

◆ 特集：循環型社会における建設リサイクルの取り組み ◆

## コンクリート解体材のリサイクルの現状と課題

片平 博\* 河野広隆\*\*

### 1. はじめに

コンクリートは強度、耐久性に優れ、いかなる形状にも築造が可能である。しかも安価であることから、近代建設事業に不可欠な材料であり、我国では年間約3億4千万トンという膨大な量が施工されている。

一方、年間約3千万トンが解体され、その大半が舗装の路盤材として再利用されている。循環型社会の実現にはコンクリート用骨材としての再利用も望まれるが、その実現には多くの課題が存在し、多くの研究もなされている。ここでは、これらの現状について報告するとともに、土木研究所で現在行っている再生骨材の品質と凍結融解耐久性との関連性についての研究も紹介する。

### 2. コンクリート解体材のリサイクルの実態と経緯

#### 2.1 路盤材への有効利用の促進

コンクリート解体材はその発生量が膨大であり、廃棄物処分場の逼迫と相まって不法投棄が増加し、深刻な社会問題となった。このため、コンクリート副産物の再利用に関する研究は30年以上前から始まっている。最初は建築分野で検討が始まり、1977年にはコンクリート用再生骨材の規格について日本建築業協会案<sup>1)</sup>が出されている。その後も、土木研究所が直接関連した大型プロジェクトだけでも、建設省総合技術開発プロジェクトの「建設事業への廃棄物利用技術の開発」(1981-1985)<sup>2,3)</sup>と「建設副産物の発生抑制・再利用技術の開発(副産物総プロ)」(1992-1996)<sup>4)</sup>がある。その他にもいくつもの大小のプロジェクトや研究・技術開発がなされている。

建設省は1994年、副産物総プロの成果として「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」(以下、暫定基準案という)を

通達した。この暫定基準(案)の中では、コンクリート解体材を(1)コンクリート用再生骨材、(2)路盤材、(3)埋め戻し材・裏込め材、として使用する場合の基準案が示されている。

コンクリート用再生骨材については表-1に示す品質基準が示され、鉄筋コンクリート用に見える再生骨材は再生粗骨材Ⅰ種のみに限定されている。再生骨材は原骨材とそれに付着したモルタル塊で構成される。再生粗骨材Ⅰ種の基準を満足するためにはモルタル塊の大半をそぎ落として原骨材を取り出す必要があるが、それには多大なコストと手間が必要である。また、そうして取り出される粗骨材の量は原コンクリート塊の1/4~1/3程度で、残りは全て細骨材分と微粉となり、この微粉の処理が問題となる。

これに対してコンクリート解体材を路盤材に使用する場合の基準は緩く、解体材をジョークラッシャー等で破碎し、ある程度の粒度調整をするだけで容易に基準を満足できる。さらに、建設省が「路盤材には再生材を使用する」方策を打ち出したことから、路盤材への再利用が加速した。

表-1 コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案) コンクリート用再生骨材

項目	再生細骨材					
	Ⅰ種	Ⅱ種		Ⅲ種	Ⅰ種	Ⅱ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		40以下	12以下		10以下	
		(40以下) <sup>(注)</sup>				
対象コンクリート	鉄筋コンクリート	無筋コンクリート		捨てコンクリート	無筋コンクリート	捨てコンクリート

注) 凍結融解耐久性を考慮しない場合

#### 2.2 コンクリート用再生骨材としての課題

建設省の調査ではコンクリート解体材のリサイクル率は90年には48%であったが95年に64%、2000年には96%に達しており、その再利用先のほとんどが路盤材である。しかしながら、解体材

The Current Situation and Problems of Concrete Recycle.

