

膨張コンクリートの収縮応力制御効果に関する解析的検討

(株)太平洋コンサルタント 正会員 ○倉内 英敏
 太平洋セメント(株) 正会員 谷村 充
 名古屋大学大学院 正会員 丸山 一平

1. はじめに

近年、初期ひび割れ制御を目的として膨張材を使用するケースが増加する趨勢にある。2007年制定のコンクリート標準示方書（以下、JSCE）では、温度応力解析の物性値の見直しが行われたが、膨張材を使用する場合の設計用値までは整備されていない。一方、2008年に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」（以下、JCI）では、膨張ひずみの設計用値が示され、膨張コンクリートの使用効果を評価できるようになった。本稿では、JCIの設計用値を用いたケーススタディーを行い、膨張コンクリートの収縮応力制御効果に及ぼすセメント種類および壁厚の影響について解析的に検討した。

2. 解析の概要

解析モデルは、図-1に示すように、既設底版上に打設される壁状構造物の1/4モデルとした。壁延長：6m、壁高さ：3m、壁厚：0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0および2.5mに変化させた。外気温は東京都の旬別平年値とし、打込み温度は外気温に5℃を加えたものとした（28.7℃）。拘束条件は地盤下面および軸対称断面を拘束面とした。

セメントの種類は、普通ポルトランドセメント（NC）、高炉セメントB種（BB）および低熱ポルトランドセメント（LC）を対象とした。表-1に材料の設計用値を示す。JCIの圧縮強度式は、水セメント比（W/C）の関数となっているため、設計基準強度（ここでは、材齢28日・30N/mm²）を満たすW/Cを設定した。膨張材の使用量は20kg/m³とし、

LCの場合は10および15kg/m³とした場合（膨張ひずみの終局値：メーカー技術資料を参考に設定）の解析も行った。また、乾燥収縮の影響が相対的に大きくなる壁厚0.2, 0.5mについては、乾燥収縮ひずみを考慮した場合についても併せて検討した。乾燥収縮ひずみは便宜的に、JSCEの乾燥収縮ひずみ予測式の環境湿度RHの項に湿気移動解析³⁾より得られた内部湿度を与えて求めた。乾燥収縮を考慮しない場合の解析期間は打込み後2ヶ月間とし、考慮する場合は打込み後6ヶ月間とした。鉄筋はトラス要素を用い、かぶり厚を50mmとして完全付着とした。壁の鉄筋比は0.20%である。解析に使用したプログラムはASTEAMACS Ver.6（梶計算力学研究センター）である。

3. 解析結果

最小温度ひび割れ指数を表-2に示す。また、乾燥収縮を考慮しない場合について、壁厚と膨張材無（EX0）の最小温度ひび割れ指数を1とした場合の膨張材有の比率の関係を図-2に示す。また、乾燥収縮を考慮した場合について同様の関係を図-3に示す。これらの図において、着目点は部材中心の最小温度ひび割れ指数発生箇所とし

