

再生粗骨材中のモルタルがコンクリートの性状に及ぼす影響

EFFECTS OF MORTAR BEING INVOLVED RECYCLED COARSE AGGREGATE ON FRESH CONCRETE PROPERTIES

鶴田孝司*・上原元樹*・佐々木孝彦*・立松英信**

by Kohji TSURUTA, Motoki UEHARA, Takahiko SASAKI and Hidenobu TATEMATSU

1. はじめに

構造物を解体したときに発生するコンクリート廃材を破碎・分級して、コンクリート用骨材に用いる方法が検討されている。ジョークラッシャーとインパクトクラッシャーを用いる破碎では再生粗骨材の品質は十分でないために、高度処理を行うが、処理の回数を多くすると再生粗骨材の製造コストも高くなるとともに、再利用が難しいダストや細骨材が多く回収される傾向¹⁾にある。再生粗骨材を碎石の製造費用と同程度の経済性でかつ効率的に回収するためには、高度処理は1回程度であることが望ましい。

本報告では、高度処理を1回のみ行い作製した再生粗骨材をコンクリート用骨材として使用する方法を検討するために、川砂利を使用したコンクリートから採取した再生粗骨材を用いて再生コンクリートの物理的性状について検討を行った。また、再生コンクリートの乾燥収縮特性を改善する目的で、高炉スラグやフライアッシュなどの混和材を添加して再生骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮特性やセメントの自己収縮等について実験を行い、乾燥収縮の原因等について検討した。

2. 実験概要

2.1 再生粗骨材の性状把握試験

(1) 原コンクリートの作製

再生粗骨材に含まれるモルタルの質と量を変化させる目的で、異なる水セメント比の原コンクリートを作製した。原コンクリートの配合は、スランプと空気量がそれぞれ $12.0 \pm 2\text{cm}$ 、 $4.5 \pm 1.0\%$ となるように設定した。セメントは普通ポルトランドセメントを、粗骨材には梓川水系産川砂利を使用した。水セメント比は55%と70%の2水準を設定した。原コンクリートの養生は、4週間気中とした。

(2) 再生粗骨材の作製

再生粗骨材の作製は、図1に示す手順で行った。まず、原コンクリートをブレーカを用いて小割した後、さらにジョークラッシャー¹⁾とインパクトクラッシャー¹⁾で破碎して30mm以下の粒径に調整した。さらに擦り揉み式破碎機¹⁾を1回のみ使用して磨砕した後分級して、20mm以上、20~5mm、5~0mm、ダストの各粒分を取り分けた。これらのうち、20~5mmの粒分を再生粗骨材として実験に供した。水セメント比が55%の原コンクリートを破碎して得た再生粗骨材をA1、70%の原コンクリートから得たものをA2と区分する。

(3) 再生粗骨材の性状把握試験

再生粗骨材の吸水率、絶乾密度、再生粗骨材中のモルタル量を調べた。吸水率および絶乾比重測定はJIS A 1110に基づいて実施した。再生粗骨材中のモルタル量は、塩酸で処理した時の重量減少量を、絶乾重量で除して求めた。

2.2 再生コンクリートの性状把握試験

(1) 再生コンクリートの作製

再生粗骨材中のモルタルの質と量がフレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響を調べるために所定量のモルタルを含む粗骨材を調整した。再生粗骨材粒子は、

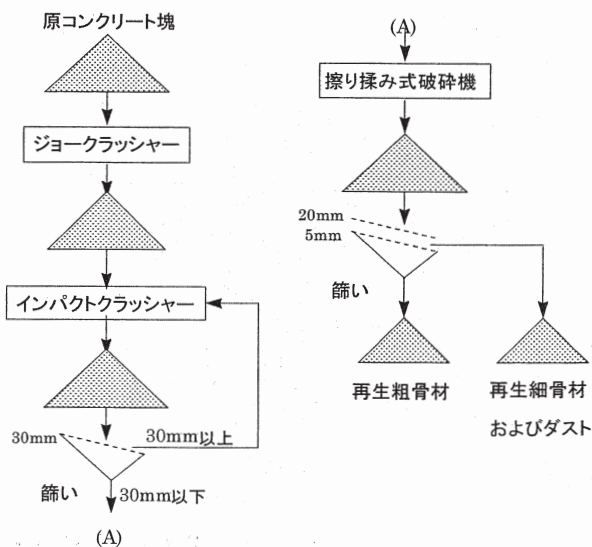


図1 再生粗骨材の作製方法

* (財) 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部

(コンクリート材料) 副主任研究員、同副主任研究員、同主任研究員 G L (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)、** (株) ジェイアール総研エンジニアリング 代表取締役

