

## 論文 新しい処理システムを用いたコンクリート廃棄物の骨材再生法

市川 栄徳\*1・竹下 治之\*2・佐原 晴也\*3・吉田 幸稔\*4

**要旨**：本研究は、コンクリート廃棄物の骨材再生法の開発に関するもので、高速回転するチェーンの打撃エネルギーにより、コンクリート塊の破碎と骨材周辺のもルタル分および角張り部の除去を行う、新しく考案した骨材再生法の実験的研究結果について述べたものである。本研究では、幾つかの要因が再生骨材の品質に及ぼす影響について検討した。その結果、本骨材再生法により、粗骨材については元建設省が通達している品質基準の1種を満たす、優れた粒形の再生骨材を製造できることが明らかとなった。

**キーワード**：コンクリート廃棄物、リサイクル、骨材、品質、粒形、粒度

### 1. まえがき

コンクリートの寿命は70～80年、社会的な寿命となると35～45年と言われている。このことから、今後、高度成長期に建設された多くのコンクリート構造物が老朽化して順次解体され、コンクリート廃棄物が大量発生することが予想される。現在、コンクリート廃棄物は主に路盤材、裏込材などに利用されているが、このような再利用だけでは処理できる量に限界がある。

一方、近年、環境への影響から川砂利などの天然骨材の入手も難しくなりつつあり、しかも、その代替骨材としての碎石用の骨材資源も年々減少している。また、細骨材としての海砂の採取も禁止になることが明らかとなっている現在、これらの骨材に替わる新しい骨材資源の開拓が必要不可欠となっている。このような現状から、今後、大量発生するであろうコンクリート廃棄物から骨材を回収し、コンクリート用骨材として再利用する技術が求められている。<sup>1)</sup>

本研究は、このような背景のもと、より高品質で実用性の高い骨材再生処理法を提案する研究の一環として実施したものであり、既往の研究結果<sup>2), 3)</sup>をもとに提案した処理システムを改良し、改めて再生骨材の品質について実験的に

検討したものである。

### 2. 実験概要

#### 2.1 破碎処理機

改良したコンクリート廃棄物の骨材再生用破碎処理機（以後、処理機と記す）の概略図を図-1に示す。本処理機は、ロッドの周囲に複数本のチェーンを取り付け、これを高速回転させることによって得られる運動エネルギーにより、ベルトコンベアを通して投入されたコンクリートガラを打撃し破碎処理するもので、この打撃エネルギーにより塊の破碎、もルタル分の除去、骨材の角張り部の除去などを行うことを目標としたものである。改良後の処理機は、破碎効果をより確実にするために、6段あったうちの2段目および5段目のチェーンを取り外して4段構成とした。また、チェーンの打撃によって容器周辺および回転速度の遅い中心部から落下する原材料を所定位置に移動させる、容器周辺部返し羽根および回転軸周り返し羽根を各段ごとに合計3ヶ所取り付けた。同図の黒塗りの部分が新たに改良した部分である。なお、本実験では回転軸周り返し羽根は容易に取り外しが可能である。また、チェーンは各段に4本、最高16

\*1 高松工業高等専門学校専攻科 建設工学専攻 (正会員)

\*2 高松工業高等専門学校教授 建設環境工学科 工博 (正会員)

\*3 日本国土開発(株) 技術研究所コンクリート研究室長 工博 (正会員)

\*4 香川県碎石事業協同組合 事務局次長

本の範囲で任意に取り付けられるようになっており、チェーン径を 16, 19, 22 および 26mm の範囲内で任意に変えることができる。インバータを用いてモータを制御することで、回転数も最高約 2000rpm の範囲内で任意に変えることができる。なお、モータの容量を 7.5kW から 11kW に変更した。

## 2.2 実験方法

コンクリートを以下に示す方法で人工的に製造して、所定の寸法に小割りしたコンクリートガラを一定量計量し、適度に散水して湿らせた後、破碎処理機の投入口より約 60kg/min のスピードで処理機内に投入し破碎処理した。破碎後、排出口より試料を取り出し、再生骨材の品質を検討するため、後述する各種の試験を行った。

## 2.3 実験材料

実験で用いたコンクリートガラは、強度が約 40MPa（実際の強度は 45.5MPa）になるように人工的に製造したコンクリートを金槌などで小割りし、最小粒径が 15mm，最大粒径が 50mm になるようにふるい分けたものを使用した。

