

[21] 再生骨材の品質改善とその効果

正会員 小林 茂 敏 (建設省土木研究所)
 種下 敏 雄 (建設省土木研究所)
 正会員 ○河田 博 之 (建設省土木研究所)
 多田 和 弘 (建設省土木研究所)

1. まえがき

廃棄物の有効利用の観点から、コンクリート廃材を再生し、コンクリート用骨材として利用しようとする研究が行われている。これらの研究によれば、コンクリートを割っただけの再生骨材は、細骨材、粗骨材とも骨材の周囲に付着するモルタル量が多いために吸水率の非常に大きな骨材となっており、使用法、適用範囲等に制約が必要となる。一方、再生骨材のこうした性質を改善する目的で再生骨材製造プラントの開発が行われている¹⁾。このプラントでは、衝撃力、圧壊力、摺合せ及び精製回数によって任意の品質の再生骨材の製造が可能であるが、今後、再生骨材のこの品質改善によってさらに広範囲な用途への再生骨材の適用が可能となる。

そこで、再生骨材の利用技術開発の一環として、再生骨材の品質改善の効果と経済性を検討するために次の調査を行った。

- (1) 再生骨材の品質がそれを用いたコンクリートの性質に及ぼす影響
- (2) 再生骨材の品質改善に要するコストの試算

以下、これらの2項目についての調査結果を報告する。

2. 再生骨材の品質がコンクリートの性質に及ぼす影響

2.1 再生骨材及び試験内容

(1) 再生骨材

原コンクリートは砕石と山砂を用いて作り、実際のコンクリート廃材の多様性を考慮して高強度（圧縮強度が400 kg/cm²程度）のものと同強度（200 kg/cm²程度）のもの2種類とした。この2種類の原コンクリートより、図-1に示すような精製度を変えた3種類の粗骨材（MG-0, 1, 5）と2種類の細骨材（MS-1, 3）を製造した。

(2) 試験内容

原コンクリートに用いた砕石、山砂と2種類の原コンクリートより製造された再生骨材について物理試験、付着セメント量試験、吸水特性の試験を行った。また、低強度の原コンクリートより再生した骨材について表-1のような組合せにより、4試験所でコンクリートの圧縮、引張強度試験を、1試験所で凍結融解試験を行った。これらの試験条件の概要は、次のようである。

1) コンクリートの圧縮、引張強度試験

セメント水比 (c/w) = 1.5 ~ 2.5, スランプ = 8 ± 2 cm, 空気量 = 4 ~ 5% の配合で、材令28日において試験を行った。

2) コンクリートの凍結融解試験

水セメント比 (w/c) = 55%, スランプ = 8 ± 2 cm, 空気量 = 4.5 ~ 5% の配合で、材令14日から試験を開始した。

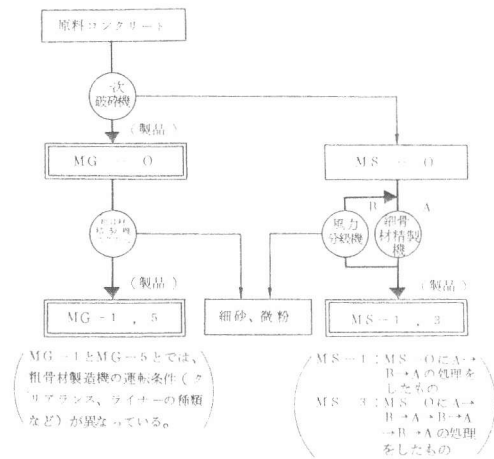


図-1 再生骨材の種類

表-1 骨材の種類と組合せ

		粗 骨 材			
		MG-0	MG-1	MG-5	原骨材
細骨材	MS-1	○*	○		○*
	MS-3		○	○	○*
原骨材		○*	○*	○	○*

*凍結融解試験も行った。

なお、セメントは普通ポルトランドセメントを、混和剤はAE剤あるいはAE減水剤を用いた。

2.2 試験結果

(1) 再生骨材の品質

原骨材及び再生骨材の物理試験結果及び付着セメント量の試験結果を、表-2、3に示す。

1) 比重, 吸水率

再生粗骨材, 細骨材とも原コンクリートに用いた砕石, 山砂より比重は小さく, 吸水率は大きい, 精製度を高めるに従って原細, 粗骨材の品質に近いものが得られた。図-2には再生骨材の付着セメント量と吸水率との関係を示したが, 再生骨材に付着あるいは混入するモルタル分を除去することによる吸水率の品質向上が見られ, また, 図-3でも明らかのようにそれに伴って細, 粗骨材の比重も改善される。

