

# 論文 プレキャスト鋼板・コンクリート合成床版の合理化継手の疲労耐久性に関する実験的検討

小林 裕治\*1・大西 弘志\*2・太田 小夜子\*3・水野 浩\*4

**要旨:** 本研究ではプレキャスト鋼板・コンクリート合成床版の合理化継手 2 種類に対して、輪荷重走行試験により疲労耐久性の確認を行った。今回の載荷条件においては、双方とも輪荷重走行による疲労破壊には至らず、十分な疲労耐久性を有していることが確認できた。さらに本研究では、継手部に負の曲げモーメントを発生させた状態で輪荷重走行試験を行った。その結果から、いずれの形式の継手部が中間支点上にきても輪荷重の走行に伴う過度なひび割れの発生等の構造上の問題が生じないことも明らかとなった。

**キーワード:** 合理化継手, プレキャスト合成床版, 疲労, 輪荷重走行試験

## 1. はじめに

我が国では 1960~1970 年代以降の高度経済成長期に建設された鋼橋の老朽化が進んでおり、供用期間が 40 年を超え、早急な補修が必要とされる橋梁は全体の 50% 近く存在する<sup>1)</sup>。こうした状況の中で、近年、打ち替え床版として鋼板・コンクリート合成床版が適用される事例が増加している。

鋼板・コンクリート合成床版とは、RC 床版の曲げ引張領域である床版下面に鋼板を配置したもので、同厚の RC 床版よりも曲げ剛性やねじり剛性を著しく向上させることが可能であるため、床版厚を薄くすることができ、床版の長支間化、鋼桁断面の縮小が可能になる。

一方、橋梁床版の工事では現場施工時間の短縮が強く望まれている。予め工場で生産し現場での作業を極力省くプレキャスト工法は、急速施工を可能とするため、近年、橋梁建設において急速に普及している。プレキャスト鋼板・コンクリート合成床版は、プレキャスト PC 床版に比べて軽量なため、施工性がよいのが特徴である。しかしながら、鋼板・コンクリート合成床版の間詰部には重ね継手方式が用いられることが多く、間詰幅が 400~600mm と広がるため、現場で施工されるコンクリート量がプレキャスト PC 床版と比較してかなり多いのが現状である。

そこで本研究では、プレキャスト鋼板・コンクリート合成床版の合理化を図るために開発された床版継手（以降、合理化継手と呼ぶ）2 種類についてそれぞれ、輪荷重走行試験により疲労耐久性の確認を行った。また、継手部に負の曲げモーメントを発生させた状態で輪荷重走行試験を行うことにより、継手部が中間支点上にきても、過度なひび割れの発生等、構造上問題が生じないこ

との確認も併せて行った。今回対象とする合理化継手は、既往の研究において、主桁作用における負曲げ領域での静的、繰返し載荷試験で結果が良好であった 2 種類である（図-2 参照<sup>2),3)</sup>。これらの合理化継手では、隣り合う床版の配力筋を交互に配置し、その先端にナットを設置し、間詰部のコンクリートおよび鉄筋やアンカープレートによるせん断抵抗によって応力伝達を図り、間詰幅の縮小を可能にしている。

## 2. 輪荷重走行試験による疲労耐久性の検証

### 2.1 試験概要

#### (1) 試験体

図-1 および図-2 に試験体の概要を示す。試験体は、3300mm×2350mm×176mm で橋軸（長手）方向中央に幅 200mm の間詰部を伴う継手部を有する鋼板・コンクリート合成床版である。試験体の製作に使用したコンクリートの配合を表-1 に、材料試験結果を表-2 に示す。な

