

4. コンクリートのリサイクル

(1) コンクリートとは、どんなものか

1) 製造方法

コンクリートは、天然の砂利または岩石から製造される碎石を**粗骨材**、天然の砂または砕砂などの人工砂を**細骨材**とし、それら骨材を**ポルトランドセメント**またはそれを主体とする混合セメントの水和物で接着して固めたものである。

使用目的により異なるが、平均すると、コンクリート1m³を製造するために粗骨材を約1000kg、細骨材を約800kg、セメントを約300kg、そして練り混ぜのための水を150kg程度使用する。製造されるコンクリートの大部分は**レディーミクストコンクリート**、通称、**生コン**と呼ばれるもので、プラントで製造した後、ミキサ車で建設現場へ運んで打設する。

2) 性質

コンクリート中でセメントが水と反応してC-S-Hの記号で総称されるケイ酸カルシウム水和物などの不溶性化合物と水酸化カルシウムが生成し、それらが固相間を連結してコンクリートは凝結・硬化する。硬化後のコンクリートは、その体積の70~80%を骨材が占め、残りはセメント硬化体組織で充填される。しかし、その組織中には種々の形状をした**多数の孔隙が残る**。孔隙の体積はコンクリート全体積の10~20%に及ぶとみられる。そうした**孔隙が、水分の出入りなど、物質移動の通路になり、さらに強度的弱点にもなる**。細かな孔隙はNaイオンやKイオンを含むpH12~13のアルカリ性溶液（細孔溶液）で満たされている。セメントの水和反応は10年以上もの長期にわたって進行する。その間、コンクリート中のセメント粒子には、水和した部分と未水和の部分が共存する。

以上から推察されるように、コンクリートは木やプラスチックに比べて重くて硬いが、天然の石に比べれば一般に軽く、強度、弾性係数も低い。わずかに水、空気を通し、通過した水は細孔溶液を洗い出すことになり、アルカリ性を呈する。ただし、コンクリートの表面付近は、空気中の炭酸ガスと反応して炭酸化し、したいに中性化する。

コンクリートの密度は、通常2.3~2.4t/m³である。ただし、建築では2.0t/m³以下の軽量骨材コンクリートが用いられることもある。圧縮強度は、使用するセメントと水の比を大きくするほど高くなり、良質骨材を用いて100MPa程度に高くすることもできるが、レディーミクストコンクリートでは通常、18~40MPa（材令28日）の範囲で購入者の指定に応じた圧縮強度を保証している。引張強度は、圧縮強度に比べて低く、1/10程度となる。したがって、引張力が作用する部材では、それに抵抗できるように**鉄筋などの鋼材を用いて補強**する。これが**鉄筋コンクリート**である。なお、コンクリートの弾性係数は、20~35NPaである。

(2) コンクリート塊の性状

コンクリート塊は、コンクリートを用いた建築物や擁壁などの構造物・部材を解体・取り壊したときに発生し、有価で売却されない限り廃棄物処理法で定める産業廃棄物で、**がれき類**に分類される。したがって、その収集、運搬および処分については、廃棄物処理法施行令で定める産業廃棄物の収集、運搬および処分に関する基準に従って自ら行うか、それを行うことを許可された業者に委託しなければならない。

なお、解体工事現場内で破碎処理し、有価で売却できる再生碎石と同等のものにして現場内で土地造成等に利用するのは違法でなく、破碎物は産業廃棄物にならない。ただし、有価物と認められる品質になっていることが条件である。

解体工事現場から排出されるコンクリート塊の大きさは、ダンプトラックに積み込んで運び出せる範囲ということで、最大径50~100cm程度である。したがって、鉄筋コンクリートの場合には、主筋となっていた太い鉄筋は解体時に分離されるが、帯筋など補助鉄筋として使われていた細いものは一部、コンクリート塊中に入ったままとなる。

最終処分場へ運んで処分する場合には、最大径 30 cm 程度以下といった受入基準を設けている処分場が多く、解体工事現場内で基準に合うまで破碎するか、いったん中間処理施設に運んで破碎する必要がある。ただし、最近、不純物の混入の少ないコンクリート塊が最終処分場へ搬入されることは稀である。

