

解体コンクリートからの高品質骨材回収技術 —長期材齢コンクリートへの加熱すりもみ法の適用性確認試験—

DEVELOPMENT OF RECYCLING TECHNIQUE
ON HIGH QUALITY AGGREGATE FROM DEMOLISHED CONCRETE
—VERIFICATION TEST ON THE HEATING AND RUBING METHOD FOR LONG TERMS CONCRETE—

立屋敷久志*・浅野闘一**・岡本雅道***・井上敏克****・古賀康男*****
by Hisashi TATEYASHIKI, Toichi ASANO, Masamichi OKAMOTO
Toshikatsu INOUE and Yasuo KOGA

1. 目的

現在、我が国では年間3,700万tのコンクリート廃材が排出され、そのうち2,400万tが路盤材として再利用、1,300万tが最終処分されている。今後、解体コンクリートの増大や処分場の逼迫に対し、再生骨材の用途拡大を図るためには、コンクリート骨材として再利用することが不可欠である。解体コンクリートのリサイクルシステムを図1に示す。

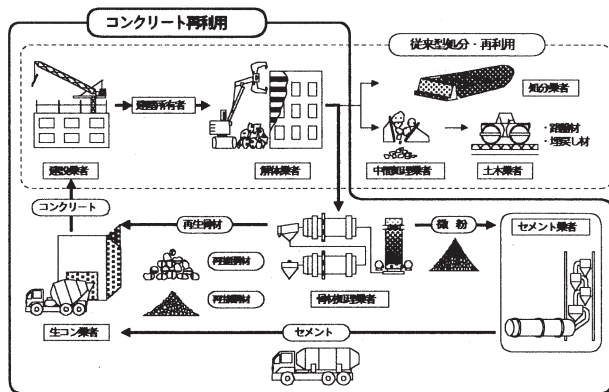


図1 解体コンクリートのリサイクルシステム

建設省は平成9年にコンクリート用骨材の再利用方法として、骨材品質に応じたコンクリート仕様を定めた。しかし、ヴァージン骨材に比べ低品質のために、品質変動が大きく、管理体制の確立などの課題を抱えている。

そこで、筆者らは、ヴァージン骨材と同等品質の骨材を歩留まりよく回収する技術の開発に取り組んできた。

コンクリート塊を300℃以下で加熱し、セメントペースト部分を脱水・脆弱化して、その後、すりもみ作用に

よる摩砕処理により、セメントペースト部分を選択的に除去するシステムで、加熱すりもみ方式と称している。そのメカニズムを図2に示す。

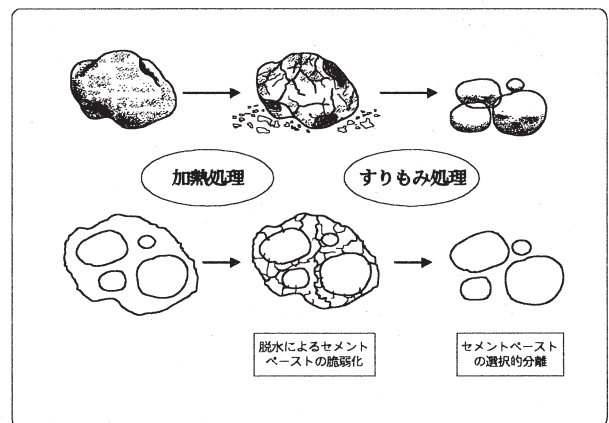


図2 加熱すりもみのメカニズム

これまでの研究⁽¹⁾において、新規に製作した試験体では、その適用性を確認したが、実際に発生するコンクリート塊は長期間経過したものが大半である。

本研究では、74年経過した丸の内ビルディング（以後、丸ビルと略す）を使って、長期材齢のコンクリートに対する「加熱すりもみ方式」による高品質骨材回収技術の適用性を確認することを目的としている。なお、高品質回収骨材の目標品質はJASS5とする。目標骨材品質を表1に示す。

具体的な検討内容は、①経年コンクリートの物性評価、②経年コンクリートに対する高品質骨材の回収技術の適用性評価、さらに、③高品質回収骨材の構造材料としての適用性をコンクリート試験で確認することとした。

