

膨張材を混入したRC梁のひずみの推定方法に関する一考察

若築建設(株)	正会員	○ 壹岐 直之
五洋建設(株)	正会員	酒井 貴洋
佐伯建設工業(株)	正会員	植田 智幸
東亜建設工業(株)	正会員	網野 貴彦
早稲田大学	フェロー	清宮 理

1. はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れ抑制対策として、膨張材を使用する事例が増えている。一般に、膨張材によるひび割れ抑制効果を解析的に予測する手法として、コンクリートの線膨張係数を低減する方法¹⁾や、膨張ひずみを与える方法²⁾、硬化中の有効弾性係数を低減する方法などで行われている。しかし、これらの解析手法は確立されたものではない。とくに、線膨張係数を低減する方法は簡便で一般的に用いられているが、温度変化に対するひずみを部材の拘束条件にかかわらず小さく見積もるため、マッシュで鉄筋量の少ない部材において内部拘束型の温度応力が卓越する場合は、ひび割れ指数を実際よりも大きく予測する場合がある。

本報告は、膨張材を混入したコンクリートの挙動を把握するため、マスコンクリートの内部を模擬した梁モデル供試体を作成してコンクリート硬化中の温度およびひずみの計測を行い、膨張材のひび割れ抑制効果を解析的に予測するための方法について、基礎的な検討を行ったものである。

2. 供試体による膨張ひずみの把握

6種類の配合に対して梁モデルの供試体を製作し、コンクリート硬化中の温度とひずみを計測した。供試体の形状寸法および計測機器の配置を図-1に、コンクリートの配合を表-1に示す。マスコンクリート内部の環境を再現するため、供試体を直径10mmの気泡シート4枚で覆い、その上からブルーシートで覆った。主筋D19の弾性係数は190kN/mm²、スターラップD13の弾性係数は181kN/mm²であった。

供試体中心での最高温度と、自由ひずみの計測結果を表-1に示す。線膨張係数 α は、無応力容器内で計測された自由ひずみと温度との関係を近似したものである。収縮・膨張ひずみ ε_h は、自由ひずみから温度ひずみ(=上述した線膨張係数×温度変化量)を差引いた値として算定し、表-1中の式で近似した。

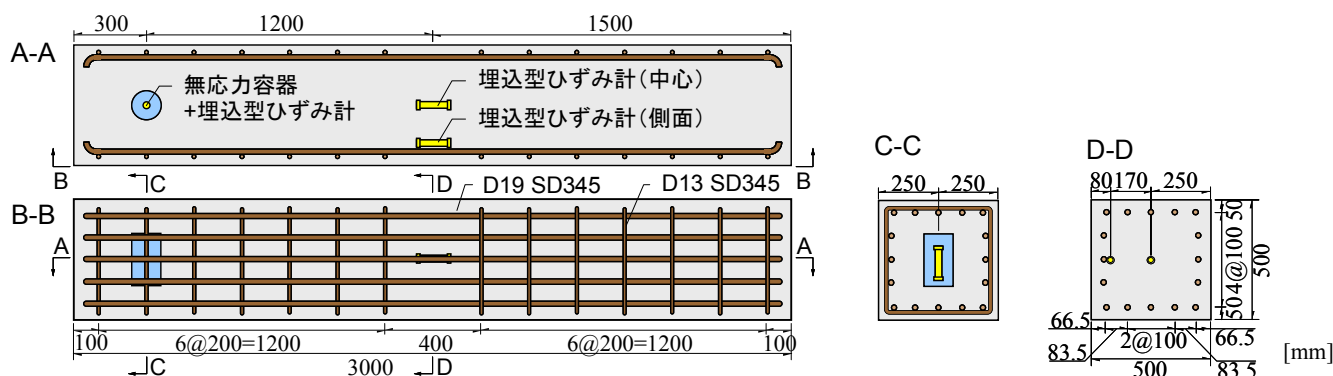


図-1 梁モデル供試体の形状寸法 および 計測機器の配置

表-1 コンクリートの配合 および 計測結果

(t: 材令[日])

