

コンクリートがらからの骨材回収に関する研究 RECOVERY OF AGGREGATE FROM WASTE CONCRETE

山田優*・川本裕章**・長谷川俊和***・本多淳裕****

By Masaru YAMADA, Toshiaki KAWAMOTO, Toshikazu
HASEGAWA and Atsuhiko HONDA

1. まえがき

構造物の解体で発生するコンクリートがらは、人体に特に有害な物質を含まず、化学的な組成は土に近く、適度な大きさに破碎すれば道路などに使われている碎石のような形状になる。土地造成に利用できる掘削残土は有用物とみなされ、廃棄物処理法の適用を受けないが、コンクリートの破碎物はこの残土よりもはるかに建設用材として有用であると言える。しかしコンクリートがらは通常かなり大きな塊のまま解体現場から排出され、不要物として捨てられてきた。とくに建築構造物の解体では、木くず、プラスチックくず、金属くずなどを多く混在していて、廃棄物として規制されるのが当然な状態におかれてきた。

ところが最近、リサイクル法の制定にみられるように、廃棄物の埋立処分量を少なくしたい、限りある資源の消費を抑えたい、そのためにこれまで捨てていたものを極力再利用しようということになった。当然、年間7600万tという膨大な量に達している建設副産物、中でもその1/3に当たるコンクリートがらの再利用の推進が強く要求される。

このコンクリートがらの再利用率は最近ようやく高くなり、平成2年度の調査では48%と言われている。しかし現在のところ、ほとんどが再生クラッシュランとしての利用である。それはコンクリートがらを鉄筋などの不純物の除去をした後、クラッシャーで40mm程度以下に破碎して製造される。再利用率をなお一層高め、また骨材資源不足を補うために、再生クラッシュランとしての利用に加えて、さらにコンクリート用骨材としての再生など、より高度な利用が期待される^{1)・2)}。

筆者らはこれまで、良質のコンクリート用再生骨材を得るため、コンクリートがらを機械的に骨材とセメント分に分離し、粗骨材、細骨材を回収することについて研究してきた。そのうち粗骨材については、従来の破碎機に加えて比較的簡単な機構の骨材再生機を使用すること

により、容易に分離・回収できることがわかった。以下にその研究結果を述べる。

2. 良質な再生骨材を得るためにセメント分との分離が必要な理由

(1) コンクリートがら破碎物とそれを骨材にしたコンクリートの性質

既述のように、コンクリートがらを不純物を除去して適度な大きさに破碎すれば、碎石と同様の形状のものが得られる。しかしこのように破碎のみによって得た再生骨材はコンクリートに普通用いられている骨材に比べて比重が小さく、吸水率が高く、またすりへり減量も大きい。これはセメントの水和物が多く含有しているためと考えられる。

このような再生骨材をコンクリートに用いると、普通骨材を用いる場合に比べ、次のようなことになると思われる。

- ①コンクリートの作製に際し、従来のコンクリートと同じワーカビリティを得るために必要な水量が多くなる。
- ②そのため、硬化時の乾燥収縮が大きい。
- ③硬化後の強度、弾性率が低い。
- ④さらに、凍結融解の繰返しにより強度が低下しやすい。

(2) ロサンゼルス試験機による実験³⁾

図1は、コンクリートがらを破碎して作った再生粗骨材をロサンゼルス試験機を使って鋼球とともに回転させ、すりへり率とセメント付着率の変化を調べた結果である。回転を続けることにより再生骨材はすりへり、セメント付着率は低下する。ただし、すりへりはセメント部分だけでなく、原コンクリートの骨材部分でも起こり、骨材回収率を低下させる。原コンクリートの骨材をできるだけすりへらさずにセメント部分をすりへらして除去することができれば、効率よく骨材が回収されることになる。

