

## 論文 造粒した再生細骨材を用いたモルタルの諸性質

宗 佳弘<sup>\*1</sup>・江本 幸雄<sup>\*2</sup>・尾上 幸造<sup>\*3</sup>・吉里 哲郎<sup>\*4</sup>

**要旨**：再生骨材製造時に発生する微粉は0.15mm以下の粒形の劣る粉体であるため、有効な利用法は未だ確立されておらず、再生骨材製造の課題となっている。既存の研究により、再生骨材微粉をコンクリート用混和材料として多量に使用した場合、流動性の低下などの問題が生じ、大量に使用することが難しいと言われている。そこで本研究では、再生骨材微粉を簡易に造粒した細骨材を製造し、コンクリート用細骨材としての適用性に関する研究を行なった。その結果、微粉を造粒することで、粒形が改善され、海砂とほぼ同等の流動性が得られることが分かった。

**キーワード**：造粒細骨材，再生微粉，オムニキサー，リサイクル，モルタル強度

### 1. はじめに

今後、高度経済成長期に建設された多くのコンクリート構造物が更新の時を迎え、解体コンクリート塊の発生量が増加すると予測されている。現在、コンクリート塊は、主に路盤材としての利用が多く、今後、道路の新設工事が減少することを考えると、現行の利用法では処理しきれなくなることが予想される。

このような背景のもと、コンクリート用再生骨材の有効利用に関する研究が数多く行なわれ、高品質再生骨材(H)、低品質再生骨材(L)に続き、両者の中間に位置する中品質再生骨材(M)もJIS化に向け検討されるなどしている。しかし、再生骨材製造時、特に高品質再生骨材を製造する場合に、その質量の30~40%程度が約0.15mm以下の微粉(以下、再生微粉)として発生し、その有効利用法に関しては未だ確立されていないのが現状である。細骨材の一部(2~8%)として利用できるという報告<sup>1)</sup>があるが、セメント量に対する比率が15%以上になると化学混和剤の使用量が増加するという報告<sup>2)</sup>もある。その一因として、再生微粉の形状が角張っているために、コンクリート用骨材として用いた場合に流動性が著しく低下することが挙げられる。

そこで本研究では、再生微粉を造粒し、粒形を改善することで、流動性の向上を目指した。また、造粒した細骨材(以下、造粒細骨材)のコンクリート用細骨材としての適用性に関する検討を行った。

### 2. 実験概要

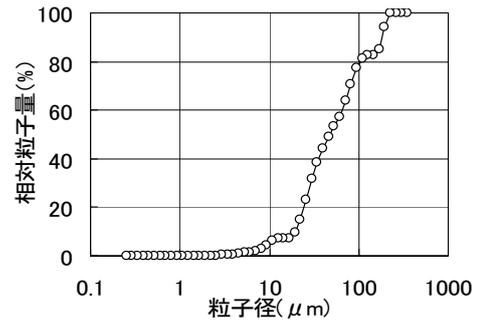
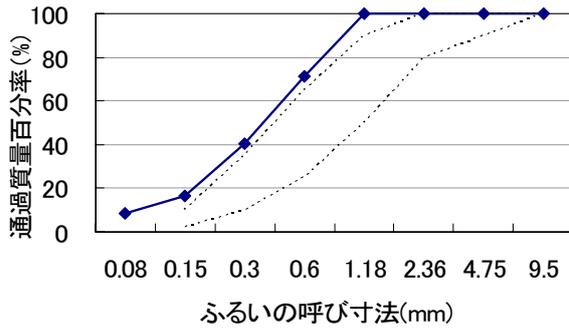
#### 2.1 使用材料

実際の再生骨材製造プラントでジョークラッシュャーにより再生骨材を製造する際に発生する再生細骨材のうち、1.2mmふるいを通過し、再生微粉を16%程度含有する試料(シリーズGP; Grain and Powder)と0.15mmふるいを通過する再生微粉(シリーズP; Powder)を絶乾状態で使用した。セメントは普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm<sup>3</sup>, 比表面積3200cm<sup>2</sup>/g)を使用し、水は水道水を使用した。また、比較対象用として海砂を使用した。ふるい分け試験により求めた1.2mmふるいを通過する試料の粒度分布と、レーザー回折式粒度分布測定装置を用いて求めた再生微粉の粒度分布を図-1に示す。