表1 回収骨材の目標品質

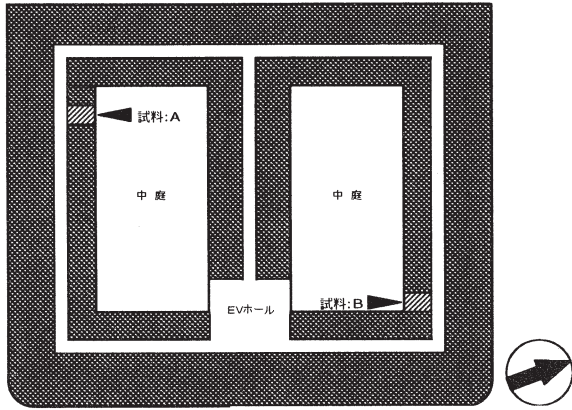
	絶乾比重	吸水率(%)
粗骨材	2.5以上	3.0以下
細骨材 ^(*)	2.5以上	3.0以下

(*)：砕砂規格値

*三菱マテリアル(株)環境リサイクル事業センター 課長代理 (〒112-0002 文京区小石川 1-3-25)、**同 環境リサイクル事業センター 所長、***同 環境リサイクル事業センター 部長、****同 セメント研究所 部長、*****同 セメント研究所 主任研究員

2. 実験概要

大正 12 年 2 月に竣工し、我が国において最も古い建築物の一つであった丸ビルは、平成 9 年 7 月より解体が始まった。その解体時に 5 階壁の 2 箇所から採取したコンクリートを試料とした。丸ビルコンクリート試料採取位置を図 3 に、試験体の種類と検討項目を表 2 に示す。



丸ビル 5 階概略平面図

図 3 丸ビルコンクリート試料採取位置

表 2 試験体の種類と検討項目

部位	形状	検討項目
A	φ10cm コア	コンクリート特性評価
	一辺 60cm 塊	回収技術適正評価
B	φ10cm コア	コンクリート特性評価
	一辺 60cm 塊	回収技術適正評価

2. 1 経年コンクリートの物性評価

2 箇所からサンプリングしたコア試料を用い、以下の試験からコンクリート物性および使用材料の違いを評価した。

①コアの物性試験

- ・圧縮強度試験およびヤング係数
- ・単位容積質量

②調合推定

③セメント水和物の観察

④骨材鑑定

2. 2 高品質骨材の回収技術の適用性評価

コンクリート塊の仕上げ部をはつり取り、最大寸法を 40mm に調製したガラ試料で骨材回収試験を行い、JASS 5 の骨材規格値を満足する処理条件を検討した。

表 3 高品質骨材の回収条件

試験条件	粗骨材回収試験	細骨材回収試験
加熱処理温度	3 条件 (非加熱、100℃、300℃)	3 条件 (100℃、300℃)
処理時間	3 条件 (15~45 分)	3 条件 (20~60 分)
媒体の種類	D13 鉄筋	Max3/4 インチ 鋼球
媒体試料比	1.0	1.5
ミル回転数	45rpm	45rpm

処理条件としては、加熱処理温度と処理時間を各 3 条件設定した。高品質骨材の回収条件を表 3 に示す。

(1)粗骨材回収試験

小型加熱炉を用いて、ガラ試料を所定温度で 24 時間加熱し、試料を小規模チューブミル型装置ですりもみ処理して得られた回収粗骨材の品質 (比重、吸水率) と回収率を測定した。

(2)細骨材回収試験

回収粗骨材の絶乾比重が JASS 5 の下限である 2.5 を満足する最も短い処理時間を選定し、そのとき得られた 5mm 通過試料を原料とした。その試料を小規模チューブミル型装置ですりもみ処理して得られた回収細骨材の品質および回収率を測定した。

