特集1・建設副産物の再生資源化

建設廃材の再生資源化

山 田 優*

1. はじめに

1995年度の建設工事に対する建設省の調査によれば、建設廃棄物は年間全国で9,900万t発生し、全産業廃棄物の25%を占めた。うち、現在「がれき類」と呼ばれる建設廃材、すなわちコンクリート塊とアスファルト塊の量は、ともに3,600万tで計7,200万tであった。このように、建設廃材は大量に発生している。

建設廃材は、適度な大きさに破碎されれば、物理的には土砂と同様なものになる。それゆえ、中間処理施設で破碎されて土地造成材料などとして利用されてきた。廃棄物処分場でも、土地ブームの頃には、跡地利用を早期に行うため、受入れを歓迎していた。しかし、土地造成工事の減少、処分場の不足などから、そのような安易な方法では大量の建設廃材を処理できなくなり、建設資材として、より高度に有効利用されるような再生資源化が必要となってきた。

以下、コンクリート塊とアスファルト塊の再生資源化について、これまでの経緯と最近の動向をみてみたい。

2. コンクリート塊の再生資源化

2.1 利用用途について

前記の建設省調査によれば、1995年度に発生したコンクリート塊3,600万tのうち、65%は再生資源化されて再利用された。再利用率の2000年度目標値は90%であったが、最近の記者発表資料¹⁾によると、1998年度の再利用率は95%に達したとされる。利用用途は、ほとんどが再生クラッシュランと呼ばれる道路用再生碎石としての利用と考えられ

る。

1995年度に再利用された再生碎石は、アスファルト塊を再生資源化して製造された再生碎石も加えると、4,200万tであった。これは、碎石業によるクラッシュラン（新材）の年間出荷量13,000万tの約30%、全碎石の年間出荷量41,000万tの約10%にあたる。

碎石業はクラッシュラン以外にコンクリート用骨材やアスファルト混合物用骨材などとしての碎石を製造しているが、クラッシュランは、それらに比べて製造しやすく、利益元となる主力製品であり、建設廃材を原料とする再生クラッシュランの普及は、碎石業の経営に少なからず影響を与えているようである。しかし、一方でまた、天然骨材、特に細骨材の不足が深刻化してきており、骨材用碎石と細骨材としての砕砂の需要量増加が見込まれている。

日本碎石協会²⁾は、2005～2010年における碎石・砕砂の需要量を年間60,000万tとし、そのうち再生クラッシュランが5,000万t、コンクリート用再生骨材が1,000万tと想定している。

コンクリート塊の再生資源化は、今後、再生クラッシュランだけでなく、コンクリート用骨材としての用途を含む、より高度な有効利用を目指す方向にあるといえる。

2.2 再生骨材の製造方法について

2.2.1 発展の経緯^{3, 4)}

コンクリートは骨材とセメントと水および少量の混和材料で作られているが、容積の70%程度は骨材である。廃棄物処理法でコンクリート塊が産業廃棄物と指定されてよりすぐに、それを破碎して再びコンクリート用骨材として利用することが検討されている。

たとえば、1974年度より建築業協会が建設廃棄物処理再利用委員会（委員長：笠井芳夫日本大学教

*大阪市立大学工学部環境都市工学科
Masaru YAMADA

授)が設けられ、1977年に「再生骨材および再生コンクリートの使用規準(案)」が提案された。この案では、コンクリートの原粗骨材をあまり砕かずに再生粗骨材になるべく多く得られるように破碎し、得られた再生骨材を粒度調整して低強度コンクリートに用いることにした。

なぜ低強度コンクリート用に限ったかという点、破碎と粒度調整だけの再生骨材はセメント水和物部分を多く含んだままで、普通骨材に比べて吸水率が高く、すりへり減量も大きいためである。また、セメント水和物部分の量と性質はコンクリート塊ごとで大きく異なる。セメントと水の比などの配合の調整でコンクリートの強度やその他の性質をある程度改善することは可能であるが、そのような品質の再生骨材では、信頼性を必要とする構造用コンクリートに使用することは難しい。

