# 論文 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 関する一提案

高瀬 和男\*1・寺田 典生\*2・福永 靖雄\*3・石川 敏之\*4

要旨:場所打ち PC 床版に添加されている膨張材は,材齢初期のコンクリートの水和反応による体積膨張収縮に大きな影響を与えるが,その材齢初期のコンクリートひずみを評価することは困難である。そこで,コンクリートの材齢初期における膨張材の評価方法について提案し,その方法により実橋の PC 床版を模した1m供試体を用いて膨張量を定量的に評価した。さらに,実物大供試体を用いてコンクリートのひずみを計測し,1m 供試体で評価した膨張量を考慮した温度応力解析結果と計測ひずみとから本論文で提案した評価法の妥当性を確認した。

キーワード:場所打ち PC 床版,若材齢,膨張材,膨張量,線膨張係数

1. はじめに

現在,建設を進めている第二東名高速道路の 鋼2主桁橋は,3車線の広幅員を有する橋梁で あり,床版支間は11.5mと従来の鋼2主桁橋よ りも広い場所打ちPC床版を採用している。床版 厚は,主桁上で560mm,床版支間中央で370mm と従来のPC床版と比べ,非常に厚く,高強度 のコンクリートを用いている。そのため,水和 熱による床版コンクリートの温度上昇および 下降にともなう体積収縮および温度応力が大 きくなると考えられる。

場所打ち PC 床版では,床版の打継ぎ目付近 において,打設された床版の水和熱による体積 収縮が起こる際に,先に打設された床版が拘束 することにより打設された床版に引張応力(温 度応力)が発生する。さらに,床版と鋼桁とは スタッドジベルによって結合されているため, 鋼桁の拘束によっても温度応力が発生する。

この温度応力を抑制するためには,養生方法 などの床版施工に係わる方法の他にコンクリ ートに膨張材の添加する方法が有効である。し かし,若材齢の床版コンクリートにおける膨張 材の効果については,その定量的評価方法が確 立されてはいなかった。

材齢初期における膨張材の効果を評価する 方法について研究されている論文<sup>1)</sup>が数少ない ため,本論文では,若材齢時のコンクリートひ ずみの評価方法について簡便な方法を提案し, 実橋の PC 床版を模した1m×1m×床版厚の 供試体(以下1m供試体)を用いて膨張材によ る膨張量を定量的に評価した。さらに,実物大 供試体試験において,提案した評価方法を用い て算出した計測ひずみと,温度応力解析により 算出したひずみとを比較し,提案した評価方法 の妥当性を示す。

2. 1 m 供試体による床版再現試験

2.1 1m供試体の概要

本実験で用いた1m供試体の寸法は, TYPE-Aは1m×1m×0.37m,TYPE-Bは1m×1m ×0.56mである。TYPE-Aは,実橋の床版支間中 央を再現した供試体であり,TYPE-Bは,主桁

- \*1 駒井鉄工(株) 工事計画部次長(正会員)
- \*2 日本道路公団 静岡建設局 建設部 構造技術課課長 工修
- \*3 日本道路公団 静岡建設局 富士工事事務所 構造工事区工事長 工修
- \*4 駒井鉄工(株) 技術研究室 工修

# 表 - 1 コンクリートの配合表

TYPE	圧縮 強度	ヤメント	<b>スランフ</b> °	空気量	W/C+	S/a	単位量(kg/m³)					
1112	$(N/mm^2)$	2771	(cm)	(%)	(%)	(%)	水	セメント	<b>脑</b> 泥材 <sup>*2)</sup>	細骨材	粗骨材	混和剤
A1 , A2 , B	40	N <sup>*1)</sup>	10 ± 2.5	4.5 ± 1.5	42.0	46.6	156	341	30	834	962	2.789
A3	40	N <sup>*1)</sup>	10 ± 2.5	4.5 ±1.5	42.0	46.6	156	371	-	834	962	2.789

\*1:普通ポルトランドセメント(比重 3.15) \*2:水和熱抑制型膨張材(石灰系,比重 2.85)

備

膨張材無しの

H=560mm

膨張コンクリート

普通コンクリート

膨張コンクリート

考

表 - 2 1 m供試体一覧

鉄筋(ピッチ㎜)

上下段:橋軸 D19(100)

上下段:橋直 D13(125)

上下段:橋軸 D19(100)

上下段:橋直 D16(125)

中段:橋軸 D19(100) 中段:橋直 D13(125)

中段鉄筋位置:下段鉄筋位置から100mm 上鉄筋側

上下鉄筋位置:コンクリート面から48mm

1m供試体

TYPE-A1

TYPE-A2

**TYPE-A3** 

TYPE-B

表-3 再現供試体の打設状況

再現供試体	打設日	打込み 温度(℃)	打込み時の 外気温(℃)	
TYPE-A1	H13.04.06	23.0	18.5	
TYPE-A2,B	H13.06.29	33.7	29.5	
TYPE-A3	H13.06.29	33.5	29.0	