の発生量と路盤材としての需要量とのバランスが必ずしも取れているわけでない。地域的なアンバランスも存在する。コンクリート解体材を将来にわたって安定的に再利用するためには利用用途の拡大が必要である。

特に、コンクリート解体材を再びコンクリート骨材（再生骨材）として利用しようとする考えはリサイクルの基本であり、以前から数多くの研究が行われている（詳細は3章で述べる）。また、基準類に関しても前述した日本建築業協会案や暫定基準案をはじめ、2000年には日本工業規格から「テクニカル・レポート（TR）A 0006 再生骨材コンクリート」が制定されている。このTRはなるべく手間をかけずに製造した、（路盤材より多少品質の良い）低品質の再生骨材を有効に利用しようとするものである。得られるコンクリートの品質も低水準であることから使用範囲は限定されるが、品質管理等を合理化してコストを下げ、有効利用を促進しようとするものである。さらに近年ではコンクリート用再生骨材のJIS化の動きもある。

このように研究は多く実施され、基準類は整備されつつあるが、実際のコンクリート用再生骨材としての利用は二次製品工場で僅かに認められるだけで、遅々として進んでいない。

理由は以下のようなものである。

- ①再生骨材よりも良質な天然骨材が安価で手に入る。
- ②新たな設備投資が必要（再生骨材製造設備、ストックヤード、調整ビンなど）。
- ③再生骨材の供給量や品質が安定しない。
- ④コンクリートの品質も安定しない。
- ⑤品質管理が面倒
- ⑥品質保証が困難。
- ⑦施主の立場としては品質の良い天然骨材のほうが安心。

等であり、コンクリート用再生骨材の普及には、今後、解決しなければならない課題が多い。

### 3. 再生骨材に関する研究の実態

#### 3.1 研究の分類

過去の再生骨材コンクリートに関する研究、技

術開発の目指す方向を大きく分けると、概ね表-2のようになる。これらの概要について述べる。

表-2 研究の分類

①	再生骨材および再生骨材を用いたコンクリートの基礎物性の把握
②	良質の再生骨材を製造するための技術開発
③	配合や混和剤、練混ぜ方法などにより、再生コンクリートの品質を向上させる技術開発
④	リサイクルを前提にした材料使用法や完全リサイクルを目指す技術開発
⑤	ダウンサイクリングを基本とする技術開発

#### 3.2 再生骨材コンクリートの基礎物性

表-2の内、リサイクルがどのような方向に向かおうと、①は必ず必要な研究である。扱うものの性質を知らないことには、その利用戦略も作戦もたたない。そこで、①の物性を概観する目的で多くの試験、研究結果<sup>2~15)</sup>を収集し、基礎物性を整理した<sup>16)</sup>。その概要を以下に述べる。

解体したコンクリートを破碎して骨材状にすると、再生粗骨材は元の粗骨材にモルタルが付着した状態（あるいはモルタル単独の塊）となる。再生粗骨材の品質は付着モルタル量と深い関係があり、付着モルタル量は再生骨材の吸水率の値と相関性があることから、ここでは再生骨材の品質を吸水率で整理することとした。

