

高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの収縮特性に関する検討

戸田建設株式会社 正会員 ○新谷 岳 正会員 土師 康一 正会員 田中 徹
西松建設株式会社 フェロー 佐藤 幸三 正会員 椎名 貴快
株式会社フローリック 正会員 小池 晶子 守屋 健一
国立研究開発法人土木研究所 正会員 中村 英佑

1. はじめに

近年、環境負荷低減を目的として、セメントの製造過程におけるCO₂排出削減を図るため、結合材であるポルトランドセメントの使用量を抑制し、代替材料として副産物である高炉スラグ微粉末等を使用したコンクリートの開発が進められている。本稿では、ポルトランドセメントの50~90%を高炉スラグ微粉末で置換した高炉スラグ微粉末高含有コンクリートについて、収縮特性、なかでも特に高炉スラグ微粉末の置換率が与える影響が大きいと考えられる自己収縮と乾燥収縮に着目し、実験的検証を行った結果について報告する。

2. 配合および使用材料

表-1に今回の検討における使用材料を、表-2に試験配合を示す。今回の試験配合は、水結合材比を35%および50%の二水準とし、ベースセメントとしては、早強ポルトランドセメント(W/B:35%)、および普通ポルトランドセメント(W/B:50%)を使用した。また、各水結合材比でセメント使用量を抑制するため、SO₃換算で2.0%となるように、無水せっこうを添加した高炉スラグ微粉末(4000)を、セメント置換として、①50%(高炉セメントB種相当)、②70%(高炉セメントC種上限相当)、③90%(高炉セメントC種上限超)の三水準で使用した配合としている。

3. 試験概要

3.1 自己収縮試験

『(仮称)高流動コンクリートの自己収縮試験方法』¹⁾を参考に、図-1に示すように、測温機能付き埋設型ひずみ計を中央部に配置した角柱試験体(10×10×40cm)を使用して試験を実施した。試験体は、コンクリート打設後、24時間で脱型を行い、その後、封緘状態にて恒温恒湿室内(温度:20℃、湿度:60%RH)で測定した。

3.2 長さ変化試験

高炉スラグ微粉末の置換率がコンクリートの乾燥収縮に与える影響の確認を目的として、JIS A 1129『モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法』に準拠した長さ変化試験を実施した。試験は、打設後、24時間で脱型を行い、材齢7日まで水中養生を実施後、初期値の計測を行い、恒温恒湿室内で26週まで測定した。

表-1 使用材料

材料	記号	仕様
水	W	上水道水
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³ 比表面積:3,320cm ² /g
	HPC	早強ポルトランドセメント 密度:3.14g/cm ³ 比表面積:4,490cm ² /g
混合剤	BFS	高炉スラグ微粉末4000 密度:2.89g/cm ³ 比表面積:4,440cm ² /g
細骨材	S	掛川産陸砂 表乾密度:2.58g/cm ³ 吸水率:2.01%
粗骨材	G	笠間産碎石 表乾密度:2.67g/cm ³ 吸水率:0.43%
混和剤	Ad	高機能AE減水剤(標準形I種) リグニルスルホン酸塩、オキシカルボン酸塩とポリカルボン酸系化合物
	SP	高性能AE減水剤(標準形I種) ポリカルボン酸系化合物、リグニルスルホン酸塩

表-2 試験配合

BFS 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						混和剤	
			W	B			S	G	Ad (B×%)	SP (B×%)
				OPC	HPC	BFS				
50	35.0	50.0	165	-	236	236	842	842	-	1.30
70			165	-	141	330	839	839	-	1.25
90			165	-	47	424	835	835	-	1.20
50	50.0	45.9	163	163	-	163	813	984	1.20	-
70			163	98	-	228	811	982	1.10	-
90			163	33	-	293	809	979	1.00	-

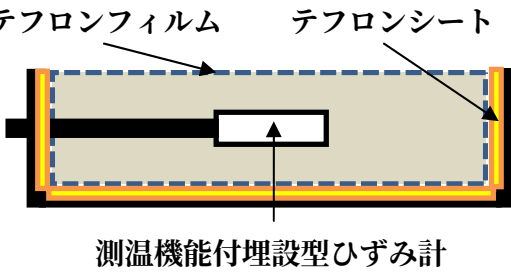


図-1 自己収縮試験体概要図

キーワード 高炉スラグ微粉末, CO₂排出削減, 低炭素, 自己収縮, 乾燥収縮
連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1 戸田建設(株)本社土木工事技術部 TEL03-3535-1614

4. 試験結果及び考察

4.1 自己収縮試験

高炉スラグ微粉末の置換率を 50%, 70%, 90%とした場合の自己収縮試験結果を、水結合材比別に図-2, 図-3 に示す。試験の結果、水結合材比に関わらず、今回の試験の範囲では、高炉スラグ微粉末の置換率が高い配合の方が、収縮量が小さい結果となった。また、高炉スラグ微粉末の置換率ごとに比較すると、置換率 50%と 70%の配合が概ね等しい結果となり、JIS 上限値を超える置換率 90%の配合では、収縮量が特に小さくなり、その傾向は水結合材比が 35%の配合で顕著であった。これは、高炉スラグ微粉末に内添した無水せっこう成分の反応によって生成されたエトリンガイトにより、材齢初期(凝結始発後)に適度な膨張作用が加わることで、自己収縮ひずみの発生が緩和されて小さくなったものと考えられる。

