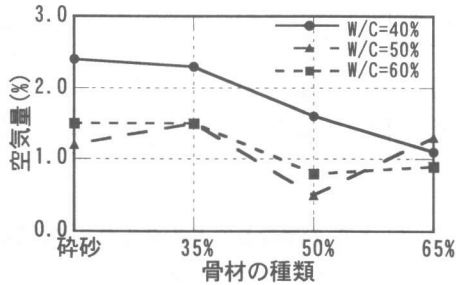


図-18 空気量と骨材の種類との関係

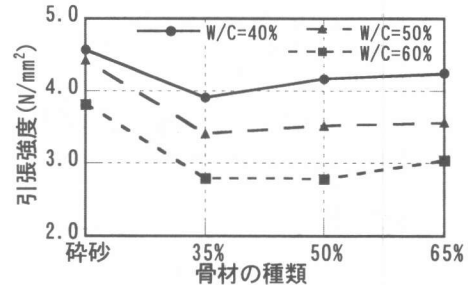


図-20 引張強度と骨材の種類との関係

#### 4.2 実験結果と考察

表-9 に示した砕砂を含む4種類の細骨材を用い、前章と同様、表-4 に示した配合でモルタルを作製して、フレッシュ性状と強度を試験した。その結果を図-17~21 に示す。

前章での実験と同様、再生細骨材を用いた場合は、砕砂の場合より、モルタルフローが大きく、空気量は若干小さくなった。しかし、再生細骨材の間では、原モルタルのW/Cが大きくなるほどモルタルフローが若干大きく、また、空気量が小さくなる傾向を示すものの、強度は顕著な変化を示さなかった。この実験における原モルタル強度の違いによる再生細骨材の粒子強度の変化は、それを用いたモルタルの強度に大きな影響を及ぼさないとと言える。

#### 5 結論

- (1) ボールミルによる処理により、再生細骨材の平均密度を高く、平均吸水率を低くして高品質化することができるが、細粒化と回収率の低下から、限界がある。
- (2) ボールミルによる高品質化処理により、再生

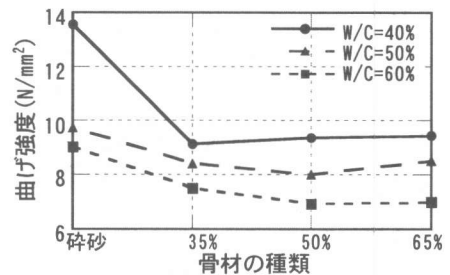


図-21 曲げ強度と骨材の種類との関係

細骨材の実積率を高く、すなわち粒形を改善でき、それを用いたモルタルのフロー値は大きくなる。

(3) 高品質化処理再生細骨材を用いたモルタルの圧縮、引張、曲げ強度は、処理前の再生細骨材と原骨材の砕砂を混合して同じ平均吸水率にした混合骨材を用いたモルタルとほとんど差はない。

(4) 原モルタルの強度すなわち再生細骨材の粒子強度は、それを用いたモルタルのフレッシュ性状は若干変化するが、硬化後の強度に及ぼす影響は小さい。

#### 参考文献

- 1) 山田優：コンクリート・サイクルについて—その技術の現状と課題—骨材資源, No.113, pp.1-8, 1997