2) 安定性

再生骨材の安定性損失重量は, 細骨材に比べて粗骨材が大きい値を示す。図-4に吸水率との関係を示すが, 粗骨材では吸水率を指標とする精製度の高まりに伴って安定性損失重量もほぼ直線的に低下するのに対して細骨材はほとんど変化しない。これは, 粗骨材に付着するモルタルが硫酸ナトリウムによる膨張圧ではがれ易いためのである。

3) 実積率及び粒度

再生粗骨材の粒形を見るために粒形判定実積率を測定した結果, 精製度を高めるに従って骨材形状の改善ができるものの, 粒径は小さくなる。細骨材は風ふるいによって分級調整したが, 精製度が高くなるに従って粗骨材と同様に粗粒率が小さくなる傾向がある。

4) その他の品質

再生粗骨材のすりへり減量も精製度を高めることにより改善可能である。また, 再生細, 粗骨材の洗い損失重量は, 製造過程で収塵処理をしていること等により, 原骨材と同じかそれ以下である。

図-5には, 再生細骨材の吸水時間による吸水率の変化を示した。吸水率の大きい骨材では, プレウェッチングの期間が問題となるが, 試験の結果, 最低1日程度で十分と考えられる。

表-2 粗骨材の試験結果

種類	コンクリート強度	最大寸法(mm)	比重	吸水率(%)	洗い損失率(%)	安定性損失率(%)	単積率(%)	実積率(%)	粒度(残留率)					粗骨材実積率(%)	付着セメント率(%)	
									2.5	2.0	1.5	1.0	0.5			
MG-0	高強度	25	2.48	4.02	0.4	22.7	26.6	1.41	59.2	4	19	38	87	100	7.06	10.5
	低強度	25	2.38	5.18	0.6	31.5	28.6	1.34	59.3	9	27	45	87	99.7	12.57	6.9
MG-1	高強度	20	2.57	2.48	0.6	6.4	20.0	1.54	61.4	0	13	34	91	100	7.04	6.8
	低強度	20	2.55	2.56	1.1	17.5	19.8	1.52	61.0	0	9	31	85	99.6	9.59	5.5
MG-5	高強度	20	2.62	1.55	0.4	9.6	11.9	1.62	62.8	0	3	16	85	100	6.88	2.9
	低強度	20	2.66	1.06	0.7	5.8	14.6	1.64	62.4	0	2	12	80	100	6.82	6.0
砕石	-	25	2.69	0.70	0.7	6.2	13.7	1.56	58.4	0	16	43	92	99.7	0.7	5.83

注) 1) 比重および吸水率は, 水中浸漬 24 時間後の値。
2) この実積率は, 同表の粒度分布について求めたもの。
3) この粒形判定実積率は, JIS A 5005「コンクリート用砕石」によって求めたもの。

表-3 細骨材の試験結果

種類	強度	比重	吸水率(%)	洗い損失率(%)	有機不純物(%)	比重安定性損失率(%)	単積率(%)	実積率(%)	粒度分布(残留率)					粗骨材実積率(%)	付着セメント率(%)		
									5	2.5	1.2	0.6	0.3			0.15	
MS-1	高強度	2.37	7.84	0.8	合格	0.12	2.1	1.43	65.0	2	11	28	58	83	94	2.76	29.0
	低強度	2.41	6.58	1.2	〃	0.14	4.8	1.45	64.2	0	15	40	72	92	97	3.16	15.3
MS-3	高強度	2.45	5.86	0.4	〃	0.10	2.0	1.45	62.8	1	5	18	50	82	94	2.50	23.3
	低強度	2.52	3.76	1.2	〃	0.12	3.4	1.55	63.8	1	8	20	47	82	95	2.53	9.3
山砂	-	2.56	1.79	2.0	〃	0.02	1.8	1.65	65.7	0	12	28	53	85	97	2.75	-