骨材回収状況を写真 1、2 に示す。

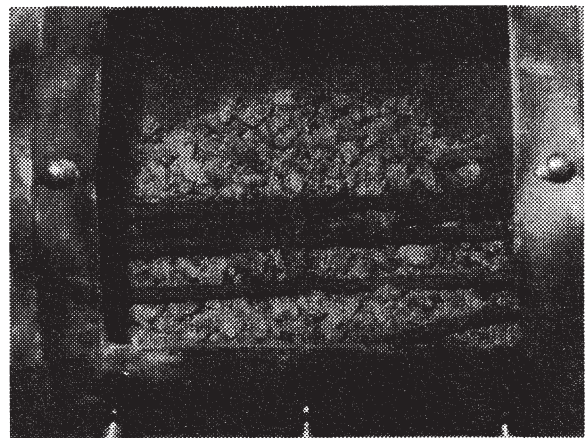


写真 1 粗骨材回収試験状況

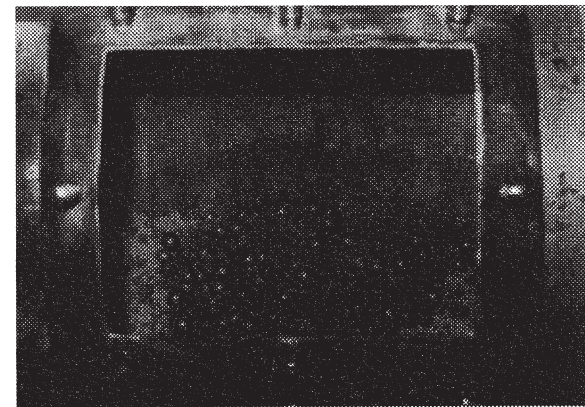


写真 2 細骨材回収試験状況

2. 3 コンクリート試験

2. 2 で回収した高品質な回収粗、細骨材を用いて、調合強度 30N/mm²、目標スランプ 15cm、目標空気量 4% のコンクリートを作製して、以下の強度性状および耐久性状を調べ、コンクリートへの適用性を評価した。

①強度性状

- ・圧縮強度
- ・ヤング係数

②耐久性状

- ・乾燥収縮
- ・凍結融解抵抗性

3. 実験結果と考察

3.1 コンクリート特性評価試験

(1) コアの物性試験

試験結果を表4に示す。

表4 コア物性試験結果

部位	単位容積質量 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
A	2.32	21.0	24.9
B	2.26	18.1	22.5

ヤング係数は、日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準式に、単位容積質量および圧縮強度データを代入して求めた計算値（試料A：21.8kN/mm²、試料B：19.5kN/mm²）より大きかった。

(2) 調合推定

調合推定結果を表5に示す。Aに比べBは、骨材量が少なく、水量が多い（高W/C）結果であった。

表5 調合推定結果

部位	セメント量 (kg/m ³)	骨材量 (kg/m ³)	水量 (kg/m ³)	W/C (%)
A	251	2016	140	56
B	264	1891	187	71

(3) セメント水和物の観察

X線回折（図4-1、4-2）の結果から、Aでは、セメントの水和過程で生成するポルトランドイトのシャープなピークが認められた。一方、Bでは、カルサイトのピークが高く、Aに比べ炭酸化が進んでいることが分かった。これはBのW/Cが高いことが原因の一つと考えられる。

(4) 骨材鑑定

A、B 2箇所から採取したコンクリート中の粗骨材は、いずれも、砂岩とチャートで構成されていた。細骨材は、主にチャート、頁岩、砂岩の岩片と石英の鉱物片から構成されていた。A、Bどちらか片方に特異な構成鉱物は確認できなかったことから、2種類のコンクリートに含まれる粗、細骨材は同一と判断できる。

