

石灰石—高炉スラグ混合セメントの水分浸透に影響を及ぼす要因の検討

太平洋セメント株式会社 正会員 ○後藤 壮，桐野 裕介，兵頭 彦次

1. はじめに

地球温暖化への対策として、セメント産業は大幅なCO₂排出量の低減が求められており、高炉スラグ微粉末（以下、BFS）をはじめとする混合材利用の拡大が検討されている。一方、BFSの大部分はすでに活用されており¹⁾、さらに電炉への移行等による将来の発生量減少も予想されている。先行研究として、BFSを資源量の多い石灰石微粉末（以下、LSP）で一部置換した三成分系混合セメントの検討が行われており^{例えば2)}、LSPの混合率が10%程度であれば、圧縮強さおよびASR抑制効果を維持できることが報告されている。一方、鉄筋コンクリート構造物における主要な劣化現象である鉄筋腐食に関しては、同セメントを対象とした検討は行われていない。そこで本研究では、2017年制定土木学会コンクリート標準示方書[設計編]にて導入された、中性化と水の浸透に伴う鉄筋腐食に対する照査で用いられるパラメータである水分浸透速度係数を測定し、LSPの混合率が三成分系混合セメントの水分浸透に与える影響を評価した。また、水和解析から相組成と空隙率を算出し、現象を考察した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントには、少量混合成分を含まない普通ポルトランドセメント（以下、N）を用いた。混合材には、BFS（ブレン比表面積 4230 cm²/g、塩基度 1.80）およびLSP（ブレン比表面積 8800±300 cm²/g）を用いた。

2. 2 セメントおよび混合材の配合

セメントおよび混合材の配合と JIS R 5201 に準じた材齢 28 日におけるセメントの圧縮強さを、表 1 に示す。既往の研究をもとに²⁾、LSP を BFS に対して 2.5%、10% 置換した場合（BFS42.5-LSP2.5、BFS35-LSP10）と、N+BFS に対して 10%置換した場合（BFS39-LSP10）について検討した。比較として N 単独および BFS を 45%使用した場合についても検討した。

2. 3 実験方法

水分浸透速度係数試験は、JSCE-G582-2018 を参考に

行った。試験には JIS R 5201 の強さ試験用モルタルを使用した。供試体寸法はφ50×100mm とした。供試体の養生は、20℃水中養生を材齢 7 日まで実施した。乾燥は、温度 40±2℃かつ相対湿度 30±5%の恒温恒湿槽にて 28 日間行った。

相組成は、W/B=50%のセメントペーストを作製し、各材齢にてアセトンで水和停止を行い、XRD/リートベルト解析により算出した³⁾。なお、C-S-H の密度は一定と仮定して相組成の算出を行った。

3. 実験結果

各セメントの水分浸透速度係数を図 1 に示す。N と比較し、BFS を混合した系は水分浸透速度係数が小さい結果であった。これは既往の研究と同様の結果である⁴⁾。また、LSP を混合した系においても、N と比較し水分浸透速度係数は小さい傾向にあった。このことから、本研究の範囲では、N を LSP で置換した場合においても同等の水分浸透速度係数を得ることができると考えられる。

BFS を混合した系における相組成変化を図 2 に示す。BFS45 では、エトリンガイト（以下、Ett）が材齢 3 日

表 1 セメントおよび混合材の配合と 28 日圧縮強さ

水準	混合率(重量%)			28日圧縮強さ (N/mm ²)
	N	BFS	LSP	
N	100	0	0	61.2
BFS45	55	45	0	58.2
BFS42.5—LSP2.5	55	42.5	2.5	60.0
BFS35—LSP10	55	35	10	56.6
BFS39—LSP10	51	39	10	55.7

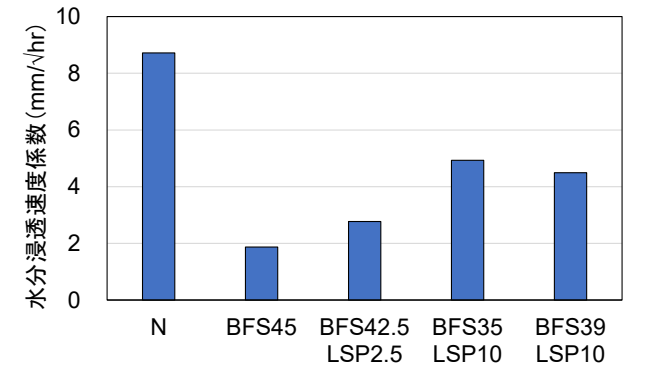


図 1 水分浸透速度係数

キーワード 石灰石微粉末，高炉スラグ微粉末，水分浸透速度係数，相組成，空隙率，圧縮強さ
連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL 043-498-3841