#### 2.2 造粒骨材の製造方法

図-2に造粒細骨材の製造工程を示す。試料とセメントをオムニキサーに投入して攪拌した

\*1 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 博士課程前期 (正会員)  
 \*2 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 教授 博士(工学)(正会員)  
 \*3 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 助手 博士(工学)(正会員)  
 \*4 福岡建材(株) 事業部



(a) 1.2mm ふるいを通過する試料

(b) 再生微粉

図-1 試料及び再生微粉の粒度分布

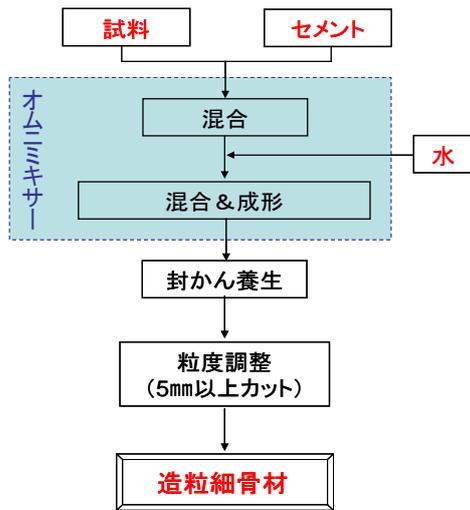
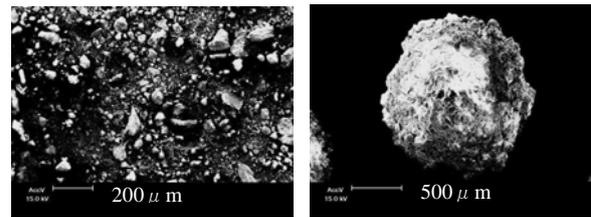


図-2 造粒細骨材の製造工程



再生微粉 造粒細骨材

図-3 再生微粉と造粒細骨材

表-1 造粒細骨材の配合

造粒細骨材名		再生微粉 (g)	C (g)	W (g)
シリーズ GP	C5% D3	2000	100	400
	C10% D3		200	
	C15% D3		300	
	C10% D7		200	
	C10% D28			
シリーズ P	C10% D3	1500	150	550
	C20% D3		300	525
	C30% D3		450	535

※D3、D7、D28 は造粒細骨材の封かん養生の期間がそれぞれ 3 日、7 日、28 日であることを示す。

後、水を加えて混合・成形して造粒した。攪拌は 30 秒間、混合・成形はシリーズ GP では 4 分 30 秒間、シリーズ P では 6 分 30 秒間、回転速度一定の条件で行なった。使用したセメント量は、シリーズ GP では試料の質量に対して 5%、10%、15%の割合（以下、それぞれ C5%、C10%、C15%と称す）で、シリーズ P では試料の質量に対して 10%、20%、30%の割合（以下、それぞれ C10%、C20%、C30%と称す）とした。最適加水量は、同一セメント量における配合で、加水量を数パターン変化させ、製造された造粒細骨材の粒度分布が標準粒度に入るときの加水量に決定した。

表-1 に造粒細骨材の配合を示す。以下、表中の D3、D7、D28 は封かん養生の期間がそれぞれ 3 日、7 日、28 日であることを示す。成形した骨材を密閉容器に入れ、一定期間封かん養生した後、5mm ふるいを通過するものを細骨材として

使用した。なお、5mm ふるいの通過質量百分率はシリーズ GP の C5%、C10%、C15%ではそれぞれ 99%、98%、99%であり、シリーズ P の C10%、C20%、C30%ではそれぞれ 89%、96%、96%であった。再生微粉および造粒細骨材の SEM 画像を図-3 に示す。角張りを持つ再生微粉を造粒することで球状となることが確認された。

