

オンサイト型コンクリート資源循環システム

黒田 泰弘 橋田 浩 内山 伸 名知 洋子 山崎 庸行 宮地 義明
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (東京建築第一事業部)

A Closed-Loop Concrete System on a Construction Site

by Yasuhiro Kuroda, Hiroshi Hashida, Noburu Uchiyama, Yoko Nachi,
Nobuyuki Yamazaki and Yoshiaki Miyachi

Abstract

The closed-loop concrete system has been applied to demolition and construction. In order to recycle concrete waste, an aggregate recycling plant and a ready-mixed concrete plant were assembled at a construction site. During the entire course of the construction project, the quality of the recycled aggregate was acceptable and satisfied the specifications in JIS A 5308. Moreover, the recycled aggregate concrete had properties equivalent to those of ordinary concrete. Furthermore, the fine powder produced during production of the recycled aggregate was utilized as a soil stabilizer. A life cycle assessment proved that this system effectively reduces CO₂.

概 要

コンクリートの現場内リサイクルを行うために、現場敷地内に再生骨材プラントと生コンプラントを設置し、オンサイト型コンクリート資源循環システムによる施工を実施した。工事期間を通して JIS A 5308 の品質規格を満足する再生骨材が得られ、通常のコンクリートと同様の品質の再生骨材コンクリートを打ち込めた。また、再生骨材の製造時に発生する微粉末に関しては、微粉末の特徴をいかして地盤材料へ有効利用した。さらに、CO₂ 排出量による環境負荷評価を行い、LCA の観点からもオンサイト型コンクリート資源循環システムの適用は有効であることを示した。

§ 1. はじめに

コンクリートは他の建設材料に比べて耐久的で安価な材料であるため、使用量およびストックは膨大であり、解体に伴う廃コンクリートの排出量も多量である。高度経済成長期から 30 年余りが経過した現在、この時期に整備されたストックが更新期を迎えつつあり、最終処分場の残余容量が逼迫するなかで、コンクリートのリサイクル技術の確立は急務となっている。

こうした状況の中、清水建設(株)と東京電力(株)は、骨材の品質を維持して再生し、構造用骨材に再利用するだけでなく、微粉末までを含めて解体コンクリートを 100% 再利用する「コンクリート資源循環システム」の開発・実用化に取り組み、再生骨材の構造用コンクリートへの本格的な適用を国内で始めて実施した¹⁾。ついで、富士通(株)蒲田新棟建設工事および東京団地倉庫(株)平和島倉庫 A-1 棟建替工事において、現場敷地内に再生骨材プラントと生コンプラントを設置し、コンクリートの現場内リサイクルを行うオンサイト型コンクリート資源循環システムによる施工を実施した。

本報では、東京団地倉庫(株)平和島倉庫 A-1 棟建替工事におけるシステムの適用結果について述べる。

なお、オンサイト型コンクリート資源循環システムの採用メリットは次のとおりである。

- (1) 骨材の循環型利用による地球環境保全、循環型社会構築への貢献
- (2) 現場内クローズドリサイクルによる運搬車輛削減と周辺環境保全
- (3) 運搬車輛削減と再生微粉末のセメント代替としての有効活用による CO₂ 排出量の削減

§ 2. システム概要

図-1 にコンクリート資源循環システムの循環フローを示す。

本システムは、事前調査によってリサイクル適性を確認した解体コンクリートから高品質の再生細・粗骨材および微粉末を回収し、再生細・粗骨材は構造用骨材として、微粉末はセメント原料²⁾あるいは地盤改良

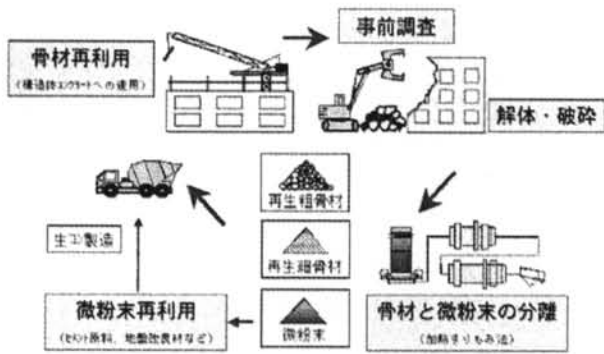


図-1 コンクリート資源循環システムのフロー



写真-1 解体前の状況



写真-2 新築建物

材³⁾として、新規建物に利用するもので、解体コンクリートを100%再利用するだけでなく、構造用骨材の循環利用を図ることをコンセプトにしている。調査、解体・破砕、分離・再生、微粉末および骨材の再利用という個々の要素を一つのシステムとして構築し、実際の運用を可能にした点が大きな特徴である。

高品質の再生骨材製造には、現在のところ加熱すりもみ法⁴⁾を採用している。加熱すりもみ法は、コンクリート塊を約300℃に加熱してセメント水和物を脱水・脆弱化した後、すりもみ処理するもので、セメント分を選択的に除去し、高品質の再生細・組骨材を製造できる技術である。

§ 3. 工事概要

工事概要は以下のとおりである。環境保全への貢献を経営理念に掲げている発注者に、循環型社会の構築に貢献できる技術であるとの評価を得て、本システムが採用された。

- (1) 建設地：東京都大田区平和島3-6-1
- (2) 発注者：東京団地倉庫株
- (3) 解体建物

- ・名称：東京団地倉庫株平和島倉庫A棟
- ・構造/規模：RC造4階建
- ・建築面積21,363㎡
- ・延床面積68,309㎡
- ・竣工年：1970年

- (4) 新築建物

- ・名称：東京団地倉庫株平和島倉庫A-1棟
- ・設計/監理：(株)三菱地所設計
- ・構造/規模：SRC造6階建
- ・施工者：清水建設株・大成建設株 共同企業体

表-1 概略工程表

項目	2002年												2003年												2004年				
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2					
既存建物解体	■																												
杭・基礎工事				■																									
地上躯体工事										■																			
設備・仕上工事																													
外構工事																													
検査																									○	○			
骨材製造	■												■																
生コン製造				■																									

