

# 論文 膨張材を混入したコンクリート梁の挙動とひび割れ抑制効果の解析的検討

壹岐 直之<sup>\*1</sup>・清宮 理<sup>\*2</sup>・何 海明<sup>\*3</sup>・植田 智幸<sup>\*4</sup>

**要旨:** 膨張材を混入したコンクリート部材のひずみ挙動を把握し、解析手法について検討することを目的として、3種類のセメントを使用して作成した梁部材(500×500×3000mm)と小型梁材(100×100×400mm)において硬化中の温度・ひずみの計測を行った。膨張材を混入することにより膨張ひずみが発現したが、膨張ひずみの性状はセメントの種類、梁寸法によりかなり異なった。有限要素法で有効応力の解析を行い計測結果と比較した結果、線膨張係数を70%に低減した解析結果は計測結果と定性的にも定量的にも異なる傾向を示し、膨張ひずみを直接入力した解析結果は、計測結果と定性的に同じ傾向を示した。

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

## 1. まえがき

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。膨張材を混入したコンクリート部材では、コンクリート硬化中に発生する膨張ひずみが既設コンクリートや鉄筋などに拘束されることによって圧縮応力が蓄積され、温度低下時や乾燥などによるコンクリートの収縮を補償し、ひび割れの発生を抑制するとされている。

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<sup>1)</sup>や、膨張ひずみを解析条件に与える方法<sup>2)</sup>、硬化中の有効ヤング係数を低減する方法<sup>3)</sup>、引張強度を増加させる方法<sup>4)</sup>などが行われている。しかし、これらの解析手法は確立されたものではなく、材料の力学的な物性を打設するロット内で一様に補正する方法は膨張材による温度応力を正しく予測することができず、とくに線膨張係数を一様に低減する方法は、簡便ではあるがひび割れ指数を実際よりも大きく予測する場合もある。

本論文は、膨張材を混入したコンクリートの挙動を把握するため、マスコンクリート内部を模擬した梁モデル供試体と、物性を確認するための小型供試体を作成し、コンクリート硬化中の温度およびひずみの計測を行った結果をまとめたものである。また、この計測結果を踏

まえて、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

### 2.1 コンクリートの配合および使用材料

コンクリートの配合を表-1に示す。実験ケースはセメントの種類について3ケース、膨張材の有無について2ケースの、計6ケースである。なお、以下では普通ポルトランドセメントは普通セメント、高炉セメントB種は高炉セメント、低熱ポルトランドセメントは低熱セメントと省略する。実験ケースはセメント種類のN,B,Lと、膨張材の添加について無はpln, 有はexpとして表す。

コンクリートは水結合材比W/Bを47%程度、呼び強度30N/mm<sup>2</sup>を目標にした。ただし、低熱セメントは強度発現が遅いため27N/mm<sup>2</sup>を目標にした。使用材料の成分・性質を表-2に示す。セメントおよび膨張材は市販されているものである。

### 2.2 梁モデル供試体

#### (1) 供試体の形状寸法

供試体の形状寸法を図-1に示す。温度およびひずみの計測では、マスコンクリート内部での挙動を再現するため、膨張材を混入したコンクリートの実験として一般的に用いられている供試体よりも大きな供試体を用い

表-1 コンクリートの配合

セメント種類 (コンクリートの呼び名)	Case 記号	W/B [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m <sup>3</sup> ]						凝結の始発~ 終結 [時:分]	28日圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]
				水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	AE減水剤		
普通ポルトランドセメント 30-12-25N	Npln	47.0	42.5	158	337	0	753	1020	3.37	5:10~6:40	32.3
	Nexp	47.0	42.5	158	317	20	753	1020	3.37	5:25~7:35	35.0
高炉セメントB種 30-12-20-BB	Bpln	48.9	41.8	165	337	0	730	1047	3.61	4:13~6:54	26.4
	Bexp	48.9	41.8	165	317	20	732	1047	3.61	6:12~9:00	27.8
低熱ポルトランドセメント 27-12-20-L	Lpln	47.0	43.9	163	347	0	781	1033	3.47	5:12~7:20	34.4
	Lexp	47.3	43.9	163	325	20	783	1033	3.45	8:06~10:07	37.1

\*1 若築建設 土木事業本部 技術部 技術第三課 工博 (正会員)

\*2 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授 工博 (正会員)

\*3 早稲田大学 理工学総合研究所 研究員 工博 (正会員)

