コンクリートの熱膨張係数に与える使用材料の影響に関する検討

㈱デイ・シイ　正会員　○久家　立
㈱デイ・シイ　大澤　友宏
㈱デイ・シイ　久保田　賢
足利工業大学　正会員　宮澤　伸吾

1. はじめに

近年，マスコンクリート構造物における温度ひびわれ制御を目的として，有限要素法を中心とした温度応力解析が行われることが多い。コンクリートの熱膨張係数は，温度応力の発現性状に影響を与える重要な要因の一つであり，セメント種別によって標準値を設定する動きもある[1)]。一方，既往の研究[2)]ではコンクリートの熱膨張係数への影響要因としてコンクリート体積の 6～7 割を占める骨材岩種の違いが最も大きいとしている。

そこで，使用材料の違いによるコンクリートの熱膨張係数の比較および温度応力解析結果に及ぼす熱膨張係数の影響について検討した。

2. 熱膨張係数試験

2.1 使用材料及びコンクリートの配合

使用材料を表 1 に示す。セメントにポルトランドセメント（N，M） と高炉セメント B 種（BB，LB）の 4 種類を，粗骨材に石灰砕石と硬質砂岩の 2 種類を用い，表 2 に示す 5 種類の配合で試験を行った。

ここで，LB は高炉セメント B 種の JIS 規格範囲内で SO_3 量を約 4%に調整し，比表面積の小さい高炉スラグを置換率 58%とした低発熱・収縮抑制型高炉セメントである。

表 1　使用材料

材料名	種類（産地）	密度 (g/cm³)
LB	低発熱･収縮抑制型高炉セメント	2.98
N	普通ポルトランドセメント	3.16
BB	高炉セメントB種	3.04
M	中庸熱ポルトランドセメント	3.21
S1	千葉県君津市吉野（山砂）	2.57
S2	北海道北斗市嶺朗（石灰砕砂）	2.67
S3	東京都八王子市美山（砕砂）	2.64
S4	千葉県君津市吉野（細砂）	2.63
G1	北海道北斗市嶺朗（石灰砕石）	2.70
G2	東京都八王子市美山（硬質砂岩）	2.66

2.2 熱膨張係数試験方法

熱膨張係数試験は，埋込型ひずみ計を埋設したコンクリート供試体（10×10×40cm）を水中に浸漬し，恒温恒湿槽を用いて水温と供試体中心温度が平衡を保つように温度変化（約 5→73→5℃：0.5℃/h）させながらひずみを測定し，温度－ひずみ曲線における傾きを熱膨張係数とした。

なお，試験開始材齢は約 1 年でありコンクリートの自己収縮はほぼ終了している状態であると考えられる。図 1 に試験状況を示す。

図 1　熱膨張試験状況

表 2　コンクリートの配合及びフレッシュ性状

セメント種類	W/C (%)	単位量 (kg/m³)								フレッシュ性状		
		W	C	S1	S2	S3	S4	G1	G2	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
LB(石灰石)	50.0	158	316	650	169			1013		14.0	5.0	20.9
LB(砂岩)	50.0	165	330			562	240		998	16.0	5.1	21.3
N	50.0	163	326	644	167			1015		13.5	5.3	21.3
BB	50.0	160	320	646	168			1015		13.5	4.5	21.9
M	50.0	162	324	650	169			1015		16.0	5.1	21.4

キーワード　熱膨張係数，骨材岩種，温度応力解析
連絡先　〒210-0005　神奈川県川崎市川崎区東田町 8 番地　㈱デイ・シイ　セメント事業本部　TEL044-223-4753

2.3 試験結果

表 3 に試験結果を示す。一般にコンクリートの熱膨張係数はセメント種別（ポルトランドセメントと高炉セメント B 種）で差異がある[1) 3)]といわれているが，今回の結果ではセメント種別による差異は認められなかった。また，既往の研究結果[2)]同様，粗骨材に石灰石を用いた結果はいずれも 6.5×10^{-6}／℃程度と小さく，骨材種別によりコンクリートの熱膨張係数は大きく変動することが確認できた。これは，同じセメント（LB）における骨材種別の結果からも明白である。

