

建設廃材のリサイクル

Recycling of Construction Wastes

山田 優*・本多 淳裕**

Masaru Yamada Astuhiro Honda

1. まえがき

我が国の建設工事への投資額は、1980年代前半しばらく頭打ち状態が続けたが、1985年以降再び急増している。建設工事は、スクラップ・アンド・ビルドで行われることが多いので、大量の廃棄物を排出する。廃棄物処理法では、工作物の除去に伴って生じたコンクリートの破片その他これに類する不要物を「建設廃材」と呼び、産業廃棄物の1つに指定している。

厚生省の調査¹⁾によれば、1985年度1年間に全国で約5000万tに及ぶ建設廃材が排出されている。そのうち、コンクリートくずは3000～4000万t、道路工事からのアスファルトくずは約1000万t程度と推定される。

これらは、一部は路体の盛土や埋戻しに再利用されたが、大半は埋立地に廃棄処分されてきた。しかし、大都市では、新たな埋立用地をその行政区域内で取得することは極めて困難になっている。建設系廃棄物以外の種々な廃棄物の中には、どうしても埋立処分に頼らざるをえないものが多い。都市ごみを焼却して排出される灰渣もその1つである。それらは多少経費がかさんでも、既存の埋立用地に処分されているが、建設系廃棄物は排出量が膨大であり、他の廃棄物と熾烈な競争をすることになる。埋立スペースの温存のために、建設系廃棄物は敬遠されることになりやすい。そのため、東京から四国や北海道へ運搬して埋立処分せざるをえない事態になっている。

その解決策は、廃棄物の排出量をできるだけ少なくする工法の採用とリサイクルの積極的な実施である。以下、建設廃材の大半を占めるコンクリートくずとアスファルトくずについて、それらの処理・処分およびリサイクルの現状について述べてみたい。

2. コンクリートくずについて

2.1 コンクリートくずの処理・処分の現状

建設物を解体して生じたコンクリートくずの多くは中間処理施設に運ばれている。それは、廃棄物として埋立処分しようとする、解体したままの粗大な状態では処分地に受け入れてもらえないので、150mm以下程度に破碎するためである。その破碎を解体現場では実施しにくいので、中間処理施設として破碎工場が設けられ、そこで破碎した後、処分地に運ばれる。

廃棄物の埋立方法には、遮断型埋立、管理型埋立、安定型埋立の3種類があるが、コンクリートくずだけあるいはそれと土とが混合しただけの場合には、安定型埋立で行うことができる。しかし、建設廃材でも、アスファルトくずやその多い場合はタールピッチとみなされ、また木や布などが多く混合してミンチ状になったものは腐敗物が多いとみなされて、管理型埋立でなければならないと指導している自治体もある。

建設廃材の埋立処分地への受入れは、一部の市町村でも行っているが、多くは民営の埋立処分業者または第3セクターの処分地で行っている。これらの運営は、受入れゲートで搬入量に応じた料金を搬入者から取ることによって成り立っている。この受入れ料金は、近畿地区における調査²⁾によると、1t当たり231～3517円、平均1245円、特例的で高料金のところを除いた平均は877円である。後記するように、コンクリート破碎業者による受入れ料金は平均784円であるので、それより高い受入れ料金の埋立処分地は、破碎業者に受け入れてもらえない不純物の多いものを受け入れるところであるとみられる。なお、大阪では第3セクターの埋立処分地に大量の建設廃材が搬入されており、その受入れ料金は車両トン（立板をして満載している）当たり1500円、重量トンに換算すると約750円である。ここでの料金が低いため、近畿地区の建設廃材の埋立料金が比較的安く押さえられているものと考えられる。

* 大阪市立大学工学部土木工学科助教授

** 大阪市立大学工学部土木工学科教授

〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138

2.2 破碎によるコンクリートくずの再利用

(1) コンクリート破碎業の現状

埋立処分を目的とした破碎コンクリートくずは無価値であり、むしろその中間処理施設から搬出、輸送し、処分するための経費を必要とする廃棄物にすぎなかった。しかし、ほぼ均質に破碎されたコンクリートくずは当初から埋戻し材や栗石代用品などとしての利用者があり、破碎工場では受入れの際に破碎のための手数料に破碎物の処分料まで取っているため、利用者がタダで引き取ってくれれば、それだけ処分料などが助かると考えていた。そのため、破碎コンクリートくずをトラックで引き取ってくれる人があれば歓迎していた。

