

論文 低品質再生骨材の改質処理による構造体への適用に関する研究

辻 大二郎¹・田村 雅紀²・野口 貴文³

要旨: 現在開発中である2系統の表面改質処理剤を用い、改質処理された低品質再生粗骨材を使用した再生コンクリートの基礎物性について実験的検討を行った。その結果、再生粗骨材は塗膜面により粒形改善効果、吸水率低減効果が得られ、再生粗骨材コンクリートは、フレッシュ状態のワーカビリティが向上することが確認された。従来から構造体としての再生骨材コンクリート使用の弱点であった乾燥収縮に改善効果があることが期待されたが、今回の実験では確認できなかった。また、剥離性が向上し、骨材 - 新モルタル間の分離が容易に行われることが確認された。

キーワード: 再生骨材, 再生コンクリート, 改質処理, 構造体, 耐久性, 剥離性, 骨材径

1. はじめに

現在、廃棄コンクリート塊の中の骨材は、大部分が角が丸くモルタルの落ち易い砂利によって構成されているが、今後は、戦後、莫大に生産された碎石を主体としたコンクリート塊の廃棄量が増加する見込みである。碎石は、その角張った形状により砂利に比べモルタル分が落ちにくく、破碎過程で割れ易く原骨材径が小さくなる特徴をもつ。そのため良質な再生骨材の製造はさらに困難を極めることが予想される。

本研究では、表面改質処理剤を骨材表面に塗布するという簡便な作業を再生骨材製造工程に加え、モルタル分の多い低品質再生粗骨材の吸水率を低減させることで、再生骨材の欠点を解消し、簡便な破碎により得られた低品質再生粗骨材をコンクリート用(構造体用)へ適用を

拡大していくことを目的としている。

そのために、本実験では、骨材へのコーティング効果が、再生コンクリートへの基礎物性に与える影響を把握するために実験的考察を行うことを目的とする。また、コーティング再生粗骨材を用いた再生コンクリートを再び破碎し、その剥離性について言及する。

2. 再生骨材製造

2.1 原コンクリート調合

再生骨材製造のために水セメント比の異なる高強度と普通強度の2水準のコンクリートを製造した。原コンクリートの配合表を表-1に示す。高強度コンクリート(以下と「高コン」と略記)には高性能 AE 減水剤、普通強度コンクリート(以下「普コン」と略記)には AE 減水剤を使用した。なお、強度試験用供試体には

表 - 1 原コンクリートの調合表

原コン種別	記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
高コン	h	20	18	40	4.5	39	183	458	637	1003	2.974
普コン	n	20	18	60	4.5	44	179	298	784	1001	0.745

*1 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻 (正会員)
 *2 東京都立大学助手 工学研究科建築学専攻 (正会員)
 *3 東京大学大学院助教授 工学系研究科建築学専攻 (正会員)

全て 10 × 20cm 円柱供試体を用いた。

原コンクリートの品質を表 - 2 に示す。28 日に発現された圧縮強度は、高コンが 56.8 (N/mm²)、普コンが 36.0 (N/mm²) であった。

表 - 2 原コンクリートの品質

原コン種別	記号	実測値			
		スランプ (cm)	空気量 (%)	28日圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
高コン	h	18.5	1.3	56.8	35.4
普コン	n	17.0	1.0	36.0	30.8

2.2 再生骨材の製造および回収率

再生粗骨材の製造フローを図 - 1 に示す。円柱供試体を材齢 35 日にて割裂・分離し、1/4 の大きさにしたのち、汎用的なジョークラッシャーを用いて 2 次破碎し、電動式ふるい機にて粒径 5 ~ 10mm と 10 ~ 20mm の大きさに分級した。高コン、普コンから得られた再生骨材の粒径別割合 (重量) と回収率 (重量) を表 - 3 に示す。特に 5 ~ 10mm の範囲の再生粗骨材は回収率が高い傾向が見られた。