コンクリートは、大部分を化学的に安定した骨材が占める。また、構造物内で使用している間に大きく変質することもない。したがって、正常なセメントが使用されている限り、コンクリート塊が環境中で有害物を溶出するなど、環境に害を及ぼすことは少ない（最近、セメント由来の六価クロムの溶出を心配されることがある）。

しかし、解体工事現場から排出されたままの大きなコンクリート塊は、土砂のように扱うことができず、自然環境には馴染まないものであり、また発生量も多い。ゆえに、産業廃棄物に指定されたと考えられる。

また、前記したような原因で、コンクリートはアルカリ性を呈する。供用中に、表面から炭酸化が進み、中性化していくが、内部まで中性化するまでには相当な年月を要する。したがって、解体して排出された直後のコンクリート塊あるいは、しばらく放置された後のコンクリート塊であっても、それをさらに破碎したものの表面はアルカリ性を呈することが多い。破碎した後、大気にさらしておけば、アルカリ性はなくなっていく。コンクリートから溶出して地盤中に浸透したアルカリ性の水も、土中を移動中に土の緩衝作用を受けて中性化しやすい。

稀に、セメントと反応しやすい（アルカリ骨材反応性）骨材が使用されていて、供用中にコンクリート中にひび割れなどの異常が生じていることがある。そのようなコンクリートを使用した構造物の解体では、コンクリート塊がコンクリート用再生骨材の原料として利用されないよう注意が必要である。

(3) コンクリート塊の利用方法

コンクリート塊の年間排出量は、2005 年度で約 3200 万トン、2008 年度で約 3100 万トンであったが、ほとんどが再利用されている。

産業廃棄物として指定された当初は、中間処理施設で破碎処理された後、最終処分場に埋め立てられていたが、適当な粒度まで破碎すれば、道路の路盤や擁壁の裏込め、建物の基礎造りなどに碎石の代用品として使用可能なことが分かり利用されるようになった。**再生碎石、再生クラッシュラン（RC）**などと呼ばれて市販され、品質規格も定められている。コンクリート塊の再利用は、現状ほとんど、それを製造することで行われている。

しかし、コンクリート塊の利用方法としては、コンクリート製造材料としての再利用がある。たとえば、コンクリートの大部分は骨材であるので、骨材を回収して再びコンクリートに用いる。本当の意味での**コンクリートリサイクル**といえるが、これはまだ普及していない¹⁾。

コンクリートの製造材料として再利用するためにコンクリート塊から回収、再生した骨材は**コンクリート用再生骨材**と呼ばれ、その品質規格が J I S で決められている。表 4-1 に示すとおり、品質のレベルにより**再生骨材 H**、**再生骨材 M** および **再生骨材 L** を設け、2005 年から 2007 年かけて J I S 規格が制定された。今後、それらの規格を満足する再生骨材が製造され、コンクリート用骨材として使用されるようになると期待される。

表 4-1 コンクリート再生骨材の J I S 化の要点²⁾

再生骨材の種類		再生骨材 H	再生骨材 M	再生骨材 L
骨材の品質 (吸水率)	粗骨材	3.0 以下	5.0 以下	7.0 以下
	細骨材	3.5 以下	7.0 以下	13.0 以下
想定される使用用途		特に制限なし（通常の骨材と同等）	杭、基礎梁、鋼管充填コンクリート等、乾燥収縮や凍結融解の影響を受けにくい部材での使用を想定	裏込めコンクリート、均しコンクリート、捨てコンクリート等、高い強度・高い耐久性が要求されない部材および部位での使用を想定
J I S 規格制定状況		2005 年 3 月制定 JIS A 5021 「コンクリート用再生骨材 H」	2007 年 3 月制定 JIS A 5022 「再生骨材 M を用いたコンクリート」	2006 年 3 月制定 JIS A 5023 「再生骨材 L を用いたコンクリート」
JIS 規格の形態		骨材としての規格	コンクリートとしての規格	コンクリートとしての規格

