

論文 再生細骨材など各種細骨材の性質がモルタル性状に及ぼす影響

麓 隆行^{*1}・長峰 慎^{*2}・山田 優^{*3}

要旨: 建設リサイクル法の公布により、コンクリートリサイクルの促進が求められているが、再生細骨材は低品質であり、その利用が困難であるとされている。再生細骨材の利用方法の確立には、モルタル性状に影響を及ぼす細骨材の評価指標を明確にする必要がある。本研究では、再生細骨材を含めた16種類の細骨材の性質とそれらを用いたモルタル性状について、考察した。その結果、細骨材の性質のうち、吸水率のほかにもモルタルのフレッシュ性状に関係する指標は、粗粒率、空隙率および比表面積であり、また、硬化後の強度に関する指標は破砕値と比表面積であることなどがわかった。

キーワード: 再生細骨材, 空隙率, 破砕値, 比表面積, モルタル性状

1. はじめに

再生細骨材の品質は普通細骨材に比べて低く、それらを使用したコンクリートは、普通コンクリートに比べて強度や耐久性も低下することがわかっている。しかし、平成12年5月「建設リサイクル法」の公布により、建設廃棄物の分別および再資源化が義務づけられて、コンクリート塊の再利用がこれまで以上に要求され、再生細骨材の利用基準および方法の見直しが急務となっている。再生細骨材を含む細骨材の利用基準では、主に吸水率を指標としてきたが、性能規定に移行しつつある現在では、今までの指標に縛られず、コンクリートやモルタルの性状に影響を与える複数の指標

を用いて細骨材を適切に評価する必要がある。

本研究では、16種類の再生細骨材および普通細骨材を用意し、それらの種々の試験値とそれらを用いたモルタルのフレッシュ性状および硬化後の性状との関係を検討して、再生細骨材の品質評価に有効な指標について考察した。

2. 各種細骨材の性質に関する考察

2.1 実験に用いた細骨材

本実験に使用した細骨材材料は、後述の表-5に示すとおり、普通細骨材8種、再生細骨材8種、

表-1 原コンクリートの配合および性状¹⁾

W/C(%)	58	
s/a (%)	47.8	
スランプ(cm)	12.4	
空気量(%)	6.7	
圧縮強度 (N/mm ²)	標準養生(材齢 28 日)	40.4
	気中養生(材齢 107 日)	41.3

表-2 原モルタルの配合¹⁾

W/C(%)	W(kg/m ³)	C(kg/m ³)	S(kg/m ³)
35	299	853	1141
50	312	624	1300
65	320	491	1393

表-3 原ペーストの配合

W/C(%)	W(kg/m ³)	C(kg/m ³)	混和剤
23	420	1827	C×3% ^{※1}
50	612	1223	C×0.2% ^{※2}

※1: 高性能 AE 減水剤 ※2: 増粘剤

表-4 原モルタルおよび原ペーストの性状¹⁾

種類	原モルタル			原ペースト	
	W/C(%)	35	50	65	23
モルタルフローまたはフロー(mm)	121	129	126	300	252
空気量(%)	3.4	3.1	2.8	—	—
破砕時圧縮強度 (N/mm ²)	76.1	58.7	43.1	118.6	40.7
弾性係数(kN/mm ²)	29.5	25.9	22.2	32.0	12.6

*1 大阪市立大学 助手 工学部土木工学科 工修 (正会員)

*2 大阪市立大学大学院 工学研究科土木工学専攻

*3 大阪市立大学 教授 工学部環境都市工学科 工博 (正会員)

