

高炉スラグ細骨材による遷移帯の緻密化とコンクリートの物質移動抵抗性向上効果

名古屋工業大学大学院
元名古屋工業大学
竹本油脂株式会社
日本大学

正会員
正会員
正会員
正会員

○吉田 亮
橋本 俊吾
齊藤 和秀
吉澤 千秋

1. はじめに

高炉スラグは細骨材も微粉末も原料は同じであり、長期強度が高いことは共通の特徴である。しかし、中性化速度に対する影響は、両者で逆の傾向を示すなど、高炉スラグ細骨材を用いた硬化コンクリートの物性には、未だ理解できない現象もある。

本研究では、高炉スラグ微粉末の影響を分離し、高炉スラグ細骨材による遷移帯の緻密化について空隙構造分析および化学組成分析により把握し、緻密化された空隙構造と透気係数との関係を明らかにする。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

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 ミネラル製(SgS1)、新日鉄住金製(SgS2)、大井川産陸砂(S1)、岡崎産碎石、高性能 AE 減水剤、AE 調整剤を使用して作製した。

配合を表 1 に示す。微粉末添加率は細骨材の容積置換で 0、2、5 vol%とした。また、高炉スラグ細骨材の 0.15 mm 以下を洗い流し微粒分を取り除いたものを SgS1w、SgS2w と表記する。

2.2 透気試験

φ100×50 mm の円盤供試体を作製し、材齢 28 日まで 20℃ の水中で養生を行った。その後、35 日間のアセトン浸漬を行い、20℃、R.H.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。試験はアウトプット法である。負荷圧力は 0.2~0.3 MPa の範囲である。

2.3 水銀圧入試験

透気試験に用いた供試体から、ノミとハンマーを用いて、一辺 8 mm 程度のモルタル部分を採取した。試料は 24 時間のアセトン浸漬を行った後に、シリカゲルを敷き詰めたデシケータ内にて、48 時間の真空乾燥を行った。水銀圧入試験には Pascal 140/240 を用いた。

2.4 走査電子顕微鏡観察および元素分析

水銀圧入試験と同じ試料の表面を、P600 の耐水研磨紙を用いて研磨した。分析には JEOL 社製 JSM - 7001FF を用いた。細骨材上からセメントペースト上までの直線上における元素 (ライン) 分析を行った。

3. 結果および考察

図 1 にモルタル部の累積空隙量曲線を示す。まず、細骨材種類による違いを見る。高炉スラグ細骨材が含有する微粒分 (高炉スラグ微粉末) を除去した SgS1w の累積空隙量曲線は、天然細骨材 S1 の曲線よりも、測定範囲全域において小さいことがわかる。

次に、高炉スラグ微粉末の影響を見る。天然細骨材を用いた S1 と S1-SgP2 の 2 つの累積空隙量曲線は、空隙直径が 400 nm 以上の範囲においてほぼ一致しており、高炉スラグ微粉末を置換した影響は、400 nm (既

表 1 配合

記号	単位量 (kg/m ³)					
	W	C	S1	SgS	SgP	G
S1	175	350	671	0	0	1072
S1-SgP2			658	0	15	
SgS1			0	715	0	
SgS1w				0	0	
SgS1w-SgP2				701	15	
SgS1w-SgP5				680	38	
SgS2				713	0	
SgS2w				0	0	

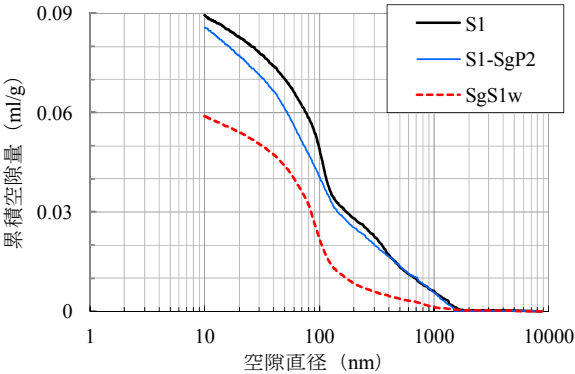


図 1 モルタルの累積空隙曲線 (水銀圧入法)

キーワード：高炉スラグ細骨材、空隙構造、遷移帯、水銀圧入法、透気係数
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 052-735-5125

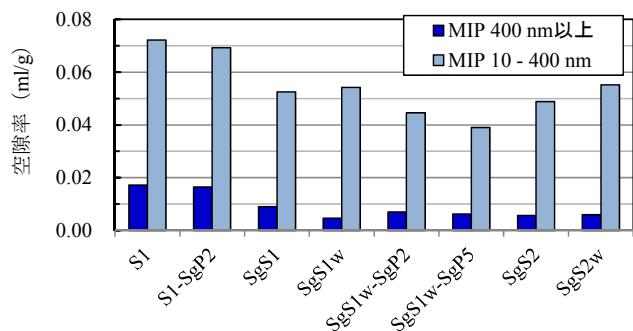


図2 モルタルの空隙率(水銀圧入法)

