

論文 砕砂の粒子性状改善がモルタルフローに及ぼす影響

高海 克彦^{*1}・田畑 美紀^{*2}・湯間 謙次^{*3}・古谷 治昭^{*4}

要旨：現在，瀬戸内海沿岸地域での海砂の採取規制による細骨材不足が深刻化している西日本では，代替材として砕砂に注目が集まっている。しかし砕砂は，表面が粗くコンクリートに使用した場合に単位水量が増加するという欠点がある。そこで本研究では，研磨砕砂の表面粗さおよび粒子形状を測定して改善効果を評価し，これがモルタルフロー値に与える影響について考察した。その結果，砕砂表面は研磨回数が増えると滑らかになること，粒子形状は研磨回数と相関性が低いことが確認できた。また，骨材の形状だけではなく表面の粗さが流動性に大きく影響することが分かった。

キーワード：材料，施工，骨材，砕砂，研磨，粗さ，形状，流動性

1. はじめに

川砂，海砂の採取規制に伴う西日本の骨材不足は近年深刻であり，代替材の開発が急がれている。海砂の代替材として注目され，現在使用量が年々増加しているのが砕砂であるが，砕砂をコンクリートに使用すると所要単位水量が増加するという欠点がある。我々は昨年度，砕砂表面を研磨することが品質改善につながり，一部の粒径の砕砂表面が滑らかになったことを報告している¹⁾。本研究では，2種類の研磨砕砂について粒径を3水準に分け，それぞれをレーザー顕微鏡，および非接触3次元画像測定器を用いて粒子性状改善効果を詳細に調査した。さらにその改善効果がモルタルフローに与える影響を粒径ごとに検討した。

2. 実験の概要

2.1 砕砂の種類

本研究で用いる試料は山口県産硬質砂岩砕砂と佐賀県産安山岩砕砂，および比較検討用の海砂の3種類である。使用する砕砂の原石データを表-1に示す。表-1から，硬質砂岩の方が

硬質であり，破碎，磨耗しづらい性質であると考えられる。また，表-2に2種類の原砂と海砂の物性値を示す。ここで，本論文中の安山岩の略称をAP，硬質砂岩の略称をHP，海砂をSSとし，記号後ろの数字は研磨回数を表す。なお，研磨方法は文献1)と同一である。海砂は研磨していない。

2.2 試験項目と概要

本研究では，研磨効果の比較・検討のため2種類の砕砂をそれぞれ3回まで研磨を行う。各研磨回数ごとに，JIS B 0601に規定される算術平均粗さ測定試験¹⁾，粒子形状測定試験およびモルタルフロー試験を行う。砕砂の評価としてJIS A 5005に粒径2.5mm～1.2mmを対象に粒形判定実積率試験があるが，本研究では粒径ごとの研磨特性を検討するために，粒径2.5mm～1.2mm，1.2mm～0.6mm，0.6mm～0.3mmの3水準に分けて測定・試験を行う。

2.3 粒子形状測定

粒子形状は，写真-1の非接触三次元画像測定器を用いて，安山岩AP0～AP3，硬質砂岩HP0～HP3，海砂SSの計9種類の砂に対して，各粒

*1 山口大学 工学部社会建設工学科助教授 工博 (正会員)

*2 山口大学 工学部社会建設工学科

*3 山口大学大学院 理工学研究科 社会建設工学専攻 (正会員)

*4 宇部テクノエンジ(株) (正会員)

径 3 水準を測定した。各粒径水準ごとの測定サンプル数は、文献 2) を参考に 30 粒とした。

測定項目は、写真 - 2 の投影画像の内接円の短径 A、内接円と同心円の外接円を用いた内接円真円度 B (JIS B 0660)、周長 L、断面積 a の 4 つである。

粒子の形状評価は、2 種類の指標を用いた。一

つは、円形度指数である。この円形度指数は、土質分野で吉村らが提案した凹凸係数²⁾と同意義である。コンクリート材料分野でもこの指標を用いた細骨材の粒子形状評価がなされている例が見られる³⁾。この指標は、粒子が真円形であれば 1 の値をとり、周長が長くなる即ち粒形がいびつになると 0 に近づく値をとるため、本