\*4 佐伯建設工業 建設本部 技術部

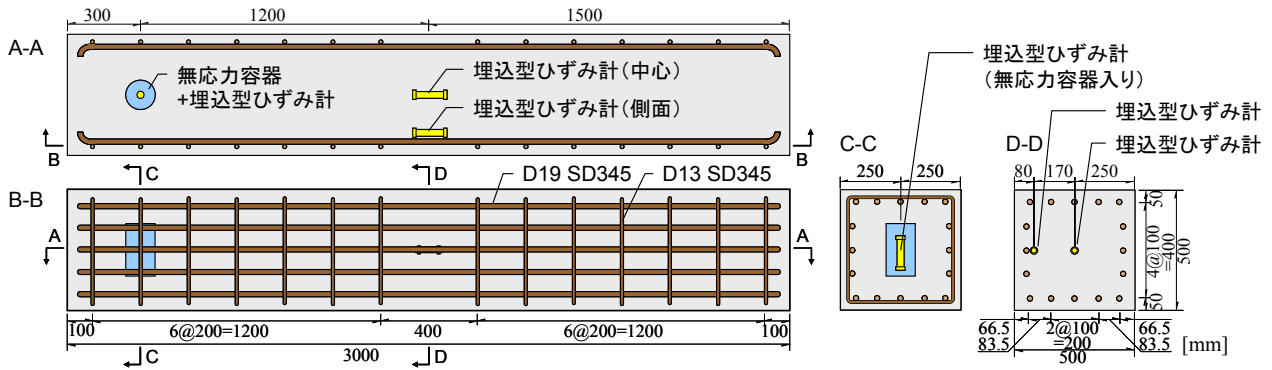


図-1 梁モデル供試体の形状寸法 および 計測機器の配置

表-2 使用材料の成分・性質

使用材料	成分・性質
普通ポルトランドセメント:N	密度3.16, 粉末度3,300cm <sup>2</sup> /g 化学成分%: C <sub>3</sub> S=54, C <sub>2</sub> S=21.0, C <sub>3</sub> A=9, C <sub>4</sub> AF=9 MgO=1.24, SO <sub>3</sub> =2.14
高炉セメントB種:B	密度3.04, 粉末度3,890cm <sup>2</sup> /g 化学成分%: MgO=3.26, SO <sub>3</sub> =1.98
低熱ポルトランドセメント:L	密度3.22, 粉末度3,350cm <sup>2</sup> /g 化学成分%: C <sub>3</sub> S=29, C <sub>2</sub> S=53, C <sub>3</sub> A=3, C <sub>4</sub> AF=9. MgO=0.76, SO <sub>3</sub> =2.27
骨材	N 細骨材: 那須塩原産(表乾密度2.57g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.10%) 粗骨材: 那須塩原産(表乾密度2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.00%)
	B 細骨材: 茨城県神栖産陸砂(同2.56g/cm <sup>3</sup> , 2.33%) 茨城県桜川産砕砂(同2.62g/cm <sup>3</sup> , 1.63%) 粗骨材: 茨城県桜川産(同2.66g/cm <sup>3</sup> , 0.63%)
	L 細骨材: 千葉県君津市吉野産陸砂(同2.59g/cm <sup>3</sup> , 1.89%) 北海道北斗市巽朗産砕砂(同2.64g/cm <sup>3</sup> , 1.19%) 粗骨材: 北海道北斗市巽朗産(同2.70g/cm <sup>3</sup> , 0.73%)
膨張材	低添加型石灰系。密度3.14, 粉末度3,500cm <sup>2</sup> /g 化学成分%: CaO=67.3, SO <sub>3</sub> =18.0, SiO <sub>2</sub> =9.6, MgO=0.6, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =2.5, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =1.3
AE減水剤	N: ポゾリス78S. B: ポゾリス70. L: ポゾリス78R.

表-3 硬化ひずみ計測結果の特性値一覧

Case	梁モデル供試体				小型供試体での硬化ひずみ	
	最高温度 [°C]	線膨張係数 [μ/°C]	終局値*1 [μ]	95%材令*2	終局値*1 [μ]	95%材令*2
Npln	51.1	10.5	-36	1.2	-49	11.0
Nexp	52.8	9.1	121	0.5	260	2.8
Bpln	51.0	10.7	-124	6.1	-107	10.8
Bexp	53.0	13.1	115	4.7	325	1.4
Lpln	44.4	8.4	9	28.6	14	4.0
Lexp	47.6	6.0	753	0.4	1155	2.5

\*1: 硬化ひずみの絶対値の最大値とした。+は膨張, -は収縮。

\*2: ひずみの発現速度の目安として, 終局値の95%に達する材令。

た。また, この供試体はコンクリート硬化後に曲げ荷重を行うことも目的としているため, 梁の形状とした。主筋D19のヤング係数は190kN/mm<sup>2</sup>であり, スターラップD13のヤング係数は181kN/mm<sup>2</sup>であった。

