

建設工学 専攻
建設複合材料 研究

ME15022 おおた 真帆
指導教員 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規格において規定されている混合セメントは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、本研究では自己収縮が水和反応の進行によって体積減少することから発生することから、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大きく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

セメント配合を表-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試製した。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試製した。FAの置換率は10%、20%と設定した。水結合材比は全て50%と一定とし、セメントペーストの供試体を作製した。ブリーディングを抑制するために、練り置き後に型枠に打込みを行った。

2.2 自己収縮

自己収縮の供試体概要図を図-1に示す。自己収縮の測定は埋込型ひずみゲージを用いて測定を行った。供試体は打込みした翌日に脱型を行い、アルミテープを使用して封緘状態にし、恒温恒湿室(20℃,RH60%)にて静置し測定をした。

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、TG-DTAを用いて、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⁾においてセメント硬化体のTG-DTAの測定結果から105℃付近から、水和物の結合水の脱離反応が明確であることから、水和に使用された水は105℃~1000℃での脱水量を用いて評価が数多くされている。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、全水和生成物の半分以上を占めるCSHの結晶水は100℃付近までで半分近く脱水することも報告²⁾されている。そこで、本研究では水和に使用されている水は表-2のように40℃~105℃、105℃~1000℃と2つの温度域を設定し、それぞれにおいての脱水量を測定した。水和に使用されていない水は、室温から40℃で脱水するものと設定をした。このように計3つの温度域に分類し水の使用状態を評価した。

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で粗粉碎を行い、多量のアセトンに24時間浸漬させた。その後、真空脱気しメノー乳鉢を用いて微粉碎したものを試料とした。

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%	
	B50		50%	50%	
三成分	B50F10		40%	50%	10%
	B50F20		30%	50%	20%
	B70F10		20%	70%	10%

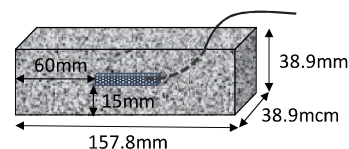


図-1 自己収縮供試体概要図

表-2 脱水量の測定温度域

	記号	測定温度
水和に使用されていない水	①	室温~40℃
水和に使用された水	②	40℃~105℃
	③	105℃~1000℃

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 B50F10, B50F20, B70F10 は、BFS の置換率が同量の B50, F70 とそれぞれ比較すると、自己収縮量は小さくなった。また、セメント量(OPC)の混入率が30%と同一である B70 や B50F20 では、FA が混入した B50F20 の方が自己収縮量は小さくなった。

3.2 水分使用状態の測定結果

TG-DTA の測定から得た結果を用いて以下の計算を行いセメント硬化体内の水の使用状態を評価した。

$$\begin{aligned} & \text{測定試料のセメント量} \\ &= \text{測定試料の重さ} \\ &- \text{TGから算出した総脱水量(室温~1000℃)} \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{測定試料の総水量} = \text{測定試料のセメント量} \\ & \quad \times W/B \dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{水和に使用されていない水①} \\ &= \text{測定試料の総水量} \\ &- 40\sim 1000\text{℃まで脱水量} \dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{水分の使用状態(\%)} \\ &= \text{①または②, ③の脱水量} \\ & \div \text{測定試料の総水量} \times 100 \dots (4) \end{aligned}$$

各材齢における測定結果を図-3 に示す。横軸は「配合の記号・材齢」となっている。混和材を混入した配合は OPC に対して①～③の水の割合はそれぞれ異なった。①(室温から～40℃で脱水する水)の割合はどの配合においても、材齢が経過するにつれて減少し、③(105℃～1000℃で脱水する水)の割合は増加する傾向を示した。一方で、②(40～105℃で脱水する水)の割合は、OPC は材齢が経過しても大きな変化はないが、BFS, FA の混入したものは材齢が経過するにつれて割合は増加した。また FA を混入すると②の割合は小さくなった。このことから、混和材を混入すると OPC とは水分の使用状態が異なるといえる。