表-5 各細骨材の物理的性質の試験結果

試験項目 細骨材の種類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 (g/cm ³)	実積率 (%)	粒形判定 実積率 (%)	破碎値 (%)	比表面積 (m ² /g)	空隙率(vol.%)		
									0.05~7 μm	0.0055~ 0.05μm	
普通細骨材	標準砂	2.58	0.92	1.94	1.76	68.1	58.7	14.8	1.54	1.46	0.51
	川砂	2.51	2.99	2.11	1.71	68.4	58.6	6.5	2.19	2.36	1.13
	山砂	2.50	2.91	2.71	1.64	65.8	55.4	17.5	2.48	2.26	0.69
	海砂	2.48	3.07	2.76	1.64	66.4	56.8	13.4	1.96	1.79	0.51
	砕砂	2.59	2.07	2.85	1.66	64.1	57.9	5.6	3.19	1.85	0.72
	中国産川砂	2.57	1.47	2.91	1.63	63.6	60.6	9.5	1.17	1.27	0.69
	石灰石砂	2.63	1.40	2.30	1.72	65.3	57.4	12.0	1.08	1.36	0.49
	スラグ	2.43	4.46	2.54	1.38	56.7	49.2	27.9	0.71	2.27	1.83
再生細骨材	RF0	2.20	7.80	2.72	1.32	64.7	59.3	8.7	5.34	7.32	4.30
	RF2000	2.41	4.50	2.72	1.64	68.1	63.7	—	1.45	4.94	2.07
	RF4000	2.50	3.40	2.72	1.70	68.2	62.3	—	1.02	4.11	1.36
	RF35	2.03	12.3	2.83	1.38	68.0	59.2	10.4	2.95	6.67	4.47
	RF50	2.03	12.2	2.80	1.31	64.9	60.4	12.0	2.28	7.34	2.29
	RF65	2.05	11.8	2.83	1.40	68.2	60.7	10.4	—	7.95	3.32
	BP23	1.99	13.2	2.74	1.24	62.4	56.3	9.5	2.65	1.78	3.59
	BP50	1.45	30.0	2.81	0.91	62.9	55.7	14.9	14.35	8.64	8.19

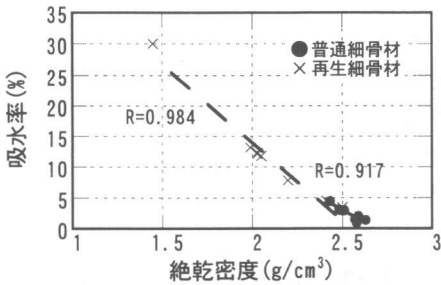


図-1 絶乾密度と吸水率との関係

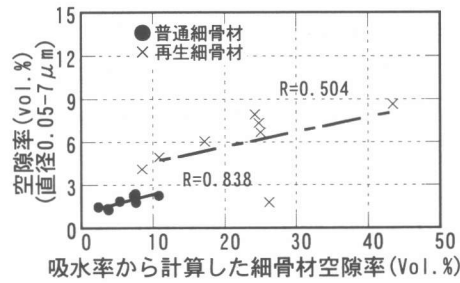


図-3 吸水率から計算した空隙率と細骨材中の直径 0.05-7 μm の空隙率との関係

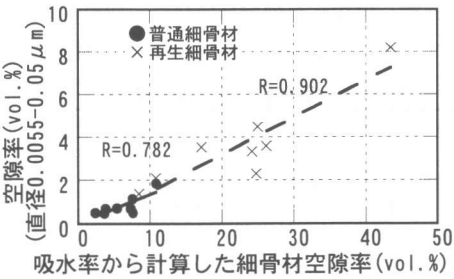


図-2 吸水率から計算した空隙率と細骨材中の直径 0.0055-0.05 μm の空隙率との関係

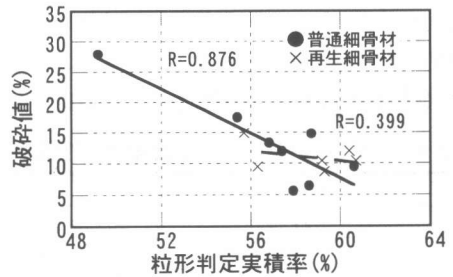


図-4 粒形判定実積率と破碎値との関係

計 16 種である。

普通細骨材としては、川砂(揖斐川産)、山砂(枚方産)、海砂(唐津産)、中国産川砂(福建省産川砂)、石灰石砂(伊吹町)、高炉スラグ細骨材を用いた。

再生細骨材には、前報¹⁾の実験でも用いた表-1の配合の原コンクリートから再生した細骨材 RF0 とそれをボールミルで 2000 回転および 4000 回転処理した RF2000 および RF4000、また RF0 より吸

水率の高い細骨材として、モルタルを破碎して作製した RF35、RF50 および RF60、さらにモルタルを破碎した細骨材より高い吸水率の細骨材としてペーストを破碎して作製した BP23 および BP50 を用いた。その際の原モルタルおよび原ペーストの配合と性状を表-2~4 に示す。モルタルおよびペーストは実験室にてそれぞれ約 0.5m³ 作製し、約 3 ヶ月間屋外放置または水中養生後、小型ジョ