4.2 長さ変化試験

高炉スラグ微粉末の置換率による長さ変化率の違いを水結合材比別に、図-4, 図-5 に示す。図より、水結合材比が 35%の配合では、高炉スラグ微粉末の置換率によらず長さ変化率が同程度である。一方、水結合材比が 50%の配合では、高炉スラグ微粉末の置換率が高いほど、長さ変化率が小さくなり、JIS 上限値を超える置換率 90%配合では、長さ変化率が特に小さい結果となった。これは、高炉スラグ微粉末の使用によりコンクリート中の組織が緻密となり、収縮が抑制された結果であると考えられる。

5. まとめ

今回検討により以下のことが確認された。

- (1) 自己収縮試験の結果、内添する無水せっこうに起因するエトリンガイトの作用により、水結合材比に関わらず、高炉スラグ微粉末の置換率が高い配合で収縮量が小さい結果となった。
- (2) 長さ変化試験の結果、特に $W/B=50\%$ の配合では、高炉スラグ微粉末の置換率が 90%の配合で長さ変化率が小さく、乾燥収縮に対する抵抗性が高いことが確認された。
- (3) 上記結果より、高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートについても、十分な養生を行うことによって、高炉セメント B 種を用いたコンクリートと比較して、高い収縮ひずみ抑制効果が得られる可能性がある。

なお、本件は土木研究所が主催する共同研究の成果²⁾の一部である。

参考文献

- 1) コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書（Ⅱ），1994.5
- 2) （国研）土木研究所・戸田建設(株)・西松建設(株)：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅴ），2016.1

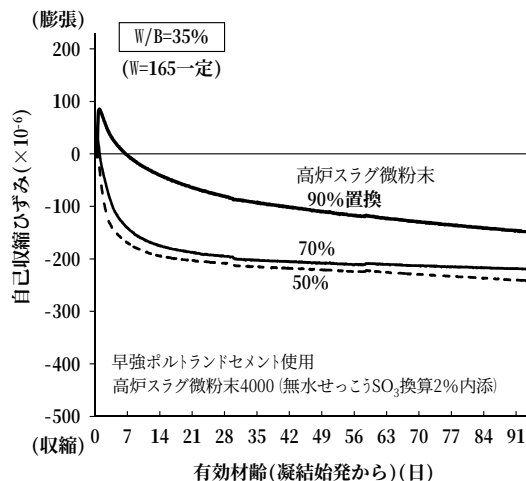


図-2 自己収縮試験結果($W/B=35\%$)

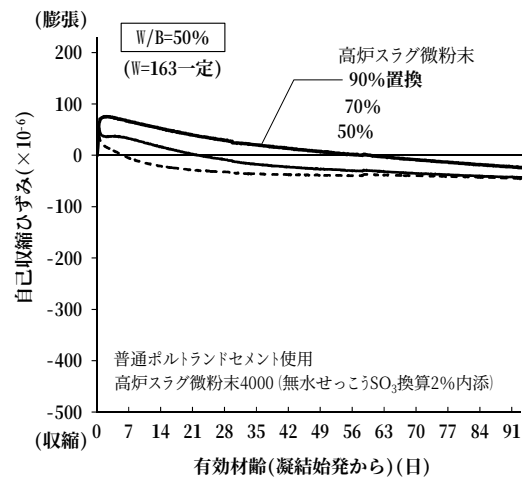


図-3 自己収縮試験結果($W/B=50\%$)

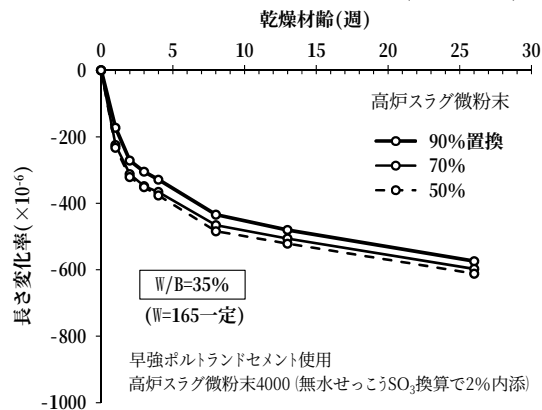


図-4 長さ変化試験結果($W/B=35\%$)

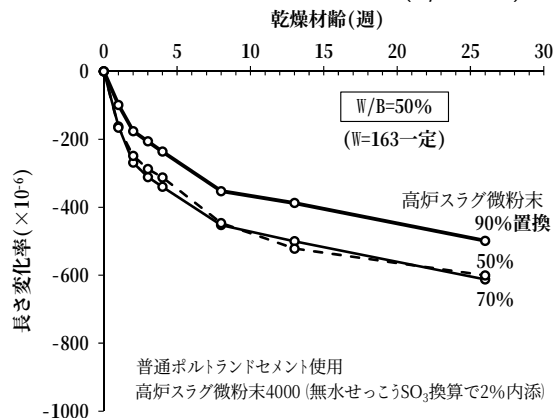


図-5 長さ変化試験結果($W/B=50\%$)