

高炉スラグ微粉末の特徴を最大限に活かした三成分系セメントの提案に向けた一考察

芝浦工業大学 土木工学科 ○ 伊代田 岳史
 芝浦工業大学 高橋 佑輔
 芝浦工業大学大学院 村上 拓
 芝浦工業大学大学院 豊村 恵理

1. はじめに

地球温暖化対策として二酸化炭素排出量を抑制することがセメント業界の命題となっており、その一つの方策として混合セメントの利用拡大が考えられる。我が国においては高炉セメント B 種 (BB) の利用が進められているが、そのシェアは全セメント量の 25% に満たない程度で推移している。BB を用いたコンクリートは初期強度の発現や中性化抵抗性などが懸念事項としてあげられる。その分、高炉セメント A 種 (BA) は普通ポルトランドセメント (OPC) と同等の利用が可能であるが、BB の特徴である ASR 抵抗性や塩分遮蔽性は効果が小さいといえる。そこで、BA に改良を加え高炉スラグ微粉末の有する特徴を付加できれば OPC よりも性能を向上したセメントを供給できるとともに、要求性能に応じたセメントの提案が可能となる。また、環境負荷低減にも貢献できると考え、BA におけるスラグ置換率を保持した上で混和材を混合した三成分系セメントの強度ならびに耐久性能を把握した。

本稿では圧縮強さと ASR 抑制効果について報告する。

2. 実験概要

2.1 結合材割合

本研究で設定した結合材を表-1 に示す。本研究においては、少量混合成分が添加されていない研究用 OPC に高炉スラグ微粉末 4000 (石こう添加) を用いた BA 配合をベースに、混和材としてフライアッシュ (FA) と石灰石微粉末 (LSP) を添加して三成分系セメントを試製した。セメント中の高炉スラグ微粉末 (BFS) の置換率を 30% と固定し、OPC に混和材を結合材全体として 3.5, 7, 14% (OPC 中では 5, 10, 20%) 置換した系と、OPC を 70% 一定として BFS に混和材を結合材全体として 5, 10, 20% 置換した系の二種類とした。また、比較用として用いた OPC 単味、BA ならびに高炉スラグ微粉末を 45% 置換した BB も同時に試験した。

2.2 試験項目

試験は W/C50%、s/c=3 の JIS に準拠したモルタルを用いて、表-2 に示す試験項目を実施した。なお、圧縮強さ試験では、JIS を参考にしたが、結合材の特徴を考慮して水分供給のない封緘養生における強度を測定した。また、ASR 試験においては、JIS に準拠して結合材中に含まれるアルカリは OPC のみを考慮しアルカリ総量が 1.2% となるように NaOH 溶液を添加した。反応性骨材は粗骨材を粉碎して粒度調整した細骨材を砕砂に 50% 置換した。

表-1 結合材の割合

	記号	結合材の割合 (質量%)				
		OPC	BFS	FA	LSP	
OPC100%	OPC	100	-	-	-	
BFS置換率30%	BA	70	30	-	-	
BFS置換率45%	BB	55	45	-	-	
FA置換	BFS一定	B30-F3.5	66.5	30	3.5	-
		B30-F7	63	30	7	-
		B30-F14	56	30	14	-
	OPC一定	B25-F5	70	25	5	-
		B20-F10	70	20	10	-
		B10-F20	70	10	20	-
LSP置換	BFS一定	B30-L3.5	66.5	30	-	3.5
		B30-L7	63	30	-	7
		B30-L14	56	30	-	14
	OPC一定	B25-L5	70	25	-	5
		B20-L10	70	20	-	10
		B10-L20	70	10	-	20

表-2 試験項目

試験項目	試験方法	測定材齢
圧縮強さ試験	JIS A 5201を参考に、封緘養生の強さを測定	材齢3,7,28,91日
ASR促進試験	材齢1日で脱型後、40°C RH95%環境でASR促進	膨張率を0.2,4,8,13週
中性化促進試験	封緘養生1週後に1週間20°C RH60%で乾燥後、20°C, RH60%, CO ₂ 濃度5.0%の環境で促進	0.2,4,8,13週でフェノールフタレイン溶液噴霧による中性化深さ測定
塩分浸漬試験	封緘養生1週後に3%塩水に浸漬	1,2,4,8,13週で硝酸銀溶液噴霧による塩分浸透深さ測定

3. 実験結果

3.1 圧縮強さ

(1) FA を置換した結合材

各材齢での FA を置換した結合材の圧縮強さを図-1 に示す。いずれのセメントにおいても初期材齢から 28 日までの強さは OPC 単味を上回らない結果であった。しかし、材齢 91 日の強さは B20-F10 のみ OPC を上回る結果となった。これは混和材が長期材齢にて反応したことを表していると考えられる。材齢 28 日において N や BB で要求される 42.5N/mm^2 はいずれの結合材においても上回ることを確認した。

