

低発熱・収縮抑制型高炉セメントのひび割れ抵抗性に関する研究

足利工業大学 学生会員 ○谷田貝 敦 宮澤 伸吾
(株) デイ・シイ 廣島 明男 鯉渕 清
大成建設 (株) 正会員 大友 健

1. はじめに

高炉セメントは化学抵抗性の向上, アルカリ骨材反応の抑制などの観点から多くの構造物に使用されている。また, 水和熱の低減を期待してマスコンクリートに使用される場合も多い。しかし条件によっては, 温度ひび割れ抑制効果が十分に得られない事例が報告されている。そこで本研究では, 粒度及び化学成分を高炉セメント B 種の規格内で調整した低発熱・収縮抑制型高炉セメントのひび割れ抵抗性について検討を行った。

2. 実験概要

使用材料を表-1 に, コンクリートの配合を表-2 に示す。高炉セメント B 種の JIS 規格内で比表面積を小さくし, SO₃ 量を増加させた高炉スラグ置換率 40%および 60%の低発熱・収縮抑制型高炉セメント (LBB-1, LBB-2) と一般的高炉セメント B 種 (BB) のひび割れ抵抗性について比較検討を行った。すなわち, 断熱温度上昇量試験, 保温型枠 (供試体寸法: 400×400×400mm, 断熱材の厚さ: 200mm) を使用した簡易断熱条件下での自己収縮試験を行った。簡易断熱条件下での自己収縮測定では供試体中心部のひずみ及び温度を熱電対付き埋込型ひずみ計により測定をした。また, 上記の結果をもとに 3 次元 FEM 応力解析を行い, マスコンクリート構造物でのひび割れ抵抗性について検討を行った。

表-1 使用材料

材料名	物性値
セメント	高炉セメントB種(BB):密度3.04g/cm ³ 、比表面積3950cm ² /g、SO ₃ 2.0%
	低発熱・収縮抑制型高炉セメント(LBB-1):密度3.04g/cm ³ 、比表面積3460cm ² /g、SO ₃ 3.7%
	低発熱・収縮抑制型高炉セメント(LBB-2):密度2.99g/cm ³ 、比表面積3440cm ² /g、SO ₃ 3.9%
粗骨材	鬼怒川産川砂:密度2.62g/cm ³ 、吸水率0.94%、粗粒率2.16
細骨材	葛生町砕石:密度2.63g/cm ³ 、吸水率2.72%、最大寸法20mm
混和剤	AE減水剤:主成分, リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体

表-2 コンクリートの配合

セメントの種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
BB	12±2	4.5±1	55	45.7	172	313	815	971	0.783
LBB-1				45.4	175	318	804	969	0.795
LBB-2					161	293	833	993	0.732

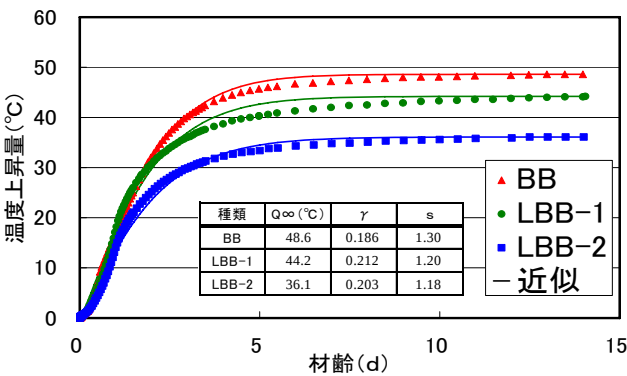


図-1 断熱温度上昇量

3. 実験結果及び考察

3.1 温度特性および自己収縮特性

1) 断熱温度上昇量

図-1 は打ち込み温度が 20±2℃での断熱温度上昇量の実測値および式 (1) にて近似したものを示したものである。終局断熱温度上昇量において LBB-1 および LBB-2 は BB に比べ低減効果が認められた。

$$Q(t) = Q_{\infty} \{1 - \exp(-\gamma t^s)\} \cdots (1)$$

Q(t) : 材齢 t 日における断熱温度上昇 (°C)