図-1は細骨材が一般の天然砂から再生細骨材に置き換わった場合に、同等のスランプを得るの

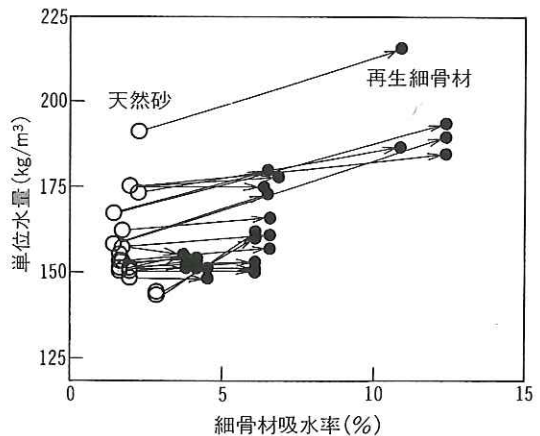


図-1 単位水量の比較

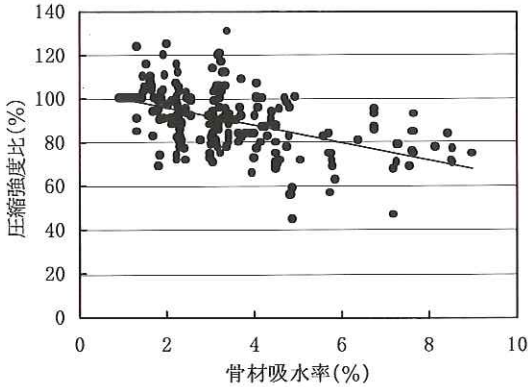


図-2 再生骨材コンクリートの圧縮強度比

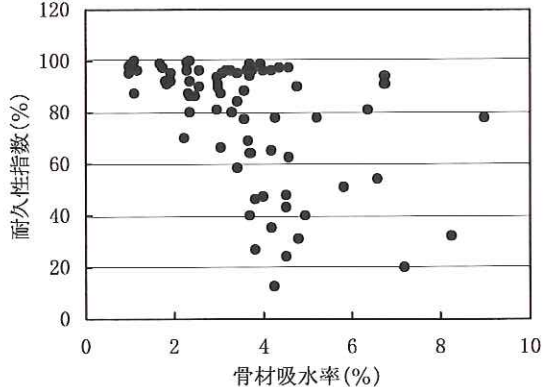


図-3 凍結融解耐久性

に必要なフレッシュコンクリートの単位水量の変化を示したものである。これより、再生細骨材を使用すると単位水量が増加する傾向が認められた。単位水量が増加すれば乾燥収縮量の増加が懸念される。単位水量が増加する原因としては、再生骨材は原コンクリートを砕いて製造するため、天然の川砂、海砂等に比較して粒子形状が角張っていることが考えられる。

一方、粗骨材を一般の碎石から再生粗骨材に置き換えても単位水量の増加は認められない。これは碎石も再生粗骨材も原材料を砕いて製造するために、粒子形状に有意な差が無いためと考えられる。

再生骨材コンクリートの圧縮強度を図-2に示す。図の横軸は骨材全体の平均吸水率、縦軸は一般の品質の良い骨材を使用した場合の強度を100としたときの圧縮強度比とした。圧縮強度比は再生骨材の吸水率が大きくなるにつれてやや低下する傾向を示した。

骨材全体の平均吸水率と凍結融解耐久性の関係を図-3に示す。この図は水セメント比が40～60%のもので、良好な骨材を使用すれば高い耐久性指数を示す配合である。しかしながら吸水率の大きな再生骨材を使用すると耐久性指数は低下する傾向を示した。一般に路盤材として使用される再生骨材の品質は吸水率で3～7%の範囲であり、この範囲では低い耐久性指数を示すデータが多く認められた。

このように、再生骨材コンクリートでは①単位水量がやや増加する、②圧縮強度がやや低下する、

③凍結融解耐久性が大きく低下する、といった傾向があり、凍結融解耐久性の確保が重要な課題といえる。

### 3.3 基礎物性以外の研究の動向

表-2中の②に関する技術開発は、付着モルタルを効率よく落とすための機械の改良が多い。擦り揉みの工程を長くする工夫や、あらかじめ熱してモルタルをとりやすくしたものなどがある<sup>17)</sup>。コストの上昇と、副産物が多くなることが課題である。

再生骨材を用いた再生コンクリートの品質を何とか向上させようとする③の研究は実に多様である。中には多量のエネルギーや高価な材料、手間のかかる工程を必要とするものもあり、実用性を度外視した研究も多い。

リサイクルの本来あるべき姿であるクローズドサーキットでの循環利用を目指した④の研究もいくつかある<sup>18)</sup>。ただし、実用化にはほど遠い現状である。

⑤のダウンサイクリングによる骨材の活用方法の研究も数多く実施されている。先に述べた路盤材への利用や再生コンクリートTRもダウンサイクリングを前提に提案されている。実用性の最も高い方法と考えられる。