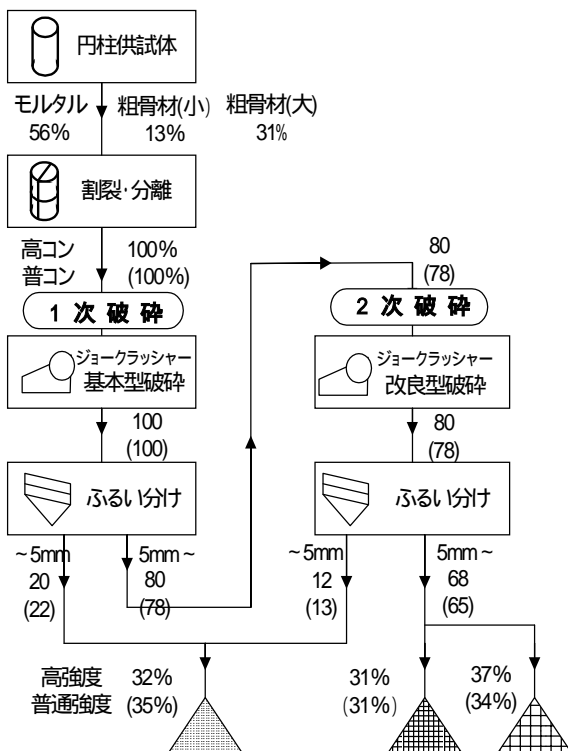


図 - 1 再生粗骨材の製造フロー

表 - 3 再生骨材の回収率

原コン種別	項目	成分割合 (%)			
		粗骨材			モルタル・微粉 ~5mm
		10~20mm	5~10mm	全体	
高コン (h)	原骨材	31%	13%	44%	56%
	再生骨材	37%	31%	68%	32%
	回収率	119%	238%	155%	57%
普コン (n)	原骨材	31%	13%	44%	56%
	再生骨材	34%	31%	65%	35%
	回収率	110%	238%	148%	63%

2.3 モルタル付着率

高コンおよび普コンを破碎し、粒径 10 ~ 20mm 及び 5 ~ 10mm に分級した再生粗骨材のモルタル付着率 (5mm 以下の粒子の重量 %) を塩酸溶解法により測定した結果を図 - 2 に示す。高コン、普コンともモルタル付着率はさほど差は認められなかった。粒径 5 ~ 10mm の再生骨材の 5mm 以下のモルタル付着量は粒径 10 ~ 20mm の再生骨材に比べ非常に大きく、骨材の約半分の重量を占めていることが分かる。

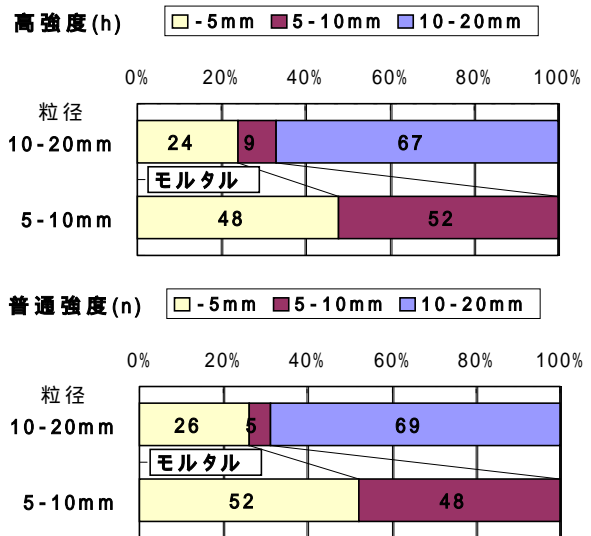


図 - 2 各粒径別のモルタル付着率 (重量)

2.4 粒度調整

製造された再生粗骨材は、そのまま使用するとモルタル分が多く吸水率の高い粒径 5 ~ 10mm の骨材が多量に含まれてしまうため、JIS A 5005 の砕石 2005 の粒度範囲に近い範囲まで粒度調整した。調整前と調整後の粒度分布曲線を図 - 3 に示す。その結果、粗粒率が 6.51 から

6.68 となった。これ以後、その粒度分布に調整された再生骨材および比較用の原骨材の品質を測定する。

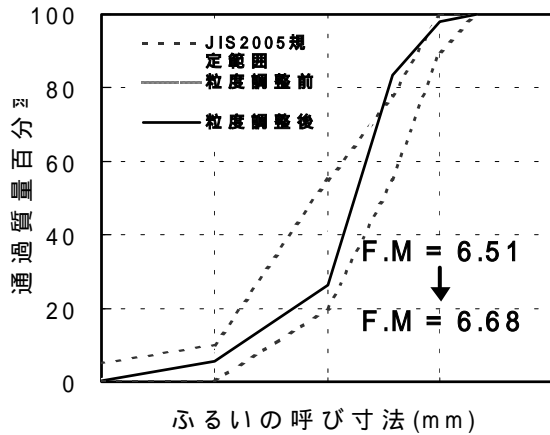


図 - 3 粒度分布曲線

2.5 再生粗骨材の品質

再生粗骨材の比重および吸水率を JIS A 1110、単位容積質量および実積率を JIS A 1104 に従い測定した。結果を表 - 4 に示す。

表 - 4 再生粗骨材の品質

原コン種別	絶乾密度 g/cm ³	表乾密度 g/cm ³	吸水率 %	単位容積質量 kg/l	実積率
高コン	2.38	2.48	4.48	1.44	0.60
普コン	2.38	2.49	4.51	1.44	0.61