- ・工 期：2002年5月～2004年2月
- ・建築面積：12,820㎡
- ・延床面積：62,132㎡

解体建物の外観を写真-1に、新築建物を写真-2に示す。また、概略工程表を表-1に示す。再生骨材の製造は2002年4月～2003年7月に、再生骨材コンクリートの製造は2002年8月～2003年9月に実施した。

§ 4. 事前検討

4.1 リサイクル適性の調査

工事に先立って、解体コンクリートの骨材がリサイクルに適するかを確認するための調査を実施した。骨材は室内で加熱すりもみを行った後、5%の塩酸で付着セメントを除去して取り出した。調査内容を表-2に示す。

書類調査では骨材の品質に関する記録は見つからなかった。また、外観調査では塩害やアルカリ骨材反応によると思われる劣化現象は認められなかった。コア採取後に行った調査の結果を表-3に示す。塩化物量は検出限界以下であった。粗骨材の吸水率は1.5%以下、細骨材の吸水率は2.5%以下であり、JIS規格(砂利の吸水率3.0%以下、砂の吸水率3.5%以下)に対し、いずれの骨材も余裕のある結果であった。絶乾密度も粗骨材2.63g/cm³、細骨材2.57g/cm³であり、JIS規格(絶乾密度2.5g/cm³以上)を十分満足するものであった。

また、アルカリシリカ反応性はいずれの骨材も無害であった。なお、細骨材の評価は迅速法(JIS A 1804)を用いて行った。塩酸処理を行うと、骨材表面が侵され、粒径の小さな細骨材では特に溶解シリカ量が大きくなる傾向があり、化学法では著しく厳しい評価⁹⁾となる恐れがあるためである。

これらの結果より、当該コンクリートはリサイクル適性を有していると判断した。

表-2 調査内容

項目	内容	
書類調査	建設時の記録(図面、コンクリートの種類、使用骨材に関する情報など)、補修・改修履歴	
外観調査	劣化の有無(塩害、アルカリ骨材反応の可能性)	
詳細検査	コンクリート	塩化物量、圧縮強度、単位容積質量
	骨材	密度・吸水率、アルカリ骨材反応性

表-3 詳細検査結果

コア強度(N/mm ²)	塩化物量(kg/m ³)	種別	絶乾密度(g/cm ³)	吸水率(%)	粗粒率	アルカリシリカ反応性
24.7	検出限界以下	川砂利	2.63	1.29	6.69	JIS A 5308 無害 (Sc: 47, Rc: 79)
		川砂	2.57	2.14	2.89	JIS A 1804 無害 (長さ変化率) 0.45%
品質基準	0.3以下	粗骨材	2.5以上	3.0以下	/	無害であること
		細骨材	2.5以上	3.5以下		

4.2 プラントの設置

再生骨材プラントはパイロットプラント⁶⁾の約2倍のコンクリートが処理能力(最大9t/h)を目標に設計したものを導入した。このプラントは移設型で、40以上のユニットで構成されており、ユニットはトレーラー輸送し、現場においてクレーンで組立・解体を行う。再生骨材プラントの概観を写真-3に示す。

生コンプラントは製造能力が60～70m³/hのものを導入した。パッチャープラントも移設型であり、1.5m³の二軸強制練りミキサを有する。セメントサイロ、骨材ヤード、貯水槽などの保管設備の他に、試験室や濁水処理施設等の付帯設備も設けた。生コンプラントの概観を写真-4に示す。

再生骨材プラントおよび生コンプラントの配置を図-2に、現場の鳥瞰を写真-5に示す。2つのプラントの占有面積は工事車両の導線部分を含め、約2,000m²を要した。オンサイト型コンクリート資源循環システムを適用するには、ストックヤードも含め、十分な敷地面積が必要である。また、再生骨材プラントおよび生コンプラントの設置にあたっては、行政上の手続きや検査に期間を要するものもあり、十分な準備期間が必要であった。

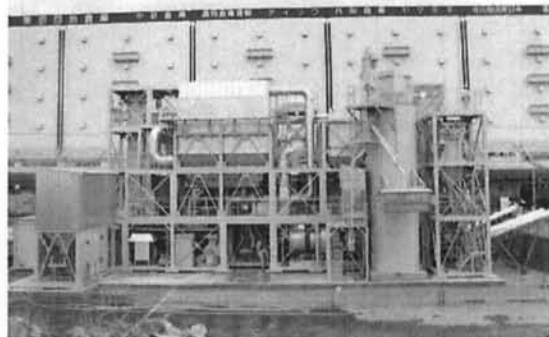


写真-3 再生骨材プラント



写真-4 生コンプラント

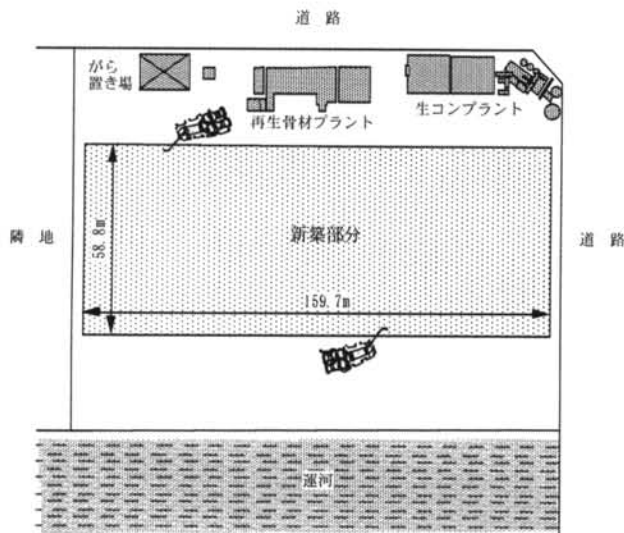


図-2 配置図



写真-5 現場の鳥瞰

4.3 再生骨材の製造・品質管理計画

再生骨材の製造にあたって、製造・品質管理計画書を作成した。概要は以下のとおりである。

1) 受入検査

受入検査では破碎されたコンクリートがらの粒径が概ね40mm以下であること（最大50mm）、夾雑物がほとんど含まれないこと（1%限度見本以下）、水が滴らないことを目視で判定する。満足しない場合には、再破碎などの処置を実施する。

