

コンクリート廃材からの骨材の回収方法

RECYCLING OF AGGREGATES IN CONCRETE SCRAPS

畑 実*

By Minoru HATA

1. はしがき

コンクリート廃材とは周知のように、すでに造られたコンクリート構造物が老朽化、機能の損失、使用の限界等で解体される際に発生する廃棄物のことであり、建設事業の拡大に伴ない毎年大量のコンクリート廃材が発生している。その発生量は、昭和50年頃でも全国で1000万 m^3 以上、現在では1500万 m^3 以上発生していると言われており、今後も発生量が增大するものと予測される。

コンクリート廃材は、その70%が廃棄され、残りが路体盛土、護岸、根固め等に再利用されているが、他の廃棄物同様、処分地の不足、運搬距離の増大等の問題が生じている。

一方、天然骨材のうち川砂利・砂は環境保全の問題から著しく減少し、現在では碎石・砕砂・海砂が増加しているが、こちらも品質や採取地の環境保全の問題があり限定された資源となっている。

このような背景のなか当社が取り組んでいるコンクリート廃材からの骨材の回収方法について紹介する。

2. 再生骨材の生産方法

(1) 用語・記号

本報告文で用いる用語・記号のうち特別なものをあげれば以下のようなものである。

原コンクリート：再生骨材の原料となるコンクリート

再生骨材：原コンクリートを破砕して作ったコンクリート用骨材、再生粗・細骨材とがある。

再生骨材コンクリート：再生骨材あるいは、再生骨材と他の骨材を用いて作ったコンクリート

再生骨材は処理の程度により表-1のように区別する。

(2) 再生骨材の生産工程

良質な再生骨材を生産する上で重要なことは、①いかにして経済的に効率よく、②天然骨材を破砕することなくセメント硬化物を取り除き、③粒形、粒度分布の良い再生骨材を得るかが重要である。これらの点に着目し、当社で開発したテストプラントの工程を図-1（破線）に、生産フローを図-2に示す。

表-1 再生骨材の種類

記号	品質
MG-0	前処理した原コンクリートをインパクトクラッシャで一次破砕した粗骨材
MG-1	MG-0 を粗骨材再生機で1回処理した粗骨材
MG-5	MG-0 を粗骨材再生機で高度処理した粗骨材
MS-1	MG-0、-1、-5 生産時に発生する10mm以下の骨材を細骨材再生機で1回処理した再生細骨材
MS-3	同上、3回処理した再生細骨材

生産工程で発生する二次廃材（微粉末）処理に関して湿式による水処理の難しさを考え全工程乾式とした。

i) 前処理

原コンクリートは、さまざまな形状、寸法または、土砂、鉄筋、木材、布等の異物を含んでおり、これら異物を取り除き、15cm程度まで小割りするのが前処理の工程である。

まず、油圧ブレーカーで原コンクリートを50cm程度に粗割りし、グリズリにより土砂を除去するとともに、その他大きな異物を排除する。次にジョークラッシャにより15cm程度に小割りし、磁選機による鉄筋の除去、目視選別による木材、布などの除去を行い、次の工程（一次破砕）に移る。

ジョークラッシャは固定ジョー（Jaw）と可動ジョーの2つの板の間に処理物をはさみ、圧壊により破砕する機械で破砕能力、破砕比（破砕前後の粒径の比、4~6）が大きく、またオープンセット（O.S）を調整することで粒径の調整が可能である。したがって、さまざまな大きさの原コンクリートを能率的かつ所望の粒径に破砕が可能で、単純な構造故トラブルも少なく、前処理には最適のクラッシャである。

ii) 一次破砕

ジョークラッシャによって前処理された材料の粒形は扁平であり粒度分布もよくない。この材料の粒形、粒度分布をある程度整え、所望粒径より上1、2ランクまで小割りするのが一次破砕であり、インパクトクラッシャと呼ばれる機種を選定した。