3. コーティング再生粗骨材製造

3.1 改質処理剤種類

再生粗骨材の品質を改善するために用いた効果の異なる 2 系統の表面改質処理剤の特徴を表 - 5 に、期待される改質処理効果を表 - 6 に示す。¹⁾また図 - 4 に改質処理の概念図を示す。

表 - 5 改質処理剤種類

種類	物理改質処理剤	化学改質処理剤
記号	P(Physical)	C(Chemical)
種類	アクリル樹脂系	油脂系
用途	コンクリート床 磨耗処理	コンクリート型枠 剥離剤
成分	アクリル樹脂 + SBR エマルジョン 乳化剤 水	鉱物油 ラノリン 脂肪酸石けん 乳化剤 水
状態	エマルジョン溶液	エマルジョン溶液

表 - 6 改質処理剤の効果

物理改質処理剤
合成樹脂系のエマルジョン溶液であり、セメント水和物中で安定である。骨材表面の凹凸・微細空隙(~ 150 μ m 程度以下)を充填し、骨材に影響しないレベルで表面が平滑化する。結果、骨材とペースト間に作用する機械的な付着力を低減する。
化学改質処理剤
鉱物油、油脂を成分としたエマルジョン溶液であり、改質処理剤によって塗布された面は骨材 - セメントペースト間の水和が抑制され、界面付着性能を大幅に削減することができる。

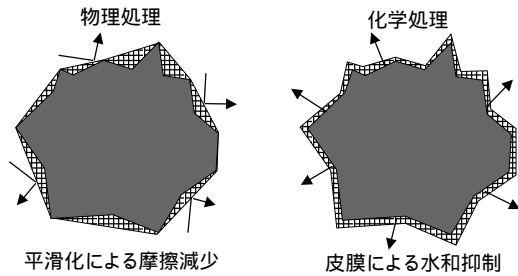


図 - 4 処理効果概念図

3.2 改質処理剤の吸水率低減効果

モルタルの試験体を再生骨材に模擬し、物理処理と化学処理の付着状況と吸水率低減効果の関係を確認するための予備実験を行った。コーティングの塗布回数およびモルタルの水セメント比をパラメータとした実験水準を表 - 7 に示す。試験体は細骨材かさ容積 0.6 で調合し、一辺 20mm の立方体を製作した。吸水率は JIS A 1110 に準じ、同じ水準の 2 試験体の平均である。

表 - 7 実験水準

項目	水準数	要因					
		20%	30%	40%	50%	60%	
水セメント比	5						
改質処理剤	2	P: 物理処理			C: 化学処理		
塗布回数	4	0回	1回	2回	3回		

実験の結果を図 - 5、図 - 6 に示す。化学処理は 2 回の塗布でほぼ吸水率が 0 に近づくことが分かった。物理処理は回数を重ねるごとに吸水率低減効果が増進するが、化学処理ほど効果は大きくなく半減する程度にとどまった。

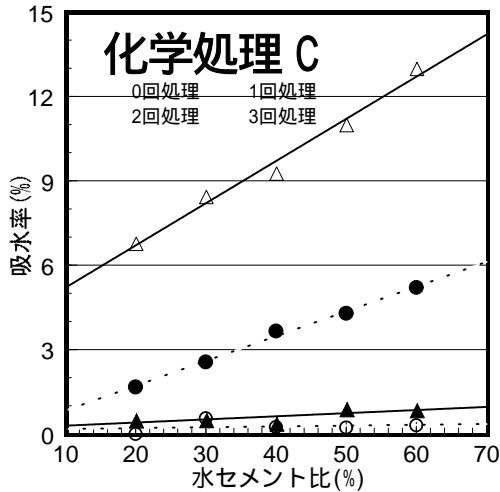


図 - 5 吸水率低減効果 (化学処理)

