

論文 膨張コンクリートを用いたPC床版試験体の長期計測結果

高瀬 和男*1・高嶋 豊*1・河西 龍彦*1・橋 吉宏*1

要旨：床版支間長が10mを超えるPC床版を有する鋼2主桁橋を対象に、実物大試験体および床版を部分的にモデル化した1m供試体を作製して約1年間の長期計測を実施した。1m供試体の長期計測結果から、膨張材の有無によるひずみの値を比較し、乾燥収縮特性に有意差がないこと、膨張材の有無によるひずみの差が1年間保持されていることが明らかとなった。また、1m供試体と実物大試験体の計測結果を比較することで、水和熱や膨張・乾燥収縮によるひずみの変化により既設床版ブロックの拘束を示し、膨張コンクリートを用いたPC床版のひずみの挙動を理解する上での資料とした。

キーワード：膨張材, PC床版, 長期計測, 乾燥収縮

1. はじめに

近年、橋梁構造の合理化、省力化を考慮し、建設コストの削減を図った橋梁形式の一つとして、鋼2主桁橋の建設が進められている。この橋梁形式に用いられる床版は、床版支間長が6mから最大で11.5mと従来の多主桁橋に比べ非常に広く、橋軸直角方向にプレストレスを導入した場所打ちPC床版が用いられている。このPC床版は、従来のRC床版に比べ床版厚が厚い。また、プレストレスの導入および移動型枠施工の採用により、早期に強度が発現する早強ポルトランドセメント（以下、早強セメント）を用い、かつ高強度のコンクリートが使用されている。そのため、コンクリートの水和発熱による体積変化と既設床版や鋼桁による外部拘束が連成されて生じる、温度応力の影響が無視できない。これに対し、膨張コンクリートを用いることにより、温度応力が低減され、初期材齢でのひび割れ発生の防止に効果があることが認知され、ひび割れ防止対策の一つとして実施工で講じられるケースも増加している。橋梁床版を対象とした膨張コンクリートの使用による温度応力低減効果については、近年いくつかの実験および解析的研究により材齢初期の定量的評価が試みられているが¹⁾²⁾、長期的な視点からの膨張コンクリートの効果について十分に解明されて

いるとはいえない。

著者らは、床版支間長が10mを超えるPC床版を有する鋼2主桁橋を対象に、実物大試験体および床版を部分的にモデル化した1m×1m×床版厚の供試体（以下、1m供試体）を作製し、コンクリート打込み後約1年間の長期計測を実施した。本来この実物大試験体は、移動型枠を用いた場所打ちPC床版の施工時において有害なひび割れを発生させないための設計・施工上の対策を確認³⁾するためのものであり、今回その試験体を残置して長期計測によりPC床版の乾燥収縮やクリープ挙動の定量的把握を試みた。本稿では、特に、ひび割れ防止対策の一つであるPC床版における膨張材の効果に関する知見を示す。

2. 実験概要

2.1 実物大試験体

実物大試験体の一般図を図-1に示す。温度応力や鋼桁による拘束等の影響を正確に評価するため、床版・鋼桁とも実物大とした。床版支間は11mとし、床版厚は主桁上で53cm、床版支間中央で36cmとした。床版コンクリートは3ブロックとし、1ブロックの長さは12mとした。床版の打継ぎ目による拘束を再現するために中央のブロック1（既設床版ブロック）を先

*1 (社)日本橋梁建設協会 床版研究委員会 (正会員)

表-1 実物大試験体のコンクリートの配合

ブロック	セメント種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水結合材比 $W/(C+E)$ (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単体量(kg/m ³)					
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	膨張材 E	高性能 AE 減水剤 A
1, 3	早強	25	14	42.6	4.5	44.3	160	346	783	986	30	3.760
2	普通	25	14	42.6	4.5	44.3	160	346	783	991	30	3.384

