

マス養生温度履歴下における高炉セメントコンクリートの自己収縮ひずみと硬化物性

大成建設 土木技術研究所 正会員 ○臼井 達哉

大成建設 土木技術研究所 正会員 宮原 茂禎

大成建設 土木技術研究所 フェロー会員 丸屋 剛

大成建設 土木本部 正会員 大友 健

1. はじめに

著者らはマスコンクリートを想定した高温履歴下(以後、マス養生温度履歴下と呼ぶ.)における高炉セメントコンクリートの自己収縮ひずみは、非常にばらつきが大きいことを報告している¹⁾。本研究では、マス養生温度履歴下における高炉セメントコンクリートの自己収縮に与える影響因子を推定するために実施したマスブロック供試体による自己収縮ひずみの測定結果、測定終了後のマスブロック供試体からコアを採取・成形した供試体から測定した硬化物性(圧縮強度、ヤング係数、引張強度)をまとめたものである。実験には、銘柄の異なる4種類の高炉スラグ微粉末を用いて、その種類の影響についても考察を加えた。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。高炉スラグ微粉末の物性と化学成分を表-1、表-2及び図-1に示す。各銘柄の高炉スラグ微粉末は、ブレン比表面積、粒度分布は異なるが、化学組成はほぼ同一のものであった。細骨材は君津産山砂、粗骨材は青梅産碎石を使用した。混和剤は、AE減水剤標準形(種)及びAE剤を用いた。コンクリートの配合は、普通ポルトランドセメントのみを用いたN配合、各種高炉スラグ微粉末を内割で40%置換したB(A)~B(D)配合とし、W/B:55%、スランプ15±2.5cm、空気量4.5±1.5%と設定した(表-3)。

2.2 試験方法

周囲を厚さ200mmの発泡スチロールにより断熱した450×450×450mmのマスブロック供試体を作成し、中心部の温度と自由長さ変化を埋込み型ひずみ計で材齢28日まで測定した。測定終了後、マスブロック供試体からコアを採取し成形した供試体(φ100×200mm)を用いて硬化物性(圧縮強度・ヤング係数・引張強度)を測定した。マスブロック供試体を作成した同一の試料を用いて、凝結試験を実施するとともに、熱膨張係数測定用供試体(φ100×200mm)を作成した。熱膨張係数は、自己収縮がおおむね終了したと考えられる材齢30日経過以降に20~60の温度変化を与えて測定した(表-4)。

3. 実験結果

3.1 コンクリートの自己収縮ひずみ

コンクリートの温度の経時変化と自己収縮ひずみを図-2及び図-3に示す。コンクリートの硬化原点は、凝結始発と同一の有効材齢とした。測定結果から高炉セメントコンクリートB(A)~B(D)配合は、N配合に比べ、自己収縮ひずみが大きいことがわかる。

また、B(A)~B(D)配合において自己収縮ひずみが有効材齢40日時点で約100~160×10⁻⁶とばらつきが大きな結果と

表-1 高炉スラグ微粉末の密度とブレン比表面積

高炉スラグ微粉末	密度 [g/cm ³]	ブレン比表面積 [cm ² /g]
A	2.88	4088
B	2.92	4015
C	2.92	3482
D	2.90	4864

表-2 高炉スラグ微粉末の化学組成

化学組成	高炉スラグ微粉末			
	A	B	C	D
MgO	4.83	4.94	4.62	5.82
Al ₂ O ₃	12.6	12.8	13.6	13.3
SiO ₂	31.2	32.0	31.4	31.3
SO ₃	3.37	1.57	1.83	1.60
K ₂ O	0.566	0.385	0.412	0.61
CaO	47.4	47.4	48.0	47.3
SrO	0.815	0.0675	0.0819	-
Fe ₂ O ₃	-	0.878	-	-

単位: mass%

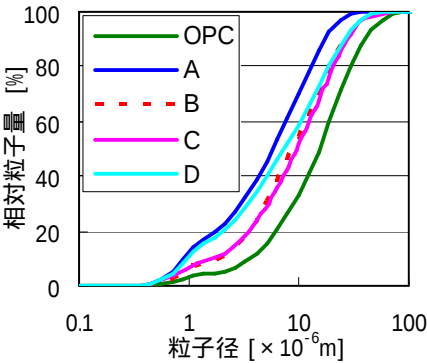


図-1 高炉スラグ微粉末の粒度分布

表-3 コンクリートの配合

配合	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	OPC	BFS	S	G:5号碎石	G:6号碎石	AE
N	55.0	47.5	166	302	-	870	385	577	3.02
B(A)		47.5	164	179	119	869	384	576	2.98
B(B)		47.5	164	179	119	870	385	577	2.98
B(C)		47.5	164	179	119	870	385	577	2.98
B(D)		46.5	164	179	119	851	392	588	2.98