2) 工程検査

再生骨材の製造工程を図-3に示す。工程検査では、加熱工程（加熱塔）、粗骨材すりもみ工程（粗骨材ミル）、細骨材すりもみ工程（細骨材ミル2系統）、分級工程（振動ふるい）といったそれぞれの工程で処理が適切に行われているかを操作室のモニターの表示（フィード量、がら温度、ミル回転数、風量など）で確認する。異常が発見された場合には、運転条件の変更や運転の中断、設備の点検などの処置が必要となる。

3) 製品検査

製造日ごとに行う日常検査と、6ヵ月に1度行うことを基本とする精密検査を行う。日常検査では、密度・吸水率と粒度分布を調べる。精密検査では①塩化物量（細骨材のみ）、②微粒分量、③アルカリシリカ反応性、④安定性、⑤1.95浮遊不純物量、⑥粒形判定実積率を調べる。

再生細・粗骨材ともJIS A 5308の規格を満足する絶乾密度 2.5g/cm^3 （厳密には 2.45g/cm^3 ）以上を管理値とし、フィード量やミル回転数などの運転条件を設定することにした。なお、再生骨材の品質が安定し、運転条件が決定するまでの試運転期間のものは現場内の敷き砂利等に使用する計画とした。

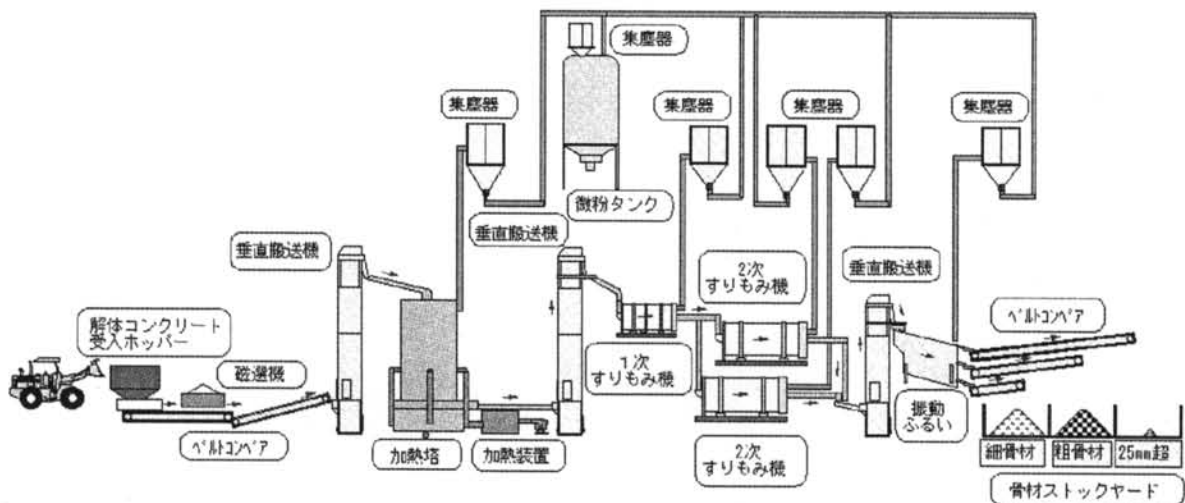


図-3 再生骨材の製造工程

4.4 再生骨材コンクリートの建築構造への適用

再生骨材コンクリートの建築構造への適用に際しては国土交通大臣の認定（指定建築材料）を取得した。2000年6月に施行された建築基準法の改正によって、法第37条に基づく告示第1446号でコンクリートが国土交通大臣の定める建築材料の一つに指定され、JIS A 5308の規格に適合しないコンクリートに関しては認定が必要となったためである。

大臣認定取得にあたっては、再生骨材コンクリートの品質管理マニュアル、製造マニュアルをまとめ、再生骨材コンクリートの室内および実機実験による調査に関するデータ、音響実験棟増改築工事における再生骨材コンクリートの製造・品質管理記録、再生骨材コンクリートの社内規格などを添付した。大臣認定の取得には十分な準備期間を見込む必要があり、新築工事の約半年前から準備を開始した。

§ 5. 再生骨材の製造実績

5.1 がらの品質

小割して鉄筋を除去したコンクリートがらを大型の移動式破碎機（インパクトクラッシャ）で破碎し、振動スクリーンを用いて、40mm オーバー材とアンダー材に分離した。オーバー材は更に小型の移動式破碎機（ジョークラッシャ）で破碎し、がら全てを概ね40mm以下とした。

破碎して得られたコンクリートがらの粒度分布の一例を図-4に示す。再生砕石 RC40の粒度範囲のほぼ上限の粒度構成であり、一般のRC40に比べて、細粒分の割合が多いことがわかる。粒度が細くなった原因としては、コンクリートを破碎する以前に小割や重機の移動によって既に細かくなっていたこと、そうした細かいものも含めて全てを大型の破碎機で破碎したことがあげられる。

受け入れたがらの5mmふるいの通過率と含水率の実績を図-5および図-6に示す。5mmふるいの通過率は平均で37%、標準偏差は9.8%であった。一方、含水率は平均で約11%、標準偏差は1.9%であった。極端に含水率が上がっているのは降雨の影響によるものであり、含水率が15%を超える場合にはベルトへの付着が多くなり、運転に支障をきたすため、状況に応じて運転を中止した。

5.2 再生骨材の品質および回収率

再生骨材の絶乾密度の日常検査結果を図-7と図-8に、精密検査の結果を表-4に、粒度分布の一例を図-9に示す。また、製造月ごとの再生細・粗骨材の生産量をがら処理量（絶乾ベース）で割った結果を、回収率として図-10に示す。

再生粗骨材の絶乾密度の平均は2.59g/cm³、再生細骨材

の絶乾密度の平均は2.53g/cm³であり、初期の試運転期間を除き、再生骨材の絶乾密度は管理値を十分に満足するものであった。また、精密検査の結果もJIS A 5308およびJIS A 5005をもとに定めた品質基準を満足しており、粒度分布に関しても標準粒度のものが得られた。

再生細・粗骨材を合わせた回収率は50～65%の間で推移した。コンクリートがらの処理量は約34,500t（絶乾ベースで約31,000t）であり、製造期間全体での回収率は再生粗骨材が約35%、再生細骨材が約21%、トータルで約56%という結果であった。パイロットプラントでの実績⁶⁾と比較すると、再生骨材の回収率が低く、微粉末の回収率が約44%と多くなった。また、再生骨材プラントの処理速度は投入するコンクリートがらの粒度構成や含水率などにより変動するが、平均すると7t/h程度であった。

