

高炉スラグ高含有セメントの水和反応に及ぼす無水石こうと石灰石微粉末の影響

前橋工科大学工学部 社会環境工学科 学生会員 ○九里竜成
前橋工科大学工学部 社会環境工学科 正会員 佐川孝広

1. はじめに

高炉セメントは、産業副産物の有効利用、CO₂排出量削減の観点から利用拡大が望まれている^{1,2)}。現在、我が国で流通する高炉セメントはスラグ置換率が40～45%程度の高炉セメントB種がほとんどである³⁾が、より高炉スラグ含有量を高めた高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートに期待が寄せられている。しかし、高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートは、高い温度ひび割れ抵抗性を潜在的に有しているが実用例が限られており、若材齢時において温度ひび割れ挙動に不明な点が多い。

そこで本研究では、高炉スラグ高含有セメントの初期水和機構の解明と温度ひび割れ抵抗性に資する材料構成の最適化を目的に、高炉スラグ高含有セメントの水和反応に及ぼす無水石こうと石灰石微粉末の影響について検討した。

2. 実験

2.1 実験概要

本研究では、無水石こう(CaSO₄)および石灰石微粉末(CaCO₃)混合量を変化させた高炉セメントを用い、セメントペーストによる水和反応解析およびモルタル圧縮強度試験を実施した。セメントペーストの水セメント比は50%とし、養生は20°C一定およびマスコンクリートの高温履歴を模擬した最高温度40°C、60°Cの条件とした。各測定のコア齢は3,7,28日とした。表1に高炉セメントの配合を、図1に養生時の温度履歴を示す。なお、No.1, No.2, No.3~11はそれぞれ20°C一定、最高温度40°C、60°Cの条件である。

2.2 水和反応解析

水和反応解析は、強熱減量(900°C)および粉末X線回折(XRD)の測定を行い、特に生成したカルシウムアルミネート系水和物の種類に着目した検討を行った。

2.3 モルタル圧縮強度

XRD測定により判明した、水和生成物種類に特徴を持った4配合(No.3,4,5,6)のモルタル圧縮強度試験を行った。Φ5×10cmの円柱供試体を用い、モルタルの配合は水セメント比を50%、5号珪砂を使用し、細骨材比を2.0とした。また、養生は20°C一定およびマスコンクリートの高温履歴を模擬した最高温度60°Cの条件とした。

表1 セメントペーストの配合

No.	混和材の組成の割合(%)				
	合計	各材料			
		BFS	CaSO ₄	CaCO ₃	OPC
1~3	100	56.1	8.9	5	30
4	100	70	0	0	30
5	100	65.5	4.5	0	30
6	100	61.1	8.9	0	30
7	100	56.6	13.4	0	30
8	100	63	4.5	2.5	30
9	100	58.6	8.9	2.5	30
10	100	65	0	5	30
11	100	51.6	13.4	5	30

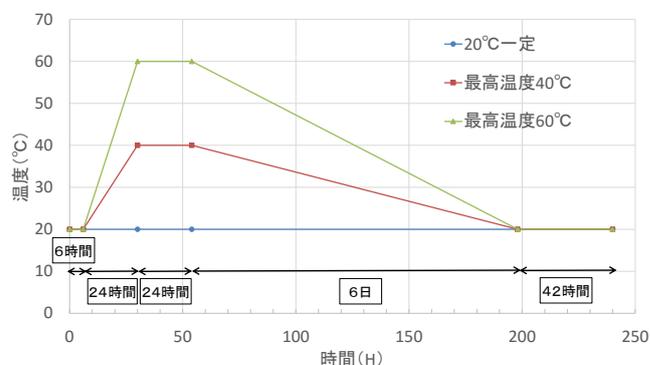


図1 セメントペースト養生時の温度履歴

キーワード 高炉スラグ高含有セメント、圧縮強度、水和反応、無水石こう、石灰石微粉末

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460番地1 公立大学法人前橋工科大学

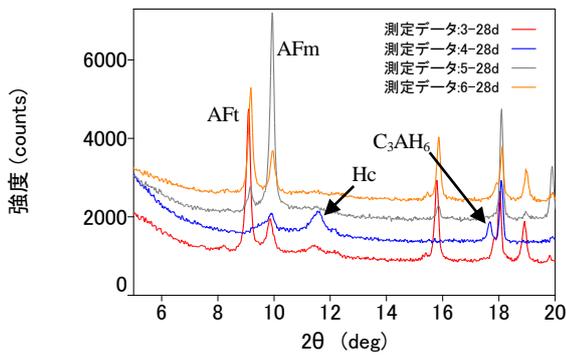


図2 XRD測定結果(材齢28d)