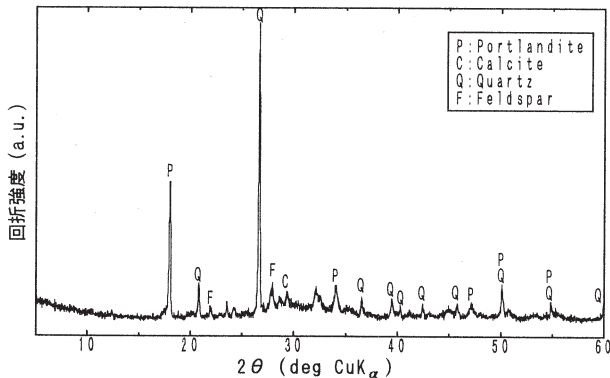


図4-1 X線回折図（部位A）

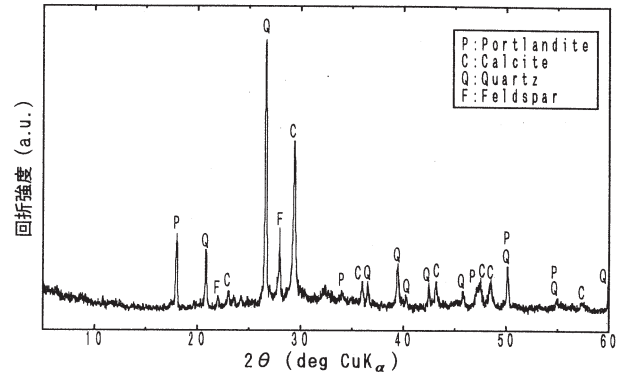


図4-2 X線回折図（部位B）

3.2 高品質骨材回収試験

(1) 回収骨材の品質評価

回収骨材の品質（絶対比重、吸水率）を図5に示す。

絶対比重と吸水率は直線関係にあり、JASS5の粗骨材、細骨材のいずれも規格を満足するためには、絶対比重の規格値がクリティカルになる。

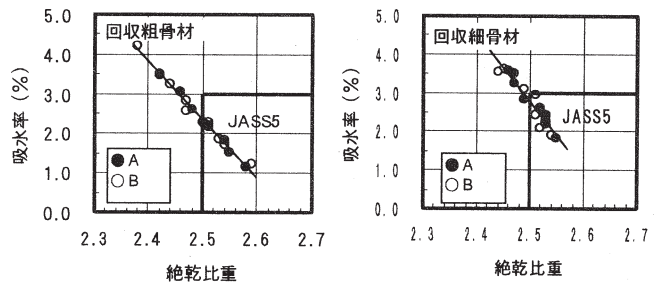


図5 回収骨材の品質

(2) 加熱温度が処理時間に与える影響

加熱温度がすりもみ処理時間に及ぼす影響を図6-1に示す。絶対比重が、2.5になるまでのすりもみ処理時間を加熱温度に対してプロットした。図6-2は、A、Bの平均値を示した。

コンクリートの種類にかかわらず、粗、細骨材ともに、加熱温度が高いほど、すりもみ処理時間は短くなる。JASS5規格値である絶対比重2.5を満足するためのすりもみ処理時間は非加熱を基準とすると、粗骨材の場合、100°C加熱で0.6倍、300°C加熱で0.2倍となり、細骨材の場合、100°C加熱で0.7倍、300°C加熱は処理時間が0.4倍程度となった。

(3) 加熱温度が回収率に与える影響

加熱温度が回収率に及ぼす影響を図7に示した。骨材品質は、絶対比重2.5一定とした。また、A、Bの平均値を調合推定から求めた元々の骨材使用量に対する割合を図8に示した。

粗、細骨材の回収率は、いずれも非加熱の場合に比べ、300°C加熱すると若干増大する傾向を示した。A、B間では、粗骨材と細骨材の回収率の大小が逆転して

いるが、粗骨材と細骨材を合わせると、解体コンクリートに対し、Aの場合 82%、Bの場合 76%といずれも高い回収率であった。

A、Bの粗、細骨材の回収率が大きく異なるのは、同一の使用骨材であること、回収粗骨材がほとんど破碎されていないことから、元々の s/a の違いによるものと考えられる。

A、Bの結果を総合すると、JASS5 級の高品質骨材を解体コンクリートに対して 76%以上、元々の骨材使用量に対して 95%以上の割合で回収できたことになる。

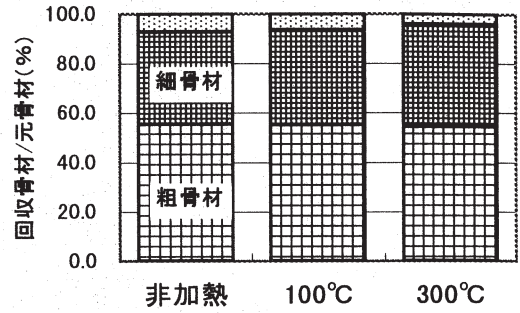


図8 加熱温度が回収率に及ぼす影響(A、Bの平均)