図 - 1 1m供試体の構造概要



### 図 - 2 計測センサー配置図

橋直方向)鉄筋位置に設置し,それぞれの位置 でのコンクリートのひずみを計測した。1 m供 試体に用いたコンクリートの配合を表 - 1 に 示す。1 m供試体の試験体一覧を表 - 2 に示す。 コンクリートの打設日,コンクリート打込み温 度およびその時の外気温を表 - 3 に示す。

### 3. 1 m供試体試験結果

#### 3.1 コンクリートの温度

床版厚中心位置のコンクリートの温度履歴 を図 - 3 に示す。TYPE-A1 は,打込み温度が, 他の TYPE と異なるため,コンクリートの最高 温度に差が生じたが温度上昇量は同程度であ

直上を再現した供試体である。TYPE-A の底型 枠には,実橋で用いる木製型枠を使用し, TYPE-B の底型枠には鋼桁フランジを再現する ために厚さ40mmの鋼板を用いた。側面は,温度 境界を設けるために,300mm厚の断熱材(ポリ スチレンフォーム)を用いた。1m供試体の設 置位置は底型枠の熱の伝達を考慮して,地面か ら高さ300mmの位置に設置した。1m供試体の 構造概要を図-1に示す。

養生期間は実橋と同じ7日間とし,それ以後 はシートおよび養生マットを取り外した状態 とした。底型枠は実橋の環境を再現するために, 養生終了後 TYPE-A は撤去し, TYPE-B は鋼フ ランジを再現しているため撤去しなかった。さ らに,養生終了後の側面からの乾燥を防ぐため に,断熱材を取り外し側面に防水塗料を塗布し, 再度断熱材を設置した。

2.2 試験方法

1 m供試体の温度およびコンクリートのひ ずみを計測するために,図-2に示す計測セン サーを用いて計測を行った。熱電対は1 m供試 体中央の厚さ方向に5 段埋込み,床版の温度分 布の計測を行った。鉄筋計および埋込み型ひず み計は上下段の橋軸方向,橋軸直角方向(以下 った。床版厚の厚い TYPE-B は, TYPE-A2, A3 に比べ,最高温度が約5 高くなった。同時に 施工を行った実物大供試体のコンクリートの 温度分布と1m供試体(TYPE-B)のコンクリ ートの温度分布を図-4に示す。この図より, 1m供試体により実橋のコンクリートの温度 分布が再現されていることがわかる。

3.2 計測ひずみ

ー般に,埋込み型ひずみ計に発生している実 ひずみは式(1)を用いて算出する。

i = C× m<sup>+</sup> × (T<sub>i</sub>-T<sub>0</sub>) (1)
 ここに, i: コンクリートの実ひずみ(µ), C:
 校正係数, m: ひずみ計の指示値(µ), :埋
 込み型ひずみ計線膨張係数 =11.7(µ/), T<sub>i</sub>:
 コンクリート温度(), T<sub>0</sub>: コンクリート打
 込み温度

i は計測されたひずみを示し、その中には、 温度による線膨張(自由)ひずみ、膨張材による 膨張ひずみ、乾燥収縮による収縮ひずみ、弾性 ひずみ、クリープひずみが含まれると考え、本 論文では実ひずみと定義する。つまり、コンク リート凝結前にコンクリートの温度変化によ る体積変化については、計測器では正確に計測 されてはいないため、コンクリート中の全ての ひずみが示されているとは考えられない。

材齢初期のコンクリートにおける膨張材の 膨張効果に係わるひずみの評価ついては,鉄筋 とコンクリートとの付着がどの時点から確実 になり拘束ひずみが発生しているかが問題と なる。したがって,ここでは,式(1)を用い,材 齢初期の実ひずみをより明確な値とすること を試みた。

鉄筋とコンクリートとの付着の発現につい ては,コンクリート打込み後,数時間経過した 時点を初期値とするのが望ましい<sup>2)</sup>。そこで,今 回は別途 JIS A 6204 にて実施した凝結終結時間 (t=9.56hr)をコンクリートのひずみの初期値と した。これは図-5に示すように,膨張コンク リートの式(1)による実ひずみとコンクリート



図-3 コンクリートの温度履歴









温度との関係に線形性が表れるのが,凝結終結 時間付近となっていることより,凝結終結時間 以前については,コンクリートの線膨張(自由) ひずみと,膨張ひずみが鉄筋とは別に体積変化 を生じていると考えられる。そのため,凝結終 結までの式(1)による計測値については,コンク リート内の膨張効果を評価するには不確かな 値と考えた。