コンクリート塊から骨材を回収、再生する方法については後述するが、骨材の回収によってセメント水和物分が粉状になって残る。水を使って湿式で回収する場合には、水処理後に泥の脱水ケーキが発生する。この粉または泥についても再利用が必要である。それらは、セメント由来の成分を多く含んでいるので、セメント原料あるいはコンクリート混和材料としての利用が期待される^{3)・4)}。

さらに、解体工事現場でコンクリート部材を切り出して部材やブロックとして再利用することも考えられる。以上の3通りの再利用方法の関係を図示すると、図4-1のようになる。

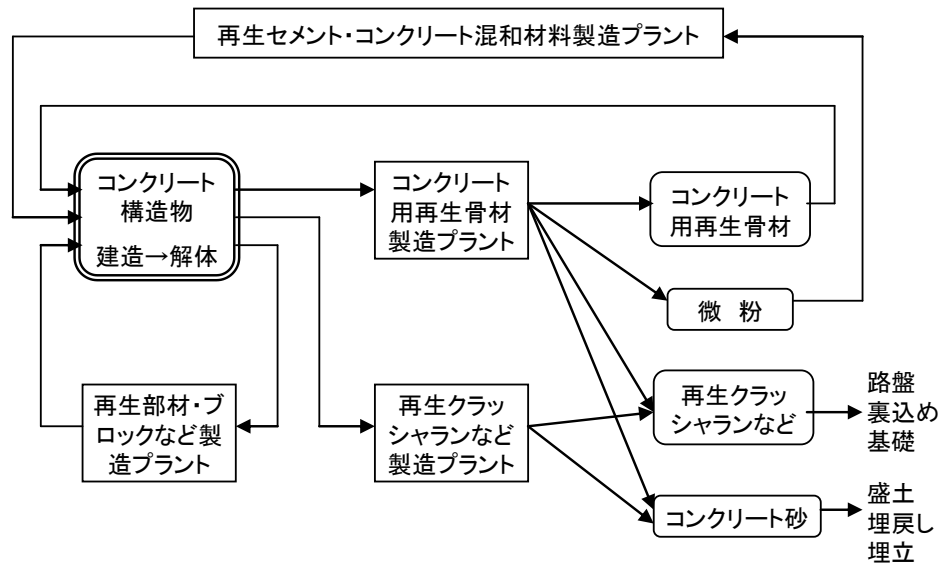


図4-1 コンクリート塊の再利用方法

(4) 再生クラッシュランなど、再生砕石の製造方法

道路工事などで用いる砕石（道路用砕石）には、アスファルト混合物用粗骨材などとして用いる単粒度砕石、路盤などに用いるクラッシュランと粒度調整砕石、さらに、ふるい分けて細骨材などとして用いるスクリーニングスと呼ばれるものがある。

コンクリート構造物の解体工事現場から排出されたコンクリート塊は、破碎処理施設に運ばれ、鉄筋等の異物の除去とともに30～40mm以下のサイズに破碎されて、クラッシュランまたは粒度調整砕石の代用品として利用されている。それぞれ、再生クラッシュラン、再生粒度調整砕石、総称して再生砕石と呼ばれる。クラッシュランは、ある大きさ以下に割ったままの粒度状態のものであり、粒度調整砕石とは、それをさらに路盤として使いやすい粒度（粒径分布）になるよう混合、調整したものである。

アスファルト舗装の解体で発生するアスファルト塊と一緒に破碎されることもある。その場合、当然ながらアスファルトが混入した再生砕石となる。

コンクリート塊の破碎には、図4-2に示すような破碎機が用いられる⁵⁾。ジョークラッシュャがコンクリート塊の破碎処理施設で最もよく使用される破碎機である。破碎処理施設では、径50cm程度の大きなコンクリート塊を一度に30～40mm以下の大きさにまで破碎するのではなく、まず15cm程度以下に破碎（一次破碎という）して、ふるい分け、目標の大きさ以上のものをさらに破碎（二次破碎、三次破碎）し、目標の大きさ、粒度にする。一次破碎には、ジョークラッシュャが使われることが多い。二次破碎、三次破碎には、ジョークラッシュャのほか、コーンクラッシュャやインパクトクラッシュャなど、各種の破碎機が使用されている。

