

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

Application of Concrete using Class-M Recycled Aggregate to Building Foundation

上西 隆* 河野政典** 起橋孝徳**
小竹琢雄*** 清水博之****

要旨

コンクリート塊は、現状ではそのほとんどが路盤材へ再利用されているが、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の国土交通大臣認定を取得し、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。Mクラス再生骨材は、製造手間やコストの面で再生骨材Hよりもリサイクルが容易な材料であり、今後の普及が期待できる。

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

1. まえがき

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/年であり、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や再生骨材コンクリートのJIS規格も制定され、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品質に対する認識の違い等により、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、建築物の杭および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 再生骨材

再生骨材の種類と品質を表1に示す。再生骨材は、コンクリート塊を破碎・研磨・分級して製造するが、製

表1 再生骨材の種類と品質

再生骨材の級	種類	密度(g/cm ³)	吸水率(%)	適用部位	特徴
H JIS A 5021	粗骨材	2.5以上	3.0以下	制限なし	加熱擦り揉み処理等により付着モルタルはほとんどない。普通骨材と同様の取扱いができて適用範囲は広いが、製造時のエネルギー消費が大きく、コストが高い。微粉等の副産物も多く発生する。
	細骨材	2.5以上	3.5以下		
M JIS A 5022	粗骨材	2.3以上	5.0以下	杭・基礎	摺り揉み等により付着モルタルはある程度除去される。HとLの中間の品質で、コストはHより安い。適用部位が限定されるが、普及が最も期待できる。
	細骨材	2.2以上	7.0以下		
L JIS A 5023	粗骨材	—	7.0以下	無筋構造物 捨てコン	破碎・分級するだけで付着モルタルは除去されない。製造時の副産物の発生が少なく製造コストも最も安い。品質の面から構造体には使用できない。
	細骨材	—	13.0以下		

*技術本部建築部 **技術研究所 ***東京支社建築工務部 ****関西支社建築工務部

造過程で骨材に付着しているモルタルをどの程度取り除くかによって再生骨材の品質が決まり、H、M、Lにクラス分けされる。再生骨材Hは、加熱擦りもみ等の高度処理が施されて、付着モルタル分がほとんどない骨材で、その密度、吸水率は普通（天然）骨材とほとんど同じである²⁾。一方、再生骨材Lは、破碎・分級しただけで付着モルタルの除去を行っていないもので、密度が小さく、吸水率は大きい。再生骨材M（写真－1参照）は、ある程度付着モルタルを除去したもので、HとLの中間の品質となる³⁾。

再生骨材は品質によって適用できる部位が異なる。再生骨材Hは建物のどの部位にも適用できるが、製造手間がかかりコストの高いことが普及の制約となっている。再生骨材Mの適用部位は、現在、地下構造物に限定されているが、再生骨材Hに比べて製造手間がかからずコスト面で優位性があるため、比較的リサイクルが容易である。



写真－1 再生粗骨材M

2.2 再生骨材および再生骨材コンクリートの品質管理

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。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大臣認定の概要を表－2に示す。

Mクラス再生骨材の品質管理の一例を表－3に、再生骨材コンクリートの品質管理を表－4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、特に塩化物量とアルカリシリカ反応については以下に記す管理および対策を実施することとした。

a. 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、

表－2 再生骨材コンクリートの大臣認定概要

	生工場	認定番号	骨材種類		適用部位
			細骨材	粗骨材	
首都圏	A社	MCON-1492	再生M 普通	再生M 再生M	場所打ち杭
	B社	MCON-1493	普通	再生M	場所打ち杭
	C社	MCON-1494	普通	再生M	場所打ち杭
	D社	MCON-1495 MCON-1581	再生M	再生M	場所打ち杭
			普通	再生M	場所打ち杭 基礎スラブ フーチング 基礎梁
E社	申請中	普通	再生M	場所打ち杭 基礎スラブ フーチング 基礎梁	
関西地区	F社	MCON-1582	再生M	再生M	場所打ち杭
			普通	再生M	場所打ち杭 基礎スラブ フーチング 基礎梁