したがって、構造用コンクリートに使用できる高品質再生骨材を製造するためには、再生骨材からセメント水和物部分を除去する必要がある。これは、コンクリート塊から原骨材とセメント水和物を分離し、原骨材を回収することを意味する。

当然ながら当初は、価値の低い石を回収するために費用やエネルギーをかけるなんて、馬鹿げたことだ、という意見が多数であった。しかし、廃棄物処分地容量の減少、安定型処分場不要論、そして処分料金の高騰、さらには骨材原料採取による自然破壊への非難、骨材資源不足などがから、この馬鹿げたことについて研究開発が進み、今や事業化も始まっている。

コンクリート塊からセメント水和物部分を分離して高品質再生骨材を回収する技術については、まず京都府で京阪コンクリート工業(現、ケイコン)が研究開発を始め、1980年に実験プラントを設置した。この技術は、1981年度から始まった建設省総プロ「建設事業への廃棄物利用技術開発」の土木構造物分科会で参考とされ、同分科会が1986年に提案した「再生骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案)」の根拠を提供した。

その後、1987年に大阪で、この京阪コンクリート工業も加わってコンクリート廃材リサイクル研究会(会長:本多淳裕大阪市立大学教授、1991年にいったん解散して建設資源リサイクル研究会という名称で再発足)が組織され、粗骨材再生実験機を作製し、比較的簡単な機械で高品質再生粗骨材を製造

できることを確認した⁵⁾。この実験機を実用規模に拡大したものを、1997年に竹中工務店が作製し、1998年11月に日本で初めて建物の構造体(大阪市のビル1階床の一部、100 m²)に再生粗骨材が使用されるに至った。

同様な高品質再生骨材は、JIS規格外の生コン工場ではすでに使用されている。大阪府の協和が1995年から製造し、それを使用した生コンを販売している⁶⁾。

高品質再生骨材製造技術の開発研究は、現在も続けられている。三菱マテリアルは再生粗骨材だけでなく、再生細骨材についても高品質なものを製造する技術を開発し⁷⁾、その再生骨材は、前記の竹中工務店による再生粗骨材とともに、1999年12月に日本建築センターの新建築技術認定事業「建築構造用再生骨材」に国内で初めて認定された。

このような高品質再生骨材製造技術の発展をみて、建設省は1992年から始まった総プロ「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」で、それに対応する基準類の検討を行い、1998年に、それまで土木と建築で異なっていた再生骨材に対する考え方を整合させ、表1に示す「コンクリート用再生骨材の暫定品質基準(案)」を提示した⁸⁾。

2.2.2 コンクリート用再生骨材の製造方法

コンクリート塊は木造住宅を含む種々の建設物の解体工事、また新築工事でも発生する。それら任意のコンクリート塊からコンクリートに使用可能な高品質再生骨材を製造することは困難である。不純物の少ない、良質骨材を多量に含むコンクリート塊を収集し、それを破碎処理に加えてセメント分の分離除去処理を行う必要がある。すなわち、図-1に示すフローでコンクリート塊から再生骨材を製造して再利用することになる。なお、ここでは従来の再

表1 建設省総プロの基準案による再生骨材の品質

骨材の種類	区分	吸水率 (%)	洗い損失量 (%)	有機系混入物 (%)
再生粗骨材	1種	3.0以下	1.5以下	1以下
	2種	3.0を超え5.0以下		
	3種	5.0を超え7.0以下		
再生細骨材	1種	5.0以下	7.0以下	—
	2種	5.0を超え7.0以下

