

養生温度の違いが各種セメントの水和反応および硬化体物性に与える影響

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 社会基盤学専攻
 芝浦工業大学 工学部 土木工学科
 芝浦工業大学 先進国際課程 兼務 土木工学科

○八尋 瑠奈
 渡邊 健太
 伊代田 岳史

1. はじめに

コンクリートはセメントと水の水和反応が進行する過程で強度や物質移動抵抗性を発現する。そのため、水和の過程において水分の逸散を防ぐことを目的とした湿潤養生が必要であり、養生が硬化体特性へ与える影響については様々なセメント種類を使用した場合に多くの検討が行われている。一方で、水和へ与える影響因子としては使用する材料のほかに養生環境が挙げられる。要求性能を満足するコンクリートの設計のためには、材料や養生環境が水和へ与える影響を把握することが求められる。ポルトランドセメントを使用した場合、養生環境に着目した研究は数多く行われている。一方で、土木学会コンクリート標準示方書では高炉セメント等の混合セメントを使用する場合には初期の養生を確保する必要があることが記載されているものの、養生環境に着目した水和反応についての検討事例は多くはない。

そこで本研究では各種セメントを用いた場合において、養生環境として養生温度に着目し、水和反応の把握を目的とした検討を行った。また、水和反応とそれに伴う硬化体物性の関係を検討した。

2. 水和反応の把握

2. 1 実験概要

本研究では水和反応の把握を目的とし、異なるセメント種類、養生条件にて経時的に結合水率の測定を行った。試験概要を図1に示す。セメントは、普通ポルトランドセメント (OPC)、低熱ポルトランドセメント (LPC)、早強ポルトランドセメント (HPC)、高炉セメント B 種 (BB)、C 種 (BC) の5種類を使用した。W/C=0.55 で一定とし、50×70mm のチャック付きポリ袋にセメントペーストを打込み、厚さ 1mm 程度の試料を作製した。養生温度による影響を検討するため、5、20、40°Cで封緘養生を施し、また養生日数を 1、2、3、4、5、7、11、14、21、28、42、56 日とした。養生終了後、前処理として試料を粉碎しエタノールを用いて水和停止を行った。粉碎した試料を 1g 程度測り取り、高炉スラグ微粉末の酸化による質量増加を考慮し、電気炉にて 850°Cで焼成を行った。焼成前後で試料質量を計測し結合水率を算出した。

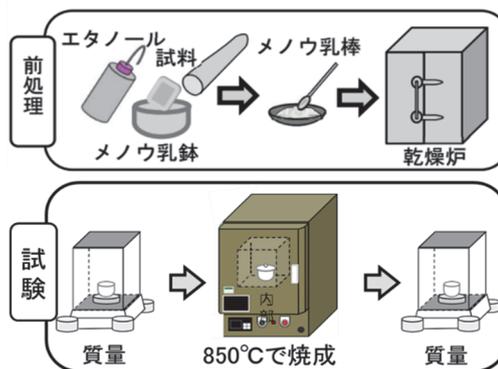


図1 試験概要

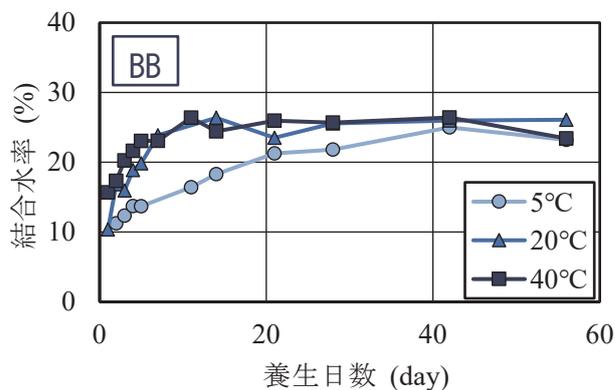


図2 養生日数と結合水率 (BB)

2. 2 結果と考察

一例として、図2にBBの養生日数と結合水率の関係を養生温度ごとに示す。養生日数が短い場合に結合水率が大きく増加しており、養生日数の延長に伴いその増加は緩やかになることがいずれのセメント種類でも認められた。また養生温度に着目すると、養生初期では温度が高いほどに結合水率が大きくなるが、長期的に養生を行った場合には40°Cで養生した場合に結合水率の増加が停滞しており、養生56日時点で温度によらずほぼ同程度の結合水率となることが分かった。このことから高温では初期に、低温では長期的に水和反応が進行していることが考えられる。