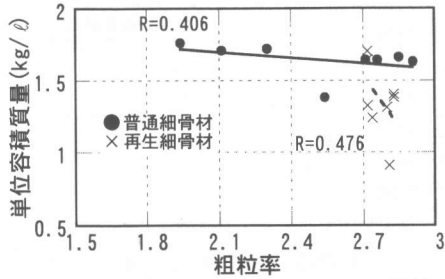


図-5 粗粒率と単位容積質量との関係

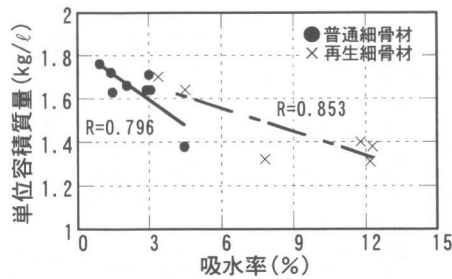


図-6 吸水率と単位容積質量の関係

ークラッシャで2回破碎処理を行い、0.15~2.5mmの粒径にふるい分けた。

2.2 細骨材の性質に関する試験方法

絶乾密度、吸水率、粗粒率、単位容積質量、実積率および粒形判定実積率の測定は、それぞれ JIS A 1109, JIS A 1102, JIS A 1104 および JIS A 5005 に従った。破碎値は BS812-1990 を参考に、各細骨材中の直径 2.5-1.2mm の粒子を試料とし、絶乾状態にして 10 分間で 100kN まで载荷した後の直径 0.3mm 以下の粒子が試料に占める質量百分率から求めた。また、細骨材をそのまま試料として、比表面積を、窒素ガスを用いた BET 吸着法により、また細骨材の空隙率を、直径 0.0055-7 μ m の空隙を対象に水銀圧入法により測定した。

2.3 実験結果と考察

各細骨材の試験結果を表-5 に示す。

図-1 に示すように絶乾密度と吸水率との相関性は高く、評価指標としてはどちらかでもよい。

図-2 は、吸水率と細骨材の直径 0.0055-0.05 μ m の範囲の空隙率との関係である。普通細骨材および再生細骨材はともに比例関係を示し、ほぼ同

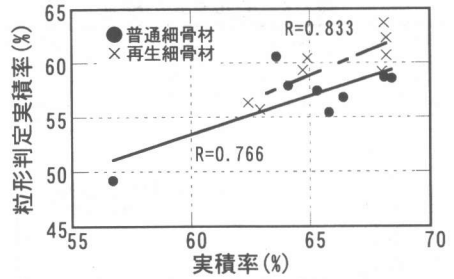


図-7 実積率と粒形判定実積率との関係

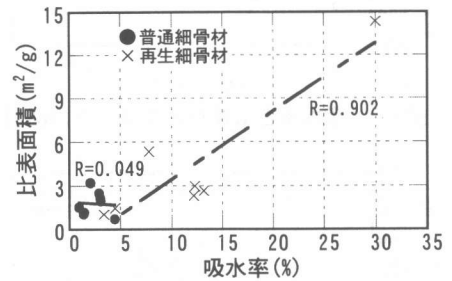


図-8 吸水率と比表面積との関係

じ直線上にある。しかし、図-3 の直径 0.05-7 μ m の範囲の空隙率と吸水率との関係は、普通細骨材と再生細骨材では異なる直線で回帰される。すなわち、直径 0.05-7 μ m の空隙率は、吸水率とは異なる指標と言える。

図-4 の粒形判定実積率と破碎値との関係では、普通細骨材において相関性が高く、100kN の破碎値では粒子形状の影響が大きいと考えられる。

図-5~6 より、単位容積質量は粗粒率とは相関性が低いが、吸水率との相関性は高い。また、図-7~8 のように実積率と粒形判定実積率は、骨材の種類に関係なく相関性が高く、また、再生細骨材では、比表面積と吸水率との相関性が高い。

以上より、骨材の性質を表す指標を、吸水率、粗粒率、粒形判定実積率、破碎値、比表面積および細骨材中の直径 0.05-7 μ m の空隙率にしぼり、以下の考察を進めることとした。

