

平成21年 5月22日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760305
 研究課題名（和文） 付着モルタルの捕捉水量が再生骨材コンクリートの強度・変形性状に及ぼす影響
 研究課題名（英文） Effect of Absorbed Water Content of Adhered Mortar on Strength and Deformation Characteristics of Recycled Aggregate Concrete
 研究代表者
 佐川 康貴（SAGAWA YASUTAKA）
 九州大学・大学院工学研究院・助教
 研究者番号：10325508

研究成果の概要：

再生骨材を有効利用するためには、再生骨材の付着モルタルに捕捉される水分がコンクリートやモルタルの強度および耐久性に及ぼす影響について明らかにする必要がある。本研究では、水銀圧入式ポロシメータや蛍光顕微鏡の撮影画像から求めた空隙量と再生モルタルの強度との関係を求めた。その結果、再生骨材の吸水率が高いほど空隙量が多く、新セメントペースト部の粗大化により強度が低下することが明らかとなった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	0	2,300,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	300,000	3,600,000

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

1. 研究開始当初の背景

コンクリート塊を破砕した再生骨材をコンクリート用骨材に適用する研究は、日本では既に30年以上前から研究・技術開発が行われ、種々の品質規準案が策定されてきた。しかし、解体工事などで発生したコンクリート塊の9割以上が道路用路盤材や埋戻し材としての用途に限られており、コンクリート用骨材としてはあまり利用されてこなかった。これは、再生骨材を用いたコンクリートは、天然骨材を用いた場合よりも強度・耐久性が低下すること、コストが増大すること、JIS規格化されていなかったこと、等が理由

として考えられる。

近年、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関する研究・開発が近年活発に行われている。再生骨材については、2005年3月には高品質な再生骨材がJIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」として、また、低品質および中品質な再生骨材を用いたコンクリートとしてJIS A 5023「再生骨材 Lを用いたコンクリート」（2006年3月）、JIS A 5022「再生骨材 Mを用いたコンクリート」（2007年3月）が相次いでJIS化されるに至っている。

再生骨材 H, M, L の品質規定のうち、大

きな違いは、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、特にMやLでは吸水率の値の範囲は、非常に広がっている。

再生骨材Hは、レディーミクストコンクリートあるいは土木学会コンクリート標準示方書で示される骨材の規定と同じであり、実際に使用するに当たっては、砕砂と同程度の取り扱いが可能になると考えられる。しかし、再生骨材Hを製造するためには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、低品質・中品質な再生骨材をいかに有効利用するかが、重要な課題である。

再生骨材コンクリートLおよび再生骨材コンクリートMは、呼び強度などの規格が示されている。しかし、再生骨材Lと再生骨材Mの境界領域に近い品質の再生骨材を使用する場合には、必ずしもこのようなカテゴリ分けが適切かどうかは、明らかではない。

例えば、再生骨材Lの品質に近い再生骨材Mを使用する場合、呼び強度を18とするためには、水セメント比が高くなりすぎ、材料分離や乾燥収縮の増大を招く可能性がある。一方、中間処理施設の立地条件によって再生骨材Lしか製造できない場合も考えられるが、再生骨材Mに近い品質の再生骨材Lであれば、呼び強度が18以上を実現可能であると考えられる。

したがって、再生骨材の有効利用を促進するためには、低品質・中品質の広範囲な品質の再生骨材を用いたコンクリートの統一的な配合設計手法や強度・耐久性の評価手法の構築が必要である。

2. 研究の目的

研究代表者は、再生骨材を用いたこれまでの研究において、再生細骨材Lまたは再生細骨材Mを使用したモルタルの強度は、単位水量と再生骨材の吸水量を加味した「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」とほぼ直線関係にあることを、実験的に明らかにしている。すなわち、再生骨材に捕捉されている水分がコンクリートの強度などに影響を及ぼしているものと推察される。

本研究では、再生骨材の付着モルタルに捕捉される水分がコンクリートやモルタルの空隙構造に及ぼす影響を検証し、強度・耐久性の低下メカニズムを明らかにすることを目的とした。本研究により得られた成果は、低品質・中品質の領域にまたがる再生骨材を用いたコンクリートの物理的性質の統一的評価手法の確立に資するものである。

