

養生期間が混合セメントの水和反応に及ぼす影響

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○深澤 英将
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

コンクリートはセメントと水が反応し、硬化して強度を発現する。コンクリートの強度や耐久性、水密性を向上させるには、コンクリート表層部の水分の逸散を防ぎ、湿潤状態に保つ養生が重要な役割を果たす。既往の研究¹⁾からセメントの種類と養生は関係があることが知られている。本稿はまず養生期間によってセメント硬化体中の水がどのように使用をされているのかを脱水温度を変化させることで水分の使用状態の把握を試みた。次に普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末の置換率を変動させた高炉セメントの水和反応の特性の違いを結合水量をもとにして検討をした。

2. セメント硬化体中の水分使用状態の把握

2. 1 実験概要

まずセメント硬化体中の水がどのように使用されているかを把握するために表—1のように脱水量の温度域を変化させて水分の使用状態を評価した。既往の文献²⁾では水和に使用された水は105℃～1000℃での脱水量を用いて評価をされている。しかし、一部の水和物の脱水は50℃付近においても開始をしており、エトリンサイト(Aft)やモノサルフェート(AFm)の結合水の脱水や、カルシウムシリケート水和物(C-S-H)の結晶水は100℃付近までで半分近く脱水する。そこで今回は水和に使用された水は40℃～105℃、105℃～1000℃の2つに設定をして、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て、TG-DTAの結果から算出した。セメントは普通ポルトランドセメント(N)を使用し、混和材には高炉スラグ微粉末(BFS)を使用した。高炉スラグ微粉末の置換率は50,60,70,80,90%のものを作製し、水結合材比は50%と一定にした。

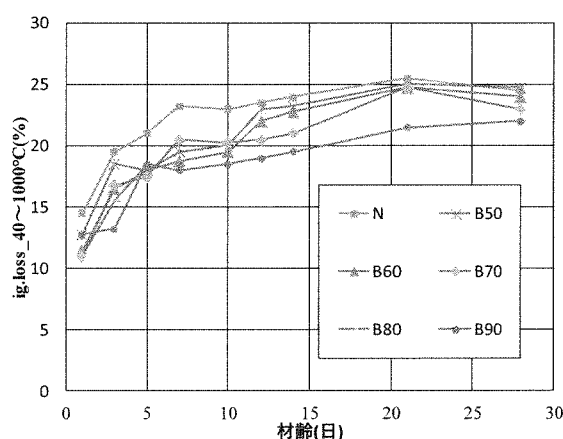
2. 2 実験結果

キーワード 養生、水和反応、結合水量、高炉スラグ微粉末

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 芝浦工業大学

表—1 脱水量測定領域

	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 普通セメントと高炉セメントの ig. loss

2. 2. 1 ig.loss

各配合の TG-DTA から算出した結果より、ig.lossの結果を図—1 に示す。今回水和に使用された水は40℃から脱水すると仮定しているため、40℃～1000℃における脱水量の割合を縦軸に取った。BFSの置換率が高くなるに従って ig.loss は低い割合を示した。また、N と B50 を比較すると N は材齢5～7日にかけて ig.loss の割合が増加したが、B50 の場合は材齢10～12日において同じ傾向を確認した。これらは、BFS は N と比較して、水和進行速度が遅いことが要因ではないかと考えられる。

2. 2. 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の脱水した水の割合を算出した。封緘養生期間1日から28日の結果を図2～7に示す。普通ポルトランドセメントは、水和反応に使用されていない水の割合は養生期間が長いと減少した。一方、40℃～105℃で脱水する水の割合は、養生期間によらずほとんど

