コンクリート廃材のリサイクル

山 田 優*・本 多 淳 裕**

1. ま え が き

わが国におけるコンクリート廃材の発生量は、正確な数字は不明だが、おそらく年間数千万トンを超えるであろうと予想できる。省資源だけでなく、廃棄物処分地の延命の必要性から考えて、そのリサイクル利用が強く望まれる。しかし、建設廃材のうち、道路工事で発生する掘削残土とアスファルトコンクリート廃材については、リサイクル率が順調に伸びているのに対し、なぜかコンクリート廃材については、依然、低いリサイクル率のままである。以下、コンクリート廃材リサイクル技術の現状とリサイクル促進のための今後の研究課題について述べる。

2. コンクリート廃材からの骨材の再生方法

骨材再生は、通常、次のような工程で行われている。

2.1 前 処 理

廃材である原コンクリートは、さまざまな寸法、形状をなし、さらに鉄筋、土砂、木材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50cm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。

2.2 一 次 破 碎

ジョークラッシャなどの粗砕用クラッシャで15cm程度以下に小割りし、磁選機による鉄筋の除去、目視選別による木材、布などの除去を行なった後、20～40mmのふるいで分ける。

2.3 二 次 破 碎

一次破碎後のふるい残留分をインパクトクラッシャ、コーンクラッシャなどの中砕用クラッシャで20～40mm

程度以下に破碎する。ジョークラッシャなどの圧縮力による破碎だけでは偏平な粒子が生じやすく、また粒度分布もよくないことが多いが、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なうと、粒形や粒度分布が改善される。これまでのコンクリート廃材リサイクルでは、この二次破碎後のものを再生骨材として利用するケースがほとんどである。

2.4 セメント除去処理

二次破碎後の再生骨材から、さらに含有するセメント水和物を除去して骨材としての品質を改良する。このための処理機としては、粗骨材に対しては摩擦力、細骨材に対しては衝撃力と摩擦力を与える機種が選定されるが、従来のものの改造あるいは新しい機械の開発が必要なようである。

3. 再生骨材並びにそれを用いたコンクリートの性質

3.1 セメント除去をしていない再生骨材の性質

(1)粒度

二次破碎後の、全試料及び粗骨材並びに細骨材粒径範囲分の粒度分布の試験例³⁾を図-1に示す。原コンクリートの性質、破碎方法によって変化すると思われるが、破碎されただけの再生骨材の粒度分布曲線は、ふるい寸法が大きくなるに従って急勾配となる傾向がある。すなわち、粗粒分の多い粒度分布といえる。

粗骨材粒径分についてはJISのコンクリート用砕石の規格に近い粒度分布が期待できるが、細骨材粒径分については2.5～5mm付近の粒径が多くなりJISのコンクリート用破砕規格からはずれ、それより粗めになる。

(2)セメント水和物の含有の状態

破碎後の再生骨材は粗骨材、細骨材とも、

(a)セメント水和物の付着がほとんどない粒子、

(b)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、

* 大阪市立大学工学部土木工学科 助教授
Masaru YAMADA

** " " " 教授
Atsuhiko HONDA

図-1 二次破碎後の再生骨材の粒度試験例

(c)セメントモルタルの塊の状態の粒子,
からなる。

セメント水和物が占める重量割合(セメント付着率)は,粗骨材で10~20%程度,細骨材で20~30%程度で,径の小さい粒子ほど高い。

(3)比重及び吸水率

絶乾比重はコンクリート又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かなり高く,コンクリート用碎石及び砕砂のJIS規格(絶乾比重2.5以上,吸水率3%以下)からはずれる。

(4)すりへり減量

粗骨材粒径分のロサンゼルス試験によるすりへり減量は,25~35%程度で,コンクリート用碎石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。

3.2 セメント除去処理の効果

前節で述べたように,破碎のみによって再生した骨材は,通常,コンクリートで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,骨材にセメントの水和物が含有しているためである。したがって,セメント分の除去