解体コンクリートの配合推定結果を表-5に示す。細・粗骨材の割合は、コンクリート片を塩酸処理し、セ

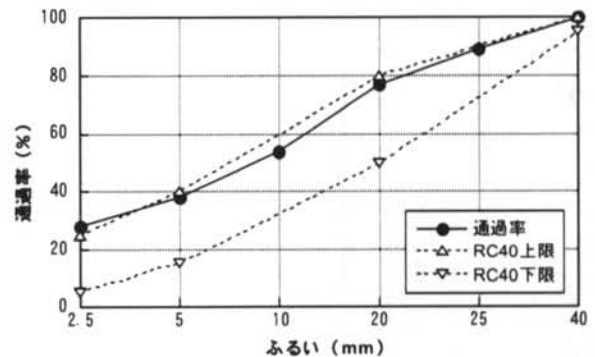


図-4 がらの粒度分布の一例

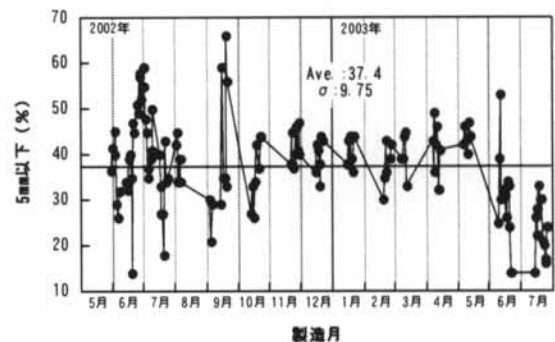


図-5 5mmふるい通過率の実績

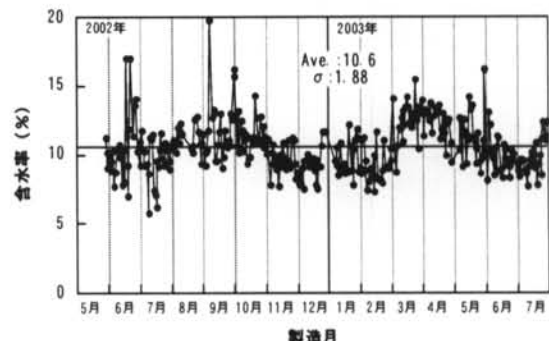


図-6 含水率の実績

メント分を除去して求めた。コンクリートの絶乾単位容積重量に対する粗骨材量は44.9%、48.1%、細骨材量は42.5%、34.4%である。したがって、元の骨材量に対する回収率は再生粗骨材で72.8~78.0%、再生細骨材で49.4~61.0%と算定され、再生細骨材の回収率がかなり低くなっていることがわかった。

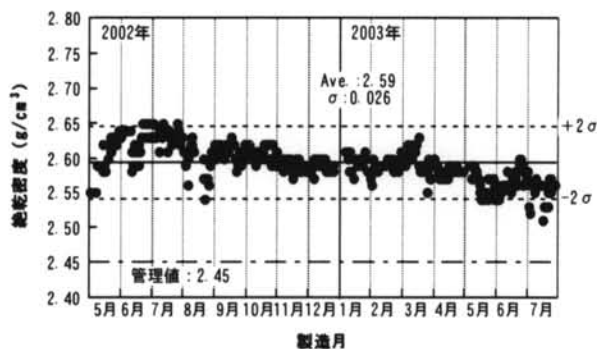


図-7 再生粗骨材の絶乾密度

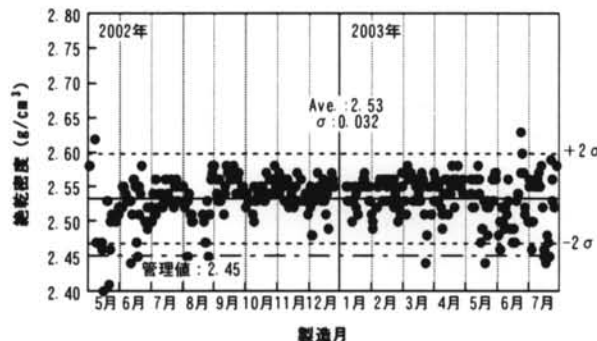


図-8 再生細骨材の絶乾密度

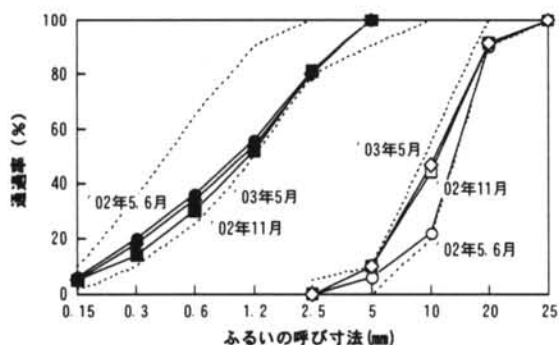


図-9 再生骨材の粒度分布

表-4 精密検査結果

項目	2002年5.6月	2002年11月	2003年5月	基準値	
粗骨材	微粒分量	0.19%	0.33%	0.28%	1.0%以下
	7カリウム反応性 (mmol/l)	無害	無害	無害	無害
	安定性	Rc:89, Sc:43	Rc:113, Sc:37	Rc:142, Sc:29	Rc>Sc
	1.95浮遊不純物量	4.0%	1.6%	2.6%	12%以下
	1.95浮遊不純物量	0.5%	0.3%	0.1%	1.0%以下
	粒形判定実積率	66.5%	64.1%	66.0%	55%以上
細骨材	塩化物量	0.002%	0.001%	0.002%	0.04%以下
	微粒分量	1.80%	2.36%	0.76%	7.0%以下
	7カリウム反応性 (mmol/l)	無害	無害	無害	無害
	安定性	Rc:154, Sc:30	Rc:202, Sc:16	Rc:202, Sc:18	Rc>Sc
	1.95浮遊不純物量	1.40%	0.60%	0.90%	10%以下
	1.95浮遊不純物量	0.30%	0.40%	0.00%	1.0%以下
粒形判定実積率	68.7%	59.9%	62.8%	53%以上	

