

報告 中品質再生骨材を用いたコンクリートの実構造物への適用

松田 信広^{*1}・竹内 博幸^{*2}・高橋 祐一^{*3}

要旨：解体コンクリート塊の主要用途であった路盤材の需要が減少している中、再生骨材のコンクリートへの適用が望まれている。筆者らは再生骨材コンクリートの実用化を目指して大臣認定を取得し、実構造物の基礎・基礎梁および場所打ち杭に適用した。施工前および施工期間中の再生骨材ならびに再生骨材コンクリートの品質管理は国土交通大臣認定に従って行なった。製造した再生骨材コンクリートは、全て品質管理基準を満足しており、普通骨材を用いたコンクリートと同様に施工することができた。

キーワード：中品質再生骨材, 再生骨材コンクリート, 実構造物, 品質管理, ポンプ圧送性, 混入モルタル

1. はじめに

解体コンクリート塊の再資源化率は90%を大きく超え、概ね横ばいとなっている。しかし、その用途のほとんどが路盤材への適用である。現在、公共事業等の減少から、路盤材としての需要が減少しており、今後、解体コンクリート塊の発生量の増大が予測される中で、コンクリート用骨材として利用していくことが望まれている。

このような背景の中、再生骨材 H および M, L を用いたコンクリートの JIS 規格が制定され、2009 年には再生骨材 H が JIS A 5308 「レディーミクストコンクリート」の附属書に取り入れられるなど、再生骨材を使用する環境は整いつつある。しかし、再生骨材 H は高度な処理技術を要するため製造コストが高く、副産物が大量に発生するために普及が進んでいない。その点、再生骨材 M は H と比較すると、製造エネルギーおよびコストを低減することができ、L と比較して適用範囲が広いことから、再生骨材 M の活用が普及促進へ効果的であると考えられる。

今回、再生骨材コンクリートの実用化を目指して、中品質再生骨材を用いたコンクリートの国土交通大臣認定を取得し、2 件の実構造物に適用したので報告する。

2. 再生骨材の製造

再生骨材の製造フローを図-1 に示す。人頭大に粗破碎したコンクリート塊を、一次工程の破碎処理により 5~25mm にし、二次工程の磨砕処理により 5~20mm にしたのから不純物を取り除いたものを再生粗骨材とした。また、再生細骨材は磨砕処理後 5mm アンダーのものを分級することで製造した。なお、コンクリート塊は不特定のものを用いているが、コンクリート塊の発生場所についてのヒアリングおよび目視確認により不純物の混入が少ないものを選別している。

3. 再生骨材コンクリートの概要

3.1 再生骨材コンクリートの概要と適用範囲

再生骨材コンクリートを実構造物に適用するにあたっては大臣認定を取得し、認定に従って品質管理を実施した。認定を取得したコンクリートは、粗骨材に再生骨材を用いたもの（以下、SR と略記）と粗骨材と細骨材の両方に再生骨材を用いたもの（以下、RR と略記）の 2 種類であるが、当該工事ではすべて RR を適用した。なお、今回使用した再生骨材は JIS A 5022 「再生骨材 M を用いたコンクリート」附属書 A と比較して、密度・吸水率の管理基準を厳しく設定しているため、「中品質」と称した。

