

モルタルフローによる砕砂の粗さ、形状の評価

山口大学大学院 学生会員 ○片山 直希
山口大学大学院 学生会員 平本 桂子
山口大学大学院 正会員 高海 克彦

1. はじめに

西日本では、コンクリート用細骨材として使用される海砂の依存度が高まり、海砂の枯渇が大きな問題となっている。そこで、長年の海砂の採取により瀬戸内海における海砂の採取の規制が行われるようになった。これにより、西日本での細骨材不足は、深刻化している。そこで、近年海砂の代替材として注目を集めているのが砕砂である。砕砂は、今後も生産量が安定しており、海砂の代替材として注目が集まっている。しかし、砕砂は、粒子形状、表面性状に問題があり、単位水量の増加や、流動性の低下といった問題を引き起こす。このような状況により高品質な砕砂が求められるようになった。

過去の研究 1),2)で、砕砂を研磨砕砂製造機により、研磨することにより砕砂の表面が滑らかになるとともに、粒子形状が丸くなり、これが流動性向上に影響したと報告している。しかし、研磨には、時間を要しあまり実用的ではない。そこで、何も施していない砕砂を顕微鏡や画像解析装置を使用し、直接的に砕砂の粒子性状を測定し、また、モルタルフロー試験によって、水粉体容積比とフロー値の関係から拘束水比と変形係数を算出することにより砕砂の間接評価とした。また、一般的に砕砂の粒形評価指標として使用される粒形判定実積率を測定し、この3つの観点から砕砂の表面粗さや粒子形状に対する相関性を考察した。

2. 実験の概要

2.1 使用材料および物性試験

本研究で使用した細骨材は、山口県産硬質砂岩砕砂(以下、HSと略す)、岡山県産石灰砂岩砕砂(CSと略す)、比較検討用の北九州産海砂(SSと略す)の3種類を使用した。

物性試験は、JIS A 1104-1999 に準じ、密度および吸水率試験を行い、JIS A 1104-1999 に準じ、単位容積質量および実積率試験を行った。また、JIS A 1104 に準じ、粒形判定実積率試験を行った。



写真1 硬質砂岩砕砂(HS)

2.2 粒子性状、粒子形状の測定

本研究では、2.1 で記した細骨材の粒径ごとの砕砂の特性を把握するために、粒径 2.5~1.2mm, 1.2~0.6mm, 0.6~0.3mm の3水準に分けて測定試験を行った。JIS B 0601-2001 に従って、カラーレーザー顕微鏡(写真1)を用いて、細骨材一粒ごとに、算術平均粗さを測定し、砂の粒子性状を測定した。また、JIS B 0660 に従って、非接触型三次元解析装置を使用し内接円真円度指数の測定を行った。

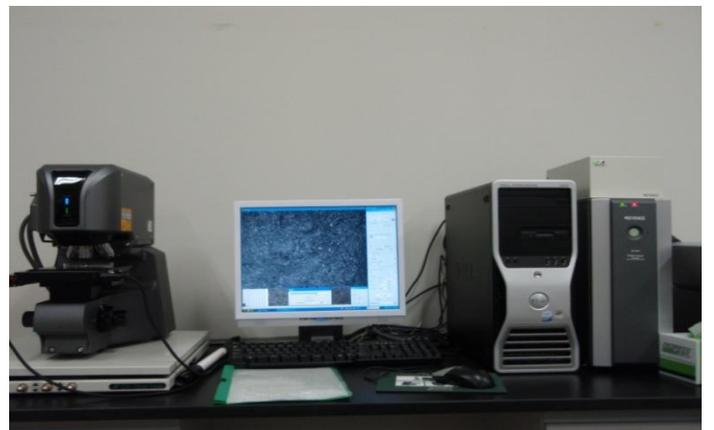


写真2 カラーレーザー顕微鏡

表 1 使用材料の物性

	絶乾密度(g/cm ³)	表乾密度(g/cm ³)	実積率(%)	粒形判定実積率(%)	吸水率(%)	粗粒率
HS	2.52	2.59	55.37	55.37	2.25	3.09
CS	2.63	2.70	58.14	57.24	0.81	2.62
SS	2.67	2.71	57.58	58.14	0.40	2.48

2.3 モルタルフロー試験

モルタルフロー試験は、JIS A 5201「セメントの物理試験方法」に基づいて行った。

本研究では、表 2 に示すように細骨材容積比を 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 の 4 ケースごとに、水粉体容積比を 4 種類に変え、1 つの試料につき 16 種類の配合とした。

表 2 モルタルフロー試験配合(全資料共通)

細骨材率	S(g)	Vs(cm ³)	Vw/Vp
0.2	320	123	1.1
			1.2
			1.3
			1.4
0.3	480	185	1.2
			1.3
			1.4
			1.5
0.4	640	246	1.4
			1.6
			1.8
			2.0
0.5	800	308	1.9
			2.2
			2.5
			2.8