行して打ち込み、14日後にブロック2, 3の打込みを行った。ブロック1およびブロック3は早強セメントを用い、ブロック2は普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）を用いた。ブロック間の打継ぎ目は、予め型枠に遅延剤を塗布しておき、コンクリート打込みの翌日、ハイウォシャーにて骨材を十分に洗い出した上で隣接ブロックを打ち継いだ。PC鋼

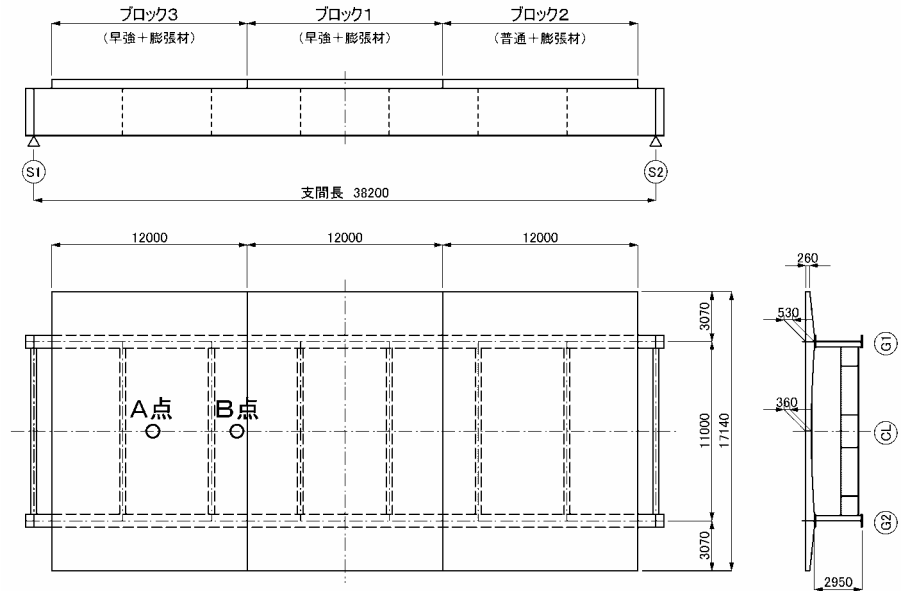


図-1 実物大試験体一般図 (単位: mm)

材はSWPR19L28.6mmを430mmピッチに配置し1本当たり約670kNのプレストレスを導入した。また、桁には実橋と同様に1列5本のスタッドジベルを橋軸方向に約400mmピッチで配置し床版との結合を図った。コンクリートの配合を表-1に示す。実験は静岡県富士市の(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所にて2001年7月から行った。初期材齢の挙動に着目した約1ヶ月の短期計測に引き続き、クリープ・乾燥収縮挙動の把握を目的とした約1年間の長期計測を実施した。図-1に示すA, B点は、実物大試験体の長期計測におけるひずみ計測の代表的着目点である。

2.2 1m供試体

供試体は、セメントの種類（普通・早強）、膨張材の有無、床版厚（36cm・53cm）、鉄筋の有無をパラメータとした計16体とした。1m供試体の種類を表-2に、配合を表-3に示す。床

版厚36cmの供試体 (Model-A) は実構造の床版支間中央を再現したモデルであり、上下2面からの乾燥を許した。また、床版厚53cmの供試体 (Model-B) は主桁上を再現したモデルであり、上面のみの乾燥とし、下面には主桁上フランジを模した鋼板を配置した。1m供試体の概念図を図-2に示す。

表-2 1m供試体一覧

No.	供試体記号	セメント種類	床版厚	配筋	
1	A1	普通+膨張材	36 cm 鉄筋あり	橋軸方向	橋軸直角方向
2	A2	早強+膨張材		上段 D19 etc100	上段 D19 etc100
3	A3	普通		下段 D19 etc100	下段 D19 etc100
4	A4	早強			
5	B1	普通+膨張材	53 cm 鉄筋あり	橋軸方向	橋軸直角方向
6	B2	早強+膨張材		上段 D19 etc100	上段 D19 etc100
7	B3	普通		下段 D19 etc100	下段 D19 etc100
8	B4	早強		(下段は2段配置)	(下段は2段配置)
9	PA1	普通+膨張材	36 cm 鉄筋なし	ブレンコンクリート	
10	PA2	早強+膨張材			
11	PA3	普通			
12	PA4	早強			
13	PB1	普通+膨張材	53 cm 鉄筋なし	ブレンコンクリート	
14	PB2	早強+膨張材			
15	PB3	普通			
16	PB4	早強			