注) 1) 比重および吸水率は, 水中浸漬 24 時間後の値。

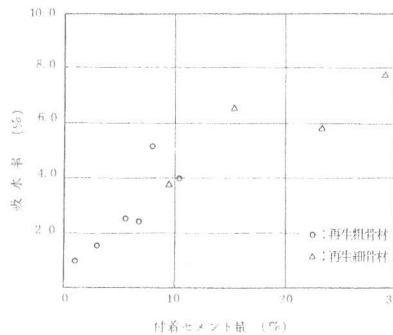


図-2 付着セメント量と吸水率との関係

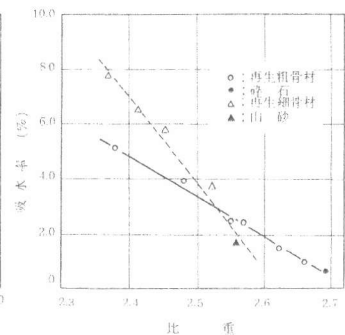


図-3 比重と吸水率との関係

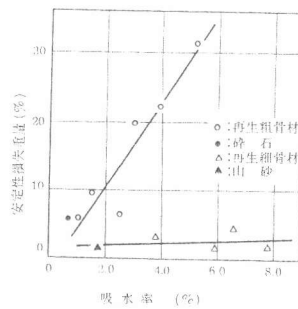


図-4 吸水率と安定性損失重量との関係

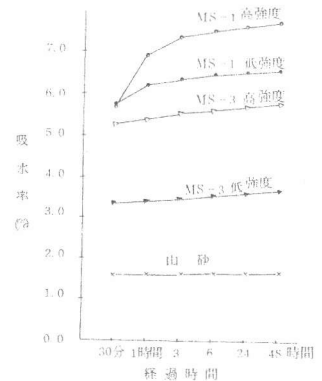


図-5 再生細骨材の吸水特性

5) 原コンクリートの強度の影響

再生粗骨材では精製度が高くなるほど、低強度の原コンクリートの方が高強度のものに比べて比重、吸水率、安定性などの品質の良いものが得られている。再生細骨材でも低強度原コンクリートの方が良い品質のものが得られる傾向がある。これは、低強度コンクリートではモルタルの機械的除去が高強度のコンクリートに比べて容易なこと、精製度が低い場合には付着するモルタルの比重、吸水率等の影響が大きいことなどが関係していると考えられる。

(2) コンクリートの単位水量

各種の再生骨材を用いて所定の配合条件を満足する場合の単位水量を表-4に示す。試験は4試験所で行ったため、s/a、混和剤等が異なり、単位水量そのものでは比較しにくかったため各試験所で原骨材を用いた場合の単位水量を100%とする比率で表わした。精製度を高めるに従って原骨材より単位水量を5%程度まで小さく出来、配合上有利となっていくことがわかる。

表-4 コンクリートの単位水量比及び圧縮強度比

		粗 骨 材			
		MG-0	MG-1	MG-5	原骨材
細骨材	MS-1	100 (7.2)	101.0 (7.7)	- (-)	102.5 (8.8)
	MS-3	- (-)	96.4 (7.5)	96.3 (9.1)	98.7 (9.1)
	原骨材	98.5 (8.0)	94.0 (8.2)	95.7 (8.5)	100 (10.0)

注) () は同じw/c時の強度比

(3) コンクリートの圧縮、引張強度

低強度の原コンクリートから再生した骨材を用いたコンクリートの圧縮強度試験結果を、図-6に示す。各c/wにおいて再生骨材の精製度が低い程、強度が低く、特にc/wの大きい高強度コンクリートには、精製度の低い再生骨材の使用は不利となる。しかし、細骨材にMS-3、粗骨材にMG-5を用いれば、一般的なコンクリートの強度(セメント協会式)²⁾に相当する値が得られるようである。図-7に圧縮強度と引張強度との関係を示しているが、再生骨材コンクリートの引張強度は、原骨材を用いたものと同様に圧縮強度の $\frac{1}{12} \sim \frac{1}{9}$ である。