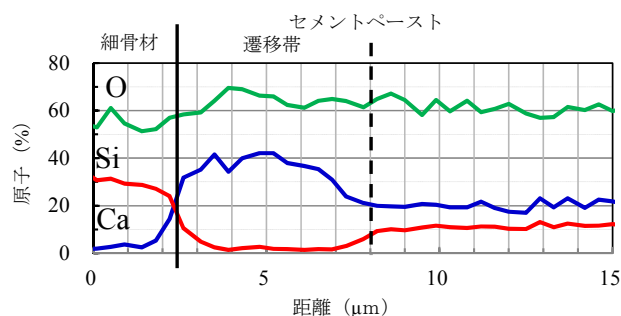


図3 元素分析(天然細骨材: S1)

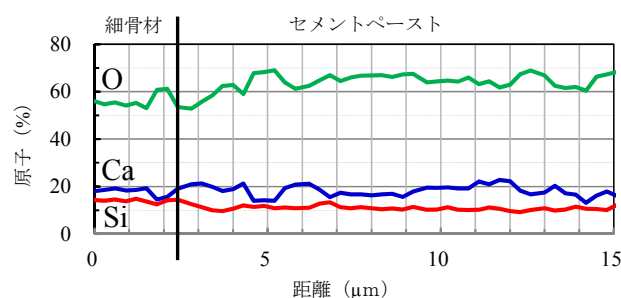


図4 元素分析(高炉スラグ細骨材: SgS1)

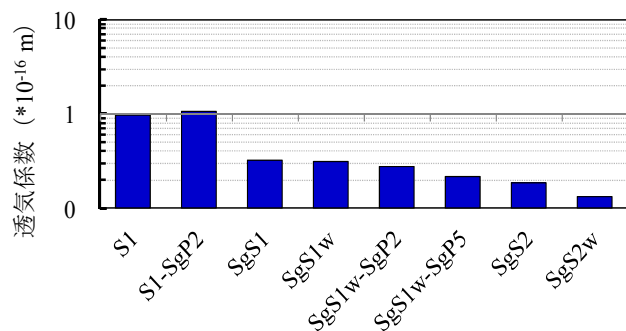


図5 コンクリートの透気係数

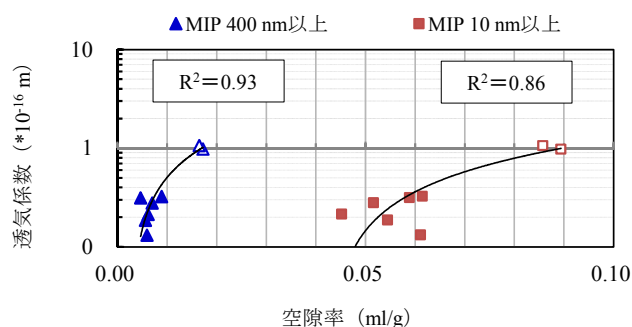


図6 空隙率と透気係数の関係

往研究¹⁾と同様に、特に 100 nm) 以下の空隙の緻密化に現れた。

図2に空隙率を示す。高炉スラグ微粉末が 400 nm 以下の空隙を緻密化するという前述の結果から、ここでは空隙率を 400 nm を基準として区分した。400 nm 以上の空隙率は、天然細骨材で 0.02 ml/g 弱であり、高炉スラグ細骨材を用いると 0.01 ml/g 以下にまで減少している。微粉末の置換率による影響は見え難い。

図3, 4に元素分析の結果を示す。天然細骨材を用いた試料では、距離 2.5~8 μm において Ca が多く、Si が少ないという遷移帯の特徴が観察できる。一方、高炉スラグ細骨材を用いた試料では、セメントペーストにおいて Ca, Si がほぼ一定の値を示しており、遷移帯の特徴は観察されなかった。

図5に透気係数の結果を示す。高炉スラグ微粉末の置換率が小さい本実験では、高炉スラグ微粉末による透気係数の低下は僅かであった。一方、高炉スラグ細骨材を用いることで透気係数は 10^1 m 以上も低下することが示された。

図6に透気係数と空隙率の関係を示す。天然細骨材を白抜き(△□)で、高炉スラグ細骨材を塗潰し(▲■)で示した。空隙直径ごとに見ると、400 nm 以上の点は高炉スラグ細骨材を用いることで 0.005 ml/g 付近に集中し、高炉スラグ微粉末の影響は見られない。10 nm 以上の点は高炉スラグ微粉末の影響も表れて 0.045 - 0.06 ml/g に散布している。

4. まとめ

本研究では、高炉スラグ細骨材を用いることで、400 nm 以上の空隙までも緻密化され、コンクリートの透気係数を 10^1 m も低下させることを示した。また元素分析の結果からも、細骨材周りの遷移帯が緻密化されていることが示された。高炉スラグ細骨材による遷移帯の緻密化は、物質移動抵抗性、ひいては耐久性の向上に大きく貢献することが期待できる。

謝辞: 本研究は鉄鋼スラグ協会による助成を受け実施致しました。また、名古屋工業大学 藤正督教授、白井孝准教授のご厚意により試験機を拝借させて頂き、田中清高氏、青山和将氏のご助力を得て実施致しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献: 1) 水野浩平ほか、高炉スラグ微粉末の置換率が異なるセメント硬化体の圧縮強度・透気係数と空隙構造の関係、コンクリート工学年次論文集, Vol.37, pp.523-528, 2015.7