ところが、50mm以下程度の粒径に破碎し、不純物の少ないものになると、埋戻しや栗石の代用以外に道路の路盤などの付加価値の高い用途に使えることがわかってきて、次第に高姿勢となり、均質に破碎したり純化する代わりに、それらを売り物とし、無料では引き渡さなくなってきた。しかし、その需要がどれだけ安定しているかは疑問である。

近畿地区での調査²⁾によると、破碎工場での受入れ料金は1t当たり360~2518円、平均784円で、大半は500~1000円の範囲であり、コンクリートくずの一般的な埋立料金に近い。一方、破碎コンクリートくずの販売価格は、1t当たり103~1151円、平均399円であるが、多くは100~300円の範囲内である。この販売価格は需要動向によって左右され、売れにくくなって破碎工場の敷地内に山積みされるようになると、100円前後でも売却されているようである。

(2) コンクリートくずの破碎システム

再利用を前提とするコンクリートくずの破碎システムの例を図-1に示す。

建設物の解体により発生するコンクリートくずは、様々な寸法、形状をなし、さらに鉄筋、土砂、木くずなどの異物を含んでいる。そこで、まずクラッシャで破碎できる500mm程度の大きさまでブレーカで粗割りし、グリズリにより土砂を除去するとともに、その他の大きな異物を排除する。中間処理施設への運搬のためには、この粗割り段階まで解体現場で行う必要がある。

中間処理施設では通常、2段階に分けて破碎される。まず、1次破碎として、ジョークラッシャなどの粗破碎用のクラッシャで150mm程度以下に小割りし、磁選機による鉄くずの除去、目視選別による木くず、プラスチック類などの除去を行った後、20~40mmのふるいで分ける。ふるい残留分をさらに中破碎用のクラッシャで破碎して、すべてを20~40mm以下にする。

再利用する場合には、1次破碎後にふるいを通じた破碎物と2次破碎後の破碎物は品質が違うものとして別々に扱われる場合が多い。それは、1次破碎後のふるい通過分には、それまでの工程で除去できなかった細かい異物が含有する率が高いためである。また、ジョークラッシャなどの圧縮力だけでは扁平な粒子が生じやすく、粒径分布もよくないことが多いが、2次破碎にインパクトクラッシャなどによる衝撃力による破碎を行うと、粒形や粒径分布が改善する。

(3) 破碎コンクリートくずの用途と要求される性質

破碎したコンクリートくずの用途として、土地造成のための埋立や盛土の材料のほか、構造物の基礎や裏込め材料、道路の路盤材料、アスファルト混合物およびコンクリートの骨材などが考えられる。

土地造成材料は、土砂として使用されるのであるから、敷きならしができ、造成後の土地利用に支障がない粒径までに砕かれていけばよい。破碎コンクリートくずは当然、この用途には適用できるものである。

路盤材料やアスファルト混合物用骨材などとして使用する道路用砕石はJISで規定され、①クラッシャで割りばなしたままのクラッシャラン、②いく種かの粒度のものを混合して、締固めの時に所要の密度が確実に得られるようにした粒度調整砕石、③狭い範囲の粒径にふるい分けした単粒度砕石、④単粒度砕石の最小粒径(2.5mm)以下のスクリーニングス、の4種類に分類されている。基礎や裏込めに用いる砕石について

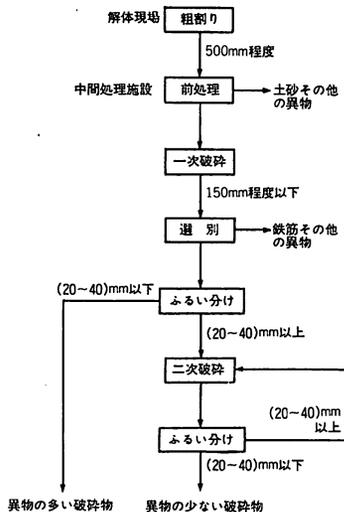


図-1 再利用を前提としたコンクリートくずの破碎システムの例

は一般的な規格はないが、クラッシャーランや単粒度碎石を適用することが多いと思われる。(財)日本道路協会の舗装廃材再生利用技術指針(案)³⁾では、アスファルト舗装要綱⁴⁾での路盤材としてのクラッシャーランまたは粒度調整碎石の規格を満足すれば、破碎コンクリートくずをそれらと同等に路盤に使用できるとしている。実際、粒度の規格さえ満足させれば使用できることが多い。しかし、アスファルト混合物用骨材として使用することは認められていない。それは、比重と吸水率が規格とはずれることが一番の原因である。

