

高炉セメントの水分消費方法の違いが収縮特性に与える影響の把握

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○太田 真帆
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. 背景・目的

セメント製造時には多くの二酸化炭素を排出することが知られており、二酸化炭素は地球温暖化に影響を与える物質として知られている。そのため、排出量を削減する改善策として、混和材をセメントの一部に置換し混合セメントを作製することで、セメント製造時に排出される二酸化炭素量を削減する取り組みが行われている。現在、JISで混合セメントは3種類あるが、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実績がある。一方で、高炉セメントは普通セメントよりも自己収縮が大きいことも報告されている。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、自己収縮が水和反応の進行によって体積減少することで発生することから、本研究では高炉セメントの置換率を変動させた供試体を作製し、材齢ごとに供試体中の水の使用状態を測定し、普通セメントと比較して自己収縮が異なる要因を検討することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 供試体諸元

セメントの配合表を表-1に示す。セメントは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、置換率を変動させた高炉セメントを作製した。高炉セメントはBFSの置換率が高くなるほど自己収縮が大きいことから、BFSの置換率は、セメントに対して50%以上になるような配合を作製した。また、高炉セメントに対してフライアッシュ(FA)を置換することで、自己収縮が低減することが報告されていることから、高炉セメントに対してFAを置換した混合セメントも作製した。FAの置換率は

10%, 20%と設定した。

2.2 自己収縮

図-1に供試体概要を示す。自己収縮の測定は埋込型ひずみゲージ(KM-120-H2-11)を用いて測定を行った。供試体は打設した翌日に脱型を行い、アルミテープを使用し封緘状態にし、恒温恒湿室(20°C, RH60%)の環境下に静置し測定を行った。

2.3 水分使用状態の測定方法

セメント硬化体中の水は、水和反応に使用された水と、使用されていない水に分けられる。そこで、本研究では示差熱重量分析試験(TG-DAT)から得られる脱水量からセメント硬化体中の水の使用状態の評価を行った。既往の研究¹⁾において、50°C付近からセメントの水和物は脱水し、CSHのような非結晶の物質の水は100°C付近までで多く脱水することから、本研究では水和に使用されていない水は表-2に示すように室温~40°Cとし、水和に使用されている水は40°C~105°C、105°C~1000°Cと2つに分け計3つの温度域に分類し水の使用状態を評価した。

表-1 配合表

	記号	W/B	セメント種類(質量割合)		
			N	BFS	FA
一成分	OPC	50%	100%		
	B80		20%	80%	
二成分	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 脱水量の測定温度域

記号	脱水温度域
①	室温~40°C
②	40°C~105°C
③	105°C~1000°C

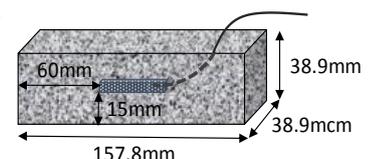


図-1 自己収縮供試体概要図

キーワード 自己収縮, 混合セメント, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 示差熱重量分析

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 芝浦工業大学 TEL. 03-5859-8356 E-mail: me15022@shibaura-it.ac.jp

3. 実験結果・考察

3.1 自己収縮

図-2 に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

TG-DTA の測定結果を用いて以下の式から配合上の水の使用状態を評価した。

$$\begin{aligned} \text{測定試料のセメント量} &= \text{測定試料の重さ} - \text{TG から算出した総脱水量 (室温} \sim 1000^{\circ}\text{C)} \quad \dots (1) \\ \text{測定試料の総水量} &= \text{測定試料のセメント量} \times W/B \quad \dots (2) \\ \text{水和に使用されていない水} &= \text{測定試料の総水量} - 40 \sim 1000^{\circ}\text{C まで脱水量} \quad \dots (3) \\ \text{水分の使用状態 (\%)} &= \text{① または ②, ③ の脱水量} \div \text{測定試料の総水量} \times 100 \quad \dots (4) \end{aligned}$$