## (2) 膨張ひずみの計測方法

計測機器について, 図-1に示すように梁の中央断面の中心とかぶり付近に埋込型ひずみ計を設置し, 長軸方向の全ひずみを計測した。また, 梁の端部付近に無応力容器内で周囲の拘束から絶縁した埋込型ひずみ計を設置し, 自由ひずみを計測した。これらの埋込型ひずみ計の位置で温度計測も行った。

計測は供試体を脱型せずに行った。型枠は厚さ12mm

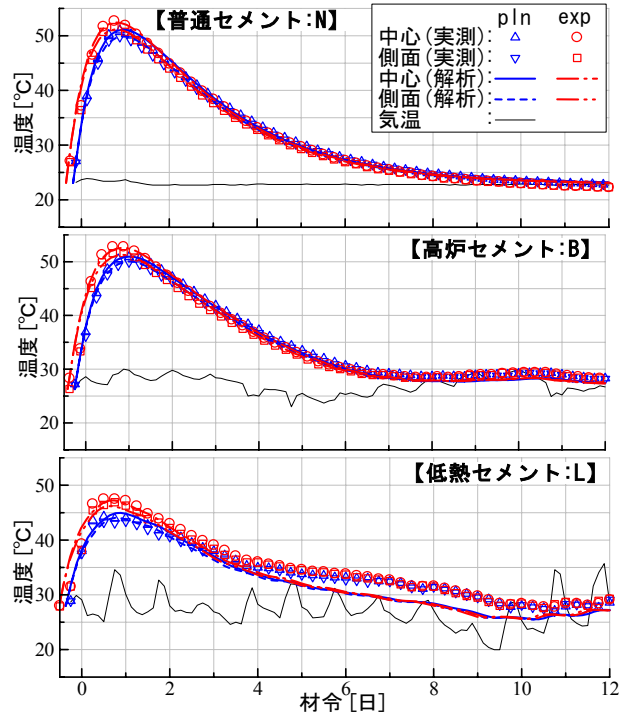


図-2 温度の計測結果 (梁モデル供試体)

の普通合板である。また, 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, その上からさらにブルーシートで覆った。このため, 乾燥収縮はほぼ無かったと考えている。

## (3) 膨張ひずみの計測結果

温度および自由ひずみの計測結果について, 特性値の一覧を表-3に示す。同表には後述する小型供試体の結果も併せて示した。

温度の計測結果を図-2に示す。図中には後述する解析結果も併せて示してある。セメントの種類によって気温が異なるが, これはそれぞれの供試体で実験環境が異なるためである。コンクリートの最高温度について, 膨張材を混入したケースは混入しないケースよりも, 普通セメントでは2°C程度, 高炉セメントでも2°C程度, 低熱セメントでは3~4°C程度高くなった。なお, 各供試体ともに中心と側面の温度差は1°C以下であったことから, 養生は十分であり, マスコンクリート内部の温度環境を再現していると考えられる。

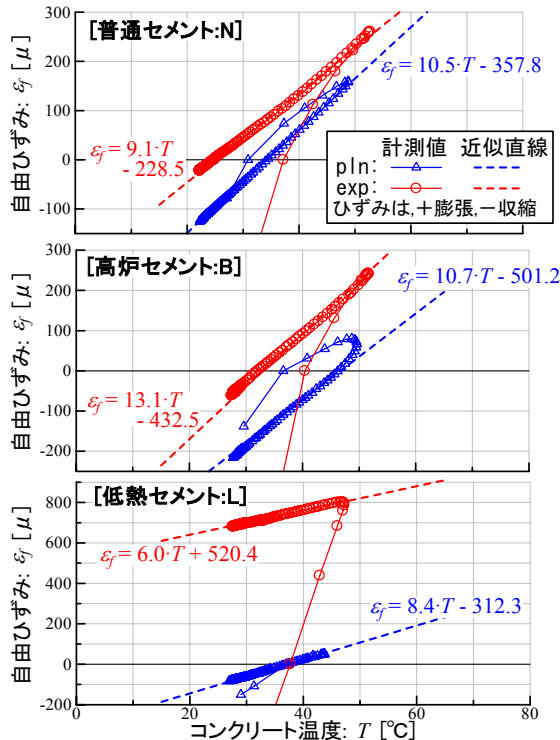


図-3 温度と自由ひずみの関係 (梁モデル供試体)