* 京阪コンクリート工業（株） 技術課長（〒613 京都市伏見区淀本町225）

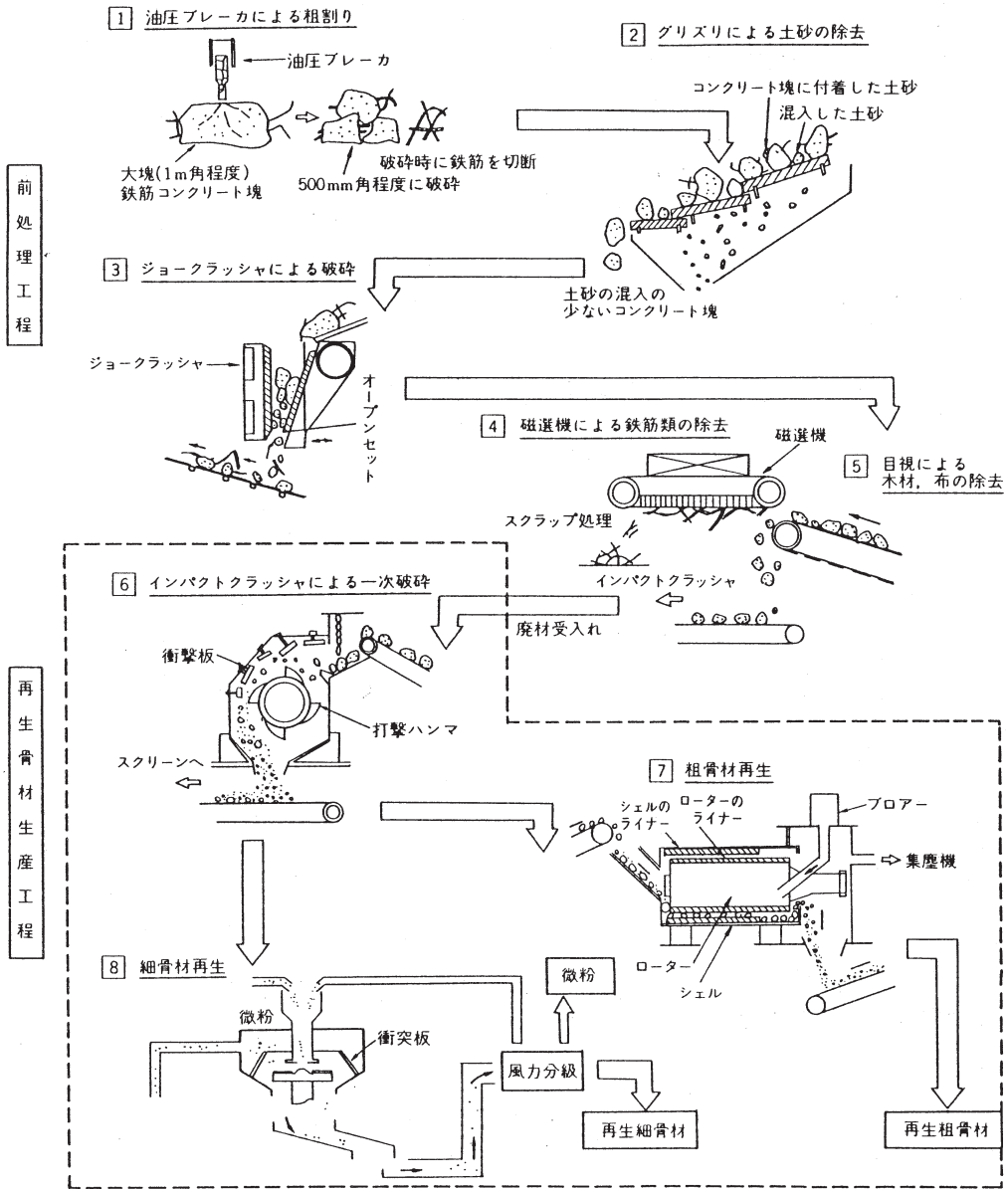


図-1 再生骨材生産テストプラント工程図

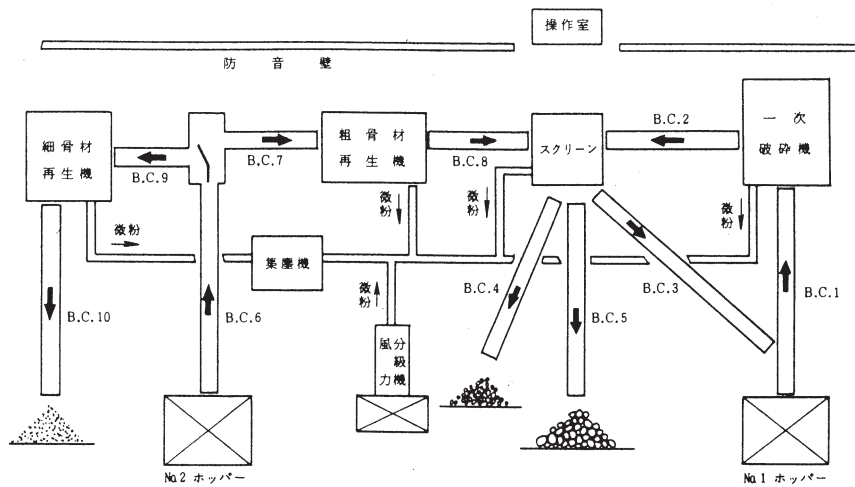


図-2 生産フロー

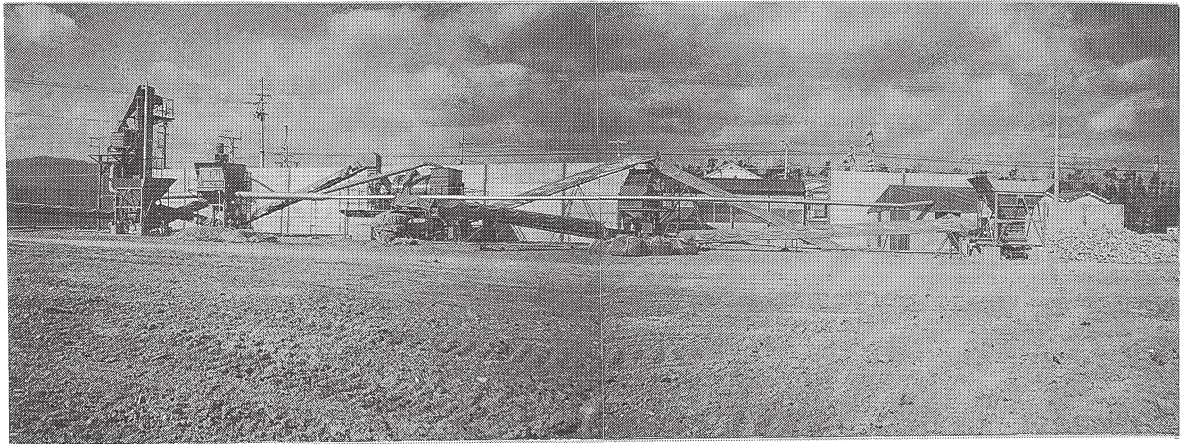


写真-1 プラント全景



写真-2 原コンクリートストック

これは打撃ハンマーを取付けたローターを回転、破砕物を衝撃板に衝突させ破砕する衝撃形のクラッシャである。衝撃板に衝突する際摩擦を生じ、破砕のみを考えるとエネルギーロスであり、微粉末の発生も多いが、再生骨材 (MG-0) の生産の場合には、セメント硬化物を削り取る効果があり、他の圧縮形クラッシャで破砕されたものに比べて、粒形、実績率が良いという特徴がある。衝撃板の方向、クリアランス、回転速度を変化させた実験を行い、適正な粒度分布となるように調整した。

iii) 粗骨材再生機 (図-3、写真-3)

一次破砕により生産したMG-0は、扁平ではないが角ばっておりセメント硬化物の付着も多い。このMG-0より良質な再生骨材を生産するために、ハリケーンと呼ばれる骨材整粒機を選定した。この機械は元来、軟石除去、碎石の角取りに開発されたもので、本体ドラム(外筒)とその内部を貫通するローター(内筒)、およびライナーより成る。