図-1 再生骨材製造フロー

生クラッシュランも含めて再生骨材としている。

図の左側の流れが、従来一般に実施されてきた再生骨材の製造工程である。建設廃材と呼ばれて法律上産業廃棄物となるコンクリート塊が破碎処理施設に運ばれてくる。コンクリート塊だけを分別し、それ以外の不純物をできるだけ含まないように努力されているが、実際には、ある程度の不純物が混入している。モルタル分の多いブロックや煉瓦などは当然のこととして含まれている。不純物やモルタル分の多いものは、破碎して埋め戻し材など、低級クラッシュラン用途に用いるしかない。

モルタル分の多いコンクリート塊も、破碎とふるい分けを繰り返せば、弱いモルタル塊は砕かれて分離できるので、舗装の路盤材の品質規格に合格する再生骨材を製造することができる。しかし、多くの場合、下層路盤用であり、粒度調整しても十分な支持力は得られず、上層路盤への適用は難しい。破碎して粗骨材粒径にした後、それらをもみ合わせ、低支持力の原因となる骨材に付着したセメント分を削り取れば、コンクリートへの利用も可能な品質になるが、収率が低く、実用的でない。

コンクリート用骨材としても利用できるように品質にまで高度処理を行うためには、図の右側の流れのように、それに適した、すなわち効率的に高品質化処理をしやすいコンクリート塊を分別し、それを原料として再生骨材を製造しなければならない。前

述の左側の流れは従来の「廃棄物の有効利用」であり、この右側の流れは「新しい骨材資源の開発」であって、砕石業など、骨材メーカーの参入も期待される部分である。

高品質化処理、すなわちセメント分を分離除去する方法としては、次の3つが行われている。

(1) セメント分の機械的すりもみ分離除去

セメント分の多い部分は原骨材部分より若干弱いので、圧縮力を原コンクリートの骨材部分を破碎しない範囲に抑え、粒子どうしをもみ合わせるようにして摩擦力を与えて付着するセメント分を削り取るものである。前記の京阪コンクリート工業（現、ケイコン）⁹⁾ や大阪のコンクリート廃材リサイクル研究会⁵⁾ の実験では、この方法により表1の再生粗骨材1種を得ている。

(2) 加熱前処理後、機械的すりもみ分離除去

コンクリート塊を300℃以下で加熱し、セメント水和物部分を脱水、脆弱化して、その後、すりもみ作用による破碎処理により、セメント分を選択的に分離除去するものである。前記の三菱マテリアル⁷⁾ の実験では、300℃の加熱前処理後、チューブミル型装置ですりもみ、再生粗骨材のみならず、再生細骨材についても1種の品質、さらにJASS5の規格まで満足するものを回収することに成功している。

(3) 洗浄、比重分離等による不良質粒子の分離除

去

コンクリート塊の破碎物はセメント分を含むが、その割合は粒子によりかなり異なる。セメント分の多い粒子は少ない粒子より若干軽い。そこで水洗浄により木くずなどを除去するとともに、セメント分の多い軽い粒子を分離除去するものである¹⁰⁾。前記の協和⁶⁾はロッドミルによってセメント分をある程度機械的除去した後、この方法で高品質化して再生粗骨材1種を製造している。

3. アスファルト塊の再生資源化

3.1 発展の経緯について³⁾

アスファルト塊は公共事業関連では最も発生量の多い産業廃棄物であり、処分地不足に悩む都市では1970年の廃棄物処理法制定以来、早くからその再利用が必要と考えられてきた。アメリカで1973年のオイルショックを契機に再利用の試みが始まるや、わが国でも研究が開始された。

アスファルト塊の再利用としては、アスファルト混合物としての再利用と、破碎して路盤材などの粒状材料としての再利用があるが、当初は後者で十分であるとする技術者がほとんどであった。

そのような中、1975年に関西道路研究会のアスファルト舗装委員会に舗装材再利用小委員会（委員長：三瀬貞大阪市立大学教授）が設置され、アスファルト塊を加熱アスファルト混合物として再生し、舗装の表層に再利用しようとする研究が始まった。大阪市でも試験舗装が実施された^{11,12)}。

