

## 粗粒度高炉スラグを用いた低炭素型コンクリートの 温度ひび割れリスク低減に関する検討

大林組 正会員 ○林 かほり 新村 亮 野島 省吾 末宗 利隆

### 1. はじめに

低炭素型のコンクリートはセメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの産業副産物に置換することで、一般的なコンクリートに比べて二酸化炭素排出量を大きく<sup>1)</sup>低減させることができるコンクリートである。一方で高炉スラグ微粉末を大量に使用した低炭素型のコンクリートは自己収縮量が大きくなる懸念がある<sup>2)</sup>。今回、自己収縮の低減と温度応力ひび割れ抑制効果の更なる向上を目的として、ブレン値 3000 の粗粒度高炉スラグ微粉末を使用した低炭素型のコンクリートの各種物性を確認し、得られた結果を温度応力解析に反映することで温度ひび割れリスク低減の効果を確認した。

### 2. 実験概要

表-1 に材料の一覧を示す。結合材は普通ポルトランドセメント 25%、高炉スラグ微粉末 75% の 2 成分構成とした。なお、W/B は BB (W/B55.0%) 配合の材齢 28 日の圧縮強度 36N/mm<sup>2</sup> が 3000 ブレン使用配合 (CC3000) では材齢 56 日で得られる 46.0%、4000 ブレン使用配合 (CC4000) では材齢 28 日で得られる 47.5% とした。試験内容を表-2 に示す。

### 3. 試験結果

図-1, 2, 3 に試験結果を示す。CC3000 と CC4000 を比較すると、断熱温度上昇量の終局値はほぼ同等の 30°C 程度となるが、材齢 1 日～4 日の間の上昇曲線は CC3000 の方が緩やかな増加となっている。

また、圧縮強度試験においても 3000 ブレンを使用したとき若材齢の強度発現に大きな低下はなかった。

自己収縮量を比較すると、材齢 50 日の時点で 3000 ブレンを使用した配合では、自己収縮ひずみが 4000 ブレンに比べて約 140 $\mu$  小さくなる結果が得られた。

### 4. 解析によるひび割れリスクの確認

CC3000 を使用した場合のひび割れリスクの低減効果を確認するため、試験結果を反映させた 3 次元 FEM 温度応力解析を行った。解析モデルは図-6 に示すように、既設底版の上に壁厚 1.3m、ひび割れ誘発目地が 5m 間隔で配置された側壁を 2 リフトで打設するモデルとした。

キーワード 粗粒度高炉スラグ, 自己収縮, 低炭素型コンクリート, 温度応力解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL03-5769-1322

表-1 使用材料一覧

材料	記号	概要
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>
高炉スラグ微粉末 3000 ブレン	B S	セラメント 3000A 密度 2.90
高炉スラグ微粉末 4000 ブレン	B S	千葉リバーメント 密度 2.87
練混ぜ水	W	上水道水
細骨材	S	山砂(千葉県富津産) 密度 2.60 石灰砕砂(青森県八戸産) 密度 2.69
粗骨材	G	石灰砕石(青森県八戸産) 密度 2.69
混和剤	A d	高機能 A E 減水剤: ポゾリス 15 S 助剤: A E R-G(日本シーカ)

表-2 試験内容一覧

材料	概要
断熱温度上昇試験	材齢 14 日間まで計測(打設温度 20°C)
圧縮強度試験 JIS A 1108	CC3000 材齢: 1,3,7,14,28,56,91 CC4000 材齢: 3,7,28,56,91
自己収縮試験 埋込みゲージ法	練上り～56 日まで計測 (打設温度 20°C)

