

論文 各種混和材を添加した床版コンクリートのひずみ挙動

田村 悟士*1・大西 弘志*2・真鍋 英規*3・松井 繁之*4

要旨：使用するコンクリートの違いが RC 床版の疲労耐久性に及ぼす影響を検討するために必要な基礎資料の収集を目的として、各種コンクリートによる RC 床版を作製し、材齢 90 日までの床版コンクリート内部各所の膨張収縮挙動を計測して、コンクリートおよび鉄筋の挙動について把握することとした。その結果、コンクリートに混和材料を添加することにより収縮抑制効果が得られた。また、膨張材を使用することで、初期材齢時に鉄筋に引張りひずみが発生し、ケミカルプレストレインが導入されていることがわかった。

キーワード：RC 床版，膨張収縮，膨張材，PVA

1. はじめに

近年、コンクリート構造物において、コンクリート打設時の温度応力や供用後の乾燥収縮など、様々な原因によるひび割れの発生が報告されている。橋梁の床版においても、初期収縮などのひび割れの発生により床版の疲労耐久性が低下するという懸念から、収縮のメカニズムやその抑制方法について多くの検討が行われている^{1)~2)}。ところで、床版の疲労耐久性に関する研究は、床版自体が有する構造的特徴に着目したものが多く、その材料、すなわち使用されるコンクリートや鉄筋などの特性、挙動が疲労耐久性に対してどのような影響をもたらすのかについては必ずしも明らかにされていない。

そこで、使用するコンクリートの違いが RC 床版の疲労耐久性に及ぼす影響を検討するために必要な基礎資料の収集を目的として実験を実施した。本実験では各種コンクリートの打設直後から材齢 90 日までのコンクリート内部のひずみ挙動を計測して、疲労試験実施前の RC 床版の状態を把握することとした。RC 床版に使用するコンクリートは、普通コンクリート、膨張材添加コンクリート（以下膨張コンクリート）、お

よび PVA（ポリビニルアルコール）系ポリマーセメントコンクリート（以下 PVA コンクリート）である。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表 - 1 に使用材料を示す。本実験の供試体は RC 床版をモデルとしているため、セメントは RC 床版作製において一般的に使用されている普通ポルトランドセメントとした。混和材料として、膨張材は石灰系膨張材、ポリマーは完全鹼化型 PVA を使用した。PVA については、顆粒状の PVA を沸騰水に 7wt% 溶かしたものとした。以下、PVA 水溶液を PVA と表す。

表 - 1 使用材料

材料	物性
セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.15g/cm ³
細骨材	櫛田川産川砂 表乾密度 2.60g/cm ³
粗骨材	佐奈碎石(2005) 表乾密度 2.74g/cm ³
	櫛田川産川砂利(25) 表乾密度 2.64g/cm ³
混和剤	リグニンスルホン酸塩・ オキシカルボン酸塩系 AE 減水剤
膨張材	石灰系膨張材
ポリマー	完全鹼化型 PVA 鹼化度 99%

*1 アイゾール産業(株) 技術営業部 工博 (正会員)

*2 大阪大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 工修 (正会員)

*3 (株)富士ピ - エス 関西支店技術部土木技術チーム 課長 工博 (正会員)

*4 大阪大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 教授 工博 (正会員)

表 - 2 床版供試体一覧とコンクリート配合

床版供試体	W/P(%) ¹	s/a(%)	単体量 (kg/m ³)						
			W	C	骨材		混和剤	混和材料	
					S	G ²	AE 減水剤	膨張材	PVA ³
普通コンクリート	55	45.9	179	326	803	979	3.260	-	-
膨張コンクリート	55	45.9	179	306	803	979	3.260	20 ⁴	-
PVA コンクリート	55	45.9	162.7	326	803	979	3.260	-	16.3

