

再生細骨材の細孔容積をパラメータとした再生モルタルの強度評価

九州大学大学院 学生会員 石橋 昌史

九州大学大学院 フェロー 松下 博通

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

九州大学大学院 学生会員 川端雄一郎

1. はじめに

著者らはこれまでに、再生細骨材を使用したモルタル（再生モルタル）の強度は、再生細骨材の品質の違いによらず、単位セメント量 C と総水量 TW の比 (C/TW) および新セメントペースト部の $50\text{nm} \sim 2\mu\text{m}$ の細孔容積と相関があることを明らかにした¹⁾。しかし、水セメント比が小さく細孔容積が小さい範囲では強度が頭打ちとなる。これは、新セメントペーストと細骨材自身の強度の大小関係が逆転したことが主原因として考えられる。本研究では、再生細骨材自身の細孔容積に着目し、細孔容積と強度の関係について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 ，比表面積 $3220\text{cm}^2/\text{g}$ ）を使用した。細骨材には表-1に示す4種類の品質の異なる再生細骨材および海砂(N)を表乾状態で用いた。再生細骨材 RP は遠心締固めにより製造した二次製品（水セメント比 $30 \sim 35\%$ 程度）を原コンクリートとし、破碎重機により一次破碎した後、インパクトクラッシャで二次破碎し、粒度調整をしたものである。また、再生細骨材 RI, RC, RJ は材齢 6 ヶ月の PC 舗装版（水セメント比 41% ，圧縮強度 42.4N/mm^2 ，静弾性係数 30.3kN/mm^2 ）をブレーカで一次破碎した後、それぞれインパクトクラッシャ，コーンクラッシャ，ジョークラッシャで二次破碎したものであり， 5mm ふり通過分を全量使用した。

本研究で使用した再生細骨材を密度および吸水率のみで JIS 規格及び JIS 規格原案により区分すると，RP は再生細骨材 M に，RI, RC, RJ は再生細骨材 L に相当する。図-1 に細骨材の細孔径分布測定結果を示す。低品質に区分される再生細骨材ほど細孔容積が大きく，細孔構造がポーラスであることが分かる。

2.2 モルタルの配合および供試体

モルタルの配合は水セメント比 $W/C=0.4, 0.5, 0.6$ とし，砂セメント比 $S/C=3.0$ で一定とした。供試体は $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の角柱供試体とし，打設後 24 時間で脱型し，強度試験時まで温度 20°C にて水中養生した。

2.3 試験方法

材齢 7, 28, 91 日において，JIS A 5201 に従い，曲げ強度試験および圧縮強度試験を行った。また，同材齢において，細孔径分布測定用の供試体をコンクリートカッターにより供試体中心部の $20 \times 20 \times 140\text{mm}$ 部分を切り出し， 5mm 角のモルタル片を採取して細孔径分布測定用の試料とした。試料はアセトンに浸漬させ水和を停止させた後，真空乾燥し水銀圧入試ポロシメータにより細孔径分布を測定した。

2.4 再生モルタルの細孔構造

本研究では，モルタルの細孔容積から細骨材中の細孔容積を差し引いて，細骨材に新たに付着する新セメントペースト部に存在する細孔容積 V_{nz} を用いて評価を行った（図-2）。

表-1 細骨材の物理的性質

記号	細骨材の種類	表乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)
N	海砂	2.55	2.70
RP	再生細骨材	2.47	6.05
RI		2.00	11.05
RC		2.26	13.40
RJ		2.23	15.20

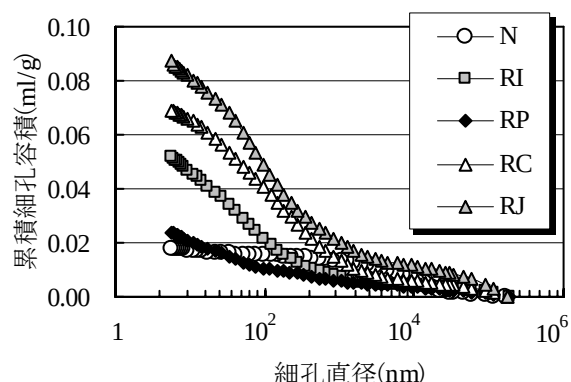


図-1 細骨材の細孔径分布

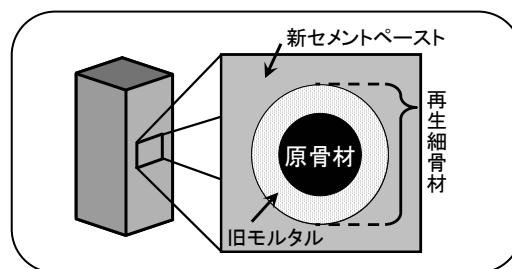


図-2 再生モルタルのモデル

$$V_{itz} = V_m - V_a \times s$$

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)

3. 実験結果および考察

3.1 新セメントペースト部の細孔容積による圧縮強度の評価

図-3に50nm~2 μm の細孔容積の対数と圧縮強度の関係を示す。既往の研究により、細孔空隙のうち50nm~2 μm の空隙が最も強度に支配的であると報告されており²⁾、この範囲の空隙は骨材とペーストの界面付近の脆弱部である遷移帯の空隙量に相当するとされている。図より、細骨材の種類に関係なく50nm~2 μm の細孔容積によりモルタルの圧縮強度を統一的に評価できることが分かる。