写真 - 1 非接触三次元画像測定器

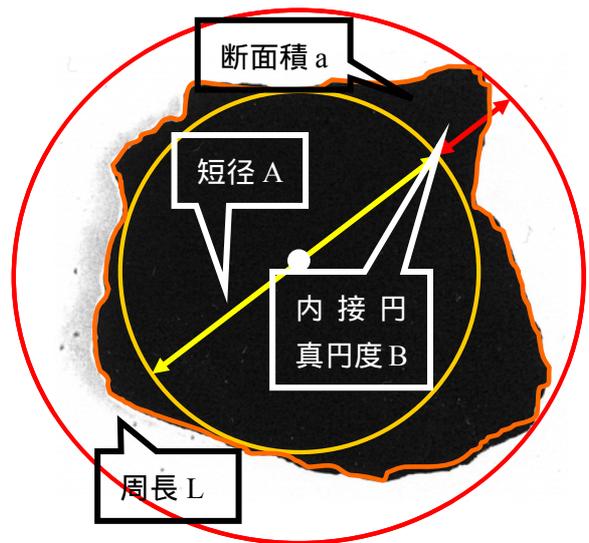


写真 - 2 投影画像

表 - 1 原石データ

	硬質砂岩 (山口県産)	安山岩 (佐賀県産)
圧縮強度 (N/mm ²)	258	118 ~ 137
ショア硬度	107	50 ~ 60
含有SiO ₂	62.7%	76.0%
ABR (磨耗性指数)	1420	140
BR (破碎性)	24.8%	29.9%

表 - 2 原砂, 海砂物性値

試料	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粒形判定実積率 (%)	FM	単位容積質量 (kg/l)
AP0	2.53	2.59	2.58	53	3.08	1.35
HP0	2.60	2.64	1.75	54	3.10	1.41
SS	2.58	2.61	1.16	55	2.59	1.39

研究ではこれを円形度指数（以下CI）とよび次式で表す。

$$CI=4 a/L^2 \quad (1)$$

粒子形状評価法の二つ目は、内接円真円度指数（R）である。これは、JIS B 0660 の規格に沿って計測した内接円真円度（写真 - 2 参照）を短径で除したものであり、次式で定義する。

$$R=B/A \quad (2)$$

粒子形状測定試験では各粒径レベルごとに 30 粒ずつ計測するが、30 粒全ての粒子短径がまったく同じ大きさというわけではないので、短径で内接円真円度を割ることで異なった粒径の粒子同士を比較できるように無次元化する。この指数は、粒子が真円形であれば 0 となり、形状がいびつになり角ばっているほど 0 よりも大きな数値をとることになる。

2.4 モルタルフロー試験

モルタルフロー試験は、用いる研磨砕砂の状態により大きく 2 つの試験を行った。一つは、研磨回数ごとに砂全量を研磨砂とした試験。もう一つは、粗粒率 2.7 に調整した原砂に対し、各研磨回数ごとの砕砂を粒径ごとに置換して行った試験。つまり、このフロー試験に用いる砂は、対象とする研磨回数の粒径レベルのみが、研磨

砂に置換されたものであり、それ以外は原砂である。モルタル配合は S/C=2.0,W/C=0.55 であり、試験方法は旧 JIS R 5210 の手順に従った。

3. 実験結果

3.1 算術平均粗さ測定結果

粒径別算術平均粗さの平均値と標準偏差を図 - 1 ~ 図 3 に示す。図より研磨回数が増加するごとに安山岩、硬質砂岩共に各粒径で算術平均粗さ平均値が減少し表面が滑らかになっていることが分かる。また、原石は硬質砂岩のほうが硬い性質を持ちながら、砕砂の研磨により、粒径 2.5mm ~ 1.2mm および 1.2mm ~ 0.6mm では安山岩よりも滑らかな砕砂となる傾向がみられる。ただし、その原砂からの低下度合いは、砕砂の種類および粒径で異なる。今回は安山岩粒径 2.5mm ~ 1.2mm は、他の粒径より低下量が少ないこと、粒径別では、粒径 1.2mm ~ 0.6mm において両砕砂とも算術平均粗さの低下量が大きく、即ち表面が滑らかになる改善効果が良く現れたといえる。