表-3 1m供試体のコンクリートの配合

セメント種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水結合材比 $W/(C+E)$ (%)	空気量 (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m ³)					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	膨張材 E	高性能 AE 減水剤 A
1)普通+膨張材	25	14	42.6	4.5	44.3	160	346	783	991	30	3.384
2)早強+膨張材	25	14	42.6	4.5	44.3	160	346	783	986	30	3.760
3)普通	25	14	42.6	4.5	44.3	160	376	783	991	—	3.384
4)早強	25	14	42.5	4.5	47.1	161	379	830	936	—	4.169

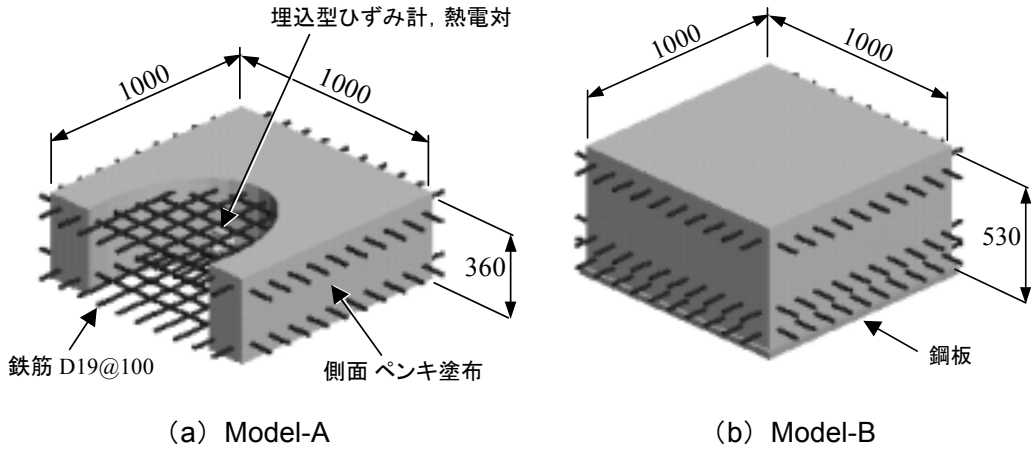
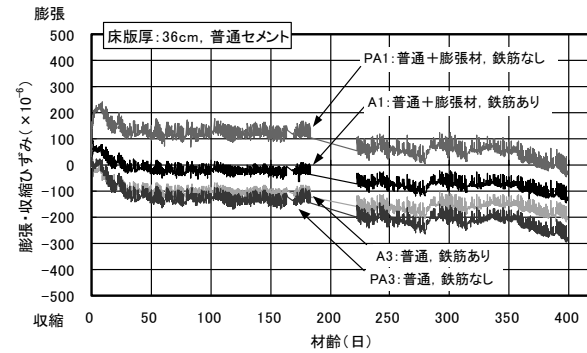
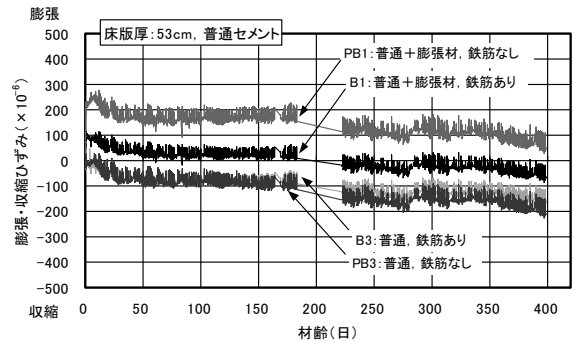


