

日本産業機械工業会会長賞 「再生骨材製造システム (RC7)」 コトブキ技研工業株式会社

1. 開発の経緯

1.1 開発の趣旨

土木、建築分野の工事に伴って発生する建設廃棄物は建設残土と区別されており、大部分は化学的に無害であり再利用可能である。また平成3年10月に施工された「再生資源の利用の促進に関する法律」いわゆるリサイクル法等により再利用を図らなければならないことになっている。なかでも、コンクリート構造物の解体時に発生する廃コンクリートは、路盤材、裏込材、埋め戻し材等に再利用されているが、一部は不法投棄されるなど環境問題にもなっている。コンクリート構造物の設計寿命は大規模なものを除き50年程度であるので、1960年代後半からの高度成長期に建設された構造物が解体されると、今後大量の廃コンクリートが発生することになる。

一方、一般構造用コンクリートに使用する天然骨材は採取規制等により不足しているのが現状である。これらの状態を考慮すると、廃コンクリートをコンクリート用再生骨材として再利用することは極めて重要であるといえる。再生骨材のコンクリートへの再利用に関する研究の大半は低強度コンクリートが対象とされているが、今後の発生量の増大や近年の骨材事情を考えると、一般構造用コンクリート(例えば、圧縮強度が21N/mm²以上)にも適用されなければならない。しかしながら、品質の低い再生骨材を用いると、コンクリートの強度低下、乾燥収縮の増大、耐久性の低下などをきたし一般構造用コンクリートを経済的に得ることは極めて困難である。

これらの状況の中、低コスト、低エネルギーで大量に且つ簡便な処理方法により品質改善出来る設備を開発し、廃棄物及びCO₂の削減と循環型社会への寄与を目指した。

申請の装置に採用した分級選別機(Vsepa)は特許申請中である。

1.2 開発の目標

既存の再生骨材設備では困難とされている以下の項目を目標として開発した。

- ① 高品質な再生骨材の生産が可能
 - ・ JIS の H 規格を満足する骨材の生産
 - ・ 特に細骨材の品質改善
- ② 原料投入から製品排出までの磨砕・選別・分級の全ての工程を一つのユニットでシステム化する。(分級とは、不要な粉分を抜き取る処理のことである)
- ③ 製品品質の調整が可能
- ④ 乾式設備によるイニシャルコストの低減(水処理設備が不要)

- ⑤ ランニングコストの低減
- ⑥ 省スペース、無粉塵、低騒音

1.3 開発経緯

- 2000.10 廃コンクリートの品質調査開始
- 2001.12 自生破碎方式の磨砕機によるモルタル剥離性能の確認試験
- 2002. 2 品質改善処理をした再生骨材の品質確認試験
- 2002. 4 品質改善処理をした再生骨材を用いたコンクリート性能試験
- 2004. 4 再生骨材製造システム (RC7) 設計
- 2007.10 実証プラント完成、稼働開始

2. 装置説明

2.1 装置の概要

(1) システムフロー

申請の装置は、廃コンクリートに磨砕・選別・分級処理を施し、高品質な再生骨材を製造するシステムである。当社独自開発の磨砕機（ハスラー）及び分級選別機（Vsepa）を主機にユニット化されたシンプルな構成である。投入された原料は、磨砕機により脆弱部分が磨砕されモルタルと骨材が分離し、分級選別機によりモルタル粉の回収・細骨材の分級・製品サイズの篩い分けが行われる。所定の品質となるまでこの工程を繰り返し、品質改善が行われた骨材が排出される。

