

## 養生条件が膨張コンクリートのひずみに与える影響

Influence of curing conditions on strain in concrete with expansive additive

保利 彰宏\*, 佐久間 隆司\*, 橘 吉宏\*\*, 高瀬 和男\*\*

Akihiro HORI, Takashi SAKUMA, Yoshihiro TACHIBANA, Kazuo TAKASE

\* 膨張材協会 (〒100-8455 千代田区有楽町 1-4-1)

\*\* (社) 日本橋梁建設協会 床版研究委員会 (〒104-0061 東京都中央区銀座 2-2-18)

Abstract : The shrinkage-compensating effect of expansive additive applying to the Cast-In-Place is influenced by curing conditions. In this paper, the influences to the strain in concrete with expansive additive by the age of initiation of drying and ambient temperature were mainly examined. As a result, the following conclusions were obtained: (1)The influence by the age of initiation of drying was little, (2)The value of expansive strain was not influenced by curing temperature.

Keywords : expansive additive, ambient temperature, strain

キーワード: 膨張材, 環境温度, 長さ変化率

### 1. はじめに

現在, 建設が進められている鋼2主桁橋は, 桁本数や桁構造の合理化を図った橋梁である。その床版は, 支間長が従来の多主桁橋に比べ非常に長く, そのため橋軸直角方向にプレストレスを導入した場所打ちPC床版を用いている。この場所打ちPC床版は従来のRC床版に比べ床版が厚く, 高強度のコンクリートを用いるため, セメントの水和熱による温度応力が大きく, それに起因して発生する有害なひび割れを防止する対策の一つとして膨張コンクリートを用いている。膨張コンクリートにおける最大の特徴は, 材齢数日程度の初期材齢にコンクリートが膨張ひずみを発現する点にあるが, この膨張ひずみは周囲の湿潤状態や温度によって影響を受けるため, 本論文では養生を行う環境, 具体的には乾燥開始材齢及び養生温度と膨張ひずみとの関係に着目した試

験を実施した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料および配合

##### (1)使用材料

本実験における使用材料としては, セメントに普通ポルトランドセメント (S社製, 密度  $3.14\text{g/cm}^3$ ), 細骨材には茨城県波崎産陸砂 (表乾密度  $2.60\text{g/cm}^3$ ) および栃木県葛生産砕砂 (表乾密度  $2.70\text{g/cm}^3$ ), 粗骨材には茨城県笠間産砕石 (表乾密度  $2.63\text{g/cm}^3$ ), 混和剤にはポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤 (N社製), 膨張材にはCSA系膨張材 (D社製) および石灰系膨張材 (T社製) をそれぞれ用いた。

##### (2)配合

表-1 に本実験にて使用したコンクリート配合を示

表-1 コンクリート配合

配合 No	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/(C+E) (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					混和剤 (kg/m <sup>3</sup> )
					水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	
1	12± 2.5	4.5± 1.5	44.0	44.3	156	355	0	800	1012	2.84
2						335	20*1			
3						325	30*1			
4						315	40*1			
5						325	30*2			

\*1; CSA系膨張材を使用 \*2; 石灰系膨張材を使用

した。

## 2.2 試験方法

### (1) 乾燥開始材齢と長さ変化率との関係

養生条件、養生期間および配合（膨張材の使用量）を要因として、表-2 に示す試験水準を設定した。表-2 において「○」にて示した試験水準において水中養生および封緘養生を設定し、試験を行った。なお、「水中養生」とは、20℃一定の水中における養生を示し、「封緘養生」とは、ポリエステルフィルムにて供試体を覆った養生を指す。また、表-2 における配合 No は、表-1 に示される配合 No と対応している。

コンクリート供試体は JIS A 1138:1998 に準じて練り混ぜた後、JIS A 6202:1997 に準じて成型を行った。材齢 1 日以前は 20℃・80%R.H.の恒温恒湿室にて養生、材齢 1 日にて脱型した後は、表-2 に示される所定の材齢まで養生を施し、その後はいずれの供試体も 20℃・60%R.H.の恒温恒湿室にて養生した。養生期間中、材齢 1, 3, 5, 7, 14, 28 および 91 日にて JIS A 6202:1997 に準じて長さ変化率を測定した。