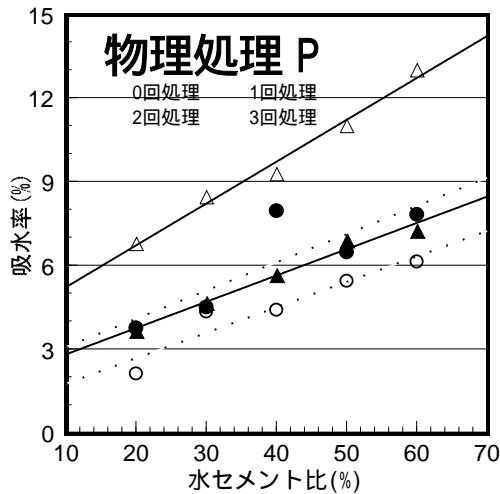


図 - 6 吸水率低減効果 (化学処理)

3.3 改質処理した再生骨材の吸水率

表 - 8 に再生コンクリートに使用する改質処理再生粗骨材の記号を記す。改質処理水準は、無処理、物理処理、化学処理、物理化学処理の4水準である。また、比較用に再生骨材と同じ粒度分布に調整を施した原骨材砕石を用意した。

表 - 8 改質処理再生粗骨材の種類 (記号)

原コン	無処理 (O)	物理処理 (P)	化学処理 (C)	物理化学処理 (PC)
なし(0)	rO	-	-	-
高コン(h)	hO	hP	hC	hPC
普コン(n)	nO	nP	nC	nPC

吸水率の測定に関して、今回の場合、化学改質処理後の油膜が乾くという状態が考えにくく絶乾状態を判断できない。また物理改質処理面は JIS A 1110 における 105 24 時間乾燥において、膜の性状が変化し、コーティング効果が失われている可能性がある。そのため、塗布後、定日間、定温低湿度の状態乾燥させた後の質量を基準質量とし、その状態から表乾状態までの水分吸入量を基準質量で除した値を「見掛けの吸水率」と定義し吸水率に代用するものとして測定した。図 - 7 および図 - 8 に改質処理後の相対吸水率の測定結果を示す。全般に原コンが高強度の方が普通強度に比べ相対吸水量が若干大きい結果となった。化学処理は原骨材に近い吸水率となり、他の処理も無処理 (0) と比較して低減効果がみられた。

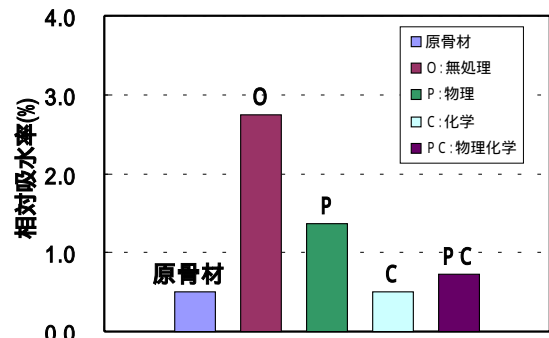


図 - 7 見掛けの吸水率 (高強度)

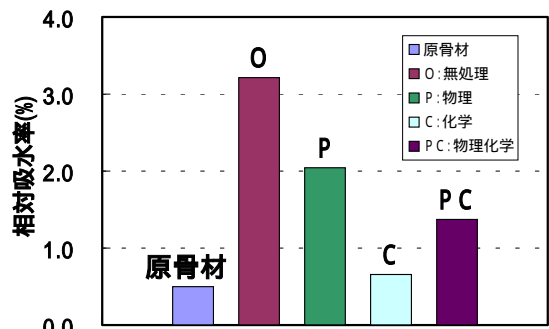


図 - 8 見掛けの吸水率 (普通強度)

4. 再生コンクリート製造

4.1 再生コンクリート

表 - 9 に表面改質処理を施した再生粗骨材を用いた再生コンクリートの実験水準を示す。再生コンクリート強度は高強度 (W/C = 40%)

と普通強度 (W/C = 60%) の 2 水準である。使用材料を表 - 10 に、配合表を表 - 11 に示す。単位容積粗骨材容積を一定とする調合とした。実施した試験項目を及び試験方法を表 - 12 に示す。

表 - 9 再生コンクリート水準

再コン強度	原骨材(0)	原コン強度	
		高強度 (h)	普通強度 (n)
高強度 (H)	Hr0	Hh0,HhP HhC,HhPC	Hn0,HnP HnC,HnPC
普通強度 (N)	Nr0	Nh0,HhP NhC,HhPC	Nn0,HnP NnC,HnPC