### 2.3 試験項目

製造した造粒細骨材について、ふるい分け試験 (JIS A 1102)、密度及び吸水率試験 (JIS A 1104)、単位容積質量および実積率試験 (JIS A 1104)、さらに造粒細骨材自体の強度を調べるために破砕値試験を行なった。破砕値は BS812-1990 を参考

に、各細骨材中の直径 2.5~1.2mm の粒子を試料とし、絶乾状態にして 10 分間で 100kN まで载荷した後の直径 0.3mm 以下の粒子が载荷前の全試料に占める質量百分率として式 (1) より求めた。

$$\text{破碎値} = \frac{\text{载荷後0.3mmふるいを通過する粒子の質量}}{\text{载荷前の2.5~1.2mm粒子の質量}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

また、モルタルについてフロー試験 (JIS R 5201)、ブリーディング試験 (JIS A 1123)、長さ変化試験 (JIS A 1129-3)、圧縮強度試験 (JIS A 1108) を行なった。モルタルの配合を表-2 に示す。造粒細骨材及び海砂は表乾状態で使用した。圧縮試験用の供試体の作製は、練り上がったモルタルを φ5×10cm のプラモールド型枠に 2 層に分けて各層を突き棒で 12 回突いた後、テーブルバイブレーターにより締め固めた。突き棒は 9mm 鉄筋の先を丸く加工したものをを用いた。打設後、24 時間で脱型し、試験時まで 20℃ の水槽で水中養生を行なった。長さ変化率の測定は、20℃ の水槽で 7 日間水中養生した後、室温 20℃、湿度 60% の室内に静置し、ダイヤルゲージ法により測定した。圧縮強度試験は材齢 3 日、7 日、28 日で行なった。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 造粒細骨材の物性

表-3 に造粒細骨材および海砂の物性を示す。造粒細骨材のシリーズ GP およびシリーズ P は共に密度が小さく、吸水率が大きいポーラスな骨材であることが分かる。また、造粒細骨材は海砂に比べ破碎値が非常に大きく、骨材自体の強

表-2 モルタルの配合

	細骨材名	W/C (%)	W (g)	C (g)	S (g)	
					海砂	造粒細骨材
シリーズ GP	海砂	55	278	505	1449	-
	C5% D3				-	1151
	C10% D3				-	1168
	C15% D3				-	1174
	C10% D7				-	1168
	C10% D28				-	1190
シリーズ P	海砂	55	290	527	1400	-
	C10% D3				-	984
	C20% D3				-	1002
	C30% D3				-	1005

度が非常に低いと言える。シリーズ GP とシリーズ P を比較すると、シリーズ GP の方が、密度は大きく、吸水率は低い値を示した。この理由として、シリーズ GP の方が造粒時の加水量が少なく、細かい砕石や海砂などを含んでいることなどが考えられる。シリーズ GP、シリーズ P ともに、造粒時に加えるセメント量を増加させることで、密度・吸水率が若干改善されると言える。

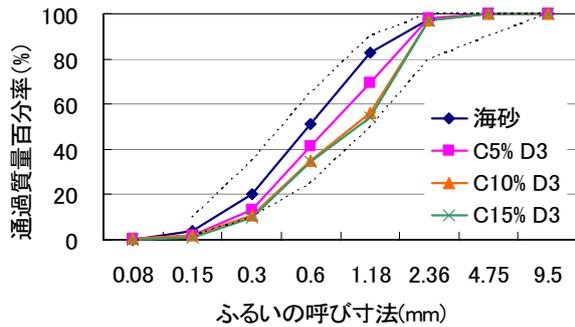
図-4 にふるい分け試験結果を示す。シリーズ GP では、いずれの配合でも土木学会標準粒度の範囲に入っているのに対して、シリーズ P では造粒されていない微粒分が全体の 20% 程度残っていた。加えるセメント量を増加させることで若干の改善が見られたが、規格値を満足するには至らなかった。