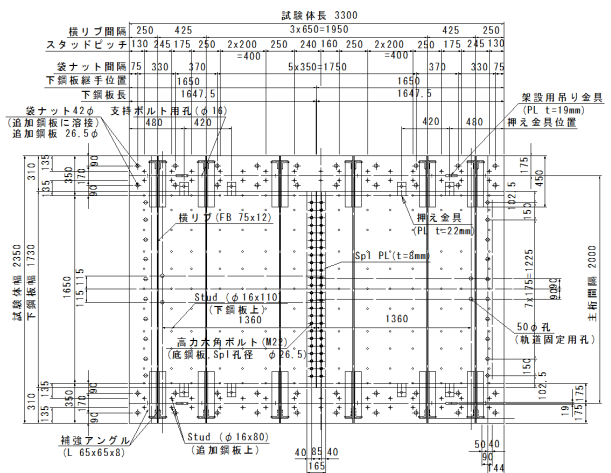
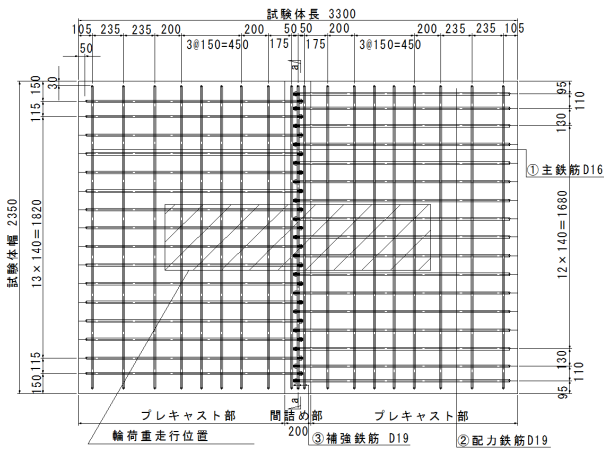
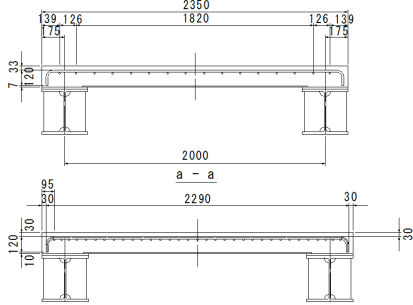


図-1 試験体概要（スタッド・リブ等設置位置）

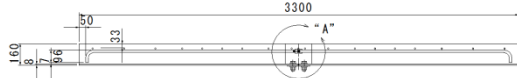
\*1 大阪大学 工学部 (正会員)  
 \*2 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻 助教 工博 (正会員)  
 \*3 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻 修士課程 (正会員)  
 \*4 川田工業 橋梁事業部 係長



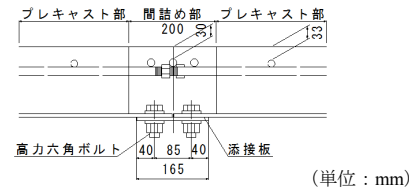
正面図



側面図

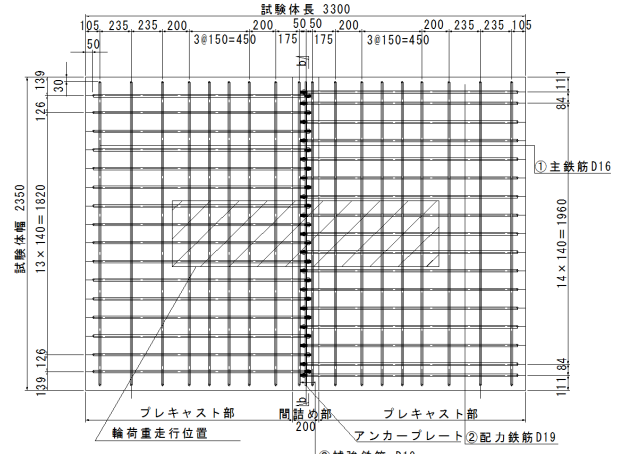


“A”部詳細

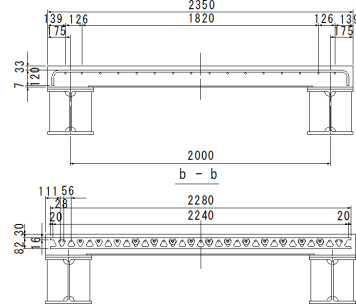


(単位：mm)

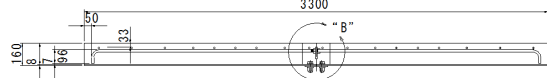
a) モデル1 (鉄筋補強タイプ)