3. 研究の方法

再生骨材コンクリートの品質は、再生細骨材の置換率や品質に大きく影響を受けることから、本研究では再生細骨材を用いたモルタル（再生モルタル）を主な研究対象とし、下記の項目について研究を実施した。

(1) 再生モルタルの強度および空隙構造に及ぼす再生骨材の水分の影響

品質の異なる再生細骨材を用いたモルタルの強度を求め、水銀圧入式ポロシメータにより得られる細孔容積との関係について調べた。特に、材齢初期における挙動について着目した。なお、細骨材には海砂SS、再生細骨材Mに相当するRP、再生細骨材Lに相当するRCおよびRJを使用した。

(2) 画像解析による再生モルタルの初期空隙構造の評価

セメント硬化体の空隙構造を評価する手法として、水銀圧入式ポロシメータが多く用いられているが、水銀圧入式ポロシメータによる測定は、インクボトル効果が指摘されているとともに、空隙の面的分布の把握が困難といった問題を有している。そこで本研究では、画像解析による空隙分布測定を行った。材齢初期の再生モルタルの空隙構造の粗大化の原因について調べるため、蛍光樹脂を含ませた再生モルタルを蛍光顕微鏡で観察し、得られた画像の処理、解析を行った。

4. 研究成果

(1) 再生モルタルの強度および空隙構造に及ぼす再生骨材の水分の影響

図-1に、海砂SSおよび再生細骨材RPを用い、養生条件を水中養生とした場合の圧縮強度を示す。図中の凡例は、「骨材種類」-「水セメント比W/C」である。図より、RPの強度はSSよりも低いことが分かる。また、脱型直後の材齢1日の時点で既にその現象が認められる。よって、再生骨材を使用することで材齢初期から普通モルタルよりも強度が低下することが明らかとなった。

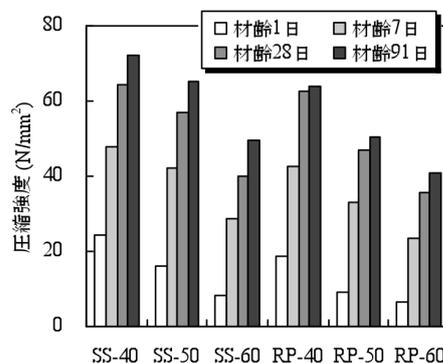


図-1 各材齢におけるモルタルの圧縮強度

図-2 に、水中養生および封緘養生を行った W/C=50% のモルタルの 91 日圧縮強度を示す。封緘養生を行う場合、セメントの水和反応によりモルタル内部の水分が消費され、湿潤養生を行った場合よりも長期強度の伸びが小さくなることが考えられる。実験結果においてもそのような結果が得られた。

一方、再生モルタルの強度に着目すると、水中養生よりも封緘養生を行った方が高い強度を示していることが分かる。養生条件の違いによって生じる、モルタル中の含水量による強度への影響を無視できないが、封緘養生が水中養生と同等もしくはそれ以上の強度に達することは既往の知見と異なる結果となった。

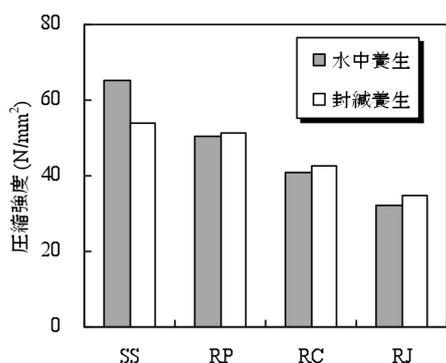


図-2 養生条件の違いと圧縮強度(材齢 91 日)

一般的に、普通強度レベルのコンクリートの強度は、骨材とセメントペーストの界面部分に存在する遷移帯に依存する。遷移帯は、粗大な空隙が多く含まれる不連続な領域であり、強度や物質透過性といったコンクリートの品質に大きく影響を与えることが知られている。再生骨材コンクリートおよび再生モルタルの強度もセメントペースト部の細孔構造に大きな影響を受けるものと考えられることから、本研究においても水銀圧入式ポロシメータで求めた細孔容積と強度との関係について調べ、再生骨材を用いた場合の強度・耐久性の低下メカニズムの解明を行った。