3. 3 高品質回収骨材使用コンクリートの評価試験

骨材の品質を表6、コンクリートの調合を表7に示す。フレッシュ性状および強度試験結果を表8に示す。

なお、比較用コンクリートの粗骨材は、丸ビル回収骨材と同種類の川砂利と、現在一般に使用されている碎石の2種類とした。細骨材は、山砂1種類とした。

表6 骨材の品質

材料	種類・銘柄	品質
細骨材	回収細骨材	表乾比重 2.58 吸水率 2.32%
	山砂 (木更津産)	表乾比重 2.64 吸水率 1.41%
粗骨材	回収粗骨材	表乾比重 2.57 吸水率 2.12%
	川砂利 (北海道産)	表乾比重 2.67 吸水率 1.14%
	碎石 (八王子産)	表乾比重 2.66 吸水率 0.89%

①フレッシュ性状

回収骨材コンクリートのスランプ発現性は川砂利コンクリートとほぼ同様で、碎石コンクリートより著しく良好であった。回収骨材コンクリートでは、碎石コンクリートに比べ単位水量を約 20kg/m³ 少なくできた。

表7 コンクリート種類と調合

コンクリート種類	粗骨材及び細骨材	目標スランプ ^o 及び目標空気量	W/C (%) [*]	単位水量 (kg/m ³)
回収骨材コンクリート	回収粗骨材 回収細骨材	15cm 4%	54	145
川砂利コンクリート	川砂利 山砂		54	144
碎石コンクリート	碎石 山砂		60	165

* : 30N/mm² 圧縮強度を発現する値

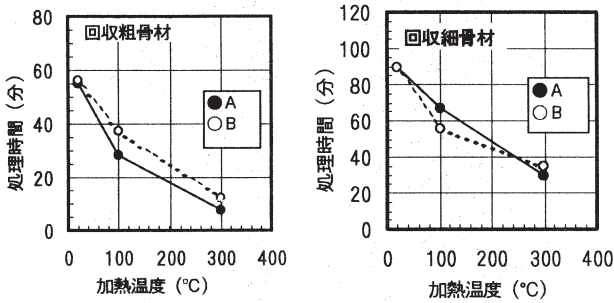


図6-1 加熱温度とすりもみ処理時間の関係 (品質：絶乾比重 2.5 一定)

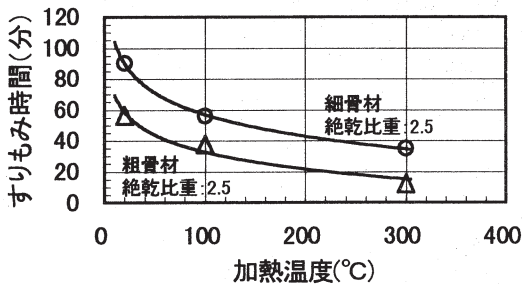


図6-2 加熱温度とすりもみ処理時間の関係 (A、Bの平均)

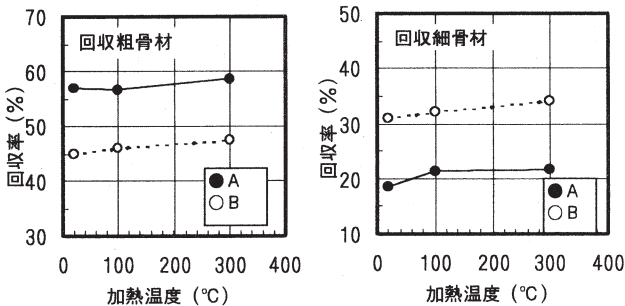


図7 加熱温度と回収率の関係 (品質：絶乾比重 2.5 一定)

②強度性状

回収骨材コンクリートで目標強度を発現させるには、川砂利同様、碎石よりも水セメント比を小さくすることが必要であり、圧縮強度は水セメント比が同じ川砂利コンクリートと一致していた。ヤング係数は、圧縮強度に対応した傾向を示した。

