論文　コンクリート廃棄物の骨材再生法に関する研究

竹下治之*1・松原三郎*2・東原健一郎*3

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ガラの破砕と骨材周辺のモルタル分の除去を行う，新しく考案した骨材再生法の一連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，実験要因としてチェーン径，チェーン回転数,チェーン段数および異種チェーンの組合せを取り上げ，これら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，元建設省が通達している品質基準を満たす再生骨材を製造できる可能性があることが確認された。

キーワード：コンクリート廃棄物，リサイクル，再生骨材，骨材品質

１．まえがき

近年，コンクリート廃棄物の発生量は，年間4000万ｔ，国民１人当たり約300kgに達し，その量は今も増え続けている。1970年代，既に年間1億m^3（約2.3億t分）以上が出荷されていた生コンクリートが,この先30年を経過し次々と解体されつつあることを想定すれば，今後年間約2～3億tのコンクリート廃棄物が一挙に大量発生することとなり，この量は現在の 5～8倍という莫大な量に相当することになる。[1)]

一方，現在主流となっている砕石用の骨材資源も年々枯渇傾向にあるとともに，海砂の採取もこの先禁止となることが明確になっている現在，これらに替る新しい骨材資源の開拓が不可欠となっている。

ところで，過去に製造されたこれらのコンクリート廃棄物の中には，現在では非常に少なくなった川砂利等の良質な天然骨材が使用されており，これらのコンクリート廃棄物は，今後コンクリート用材料としてリサイクルすべき貴重な有効資源と言える。現在，コンクリート廃棄物は品質やコストなどの点から，主に路盤材，埋戻し材，割栗石，裏込材などに使用されているが,今後このような使用のみでは限界があり，より高品質で安価なコンクリート用骨材再生技術の開発が強く求められている。

本研究では，このような背景のもと，コンクリート廃棄物の骨材再生に関する新しい処理技術を考案し，骨材のリサイクルの可能性について実験的に検討したものである。

２．実験概要

２．１　実験装置

本実験で用いたコンクリート廃棄物の骨材再生用破砕処理機（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，投入口から投入されたコンクリートガラを打撃し破砕処理するもので，塊の破砕，モルタル分の除去，骨材の角張り部の除去などを目標としたものである。処理機は，図に示すように，容器周辺に飛散した材料を内部に移動させる返し羽根を挟んで上部に３段，下部に３段，そしてそれぞれの段に各４本,最高24本の範囲

＊１　高松工業高等専門学校教授　建設環境工学科　工博（正会員）
＊２　高松工業高等専門学校助手　建設環境工学科
＊３　高松工業高等専門学校専攻科　建設工学専攻

で任意にチェーンが取り付けられるようになっている。

２．２　実験内容

本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実験を行った。同表に示すように，検討した内容は，（ｉ）チェーン径および回転数に対する検討，(ⅱ)チェーンの段数変化に対する検討，(ⅲ)異種チェーンの組合せに対する検討の３シリーズあり，合計 19 種類の実験を行った。本報告では，表中の各実験の表記方法を以下のようにした。すなわち，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，これら４種類のチェーンを６段の所定位置に取り付け，取り付け位置の最上段から順番にチェーン径の記号を記し，チェーンを取り付けないところはＯと記した。また，これらの英字の後にチェーンの回転数を記した。このような表記の例を**図－2** に示す。

２．３　実験材料

実験で用いたコンクリート廃棄物のガラは，一般の建設廃棄物処理会社から提供を受けた最大粒径 40mm のものであり，実験では不純物を取り除いた後，十分に水洗いして使用した。なお，原材料のコンクリート廃棄物の粗骨材は，最大寸法約 40mm，表乾密度 2.59ｇ/cm^3 程度の川砂利と砕石が使用されたコンクリートが混合されたものであり，これを所定量計量した後，ベルトコンベヤを用いて一定速度で処理機内に供給し処理した。その処理速度は約 60kg/min である。

２．４　試験項目および試験方法

排出口より取り出した破砕試料の再生骨材としての性能を評価するために，ふるい分け試験（JIS　A 1102），密度および吸水率試験（JIS A 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，これらのうちの後者の４種類の試験は，破砕しふるい分けられた試料から，土木学会が示す骨材の標準粒度範囲の平均値になるように組合せた試料を用いて行った。