図-5 に粗粒率と実積率の関係を示す。海砂および造粒細骨材の実積率が最大となる粗粒率が存在することが分かる。

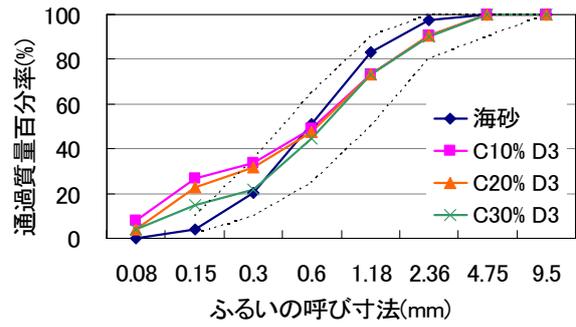
図-6 に加水量と粗粒率の関係を示す。加水量と粗粒率には正の一次関係があり、加水量を調

表-3 造粒細骨材及び海砂の物性

	海砂	シリーズ GP					シリーズ P		
		C5% D3	C10% D3	C15% D3	C10% D7	C10 D28	C10% D3	C20% D3	C30% D3
最大寸法(mm)	5								
表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.58	2.05	2.08	2.09	2.08	2.12	1.81	1.85	1.85
絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.53	1.71	1.74	1.76	1.76	1.79	1.37	1.44	1.44
吸水率(%)	1.88	19.56	18.98	18.21	18.23	18.02	32.10	28.64	28.34
粗粒率(F.M.)	2.44	2.76	2.99	3.04	2.99	2.99	2.27	2.34	2.56
単位容積質量(kg/l)	1.57	1.21	1.14	1.12			0.80	0.85	0.81
実積率(%)	62.0	70.3	65.4	63.6			58.0	59.5	56.0
破碎値(%)	6.0	33.6	28.1	23.3	22.9	14.9	-	50.4	39.7



(a) シリーズ GP (1.2mm ふるいを通過する試料)



(b) シリーズ P (再生微粉)

図-4 粒度分布

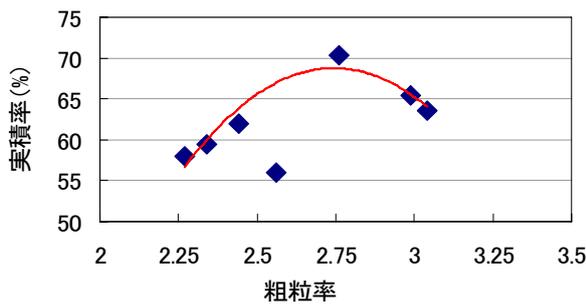


図-5 実積率と粗粒率の関係

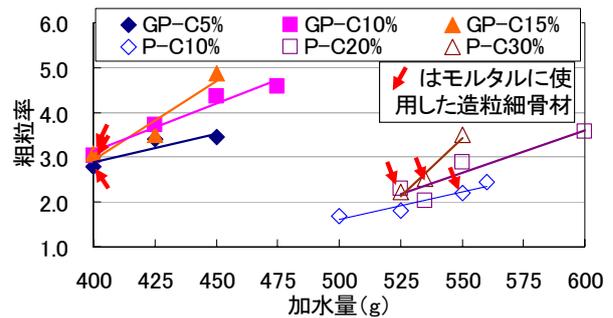
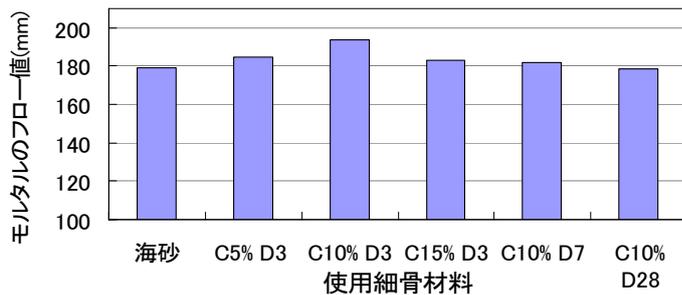
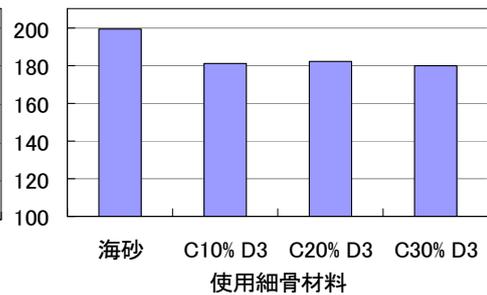