§ 6. 再生骨材コンクリートの製造実績

6.1 使用材料および調査

上部躯体のコンクリート調査に対する設計者の要求条件を表-6に、使用材料を表-7に示す。現場内の生コンプラントからの出荷ということで、経時変化によるスランプや空気量のロスは見込まず、工程検査と製品検査を兼用することにした。したがって、出荷時のスランプ、空気量は表-6の値で管理した。

製造する再生細・粗骨材の割合が使用する再生細・粗骨材の割合と異なることもあり、再生骨材コンクリートの種類としては、再生細・粗骨材によるRR、再生細骨材と普通粗骨材によるRN、普通細骨材と再生粗骨材によるNRの3種類とした。また、再生骨材の製造が間に合わない場合、普通骨材コンクリートNNも練り混ぜた。上部躯体

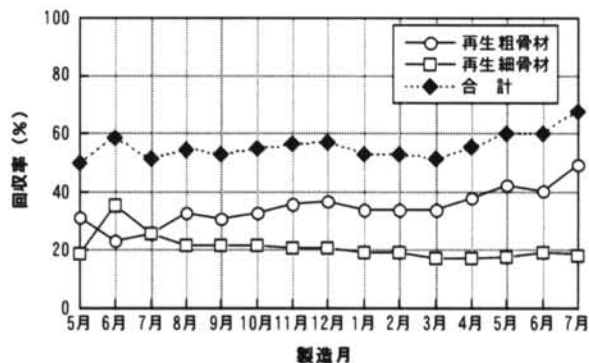


図-10 再生骨材の回収率

表-5 配合推定結果

部位	絶乾単量 (kg/m³)	CaO量 (%)	単位重量 (kg/m³)				W/C (%)	空気量 (%)
			W	C	S	G		
1階	2.199	7.2	162	235	934	988	68.9	2.7
基礎	2.134	7.8	190	315	735	1027	60.3	3.0

※基礎には高炉セメントB種を用いたコンクリートが使用されていると仮定

表-6 要求条件

設計基準強度	温度補正值	単位水量	スランプ	空気量
24N/mm²	0, 3, 6N/mm²	175kg/m³以下	18±2.5cm	4.5±1.5%

表-7 使用材料

名称	記号	品質ほか
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm³
水	W	水道水
細骨材	S	構造用再生細骨材 表乾密度2.59g/cm³、吸水率2.99%、FM3.07 千葉県富津市 山砂
		構造用再生細骨材 表乾密度2.58g/cm³、吸水率1.95%、FM2.50
粗骨材	G	構造用再生粗骨材 最大寸法20mm 実積率66.6% 表乾密度2.66g/cm³、吸水率1.17%、FM6.55 大分県津久見市 砕石2005 実積率62.0% 表乾密度2.70g/cm³、吸水率0.37%、FM6.74
		混和剤

表-8 標準調合

種類	呼び強度	水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				AD (C×%)
			W	C	S	G	
RR	27	51.7	167	323	792	1011	0.250
	30	48.4	168	347	769	1011	0.250
	33	45.5	170	374	743	1011	0.250
RN	27	54.4	174	320	829	972	0.250
	30	50.4	174	345	808	972	0.250
	33	47.0	175	372	783	972	0.250
NR	27	51.7	167	323	722	1080	0.250
	30	48.4	168	347	699	1080	0.250
	33	45.5	170	374	673	1080	0.250
NN	27	54.4	174	320	810	988	0.250
	30	50.4	174	345	789	988	0.375
	33	47.0	175	372	764	988	0.375

体の施工用に選定した標準調合を表-8に示す。再生骨材は形状が丸いため、普通骨材コンクリートより単位水量あるいは混和剤添加率の削減が可能であった。

なお、いずれの調合も着工後に実機による試験練りを行い、フレッシュ性状ならびに圧縮強度が管理値を満足することを確認してから、構造体に打ち込んだ。

6.2 コンクリートの品質管理結果

躯体部分に用いた再生骨材コンクリートおよび普通骨材コンクリートのスランプ、空気量、圧縮強度の検査結果を図-11～図-13に示す。

スランプは平均で19.1cm、空気量は平均4.2%であり、いずれも管理値を満足していた。また、圧縮強度（標準養生、材齢28日）の変動係数は5.4～8.4%であり、全て呼び強度を満足していた。骨材の種類にかかわらず、品質管理結果は良好であった。再生骨材コンクリートは、再生細骨材と普通粗骨材、普通細骨材と再生粗骨材の組合せのものも含め、約12,500m³を製造・打設した。

呼び強度30のコンクリートの長さ変化率を図-14に示す。再生骨材コンクリートの方が普通骨材コンクリートに比べ、乾燥収縮量は幾分か大きかったが、最も大きなRRでも材齢6ヵ月の長さ変化率は0.07%程度であり、打ち込まれたコンクリートの乾燥収縮量は全体的に小さなものであった。

なお、コンクリートの製造から打ち込み終了までの時間が、現場内に生コンプラントがあるため30分で済むというメリットもあり、全体に品質の良いコンクリートが打ち込まれたものと考えられる。