３．　実験結果および考察

３．１　チェーン径および回転数に対する検討

本検討では最上段および最下段を除いた４段とし，その４段全てに同種類のチェーンを取り付けた。チェーン径はφ26,22 および 19 の３種類とし，各チェーン径について回転数を３段階，

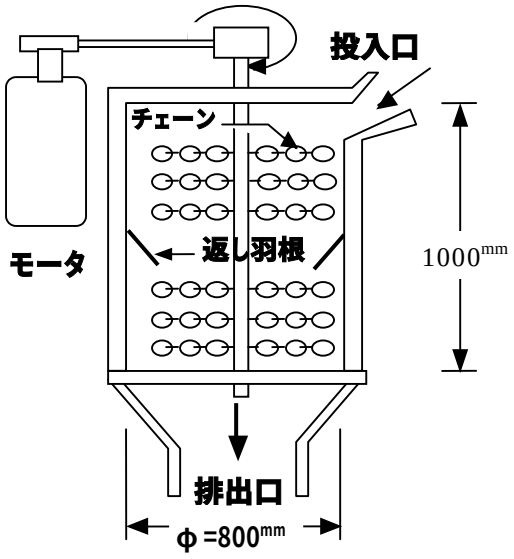

図-1　破砕処理機概略図

表－1　実験要因および水準

検討事項	チェーン径（φ：mm）	段数（段）	回転数(注)（rpm）
チェーン径＆回転数	26,22,19	4	500,（750）,1000,（1250）,1500
段数	22	1,2,3	1000
異種チェーンの組合せ	26+19 22+19 26+22+19+16	4	1000
	26+19+16 22+19+16	6	

(注)（　）内はφ22 のみで実施

図－２　実験の表記方法の例

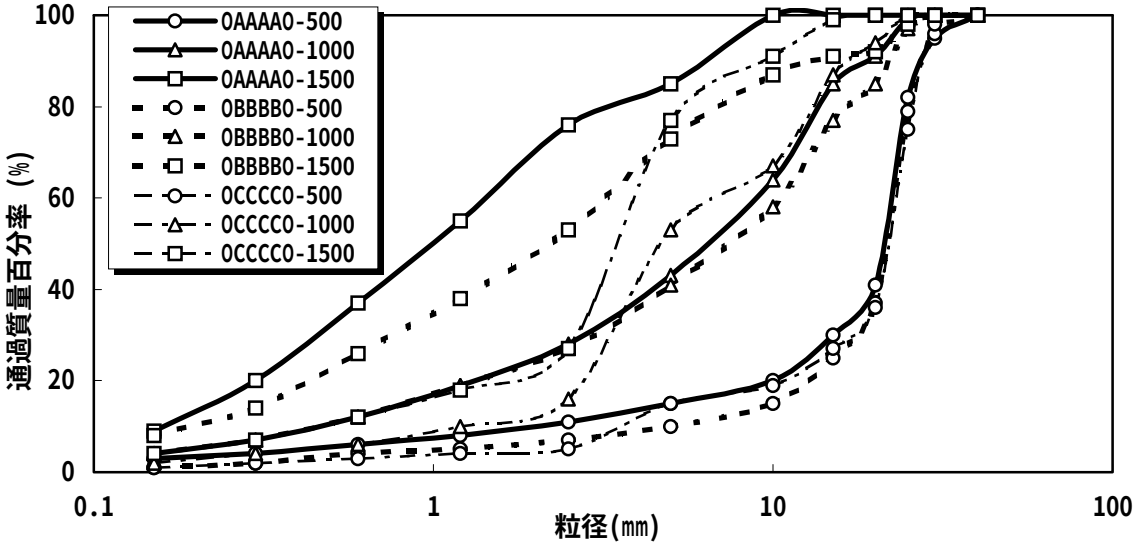

図-3　チェーン径および回転数と通過質量百分率

あるいは φ22 のみ５段階変化させて実験を行った。これらの実験のふるい分け試験の結果を**図－3** に示す。

同図から，一般的にチェーン径が太く回転数が多くなるほど，粒径が小さくなっていることが分かる。しかも，チェーン径による影響は比較的小さいのに対し，回転数による影響は極めて大きいことが分かる。これは，チェーンの打撃エネルギーが，チェーンの単位長さあたりの質量と,回転速度の二乗に比例するためである。従って,むやみにチェーン径を太くするよりも，回転数を適度に大きくする方が得策であり，本処理機のような大きさの場合では，チェーン径は φ22，回転数は 1000rpm 程度が適当である。なお，φ19 を使用した場合は，粒径が大きいところで粒度曲線が大きく乱れているが，これは粗目が多く細目が少ないことを示しており，φ19 ではチェーンの質量不足で破砕がうまくいかないことを表している。

