

報告 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

河野 政典^{*1}・上西 隆^{*2}・小竹 琢雄^{*3}

要旨：解体コンクリート塊の再利用について、現状ではそのほとんどが路盤材への適用であるが、今後はコンクリート用骨材としてのリサイクルが望まれている。今回、Mクラス再生骨材を使用したコンクリートを建築物の場所打ち杭と基礎に適用した。この再生骨材コンクリートは、通常のコンクリートと同様の品質および施工性を有しており、構造体に十分適用可能であることが確認された。

キーワード：リサイクル, Mクラス再生骨材, コンクリート, 場所打ち杭, 基礎, 品質管理

1. はじめに

国土交通省の平成 17 年度建設副産物実態調査結果によると、コンクリート塊の発生量は約 3,500 万トンであり、そのリサイクル率は 98.1%と高い。しかし、そのほとんどが路盤材としての再利用であり、今後、増大するであろうコンクリート塊に対しては、路盤材以外のリサイクル用途の開発が必要となる。そのため、コンクリート塊から製造した再生骨材をコンクリート用骨材として利用する研究が行われ、実施例も見られるようになった¹⁾。また、コンクリート用再生骨材 H, M, L の JIS 規格が 2005~2007 年に制定され、再生骨材の使用環境は徐々に整備されつつある。

しかし、再生骨材コンクリートを建築構造部材に適用するには建築基準法第 37 条に基づく国土交通大臣の認定が必要であり、再生骨材の製造手間やコストの問題、再生骨材コンクリートの構造部材への適用実施例が極限られている等の理由により採用が見送られ、現状ではあまり普及していない。

今回、コンクリート塊のリサイクルの一層の推進を目指して、Mクラス再生骨材を使用したコンクリートの大臣認定を取得し、首都圏広域と関西地区に再生骨材コンクリートを供給できる体制を構築した。そして、2 件の建物において場所打ちコンクリート杭と基礎に適用したので報告する。

2. 再生骨材コンクリートの概要

2.1 使用範囲と供給体制

大臣認定を取得した再生骨材コンクリートは、Mクラス再生骨材を粗骨材のみに用いたもの(以下,SR と略記)と、粗骨材と細骨材の両方に用いたもの(以下,RR と略記)の 2 種類である。なお、本報では、使用した再生骨材の中には、JIS A 5022 再生骨材 M を用いたコンクリート附属書 A 再生骨材 M の密度・吸水率と一部異なるも

のがあるため“Mクラス”と称した。RR は場所打ち杭への適用に限定されるが,SR は場所打ち杭と基礎に適用できる。設計基準強度の範囲は 21N/mm²~36N/mm²(指定強度で 24N/mm²~39N/mm²)である。

再生骨材コンクリートの現場への供給は、再生骨材プラントで製造したMクラス再生骨材を生コン工場へ運搬し、生コン工場において通常のコンクリートと同様に再生骨材コンクリートを製造して、現場へ輸送する。

表 - 1 Mクラス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
絶対密度 (g/cm ³)	細骨材: JIS A 1109	450ton/ロットにつき 1 回試験	細: 2.2 以上 粗: 2.4 以上
吸水率 (%)	粗骨材: JIS A 1110		細: 8.0 以下 粗: 4.0 以下
塩化物量 (%)	JIS A 1154 酒石酸簡易法 ²⁾	工事着手前と 450ton/ロットにつき 1 回試験	全 Cl ⁻ として 細: 0.014 以下 粗: 0.010 以下
珪酸反応性	ZKT-206		反応性なし(A)

*使用した再生骨材の中には、JIS 再生骨材 M の密度・吸水率と一部異なるものがあるため“Mクラス”とした。

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
スランプ	JIS A 1101	150m ³ につき 1 回	8cm 以上 18cm 以下: ± 2.5 cm
空気量	JIS A 1128		21cm: ± 1.5 cm ^{*1}
コクリート温度	JIS A 1156		4.5 ± 1.5 %
塩化物量	JASS5T-502	打設日ごとに 1 回	5 ~ 35
圧縮強度	JIS A 1108 JIS A 1132	150m ³ につき 1 回	1 回の試験結果は指定 強度の 85%以上 3 回の試験結果の平均 値は指定強度以上

