

報告 2種類の再生粗骨材コンクリートによる現場適用事例

新谷 彰^{*1}・依田 和久^{*2}・小野寺 利之^{*3}・川西 泰一郎^{*4}

要旨：本報では JIS A 5021 (コンクリート用再生骨材 H) の規定値を満たす再生粗骨材 H (以下, 高品質再生粗骨材) 及び, 当該規定値を若干下回る中品質再生粗骨材を用いた 2 種類の再生粗骨材コンクリートを集合住宅の平屋建て集会所の上部躯体に適用した事例について述べる。試験練りによって, これら再生粗骨材コンクリートのフレッシュ, 強度, 耐久性状が共に現場適用に支障のないことを確認した。また, 現場適用時においてフレッシュ, 強度性状及び外観の確認を行ない, 所要の品質を確認した。

キーワード：再生骨材コンクリート, 現場適用, 高品質再生粗骨材, 中品質再生粗骨材

1. はじめに

昨今, 資源循環の観点から, コンクリート材料の再利用に関する研究が活発であり, 再生コンクリートにおいても一般構造部材への適用事例が報告されている。2004 年度には高品質再生骨材の JIS (JIS A 5021) が制定され, 現在これを満たす再生骨材製造技術の確立及び普及が望まれている。一方, 歩留まり, コストバランスの観点から JIS A 5021 の規定値まで高度処理を行わない中品質再生骨材についてもコンクリートの所要の品質を確保し, 一般構造部材への適用可能な製造技術の確立が望まれている¹⁾。

本現場適用では, 高品質再生粗骨材の製造技術として機械式すりもみ方式²⁾を, 中品質再生粗骨材の製造技術としてスクリー磨砕方式³⁾を採用した。また, コンクリートの製造は共に同一の生コンプラントにて行った。2 種類の再生粗骨材コンクリートは試験練りにて各種性状を確認し, 個々に国土交通大臣の認定(適用建物限定)を取得し適用に至った。中品質に関しては一般上部躯体への適用が国内初となるため, 大臣認定の性能評価申請にあたり, コンクリートの耐久性試験を行い, その品質の検討を行った。

再生粗骨材の原料はUR都市機構が所有する昭和31年竣工の賃貸住宅(写真-1)の解体時に発生するコンクリート塊である。再生粗骨材コンクリートは同敷地内に新築される設計基準強度 24N/mm^2 の建築物(東京都三鷹市牟礼団地)に適用するもので, 適用部位は平屋建て集会所の上部躯体である。図-1に, 平面図及び立面図を示す。



写真 - 1 解体建屋

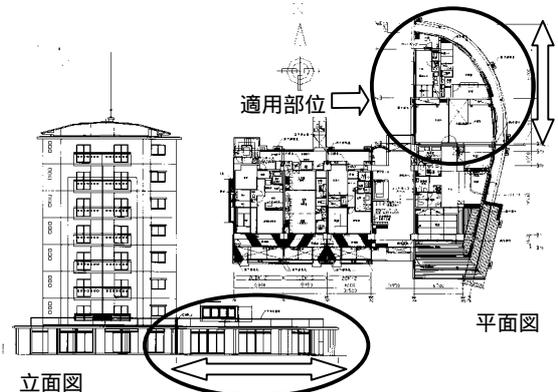


図 - 1 適用建物

*1 鹿島技術研究所 建築生産グループ 研究員 (正会員)

*2 鹿島技術研究所 建築生産グループ 上席研究員 工博 (正会員)

*3 鹿島技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 (正会員)

*4 独立行政法人 都市再生機構 都市住宅技術研究所 住まい技術研究チーム (正会員)

2. 室内試し練り

2.1 試験目的

生コンプラントの試験室にて 2 種類の再生粗骨材コンクリート及び普通コンクリートの試験練りを行い、フレッシュ性状及び強度、耐久性性状を確認することを目的とする。なお、これらの結果は大臣認定の性能評価申請の資料とした。