なお、コンクリートは水セメント比 55%，スランプ 15cm とし、粗骨材として最大寸法 20mm の粗目（G1）と細目（G2）の碎石（いずれも砂岩）を質量比で 55:45 の割合で混合したものと、細骨材として粗目陸砂（S1）と細目海砂（S2）を質量比で 7:3 の割合で混合したものを使用した。

## 2.4 実験要因および水準

改良後の処理機の性能を検討するため、表-1 に示す実験要因と水準について検討した。同表に示すように、(1) 回転軸周り返し羽根の有無に対する検討、(2) 回転数に対する検討、(3) チェーン段数に対する検討、(4) 異種チェーンの組み合わせに対する検討の 4 つの要因について、合計 18 種類の破碎実験を行った。

また、本研究における各実験の表記方法については、チェーン径 φ26mm（以後、φ26 のように記す）を A，φ22 を B，φ19 を C，φ16 を D とし、英字の個数をチェーン段数とした。

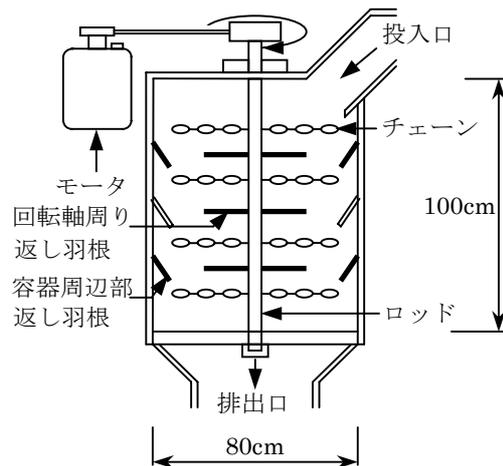


図-1 破碎処理機概略図

表-1 実験要因および水準

検討事項	チェーン径 (mm)	チェーン段数	回転数 (rpm)	回転軸周り返し羽根
回転数 & 回転軸周り返し羽根	22	4	800	有, 無
			900	
チェーン段数	22	1	900	有
		2	1100	
		3	1200	
異種チェーン組み合わせ	22+22+16+16	4	900	有
	22+22+19+16			
	22+22+19+19			
	26+22+19+16			

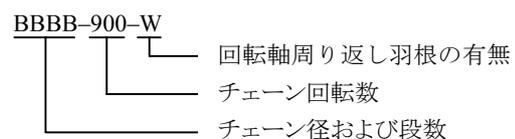


図-2 実験の表記方法

また、これらの英字の後に回転数を記し、回転軸周り返し羽根を取り付けた場合は W を記した。図-2 に、実験の表記方法の例を示す。

## 2.5 試験項目および試験方法

破碎試料の再生骨材としての性能や品質を評価するために、ふるい分け試験（JIS A 1102）、密度および吸水率試験（JIS A 1109 および 1110）、単位容積質量および実積率試験（JIS A 1104）の 5 種類の試験を行った。なお、これらの後の 4 種類の試験については、土木学会が示す標準粒

度範囲の平均値になるように、ふるい分けした試料から組み合わせた同一の粒度分布の試料を用いるとともに、粗骨材に対しては 5mm 以上、15mm 未満の再生骨材を対象に試験を行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 ふるい分け試験

各実験要因についてコンクリートガラをの破砕実験を行い、ふるい分け試験の結果により、本処理機の破砕効果および粒度分布の良否について検討した。

図-3 にチェーン径  $\phi 22$  を使用し、回転数を 2 種類に変化させた場合の、回転軸周り返し羽根の有無により破砕処理した再生骨材の粒度分布の相違を示す。同図より、回転数が多くなるほど骨材の粒径が小さくなっている。また、回転軸周り返し羽根がない方が幾分粒径は小さくなっているが、その影響は比較的小さいといえる。