記号	W/B [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m ³]						凝結時間 [時:分]	$f_c'(28)$ [N/mm ²]	最高温度 [°C]	線膨脹 係数 α [μ/°C]	収縮・膨脹ひずみの近似 $\varepsilon_h(t)=\varepsilon_{\max}[1-\exp(-a \cdot t^b)]$		
			水	セメント	膨脹材	細骨材	粗骨材	AE減水剤					$\varepsilon_{\max}$ [μ]	a	b
Npln	47.0	42.5	158	337	0	753	1020	3.37	5:10~ 6:40	32.3	51.1	10.5	-36	1.70	1.82
Nexp	47.0	42.5	158	317	20	753	1020	3.37	5:25~ 7:35	35.0	52.8	9.1	121	2.87	0.51
Bpln	48.9	41.8	165	337	0	730	1047	3.61	4:13~ 6:54	26.4	51.0	10.7	-124	0.90	0.93
Bexp	48.9	41.8	165	317	20	732	1047	3.61	6:12~ 9:00	27.8	53.0	13.1	115	1.61	0.32
Lpln	47.0	43.9	163	347	0	781	1033	3.47	5:12~ 7:20	34.4	44.4	8.4	9	0.07	0.71
Lexp	47.3	43.9	163	325	20	783	1033	3.45	8:06~10:07	37.1	47.6	6.0	753	4.66	0.81

記号: N=普通ポルトランドセメント, B=高炉セメントB種, L=低熱ポルトランドセメント. pln=無添加, exp=膨張材添加.

キーワード: 膨張材, マスコンクリート, 有効応力, 温度応力解析, 温度ひずみ計測

連絡先: 〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18

若築建設(株)技術部 技術第三課

TEL:03-3492-0422

3. 温度応力解析の方法および結果

温度応力解析は、三次元有限要素法(ASTEAM-MACS)で行った。解析モデルは、梁モデル供試体の1/4を対象とし、コンクリートはソリッド要素で、鉄筋はトラス要素でモデル化した。解析条件を表-2に示す。コンクリートの熱物性値は一般的な値を用いた。水和発熱は、コンクリート標準示方書³⁾に示される断熱温度上昇式を用い、その定数 Q_∞ , γ およびコンクリート表面の熱伝達係数は計測結果に一致するように同定した。線膨張係数は計測結果から近似した値(表-1)とした。圧縮強度は、同示方書³⁾に示される式を用い、その定数 a および b は $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体による圧縮強度試験結果から近似した。有効弾性係数の定数は同示方書³⁾に示される一般的な値を用いた。膨張効果は、線膨張係数を計測された値の70%に低減する方法と、表-1に示した膨張ひずみを直接入力する方法で検討した。

有効応力の計測結果および解析結果を図-2に示す。なお、本論文で示した梁モデル供試体では、内部拘束も外部拘束も作用しておらず、コンクリートと鉄筋の線膨張係数の違いによる温度ひずみの差、コンクリート硬化時の収縮ひずみ、膨張材による膨張ひずみを原因とする応力が主である。

膨張材を混入しないケースについて、普通セメントと低熱セメントでは解析値と計測値はほぼ一致したが、高炉セメントでは圧縮側で推移する有効応力が計測されたのとは逆に、解析では引張側に増加する傾向となった。

膨張材の効果を線膨張係数 α を70%にして考慮する解析方法について、計測結果では圧縮応力が増加する傾向あったが、解析結果では材令4日程度までは引張応力が発生し、計測結果と解析結果では傾向が異なった。

膨張材の効果を膨張ひずみ ε_h で考慮する解析方法に

ついて、解析結果は計測結果と定性的に同じ傾向を示し、圧縮応力が増加する傾向が認められた。ただし、解析結果での圧縮応力の最大値は計測結果よりも小さく、普通ポルトランドセメントでは35~41%、高炉セメントでは50~72%、低熱ポルトランドセメントでは74~77%であった。