図中の海砂の算術平均粗さに対し、安山岩、硬質砂岩共に研磨 1 回もしくは 2 回の研磨で海砂の算術平均粗さ平均値を下回っている。このことから、今回砕砂を 1~2 回研磨すれば海砂以上の表面の滑らかさの砕砂を得ることができると思われる。

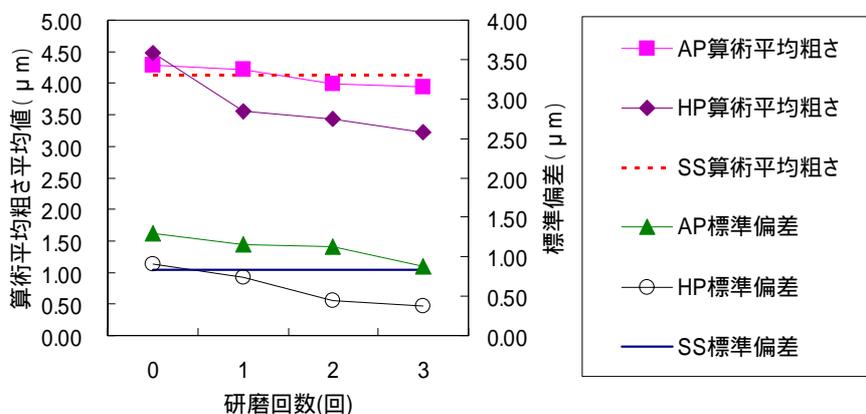


図 - 1 粒径 2.5 ~ 1.2 算術平均粗さ平均値と標準偏差

研磨砕砂の粗さのばらつきを表す標準偏差について、図より各粒径で安山岩、硬質砂岩共に研磨回数が増加するごとにばらつきが減少し、より均一な砕砂が得られていることがわかる。また安山岩粒径 2.5mm ~ 1.2mm を除いて、各粒径で 1

回の研磨で標準偏差が海砂の標準偏差を下回っている。また、算術平均粗さ平均値と同様に、粒径 2.5mm ~ 1.2mm よりも粒径 1.2mm ~ 0.6mm、0.6mm ~ 0.3mm のほうが標準偏差の低下量が少なく、安山岩よりも硬質砂岩の方が標準偏差が