しかし,凝結終結時を初期値とすると実ひず みには,コンクリート打込み時から凝結終結時 間までの水和熱によるコンクリートの温度膨 張が考慮されていない。そこで,式(1)より求め たコンクリートの実ひずみとコンクリートの 温度との関係より,膨張材の膨張ひずみが含ま れた温度上昇時の見かけの線膨張係数 ex(µ / )を算出し,この exにコンクリート打込み 時から凝結終結までのコンクリートの温度差 T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>()を乗じた値をコンクリート打設から 凝結終結時間までに発生したコンクリートの ひずみとして式(1)に加え実ひずみ il とした。 ここで用いる温度上昇時の見かけの線膨張係 数 ex は,図-5の膨張コンクリートの実ひず みと温度との関係に示すように,温度と実ひず みの関係が線形性を示す範囲において,最小二 乗法を用いて算出した。提案する実ひずみ il を式(2)に示す。

 $_{i1} = C \times _{m1} + \times (T_i - T_1) + _{ex} \times (T_1 - T_0)$  (2)

ここに、<sub>m1</sub>:凝結終結時を初期値としたひずみ計の指示値(µ),T<sub>1</sub>:凝結終結時のコンクリート温度()

また,ここでは鉄筋計においても埋込み型ひ ずみ計と同様な計測処理が可能でないかと考 え,式(2)の計測器の線膨張係数 を鉄筋計の線 膨張係数 =11.0(µ/)として計算を行った。

鉄筋計および埋込み型ひずみ計により計測 したコンクリートの実ひずみの履歴を図 - 6 (a)~(d)に示す。この図に示すように鉄筋計と埋 込み型ひずみ計との値は,ほぼ同じ履歴を示し た。

3.3 膨張量

1 m供試体から得られたコンクリートの実 ひずみを用いて膨張量(膨張ひずみ)を算出す る。膨張ひずみは,実ひずみから水和熱による コンクリートの自由ひずみを差し引いた値で ある。ただし,この膨張ひずみには自己収縮お よび乾燥収縮によるひずみも含まれている。

コンクリートの温度変化による自由ひずみ の算出は,膨張材無しの普通コンクリートを用 いた TYPE-A3 の埋込み型ひずみ計から図 - 5 と同様な方法で線膨張係数を求めた。上下鉄筋 位置の平均値を用いて算出した温度上昇時・下 降時の線膨張係数 1, 2 は,橋軸方向,橋直 方向それぞれ 1=5.8,4.2(µ/), 2=9.3,8.8(µ /)であり,水和反応による温度上昇時と下降



図 - 7 コンクリートの膨張量

時で線膨張係数が変化した。つまり,温度上昇 時のコンクリート中における埋込み型ひずみ 計は,温度により自由に伸びるのではなく,若 材齢時の自己収縮が発生しているコンクリー トに拘束されることにより,埋込み型ひずみ計 の自由膨張ひずみとコンクリートの収縮ひず みとの差分が計測器にひずみとして計測され, 温度降下時より小さくなったものと考えられ る。したがって,温度上昇時と下降時で線膨張



係数が変化すると仮定すれば、膨張ひずみ ex は温度上昇時には式(3),下降時には式(4)により 算出できる。

$$e_{x} = i_{1} - i_{x} (T_{i} - T_{0})$$
(3)  

$$e_{x} = i_{1} - i_{x} (T_{max} - T_{0})$$
(4)

式(3),(4)より算出したコンクリートの膨張ひ ずみの履歴を図 - 7(a)~(d)に示す。この配合の 場合では,材齢初期の段階から約 100 µ の膨張 ひずみが発生していることが評価できる。この 膨張ひずみは鉄筋による拘束を含んでいるた め,鉄筋をモデル化しない温度応力解析では, この膨張ひずみを解析の膨張量として与える。

4. 実物大供試体試験

4.1 実物大供試体

図 - 8 に実物大供試体寸法を示す。床版およ び鋼桁は実橋と同じ構造とし,使用するコンク リートの配合は表 - 1 に示す TYPE-A2, B と同 じである。実物大供試体は,床版の打継ぎ目に よる拘束を再現するために,中央部分に先行し