*1: 指定強度 27N/mm²以上で高性能 AE 減水剤使用の場合は ± 2.0cm

*2: 再生骨材コクリートの塩化物量の管理値 (kg/m³)

*3: 再生骨材以外の材料の塩化物量 (kg/m³)

*1 (株)奥村組 技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 博士(工学)(正会員)

*2 (株)奥村組 技術本部 建築部 課長 (正会員)

*3 (株)奥村組 東京支社 建築工務部 課長 (正会員)

2.2 再生骨材および再生骨材コンクリートの品質管理

Mクラス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、出所が特定されていないコンクリート塊から製造されたものを対象とするため、以下に記す塩化物量の管理とアルカリシリカ反応抑制対策を実施する必要がある。なお、再生骨材コンクリートの品質管理は、塩化物量の管理基準以外、通常のコンクリートと同じである。

(1) 再生骨材の塩化物量の管理

再生骨材の塩化物量については、付着モルタル中の固定化された塩化物も含めた全塩化物量を測定して管理することとし、管理基準はMクラス再生骨材の全塩化物量の測定実績値をもとに設定した。

再生骨材の塩化物量の測定では、酒石酸を用いた塩化物量簡易法を併用しており、本簡易法については太田らが有効性を報告している²⁾。再生骨材の塩化物量の管理値は 0.010% 以下としており、太田らの実験範囲の下限值 0.016% より小さい。塩化物量の測定は、再生骨材粉碎試料、精製水および試薬を反応させ、その溶液試料をろ過したろ液にモル法原理による簡易測定器を入れて測定する。太田らは測定試料に対する精製水の質量比は 1:4 を推奨しているが、この比率では希釈率が大きく、管理値が簡易測定器の測定保証下限値よりも小さくなるため、ここでは測定試料に対する精製水の質量比は 1:2 とし、事前検討を行った。精製水の質量比は 1:2 とした場合、通常のろ紙によるろ過には時間を要し、ろ液の量も少なくなるため、ろ過にはろ材が内蔵されたシリンジ（容量 10cm³）を用い、強制的にろ過を行った。

簡易法による測定結果と JIS A 1154 による塩化物量の測定結果を図 - 1 に示す。再生骨材試料の他、モルタル試料についても測定を行った。簡易法による測定結果は塩化物量 0.010% 前後においても JIS A 1154 による測定結果と概ね一致しており、測定試料に対する精製水の質量比を 1:2 とした場合でも、本測定法により塩化物の管理が可能であると判断した。

(2) 再生骨材コンクリートの塩化物量の管理

再生骨材コンクリートの塩化物量については、通常のコンクリートと同様に JASS 5T-502 に従って測定するが、再生骨材の付着モルタル中に固定化されている塩化物量を含めて管理する必要がある。また、塩化物量が過大な再生骨材が何らかの理由で混入した場合でも、再生骨材コンクリート中の全塩化物量が 0.30kg/m³ 以下となるように管理基準を設定しなければならない。そこで、再生骨材の付着モルタルから溶出する塩化物量は、既往文献³⁾および JIS A 5002 (5.5) の骨材塩分量試験と JIS A 1154 による全塩分試験結果⁴⁾より、再生骨材全塩化物量の 1/5 とし、管理基準 (C_C) は溶出する塩化物量と再生骨材以

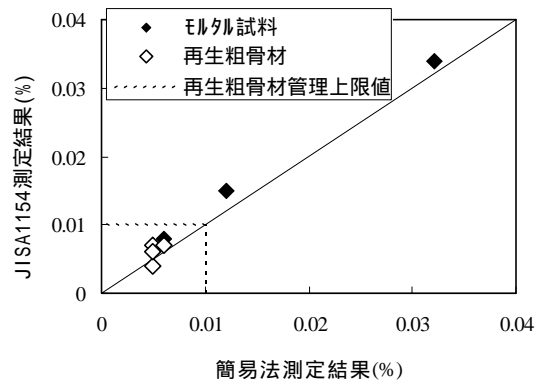


図 - 1 簡易法とJIS A 1154による塩化物量の測定結果

表 - 3 再生コンの適用建物・部位概要

建物 A	
用途	共同住宅
構造規模	壁式P C a造 5階
建築面積	895.1m ²
延床面積	2,937.47m ²
適用部位	場所打ち杭 再生コン RR 6本 55m ³ 再生コン SR 23本 395m ³ 耐圧盤・フーチング 再生コン SR 600m ³