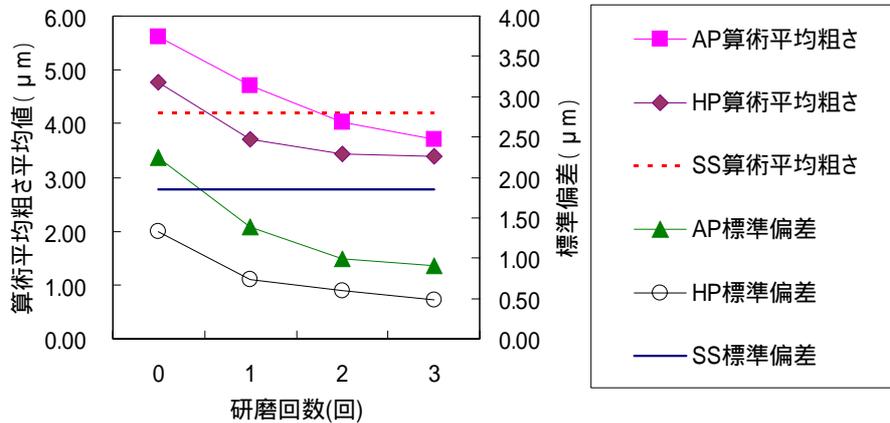


図 - 2 粒径 1.2 ~ 0.6 算術平均粗さ平均値と標準偏差

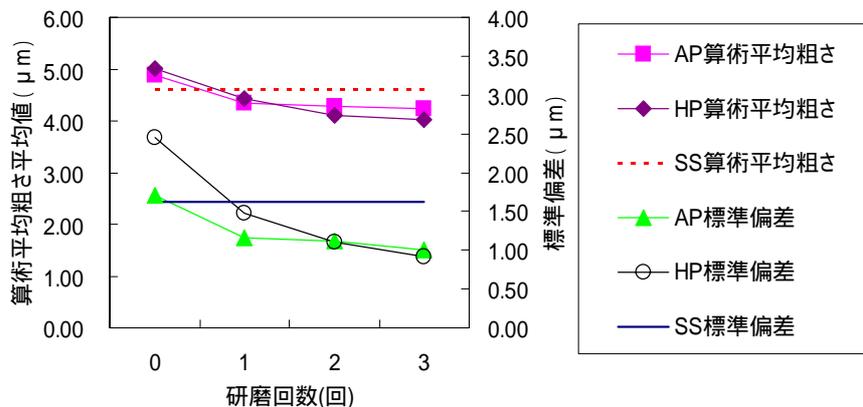


図 - 3 粒径 0.6 ~ 0.3 算術平均粗さ平均値と標準偏差

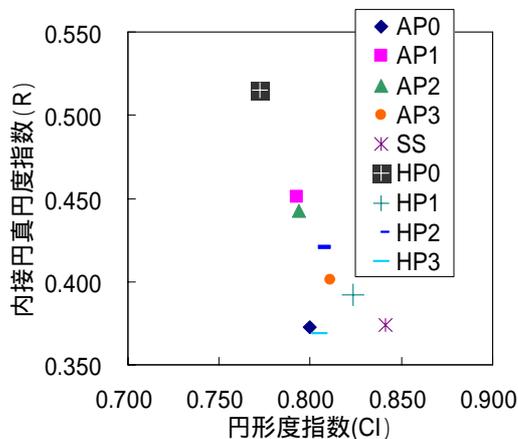


図 - 4 粒径 2.5mm ~ 1.2mm の円形度指数(CI)と内接円真円度指数(R)の関係

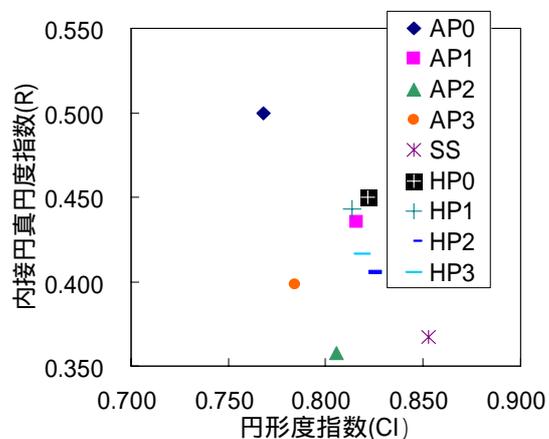


図 - 5 粒径 1.2mm ~ 0.6mm の円形度指数(CI)と内接円真円度指数(R)の関係

小さいことがわかった。

3.2 粒子形状測定結果

粒子形状測定結果を、図 - 4 ~ 図 - 6 に示す。2.3 で述べたように円形度指数(CI)は 1 に近いほど、また内接円真円度指数(R)は 0 に近いほどその粒子が円形であることを表しているため、図 - 4 ~ 図 - 6 はプロットが図中の右下にある砂ほど形状が丸いことを示す。図 - 4 ~ 図 - 5 より 粒径 2.5 mm ~ 1.2 mm および 1.2 mm ~ 0.6 mm で、円形度指数(CI)による評価では、海砂がいずれの砕砂より形状が丸いことがわかる。図 - 4 の粒径 2.5 mm ~ 1.2 mm の安山岩では、AP1、AP2、そして AP3 と研磨回数が増えるとプロットが右下がりに配置され、研磨により粒子形状が丸くなっていることを示している。しかし一方、AP0 は円形度指数は他の研磨後砕砂とほぼ変わらないものの、内接円真円度指数は最下位にあり、粒子が丸いと評価されている。硬質砂岩は、研磨により原砂に比べると丸くなっているが、その回数とには、明確な整合性はみられていない。図 - 5 の粒径 1.2mm ~ 0.6mm の場合についても、丸さ評価について図 - 4 と同様の傾向がある。図 - 6 の粒径 0.6mm ~ 0.3mm の砕砂について、研磨回数が 3 回となると安山岩、硬質砂岩ともに海砂よりも丸く加工されることが分かる。またこの粒径においても、他の粒径と同様、原砂に比べると研磨により粒径が丸くなっているが、特に硬質砂岩では研磨回数との関係は見られない。