2.4 拘束水比と変形係数の算出方法

表 2 に示すように、細骨材容積比を 4 ケースごとに、水粉体容積比 Vw/Vp を変化させた場合のモルタルフロー試験を行う。そうすると、16 種類のモルタルフロー値(mm)が算出される。このモルタルフロー値から式(1)より、モルタルフロー面積比が算出される。Fm は、モルタルフロー値のことである。

次に、図 1 のような関係から、水粉体容積比 Vw/Vp を縦軸に、モルタルフロー面積比 Γm を横軸の関係から、モルタルの変形係数 Em と拘束水比 βm は、変形係数 Em が傾きとして、拘束水比 βm は、図 1 のように切片として求められる。

さらに求めた拘束水比 βm, 変形係数 Em を基にして式(2)より細骨材の拘束水比 βs, 式(3)より細骨材の変形係数 Es が算出する。

$$\Gamma_m = \left(\frac{F_m}{100}\right)^2 - 1 \dots \text{式(1)}$$

$$\beta_s = \frac{(\beta_m - \beta_p)(1 - V_s)}{V_s(1 + \beta_m)} \dots \text{式(2)}$$

$$E_s = \frac{E_m\{1 - V_s(1 + \beta_s)\}}{1 - V_s} - E_p \dots \text{式(3)}$$

ここで、βp は粉体の拘束水比(=1.00), Vs は、細骨材容積比, Ep は粉体の変形係数(=0.11)を表す。以上のことにより細骨材の拘束水比 βs と変形係数 Em のデータを測定する。

さらに、細骨材の変形係数 Es, 拘束水比 βs は、値が小さいほど、それを用いたモルタルの流動性がよく、細骨材の特性が良好であるといえる。

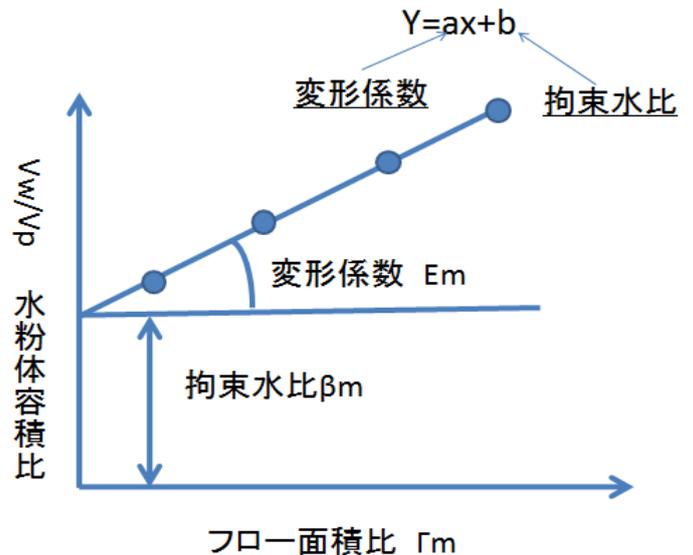


図 1 モルタルフロー面積比 Γm と水粉体容積比と Vw/Vp の関係

3.実験結果

3.1 モルタルの拘束水比,変形係数の測定結果

各配合におけるフロー面積比 Γ_m と水粉体容積比 V_w/V_p の関係を図 2-4 に示す。各細骨材容積比ごと一次回帰式の切片がモルタルの拘束水比 β_m , 傾きがモルタルの変形係数 E_m を表している。また, 表 3.1 にモルタルの拘束水比 β_m と変形係数 E_m を表す。3 種類の細骨材ともにモルタルの拘束水比 β_m , 変形係数 E_m は, 細骨材容積比 0.5 のときに大きく増加傾向にある。これは, 細骨材容積比 0.5 の場合に, 流動性が低くなり, モルタルの拘束水比 β_m , 変形係数 E_m が増加したためである。

3.2 細骨材の拘束水比、変形係数の測定結果

3.1 に測定されたモルタルの拘束水比 β_m , 変形係数 E_m をもとに実験概要 2.1 で示した, 式(2), (3) より細骨材の拘束水比 β_s , 変形係数 E_s を算出する。また, 表 4 に細骨材の拘束水比 β_s と変形係数 E_s を表す。値が低いほど流動性が優れているとされる, 細骨材の拘束水比 β_s , 変形係数 E_s は, 一般的にコンクリート用細骨材として使用されている海砂が, 硬質砂岩砕砂, 石灰砂岩砕砂と比較しても, 拘束水比 β_s , 変形係数 E_s とともに値が低く流動性に優れていた。また, 硬質砂岩砕砂に関して, 拘束水比 β_s は, 細骨材容積比 0.4 から, 0.5 に変わると他の細骨材と比較すると大きく増加傾向にある。これは, 0.4 から 0.5 に変化すると流動性がなくなり, 硬くなったためだと考える。