一方、コンクリート用骨材としての利用であるが、コンクリートの粗骨材に用いる碎石と細骨材に用いる砕砂は、JISで規定されている。(財)建築業協会の委員会⁵⁾などで研究された結果、破碎コンクリートくずそのままでは、JIS規格の碎石や砕砂と同等には使用できないことが明らかになっており、使用するとすれば、低強度のコンクリートの場合に限るか、通常の規格品に混合して使うことが提案されている^{6),7)}。

(4) 破碎コンクリートくずの性質

破碎しただけのコンクリートくずは、原コンクリートの比較的大きめの骨材粒子にセメント水和物が付着した状態の粒子、セメントモルタルの塊の状態の粒子を多く含む。セメント水和物が全体に占める重量割合は、粗骨材寸法の粗めの粒子で10~20%程度、細骨材寸法の細かい粒子で20~30%程度であり、径の小さい粒子ほどセメント水和物の付着が多い。

つぎに、品質を評価する試験項目別に、破碎コンクリートくずの性質を各種の規定と比較して述べる。

まず粒度試験結果をみると、破碎されただけのコンクリートくずは、締め固めたときに高密度を与えるような理想的な粒径分布に比べて、粗粒分の多い粒度といえる。5mmふるいで分けると、ふるい残留分はJISのコンクリート用碎石の規格に近い粗骨材としての粒径分布を示すが、ふるい通過分は2.5~5mmの粒径分が多すぎるためにJISのコンクリート用細骨材としての細砂の規格からはずれ、それより粗めになる。

絶対比重はコンクリートまたはモルタルの比重に近く、平均2.0~2.4程度であり、また吸水率は4~12%と普通骨材に比して高く、JIS規格(絶対比重2.5以上、吸水率3%以下)からはずれず。

粗骨材のすりへり試験は通常、ロサンゼルス試験機と呼ばれるボールミル型の試験機によって行われる。粗骨材寸法の破碎コンクリートくずのロサンゼルス試験によるすりへり減量は25~35%で、JIS規格(40%

以下)には適合しているが、普通骨材に比べて大きい。

2.3 コンクリートくずの高度利用

(1) 高度利用への経緯と技術的問題点

破碎しただけのコンクリートくずを再生骨材としてコンクリートへ利用することについては、1974年から3年間にわたって(財)建設業協会建設廃棄物処理再利用委員会において研究が行われ⁸⁾、1977年に「再生骨材および再生コンクリートの使用基準(案)」⁹⁾が提案された。しかし、期待どおりには進まなかった。

前記したように、破碎コンクリートくずは、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。これらは、セメント水和物を含んでいるためである。このような骨材を用いてコンクリートをつくると、コンクリートを適当に軟らかくして打ち込みなどの作業をしやすくするために、普通の骨材の場合に比べて、混合する水の量が多くなる。そのために、硬化時の乾燥収縮が大きく、硬化後の強度、弾性率は低く、また凍結融解の繰返しによる強度低下が起こりやすい。

そこで、再生骨材の品質を改善して利用しやすくするために、セメント水和物の除去が必要だといわれるようになった。京阪コンクリート工業(株)¹⁰⁾で高品質再生骨材プラントの開発研究が行われ、1981年度から建設省の建設技術総合開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発」¹⁰⁾の土木構造物分科会でも検討が始まり、1986年度に「再生骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案)」¹¹⁾が作成されている。

一方、同プロジェクトの建築物分科会では、改質を進めるほど経費が増大して割高になることから、実用的な処理で比較的良質なものが得られる再生粗骨材の有効利用をまず進めること、さらに信頼性を向上させるため、普通骨材に混合して使用することが有効という考えで、「再生粗骨材の品質基準(案)」および「再生粗骨材を用いるコンクリートの使用基準(案)」を提案している¹²⁾。また別途、再生粗骨材をJIS A 5404に定められた空洞コンクリート用骨材の全部または一部として使用するための基準(案)¹³⁾も示している。

これらの提案、とくに土木構造物分科会からの指針(案)で重要土木構造物での再生骨材の使用が認められたことは、大きな前進といえる。しかし依然として、再生骨材は従来の新しい骨材より劣るものとして扱われている。この点は、廃材を新規材料と同等以上の品質に再生して新規材料と区別なく使用することを目標にした後記の「舗装廃材再生利用技術指針(案)」³⁾と