### (2) 乾燥開始材齢と圧縮強度との関係

養生期間および配合（膨張材の使用量）を要因として、表-3 に示す試験水準を設定した。養生条件については封緘養生のみを設定している。コンクリート供試体は JIS A 1138:1998 に準じて練り混ぜた後、JIS A 1132:1999 に準じて成型した。

材齢 1 日にて脱型し、その後表-3 に示される所定の材齢まで封緘養生（20℃・60%R.H.の恒温恒湿室における養生）を行い、材齢 7, 28 および 91 日にて JIS A 1108:1999 に準ずる圧縮強度試験を実施した。

### (3) 養生温度と膨張ひずみとの関係

試験体を養生する環境温度を要因として、表-4 に示す条件を設定した。表-1 に示される配合 No1 及び配合 No5 を用いて試験体を屋外にて作製、環境温度を要因として試験を行った。本試験においては、測定項目は温度とひずみであり、試験体の内部にあらかじめ設置した測温機能付の埋込み型ひずみ計（図-2 参照）にて試験体内部の温度及びひずみを測定した。

実験に用いた試験体の寸法を図-1 に、作製方法の詳細を図-2 に示した。配筋方法は D19@100mm（縦方向）

および D16@125mm（横方向）とし、上面以外からの放熱を防ぐ目的で、ポリスチレンフォームを施している。材齢 3 日までは散水養生を施し、型枠の脱型材齢 8 日とした。また、コンクリートの寸法は 1,000×1,000×530mm である。

併せて表-1 に示される配合 No1 及び配合 No5 を用いて、JIS A 6202:1997 に準ずる長さ変化率試験を実施した。表-4 に示される養生温度の下、材齢 1 日にて脱型し、その後材齢 3 日までは湿潤養生を施した。以降は気中乾燥養生である。