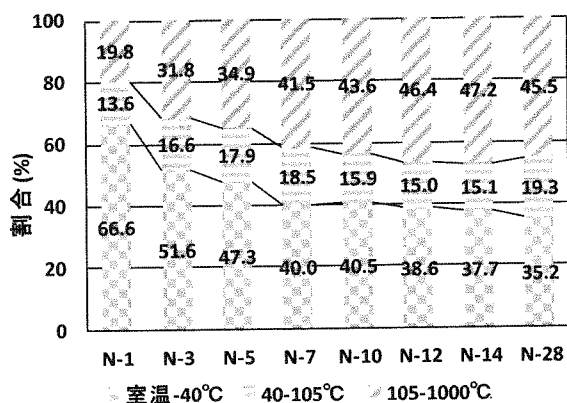


図-2 Nの水分使用状態

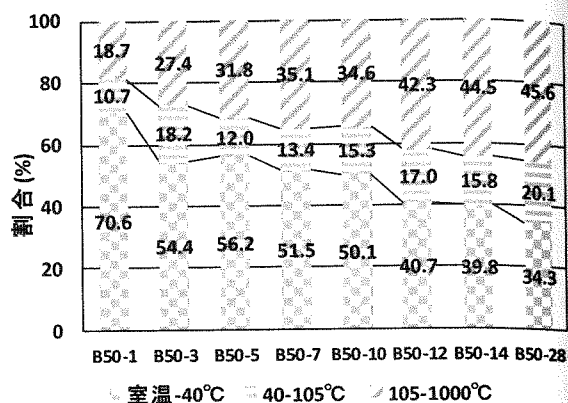


図-3 B50の水分使用状態

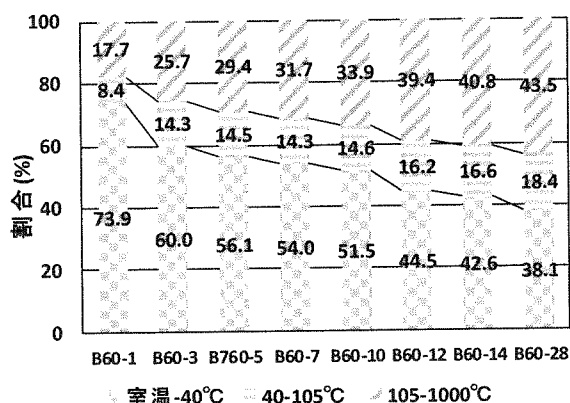


図-4 B60の水分使用状態

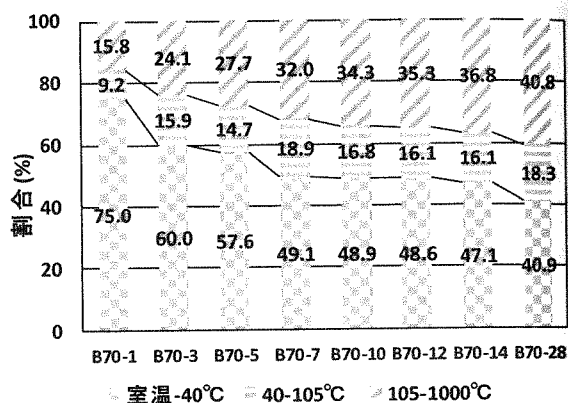


図-5 B70の水分使用状態

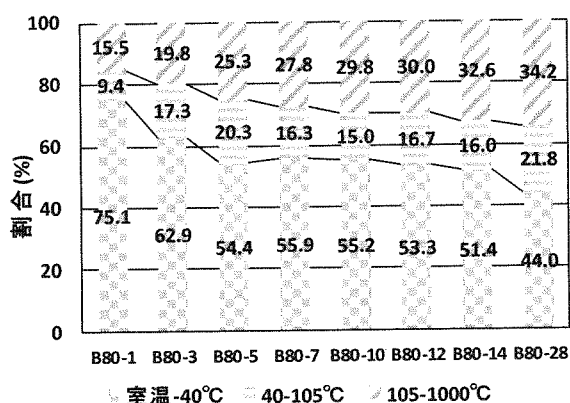


図-6 B80の水分使用状態

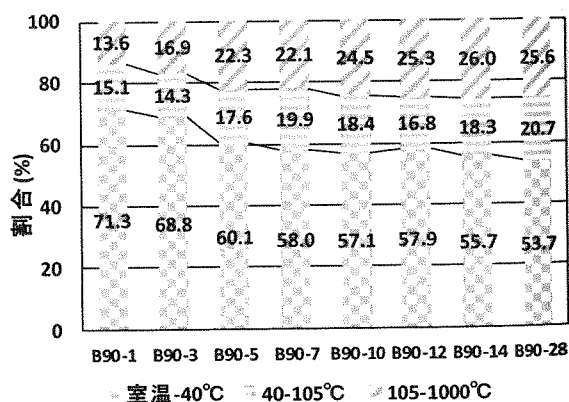


図-7 B90の水分使用状態

変化はなかった。高炉セメントの場合、置換率が高くなるほど水和反応に使用されていない水の割合が大きくなった。しかし、養生期間が長いと 105℃～1000℃での脱水量の割合は大きくなっていった。これは、水和反応が進行して水和物が生成されたからであると考えられる。40℃～105℃の温度域の割合は養生期間を経過するにつれて増加傾向が見られた。しかし、置換率で比較すると B90 は若材齢から割合が大きいことから、OPC との置換率も水和反応に影響

があると考えられる。

3. 養生における普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末の消費水分量の把握

3.1 実験概要

普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末のそれぞれが水和反応に使用した水の量を把握することを試みた。BFS の置換率は 20, 45, 70%として、供試体の水結合材比を 35%, 55%とした。この水結