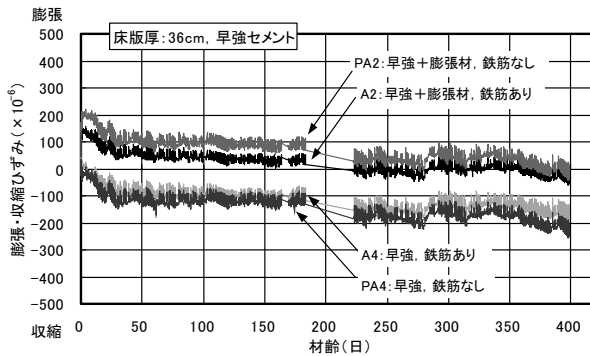
図-2 1m供試体の概念図 (単位: mm)



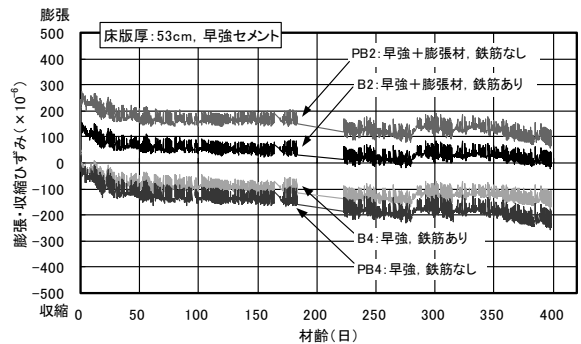
(a) 床版厚 36cm, 普通セメント



(b) 床版厚 53cm, 普通セメント



(c) 床版厚 36cm, 早強セメント



(d) 床版厚 53cm, 早強セメント

図-3 1m供試体の膨張・収縮ひずみの経時変化

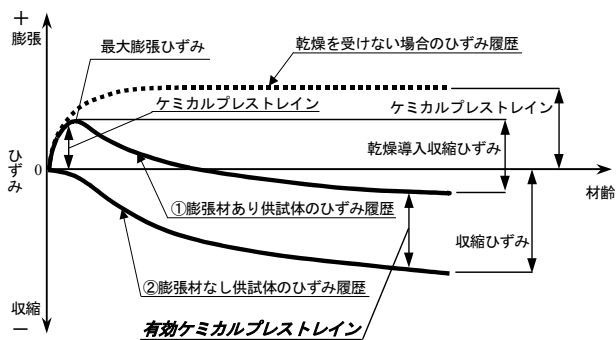


図-4 ひずみ履歴の模式図⁴⁾

1 m 供試体は、実物大試験体のブロック 2、3 の打込みと同日にコンクリートの打込みを行い、実物大試験体の隣地に併設した。

3. 1 m 供試体の長期計測結果

3.1 膨張・収縮ひずみ履歴

図-3 に 1 m 供試体のひずみの経時変化を示す。ここで、図に示す膨張・収縮ひずみとは、埋込型ひずみ計により計測された生データに対し、文献 1) で提案された補正方法に従ってデータ整理を行ったものであり、温度変化に伴う体積変形を除いた値である。なお、材齢 200 日前後でデータが途切れているが、これはこの時期の計測データが消失したためである。ひずみ履歴の模式図を図-4 に示す。本稿では文献 4) に従い、膨張材あり供試体の膨張ひずみの最大値を“最大膨張ひずみ”，最大膨張ひずみ以降の収縮ひずみ量を“膨張材を用いた部材の乾燥導入収縮ひずみ”と示す。この考えに基づいて整理した、各供試体のひずみ計測値を表-4 に示す。膨張材あり供試体の乾燥導入収縮ひずみと膨張材なしの収縮ひずみを比較すると、膨張材の有無による乾燥収縮特性の有意差は明確に認められない。

