

論文 研磨砕砂の物性評価

湯間 謙次*1・高海 克彦*2・古谷 治昭*3・浜田 純夫*4

要旨：近年，海砂採取規制により，代替砂として砕砂が注目を浴びているが，砕砂は表面が粗く，単位水量が増加するなどの課題がある。そこで本研究では，2種類の砕砂を対象に研磨砕砂製造機を用いて砕砂の表面形状を改良し，研磨砕砂の物性を検討した。その結果，いずれの砕砂も研磨回数を重ねるごとに密度，単位容積質量，フロー値が増加し，吸水率が減少し，また砕砂表面の算術平均粗さが減少するという品質改善がなされていることが確認できた。

キーワード：材料，施工，骨材，砕砂，研磨

1. はじめに

西日本で用いられているコンクリート用細骨材は，80～90%が海砂である。しかし，平成15年現在，瀬戸内海沿岸地方のほとんどの地域で海砂採取が禁止されており，海砂代替砂の開発が急がれている。現在，海砂代替砂として豊富に供給が期待されるものとして砕砂が挙げられ，使用にあたりJIS A 5005で品質規格が定められている。しかし，砕砂は表面が粗くコンクリート用細骨材として使用した場合に単位水量が増加するため，品質の改善が求められる。砕砂を多量に用いたコンクリートについての既往の研究¹⁾では，コンクリートの特性については報告があるが，砕砂そのものの物性の評価は十分なされていない。そこで，本研究では2種類の原砕砂を研磨砕砂製造機で研磨し，各種骨材試験および一部レーザー顕微鏡を用いた算術平均粗さの測定によって研磨砕砂の品質を評価した。

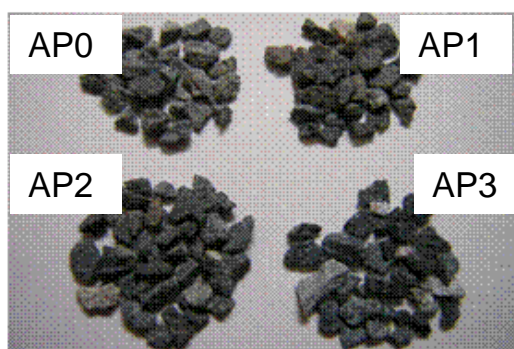


写真-1 安山岩砕砂試料

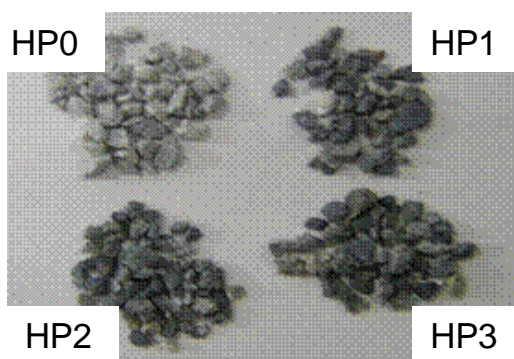


写真-2 硬質砂岩砕砂試料

2. 実験の概要

2.1 砕砂の種類

本研究で使用する砕砂は，佐賀県産安山岩，山口県産硬質砂岩の2種類であり，これを研磨

して砕砂試料とした。写真-1および写真-2に粒径2.5mm～1.2mmの試料を示す。試料名において，APは安山岩を，HPは硬質砂岩を，記号後ろの数字は研磨回数を表す。試料を目視で観

*1 山口大学大学院 理工学研究科社会建設工学専攻

*2 山口大学 工学部社会建設工学科助教授

*3 宇部テクノエンジニア株式会社

*4 山口大学 工学部社会建設工学科教授

察しても，研磨による表面性状の差異は判別できない。研磨前の原砂（AP0 および HP0）の骨材試験結果を表 - 1 および表 - 2 に示す。

2.2 研磨砕砂製造機と作業概要

研磨砕砂製造機は図 - 1 および写真 - 3 に示すように砕砂投入部，円筒形ドラム，排出部で構成されており，円筒形ドラムの内部には定められた粒度（80～130mm）の媒体石がドラム径の約 1/3 投入されており，これが砕砂を研磨する。

砕砂研磨過程は，次のようである。砕砂と水を約 4:1 の割合で順次投入部から投入する。研磨された後，排出部からは研磨砕砂と水と一緒に排出される。研磨した際に発生する微粒分は，この水を分離する過程で洗い流される。水を分離した後，研磨砕砂は天日干しを行い回収する。研磨回数ごとに，この工程を繰り返す。