図2は、図1の実験後の各再生粗骨材の絶対比重および吸水率とセメント付着率との関係を示す。比重および吸水率がセメント付着率の減少とともに原コンクリートの値から原コンクリートの粗骨材の値に移行していくことがわかる。

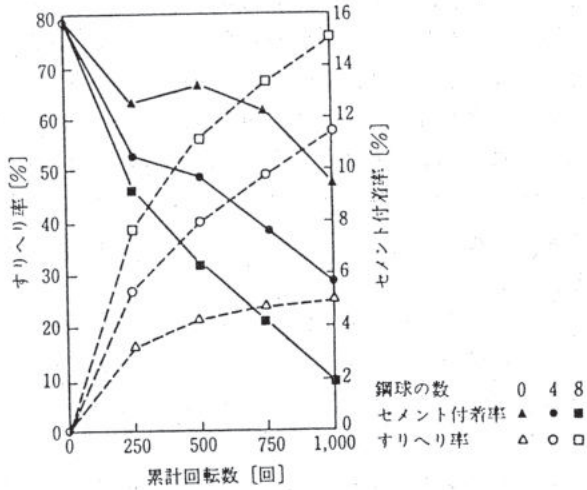


図1 ロサンゼルス試験機によるセメント分除去実験結果

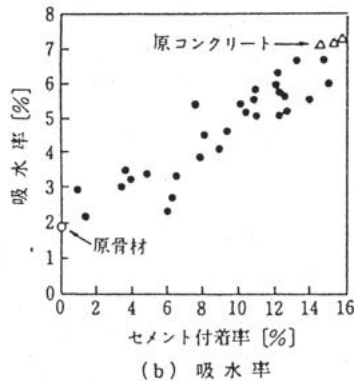
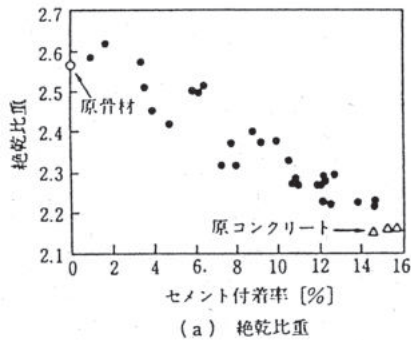


図2 再生粗骨材の比重および吸水率とセメント付着率との関係

(3) セメント付着率の試験方法

前出のセメント付着率は、試料を0.3mm以下に粉碎した後、約5gをピーカにとり、3N塩酸溶液に1時間浸漬したときの溶出率から求めた。実験に用いたセメントの水和物および骨材の溶出試験結果が表1のようになったことから、セメント付着量および付着率を次式により計算した。

$$A = (0.965 \times p - q) / 0.885 \quad (1)$$

$$C = (A / p) \times 100 \quad (2)$$

ここに、A：セメント付着量 (g)

C：セメント付着率 (%)

p：塩酸浸漬前の試料質量 (g)

q：浸漬後の試料質量 (g)

表1 セメント水合物および骨材の溶出試験結果

試料	可溶分 (%)	不溶分 (%)
セメント水合物	92.0	8.0
骨材	3.5	96.5

3. 既存の破碎機を用いた粗骨材再生実験

(1) 用いたコンクリートから破碎物試料

コンクリート製の廃電柱は現在、それ専用の圧縮型破碎機で破碎され、鉄筋を分離し、再生クラッシュランとして路盤などに再利用されている。これをさらにインパクトクラッシャーで破碎し、5~26.5mmの粒径分を本実験用の試料とした。試料の平均セメント付着率は32.1%であった。

