

中庸熱セメントと高炉スラグ微粉末の混合比を変えたペーストの水和反応に関する研究

清水建設(株) 正会員 ○矢ノ倉 ひろみ 名倉 健二 杉橋 直行 依田 侑也 高橋 圭一
宇部三菱セメント(株) 弓削 祐夫 田中 一也

1. 研究の目的

コンクリート用混和材としての高炉スラグ微粉末（以降、Sと表記）は、産業副産物であるうえにポルトランドセメントの減量による CO₂ 削減にも繋がるため、省資源や省エネルギー、環境負荷低減を指向する上で重要となっている。Sは、コンクリート用としては高炉セメント B 種かそれ相当の置換率 40～50%で利用されているのが一般的であるが、近年では前述の観点等からその大量使用を指向する場合もある^[1]。Sの大量使用は、発熱速度の低減や耐海水性、耐硫酸塩性等 S の特徴的な性能を十分に発揮することが可能となる一方で、水和反応の温度依存性に留意が必要なこと^[2]や、置換率が 60%以上になるとワーカビリティの確保が困難となるケースが認められる^[3]という報告もある。これらの物性については、そのほとんどが普通ポルトランドセメント（以降、Nと表記）と S を置換したコンクリートについて検討されたものであり、中庸熱ポルトランドセメント（以降、Mと表記）と S を置換した場合の物性を検討したものは少ない。筆者等は N よりも低熱性を担保できる M に S を大量置換することを検討しており、その基礎物性の取得を続けている。ここでは、M と S の置換率により水和発熱速度と水和生成物がどのように変化するか検討した結果を報告する。

2. 試験方法

表-1 ペーストの配合

配合 No.	置換率 P = S/(M+S) (%)	W/B (%)	単位量(kg/m ³)			
			水	結合材(B)		混和剤
				中庸熱セメント(M)	高炉スラグ微粉末(S)	
①	90	67.1	283	42	380	AE 減水剤 (リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体) 0.89 (B×0.21%) 高性能減水剤 (メラミンスルホン酸系化合物) 7.13 (B×1.69%)
②	80			84	338	
③	70			127	295	
④	60			169	253	
⑤	50			211	211	
⑥	0			422	0	
⑦	90			42	380	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系化合物) 4.22 (B×1.0%)
⑧	70			127	295	

*高炉スラグ微粉末(S)に石コウは含まれていない。

試験は表-1 に示すとおり、S の置換率を 6 水準、混和剤の種類を 2 水準変えたペーストで行った。練上り温度と環境温度を 20℃、5℃として、その水和発熱速度を双子型伝導微少熱量計 CHC-OM6 (20℃) と TCC-26 (5℃)、共に東京理工製により計測した。また、練上り温度と環境温度を 20℃とした場合の配合 No.①、⑦、⑧については、2,10,24,34,100 時間でアセトンにより脱水し、水和を停止させて、X 線回折を行い鉱物別の最大強度位置におけるピーク面積を求めた。

3. 水和発熱速度

20℃における水和発熱速度を図-1 に示す。一般的なセメントペーストでは、数十分程度で流動性に影響を与えるようなエトリンサイト等の生成による発熱速度のピーク（第 1 ピークと呼ぶ）があり、その後数十時間以内に凝結や初期強度に影響を与える主に C-S-H や Ca(OH)₂ の生成による発熱速度のピーク（第 2 ピークと呼ぶ）が観察される^[4]。今回この第 1 ピークについては、試験器外でペーストを練り混ぜる水和熱熱量計 (CHC-OM6) を用いたため、厳密な時間測定が困難であったこと等から検討しなかった。従って、図-1 における 30 時間程度で認められる M 単味 (P=0%) のピークは、一般的なセメントペーストの第 2 ピークに相当するものである。スラグの置換率 80%までは、この第 2 ピークの発現が置換率を大きくするにともなって遅れることが分か

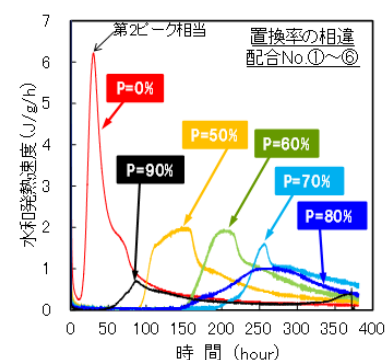


図-1 水和発熱速度 (20℃)

キーワード 高炉スラグ微粉末、中庸熱ポルトランドセメント、水和発熱速度、水和生成物

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2 丁目 16-1 清水建設株式会社 TEL03-3561-3919

る。一方で、さらに置換率を 90%と大きくした場合には、80 時間程度で一度ピークをとり、その後 375 時間程度でまたピークを迎える。置換率を 90%程度まで大きくすると、水和反応機構が大きく変わると推察できる。

5℃における水和発熱速度を図-2 に示す。置換率が 50%の場合に 50 時間過ぎに速度上昇が認められるものの、外観すると、それぞれの置換率で 20℃の場合に比べて第 2 ピークが単純に遅れたものと見ることができる。ただし置換率を 90%程度まで大きくした場合には、練上り後 430 時間までピークは認められておらず、凝結や強度発現の遅延が懸念される結果となった。