4. まとめ

膨張剤の効果を考慮するための解析方法として、今回の実験では膨張ひずみを直接入力する方法が適用性が良く、線膨張係数を低減する方法は実験結果を再現できなかった。なお、本研究は早稲田大学清宮研究室、五洋建設(株)、佐伯建設工業(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、若築建設(株)が共同で実施したものである。

参考文献

- 1) 足立ら：PCタンク側壁下端部への膨張材適用,コンクリート工学年次論文集,Vol.27,No.1,pp.229-234,2005.6
- 2) 河西ら：低添加型膨張材の場所打ちPC床版への適用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25,No.2, pp.703-708, 2003.7
- 3) 土木学会：2002年制定コンクリート標準示方書 [施工編], pp.41-54, 2002.3

表-2 温度応力解析の条件

項 目		Npln	Nexp	Bpln	Bexp	Lpln	Lexp
コンクリートの熱特性	熱伝導率	2.5 [W/m℃]					
	密度	2400 [kg/m ³]					
	比熱	1.3 [kJ/kg℃]					
表面の熱伝達係数		2.0 [W/m ² ℃]					
断熱温度上昇式	Q_{∞} [℃]	42.5	45.0	37.0	39.5	25.5	29.0
	γ	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5
圧縮強度推定式	$f_c(91)$ [N/mm ²]	37.1	40.3	30.7	31.7	39.5	46.2
	a	2.97	3.39	4.44	3.72	10.06	10.86
	b	1.02	1.01	0.97	1.00	0.83	0.89
有効弾性係数推定式	ϕ (0~3 日)	0.73					
	ϕ (5 日~)	1.00					

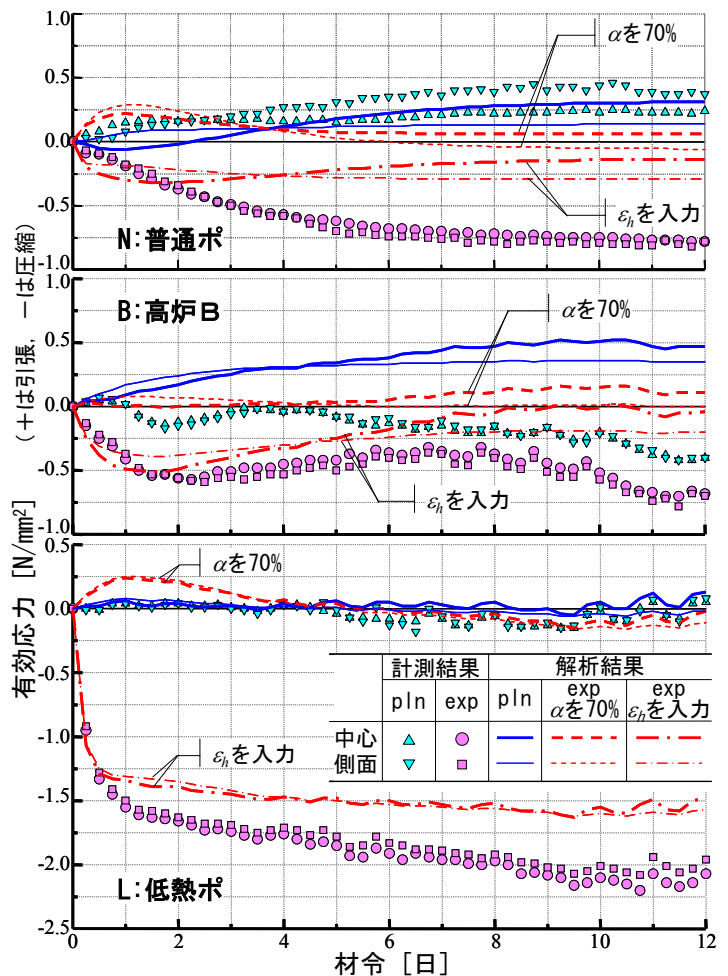


図-2 有効応力の計測結果および解析結果