なお電柱のコンクリートは遠心力を使って締め固められており、比較的高強度である。

(2) 用いた破碎機と試験条件

衝撃と摩擦を主な作用機構とするロッドミルとボールミルおよび圧縮を主な作用機構とするコーンクラッシャーを用い、表2に示す条件で試験を行った。

表2 使用破碎機と試験条件

記号	破碎機	試験条件		
		乾湿	時間	ロッドの寸法と量
A-1	ロッドミル (内径300mm 長さ600mm)	乾式	5h	径30mm・長530mm・6本
A-2		湿式	5h	
A-3		乾式	10h	径45mm・長530mm・2本
A-4		湿式	10h	
B-1	ボールミル (内径300mm 長さ600mm)	乾湿	時間	ボールの寸法と量
B-2		乾式	5h	
B-3		湿式	5h	径30mm・10kg
B-4		乾式	10h	径25mm・6.68kg
B-5		湿式	10h	
B-6		乾式	10h	径40~50mm・ 33.4kg
B-7		湿式	10h	
B-8		乾式	10h	径20~25mm・ 33.4kg
	湿式	10h		
C-1	コーン クラッシャー	乾湿	排出口の幅	
C-2		乾式	9mm	
		乾式	7mm	

(3) 実験結果と考察

表2の各条件でのセメント除去率と粗骨材回収率との

関係を図3に示す。なおセメント除去率および粗骨材回収率を、破碎試験後の試料の5mm以上の粒径分を再生粗骨材とし、次式により計算した。

$$Y = \{ (C_1 - C_2) / C_1 \} \times 100 \quad (3)$$

ここに、Y：セメント除去率 (%)

C₁：試験前の試料のセメント付着率 (%)

C₂：回収再生粗骨材のセメント付着率 (%)

$$R = (G_2 / G_1) \times 100 \quad (4)$$

ここに、R：粗骨材回収率 (%)

G₁：試料の全質量 (kg)

G₂：回収再生粗骨材の質量 (kg)

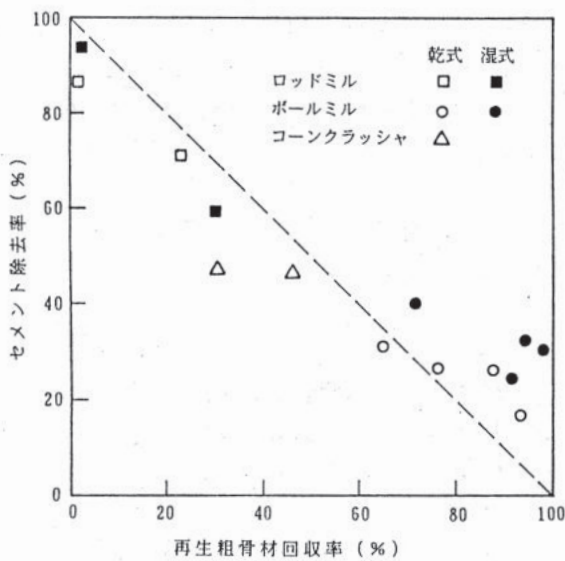


図3 表3の各条件での再生粗骨材のセメント除去率と回収率との関係

3つの破碎機のうち、ロッドミル使用の場合が最もセメント除去率が高かったが、粗骨材回収率は最も低かった。粗粒分を優先的に破碎するためと考えられる。ボールミルでは粗骨材回収率が高かったが、セメント除去率は低かった。コーンクラッシャーでは前2者の中間の結果であった。すなわち、これら既存の破碎機では、コンクリート中の原骨材をあまり破碎しないでセメントを分離・除去することは難しい。なおボールミルによる実験で、湿式の場合、乾式に比べて若干セメント除去効率が低い傾向を示した。

4. 試作した粗骨材再生機による実験

(1) 粗骨材再生機の概要

既述のように、粗骨材の分離・回収に当たっては、原粗骨材部分をできるだけ破碎せずに粗骨材に付着するセメント分をできるだけ分離・除去する必要がある。基本的には、コンクリート中の骨材よりそれらを接着してい

るセメント水和物部分の方が強度が少し小さいので、その差によってまずコンクリート塊をセメント水和物の部分で割り、そのセメント分を骨材からこそぎ落としたいということであるが、後半の働きは、玄米が強度の高い白米の部分とそれより少し強度の低い糠やはい芽部分とからできていて、精米機ではその米粒同士をぶつけ合い、こすり合わせて精米しているのと同じようなものであると言える。