その後、1976年に建設省が研究費補助対象課題として「アスファルト舗装廃材の再生工法と機械装置の開発」を取り上げて、大都市圏を中心に舗装廃材のリサイクルプラントの設置、試験施工、実験室での研究が進んだ。

再利用技術の開発は当初、各事業者がアメリカの技術などを参考に、それぞれ独自に進めていたが、1980年以降、日本道路協会ですれまでの成果の収集、整理が続けられ、製品品質の規格化、施工方法の標準化などを図るための技術指針（案）が1984～1988年に刊行された^{13～15)}。そして、1992年に1984年版を全面的改訂した本格版といえる技術指針が発刊された¹⁶⁾。それまで重交通道路では再生アスファルト混合物の使用を控えていたが、品質を適正に行って施工すれば、新しい材料のみを用いた舗装に比較して遜色ないことが確認され、すべての道路舗装

に適用できることになった。

アスファルト塊の再利用は着実に進んでいる。建設省調査によれば、1995年度に発生したアスファルト塊3,600万tのうち、900万tは再生アスファルト混合物の材料として、また2,000万tは再生路盤材の材料として再利用され、再利用率は81%であった。1998年度は、98%に達したと発表されている¹⁾。

3.2 再利用方法について

3.2.1 方法の分類

アスファルト塊は舗装のはぎ取りあるいは削り取りによって発生する。その再利用は、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として舗装の表層、基層あるいは上層路盤に利用する場合と、コンクリートがらや掘削された路盤材料を主とする他の建設副産物とともに破碎して混合し、碎石や砂利の代用品として路盤に利用する場合に大別される。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と呼んでいる。

さらに、各再生材の製造場所は定位置式のプラントと現位置に分かれる。前者がプラント再生舗装工法¹⁶⁾、後者が路上再生路盤工法¹⁴⁾と路上表層再生工法¹⁵⁾である。

以上では、いずれもアスファルトが付着したままの再生骨材をそのまま使用するが、アスファルトと原骨材を分離し、それぞれを別用途に有効利用することも考えられる。まだ実用化に至っていないが、研究は進んでいる¹⁷⁾。

3.2.2 各方法の概要

(1) プラント再生舗装工法

アスファルト塊を再生路盤材、再生加熱アスファルト混合物のいずれの原料として利用する場合も、通常いったんアスファルト塊を解砕・分級し、それを骨材とする。これがアスファルトコンクリート再生骨材と呼ばれるものである。

解砕とはアスファルト混合物中の原骨材をできるだけ割らずにアスファルトの部分で離して塊を破碎することを意味する。これにより通常の碎石と同様に路盤材として使用できたり、再生アスファルト混合物の製造の際に用いる新しい骨材やアスファルトなどと均一に混合しやすくなる。解砕には通常ジョークラッシャ、インパクトクラッシャなどの破碎機を用いるが、スチームや温水、熱風による熱解砕を行っているプラントもある。

再生加熱アスファルト混合物は、アスファルトコンクリート再生骨材を新しいアスファルト、骨材およびフィラーそして必要に応じて再生用添加剤とともにプラントで加熱・混合して製造される。加熱・混合方式は次の2種類に大別される。

1) 再生骨材と新しい骨材をいっしょにして加熱・混合するか、もしくはそれぞれの骨材を別々にほぼ同一温度に加熱してから混合する方式

2) 常温の再生骨材もしくは予備的に加熱した再生骨材と高温に加熱した新しい骨材をミキサでいっしょに加熱・混合する方式

1) の方式では、再生骨材の割合が大きい場合でも可能であるが、再生骨材を加熱しすぎて含有するアスファルトの劣化を進めないように注意する必要がある。2) の方式では、新しい骨材からの輻射熱で再生骨材を加熱することになり、再生骨材中のアスファルトの劣化を進めることが少ないが、使用できる再生骨材の割合に限界がある。