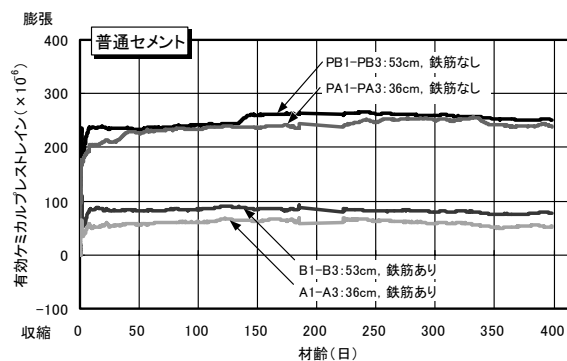
3.2 1 m 供試体長期計測結果の考察

膨張材あり供試体のひずみ履歴から膨張材なし供試体のひずみ履歴を差し引いて求められるひずみ差を、“有効ケミカルプレストレイン”⁴⁾ と示す(図-4 参照)。計測結果から得られる有効ケミカルプレストレインを図-5 に示す。鉄

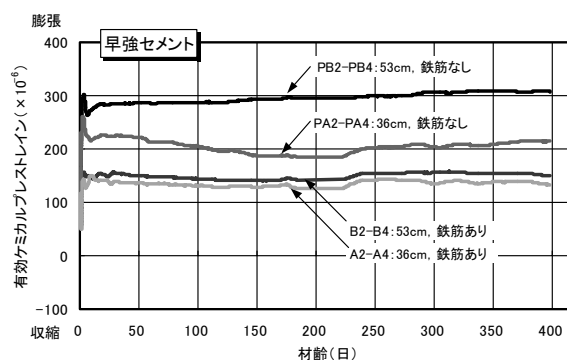
表-4 1 m 供試体の膨張・収縮ひずみの計測値

供試体記号	セメント種類	床版厚	最大膨張ひずみ	膨張・収縮ひずみ	乾燥導入
			※1 ① (×10 ⁻⁶)	最終計測値 ※2 ② (×10 ⁻⁶)	収縮ひずみ ※3 ③-① (×10 ⁻⁶)
A1	普通+膨張材	36 cm 鉄筋あり	+93 (0.844日)	-115	-208
A2	早強+膨張材		+162 (0.948日)	-33	-195
A3	普通		-	-190	-
A4	早強		-	-167	-
B1	普通+膨張材	53 cm 鉄筋あり	+113 (0.875日)	-52	-165
B2	早強+膨張材		+155 (0.990日)	+8	-147
B3	普通		-	-146	-
B4	早強		-	-143	-
PA1	普通+膨張材	36 cm 鉄筋なし	+241 (8.833日)	-14	-255
PA2	早強+膨張材		+220 (4.021日)	-15	-235
PA3	普通		-	-266	-
PA4	早強		-	-227	-
PB1	普通+膨張材	53 cm 鉄筋なし	+275 (11.875日)	+66	-209
PB2	早強+膨張材		+274 (0.979日)	+91	-183
PB3	普通		-	-191	-
PB4	早強		-	-222	-

注記 ※1: 膨張ひずみの計測最大値。(括弧)内はその時の材齢。
 ※2: 計測終了日(材齢398日)のひずみ計測値(日平均値)。
 ※3: 膨張が最大に達した以降の収縮ひずみ量。
 + (プラス) = 膨張, - (マイナス) = 収縮



