

# 高炉スラグ微粉末を大量混合したコンクリートの経時安定性改善に関する一提案

## その1 モルタル試験による高炉スラグ用分散剤の検討

(株)フローリック 正会員 ○ 西 祐宜  
 同 同 根岸 稔  
 同 同 檜垣 誠  
 同 同 守屋 健一

### 1. 背景

近年、環境負荷低減を目的として高炉スラグ微粉末(以下 BFS)の使用が促進されており、コンクリート材料として有効活用する研究が進んでいる。一方で、耐久性に影響する BFS の水和反応メカニズムに関する研究報告はあるものの、分散剤との相性およびフレッシュ性状、施工性に関する報告は少ない。本検討では、BFS を大量に混合したコンクリートのフレッシュ性状に着眼して実験を行った。

### 2. モルタル試験の実験概要

表1に使用材料、表2に BFS の化学組成、表3にモルタルの配合を示す。測定項目は JIS A 1171(6.1)-2000 に規定されるミニスランプコンを用いて、ミニスランプを測定した。測定は練り上がり直後を起点として、30分、60分後に実施した。空気量は消泡剤を C×0.01%添加し空気量1.5%程度に調整した。また、モルタル試料 350g をビニル袋に採取し、ウレタンフォーム製の簡易断熱箱(20×20×30cm)の中心に埋設し、試料中心温度を熱伝対で測定し、発熱パターンを確認した。使用した分散剤は高性能 AE 減水剤の主成分であるポリカルボン酸系化合物を単体で使用した AD-A、高炉スラグ用として設計した AD-B および AD-C を使用した。

表1 使用材料

種別	記号	品質
セメント	C	OPC.密度:3.16g/cm <sup>3</sup> ,比表面積:3330cm <sup>2</sup> /g
高炉スラグ微粉末	BFS	密度:2.90g/cm <sup>3</sup> ,比表面積:4540cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S	掛川産山砂,密度:2.59g/cm <sup>3</sup> 吸水率:2.07%, F.M.:2.65
高性能 AE 減水剤	HWRA	高性能 AE 減水剤 標準形 I 種 主成分:ポリカルボン酸系化合物
分散剤	Ad-A	一般コンクリート用分散保持ポリマ 主成分:ポリカルボン酸系化合物
	Ad-B	分散剤①
	Ad-C	分散剤②

表2 高炉スラグの化学組成

	Ig.loss (%)	化学成分(%mass)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
BFS	0.04	33.24	15.01	0.55	42.35	5.87	0.52	0.00

表3 モルタルの配合

記号	W/B (%)	S/C(+BFS)	単位量(g/L)			
			W	C	BFS	S
OPC	45	2.16	278	619	0	1336
BFS75%		2.28	266	149	447	1357

練混ぜ方法: 1/2S+C(+BFS)+1/2S→10sec.→(W+分散剤)→60sec.→掻き落とし→90sec.→測定

### 3. 実験結果および考察

図1に OPC の経過時間とミニスランプの関係、図2に BFS75%の経過時間とミニスランプの関係を示す。凡例の括弧内は分散剤の固形分添加率を示している。OPC に関しては、Ad-B<HWRA<Ad-A の順で経時安定性が良好になる。BFS75%は、本傾向とは異

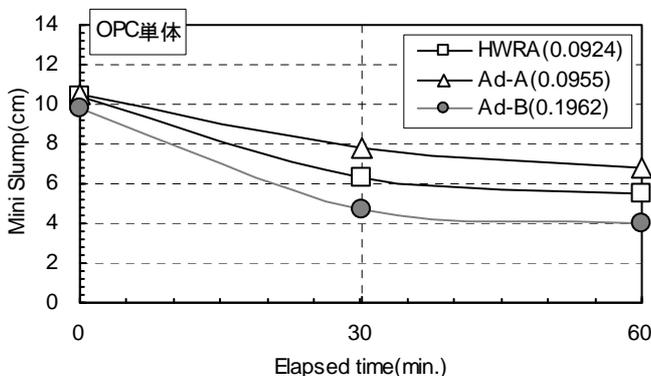


図1 経過時間とミニスランプの関係(OPC)

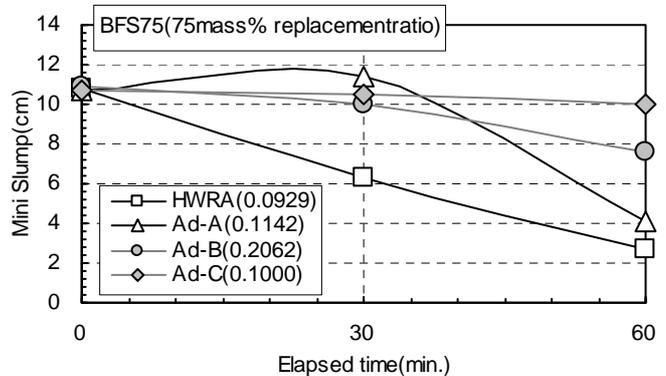


図2 経過時間とミニスランプの関係(BFS75%)

キーワード 高炉スラグ微粉末, 高性能 AE 減水剤, 簡易断熱温度, 経時安定性

連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 33-1 (株)フローリック コンクリート研究所 TEL029-877-1945