表 - 4 再生骨材コンクリートの調合（適用例 A）

種別	W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)				フルツ1 Cl ⁻ 管理値 kg/m ³
			C	W	S	G	
杭 SR	49.5	43.8	372	184	730	R 938	0.087 以下
杭 RR	49.5	43.0	382	189	R 715	R 938	0.080 以下
基礎 SR	49.5	41.8	358	177	709	R 987	0.086 以下

数字の前に R と記してあるのが再生骨材

外の材料（セメント、水、普通骨材、混和剤等）の塩化物量 (C_M) から表 - 2 に示すように算出した。

(3) アルカリシリカ反応抑制対策

アルカリシリカ反応抑制対策としては、抑制効果のある高炉セメント B 種を使用する。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) により、無害 (反応性なし (A)) であることを確認することとした。

3. 再生骨材コンクリートの適用例 A

3.1 建物・適用部位概要

再生骨材コンクリートの適用建物・部位概要を表 - 3 に示す。適用した建物は、壁式 P C a 造 5 階建ての共同住宅（神奈川県横浜市内）である。再生骨材コンクリートは、場所打ち杭と耐圧盤・フーチングに適用した。場所打ち杭（杭径 700 ~ 1200mm、杭長 11.5 ~ 13.8m）29本のうち、23本（395m³）に SR を、6本（55m³）に RR を用いた。また、耐圧盤・フーチング（600m³）には SR

を用いた。再生骨材コンクリートの指定強度は場所打ち杭，耐圧盤・フーチングとも 33N/mm^2 ，管理材齢 56 日である。スランプは，杭では 18cm ，基礎では 15cm であり，空気量はすべて 4.5% である。再生骨材コンクリートの調合を表 - 4 に示す。

3.2 Mクラス再生骨材の品質

再生骨材の絶乾密度と吸水率は，表 - 5 に示すようにすべて管理基準を満足していた。

全塩化物量の測定結果は，粗骨材で $0.002 \sim 0.003\%$ (管理基準は 0.010% 以下)，細骨材で $0.001 \sim 0.002\%$ (同， 0.014% 以下) であり，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 - 6 に示すように，すべて反応性なし(A)であった。

以上のように，再生粗骨材，再生細骨材とも所定の品質を有するものであった。

表 - 5 再生骨材の絶乾密度と吸水率

適用例 A		絶乾密度 g/cm^3	吸水率 %
管理値	粗骨材	2.4 以上	4.0 以下
	細骨材	2.2 以上	8.0 以下
粗骨材	受入れ	2.49	2.46
	受入れ	2.60	2.03
	受入れ	2.60	1.72
細骨材	受入れ	2.52	2.63

表 - 6 アルカリシリカ反応性迅速試験結果

	再生 の種類	試験結果		
		相対溶解性 係数の 平均値 (%)	各試験体の値 と平均値の差 (最大値 %)	判定 平均値 80% 以上 差 3% 以下
工事前	SR	90.5	0.0	反応性なし(A)
	RR	95.1	0.1	反応性なし(A)
杭 (450以下)	SR	95.2	1.6	反応性なし(A)
	RR	91.0	1.0	反応性なし(A)
基礎	SR	94.1	1.1	反応性なし(A)
	SR	93.1	1.1	反応性なし(A)

3.3 再生骨材コンクリートの品質

再生骨材コンクリートのスランプの試験結果を図 2，空気量の試験結果を図 - 3 に示す。スランプ，空気量とも管理基準を満足しており，所定のフレッシュ性状のコンクリートが得られた。

材齢 56 日での圧縮強度試験結果を図 - 4 に示す。圧縮強度 (標準水中養生) は，管理材齢 56 日において指定強度 (33N/mm^2) を十分満足していた。