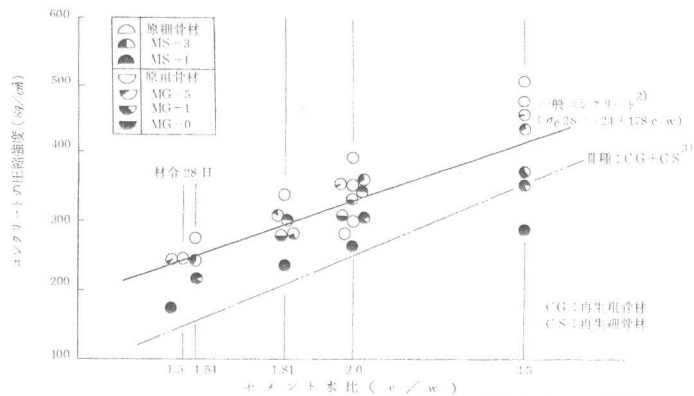


図-6 コンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係

w/c = 50~55%のコンクリートについて、原骨材を用いたの圧縮強度を100%とした場合の強度比を前出の表-4に示した。これより、再生骨材コンクリートの強度低下には粗骨材の影響が大きいようであるが、再生骨材を精製するか、細、粗骨材の一方だけを原骨材とすることによる改善効果も大きい。

(4) コンクリートの凍結融解耐久性

コンクリートの凍結融解試験結果を、表-5に示す。再生細骨材を用いた場合、粗骨材が原骨材のように良好なものであれば耐久性低下は少ないが、再生骨材同志の組合せでは耐久性が低下する。コンクリートの耐久性には粗骨材の影響が大きいようであり、また、粗骨材の安定性損失重量で示される安定性が関係しているものと考えられる。

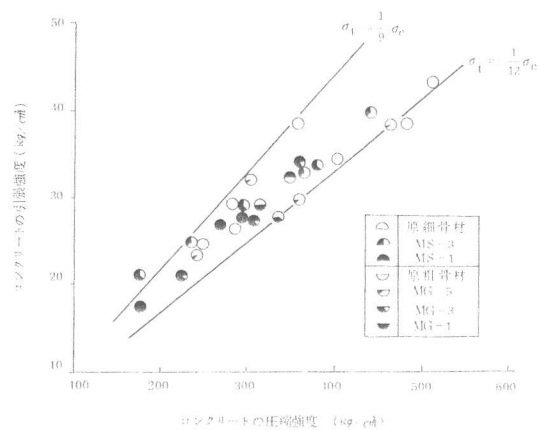


図-7 コンクリートの圧縮強度と引張強度との関係

表-5 コンクリートの耐久性指数

		粗 骨 材		
		MG-0	MG-1	原骨材
細骨材	MS-1	51	-	96
	MS-3	-	-	92
	原骨材	69	70	96

3. 再生骨材製造のコスト試算

再生骨材の利用に当っては、再生技術の開発とともにその経済性についても併せて検討する必要があるが、また、実規模での生産プラントの構成についても

検討が必要である。この調査では、所要の品質の再生骨材を生産するためのモデルプラントを想定し、そのプラントでの製造の経済性についてコスト試算を行った。

3.1 調査方法

(1) 評価の前提条件の検討

1) 再生骨材の品種及び生産計画

検討対象とした再生骨材の品種は、図-1のMG-0, 1.5, MS-1.3としたが、コスト評価をより簡明にすることを意図して単品生産ではなく、表-6のような4ケースの品種の生産を計画した。また、各品種の生産比率は文献1)の値を用いた。