とともに,それらの再生骨材の性質は改善される。また,セメント除去処理過程で骨材の角ばりがなくなり,粒形も改善され,実績率が高くなる。

図-2は,ロサンゼルス試験機を用いた実験例¹³⁾で,セメントが付着した5mmふるい残留再生粗骨材を鋼球とともに回転させたときの,すりへり率の増加とセメント付着率の低下を示す。なお,この実験では強度の異なる3種の原因コンクリートから再生した骨材を用いたが,結果に有意な差がなかったため,図にはそれらの平均を示している。

このように,再生骨材をすりへらせることにより,セメント付着率を低下させることができる。しかし,すりへりはセメント水和物部分だけでなく,原コンクリートの骨材の部分でも生じ,骨材の回収率は低下する。原コンクリートの骨材ををできるだけすりへらすことなくセメントを除去することが当然望まれる。

図-3は,既存の機械を用いた種々の方法で,セメント分が32%付着した5~25mm粒径のコンクリート破砕物のセメント除去を行なったときの,粗骨材回収率(5mmふるい残留分%)とセメント除去率との関係を示す。処理方法により,同じセメント除去率でも骨材回収率が多少異なることが分かる。

図-4は,図-2の実験後の再生粗骨材の比重及び吸水率とセメント付着率との関係を示す。比重及び吸水率が,セメント付着率の低下とともに原コンクリートの値から原コンクリートの粗骨材の値に移行していくことがわかる。

図-2 ロサンゼルス試験機によるセメント除去処理実験結果

図-3 粗骨材回収率とセメント除去率との関係

(a) 絶対比重

(b) 吸水率

図-4 再生粗骨材の比重及び吸水率とセメント付着率との関係

3. 3 再生骨材を用いたコンクリートの性質

セメント水和物が付着した再生骨材を用いたコンクリートは、従来の新しい骨材を用いたコンクリートに比べて、次のような性質の違いがあるが、セメント除去処理により骨材の吸水率、粒形が改善され、これらの違いは小さくなる。

- 1) コンクリートの作製に際し、従来のコンクリートと同じワーカビリティ（打ち込みなどの作業のしやすさ）を得るために必要な水量は、10%程度多くなる。
- 2) そのため、硬化時の乾燥収縮は大きい。

3) 硬化後の強度、弾性率は低い。

4) また、凍結融解による耐久性も低い。

4. コンクリート廃材リサイクルの技術的研究課題

コンクリート廃材をただ破碎しただけの再生骨材の構造成コンクリートへの利用については、昭和49年から3年間にわたって（財）建築業協会建設廃棄物処理再利用委員会において研究が行なわれ²⁾、その成果として、昭和52年に「再生骨材及び再生コンクリートの使用規準（案）」³⁾が制定された。しかし、現在までこの規準にもとづく再生骨材のコンクリートへの利用はほとんど行なわれていない。路体盛土又は路盤材としての利用にとどまっている。路盤材としても、この再生骨材のみで粒度調整碎石の粒度分布を得ることがむつかしく、高い評価は得られていない。

このようなことから、再生骨材の品質を改善するため、セメント水和物除去の必要性が言われるようになった。京阪コンクリート工業(株)^{6), 9)}では高品質再生骨材プラントの開発研究が行なわれ、昭和56年度からは、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」⁴⁾の土木構造物分科会でも検討が始まり、昭和61年には「再生骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針（案）」⁷⁾が作成されている。そこでは、セメント水和物除去処理の種々の段階の再生骨材をその品質に応じて利用できるように、骨材の品質を粗骨材3種、細骨材2種に分け、それらの組み合わせにより、コンクリートも3種類に分けられている（表1、表2参照）。

この指針（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、コンクリート廃材リサイクルの普及に向けての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。この点が、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ている「舗装廃材再生利用技術指針

表1 指針（案）⁷⁾における再生骨材の種別

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
安定性	12以下	30以下 12以下 (40以下)注	—	10以下	—

注) 凍結融解耐久性を考慮しない場合。

表2 指針(案)⁷⁾における再生コンクリートの種類

再生コンクリート種類	再生コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} (kg/cm ²)	使 用 材	使 用 材
I	210以上 (鉄筋コンクリート)	再生骨材1種	普通骨材
II	160以上 (無筋コンクリート)	再生骨材2種	普通あるいは再生骨材1種
III	160以下 (捨コンクリート)	再生骨材3種	再生骨材2種