再生骨材コンクリートの塩化物量の測定結果を図 - 5 に示す。図中には全塩化物量の推定値もあわせて示してある。全塩化物量の推定値は式(1)から算出した。再生

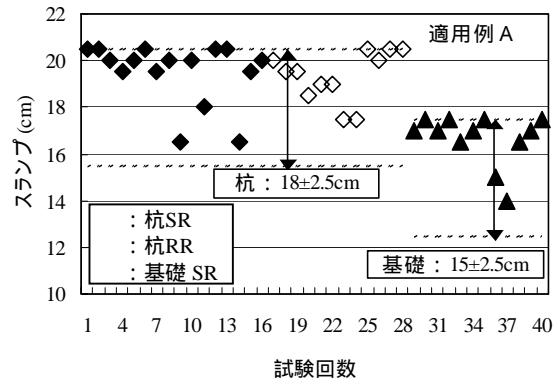


図 - 2 再生骨材コンクリートのスランプの試験結果

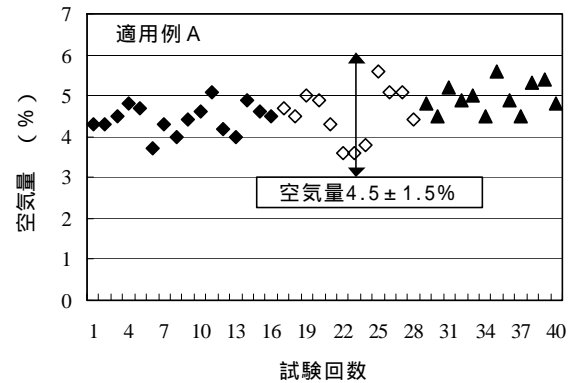


図 - 3 再生骨材コンクリートの空気量の試験結果

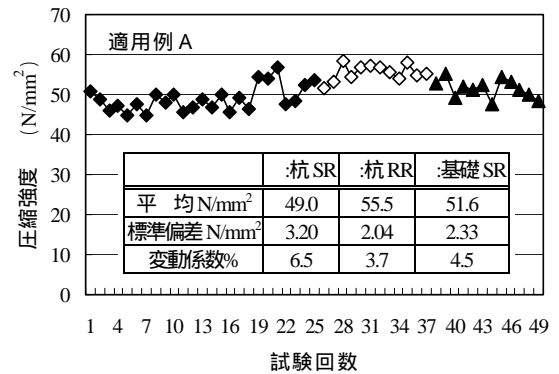


図 - 4 圧縮強度の試験結果

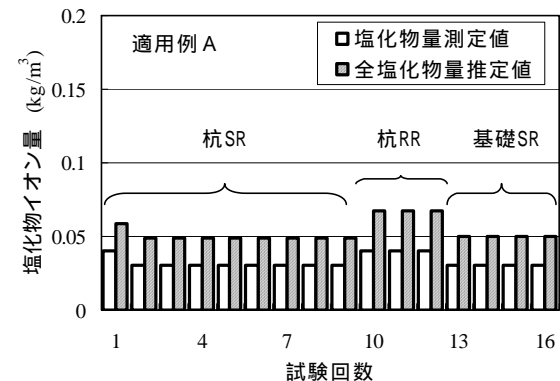


図 - 5 再生骨材コンクリートの塩化物量の測定結果

骨材コンクリートの塩化物量の測定値は、管理基準（0.080～0.087kg/m³以下）を満足し、全塩化物量の推定値も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)

3.4 施工状況

スランプ試験と耐圧盤の打設状況を写真 - 1 に示す。

耐圧盤はポンプにより打設した。ポンプ圧送前後のスランプ、空気量および圧縮強度の比較を表 - 7 に示す。

圧送後の空気量、スランプはやや低下する傾向にあったものの施工上問題のない範囲であった。圧送前後の圧縮強度はほぼ同じであった。

Mクラス再生骨材を使用した再生骨材コンクリートのフレッシュの性状、圧縮強度の発現性状、施工性は通常のコンクリートと同等であり、所定の構造体品質が確保できたと考えられる。

4. 再生骨材コンクリートの適用例 B

4.1 建物・適用部位概要

再生骨材コンクリートの適用建物・部位概要を表 - 8 に示す。適用した建物は、鉄骨造 8 階建ての事務所ビル（兵庫県西宮市内）である。再生骨材コンクリートは、捨てコン（30m³）に RR を、基礎スラブ・フーチング・基礎梁（350m³）に SR を用いた。