3. 各種細骨材の性質とモルタル性状との関係

3.1 モルタルの作製方法

2 章で示した各種細骨材を用いてモルタルを作製し、フレッシュ性状および硬化後の性状を調べた。モルタルは、表-6 の配合で、JIS A 5201 に準

表-6 モルタルの配合

W/C(%)	W(ℓ/m^3)	C(ℓ/m^3)	S(ℓ/m^3)
40	317	252	431
50	317	201	482
60	317	168	515

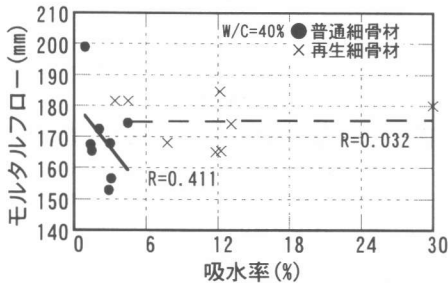


図-9 吸水率とモルタルフローとの関係

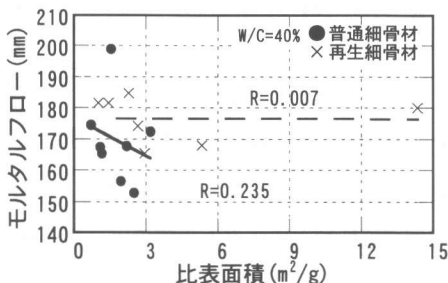


図-10 比表面積とモルタルフローの関係

じ、7 ℓ 練った。なお、モルタル中の単位水量を一定とし、配合も体積比で示した。試験は、フレッシュ状態のモルタルフロー(15回落下後)、硬化後の圧縮強度、引張強度および乾燥収縮ひずみについて行った。各強度は、打設後24時間で脱型、水中養生後、材令28日で測定した。乾燥収縮ひずみの測定は、7日間水中養生後20℃の室内に放置し、コンタクトゲージ法により測定した。供試体形状は、圧縮試験用 $\phi 50 \times 100$ (mm)、引張試験用 $\phi 50 \times 50$ (mm)、乾燥収縮用 $40 \times 40 \times 160$ (mm)とした。練り混ぜ時には、各細骨材を表乾状態にしたが、標準砂のみ絶乾状態で用い、標準砂の吸水量を補正した。なお、以下の実験結果と考察には、主にW/C=40%での普通細骨材および再生細骨材に関する比較の一部を示す。

3.2 実験結果と考察

(1) モルタルのフレッシュ性状について

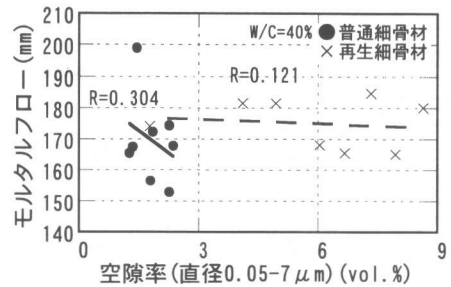


図-11 細骨材中の直径0.05~7 μ mの空隙率とモルタルフローとの関係

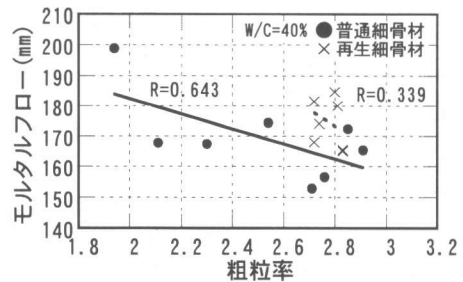


図-12 粗粒率とモルタルフローとの関係

図-9~12にモルタルフローと細骨材評価指標との関係を示した。

モルタルフローと細骨材の吸水率との関係は、再生細骨材では相関性は低い。破砕値および粒形判定実積率との関係でも、水量調整を行った標準砂などのばらつきを考慮しても相関性は低い。

モルタルフローと細骨材中の直径0.05~7 μ mの空隙率との関係では、空隙率の増加によりモルタルフローが小さくなる傾向があり、相関係数は低いものの、モルタルフローの変化を読みとることができ、比表面積に関しても比表面積が6 m^2/g 程度までは、モルタルフローとの相関性がある。

