

高炉スラグ微粉末・細骨材による空隙構造の緻密化の違いと硬化物性に与える影響

名古屋工業大学	学生会員	○青山	和将
名古屋工業大学	正会員	吉田	亮
竹本油脂株式会社	正会員	齊藤	和秀
JFE ミネラル株式会社	正会員	吉澤	千秋
名古屋工業大学	フェロー	梅原	秀哲

1.はじめに

近年、コンクリート用天然骨材の枯渇や品質の低下が問題となり、天然砂の採取が規制されている。そのため、従来から使用されてきた川砂、海砂の代替として高炉スラグ細骨材が注目されている。高炉スラグ細骨材は、潜在水硬性を有し、乾燥収縮の低減、中性化の抑制、長期強度増進といった硬化物性改善効果¹⁾が期待できることが知られているがそのメカニズムの詳細は明らかになっていない。本研究では高炉スラグ細骨材に含まれる微粒分(微粉末)と微粉末を洗浄した細骨材を用いたコンクリートの空隙構造の緻密化の差異と各種硬化物性への影響について検討を行った。

2.実験概要

2.1 使用材料・配合

供試体は、普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末(SgP)、高炉スラグ細骨材:JFE ミネラル(SgS1)、新日鉄住金製(SgS2)、大井川産陸砂(S1)、岡崎産碎石(G1)、混和剤として高性能 AE 減水剤(EX60)、AE 調整剤(AE)を使用して作製した。水セメント比を 50%、単位水量を一定とし、高炉スラグ細骨材を 0、100 vol% で置換し、微粒分添加率は、0、2、5 vol%とした。また、高炉スラグ細骨材の洗浄し微粒分を取り除いたものを SgS1w、SgS2w と表記する。洗浄処理にについては、試験の前日に微粒分試験の容量で微粒分を洗浄し、懸濁水を 0.15 mm の角ふるいで受け、0.15 mm 以下を洗い流した。乾燥後、表面水補正して使用した。スランプは 9.5～13.0 cm 空気量は 5.3～6.2 cm の範囲に収まった。配合は表 1 に示す。

2.2 空隙率試験

φ 100×50 mm の円盤供試体を作製し、材齢 28 日まで水中養生を行い、アルキメデス法により体積と湿潤質量の計測を行った。その後、アセトン浸漬を行い、

温度 20℃、湿度 50%の恒温・恒湿環境下で質量が恒量になるまで乾燥させた。供試体質量が恒量になった後に、再び供試体の質量測定を行い、湿潤質量と乾燥質量の差から空隙率を算出した。

2.3 透気試験

空隙率の算出を行った供試体を用いて測定を行った。試験の負荷圧力は 0.2～0.3 MPa の範囲で行い、測定は水上置換法を用いて透気量を測定した。

2.4 圧縮強度試験

φ 100×200 mm 鋼製型枠を用いた。また測定は JIS A 1108 に準拠して行った。

2.5 乾燥収縮試験

100×100×400 mm の供試体を材齢 7 日まで水中養生をおこなった後基長を測定し、試験は 20℃、湿度 60%の環境下で測定は JIS A 1129 に準拠して行った。

2.6 促進中性化試験

φ 100×200 mm 鋼製型枠を用い、材齢 28 日まで標準養生後、中心部から φ 100×50 mm の供試体を切り出した。測定は JIS A 1153 に準拠して行った。

2.7 水銀圧入試験

透気試験を行った供試体から 8×8×8 mm のモルタル部分だけを取り出し、試料を作製した。前処理としてアセトンに 24 時間浸漬させた後 11℃、R.H.70%の環境下でシリカゲルを敷き詰めたデシケーター内にて、48 時間真空乾燥させ、水銀圧入試験を行った。

表 1. 配合、フレッシュ性状

種別	単位量(kg/m ³)						EX60 (C×%)	AE剤 (A)
	W	C	S1	SgS	微粒分	G		
S1-G1	175	350	671	0	0	1072	0.00	10
S1-SgP2-G1	175	350	658	0	15	1072	0.20	10
SgS1-G1	175	350	0	715	0	1072	0.20	4.0
SgS1w-G1	175	350	0	715	0	1072	0.20	1.5
SgS1w-SgP2-G1	175	350	0	701	15	1072	0.20	1.0
SgS1w-SgP5-G1	175	350	0	680	38	1072	0.20	1.0
SgS2-G1	175	350	0	713	0	1072	0.20	1.0
SgS2w-G1	175	350	0	713	0	1072	0.20	1.0

キーワード：高炉スラグ細骨材、高炉スラグ微粉末、空隙率、硬化物性、緻密化
連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院 TEL 052-735-512