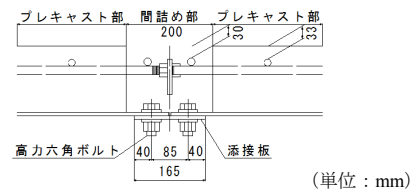
正面図



側面図



“B”部詳細



(単位：mm)

b) モデル2 (アンカープレートタイプ)

図-2 試験体概要

表-1 コンクリート配合

a) プレキャスト部コンクリート

粗骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )
25	48.8	41.9	149

C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤 (kg/m <sup>3</sup> )
286	769	1073	3.06

b) 間詰部コンクリート

粗骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )
20	41.0	39.9	175

C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤 (kg/m <sup>3</sup> )
427	700	1067	8.54

お、表中に示す圧縮強度については、標準（水中）養生結果であり、プレキャスト部は28日強度を、間詰

表-2 コンクリート材料試験結果（試験開始時）

a) モデル1

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
プレキャスト部	36.1	27.7	0.18
間詰部	24.5	25.6	0.20

b) モデル2

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
プレキャスト部	36.1	31.3	0.19
間詰部	24.5	24.9	0.16

部は3時間での強度を示す。

(2) 載荷プログラム

今回の試験では輪荷重の大きさを83kN, 118kN, 147kNの順に段階的に上げた。繰り返し走行回数は83kN, 118kNでは、往復で15回とした。147kNにおける繰り

返し走行回数は、実橋での 100 年間に受ける輪荷重による等価繰り返し走行回数を次式により算出し<sup>4)</sup>、往復で 50 万回とした。(図-7 参照)

$$N_{eq-s} = N_{eq-a} \quad (1)$$

ここで、 $N_{eq-s}$  : 試験体の等価繰り返し回数

$N_{eq-a}$  : 実橋の等価繰り返し回数

また、これらは以下の二式によりそれぞれ表される。

$$N_{eq-s} = (p / p_{sx})^m n \quad (2)$$

ここで、 $n$  : 繰り返し走行回数

$p$  : 載荷荷重 (kN)

$p_{sx}$  : 試験体の押し抜きせん断耐力 (kN)

$m$  : 設計疲労曲線の傾きの逆数の絶対値(12.76)

$$N_{eq-a} = \sum (P_i / P_{sx})^m n_i \quad (3)$$

ここで、 $n_i$  : 100 年間で通行する回数

$P_i$  : 輪荷重 (kN)

$P_{sx}$  : 実橋で適用する際の合成床版の押し抜きせん断耐力 (kN)

$m$  : 設計疲労曲線の傾きの逆数の絶対値(12.76)

### (3) 測定項目・測定方法

床版のたわみを変位計で、配力鉄筋および底鋼板のひずみをひずみゲージにてそれぞれ測定した。また、間詰部とプレキャスト部の境界にパイゲージを設置し、ひび割れの開閉幅を測定した。測定位置は図-3 および図-4 に示す。

測定の際は、支間中央かつ間詰部とプレキャスト部の境界直上に載荷し、測定を行った(図-4 参照)。

## 2.2 試験結果および考察

### (1) 継手部の損傷状況

図-6 に目視検査によるひび割れの発生状況を示す。モデル 1 はプレキャスト部と間詰部の境界上にひび割れ

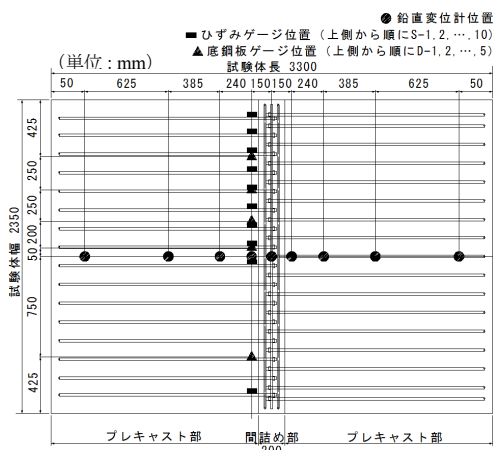


図-3 変位計およびゲージ位置

の発生を確認できたが、プレキャスト床版部へ進展することはなかった。モデル 2 は疎らにひび割れが発生した。

また、パイゲージにより測定した載荷時計測値から除荷時計測値を引いた、プレキャスト床版部と間詰部の境界のひび割れの開閉幅を図-5 に示す。モデル 1、モデル 2 ともに載荷によるひび割れの開きはほとんど見られない(最大で 0.03mm)ことから、境界上に発生したひび割れは乾燥収縮等によるひび割れと推察できる。