再生骨材コンクリートの指定強度は、捨てコン 24N/mm²、基礎 33N/mm²である。スランプは、捨てコン 18cm、基礎 15cm であり、空気量はすべて 4.5%である。再生骨材コンクリートの調査を表 - 9 に示す。

4.2 Mクラス再生骨材の品質

再生骨材の絶対密度と吸水率は、表 - 10 に示すようにすべて管理基準を満足していた。

全塩化物量は、粗骨材で 0.004～0.007%（管理基準は 0.010%以下）、細骨材で 0.006～0.010%（同、0.014%以下）であり、適用例 A の場合より塩化物量は多いが、管理基準を満足していた。

アルカリシリカ反応性試験計 3 回の結果は、相対動弾性係数は 91.3～93.0%と 80%以上であり、平均との差も 0.4～0.8%であり、すべて反応性なし(A)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スランプ・空気量の試験結果を図 - 6 に、材齢 56 日の圧縮強度試験結果を図 - 7 に



写真 - 1 耐圧盤の打設状況

表 - 7 圧送前後のスランプ、空気量および圧縮強度

		圧送前	圧送後
1 回目	スランプ cm	17.5	16.0
	空気量 %	4.5	3.7
	圧縮強度* N/mm ²	47.5	47.4
2 回目	スランプ cm	17.0	16.5
	空気量 %	5.2	4.7
	圧縮強度* N/mm ²	45.5	46.3
3 回目	スランプ cm	16.5	15.0
	空気量 %	5.0	4.1
	圧縮強度* N/mm ²	44.0	44.1

* 材齢 28 日標準水中強度

表 - 8 再生コンの適用建物・部位概要

建物 B	
用途	事務所ビル
構造規模	S 造 8 階
建築面積	762.78m ²
延床面積	5,832.47m ²
適用部位	RR：捨てコンクリート 30m ³ SR：基礎スラブ・フーチング、 基礎梁 350m ³

表 - 9 再生骨材コンクリートの調査（適用例 B）

種別	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				ルックCl ⁻ 管理値 kg/m ³
			C	W	S	G	
捨て RR	55.0	46.2	331	182	R 745	R 897	0.081 以下
基礎 SR	47.0	42.2	368	173	729	R 958	0.083 以下

数字の前に R と記してあるのが再生骨材

表 - 10 再生骨材の絶対密度と吸水率

適用例 B		絶対密度 g/cm ³	吸水率 %
管理値	粗骨材	2.4 以上	4.0 以下
	細骨材	2.2 以上	6.0 以下
粗骨材	受入れ	2.36	3.60
	受入れ	2.40	3.86
	受入れ	2.41	3.82
細骨材	受入れ	2.28	5.61

示す。スランプ、空気量とも所定の性状のものが得られた。また、管理材齢 56 日での圧縮強度は指定強度（基礎 33N/mm²，捨て 24N/mm²）を十分満足していた。

再生骨材コンクリートの塩化物量測定値と全塩化物量の推定値を図 - 8 に示す。塩化物量の測定値は管理基準（0.081～0.083kg/m³以下）を満足しており、全塩化物量の推定値も 0.30kg/m³以下であった。