表 - 4	温度応力解析条件
-------	----------

東京ノ田学校         実物大供試体           ボデル部分         全橋半断面モデル           ル         鋼桁         板厚考慮,横桁考慮           コンリートの種別         普通コンリート(膨張材入り)           熱伝導率         2.7 W/m℃(2.6~2.8 W/m℃) <sup>×1</sup> 密度         2300 kg/m³           比熱         1.31 kJ/kg℃           断熱温度         Q <sub>∞</sub> 62.0 ℃           上昇特性         γ         1.752           アング率         JSCE 標準示方書簡易式           マング率         E=4700× $\sigma_c^{0.5}$ N/mm <sup>2</sup> JSCE 標準示方書実験式         a           クリ         f(91)           41.0 N/mm <sup>2</sup> JSEE 標準示方書実験式           ボアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /℃           温度         コンクリート           小東床版:32℃         温度           コンクリート         拘束床版:32℃           温度         コンクリート           小東木版:34℃         の計測温度           の計測温度         の計測温度           ポスワン比         0.167           線上東         10 μ/℃           温度         ゴ設クリート           小東大版:34℃         0.4 kJ/kg℃           第         2.0 ×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ボアソン比         0.3           線底車								
デ         モデル部分         全橋半断面モデル           ル         鋼桁         板厚考慮,横桁考慮           コンリートの種別         普通コンリート(膨張材入り)           熱伝導率         2.7 W/m℃(2.6~2.8 W/m℃) <sup>※1</sup> 密度         2300 kg/m³           比熱         1.31 kJ/kg℃           断熱温度         Q <sub>∞</sub> 62.0 ℃           上昇特性         γ         1.752           ヤング率         JSCE 標準示方書簡易式           マク         上昇特性         γ           ウ         上昇特性         γ           リ         「1.752           ヤング率         JSCE 標準示方書簡易式           モ=4700× $\sigma_c^{0.5}$ N/ma <sup>2</sup> JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /℃           温度         コンクリート           温度         コンクリート           温度         コンクリート           温度         コンクリート           漫像板大供試体試験         の計測温度           ボアソン比         0.167           線底         酸小大大家の大会会の           小大気温度         コンクリート           当 激大気         10 $\mu$ /℃           温度         第一次の大戦防張星を入力)           第         数公           第         10 (172	モ	解析モデル		実物大供試体				
ル         鋼桁         板厚考慮, 横桁考慮           コン/リートの種別         普通コン/リート(膨張材入り)           熱伝導率         2.7 W/m℃(2.6~2.8 W/m℃))*1           密度         2300 kg/m³           比熱         1.31 kJ/kg℃           断熱温度         Q∞         62.0 ℃           上昇特性         γ         1.752           マノリ         JSCE 標準示方書簡易式         ヤング率           アング率         JSCE 標準示方書策験式           イング率         10.0 × oc. <sup>0.5</sup> N/mm <sup>2</sup> JSCE 標準示方書実験式         ポアソン比           小目張強度         JSCE 標準示方書変験式           ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 µ/℃           温度         計測床版:32℃           塩度         計測床版:34℃           小気         外気温           の計測温度         小気           敷k吸線収縮         膨膨長がの効果に含む           (TYPE-A2,B の平均膨張長を入力)         第           製         0.4 kJ/kg℃           ヤング率         2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ポアンシレ         0.3           線膨張係数         12 µ/℃           熱         後生マット           後生マット         後生マット+シートの熱伝達率           本         13 W/m <sup>2</sup> ℃(12~14 W/m <sup>2</sup> ℃)*1           東京会         13 W/m <sup>2</sup> ℃(12~14 W/m <sup>2</sup> ℃)*1	デ		モデル部分	全橋半断面モデル				
カノリートの種別         普通コンクリート(膨張材入り)           熟伝導率         2.7 W/m $\mathbb{C}$ (2.6~2.8 W/m $\mathbb{C}$ ) <sup>×1</sup> 密度         2300 kg/m <sup>3</sup> 比熱         1.31 kJ/kg $\mathbb{C}$ 断熱温度         Q <sub>∞</sub> 上昇特性 $\gamma$ ア         1.752           オング率         JSCE 標準示方書簡易式           モ=4700× $\sigma_c^{0.5}$ N/ma <sup>2</sup> JSCE 標準示方書実験式           a         2.0           ウ         1           引張強度         JSCE 標準示方書実験式           オアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ / $\mathbb{C}$ 温度         コンクリート           指康市         31/2 C           小気温度         キ潮床版:32°C           温度         シグリート           小気味成:32°C         第           小気温         ア           小気気温         ア           小気気温         シグリート           海康市         カシグリート           海東市         カシグリート           小気         シックリート           小気気         シックリート           小素 原         シックリート           小気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気           小気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気気	ιV		鋼桁	板厚考慮, 横桁考慮				
期伝導率 $2.7 \text{ W/m} \mathbb{C} (2.6 \sim 2.8 \text{ W/m} \mathbb{C})^{\otimes 1}$ 密度 $2300 \text{ kg/m}^3$ 比熱 $1.31 \text{ kJ/kg} \mathbb{C}$ 断熱温度 $Q_{\infty}$ $62.0 \mathbb{C}$ 上昇特性 $\gamma$ $1.752$ マング率         JSCE 標準示方書簡易式           レク         JSCE 標準示方書意実験式           ク         JSCE 標準示方書意実験式           ク         月張強度           JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比 $0.167$ 線膨張係数 $10 \ \mu/\mathbb{C}$ 線膨張係数 $10 \ \mu/\mathbb{C}$ 温度 $320^{\circ}$ 小気温度         財潮床版: $32^{\circ}$ 小気温         (TYPE-A2,B $\sigma$ 平均膨張長を入力))           第         大ング率           2.0 × 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> 小気温度         第初大供試体試験           の計測温度         の計測温度           「YPE-A2,B $\sigma$ 平均膨張長を入力)         第次ソン比           の<4 kJ/kg <sup>°</sup> 42.0 × 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> 東航         1.2 $\mu/^{\circ}$ 索         養生マット           義振振張         1.2 $\mu/^{\circ}$ 第         人気           第         44 W/m <sup>2</sup> C(12 ~ 14 W/m <sup>2</sup> C) <sup>81</sup> 東         人気 <td< td=""><td rowspan="5"></td><td rowspan="4"></td><td>コンクリートの種別</td><td colspan="4">普通コンクリート(膨張材入り)</td></td<>			コンクリートの種別	普通コンクリート(膨張材入り)				
