

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560487

研究課題名（和文） 空隙量評価に基づく再生骨材コンクリートの性能評価予測手法の構築

研究課題名（英文） Prediction of the Properties of Recycled Aggregate Concrete Based on the Estimation of Pore Volume

研究代表者

佐川 康貴（SAGAWA YASUTAKA）

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：10325508

研究成果の概要（和文）：吸水率の高い再生骨材を用いた場合、新セメントペースト部に形成される空隙量（直径 50nm～2 $\mu$ m の細孔容積）が大きくなること、また、コンクリートの配合におけるセメント総水量比 C/TW と細孔容積との間には負の相関関係が認められることを実験的に明らかにした。高吸水率再生骨材から新セメントペーストへの水分移動性状を明らかにするため、マイクロフォーカス型 X 線 CT スキャナおよびビッカース硬度計を用いて水分の影響範囲を求めた。

研究成果の概要（英文）：When the recycled aggregates with high water absorption was used, pore volume from 50nanometer to 2 micrometer formed in the new cement matrix increased. There was a good relationship between the ratio of cement content to total water in mixture and pore volume. In order to clarify the behavior of water moving from the inside of aggregates to the new cement matrix, micro-focus type X-ray CT scanner and Vicker's hardness meter were used, and the area in which water affected was examined.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：コンクリート工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：再生骨材，再生骨材コンクリート，吸水率，単位総水量，細孔容積，空隙，X 線 CT 像，ビッカース硬度

## 1. 研究開始当初の背景

近年、特に西日本地区を中心に、良質な天然骨材の減少や海砂の採取規制を背景に、天然骨材に代わる骨材に対する需要が高まっている。コンクリート塊を破碎・処理して製造される再生骨材は、天然骨材に代わる骨材の一つとして重要と考えられる。

JIS に規定される、再生骨材 H, M, L の

品質規格のうち、最も基本的となる指標は、密度と吸水率である。品質のばらつきや微粉の影響を考慮し、吸水率の範囲は、天然骨材に対する規格よりも広く設定されている。再生骨材 H は碎石・砕砂と同様の取り扱いが可能であるが、特殊な製造設備が必要である上、大量の微粉が発生するため、再生骨材 H を使用する現場・地域は限定的になると想定され

る。よって、いかに中品質・低品質な再生骨材を有効利用するかが重要であると考えられる。

また、再生骨材 M, L は網羅される品質の範囲が大きく、また、同じ密度・吸水率であっても微粒分量や粒形が異なる場合も多く、コンクリートの強度・耐久性の予測が困難になるリスクを有している。したがって、再生骨材の品質からコンクリートの性能を精度良く予測する手法の開発が求められている。

## 2. 研究の目的

申請者らは、これまでの研究において、第一段階として、『再生骨材を使用したコンクリート・モルタルの強度は、単位水量に再生骨材の吸水量を加えた「単位総水量 TW」と単位セメント量 C との比である「セメント総水量比 C/TW」と高い相関関係にある』ことを明らかにしている。

また、第二段階の研究として申請者は、再生細骨材を用いたモルタル（再生モルタル）の細孔容積を測定し、「新セメントペースト部の細孔容積は、硬化途中の弱材齢時から増大する」こと、「細孔容積と強度・耐久性との間には高い相関関係がある」こと等を実験的に明らかにした。よって、コンクリートの硬化過程において、プレウェッティングにより再生骨材に吸収された水分が、濃度勾配によってセメントペースト中に滲み出している可能性がある」と推察された。

しかしながら、再生骨材に捕捉されている水分がセメント中に滲み出す現象について、可視化できておらず、再生骨材に捕捉される水分がコンクリートの性能に及ぼす影響について未だ明らかになっていない。

そこで本研究では、今後利用量が増加すると予測される、低品質・中品質（JIS の再生骨材 L, M 相当）の領域にまたがる再生骨材を用いたコンクリートの強度・物質透過性を予測する手法を構築するため、プレウェッティングにより再生骨材に吸水された水分が空隙構造に及ぼす影響およびその範囲を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 骨材の含水率が再生骨材コンクリートの強度に及ぼす影響に関する研究