の重要な違いである。そこで対象としているアスファルトくずや路盤廃材のリサイクル率が順調に増加しているのに対し、コンクリートくずのリサイクルが遅れているのは、ここに一つの原因があるように思われる。

コンクリートくずから新しい普通骨材と同等以上の品質と認められる骨材の再生が実施できていない原因としては、①セメント分の除去に費用がかかりすぎて、コマーシャルベースに乗りにくいこと、②セメント除去に伴って大量の微粉が2次廃材として排出されること、の2点が考えられ、これらの解決がコンクリートリサイクルを促進させるための最重要課題といえる。

(2) 骨材の分離技術

京阪コンクリート㈱が開発した高品質再生骨材プラントでの骨材分離は、図-2のフローで行われる⁹⁾。

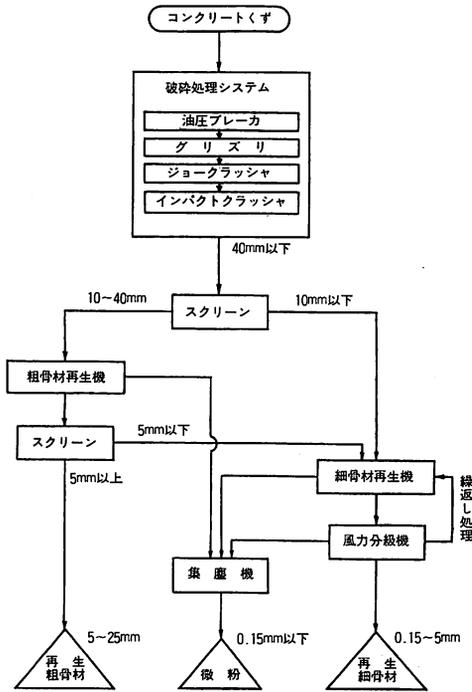


図-2 コンクリートくずからの骨材分離システムの例

ジョークラッシャとインパクトクラッシャで40mm以下に破砕されたコンクリートくずのうち、10mm以上の粒径部分を粗骨材再生機に送って粗骨材を分離して回収する。10mm以上は、粗骨材再生機で排除された5mm以下とともに細骨材再生機に送られ、細骨材を分離する。これらの過程で生じるおおよそ0.15mm以下の微粉は集塵機で1か所に集められる。

粗骨材再生機はダブルロールクラッシャを改造したもので、骨材粒子が圧縮力、摩擦力および粒子同士の

すり合わせ作用を受け、角ばりがとれて粒形が改善されるとともに、付着していたセメント分が除去される。その際に発生する微粉は、クッションの作用をして骨材粒子同士のすり合わせ効果を弱めるので、ブロウで風を送って浮き上がらせて吸引除去する。

細骨材再生機はロートコンディショナと呼ばれる機種を改造したもので、衝撃と摩擦によりセメント分の多い弱い粒子を破砕するとともに、粒子の表面に付着したセメント分を除去する。風力分級機は、微粉を除去するとともに、再生細骨材を最適粒度に調整しやすいように分級して回収するために組み込まれている。

再生機によりセメント除去処理を繰り返すと、吸水率、安定性などが改善され、原骨材に近づく。粗骨材については、1回の処理だけでも、原骨材である碎石よりも丸みをおび、川砂に近い形状となり、実積率が大きくなる。なお、原コンクリートが高強度であってもかならずしも良質な再生骨材が得られるとはいえず、とくに細骨材では低強度の方がセメント分の除去が容易なためか、良質の再生骨材が得られている。

セメントを除去した再生骨材の生産コストは市販の骨材の価格より高いが、それがそのまま再生骨材の価格になるのではなく、コンクリートくずの受入れ時に廃棄物処理料を徴収して販売価格を下げることができる。再生過程で発生する微粉を何らかの用途に有効利用することができれば、さらに下がることになる。