特に、本研究では強度に支配的であるとされる 50nm~2μm の細孔容積を指標として評価した。再生モルタルは、原骨材に旧モルタルが付着した状態の再生細骨材を新セメントペーストが取り巻く形で構成されている。すなわち、空隙が旧モルタル部と新セメントペースト部の両方に含まれていると考えられる。そこで、本研究では、次式に従い、モルタルの細孔容積から細骨材の細孔容積を配合により求めた質量割合に換算したものを差し引いて、新たに付着する新セメントペースト部分の 50nm~2μm の細孔量で評価を行った。

$$V_{itz} = V_m - V_a \times s \quad (1)$$

ここに、 V_{itz} : 新セメントペースト部の細孔容積 (ml/g)

V_m : モルタルの細孔容積 (ml/g)

V_a : 細骨材中の細孔容積 (ml/g)

s : 単位細骨材体積 (m^3/m^3)

新セメントペースト部の 50nm~2μm の細孔容積 V_{itz} とモルタルの強度との関係を、図-3 および図-4 に示す。図-3 は水中養生の結果を、図-4 は封緘養生の結果を示している。

図-3 より、 V_{itz} と圧縮強度との間には高い相関が認められる。よって、再生モルタルや再生骨材コンクリートの強度低下の原因は、材齢初期に新セメントペースト部に生じる空隙構造の粗大化であると推察された。

一方、封緘養生を行った場合(図-4)は、水中養生の場合と異なる 2 つの特徴的な点が認められた。第一は、SS や RP は水中養生ほど緻密化していない点である。第二は、RC や RJ では水中養生の場合と同じ V_{itz} と強度の関係を示している点である。すなわち、本実験の範囲内において、再生骨材の吸水率が高い場合には、自己養生効果が発揮されたことが細孔容積の観点からも示された。

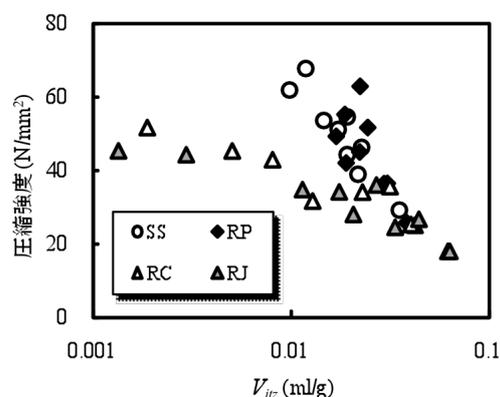


図-3 V_{itz} と圧縮強度の関係 (水中養生)

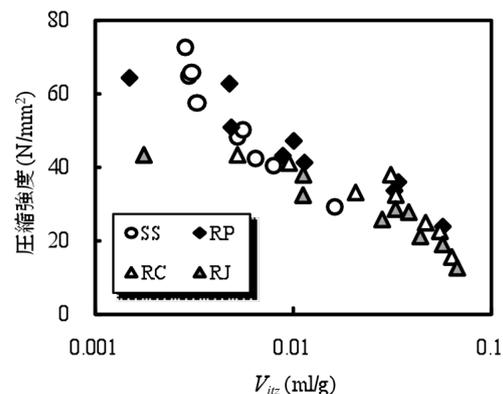


図-4 V_{itz} と圧縮強度の関係 (封緘) 養生)

以上の水中養生と封緘養生における強度発現性および空隙構造の形成挙動の比較から、強度および空隙構造に及ぼす再生骨材中の水分の影響には2つの作用があることが示唆される。すなわち、一つは、材齢初期までにおいて新セメントペースト部の空隙構造を粗大化する作用であり、もう一つは再生骨材自身からの水分供給による自己養生効果である。

(2) 画像解析による再生モルタルの初期空隙構造の評価

モルタルの配合は水セメント比 $W/C = 50\%$ 、砂セメント比 $S/C = 3.0$ とした。供試体は、 $40 \times 40 \times 160 \text{mm}$ の角柱とし、打設後 24 時間で脱型した。蛍光像観察用試料は、長手方向の中心部を精密カッターにより切り出し、 $40 \times 40 \times 20 \text{mm}$ の試料とした。試料はエタノールにより水和停止させ、蛍光樹脂を含浸した後、表面を研磨した。