表 3 モルタル拘束水比 β_m , 変形係数 E_m

細骨材容積比 V_s	拘束水比 β_m			変形係数 E_m		
	HS	CS	SS	HS	CS	SS
0.2	0.9875	1.0596	1.0024	0.2539	0.1914	0.1987
0.3	1.0395	1.1234	1.0997	0.2597	0.2213	0.2034
0.4	1.0495	1.1343	1.1157	0.2684	0.2331	0.2195
0.5	1.6907	1.6359	1.4672	0.4139	0.4091	0.3558

表 4 細骨材拘束水比 β_s , 変形係数 E_s

細骨材容積比 V_s	拘束水比 β_s			変形係数 E_s		
	HS	CS	SS	HS	CS	SS
0.2	0.0151	0.1546	0.0447	0.1629	0.0940	0.1065
0.3	0.0681	0.1576	0.1330	0.1621	0.1164	0.1018
0.4	0.0509	0.1084	0.0962	0.1693	0.1262	0.1154
0.5	0.2641	0.2488	0.1975	0.2146	0.2173	0.1955

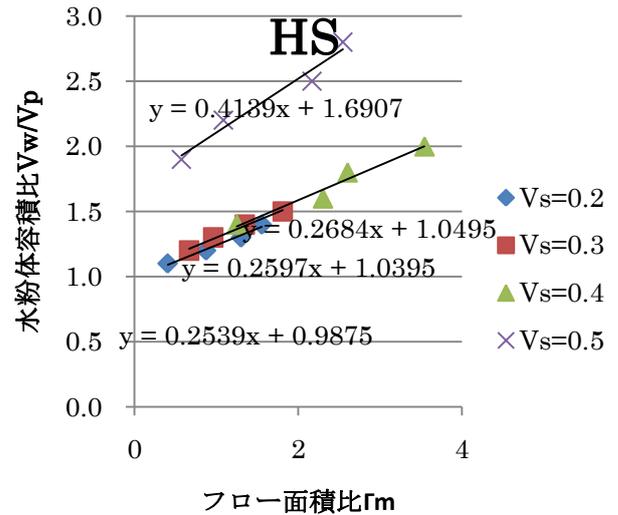


図 2 硬質砂岩砕砂 V_w/V_p とフロー面積比 Γ_m

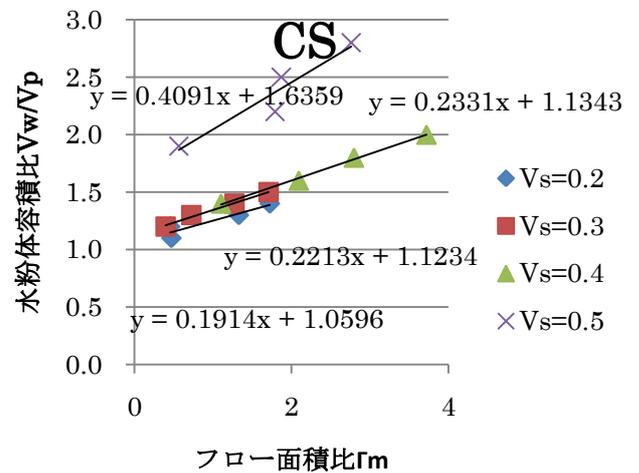


図 3 石灰砂岩砕砂 V_w/V_p とフロー面積比 Γ_m

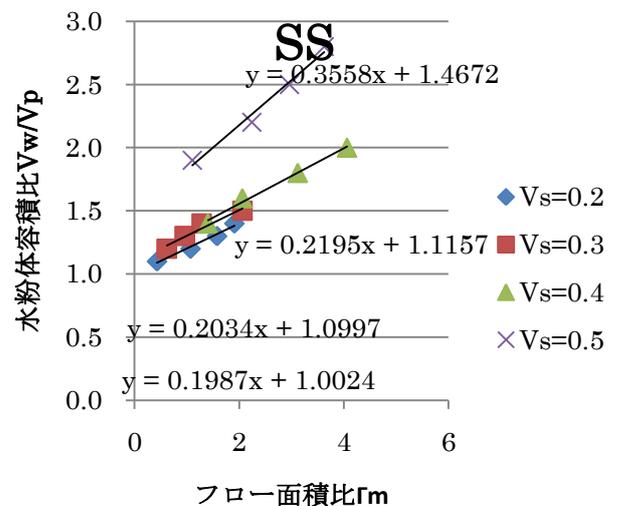


図 4 海砂 V_w/V_p とフロー面積比 Γ_m

3.3 拘束水比 β_s と算術平均粗さ

図5に砕砂の表面粗さである、算術平均粗さと3.2に示した細骨材の拘束水比 β_s との関係を示す。図5より、棒グラフの拘束水比 β_s と折れ線グラフの算術平均粗さが同じ傾向にあるのが見て取れる。これを確かにするため重回帰分析を行った。重回帰分析とは、多くの変数を取り扱い、変数相互の関係を関係式で表現し、作成した関数式を用いているいろいろなテーマを解決する手法である。つまり、回帰統計を行い貢献度（影響度、重要度）を明らかにする。今回は、より高い精度を得るため、重相関係数 R が0.9以上および自由度修正済決定係数 R^2 が0.8以上であれば、分析精度は非常に良いものとする。 $V_s=0.5$ の場合を除いて重相関係数 R が0.9以上、自由度修正済決定係数 R^2 が0.8以上あり、ともに影響度は、非常に高く、この2通りの試験は非常に相関性がみられた。そのためモルタルフロー試験で、算出される細骨材の拘束水比 β_s のみで、細骨材の粒子性状評価である算術平均粗さの評価は、可能である。