1 W/P は、水粉体比を示し、膨張コンクリートの場合、P=C+膨張材を示す。

2 G における砕石と川砂利の混合比率は容積混合で 1:1。

3 PVA は沸騰水に 7wt% 溶かして水溶液としたもの。

4 本実験で使用した石灰系膨張材の標準使用量は 20kg。

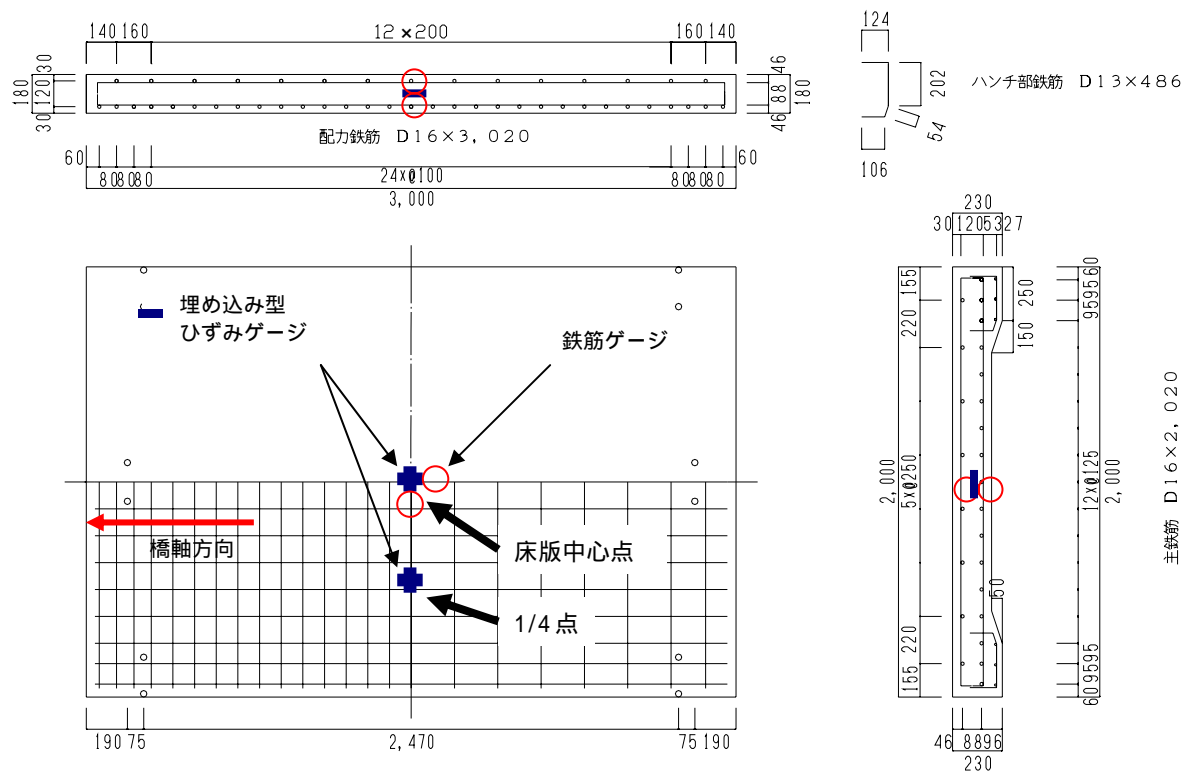


図 - 1 床版供試体の形状とひずみ測定箇所

2.2 供試体諸元

表 - 2 に床版供試体の一覧と各床版供試体の作製に使用したコンクリートの配合を示す。設計基準強度は 24N/mm^2 である。また、設定スランプおよび空気量は、 $18\text{cm}\pm 2\text{cm}$ 、 $5\pm 1\%$ である。

図 - 1 に床版供試体の形状を示す。本実験で使用する床版供試体は、床版支間方向 2,000mm、

橋軸方向 3,000mm の寸法である。本供試体は実橋梁床版の中間床版部を再現するものである。

床版内部コンクリートのひずみ測定には、埋め込み型ひずみゲージを使用した。コンクリートのひずみゲージは、床版中心点と、床版支間方向に床版中心点から床版支持点へ 500mm 隔てた点 (以下 1/4 点という) のそれぞれに、床版支