2.2 試験計画

(1) 試験概要

コンクリートの W/C を 40 A6 52% で設定し、その各種性状を確認した。

(2) 使用材料及び調合

使用骨材の物理的性質を表 - 1 に示す。粗骨材は高品質再生粗骨材(以下, HG)が粒度区分 2005, 中品質再生粗骨材(以下, MG)が粒度区分 2505 であり、共に原骨材は川砂利である。なお、アルカリシリカ反応性は原骨材及び再生骨材で無害と判定されている。天然砕石(以下, NG)は東京都青梅産硬質砂岩で、その粒度区分は 2005 である。その他の使用材料は、千葉県君津産山砂、東京都青梅産砕砂、普通ポルトランドセメント(T社製, 密度 3.16g/cm³), 上水道水、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤とした。

コンクリートの種類及び調合を表 - 2 に示す。調合は、生コンプラントの実績を考慮し、HG, MG, NG 共に粗骨材のかさ容積を 0.575m³/m³ で一定とした。また、3 種類の W/C のうち 46% を基本として、現場荷卸時を経時 60 分と想定し、その時点でスランプ 18 ± 2.5cm, 空気量 4.5 ± 1.5% のコンクリートが得られるよう経時変化試験を行った。その結果、練り上がり時の目標値をスランプ 20 ± 2.5cm, 空気量 5 ± 1.5% とした。

(3) 練り混ぜ及び養生

練り混ぜは、容量 60L の強制二軸ミキサで砕砂、セメント、山砂の順に投入し空練り 10 秒間、混練水投入後 20 秒間練り混ぜを行なった後、粗骨材を投入し、60 秒間練り混ぜて行なった。圧縮強度供試体は、10 × 20cm で整形し、生コンプラントにて所定の材齢まで標準養生(20 水中)を行なった。なお、M については低温での

強度発現性を確認するために 5 水中養生も実施した。

(4) 試験項目及び方法

試験の項目及び方法を表 - 3 に示す。これらは、凍結融解抵抗性及びクリープ試験を除き、大臣認定申請時に評価機関と協議し必要とされた試験項目であり、本報告では、その結果の一部について言及する。

2.3 試験結果及び考察

(1) フレッシュ性状

フレッシュ性状の結果を表 - 4 に示す。また、H46 の練り上がり時のスランプ性状を写真 - 2 に示す。性状は全種類共に粗骨材の分離がなく良好であった。

表 - 1 使用骨材の物理的性質

区分	記号	分類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粒径判定実積率 (%)	微粒分量 (%)	粗粒率
粗骨材	HG	高品質再生	2.50	2.28	63.0	0.2	6.55
	MG	中品質再生	2.36	4.66	62.3	1.5	6.81
	NG	砕石	2.64	0.79	59.1	0.2	6.60
細骨材	NS	山砂	2.51	2.51	-	1.8	1.99
		砕砂	2.59	1.18	54.8	2.3	3.05

表 - 2 コンクリートの種類と調合

記号	骨材の種類		W/C (%)	単体量 (kg/m ³)		高性能 AE 減水剤
	粗骨材	細骨材		水	粗骨材	
H40, 46, 52	HG	NS*1	40, 46, 52	170	934	C × 0.8%
M40, 46, 52	MG		40, 46, 52		939	C × 1.0%
N46	NG		46		918	C × 1.0%

*1 山砂: 砕砂 = 30: 70

表 - 3 試験項目及び方法

区分	試験項目	方法	高品質	中品質
フレッシュ	スランプ	JIS A 1101	○	○
	スランプフロー	JIS A 1150	○	○
	空気量	JIS A 1128	○	○
	単位容積質量	JIS A 1116	○	○
	コンクリート温度	棒状温度計による	○	○
	塩化物量	JASS 5T-502	○	○
	ブリーディング	JIS A 1123	○	○
	練り上がり性状	目視観察による	○	○
強度	経時変化	-	○	○
	圧縮強度*1	JIS A 1108	○	○
耐久性	静弾性係数(ポアソン比)	JIS A 1109	○	○
	長さ変化	JIS A 1129	○	○
	凍結融解抵抗性	JIS A 1153	△	△
	促進中性化	JIS A 1147	-	○
	クリープ	JIS 原案	-	△