図3に各セメント種類における400・D・D程度までの

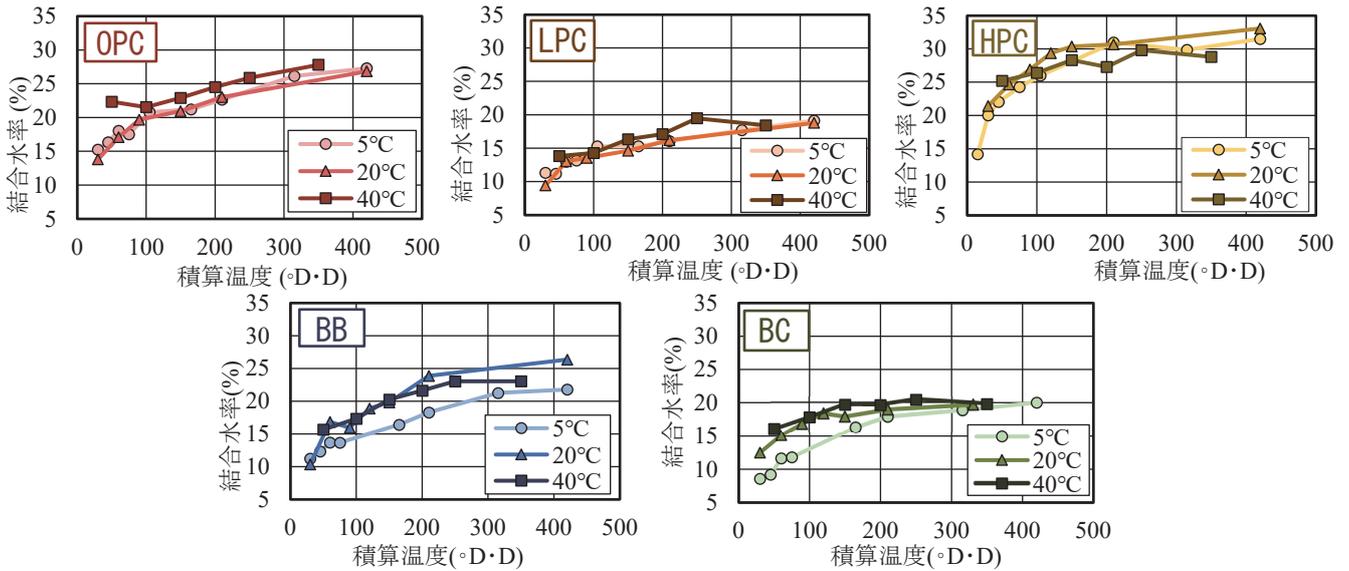


図3 積算温度と結合水率の関係

積算温度と結合水率の関係を養生温度ごとに示す。OPC、LPC、HPCでは養生温度によらず、同一積算温度のとき同程度の結合水率を示した。セメント種類に着目すると、OPCに比較し、LPCでは全体的に結合水率が小さくなっており、HPCでは約100°D・Dまでに急激に結合水率が増加していることが分かった。これはセメント鉱物の反応度の違いを表していると考えられる。一方BB、BCでは20°C、40°Cでは結合水率は同程度になるのに対し、5°C養生の場合のみ積算温度に対して結合水率が小さくなる傾向が認められた。このことから、高炉セメント系では温度依存性が高く、特に低温の場合に影響が大きいことが分かった。

表1 同一結合水率時の材齢、積算温度

セメント種類	OPC			LPC			BC			
	養生温度(°C)	5	20	40	5	20	40	5	20	40
材齢(day)	14	6.8	1.7	28	14	5.6	12	2.7	1	
積算温度(°D·D)	210	205	86	413	421	277	184	81	50	

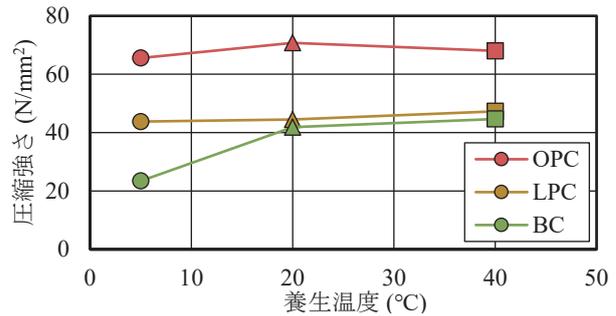


図4 圧縮強さ

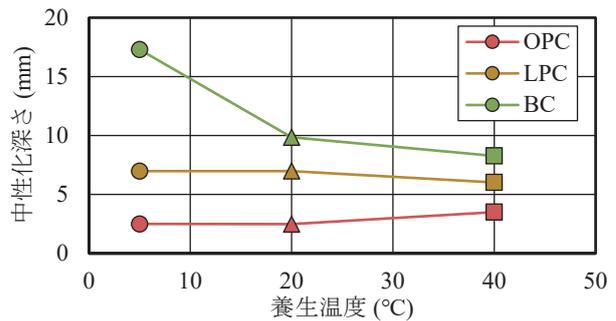


図5 中性化深さ(促進7日)

3. 同一結合水率における硬化体物性の把握

各養生温度で同一結合水率を有する時点での強度、耐久性の検討を行った。OPC、LPC、BCにおいて40×40×160mmのモルタル供試体を作製し、表1に示す材齢時に圧縮強さ試験および促進中性化試験を行った。図4に圧縮強さ、図5に促進7日の中性化深さを示す。OPC、LPCでは養生温度によらず、同一結合水率では同程度の圧縮強さ、中性化深さを示した。一方で、BCでは5°C養生は他の養生温度の場合と比較し強度は小さく、中性化深さも大きくなった。結合水率が同じであれば水和進行も同じであると考えられ、硬化体性能も同様の結果を示すと考えられるが、BCの5°C養生では十分に性能が発現していないことが分かった。これは、既往の研究¹⁾にて、高炉セメントを使用した場合、養生温度により水和生成物が異なることも報告されており、結合水率が同じ場合C-S-H等水和物のH/S比の違いが強度に影響したことが考えられるが、水和物の定性分析等今後更なる検討が必要であると考えられる。この結果より、低温環境で高炉

セメントを使用する場合には、養生期間を十分に設定する必要があることが示された。

【参考文献】

- 1) 斎藤豪ほか：養生温度が材齢初期の高炉スラグ微粉末混和セメント硬化体の水和生成相および空隙構造に及ぼす影響、材料、Vol.58、No.8、pp.715-720 (2009)