## 4. 再生骨材コンクリート中の空気量が耐久性に与える影響試験(土木研究所での研究の紹介)

上記のことから土木研究所では、できるだけ手間(コスト)をかけずに製造した路盤材程度の品質の再生骨材を使用した場合のコンクリートの品質

質について調査研究を行っている。特に再生骨材コンクリートの課題の一つである凍結融解耐久性について、凍結融解耐久性に与える影響が大きいと考えられる空気量に着目した実験を行っている<sup>19)</sup>。この概要を以下に紹介する。

4.1 実験方法

再生骨材コンクリート中の空気量としては図-4に示すように①旧モルタル中の空気量と②新モルタル中の空気量がある。これらが凍結融解耐久性に与える影響について以下の実験を行った。なお、この実験では粗骨材のみに再生骨材を使用し、細骨材には良質な川砂を使用した。

(1) 実験1：再生粗骨材のもとになる原コンクリート中の空気量（すなわち図-4の旧モルタル中の空気量）を変化させた。再生粗骨材の品質を表-3に示す。すなわち、原骨材の種類を碎石と

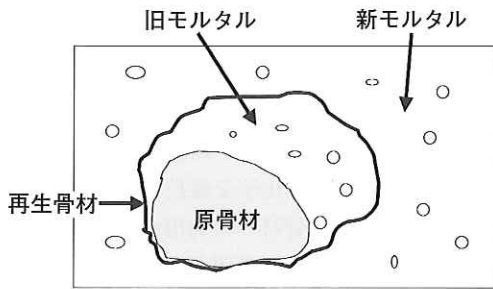


図-4 再生骨材コンクリート中の空気量

川砂利の2種類を設定し、旧モルタル中の空気量あり、無しを設定した。これらの再生粗骨材を使用して表-4に示す配合で再生骨材コンクリートを練り混ぜ、10×10×40cm角柱供試体を作製し、28日間水中養生後に凍結融解試験（JIS A 1148）を実施した。

(2) 実験2：再生骨材コンクリート練混ぜ時に混入する空気量（すなわち図-4の新モルタル中の空気量）を変化させた。再生粗骨材には表-3に示す路盤材（再生クラッシャーランRC）を使用した。コンクリートの配合条件を表-4に示す。配合2-1は良好な粗骨材を、配合2-2以降は再生粗骨材を使用したケースであり、配合2-3は配合2-2に対して空気量を増加させたケース、配合2-4は更にセメント量を2-2と同一とすることで水セメント比を下げたケースである。配合2-5は2-2に対して単位水量を下げたケースである。これらの配合でコンクリートを練り混ぜ、10×10×40cm角柱供試体を作製し、28日間水中養生後に凍結融解試験（JIS A 1148）を実施した。

4.2 実験結果

(1) 実験1

凍結融解試験から得られる相対動弾性係数の変化を図-5に示す。通常、凍結融解試験は300サイクルまで実施して耐久性を評価するが、各配合

表-3 再生骨材の品質

	原骨材の種類	旧モルタル中の空気量	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	安定性損失質量 (%)	骨材修正係数 (%)
実験 1-1	碎石	あり	2.45	4.33	39.8	0.2
1-2	碎石	無し	2.48	4.34	54.7	0.1
1-3	川砂利	あり	2.45	4.19	37.7	0.2
1-4	川砂利	無し	2.47	4.14	47.4	0.2
実験 2	再生クラッシャーラン RC	不明	2.45	4.07	16.9	0.4

表-4 再生骨材コンクリートの配合

	粗骨材種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (g/m <sup>3</sup> )	
						W	C	S	G	減水剤	AE剤
実験 1-1~4	表-3	20	55	46	4.5	160	291	844	930~941	902	0.0
実験 2-1	碎石	20	55	48	5.0	184	334	829	917	1035	5.5
2-2	RC	20	55	48	5.0	184	334	829	840	1035	5.5
2-3	RC	20	55	48	8.0	168	306	822	836	949	11.6
2-4	RC	20	50	47	8.0	167	334	796	840	1035	11.6
2-5	RC	20	55	46	5.0	159	290	836	927	902	4.1