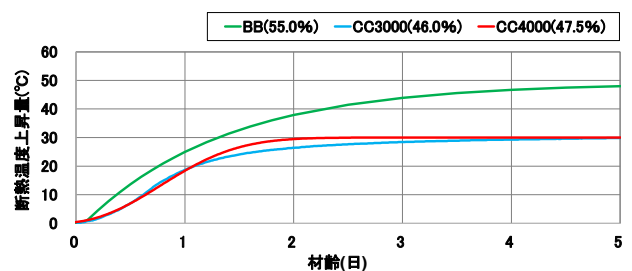


図-1 断熱温度上昇試験結果

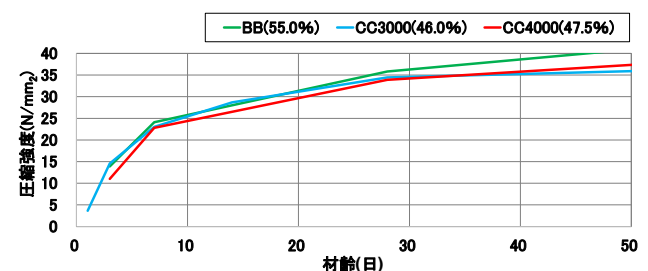


図-2 圧縮強度試験結果

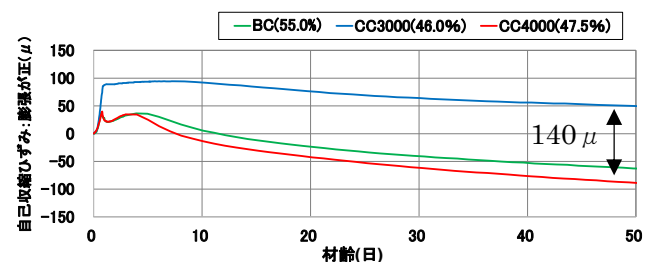


図-3 自己収縮試験結果

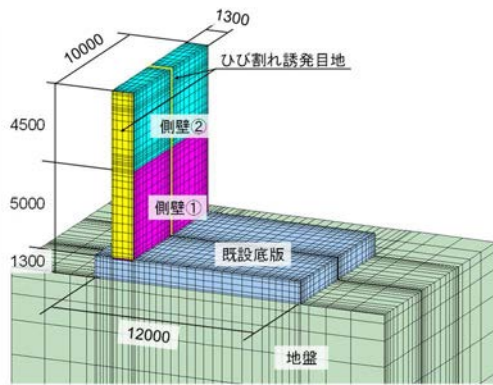


図-6 解析モデル

打設日および打設温度に関しては表-3 に示す通り、試験環境と近い時期として、想定される打設温度が20℃付近となる時期を選定した。

検討ケースは表-4 に示すように、CC3000、CC4000に加え、高炉セメント B 種および中庸熱セメント配合での検討も行った。

コンクリートの各種物性は表-5 に示す通り、BB、M 配合に関しては土木学会標準示方書に準拠した。CC3000、CC4000 配合の断熱温度上昇特性は、図-1 試験結果から断熱温度上昇式の各係数を求めた。また、圧縮強度特性は図-2 試験結果からゴーラル曲線<sup>3)</sup> 近似により各係数を決定した。自己収縮ひずみは実測値を材齢毎に表形式で入力した。なお、ヤング係数と引張強度に関しては土木学会標準示方書推定式を用いた。

5. 解析結果およびまとめ

温度応力解析結果を図-7 に示す。最小ひび割れ指数は側壁①、②ともにBBが0.89、1.88で最小となり、M>CC3000>CC4000>BBの順に低くなる結果となった。3000 ブレーンを用いた配合は従来の4000 ブレーンの配合よりもひび割れ指数が良くなり、さらに中庸熱セメントを使用した時と同程度のひび割れリスク低減効果が確認できた。これは、粗粒度の3000 ブレーンを使用した低炭素型コンクリートは、同程度の強度を確保する際に、セメント量を4000 ブレーンに比べて大きく増加しなかったため発熱量はあまり変化せず、自己収縮量のみ小さくすることができたことが大きな要因であると考えられる。