図-4 および図-5 に、代表的な再生骨材を粗骨材と細骨材に分けた場合の粒度分布を示す。

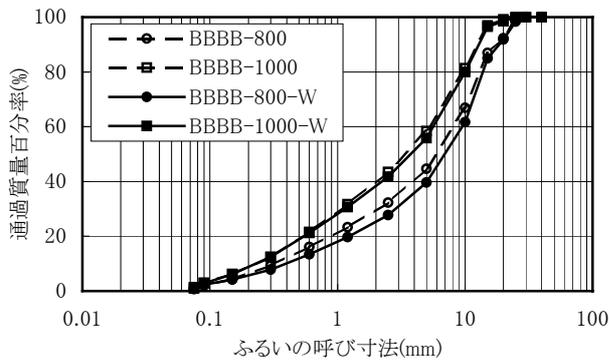


図-3 回転軸周り返し羽根の有無の影響

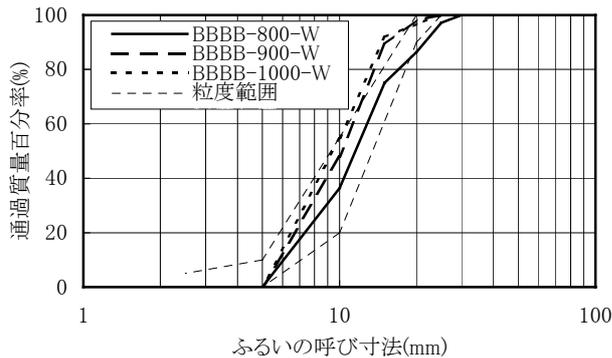


図-4 再生粗骨材の粒度分布

同図には、それぞれ土木学会の標準粒度範囲も示した。図-4 より、再生粗骨材は 900rpm および 1000rpm で標準粒度範囲の上限付近にある。また、図-5 より、再生細骨材は幾分粗めになっている。これらの結果から、チェーン径  $\phi 22$  を使用した場合、800~900rpm の間に最適な回転数があると思われる。

図-6 に処理機の改良前<sup>3)</sup>と改良後における粒度分布の違いを示す。同図より、同じ破砕エネルギーであれば、改良後の処理機の方が細粒化されやすいことが分かる。

図-7 に本処理機の打撃エネルギーと再生骨

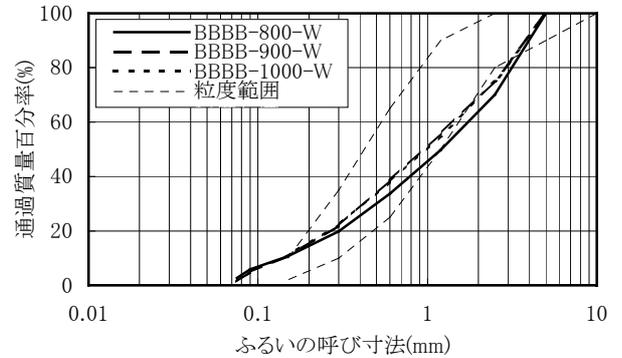


図-5 再生細骨材の粒度分布

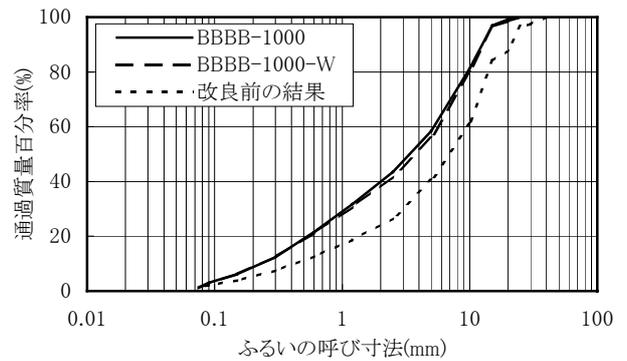


図-6 改良前と改良後の粒度分布の相違

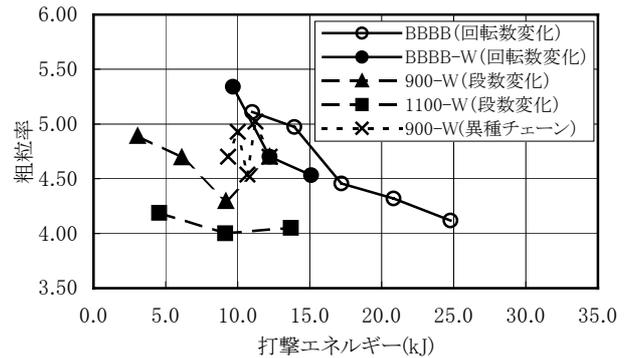


図-7 打撃エネルギーと粗粒率の関係

材（全骨材）の粗粒率の関係を示す。本処理機による打撃エネルギーは運動エネルギーから誘導し、次式より求めた。

$$K = \frac{1}{5400} \pi^2 N^2 \rho (r_2^3 - r_1^3) \quad (1)$$

ここに、

$K$ ：打撃エネルギー [J]

$N$ ：チェーン回転数 [rpm]