図-6 粗粒率と加水量の関係



(a) シリーズ GP (1.2mm ふるいを通過する試料)



(b) シリーズ P (再生微粉)

図-7 モルタルのフロー試験結果

節することで、ある程度造粒細骨材の粒の大きさを調整することが可能であると考えられる。また、その勾配からセメント量が増加するほど加水量の影響が大きくなることが分かる。

### 3.2 モルタルのフレッシュ性状

図-7 にモルタルのフロー試験結果を示す。なお、モルタルの単位水量はシリーズごとに一定である。シリーズ GP を用いたモルタルは、海砂を用いたモルタルとほぼ同等かそれ以上の流動性を示した。シリーズ P を用いたモルタルは、海砂を用いたモルタルよりフロー値が若干低い値となり、流動性が低下した。この理由として、シリーズ GP に比べシリーズ P は微粒分を多く含んでいることにより粘性が増大したこと、骨材

が軽量なため自重による広がり小さいことなどが考えられる。ただし、それ程大幅な低下ではなく、施工性に問題はないと考えられる。

図-8 にモルタルのブリーディング試験結果を示す。シリーズ GP を用いたモルタルは海砂を用いた場合とほぼ同等のブリーディング量であるが、シリーズ P を用いたモルタルは海砂を用いたモルタルよりもブリーディング量が大幅に低下した。この理由として、シリーズ P の造粒細骨材に多量に含まれている微粒分によりモルタルの粘性が増大したことや、骨材が軽量であることなどが考えられる。