無応力容器内で計測した自由ひずみと、コンクリート温度との関係を図-3に示す。図中には温度低下時における自由ひずみと温度とは比例関係にあるとして、直線近似した結果も示した。なお、各計測結果において材令0日は、凝結の終結の時点とした。

この直線の傾きを線膨張係数 $\alpha$ として整理したものは表-3に示したとおりである。普通セメントの線膨張係数は、一般的なコンクリートでの値 $10 \mu/\text{°C}$ とほぼ一致したが、膨張材を混入したケースが若干小さかった。高炉セメントの線膨張係数は、膨張材を混入しないケースでは一般的な値とほぼ一致したが、膨張材を混入したケースでは一般的な値よりも3割程度大きな値であった。低熱セメントの線膨張係数は、膨張材を混入しないケースでは一般的な値よりも2割程度小さく、膨張材を混入したケースでは混入しないケースよりも3割程度さらに小さな値であった。

自由ひずみと硬化ひずみの経時変化を図-4に示す。本論文では、コンクリート硬化中に生じる収縮ひずみおよび膨張ひずみを、硬化ひずみと総称する。ここで、硬化ひずみは、温度ひずみを上述した線膨張係数に温度変化量を乗じたものとして計算し、これを自由ひずみから差し引いて算出した。また、硬化ひずみ $\epsilon_h$ はコンクリートの収縮ひずみ等を表す一般的な式 $\epsilon_h = \epsilon_{\infty} \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot t^{\beta})]$ で近似した。近似式および硬化ひずみの終局値は図-4および表-3に示したとおりである。

膨張材混入の有無の差を膨張材の効果と考え、普通セメントでは $157 \mu$ 、高炉セメントでは $239 \mu$ 、低熱セ

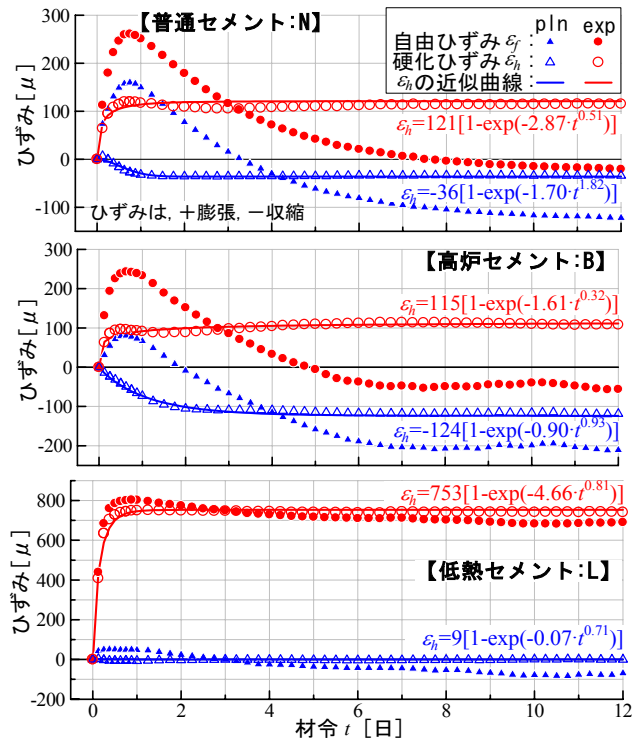


図-4 自由ひずみ・硬化ひずみの経時変化(梁モデル供試体)

メントでは $744 \mu$ の膨張ひずみが発現した。高炉セメントでは膨張材を混入しないケースは、 $124 \mu$ の収縮ひずみがあったが、これは自己収縮によるものと考え、膨張ひずみの発現について、普通セメントおよび低熱セメントは1日以下でほぼ収束し、高炉セメントは5日程度でほぼ収束した。

### 2.3 小型供試体

#### (1) 供試体の形状寸法

梁モデル供試体に使用したコンクリートの基本的な物性を確認するため小型供試体を作成して、無拘束状態の自由ひずみおよび拘束状態での全ひずみを計測した<sup>5)</sup>。供試体の形状寸法を図-5に示す。自由ひずみ測定用の供試体は、型枠に接する面にテフロンシートを設置し、図-5での左右の端面にはポリスチレンボードを設置して、コンクリートの自由な変形を拘束しないように配慮した。全ひずみ測定用の供試体は、供試体の中心にPC鋼棒を、端面に鋼板を配置し、コンクリートの自由な変形を拘束した。PC鋼棒の鉄筋比は1.83%であり、梁モデル供試体の長軸方向の鉄筋比と同じである。