再生骨材はアスファルトを含んでいて、再生加熱アスファルト混合物に利用すれば、再びアスファルトバインダの一部となる。したがって再生骨材中のアスファルトが劣化していて再生混合物中のアスファルトが所定の品質にならないと予想される場合には、アスファルトの性質を調整するために再生用添加剤を使用する。

(2) 路上再生路盤工法

この工法は、既設舗装のアスファルト混合物層と路盤の上層部を掘削、破碎し、これにセメントやアスファルト乳剤などを添加、混合することにより安定処理して新しい舗装の路盤の上層部とするものである。その上に新しくアスファルト混合物層を舗装して舗装が完成する。

既設舗装のアスファルト混合物層が厚い場合には、それをアスファルト混合物として再生利用することが望ましく、またこの工法による施工の結果は舗装厚の増加をもたらす。それゆえ、この工法は既設舗装がアスファルト混合物層が薄く、路盤が上層まで粒状材料で比較的簡易な構造であって、舗装厚を増加させて荷重の支持能力を改良したい場合に適用されることが多い。

(3) 路上表層再生工法

この工法は、既設舗装のアスファルト混合物層の上部を加熱した後、かきほぐし、これに必要に応じて新規アスファルト混合物や再生用添加材料を加え

て混合したうえで敷きならし、締め固めて再びアスファルト混合物層の一部とするものである。予備加熱と締め固めを除く、本加熱から敷きならしまでの作業を連続的に行うことができる機械が開発されている。

この工法の施工方式には、リミックス、リペーブおよびリフォームと呼ばれる3種類がある。リミックス方式では、既設アスファルト混合物をかきほぐした後、再生用添加材料および新規アスファルト混合物を混合することにより、既設舗装の凹凸やひび割れの除去などの路面性状の改善だけでなく、アスファルト混合物の増厚と品質の改善を行う。リペーブ方式では、リミックス方式と同じ目的であるが、新規アスファルト混合物を既設舗装からかきほぐした古いアスファルト混合物に混合しないで上部に置いて締め固める。リフォーム方式は、路面性状の改善だけを行うものである。3方式のうち、リペーブ方式の施工実績が最も多いが、最近リミックス方式の採用が増加している。リフォーム方式による施工は、最近ほとんど見られない。

この工法には各方式で施工できる機械を必要とするが、その機械を現場に移動することにより施工でき、再生アスファルト混合物を製造するプラントを適切な距離内に設置しにくい所、たとえば地方部の高速道路などに適していると考えられる。現在のところまだ施工実績は少ないが、今後大いに普及すべき工法である。

(4) 原材料の分離回収による再利用

久利・佐野¹⁷⁾は、原材料の完全な分離ではないが、廃コンクリート粉末などの吸油性粉末を使用済アスファルト混合物塊と加熱混合することによって、粉末にアスファルトを吸収させ、骨材を分離することについて研究している。これにより、最近不足している良質骨材を回収して利用することができる。アスファルトを多量に吸収した粉末も、舗装材その他に利用が可能である。

4. お わ り に

「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」により、建設廃材の再利用が徹底されようとしている。特に、建築物の分別解体、再資源化の義務づけに伴い、建設廃材の性状が変化することも予想される。それに対応できる再生資源化技術が準備されねばならない。