そこで図4に示すような構造の装置(写真1)を試作して粗骨材再生実験を行うことにした。すなわち、この装置では縦に設置した円筒形のケーシング内にわずかに偏心した軸をもつ回転体が置かれている。コンクリート破碎物粒子を上部からケーシングと回転体との間に連続的に投入して充填し、回転体によって適度な剪断力と圧縮力を与え、粒子同士をもみ合わせながら上から下に移動させ、下部から引き出す機構になっている。

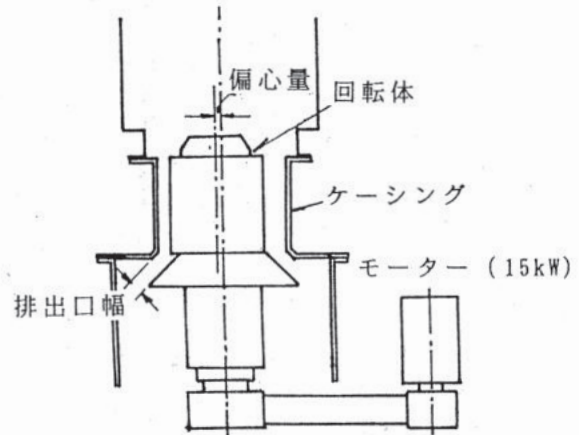


図4 粗骨材再生実験機の構造

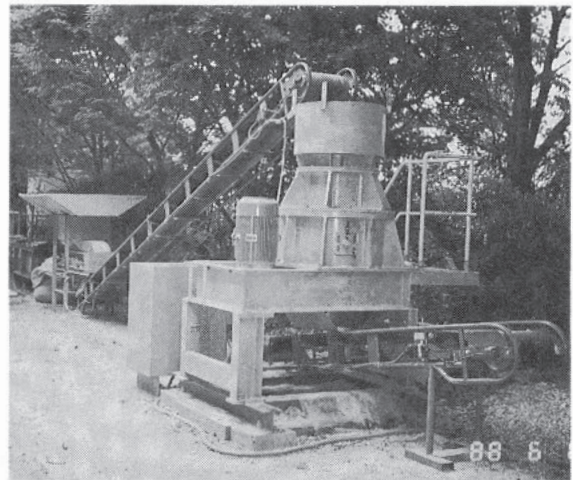


写真1 粗骨材再生実験機

(2) 本実験に用いたコンクリート破碎物試料

用いたコンクリートは、建造後約20年のビルを解体して発生したものである。これをまずコンクリートブ

レーカで粗割りした後、ジョークラッシャとさらにコンクラッシャによって16mm以下の粒径に破碎し、4.75mmふるい残留分を本実験の試料とした。

(3) 実験結果と考察

表3に示すように、ケーシングの内径、回転体の形状、偏心量、回転速度、排出口の幅を変えて実験を行った。

表3 粗骨材再生機による実験条件

要因	水準
ケーシングの内径 (mm)	420, 450, 480
回転体の形状	円筒形, 円錐台形
偏心量 (mm)	3.8, 7.0, 9.2, 10.0
回転速度 (r. p. m.)	400, 500, 600
排出口の幅 (mm)	17~47

その結果、モーターに過負荷をかけず、コンクリート破碎物試料がケーシングと回転体の間で滞留して粒子同士がもみ合う現象は、回転体の形状が円錐台形の場合には起こらず、ケーシングの内径が420mmあるいは450mm、回転体が円筒形で、排出口の幅が20~35mmのときに起こりやすいことがわかった。ケーシングの内径が480mmの場合には試料が滞留しにくく、排出口の幅が35mmより広いと滞留しないで通過し、17mmより狭いと試料の流れが止まり、つまり現象が生じて過負荷となって機械が停止した。