表 - 3 各床版供試体コンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度

床版供試体	打設日	スランプ (cm)	空気量(%)	コンクリート温度 ()	打設時気温 ()	圧縮強度 (N/mm ²)
普通コンクリート	2004.3.29	16.5	4.5	20.8	20.7	36.3
膨張コンクリート	2004.6.14	18.3	5.2	26.8	28.7	32.6
PVA コンクリート	2004.4.16	17.5	4.8	24.8	24.1	33.5

間方向および橋軸方向の 2 方向配置した。鉄筋のひずみゲージは、床版中心点の上段鉄筋と下段鉄筋のそれぞれに、床版支間方向および橋軸方向の 2 方向配置した。

コンクリートの物性試験は、スランプ、空気量および圧縮強度を、JIS A 1101, JIS A 1128, JIS A 1108 に従って実施した。圧縮試験用供試体は JIS A 1132 に従って作製した。

床版供試体の養生については、コンクリート表面のこて仕上げ完了後に養生シートをかぶせた。そして、打設翌日から材齢 10 日まで床版上面に常時水を張り、床版供試体に水を供給するようにした。床版供試体の脱型は材齢 10 日に行った。また、強度試験用供試体については、打設翌日に脱型後、強度試験実施材齢まで水中養生した。圧縮強度試験は材齢 28 日に行った。

3. 実験結果および考察

3.1 各種コンクリートの材料物性と温度履歴

表 - 3 に各床版供試体コンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度を示す。まず圧縮強度については、普通コンクリートの方が混和材料を添加したコンクリートより若干大きくなった。主要因としては、混和材料の添加により配合が異なるためと考えられる。ただし他の要因として、各種コンクリート床版供試体の製作期間が 3 月末～6月中旬に渡っており、打設時の気温が異なっているため、打設翌日に水中養生するまでの水分蒸発量や水和反応の程度が圧縮強度に影響を及ぼした可能性も考えられる。

図 - 2 に各種コンクリート打設後の床版供試体内部の温度履歴を示す。ここで、横軸の時間

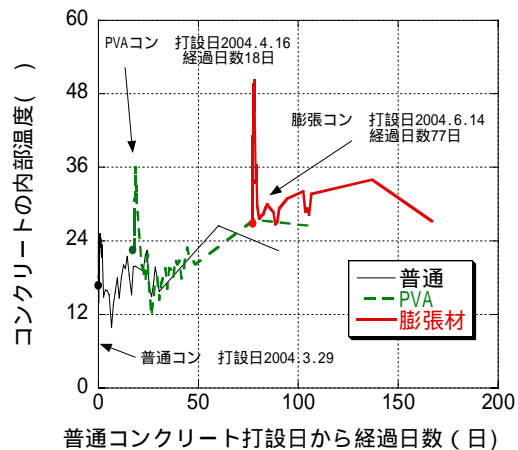


図 - 2 床版供試体内部の温度履歴

軸基準は普通コンクリート床版供試体の打設日(2004.3.29)とした。例えば PVA コンクリートの場合では、打設日(2004.4.16)が時間軸基準からの経過日数でいうと 18 日となり、図中においても経過日数 18 日からの温度履歴として示した。各コンクリート打設時のコンクリート温度および気温が異なっているため、コンクリート打設後の温度履歴にも影響を与えているものと考えられる。また、普通コンクリートおよび膨張コンクリートについて、打設時のコンクリートの温度と初期膨張時のコンクリートの最高温度との差は、それぞれ 4.2、20.5 とであった。これについても打設時期の違いによる影響が考えられるが、混和材料の材料特性も含めたさらなる検討が必要である。

3.2 各種コンクリートのひずみ挙動

図 - 3 および図 - 4 に床版中心点(床版支間方向、橋軸方向)の各種コンクリートの内部ひ

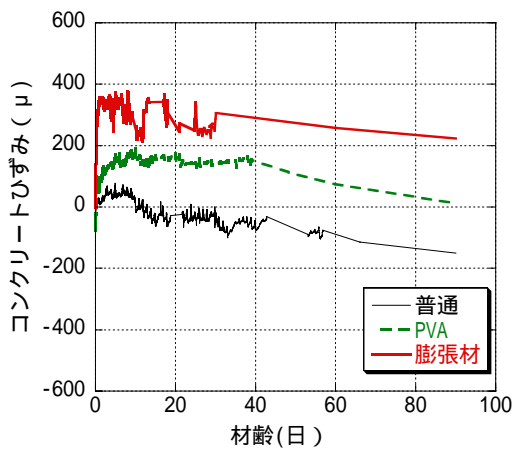


図 - 3 各種コンクリートの内部ひずみ挙動
(床版中心点・床版支間方向)