本研究では、再生骨材中の水分の挙動を把握するため、含水状態の異なる再生粗骨材を用いたコンクリートおよびそれをウェットスクリーニングしたモルタルに対して養生条件を変化させ、これらの圧縮強度の相互比較を行った。その結果より、ウェットスクリーニングした再生骨材に含まれる水分の影響について考察を行った。

使用したコンクリートの配合設定方法は、以下の通りである。

まず、普通粗骨材を使用し、水セメント比  $W/C=50\%$  でスランブ  $10\pm 1\text{cm}$ 、空気量  $4.5\pm 1.0\%$  が得られるように単位水量および細骨材率を決定した。この配合は  $TWG/C=53\%$  となる（ $TWG$ ；再生粗骨材吸水量も含めた単位総水量）ため、配合名を N-53 とした。

次に、粗骨材体積一定の条件で、N-53 の粗骨材の全てを表乾状態の再生粗骨材としたものを Rs-63 とした。混和剤使用量一定のため、Rs-63 では、スランブは 7.0cm に低下した。なお、配合 Rs-63 では  $TWG/C$  は 62.8% である。

さらに、絶乾状態の再生粗骨材を使用し、 $W/C=62.8\%$  となる配合を Rd-63 とした。すなわち、Rs-63 と Rd-63 では  $TWG$  は同じであるが、再生細骨材の吸水率に相当する水を、再生骨材に含ませて用いる (Rs) のと、単位水量として与える (Rd) のが異なる。

最後に、 $TWG/C=62.8\%$  となる普通骨材を用いた配合を N-63 とした。このコンクリートの  $W/C$  は 59.3% である。

また、各配合について、練混ぜ直後に 5mm ふるいでウェットスクリーニングしたモルタルも併せて作製した。

### (2) 再生骨材に捕捉水分移動の可視化に関する研究

これまでの研究により得られた、再生粗骨材とモルタルマトリックス間で水分移動が生じているとの推察についての妥当性を検証するため、水分移動の観察を行う方法として X 線 CT スキャナによる可視化を行った。

高吸水率骨材とセメントペーストの境界領域を模擬したモデル供試体によって、水分移動の評価を行った。高吸水率骨材のモデルとして市販のレンガブロック（吸水率約 10%）から  $\phi 25\text{mm}$  のコアをコアドリルにより採取し、これを  $\phi 50\times 100\text{mm}$  の型枠中心に設置し、周囲に水セメント比 40% のセメントペーストを流し込んだもの（写真-1）を作製した。

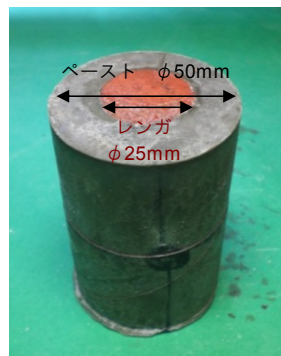


写真-1 界面観察用供試体外観

レンガコアは、24時間吸水後、さらに真空飽和処理を行い、表面乾燥飽水状態としたものと、24時間105℃乾燥させた絶乾状態のものを準備した。ペースト中にそれぞれ埋設したものを(B-W, B-D)を作製した。

打設後材齢2日で脱型し、その後は温度20℃でポリエチレン製フィルムにより封緘養生とした。

X線CTスキャナによる供試体の観察には、(独)港湾空港技術研究所の所有する装置を使用した。本装置は、X線源、回転テーブル、イメージ管の3つが基本的な構成部品であり、回転テーブルに試験体を置き、イメージ管において試験体を透過したX線を検出する仕組みとなっている。セメントペーストの材齢28日において、X線CTスキャナによる撮像を行った。

加えて、上記と同様の条件で作製した供試体について、研磨を行ったものを測定用試料とし、レンガとセメントペーストの境界から200μmまでは20μm間隔で、200μmから400μmまでは50μm間隔でビッカース硬度の測定を行い、測定結果の比較を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 骨材の含水率が再生骨材コンクリートの強度に及ぼす影響に関する研究

含水状態の異なる再生粗骨材を用いたコンクリートおよびそれをウェットスクリーニングしたモルタルに対して養生条件を変化させ、これらの圧縮強度の相互比較した結果、以下に示す成果が得られた。

表乾状態および絶乾状態の再生粗骨材を用いたコンクリートよりウェットスクリーニングして得られたモルタルの強度を比較した結果、ほぼ同じであった。これより、再生骨材中の水分が練混ぜ時にモルタルマトリックスへ滲出し、見かけ上、水セメント比を増大させることが明らかになった。