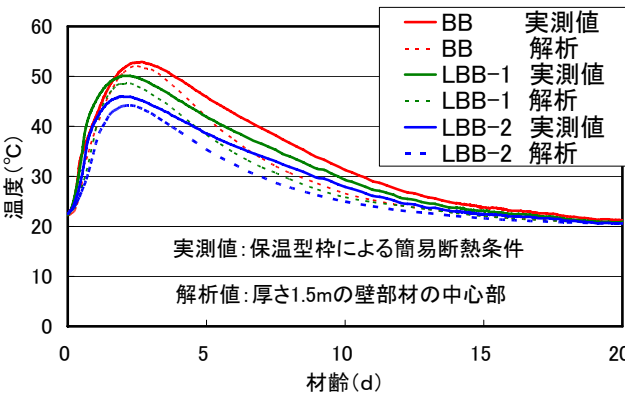


図-2 簡易断熱での実測値およびモデル構造物の温度履歴

キーワード: 高炉セメント, 自己収縮, 断熱温度上昇量, 拘束応力

連絡先: 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 足利工業大学 TEL: 0284-62-0605 E-mail: smiyazaw@ashitech.ac.jp

Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量 (°C)

γ, s : 温度上昇速度に関する定数, t : 材齢 (日)

2) 簡易断熱条件下での自己収縮

図-2 は簡易断熱でのコンクリートの温度履歴を示したものである (図-2 の実測値)。図-3 は簡易断熱環境下での自己収縮試験結果を示したものである。同図においては、材齢 4 ヶ月で $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 供試体を用いて測定した熱膨張係数の実測値 (BB: 8.4, LBB1: 9.3, LBB2: 10.5, 単位: $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) を用い、計測された全ひずみより温度ひずみを差し引いて示している。20°C の場合¹⁾ と同様に簡易断熱条件下でも LBB-1 及び LBB-2 には初期膨張が生じ、自己収縮の低減効果が認められた。

3.2 FEM による温度および応力解析

解析対象構造物は、簡易断熱での実測値と部材中心部の最高温度が同程度推定される厚さ 1.5m の壁状構造物とした。壁の高さは 4m、奥行は 6.5m とした。解析条件は表-3 に示すものとし、力学的特性²⁾、断熱温度上昇特性、自己収縮ひずみは実測値をもとに設定した。壁中心部の温度解析結果を図-2 に、応力解析結果を図-4 に示す。いずれのセメントにおいても最大引張応力は壁中心部の高さ 0.8m の位置で発生した。応力解析結果では BB に比べ LBB-1 で約 15%, LBB-2 で約 27% の引張応力低減効果が認められた。このことから、LBB-1 および LBB-2 では、水和熱の低減のみならず初期膨張による自己収縮の低減により、引張応力が低減されている。最小ひび割れ指数は BB が 1.19, LBB-1 が 1.27, LBB-2 が 1.40 であり LBB-1 および LBB-2 は BB と比べてひび割れ抵抗性が改善されたと考えられる。

4. まとめ

高炉セメント B 種の粒度および化学成分を JIS 範囲で調整することで、水和熱の低減および初期膨張による自己収縮の低減により、ひび割れ抵抗性の改善が期待できる。

【参考文献】

- 1) 宮澤伸吾ほか：低発熱・収縮抑制型高炉セメントを用いたコンクリートの特性，コンクリート工学年次論文集，Vol27，pp487～492，2005
- 2) 谷田貝敦ほか：高炉セメント B 種の発熱・収縮に関する研究，土木学会第 60 回年次学術講演会概要集，pp.559～560，2005