参考文献

- 1) 建設省建設経済局：平成10年度建設廃棄物中間実態調査（簡易センサス）結果記者発表資料集，1999.1.
- 2) 日本碎石協会：21世紀を迎える碎石業の経営戦略化ビジョン，1999.2.
- 3) 本多淳裕・山田優：建設副産物・廃棄物のリサイクル，省エネルギーセンター，1994.8.
- 4) 山田優：コンクリート・リサイクルについて，その技術の現状と課題，骨材資源，29（113），pp.1-8, 1997.6.
- 5) 山田優・川本裕章・長谷川俊和・本多淳裕：コンクリートがらからの骨材回収に関する研究，建設用原材料，3（1），pp.16-20, 1993.3.
- 6) 立松和彦・山崎順二・伊藤信孝・柴谷啓一：比重選別による高品質再生骨材の製造とコンクリートの性質，セメント・コンクリート，No.634，pp.8-14, 1999.12.
- 7) 立屋敷久志・浅野闘一・岡本雅道・井上敏克・古賀康男：解体コンクリートからの高品質骨材回収技術，長期材齢コンクリートへの加熱すりもみ法の適用性確認試験，建設用原材料，9（1），pp.21-25, 1999.10.
- 8) 建設省・国土開発技術研究センター：平成8年度「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」報告書，1998.3.
- 9) 畑実：コンクリート廃材からの骨材の回収方法，建設用原材料，1（1），pp.36-41, 1991.3.
- 10) 伊藤正澄：骨材のリサイクル製造技術について，資源・素材学会秋季大会講演集，C資源と環境，pp.67-69, 1999.11.
- 11) 黒田宏・乾節男・徳田弘毅：アスファルト混合物再利用の一例，舗装，11（10），pp.30-35, 1976.
- 12) 関西道路研究会舗装材再利用小委員会：混入方式によるアスファルト廃材の再利用に関する調査，舗装，13（7），pp.17-21, 1978.
- 13) 日本道路協会：舗装廃材再生利用技術指針（案），1984.
- 14) 日本道路協会：路上再生路盤工法技術指針（案），1987.
- 15) 日本道路協会：路上表層再生工法技術指針（案），1988.
- 16) 日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，1992.
- 17) 久利良夫・佐野正典・柳下文夫・山田優：微粉末材料を活用したアスファルト舗装発生材の再材料化に関する研究，土木学会論文集，No.627/V-44，pp.27-36, 1999.8.

連載

環境技術移転 研修マニュアル★アジア編 — その2 —

加藤 進

1. 国内研修の留意点

1.1 事前調査：初めての国の風土・食材に身をおけ
通常初めての訪問では、「地球の歩き方」を読んでも、訪問先の途上国の概要を把握することになるがこれとて断片的な内容であり、環境分野の記事の記載はきわめて少ない。事前調査の期間はせいぜい1週間である。出国・帰国を差し引くと、活動期間は概ね4、5日である。重要なことは研修管理員が、「あれも知りたい、これも知りたい」を捨てて、知りたい事項に目標を絞ること、さらにcounterpartに自分の知りたい内容を事前に伝えて、資料を要求しておく事である。

現地を訪問すると「いかに途上国の環境情報が日

本に伝わっていないか」が痛切に感じられる。ともかく、写真を取り、通訳に説明を求めることである。書店があつたら訪問し、地図や統計年鑑等も購入すると後々便利である。

初めての国の訪問、初めてのcounterpartとの打ち合わせの場合、事前調査がスケジュールどおりに行かないのは常識である。時間や行程が打ち合わせどおりでないからという理由から、研修管理員が「怒ってはならない」。なにごとにも「アラーの神の思し召し」、「マイペンライ」の世界である。逆に言えば、自分たちのミッションが交通渋滞で遅れても、2時間程度は気にしない気にしないということでもある。

事前調査で一番重要なことは、自分のcounterpartの名刺を貰い、電話/Fax番号をチェックし、両者の連絡パイプの構築に尽きる。counterpartの場所にE-mailがあればなおよい。ちなみに、途上国の場合、通常counterpartが本庁の部長（director）以上でないとFaxを送付してもまず返事は返ってこないと肝に命ずべきである（日本国内でも我々が行う海外電話・Faxには決裁がいることと同じである）。したがって、counterpartの職階のチェックも重要で、どうしても日本からのFaxに回答が欲しいなら、counterpartに通信費として現金を渡す方法もある。（三重県保健環境研究所）