*1 材齢 7, 28, 91 日(中品質は標水養生に加え、5°C 水中、20°C 封緘養生を実施)

表 - 4 フレッシュ時の性状

記号	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	練り上がり性状
H40	21.5	37.5 × 37.0	5.4	17.0	良
H46	22.0	38.5 × 35.5	5.2	16.5	良
H52	22.0	42.0 × 37.5	5.2	17.0	良
M40	22.5	38.0 × 36.5	5.5	15.5	良
M46	20.5	35.5 × 35.0	4.2	15.0	良
M52	22.5	41.0 × 39.0	4.2	15.0	良
N46	20.0	32.0 × 32.0	4.8	15.0	良

(2) 圧縮強度試験

各種コンクリートの材齢と圧縮強度の関係を図-2に示す。MはHとほぼ同等の強度を示した。Mにおいて材齢28日のM(標準養生)とM5(5水中養生)の強度差は4.5~5.3N/mm²であり、Mの気温による強度補正値はJASS5に準拠するものとした。なお、材齢28日~91日ではMとM5の強度増加量は同等であった。

(3) 長さ変化率

材齢6ヶ月までの長さ変化試験の結果を図-3に示す。長さ変化率はH,M共にW/Cに関係なく-800~-900μに収束し、砕石を用いたコンクリートと比較してほぼ同等であった。

3. 実機試し練り

3.1 試験目的

生コンプラントの実機ミキサにて2種類の再生粗骨材コンクリートの試験練りを行った。目的は、フレッシュ性状、スランプの経時変化の確認及び強度性状を把握し、施工性の検討及びセメント水比と強度の関係を求め、調合強度に応じた水セメント比を定めることである。なお、これらの結果は室内試験の結果と併せ、大臣認定の性能評価申請の資料とした。

3.2 試験計画

(1) 試験概要

室内試験練りの結果を踏まえ、HG, MGの粗骨材のかさ容積を室内試験と同様に0.575m³/m³で一定とし、また、W/Cを40, 46, 52%で設定し、その各種性状を確認した。

(2) 使用材料及び調合

使用材料は室内試験と同様である。コンクリートの種類及び調合を表-5に示す。室内試験練り時の経時変化を参考に、経時60分にてスランプ18±2.5cm, 空気量4.5±1.5%のコンクリートが得られるよう検討した。その結果、目標値は室内試験練りと同様とし、練り上がり時のスランプ20±2.5cm, 空気量5±1.5%とした。また、管理中央値のコンクリート製造を目標に混和剤添加量を調整した。

(3) 練り混ぜ及び養生

練り混ぜは、容量3500Lの強制二軸ミキサでセメント、混練水、砂を投入し空練りを行い、その後、粗骨材を投入し、25秒間練り混ぜて行った。なお、1バッチあたり2m³製造しアジテータ車に排出した。圧縮強度供試体は、10×20cmで整形し、所定の材齢まで標準養生(20水中)、現場水中養生、現場封緘養生を実施した。