#### (2) 膨張ひずみの計測方法

計測機器の配置は図-5に示した。拘束状態での全ひずみ測定用の供試体では、コンクリートの全ひずみを直接計測していないが、端部は確実に拘束してあり、供試体の平面保持を確保しているため、PC鋼棒のひずみとコンクリートの全ひずみは同じと考えている。

これらの供試体はコンクリート充填後にポリエステルフィルムで封緘して乾燥を抑制し、気温 $20 \text{°C}$ 、湿度 $80\%$

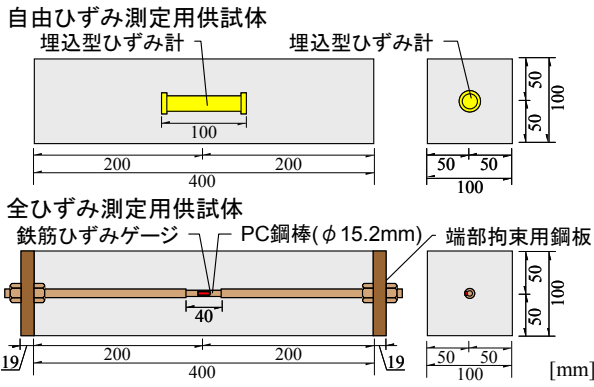


図-5 小型供試体の形状寸法および計測機器の配置

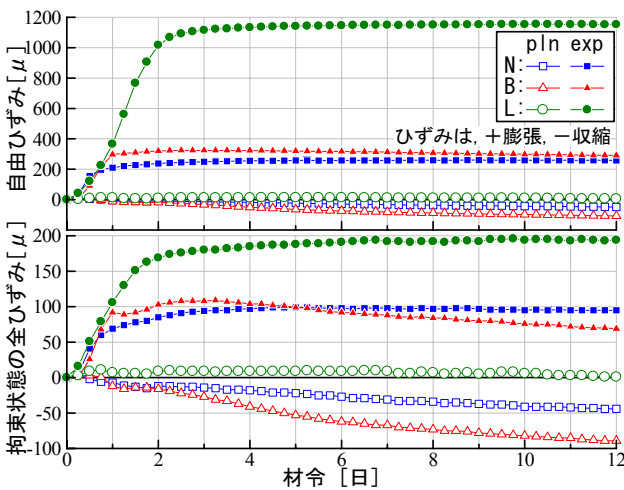


図-6 ひずみの経時変化 (小型供試体)

の環境において計測を行った。

### (3) 膨張ひずみの計測結果

ひずみの計測結果を図-6に示す。自由ひずみの終局値は表-3に示したとおりである。小型供試体を用いた計測では供試体寸法が小さく、雰囲気温度が一定であるため、温度ひずみは発生しないと考えられ、計測された自由ひずみは硬化ひずみと同じであると考えている。

硬化ひずみの終局値は表-3に示したとおりである。膨張材混入の有無による硬化ひずみの差は、普通セメントでは $309\mu$ 、高炉セメントでは $432\mu$ 、低熱セメントでは $1169\mu$ であった。これらの値について、セメントの種類による膨張量の傾向は梁モデル供試体での計測結果と同様であるが、膨張量は梁モデル供試体での値よりも大きく、普通セメントでは2.0倍、高炉セメントでは1.8倍、低熱セメントでは1.5倍であった。

膨張材を混入したケースにおいて、膨張ひずみの発現速度の目安として終局値の95%に達する材令を比較する。普通セメントと低熱セメントでは、小型供試体での計測結果のほうが梁モデル供試体よりも遅かった。これは、一般に温度が高いほど膨張の発現が速いと言われているように、梁モデル供試体は小型供試体よりもコンクリート温度が高かったためであろう。ただし、高炉セメントでは傾向が異なり、小型供試体のほうが梁モデル供試