2.3 試験項目と試験方法

本研究で用いる 2 種類の砕砂をそれぞれ 3 回まで研磨し，研磨回数ごとに骨材試験，算術平均粗さの算出を行う。試験項目と試験方法を表 - 3 に示す。なお，試験項目のうち単位容積質量と粒径判定実積率については，粒径範囲ごとの研磨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 水準に分けた。また，モルタルフロー試験は粗粒率 2.7 に粒度調整した後に実施する。

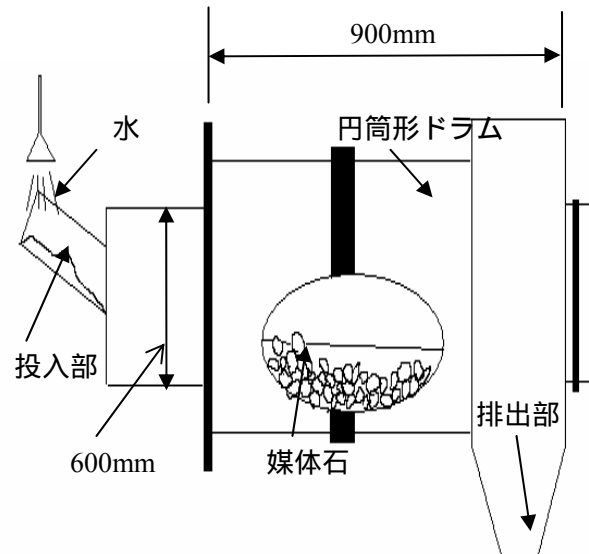


図 - 1 研磨砕砂製造機の構造



写真 - 3 研磨砕砂製造機

表 - 1 安山岩原砂の原砂の品質

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	モルタルフ ロー値(mm)	単位容積質量 (kg/ℓ)
AP0	2.51	2.59	3.2	54.99	3.08	196.08	1.38

表 - 2 硬質砂岩原砂の品質

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	モルタルフ ロー値(mm)	単位容積質量 (kg/ℓ)
HP0	2.63	2.680	1.68	55.77	3.07	194.53	1.47

2.4 レーザ顕微鏡による測定

本研究で用いたレーザー顕微鏡を写真 - 4 に示す。この装置を用いて、砕砂一粒毎に表面の凹凸を測定し、画像処理することにより JIS の表面粗さの定義 (B 0601) に基づいた算術平均粗さを求める。算術平均粗さは、各試料の粒径 2.5mm ~ 1.2mm を各々 30 粒をサンプルとした。

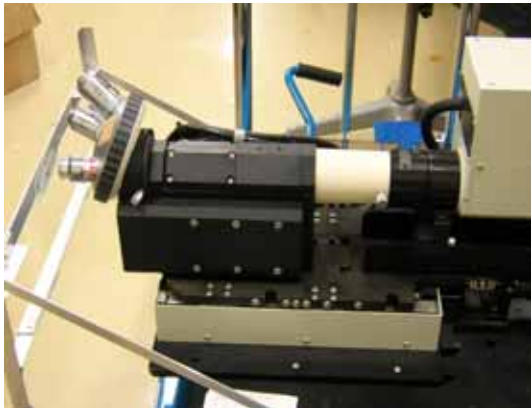


写真 - 4 走査型レーザー顕微鏡 1LM21

3. 実験結果

3.1 骨材試験結果

図 - 2 および図 - 3 に試料 AP, HP の粒度分布曲線を示す。図より、AP, HP 共に、研磨回数が増えると 1.0mm 以下の細粒分が増加している。硬質砂岩は細粒分が均等に増加しているのに対し、安山岩は 0.3mm 以下の増加割合が大きく、研磨作用の岩種による差異が表れている。

次に、図 - 4 ~ 6 に研磨による表乾密度、絶乾密度および吸水率の変化量を示す。なお、図 6 の横軸記号 (P0 ~ P3) は研磨回数を表す。試料 AP, HP 共に研磨回数が増えると絶乾および表乾密度は増加し、吸水率は減少している。これは研磨により砂内部のマイクロクラックが減り、砂の密実度が増加したものと思われる。ただし、試料 HP の表乾密度の増加量は試料 AP に比べて小さく、ここにも研磨効果の差が現れている。