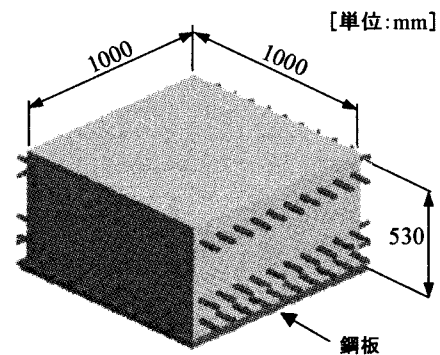


図-1 床版供試体の概要図

表-2 長さ変化率測定における試験水準

		配合 No			
		No1	No2	No3	No4
養生期間	1 日			○	
	3 日	○	○	○	○
	5 日			○	
	7 日			○	

表-3 圧縮強度測定における試験水準

		配合 No			
		No1	No2	No3	No4
養生期間	1 日	○		○	
	3 日	○		○	
	5 日	○		○	
	7 日	○		○	

表-4 養生温度に関する試験水準

		配合 No	
		No1	No5
養生温度	高温	○	○
	低温	○	○

\*1；2002年9月9日に作製，屋外にて養生

\*2；2003年2月18日に作製，屋外にて養生

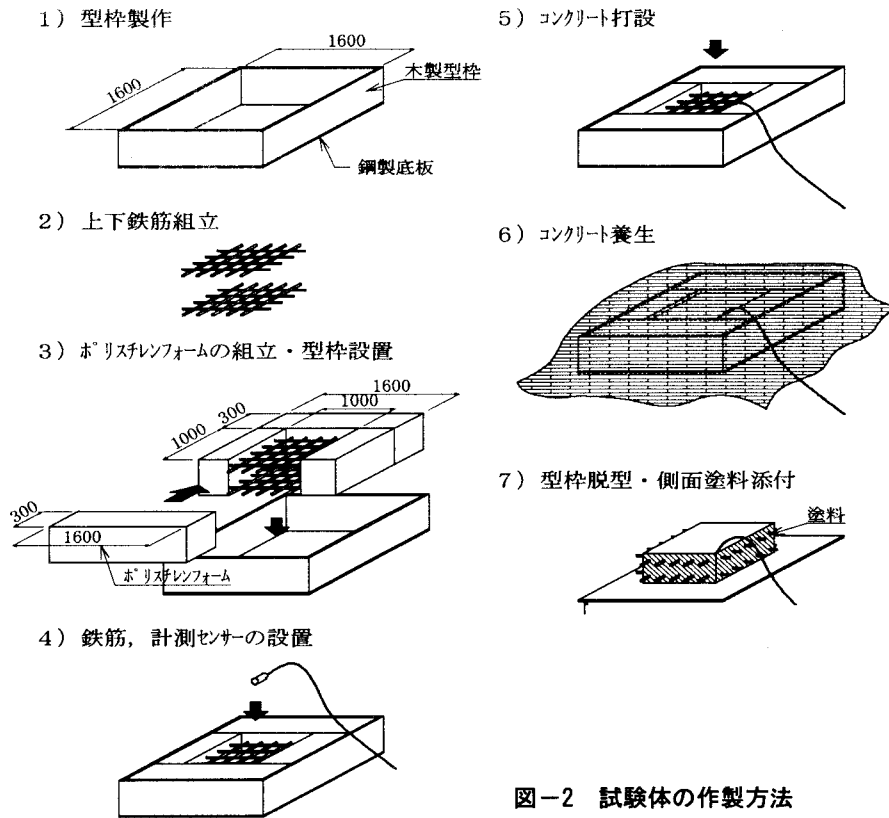


図-2 試験体の作製方法

### 3. 試験結果

#### 3.1 養生期間が長さ変化率に与える影響

##### 3.1.1 水中養生を施した場合

###### (1) 配合による影響

図-3 に、材齢 3 日まで 20℃一定の水中養生を施し、以降は 20℃・60%R.H.の気中乾燥養生を施した供試体における長さ変化率の測定結果を示す。膨張材を用いない配合 No1 においては、水中養生期間における長さ変化は生じず、気中乾燥養生開始と同時に乾燥収縮が進行している。一方で膨張材を用いた配合 No2, No3 および No4 については、膨張材の使用量にしたがって膨張ひずみが増大している。その大きさは、材齢 3 日における値を最大とし、以降は材齢と共に膨張ひずみは減少し、収縮ひずみは増大して

いる。なお、材齢 3 日における膨張ひずみは、配合 No2, No3 および No4 において、それぞれ  $98 \times 10^{-6}$ 、 $189 \times 10^{-6}$  および  $245 \times 10^{-6}$  との結果であった。

###### (2) 養生期間による影響

図-4 に、配合 No3 を用いた供試体において、水中養生期間と長さ変化率との関係について記した。水中養生期間の増加に従って、膨張ひずみの最大値が大きくなる結果が得られており、その値は、水中養生期間 1

日、3 日、5 日および 7 日においてそれぞれ  $105 \times 10^{-6}$ 、 $189 \times 10^{-6}$ 、 $192 \times 10^{-6}$  および  $198 \times 10^{-6}$  であった。

##### 3.1.2 封緘養生を施した場合

###### (1) 配合による影響

図-5 に、材齢 3 日まで 20℃における封緘養生を施し、以降は 20℃・60%R.H.の気中乾燥養生を施した供試体における長さ変化率の測定結果を示す。傾向は図-3 と同様であるが、全体的に膨張ひずみの最大値が低下している。また、膨張材を用いない配合 No1 については、封緘養生期間に収縮ひずみが発生している点も特徴である。なお、材齢 3 日における膨張ひずみは、No2, No3 および No4 がそれぞれ  $28 \times 10^{-6}$ 、 $108 \times 10^{-6}$  および  $143 \times 10^{-6}$  であった。