ローターはドラム中心より斜め下方に偏心してセットされており、各々反対方向に回転し、その間で材料 (MG-0) に圧縮力、摩擦力、および骨材同士のすり合せ作用を与えることになる。

ドラムとローターの角度、ドラムとローターに取り付けられたライナーの形状、数量、クリアランス、MG-0の供給量等についての実験、および骨材同士のすり合せ効果の妨げとなる微粉末のクッション作用を除くためプロアーを設置するなどした結果、可変要素を適切に設定することで、一般骨材と同等の品質のものが得られることがわかった。

この粗骨材再生機のノーマルセッティングで1回処理したMG-0を“MG-1”と呼び、クリアランス、供給量等を変え高度な処理を行ったMG-0を“MG-5”と呼んでいる。

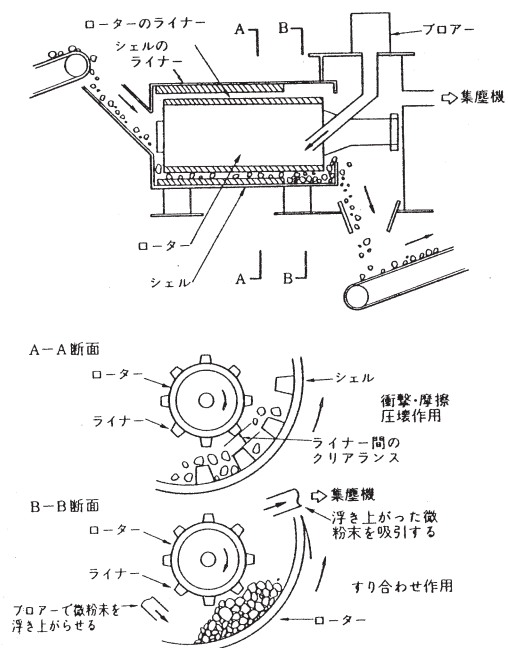


図-3 粗骨材再生機

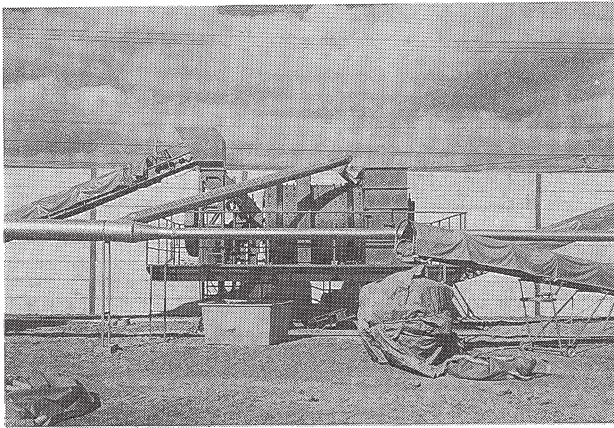


写真-3 粗骨材再生機

Ⅳ) 細骨材再生機 (図-4、写真-4)

一次破碎、粗骨材再生時に発生する10mm以下の骨材を細骨材として生産するために、ロートコンディショナーと呼ばれる鑄砂再生機を選定、改良した。

これは図-4に示すように、高速回転しているローターの羽根に材料を投入し、ウェアリングと呼ばれる衝突板にあたって衝撃と摩擦により細骨材を生産する機械である。衝撃板の数、角度、ローターの回転数、材料の供給量等についての実験を行ったが、処理程度を高めると微粉末が多くなり、処理能力の低下とともに粒度分布が不適な細骨材となった。そこで図-4に示すような風力分級機を組み合わせ細骨材再生のシステムを確立した。つまり、ロートコンディショナーで処理した後、風力分級機で微粉末を除去し、最適粒度に構成し直した再生細骨材を生産するシステムとした。