図－4 および**図－5** に，チェーン径 φ22 を使用し破砕処理した場合の粗骨材および細骨材ごとの粒度分布を示す。同図には，それぞれ土木学会が示す標準粒度範囲も示した。粗骨材は，回転数が 1000rpm のときほぼ標準粒度範囲に入っているが，細骨材は標準粒度範囲よりも幾分粗目となっていることが分かる。なお，この場合，粗骨材および細骨材分は元材料に対して，それぞれ約 59%および 41%であった。

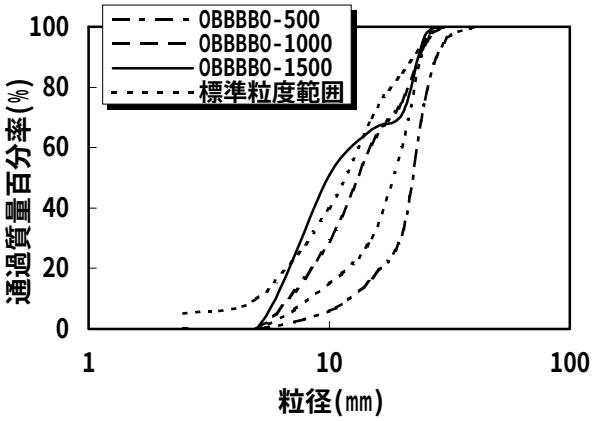

図-4　チェーン径φ22 を使用した場合の粗骨材の粒度分布

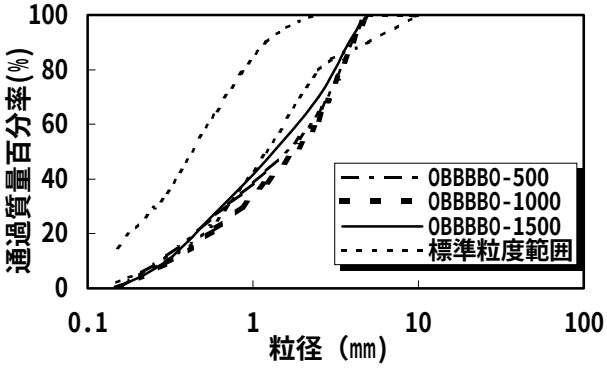

図-5　チェーン径 φ 22 を使用した場合の細骨材の粒度分布

図－6 は同様に，チェーン径 φ22 を使用し回転数を 5 種類に変化させた場合の骨材の粒度分

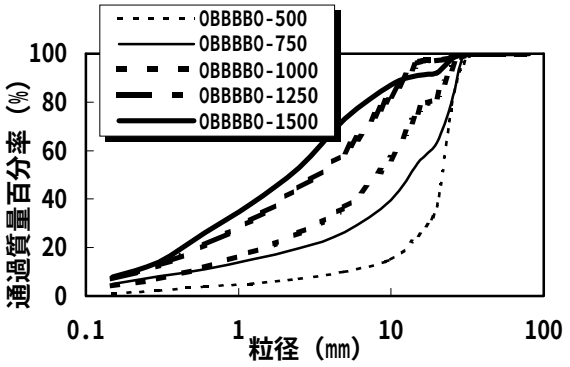

図-6　チェーン径φ22 を使用し回転数を変化させた場合の粒度分布

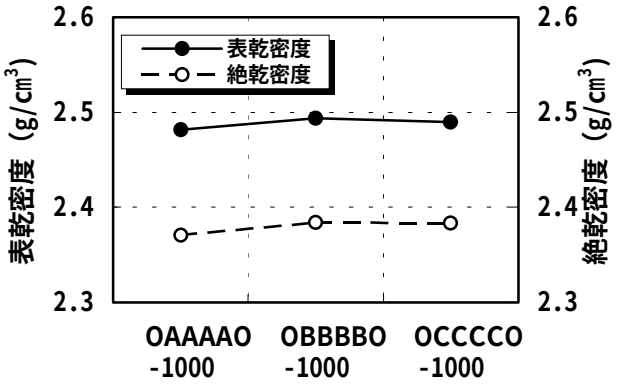

図-7　チェーン径と表乾密度および絶乾密度の関係

