

各種高炉セメント B 種を用いた壁状構造物の温度応力計測とその評価

東日本高速道路(株)
(株)大林組

大貫 利文
正会員 ○石田 知子 正会員

佐藤 信吾
檜垣 久則

1. はじめに

高炉セメント B 種は、アルカリ骨材反応の抑制や塩化物イオンの侵入低減、凍結融解抵抗性の向上など、耐久性に優れ、環境負荷の低減にも有効なセメントである。一般に流通している高炉セメント B 種は、粉末度が高められ普通ポルトランドセメントと同等の強度発現が得られるが、一方で、発熱速度や発熱量が大きく、自己収縮も増加し、温度応力に起因したひび割れが発生しやすいとの指摘もある¹⁾。最近では、汎用型の高炉セメント B 種（以下、BB と略記）に対し、比表面積が小さい高炉スラグ微粉末の混合率を増加させ、ひび割れ抵抗性の改善を志向した低熱型高炉セメント B 種（以下、LBB と略記）も実用化されている。

東京外環自動車道の掘割部構築の試験工事では、経済性と耐久性向上の観点から高炉セメント B 種が使用される。しかし、適用対象の側壁は、部材厚が 1.3m のマスコンクリートで、温度応力によるひび割れの発生が懸念された。そこで、工事に際して、BB と LBB を用いて同時期に施工する側壁の温度、発生応力およびコンクリートひずみを計測し、高炉セメント B 種の種類の違いが温度応力、およびひび割れ発生に及ぼす影響について検討した。

2. 計測概要

実施工に用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。LBB を用いた配合は、ポンプ圧送性を改善するために、石灰石微粉末を 20kg/m³ 添加している。

計測の概略図を図-1 に示す。計測対象とした側壁部リフトは、部材厚さが 1.3m、高さが 2.6m である。また、ひび割れ抑制対策として、10m のブロック長の中央にひび割れ誘発目地（以下、誘発目地と略称）を設置している。このため、計測位置は、ブロック端部

からひび割れ誘発目地までの長さ 5m の中央断面の中心部とし、計測項目は表-2 に示す項目とした。

3. 計測結果

熱電対より計測された温度の履歴を図-2 に示す。

5 月初旬に施工した場合のコンクリートの打込み温度は、BB は 25.0℃、LBB は 23.4℃でほぼ同程度であった。最高温度は、BB は 58.2℃、LBB は 46.2℃となった。温度上昇量は BB で 33.2℃、LBB で 22.8℃となり、LBB は BB に比べて概ね 10℃程度低く、3 割程度の温度上昇量の低減が確認された。

コンクリートの有効応力計より計測された発生応力の履歴を図-2 に示す。セメント種類によらず打込み後の温度上昇に伴い圧縮応力が発生し、その後温度が低下するに従い引張応力に転じている。LBB は BB に比べ温度上昇量が小さく強度発現の速度が遅いにもかかわらず、LBB の圧縮応力の最大値は BB とほぼ同程度となった。これは、ここで用いた LBB は石膏の混入量を増やして若材齢時に膨張させることにより自己収縮の低減を図っており、この効果によるものと考えら

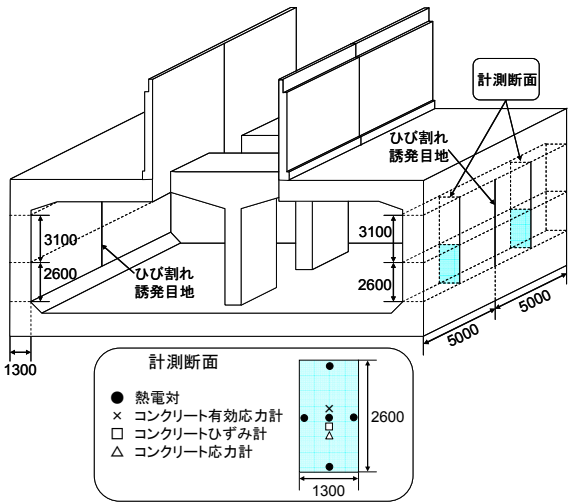


図-1 計測概略図

表-2 計測項目

計測項目	計測機器
温度(コンクリート・外気温)	熱電対
発生応力	コンクリート有効応力計
コンクリート実ひずみ	コンクリートひずみ計
コンクリート自由ひずみ	コンクリート無応力計

表-1 コンクリートの配合

セメントの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	LSP*	S	G
BB	49.9	46.0	165	331	—	821	994
LBB	50.0	46.1	163	326	20	802	996