この処理工程で1回処理されたものを“MS-1”、3回処理されたものを“MS-3”と呼んでいる。

3. 再生骨材の品質

再生骨材の品質は、原コンクリートの性状(使用骨材、強度等)や生産方法(破碎方法、加工方法等)に影響され、それらの要因が複雑に絡みあって品質を一定ににくいものとしている。その品質のばらつきの主たる原因は、再生骨材に付着したセメント硬化物であり、このばらつきが再生骨材コンクリートのばらつきの原因ともなる。このため、所要のコンクリートの強度、耐久性が得られるよう再生骨材も十分な品質を有するものでなければならないし、品質のばらつきの少ないものでなければならないのは当然である。

表-2は、「再生骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案)」(建設省、土木構造物分科会、昭和61年3月) [以下“指針(案)"] 2章第4条、再生骨材の品質についての規定である。この規定の要旨は、前述し

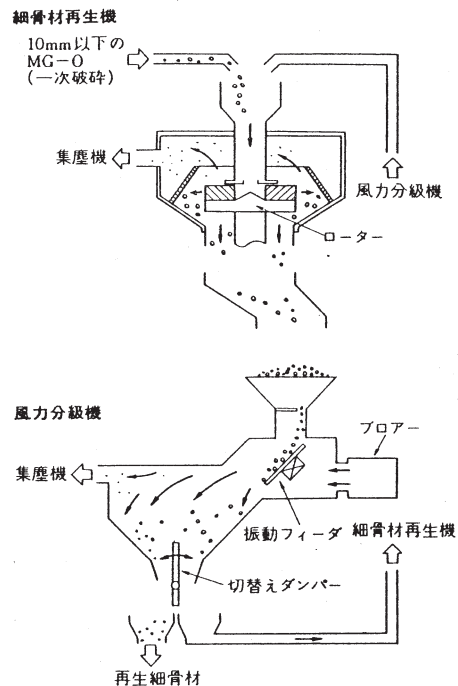


図-4 細骨材再生システム

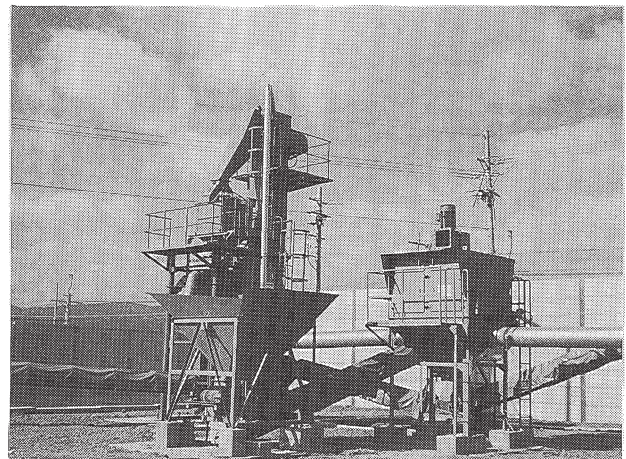


写真-4 細骨材再生機

たとおり、再生骨材の品質が付着したセメント硬化物に影響を受けることから、その付着したセメント硬化物と関係深い吸水率、安定性を品質の指標としている点である。詳しくは“同解説”に譲るとして、本節では当社で開発したテストプラントにより生産した再生骨材の品質の一例を紹介する。

(1) 原コンクリート

山砂(京都府城陽市産)と碎石(大阪府茨木市産、最大寸法は25mm)を用いて、高強度($f'_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$)および低強度($f'_{ck}=200\text{kgf/cm}^2$)のコンクリートを作り、これを原コンクリートとし、前節で述べた方法により再生粗骨材(MG-0、-1、-5)、再生細骨材(MS-1、-3)を生産した。

表-2 再生骨材の品質

種別 項目	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	3以下	5以下	7以下	5以下	10以下
安定性	12以下	30以下 (40以下) ^{注)}	12以下	—	10以下	—