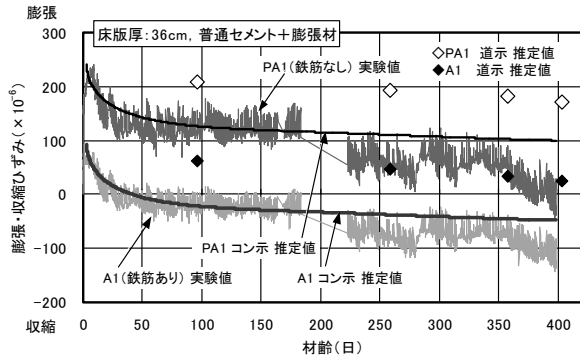
(a) 普通セメント



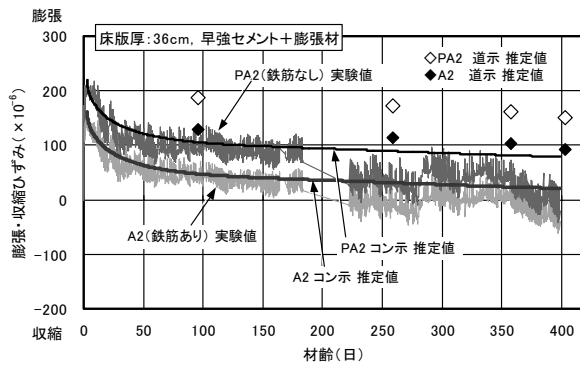
(b) 早強セメント

図-5 1 m 供試体の有効ケミカルプレストレイン

筋ありの場合、床版厚の違いにかかわらず、普通セメントで 60~80×10⁻⁶程度、早強セメントで 140~160×10⁻⁶程度の有効ケミカルプレストレインが、計測終了時(材齢 398 日)まで継続してほぼ一定の値で保持されることが確認され



(a) 普通セメント

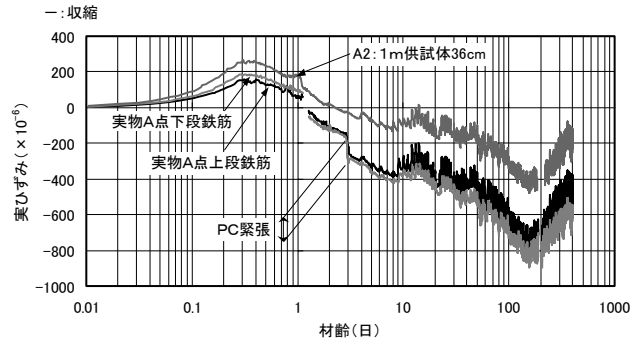


(b) 早強セメント

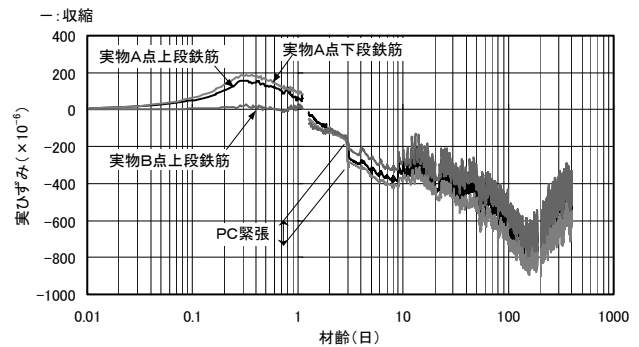
図一六 1m供試体（膨張材あり）の膨張・収縮ひずみ

た。ただし、本計測においては早強セメント・鉄筋なしの場合、床版厚によって有効ケミカルプレストレインに差が見られる。これは、PA2供試体の材齢初期の膨張ひずみが少なかったことに起因しているが、この場合においても有効ケミカルプレストレインは計測終了までほぼ一定値が保持されている。

図一六に、膨張材ありの1m供試体（床版厚36cm）のひずみ履歴と、コンクリート標準示方書⁵⁾（以下、コン示）および道路橋示方書⁶⁾（以下、道示）の収縮予測式を用いた“推定値”との比較結果を示す。紙面の都合により、床版厚36cmの結果を示す。ここで、図中の“推定値”とは、膨張材なし供試体の各示方書の予測手法による予測値に、表一四より求めた最大膨張ひずみを足し合わせることで算出したものである。各示方書の予測値において積算温度については逐次計測温度により補正を行ったが、計測湿度については計測期間内の平均湿度74.4%で



図一七 A点と1m供試体の比較（橋軸直角方向）



図一八 A点とB点の比較（橋軸直角方向）

計算を行った。本計測結果ではコン示による推定値が、膨張材あり供試体の膨張・収縮ひずみ履歴を比較的精度良く再現している。

4. 実物大試験体の長期計測結果

4.1 1m供試体との比較

1m供試体より得られた実ひずみと鋼桁と既設床版ブロックの拘束の影響が小さいA点（図一七）での実ひずみを比較した結果を図一七に示す。ここで、実ひずみとは温度変化に伴う体積変形を含んだひずみを示す。なお、1m供試体の計測値は床版断面の上下段鉄筋の中央位置での計測であり、実物大試験体の計測値は上段および下段の鉄筋位置での計測である。実ひずみは材齢200日付近で収縮側の最大値をとり、その後、膨張側へ転じている。このひずみの経時挙動は外気温の季節変動の影響である。