密度         2300 kg/m <sup>3</sup> 比熱 $1.31 kJ/kg^{\circ}$ 断熱温度         Q <sub>∞</sub> 62.0 °C           上昇特性 $\gamma$ $1.752$ ヤング率         JSCE 標準示方書簡易式           ア         JSCE 標準示方書案験式           本 $2.0$ ウ         近年縮強度 $0.9$ 「(91)         41.0 N/mm <sup>2</sup> 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度         13kJ/kg°C           海膨張板 $10 \mu$ /°C           温度         14 人力           小方         海東床版: 32°C           温度         計測床版: 34°C           二         第家伝導率           空物大供試体試験 $0.167$ 線膨張係数         10 $\mu$ /°C           二         第家板、           海家伝導率         25 W/m°C           電度         7850 kg/m <sup>3</sup> 東索         2.0 × 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> 小ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱         養 生 マット           大ジグ率         13 W/m <sup>2</sup> °C(12 ~ 14 W/m <sup>2</sup> °C)* <sup>1</sup> 素         人気			熱伝導率	2.7 W/m°C (2.6∼2.8 W/m°C) <sup>*1</sup>				
地熱 $1.31 \text{ kJ/kg}^{\circ}$ 断熱温度         Q <sub>∞</sub> $62.0 \degree$ 上昇特性 $\gamma$ $1.752$ ヤング率         JSCE 標準示方書簡易式           モ=4700 × $\sigma_e^{0.5} \text{ N/mm}^2$ JSCE 標準示方書実験式           a $2.0$ b $0.9$ f(91) $41.0 \text{ N/mm}^2$ 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比 $0.167$ 線膨張係数 $10 \ \mu^{\circ}$ C           温度 $\frac{12 \ \psi^{\circ} 0}{4 \ k m k m k m k m k m k m k m k m k m k$			密度	2300 kg/m <sup>3</sup>				
期熱温度 上昇特性         Q <sub>∞</sub> $62.0 \ \ensuremath{\mathbb{C}}$ $\gamma$ 1.752 $\gamma$ 1.752 $\gamma$ JSCE 標準示方書簡易式 $\nu$ $\sigma_c^{0.5} N/mn^2$ $\gamma$ JSCE 標準示方書換験式 $a$ 2.0 $b$ 0.9           f(91)         41.0 N/mn <sup>2</sup> 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ボアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度 $3\nu/\eta$ -ト           海東床版: 32°C         温度           調査 $10 \ \mu$ /°C           溜度 $3\nu/\eta$ -ト           拘束床版: 32°C         温度           潮床板: 34°C         10 $\mu$ /°C           溜度 $3\nu/\eta$ -ト           拘束床版: 34°C         10 $\mu$ /°C           溜度         第次公司           小気温度         第初大供試体試験           の計測温度         の計測温度           「なん 二         第次の効果に含む           (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)         第           教振信導率 $2.0 \times 10^5 N/m^2$ 和 $0.4 \ kJ/kg^{\circ}$ ヤング率 $2.0 \times 10^5 N/m^2$ 線膨張係数 $12 \ \mu/^{\circ}$			比熱	1.31 kJ/kg°C				
上昇特性 $\gamma$ 1.752           オング率         JSCE 標準示方書簡易式           ングリ         JSCE 標準示方書簡易式           上昇特性 $\gamma$ JSCE 標準示方書策験式           福         2.0           度         JSCE 標準示方書実験式           1SCE 標準示方書実験式           第         10.9           1691         41.0 N/mm <sup>2</sup> 1582         10.9           第         10.167           線膨張係数         10 $\mu$ /C           温度         計測床版:32°C           温度         計測床版:34°C           小気温         (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           第         乾燥収縮         (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           第         2.0×10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱         養生マット           養生マット         後生マット+シートの熱伝達率           率         底面型枠         6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) *1			断熱温度	$Q_{\infty}$	62.0 °C			
オング率         JSCE 標準示方書簡易式           ンクリ         E=4700× $\sigma_c^{0.5}$ N/mm <sup>2</sup> クリ         JSCE 標準示方書実験式           本         2.0           少り         f(91)           日         引張強度           JSCE 標準示方書実験式           a         2.0           b         0.9           f(91)         41.0 N/mm <sup>2</sup> 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ポアンン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度         コン/リート           海東床版:32°C           温度         計測床版:34°C           小気温度         東物大供試体試験 の計測温度           の計測温度         の計測温度           軟伝導率         25 W/m°C           密度         7850 kg/m <sup>3</sup> 大ング率         2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱膨張係数         12 $\mu$ /°C           素生マット         養生マット+           養生マット+>         大気           第         人気           第         人気           13 W/m <sup>2</sup> °C(5 W/m <sup>2</sup> °C)* <sup>1</sup> 東広面型枠         6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) * <sup>1</sup>			上昇特性	γ	1.752			
コ ン ク リ ー ト         E=4700 × $\sigma_c^{0.5}$ N/mm <sup>2</sup> 上         JSCE 標準示方書実験式           a         2.0           b         0.9           f(91)         41.0 N/mm <sup>2</sup> 月張強度         JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度         コン/リート           海東床版:32°C           温度         計測床版:34°C           小気温         の計測温度           軟伝導率         25 W/m°C           密度         7850 kg/m <sup>3</sup> 作         セング率           北穴ソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱膨張係系         14 W/m <sup>2</sup> °C(5 W/m <sup>2</sup> °C)* <sup>1</sup> 素         東底面型枠         6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) * <sup>1</sup>		コ・ン	ヤング索	JSCE 標準示方書簡易式				