注) 凍結融解耐久性を考慮しない場合。

(2) 試験結果

各種の製法で生産した再生骨材の物理的性質を表-3、4に示す。

再生細骨材・粗骨材とも原コンクリートに用いた山砂、碎石(以下原骨材)よりも劣っているものの、処理程度を高めるに従い、セメント硬化物の付着量が減少し原骨材に近づくことがわかる。特筆すべきことは、粗骨材再生機で処理することにより、粗骨材の実績率が改善されることで、1回処理を行うだけで原粗骨材よりも丸味をおび、川砂利に近い形状となることである。

また、原コンクリートが高強度であっても必ずしも良質な再生骨材が得られるとは言えず、特に細骨材では低強度の原コンクリートからの方が良質の再生骨材が得られている。これは原コンクリートの強度が低いほどモルタル、またはペースト分の除去が容易なためと思われる。

図-5、6は再生骨材の吸水率が比重、安定性に及ぼす関係を示したものである。

比重と吸水率とは再生細骨材と再生粗骨材でそれぞれ直線関係にあり、比重が大きい程吸水率は小さくなっている。一方、吸水率と安定性とは再生細骨材と再生粗骨材で2つの特性の関係が大きく異っており、再生粗骨材はモルタルが付着し吸水率が大きくなると安定性損失重量が再生細骨材に比べて著しく大きくなる。これは、再生骨材の原骨材とセメントペーストとの付着面が、硫酸ナトリウムの膨張圧によって壊れやすいためと考えられる。

本試験で得られた再生骨材は、表-2、再生骨材の品質によると、細骨材についてMS-3が1種、MS-1が2種、粗骨材についてMG-5が1種、MG-1が2種、MG-0が3種に概ね該当するようである。

表-3 細骨材の物理試験結果

種類	強度	比重	吸水率(%)	洗い試験 損失量 (%)	比重1.95 に浮くもの (%)	安定性 損失量 (%)	単位容積 質量 (kg/l)	実績率 (%)	粗粒率	セメント 付着率 (%)
MS-1	高強度	2.37	7.84	0.8	0.12	2.1	1.43	65.0	2.76	29.0
	低強度	2.41	6.58	1.2	0.14	4.8	1.45	64.2	3.16	15.3
MS-3	高強度	2.45	5.86	0.4	0.10	2.0	1.45	62.8	2.50	23.3
	低強度	2.52	3.76	1.2	0.12	3.4	1.55	63.8	2.53	9.3
城陽産 山砂	—	2.56	1.79	2.0	0.02	1.8	1.65	65.7	2.75	—

注) 比重および吸水率は水中浸漬24時間後の値

表-4 粗骨材の物理試験結果

種類	コンクリートの 強度	最大 寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	安定性 損失量 (%)	すりへり 減量 (%)	単位容積 質量 (kg/l)	実績率 (%)	粗粒率	モルタル 付着率 (%)
MG-0	高強度	25	2.48	4.02	0.4	22.7	26.6	1.41	59.2	70.6	41.7
	低強度	25	2.38	5.18	0.6	31.5	28.6	1.34	59.3	7.12	29.4
MG-1	高強度	20	2.57	2.48	0.6	6.4	20.0	1.54	61.4	7.04	26.5
	低強度	20	2.55	2.56	1.1	17.5	19.8	1.52	61.0	6.92	20.6
MG-5	高強度	20	2.62	1.55	0.4	9.6	11.9	1.62	62.8	6.88	10.8
	低強度	20	2.66	1.06	0.7	5.8	14.6	1.64	62.4	6.82	2.5
茨木産 碎石	—	25	2.69	0.70	0.7	6.2	13.7	1.56	58.4	7.07	—