表 3　熱膨張係数試験結果

セメント種類	熱膨張係数(×10⁻⁶/℃) 温度上昇時	温度降下時	平均
LB(石灰石)	7.2 (5.6～72.7℃)	6.1 (72.6～5.0℃)	6.7
LB(砂岩)	9.0 (5.9～68.4℃)	8.9 (68.0～5.1℃)	9.0
N	7.0 (6.0～72.8℃)	6.0 (72.7～5.3℃)	6.5
BB	7.1 (6.0～68.1℃)	5.8 (67.7～5.1℃)	6.5
M	6.7 (6.0～72.9℃)	6.3 (72.8～5.3℃)	6.5

3．温度応力解析

3.1 解析概要

以上に示した LB の熱膨張係数（石灰石：6.7×10^{-6}／℃，砂岩：9.0×10^{-6}／℃）を用いて，図 2 に示す部材厚 1m の壁状構造物を想定した 3 次元 FEM 温度応力解析（汎用 FEM コード ASTEAMACS 使用）を行ない，熱膨張係数の違いによるひび割れ指数及びひび割れ発生確率への影響を比較検討した。

なお，今回の解析ではコンクリートの収縮特性を考慮していないため，解析結果は構造物の温度応力状態を正確に再現しているものではないと思われる。

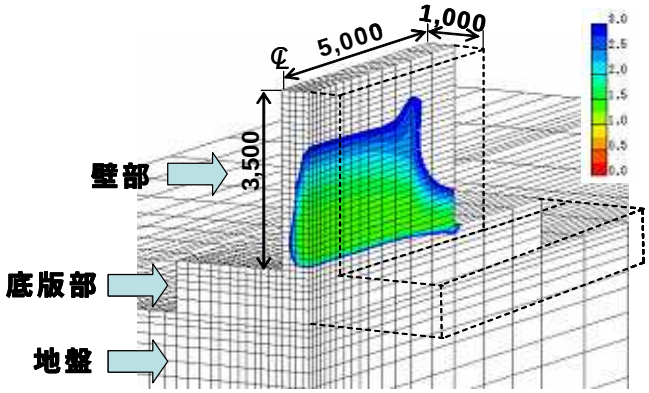

図 2　解析モデル（LB(砂岩)ひび割れ指数等高線図）

3.2 解析結果

図 3 に解析結果として，ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係図を示す。関係式[1)]は，式 1 を用いた。

図 3 の結果は，LB（石灰石）でひび割れ指数=1.83，ひび割れ発生確率=5%，それに対して LB（砂岩）ではひび割れ指数=1.28，ひび割れ発生確率=22%であり，熱膨張係数の違いにより解析結果に大きな差が生じる結果であった。

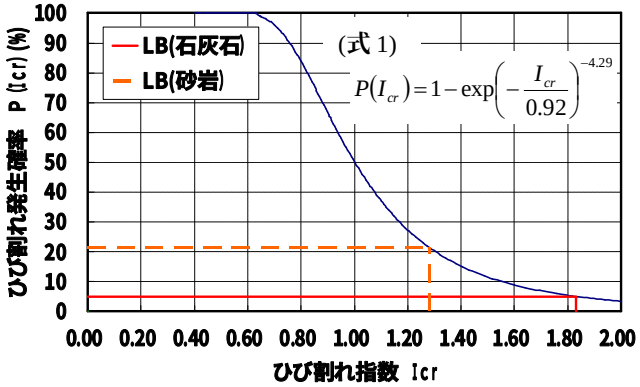

図 3　ひび割れ指数とひび割れ発生確率関係図

4．まとめ

①使用材料の違いによる熱膨張係数の比較試験を行い，セメント種別よりも骨材種別による影響が大きい結果であった。

②熱膨張係数試験結果を反映した 3 次元 FEM 温度応力解析を行い，熱膨張係数の違いが解析結果としてのひび割れ指数及びひび割れ発生確率に大きな影響を与えることが確認できた。

③今回の検討結果から今後は，熱膨張係数に関するコンクリートと使用材料との相関関係を明らかにし，簡易的にコンクリートの熱膨張係数を算出する手法を確立することが望まれる。

参考文献

1) (社)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

2) 川口 徹：コンクリートの熱膨張係数に関する既往の研究成果について，マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集，(社)日本コンクリート工学協会，pp.15-18，1982

3) 後藤 他：コンクリートの線膨張係数に関する基礎的研究，土木学会第 62 回年次学術講演会，pp.1177-1178，2007