表－3 Mクラス再生骨材の品質管理例

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	工事着手前と 450ton/ロットにつき1回試験	全Cl ⁻ として 0.010以下
アルカリシリカ反応性	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－4 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	150m ³ につき1回	8cm以上18cm以下： ±2.5 cm 21cm：±1.5 cm ^{*1}
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	打設日ごとに1回	C _c ^{*2} =C _M ^{*3} +(0.30-C _M)/5
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 減水剤を使用する場合は±2.0cm

*2：再生骨材コン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)

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 $0.30\text{kg}/\text{m}^3$ 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を再生骨材全塩化物量の $1/5$ と仮定し、再生骨材以外の材料（セメント、水、普通骨材、混和剤等）の塩化物量 (C_p) から、表-4に示すように管理基準 (C_c) の算出式を設定した。

b. 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。

なお、塩化物量の管理基準以外、再生骨材コンクリートの品質管理は通常のコンクリートと同じである。

2.3 再生骨材コンクリートの供給体制

再生骨材コンクリートの製造・供給フローを図-1に示す。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、生コン工場では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、それを現場へ輸送する。

首都圏では、生コン工場5社とそれぞれ共同で再生骨材コンクリートの大臣認定を取得した。再生骨材の製造プラントは2社あり、それぞれ近くの生コン工場へ再生骨材を供給する。再生骨材コンクリートの供給エリアは図-2に示すとおりであり、首都圏広域に再生骨材コンクリートを供給できる体制を構築している。

関西地区では、再生骨材製造プラントから再生骨材を搬入し、大臣認定を取得した生コン工場1社から西宮・伊丹・尼崎エリアに再生骨材コンクリートの供給が可能である。

3. 再生骨材コンクリートの適用例 I

3.1 建物・適用部位概要

再生骨材コンクリートを適用した建物は、壁式PCa造5階建ての共同住宅（神奈川県横浜市、建築面積 895.1m^2 、延床面積 $2,937.47\text{m}^2$ ）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 $700\sim 1200\text{mm}$ 、杭長 $11.5\sim 13.8\text{m}$ ）29本のうち、23本 (395m^3) にSRを、6本 (55m^3) にRRを用いた。また、耐圧盤・フーチング (600m^3) にはSRを用いた。

再生骨材コンクリートの指定強度は $33\text{N}/\text{mm}^2$ である。スランブは、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査を表-5に示す。



図-1 再生骨材コンクリートの製造・供給フロー

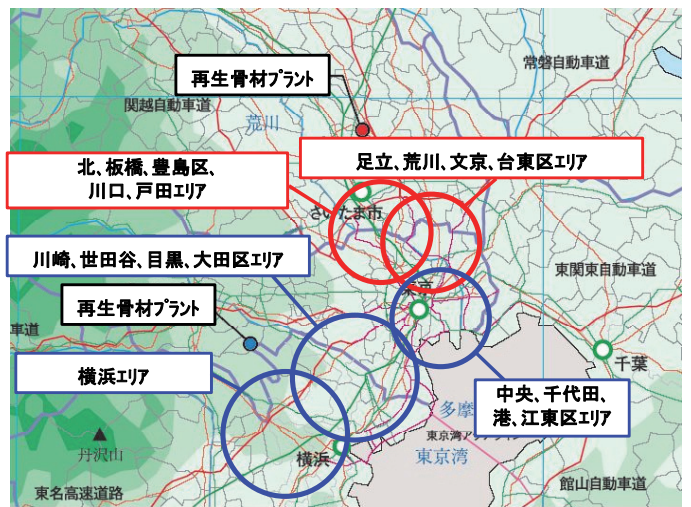


図-2 再生骨材コンクリートの供給エリア（首都圏）

表-5 再生骨材コンクリートの調査（適用例 I）

種別	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			C	W	S	G
杭 SR	49.5	43.8	372	184	730	R938
杭 RR	49.5	43.0	382	189	R715	R938
基礎 SR	49.5	41.8	358	177	709	R987

