

高炉スラグ高含有コンクリートの温度ひび割れに関する検討

榎大林組 正会員 ○野島 省吾 フェロー 新村 亮 小林利充 溝渕麻子

1. はじめに

近年、環境配慮の観点からコンクリートの低炭素化が重要な課題となっており、二酸化炭素排出量の多いセメントを産業副産物である高炉スラグ微粉末に大量に置き換えた、高炉スラグ高含有コンクリートに期待が集まっている¹⁾。高炉スラグ高含有コンクリートの更なる普及拡大のためには、二酸化炭素排出量削減以外の付加価値も重要となる。一例として、高炉スラグ高含有コンクリートはセメント量が少なく、水和熱が抑制されるため温度ひび割れ対策として効果があるとされているが、その他物性を含めて総合的に温度ひび割れ抑制効果を評価した例は少ない。このため、本検討では複数の高炉スラグ高含有コンクリートに関して各種試験を実施し、得られた物性値を反映した温度応力解析によって温度ひび割れ抑制効果を評価した。

2. 物性試験

表-1 に検討した結合材の種類を示す。一般的な高炉セメント B 種に対し、高炉スラグ高含有コンクリートとして、スラグ置換率とベースセメントの異なる 3 種類の結合材を使用した。表-2 に解析入力値を得るために実施した試験の一覧を、表-3 にコンクリートの配合概要を示す。細骨材には山砂と石灰砕砂を、粗骨材には石灰砕石を使用した。

3. 試験結果

図-1 に断熱温度上昇量の経時変化を示す。断熱温度上昇量 K (°C) は、BB, BC, NCC とスラグ置換率が増えるに従って低下する。また、セメント種類を中庸熱に変更することで、NCC から MCC で約 8.0°C 低下した。

図-2 に $W/B=55\%$ における圧縮強度の経時変化を示す。スラグ置換率が増えるに従って強度は低下する。また、セメント種類を中庸熱に変更することで、NCC から MCC で約 4.0 N/mm² 低下した。

図-3 に圧縮強度と引張強度の関係を、図-4 に圧縮

表-1 結合材一覧

名称	セメント種類	スラグ置換率
BB	高炉セメント B 種	—
BC	高炉セメント C 種	置換率 68% プレミックス
NCC	普通ポルトランドセメント	置換率 75% (4000 プレーン、練混ぜ時に添加)
MCC	中庸熱ポルトランドセメント	

表-2 実施試験一覧

項目 (試験方法)	検討結合材			
	BB	BC	NCC	MCC
断熱温度上昇量 (断熱温度上昇試験装置)	—	○	○ ²⁾	○
圧縮強度 (JIS A1108)	○	○	○ ²⁾	○
引張強度 (JIS A1113)	—	○	○ ²⁾	○
静弾性係数 (JIS A1149)	○	○	○ ²⁾	○
自己収縮 (埋込みゲージ法)	○	○	○	○

— : 未実施、解析検討では示方書式にて代用

2) : 参考文献 2) に示す先行試験結果を引用

表-3 配合概要

名称	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)		
		W	C	BFS
BB	55.0	155	282	—
BC	55.0	155	282	—
NCC	55.0	155	70	211
MCC	55.0	150	68	205

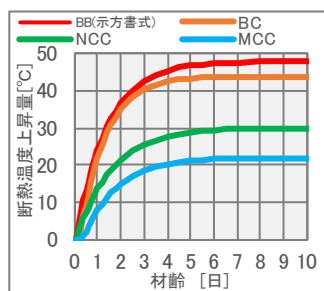
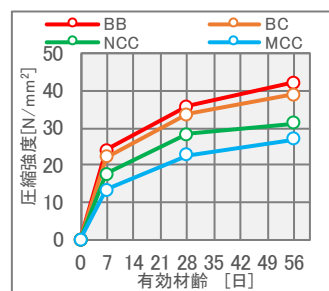
図-1 断熱温度上昇試験結果 (B=273kg/m³, C.T=20°C)

図-2 圧縮強度試験結果 (W/B=55%)

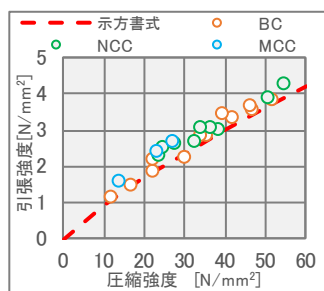


図-3 圧縮強度—引張強度関係

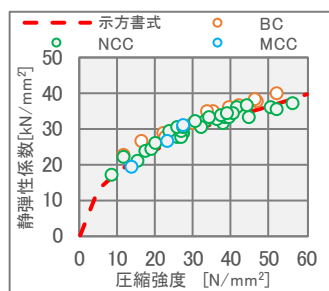


図-4 圧縮強度—静弾性係数関係

キーワード 高炉スラグ微粉末, 高炉セメント C 種, 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