表2 水和生成物の種類(材齢28d)

No.	CaSO ₄ (%)	CaCO ₃ (%)	水和生成物			
			AFt	AFm	Mc,Hc	C ₃ AH ₆
4	0	0	×	×	△	○
10		5	×	○	○	×
5	4.5	0	○	◎	×	×
8		2.5	○	◎	×	×
6	8.9	0	◎	△	×	×
9		2.5	◎	△	×	×
3		5	◎	△	×	×
7	13.4	0	◎	×	×	×
11		5	◎	×	×	×

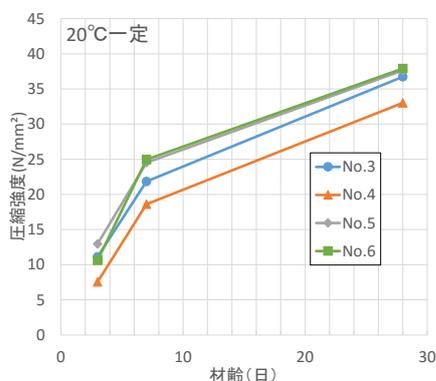
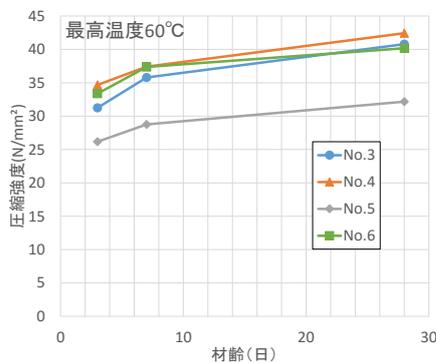


図3 モルタル圧縮強度試験結果

3. 実験結果および考察

3.1 水和反応解析

図2に一例として圧縮強度試験で使用した No.3,4,5,6

の XRD 測定結果を、表2に材齢28日での水和生成物同定結果を示す。No.3,6ではエトリンガイト(AFt)、No.5ではモノサルフェート(AFm)、No.4ではハイドロガーネット(C₃AH₆)の生成が顕著にみられた。この結果から、No.3とNo.6の配合にはAFtがAFmへと転移しない充分量の無水石こうが含まれており、対してNo.5は無水石こう量が不足していることが分かる。また、No.4については無水石こう、石灰石微粉末ともに混合していないため、AFt, AFmが生成されず、代わってセメント中のアルミネート(C₃A)や高炉スラグの反応により C₃AH₆が生成したと考えられる。

3.2 モルタル圧縮強度

図3に圧縮強度試験結果を示す。最高温度60°CではNo.5の強度は低かった。これは図2に示したように、AFmの生成量が多く、AFtからAFmへの転移による収縮に起因して内部ひび割れが発生したことが考えられる。

20°C一定養生では、60°Cでは最も初期強度が高いNo.4が一転して強度は低くなった。これはNo.4が高炉スラグ(BFS)を4配合中最も含んでいること、無水石こうや石灰石微粉末の混合によりBFSの反応の温度依存性が変化していること等が考えられる。

4. まとめ

- (1) 無水石こうを一定以上混合、もしくは石灰石微粉末を混合すると、材齢28日時点でAFtからAFmへの転移反応が抑制された。
- (2) 無水石こうを混合していない配合でカーボネート系水和物の生成が確認できた。
- (3) 最高温度60°Cでモルタルを養生した場合、20°C一定で養生したモルタルと比較して全般に強度は増進したが、無水石こうを4.3%混合した配合については温度の上昇による強度の増進は小さかった。
- (4) 無水石こう、石灰石微粉末ともに混合していない配合の圧縮強度は、養生温度により大きく左右された。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会ホームページ : <http://www.slg.jp/> (2017年1月閲覧)
- 2) 鉄鋼スラグ協会、鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用 (2015年版)
- 3) 日本コンクリート工学会、コンクリート技術の要点'15