###### (2) 養生期間による影響

図-6 に、配合 No3 を用いた供試体において、封緘養生期間と長さ変化率との関係について記した。材齢 1 日において膨張ひずみはほぼ最大値に達しており、水中養生を施した場合に比較すると、養生期間の延長に伴う膨張ひずみの増大が小さい傾向が認められる。膨張ひずみは、封緘養生期間 1 日、3 日、5 日および 7 日においてそれぞれ  $103 \times 10^{-6}$ 、 $108 \times 10^{-6}$ 、 $110 \times 10^{-6}$  および  $119 \times 10^{-6}$  であった。

### 3.2 養生期間が圧縮強度に与える影響

図-7に配合No1および配合No3を用いた圧縮強度測定結果を示す。図より、封緘養生期間は圧縮強度の発現にほとんど影響しておらず、材齢7日にて圧縮強度はほぼ最大値に達している。また、配合による影響については、若干配合No3の強度が大きいようにも見えるが、同等との判断にて差し支えないと思われる。

### 3.3 養生温度が膨張ひずみに与える影響

#### (1) 温度の計測結果

図-8に養生温度「高温」における試験体の温度計測結果、図-9に養生温度「低温」における試験体の温度計測結果を示す。図-8及び図-9は、配合No5における計測結果であるが、配合No1における結果もほぼ同様であった。「高温」試験体における打込み時の温度は29.5℃、最高温度は64.3℃であり、温度上昇量は34.8℃となった。「低温」試験体における打込み時の温度は11.2℃、最高温度は23.3℃であり、温度上昇量は23.3℃となった。なお、最高温度に達する材齢は、前者において約11時間、後者において約24時間であった。

#### (2) ひずみの計測結果

図-10及び図-11は、配合No5の試験体における長さ変化率（膨張及び収縮ひずみ）であり、図-10が養生温度「高温」における結果を示し、図-11が養生温度「低温」における結果を示す。両図は計測結果を基に、文献<sup>2)</sup>に記される手法に従ってデータを補正したものである。すなわち、膨張材を混和しない配合No1の「実ひずみ」（試験体に設置された埋込み型ひずみ計によって計測された値）から「見かけの線膨張係数」を算出し、これに温度変化量を掛け合わせた値（図中の凡例；「温度ひずみ」）を配合No5の試験体における実ひずみから差し引いて長さ変化率（図中の凡例；「膨張・収縮ひずみ」）を算出している。これにより、計測結果から温度変化に起因するひずみを差し引いた値、すなわち膨張材によって得られた膨張ひずみを算出することが出来る。

「見かけの線膨張係数」は温度上昇時と下降時とでは異なり、膨張材を混和しない配合No1は試験体における計測結果より、温度上昇時 $\alpha_1=5.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、温度下降時 $\alpha_2=9.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を用いて図-8の温度履歴に基づく温度ひずみの補正を行っている。図-11について