### (2) 活荷重たわみ

試験体中央の載荷時計測値から除荷時計測値を引い

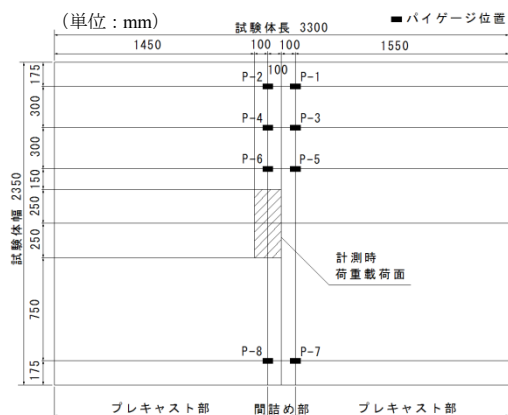
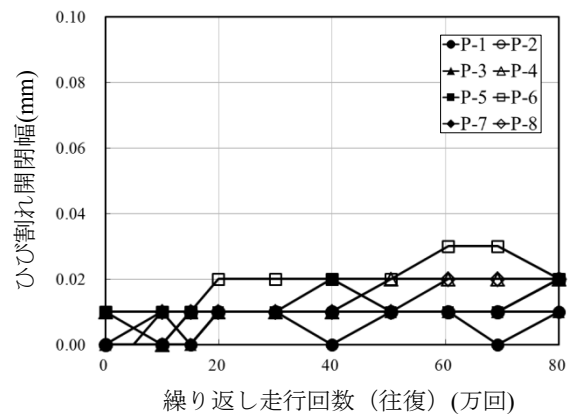
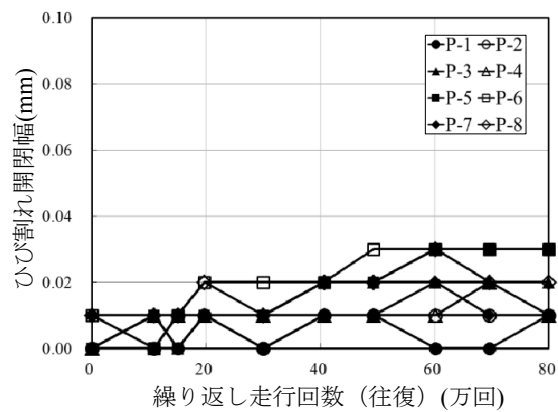


図-4 載荷位置およびパイゲージ位置



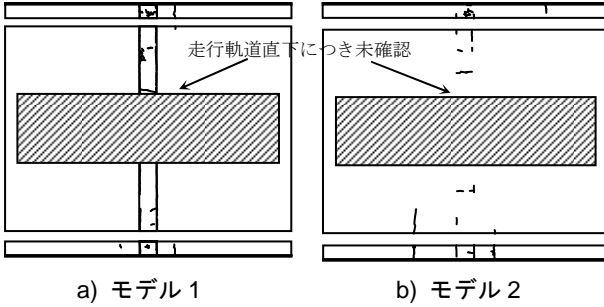
a) モデル 1



b) モデル 2

図-5 ひび割れ開閉幅の経時変化

た弾性たわみ（以降、活荷重たわみと呼ぶ）を、試験中は輪荷重が段階的に変化するため基本輪荷重の 98kN 相当に換算した値の経時変化を図-7 に示す。モデル 1, モデル 2 とともに繰り返し走行回数の増加に伴うたわみの増加はほとんど見られず、試験終了まで健全時に近い値で推移した。両者ともに、疲労破壊へ至る際に見られるたわみの著しい増加が確認されなかった。