3.4 変形係数 E_s と内接円真円度指数

図6に砕砂の形状である、内接円真円度指数と3.2に示した細骨材の変形係数 E_s との関係を示す。図6より、棒グラフの変形係数 E_s と折れ線グラフの内接円真円度指数が同じ傾向にあるのが見て取れる。これを確かにするため、3.3と同じように重回帰分析を行った。今回も3.3と同じようにより良い精度を得るために、 R が0.9以上、 R^2 が0.8以上を基準値とする。 $V_s=0.3$ の場合を除いて R が0.9以上、 R^2 が0.8以上あり、ともに影響度は、非常に高い。また、 $V_s=0.3$ の場合も重相関係数 R が0.87、とほぼ0.9前後でありまた、自由度修正済決定係数 R^2 も0.76とほぼ0.8前後であり、この2通りの試験は非常に相関性が深いとみられる。そのためモルタルフロー試験で算出される、細骨材の変形係数 E_s のみで細骨材の粒子形状評価である内接円真円度指数 R の評価は、可能である。

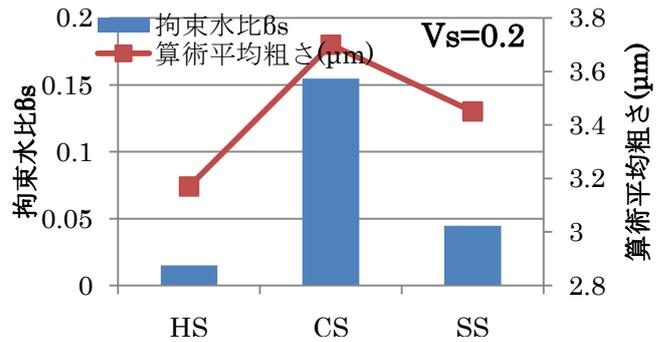


図5 算術平均粗さと拘束水比 β_s の関係 ($V_s=0.2$ の場合)

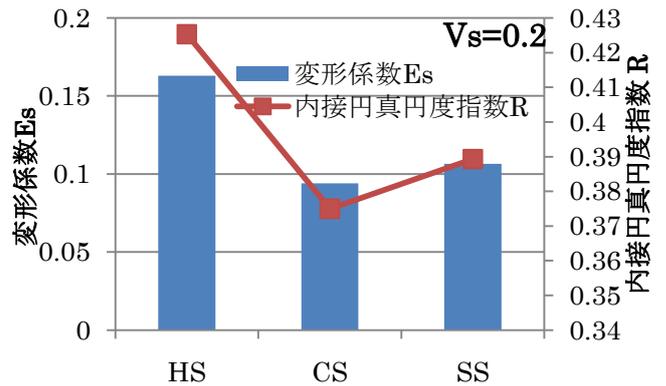


図6 変形係数と内接円真円度 ($V_s=0.2$ の場合)

4 まとめ

- 1, モルタルフロー試験により算出される細骨材の拘束水比 β_s と変形係数 E_s は、顕微鏡や画像解析装置による測定結果に深い相関性がみられ、モルタルフロー試験のみで間接的な細骨材の評価は可能である。
- 2, 過去の研究では、砕砂は、表面粗さ、形状に問題があり単位水量の増加による流動性の低下の問題を引き起こしていたが、粗さ、形状ともに一般的にコンクリート用細骨材として使用されている海砂とほぼ同等の値を得ていた。

5 参考文献

- 1) 田畑美紀他：研磨砕砂の簡易的な品質評価 コンクリート工学年次論文報集,pp 159-164 Vol.27,No.1.2006
- 2) 田畑美紀他：細骨材用研磨砕砂の品質評価、骨材の品質と有効利用に関するシンポジウム論文集,pp7-12,2005.12