(4) 試験項目及び方法

試験項目及び方法を表-6に示す。

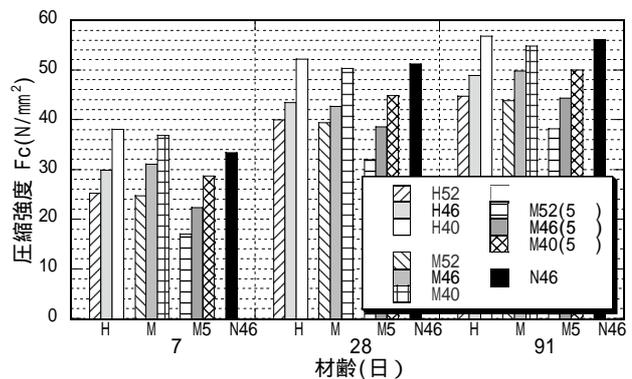


図-2 材齢と圧縮強度の関係

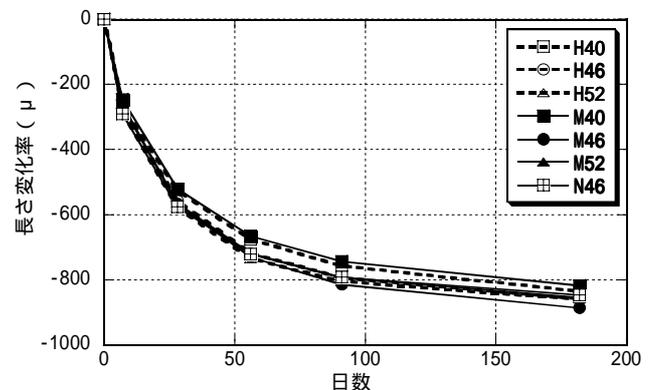


図-3 長さ変化率

表-5 コンクリートの種類及び調合

記号	骨材の種類		W/C (%)	単体量 (kg/m ³)		高性能 AE減水剤
	粗骨材	細骨材		水	粗骨材	
ZH40, 46, 52	HG	NS*1	40, 46, 52	170	934	C×0.7%
ZM40, 46, 52	MG		40, 46, 52	170	939	C×0.85%

*1 山砂:砕砂=30:70

表-6 試験項目及び方法

区分	試験項目	方法
フレッシュ (経時変化)	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	棒状温度計による
	練り上がり性状	目視観察による
強度	圧縮強度*1	JIS A 1108
コンクリートのアルカリシリカ反応性*2		ZKT-206

*1 標準:材齢7, 28, 91日, 現場水中:28日, 現場封緘56, 91日

*2 全国生コンクリート工業組合連合会による迅速判定試験方法

3.3 試験結果及び考察

(1) フレッシュ性状

各種コンクリートのスランプの経時変化を図-4に示す。練り上がり時はZH, ZM共に目標とする管理値の中央値であり、空気量は4.3~4.7%であった。ZH46の練り上がり時のスランプ性状を写真-3に示す。全種類においてその性状は良好であった。経時60分ではZH46, ZM46共にほぼ目標値の性状を示した。経時90分ではZM40は他と比較しスランプロスが大きく、これは、粗骨材の微粒分の影響であると考えられた。従って、ZMはW/Cが小さい場合、打設時間の管理を適切に行う必要があると思われた。

(2) 圧縮強度試験

圧縮強度試験結果を表-7に示す。標準養生28日と現場水中養生28日の差はZH, ZM共に見られなかった。これは、本試験練りを5月に行い、積算温度がほぼ同等であったことによるものと考えられる。

H及びMのセメント水比と圧縮強度の関係及びその採用式を図-5及び図-6に示す。過去に実績が無いため、安全を考慮して、H, M共に実機試験式×90%を採用した。これは、申請範囲において生コンプラントの砕石を用いたコンクリートの実績式に対しても安全側とした。

調合強度 F_{28} は、ばらつきを考慮し正規偏差1.73を2.0とし、その他はJASS5に従って求め、前述の採用式から呼び強度33, 30, 27の水セメント比を決定した。表-8にその関係を示す。

(3) コンクリートのアルカリシリカ反応性

各種コンクリート中で最もアルカリ量の多いZH40, ZM40にてZKT-206(迅速判定試験)による試験を行った。結果は共に相対動弾性係数が95%を上回り、反応性なし(A)(相対動弾性係数80%以上)と判定された。