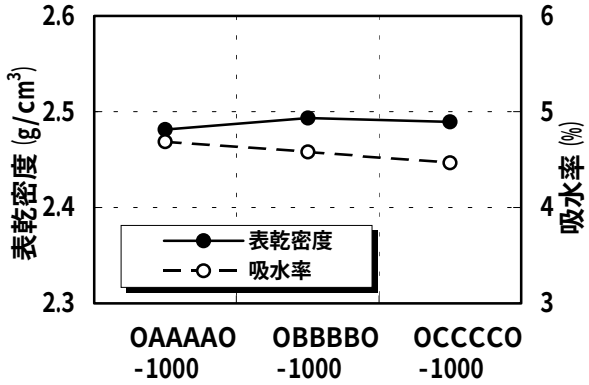

図-8 チェーン径と表乾密度および吸水率の関係

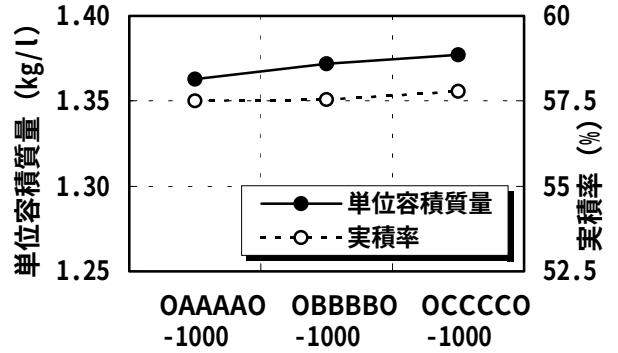

図-9　チェーン径と単位容積質量および実積率の関係

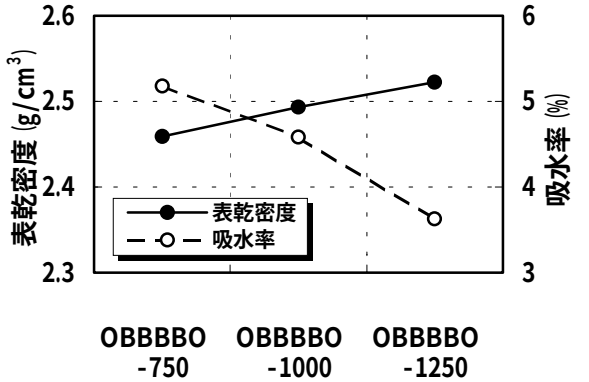

図-10 回転数と表乾密度および吸水率の関係

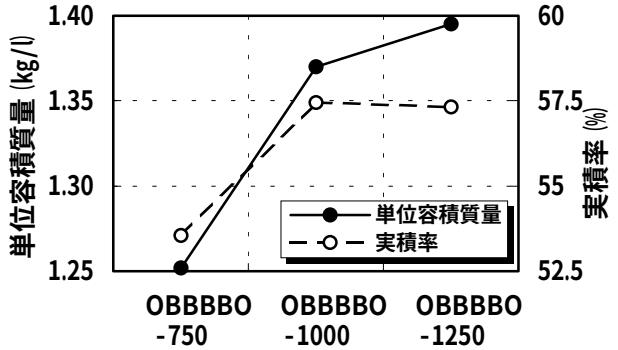

図-11 回転数と単位容積質量および実積率の関係

布を示すが，再生骨材の粒度は回転数の増加とともに確実に小さくなっていることが分かる。従って，適当な粒度分布の骨材を再生するためには,適当なチェーン径をまず選定した上で,回転数を適切に決定すればよいと考えられる。

図－7 にチェーン径と表乾密度および絶乾密度の関係を，**図－8** にチェーン径と表乾密度および吸水率の関係を，さらに**図－9** にチェーン径と単位容積質量および実積率の関係を示す。これらの図から，チェーン径は小さい方が，密度，単位容積質量および実積率は幾分大きくなり吸水率は減少する傾向があることが分かる。従って，再生骨材の品質の点からは，チェーン径の小さい方が好ましいと言えるが，これらの

