

高炉セメント B 種の強度発現と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 ○中島航介
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

現在、日本では年間 13 億 6400 万トン¹⁾ (2014 年) の温室効果ガスが排出されている。この年間に排出される温室効果ガスの約 4% がセメント産業由来であり、これは年間で約 5500 万トンに上る。この温室効果ガスを抑制できるセメントとして注目されているのが高炉セメントである。

高炉セメントの特徴として、温室効果ガス排出抑制の他に長期強度増進が大きい、水密性が高いなどの長所がある一方、短所に初期強度が小さいなどが挙げられる。高炉セメントを用いたコンクリートの硬化特性は、無水石こう(CS)、石灰石微粉末(LSP)の混合率が影響すると考えられることから、本研究では高炉セメント B 種の強度発現と水和反応に及ぼす CS と LSP の影響を明らかにすることを目的に検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究では、研究用ポルトランドセメント(OPC)、高炉スラグ微粉末 4000(BFS)、無水石こう(CS)、石灰石微粉末(LSP)を用い、モルタル圧縮強度試験及び粉末 X 線回折(XRD) による水和反応の評価を行った。

2.2 モルタル圧縮強度

表 1 に示す CS0~6%、LSP0~6%を高炉セメントに組み合わせた 16 種類の配合にてモルタル圧縮強度試験を行った。水セメント比 50%、5 号珪砂を結合材砂比 1:2 としてモルタルを作製し JIS A1108 により圧縮強度を測定した。供試体はΦ5×10 cm の円柱を用い、測定材齢は 3、7、28 日の 20℃ 封緘養生とした。

2.3 XRD 測定

XRD 測定の水準は、材齢 7 日までの圧縮強度試

表 1 配合表

No.	OPC(%)	BFS(%)	CS(%)	LSP(%)	XRD
1	55	45	0	0	○
5	53			2	
6	51			4	
7	49			6	○
2	53		2	0	
8	51			2	
9	49			4	○
10	47			6	
3	51		4	0	
11	49			2	
12	47			4	○
13	45			6	
4	49		6	0	
14	47			2	○
15	45			4	
16	43			6	

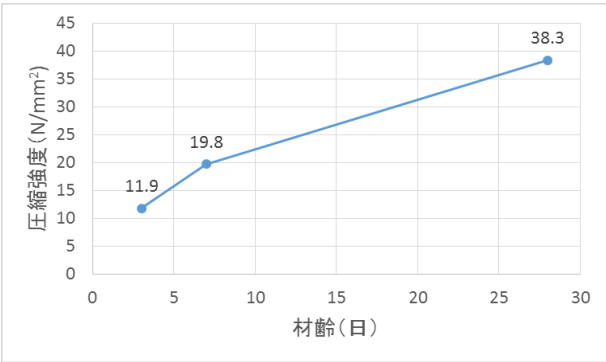


図 1 No.1 圧縮強度

表 2 モルタル圧縮強度比(%)

No.	3d	7d	28d
1	100	100	100
5	97	100	108
6	93	108	112
7	107	108	104
2	106	109	102
8	117	127	111
9	123	140	101
10	122	126	107
3	123	114	100
11	120	125	90
12	136	130	102
13	132	120	108
4	129	122	103
14	138	130	107
15	127	131	108
16	124	122	96