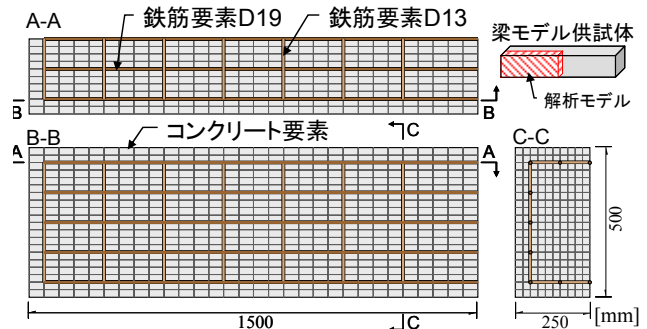


図-7 解析モデル

表-4 解析における設定値

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 <sup>2</sup> C]					
	密度	2400 [kg/m <sup>3</sup> ]					
	比熱	1.3 [kJ/kg <sup>2</sup> C]					
表面の熱伝達係数	2.0 [W/m <sup>2</sup> C]						
断熱温度	$Q_{\infty}$ [°C]	42.5	45.0	37.0	39.5	25.5	29.0
	上昇式	$\gamma$	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
線膨張係数 [μ/°C]	(70%にした値)	10.5	9.1 (6.4)	10.7	13.1 (9.2)	8.4	6.0 (4.2)
	圧縮強度推定式	$f_c^*(91)$ [N/mm <sup>2</sup> ]	37.1	40.3	30.7	31.7	39.5
$a$		2.97	3.39	4.44	3.72	10.06	10.86
有効ヤング係数推定式	$\phi(0\sim3日)$	0.73					
	$\phi(5日\sim)$	1.00					

体よりも早かった。この理由について、梁モデル供試体の計測結果では材令1日程度で一旦収束した膨張ひずみが、材令2日程度から再びわずかに増加する傾向が認められる。これは、硬化ひずみの変化に何らかの外的な要因が加わった、つまり実験誤差と考えられ、これによって終局値の95%に達する材令が遅くなったと推測する。

## 3.有限要素法による解析的検討

### 3.1 温度応力解析の方法と解析結果の検討方法

温度応力解析は、三次元有限要素法による解析ソフト(ASTEIA-MACS)を用いた。温度応力解析のモデルを図-7に示す。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。なお、梁モデル供試体による全ひずみ計測では、既設コンクリートなどの拘束体はないため外部拘束は作用せず、また供試体を保温したため内部拘束も作用せず、鉄筋による拘束のみがコンクリートに応力を発生させる。

解析で設定した諸元を表-4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<sup>9)</sup>に示される断熱温度上昇式を用い、その定数 $Q_{\infty}$ および $\gamma$ は計測結果に一致するよう同定した。コンクリート表面の熱伝達係数も計測結果に一致するよう同定した。温度の解析値は図-2に示したように、計測値とほぼ一致した。線膨張係数は表-3に示した計測結果から近似した値とした。圧縮強度は、同示方書<sup>9)</sup>に示される式を用い、その定数 $a$ および $b$ は $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体による材令3,7,28,91日での圧縮強度試験