図 - 7 にモルタルフロー値の試験結果を示す。試料 AP, HP 共に研磨回数が増えるとモルタルフロー値が増加している。これは、研磨により砕砂の粒子の粗さが減少していることを示している。また、研磨効果は、2 回目、3 回目に比べて

表 - 3 砕砂の試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
密度, 吸水率	JIS A 1109
ふるいわけ	JIS A 1102
単位容積質量	JIS A 1104
粒形判定実積率	JIS A 5005 5.8
モルタルフロー	JIS R 5210

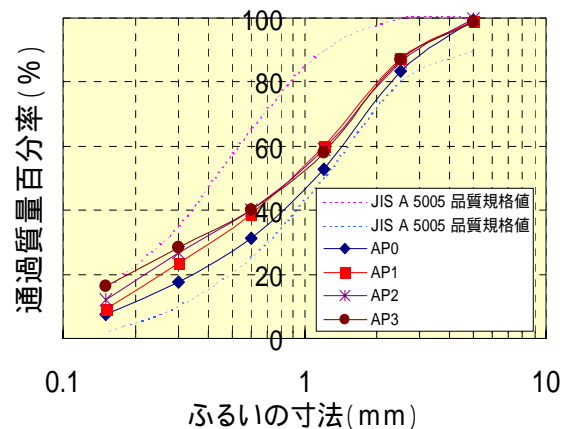


図 - 2 安山岩の粒度分布曲線

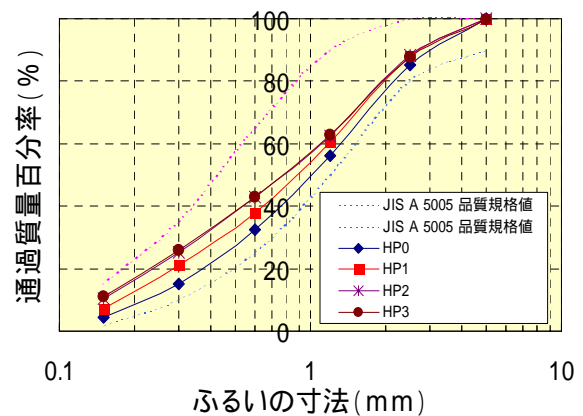


図 - 3 硬質砂岩の粒度分布曲線

て 1 回目に強く現れている。

図 - 8 ~ 図 - 11 に試料 AP, HP の単位容積質量、粒形判定実積率の粒径水準別の結果を示す。まず単位容積質量について、密度、モルタルフロー値と同様、砕砂 AP, HP の 3 水準全てにおいて研磨回数が増えると増加している。なかでも粒径 1.2mm ~ 0.6mm では砕砂 AP, HP 共に粒

径 2.5mm ~ 1.2mm よりも単位容積質量の増加の割合が大きかった。このことから、研磨砕砂製造機の研磨効果は粒径 1.2mm ~ 0.6mm で最も大きいことがわかる。また、図 - 9 から、粒径 0.6mm ~ 0.3mm の試料 HP1 ~ HP2 で単位容積質量が増加していないことがわかる。これは、図 - 3 で考察したように、硬質砂岩は研磨により粒径 0.6mm ~ 0.3mm の粒が均等に増加し粒度の組成は研磨前とほとんど変わらないからであると思われる。それに対して、安山岩は研磨により粒度の組成において細粒分が多くなったため、単位容積質量の増加につながったと考えられる。

図 - 10、図 - 11 に砕砂の粒形判定実積率を示す。JIS の粒形判定実積率では、粒径 2.5mm ~ 1.2mm の砕砂をサンプルとするが、研磨効果を比較するために、粒径 1.2mm ~ 0.6mm および粒径 0.6mm ~ 0.3mm に対しても粒形判定実積率を求めた。粒形実積判定率は研磨により増加し、いわゆる砕砂の品質改善がされている。しかし、安山岩において粒径 1.2mm ~ 0.6mm および 0.6mm ~ 0.3mm の試料が 1 回目から 2 回目の研磨で、また硬質砂岩では研磨後の粒径 0.6mm ~ 0.3mm ものは全て粒形判定実積率が減少している。