適用例 B における再生骨材コンクリートのフレッシュ性状、圧縮強度の発現性状も、通常のコンクリートと同等と考えられる。

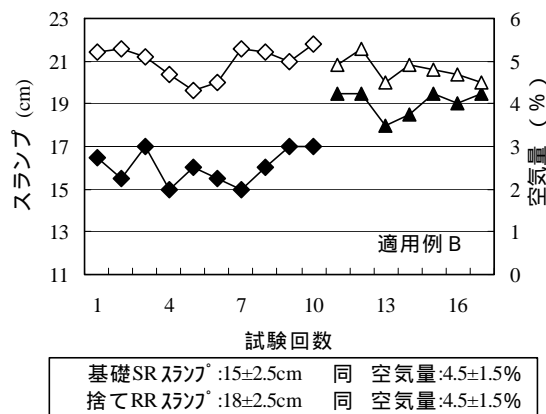


図 - 6 再生骨材コンクリートのスランプ・空気量の試験結果

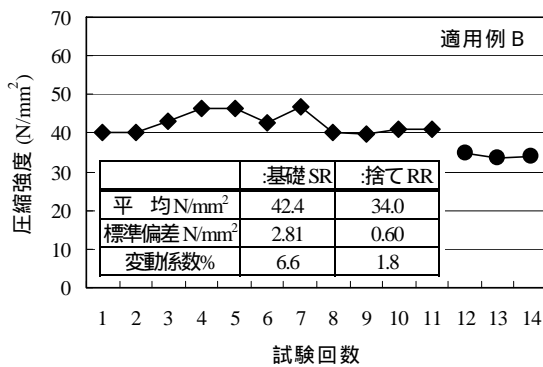


図 - 7 圧縮強度の試験結果

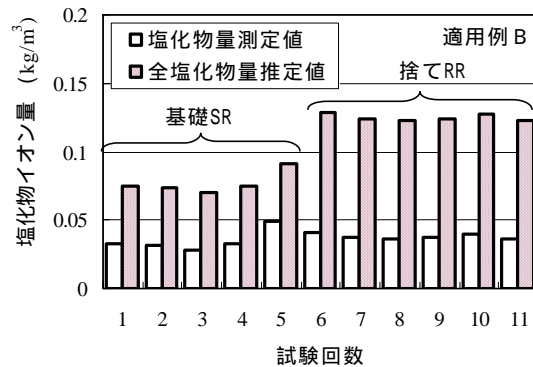


図 - 8 再生骨材コンクリートの塩化物量の測定結果

4.4 施工状況

基礎打設時におけるポンプ圧送前後のスランプ、空気量および圧縮強度の比較を表 - 11 に示す。4 回目試験時における圧送後の空気量の低下がやや大きかったが、それ以外はスランプおよび圧縮強度ともほぼ同じであることから圧送による影響は小さいと判断される。ポンプ圧送性、作業性とも通常のコンクリートと変わらず良好であった。

5. 再生骨材コンクリートの乾燥収縮

適用例 A および B の基礎打設時に採取したコンクリートの乾燥収縮ひずみの測定を約 1 年間行った。測定方法を表 - 12 に、測定結果を図 - 9 に示す。図には、普通天然骨材を使用した場合の予測ひずみを併せて示す。普

表 - 11 圧送前後のスランプ、空気量および圧縮強度

		圧送前	圧送後	
1 回目	スランプ cm	15.5	15.0	
	空気量 %	5.3	5.1	
2 回目	スランプ cm	15.0	16.0	
	空気量 %	4.7	5.0	
3 回目	スランプ cm	16.0	15.0	
	空気量 %	5.2	5.5	
4 回目	圧縮強度* N/mm ²	37.3	37.8	
	スランプ cm	17.0	16.5	
	空気量 %	5.4	4.4	
		圧縮強度* N/mm ²	35.3	36.0

* 材齢 28 日標準水中強度

表 - 12 乾燥収縮測定方法

項目	方法
試験体形状	100×200mm 標点間距離 100mm (n=3)
養生	材齢 7 日まで標準水中養生 その後、温度 20±1℃、湿度 60±5% の環境で静置

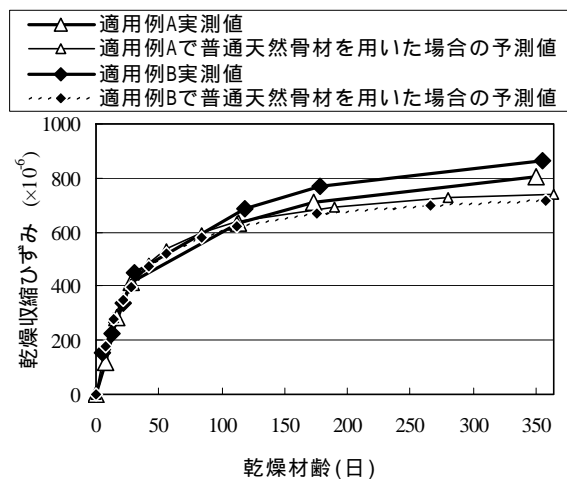


図 - 9 乾燥収縮測定結果と予測値

通天然骨材を使用した場合の予測ひずみは式(2) から算出した⁵⁾。再生骨材コンクリートの乾燥収縮ひずみは、適用例 A では材齢 13 週、適用例 B では材齢 4 週程度までは普通天然骨材の予測値とほぼ同じであったが、長期材齢において再生骨材コンクリートのほうが収縮量は大きくなった。