適用範囲は、実構造物の場所打ち杭、基礎・基礎梁等の地下構造体であり、呼び強度は 24~33N/mm² である。

3.2 品質管理

再生骨材の品質管理を表-1 に、再生骨材コンクリートの品質管理を表-2 に示す。使用する再生骨材は、不特定のコンクリート塊を原料としているため、塩化物の

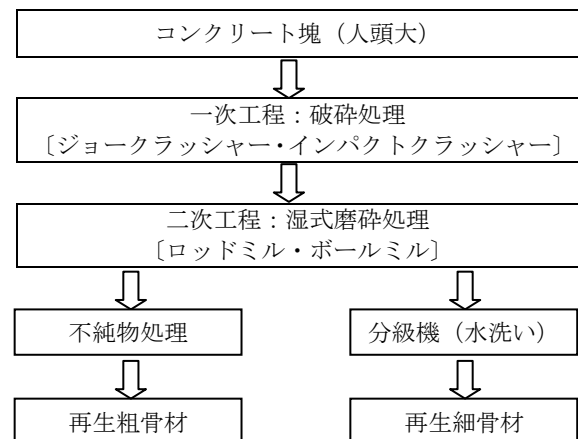


図-1 再生骨材の製造フロー

*1 (株) 東京テクノ 工場長 (正会員)

*2 五洋建設 (株) 技術研究所 建築グループ 部長 (正会員)

*3 五洋建設 (株) 技術研究所 建築グループ 係長 博士 (工学) (正会員)

表-1 再生骨材の品質管理

検査項目	試験方法	検査頻度	管理基準
絶乾密度 (g/cm ³)	細骨材： JIS A 1109	450ton/ロット に1回試験	細：2.2以上 粗：2.4以上 ^{注1)}
吸水率 (%)	粗骨材： JIS A 1110		細：7.0以下 粗：4.0以下 ^{注1)}
塩化物量 (%)	JIS A 1154	工事着手前 および 450ton/ロット に1回試験	全CI ⁻ として 細：0.01以下 ^{注2)} 粗：0.01以下 ^{注2)}
アルカリ シリカ 反応性	ZKT-206		反応性なし(A)

注 1) JIS A 5022 「再生骨材 M を用いたコンクリート」 附属書 A よりも厳しい値。

2) JIS A 5022 「再生骨材 M を用いたコンクリート」 附属書 A と異なる基準。

表-2 再生骨材コンクリートの品質管理

検査項目	試験方法	検査頻度	管理基準
スランブ	JIS A 1101	150 m ³ 以下に 1回	8 cm 以上 18 cm 以下 ：±2.5 cm 21 cm：±1.5 cm ^{注3)}
空気量	JIS A 1128		4.5±1.5%
コンク リート 温度	JIS A 1156		5~35°C
塩化物量	JASS5T-502	打設日毎 1回以上	$C_0^{注4)} \leq 0.30 \cdot (C_{RS}^{注5)} + C_{RG}^{注6)}) \times 4/5$
圧縮強度	JIS A 1108 JIS A 1132	150 m ³ 以下に 1回	1回の試験結果は呼び 強度の85%以上 3回の試験結果の平均 値は呼び強度以上

注 3) 呼び強度 27N/mm² 以上で高性能 AE 減水剤使用を使用した場合±2.0cm

4) フレッシュコンクリートの塩化物含有量の管理限界値(溶出しない塩化物量をあらかじめ品質基準値 (=0.30 kg/m³) より差し引いた値 (kg/m³)

5) 品質管理限界の再生細骨材の塩化物量 (kg/m³)

6) 品質管理限界の再生粗骨材の塩化物量 (kg/m³)

管理は、骨材とコンクリートの各段階での管理試験を実施した。また、アルカリシリカ反応抑制対策として、セメントに高炉セメント B 種を使用し、アルカリ総量を 3.0kg/m³ 以下に規制した。さらにコンクリートのアルカリシリカ反応性迅速試験方法 (ZKT-206) を実施した。

4. 適用構造物 A

4.1 適用概要

再生骨材コンクリートの適用建築物および部位の概要を表-3 に示す。適用した建築物は、鉄骨造の地下 1 階、地上 2 階建ての商業施設 (東京都八王子市) である。

再生骨材コンクリートは全て RR を使用し、基礎・基礎梁・耐圧盤の各部位に約 1,500m³ を用いた。呼び強度はすべて 30N/mm² であり、管理材齢は 28 日である。目標スランブは 15cm で、目標空気量は 4.5% である。再生骨材コンクリートの調合を表-4 に示す。