表 - 10 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16
粗骨材 (砕石)	表乾比重2.65,絶乾比重2.64 吸水率0.59%
再生粗骨材 h0,hP,hC,hPC	表乾比重2.48,絶乾比重2.38 相対吸水率:順に2.74,1.36,0.50,0.73
再生粗骨材 n0,nP,nC,nPC	表乾比重2.49,絶乾比重2.38 相対吸水率:順に3.21,2.04,0.65,1.37
細骨材	表乾比重2.57,絶乾比重2.52 吸水率1.97
混和剤	高強度(H):高性能AE減水剤 普通強度(N):AE減水剤

表 - 12 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1118
圧縮強度,弾性係数	JIS A 1108
引張強度	JIS A 1113
乾燥収縮	JIS A 1129

4.2 実験結果

結果を図 - 9 に示す。改質処理の効果により粒径が改善され、同一水セメント比におけるスランブが増しているといえる。特に PC 処理はその効果が顕著であった。28 日圧縮強度試験結果を図 - 10、同じく引張試験結果を図 - 11 に示す。再生骨材の原コンリート強度が弱いほど圧

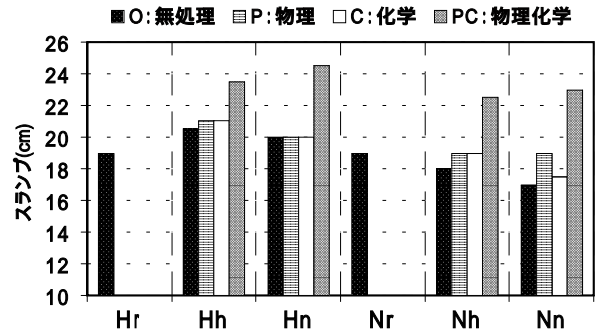


図 - 9 スランブ試験結果

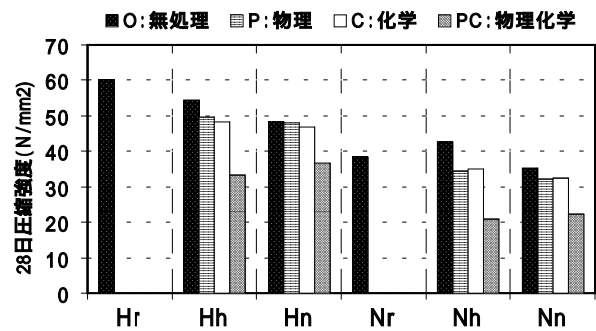


図 - 10 圧縮強度試験結果

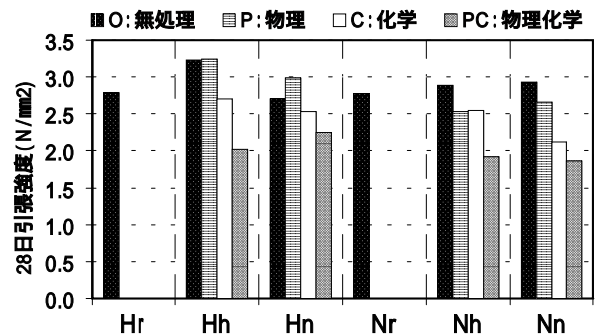


図 - 11 引張強度試験結果

縮強度、引張強度とも小さくなる傾向がみられた。P または C 処理については、強度は 5 ~ 20% の低下となり、PC 処理については 25 ~ 50% の低下が見られた。

次に Nn シリーズについて乾燥期間 8 週までの乾燥収縮の試験結果を図 - 12 に記す。今回

表 - 11 再生コンクリートの配合表

再コン強度種別	原コン強度種別	改質処理種別	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)				
								水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
H	r	0	20	21	40	4.5	42	185	463	677	0.36m³/m³	2.313
	h	0,P,C,PC										3.238
	n	0,P,C,PC										3.238
N	r	0	20	18	60	4.5	46	179	298	827	0.36m³/m³	0.746
	h	0,P,C,PC										1.044
	n	0,P,C,PC										1.044