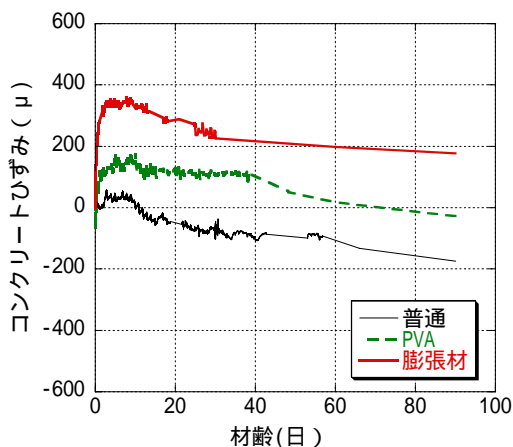


図 - 4 各種コンクリートの内部ひずみ挙動
(床版中心点・橋軸方向)

ずみ挙動を示す。普通コンクリートの場合は、水和熱による初期膨張の後に、材齢 10 日程度で収縮側に推移した。一方、膨張材および PVA を添加したコンクリートは、初期膨張ひずみが普通コンクリートより大きくなった。特に膨張コンクリートの場合、約 350 μ まで膨張し、材齢 90 日を経過した後も膨張側を推移した。今回使用した膨張材は石灰系膨張剤であり、一般に材齢初期に水を十分に供給することで生石灰の膨張効果が得られるとされている。本実験において

も、打設翌日から養生期間には十分に水を供給しており、膨張材の添加効果が十分に発現されているといえる。また、PVA についても、材齢初期の水の供給が硬化後の性状に影響を与えるため³⁾、水張り養生を行った結果、膨張材と同様にひずみ挙動が膨張側に推移したものと考えられる。材料的には、PVA は滞水すると保水し、膨潤することが知られており⁴⁾、その性質が PVA を添加した場合のひずみ挙動の結果に現れたものと考えられる。今後、養生方法が違う場合などの挙動についても検討する必要がある。

床版中心点における内部コンクリートのひずみ測定方向の違いについては、ひずみ挙動に顕著な差はみられなかった。これは、床版支間方向および橋軸方向の鉄筋比が、それぞれ 1.73% および 1.43% であり、今回の実験における鉄筋比の差がコンクリートのひずみ挙動に影響を与えるほどのものではなかったこと、また鉄筋は全て同じ径の異形鉄筋を使用しており、コンクリートと鉄筋の付着性状など物理的特性が同じであったことなどが考えられる。ただし、桁による外部拘束がある場合は、ひずみ測定方向によりひずみ挙動が異なる場合が想定される。

3.3 床版各所のひずみ挙動

図 - 5 および図 - 6 に床版各所の膨張コンクリートと PVA コンクリートの内部ひずみ挙動を示す。内部のひずみは床版中心点と 1/4 点で異なる結果となり、概ね床版中心点の内部ひずみが、1/4 点でのひずみより大きくなる結果となった。この点については、床版内部のコンクリートひずみに影響を与える要因が鉄筋による内部拘束力だけではないことが考えられる。つまり、床版の縁端に近づくにつれて、膨張材および PVA 添加によって得られる膨張力が抜けてしまったか、または散水養生後の乾燥収縮が床版内の場所により異なったなどが想定されるが、さらなる検討が必要である。