図1にシステムフロー、写真1にシステム外観を示す。

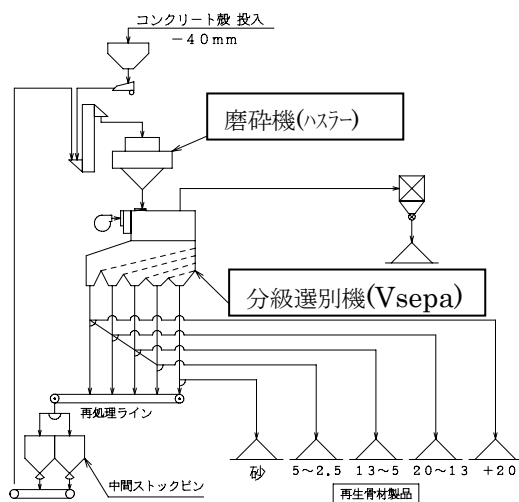


図1 システムフロー



写真1 システム外観

(2) 磨砕機（ハスラー）

再生骨材の品質改善のためには、骨材に付着しているモルタルを効率良く分離・除去させる必要がある。付着モルタルを力学的な方法で低エネルギーにて大量処理が可能なことから自生破碎方式の磨砕機を採用した。本機はロータ中央に投入された原料（廃コンクリート）が遠心力により放出され、デッドストックへの衝突及び放出される骨材同士の衝突を繰り返して排出される。自生破碎方式（骨材同士の衝突破碎）のため磨砕効果に優れ、モルタル部などの脆弱部分を優先して磨砕するため再生骨材回収に適した磨砕特性を持つ。また、機械内部はセルフライニング方式でランニングコストも低減される。図2に内部構造、写真2に外観、を示す。

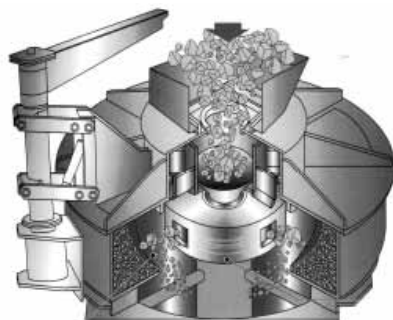


図2 磨砕機の内部構造



写真2 磨砕機の外観

(3) 分級選別機（Vsepa）

剥離したモルタル粉の効率的な回収、製品サイズの選別には、分級選別機を採用した。本機は、風力による分散投入方式で高性能な篩い分け精度、コンパクト設計、無粉塵、低騒音など多くの特徴を持つ粗粒子から微粒子までの多彩な選別が可能な装置である。従来では複数の機械が必要であったモルタル粉の回収・細骨材の分級・製品サイズの篩い分けの3つの機能を1台にて可能とする。図3に内部構造、写真3に外観を示す。

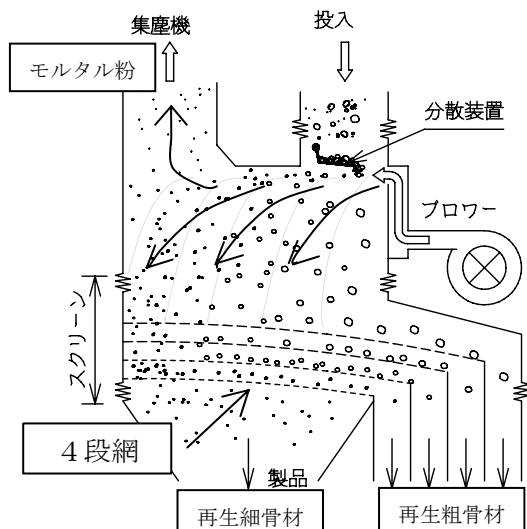


図3 分級選別機の内部構造

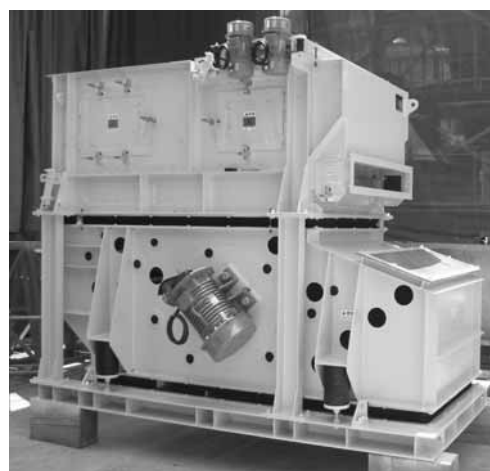


写真3 分級選別機の外観

本機は、図4に示すように投入された原料がブロー送風により水平方向に加速され、粗粒子は手前に細粒子は後方に分散された状態で網へ供給される。比較的篩い分けが容易な粗粒子は網の手前部分にて篩いを行い、より篩い分け面積が必要な細粒子は後方部分より、網全面を利用して篩いを行う。図4に本機と従来型スクリーンの投入比較を示す。本機は粗粒子と細粒子の篩い面積が有効に利用されていることがわかる。