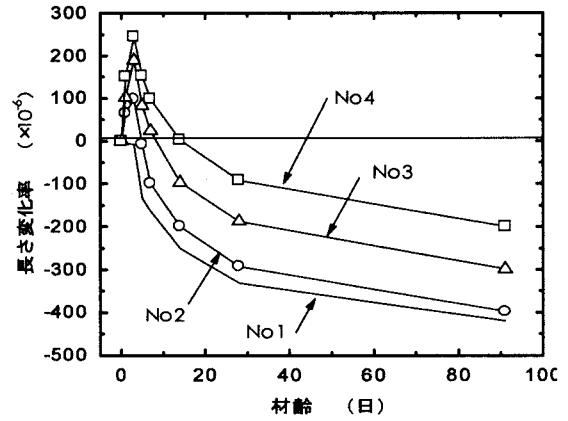


図-3 長さ変化率（3日まで水中養生）

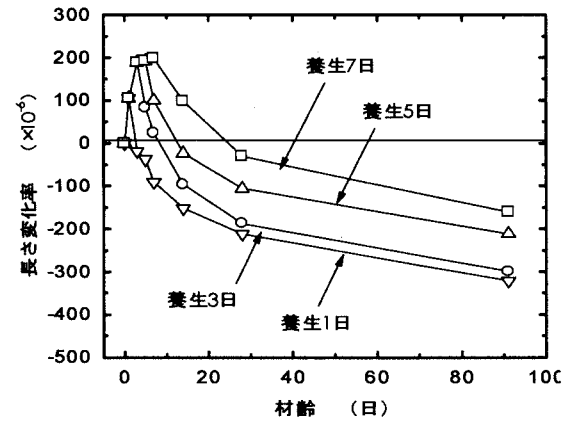


図-4 長さ変化率（水中養生期間の影響）

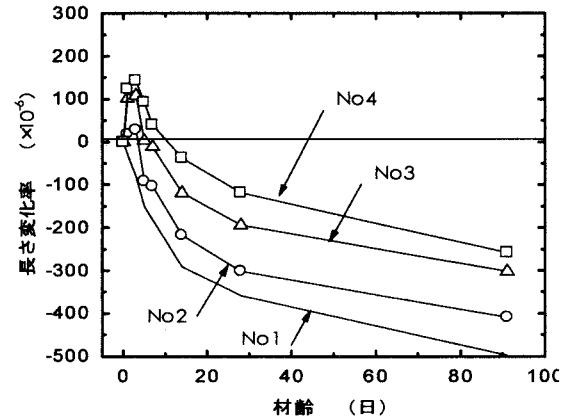


図-5 長さ変化率（3日まで封緘養生）

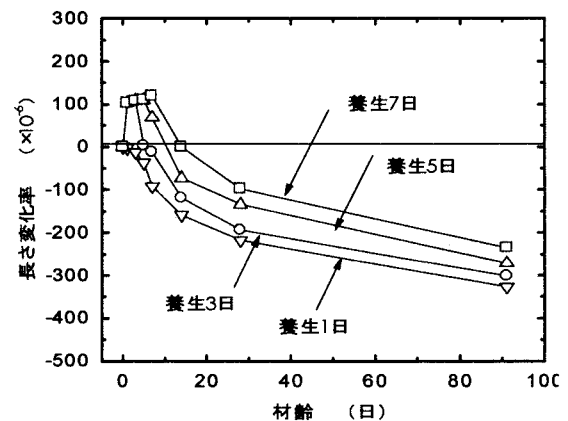


図-6 長さ変化率（封緘養生期間の影響）

も同様であるが、こちらでは図-9 に示される測定結果より、「見かけの線膨張係数」は、温度上昇時  $\alpha_1=7.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、温度下降時  $\alpha_2=9.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  を用いている。

結果より、膨張材によって得られた膨張ひずみの最大値は環境温度に関係なく  $100 \times 10^{-6}$  程度であるが、養生温度が低い「低温」試験体は、「高温」試験体に比較して膨張の発現がゆるやかであることが確認された。

### (3) JIS A 6202 に準ずる試験結果

3.3(1)にて作製した試験体と同一の試料及び配合を用い、JIS A 6202:1997 に準ずる長さ変化試験を実施した。結果を図-12 に示す。図中には養生温度「高温」における結果及び養生温度「低温」における結果が記されている。測定結果より、低温にて養生された試験体の膨張ひずみが材齢 7 日にて最大値に達しているのに対し、高温にて養生された試験体の膨張ひずみは材齢 3 日にて最大値に達している。一方で膨張ひずみの最大値についてはいずれも  $170 \times 10^{-6}$  程度と、同等であった。