a) モデル 1                      b) モデル 2  
図-6 ひび割れ発生状況（試験終了時）

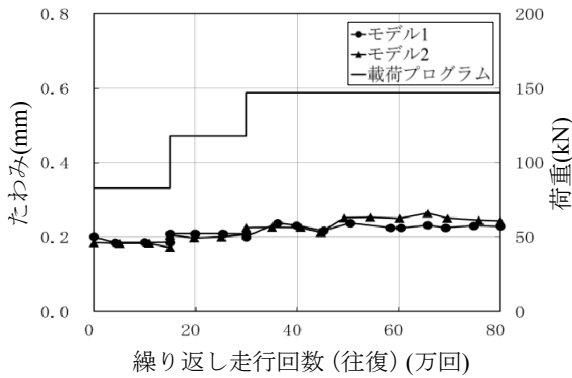
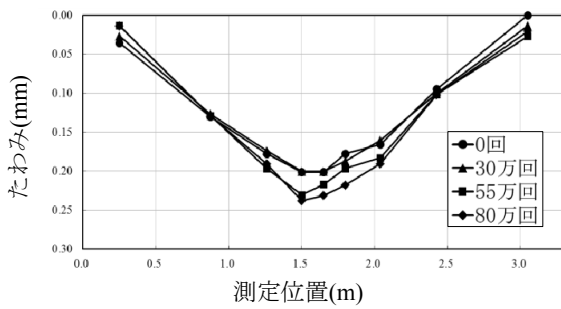
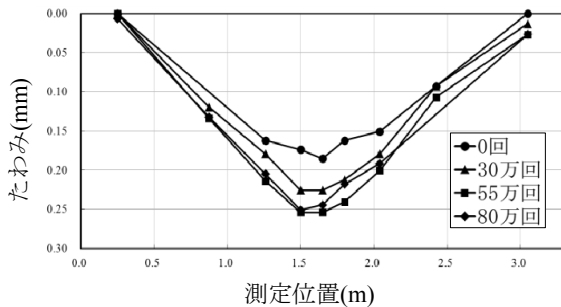


図-7 活荷重たわみの経時変化（98kN 換算）



a) モデル 1



b) モデル 2

図-8 活荷重たわみ分布（98kN 換算）

また、図-8 に活荷重たわみを 98kN 相当に換算した値の分布状況を示す。載荷位置を頂点とした比較的滑らかな変形形状が確認できる。このことから、継手部の存在に起因する床版の不連続な挙動は見られなかったと考えられる。

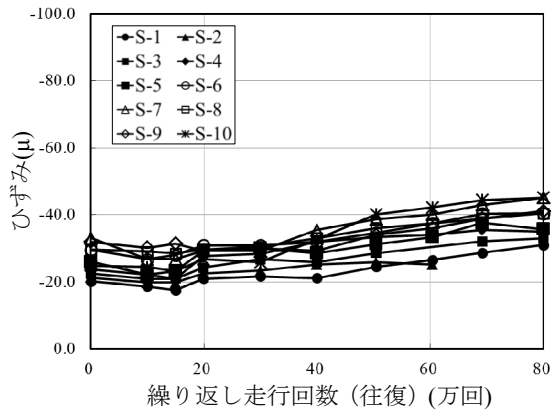
### (3) 鉄筋ひずみ

載荷時計測値から除荷時計測値を引いた配力鉄筋のひずみ（以降、活荷重ひずみと呼ぶ）を、98kN 相当に換算した値の経時変化を図-9 に示す。モデル 1, モデル 2 とともに繰り返し走行回数に伴いいずれの鉄筋ひずみも若干増加しているものの、試験終了時のひずみは全て、鉄筋の設計応力( $\sigma_s=100\text{N}/\text{mm}^2$ )に対応するひずみである  $-500\mu$  を大きく下回る結果となった。