表-3 適用建築物および部位の概要

適用構造物 A	
用途	商業施設
構造規模	S 造 地下 1 階、地上 2 階
建築・延床面積	7,429.79m ² ・ 9,118.75m ²
適用部位	基礎・基礎梁・耐圧盤

表-4 再生骨材コンクリートの調合

調合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			C	W	S	G
計画調合	44.5	41.3	396	176	683	1002
修正調合 ^{注7)}	44.5	42.2	396	176	699	986

注 7) 計画調合にて打設したところ、ポンプの配管が閉塞する傾向にあったため、管理基準の範囲内で骨材量を調整した。

表-5 再生骨材の絶乾密度および吸水率

適用 構造物 A	再生粗骨材		再生細骨材	
	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
規格値	2.4 以上	4.0 以下	2.2 以上	7.0 以下
①	2.58	2.20	2.46	4.81
②	2.58	2.16	2.53	2.43
③	2.57	2.21	2.55	1.84
④	2.59	2.01	2.55	1.98

表-6 再生骨材の塩化物量測定結果

	JIS A 1154		JIS A 5002.5.5		粉碎
	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	粗骨材
管理基準	0.01 以下	0.01 以下	—	—	—
工事前	0.003	0.001	—	—	—
①	0.003	0.003	0.0003	0.0003	0.0003
②	0.002	0.003	0.0004	0.0003	0.0003
③	0.002	0.002	0.0003	0.0003	0.0003
④	0.002	0.004	0.0004	0.0003	0.0003
⑤	0.001	0.002	0.0003	0.0003	0.0003

4.2 再生骨材の品質

再生骨材の絶乾密度および吸水率は、表-5 に示すようにすべて管理基準を満足していた。全塩化物量の試験結果は表-6 に示すとおり管理基準を満足していた。アルカリシリカ反応性迅速試験結果は、表-7 に示すように、すべて反応性なし(A)であった。また、反応性なし(A)を無害とした。

以上のように、再生粗骨材、再生細骨材とも骨材供給期間全般につき、所定の品質を満足するものであった。

また、再生骨材に混入しているモルタル (以下、混入モルタル) から溶出する塩化物量を測定するため、同一

表ー7 アルカリシリカ反応性迅速試験結果

	種類	試験結果		
		相対動弾性係数の 平均値(%)	各試験値 と平均値 の最大差 (%)	判 定
工事前	SR	88.8	0.7	反応性なし(A)
	RR	87.5	0.1	反応性なし(A)
①	RR	91.3	1.5	反応性なし(A)
②	RR	86.7	0.3	反応性なし(A)
③	RR	92.5	0.6	反応性なし(A)
④	RR	93.4	0.5	反応性なし(A)
⑤	RR	94.7	0.3	反応性なし(A)

の試料で有姿のまま JIS A 5002 5.5 で試験し、さらに粉砕したものと比較した。試験の結果から全塩分に対する可溶性塩分量の割合は、再生粗骨材では 8~15%、再生細骨材では 10~30% であり、一部を除き、既往文献中¹⁾の塩分量推定式で用いられる可溶性塩分量の仮定値 1/5 の範囲内であった。また、試料が有姿のものと同程度の結果であった。

4.3 再生骨材コンクリートの品質

再生骨材コンクリートの荷卸し時のスランブ試験結果および空気量試験結果を図ー2 に示す。スランブ、空気量ともに管理基準を満足しており、所要のフレッシュコンクリート性状が得られた。

管理材齢 28 日での圧縮強度試験結果を図ー3 に示す。圧縮強度（標準養生）は、工程検査および製品検査ともに呼び強度（30N/mm²）と比較すると大きくなる傾向が見られた。これは、同一水セメント比の SR と比べて RR の強度が大きくなる傾向があるためと考えられる。なお、この傾向は既往の報告でもみられている²⁾。