粗粒率は相関性が最も高く、再生細骨材でも相関性が見られた。

以上より、モルタルフローに関わる細骨材の評価指標として、吸水率のほか、直径0.05~7 μ mの空隙率、比表面積と粗粒率を挙げるができる。

(2) モルタルの硬化後の性状について

図-13~17に圧縮強度と細骨材評価指標との関係を示した。

吸水率、比表面積および空隙率は、圧縮強度と

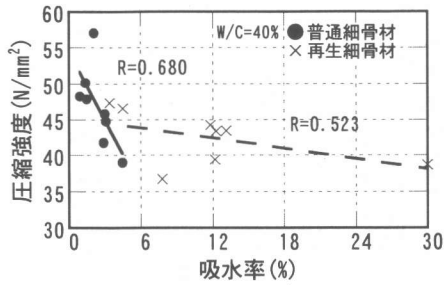


図-13 吸水率と圧縮強度との関係

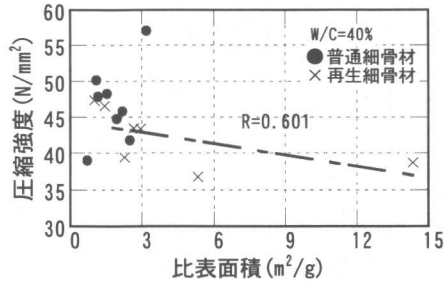


図-14 比表面積と圧縮強度の関係

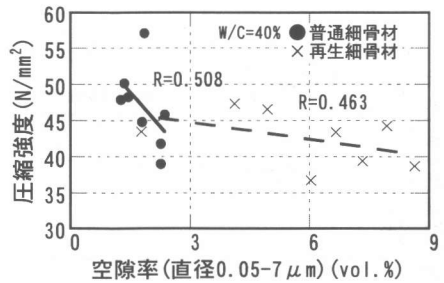


図-15 細骨材中の直径0.05~7μmの空隙率と圧縮強度との関係

高い相関性があり、この傾向は、W/Cが変化しても同じであった。

粒形判定実積率との関係では、粒形判定実積率が増加すると圧縮強度が増加する傾向が見られ、再生細骨材の場合には、普通細骨材の場合に比べて1割程度強度が低下する。

圧縮強度と破砕値との相関性も高いが、同じ破砕値持つ再生細骨材の場合には、普通細骨材に比べ圧縮強度が1割程度低下した。

引張強度の試験結果を、図-18~20に示す。

吸水率との関係では、圧縮強度の場合と同様、高い相関性がある。

破砕値との関係では、再生細骨材を用いた場合は、普通細骨材を用いた場合に比べ破砕値が増加

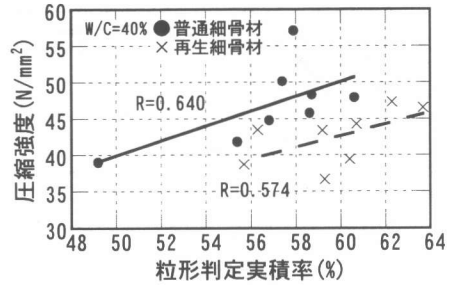


図-16 粒形判定実積率と圧縮強度との関係

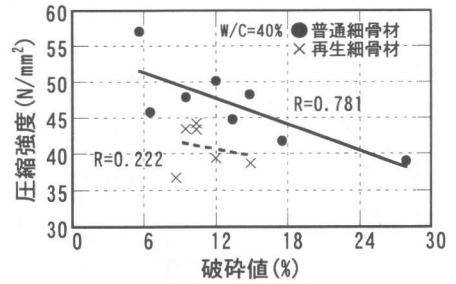


図-17 破砕値と圧縮強度との関係

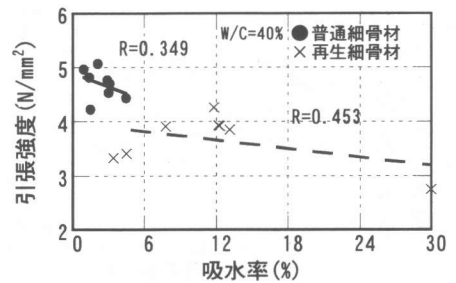


図-18 吸水率と引張強度との関係

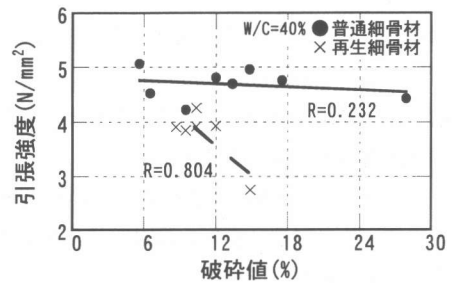


図-19 破砕値と引張強度との関係

したときの強度低下が大きい。W/Cが変化してもこの傾向が見られた。

また、比表面積では、再生細骨材に関して相関性が見られたが、粒形判定実積率、空隙率および粗粒率との相関性は低かった。