3.3 自己収縮と水分の使用状態

自己収縮は水和反応の進行によって発生することから、水和に使用された水と自己収縮との関係を整理した。水和に使用された水は本研究では②(40～105℃で脱水する水)及び③(105～1000℃で脱水する水)と2種類あるが3.2の結果より②の割合変化が配合ごとに異なったことから、水和に使用された水(②と③の合計)に対して②の割合を算出し、自己収縮量との関係を整理した。図-4 に測定結果を示す。水和に使用された水に対して②の割合が小さくなりやすい配合ほど、自己収縮ひずみ量が増加しにくい傾向となった。このことから、自己収縮には②の割合が影響を与えていることがわかる。図-3 より FA を混入したものは、②の

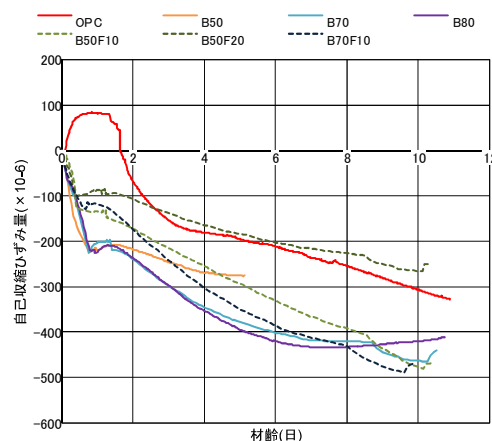


図-2 自己収縮ひずみ

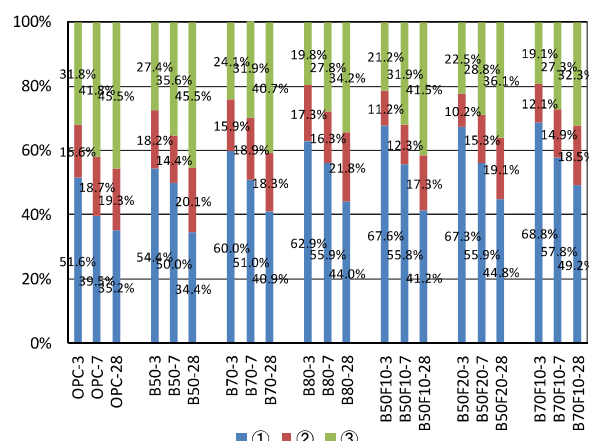


図-3 水分使用状態

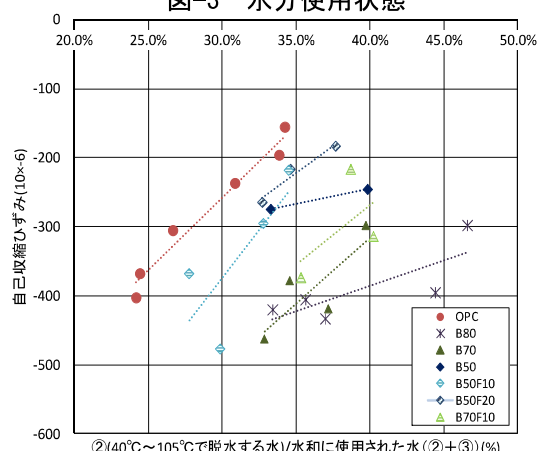


図-4 自己収縮と水分使用状態

割合が FA を混入していないものと比較して小さいために、水和に使用された水に対して②の割合が小さくなりやすく、高炉セメントよりも自己収縮を低減できたのではないかと考える。

4. まとめ

- (1) 混合セメントは普通セメントと比較して、水分の使用状態が異なる。
- (2) 自己収縮は 40℃～105℃付近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, 001 年, pp273-290
- 2) 原沢蓉子等: 消費水分量に着目した高炉セメントの水和反応解明に関する一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, 2015