鉄筋の除去は、電磁石を用いた磁選機で行われるが、木くず、プラスチックなどの他の異物除去は人力による目視選別に頼ることが多い。

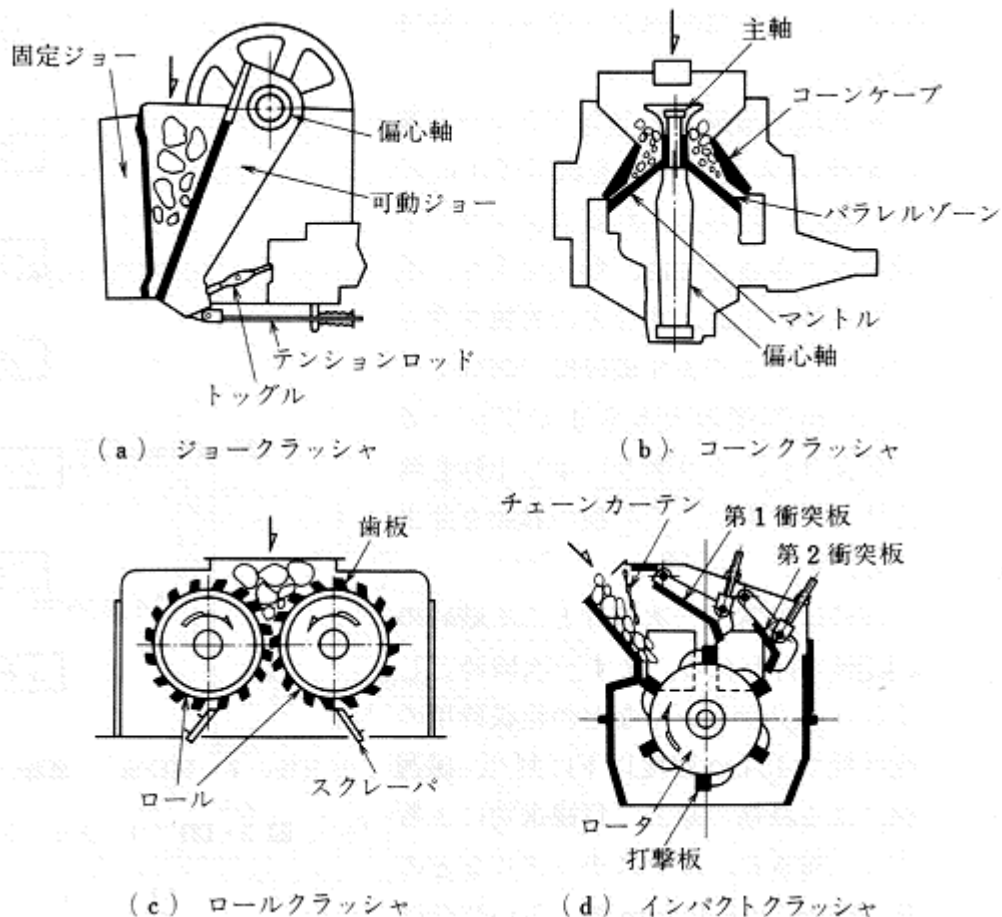


図4-2 コンクリート塊の破碎に使用される破碎機の主要機種断面例

(5) コンクリート用再生骨材の製造方法

前節で述べた、コンクリート塊を破碎処理ただけで製造する再生砕石は、原コンクリートの骨材以外にセメント水和物を含んでいるので、原骨材よりも吸水率が高く、密度も低い。

吸水率の高い骨材をコンクリートの製造に用いると、セメントと反応する水として、骨材の表面水だけでなく、骨材に含まれる多くの水が加わることになるので、コンクリートの硬化後の強度が低く、弾性係数が小さく、硬化時の乾燥収縮量も大きい⁶⁾。また、硬化後のコンクリート中に孔隙が多く残ることになるので、中性化が速く、凍結融解抵抗性能が低く、耐久性能の低いコンクリートとなる。強度が高く、耐久性能の高いコンクリートの製造のためには、吸水率の低い骨材を用いねばならない。

コンクリート塊を破碎しただけの再生砕石は、セメント水和物が多いために吸水率が高くなるのであるから、吸水率の低いコンクリート用として品質の高い再生骨材にするには、セメント水和物分を少なくする必要がある。