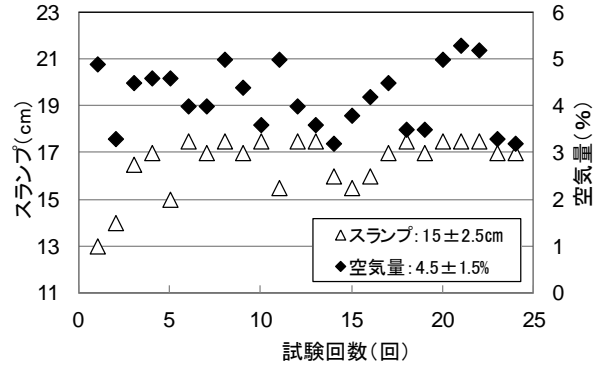
再生骨材コンクリートの塩化物量の測定結果を図ー4 に示す。全塩化物量の推定値は式(1)から算出した。再生骨材コンクリートの塩化物量の測定値は、フレッシュコンクリートの塩化物含有量の管理限界値（0.165 kg/m³）以下であった。また、式(1)から算出した全塩化物量の推定値は、フレッシュコンクリートの塩化物含有量の品質基準値（0.30kg/m³）を十分下回っていた。

$$C_{all} = C_{FC} + 4/5 \cdot C_{RA} \quad (1)$$

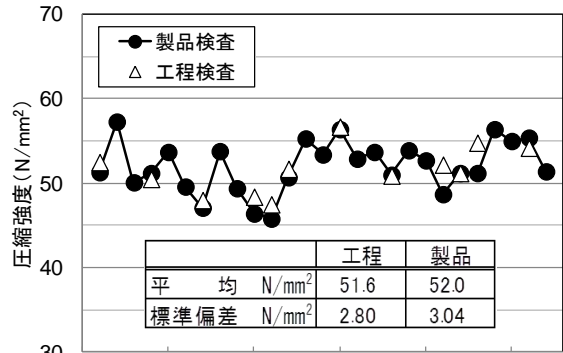
ここに、 C_{all} ：コンクリートの全塩化物量の推定値 (kg/m³)

C_{FC} ：フレッシュコンクリートの塩化物量測定値 (kg/m³)

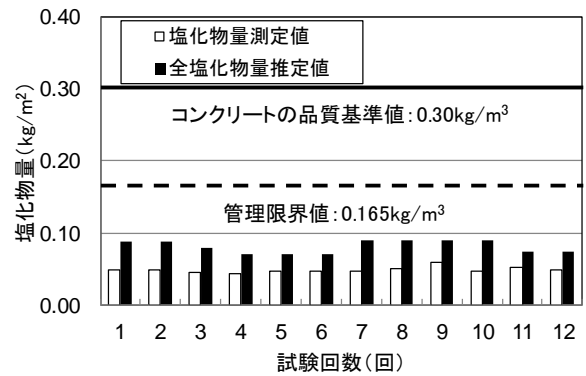
C_{RA} ：再生骨材全塩化物量 (kg/m³)