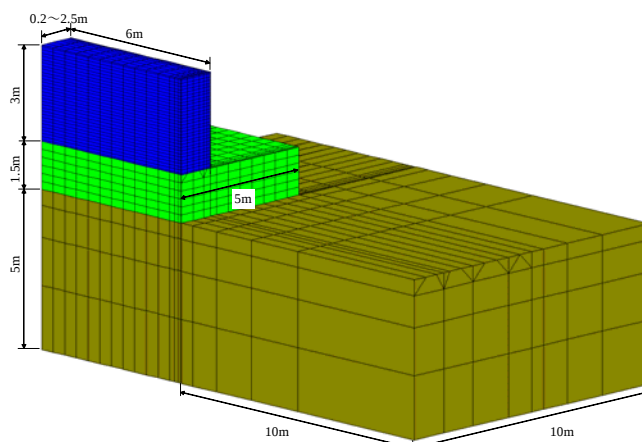


図-1 解析モデル

表-1 設計用値

項 目		係数および式					
物性 定数	種 類	剛性 (N/mm ²)	密 度 (kg/m ³)	比 熱 (J/g℃)	熱伝導率 (J/ms℃)	ポアソン 比	初期温度 (℃)
	コンクリート	底版	2480	2350	1.15	2.7	0.2
		壁	下表	2350	1.15	2.7	0.2
	地 盤	普通	500	2650	1.4	1.7	0.2
温度 解析	断熱温度上昇		マスコン指針（単位セメント量300kg/m ³ ）				
	表面熱伝達境界		合板型枠面：8W/m ² ℃（5日間、以降露出）				
	固定温度境界熱定数		コンクリート露出面：14W/m ² ℃ 地中5mの地点で15.9℃				
応力 解析	コンクリート		マスコン指針による。				
			ただし、 $f_c(28)=30\text{MPa}$ となるW/Cを算出。 NC=60%, BB=63%, LC=53% 乾燥収縮ひずみは、湿気移動を考慮しJSCEの乾燥収縮ひずみ予測式から算出。				

キーワード 温度応力解析, 3次元有限要素法, 温度ひび割れ指数, 膨張コンクリート

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 (株)太平洋コンサルタント TEL043-498-3882

ており、壁厚 2.5, 2.0m : 高さ 600mm, 壁厚 1.5, 1.0, 0.5m : 高さ 500mm, 壁厚 0.2m : 高さ 400mm である。

(1) セメント種類の影響

最小温度ひび割れ指数は、NC の膨張材無は 0.53～1.46, 膨張材有は 0.63～4.38 の範囲である。BB の膨張材無は 0.45～1.20, 膨張材有は 0.51～5.19 の範囲である。LC の膨張材無は 1.01～2.31, 膨張材有は 1.13～20 の範囲にある。膨張材の効果について膨張材無を 1 とした場合の比率でみると、NC は 1.19～3.0, BB は 1.13～4.33 および LC は 1.47～8.66 の範囲にある。LC の膨張材使用量を 15kg/m^3 とした場合は $1.2\sim 8.66$, 10kg/m^3 では $1.12\sim 8.66$ の範囲となり、 $10\sim 15\text{kg/m}^3$ の範囲で使用するにより、最小温度ひび割れ指数の観点では NC および BB における膨張コンクリートの効果と同程度となる。

(2) 壁厚の影響

壁厚が最小温度ひび割れ指数に及ぼす影響は、膨張材の有無にかかわらず、壁厚の減少に伴い最小温度ひび割れ指数は大きくなった。膨張材有の場合は、その傾向がより顕著となり壁厚 0.5m 以下で膨張材の効果が大きく表れた。セメント種類ごとで比較すると NC と BB は壁厚 1.0m 以上では最小温度ひび割れ指数の変化は少なく、LC は大きい結果となった。

膨張材無を 1 とした場合の比率をみると LC-EX20 を除き、壁厚 1.0m 以上では大差ないが壁厚 0.5m 以下では膨張材の効果がより大きくなった。壁厚 0.5m 以下について乾燥収縮ひずみを考慮した場合、壁厚 0.5m では乾燥収縮を考慮しないものと同程度となっている。JSCE のマスコンクリートの定義の一つに壁厚 50cm 以上があるが、これより厚い部材では乾燥の影響が限定的であることが解析的にも表現できているものと考えられる。壁厚 0.2m では、乾燥収縮の影響が卓越し、NC, BB および LC の比率はそれぞれ 1.19, 1.14 および 1.41 となり、膨張コンクリートの効果が相対的に小さく表れた。また、セメント種類による差は乾燥を考慮しない場合より小さくなった。膨張コンクリートの有意な作用は比較的早期の膨張現象に伴う圧縮応力の導入によるため、その後に明らかな乾燥を受ける場合には初期の効果が経時的に失われることになる。その結果、膨張コンクリートの使用効果は時間の経過に伴って相対的に小さくなることが想定され、このことが解析結果にも反映されたものと考えられる。ただし、解析結果の妥当性については、実構造物レベルの実測データを蓄積するとともに、膨張ひずみ以外の設計用値の適用性を含めて総合的に検証する必要がある。また、薄い部材の乾燥収縮ひずみの取扱いについては、湿気移動の影響などを考慮した解析手法の精度向上およびその体系化が望まれる。