シ クリ リ ト         正縮強度         JSCE 標準示方書実験式           a         2.0           b         0.9           f(91)         41.0 N/mm <sup>2</sup> 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度 $\frac{3200-1}{2000-1}$ 海東床版: 32°C         温度           加東床版: 32°C         温度           加東床版: 34°C         小気温           変勢         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           空の計測温度         シックリート           塩度         第次気温           第次公式         第次の対电に含む。           (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)         第           第         25 W/m°C           密度         7850 kg/m <sup>3</sup> 北京ソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱膨張係数         12 $\mu$ /°C           素         第           本         所           第         第           第         13 W/m <sup>2</sup> °C(5 W/m <sup>2</sup> °C)* <sup>1</sup> ※         底面型枠			107+	$E=4700 \times \sigma_c^{0.5} \text{ N/mm}^2$				
クリ リ ト         圧縮強度         a         2.0           b         0.9 $0.9$ f(91)         41.0 N/nm <sup>2</sup> 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度 $\frac{3200-1}{400}$ 温度         10 $\mu$ /°C           温度 $\frac{3200-1}{400}$ 小家膨張係数         0.167           線膨張係数         0.167           海底         第次アソン比           少切一         拘束床版: 32°C           温度         計測床版: 34°C           小気温度         第約床様式の効果に含む           (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)         の計測温度           響         第           第         0.4 kJ/kg°C           ヤング率         2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱膨張係数         12 $\mu$ /°C           素         美生マット           養生マット+         養生マット+           養生マット+>         少しの熱伝達率           率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) **1				JSCE 標準示方書実験式				
リ         b         0.9           f(91)         41.0 N/mm <sup>2</sup> 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ボアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度         コンクリート           海東床版:32°C           温度         計測床版:32°C           温度         計測床版:34°C           小気温         の計測温度           乾燥収縮         脂肪振材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           第         整度           第         25 W/m°C           密度         7850 kg/m <sup>3</sup> 土熱         0.4 kJ/kg°C           マング率         2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱         養生マット           養生マット+シートの熱伝達率         小気           率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) *1		ク	厈縮強度	а	2.0			
f(91)         41.0 N/mm <sup>2</sup> 引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu$ /°C           温度         計測床版:32°C           温度         計測床版:34°C           小気温         の計測温度           乾燥収縮         脂肪振材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           第         整度           第         25 W/m°C           密度         7850 kg/m <sup>3</sup> 土熱         0.4 kJ/kg°C           ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱         養生マット           養生マット+         養生マット+>シートの熱伝達率           率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) **1		IJ		b	0.9			
引張強度         JSCE 標準示方書実験式           ボアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu/C$ 線膨張係数         10 $\mu/C$ 温度         コンクリート           温度         計測床版:32°C           温度         計測床版:34°C           火気温         の計測温度           酸燥収縮         膨脹材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           額         主           変度         7850 kg/m <sup>3</sup> 主         ヤング率           化熱         0.4 kJ/kg°C           ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu/°C$ 熱         養生マット           養生マット         美生マット+シートの熱伝達率           率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) *1				f(91)	41.0 N/mm <sup>2</sup>			
物性値         ポアソン比         0.167           線膨張係数         10 $\mu/C$ 海膨張係数         10 $\mu/C$ 温度         コンクリート           温度         計測床版:32°C           計測床版:34°C            水穴気温         実物大供試体試験 の計測温度           乾燥収縮         膨張材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           鋼         主           変度         7850 kg/m <sup>3</sup> 支援         25 W/m°C           密度         7850 kg/m <sup>3</sup> 支援         12 $\mu/°C$ 線膨張係数         12 $\mu/°C$ 熱         養生マット           養生マット         美生マット・シートの熱伝達率           率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) *1		ŀ	引張強度	JSCE 標準示方書実験式				
物         線膨張係数 $10 \mu/C$ 油度 $3\nu/\eta$ ート         拘束床版: $32^{\circ}$ 温度 $3\nu/\eta$ ート         追度           計測床版: $34^{\circ}$ 計測床版: $34^{\circ}$ 火気温         実物大供試体試験 の計測温度           乾燥収縮         脂泥根材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           鋼         蒸度           主         ヤング率           水デソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu/C$ 熱         養生マット           養生マット         14 W/m <sup>2</sup> C(5 W/m <sup>2</sup> C)* <sup>1</sup> 率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> C(8 W/m <sup>2</sup> C) * <sup>1</sup>			ポアソン比	0.167				
性値 値 温度 温度	物		線膨張係数	10 μ/°C				
値 温度 温度 温度 温度 計測床版:34℃ 実物大供試体試験 の計測温度 節張材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力) 熱伝導率 25 W/m℃ 密度 7850 kg/m <sup>3</sup> 比熱 0.4 kJ/kg℃ ヤング率 2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ポアソン比 0.3 線膨張係数 12 $\mu$ /℃ 熱 素生マット 養生マット 差生マット+シートの熱伝達率 率 底面型枠 6.5 W/m <sup>2</sup> ℃(8 W/m <sup>2</sup> ℃)*1	性			コンクリート	拘束床版:32℃			