測定結果を図-3 に示す。グラフの横軸は” 配合の記号-材齢 ” となっている。 OPC は材齢が経過するにつれて、①(室温から $\sim 40^{\circ}\text{C}$ で脱水する水)の割合は減少し、③($105^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ で脱水する水)の割合は増加した。一方で、②($40 \sim 105^{\circ}\text{C}$ で脱水する水)の割合は材齢が経過しても大きな変化はなかった。高炉セメントは、OPC と同様に材齢が経過するにつれて、①の割合は減少し、③の割合は増加した。さらに、②の割合は材齢が経過するにつれて増加した。特に、材齢7日から28日の間で大きく②($40 \sim 105^{\circ}\text{C}$ で脱水する水)の割合は増加した。 BFS 量が一定な配合において、FA を置換した配合としていないものを比較すると、FA を置換した配合は②の割合が小さくなる傾向を示した。このことから、混和材を混入すると水の使用状態は異なる。

3.3 自己収縮と水分使用状態

3.2 の結果より混和材が混入することで、②の水の変化割合が異なることから、水和に使用された水に対して②の割合と収縮との関係を整理した。測定結果を図-4 に示す。水和に使用された水(②+③)に対して②の割合が小さくなりやすいものほど、自己収縮は大きい傾向を示した。このことから、②の水は自己収縮に

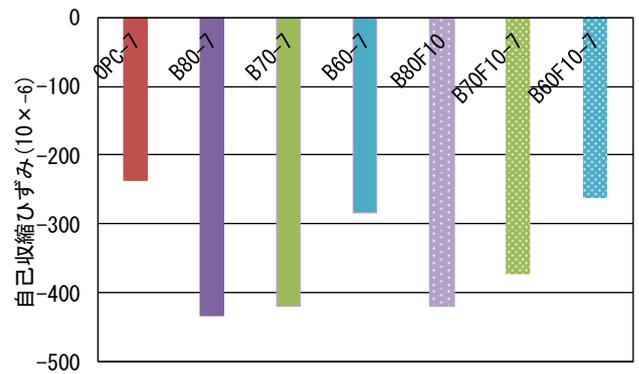


図-2 自己収縮測定結果

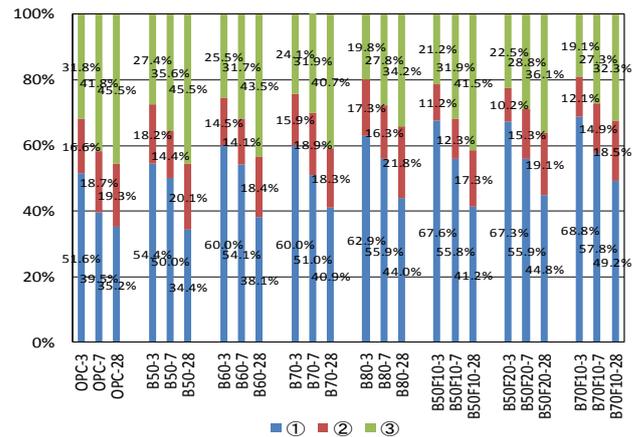


図-3 水分使用状態

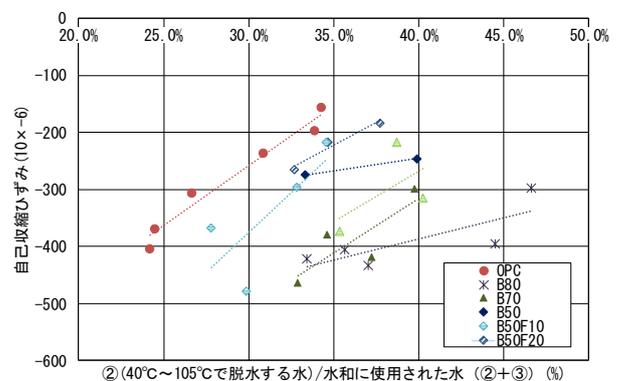


図-4 自己収縮と水分使用状態の関係

影響を与えると考えられる。そのため、②の割合は BFS を混入したものほど多いため、OPC よりも自己収縮しやすいと考える。

4. まとめ

- (1) 混合セメントは普通セメントと比較して、水分消費方法が異なる。
- (2) 自己収縮量は $40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ で脱水する水と関係性がある。

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
- 2) 亀山敬宏等:水和に消費される水分量に着目した高炉セメントの水和反応解明,第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, V-63