(2) LSP を置換した結合材

各材齢での LSP を置換した結合材の圧縮強さを図-2 に示す。BFS 一定では LSP 置換率の増加に伴い長期材齢にて圧縮強さが増進した。これは LSP が BFS の反応を促進させたものと考えられる。また、OPC 一定では LSP 置換率が増加するに伴い圧縮強さが低下することを確認した。材齢 28 日ではいずれの結合材でも 42.5N/mm^2 を上回ったが、LSP の添加量が多い系では強度が発現しにくいといえる。

3.2 ASR 試験

(1) FA を置換した結合材

ASR 促進材齢 13 週における FA を置換した結合材の膨張率を図-3 に示す。いずれの結合材も FA の置換率の増加に伴い、膨張率を抑制できていることがわかる。これは、温度 40°C 、RH95%環境での FA のポズラン反応の活性による $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消費も影響していると考えられるが、FA の ASR 抑制効果が高いといえる。

(2) LSP を置換した結合材

ASR 促進材齢 13 週における LSP を置換した結合材の膨張率を図-4 に示す。図より B30-L7 では BB と同程度の ASR 抑制効果が認められたが、それ以外の結合材では BA と同等程度の抑制効果しか認められなかった。そのため、LSP には ASR 抑制効果は認められないことが分かった。

4. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 圧縮強さでは FA、LSP とともに初期強度の低下をもたらすが、長期強度発現が期待でき要求性能によっては利用可能であることを示した。
- (2) ASR 抑制効果では、FA は大きな抑制効果が認められるが LSP は認められなかった。
- (3) 水和物分析・解析を実施しており、環境負荷低減可能なセメントの提案に向けて検討中である。

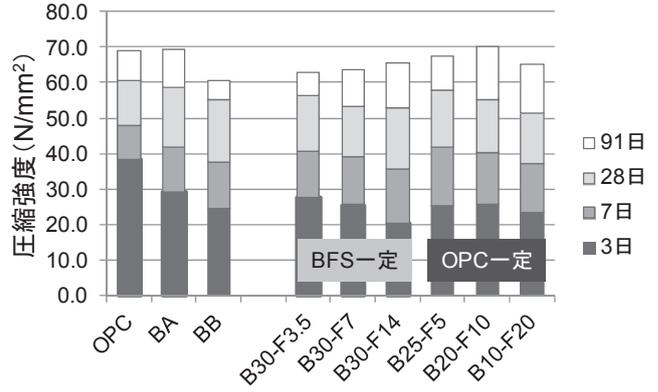


図-1 FA を置換した結合材の圧縮強度

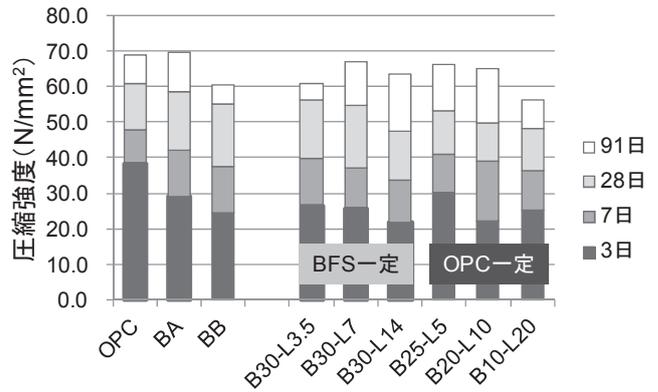


図-2 LSP を置換した結合材の圧縮強度

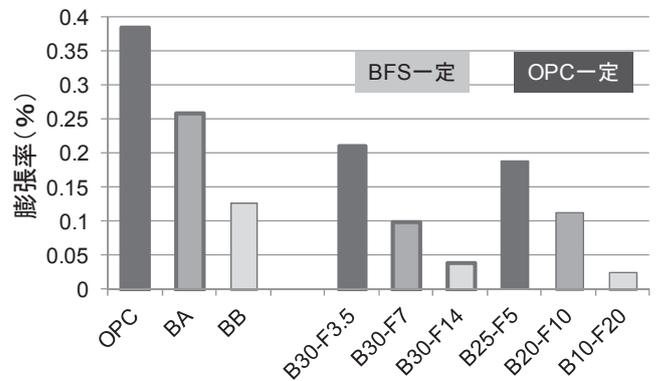


図-3 FA を置換した結合材モルタルの膨張率

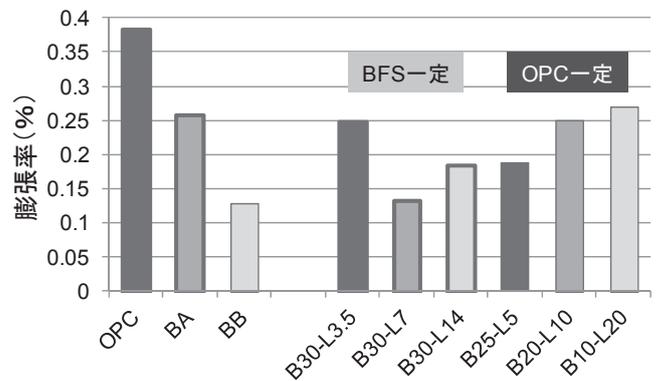


図-4 LSP を置換した結合材モルタルの膨張率