表－2 コンクリート塊再生利用の品質基準

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

図からも分かるように，チェーン径が再生骨材の品質に及ぼす影響は小さい。一方，チェーン径が小さ過ぎると破砕能力に限界があることから，本処理機の場合では，チェーン径は φ22 位が適当であると考えられる。

図－10 に回転数と表乾密度および吸水率の関係を，**図－11** に回転数と単位容積質量および実積率の関係を示す。両図から，回転数が再生骨材の品質に及ぼす影響は大きく，回転数が大きくなるほどモルタル分が除去され再生骨材の品質は向上することが分かる。しかし，あまり回転数を大きくするとチェーンの破砕能力が増大し，骨材の細粒分が多く歩留りが悪くなる。

本処理機の場合では，経済性なども考慮して回転数は 1000rpm 程度が良いと考えられる。なお，**表－2** に示す元建設省から通達された「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」[2)]によると，**図－10** に示す回転数が 1000～1250rpm の再生骨材は吸水率 3.6～4.6%程度で 2 種に属するものであり，1 種にするためには処理機の何らかの改善が必要である。

３．２　チェーンの段数変化に対する検討

チェーン径 φ26 を使用し段数を変化させた場合の，チェーン段数と通過質量百分率の関係を**図－12** に，チェーン段数と表乾密度および吸水率の関係を**図－13** に，さらにチェーン段数と単位容積質量および実積率の関係を**図－14** に示す。これらの図から，チェーン段数が増加すると再生骨材の品質は幾分向上する傾向にあるものの，**図－12** にも見られるように段数の多少はコンクリート塊の破砕効果にあまり影響しないことが分かる。このような結果は予想に反し意外なものであったため，3 度試みたがほぼ同様な結果を得た。このことから，製作費やランニングコストなどを考え，チェーン段数はむやみに増やさない方が得策と言える。なお，このような結果になったのは，1 段目のチェーンで破砕し弾かれたコンクリート塊は幾度か 1 段目のチェーンや容器に接触するものの，高速回転のために 2 段目以下のチェーンにはあまり接触