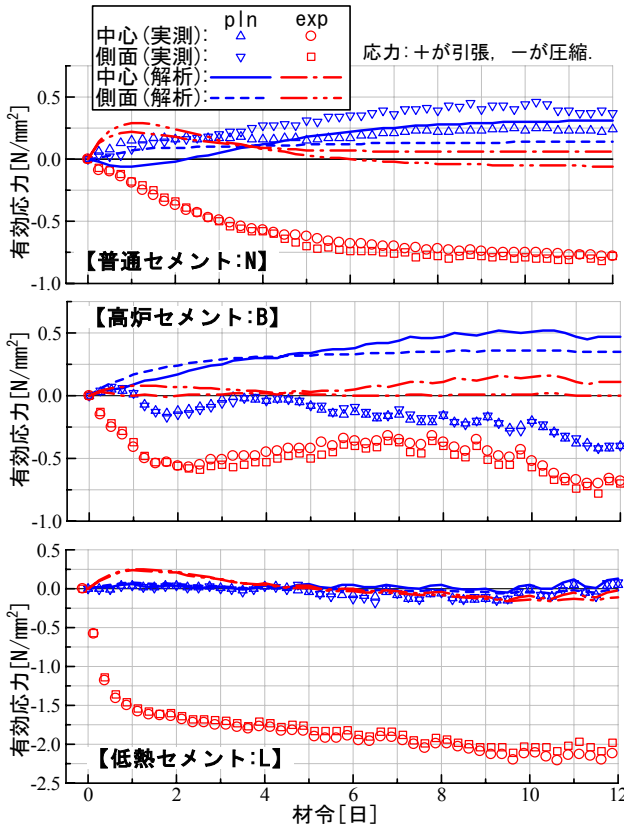


図-8 有効応力の経時変化（線膨張係数を低減）

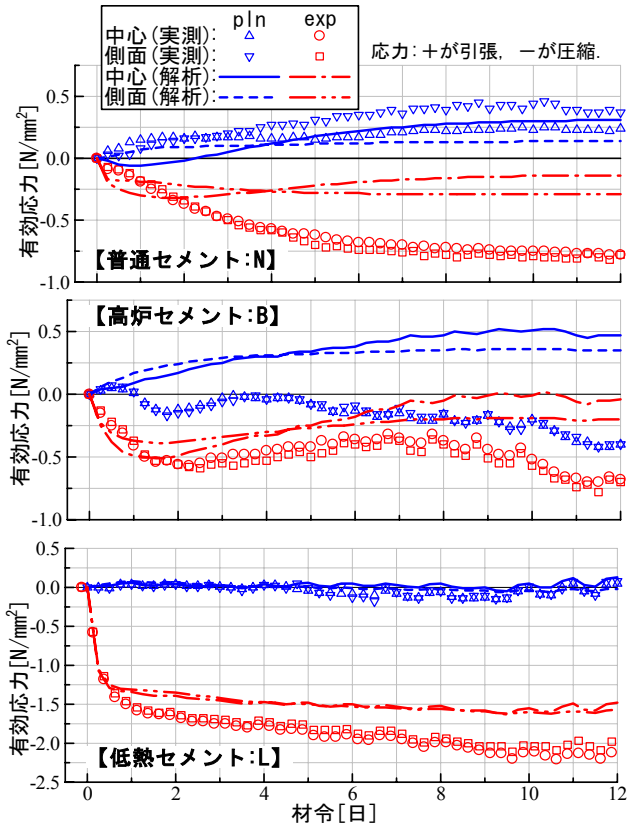


図-9 有効応力の経時変化（膨張ひずみを考慮）

表-5 有効応力の計測値と解析値の比較

Case	有効応力の計測値 [N/mm <sup>2</sup> ]		有効応力の解析値 [N/mm <sup>2</sup> ]			
	中心	側面	線膨張係数低減		膨張ひずみ入力*	
			中心	側面	中心	側面
Npln	0.27	0.46	—	—	0.31	0.14
Nexp	-0.79	-0.82	0.22	0.29	-0.32	-0.29
Bpln	-0.42	-0.45	—	—	0.52	0.36
Bexp	-0.71	-0.78	0.16	0.08	-0.51	-0.39
Lpln	-0.17	-0.18	—	—	0.13	0.08
Lexp	-2.21	-2.11	0.24	0.25	-1.63	-1.62

\*1：膨張材を混入しない供試体では収縮ひずみを考慮した。

結果から近似した。有効ヤング係数の定数は同示方書<sup>6)</sup>に示される一般的な値を用いた。

膨張効果の設定方法について本論文では、線膨張係数を計測された値の70%に低減する方法と、膨張ひずみを直接入力する方法で検討した。また、膨張材を混入しないケースの解析では収縮ひずみを設定した。線膨張係数、膨張ひずみおよび収縮ひずみは図-3および図-4に示した近似式を用いた。なお、解析方法の違いによって、膨張材の効果が解析結果にどのような違いをもたらすのかを検討するため、線膨張係数を低減する方法では、解析対象とする供試体での計測結果から推定した線膨張係数を70%にすることとした。

本論文では、解析値と計測値の比較検討は有効応力について行う。計測による有効応力は以下のように算定した。各計測点（＝供試体の中心および側面）で計測した温度の変化量に図-3に示した線膨張係数を乗じた温度ひずみと、図-4に示した硬化ひずみの和を、各計測

点での自由ひずみとし、これから計測された実ひずみを差引いた値を有効ひずみとした。有効応力は、有効ひずみの増分にその材令での有効ヤング係数を乗じた値の累積として算出した。ここで、有効ヤング係数は、解析方法について設定した方法と同じとした。

### 3.2 温度応力解析の結果

#### (1) 線膨張係数を低減して膨張効果を設定した場合

有効応力の計測値と解析値の比較として、材令12日までの絶対値の最大値（以下では単に‘最大値’と略す）を表-5に示し、有効応力の計測結果および解析結果を図-8に示す。

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。

膨張材を混入したケースについて、普通セメントでは、計測値は圧縮側に増加する傾向が認められ、 $-0.82\text{N/mm}^2$ に達したが、解析値は材令4日程度までは引張側で推移し、最大値は $0.29\text{N/mm}^2$ であった。高炉セメントでも、計測値と解析値とは傾向が異なり、計測値は圧縮側に増加して最大値は $-0.78\text{N/mm}^2$ となったが、解析値は圧縮応力がほとんど発現せず、最大値は $0.16\text{N/mm}^2$ であった。低熱セメントでも同様に、計測値は圧縮側に増加して最大値は $-2.21\text{N/mm}^2$ に達し、膨張材の効果によって圧縮応力の発現が顕著であった。しかし、解析値は圧縮応力が

