

石灰石微粉末の添加が乾燥環境下におけるコンクリートの物性に及ぼす影響

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○太田 健司
名古屋工業大学大学院 正会員 吉田 亮

竹本油脂株式会社 正会員 齊藤 和秀
中部採石工業株式会社 牧 宗一郎
名古屋工業大学 フェロー 梅原 秀哲

1.はじめに

天然骨材の枯渇に伴う碎石や砕砂への移行により、全国で大量の石粉が発生している。これに伴い、コンクリート用碎石粉に関する JIS 規格の改定が行われ、石粉の利用を促進する取組みが見られる。しかし現状は、豊橋市の採石工場において約 100 t/日の石灰石微粉末が副生産され、そのほとんどが廃棄処分されている。

既往の研究では、圧縮強度について、石灰石微粉末を細骨材に対して置換した場合、置換量の増加に伴って特に初期強度が増加すると報告されている¹⁾。

本研究では、現場などの乾燥の影響が大きい環境において、乾燥収縮や物質移動抵抗性など、コンクリートの耐久性に関する各種物性の評価を行うことを目的とした。

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、水道水、大井川水系産陸砂、岡崎産硬質砂岩碎石($G_{max}=20\text{ mm}$)、福山産高炉スラグ細骨材を使用し作製した。また、高性能 AE 減水剤、消泡剤、増粘剤($C\times 0.2\%$)を添加した。

石粉は細骨材の 100 kg/m^3 で置換し、副産物石灰石微粉末、市販石灰石微粉末、 CaCO_3 試薬とそれぞれ CaCO_3 の純度が異なる 3 種類の石灰石微粉末と Al や Mg を多量に含む碎石粉を用いた。その他、スラグ細骨材と石灰石微粉末を組合せた配合も設定した。配合とフレッシュ性状を表-1 に示し、各種石粉の物性を表-2 に示す。

2.2 各種試験概要

(1) 長さ変化試験

角柱供試体を各 2 本作製し、測定は JIS A 1129-3 に準拠して行った。材齢 7 日まで封緘養生し、脱型直後に基長をとった。以降、室内（温度 20°C 、湿度 60% ）

で乾燥収縮を材齢 52 週まで測定した。

(2) 透気試験

円盤供試体 $\phi 10\times 5\text{ cm}$ を作製し、打設 24 時間後に脱型し、気中養生（温度 20°C 、湿度 60% ）を行った。試験は材齢 4、13 週で測定し、負荷圧力を 0.2 MPa で行い、水上置換法により空気の透気量を測定した。

(3) 圧縮強度試験

円柱供試体を 8 本作製し、打設 24 時間後に脱型し、それぞれ 2 本ずつ標準養生と気中養生（温度 20°C 、湿度 60% ）を行った。試験は JIS A 1108-2006 に準拠し、材齢 4、13 週で測定した。

3.実験結果と考察

3.1 石灰石微粉末添加による乾燥収縮低減効果

図-1 に乾燥収縮試験結果を示す。石灰石微粉末（以下 LSP）を用いた N-LSP1、N-LSP2 は N と比較して、材齢 52 週において $50\sim 65\text{ }\mu$ 程度（およそ 10% 程度）、収縮量を低減している。また、スラグ細骨材を用いた BS、BS-LSP1 は N と比較して、それぞれ $150\text{ }\mu$ 、 $75\text{ }\mu$ 程度（ $10\sim 20\%$ 程度）、収縮量が小さくなっている。この結果からは、LSP が収縮低減効果に及ぼす影響は顕著な差とは言えない。ただし、本実験では通常の乾燥収縮試験とは養生条件が異なり、一週間の封緘養生後に測定を開始した。そのため、標準養生を行った場合よりも収縮量が小さく、LSP 添加の影響も小さく表れていると考えられる。したがって、わずかではあるが 10% 程度の収縮低減率が観察された結果には、LSP 添加による乾燥収縮低減効果が期待される。