また得られた49種の再生粗骨材のセメント除去率を試験し、それとケーシングの内径、偏心量、回転速度および排出口の幅の4つの要因との関係を数量化理論第I類により分析し、表4に示す結果を得た。これより、採用した実験条件の範囲では、ケーシングの内径と排出口の幅がセメント除去率に強く影響し、ケーシングの内径に

表4 再生粗骨材のセメント除去率と実験条件との関係についての数量化分析結果

アイテム	カテゴリ	スコア	レンジ	偏相関係数
ケーシングの内径 (mm)	420	30.08	69.18	0.763
	450	-9.83		
	480	-39.10		
偏心量 (mm)	5未満	0.22	0.54	0.022
	5以上	-0.32		
回転速度 (r. p. m.)	400	-0.27	0.61	0.028
	500	0.34		
	600	-0.28		
排出口の幅 (mm)	30未満	10.78	26.41	0.601
	30以上	-15.63		
重相関係数		0.791		

ついては420mmのとき、すなわちケーシングと回転体との間隔が狭いほど、また排出口の幅が狭いほど、セメント除去率が高いことがわかる。もちろん、この分析データには、過負荷となって機械が停止して再生粗骨材が得られなかった要因の組合せを含んでおらず、採用できるケーシングと回転体の間隔ならびに排出口の幅には試料粒子の径で決まる下限値がある。

図5は、ケーシングの内径が420mm, 450mmおよび480mmの実験における再生粗骨材のセメント除去率と回収率との関係を示す。420mmの場合が最も回収率を下げずに、すなわち骨材を破碎しないで、セメント除去率を高くできることがわかる。その場合の再生粗骨材の吸水率と回収率との関係は図6のとおりで、コンクリート用碎石の