表-8 呼び強度と水セメント比の関係

呼び強度	水セメント比(%)	
	H	M
27	50.3	51.2
30	47.2	47.0
33	44.5	43.5

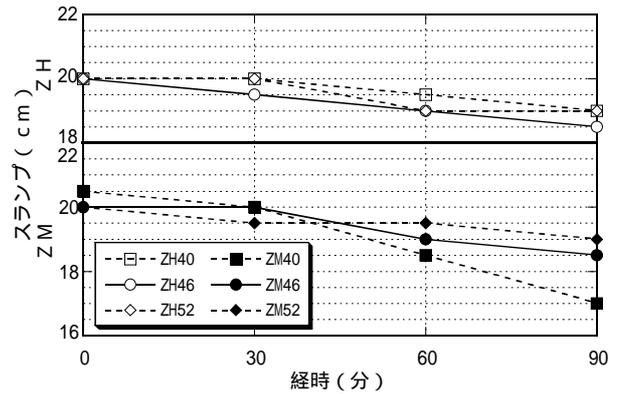


図-4 スランプの経時変化



写真-3 練り上がり時のスランプ(ZH46)

表-7 圧縮強度試験結果

記号	圧縮強度(N/mm ²)					
	標準養生			現場水中		
	7d	28d	91d	28d	56d	91d
ZH40	41.8	52.5	52.9	52.3	52.0	52.3
ZH46	30.4	40.8	45.2	40.5	38.5	44.1
ZH52	23.3	34.8	40.1	35.1	36.2	39.2
ZM40	41.8	48.5	56.6	50.0	49.7	53.8
ZM46	33.4	41.4	42.5	42.2	41.0	42.1
ZM52	24.6	35.0	39.3	36.3	38.3	38.2

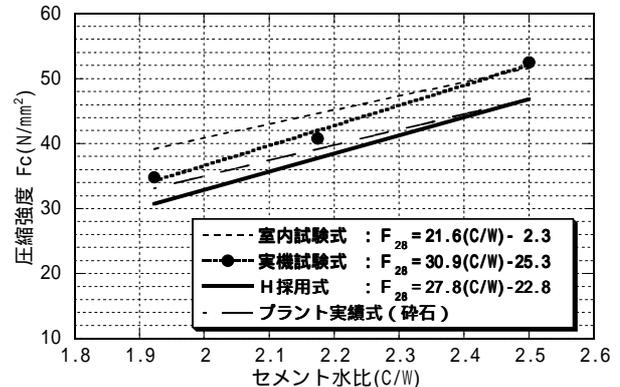


図-5 Hのセメント水比と圧縮強度の関係

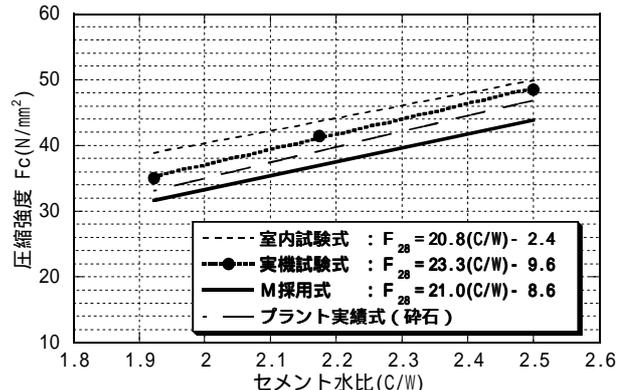


図-6 Mのセメント水比と圧縮強度の関係

4. 実施工

4.1 適用概要

再生粗骨材コンクリートの打設状況を写真 - 4 に示す。2 種類の再生粗骨材コンクリート（以下、再生 H、再生 M）を同一躯体に打設するため、垂直に打継ぎを設けた。それぞれの打設数量は、再生 H、再生 M 共に 30m³ であり、打設部位は壁及び底である。なお、屋上スラブは普通コンクリートを打設した。施工時期は共に 11 月下旬であり、再生 H を打設後、中 2 日で再生 M を打設した。呼び強度は共に 33N/mm² である。なお、打設後の観察壁を再生 H、再生 M それぞれ壁 1 面づつ設置し外観の確認を行った。



写真 - 4 再生粗骨材コンクリートの打設状況

表 - 9 使用骨材の物理的性質（受入れ検査）

項目	記号	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粒径判定 実積率(%)	微粒子量 (%)	粗粒率
再生粗骨材	HG	2.49	2.45	62.8	0.3	6.47
	MG	2.35	4.68	62.3	1.6	6.96
品質基準	HG	2.5以上	3.0以下	55以上	1.0以下	6.60±0.30
	MG	2.3以上	5.0以下	-	2.0以下	6.80±0.30