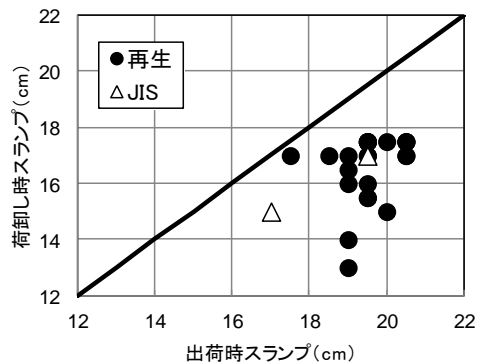
図ー2 再生骨材コンクリートの荷卸し検査



図ー3 圧縮強度試験結果



図ー4 再生骨材コンクリートの塩化物量の測定結果



図ー5 出荷時と荷卸し時のスランブの関係

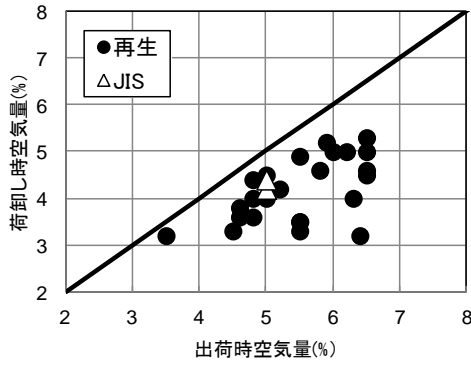


図-6 出荷時と荷卸し時の空気量の関係

再生骨材コンクリートの出荷時と荷卸し時のスランプの関係を図-5に、空気量の関係を図-6に示す。スランプロス、空気量ロスともに、同調合の普通骨材を用いたコンクリートと同等の結果であった。なお、運搬時間は20~60分であった。

以上のように、適用構造物Aにおける再生骨材コンクリートのフレッシュコンクリート性状は、普通骨材を用いたコンクリートと同等と考えられる。

4.4 ポンプ圧送性

計画調査にて打設したところ、ポンプの配管が閉塞する傾向にあったため、管理基準の範囲内で骨材量を調整(1回目)した(表-4参照)。

再生骨材コンクリートのポンプ圧送前後のフレッシュコンクリート試験結果を図-7および図-8に示す。ポンプ圧送後のスランプは低下する傾向にあり、反対に空気量は増加する傾向にあった。また、打設当初はポンプの配管が閉塞する傾向にあったが、1回目の骨材量の調整後は、改善した。しかし、その後閉塞傾向が著しくなったため、2回目の調整として、細骨材の粒度を細目にシフトさせた。打設毎のふるい分け試験の結果を図-9および図-10に示す。以上の対応後、粗粒率が小さくなり、また、粒度分布も管理基準のほぼ中心値近くとなり、ポンプの配管が閉塞することなく、良好な圧送性を確保することができた。

5. 適用構造物 B

5.1 適用概要

再生骨材コンクリートの適用建築物および部位の概要を表-8に示す。適用した建築物は、地上14階建ての集合住宅(東京都府中市)である。再生骨材コンクリートは全てRRを使用し、場所打ち杭に約2,300m³を用いた。呼び強度は30N/mm²および33N/mm²であり、管理材齢は28日である。目標スランプは21cmで、目標空気量は4.5%である。混和剤はAE減水剤を使用した。再生

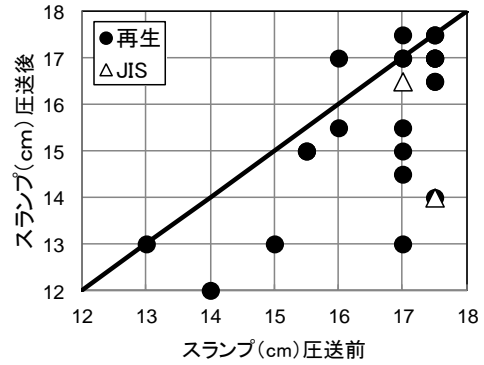


図-7 ポンプ圧送試験結果(スランプ)

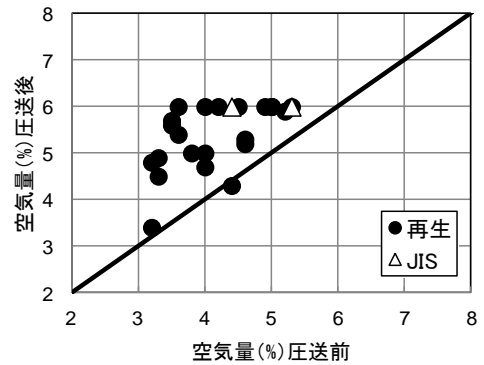


図-8 ポンプ圧送試験結果(空気量)