## 4. 結果の考察

### 4.1 配合、養生方法および養生期間が膨張ひずみに与える影響

#### (1) 配合について

図-3 および図-5 より、配合（膨張材の添加量）によって膨張ひずみが増大する傾向は明らかであり、膨

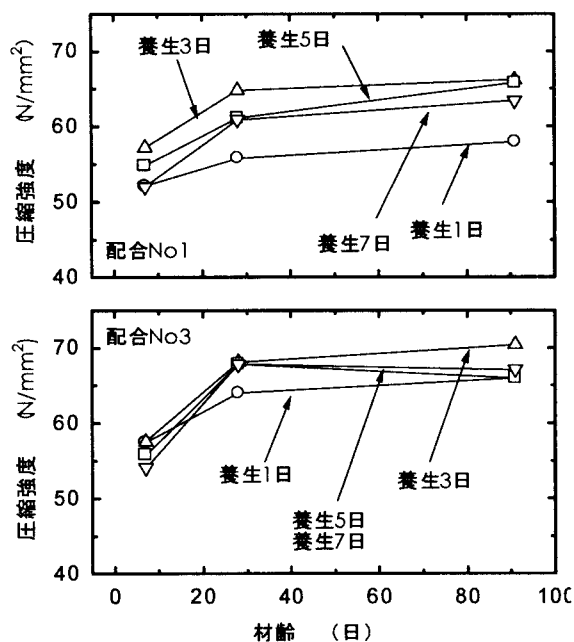


図-7 圧縮強度

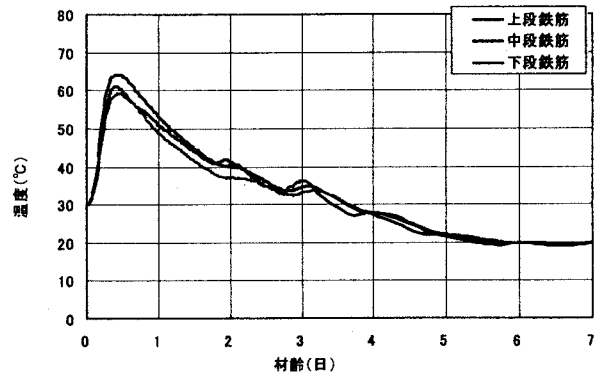


図-8 養生温度「高温」における試験体温度

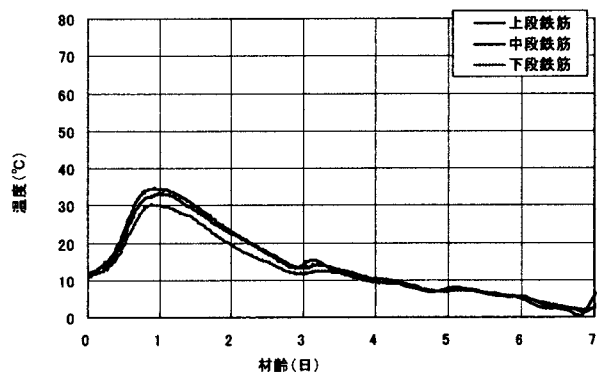


図-9 養生温度「低温」における試験体温度

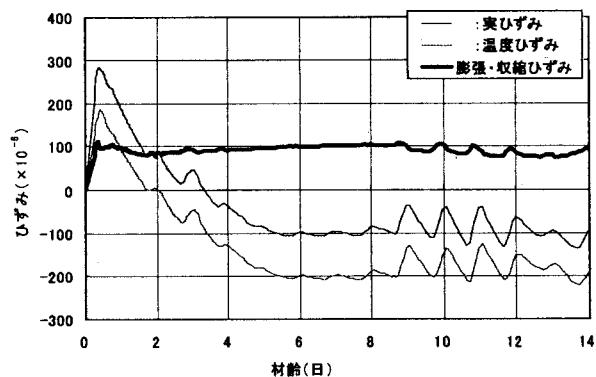


図-10 養生温度「高温」におけるひずみ

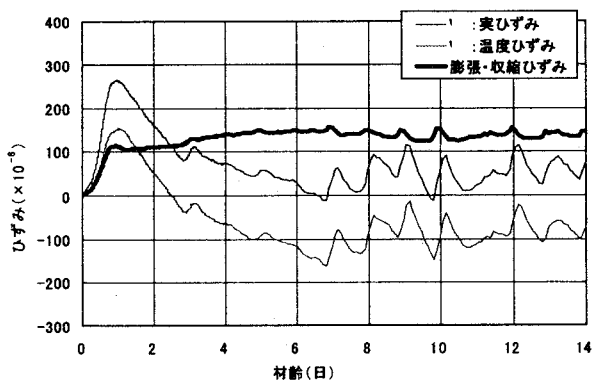


図-11 養生温度「低温」におけるひずみ

張材の添加量によって所定の膨張ひずみが満足できるものと考えられる。

### (2) 養生方法について

図-4 および図-6 を用い、同一の配合における養生方法による影響を比較すると、いずれの養生方法においても、養生期間と膨張ひずみとの間には相関性が確認できる。しかし、封緘養生を施した供試体は、養生期間を多く設定しても膨張ひずみに大きな変化が見られないのに対し、水中養生を施した供試体は、養生期間による影響が大きく、膨張ひずみの絶対値についても、封緘養生を施した供試体に比較して大きい。

### (3) 養生期間について

図-4 および図-6 を見ると、封緘養生においては材齢 1 日、水中養生においても材齢 3 日以降は膨張ひずみの増加がほとんど見られない。すなわち、少なくとも 3 日間の養生によって、膨張材を添加したコンクリートの膨張ひずみは最大値に達するものと考えられる。