$\rho$ ：単位長さ当たりのチェーン質量 [kg/m]

$r_1$ ：回転軸周り返し羽根の半径 [m]（回転軸周り返し羽根がある場合）、ロッドの半径 [m]（回転軸周り返し羽根がない場合）

$r_2$ ：回転軸からチェーン先端までの距離 [m]

なお、式（1）はチェーン一本当たりの打撃エネルギーであり、全打撃エネルギーは各チェーンの打撃エネルギーを総和する必要がある。 $r_1$ および $r_2$ については、図-8に示す寸法とする。図-7より、打撃エネルギーが大きくなるほど粗粒率が小さくなっている。さらに、他の要因よりも回転数の影響の方が強く表れていることが分かる。

### 3.2 密度および吸水率試験

密度および吸水率試験より、本処理機で製造した再生骨材の品質について検討した。

図-9に、回転軸周り返し羽根の有無に対す

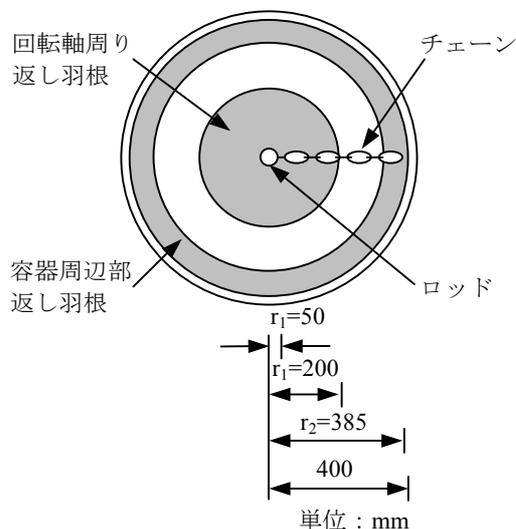


図-8 破碎処理機断面図

る回転数と再生粗骨材（以下、特に表記のないものは再生粗骨材を対象とする）の表乾密度および吸水率の関係を示す。同図より、粒度分布の場合とは異なり、回転軸周り返し羽根を取り付けた方が、表乾密度は大きくなり吸水率は小さくなって、再生骨材の品質は向上する。また、本処理機では、チェーン径φ22を使用した場合、品質の点からは回転数は900rpm程度が適切であると思われる。

図-10にチェーン段数と表乾密度および吸水率の関係を示す。同図より、本処理機では、最低でも2段はチェーン段数が必要である。

図-11に異種チェーンの組合せと表乾密度および吸水率の関係を示す。同図の横座標は打撃エネルギー順に示すが、チェーン径φ16は使用しない方が再生骨材の品質は向上している。これは、φ16のチェーンでは質量が小さいために十分な打撃エネルギーが得られず、モルタル分の除去が適切に行えなかったためと思われる。