以上のことから、砕砂表面を研磨することで粒子形状が改善されると考えることができるが、その評価を今回用いた円形度指数や内接円真円度指数で行うと、研磨回数と粒形改善度との強い整合性は見出せない。

3.3 研磨回数、粒径別置換時モルタルフロー値

研磨回数別モルタルフロー値を図 - 7 に示す。原砂を用いたフロー値は、両砕砂とも海砂を用いた場合より約 20mm 少ないが、1 回の研磨をするとフロー値が海砂とで、安山岩では同等、硬質砂岩では大きい結果が得られている。フロー値に対して、1 回目の研磨による改善効果が大きいことが分かる。

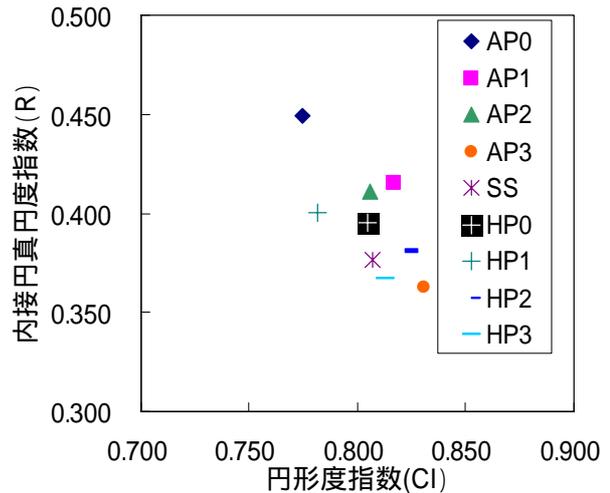


図 - 6 粒径 0.6mm ~ 0.3mm の円形度指数 (CI) と内接円真円度指数 (R) の関係

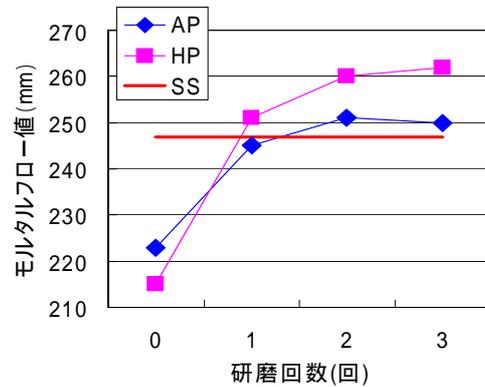


図 - 7 研磨回数別モルタルフロー値

次に粒径別置換時モルタルフロー値を図 - 8、図 - 9 に示す。図 - 8 より、粒径 2.5mm ~ 1.2mm 置換時のモルタルフロー値がほとんど増加していないことがわかる。それとは対照的に粒径 1.2mm ~ 0.6mm、0.6mm ~ 0.3mm については図 - 7 に示す安山岩の研磨回数別モルタルフロー値とほぼ同じ程度まで増加している。また、この傾向は、図 - 9 に示す硬質砂岩でも観察できる。この両図から、研磨によるモルタルフロー値の増加は、粒径 1.2mm ~ 0.6mm、0.6mm ~ 0.3mm の粒子の性状の改善効果に起因すると考えられる。ここで、砕砂粒子改善効果の指標とする図 - 1 ~ 図 - 3 の算術平均粗さおよび図 - 4 ~ 図 - 6 に示す円形度指数や内接円真円度指数と研磨回数