ほとんど発現せず、最大値は $0.24\text{N}/\text{mm}^2$ であった。

### (2) 膨張ひずみで膨張効果を設定した場合

有効応力の計測結果と、膨張ひずみを直接入力した場合の解析結果を図-9に示す。計測結果および膨張材を混入しないケースの解析結果は図-8と同じである。

膨張材を混入したケースについて、普通セメントでは、解析値は計測値と定性的に同じ傾向を示し、圧縮側に増加する傾向が認められた。ただし、解析結果での最大値は計測結果の35~41%であった。高炉セメントおよび低熱セメントにおいても、解析値の定性的な傾向は計測値と一致した。ただし、解析結果の最大値は、高炉セメントでは50~72%、低熱セメントでは74~77%と小さかった。

### 3.3 膨張効果を評価するための解析手法の考察

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。この梁モデル供試体のような基礎的な拘束条件の供試体においても、適切な解析方法を用いれば、計測結果と解析結果の傾向は一致するはずである。

膨張材によるひび割れ抑制効果は、若材合時に発現する膨張ひずみが何らかの拘束によって圧縮応力となって蓄積され、温度低下時の収縮を補償することが原理である。膨張材の効果を予測するための温度応力解析は、構造物と同じ環境下での試験から得られた膨張ひずみを解析条件として与え、部材の拘束条件を適切に設定する方法が良いと考える。

本論文では2種類の方法によって膨張材の効果の比較検討を行った。膨張ひずみで膨張効果を設定した解析結果は、計測結果と定性的には一致したが有効応力は小さく計算された。一方、一般のマスコンクリートの温度ひび割れ設計で最近よく使用される線膨張係数を低減した解析結果は、計測結果とは正負逆の傾向を示す場合もあり定性的にも定量的にも一致しなかった。これは、本研究での梁供試体のように拘束がほとんど無い状態では、鉄筋とコンクリートの線膨張係数の差が応力になるため、解析においてコンクリートの線膨張係数を低減することは鉄筋の線膨張係数との差を大きくすることになり、計測値と異なった傾向が現れたものと考えられる。

### 4. まとめ

マスコンクリートの内部を模擬した梁モデル供試体(500×500×3000mm)と、小型供試体(100×100×400mm)を用いて温度およびひずみの計測を行い、計測結果に基づいて膨張材のひび割れ抑制効果を解析で予測する方法について基礎的な検討を行った。結論を以下にまとめる。

(1) 線膨張係数について膨張材を混入しないケースでは、

普通セメントは $10.5\mu/\text{C}$ 、高炉セメントは $10.7\mu/\text{C}$ であり、一般的な値 $10\mu/\text{C}$ とほぼ一致したが、低熱セメントは $8.4\mu/\text{C}$ と若干小さかった。膨張材を混入したケースでは、普通セメントは $9.1\mu/\text{C}$ 、高炉セメントは $13.1\mu/\text{C}$ 、低熱セメントは $6.0\mu/\text{C}$ であり膨張材を混入したセメントの熱膨張率の設定には注意が必要である。

(2) 鉄筋比が同一の梁モデル供試体および小型供試体での膨張ひずみの終局値の計測結果は、普通セメントは $157\mu$ および $309\mu$ 、高炉セメントは $239\mu$ および $432\mu$ 、低熱セメントは $744\mu$ および $1169\mu$ であった。膨張材の効果はセメントの種類と梁の寸法によってかなり異なった。

(3) 膨張材の効果を考慮するためにコンクリートの線膨張係数を低減した解析結果は、計測による有効応力と定性的にも定量的にも一致しなかった。

(4) 膨張材の効果を考慮するために膨張ひずみを直接入力した解析結果は、計測値と同様に圧縮側の有効応力が生じる傾向が認められ、定性的には計測結果と一致した。定量的には差があり、解析による有効応力は計測値に対して最大で、普通セメントでは41%、高炉セメントでは72%、低熱セメントでは77%であった。

今後、内部および外部の拘束条件を考慮した大型模型実験を行い、実構造物での膨張ひずみの性状や解析方法の適用性についてさらに検討する予定である。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)、以上6者の共同研究として実施したものである。

### 参考文献

- 1) 足立真康, 堅田茂昌, 保利彰宏, 吉澤昇: 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) 河西龍彦, 保利彰宏, 坂根秀和, 上原正: 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) 東邦和, 中村敏晴, 増井仁, 梅原秀哲: 膨張材を用いたマスコンクリートの収縮低減効果の解析手法の適用性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1147-1152, 2005.6
- 4) 溝渕利明, 横関康祐, 信田佳延: 一軸拘束試験装置を用いた膨張材の温度応力抑制効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1051-1056, 1998.6
- 5) 三谷裕二, 谷村充, 佐久間隆司, 佐竹紳也: マス養生温度下における膨張コンクリートの膨張応力評価方法について, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.225-230, 2004.7
- 6) 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