前出表4-1の再生骨材Lは、破碎処理だけで製造できるものであり、再生骨材Hは、破碎処理だけでなくセメント水和物分を十分に分離除去して、その悪影響がほとんどないようにまで高度処理したものである。

セメント水和物分を分離除去するために、次に示す方法が開発されている⁷⁾。

① 機械的すりもみ (摩砕)

セメント水和物分の多い部分は原骨材部分よりも若干弱い。コンクリート塊を原骨材の最大粒径程度にまで破碎した後、圧縮力を原骨材が破碎しない範囲に抑えながら、粒子どうしをもみ合わせるようにして摩擦力を与え、セメント水和物分の多い弱い粒子をすりつぶすとともに、原骨材に付着したセメント水和物分を削り取る。この方法により、再生粗骨材Hの製造が可能である^{8), 9)}。図4-3～図4-5に、使用されている装置の例を示す。

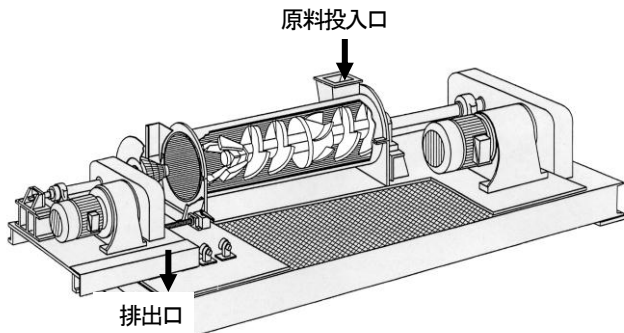


図4-3 スクリュー型摩砕装置

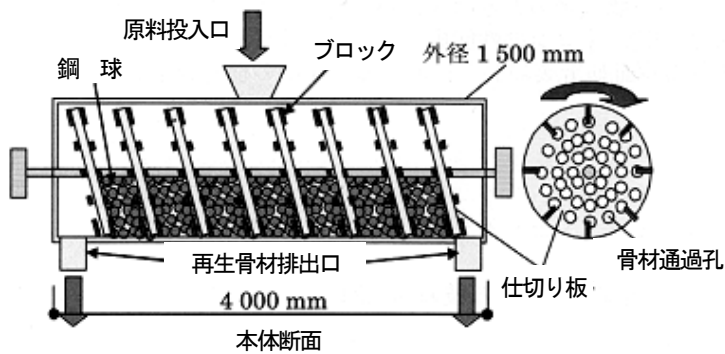


図4-5 旋回板型摩砕装置

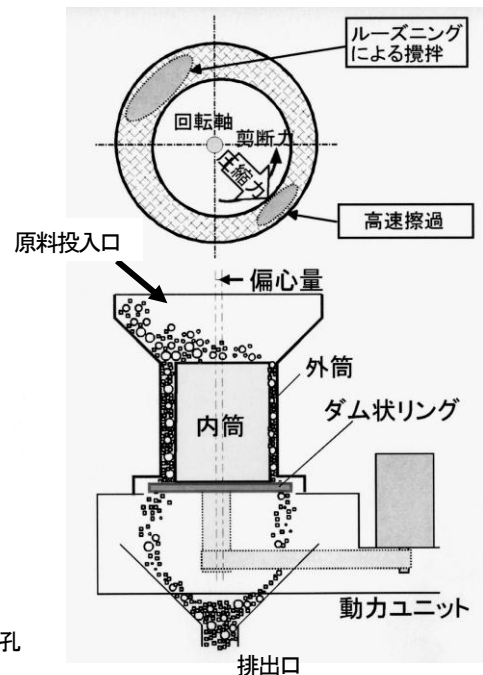


図4-4 偏心ロータ型摩砕装置

② 加熱前処理後、機械的すりもみ（摩砕）

コンクリート塊を 300℃以下で加熱してセメント水和物部分を脱水、脆弱化処理した後に機械的すりもみ（摩砕）処理を行う。この前処理により、セメント水和物部分を選択的に分離除去しやすくなる。この方法で、再生粗骨材だけでなく、再生細骨材についても、Hレベルのものが製造可能となる¹⁰⁾。ただし、加熱のためのエネルギーが必要である。