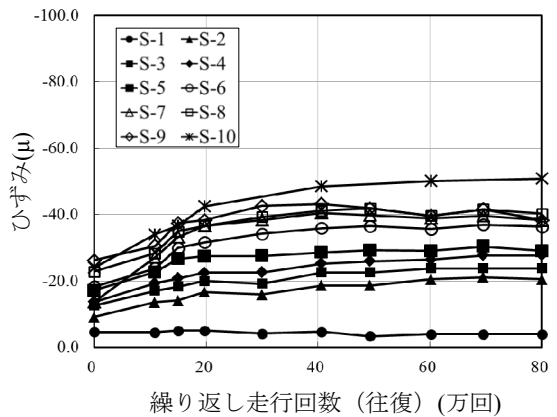
### (4) 底鋼板ひずみ

底鋼板の活荷重ひずみを、98kN 相当に換算した値の経時変化を図-10 に示す。モデル 1, モデル 2 とともに鉄筋ひずみと同様、繰り返し走行回数に伴う著しいひずみの増加は見られなかった。

上記(1)~(4)より、モデル 1, モデル 2 とともに輪荷重の走行による疲労破壊には至らなかったと判断でき、十分な疲労耐久性を有していることが確認された。



a) モデル 1



b) モデル 2

図-9 配力鉄筋の活荷重ひずみの経時変化（98kN 換算）

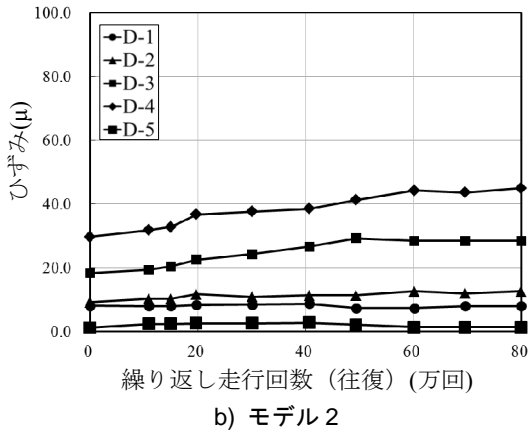
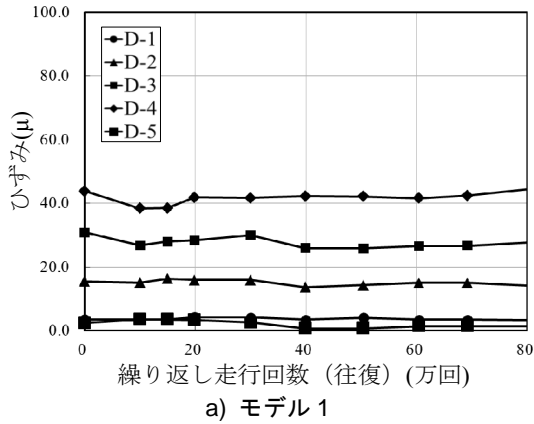


図-10 底鋼板の活荷重ひずみの経時変化 (98kN 換算)

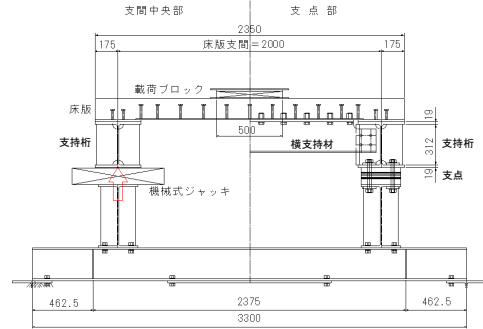
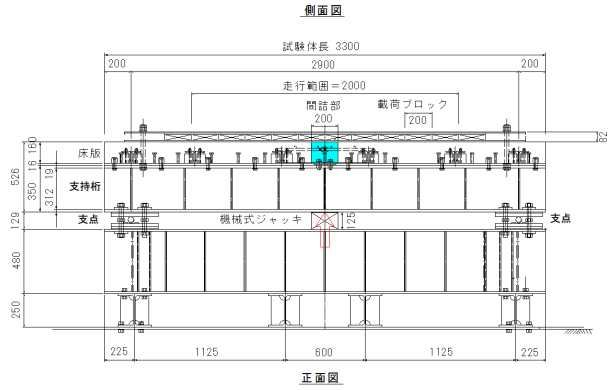