また、表乾状態および絶乾状態の再生粗骨材を使用したコンクリートを封緘養生した場合、7日強度はほぼ同等であったのに対し、28日強度では表乾状態の再生粗骨材を用いたコンクリートの方が大きくなった。このことから、再生粗骨材中の水分が養生時にもモルタル部に移動し、自己養生効果を有することが明らかとなった。

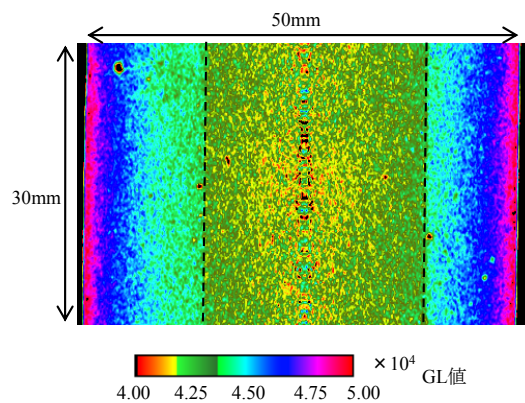
さらに、別シリーズの実験結果より、再生粗骨材を絶乾状態で使用すると、圧縮強度および曲げ強度は向上するが、流動性は低下すること、また、粗骨材の有効吸水量をコンクリート練り混ぜ時に投入すると、表乾状態で用いた場合と同等の流動性、圧縮強度および曲げ強度が得られること等も明らかとなった。

##### (2) 再生骨材に捕捉水分移動の可視化に関する研究

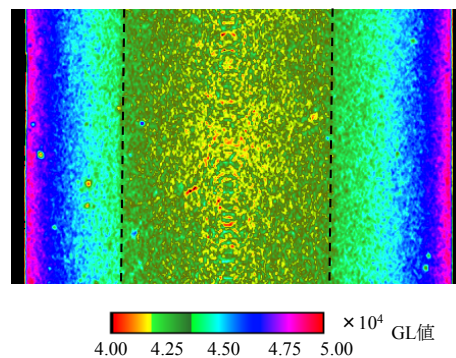
図-1に両供試体の鉛直断面の中心部のCT像を示す。図では、GL値の分布を下部に示すカラーチャートによって表わしている。ここで、GL値とは、X線吸収率と比例関係にある値であり、地盤材料についてX線吸収率は密度と概ね比例関係にあることが既往研究により明らかにされている。また、図中ではセメントペーストとレンガとの境界線を破線で示している。

B-Wは、レンガ周りでGL値が $4.25 \sim 4.50 \times 10^4$ 程度の領域が広く、セメントペーストの密度が小さくなっていると考えられる。それ以外の領域に関しては、両供試体に大きな差はない。

図-2にレンガ中心からの距離とGL値の関係を示す。B-Dは境界部でGL値が大きく変化する箇所が存在するのに対し、B-Wはレンガ周りの密度変化が比較的緩やかに起こっている。セメントペーストおよびレンガの平均的なGL値はそれぞれ、 $4.30 \sim 4.35 \times 10^4$ 、 $4.45 \sim 4.55 \times 10^4$ 程度と考えられる。B-DにおいてGL値が大きく変化したのは、絶乾状態のレンガがセメントペースト中の水分を吸収したことによるものと考えられる。



(a) B-D 供試体



(b) B-W 供試体

図-1 鉛直断面 CT 像

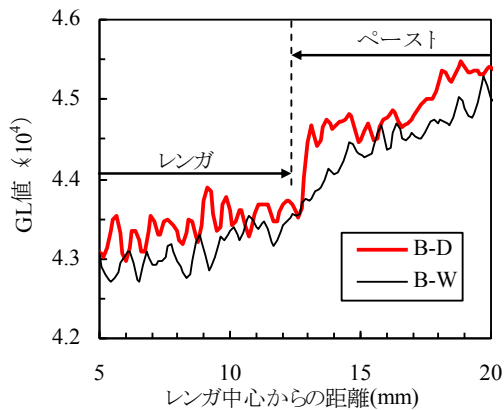


図-2 GL 値の分布

一方、B-Wにおいてレンガ周辺にGL値がセメントペーストの値よりも低い領域が生じ、GL値が緩やかに変化した結果は、レンガに含まれていた水分がセメントペーストへと移動し、空隙構造が粗になったことを表しているものと推察される。

