

高炉スラグ細骨材および石灰石微粉末を添加したコンクリートの空隙構造に関する一考察

名古屋工業大学大学院 正会員 ○吉田 亮
 名古屋工業大学大学院 学生会員 太田 健司
 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
 中部採石工業株式会社 正会員 牧 宗一郎

1. はじめに

高炉スラグ細骨材には、骨材自身の硬さや組織緻密化による乾燥収縮低減効果をもたらす¹⁾。しかし水砕により形成される形状により、フレッシュ性状の低下などが懸念される。本研究では、石灰石微粉末の細骨材内割添加により、フレッシュ性状の改善と硬化物性の向上が得られることを別途試験にて確認している²⁾。

本稿では、石灰石微粉末添加および高炉スラグ細骨材による空隙構造の変化および、その空隙構造と透気係数との関係について検討を行う。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

供試体は普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末(比表面積 4000 cm²/g, 石膏無し)、水道水、大井川水系産陸砂、福山産高炉スラグ細骨材、豊橋市産石灰石微粉末(比表面積 2800 cm²/g)、岡崎産硬質砂岩砕石(Gmax=20 mm)、高機能タイプ AE 減水剤、消泡剤を使用し作製した。石灰石微粉末は細骨材の一部として置換し、大井川水系産陸砂に対しては、置換量を 25, 100 kg/m³とした。一方、高炉スラグ細骨材に対しては、置換量を 200 kg/m³とした。配合とフレッシュ性状を表-1 に示す。

2.2 透気試験

φ100×50 mm の円盤供試体を作製し、材齢 7 日まで封緘養生した後、材齢 28 日まで温度 20 ± 3°C、湿度 60 ± 5% の室内で気中養生を行った。試験は、負荷圧力を 0.2~0.3 MPa とし、水上置換により透気量の測定を行った。

2.3 空隙量測定

供試体は、練上がり直後のフレッシュコンクリートを 5 mm 篩によりスクリーニングし、採取したモルタルを使用した。φ100×50 mm の円盤供試体を作製し、

材齢 7 日まで封緘養生した後、透気試験供試体と同様に気中養生を行った。試料は、円盤供試体の中央部分から採取し、一辺 5 mm 程度の立方体に成形した。前処理には、アセトン浸漬を 24 時間、その後に、40°C の炉において 24 時間の乾燥を行った。

空隙量の測定は、水銀圧入法および、吸水・乾燥時の質量変化による。前者は水銀圧入履歴より全空隙と連続空隙を取得する水銀漸次繰返し圧入法により分析を行い、後者は真空吸水後とその後乾燥 (R.H.80%, 2 週間)させたときの質量変化から空隙量を算定した。

3. 石灰石微粉末添加に因る細骨材実績率の向上と硬化物性および空隙構造への影響

図 1 に累積空隙曲線を示す。(a)天然骨材の全空隙では石灰石微粉末を 100 kg/m³程度まで添加すると、しきい空隙径が減少し、100 nm 以上および 100 nm 以下の空隙それぞれにおいて空隙量が減少することが確認できる。前者は石灰石微粉末自身が物理的に間詰めする効果であり、後者は石灰石微粉末由来の水和物による水和物粒子間の充填効果と考えられる。(b)では連続空隙のしきい空隙径が、石灰石微粉末の添加量によって大きく変わらないことを確認できる。(c)高炉スラグ細骨材における全空隙でも、天然骨材と同様に、石灰石微粉末の添加によるしきい空隙径の減少が確認される。そして、100 nm 以上、100 nm 以下の空隙量の減少も確認できる。なかでも、100 nm 以下の空隙では、累積空隙曲線の変曲点が 100 nm 程度から 40 nm 程度まで移行しており、石灰石微粉末の添加による高炉スラグの潜在水硬性促進により水和物粒子間の充填効果が大きくなったことが予想される。(d)の連続空隙でも、100 nm 以上の空隙は消滅し、しきい空隙径が 40~50 nm 程度まで狭小化するなど、石灰石微粉末と高炉スラグの共存による空隙の緻密化が確認される。

キーワード：空隙構造、石灰石微粉末、高炉スラグ細骨材、細骨材の実績率、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

表1 配合,フレッシュ性状および石灰石微粉末を添加した時の細骨材実績率

供試体種別	W/B (%)	W/P (%)	単位量(kg/m ³)								スランプ (cm)	空気量 (%)	C.T (°C)	Bq (cm ³ /cm ²)	実績率 (%)
			C	W	OS	BS	LSP	OG	SP1	消泡剤					
N	60	60	275	165	858	-	-	1048	2.75	1.4	9.9	1.9	19.8	0.17	71.2
L25		55			835	-	25		1.38		7.0	1.7	19.6	0.13	73.8
L100		44			763	100	2.75		9.8		1.8	20.0	0.07	77.0	
BS		60			-	912	-		2.75		-	-	19.0	0.12	62.9
BS-L200		35			-	710	200		3.85		-	-	19.5	0.07	70.9
					-	-	-		-		-	-	-	-	-