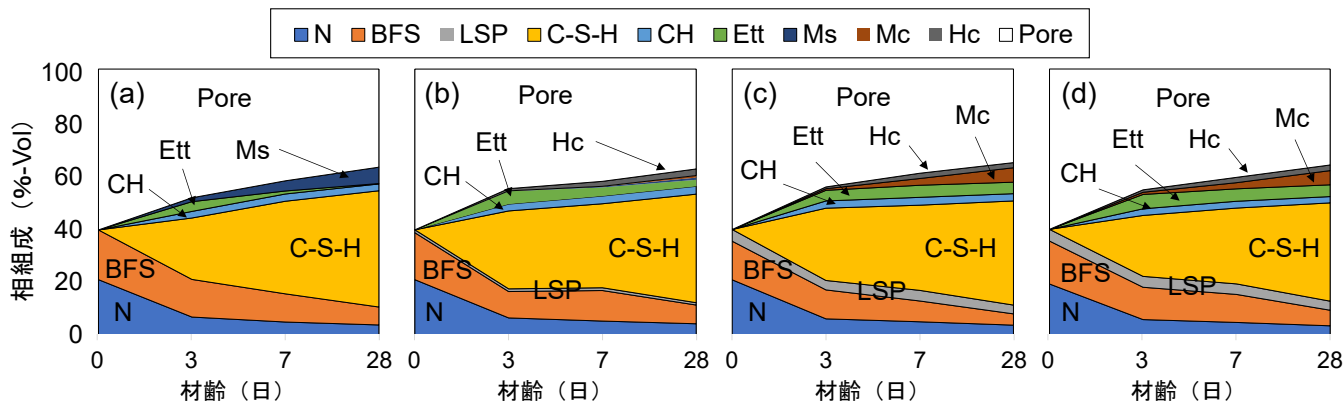


図2 BFSを混合した系における相組成変化
(a) BFS45, (b) BFS42.5-LSP2.5, (c) BFS35-LSP10, (d) BFS39-LSP10

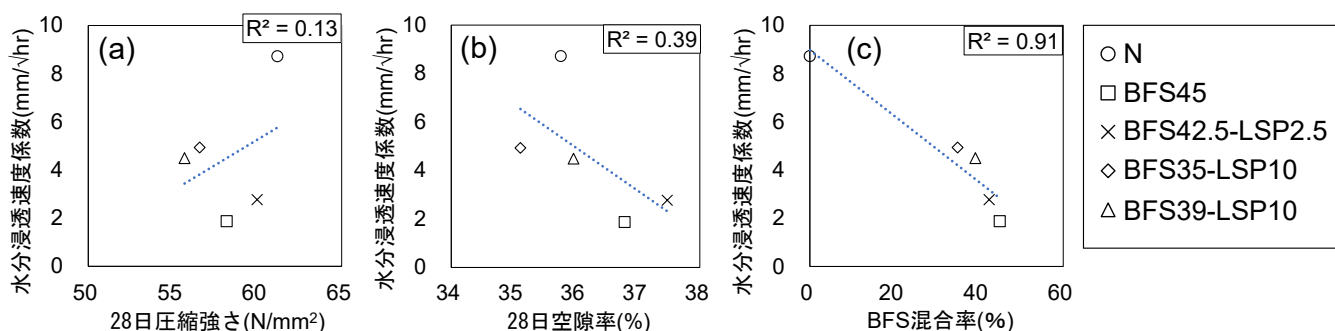


図3 水分浸透速度係数と(a) 28日圧縮強さ, (b) 28日空隙率, (c) BFS混合率の関係

以降に減少し、モノサルフェート（以下、Ms）が生成した。一方、LSPを10%混合した系（図2(c)および(d)）では、Ettの減少はみられず、材齢とともにモノカーボネートおよびヘミカーボネート（以下、McおよびHc）が生成した。これは、LSPの混合によるカーボネート相の生成により、Ettが安定化されたため³⁾であると考えられる。また、BFS42.5-LSP2.5においては、カーボネート相の生成はみられるものの、Ettの減少および少量のMsの生成が確認されたことから（図2(b)）、混合したLSP量が不足していると考えられた。

水分浸透速度係数と28日圧縮強さ、相組成から算出した28日空隙率およびBFS混合率の関係を図3に示す。水分浸透速度係数と圧縮強さ（図3(a)）および空隙率（図3(b)）に有意な相関はみられなかった。一方、BFS混合率が増加するほど水分浸透速度係数は小さくなり、両者に高い相関がみられた（図3(c)）。

一般にモルタルの物質移動抵抗性は、圧縮強さおよび空隙率との相関があることが知られているものの、BFS混合率が50%程度以上の混合セメントにおける水分浸透速度係数では、これらの関係があてはまらないことが指摘されている^{4),5)}。本研究においても、LSPを混合することによりEttが安定化され空隙率は減少する傾向にあるが、圧縮強さや空隙率のみでは水分浸透速

度係数の差異を説明できないことが判明した。一方、水分浸透速度係数とBFS混合率の間には高い相関が確認されたことから、本研究では考慮していないC-S-HのCa/Siおよび密度の変化や空隙の屈曲度・連続性などの空隙構造の複雑さが影響している可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究では、高炉スラグ微粉末を35~45%、石灰石微粉末を0~10%使用した三成分系混合セメントの水分浸透に与える影響を評価した。以下に結果をまとめる。

- 1) 高炉セメントおよび三成分系混合セメントの水分浸透速度係数は、普通ポルトランドセメントと比較して小さかった。
- 2) 石灰石微粉末の混合によって、カーボネート相が生成することにより、エトリンガイトが安定化され、空隙率は減少した。
- 3) 水分浸透速度係数の差異は、圧縮強さや空隙率のみでは説明できず、C-S-HのCa/Siおよび密度の変化や空隙の屈曲度・連続性などの空隙構造の複雑さについても考慮する必要性が示唆された。

参考文献

- 1) K. L. Scrivener et al., United Nations Environment Program (2017)
- 2) 中口歩香ほか, 第75回セメント技術大会講演要旨 (2021)
- 3) S. Hoshino et al., Journal of Advanced Concrete Technology (2006)
- 4) 澁谷亜香里ほか, コンクリート工学年次論文集 (2021)
- 5) 平本真也ほか, コンクリート工学年次論文集 (2019)