蛍光顕微鏡は、観察倍率 20 倍にて 1 試料につき 10 枚程度、明視野像と蛍光像を撮影した。蛍光顕微鏡を使用して取り込んだ画像に対して二値化（しきい値 50）を行い、画像中の 1360×1024 ピクセル中(1 ピクセルが約 $10 \mu\text{m}$ に相当)の空隙とみなされる白色部のピクセル数より、空隙の面積率を算定した。それぞれの二値化像から求めた面積率を平均し、それぞれの空隙率とした。

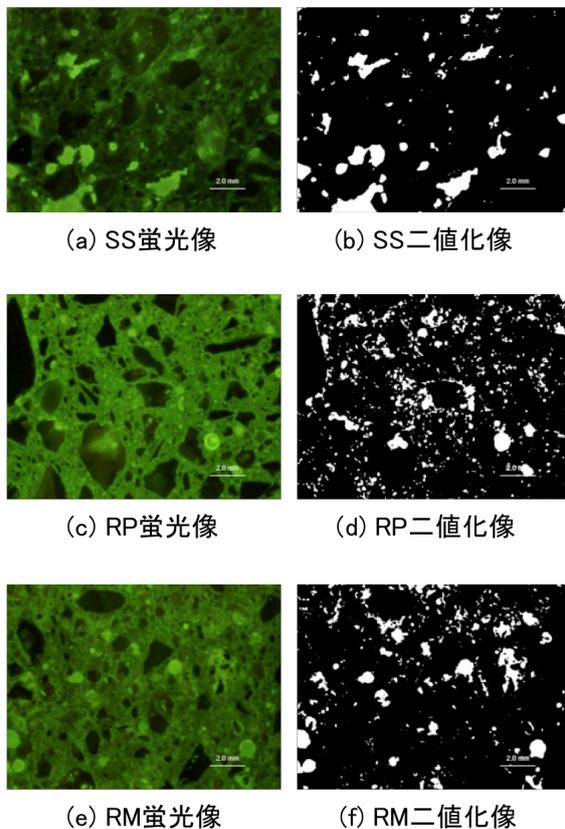


図-5 蛍光像および二値化像

図-5 に、モルタルの蛍光像および二値化像の一例を示す。RP>RM>SS の順で蛍光発光の程度が大きく、空隙が多く存在することが分かる。このように、蛍光顕微鏡を用いた画像解析により再生骨材に捕捉されていた水分がペースト中に滲み出し、新セメントペースト部の空隙が増加したことが視覚的に捉えることが可能となった。

画像処理により得られた $10 \sim 100 \mu\text{m}$ の空隙量と圧縮強度との関係を、図-6 に示す。空隙量が大きくなるに従って強度が低下する傾向を示しており、画像解析手法で求めた空隙量を用いてもモルタルの強度を評価可能であった。

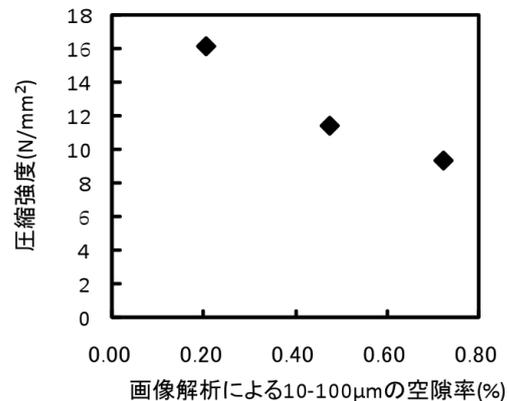


図-6 画像解析による空隙量とモルタル圧縮強度の関係

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)

村上英明, 佐川康貴, 川端雄一郎, 松下博通 : 再生モルタルの強度および空隙構造に及ぼす再生骨材の水分の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.397-402, 2008

〔学会発表〕(計 1 件)

村上英明, 濱田秀則, 佐川康貴, 川端雄一郎 : 画像解析による再生モルタルの空隙量評価手法に関する検討, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008

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・助教

研究者番号 : 1 0 3 2 5 5 0 8