加速定         外気温         実物大供試体試験 の計測温度           乾燥収縮         膨張材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           鋼         熱伝導率         25 W/m℃           鋼         主         水気温         小m℃           海         25 W/m℃         25 W/m℃           小加         0.4 kJ/kg℃         12 µ /℃           熱膨張係数         12 µ /℃         14 W/m²℃(5 W/m²℃)*1           素         養生マット         養生マット+シートの熱伝達率           率         底面型枠         6.5 W/m²℃(8 W/m²℃)*1	値		温度	温度	計測床版:34℃			
前水風血         の計測温度           乾燥収縮         膨張材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           瀬伝導率         25 W/m℃           蜜度         7850 kg/m <sup>3</sup> 比熱         0.4 kJ/kg℃           ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 µ ℓ℃           整         外気           第         後生マット           差         73 W/m <sup>2</sup> ℃(5 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>※1</sup> 達         外気           率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> ℃(8 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>※1</sup>				外気温	実物大供試体試験			
乾燥収縮         膨張材の効果に含む (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           額         熱伝導率         25 W/m℃           密度         7850 kg/m <sup>3</sup> 比熱         0.4 kJ/kg℃           水アソン比         0.3           線膨張係数         12 µ ℓ℃           整         外気           第         13 W/m <sup>2</sup> ℃(5 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>※1</sup> 率         底面型枠         6.5 W/m <sup>2</sup> ℃(8 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>※1</sup>					の計測温度			
10% KML         (TYPE-A2,B の平均膨張量を入力)           熱伝導率         25 W/m℃           密度         7850 kg/m³           比熱         0.4 kJ/kg℃           ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 µ /℃           蒸         養生マット           達         外気           第         13 W/m²℃(12~14 W/m²℃)*1           率         底面型枠			乾燥収縮	膨張材の効果に含む				
熱伝導率         25 W/m℃           密度         7850 kg/m³           比熱         0.4 kJ/kg℃           セング率         2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 μ/℃           蒸         養生マット           養生マット         14 W/m <sup>2</sup> ℃(5 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>*1</sup> 達         外気           率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> ℃(8 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>*1</sup>			T G / J C / HG	(TYPE-A2,Bの平均膨張量を入力)				
密度         7850 kg/m³           単         1           上熱         0.4 kJ/kg℃           ヤング率         2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ボアソン比         0.3           線膨張係数         12 µ/℃           熱         養生マット           養生マット         美生マット+シートの熱伝達率           達         外気         13 W/m <sup>2</sup> ℃(12~14 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>×1</sup> 率         底面型枠         6.5 W/m <sup>2</sup> ℃(8 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>×1</sup>			熱伝導率	25 W/m°C				
近熱 $0.4 \text{ kJ/kg}^{\circ}$ 主         ヤング率 $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 桁         ボアソン比 $0.3$ 線膨張係数 $12 \ \mu/^{\circ}$ C           熱         養生マット           養生マット         第 養生マット+シートの熱伝達率           達         外気 $13 \text{ W/m}^{\circ}$ C( $12 \sim 14 \text{ W/m}^{\circ}$ C)*1           率         底面型枠 $6.5 \text{ W/m}^{\circ}$ C( $8 \text{ W/m}^{\circ}$ C)*1		錮	密度	7850 kg/m <sup>3</sup>				
エレグ率 $2.0 \times 10^{3}$ N/mm <sup>2</sup> ポアソン比 $0.3$ 線膨張係数 $12 \ \mu \ C$ 熱         養生マット           養生マット         養生マット+シートの熱伝達率           達         外気 $13 \ W/m^2 C(8 \ W/m^2 C)^{*1}$ 率         底面型枠 $6.5 \ W/m^2 C(8 \ W/m^2 C)^{*1}$		主	比熱	0.4 kJ/kg℃				
ポアソン比         0.3           線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱         養生マット           基         4W/m <sup>2</sup> °C(5 W/m <sup>2</sup> °C) <sup>*1</sup> 養         人気           主         外気           第         6.5 W/m <sup>2</sup> °C(12~14 W/m <sup>2</sup> °C) <sup>*1</sup> 率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> °C(8 W/m <sup>2</sup> °C) <sup>*1</sup>		析	ヤング率	$2.0 \times 10^5$ N/mm <sup>2</sup>				
線膨張係数         12 $\mu$ /°C           熱         養生マット           「金         養生マット           達         外気           13 W/m <sup>2</sup> °C (12~14 W/m <sup>2°</sup> C) <sup>*1</sup> 率         底面型枠           6.5 W/m <sup>2</sup> °C (8 W/m <sup>2°</sup> C) <sup>*1</sup>			ポアソン比	0.3				
熱 伝         養生マット         14 W/m²℃(5 W/m²℃)*1 養生マット+シートの熱伝達率           達         外気         13 W/m²℃(12~14 W/m²℃)*1           率         底面型枠         6.5 W/m²℃(8 W/m²℃)*1			線膨張係数	12 μ/°C				
伝     後生マット+シートの熱伝達率       達     外気       13 W/m <sup>2</sup> C (12~14 W/m <sup>2</sup> C) <sup>×1</sup> 率     底面型枠       6.5 W/m <sup>2</sup> C(8 W/m <sup>2</sup> C) <sup>×1</sup>		熱	養生マット	$14 \text{ W/m}^{2} \text{C}(5 \text{ W/m}^{2} \text{C})^{*1}$				
達         外気         13 W/m <sup>o</sup> C (12~14 W/m <sup>2</sup> C) <sup>×1</sup> 率         底面型枠         6.5 W/m <sup>2</sup> C(8 W/m <sup>2</sup> C) <sup>×1</sup>		伝		<u>養生マット+シートの熱伝達率</u>				
率   底面型枠 6.5 W/m <sup>2</sup> ℃(8 W/m <sup>2</sup> ℃) <sup>*1</sup>		達	外気	$13 \text{ W/m}^{2}\text{C}(12 \sim 14 \text{ W/m}^{2}\text{C})^{*1}$				
		率	底面型枠	$6.5 \text{ W/m}^{2} \text{C}(8 \text{ W/m}^{2} \text{C})^{*1}$				