表-2 各種石粉の物性

記号	種類	純度(%)			密度 (g/cm^3)	含水率 (%)
		CaCO_3	MgO	Al_2O_3		
LSP1	副産物石灰石微粉末	90.0	2.5	2.8	2.72	0.65
LSP2	市販石灰石微粉末	95.0	3.0	0.5	2.71	0.48
LSP3	CaCO_3 試薬	99.9	0.0	0.0	2.70	0.50
CSP	碎石粉 (Crushed Stone Powder)	13.0	12.4	22.0	2.95	4.71

表-1 配合とフレッシュコンクリートの性状

供試体種別	供試体種類	W/C (%)	単位量(kg/m^3)								C.T ($^\circ\text{C}$)	スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	BS	LSP1	LSP2	LSP3	CSP			
N	基準(non add)	50	155	310	857	-	-	-	-	-	20.0	8.0	2.3
N-LSP1	副産物石灰石微粉末				761	-	100	-	-	-	20.0	9.0	2.1
N-LSP2	市販石灰石微粉末				761	-	-	100	-	-	20.0	9.5	2.2
N-LSP3	CaCO_3 試薬				761	-	-	-	100	-	20.0	8.0	2.3
N-CSP	碎石粉 (Crushed Stone Powder)				769	-	-	-	-	100	20.0	6.0	2.6
BS	スラグ細骨材	50	155	310	-	917	-	-	-	-	-	-	-
BS-LSP1	スラグ細骨材+副産物石灰石微粉末				-	814	100	-	-	-	-	-	-

S:陸砂 BS:スラグ細骨材 LSP1:副産物石灰石微粉末 LSP2:市販石灰石微粉末 LSP3: CaCO_3 試薬 CSP:碎石粉

3.2 石灰石微粉末添加が乾燥環境下での強度発現に及ぼす影響

図-2 に標準養生を行った供試体、図-3 に気中養生を行った供試体の圧縮強度試験結果を示す。図-2 から、材齢 28 日、91 日ともに LSP を添加することで、N より若干の強度増加が確認できるものの、どれも同程度の圧縮強度が発現されていることがわかる。このことは、水中養生を行うと、どの供試体においてもセメントの水和が十分に進行したことを示している。また、BS と BS-LSP1 を比較すると、LSP とスラグ細骨材を組合せることで 10%以上の強度増加が見られる。これは、LSP の添加によってスラグの潜在水硬性が促進されたことによるものと考えられる。

一方、図-3 を見ると、標準養生と比べて、材齢 28 日時点で全体的に強度が 10 N/mm^2 程度小さくなっている。気中養生を行った供試体では LSP の添加により、N と比較して強度が 10~20%程度増加している。この結果は、LSP の添加により乾燥環境下での圧縮強度低下が緩和されることを示しており、圧縮強度において LSP 添加が乾燥に対する抵抗性を付与する可能性を示唆している。

3.3 透気性における石灰石微粉末添加の影響

図-4 に透気試験結果を示す。材齢 28 日において、石灰石微粉末を用いた供試体は N と比較して、透気係数が若干大きくなる傾向が見られる。スラグ細骨材を用いた供試体では、BS と BS-LSP1 を比較すると、LSP の添加による透気係数の減少が確認される。また、材齢 91 日では、LSP を添加した供試体で、N、BS とそれぞれ比較して透気係数が小さくなっている。

つぎに、乾燥材齢の進行による透気係数の変化は、N と BS を比較すると LSP を添加することによって透気係数の増加を抑制していることがわかる。この結果は前述の圧縮強度と同様、LSP の添加により透気性においても乾燥に対する抵抗性が付与される可能性を示唆している。