表1 再生コンクリートに使用した骨材とモルタル量の調整方法

コンクリート供試体の区分	細骨材	粗骨材			
		使用再生粗骨材	再生粗骨材中のモルタル量の調整方法		
			10%	30%	50%
C 1	梓川水系 産川砂	A 1	粗骨材塊のみを使用	粗骨材塊とモルタル塊を混合使用	粗骨材塊とモルタル塊を混合使用
C 2		A 2	粗骨材塊のみを使用	粗骨材塊とモルタル塊を混合使用	粗骨材塊とモルタル塊を混合使用

モルタルが僅かに付着している塊（以下、粗骨材塊と略記する）とほぼモルタルのみからなる塊（以下、モルタル塊と略記する）とに大別される。これらを適宜分別混合して再生粗骨材中のモルタル量を調整した。調整した粗骨材の水準は、表1に示した6水準である。併せて、比較検討用として、天然の川砂利を単独で粗骨材に用いたコンクリートも作製した。なお、A1を用いて作成したコンクリートをC1、A2を用いて作成したコンクリートをC2と略記する。再生コンクリートの記号はC1あるいはC2のあとに再生粗骨材中のモルタル量を記して表すこととした。また、比較検討用は図中には基準と記した。再生コンクリートの配合は、普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比55%、スランプと空気量はそれぞれ $12.0 \pm 2\text{cm}$ 、 $4.5 \pm 1.0\%$ を基本とした。

(2) 再生コンクリートの性状把握試験

再生コンクリートのフレッシュ性状を把握するため、スランプと空気量を調べた。スランプ測定は JIS A

1101、空気量測定は JIS A 1128、に基づいて実施した。

また、硬化した再生コンクリートの性状を把握するため、圧縮強度、静弾性係数および乾燥収縮率を調べた。圧縮強度は JIS A 1108、静弾性係数は JIS A 1149、乾燥収縮率は JIS A 1129 に基づいて実施した。

3. 再生粗骨材の性状

3.1 再生粗骨材の品質

表2に再生粗骨材中の粗骨材塊とモルタル塊の比を示す。水セメント比55%の原コンクリートの圧縮強度は70%の原コンクリートに比べ高いので、モルタル分が破碎されにくい。このため、再生粗骨材に含まれるモルタル量が多くなったと考えられる。

再生粗骨材の吸水率を表3に示した。この表には、含まれるモルタルの量を測定した結果も併せて示した。A1とA2の吸水率はそれぞれ4.2%、3.1%で、いずれも構造用コンクリートに用いる再生骨材を規定した「コンクリート副産物の再利用に関する用途別品質規

表2 再生粗骨材の各塊の含有比

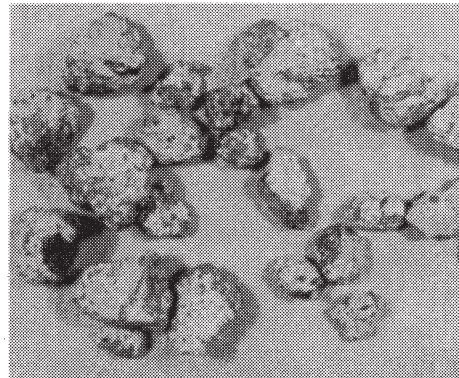
再生粗骨材	A 1	A 2
粗骨材塊(%)	80	90
モルタル塊(%)	20	10

表3 再生粗骨材の性状

再生粗骨材の種類	A 1	A 2
吸水率(%)	4.2	3.1
モルタル量(%)	29	18



川砂利



再生粗骨材

写真1 川砂利および再生粗骨材の形状

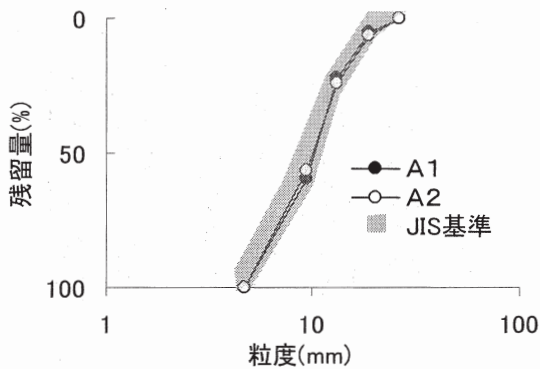


図2 再生粗骨材の粒度分布

準案」には適合しない。また、水セメント比の低い原コンクリートから作製したA1の吸水率が高い。これは含まれるモルタルが多いことによる。再生粗骨材の粒度分布は図2に示す通りJISA 5308の範囲に収まっている。