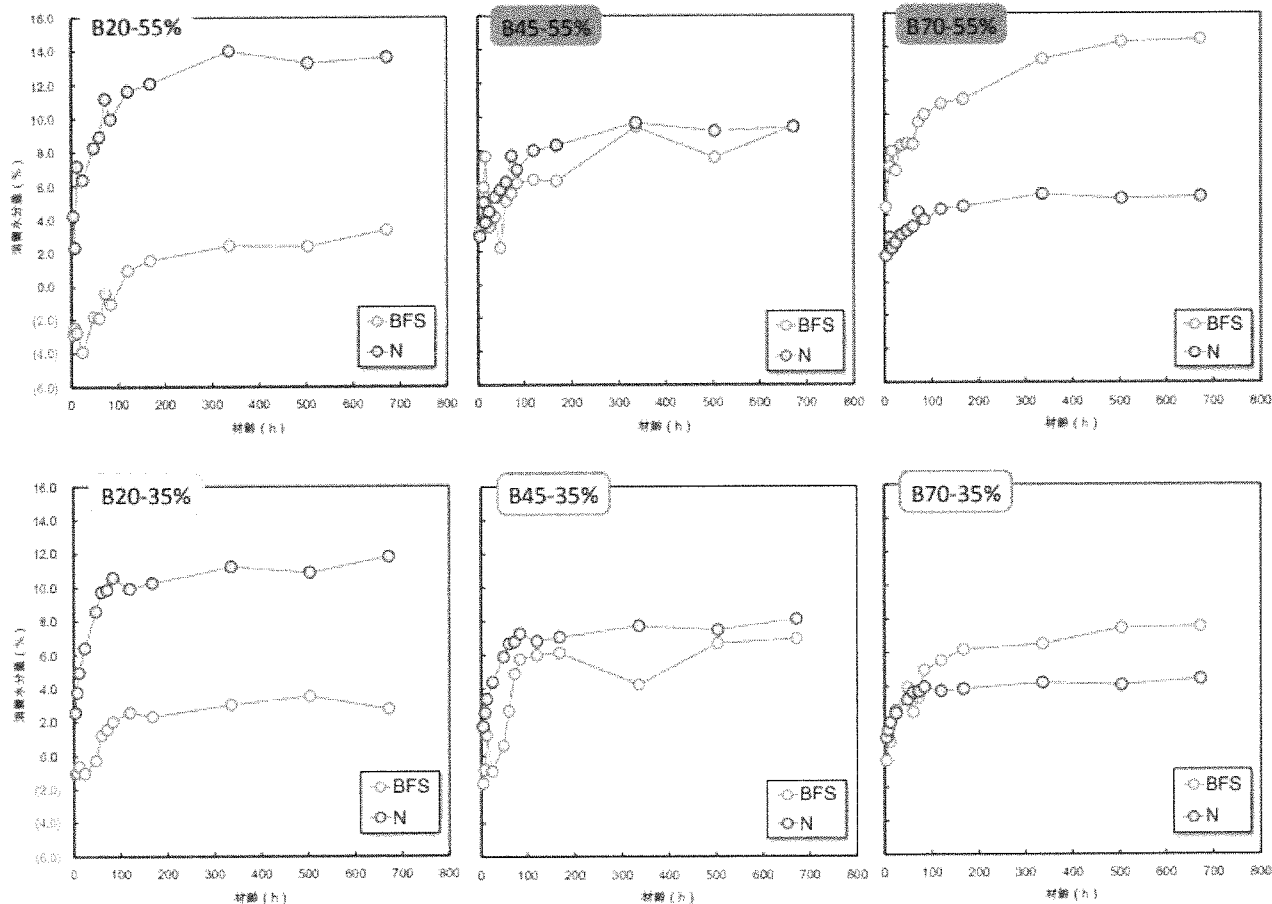


図-8 普通セメントと高炉スラブ微粉末の消費水分量の違い

合材比にした理由として、水の量の大小によっても N と BFS が水和反応に消費する水の量が変化するのはないかと考えたためである。

今回も、TG-DTA を用いて ig.loss の試験を実施し、105℃～1000℃の減量値から結合水量を算出した。

TG-DTA に用いた試料は温度 20℃、相対湿度 60% の環境下で封緘養生を実施した。測定材齢は 4,8,12,16 時間と 1,2,3,5,7,14,21,28 日とした。所定の養生期間終了後、ハンマーを用いて粗粉碎し、多量のアセトンに 24 時間浸漬させた。その後、真空脱気を行いメノー乳鉢を用いて微粉碎したものを試料とした。

3. 2 実験結果

本検討では既往の研究³⁾を参考にセメント種類が異なっても普通ポルトランドセメントの結合水量の関係が一樣であると仮定した。この仮定により、結合水量を高炉セメント中の普通ポルトランドセメント含有率で除することで、高炉セメント中の N の結合水量を仮定した。

上記の方法で得た各配合での N と BFS での水和に

使用された水分量を図-8 に示す。B20 では算出した値がマイナスになっている。これは前述の過程を用いて算出したためにこのような結果となったと考える。マイナスの場合において、本検討では BFS は水分を消費していないと考えた。

まず水結合材比 55% において、BFS の置換率の増加に伴って BFS の水和反応に使用した水分量が増加し、B70 では、N の水分使用量よりも多い結果となった。このことから B20 や B45 に関しては養生初期に水を消費し水和反応が起こるが、その後、あまり反応していないことが考えられる。一方、B70 においては長期にわたって水を使用し続けていることが分かる。水結合材比 35% に関して、55% と同様に BFS の置換率の増加に伴い水分の使用量も増えている。しかし、B70 は養生期間に関わらず B20、B45 と同様の傾向を示しており、初期に水を使用し、その後はあまり水を使用していないことがわかる。これは、低水結合材比の場合、水和反応に使用できる水が少なく、N 及び BFS の反応が停滞し養生期間に関わらず水和反応が進まなかったのではないかと考えられ