③ 水を用いた洗浄、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砕物はセメント水和物分を含むが、その含有割合は粒子によりかなり差がある。セメント水和物分の多い粒子は少ない粒子に比べて若干軽い。すなわち、比重が小さい。この差を利用してセメント水和物分の多い粒子を分離除去する。たとえば、図4-6に示す装置で、上下に振動する水に破砕または摩砕処理後の再生骨材を投入すると、セメント水和物分の多い軽い粒子は上方に浮くので、それらを分離除去することができる。再生骨材に混入しやすい泥や木くず、紙くず、プラスチックくずなども同時に取り除くことができ、セメント水和物分が少ないだけでなく、不純物の少ない清浄な再生骨材を得られる¹¹⁾。もちろん、水処理設備が必要となる。

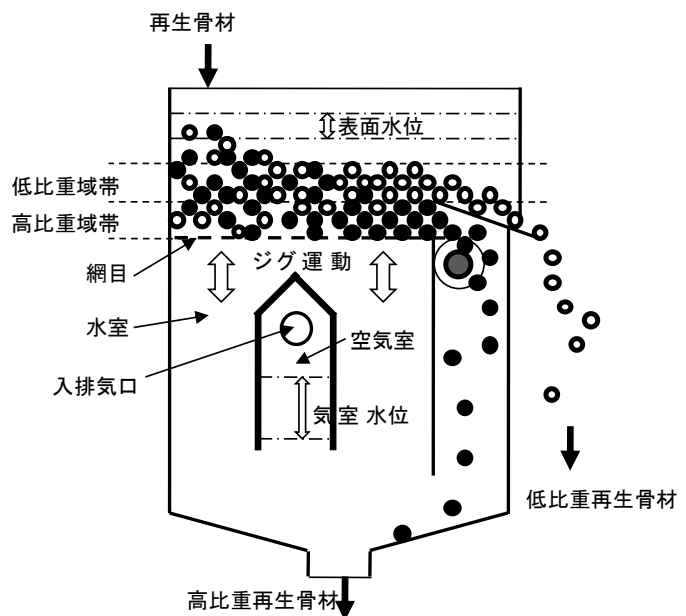


図4-6 比重選別装置の一例（ジグ選別機概念図）

参考文献

- 1) 山田優：コンクリート・リサイクル，コンクリート工学，Vol. 32, No. 1, pp. 119-122, 1994.
- 2) 建設副産物リサイクル広報推進会議：よくわかる建設リサイクル，先端建設技術センター，p. 20, 2009.
- 3) 吉兼亨：セメントコンクリート廃材の再資源化，骨材資源，Vol. 19, No. 72, pp. 184-191, 1987.
- 4) 砕石粉使用コンクリート (CSFC) 研究会：砕石粉使用高流動コンクリートの技術の現状および調合・施工ガイドライン (案)，1997.
- 5) 本多淳裕・山田優：建設副産物・廃棄物のリサイクル，6.5 コンクリートがらの破砕機，省エネルギーセンター，pp. 249-253, 1994.
- 6) 麓隆行・山田優：再生細骨材の使用がコンクリートの性状に及ぼす影響とその原因について，土木学会論文集，No. 767/V-64, pp. 61-73, 2004.
- 7) 立屋敷久志：JIS A 5201 (再生骨材H) の製造技術，コンクリート工学，Vol. 46, N. 5, pp. 62-66, 2008.
- 8) 丸嶋紀夫・木村芳幹・馬野鐵雄・佐野匡史：再生粗骨材コンクリートの施工について - (仮称) 大阪市立大学総合教育棟建設工事への適用 -，コンクリート工学，Vol. 43, No. 3, pp. 46-51, 2005.
- 9) 米澤敏明・神山行男・柳橋邦生・小島正朗・荒川和明・山田優：高品質再生粗骨材製造技術の研究，材料，Vol. 50, No. 8, pp. 835-842, 2001.
- 10) 立屋敷久志ほか：加熱すりもみ方式で製造した構造用再生骨材，セメント・コンクリート，No. 643, pp. 34-39, 2000.
- 11) 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.