4. 再生コンクリートのフレッシュな性状

4.1 スランプ

図3に再生コンクリートのスランプを示す。C1ではモルタル量が10%のスランプは基準と比べてやや低下したが、その後モルタル量が30%、あるいは50%に増加してもほとんど変化していない。しかし、C2では、モルタル量の増加とともに低下する傾向が認められる。スランプが低下するのは、写真1に示したように丸みを帯びて滑らかな川砂利にモルタルが付着し、角張ったために流動性が悪くなったためと考えられる。

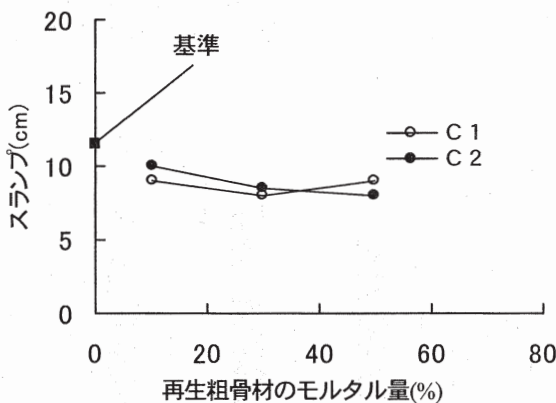


図3 再生コンクリートのスランプ

4.2 空気量

図4に再生コンクリートの空気量を示す。再生コンクリートの空気量はいずれも基準に比べて大きく、さ

らにモルタル量が増えるとともに大きくなる。再生粗骨材中のモルタルにも微細な空隙は多数存在するであろう。軽量骨材などの多孔質な骨材を用いたコンクリートの空気量は、練り混ぜ時に導入された空気量と骨材自体の空隙の和となることが知られており、この空隙は骨材修正係数で評価できる。そこで、モルタル量を調整した各再生粗骨材中の骨材修正係数を求めた。この結果は、表4に示すとおりで、骨材修正係数はモルタル量の増加とともに増加傾向にある。

このことから、再生コンクリートの空気量がモルタルの量とともに増加するのは、再生粗骨材に含まれるモルタルがもつ空隙が加算されるためと考えられる。

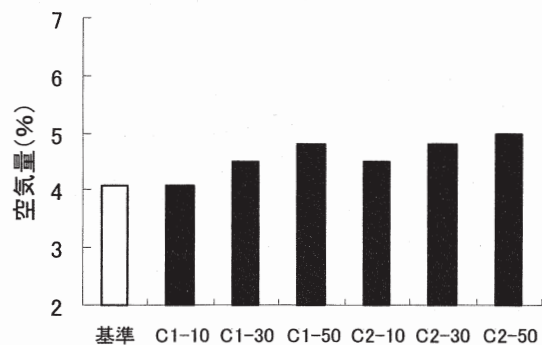


図4 再生コンクリートの空気量

表4 再生粗骨材の骨材修正係数

モルタル量	A 1	A 2
10	0.45	0.60
30	0.65	0.80
50	0.60	0.70

5. 硬化した再生コンクリートの性状

5.1 圧縮強度

図5に再生コンクリートの圧縮強度試験結果を示す。C1の圧縮強度は、基準に比較し僅かに高い傾向にある。C1の場合、再生粗骨材中のモルタルの強度は骨材周辺のモルタルとほぼ同じと考えれば、モルタル量がある程度増加しても欠陥の導入とはならないために、圧縮強度は低下しないと考えられる。これに対してC2では、モルタル量30%までは基準とほぼ同程度であるが、50%ではおよそ15%低下する。C2の場合、再生粗骨材中のモルタルの強度は骨材周辺のモルタルの強度に比べて低いため、モルタル量が増加すると、圧縮強度の低下が大きく現れると考えられる。