図-11 機械式ジャッキ設置位置

ここで、 $\varepsilon$  : 鉄筋ひずみ

$\sigma$  : 鉄筋応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$E$  : 静弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

本試験では鉄筋ひずみが-300 $\mu$  となった時の荷重である 120kN を採用した。

#### (4) 測定項目・測定方法

2. 輪荷重走行試験の場合と同様に行った (図-3, 図-4 参照)。

#### 3.2 試験結果および考察

##### (1) 継手部の破壊状況

図-12 に目視検査によるひび割れの発生状況を示す。モデル 1, モデル 2 ともにプレキャスト部と間詰部の境界上にひび割れの発生を確認できたが、プレキャスト床版部へ進展することにはなかった。また、プレキャスト床版部と間詰部の境界のひび割れの開閉幅を図-13 に示す。モデル 1, モデル 2 ともに载荷によるひび割れの開きはほとんど見られない (最大で 0.03mm) ことから、負曲げの導入や乾燥収縮等に起因するひび割れと推察できる。

##### (2) たわみ

試験体中央の活荷重たわみを、98kN 相当に換算した値の経時変化を図-14 に示す。モデル 1, モデル 2 はともに繰り返し走行回数の増加に伴うたわみの増加はほとんど見られず、試験終了まで健全時に近い値で推移した。両者ともに、疲労破壊へ至る際に見られるたわみの著しい増加が確認されなかったため、疲労破壊には至らなかったと判断できる。

### 3. 継手部に負の曲げモーメントを導入した輪荷重走行試験

#### 3.1 試験概要

##### (1) 試験体

試験体は 2. 輪荷重走行試験終了後のものを用いた (2.1 (1) 参照)。

##### (2) 载荷プログラム

今回の試験では、輪荷重の大きさを 83kN とし、繰り返し走行回数は、破壊の進展性の有無を確認できる程度である 20 万回 (往復) とした。

##### (3) 機械式ジャッキの荷重設定

本試験では図-11 に示すように支持桁の間詰部直下に当たる位置に設置していた支持用の H 鋼を取り除き、その代わりに機械式ジャッキを設置し、床版に対して鉛直突き上げの荷重を与え、継手部に負の曲げモーメントを発生させた状態で輪荷重走行試験を行った。

実橋の負の曲げモーメントを受ける箇所配力鉄筋の応力計測を行った際、設計応力の 60% 程度であったことから、今回は配力鉄筋の設計応力 ( $\sigma_s=100\text{N/mm}^2$ ) の 60% (60N/mm<sup>2</sup>) を負の曲げモーメント導入時の配力鉄筋応力とした。次式より、配力鉄筋ひずみを算出し、その所定のひずみが得られた時の荷重を採用する。

$$\varepsilon = \sigma / E \quad (4)$$

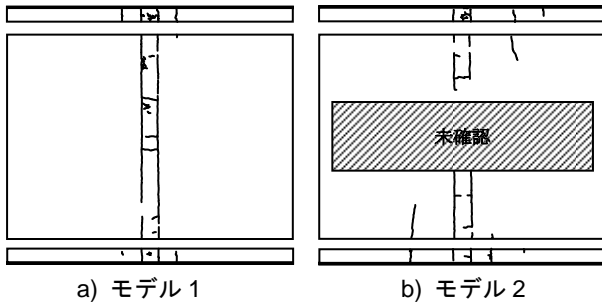


図-12 ひび割れ発生状況 (試験終了時)