図4 スクリーンへの投入比較

さらに分散投入で網単位面積当たりの投入量を減少させることにより篩い分け性能を向上させた。さらに目詰まりの要因である微粉を網供給前に集塵機で回収することにより網への微粉接触が無く、網の目詰まりを防止している。これらの効果により従来型スクリーンに比べ2~3倍の処理能力を得ることができた。

本機を用いることで設備が簡素化されイニシャル・ランニングコストの大幅な低減を実現した。

3. 成果

試験の結果にて以下の成果を確認した。

3.1 性能

(1) 装置能力

再生骨材規格 H, M, L の JIS 規格が 2006 年に制定された。申請の装置では、表 1 に示す JIS 規格を満足するものとする。

表 1 再生骨材 JIS 規格 (JIS A 5021, 5022, 5023)

試験項目	H		M		L	
	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材
絶乾密度 g/cm ³	2.5以上	2.5以上	2.3以上	2.2以上	-	-
吸水率 %	3.0以下	3.5以下	5.0以下	7.0以下	7.0以下	13.0以下
すり減り減量 %	35以下	-	-	-	-	-
微粒分量 %	1.0以下	7.0以下	1.5以下	7.0以下	2.0以下	10.0以下
実績率 %	55以上	53以上	55以上	53以上	-	-

【製品品質】

図5に実験による処理回数と製品のモルタル付着率の関係を示す。モルタル付着率が低いほど品質改善度が高いことを表す。処理回数の増加とともに付着モルタルが減少し、3回処理で約70%、5回で約80%のモルタルが除去されていることが確認された。

図6に処理回数と絶乾密度・吸水率の関係を示す。絶乾密度は高い方、吸水率は低い方が品質改善度が高いことを表す。処理回数の増加とともに絶乾密度が増加し、吸水率は減少する傾向であり、3回処理でJISのH規格である絶乾密度2.5以上、吸水率3%以下を満足でき、5回処理ではほぼ原骨材並の品質が得られることが確認された。

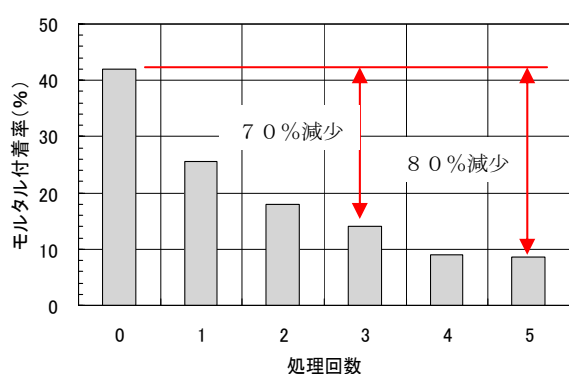


図5 処理回数とモルタル付着率の関係

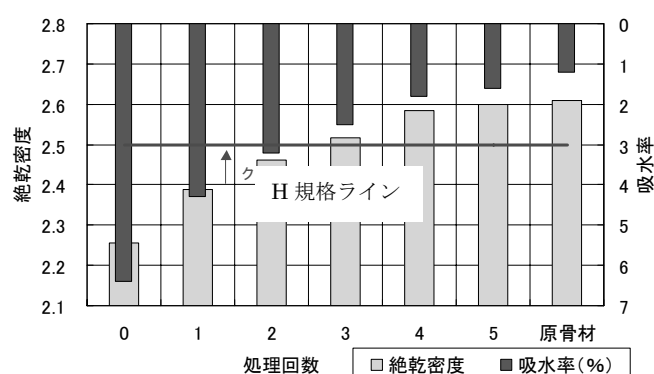


図6 処理回数と製品品質の関係

製品品質については、普通強度の廃コンクリートを用いた場合、粗骨材は、1回処理でL規格、2回処理でM規格、3回処理でH規格となり、細骨材は、1~2回処理でL規格、3回処理でM規格となり、3回処理後に脆弱粒子の多い0.3mm以下を風力分離により除去することによりH規格を満足することが実験結果より確認された。また処理回数により容易に製品品質を調整することが出来る。