筆者らは、この京阪コンクリート㈱の研究結果を参考にして、さらにより経済的に良質の骨材を分離・回収するシステムの開発を実施中である。その要点はつぎのとおりである。

①解体現場から排出されるコンクリートくずを従来のように土砂その他の異物の分離を行った後、2段階で破砕する過程を簡略化する。2段階で破砕するのは、ジョークラッシャによる破砕だけでは偏平な粒子が生じやすく、粒径分布もよくないので、さらにインパクトクラッシャなどで破砕して粒形や粒度分布を改善して、路盤などに使いやすくするためである。しかし、骨材分離をするための前処理としての場合にはこのことは重要でない。500mm程度のものを40mm程度以下にできる機械を使用して1回だけの破砕で十分であり、コストを下げるためにそれが必要である。また、土砂などの異物の除去は、全体を所定大きさに破砕した後、スクリーンで分離の方が効率的である。なおこのための破砕装置として、近年開発されてきている3軸のスクリーを用いたディスク型クラッシャが

適当ではないかと考えている。できれば、そのような装置をトレー上に積載して移動し、解体現場で行えると、再利用先に直接搬入したり、骨材回収プラントに搬入することができ、輸送効率も向上させることができる。

②粗骨材の分離のために、回転するハンマーや腕のある機械にかけると、セメント水和物部分も割れるが、骨材部分も割れてしまい、粗骨材の回収率が低下するので、コンクリート粒子を機械の鉄素材とぶつけるよりも、コンクリート粒子同士でできるだけぶつけ合わせるような機械を用いる。現在検討中の機械は、図-3に示すような機構である。縦に設置した円筒形のケーシング内にわずかに偏心して回転する円筒形の回転体が置かれている。コンクリート塊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てそれらを回転体によって加速し、塊同士をぶつけ合ったり、もみ合ったりさせた後、下部から引き出す。これにより、比較的容易にJIS規格のコンクリート碎石と同様に使用できる再生粗骨材を得ることができる。

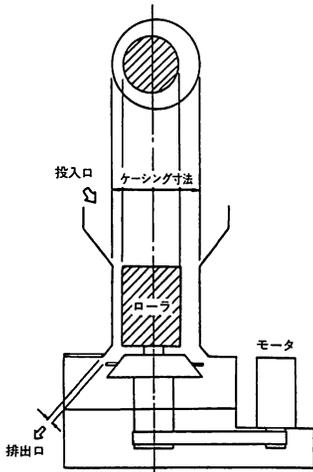


図-3 粗骨材再生処理実験機

③細骨材についても、セメント分を除去するためには、粒子同士をぶつけ合わせればよいが、粒子が小さいので、それらを動力で加速することは困難である。また、小さくて堅いモルタル粒子が砂と同じような挙動をすることもある。前記の粗骨材の場合より、時間をかけなければならない。粗骨材に比べて材料の量が少ないので多少時間をかけて装置内に滞留させることができる。また、解砕されたセメント分は微粉になっているので、風力で選別されやすい。そこで、図-4に示すような、末端に同心円状の堰を設けた回転ドラムに一端から材料と空気を連続的に送り込み、他端から微粉を分離した細骨材と微粉の浮遊した空気を排出させ、その排気はサイクロンやバグフィルタを通して微粉と空気を分離する装置を試作し、現在実験中である。

(3) 分離粉末の有効利用

骨材を再生する際に生じる微粉末を分析してみると、元の新しいセメントにはほとんどない強熱減量が15～20%程度、不溶残分が30～50%程度存在する。前者はセメントの水和によって生じたものであり、後者にはセメント水和物以外に骨材部分が削られて生じた石粉が含まれている。強熱減量と不溶残分以外のすなわち溶解分は主にセメントの成分からなり、当然CaOとSiO₂が多く、それぞれ10%と20～30%程度である。CaOは、元素分析の結果から、ほとんどCaCO₃の形で存在していることがわかる。粒径は、60～100μmが0.15mm以下である。

微粉末の有効利用の方法には、現在のところまだ決定的なものはない。これまで、土質安定あるいは土壌改良材、廃水処理用フィルタ材、酸性土や廃液の中和剤、火力発電所の排ガス精製フィルタ材、下水汚泥の脱水用の処理材など、だいたいが石灰の代用としての利用が考えられてきた。しかし、コンクリート微粉末に含まれる石灰分の割合はさほど多くなく、そうした