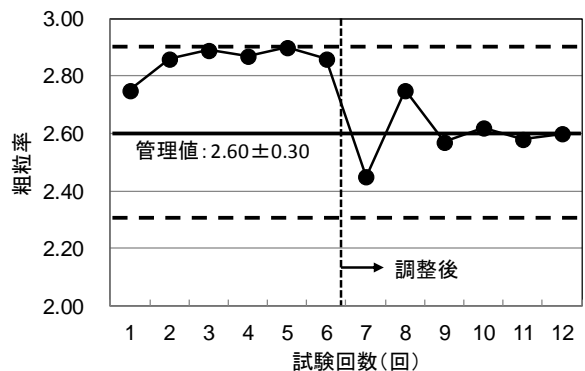


図-9 再生細骨材ふるい分け試験結果(粗粒率)

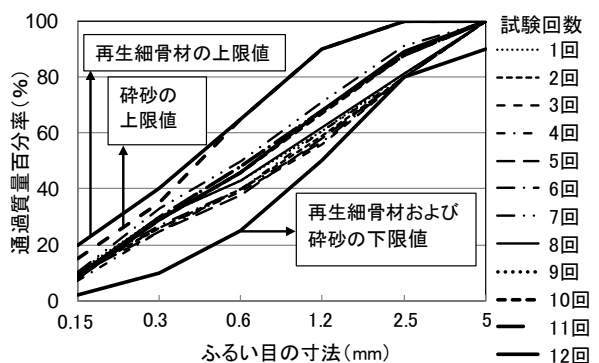


図-10 再生細骨材ふるい分け試験結果(粒度分布)

表-8 適用建築物および部位の概要

	適用構造物 B
用途	集合住宅
構造規模	鉄筋 RC 造 地上 14 階
建築・延床面積	4,501.31m ² ・ 23,804.00m ²
適用部位	場所打ち杭

表-9 再生骨材コンクリートの調査

調査	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			C	W	S	G
30RR	44.5	42.7	431	192	676	936
33RR	42.4	42.0	453	192	658	936

骨材コンクリートの調査を表-9に示す。

5.2 再生骨材の品質

再生骨材の絶対密度および吸水率は図-11に示すようにすべて管理基準を満足していた。

再生骨材の全塩化物量 (JIS A 1154) は、再生粗骨材で 0.001~0.005% (管理基準: 0.01%)、再生細骨材で 0.002~0.004% (管理基準: 0.01%) であり、すべて管理基準を満足していた。

アルカリシリカ反応性迅速試験 (ZKT-206) 結果は、相対動弾性係数の平均値で、30RR では 84.4~87.2% (管理基準: 80.0%以上)、33RR では 83.0~86.8% (管理基準: 80.0%以上) であり、すべて反応性なし(A)であった。

また、大臣認定における品質管理項目ではないが、JIS A 5021 改定に伴い、再生骨材の連続製造における不純物量試験を実施した。測定値は不純物量の合計で 0.00~0.48% であり、すべて JIS A 5021 の品質基準を満足していた。

5.3 再生骨材コンクリートの品質

再生骨材コンクリートの荷卸し時のスランブ試験結果および空気量試験結果を図-12に示す。スランブ、空気量ともに管理基準を満足していた。また、管理材齢 28 日での圧縮強度試験結果を図-13に示す。材齢 28 日の圧縮強度は呼び強度を十分満足していた。

再生骨材コンクリート塩化物量測定値は 0.042~0.058 kg/m³ (管理限界値: 0.172 kg/m³)、全塩化物量の推定値は 0.071~0.093 kg/m³ (品質基準値: 0.30 kg/m³) であり、全て管理基準を満足していた。

再生骨材コンクリートの出荷時と荷卸し時のスランブの関係を図-14に、空気量の関係を図-15に示す。スランブは低下する傾向にあったが、その傾向は適用構造物 A と同様に、普通骨材を用いたコンクリートと同等であった。なお、運搬時間は 30~70 分であった。