る。一方、高水結合材比では反応に使用できる水が多く存在をしているため、N,BFS とともに水和反応を行えているのではないかと考える。

4. まとめ

水結合材比が一定の場合、高炉スラグ微粉末の置換率によって水和反応の進行速度は異なり、養生期間が長いほど水和反応はすすむ。しかし、置換率が高いと養生期間の短いうちに水和反応をして 40～105℃で脱水する C-S-H など水和物の一部が生成されやすい。これは、高炉スラグ微粉末の置換率の増加に伴い、水和反応に使用される水分量も増加をするためだと考えられる。

結合比を比較してみると高水結合比の場合、反応できる水が多く存在するため、養生期間を長くすると普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末とともに水和反応が十分可能である。しかし、低水結合材比の場合は、反応に使用できる水が少ないため養生期間が長い場合でも水和反応が停滞していると考

えられる。

今後、養生期間における水和生成物量の違いから、セメント硬化体の強度などとの関連も検討していきたい。

参考文献

- 1) セメント化学専門委員会報告 セメント協会 2008. 2
- 2) 佐川孝広, 名和豊春: リートベルト法による高炉セメントの水和反応解析 コンクリート工学論文集 第17巻, 第3号, 2006,9
- 3) 亀山敬宏, 伊代田岳史: 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-63,2015.3
- 4) 太田真帆: 混合セメントの水分状態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理工学研究科 建設工学専攻 修士論文 2017.3