強度と静弾性係数の関係を示す。破線で示した示方書式と比較すると、圧縮強度に対する引張強度は若干高めの結果となった。一方、静弾性係数は概ね示方書式通りの結果となった。

図-5に自己収縮の経時変化を示す。NCC、MCCは初期の膨張が大きく、材齢56日における自己収縮がBBと比較して0.47～0.69倍に抑制されることがわかる。

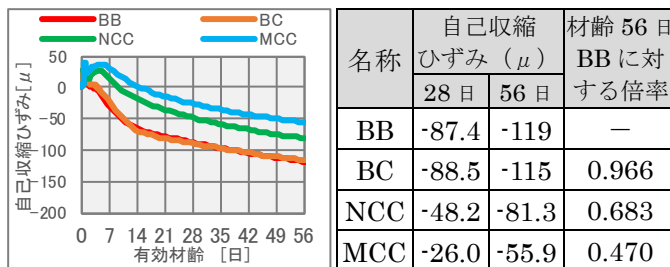


図-5 自己収縮計測結果 (W/B=55%, C.T=20°C)

表-4 解析条件および入力条件

配合	W/B=55%, W=175kg/m ³ , B=318kg/m ³						
打設温度	30.8°C (真夏の平均外気温+5°Cを想定)						
境界条件	材齢 12 日まで保温型枠 (5W/m ² °C) 設置						
結合材種類	BB	N	M	L	BC	NCC	MCC
発熱特性	示方書式				試験値+温度補正		
終局断熱温度上昇量 (°C) : K	53.0	52.0	46.1	42.6	48.2	32.0	23.9
温度上昇係数 : α	1.22	1.87	0.98	0.84	1.48	0.91	0.94
圧縮強度	示方書式				試験値		
管理材齢 (日)	28	28	28	56	28	56	56
管理材齢推定強度 (N/mm ²) : f _c	34.0	36.6	32.3	28.2	35.3	29.0	27.0
引張強度・静弾性係数・線膨張係数	示方書式						
線膨張係数 : μ / °C	12	10	10	10	12	12	12
自己収縮	示方書式				示方書 BB55%式に補正係数 η を乗じる		
自己収縮の補正係数 : η	1.0	1.0	1.0	1.0	0.97	0.69	0.47

4. 解析検討

物性試験結果を踏まえ、現場打設を想定した温度応力解析を実施した。解析対象とした構造物は底版の拘束を受ける厚さ 1.3m の壁で、打設高さは 5.0m である。また、5m 間隔でひび割れ誘発目地が設置した。表-4 にコンクリートの解析条件と入力条件を示す。配合は W/B=55%, 単位水量=175kg/m³ に固定し、真夏の打設を想定した。NCC は温度依存性の検討を行っているが²⁾、今回 BC・MCC では温度依存性の検討を実施していないため、BC に関しては BB 示方書式を、MCC に関しては NCC の試験結果を用いて発熱特性の補正を行った。

5. 解析結果

表-5 に解析結果を示す。

①NCC を使用することによる指数改善効果は N と M の中間程度であった。

②MCC を使用することによる指数改善効果は M と L の中間程度であった。

NCC・MCC 配合における温度上昇量や自己収縮の改善効果を解析に反映した結果、それぞれベースとなるポルトランドセメントの配合 (N・M) を上回る指数改善効果が確認できた。

6. 今後の課題

発熱性状や自己収縮の温度依存性、石こう添加量の影響等の検討を行い、温度ひび割れ対策としてより効果的な高炉スラグ高含有コンクリートの配合を検討していきたい。

参考文献

- 例えば、平成 27 年首相官邸地球温暖化対策推進本部決定「日本の約束草案」
- 溝渕ほか：混和剤を高含有したコンクリートの熱特性に関する検討，コンクリート工学年次論文集

Vol.37, No.1, 2015

表-5 解析結果概要

	結合材種類						
	BB	N	M	L	BC	NCC	MCC
最小ひび割れ指数 コンター図							
最高温度	72.9°C	75.9°C	65.4°C	55.7°C	70.9°C	53.8°C	48.1°C
温度上昇量	42.1°C	45.1°C	34.6°C	24.9°C	40.1°C	23.0°C	17.6°C
最大応力 (N/mm ²)	3.81	3.77	2.49	1.79	3.58	2.18	1.71
最小ひび割れ指数	0.78	0.80	1.17	1.67	0.85	1.05	1.47