

温度ひび割れ抑制効果の高い低発熱型高炉セメントの考案

芝浦工業大学 ○ 田邊 大樹
芝浦工業大学 伊代田 岳史

1. はじめに

セメント業界における二酸化炭素の排出量は、我が国の総排出量の約4%を占めており、二酸化炭素の排出量削減は重要な課題である。この問題に対し、産業副産物である高炉スラグ微粉末を用いた高炉セメントが注目されており、普通ポルトランドセメントに比べて、製造時における二酸化炭素の排出量を約40%削減することができる。環境負荷低減材料である高炉セメントの更なる利用拡大は必須であるが、近年では高炉セメントを使用したコンクリート構造物において温度ひび割れが報告されている。温度ひび割れは、高炉セメントの発熱量の上昇に伴うひずみ量の増加が原因とされている。そこで本研究では、発熱量に着目し、コンクリートとモルタルを用いて、発熱抑制効果の高い低発熱型高炉セメントを考案することを研究目的とした。

2. コンクリート試験

2.1 試験概要

温度ひび割れはマスコンクリートにおいて発生するが、本試験では図-1のような簡易断熱型枠の中心にΦ150×300 mmコンクリートを打ち込み、マスコンクリートを模擬することとした。配合を表-1に示す。コンクリートの中心には、全ねじボルトで固定した測温機能内蔵型ひずみゲージを埋設し、発熱とひずみ[ε]を測定した。コンクリート型枠の内側全面には、自由膨張・収縮が可能となるように、クッション材とテフロンシートを設置した。一方、強度特性を測定するために、模擬マスコンクリートの中心で測定した発熱データを恒温槽にて温度変化プログラムに組み込むことで再現した。恒温槽によって温度履歴を与えられたΦ100×200 mmコンクリートの圧縮・割裂引張強度、静弾性係数、材齢1,3,5,7,14,28日にて計測した。試験で得られたひずみ[ε]と静弾性係数[E]から温度応力[σ]を算出し、温度応力[σ]と引張強度[f'_c]を用いて、温度ひび割れ指数(1以下でひび割れ発生確率が50%)による評価をした。

表-1 コンクリート配合表

△	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg)	高炉スラグ		SO ₃ (%)
				置換率 (%)	比表面積 (cm ² /g)	
N	50	48	175	—	—	2.18
BB				42.5	4350	2.00
LBB				55.0	3100	3.50

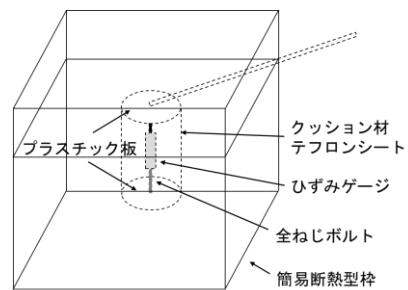


図-1 コンクリート簡易断熱装置概要

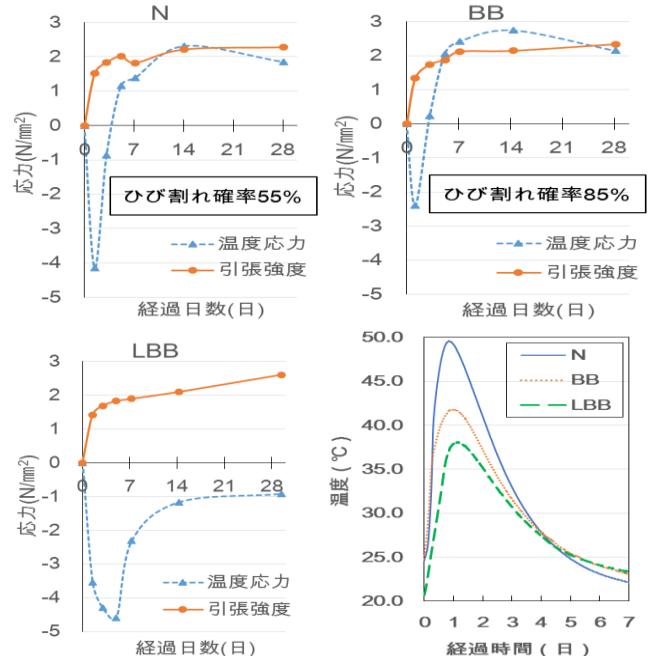


図-2 引張強度と温度応力による比較
及び コンクリートにおける発熱の経時変化

2.2 試験結果および考察

図-2に引張強度と温度応力による比較、および発熱の経時変化を示す。N, BBは、ある点で温度応力が引張強度を上回っており、N, BBのひび割れ指数を算出したところ、Nは55%, BBは85%の確率でひび割れが

発生することがわかった。これらの結果から、N, BB では温度ひび割れの可能性があることを確認できた。一方、LBB では温度応力が引張強度を下回っており、LBB の発熱量が BB よりも少ないことから、高炉セメントにおいて発熱抑制効果がひび割れの抑制に影響していることが確認できた。