注) 比重および吸水率は、水中浸漬24時間後の値

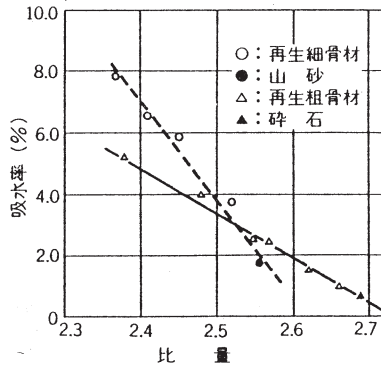


図-5 比重と吸水率の関係

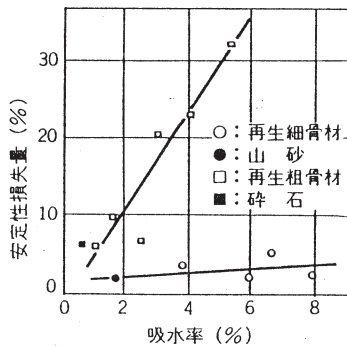


図-6 吸水率と安定性損失量の関係

4. 再生骨材の生産コスト

再生骨材を実際に利用するにあたって、品質はもちろんのこと、再生骨材のコストが重要な要素となる。

表-5は、建設省、総合技術開発プロジェクト（以下“総プロ”）でとりまとめられた再生骨材のコスト試算である。

プラントの設置位置は、コンクリート廃材の発生が都市部に多いこと、および運搬費と土地代を考慮して都市郊外の平地が選定され、処理容量100t/hの生産規模が想定されている。

表-5 再生骨材の生産コスト

プラントモデル	I	II	III	IV
生産粗骨材	MG-0	MG-1(44%)	MG-1(44%)	MG-5(27%)
生産細骨材	—	MS-1(40%)	MS-3(28%)	MS-3(31%)
生産コスト(円/m ³)	1803	2755	3898	7138

注) 1. ()内は、歩どまりである。
 2. 微粉の処理費として1200円/tで計上されている。
 3. 土砂その他異物の処理費は計上されていない。

市販されているコンクリート用砕石の価格は、建設物価(1991年2月号)によると、近畿地区で2550～3400円/m³(現場渡し)となっており、表-5の試算コストと比較すると処理を高めたプラントモデルIII、IVでは割高となっている。しかし、生産コストがそのまま再生骨材価格というわけではなく、実際の販売では、廃コンクリートの受け入れ時に廃棄物処理料としてある金額を収し、販売価格を下げるという方式が考えられる。

そこで今、再生骨材の品質にかかわらず販売価格2000円/m³(工場渡し)とし、販売価格と生産コストとの差額を廃コンクリート受け入れ料金とすると、t当りの受け入れ料金は、プラントモデルII～IIIについてそれぞれ400円、860円、1870円となる。また、生産工程で発生する微粉末が地盤改良などで利用され廃棄物処理費が不要になるとプラントモデルIVの企業化も可能となってくる。

5. あとがき

原コンクリートからの骨材の回収について、品質に重点をおいたテストプラントでの基礎研究を行ってきた。その結果、処理を高めるに従い骨材の物理性状は改善され、関係規格を満足するような品質の再生骨材を生産できる可能性を見出すことができたが、反面微粉末が大量に発生し、回収率が低くなり経済性、生産性に問題となることもわかった。今後、この大量に発生する微粉末の有効利用方法を確立することにより高度処理した再生骨材生産の企業化も可能となってくる。

年々増加するコンクリート廃材、それに伴う処分地不足、環境保全、枯渇する骨材資源等の社会情勢に対応した建設事業を総プロの指針(案)をベースとして、早急に行っていく必要があり、実現に対して官民の一層の理解と協力が必要である。

参考文献

- 1) 田野口耕一、畑実、荒川均、西掘忠信：「コンクリート廃材から再生産されたコンクリート用骨材の性質について」第4回コンクリート工学年次講演会論文集 1982
- 2) 小林茂敏、樋下敏雄、河田博之、多田和弘：「再生骨材の品質改善とその効果」第6回コンクリート工学年次講演会論文集 1984
- 3) (財)国土開発技術センター：廃棄物の建設事業への利用可能性に関する調査報告書 土木構造物分科会 1983.3、1984.3、1985.3
- 4) 近畿地方建設局近畿技術事務局：「コンクリート廃材の再利用に関する試験調査」近畿地方建設局管内技術研究発表会論文集(共通部門) 1986.7
- 5) 建設省：建設事業への廃棄物利用技術の開発報告書 建設省総合技術開発プロジェクト 1986.3