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = \varepsilon_{sh\infty} \cdot \left(\frac{t - t_0}{\alpha + (t - t_0)} \right)^\beta \quad (2)$$

$$\varepsilon_{sh\infty} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

$$K_1 = (7.4 \cdot W - 0.7 \cdot C - 0.55 \cdot G + 270) \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3$$

$$K_2 = 1.17 \cdot t_0^{-0.08}$$

$$K_3 = 1.28 \cdot \left\{ 1 - (h/100)^3 \right\} \quad (40\% \leq h < 99\%)$$

$$\alpha = 0.16 \cdot (V/S)^{1.8}$$

$$\beta = 1.4 \cdot (V/S)^{-0.18}$$

ここに、 $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$: 乾燥開始材齢 t_0 日における材齢 t 日の収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)

ε_{sh} : 最終乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)

W : 単位水量 (kg/m^3), C : 単位セメント量 (kg/m^3)

G : 単位粗骨材料 (kg/m^3)

t_0 : 乾燥開始材齢 (日)

h : 相対湿度 (%)

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: それぞれ、骨材種類、セメント、
混和材の種類の影響を表す修正係数
(天然骨材 $\gamma_1 = 1.0$)

V : 体積 (mm^3)

S : 外気に接する表面積 (mm^2)

式(2)は骨材種類の影響を考慮する係数 γ_1 が用いられている。最終測定材齢のひずみから γ_1 に適合する値を算出した。さらにその γ_1 を用いて再生骨材コンクリートの最終乾燥収縮ひずみ (ε_{sh}) の予測値を求めた。それらの結果を表 - 13 に示す。建築学会ひび割れ制御指針⁵⁾では普通天然骨材の γ_1 は 1.0, 再生骨材は 1.4 と示され

表 - 13 γ_1 と最終乾燥収縮ひずみの予測値

	適用例 A	適用例 B
再生粗骨材の吸水率 (%)	2.03	3.86
測定最終材齢のひずみから算出した γ_1 *	1.09	1.20
最終乾燥収縮ひずみの予測値	868	931

* 指針⁵⁾での再生骨材の係数は 1.4

ている。測定結果から求めた γ_1 は、適用例 A では 1.09, 適用例 B では 1.20 でいずれも指針⁵⁾に示されている普通天然骨材より大きいものの、再生骨材の値より小さかった。また、適用例 B は適用例 A よりやや大きく、再生骨材の吸水率が適用例 A より大きかったことが理由として考えられる。

6. まとめ

Mクラス再生骨材を使用したコンクリートを 2 件の建物の基礎、場所打ちコンクリート杭に適用した。出所が特定されていないコンクリート塊から製造する再生骨材を使用する場合には、塩化物量の管理とアルカリシリカ反応抑制対策を慎重に行う必要があるが、今回使用した再生骨材から製造した再生骨材コンクリートは、フレッシュコンクリートの性状、圧縮強度の発現状況、施工性とも良好であり、通常のコンクリートと同様、構造体に十分適用できることが判った。

謝辞：酒石酸による塩化物量簡易測定においては、太平洋マテリアル (株) 開発研究所長井義徳氏に協力を頂きました。再生骨材コンクリートの製造については関東宇部コンクリート工業 (株) 神奈川工場、(株) 関西宇部伊丹工場、武蔵野土木工業 (株) ならびに (株) 京星の関係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) 例えば、川西泰一郎ほか：高品質および中品質の再生粗骨材を用いたコンクリートの RC 造建築物への適用，コンクリート工学，Vol.45，No.4，pp.38-44，2007.4
- 2) 太田達見，榊田佳寛，松林裕二，長井義徳：酒石酸を用いた硬化コンクリート中の塩化物量簡易測定法，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.2001-2006，2004
- 3) 日本コンクリート工学協会：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，pp.136，2005.9
- 4) 上西隆ほか：再生骨材コンクリートの実用化に関する研究 その 2.フレッシュコンクリートの性状とコンクリート中の塩化物量，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，pp.635-636，2006.9
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針 (案)・同解説，2006.2