※ 数字の前に R と記してあるのが再生骨材

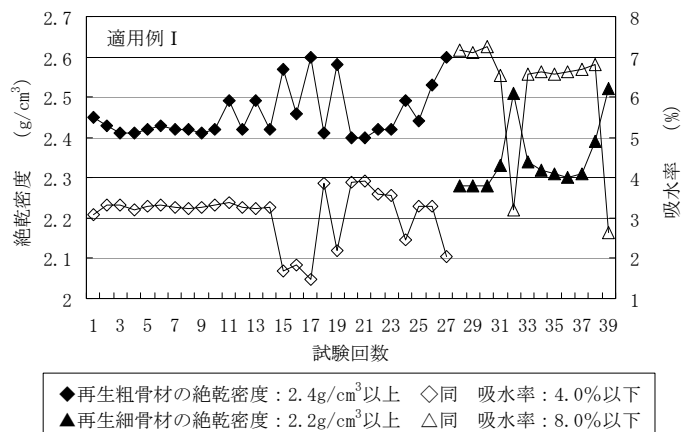


図-3 再生骨材Mの絶対乾密度と吸水率（適用例 I）

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、**図-3**に示すようにすべて管理基準を満足していた。

JIS A 1154 による全塩化物量の測定結果は、粗骨材で0.002~0.003%、細骨材で0.001~0.002%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、**図-4**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。

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ブの試験結果を**図-5**に、空気量の試験結果を**図-6**に示す。スランブ、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。

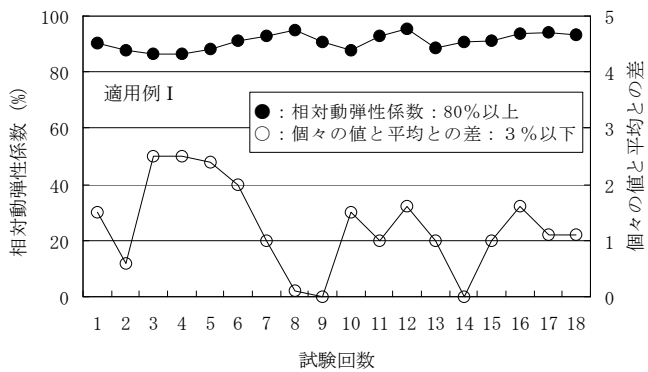


図-4 アルカリシリカ反応性迅速試験結果 (適用例 I)

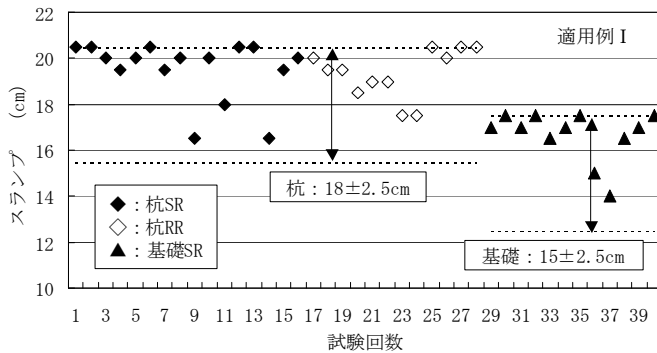


図-5 スランブ試験結果 (適用例 I)

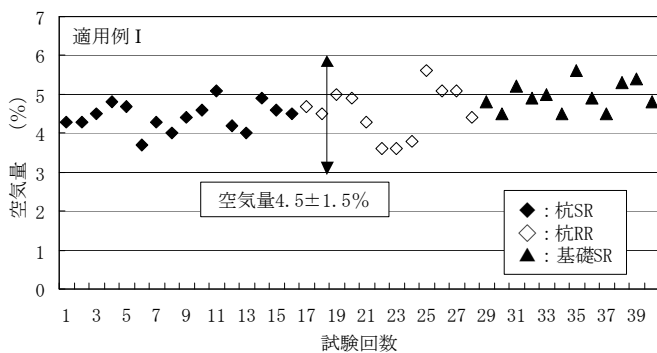


図-6 空気量試験結果 (適用例 I)

材齢 56 日での圧縮強度試験結果を**図-7**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/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の測定結果を**図-8**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。再生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) 以下であり、全塩化物量の推定値も 0.30kg/m³ を十分下回っていた。

* 全塩化物量の推定値=フレッシュコンクリートの塩化物量測定値+再生骨材の付着モルタル中に固定化された塩化物量 (再生骨材全塩化物量の 4/5 とする)