以上より、モルタルの強度に関わる細骨材の評

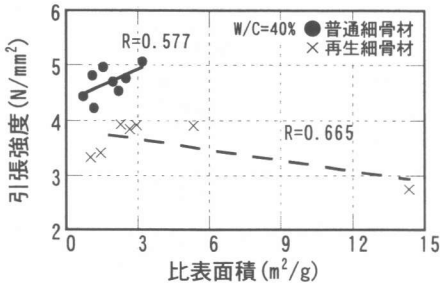


図-20 比表面積と引張強度との関係

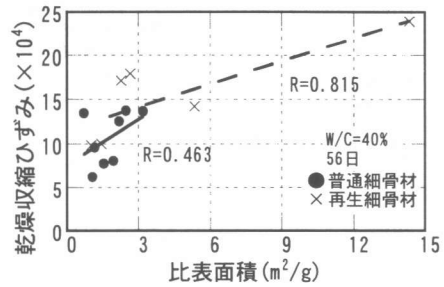


図-23 比表面積と56日目の乾燥収縮ひずみとの関係

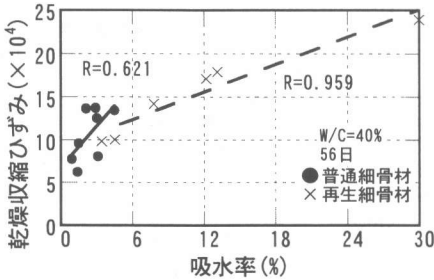


図-21 吸水率と56日目の乾燥収縮ひずみとの関係

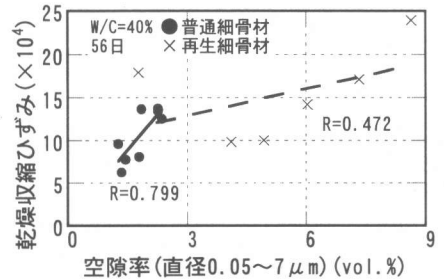


図-24 細骨材中の直径0.05~7μmの空隙率と56日目の乾燥収縮ひずみとの関係

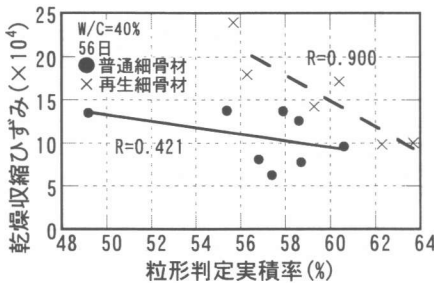


図-22 粒形判定実積率と56日目の乾燥収縮ひずみとの関係

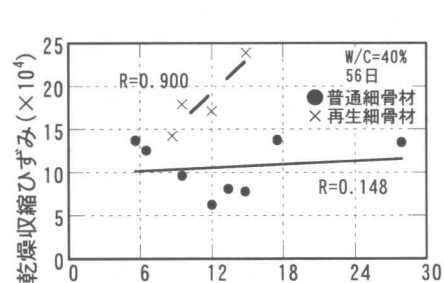


図-25 破砕値と56日目の乾燥収縮ひずみとの関係

価指標としては、吸水率のほか、破砕値と比表面積を挙げることができる。

図-21~25に、乾燥収縮ひずみの試験結果と細骨材評価指標との関係を示す。

吸水率、比表面積、空隙率および粒形判定実積率では、乾燥収縮ひずみと相関性が高かった。破砕値および粗粒率でも相関性は見られたが、普通細骨材でのばらつきが大きかった。

5. 結論

再生細骨材は、原コンクリート性状等の影響を受け、様々に変化するため、吸水率だけで品質を評価することは難しい。コンクリート性状との相関性、再生細骨材を含めた広い範囲の細骨材への

適用性の高い複数の品質評価指標が必要である。

本研究の結果から、このような品質評価指標として、吸水率のほかにモルタルのフレッシュ性状との関係では、粗粒率、空隙率および比表面積、硬化後の強度との関係では破砕値と比表面積、また、乾燥収縮ひずみとの関係では空隙率、比表面積と粒形判定実積率が挙げられることがわかった。

参考文献

- 1) 麓隆行・妹春吉彦・山田優：再生細骨材の品質がモルタルの性状に及ぼす影響についての検討、コンクリート工学年次講演論文集, Vol.22, No.2, pp1111-1116, 2000.