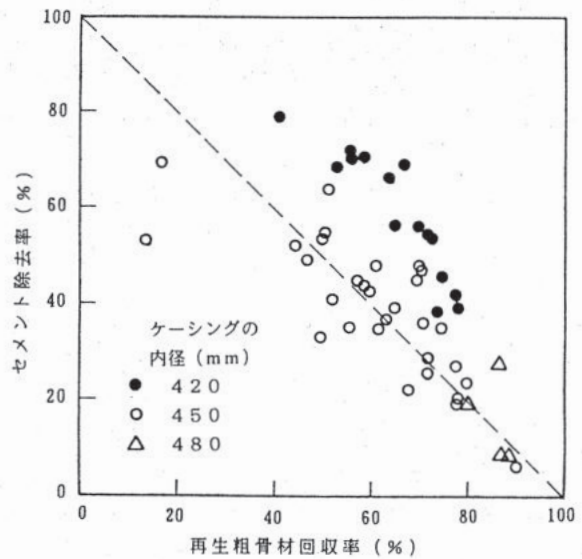


図5 再生実験機で得られた再生粗骨材のセメント除去率と回収率との関係

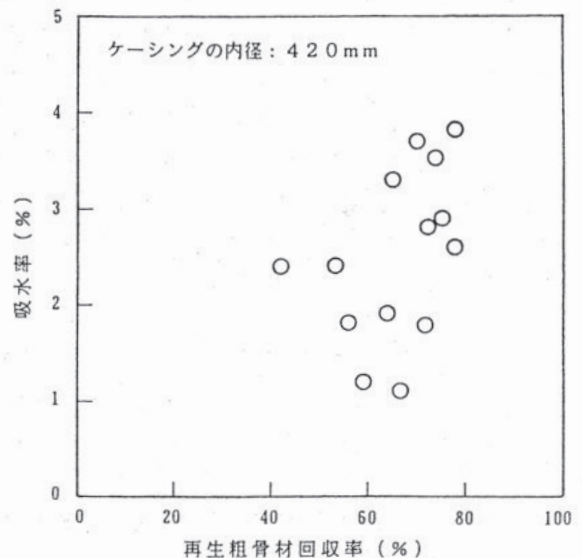
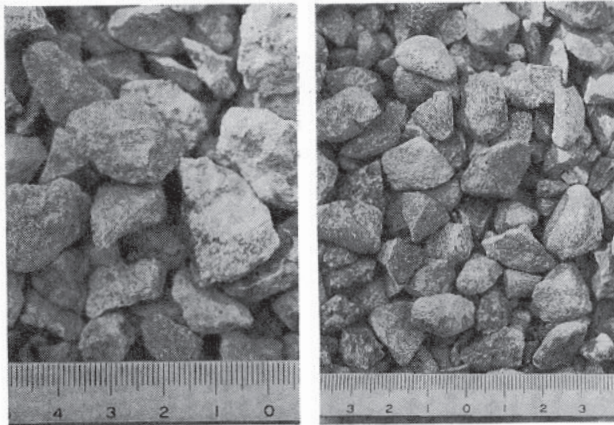


図6 再生実験機で得られた再生粗骨材の吸水率と回収率との関係

JIS規格を十分に満足する吸水率1~2%の再生粗骨材が回収率50~70%で得られている。

この再生粗骨材は写真2を見るとわかるように、角が取れて丸くなり、コンクリート用骨材としては良好な形状であると言える。



(a) 再生実験前試料 (b) 再生粗骨材
写真2 粗骨材再生実験前の試料と再生粗骨材

5. あとがき

以上示したように、コンクリートがらをコンクリート用骨材として再利用するためには、不純物除去と破碎処理だけでは不十分で、さらにセメント分の分離・除去処理を行う必要がある。これによって再生骨材の製造コストが高くなるが、その分、付加価値が高まるのであれば実施できることになる。少なくとも再生粗骨材については簡単な機構の装置で行うことができ、可能性が高いと言える。

土木構造物の解体で生じるコンクリートがらは比較的強度が高く、鉄筋以外の不純物の混入が少ないため、破碎して粒度を調整するとともに磁力で鉄筋類の除去を行えば、再生クラッシュランとして路盤などに利用しやすい。しかしコンクリートにモルタル吹付けがされていたり、レンガやブロックが使われている建築物の解体では、極力、現場で分別するとしても、コンクリートがらに低強度なものが混入しやすい。これらは単に破碎するだけでは除去されず、弱い粒子を多く含んだ再生クラッシュランを製造することになる。

弱い粒子を含んでいても路盤に使えるのではという議論もあろう。しかし少なくとも弱い粒子の少ないものと比べて競争力が劣ることは間違いない。破碎後、さらにセメント分の分離・除去処理をして粗骨材回収を行うことにより、同時に弱い不純物粒子も砕いて除去できると予想される。

こうしたことを確認し、経済性等を検討するため、実証プラントの建設が望まれる。

6. 謝辞

本研究は、コンクリート廃材リサイクル研究会（会長 本多淳裕、現在それを発展的解消し、建設資源リサイクル研究会となっている。）の研究テーマとして行ったものである。協力いただいた同会技術会員の(株)栗本鉄工所、極東開発工業(株)、大木碎石(株)、京阪コンクリート工業(株)、(株)オージーロード、大阪セメント(株)、関西環境開発(株)、大栄環境(株)の各位および学会会員の近畿大学 佐野正典、柳下文夫両先生に深謝します。

参考文献

- 1) 本多淳裕, 山田優: 建設系廃棄物の処理と再利用, 省エネルギーセンター, 1990, 7.
- 2) 山田優: コンクリート廃材をコンクリートに再利用する, セメント・コンクリート, No. 544, pp. 1~7, 1992, 6.
- 3) 長谷川俊和, 本多淳裕, 山田優, 眞嶋光保: コンクリート廃材の再生利用に関する一研究, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, pp. V-16-1~2, 1986, 5.