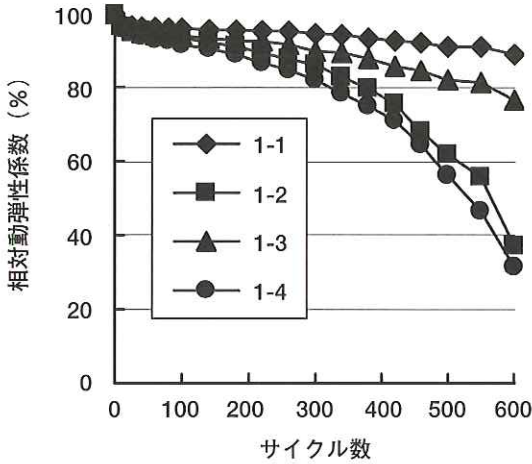


図-5 実験1の結果

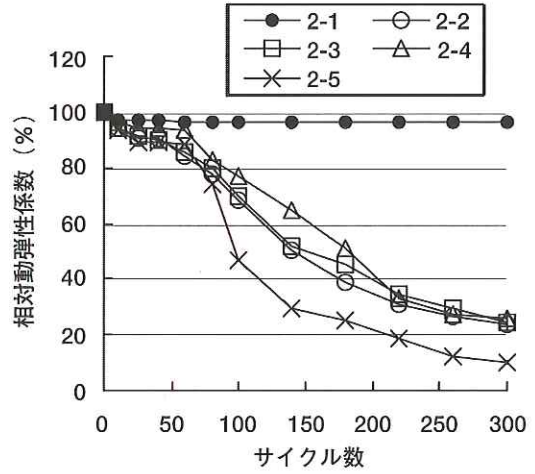


図-6 実験2の結果

とも 300 サイクル時点での動弾性係数の低下は小さかったため、試験を 600 サイクルまで継続した。この結果、原コンクリート中の空気量が少ないもののほうが相対動弾性係数の低下量が大きい結果となった。この傾向は原コンクリートの骨材が川砂利であっても砕石であっても同様であった。

(2) 実験 2

凍結融解試験から得られる相対動弾性係数の変化を図-6 に示す。再生骨材を使用した全てのケースで 300 サイクル時点の相対動弾性係数(耐久性指数)は 30% 以下となり、再生骨材コンクリート製造時に混入する空気量を増加させても、また水セメント比や単位水量を低下させても耐久性の向上は図れなかった。

(3) 実験 1 と 2 の比較

今回の実験では密度、吸水率および安定性損失質量の値がさほど変わらない再生粗骨材(表-3 参照)を用いて実験 1 と実験 2 を実施した。しかしながら凍結融解 300 サイクル時点の相対動弾性係数を比較すると実験 1 では全てが 80% 以上であるのに対して実験 2 では全てが 30% 以下であり、耐久性に大きな差が認められた。この原因としては原コンクリートの品質の違いや破碎方法・エネルギーの違いが考えられ、新たな品質評価方法の確率が必要と考えられる。

5. まとめ

- (1) 解体コンクリートの再利用率は過去 10 年間で飛躍的に向上し、西暦 2000 年には 96% に達した。
- (2) 再利用用途はほとんどが路盤材である。
- (3) 今後とも高い再利用率を維持するためには、コンクリート用再生骨材への利用が望まれるが、解決しなければならない課題が多い。特に凍結融解耐久性の確保が課題である。
- (4) 土木研究所での実験で、再生骨材コンクリート中の空気量と凍結融解耐久性との関連を調査した結果、原コンクリート中の空気量は耐久性に影響を与えること、再生骨材コンクリートの練混ぜ時に混入する空気量を増加させても耐久性は向上しないこと、が分かった。
- (5) 骨材の品質を評価するための指標である密度、吸水率、安定性損失質量などの数値が同程度の再生骨材を使用しても、得られる再生コンクリートの耐久性が大きく異なる場合があり、新たな品質評価方法が必要であることが分かった。