### 3.3 モルタルの硬化性状

図-9 にモルタルの長さ変化試験結果を示す。

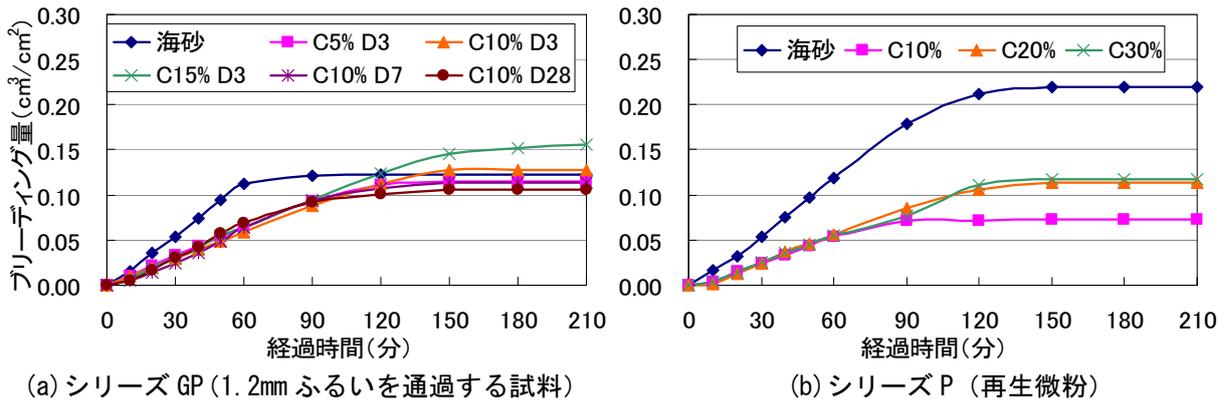


図-8 ブリーディング試験結果

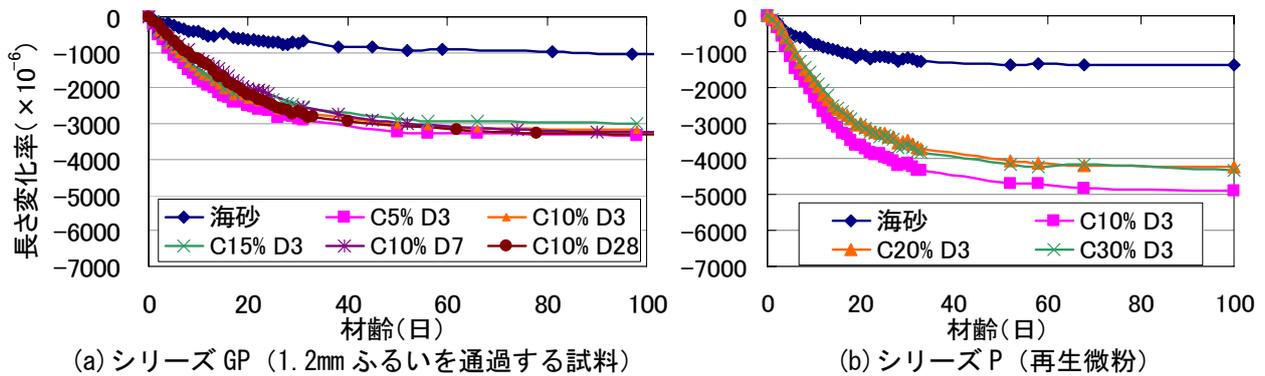


図-9 長さ変化試験結果

シリーズ GP, シリーズ P はともに海砂を用いた場合に比べ、同一材齢における長さ変化率が非常に大きいことが分かる。これは造粒細骨材の吸水率が海砂の吸水率に比べ非常に高いことに起因すると考えられる。シリーズ P に比べシリーズ GP の場合では、骨材の吸水率が低いため、長さ変化率も小さくなっている。

図-10 に圧縮強度試験結果を示す。造粒細骨材を用いた供試体の圧縮強度は、海砂を用いた場合と比較して、シリーズ GP の場合では約 50～60%、シリーズ P の場合では約 30～50%程度となった。シリーズ GP ではセメント量を増加させると、それに伴い圧縮強度も増加しているが、シリーズ P ではセメント量を 20%から 30%に増加させても圧縮強度に大きな変化は見られなかった。また、シリーズ GP のセメント量 10%の造粒細骨材を材齢 3 日、7 日、28 日目で使用した D3, D7, D28 を比較すると、若材齢の造粒細骨材を使用した場合にモルタルの圧縮強度が増加するという結果になった。この理由として、

造粒細骨材を製造する際にセメントを使用しているが、骨材を若材齢で使用すると、モルタル中において骨材自体の水和が進行するため、ペーストと骨材の付着が良好となり、圧縮強度の増加につながったと考えられる。よって、造粒細骨材は、練混ぜ中に骨材が崩れることのない程度まで強度が発現した後、なるべく早い段階で使用し、供試体中で水和を進行させることが望ましいと考えられる。

図-11 に造粒細骨材の破砕値とモルタルの圧縮強度との関係を示す。造粒細骨材の破砕値が大きく骨材自体の強度が低下するほどモルタルの圧縮強度も低下するといえる。よって、造粒細骨材の骨材強度を増加させることでモルタルの圧縮強度は増加するものと考えられる。

供試体中の全水量 (TW) に対する供試体中のセメント量 (C) の比である C/TW は、圧縮強度と相関性があるとされている<sup>3)</sup>。本研究では、造粒細骨材中にセメントを含んでいるため、全セメント量 (TC) と全水量 (TW) の比である

