

混和材混入が自己収縮に与える影響の一検討

芝浦工業大学大学院 理工学研究科建設工学専攻
芝浦工業大学 工学部土木工学科

○太田 真帆
水野博貴
伊代田岳史

1. はじめに

現在、JIS において規定されている混合セメントは 3 種類あり、それぞれ普通セメントとは異なる特徴を有している。その中でも特に、高炉スラグ微粉末を使用して作製した高炉セメントは、普通セメントと比較して長期強度の増進が大きいことや、化学抵抗性・水密性に優れていることが報告されており、実現場においても多くの実績がある。一方で、高炉セメントは置換率が高くなると、普通セメントよりも自己収縮が大きいことが報告されている。しかし、高炉セメントが普通セメントと比較して自己収縮が大きくなる要因は明確ではない。

そこで、本研究では自己収縮は水和に起因するために、様々な置換率の高炉セメントの供試体を作製し、材齢ごとに供試体中の水の使用状態を測定すると同時に自己乾燥に陥っているかを確認し、普通セメントと比較して自己収縮が大きくなる要因を検討することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 供試体諸元

セメントの配合を表-1 に示す。セメントは石灰石微粉末を混和していない研究用普通ポルトランドセメント(OPC)を使用し、混和材には高炉スラグ微粉末(BFS)を使用し置換率が50%以上の高炉セメントを作製した。また、高炉セメントに対してフライアッシュ(FA)を置換すると、自己収縮が低減することが報告¹⁾されていることから、高炉セメントに対してFAを置換した3成分セメントも作製した。水結合材比は全て50%と一定とした。

2.2 自己収縮測定方法

自己収縮の供試体概要図を図-1 に示す。自己収縮の測定は簡易埋込みひずみゲージを用いて行った。供試体は打ち込みした翌日に脱型を行い、直ちにアルミテープを用いて封緘養生したものを恒温恒湿室(20℃, RH60%)にて静置した。

2.3 水分使用状態の測定方法

セメント硬化体中の水は、水和に使用された水と使用されていない水に分けられる。そこで、TG-DTA を用いて水分使用状態を評価した。既往の研究¹⁾において、水和に使用された水は 105℃~1000℃までの脱水量を用い

て評価している研究が多くある。しかし、一部の水和物の脱水は50℃付近においても開始しており、全水和物の半分以上を占めるCSHは100℃付近で半分近く脱水する。そこで、本研究では水和に使用された水は、表-2 に示すように、40℃~105℃、105℃~1000℃と設定し、それぞれの温度域における脱水量を測定した。水和に使用されていない水は室温~40℃までに脱水する水とし、TG-DTAの結果から計算して算出した。

TG-DTA に用いた試料は所定材齢において封緘養生を終了させ、ハンマーを用いて粗粉碎し、多量のアセトンに24時間浸漬をさせた。その後、真空脱気を行いメノウ乳鉢を用いて微粉碎したものを試料とした。

2.4 飽和度測定

自己乾燥度合いを確認するために、アルキメデス法を用いて算出した空隙量と、TG-DTA から算出した、室温~40℃で脱水する水量を用いて飽和度の算出を行った。

表-1 セメント配合表

成分	記号	W/B	セメント種類 (質量割合)		
			N	BFS	FA
一成分	OPC	50%	100%		
二成分	B80		20%	80%	
	B70		30%	70%	
	B60		40%	60%	
	B50		50%	50%	
三成分	B50F10		40%	50%	10%
	B50F20		30%	50%	20%
	B60F10		30%	60%	10%
	B60F20		20%	60%	20%
	B70F10		20%	70%	10%
	B80F10		10%	80%	10%

表-2 脱水量測定温度域

	測定温度	存在箇所
水和に使用されていない水	室温 ~ 40℃	空隙
水和に使用された水	40℃ ~ 105℃	CSH, AFt, Afmの一部
	105℃ ~ 1000℃	水和物

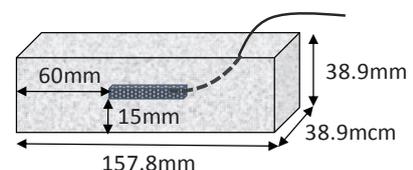


図-1 自己収縮供試体概要図

3. 実験結果

3. 1 自己収縮

図-2 に材齢 7 日時の自己収縮の測定結果を示す。高炉セメントは、BFS の置換率が高いものほど普通セメントよりも自己収縮ひずみ量は大きい傾向を示した。また、フライアッシュを混入した B60F10, B70F10, B80F10 と BFS の置換率が同量の B60, F70, B80 とそれぞれ比較すると FA を混入したものの方が、自己収縮量は小さくなった。また、セメント量が同一な配合(B80 と B70F10, B70 と B60F10)においても FA が混入している配合の方が自己収縮量は小さくなった。