§ 7. 微粉末の再利用

7.1 微粉末の基本特性

再生骨材の製造時に40%以上も発生する副産微粉末の再利用はシステムの運用において極めて重要である。再生骨材プラントから得た微粉末の性質を表-9に、粒度

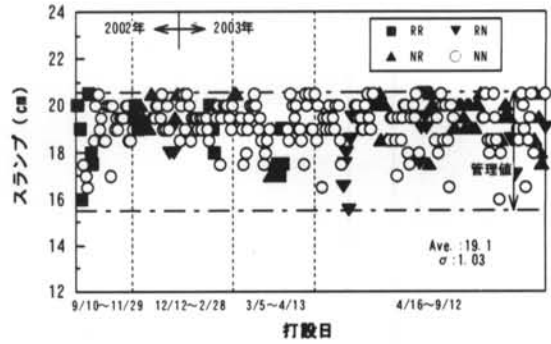


図-11 スランプの検査結果

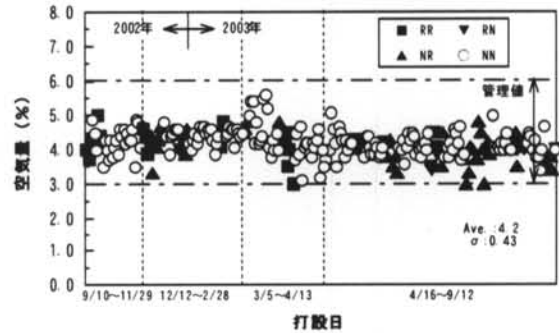


図-12 空気量の検査結果

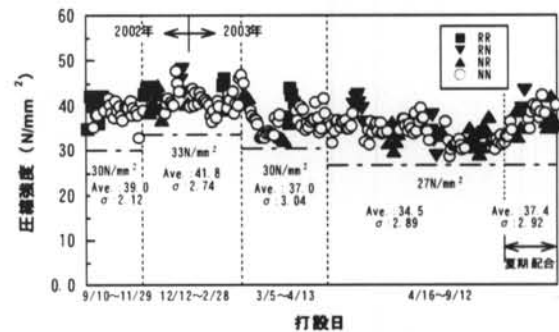


図-13 圧縮強度の検査結果

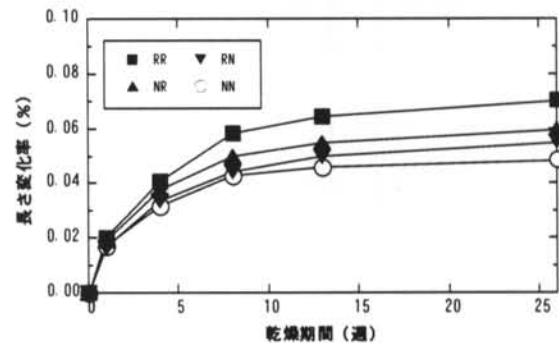


図-14 長さ変化

試験 (JIS A 1204) の結果を図-15に示す。

1) 密度・比表面積・粒度分布

微粉末の密度は2.48、2.47g/cm³であり、比表面積は5.510、6.280cm²/gであった。微粉末の比表面積はセメントより大きなものだった。一方、粒度分布曲線を見ると、加熱処理微粉末には0.075mm以上のいわゆる砂分が17.5～25.3%含まれていた。したがって、微粉末の比表面積

が大きいのは0.0013mm以下の極めて小さな粒子の影響によるものと思われる。

2) 化学成分

微粉末の主要成分はSiO₂、CaO、Al₂O₃、Fe₂O₃であり、このうちCaO量がセメント成分に由来する量と考えられる。既往の文献⁷⁾では加熱処理微粉末の平均的なCaO量は約25%で骨材破碎分の割合が約50%とされており、ほぼ同様の結果であった。また、セメントと比較して塩化物量、アルカリ量が多かった。

3) 微粉末による強度発現

微粉末スラリーの一軸圧縮強さの一例を図-16に示

表-9 微粉末の性質

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学成分 (%)									
			lg loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	Na ₂ Oeq	
微粉末 (地上)	2.48	5.510	9.6	50.8	10.1	2.7	23.5	1.3	0.8	0.015	1.94	
微粉末 (地下)	2.47	6.280	9.8	41.9	12.0	6.5	23.2	2.1	0.9	0.057	2.08	
普通ポルトランドセメント	3.15	3.450	1.5	21.2	5.2	2.8	64.2	1.5	2.0	0.005	0.63	
高炉セメントB種	3.03	3.970	1.6	25.6	8.5	1.8	54.7	3.6	2.0	0.006	0.50	

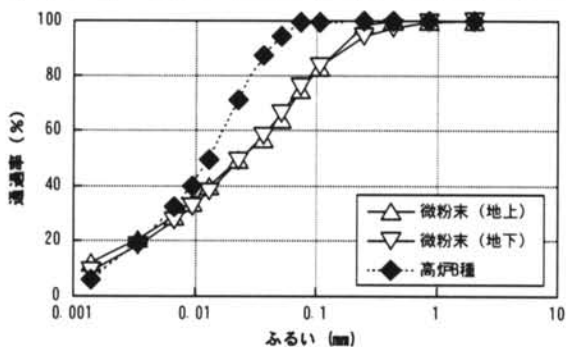


図-15 微粉末の粒度分布

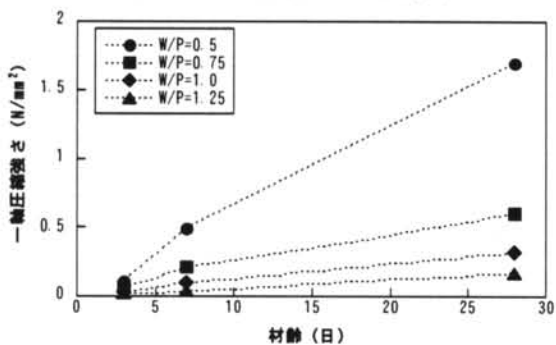


図-16 微粉末スラリーの一軸圧縮強さ

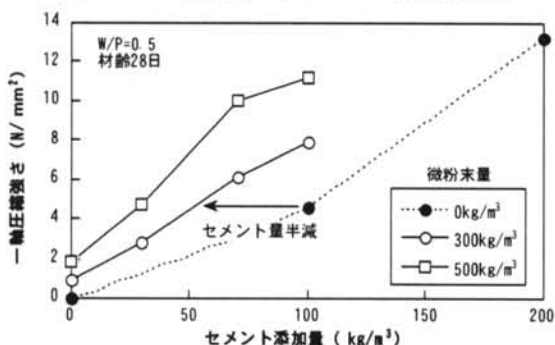


図-17 カオリン粘土の一軸圧縮強さ

す。材齢の経過に伴い、低いながらも強度発現した。破碎しただけの微粉末はほとんど強度発現しない⁸⁾ことから、加熱処理によって自硬性が回復していると考えられる。図-17はカオリン粘土に、微粉末および高炉セメントB種によるスラリーを混合して成型し、一軸圧縮強さの試験を行った結果である。微粉末の混入量を増やすことで、同一強度を得るためのセメント添加量を減らせることが確認できた。