図7に粗骨材の製品品質、図8に細骨材の製品品質を示す。再生粗骨材及び細骨材の品質は、品質調整が可能であり且つH規格を満足することが出来るデータを品質を確認された。図9に製品回収率を示す。再生骨材70%と高い回収率が確認された。

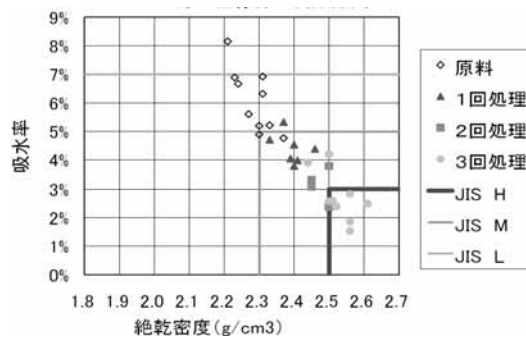


図7 再生粗骨材の製品品質

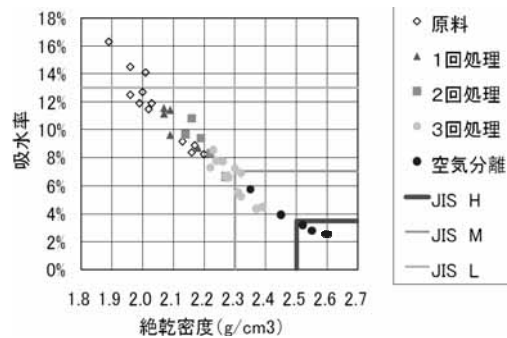


図8 再生細骨材の製品品質

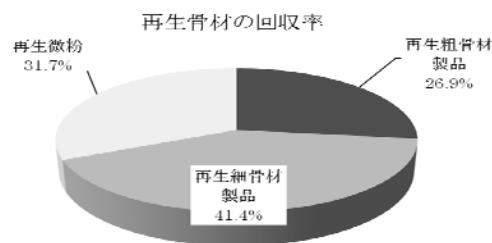


図9 再生骨材の回収率

3.2 装置性能

【安全性】

申請の装置は以下の通り操作性及び環境面で安全性の高い装置となった。

①操作安全性

- ・申請の装置の運転は全て自動化されており、関連機器でインターロックを取ることで安全に運転を行えるようにしている。
- ・搬送機器を含む全ての機械を密閉構造とし、駆動部には安全カバーを設置することにより、運転中の原料飛散や回転体への巻き込まれを発生させる可能性が無いものとしている。

②環境安全性

- ・機械を縦型に配置し密閉構造とし、集塵機吸引にて機器内部を負圧にすることにより、乾式設備であるが無粉塵で、周辺環境を汚染する可能性が無いものとしている。また、機械据付面に防振ゴムを採用することにより機械振動・騒音を低減させ、設置場所の騒音・振動問題を発生させる可能性が無いものとしている。

【耐久性】

申請の装置は、実証プラントを2007年10月に当社工場内に設置以降、1年半以上に

よる耐久性や様々な性状の原料における安定運転に対する信頼性を確認している。

①耐久性

- ・主要機器である磨砕機、分級選別機本体についてはいずれも摩耗などによる不具合実績は無く、耐久性が確認出来ている。

②安定運転の信頼性

- ・再生工程の磨砕機は、骨材同士の衝突による自生破砕方式であるため部品が消耗した場合も磨砕効果の低下が無いため、常に一定の品質の再生骨材が生産され、品質の安定性を確認している。