4.2 現場適用計画及び実施

(1) 使用材料及び調合

現場適用に使用する再生粗骨材 HG、MG の生コンプラント受入検査時の物理的性質を表 - 9 に示す。いずれも大臣認定で申請した品質基準を満足した。再生粗骨材コンクリートの調合を表 - 10 に示す。

表 - 10 コンクリートの調合

記号	呼び強度	骨材の種類		W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					高性能 AE減水剤
		粗骨材	細骨材			W	C	S1	S2	G	
再生H	33	HG	NS ^{*1}	44.5	45.0	170	382	233	544	934	C×0.75% ^{*2} C×0.80%
再生M	33	MG	NS ^{*1}	43.5	42.5	170	391	219	511	939	C×0.90% ^{*2} C×0.85%

*1 山砂(S1): 砕砂(S2)=30:70 *2 1台目のみ

(2) 品質管理

コンクリートの品質管理における試験項目及び方法を表 - 11 に示す。通常の品質管理の他に、筒先における性状確認と圧縮強度供試体を採取し試験を行った。なお、荷卸時の管理値はスランプ 18±2.5cm、空気量 4.5±1.5% である。

表 - 11 品質管理試験項目及び方法

区分	試験項目	方法
フレッシュ	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	棒状温度計による
	練上り性状	目視観察による
強度	圧縮強度 ^{*1*2}	JIS A 1108

*1 標準: 出荷(工程検査)材齢7, 28日, 受入(製品検査)材齢7, 28日, 筒先材齢28日

*2 現場水中: 構造体強度 材齢28日

4.3 コンクリートの各種性状

(1) フレッシュ性状

フレッシュ性状の結果を表 - 12 に、スランプ試験状況を写真 - 5 に示す。再生 H、再生 M 共に全ての試験において荷卸時のフレッシュ性状は管理値を満足し、良好であった。荷卸時に対する筒先でのスランプ値は再生 H ではロスがないが、再生 M では 0~2.5cm (平均 1.3cm) のロスが見られた。左官工からは、「作業に支障はないが、底の均し作業時に再生 H と比較し、再生 M は打設当初の鏝の走りは良いが締りがやや早いため徐々に均し難くなる」という意見が聞かれ、実機試し練り時の ZM40 に近似した経時変化を示したものと考えられる。

表 - 12 フレッシュ時の性状

種類	試験回数	試験時期	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	性状
再生 H	1	出荷	20.5	5.5	17.0	良
		荷卸	16.0 [※]	4.2 [※]	19.0	
		筒先	18.5	4.7	18.0	
	2	出荷	20.5	5.4	19.0	良
		荷卸	19.0	4.7	19.5	
		筒先	19.0	5.0	19.0	
3	出荷	21.0	5.7	19.0	良	
	荷卸	20.0	5.3	19.0		
	筒先	20.5	4.9	18.0		
再生 M	1	出荷	21.0	5.3	18.0	良
		荷卸	18.0	4.1	18.0	
		筒先	16.5	5.7	18.0	
	2	出荷	20.5	5.8	18.0	良
		荷卸	19.5	5.7	19.0	
		筒先	17.0	5.5	19.0	
	3	出荷	20.0	5.9	18.5	良
		荷卸	18.0	4.8	19.0	
		筒先	18.0	5.4	19.0	

※サンプリングが不適切であり参考値



再生 H



再生 M

写真 - 5

(2) 圧縮強度試験

圧縮強度試験結果を表 - 13 に示す。現場荷卸しの圧縮強度は再生 H ,再生 M 共に材齢 28 日において呼び強度を上回り, また構造体強度においても $27\text{N/mm}^2 (= F_{C+} F = 24+3)$ を上回ったことから, 施工した再生粗骨材コンクリートの圧縮強度は所要の数値を満たしていると判断される。筒先で採取したコンクリートの強度発現も良好であった。材齢 28 日において現場荷卸の圧縮強度は, 工場出荷の圧縮強度に対して再生 H ,再生 M 共に 2N/mm^2 小さい。再生 H は再生 M に対して現場荷卸, 工場出荷共に 7.5N/mm^2 大きく, 再生 H は大幅に安全側の結果となった。