*LSP：石灰石微粉末

キーワード 温度応力，温度ひび割れ，低熱型高炉セメント B 種，掘割構造

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 TEL042-495-1012

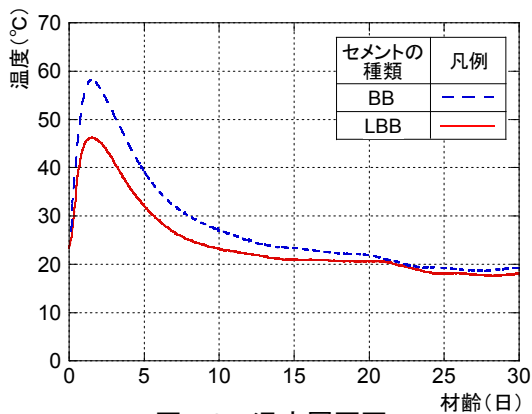


図-2 温度履歴図

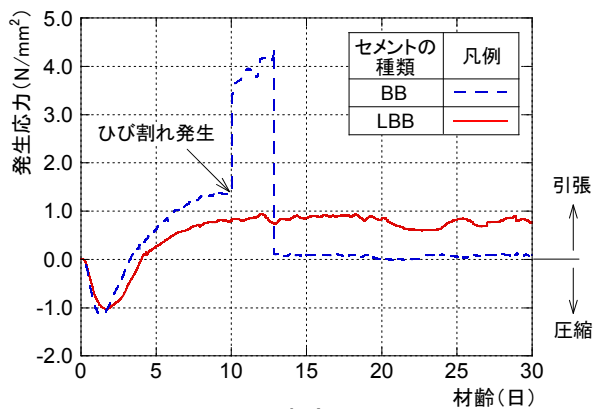


図-3 発生応力履歴図

れる。この材齢初期の膨張の影響は、無応力計により測定した自由ひずみと温度との関係を示した図-4の温度上昇時の自由ひずみの挙動からも明らかである。初期の温度上昇時の自己収縮を含む見かけの熱膨張係数が $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以上と大きくなる期間が、BB に比べ LBB は長く、長期間膨張が継続している。なお、温度降下時の見かけの熱膨張係数は、BB、LBB とともに約 $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で同等の結果が得られた。

図-3 に示した BB の応力履歴は、最大圧縮応力に達した後、温度の降下に伴い引張応力が徐々に増加しているが、材齢 10 日で急激な変化が生じている。この時点でひび割れが発生したものと考えられる。ひび割れ発生時のひび割れ指数を算出すると 1.67 となり、比較的大きなひび割れ指数でもひび割れが発生する結果を示した。

ひび割れが発生する材齢 10 日までの発生応力の最大圧縮応力からの引張応力の増加量を比較すると、BB は 2.6 N/mm^2 、LBB は 1.8 N/mm^2 となり、LBB は BB に比較して 3 割程度小さい結果となった。図-2 に示した温度履歴図をもとに最高温度からの材齢 10 日までの温度降下量を算出すると、BB が 31.2°C 、LBB が 23.0°C で、LBB は BB に比べて 2.5 割程度小さい。この温度降下量の違いに加え、LBB の方が BB に比べ強

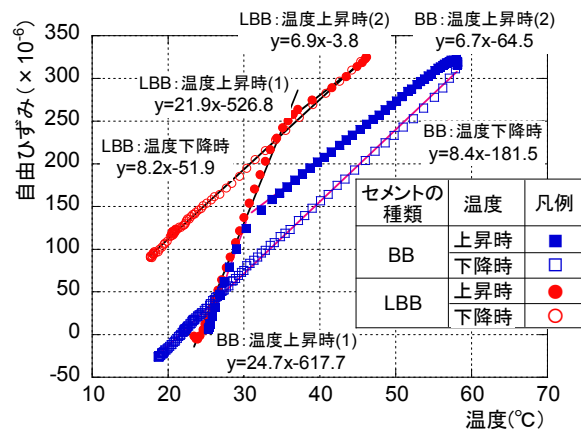


図-4 自由ひずみと温度の関係

度発現が遅いことにより、LBB の最大圧縮応力からの変化量は 3 割程度小さくなったものと考えられる。

一方、材齢 10 日での発生応力を比較すると、BB は 1.5 N/mm^2 、LBB は 0.8 N/mm^2 で、LBB は BB に比べて 4.5 割程度小さく、温度降下量および強度発現性の違いによる応力低減の効果以上に引張応力が低減される結果となった。これは、LBB の温度上昇量の低減効果に加え、初期の膨張効果に起因するものと考えられる。したがって、LBB の温度応力特性を明らかにするには、温度上昇量の低減効果に加え、材齢初期のひずみ特性についても把握しておく必要があるといえる。

なお、打込みから 10 ヶ月が経過した時点において、BB のブロックでは、ひび割れは誘発目地とそれ以外に 2 本観測され、誘発目地以外のひび割れ幅はともに 0.15 mm となっている。一方、LBB の誘発目地のみでそれ以外は認められず、BB に比べて LBB のひび割れ抵抗性における優位性が確認された。

4. まとめ

本検討結果より得られた知見を以下に示す。

- (1)部材厚さが 1m 程度の壁部に適用した場合、LBB の温度上昇量は、BB に比べ 3 割程度低い。
- (2)BB は誘発目地以外でひび割れの発生が認められ、その発生時のひび割れ指数は 1.67 と比較的大きい。
- (3)BB に比べ、LBB のひび割れ抵抗性における優位性が確認された。温度上昇量の低減効果に加え、初期材齢時の石膏の増量によるひずみ特性の改善効果が寄与していると考えられることから、このひずみ特性について、定量的に把握する必要がある。

参考文献

- 1)例えば、久保証則他：高炉セメントを用いたコンクリートの自己収縮に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.19, pp.763-768, 1997