図一七に示すA点（橋軸直角方向）には、材齢3日で実物大供試体においてプレストレスの導入がひずみとして計測されている。また、それ以降については、1m供試体では材齢3日か

ら収縮側ひずみ最大値まで約 400×10^{-6} 、実物大試験体では材齢 3 日から収縮側ひずみ最大値まで約 500×10^{-6} であり、実物大試験体の収縮ひずみが若干大きくなっている。これは、プレストレスによるクリープの影響と考えられる。

4.2 既設床版ブロックによる拘束

既設床版ブロックによる拘束の影響が大きいと推定される B 点と、A 点における橋軸直角方向の実ひずみの比較結果を図-8 に示す。本稿では既設床版ブロックの収縮ひずみを計測していないため正確な議論はできないが、B 点ではコンクリート打込み直後は既設床版の拘束によってほとんど実ひずみの変化が見られず、プレストレスの導入によるひずみ変化量も既設床版が部分的に分担していることもあり、小さくなった。さらに材齢 1 日から 10 日目までは、B 点の方が A 点に比べプレストレス導入分を除いた実ひずみの変化量は小さい。これも、既設床版による拘束の影響と考えられる。コンクリート打込み直後においては、拘束がなければコンクリートは水和発熱や膨張材により自由に体積膨張するが、隣接に拘束体がある場合は打ち込まれたコンクリートの材齢初期における体積変化が妨げられ、コンクリートには圧縮応力が生じていることが推測される。また逆に、材齢 1 日以降の収縮ひずみ量が拘束によって小さくなっていることから、コンクリートには拘束により引張応力が作用していることが推測される。この結果は、本試験体を対象とした温度応力解析の結果²⁾と対応している。長期的にみると、B 点における橋軸直角方向のひずみは、拘束の少ない A 点とほぼ同様なひずみの経時変化をしていることがわかる。この結果から、既設床版はコンクリートの乾燥収縮に対して大きな拘束とはなっていないと考えられる。

5. まとめ

PC 床版鋼 2 主桁橋の床版を対象とした実物大試験体および 1 m 供試体の長期計測結果から、膨張材の効果に関する以下の知見を得た。

- (1) 鉄筋比 1.6% の 1 m 供試体で、早強セメントでは $140 \sim 160 \times 10^{-6}$ 程度、普通セメントでは $60 \sim 80 \times 10^{-6}$ 程度の有効ケミカルプレストレンが確認された。この有効ケミカルプレストレンは計測終了時（材齢 398 日）まで継続して保持されることがわかった。
- (2) 1 年間の計測期間内では、膨張材の有無による乾燥収縮特性の有意差は認められなかった。
- (3) 既往の収縮予測式を用いた予測値に、最大膨張ひずみを加算することにより、膨張コンクリートの膨張・収縮ひずみ履歴を予測可能であることが示唆された。

参考文献

- 1) 高瀬和男, 寺田典生, 福永靖雄, 石川敏之: 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提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.549-554, 2002.6
- 2) 倉田幸宏, 河西龍彦, 高瀬和男, 丸山久一: 有限要素法解析による長支間場所打ち PC 床版の施工時における応力評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.49A, pp.825-832, 2003.3
- 3) 八部順一, 小林潔, 竹中裕文, 河西龍彦: 移動型枠を用いた場所打ち PC 床版の施工検証実験, 土木学会第 57 回年次学術講演概要集, CS4-010, pp.129-130, 2002.9
- 4) 膨張コンクリートによる構造物の高機能化／高耐久化に関するシンポジウム委員会報告書, 日本コンクリート工学協会膨張コンクリートによる構造物の高機能化／高耐久化研究委員会, 2003.9
- 5) 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 2002.3
- 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 2002.3