7.2 適用事例

微粉末はその特徴をいかし、旧建設省「建設汚泥リサイクル指針」に準じて自ら利用(社内利用)した。「自ら利用」とは、廃棄物処理法では「他人に有償売却できる性状のもの」を自ら使用することであり、有償売却できる性状のものとは、利用用途に照らして有価物に相当する

表-10 微粉末の用途と効果

用途	残土性状の確保	埋戻し材/地盤置換材	ソイルセメント壁
微粉末量	100~150kg/m ³	550~750kg/m ³	30~60kg/m ³
セメント量	なし	50~200kg/m ³	180~210kg/m ³
効果/性能	水分吸収・拘束	分離低減、強度付与	施工性改善、必要強度

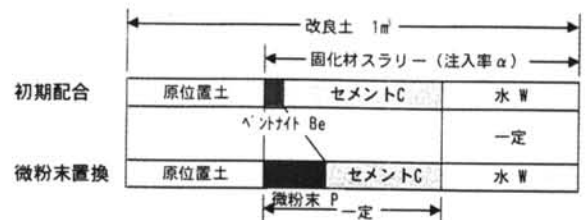


図-18 微粉末の適用の概念図

表-11 固化材スラリーの配合

種類	改良土 1 m ³ あたりの混入量 (kg/m ³)			水粉体比 W/(C+P)	注入率 α (%)	
	高炉セメントB種	微粉末 P	ベントナイト Be			
S現場	従来配合	260	-	10	2.2	66
	微粉末置換 (30)	220	30	-	2.1	61
	微粉末置換 (60)	180	60	-	2.0	56
H現場	従来配合	240	-	10	2.1	58
	微粉末置換 (30)	210	30	-		
	微粉末置換 (60)	180	60	-		

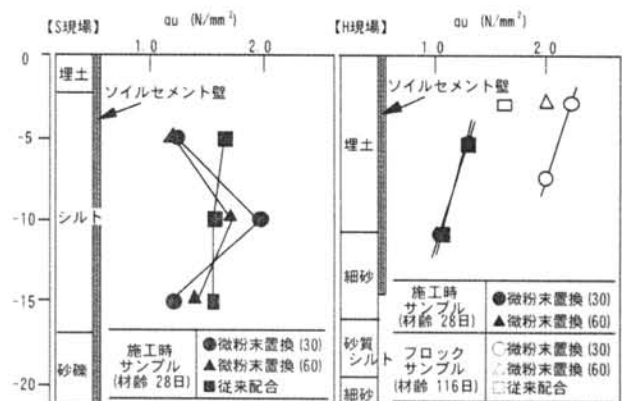


図-19 ソイルセメント強度の深度分布

適切な品質を有することが必要である」とされている。

建設汚泥と異なり、微粉末は高い粉末度と弱い自硬性を持ち有用な材料であるが、現時点では有価物ではない。微粉末の再利用を本格的に展開するにあたっては、有価物化が必須の条件と考えられる。

表-10に適用用途と使用量および効果の一例を示す。また、深層混合処理（ソイルセメント壁）へ微粉末を適用した事例⁹について、以下に紹介する。

図-18は固化材スラリーへの微粉末適用の概念図である。固化材スラリーはセメント、ペントナイト、水からなり、これを原位置土に混合して、ソイルセメント壁を形成する。施工にあたっては施工性（応力材の挿入）を確保する必要があり、一定量以上の固化材スラリーを注入（置換）するが、強度面からは過剰なセメントが配合されているケースも多い。そこで、固化材スラリーのセメントの一部を微粉末と置換した。さらに、比表面積の大きな微粉末を使用することでスラリーの材料分離抵抗性が増すため、ペントナイトの使用を省略した。

東京都内の2つの現場（S現場：品川区、H現場：大田区）において施工を行った。ソイルセメントの目標強度はいずれも一軸圧縮強さ q_u で 0.6N/mm^2 （材齢28日）である。実施の固化材スラリーの配合を表-11に、ソイルセメント強度の深度分布を図-19に示す。ばらつきはあるものの、いずれの結果も目標強度を十分に満足していた。なお、従来配合と比較して、止水性や混合性の違いは見られず、施工性は良好であった。

表-12 試算条件

記号	項目	従来	コンクリート資源循環システム
P1	路盤材利用	から34,500tを再資源化施設へ輸送。製造した再生砕石は道路建設現場へ輸送して路盤材として利用。	なし
P2	再生骨材製造	なし	から34,500tを破砕処理後、加熱すりもみを行って再生骨材を製造。から30,000tは一戸外ヤードに仮置き。
P3	生コン製造	54,000m ³ の生コンを購入。	17,500m ³ の生コンを購入。残り36,500m ³ を現場練りとし、不足分は新規骨材を購入。
P4	地盤改良	自現場で固化材2,000t、他現場で固化材5,000tを購入して地盤改良。	自現場で微粉末5,000tと固化材500tを、他現場で残りの微粉末7,600tと固化材4,000tを使用して地盤改良。

表-13 設定距離

記号	項目	自	至	従来	システム
P1	路盤材利用	現場	再資源化施設	20km	
		再資源化施設	道路建設現場	30km	
P2	再生骨材製造	現場	場外ヤード	-	4km
		場外ヤード	現場	-	4km
P3	生コン製造	砕石工場	生コン工場、現場	30km	
		採砂場	生コン工場、現場	50km	
		セメント工場	生コン工場、現場	30km	
		生コン工場	現場	20km	
P4	地盤改良	固化材工場	現場、他現場	30km	
		現場	他現場	-	20km

§ 8. 環境負荷評価

解体によって発生したコンクリートがらを再資源化施設へ輸送して路盤材を製造するケースと、オンサイト型コンクリート資源循環システムを適用するケースに関して環境負荷評価（LCA）を行った。インベントリ分析したのはP1（路盤材利用）、P2（骨材製造）、P3（生コン製造）、P4（地盤改良）の各ステージであり、プロセスごとにCO₂排出量を算定し、加算した。

試算条件を表-12に、設定距離を表-13に示す。輸送・製造工程におけるエネルギー消費（電力、軽油など）や投入資材に関して、実績値および既往の文献^{10)~12)}をもとに算定したCO₂排出量（廃コンクリート1トンあたり）を表-14に、最終の試算結果を図-20に示す。