もともと、粒形判定実積率とは次の式(1)で求められている。

$$G = (T \times (100 + Q)) \div D_s \quad (1)$$

G : 粒径判定実積率 T : 単位容積質量

Q : 吸水率

D_s : 表乾密度

式(1)で示されるように、粒形判定実積率は骨材試験で得られる吸水率、単位容積質量および表乾密度から求められる。今回の研磨砕砂では吸水率の減少、表乾密度の増加、および図 - 9 において考察した硬質砂岩の単位容積質量の増加傾向以上に影響したため、本研究の骨材試験で得た粒形判定実積率は減少したと考えられる。

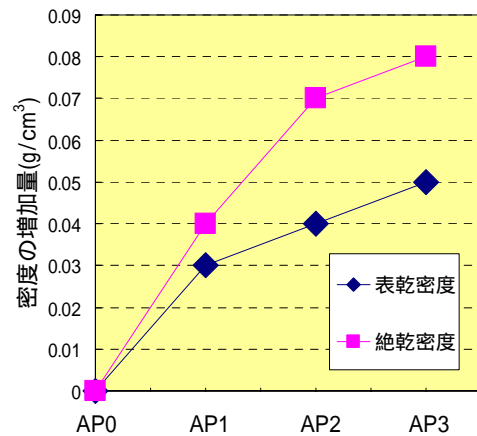


図 - 4 安山岩の表乾、絶乾密度

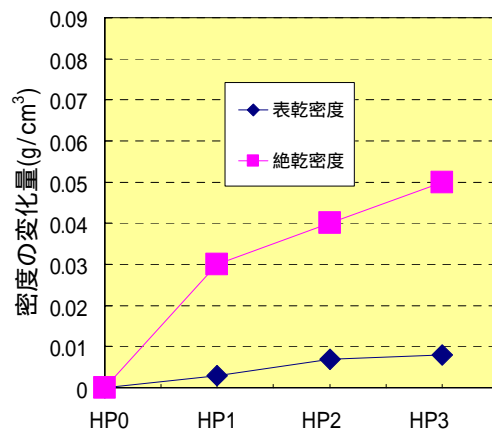


図 - 5 硬質砂岩の表乾、絶乾密度

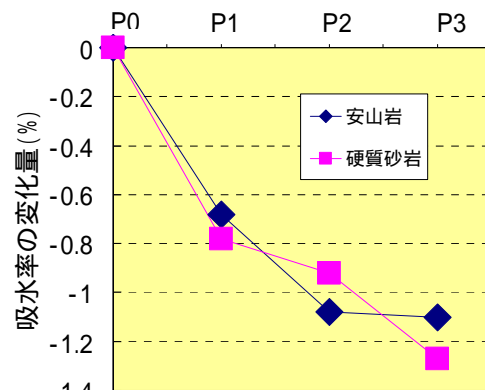


図 - 6 安山岩、硬質砂岩の吸水率

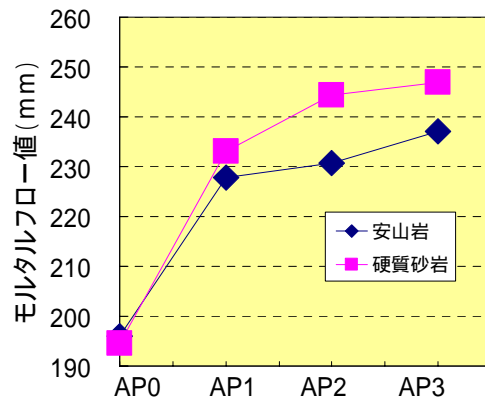


図 - 7 安山岩 硬質砂岩のモルタルフロー

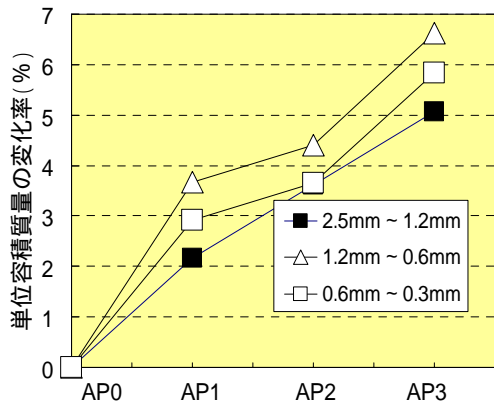


図 - 8 安山岩の単位容積質量

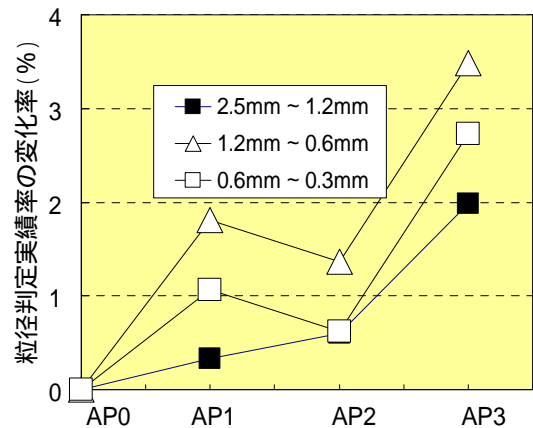


図 - 10 安山岩の粒径判定実積率

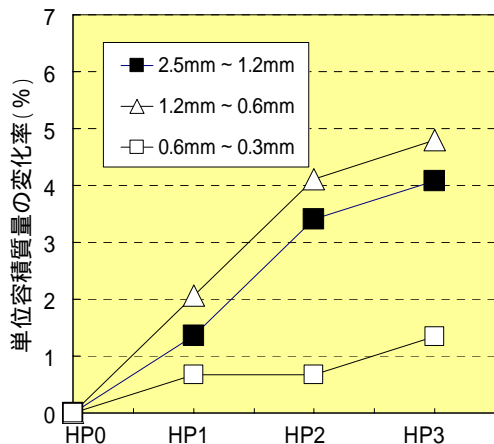


図 - 9 硬質砂岩の単位容積質量