の実験では改質処理剤塗布の有無による乾燥収縮率の差異は認められなかった。

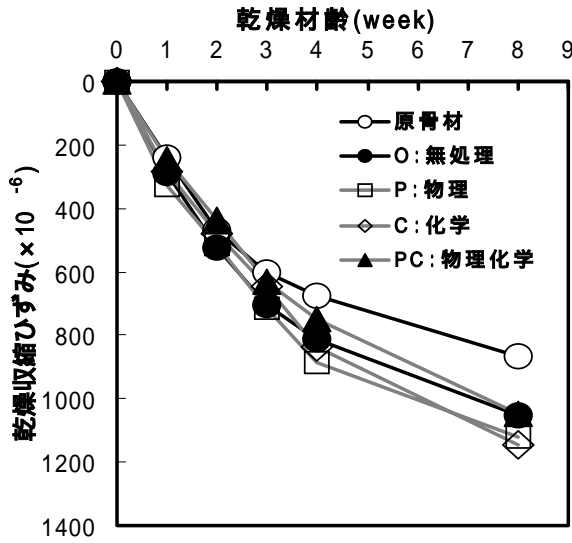


図 - 12 Nn シリーズの乾燥収縮率の比較

4.3 剥離性測定

無処理 Hh0 及び物理化学処理 HhPC の供試体割裂面の状態を図 - 13 に示す。骨材露出面のうち骨材または旧モルタルが割れた面とコーティング面で滑った剥離面の面積比率を算出した。物理化学処理は 77% が骨材表面でモルタルと剥離し、原骨材は割れずに骨材径を保っている。逆に無処理のものは剥離率は 36% にとどまり、骨材が割れる面が多く、骨材径を保つことができない。

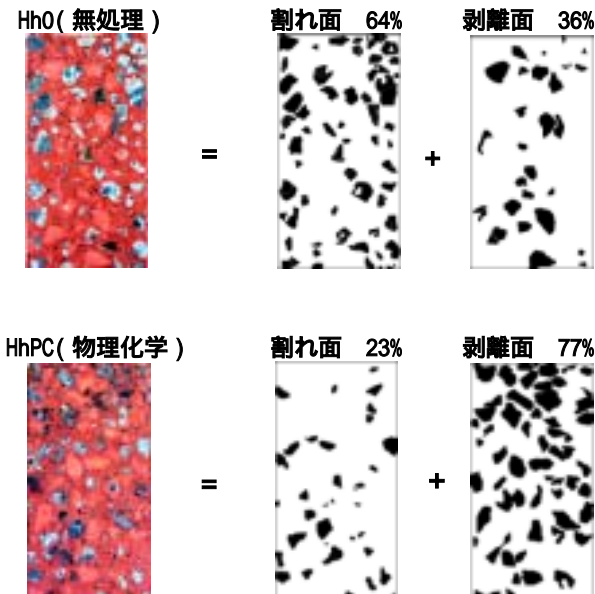


図 - 13 割れ面と剥離面

5. まとめ

以上の本実験結果をまとめると次のようになる。

1) 物理処理および化学処理剤を再生骨材表面に塗布することで、骨材の吸水率を低減させることができた。特に化学処理において効果は顕著であった。

2) 表面改質処理することで粒形改善効果が得られフレッシュ状態でのワーカビリティが向上する。

3) 乾燥収縮率測定開始 2ヶ月の時点で、表面改質処理剤塗布の有無による乾燥収縮率の差異は認められない。練りこみ時の骨材の含水状態の差異、および練りこまれてからの骨材からの水分逸散の速度が、コンクリートの乾燥収縮にどのように影響を与えるかは、今回の実験では検証できなかったと言える。今後、長期材齢まで確認する必要があるが、もし乾燥収縮率に低減効果が得られれば、耐久性が向上することにつながり、実構造物への再生骨材の適用の可能性が広がると思われる。

4) 改質処理を施した再生粗骨材コンクリートの圧縮強度、引張強度は 10 ~ 50% 低減するが、逆に骨材とモルタル面の剥離性が向上し、再度破碎して骨材を取り出す際、中の原骨材を壊さず、容易に取り出すことができるため、原骨材の最大寸法が小さくなくなりにくい。また、高度処理を施すことなく骨材を取り出すことができるため回収率が高くなり、リサイクル性が向上し、再び骨材を再生する際に余分な微粉を出さずにすむことにつながる。

参考文献

1) 土屋潤, 田村雅紀, 橘高義典: 材料保存を可能とする骨材回収型コンクリートの開発(その2 コンクリートの基礎物性と破壊特性), 第55回セメント技術大会講演要旨, 2001