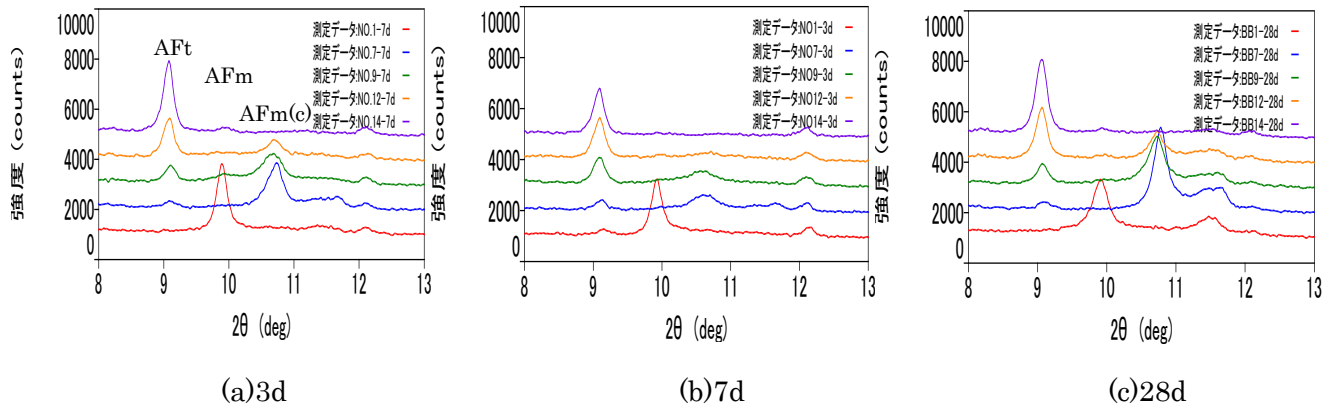


図 2 XRD 測定結果

験結果を参考に、表 1 の No.1, 7, 9, 12, 14 の 5 配合とした。セメントペーストの水セメント比及び養生条件は圧縮強度試験と同様とし、材齢 3、7、28 日にて XRD の測定を行った。セメントペーストの作製には蒸留水を用い、ハンドミキサーにて 2 分間混練した。15cm³ のスチロール棒瓶に成型後、ブリーディング抑制のため 1 時間程度の間隔で注水後 7 時間程度まで容器を振とうさせた。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度試験結果

図 1 に No.1 の圧縮強度試験結果を、表 2 に強度比をそれぞれ示す。CS の混和により 3、7d 強度は高くなり、そこに LSP を適量混和することでさらに強度が発現した。一方 28d では CS、LSP を混和した配合と、無混和の配合の強度差は小さかった。

3.2 XRD 測定結果

図 2(a)(b)(c)に 3、7、28d の XRD 測定結果を示す。材齢の経過に伴い AFt(エトリンガイト), AFm(モノサルフェート), AFm(c)(カーボネート系水和物)のピークが高くなっているのが確認できる。3d の XRD 解析結果に注目すると、No.1 の CS、LSP 無混和の配合では、10 度付近に AFm の生成が確認されたのに対し、No.9、No.12、No.14 の CS を混和した配合では AFt の生成が確認できた。このことから、初期強度の高い配合では AFt が生成していることがわかる。

28d では、No.7 の 11 度付近の AFm(c)の顕著なピークが認められた。以上から、CS の混和で AFt が、LSP の混和で AFm(c)が、CS、LSP 無混和では AFm が生成されることが確認できた。

4. 考察

アルミネート相と石こうの反応により生成した AFt は、反応途中で石こうが全て消費された際 AFm に転移する。LSP が石こうと共存する配合では、生成する鉱物は AFm ではなく AFm(c)となる。本実験では、初期強度が発現している No.9、No.12、No.14 の配合に共通して図 1(a)の 9 度に AFt、図 1(b)(c)で 11 度付近に AFm(c)の生成が認められた。以上の結果から、CS が早期に反応することで AFt が生成し初期強度が高くなる。しかし長期材齢での高炉セメントの水和反応に及ぼす CS、LSP の影響は小さいことが指摘されており^{2,3)}、圧縮強度への影響も小さいと考えられる。初期・長期強度双方ともに発現するには、今後更なる検討が必要と考えられる。

5. まとめ

- (1) 高炉セメント B 種に CS を混入することで初期強度発現性が高くなったが、材齢 28d での影響は小さかった。
- (2) CS の混和で AFt が、LSP の混和で AFm(c)が、CS、LSP 無混和では AFm が生成した。

参考文献

- 1) 環境省 日本の温室効果ガス排出量
- 2) 坂井悦郎,井本晴丈,宮原茂禎,大門正機:水和反応解析を利用した混合セメントの材料設計,セメント・コンクリート, No.694,pp.46-53,2004
- 3) 佐川孝広,名和豊春:高炉セメントの水和反応に及ぼす石灰石微粉末の影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.29,No.1,pp.93-98,2007