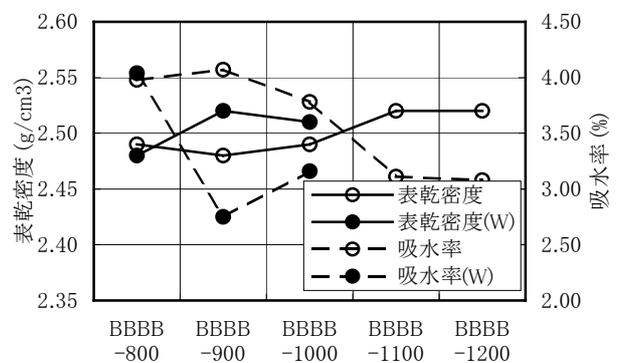


図-9 回転数と表乾密度および吸水率の関係

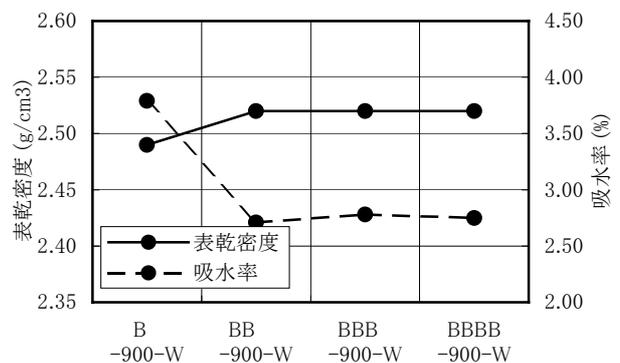


図-10 チェーン段数と表乾密度および吸水率の関係

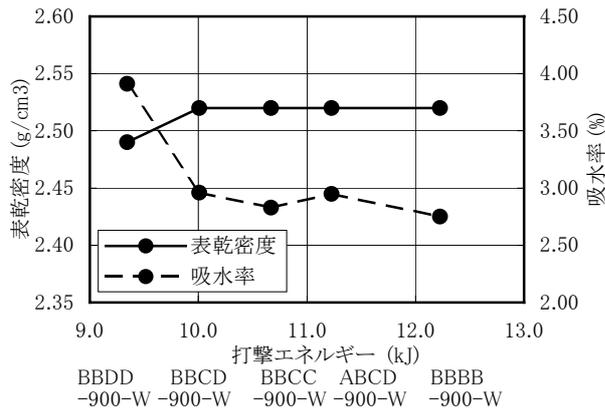


図-11 異種チェーンの組合せと表乾密度および吸水率の関係

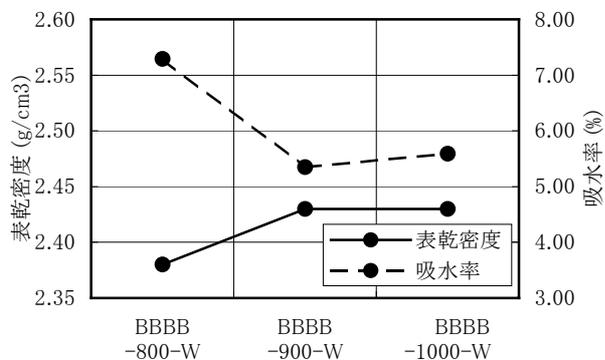


図-12 再生細骨材の表乾密度および吸水率の関係

表-2 再生骨材の品質基準 (案)

	再生粗骨材			再生細骨材	
	1種	2種	3種	1種	2種
吸水率 (%)	3以下	5以下	7以下	5以下	10以下

図-12 に再生細骨材における回転数と表乾密度および吸水率の関係を示す。同図より、チェーン径φ22を使用した場合、回転数は900rpm程度が適切であると思われる。また、図-9と比較すると、再生粗骨材と再生細骨材には同様な傾向が見られる。

また、再生骨材の品質を示す指標として、表-2に元建設省が通達している再生骨材の品質基準(案)<sup>4)</sup>を示す。同表と比較すると、今回製造した再生粗骨材の吸水率は2.71~4.07%で、1種または2種に属するものであり、製造条件を適切に設定することにより、1種の品質基準

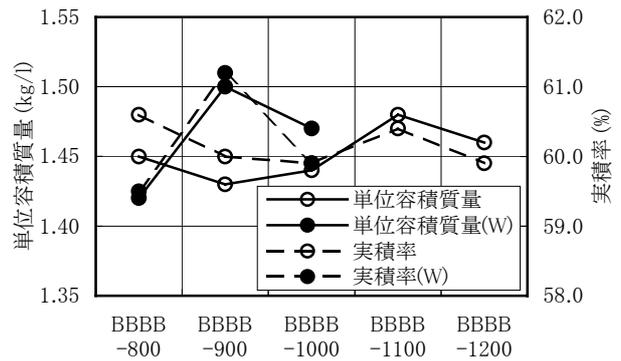


図-13 回転数と単位容積質量および実積率の関係

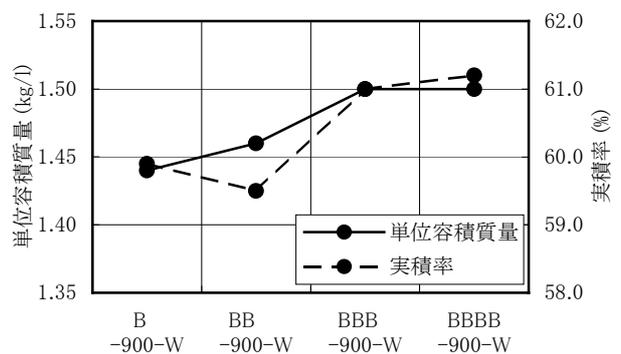


図-14 チェーン段数と単位容積質量および実積率の関係

を満たす高品質の再生骨材を製造できることが分かる。一方、再生細骨材の吸水率は5.35~7.29%で、2種に属するものであり、1種に属するものにするためには、さらに何らかの装置の改良が必要である。