参考文献

- 1)土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書「設計編」, pp.331-343, 2008.3
- 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, pp.46-59, 2008.11
- 3)箆橋 他：温度との連成を考慮したコンクリートの湿気移動解析,コンクリート工学論文集,vol23,No.2,pp685-690,2001

表-2 最小温度ひび割れ指数

セメント	膨張材量 Ex (kg/m ³)	乾燥収縮 の考慮	最小温度ひび割れ指数					
			壁厚 (m)					
			0.2	0.5	1	1.5	2	2.5
NC	0	無	1.46	0.90	0.64	0.57	0.54	0.53
	20		4.38	1.40	0.82	0.68	0.65	0.63
	0		1.20	0.74	0.55	0.49	0.46	0.45
BB	0		5.19	1.18	0.67	0.59	0.52	0.51
	20		2.31	1.97	1.59	1.30	1.10	1.01
	0		20.00	8.99	2.29	1.52	1.28	1.13
LC	10		20.00	13.20	2.97	1.70	1.41	1.21
	20		20.00	15.28	9.44	2.42	1.89	1.48
	0		0.37	0.92	—	—	—	—
NC	20	有	0.44	1.43	—	—	—	—
	0		0.37	0.74	—	—	—	—
	20		0.42	1.19	—	—	—	—
BB	0		0.59	2.11	—	—	—	—
	10		0.65	15.33	—	—	—	—
	15		0.69	20.00	—	—	—	—
	20		0.86	20.00	—	—	—	—

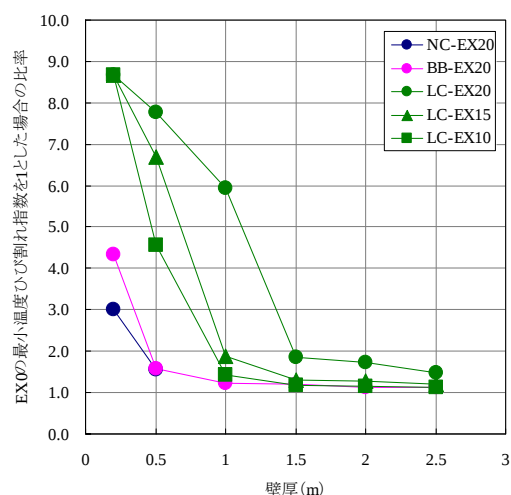


図-2 壁厚と EX0 の最小温度ひび割れ指数を 1 とした場合の比率との関係 (乾燥考慮なし)

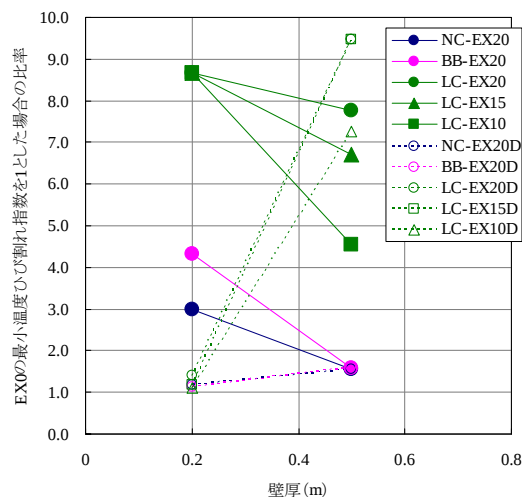


図-3 壁厚と EX0 の最小温度ひび割れ指数を 1 とした場合の比率との関係 (乾燥考慮)