(案)¹⁵⁾との重要な違いである。すなわち、そこで対象としているアスファルトコンクリート廃材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、コンクリート廃材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のではないかと考えられる。

コンクリート廃材から新しい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主な原因は、

- 1) セメント除去処理に費用がかかり過ぎて、コマーシャルベースに乗らない、
 - 2) セメント除去処理に伴って大量の微粉が二次廃材として排出される、
- ことであろう。これらの問題の解決がリサイクルを促進するための最重要課題である。

これまでの経験からみて、再生粗骨材からセメント分を除去することは比較的容易だが、再生細骨材からの除去がむづかしいようである。なお、回収効率を高めるためにも、また微粉発生量を少なくするためにも、原コンクリートの骨材部分をできるだけすりへらさずにセメントを除去することが必要である。

コンクリート微粉の利用法としては、土質安定あるいは土壌改良材、廃水処理用フィルター材、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ー材、下水汚泥の安定処理材など、大体が石灰の代用としての利用が考えられてきた。しかし、コンクリート微粉に含まれる石灰分の割合はさほど多くなく、そうした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¹⁴⁾が実行しやすい方法と考えられる。この利用法のためにも、セメント除去処理の際、できるだけ骨材部分のすりへりによる石の粉の混入が少ないことが望ましいであろう。

そのほか、可能性のある微粉問題の解決法として、アスファルト混合物への利用がある¹⁴⁾。微粉と言っても、通常用いられているフィラーよりも平均粒径が大きいため、微粉のみをフィラーとして使うのではなく、細骨材粒径分、場合によっては粗骨材粒径分も加えて、アスファルト混合物の骨材の一部にすることが考えられる。アスファルト安定処理用骨材としての利用はすぐにでも実行できそうである¹²⁾。

筆者らは現在、セメント付着率の低い粗骨材並びに細骨材の経済的な回収システムの開発、その際の微粉末の有効利用法に関して研究を進めている。それらの成果は別途報告する。

5. あ と が き

コンクリート廃材のリサイクルについては、外国でもその重要性が認識され、種々の研究、試みがなされている^{17), 18)}が、現在のところ、骨材からセメント分を除去する徹底した再生までは考えられていない。しかし、リサイクル率を大幅に高めるためにそれが必要であろうというのが筆者らの予想である。

現時点での完全な再生はいかにも不経済なようだが、廃材の処理、処分料金の高騰が状況に変化を与えることになる。時代に即応できるリサイクル技術の開発が急がれよう。

(第39回廃棄物処理対策全国協議会全国大会シンポジウムより)

参 考 文 献

- 1) Hansen, Torben C. : Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, second state-of-the-art report, developments 1945-1985, Materials and Structures, Vol. 19, No. 111, pp. 201~246, 1986.
- 2) 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, pp. 18~31, 1978.
- 3) 建築業協会建設廃棄物処理再利用委員会：再生骨材及び再生コンクリートの使用規程(案)、コンクリート工学, Vol. 16, No. 7, pp. 42~46, 1978.
- 4) 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.
- 5) 小林茂敏：コンクリート廃材の現状と利用技術, 土木施工, Vol. 27, No. 15, pp. 99~102, 1986.
- 6) 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, pp. 103~109, 1986.
- 7) 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, pp. 110~113, 1986.
- 8) 今村二光：再生骨材を用いたコンクリートの試験施工, 土木施工, Vol. 27, No. 15, pp. 114~117, 1986.
- 9) 田野口耕一, 畑 実, 荒川均, 西堀忠信：コンクリート