3.2 特許の有無

本申請装置に関しては、以下の基本特許を出願している。

	分級選別機の出願
名 称	鉦物の選別方法及びその選別装置
出願番号	PCT/JP2007/000374

3.3 維持管理

(1) 運転・操作性

- ・装置の起動・停止は、機側に設置の集中制御盤にて全て制御可能である。
- ・原料供給量は、原料供給フィーダにて定量供給され、必要に応じて運転周波数の変更にて調整することが可能である。
- ・磨砕レベルについては、磨砕機の回転数の制御及び機械処理回数にて調整することが可能である。
- ・最終製品の骨材サイズは分級選別機の風量調整及び網目選定にて需要に応じて対応が可能である。

(2) メンテナンス性

機械構造が簡便であるので、定期点検や消耗部品の交換が容易に行うことが出来る。主要機器は、以下の通りメンテナンス性を考慮した構造としている。

- ・磨砕機の消耗部品は軽量且つ取付が簡単であるため短時間で容易に交換が可能である。
- ・分級選別機の網は、4段式であるが個別の点検口より定期点検が可能であり、交換の場合も上網を外すことなく、下網のみの交換も可能である。

(3) 維持管理コスト

従来機の加熱方式と違い、常温にて品質改善が可能のため化石燃料を使用しないこと

及び磨砕工程には自生破碎方式の磨砕機を採用することにより消耗部品が少なくランニングコストの大幅低減を実現した。また、分級選別機は、従来機では複数機械で行っていたモルタル粉の回収・細骨材の分級・製品サイズの選別を 1 台で行うことが出来、設備の合理化により選別工程においてもランニングコストの低減を実現した。

以上の成果を元に、申請装置と従来装置の比較を表 2 にまとめた。

表2 申請装置と従来装置の比較

項目	従来装置	申請装置
設備内容	廃コンクリートを 300℃程度に加熱した後、すりもみ方式の磨砕機でモルタルを剥離・除去する設備である。	廃コンクリートを常温のまま、自生破砕方式の磨砕機でモルタルを剥離させ分級選別機でモルタル粉の回収・細骨材の分級・製品サイズの選別を行う設備である。
原理（主要部比較）	①前処理工程で廃コンクリートを 300℃程度に加熱する必要がある。インシャル・ランニングコストが非常に高価である。 ②磨砕工程は、すりもみ方式の磨砕機を採用。粗骨材用と細骨材用の二つの磨砕機が必要であり消耗部品が多くランニングコストが非常に高い。 ③選別工程は、通常スクリーンを採用。	①前処理工程は不要で常温原料にて品質改善が可能である。 ②磨砕工程は、自生破砕式の磨砕機を採用しランニングコストは非常に安価である。さらに粗骨材・細骨材の磨砕処理を同時に行うことが出来るためランニングコスト低減効果が高い。 ③選別工程は分級選別機を採用。モルタル回収・細骨材の分級・製品サイズの篩い分けを 1 台で同時に行うことが出来、設備の合理化が可能である。
採取製品の種類	粗骨材・細骨材	粗骨材・細骨材
採取製品の品質	粗骨材：H規格品 細骨材：H規格品	粗骨材：H規格品 細骨材：H規格品
品質改善率	高い	高い
製品回収率	高い	高い
設置スペース	大きい	小さい
インシャルコスト	高い	低い
ランニングコスト	高い	低い
メンテナンス	消耗部品多く頻繁なメンテナンスが発生	消耗部品少なくメンテナンスが容易
CO ₂ 排出量	加熱処理で化石燃料使用するため多い	化石燃料を使用せず省電力運転のため少ない