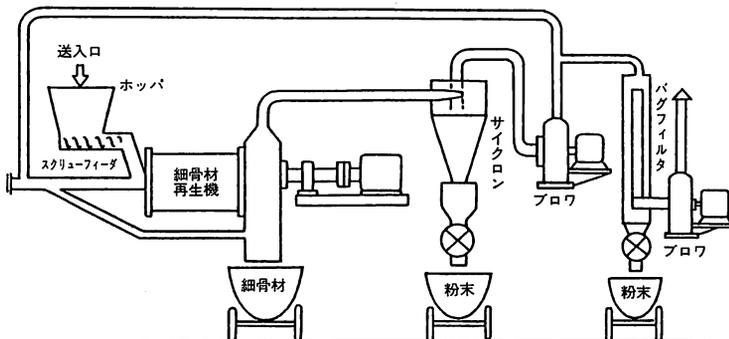


図-4 細骨材再生処理実験機

方法での利用はあまり期待できないようである。むしろ、本来の意味でのリサイクルということで、セメント原料としての利用あるいは特殊セメントの材料としての利用¹⁶⁾が実行しやすい方法と考えられる。この場合できるだけセメント水和物分の多い微粉が望ましく、骨材分離の際、骨材部分のすりへりが少ない分離技術の開発が必要である。

そのほか、可能性のある微粉末の利用法として、アスファルト混合物への利用がある。フィラーとしての利用、あるいはそれに細骨材粒径も加えて、アスファルト混合物の骨材一部としての利用が考えられる¹⁵⁾。

3. アスファルトくずについて

3.1 舗装廃材のリサイクルの種類

道路工事で発生したアスファルトくずの再利用は、もっぱら再び道路材料として利用することで行われており、破碎の後、再加熱してアスファルトを溶解し、再びアスファルト混合物にする。舗装の上層部への利用と、コンクリートくず、路盤材料を含む掘削残土などと一緒に破碎、混合し、碎石や砂利の代用品として使う、路盤への利用とに大別される。舗装廃材再生利用技術指針(案)³⁾では、前者の再生材を再生加熱アスファルト混合物、後者の再生材を再生路盤材、またそれらを製造するために舗装廃材を破碎したものを再生骨材とよんでいる。

これらの破碎と再生はプラントで実施される。再生加熱アスファルト混合物の場合、破碎から混合物の製造までを1つのプラントで行うことが多いが、中間処理施設でいったん破碎処理して再生骨材とした後、混合物製造プラントに引き取られる場合もある。

なお、舗装の修繕工事の際、アスファルト混合物を切削あるいは破碎した後、それらをその場でただちに再生して利用し、アスファルトくずを排出しない工法を採用する場合がある。これにも、アスファルト混合物に再生する路上表層再生工法と路盤として再生する路上再生路盤工法がある。ともに、1988年と1987年にそれぞれ技術指針(案)が日本道路協会から発刊されている^{16), 17)}。

3.2 破碎による再生骨材の製造とその品質

再生加熱アスファルト混合物と再生路盤材のいずれを製造するプラントであっても、搬入されるアスファルトくずの大きさは、破碎装置の能力を考えて、通常500mm程度以下に制限されている。搬入されたアスファルトくずは、不要な混入物の除去後、40mm程度

以下に破碎される。とくに再生加熱アスファルト混合物用再生骨材の製造の場合には、混入している土砂を排除するために、破碎前にグリズリを通し、30~40mm以上の塊のみを用いる場合が多い。

破碎の方法は、クラッシャによる方式と熱による方式に大別され、それぞれ機械破碎方式および熱破碎方式とよばれる。熱は、スチーム、温水あるいは熱風によって与えられる。

全国60か所のプラントでの調査¹⁸⁾によると、製造された再生骨材に含まれるアスファルト量は4.4~6.0%、平均5.1%で、舗装に当初用いられたアスファルト量は5~7%と考えられるので、平均1%近く減少したことになる。また、アスファルトを回収して試験したところ、新しいアスファルトに比べて一般に硬く、軟化点が高く、伸び能力が低いことがわかった。アスファルトの性質の変化は、主にアスファルトプラントでの混合物の製造中における加熱のために起こるが、舗装としての供用中にも進行する。

再生骨材はまた、破碎の際、とくに機械破碎方式の場合に、骨材粒子の破碎が懸念されるが、破碎はほとんどアスファルトモルタル部分で行われることになるため、骨材の細粒化は再生に不都合になるほどには起こらないこともわかった。

3.3 再生加熱アスファルト混合物の製造と品質

再生加熱アスファルト混合物の製造のために、再生骨材は計量装置を通じて加熱混合装置へ供給される。加熱の方法には、ドラムドライヤなどで直接加熱する方法と高温に加熱した新しい骨材に20~30%混合して、それらからの放熱によって間接的に加熱する方法とがある。