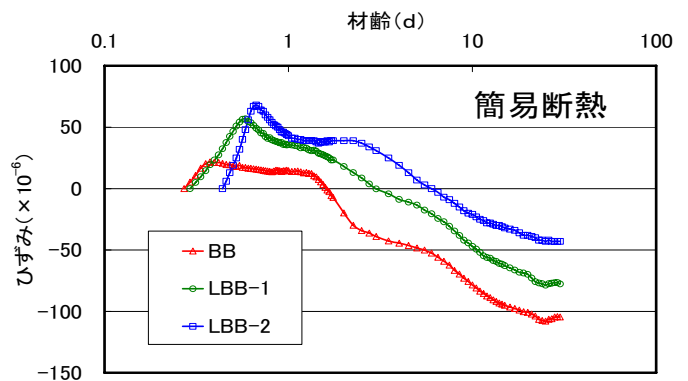


図-3 簡易断熱条件下での自己収縮

表-3 解析条件

項目	種類	設定値
熱伝達率	コンクリート	2.1 (W/m ² °C)
	地盤	1.4 (W/m ² °C)
	型枠	材齢3日まで8, 以降は14 (W/m ² °C)
	養生マット	材齢3日まで5, 以降は14 (W/m ² °C)
密度	コンクリート	2300 (kg/m ³)
	地盤	1720 (kg/m ³)
比熱	コンクリート	0.96 (kJ/kg°C)
	地盤	2.06 (kJ/kg°C)
初期温度	コンクリート	20 (°C)
	地盤	20 (°C)
断熱温度上昇特性	コンクリート	実測値
圧縮強度	コンクリート	$f_c'(t) = \{t/(a+bt)\} \times f_{ck}$ BB: a=6.2, b=0.93 LBB-1: a=13.2, b=0.86 LBB-2: a=12.4, b=0.87
引張強度	コンクリート	$f_{tk}(t) = C \times \sqrt{f_c'(t)}$
ヤング率	コンクリート	$E = 4700 \times \sqrt{f_c'(t)}$
	地盤	5000 (N/mm ²)
線膨張係数	コンクリート	実測値 (材齢4ヶ月)
	地盤	7 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
クリープ	コンクリート	有効弾性係数法 (材齢3日まで $\phi=0.75$, 以降 $\phi=1$)
自己収縮	コンクリート	簡易断熱条件下の実測値

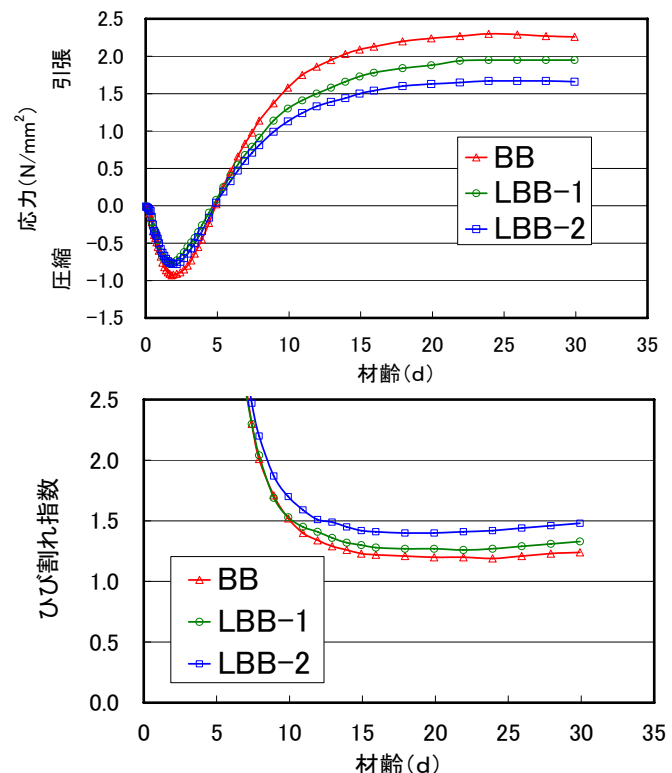


図-4 応力解析結果