また、「膨張材による効果」すなわち「膨張材の有無による長さ変化率の差異」を評価した場合、図-3 および図-5 より、養生期間が 3 日であっても「膨張材による効果」は明らかであり、養生期間の短縮が膨張材によって得られる膨張ひずみを著しく低減するものではないと推察される。

ただし一方で長期的な長さ変化率（乾燥収縮）を見ると、養生期間が短くなる程、乾燥収縮が大きくなる傾向があった。

## 4. 2 養生温度が膨張ひずみに与える影響

図-12 における結果と異なり、図-10 や図-11 においては、膨張ひずみの最大値は遅くとも材齢 24 時間までには得られている。これは、双方の試験に用いた試験体の寸法が大きく異なるためであり、試験体自身の寸法が大きければ、たとえ低温環境下において養生された試験体においても、短時間で所定の膨張ひずみが得られることを示唆している。試験体自身の発熱による現象と考えられるが、膨張材による膨張ひずみの目標値を設定する場合、養生期間や養生方法に加えて、コンクリートの躯体寸法も非常に重要であるといえる。なお、いずれの試験結果においても膨張ひずみの最大値は同等であることから、最終的に得られる膨張ひずみについては環境温度の影響は小さいと考えられる。

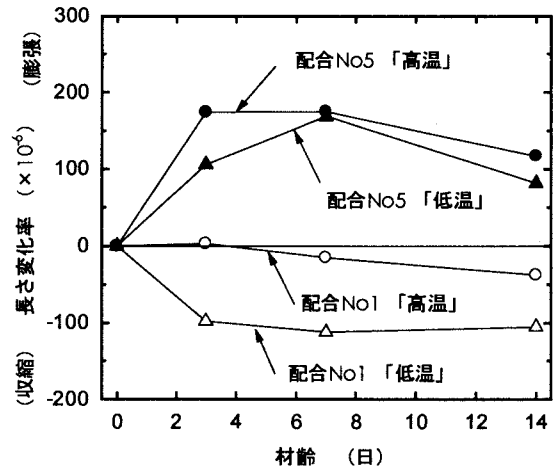


図-12 JIS A 6202 に準じた長さ変化率

### 参考文献

- 1) 河西龍彦他：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
- 2) 高瀬和男，寺田典生，福永靖雄，石井敏之：場所打ちPC床版の材齢初期における膨張材効果の評価方法に関する一考察，コンクリート工学年次論集，Vol.24，No.1，pp.549-554，2002