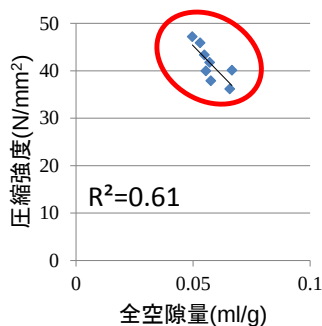


図1 圧縮強度との関係

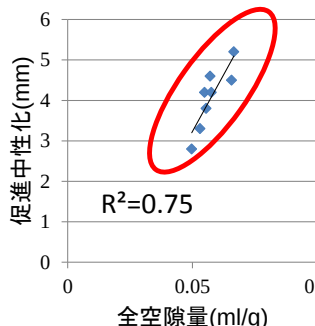


図2 促進中性化との関係

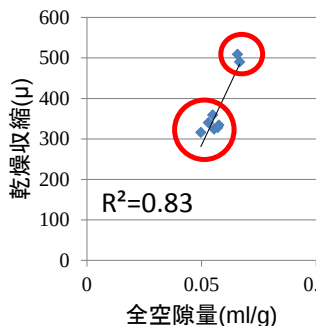


図3 乾燥収縮との関係

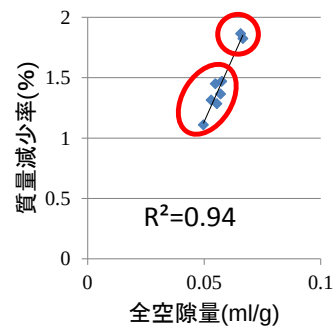


図4 質量減少率との関係

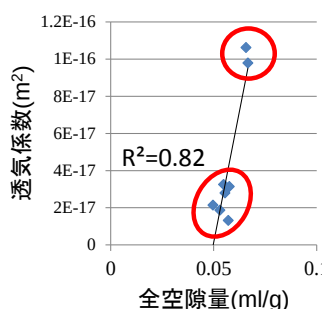


図5 透気係数との関係

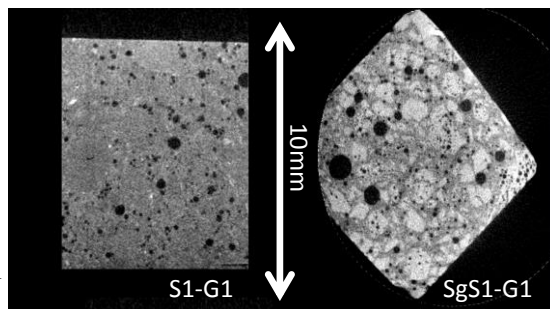


図6 CT 普通細骨材、スラグ細骨材 CT 画像

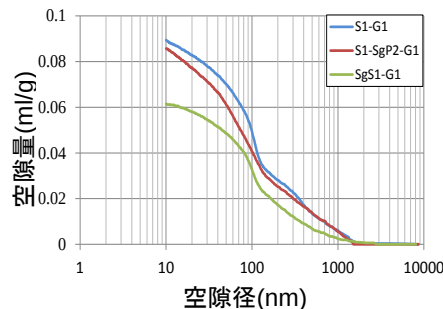


図7 累計空隙量と空隙径の関係

2.8 X-CT

上記と同様に 8×8×8 mm の微量の骨材を含むモルタル試料を作製し、これらを用いて X 線 CT による CT 画像分析を行い細骨材まわりの空隙の観察を行った。

3. 実験結果と考察

図 1-5 に空隙率試験によって求めた空隙量と各硬化物性との関係を示した。図 1-2 の圧縮強度、促進中性化との関係は集団がまとまっているのに対し、図 3-5 の乾燥収縮と質量減少率、透気試験の関係は 2 集団であることが確認できる。また 2 集団の上部に位置しているものが普通細骨材を用いたものである。これは普通細骨材から高炉スラグ細骨材に置換することによる空隙量の変化に対し、物性の変化が大きくなることを示しており、空隙率ではなく空隙構造が乾燥収縮などの物性に大きく影響していることを示唆している。

X-CT による普通細骨材(左)とスラグ細骨材(右)の CT 画像を図 7 に示す。CT 画像分析では解像度の問題から骨材まわりの遷移帯の観察はできなかった。しかし普通細骨材を用いた試料よりも高炉スラグ細骨材を用いた試料の方が、モルタル部が白く写っていることが確認できた。これは高炉スラグ細骨材の X 線吸収率の影響もあるが、ペースト部分の空隙構造が緻密になったことを定性的に示している。

次に空隙構造をより詳細に検討するために水銀圧入試験結果を図 6 に示す。スラグ微粉末(2%)、スラグ細

骨材、普通細骨材を用いた試料を比較すると、普通細骨材に微粉末を 2 % 添加したものは直径 400 nm 程度まで普通細骨材のみを用いたものとほぼ同じ空隙量曲線を示し 100 nm 以下において、空隙量が減少していることがわかる。このことから、スラグ微粉末は 100 nm 以下の毛細管空隙の緻密化に寄与していることが示唆される。一方で、スラグ細骨材を用いた試料では、400 nm 以上、100 nm 以下の両方の領域で、普通細骨材、スラグ微粉末を用いた試料より空隙量が減少している。このことから、スラグ細骨材は毛細管空隙と細骨材まわりの遷移帯を緻密化していることが示唆される。

4. まとめ

本研究では、スラグ細骨材に含まれる微粉末と微粉末を除去した細骨材による空隙構造の緻密化、そして硬化物性への影響について、分離して捉えることを試みた。その結果、高炉スラグ微粉末は毛細管空隙を緻密化し、スラグ細骨材は毛細管空隙と細骨材まわりの遷移帯の 2 つの構造を緻密化していることがわかった。そして、スラグ細骨材による空隙構造の緻密化により透気係数などの水分や気体など物質移動に関する硬化物性は向上することがわかった。

参考文献:

- 1) 齊藤和秀ほか: 高炉スラグ細骨材を使用した耐久性向上コンクリートの性質、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、2009