表-3 打設日および打設温度

リフト	打設日	外気温(℃)	打設温度(℃)
側壁①	10/12	15.6	20.6
側壁②	10/17	14.5	19.5

表-4 解析ケース一覧

名称	セメント種類	W/C (%)	単位量			
			C	BS	W	
CC3000	普通	46.0	N	84	253	155
CC4000	普通	47.5	N	81	245	155
BB	高炉セメントB種	55.0	B B	282	-	155
M	中庸熱	55.0	M	282	-	155

表-5 解析条件一覧

項目	BB	M	CC3000	CC4000
断熱温度上昇	JSCE 式	JSCE 式	近似式	近似式
終局断熱温度上昇量	49.1℃	41.8℃	30.7℃	30.0℃
温度上昇係数	$\alpha : 0.767$ $\beta : 1$ $t_0 : 0.076$	$\alpha : 0.619$ $\beta : 1$ $t_0 : 0.342$	$\alpha : 1.013$ $\beta : 1$ $t_0 : 0.136$	$\alpha : 0.600$ $\beta : 2.4$ $t_0 : 0.6$
圧縮強度	JSCE 式	JSCE 式	ゴーラル曲線近似式	ゴーラル曲線近似式
発現強度係数	$\alpha : 7.377$ $\beta : 0.731$	$\alpha : 7.906$ $\beta : 0.687$	$\alpha : 6.333$ $\beta : 0.759$	$\alpha : 5.261$ $\beta : 0.817$
硬化原点有効材齢	Sf : 0.42	Sf : 0.42	Sf : 0.41	Sf : 0.77
ヤング係数	JSCE 式	JSCE 式	JSCE 式	JSCE 式
引張強度	JSCE 式	JSCE 式	JSCE 式	JSCE 式
線膨張係数	12	10	12	12
自己収縮	JSCE 式	JSCE 式	実験値	実験値

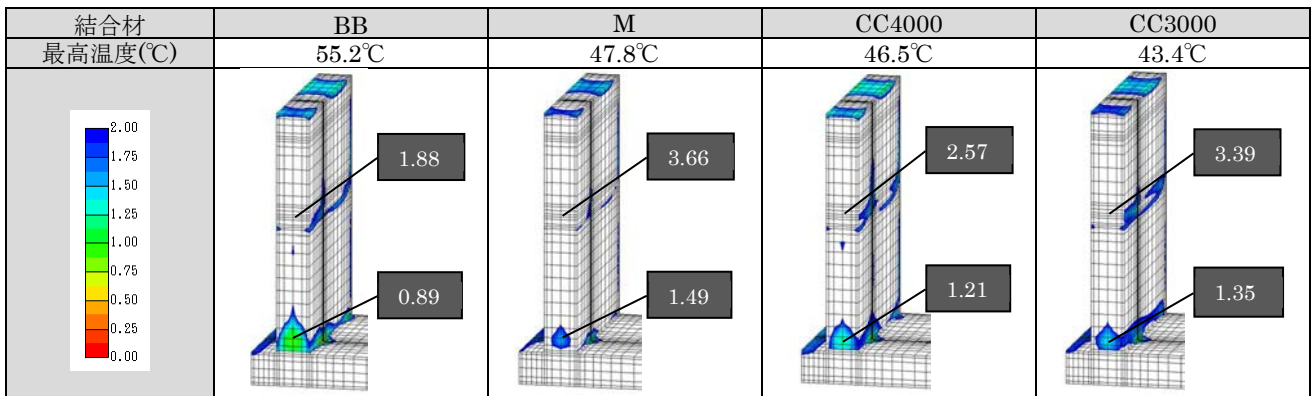


図-7 温度応力解析結果

参考文献

- 1) 小林利充ほか: 二酸化炭素排出量を低減するコンクリート「クリーンコンクリート」 生産と技術 第67巻 2015
- 2) 十河茂幸: 産業副産起源のコンクリート用混和材の有効活用 コンクリート工学 Vol. 52, No. 5
- 3) コンクリート品質管理試験方法 コンクリートライブラリー第38号 土木学会 1974年