3.4 強度および透気試験結果に観察される乾燥抵抗性向上効果

図-5 に材齢 91 日における標準養生と気中養生の圧縮強度差と材齢の進行による透気係数の増加を合わせて比較する。圧縮強度と透気係数における各供試体の大小関係を比較すると、両者の大小関係には同様な傾向が見られる。両者で同様な傾向が得られたことは、LSP の添加により乾燥に対する抵抗性が付与することの裏付けになると考えている。

4.まとめ

本研究では、石灰石微粉末を細骨材の 100 kg/m^3 置換で添加したコンクリートの乾燥収縮や圧縮強度、透気性について検討を行った。石灰石微粉末を添加したコンクリートには乾燥収縮および圧縮強度、透気性において、乾燥に対する抵抗性を向上させる効果が期待できる。

謝辞：本研究は、豊橋市が施行する「新事業創出等支援事業」に係る研究助成を受けて実施しました。また、竹本油脂株式会社 小林竜平氏、名古屋工業大学 鶴飼貴史氏には実験の実施にあたり多くの御協力を頂きました。ここに記し深く感謝します。

参考文献：1) 平田隆祥ほか：石灰石微粉末を紛体の増量材として使用したコンクリートの強度特性について、セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.352-357, 1997

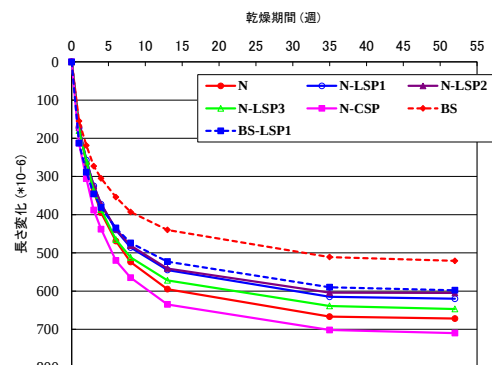


図-1 乾燥収縮試験結果

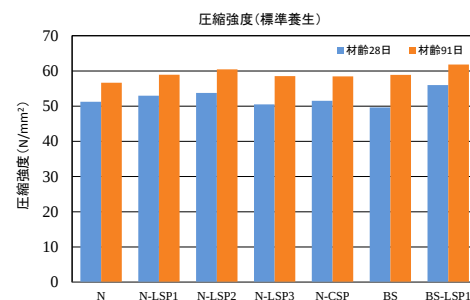


図-2 圧縮強度試験結果（標準養生）

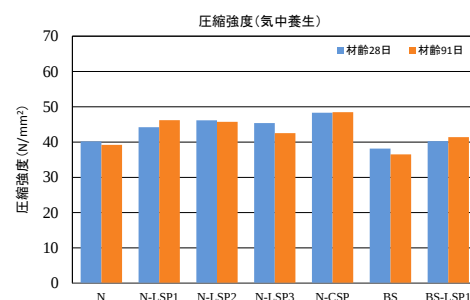


図-3 圧縮強度試験結果（気中養生）

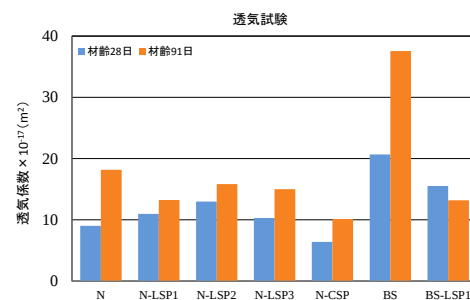


図-4 透気試験結果

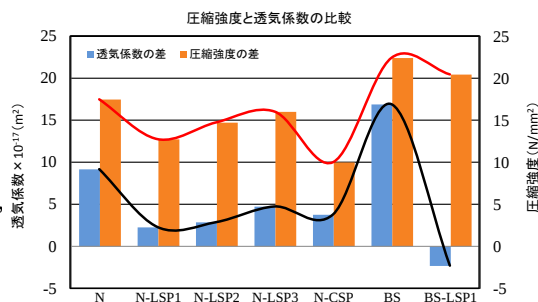


図-5 圧縮強度差と透気係数の差の比較