2) 生産プラントの規模及び設備

再生プラントが都市近郊に設置されること、実働砕石プラントの処理容量が100t/h程度であること等を勘案してモデルプラントの生産規模を処理容量で100t/hとした。また、プラントは乾式でその構成は前処理系統、一次破碎系統、骨材生産系統の3系統とし、前処理系統で原料コンクリートの種別、性状の変動に対応できるように考えた。骨材生産系統では、精製度を可変とした。3系統に設置される主な機械は、前処理系統(ジョークラッシャ、磁選機、グリズリ、振動スクリーン、ベルコン)、一次破碎系統(ジョークラッシャ、インパクトクラッシャ、振動スクリーン、集塵機、ベルコン)、骨材生産系統(粗骨材及び細骨材精製機、風力分級機、振動スクリーン、集塵機、ベルコン、製品パイル)である。

(2) コストの算定方法

図-8に示す各費用について算定した。直接運転経費のうち、機械損料の算定は建設機械等損料算定表(財団法人建設機械化協会)によった。

3.2 調査結果

再生骨材の生産コストの試算結果を、図-9に示す。品種ICMG-0)の生産コストは、汎用機のみを用いた一般的な操業方式であるために市販骨材と大差ないが、精製度を高めるに従って生産コストも高くなる。ちなみに品種III(MS-3とMG-1)の生産コストは市販砕石、砂の約2倍、品種IV(MS-3とMG-5)は約3倍となっているが、これは粗骨材及び細骨材精製機が高価で、かつ、精製能率の低いことが影響しているようである。

4. 結論

- 1) 再生骨材に機械的な圧壊力、衝撃力、摺合せ作用を与えて表面に付着するモルタル分や微粉を除去することによって、細、粗骨材の大幅な品質改善が可能である。
- 2) 再生骨材の品質改善効果は、コンクリートの強度特性のみならず、凍結融解耐久性にも現われる。
- 3) 粗骨材の吸水率と安定性、細骨材の吸水率がコンクリートの各性能と関係し、精製度によっても大きく異なるので、再生骨材の品質を規定する項目としてはこれらが適当である。
- 4) 精製度を高めることによって品質は改善されるが、製造コストが高くなるため、経済的に必ずしも有利とはいえない。コンクリート廃材を有効に利用していくためには、精製機械のコスト低減や低加工度の再生骨材を用いたコンクリートの使用分野の開発も必要である。

5. 謝辞 本調査は、建設省総合技術開発プロジェクト「廃棄物の建設事業への利用技術の開発の一環として実施したものである。関係各委員に深謝致します。

参考文献 1) 田野口他:コンクリート廃材から再生産されたコンクリート用骨材の性質について、第4回コンクリート工学年次講演会、1982、2) セメント協会:スランプの相違をも含めたコンクリートのセメント水比と圧縮強度に関する報告、コンクリート委員会報告、F-16、1966、3) 建設業協会:再生骨材及び再生コンクリートの使用規準(案)・同解説-添付資料。

表-6 モデルプラントの生産品種

	I	II	III	IV
生産品種	MG-0	MS-1 MG-1	MS-3 MG-1	MS-3 MG-5

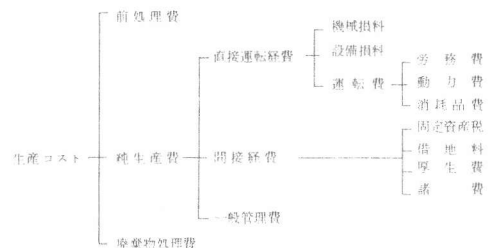


図-8 生産コストの内訳

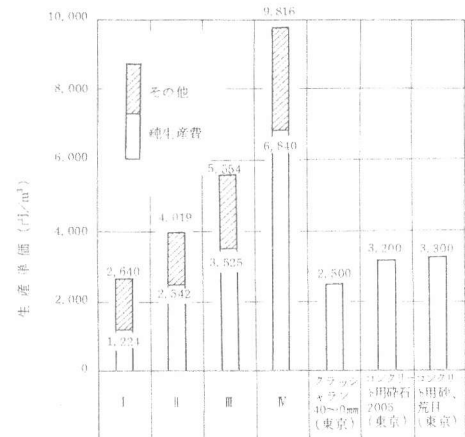


図-9 コスト試算結果