再生骨材製造のCO₂排出量は71.2kg-CO₂/tであり、路盤材製造の環境負荷の5倍以上となった。しかしながら、輸送量や固化材の減少によってP3（生コン製造）、P4（地盤改良）においてCO₂排出量が削減したため、P2（骨材製造）によるCO₂排出量の増分を加えても、再資源化施設へ輸送して処理するケースより約1,000(t-CO₂)の排出量削減となった。LCAの観点からもオンサイト型コンクリート資源循環システムの適用は有効であることが確認できた。

なお、再生骨材製造の環境負荷は大きなものであるので、固定式プラントにする場合には、他の施設からの廃熱利用などを積極的に図る必要があると考えられる。

表-14 プロセスのCO₂排出量^{10)~12)}

項目	使用量 (価格)	単位	単位物量あたりのCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)	プロセスのCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)
輸送			0.314	0.314
路盤材製造 (工場)	電力	20.22 kWh/t	11.404	13.578
	軽油	0.20 リットル/t	0.597	
	軽油 (重機)	0.53 リットル/t	1.577	
再生骨材製造 (現場)	電力	20.22 kWh/t	11.404	12.592
	軽油	0.20 リットル/t	0.597	
	軽油 (重機)	0.20 リットル/t	0.591	
生コン製造 (現場)	加熱すりもみ	48.30 kWh/t	27.241	58.556
	灯油	11.80 リットル/t	31.208	
	軽油	0.04 リットル/t	0.107	
生コン製造 (工場)	電力	4.71 kWh/m ³	1.155	3.192
	軽油	1.57 リットル/m ³	2.037	
生コン製造 (現場)	電力	3.08 kWh/m ³	0.755	2.714
	軽油	1.51 リットル/m ³	1.959	
資材	砕石	2.10 千円/t	11.033	11.033
	山砂	2.50 千円/t	12.355	12.355
	普通セメント		800.116	800.116
	固化材		502.000	502.000

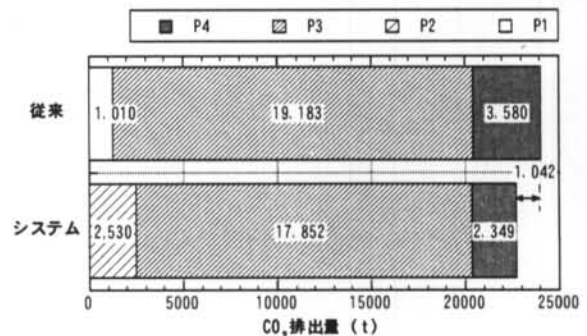


図-20 CO₂排出量の比較

§ 9. まとめ

オンサイト型コンクリート資源循環システムを開発し、東京団地倉庫榑平和島倉庫 A-1 棟建替工事へ適用した。主な検討結果は以下のとおりである。

- (1) 解体コンクリートのリサイクル適性の評価、プラントの配置、再生骨材の製造・品質管理計画、国土交通大臣の認定について述べた。また、こうした事前検討には十分な期間を見込む必要があることなどを示した。
- (2) 再生骨材の製造実績について述べた。工事期間を通して JIS A 5308 の品質規格を満足する再生骨材が得られたこと、重量でコンクリートがらの約 44%にあたる微粉末が発生したことなどを示した。
- (3) 再生骨材コンクリートの製造実績について述べた。骨材の種類にかかわらず品質管理結果は良好であり、現場内に生コンプラントがあるメリットを生かし、品質のよいコンクリートが打ち込めたことを示した。
- (4) 微粉末の基本特性と再利用について述べた。微粉末

は高い粉末度と弱い自硬性を有し、セメント代替として地盤材料へ適用可能であることを示した。

(5) 環境負荷評価 (LCA) の結果について述べた。再生骨材製造に伴う CO₂ 排出量は大きいものの、生コン製造と地盤改良において CO₂ 排出量が削減されるため、従来の路盤材利用よりオンサイト型コンクリート資源循環システムの方が環境負荷を小さくできることを示した。

再生骨材コンクリートの利用促進の重要性は益々高まっている。しかしながら、再生骨材の製造設備やコストの問題、規・基準類の整備、流通システムの構築など、再利用の促進を図る上での課題は依然として残されている。より一層の研究開発によって、これらの課題が早期に解決されるよう努める必要がある。

謝辞 オンサイト型コンクリート資源循環システムの現場適用にあたって、ご協力・ご指導頂いた関係者各位に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 黒田泰弘他：“コンクリート資源循環システムの開発・実用化”，清水建設株式会社技術研究所報第 74 号，pp.1-12，2001
- 2) 田中久順他：“廃コンクリートの微粉を混合したセメントの物性”，pp.326-327，第 55 回セメント技術大会要旨，2001
- 3) 内山 伸他：“加熱すりもみ処理した解体コンクリート微粉の固化特性”，土木学会第 57 回年次学術講演会，pp.73-74，2002.
- 4) 古賀康男他：“原子力発電所解体コンクリートからの骨材の分離技術”，放射性廃棄物研究 16，No.2，pp.17-25，1996
- 5) 建設省総合技術開発プロジェクト：“コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果）”，財団法人 土木研究センター，1989.05.
- 6) 島 裕和他：“加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術の開発”，コンクリート工学年次論文集 Vol.22-2，pp.1093-1098，2000
- 7) 島 裕和他：“再生骨材微粉を混和した高流動コンクリートの諸性質 第 3 報（その 1）”，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.671-672，2001
- 8) 笠井哲郎他：“コンクリート再生微粉の地盤改良材としての有効利用に関する研究”，セメント・コンクリート論文集 No.55，pp.639-643，2001
- 9) 内山 伸他：“加熱・磨砕処理したコンクリート微粉を用いる深層混合処理工法”，基礎工 7 月号，pp.62-65，2003
- 10) 日本建築学会：“建物の LCA 指針”，2003.
- 11) 日本建設機械化協会：“建設機械等損料算定表（平成 15 年度版）”，国土交通省総合政策局建設施工企画課監修，2003
- 12) 中村洋太：“コンクリートのインベントリ分析と最適化に関する研究”，東京大学学位論文，2003