3.4 施工状況

再生骨材コンクリートのスランブ試験状況を**写真-2**に示す。また、場所打ち杭と耐圧盤の打設状況を**写真-3**、**写真-4**に示す。



写真-2 再生骨材コンクリートのスランブ試験状況

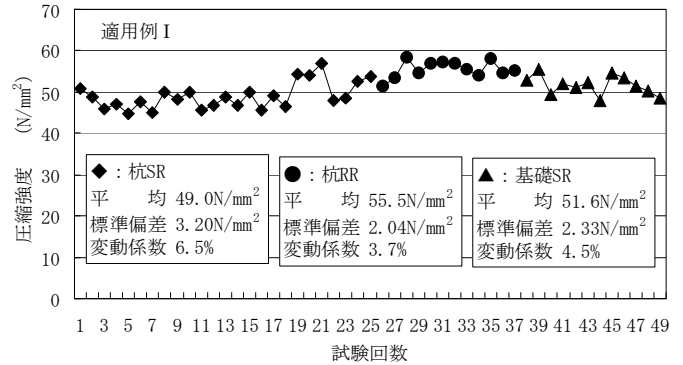


図-7 圧縮強度試験結果 (適用例 I)

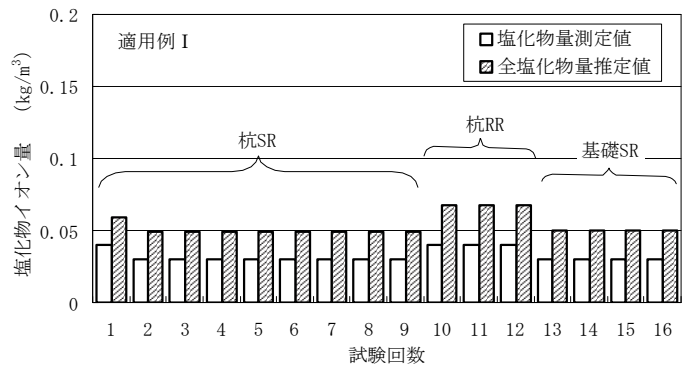


図-8 再生骨材コンクリートの塩化物量 (適用例 I)

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、施工性はすべて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Ⅱ

4.1 建物・適用部位概要

再生骨材コンクリートを適用した建物は、鉄骨造8階建ての事務所ビル（兵庫県西宮市、建築面積 762.78m²、延床面積 5,832.47m²）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合を表-6に示す。

表-6 再生骨材コンクリートの調合（適用例Ⅱ）

種別	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			C	W	S	G
捨てRR	55.0	46.2	331	182	R745	R897
基礎SR	47.0	42.2	368	173	729	R958

※ 数字の前にRと記してあるのが再生骨材

4.2 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、図-9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%、細骨材で 0.006~0.010% であり、適用例Ⅰ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結果は、相対動弾性係数が 80.2~96.7%と 80%以上であり、個々の値と平均との差も 0~2.8%で、すべて反応性なし(A)であった。