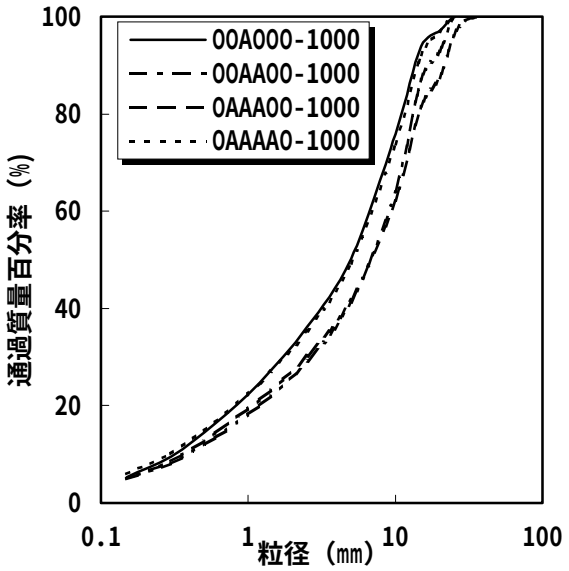

図-12 チェーン段数と通過質量百分率の関係

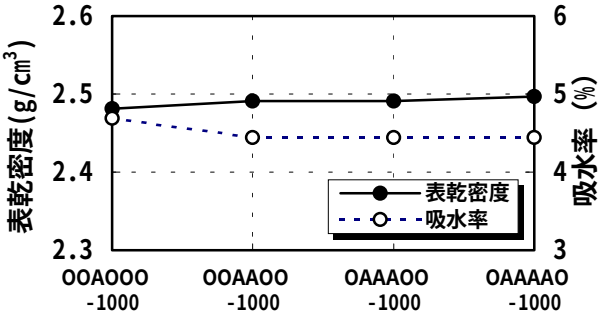

図-13 チェーン段数と表乾密度および吸水率の関係

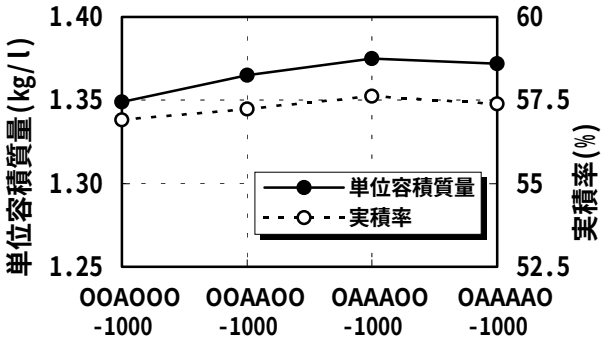

図-14 チェーン段数と単位容積質および実積率の関係

することなく，主として通過しやすい中央付近や容器周辺部から下方に移動したものと考えられる。従って，これらの点を改良することにより再生骨材の一層の品質向上が期待できる。

３．３　異種チェーンの組合せに対する検討

図－15 に，異種のチェーンを組合せた場合の再生骨材の粒度分布を示す。主として上段の太径のチェーンで破砕を行い，下段の細径のチェーンでモルタル分と骨材の角張った箇所の除去を行うことを意図したものであるが，**0ABCD0－1000** が幾分異なるものの，いずれもほぼ同様な結果となった。このような結果は，前記の段数の変化でも述べているように，主に１段目のチェーンで処理性能が決定されているためであり，意図するような効果を期待するには，処理機の改善が必要であると考えられる。

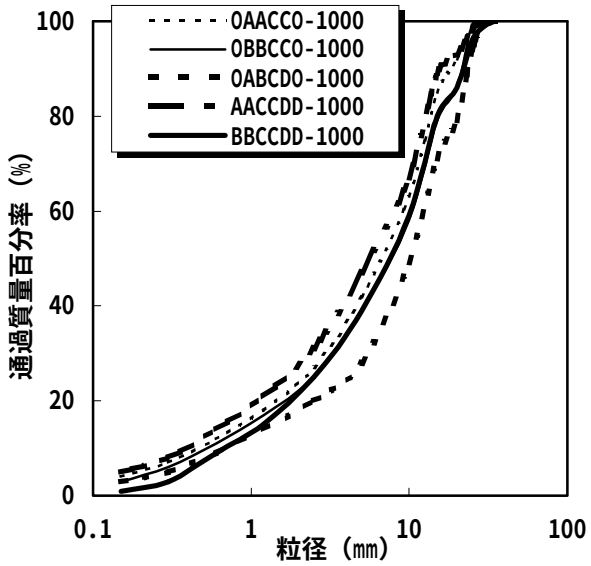

図-15 異種チェーンの組合せと通過質量百分率の関係

４．まとめ

本研究の結果，今回用いた破砕処理機の範囲において，以下のような結論が得られた。

(1) 骨材はチェーン径が大きくなるほど幾分細粒化される傾向にあるのに対し，その品質はチェーン径の小さいものが幾分良くなる傾向にある。これらの点を考慮すると，今回の実験のようにコンクリート塊が 40mm 程度の場合は，チェーン径はφ22mm 程度が良い。

(2) 再生骨材の粒度および品質は，チェーン回転数の影響を大きく受け，回転数が多くなるほど細粒化され品質も向上する。経済性や処理性能などの点から，今回の破砕処理機の範囲では，チェーン回転数は 1000rpm 程度が良い。

(3) 本研究で提案した破砕処理機により，土木学会が提示する標準粒度範囲や，元建設省が通達している品質基準を満たす再生骨材を製造できる可能性があることが確認された。

(4) チェーン段数が再生骨材の粒度や品質に及ぼす影響は小さいため，むやみに段数は多くしないほうが得策である。

(5) 今回の実験では，異種チェーンの組合せは特に効果は認められなかった。

以上，本研究で提案した高速回転するチェーンの打撃エネルギーを利用した処理機により，元建設省が通達している品質基準を満たす再生骨材を製造できる可能性があることが確認された。今後，本研究結果を基に処理機の改造を行い，再生骨材の品質の向上を計りたいと考えている。

参考文献

１）笠井芳夫：解体コンクリートの処理と再利用の現状,コンクリート工学,Vol.35,No.7, pp.13～18，1997.7

２）河野広隆，加藤俊二:「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基(案)」土木技術資料,36-9，1994.9