加熱混合の際、再生骨材中の骨材の粒度、アスファルト量と性質が新規のアスファルト混合物の場合と同じになるように、新しい骨材とアスファルトおよび再生用添加剤を加える。

再生加熱アスファルト混合物の品質についても、前出と同じく60か所のプラントで調査され¹⁸⁾、新規混合物の場合に比べて若干変動が大きいようだが、規定の範囲内にあることが確認されている。施工後の長期の耐久性については今後の調査によらねばならないが、実験室での研究では、新規混合物よりもむしろすぐれているという結果が得られている¹⁹⁾。

3.4 アスファルトくず再生業の現状

アスファルトくずを使った再生加熱アスファルト混合物の製造は、1987年度現在、188基のプラントで実

施されている²⁰⁾。そのうち95基は新規混合物との兼用プラントである。製造量は年間約400万tで、プラント数とともに増加の一途をたどっている。

新規の加熱アスファルト混合物の販売価格は6500～6800円/t程度であるが、再生加熱アスファルト混合物の販売価格は、新規と同額のところから1500円程度安いところまで、地域によってかなり差がある。平均約1割安とみてよい。なお、アスファルトくずの引取り価格も、平均520円/tだが、-300～1500円/tと大きくばらついている。ここに-300円/tとは1t当たり300円で買い取ることを意味している。

4. あとがき

以上、コンクリートくずとアスファルトくずについて述べたが、建設系の廃棄物としては、これら建設廃材のほかに、木くず、汚泥などがある。また、残土も建設工事から大量に排出され問題となっている。これらも含めて、詳しくは筆者らの最近の著書²¹⁾をご覧くださいただければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 厚生省産業廃棄物対策室；産業廃棄物の排出及び処理状況，月刊廃棄物，Vol. 14, No. 165 (1988) p. 95.
- 2) 本多淳裕，貫上佳則（大阪都市協会編）；建設系廃棄物処分料金等実態報告書（1988）
- 3) 日本道路協会；舗装廃材再生利用技術指針（案）（1984）
- 4) 日本道路協会；アスファルト舗装要綱（1988）
- 5) 建築業協会建設廃棄物処理再利用委員会；再生骨材コンクリートに関する研究，コンクリート工学，Vol. 16, No. 7 (1978) p. 18.
- 6) 建設省建築研究所；廃棄物の建設事業への再利用技術に関する研究報告書（1986）
- 7) 樫野紀元；廃棄物の建築用コンクリートへの再利用，コンクリート工学，Vol. 25, No. 5 (1987) p. 17.
- 8) 建築業協会建設廃棄物処理再利用委員会；再生骨材および再生コンクリートの使用基準（案），コンクリート工学，Vol. 16, No. 7 (1978) p. 42.
- 9) 畑実；コンクリート廃材の再生技術の改善，土木施工，Vol. 27, No. 15 (1986) p. 101.
- 10) 建設省，国土開発技術研究センター；建設事業への廃棄物利用技術の開発に関する調査報告書（1986）
- 11) 河野広隆；「再生骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針（案）」について，土木施工，Vol. 27, No. 15, (1986) p. 110.
- 12) 高橋泰一；建築物における再生骨材を用いたコンクリートの利用技術，土木施工，Vol. 27, No. 15 (1986) p. 153.
- 13) 高橋泰一；再生骨材の空洞コンクリートブロックへの利用，土木施工，Vol. 27, No. 15 (1986) p. 157.
- 14) 吉兼亨；セメントコンクリート廃材の再資源化，骨材資源，No. 72 (1987) p. 184.
- 15) 山田優，川本裕章，本多淳裕；コンクリート廃材の舗装用材料としての利用に関する研究，第18回日本道路会議一般論文集（1989）p. 694.
- 16) 日本道路協会；路上表層再生工法技術指針（案）（1988）
- 17) 日本道路協会；路上再生路盤工法技術指針（案）（1987）
- 18) 地方公共団体建設技術試験研究機関連絡協議会；再生アスファルト混合物の品質に関する実態調査報告書（1989）
- 19) 山田優；再生アスファルト混合物の性質と供用性に関する一研究；土木学会論文集，No. 349/V-1 (1984) p. 51.
- 20) 日本アスファルト合材協会；アスファルト合材統計年報（1987）
- 21) 本多淳裕，山田優；建設系廃棄物の処理と再利用，（1990）省エネルギーセンター