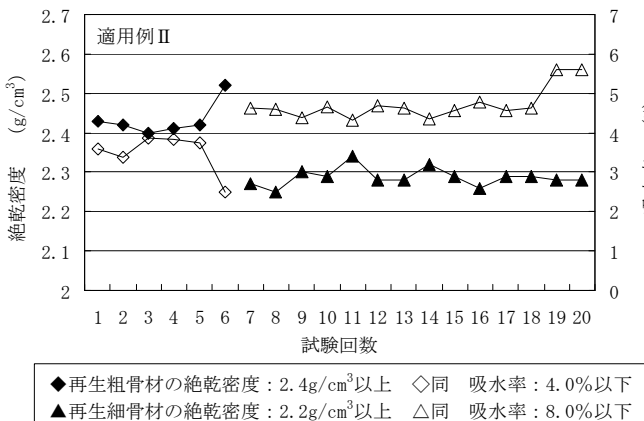


図-9 再生骨材Mの絶乾密度と吸水率（適用例Ⅱ）



写真-3 場所打ち杭打設状況（適用例Ⅰ）



写真-4 耐圧盤打設状況（適用例Ⅰ）

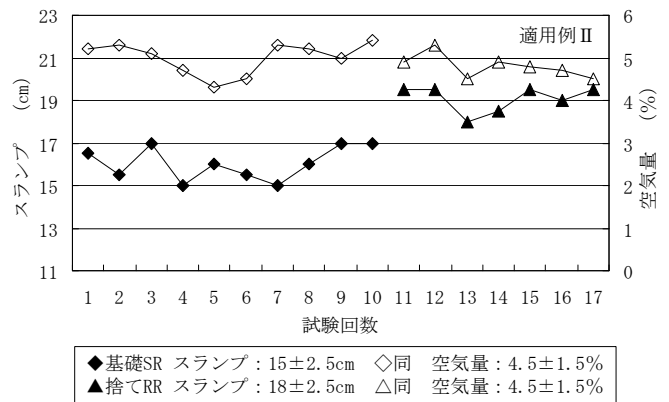


図-10 スランプ・空気量の試験結果（適用例Ⅱ）

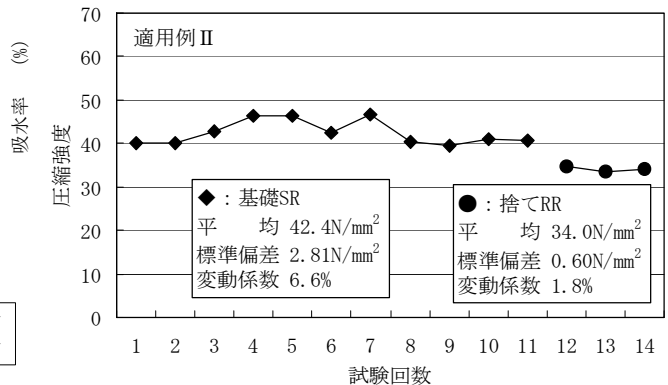


図-11 圧縮強度試験結果（適用例Ⅱ）

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-10に、材齢56日の圧縮強度試験結果を図-11に示す。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-12に示す。塩化物量の測定値は管理基準（0.081～0.083kg/m³）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Ⅱ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。

4.4 施工状況

基礎のコンクリート打設状況を写真-5に、基礎梁・フーチングの打ち上がり状況を写真-6に示す。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. まとめ

- i. Mクラス再生骨材を使用したコンクリートの国土交通大臣認定を取得し、再生骨材コンクリートを供給できる体制を構築した。
- ii. 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り、その管理方法を確立した。
- iii. 建築物の場所打ち杭および基礎にMクラス再生骨材を使用したコンクリートを適用した。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。

6. あとがき

Mクラス再生骨材を使用したコンクリートの適用にあたっては、塩化物量やアルカリシリカ反応性について慎重な管理が必要であるが、再生骨材コンクリートの品質および施工性は通常のコンクリートと同等であり、場所打ち杭や基礎などの構造体に十分適用可能である。

Mクラス再生骨材は、製造手間やコストの面から考えると再生骨材Hよりリサイクルが容易な材料であり、再生骨材の製造プラントが整備されれば一層普及が進むものと考えられる。今後は、リサイクルの推進を図るとともに、再生骨材コンクリートの品質を改善することによって適用範囲を拡大していきたい。

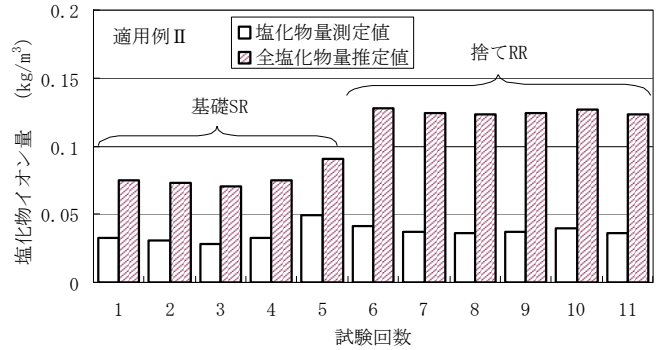


図-12 再生骨材コンクリートの塩化物量（適用例Ⅱ）



写真-5 基礎コンクリート打設状況



写真-6 地中梁・フーチング打ち上がり状況

【参考文献】

- 1) 例えば、川西泰一郎他、「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) 「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. 32-41、(社)日本コンクリート工学協会、2005. 9
- 3) 「再生骨材コンクリートの現状と将来展望 - JIS概要と普及促進に向けて」、pp. 43-52、(社)日本コンクリート工学協会、2006. 11