3.4 床版中心点でのコンクリートと鉄筋のひずみ挙動

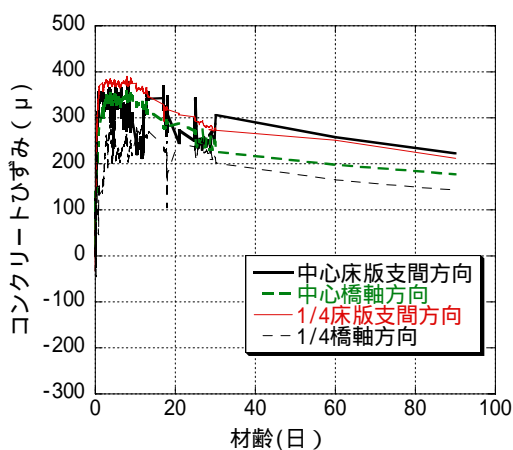


図 - 5 床版各所のひずみ挙動
(膨張コンクリート)

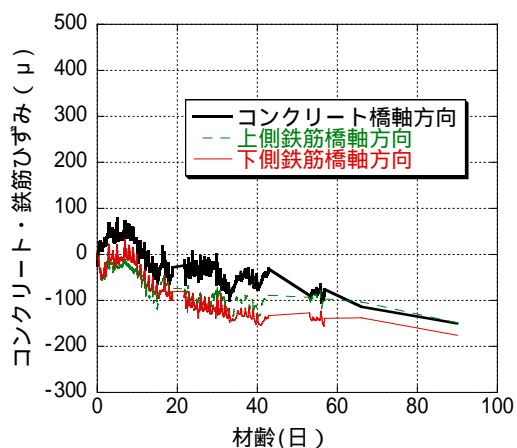


図 - 7 コンクリートひずみと鉄筋ひずみ
(普通コンクリート・床版中心点)

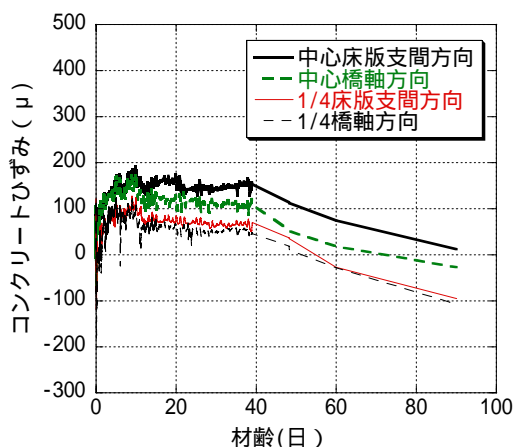


図 - 6 床版各所のひずみ挙動
(PVA コンクリート)

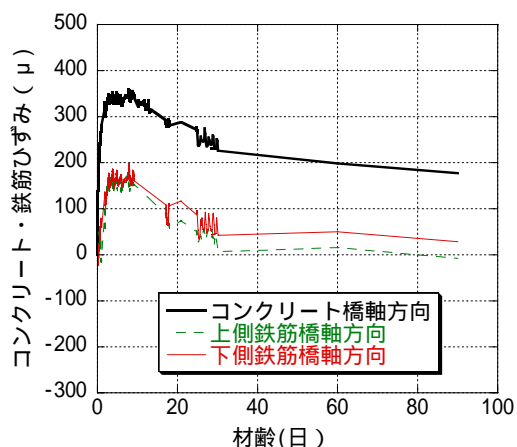


図 - 8 コンクリートひずみと鉄筋ひずみ
(膨張コンクリート・床版中心点)

図 - 7, 図 - 8 および図 - 9 に, 床版供試体中心点での普通コンクリート, 膨張コンクリートおよび PVA コンクリートひずみと, それぞれの床版供試体の鉄筋ひずみの関係を示す。ただし, コンクリート, 鉄筋のひずみは橋軸方向のものである。まず, 普通コンクリートの床版供試体については, コンクリートのひずみと鉄筋ひずみは, 材齢 90 日までほぼ同程度のひずみ量で推移した。コンクリートの膨張収縮に合わせて鉄筋のひずみが推移しているといえる。

一方, 膨張コンクリートおよび PVA コンクリートによる床版供試体では, 鉄筋のひずみ量に対して, 膨張材の場合で約 150μ , PVA では約 100μ 程度コンクリートのひずみ量が膨張側に推移しており, コンクリートと鉄筋のひずみ量が大きく異なった。これは, 鉄筋による内部拘束だけでは膨張ひずみを抑え切れなかったこと, 初期材齢時はコンクリートと鉄筋の付着力が小さいため, コンクリートと鉄筋が一体として挙動しなかった可能性等が考えられる。今回は RC 床版