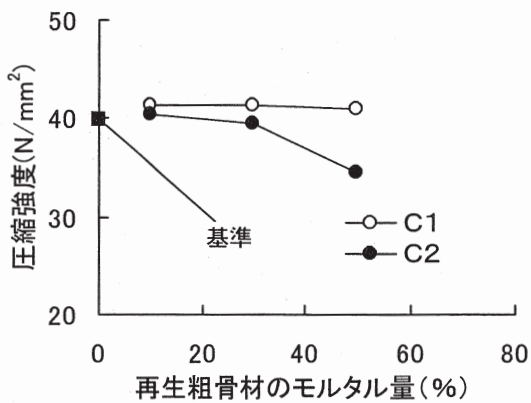


図5 再生コンクリートの圧縮強度

5. 2 静弾性係数

図6に再生コンクリートの静弾性係数を示す。C1、C2ともモルタル量の増加とともに静弾性係数は低下するが、その程度は異なる。C1では低下は僅かであるが、C2ではモルタル量50%でおよそ20%低下する。この違いは、原コンクリートの水セメント比が高いことに起因してC2の再生粗骨材中のモルタルの品質が劣るためであると考えられる。

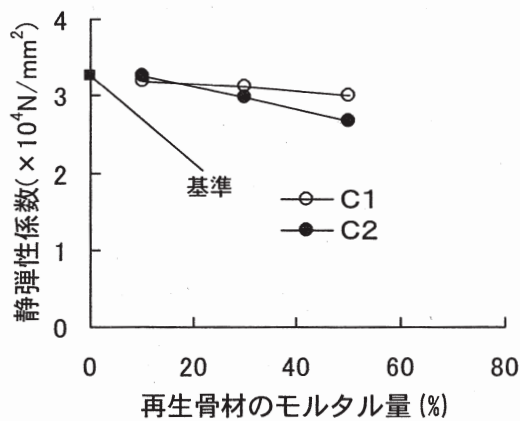


図6 再生コンクリートの静弾性係数

5. 3 乾燥収縮率

図7に再生コンクリートの材令6箇月での乾燥収縮率を示す。なお、いずれの供試体の乾燥収縮率も材令6箇月ではほぼ収束している。また、再生コンクリートの乾燥収縮率は、いずれも基準より大きく高く、さらにモルタル量とともに増加する。中本ら²⁾は再生コンクリートの方が天然の粗骨材を用いたコンクリートに比べて水分の逸散が多いことを報告している。再生粗骨材中に含まれるモルタルの空隙が水分の散逸経路になって乾燥収縮率が大きくなると考えられる。

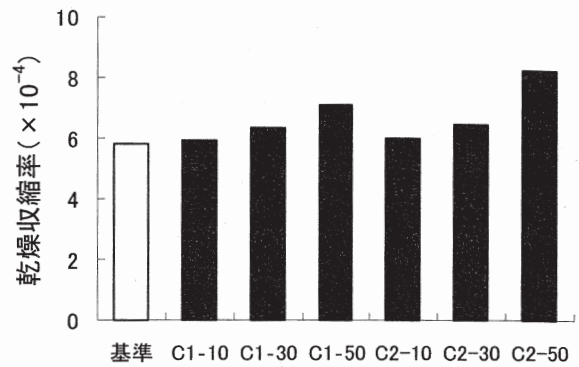


図7 再生コンクリートの乾燥収縮率

以上から、再生コンクリートの乾燥収縮率は、空気量と密接な関係にあり、再生コンクリートの空気量が高くなると乾燥収縮率も大きくなる傾向にあると推察される。

6. 再生コンクリートの乾燥収縮特性の改善

再生コンクリートの乾燥収縮率を低減させる手法として、高炉スラグやフライアッシュを添加して密実なコンクリートにする方法がある。高炉スラグセメントB種(B)とフライアッシュセメントB種(F)を用い、粗骨材には表1に示したA1-10%とA1-30%を使用してコンクリートを作製し、乾燥収縮率を調べた。

図8に再生コンクリートの乾燥収縮率を示す。なお、いずれの供試体の乾燥収縮率も材令6箇月ではほぼ収束した。

高炉スラグを添加した場合の乾燥収縮率は普通ポルトランドセメントを用いた場合に比べて高いのに対し、フライアッシュを添加した場合は低い。フライアッシュを添加した場合にのみ乾燥収縮率の改善効果が認められた。