※1 ()内はコンクリート標準示方書 3)標準値

て拘束床版を打込み,9日後に計測床版を打込 んだ。また,1m供試体 TYPE-A2,B も計測床 版と共にコンクリートを打込んだ。実物大供試 体の計測センサーの配置箇所も図 - 8 に示し ている。

### 4.2 解析条件

実物大供試体の解析条件を表 - 4 に示す。解 析には汎用の温度応力解析プログラム(ASTEA MACS)を用いた。ただし, PC 床版の鉄筋および PC 鋼材はモデル化をしていない。

# 4.3 実物大供試体試験結果と温度応力解析 結果の比較

実物大供試体試験結果から得られた床版の 温度履歴および分布を図 - 9 に示す。この図よ り,床版支間中央および主桁上の温度履歴が温 度応力解析により精度よく評価されていると こがわかる。

実物大供試体試験結果から得られたコンクリ ートの実ひずみの履歴を図 - 10に示す。この 図からも明らかなように,拘束床版や鋼桁の拘 束を受けた橋軸方向・橋直方向それぞれのコン クリートの計測ひずみと温度応力解析により 計算されたひずみとが一致した。

## 5. まとめ

本論文では,コンクリートの材齢初期におけ る膨張効果の評価方法を提案した。この方法を 用いて,1m供試体を用いた床版の再現試験に より得られたコンクリートのひずみを整理し, 今回の配合であればコンクリート材齢初期か ら膨張材による膨張量として約100µのひずみ の発生が評価された。さらに,実物大供試体試 験の計測結果と温度応力解析結果の比較から, 本論文で提案したひずみの評価方法により,実 ひずみを精度良く評価できることを示した。こ れらにより,温度応力解析に用いるコンクリー トの膨張量を明らかにし,膨張効果を温度応力 解析により評価できることを示した。

最後に,本提案に関して長岡技術科学大学の 丸山久一教授,大阪大学松井繁之教授から多く の貴重な助言を頂きましたことを記し謝意を 表します。

参考文献

- 国森亮平,島崎磐,六郷恵哲,森本博昭: 若材齢コンクリートの熱膨張係数に関する 実験的研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.1033-1038, 2000
- 2) 竹下治之,浅沼潔,横田季彦:マスコンク リート中の計器特性について,第2回マス 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,pp.1-8,1984.3
- 3) 土木学会: [平成8年制定]コンクリート 標準示方書施工編,1996





# 図 - 10 実物大供試体の実ひずみ [ ] と温度応力解析のひずみとの比較