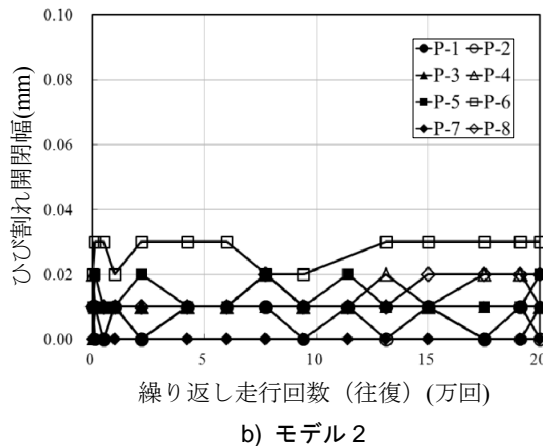
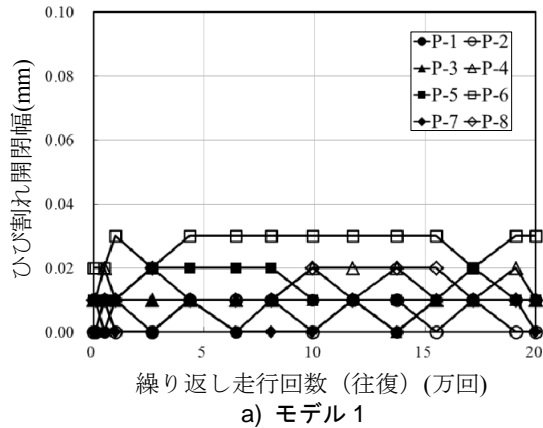


図-13 ひび割れ開閉幅の経時変化

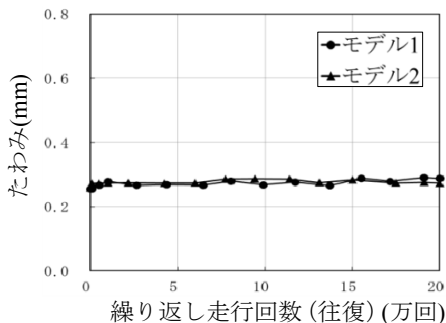


図-14 活荷重たわみの経時変化 (98kN 換算)

また、図-15 に活荷重たわみを 98kN 相当に換算した値の分布を示す。载荷位置を頂点とした比較的滑らかな変形形状が得られた。このことから、継手部の存在に起因する床版の不連続な挙動は見られなかったと考えられる。

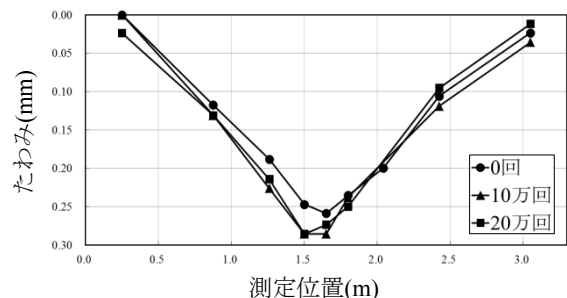
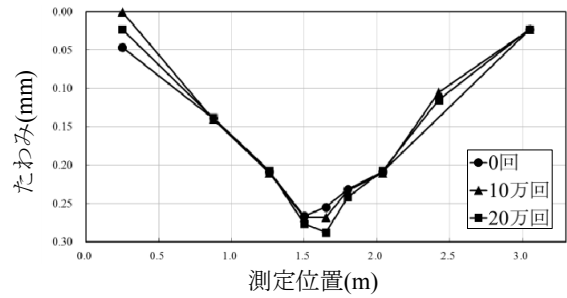


図-15 活荷重たわみ分布 (98kN 換算)

#### 4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 今回の载荷条件においては、モデル1、モデル2ともに試験終了時まで健全時に近い状態を保っており、輪荷重の走行による疲労破壊には至らず、十分な疲労耐久性を有していることが確認された。
- (2) 継手部の存在に起因する床版の不連続な挙動は見られなかった。
- (3) 継手部に負の曲げモーメントを導入した輪荷重走行試験により、モデル1、モデル2ともに継手部が中間支点上に来た場合でも、過度なひび割れの発生等、構造上問題が生じないことが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 伊勢田敏：道路橋の予防保全に向けた有識者会議の提言を受けて、土木学会第 11 回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，pp.1-20，2008.8
- 2) 鳥山裕史，松井繁之，水野 浩，街道 浩：プレキャスト合成床版に適用する合理化継手のひび割れ性状，土木学会第 65 回年次学術講演会論文集，2010.9
- 3) 水野 浩，松井繁之，鳥山裕史，街道 浩：プレキャスト合成床版の合理化継手構造の継手挙動，土木学会第 65 回年次学術講演会論文集，2010.9
- 4) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，pp.47-61，2007