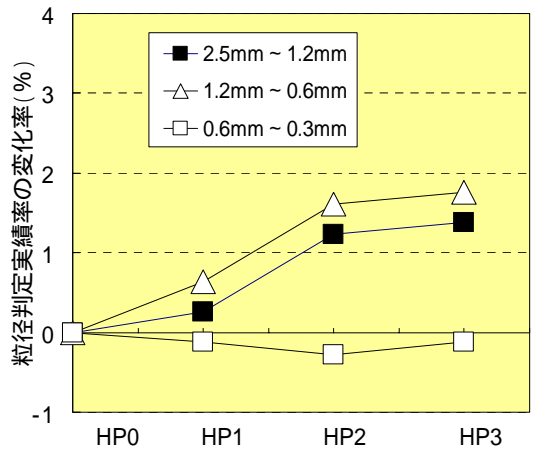


図 - 11 硬質砂岩の粒径判定実積率

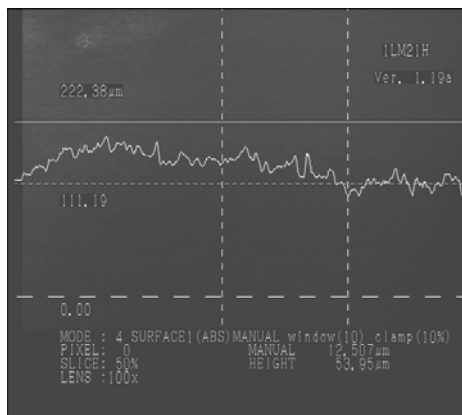


図 - 12 走査型レーザー顕微鏡を用いた算術平均粗さのグラフ

3.2 走査型レーザー顕微鏡を用いた算術平均粗さ (Ra) の測定結果

図 - 12 に走査型レーザー顕微鏡で撮影した安山岩砕砂表面の凹凸画像(図中の波線)を示す。算術平均粗さ (Ra) とは、この凹凸を画像処理し、横軸方向 (x) の基準長 L に対し、縦軸方向の粗さ y を $y = f(x)$ で表した時、次式で定義さ

れる数値 (μm) である。

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \quad (2)$$

算術平均粗さの数値の小さいものほど、表面が滑らかであることを表している。この実験では研磨回数ごとの粒径 2.5mm ~ 1.2mm を各回 30 粒ずつ、合計 120 粒を計測した。安山岩砕砂について、算術平均粗さとその相対度数分布を図 - 13 に示す。

図 - 13 より、研磨していない試料 AP0 の算術平均粗さはばらつきがみられ、粗いものも滑らかなものも混在している。しかし、研磨回数を増やすと算術平均粗さは減少し、最頻値時の相対度数も大きくなっている。また、それを数値的に示した表 - 4 から、研磨回数を増やすと平均値 (粗さ) は減少し、また標準偏差 (粗さのばらつき) 共に減少していることがわかる。つまり、研磨により砕砂の表面が単に滑らかになる