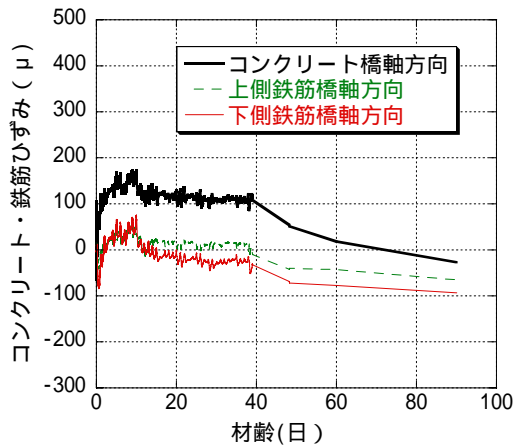


図 - 9 コンクリートひずみと鉄筋ひずみ
(PVA コンクリート・床版中心点)

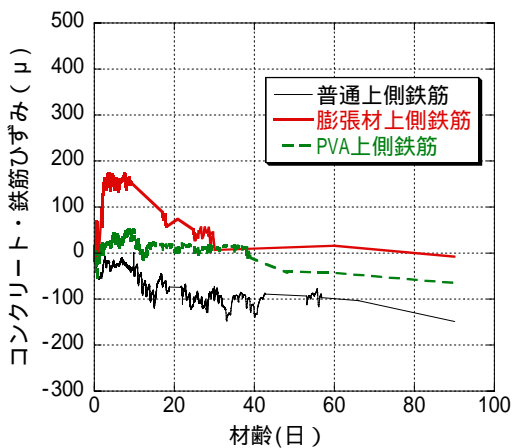


図 - 10 各種コンクリートの鉄筋ひずみ
(床版中心点上側・橋軸方向)

のため、床版端部が自由端であったが、合成構造のように桁による外部拘束を行えば拘束効果が高まるものと考えられる。

図 - 10 に、各種コンクリートの床版供試体中心点での鉄筋ひずみを示す。混和材料を添加することで、普通コンクリートの場合より、鉄筋ひずみが引張側の方へシフトしている。特に膨張材の場合、初期材齢時にケミカルプレストレンが導入されていることが確認できた。

以上より、初期材齢時のひずみ挙動について、2 種類の混和材料の添加効果は同様ではなかった。この性状の違いが RC 床版の疲労耐久性に

及ぼす効果についても影響を与えることが想定され、疲労試験とともに総合的に検証する予定である。

4. まとめ

使用するコンクリートの違いが RC 床版のひずみ挙動に及ぼす影響を検討するため、初期材齢時のコンクリート内部のひずみ挙動を計測した結果を以下にまとめる。

- (1) 材齢初期に十分な水分供給をおこなうことで、膨張コンクリートおよび PVA コンクリートは、初期膨張ひずみが普通コンクリートより大きくなった。
- (2) 今回作製した RC 床版では、膨張剤の使用により鉄筋にケミカルプレストレンが導入されていることが確認できた。

5. おわりに

この研究は科学研究費補助金萌芽研究（研究代表者：松井繁之，課題番号：15656113）の補助を受けて実施された。ここに記して関係各位に謝意を表すものである。

参考文献

- 1) 高瀬和男，高嶋豊，河西龍彦，橋吉宏：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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，No.2，pp.685-690，2004.7
- 2) 師山裕，倉田幸宏，塩永亮介，河野豊：コンクリート床版における膨張材の効果と鉄筋量の関係に関する解析的検討，土木学会第 57 回年次学術講演会概要集，pp.147-148，2002.9
- 3) 田村悟士，山田優，真鍋英規，中村有里：水溶性ポリマーによるコンクリートの高機能化に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.25，No.1，pp.1139-1144，2003.7
- 4) 長野浩一，山根三郎，豊島賢太郎：ポパール，高分子刊行会，pp.216-217，1970