(3) 外観

打設から約 1 ヶ月後の観察壁の外観を写真 - 6 に示す。2 種類の再生粗骨材コンクリート共に同等の外観であった。型枠の品質, 建て込み精度に起因するポイド, 砂すじ, 色目の違いが見られるが, 目立ったジャンカやひび割れは観察されなかった。これらから, 2 種類の再生粗骨材コンクリートは外観上においても普通コンクリートと同等と考えられる。

5. まとめ

今回の試験練り及び現場適用により得られた結果を下記に示す。

- (1) 中品質再生粗骨材コンクリートのフレッシュ性状は, 高品質のものと比較し, 練り上がり時はほぼ同等のものを製造できるが, W/C が 40% 程度では経時変化がやや大きくなった。
- (2) 試験練り時において, 長さ変化率は高品質, 中品質再生粗骨材コンクリート共に砕石使用普通コンクリートとほぼ同等であった。
- (3) 現場適用時の圧縮強度は高品質, 中品質再生粗骨材コンクリート共に品質基準を満足した。中品質再生粗骨材コンクリートの圧縮強度は高品質と比較し, 試験練り時にはほぼ同等, 現場適用時には, やや小さい結果となった。
- (4) 現場適用時において, 外観は高品質及び中品質再生粗骨材コンクリートに差はなく, 普通コンクリートと同等であった。

表 - 13 圧縮強度試験結果

圧縮強度 (N/mm ²)												
項目	工程検査				製品検査(受入検査)				構造体強度		筒先強度	
採取	工場出荷 ^{※1}				現場荷卸 ^{※1}				現場荷卸 ^{※2}		筒先 ^{※3}	
養生	標準				標準				現場水中		標準	
材齢	7日		28日		7日		28日		28日		28日	
再生H	40.6	平均	53.8	平均	38.6	平均	50.0	平均	53.6	平均	53.0	平均
	40.0	40.4	54.1	53.6	40.6	39.8	52.3	51.5	53.4	51.7	54.5	53.1
再生M	35.2	平均	45.7	平均	32.5	平均	43.4	平均	41.6	平均	47.6	平均
	34.5	34.9	47.2	46.1	34.5	33.5	44.8	44.0	39.8	41.8	46.1	45.2
	35.1		45.5		33.4		43.7		43.9		41.9	

※1 再生Hは4台目, 再生Mは3台目で3本づつ採取

※2 再生Hは1, 4, 6台目, 再生Mは1, 3, 5台目で1本づつ採取

※3 再生Hは1, 4, 6台目, 再生Mは1, 3, 5台目で3本づつ(計18本)採取



再生 H

再生 M

写真 - 6 観察壁の外観

本現場適用時においては, 長さ変化試験も行った。今後, 現場観察壁の観察と共にその性状を把握し, 引き続き報告する予定である。

謝辞: 再生粗骨材コンクリートの現場適用に当たっては, (社)建築研究振興協会「再生コンクリート等の実用化に関する研究委員会」(委員長: 清水昭之東京理科大学教授)の委員諸氏にご指導を賜ったとともに, 宍戸コンクリート工業(株), (株)ポゾリス物産ほか関係各位に多大なご尽力をいただきました。記して, 感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 再生骨材標準化委員会編: コンクリート用再生骨材の普及促進に関するシンポジウム, 日本コンクリート工学協会, 2005.9
- 2) 依田和久ほか: 機械式すりもみ装置により製造した再生粗骨材及び再生細骨材の品質, コンクリート工学年次論文報告集, 2004.7
- 3) 和知秀樹ほか: コンクリート副産物の高度処理技術とコンクリート粗骨材への適用, 第 51 回セメント技術大会講演要旨, pp.214-215, 1997