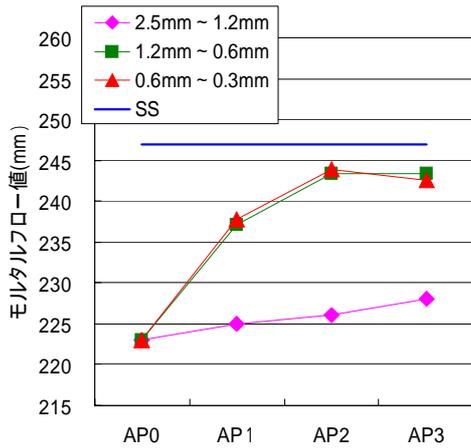


図 - 8 安山岩粒径別置換時モルタルフロー値

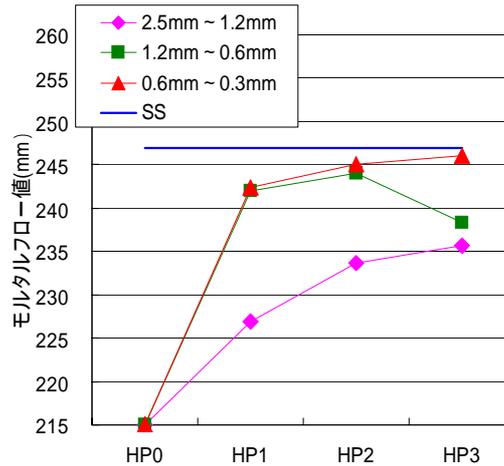


図 - 9 硬質砂岩粒径別置換時モルタルフロー値

ルタルフロー値の関係について考察する。前述したように、安山岩、硬質砂岩共に研磨回数が増えると算術平均粗さが低下し、それに対応してモルタルフロー値が増加している。また、図 - 1, 図 - 8 より、安山岩粒径 2.5mm ~ 1.2mm においては、研磨回数を重ねても算術平均粗さの減少量、モルタルフロー値の増加量共にわずかであることがわかる。これらのことから、粒子表面滑らかさとモルタルの流動性の間には高い定性的な相関性があると考えられる。

一方、粒子形状改善について、図 - 4, 図 - 8 より、硬質砂岩粒径 2.5mm ~ 1.2mm では、HP0 ~ HP1 で大きな粒形改善がみられるにもかかわらずモルタルフロー値の増加量が少ない。また、図 - 4, 図 - 9 より、安山岩粒径 2.5mm ~ 1.2mm では、AP0 よりも AP1 ~ AP3 の形状が悪いにも関わらず、モルタルフロー値が増加している。これらのことから、粒径 1.2mm ~ 0.6mm, 0.6mm ~ 0.3mm の粒子の粒子形状とモルタルの流動性の間には相関性はあるものの、2.5mm ~ 1.2mm については相関関係がみられなかった。

4. 結論

本研究での結果をまとめると次のようになる。
1)算術平均粗さ測定から、砕砂を研磨することで表面を滑らかにすると同時にある一定の粗さに加工できると考えることができる。

2)粒子形状測定から、研磨することである程度粒子は丸くなるが、研磨回数との相関性は見られなかった。

3)モルタルフロー試験から、フロー値と粒子表面粗さには高い相関が見られるが、円形度指数および内接円真円度指数で評価する粒形改善とは明確な整合性が見られなかった。

4)粒径 2.5mm ~ 1.2mm が流動性に及ぼす影響は他の粒径に比べて小さいと思われる。

今回、砕砂の研磨方法は参考文献 1) での方法を踏襲したが、今後、研磨砕砂製造機の運転方法と砕砂の表面性状改善効果度との関係を解明することが必要である。

参考文献

- 1)湯間謙次・高海克彦・古谷治昭・浜田純夫：研磨砕砂の物性評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，pp.111-116，2004.7
- 2)吉村優治・小川正二：砂のような粒状態の粒子形状の簡易な定量化法，土木学会論文集，- 22，No.463，pp.95-103，1993.3
- 3)藤井学・阪田憲次・為沢長雄・川上俊器：細骨材の粒子形状改善がモルタルの諸性状に及ぼす影響，コンクリート工学論文集，第7巻第1号，pp.67-76，1996.1