6. おわりに

本報文では、解体コンクリートのリサイクルに関わる現状と課題について述べ、さらに土木研究所での再生骨材コンクリートの研究概要を紹介した。

コンクリート解体材の再利用率は近年、飛躍的の向上しているが、将来にわたるリサイクルの安定化のためにはコンクリート用再生骨材としての利用技術の確立が望まれる。解決しなければならない課題は多く、今後の研究が重要である。

さらに再生骨材コンクリートの普及のためには規格・基準の制定はもとより、流通体制の整備や再生材利用に対する国民の意識改革など、各界の協力が必要不可欠と考える。

参 考 文 献

- 1) 例えば、笠井：再生骨材の使用基準、セメントコンクリート、No.415, 1981年9月
- 2) 建設事業への廃棄物利用技術の開発委員会土木構造物分科会：廃棄物の建設事業への利用可能性に関する調査報告書、(財)国土開発技術研究センター, 1983
- 3) 建設事業への廃棄物利用技術の開発委員会土木構造物分科会：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、(財)国土開発技術研究センター, 1984～1986
- 4) 土木研究所共同研究報告書 166号「コンクリート副産物の高度処理・利用技術の開発に関する共同研究報告書—コンクリート副産物の土木事業における利用ガイドブック」/1997年3月
- 5) 南波篤志、阿部道彦、棚野博之、前田弘美：再生コンクリートの品質改善に関する実験、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.65-70, 1995
- 6) 南波篤志、阿部道彦、棚野博之、前田弘美：再生コンクリートの力学特性および乾燥収縮に及ぼす再生粗骨材の品質の影響、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.1047-1052, 1996
- 7) 後藤 彰、堺 孝司：再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性と乾燥収縮、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.1105-1110, 1997
- 8) 柳場重正、川村満紀、鳥居和之、竹本邦夫：再生骨材コンクリートの乾燥収縮および耐久性について、コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.3, pp.89-92, 1981
- 9) 鳥居和之、川村満紀、竹本邦夫、柳場重正：再生骨材の舗装コンクリート用骨材としての適応性、コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.6, pp.85-88, 1984
- 10) 川瀬清孝、飛坂基夫、柳 啓：再生骨材を混合使用したコンクリートの物性に関する研究・その3・凍結融解試験結果について、昭和58年度日本大学理工学部学術講演論文集, 1983
- 11) 笠井芳夫、阿部道彦、柳 啓：再生コンクリートの諸物性に関する実験的研究、セメント技術大会講演要旨, Vol.50, pp.346-347, 1996
- 12) 西村新蔵、矢村 潔、林 昭富：再生粗骨材使用コンクリートの弾塑性の性質及び耐久性、コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.6, pp.77-80, 1984
- 13) 福田萬大、中丸 貢：再生コンクリートの舗装への利用に関する実験、コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.6, pp.89-92, 1984
- 14) 新井 暢、中村成春、棚田佳寛、阿部道彦：再生細骨材コンクリートの強度及び変形性状、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.1081-1086, 1997
- 15) 鯉江利夫、吉兼 亨、中島佳郎、木村孝之：生骨材の簡易コンクリートへの適応性、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.1099-1104, 1997
- 16) 片平 博：再生骨材の品質がコンクリートの性能に与える影響、セメント・コンクリート, No.654, pp.38-44, 2001年6月
- 17) 例えば、島他、「加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術の開発」、コンクリート工学年次論文集 第22巻 第2号 2000年6月
- 18) 例えば、田村他：完全リサイクルコンクリートに関する研究、セメントコンクリート誌 No.647, 2001年1月
- 19) 片平博、河野広隆：再生骨材コンクリート中の空気量が耐久性に与える影響、土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, Vol.V, pp.405-406, 2003年9月

片平 博\*



独立行政法人土木研究所  
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム  
主任研究員  
Hiroshi KATAHIRA

河野広隆\*\*



独立行政法人土木研究所  
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム  
主席研究員  
Hirotaka KAWANO