キーワード マス養生温度履歴、高炉スラグ微粉末、自己収縮ひずみ、硬化物性

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設 技術センター TEL 045-814-7228

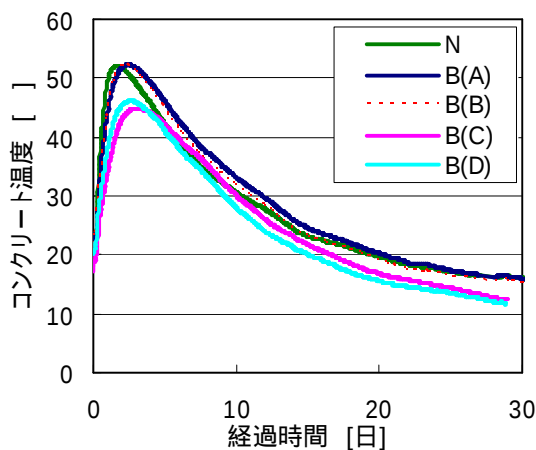


図 2 コンクリート温度の経時変化

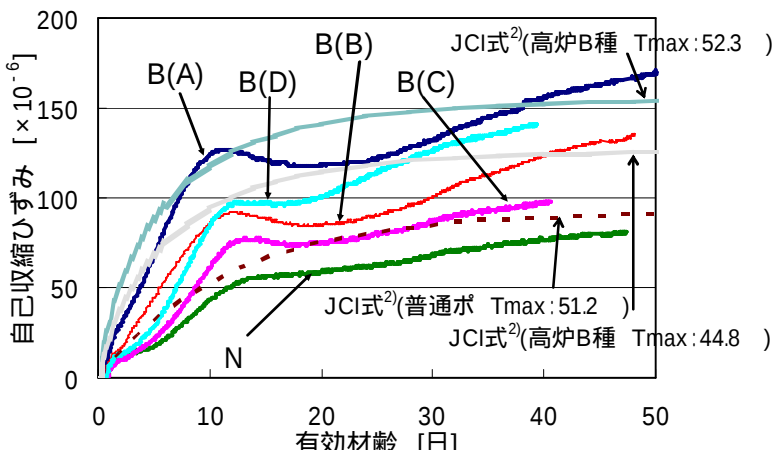


図 3 コンクリートの自己収縮ひずみ

なったが、経験最高温度をパラメータとしたJCI予測式²⁾と比較すると、N配合およびB(A)～B(D)配合とも最高温度の差異による大小の傾向はおおむね一致しており、経験最高温度のパラメータは有効であると評価できる。しかし、B(A)～B(D)配合では、有効材齢10～25日において、一次的に収縮が停滞する現象が確認された。この影響はJCI予測式の関数形²⁾では、表現することができないため、今後、この違いが温度ひび割れに与える影響を検証する必要があるものと考えられる。また、本実験の範囲内では、図-1に示すように、自己収縮ひずみが大きい高炉セメントコンクリートほど、高炉スラグ微粉末の粒度が細かく、粒度によって自己収縮ひずみの大小を判別できる可能性があることがわかった。

表 4 コンクリートの凝結始発時間と熱膨張係数

配合	凝結始発時間	熱膨張係数 [$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]
N	5:46	9.38
B(A)	6:26	10.68
B(B)	6:46	9.89
B(C)	6:56	10.21
B(D)	6:43	10.26

表 5 マス養生温度履歴を受けたコンクリートの硬化物性

3.2 コンクリートの硬化物性

各種強度試験結果、圧縮強度の実測値からJCI式²⁾を用いて算出したヤング係数と引張強度およびヤング係数と引張強

配合	材齢	積算 温度*	圧縮強度	ヤング係数			引張強度		
			実測値	実測値	算出値**	実測値	実測値	算出値***	実測値
			[N/mm ²]	[×10 ⁴ N/mm ²]		／算出値	[N/mm ²]		／算出値
N	35	1269	37.7	3.04	3.23	0.94	2.84	2.84	1.00
B(A)	35	1305	43.3	3.32	3.43	0.97	2.81	3.20	0.88
B(B)	35	1274	41.4	2.95	3.37	0.88	2.70	3.08	0.88
B(C)	35	1203	42.7	2.99	3.41	0.88	2.70	3.16	0.85
B(D)	35	1177	41.5	2.90	3.37	0.86	2.74	3.09	0.89

*: 積算温度 $M = \sum (\theta + 10)dt$ θ : コンクリート温度[℃], dt : コンクリート温度が θ である日数[日]
** JCI式 ヤング係数: $E_c = 6300 \times f_c^{(0.45)}$ *** 引張強度: $f_t = 0.13 \times f_c^{(0.85)}$ f_c : 圧縮強度 [N/mm²]

度の実測値と算出値の比を表-5に示す。まず、圧縮強度は、B(A)～B(D)配合がN配合に比べて大きな値となっている。次に、ヤング係数は、実測値が算出値より小さくなっているが、B(A)～B(D)配合とN配合に明確な傾向は確認されなかった。しかし、引張強度は、圧縮強度が低いN配合のほうがB(A)～B(D)配合よりも高い値となった。水中養生における圧縮強度-引張強度の関係式²⁾から、引張強度を算出したところ、N配合では、実測値と算出値は同値であったのに対し、B(A)～B(D)配合では、自己収縮ひずみの大きさに関わらず、実測値の方が、算出値よりも小さく、算出値の0.85～0.89倍の値であった。マス養生温度履歴下では、高炉セメントコンクリートの引張強度が低下し、温度ひび割れが発生しやすい状況となっている可能性が示された。

4. まとめ

高炉セメントコンクリートでは、マス養生温度履歴下では自己収縮ひずみにばらつきがあり、加えて強度特性にも影響を与えている可能性があることが伺える。今後、これらの影響について、詳細に検討し、温度ひび割れ発生に与える影響を評価する必要があると考えられる。

参考文献

1) 臼井達哉, 大友健, 宮原茂禎, 宮澤伸吾: マス養生温度履歴下で測定した自己収縮ひずみの評価方法と温度ひび割れに及ぼす影響に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, 2009.7(投稿中)
2) 日本コンクリート工学協会: マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008.12