適用構造物 B における再生骨材コンクリートのフレッシュコンクリート性状も、普通骨材を用いたコンクリー

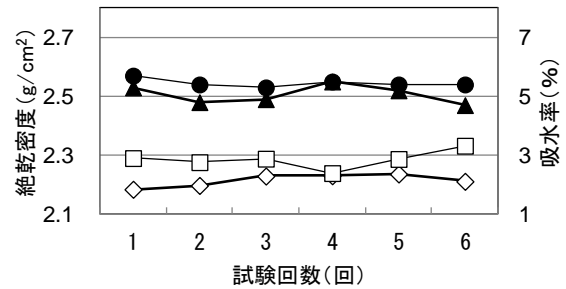
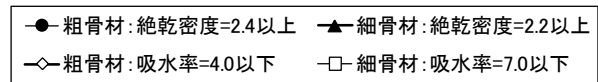


図-11 再生骨材の絶対密度および吸水率

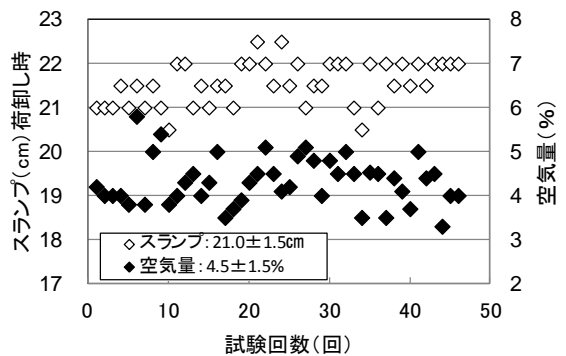


図-12 再生骨材コンクリートの荷卸し時検査

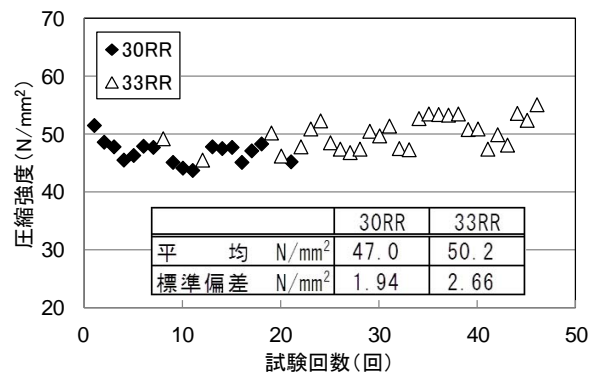


図-13 圧縮強度試験結果

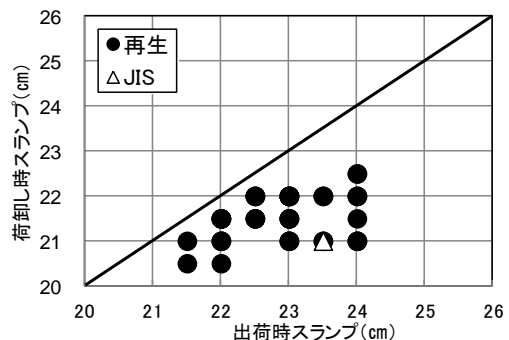


図-14 出荷時と荷卸し時のスランブの関係

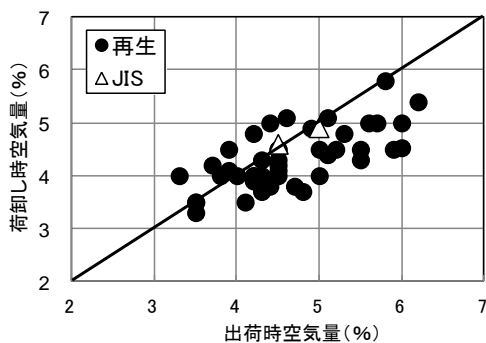


図-15 出荷時と荷卸し時の空気量の関係

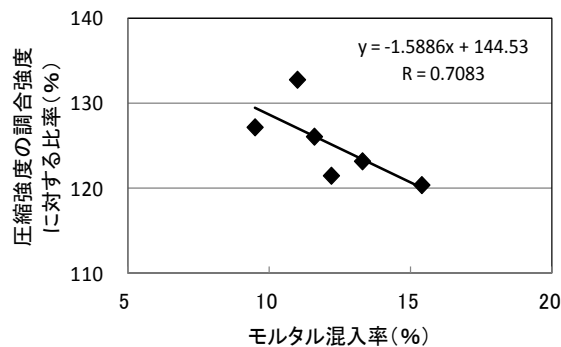


図-16 モルタル混入率と圧縮強度の割合強度に対する比率の関係

表-10 再生粗骨材の混入モルタルと原粗骨材吸水率

	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	モルタル 混入率 ^{注8)} (%)	原粗骨材 吸水率 ^{注9)} (%)
①	2.57	1.84	9.5	1.44
②	2.54	1.97	15.4	0.72
③	2.53	2.29	13.3	1.17
④	2.55	2.30	12.2	1.28
⑤	2.54	2.36	11.6	1.27
⑥	2.54	2.11	11.0	1.42

注 8) モルタル混入率：再生粗骨材全体と原粗骨材の絶乾質量の差を再生粗骨材全体の絶乾質量で除した値

9) 酸洗浄後のモルタルを除去した骨材の吸水率

トと同等と考えられる。

6. 再生骨材の混入モルタル

再生骨材における混入モルタルの存在形態およびその量が再生骨材コンクリートの性状に及ぼす影響が指摘されている³⁾。本報では、再生粗骨材に限定して、連続出荷に対するモルタル混入率および原粗骨材吸水率を測定した。試験結果を表-10に示す。また、再生骨材コンクリートの圧縮強度は、混入モルタルの増加に伴って低下することが指摘されている^(例えば 4), 5)。モルタル混入率とそれらを用いたコンクリートの圧縮強度の割合強度に対する比率の関係を図-16に示す。