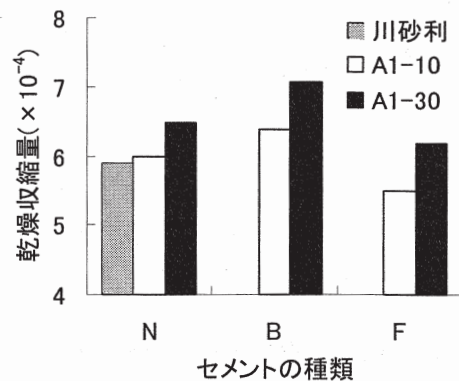


図8 再生コンクリートの乾燥収縮特性

高炉スラグセメントを使用した場合に乾燥収縮率が高くなった理由について以下に考察する。通常、再生粗骨材中に含まれるモルタルの表層は程度の差はあれ必ず中性化していると考えて良い。この点が普通骨材と大きく異なる。そこで、セメントの種類の違いが再生粗骨材とモルタルとの界面の遷移帯に及ぼす影響を調べた。図9に、モルタルと再生粗骨材の界面の微小部X線回折パターンを示す。モノカーボアルミネートが再生骨材とモルタルの境界である遷移帯に多く生成していることが認められた。モノカーボアルミネートは石灰岩骨材を用いたコンクリートの遷移帯で認められている。上原ら³⁾は、モノカーボアルミネート等のカルシウム-アルミニウム系水和物は乾燥条件での長さ変化が他の水和物に比べ大きいことを報告している。このことから、再生粗骨材表面に付着しているモルタルの中性化により生じた炭酸カルシウムがモノカーボアルミネートの生成に寄与したものと考えられる。さらには、高炉スラグセメントB種は、普通ポルトランドセメントに比べ、アルミニウム量が多い。このことにも起因して、モノカーボアルミネートの生成量はより多くなったために、他に比べ乾燥収縮率が著しく高くなったものと推察される。以上から、フライアッシュを添加した場合に乾燥収縮率の低減が認められたのは、ポゾラン反応による硬化体の緻密化やモノカーボアルミネートの生成の抑制によるものと推察される。

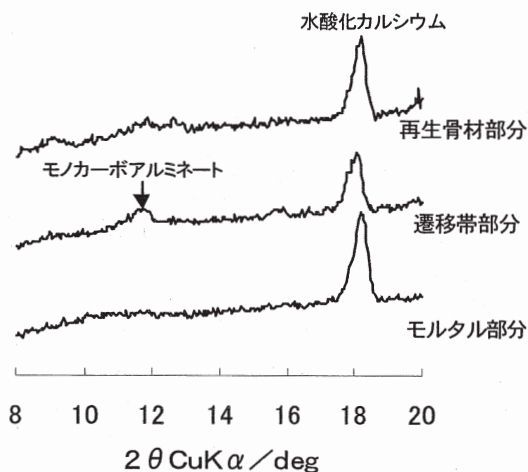


図9 再生コンクリートの微小部X線回折パターン

7. まとめ

川砂利を用いた原コンクリートを粗砕と磨砕による高度処理1回で破碎して再生粗骨材を作製し、再生コンクリートを打設して、再生粗骨材中のモルタルの質および量がコンクリートの性状に与える影響について検討した。

その結果以下のことが判った。

- (1) 今回の破碎条件で作製した再生粗骨材の粒度分布はJISのコンクリート用骨材の規格を十分に満足する。
- (2) 再生コンクリートのスランプはモルタル量の増加とともに低下するが、その量は小さい。
- (3) 再生コンクリートの圧縮強度・静弾性係数はモルタル量の増加とともに低下するが、その量は小さい。
- (4) 再生粗骨材中のモルタル量が増えることにより再生コンクリートの空気量が高くなり、乾燥収縮率が大きくなる。
- (5) フライアッシュを添加したセメントを用いて打設することにより乾燥収縮率を低減させることが可能である。

本実験から、十分な品質を有する再生粗骨材であれば、構造用コンクリートに適用可能な場合もあることが示唆され、再生粗骨材の使用基準においては、吸水率のみでなく水セメント比等モルタルの品質を勘案することで、更なる有効利用が図られると考える。

参考文献

- 1) 長岡茂徳：骨材製造機械の現状、コンクリート工学, Vol.34, No.7, pp.115-121 (1996)
- 2) 中本純次, 戸川一夫, 三岩敬孝, 吉兼亨: 再生骨材の品質がコンクリートの諸特性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1129-1134 (1998)
- 3) Motoki Uehara and Takahiko Sasaki : Hydration of Ca A-Type Zeolite and $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Chemistry Letters, pp.1040-1041, 2001

(2004年6月1日受付 2004年8月23日受理)