表8 フレッシュ性状と圧縮試験結果

コンクリート種類	スランプ ^o (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²) [*]	ヤング係数 (N/mm ²) [*]
回収骨材コンクリート	13.0	5.2	32.8	33,800
川砂利コンクリート	14.5	4.7	32.9	33,200
碎石コンクリート	17.0	5.2	29.6	31,900

*: 材齢 28 日

③耐久性

乾燥収縮試験結果を図9、凍結融解抵抗性試験結果を図10に示す。回収骨材コンクリートの乾燥収縮は、比較用のコンクリートの乾燥収縮量と同等以下であった。回収骨材コンクリートの相対動弾性係数は、300サイクルで60%以上を示し、比較用の川砂利コンクリートより優れた凍結融解抵抗性を示した。

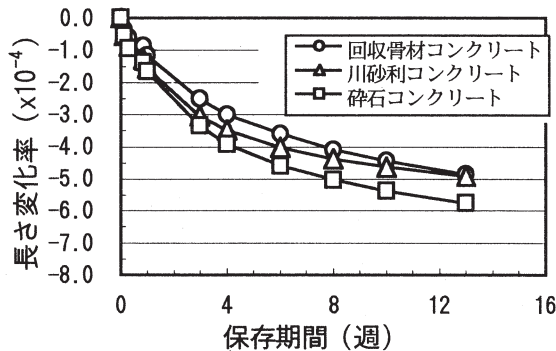


図9 乾燥収縮試験結果

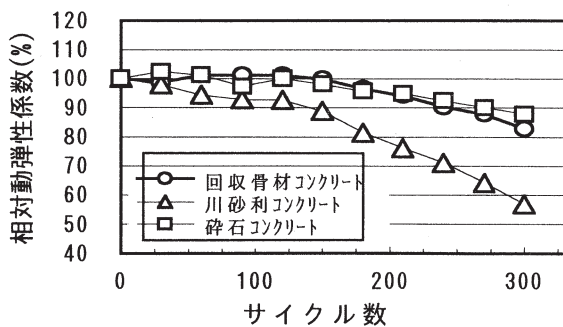


図10 凍結融解抵抗性試験結果

以上のことより、丸ビル解体コンクリートから加熱すりもみ方式によって得られた JASS5 の品質を満足する高品質回収骨材を用いたコンクリートは、川砂利コンクリートと同様の性状を有することが確認できた。また、現在、一般に使用されている碎石コンクリートと比較すると、高品質回収骨材使用コンクリートの方が、フレッシュ性状、耐久性状ともに優れた性状を示した。その理由は、単位水量を低減できたことによるものと考えられる。

川砂利と同程度まで単位水量を低減できたのは、丸ビルコンクリートに使用された元々の骨材が砂利であったことと、加熱すりもみ方式によって、骨材品質および形状を損なうことなく回収できたことによる。また、高品質回収細骨材の品質がガーゼシ並であったことも影響していると考えられる。

4. まとめ

以上をまとめると、次のようになる。

- ①74 年経過した丸ビル解体コンクリートは、18~21N/mm² の圧縮強度、それに見合ったヤング係数を有する一般的なコンクリートである。
- ②調合の異なる長期材齢の丸ビル解体コンクリートに対しても、加熱すりもみ方式によって JASS5 品質の骨材を回収できることが確認された。
- ③加熱温度が高くなるにしたがい、高品質骨材を回収するためのすりもみ処理時間が短縮できる。
- ④加熱温度 300°Cでは、コンクリートに対して 76%以上の高回収率となった。これは元々の骨材使用量の 95%以上を回収できたことになる。
- ⑤高品質回収骨材コンクリートは、単位水量を低減できる。また、強度性状および耐久性状は川砂利コンクリートと同等であった。

本研究は、(財)クリン・リサーチ・センター「平成9年度廃棄物等用途開発・拡大等のための調査検討」を受けて行ったものである。また、試料を御提供頂いた三菱地所(株)に謝意を表します。

参考文献

(1)例えば、古賀他、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, 17~25(1996)

(1999年4月14日受付 9月24日受理)