以上より、高吸水率の骨材を模擬したレンガとセメントペーストとの境界部についてX線CTスキャナによる観察を行った結果、表乾状態のレンガを用いた供試体と絶乾状態のレンガを用いた供試体とは性状に差が生じており、境界部における水分移動現象が生じることを明らかにした。

さらに、レンガとセメントペーストの境界からの距離とビッカース硬度の関係について求めた結果(図-3)、B-Dのビッカース硬度は、境界部から、ほぼ一定値を保っているのに対し、B-Wでは、境界から100 $\mu$ mまでの領域においてビッカース硬度が低下していることが分かる。これは、レンガに含まれていた水分が周囲のペーストに滲出したことで、見かけ上の水セメント比が増大したためと考えられる。

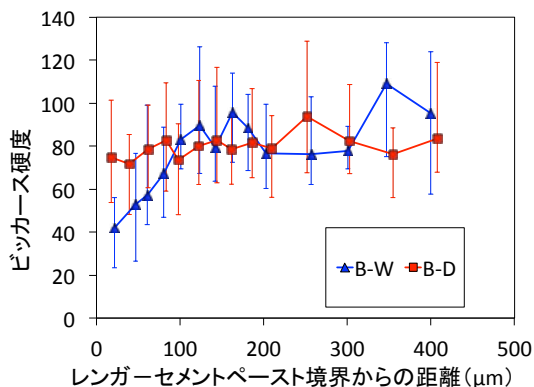


図-3 ビッカース硬度の分布

なお、水分の滲出がビッカース硬度の低下に影響する範囲は境界より約100 $\mu$ mであるのに対し、X線CTスキャナによる計測結果では、両供試体のGL値がほぼ等しくなるのは境界から約2mmの位置となった。このような差異が生じたのは、ビッカース硬度試験は空隙を避けて計測を行っているため、空隙による硬度や密度への影響を考慮していないのに対し、X線CTスキャナでは空隙の存在を包含した結果であるためと考えられる。

これらを総括し、低炭素社会構築に向けて今後さらなる有効利用が期待される低品質・中品質(JISの再生骨材L, Mに相当する品質)の再生骨材を用いたモルタルおよびコンクリートについて、水分移動現象の観点から示すと以下の通りとなる。

再生骨材にはプレウェッティング時に水分が捕捉される。この水分は、再生骨材表面のモルタル、セメントペーストに吸収されるものに加え、再生骨材表面の凹凸部に付着するものも存在する。骨材に補足された水分は、練混ぜ中にセメントペーストへと滲出し、新セメントペースト部の空隙量は増大し、モルタルやコンクリートの強度低下および物質透過性の増大へとつながる。しかしながら、補足された水分の一部は、コンクリートの硬化過程において自己養生に寄与することも明らかとなった。また、その割合について、再生骨材の吸水量と現コンクリートコアの吸水率との差によって求めることができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

佐川康貴、真壁央稔、濱田秀則：骨材中の水分が再生骨材コンクリートの強度に及ぼす影響に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.33, No.1, pp.1529-1534, 2011. (査読有り)

〔学会発表〕(計3件)

柏木洗一、麓隆行、岡田祐樹：絶乾状態の再生骨材を用いたコンクリートの基礎性状に関する研究、土木学会第65回年次学術講演会、2010年9月2日、北海道大学(札幌市)

濱田秀則、佐川康貴：異種材料界面の可視化によるコンクリートの性能評価に関する研究第19回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム、平成22年10月21日、かごしま県民交流センター(鹿児島市)

真壁央稔、池田隆徳、佐川康貴、濱田秀則：

高吸水率骨材とセメントペーストの境界近傍における性状に関する実験的検討,平成 22 年度土木学会西部支部研究発表会,平成 23 年 3 月 5 日,九州工業大学(北九州市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐川 康貴 (SAGAWA YASUTAKA)  
九州大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号: 10325508

### (2) 研究分担者

麓 隆行 (FUMOTO TAKAYUKI)  
近畿大学・理工学部・講師  
研究者番号: 30315981