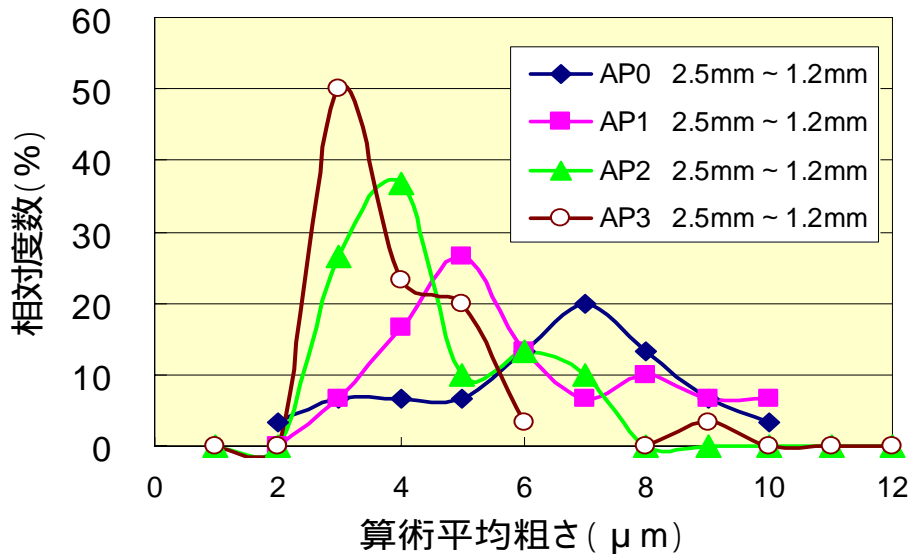


図 - 13 安山岩粒形 2.5mm ~ 1.2mm の算術平均粗さ

だけでなく、ある一定の滑らかさに加工することができることを示唆していると考えられる。

さらに、算術平均粗さの信頼係数を 95% に設定したときの、統計的推定による算術平均粗さの信頼区間とその幅を表 - 5 に示す。表 - 5 より、研磨回数を増やすごとに算術平均粗さの 95% 信頼区間は粗さの小さい方に移行し、かつその幅が小さくなっている。このことから、研磨をすると砕砂は滑らかさが増すと同時にその滑らかさのばらつきが減少することが分かる。

表 - 4 AP0 ~ AP3 の粒径 2.5mm ~ 1.2mm の標準偏差と算術平均粗さの平均値

	AP0	AP1	AP2	AP3
標準偏差 (μm)	3.59	3.05	1.31	1.30
平均値 (μm)	8.40	7.08	4.88	4.47

表 - 5 信頼水準 95% の信頼区間とその幅

	AP0	AP1	AP2	AP3
信頼区間の幅 (μm)	1.34	1.14	0.49	0.48
信頼区間 (μm)	9.74 ~ 7.06	8.21 ~ 5.93	5.37 ~ 4.39	4.95 ~ 3.99

4. 結論

研磨砕砂製造機で製造した研磨砕砂の骨材試験および一部走査型レーザー顕微鏡での算術平均粗さの測定結果をまとめると次のようになる。

- 1) 密度, 吸水率, モルタルフロー試験結果から、砕砂は研磨回数を増やすごとに密度とフロー値が増し、吸水率が減少し、砕砂の品質改善がなされていることが示された。
- 2) 単位容積質量試験結果から、砕砂により研磨効果が異なり、粒度に応じて単位容積質量が増える場合とほとんど変化が無い場合があることがわかった。また、それにより算定される粒形判定実積率も、硬質砕砂の粒径 0.6mm ~ 0.3mm では研磨によりかえって減少した。
- 3) 研磨性状をレーザー顕微鏡で測定し、算術平均粗さを算出することで、砕砂の表面性状を数値的に評価することが可能となった。

今後、研磨砕砂製造機の運転性能と砕砂の研磨度の関係を検討する予定である。

参考文献

- 1) 池田 正志, 大河原 行省, 辻 幸和, 田澤 栄一: 表面形状を改善した砕砂を用いたコンクリートの性状, コンクリート工学, Vol.15, No.1, pp.251-256, 1993