しかし、長期材齢の低水セメント比の配合では、強度が頭打ちになっていることが分かる。このように新セメントペースト部の細孔容積が非常に小さくなる領域では、旧モルタルあるいは原骨材と旧モルタルとの界面の破壊が卓越していることが考えられる。

3.2 再生細骨材の細孔容積による圧縮強度の評価

図-4および図-5は、図-3に再生細骨材自身が有する50nm~2 μm の細孔容積の値を波線で示したものであり、新セメントペースト部の細孔容積が旧モルタルの細孔容積よりも小さくなると、 V_{itz} と強度の関係が表す勾配が小さくなっていることが分かる。すなわち、再生細骨材自身の細孔容積をしきい値として、新セメントペースト部の遷移帯を起点とした破壊形態から、再生細骨材自身の脆弱部が起点となった破壊形態に移行するものと考えられる。

なお、細骨材の細孔容積は吸水率と密接な関係がある(図-6)ことから、実用的には吸水率を用いて頭打ちとなる強度の予測が可能であると考えられる。しかし、本研究の範囲内では、原コンクリートの種類が少ないため、今後のデータ蓄積が必要である。

4. 結論

本研究では、中・低品質な再生細骨材を使用したモルタルの強度評価について検討を行った。以下に本研究の範囲内で得られた知見を示す。

- 1) 再生モルタルの強度は新セメントペースト部に存在する50nm~2 μm の細孔容積により評価可能である。
- 2) 新セメントペースト部の50nm~2 μm の細孔容積が再生細骨材の50nm~2 μm の細孔容積を下回った場合、再生モルタルの圧縮強度が頭打ちとなる。

- 参考文献 1) 石橋昌史, 松下博通, 佐川康貴, 川端雄一郎: 再生細骨材を用いたモルタルの細孔構造および強度・中性化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, pp.1487-1492, 2006
2) 羽原俊祐: コンクリートの構造とその物性, わかりやすいセメント科学, セメント協会, pp.78-104, 1995

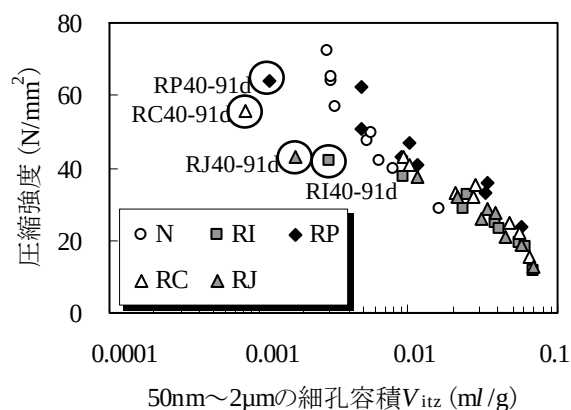


図-3 細孔容積と圧縮強度の関係

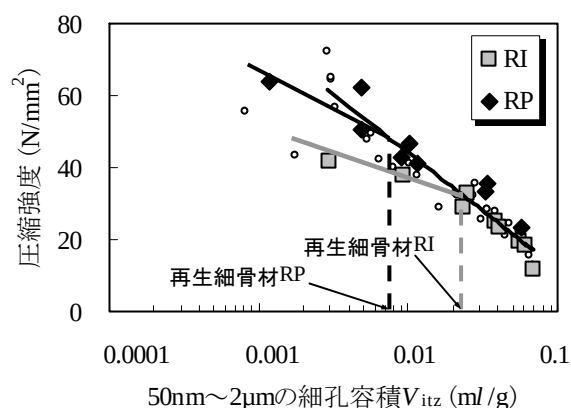


図-4 細骨材の細孔容積と圧縮強度の変化の関係 (RI, RP)

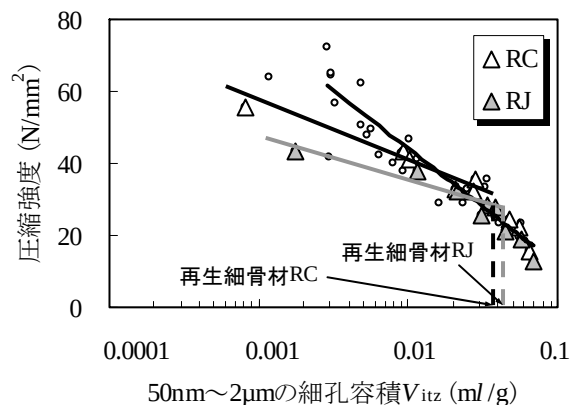


図-5 細骨材の細孔容積と圧縮強度の変化の関係 (RC, RJ)

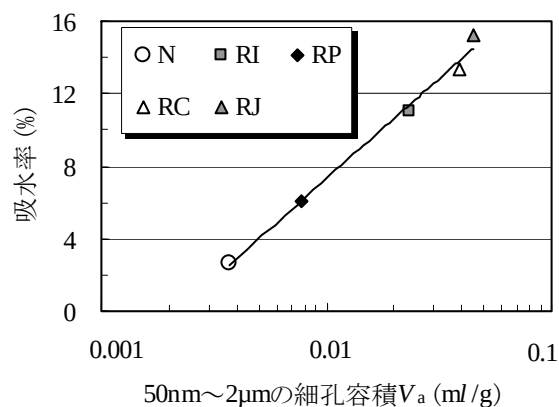


図-6 細骨材の細孔容積と吸水率の関係