3.4 経済性

申請装置と従来装置の比較を表3に示す。

表3 申請装置と従来装置の経済性比較

項目	従来装置	申請装置
原理（主要部比較）	<p>①前処理工程で廃コンクリートを300℃程度に加熱する必要がある。インシャル・ランニングコストが非常に高価である。</p> <p>②磨砕工程は、すりもみ方式の磨砕機を採用。粗骨材用と細骨材用の二つの磨砕機が必要であり消耗部品が多くランニングコストが非常に高い。</p> <p>③選別工程は、通常スクリーンを採用。</p>	<p>①前処理工程は不要で常温原料にて品質改善が可能である。</p> <p>②磨砕工程は、自生破砕式の磨砕機を採用しランニングコストは非常に安価である。さらに粗骨材・細骨材の磨砕処理を同時に行うことが出来るためランニングコスト低減効果が高い。</p> <p>③選別工程は分級選別機を採用。モルタル回収・細骨材の分級・製品サイズの篩い分けを1台で同時に行うことが出来、設備の合理化が可能である。</p>
a. インシャルコスト（比率）	100	20
b. ランニングコスト（比率）	100	20
合計（a+b）	100	20

3.5 将来性

コンクリート構造物の設計寿命は大規模なものを除き50年程度であるので、1960年代後半からの高度成長期に建造された構造物が解体され、大量の廃コンクリートが今後急激に増大することが予想される中、経済産業省により、「コンクリート用再生骨材H, M, L」のJIS規格が制定された。それにより再生骨材としての使用が促進され、廃コンクリートのリサイクル需要は急速に増加すると予想される。

また、今後は再生骨材に対する要望も高品質化の傾向になり、技術・採算性の両面で課題を克服し実用性を有す申請の装置の需要は増加していくと予想される。

3.6 独創性と効果

当社独自開発の機械によるシステム構成であり、次の特徴を併せ持つ装置としたこと。

(1) 前処理

- 従来機の加熱方式と違い、常温にて品質改善が可能であり加熱設備が無く化石燃料を使用しないためCO₂の大幅な低減を可能にした。

(2) 磨砕機

- ・ 自生破碎方式による磨砕で脆弱部分を優先して磨砕するため骨材を破碎することなく効率的にモルタルの剥離をすることが出来、高い製品回収率を可能にした。
- ・ 細骨材の品質改善においても、モルタル剥離効果を発揮するため常温において従来機では不可であった高品質な再生細骨材の生産を可能とした。
- ・ 機械内部はセルフライニング方式でランニングコストの大幅な低減を可能にした。

(3) 分級選別機

- ・ 風力による分散投入方式による高性能な篩い分け精度、コンパクト設計であり、設備が簡素化されイニシャル・ランニングコストの低減を可能にした。
- ・ 密閉構造式の構造とし、乾式設備であるが無粉塵、低騒音を実現し、環境に優しい装置である。

3.7 今後の規制に対する対応策

本申請装置の設置により、以下の通り今後予想される法整備や規制強化に対しても対策が容易である。

(1) 環境負荷としてのCO₂排出量規制強化

申請の装置は、従来の加熱方式技術に比べ、常温処理にて品質改善が可能である。このため化石燃料を使用せず、省電力にて高品質な再生骨材の生産が可能であり、CO₂排出量を大幅に削減し環境負荷の低減を実現した。

(2) 廃棄物削減と循環型社会への寄与

申請の装置は従来技術では、困難とされていた細骨材の品質改善を常温において可能にしたこと及び独自の磨砕方式による高い製品回収率を可能としたことにより、大幅な廃棄物削減に繋がる装置とした。また、生産される再生骨材品質についても従来型と比較して、改善率が大幅に向上したため使用用途が広がり、従来はバージン材に限られていた使用用途にも使用可能となった。

4. 応用分野

廃コンクリートの再生処理のほか、製鉄所などで発生するスラグを原料として、好粒形な粗骨材と分級砂を効率的に製造する骨材製造設備としても十分な効果を発揮することが可能である。粗粒子から細粒子までの多彩な破碎・選別が可能であり、メンテナンス性にも優れ、業界ニーズに応える多くの特徴を持つシステムである。

廃コンクリートと同様にスラグにおいてもリサイクル需要は今後急激に増加することが予想され、高品質な骨材製品を低コストで安定生産することが求められ、申請の装置は、これらを実現することが出来る。