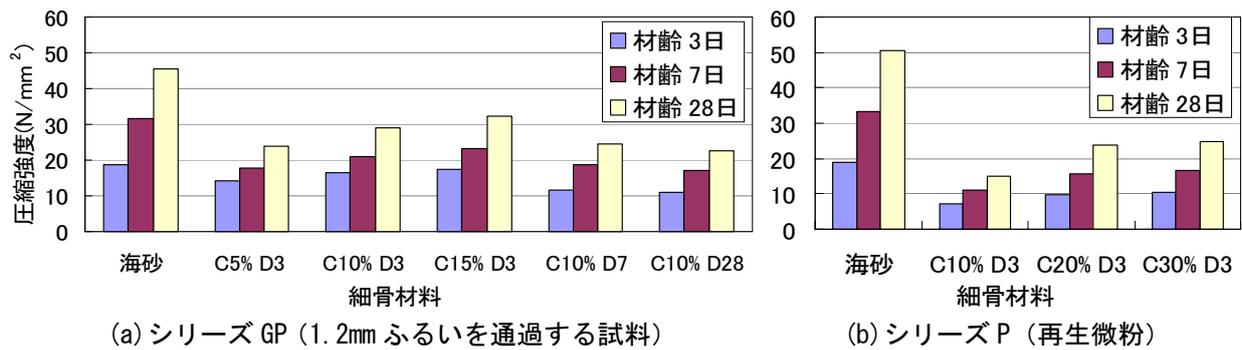


図-10 圧縮強度試験結果

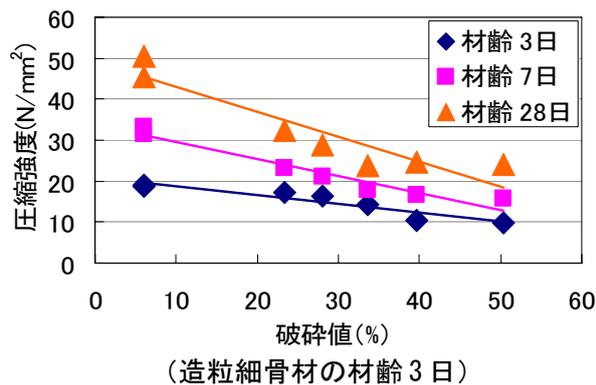
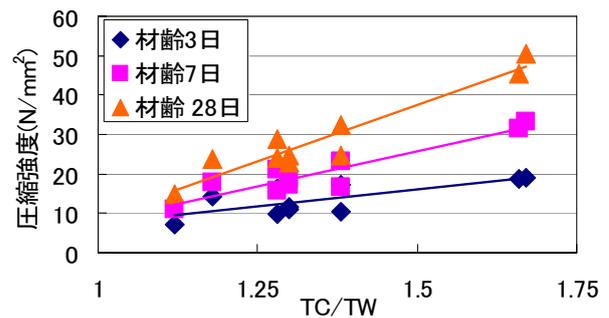


図-11 破砕値と圧縮強度の関係



TC/TW と圧縮強度の関係について調べた。図-12 に TC/TW と圧縮強度の関係を示す。TC/TW と圧縮強度には正の一次関係があることが分かる。このことから造粒細骨材の吸水率を低くすることで供試体の圧縮強度を増加させることが可能であると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究で得られた結果は以下の通りである。

- (1) オムニミキサーを用いて、再生微粉を簡易に造粒することが可能である。
- (2) 造粒の際の加水量と、造粒細骨材の粗粒率の間には正の一次関係があり、加水量が多いほど粗粒率は大きくなる傾向がある。
- (3) 再生微粉を造粒し、細骨材として使用することで海砂とほぼ同等の流動性が得られた。
- (4) 粒細骨材を用いたモルタルの圧縮強度は、造粒細骨材の養生期間が短いほど大きくなった。この理由として骨材中の未水和セメント量が多いために、モルタル中において水和が進行し、他の構成要素との付着が良

好となったことが考えられる。

- (5) 造粒細骨材は長さ変化率が大きく、現状ではコンクリート用細骨材としての適用は困難である。よって、造粒細骨材の吸水率を低くし、密実な骨材とするとともに、造粒細骨材を用いたコンクリート試験を実施していくことが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 小野善徳, 関野一男, 和木晴彦: コンクリートからの再生処理微粉末を混入したコンクリートの基礎性状, 第 49 回セメント技術大会講演集, pp.400~405, 1995
- 2) 毛見虎雄, 中田義久, 西山直洋, 平石信也, 古川猛: 再生粉体を混入したコンクリートの性状, 第 49 回セメント技術大会公演集, pp.406~411, 1995
- 3) 松下博通, 佐川康貴, 川端雄一郎: 再生骨材を用いたモルタルの細孔構造の粗大化と強度及び耐久性の低下, 土木学会論文集 E, Vol.62, No1, pp.230~242, 2006