モルタル混入率と圧縮強度の割合強度に対する比率との間には、線形の関係がみられており、モルタル混入率の増加に伴って、若干の強度低下がみられる。しかし、設定している管理基準を満足する再生粗骨材を使用する限り、呼び強度および割合強度を十分に確保できる。また、原粗骨材の外観ならびに吸水率の試験結果から、原コンクリートの受入れ先が変わることによって原粗骨材の品質に変動がみられているが、同一の工程で連続的に製造を行なった再生粗骨材の品質は安定していた。

7. まとめ

原コンクリートの出所が特定されていない中品質の再生骨材を用いたコンクリートの実用化を目的として国土交通大臣認定を取得し、それを2件の実構造物に適用した。その結果、今回適用した再生骨材コンクリートのフレッシュコンクリート性状は、普通骨材を用いたコンクリートとほぼ同等であった。また、ポンプ圧送性は低下する傾向にあったが、再生細骨材の骨材粒度を調整することにより改善した。

謝辞：適用にあたり、武蔵野土木工業（株）の各位に協力を頂きました。ここに付記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹内博幸ほか：再生骨材コンクリートの耐久性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1199-1203，2008.9
- 2) 河野政典，上西隆，小竹琢雄：Mクラス再生骨材を使用したコンクリートの建築物基礎への適用，コンクリート工学年次論文集，Vol30，No2，pp.409-414，2008
- 3) 高橋祐一，榊田佳寛，竹内博幸，黒田満：混入モルタルの存在形態および性質が再生骨材コンクリートの強度性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol33，No1，pp.1517-1522，2011
- 4) 棚野博之，鹿毛忠継，濱崎仁，杉本琢磨：中品質再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの性能評価と活用に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol29，No1，pp.165-170，2007
- 5) 入江真吾，神代泰道，一瀬賢一：建物解体コンクリート塊から製造した再生粗骨材の品質が再生骨材コンクリートに与える影響について，コンクリート工学年次論文集，Vol31，No1，pp.1777-1782，2009