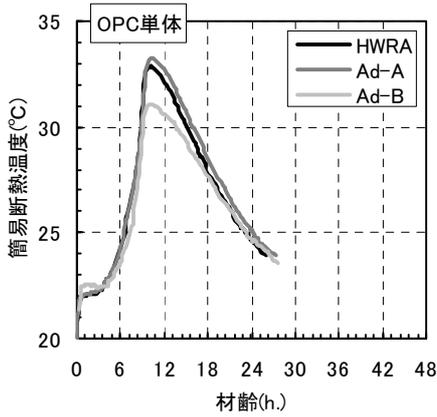


図-3 簡易断熱温度履歴(OPC)

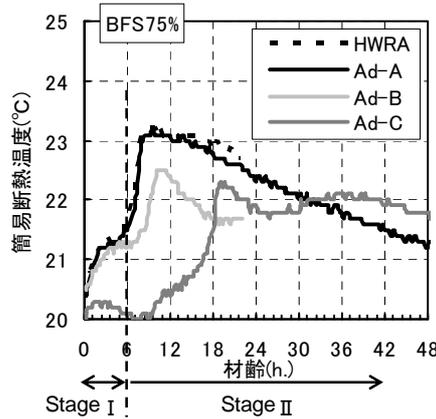


図-4 簡易断熱温度履歴(BFS75%)

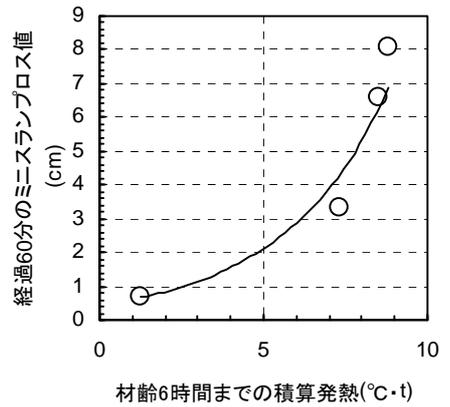


図-5 積算発熱とロス値の関係(BFS75%)

なり、HWRAは経過時間ごとに著しい経時安定性の低下が確認できた。OPCで最も経時安定性が良好であったAd-Aは経過時間30までは良好な経時安定性を保つが、60分では著しくミニスランプが低下した。高炉スラグ微粉末を大量混合した際のこのような結果は、従来の一般的な高性能AE減水剤では経時安定性(施工性)を損なう可能性を示唆している。一方、高炉スラグ用の分散剤Ad-BおよびAd-Cを使用した際は、60分後まで良好な経時安定性を示した。図3にOPC、図4にBFS75%のモルタル試験の簡易断熱温度履歴を示す。OPCではHWRAおよびAd-Aは同様の発熱性状を示し、Ad-Bは両者に比べ若干発熱量が減少している。ただし、何れの剤も健全な水和反応の発熱パターンである。BFS75%ではOPCとはまったく異なる発熱パターンを示す。当然ながらスラグに起因する水和プロセスの変化のためである。特徴としては発熱パターンの線形が異なり、最大温度が低下する。また、発熱の継続時間が長期にわたる傾向を示す。このような水和発熱パターンについての考察は、内川の初期水和過程の区分<sup>1)</sup>を採用した。注水直後のスラグは表面に透過性の悪い膜(pseudomorphic layer)を形成し、水の浸透とイオンの放出を抑制するため、水和反応にはアルカリ、二水石膏、Ca(OH)<sub>2</sub>、OPCなどの刺激剤が必要となる<sup>1)</sup>。名和らはセメントペーストの濃度と水和物の析出による粒子間摩擦力との関係性を報告<sup>2)</sup>している。本報告を参考にすれば、図2に示すようなBFS75%の著しい経時安定性の低下は、あるタイミングにおける活発な水和反応が原因と考えられる。本実験では石膏無添加のスラグを使用しているため、液相中のCa(OH)<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度は高く保たれており、Stage Iの初期ピークはエトリンサイト(Af<sub>t</sub>)に限定されたものではない。BFS75%では、注水直後の液相のpHは低下しCa<sup>2+</sup>濃度は低く推移するため<sup>1)</sup>、C<sub>3</sub>Sの水和を若干抑制すると考えられる。これらの考察から、BFS75%の系の著しい初期ピーク発熱は、Af<sub>t</sub>およびC<sub>3</sub>A(C<sub>4</sub>AF)からのアルミネート系水和物の生成に由来すると考えられ、これらの水和生成物の析出に伴い粒子間摩擦力が増加し、経時安定性が著しく損なわれると考えられる。経時安定性を改善したAd-BおよびAd-Cの簡易断熱履歴は初期ピーク発熱を減量していることがわかる。図5に初期発熱積算温度とミニスランプのロス値の関係を示す。材齢時間は異なるが高い相関関係が確認できる。

4. まとめ

Stage Iの初期ピークの発熱を抑制する分散剤を混合することで、スラグを大量に混合したコンクリートの経時安定性が改善できることが示唆された。本実験では水和反応に伴う発熱パターンから既往の研究を参考に考察を行い、初期ピークを抑制することで経時安定性の改善を試みた。一方で、石膏の有無および初期水和生成物の同定、スラグの物理的性質の影響を考慮した研究が必須である。シリケート相とアルミネート相の電位が異符号なためヘテロ凝集しているような物理化学的な影響の考慮も必要と考えている。

参考文献

1)内川浩:混合セメントの水和および構造形成に及ぼす混合材の効果(その2):セメント・コンクリート, No.484, pp.81-93, June.1987  
 2)名和豊春ほか:せっこう形態がセメントの流動性に及ぼす影響,セメント技術年報, No.41, pp.46-49, 昭62