- 廃材から再生されたコンクリート用骨材の性質について、コンクリート工学年次講演会講演論文集、Vol. 4, pp. 101~104, 1982.
- 10) 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, コンクリート工学年次講演会講演論文集, Vol. 6, pp. 81~84, 1984.
- 11) 吉兼亨, 竹島宏祐, 中島佳郎: コンクリート廃棄物を用いた再生セメント及び再生コンクリート, コンクリート工学年次講演会講演論文集, Vol. 8, pp. 861~864, 1986.
- 12) 福島信夫: アスファルトコンクリート・セメントコンクリート複層舗装廃材を再生利用した試験舗装, 土木学会年次講演概要集, Vol. 43, V-7, pp. 62~63, 1988.
- 13) 本多淳裕, 山田優, 真嶋光保, 長谷川俊和: コンクリート廃材の再生利用に関する一研究, 土木学会関西支部年次講演概要集, V-16, 1986.
- 14) 本多淳裕, 山田優, 川本裕章, 佐野正典: 廃コンクリートのアスファルト混合物用骨材への利用に関する一研究, 土木学会関西支部年次講演概要集, V-24, 1988.
- 15) 日本道路協会: 舗装廃材再生利用技術指針(案), 1984.
- 16) Kasai, Y.: Reuse of Demolition Waste, Proceedings of the Second International RILEM Symposium-Vol. 2, Chapman and Hall, 1988.

海外環境情報

イタリアのスケープゴート: プラスチック袋

Italy's scapegoat: Plastic bags

H22121567

イタリア国会は、プラスチックの袋や容器に高率の税金をかける法律を審議している。その条項は、環境相による工業廃棄物に関する法令の修正条項として出てきたものである。当初のプラスチック袋と容器の全面使用禁止の提案は撤回され、かわりに税金がかかることになった。

メーカーは、プラスチック袋1個に7.5セント(100リラ)の製造税を払わねばならない。輸入の袋にも相当する税金がかけられる。更に液体用プラスチック容器の製造用原材料のメーカーと輸入業者は、リサイク

ル用に10%の分担金が課せられる。この法令は、1991年の発効で、非生分解性プラスチックの袋と容器の製造販売の禁止条項は否決された。

業界団体Unionplastの会長はこの法令に反対し、この法令は正当な理由なしに市民の大部分に影響を与えるもので違憲だ、として憲法裁判所に提訴するとしている。この法令がもし施行されると、大会社270社、中小の300社に影響が及ぶとみられる。その関連の売上げ高は約3億ドル/Yである。Unionplastによれば、イタリアは年間90億個のプラスチック袋を生産し、60億個を消費し、30億個を輸出している。原料ポリエチレンの使用量は13万t/Yである。

RARKINSON G

B258A Chem Week 143 [19] 21 (Nov. 9, '88)

EPA, 殺虫剤による発癌リスクに新政策

EPA sets new policy on pesticide cancer risks

H22121642

米環境保護庁(EPA)は、発癌性があると考えられる殺虫剤の規制方法を変更し、従来禁止されてきた低発癌性殺虫剤の使用を許可する方針であると発表した。しかし癌の原因となるいかなる殺虫剤も加工食品への添加は禁止した。このことは、食品・医薬品法にて不人気なDelaney条項の柔軟な解釈を意味する。J. A. Moore副行政官は、より有害な物質に替えて危険率の低い殺虫剤を許可しようとするものであり、“一般常識的な”政策であると述べている。

EPAによれば、加工食品中に約40種類の発癌物質の残留が認められており、これらの大部分は1978年以

前に許可されたものである。'78年に新しい検査方法が採用されて以来Delaney条項の適用によって新殺虫剤は許可されていない。

今回発表された方針では、加工食品、生鮮食品のいずれも同一の基準で検定を行い、生涯の癌発生率が 10^{-6} 以下となる殺虫剤については使用を許可し、既に使用されている殺虫剤については、ケースバイケースで新方針を適用しようとしている。Mooreは、“ 10^{-6} の基準は無視してよい程度と認められている”と言っている。全米科学アカデミーの試算では、新方針の実施により生涯にわたる癌発生率は現在の0.25から0.250001になる。今後、法律上の問題や殺虫剤の回収などが論議されよう。

NORMAN C

E078A Science 242 [4877] 366 (Oct. 21, '88)

(日本科学技術情報センター許可第文0124号)