3. 2 水分使用状態

測定試料中の水分量に対するそれぞれの温度域で脱水した水の割合を算出した、材齢 7, 28 日時の結果を図-3 に示す。OPC は、水和に使用されていない水(室温~40°C)の割合は材齢が経過すると減少し、105~1000°Cで脱水する水の割合は、材齢が経過すると増加した。一方で、40~105°Cで脱水する水の割合は、ほとんど材齢が経過しても変化しなかった。高炉セメントと FA を混入したセメントでは、水和に使用されていない水と 105~1000°Cで脱水する水は、普通セメントと同様に材齢が経過するにつれて増減した。しかし、40~105°Cで脱水する水の割合は材齢が経過するにつれて増加する傾向を示した。この、40~105°Cで脱水する水の増加割合は、FA を置換した配合程小さかった。以上の結果より、混合セメントは普通セメントと比較して水分の使用状態が異なる。

3. 3 飽和度

飽和度の測定結果を図-4 に示す。飽和度は、BFS の置換率が高い配合程、材齢が経過するにつれて減少する傾向を示し、自己乾燥が起きていると考える。FA を置換した配合においては、高炉セメントよりも若干飽和度は大きかった。図-5 に飽和度とセメント 1g に対する 40~105°Cで脱水する水の割合の関係を示す。40~105°Cで脱水する水の割合が増加することで、飽和度が減少していることから、C-S-H などの水和物が水を利用することで、飽和度が低下しているものと推察する。

4. 考察・まとめ

以上の結果より、高炉セメントは、普通セメントよりも自己乾燥が起りやすいために、自己収縮が大きくなったと考える。また、FA を置換した配合において、自己収縮が低減した要因は、自己乾燥が高炉セメントより低減したためだと考える。高炉セメントの自己乾燥が大きくなる要因としては、40~105°Cで脱水する水が、材齢が経過するにつれて多く生成するため、空隙内にある自由水が使用される割合は、材齢が経過するにつれて増加するために、飽和度は減少し自己乾燥が発生すると考える。

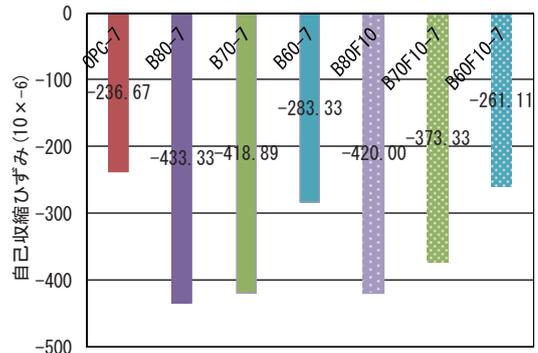


図-2 自己収縮ひずみ

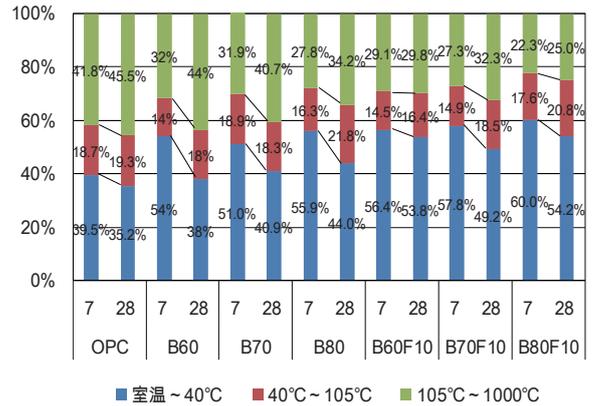


図-3 水分使用状態

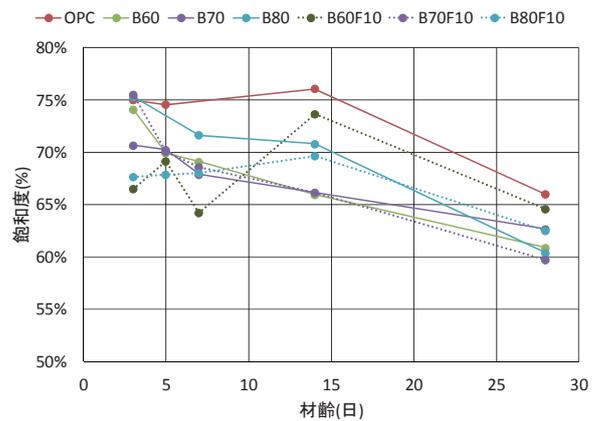


図-4 飽和度

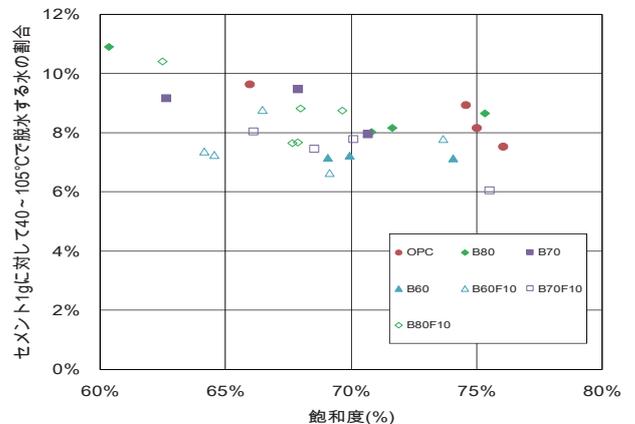


図-5 飽和度と 40~105°Cで脱水する水の割合

【参考文献】

- 1) セメント協会:セメント硬化体研究委員会報告書, 2001年, pp273-290