BS: 高炉スラグ細骨材 LSP: 豊橋市産石灰石微粉末

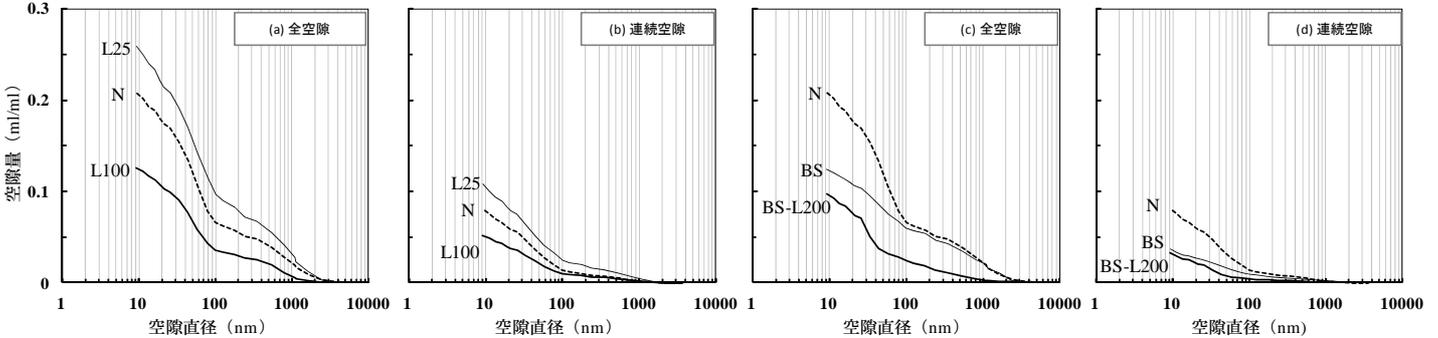


図1 累積空隙量曲線 (石灰石微粉末(a)全空隙, (b)連続空隙, 高炉スラグ細骨材(c)全空隙, (d)連続空隙

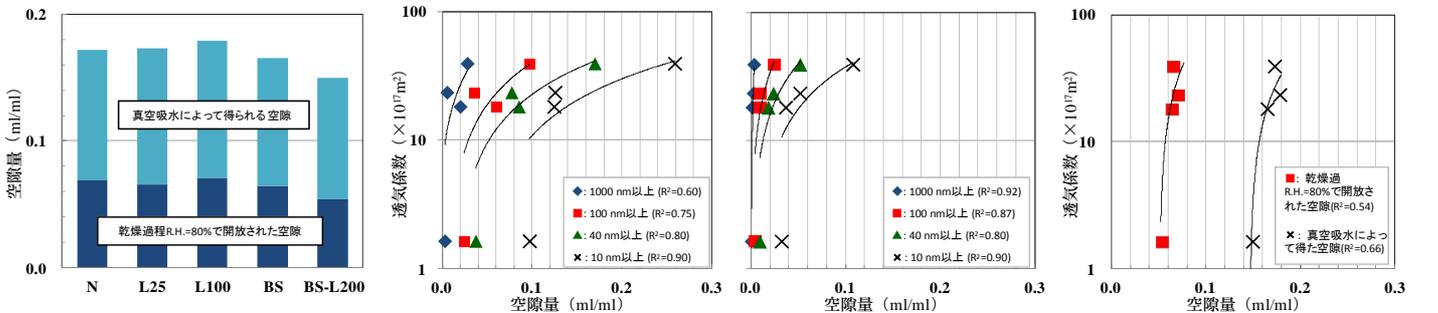


図2 吸水・乾燥による空隙量 図3 水銀圧入法による空隙量と透気係数の関係 図4 吸水・乾燥による空隙量と透気係数の関係

次に図2の真空吸水および乾燥過程の質量変化によって得た空隙量について見てみる。天然骨材を用いた配合では、石灰石微粉末の添加による空隙量の大きな変化は確認できない。一方、高炉スラグ細骨材を用いた配合では、高炉スラグ細骨材による空隙量の減少、さらに石灰石微粉末添加による空隙量の減少が確認できる。

図3に水銀圧入法による空隙量と透気係数の関係を、空隙径ごとに示す。(a)全空隙と(b)連続空隙の決定係数を比較すると、40 nm以上、10 nm以上の空隙の範囲では同程度の相関が得られ、100 nm以上および1000 nm以上の空隙では連続空隙の方がより高い相関関係があることがわかる。

次に図4に真空吸水および乾燥過程から得る空隙量と透気係数の関係を示す。今回の限られた供試体においては、図3に示した水銀圧入法で得た空隙量の方が透気係数との間に、より高い相関関係が示された。

4. まとめ

高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートでは、100

nm以下範囲において空隙量の減少が確認された。石灰石微粉末の内割添加では、100 nm以上の空隙の範囲において空隙量の減少と、しきい空隙径の小径化が確認できた。上記の両材料を併用すると、個々の材料による空隙の緻密化だけでなく、100 nm以下の入り口空隙径の狭小化が促進されるなど、石灰石微粉末による高炉スラグの潜在水硬性促進効果が起きていると考えられる。水銀圧入による空隙分析結果において、両材料による透気係数の低減効果の根拠を得ることができたと考えている。

謝辞: 本研究は東京大学 生産技術研究所 岸利治 教授の御厚意により、水銀圧入試験機を使用させて頂き、実施することができました。ここに記し深く感謝致します。

参考文献: 1) 中村好裕ほか: 高炉スラグ細骨材の粒径がセメント硬化体の各種物性に与える影響, 土木学会第67回年次学術講演会概要集, 2013.9 (同時投稿)
2) 太田健司ほか: 高炉スラグ細骨材に石灰石微粉末を内割り添加したコンクリートの物性向上効果, 土木学会第67回年次学術講演会概要集, 2013.9 (同時投稿)