20℃において、混和剤を高性能 AE 減水剤に変更した場合の水和発熱速度を図-3 に示す。置換率が 90%の場合、シャープなピークが 20 時間程度で認められ、続いて 30 時間程度にピークが認められる。これらのピークは AE 減水剤を使用した場合の 80 時間程度、375 時間程度のピークに相当し、高性能 AE 減水剤の使用により、大幅にピーク出現時間が早まったと考えられる。さらに、置換率が 70%の場合には、置換率が 90%の場合に認められたシャープなピーク (20 時間) が、続いて起こるピーク (30 時間) と逆転して連続的に 34 時間程度に出現したように見える。

4. 水和生成物

20℃における水和生成物およびエーライトの X 線ピーク面積を図-4 に示す。AE 減水剤使用時 (P=90%) では、100 時間経過後にエトリンガイトが大幅に増加しており、80 時間程度の発熱速度ピークはこれによるものが主で、一般的なセメントペーストの第 2 ピークとは異なると推察される。一方、高性能 AE 減水剤使用時では、20 時間 (P=90%) あるいは 34 時間 (P=70%) のシャープなピークはエトリンガイト生成によるもの、30 時間程度のゆるやかなピークは、エーライトの減少が確認されることから C-S-H の生成と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成によるものと推察される。

5. まとめ

本実験範囲で M と S を置換した場合、S の置換率が 80%程度以上となると、水和生成物のうちエトリンガイトの反応が先行し、その後 C-S-H が生成する反応機構に変化することが確認された。また混和剤の種類によって、水和反応速度を制御することも可能と考えられる結果を得た。今後、今回確認された水和反応の機構や速度の相違によって、流動性や凝結、強度等の物性がどのように変わるか確認し、S をどの程度まで置換するのが妥当か評価するための検討を進めていく。

【謝辞】 材料提供ならびに評価試験において、宇部興産株式会社および三菱マテリアル株式会社、BASF ジャパン株式会社にご協力いただいたことを記して感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 和地正浩ほか：高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの性質，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.485-490，2010
- [2] 伊与田岳史：高炉スラグ微粉末を大量使用したコンクリート，コンクリート工学，Vol.52，No.5，pp.409-414，2014.5
- [3] 西祐宜ほか：各種混和材を用いたコンクリートにおける化学混和剤の適用状況と今後の課題，コンクリート工学，Vol.52，No.5，pp.480-483，2014.5
- [4] 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点'09

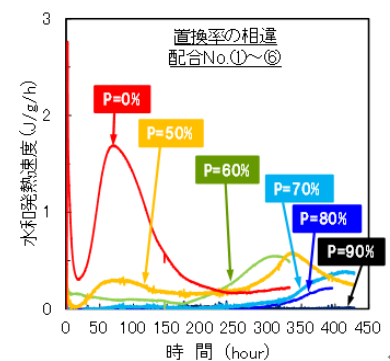


図-2 水和発熱速度 (5℃)

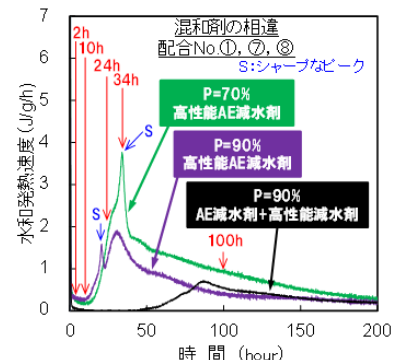


図-3 水和発熱速度 (20℃)

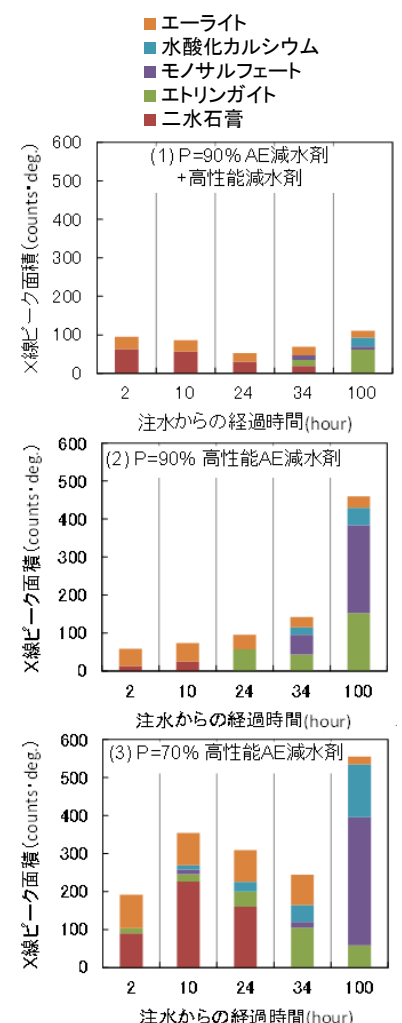


図-4 水和生成物 (20℃)