### 3.3 単位容積質量および実積率試験

単位容積質量および実積率試験により、本処理機で製造した再生骨材の粒形の良否について検討した。

図-13に回転軸周り返し羽根の有無に対する回転数と単位容積質量および実積率の関係を示す。同図より、回転軸周り返し羽根を取り付けた方が、単位容積質量および実積率が大きくなり品質が向上している。また、図-9と同様に、チェーン径φ22を使用した場合、回転数は900rpm程度が適切であると思われる。

図-14にチェーン段数と単位容積質量および実積率の関係を示す。同図より、段数が多くなるほど品質が向上している。また、図-10の

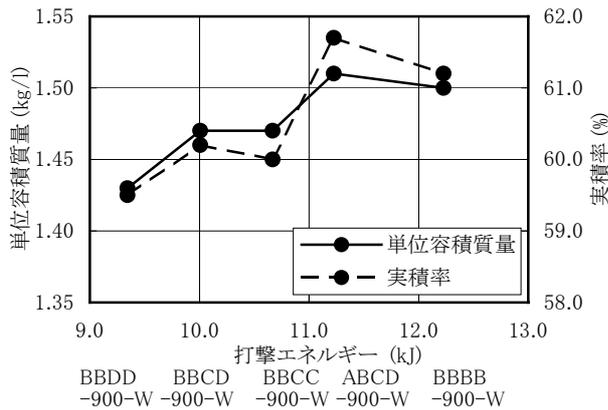


図-15 異種チェーンの組合せと単位容積質量および実積率の関係

表-3 元の骨材の物性値

元の骨材	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	単位容積質量(kg/l)	実積率 (%)
粗骨材	2.58	1.74	1.51	59.4
細骨材	2.57	1.90	1.60	63.2

表乾密度および吸水率の関係を総合して判断すると、チェーン段数は3段以上ある方がよいと思われる。

図-15に、異種チェーンの組合せと単位容積質量および実積率の関係を示す。同図の横座標も打撃エネルギー順に示すが、チェーンの質量の増加に伴い品質はほぼ向上している。

表-3に、本実験で使用した再生粗骨材の粒度分布と同一になるように粗目と細目の砕石を混合した元の粗骨材、および陸砂と海砂を7:3に混合した元の細骨材の物性値を示す。一方、標準粒度の平均値になるように粒度調整した再生細骨材の実積率を求めると65.1%~68.4%であった。図-13~図-15の再生粗骨材およびこれらの再生細骨材の実積率とこの元の骨材を比較すると、再生骨材の実積率は粗骨材で0.1~2.3%程度、細骨材で1.9~5.2%程度、いずれも大きくなった。なお、別途求めた同様な粒度分布の川砂利および川砂の実積率が62.8%および66.0%であったが、これらの再生骨材の実積率は天然産の骨材のそれに近いが、あるいはそれ以上であり、丸みを帯びた粒形の優れた再生骨

材が得られることが本破碎処理機の大きな特徴である。

#### 4. まとめ

本研究の結果、今回用いた破碎処理機の範囲内において、以下の結論が得られた。

- (1) 本処理機により、元建設省が通達している品質基準(案)の1種を満たす再生粗骨材を製造できる。
- (2) 回転軸周り返し羽根の有無が粒度に及ぼす影響は小さいが、回転軸周り返し羽根を取り付けた方が品質は向上する。
- (3) 回転数が粒度および品質に及ぼす影響は大きく、回転数が多くなるほど細粒化される。本処理機の場合では、回転数は900rpm程度が良い。
- (4) チェーン段数が多くなるほど細粒化され、品質も向上する。本処理機の場合では、チェーン段数は3段以上が良い。
- (5) 異種チェーンの組合せが粒度に及ぼす影響は小さいが、チェーンの質量が大きくなるほど品質は向上する。
- (6) 本処理機により、粒形および粒度の優れた再生骨材を製造できる。

#### 参考文献

- 1) 重倉祐光ほか：コンクリート用骨材の現状と課題，月刊生コンクリート，Vol.17, No.7, pp.25-40, 1998.7
- 2) 竹下治之，松原三郎，東原健一郎：コンクリート廃棄物の骨材再生法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24, No.1, pp.1323-1328, 2002.6
- 3) 竹下治之，松原三郎，市川栄徳：新しい処理システムを用いたコンクリート用再生骨材の品質について，廃棄物のコンクリート材料への再資源化に関するシンポジウム論文集，pp.43-48, 2002.9
- 4) 阿部道彦：コンクリート用再生骨材，コンクリート工学，Vol.35, No.7, pp.42-48, 1997.7