3. モルタル試験

3.1 試験概要

低発熱型高炉セメントを考案するに際して、本研究では高炉スラグ微粉末の置換率(40~70%)、比表面積(3000~4000 ブレーン)、総粉体中の SO_3 量(2~8%)を検討項目とし、発熱性状を測定した。なお、セメントは普通ポルトランドセメント[OPC]、高炉スラグ微粉末(石こう無し)[BFS]、無水石こう[石こう]を混合したものを用い、 SO_3 量は石こうによって調整した。試験体は、図-1 と類似した $300 \times 300 \times 300 \text{ mm}$ の簡易断熱型枠の中心に $70 \times 70 \times 100 \text{ mm}$ 、W/C50%のモルタルを打ち込み、モルタルの中心に熱電対を設置することで、各検討項目が発熱性状に及ぼす影響を測定した。なお、本試験では、①最高温度、②最高温度に到達する際の温度上昇速度、③最高温度に到達するまでの時間の 3 項目を発熱性状として観察した。

3.2 試験結果および考察

図-3 にモルタル試験による発熱性状を項目ごとに示した。3 項目すべての発熱性状において、3000 ブレーンでは各試験結果にばらつきが見られ、一定の傾向を見つけることが出来なかった。4000 ブレーンでは各試験結果において、一定の傾向を確認できたが、置換率 60~70%付近において傾向が変化していることから、置換率 60~70%付近には特異点が存在することが確認できた。これらの結果に基づき発熱性状を目的変数とし、検討項目を説明変数として有意水準5%で重回帰分析を行い、結果を表-2 に示した。①最高温度における重相関係数は 0.79 と、比較的高い相関関係が確認できたが、 SO_3 による有意性は無く、置換率が一番有意であった。②最高温度に到達する際の温度上昇速度における重相関係数は 0.51 と低く、高い相関性を得ることが出来なかった。また、置換率、比表面積には有意性が無く SO_3 は有意であることが確認できた。③最高温度に到達するまでの時間における重相関係数は 0.84 と高い相関関係を示したが、比表面積においては有意性が無かった。

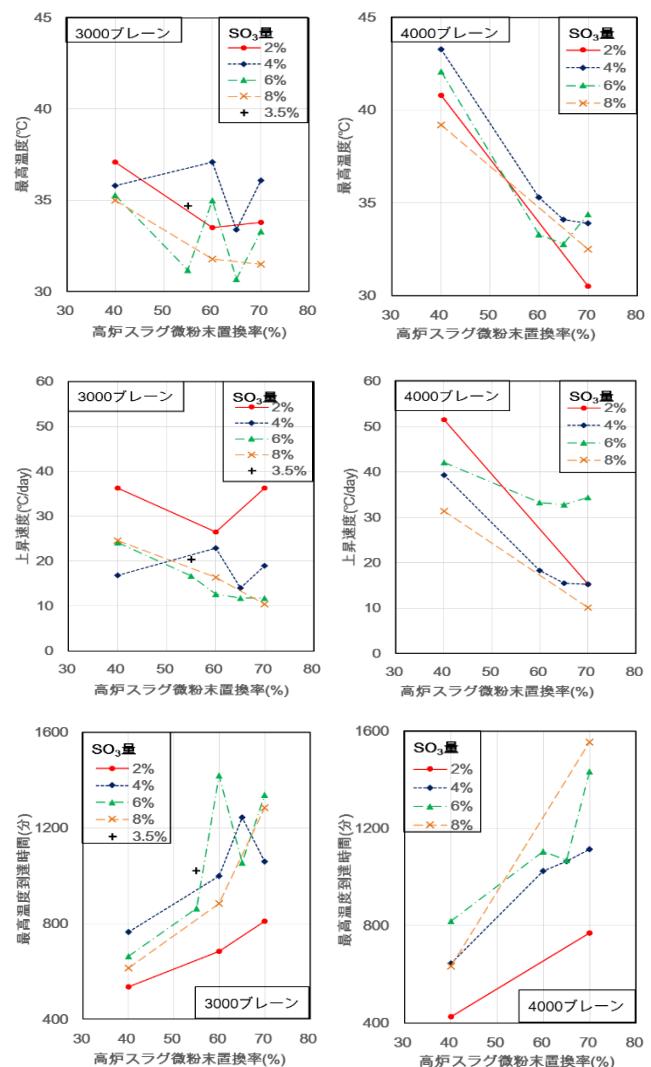


図-3 モルタル試験による発熱性状

表-2 モルタル試験における重回帰分析結果

	重相関係数	有意性		
		比表面積	置換率	SO_3 量
①最高温度	0.79	有り	有り	無し
②上昇速度	0.51	無し	無し	有り
③最高温度到達時間	0.84	無し	有り	有り

4. まとめ

本研究で得られた成果を以下に記す。

- (1) 高炉セメントを用いたコンクリートにおいて発熱抑制が温度ひび割れの抑制に影響していることが確認できた。
- (2) 重回帰分析から、各発熱性状における検討項目ごとの有意性が明らかとなった。
- (3) 4000 ブレーンにおいて置換率 60~70%付近に特異点が存在することが確認できた。