

論文 定着用箱抜き部を有するプレキャスト PC 床版の輪荷重走行試験

渡瀬 博^{*1}・阿部 浩幸^{*2}・手塚 正道^{*3}

要旨：既設鋼橋の取替PC床版工事中において、迂回路がなく幅員方向を分割して片車線ずつ施工を行う場合、分割した幅員部の目地をPC構造で接続するためには、多数の定着用箱抜き部を有する構造となる。本稿では、多数の箱抜き部を有するプレキャストPC床版の疲労耐久性を確認するために、輪荷重走行試験を行い、道路橋床版として十分な疲労耐久性を確認したので報告する。

キーワード：プレキャスト PC 床版、箱抜き、疲労耐久性、輪荷重走行試験

1. はじめに

既設鋼橋の取替 PC 床版工事で、迂回路が無く全面通行止めが許されない施工条件下においては、工場で製作されたプレキャスト PC 床版を幅員中央部付近で橋軸方向に分割し、片車線ずつの施工を行う。幅員方向の分割により生じる縦目地部の接合方法にはいくつかあるが、ひび割れを許容しない PC 構造で接合することで、一体型の PC 床版と同等の高い疲労耐久性が期待できる。プレキャスト床版の接合方法としては、予めプレキャスト床版上面に緊張用の箱抜きを設け、現場では短い PC 鋼棒をギアボックス（写真-1）とトルクレンチを用いて緊張する方法がある（図-1 参照）。このような構造形式は、曲げモーメントに比べ、

せん断力が卓越する位置に多数の定着用箱抜きが必要となるため、疲労による押抜きせん断破壊に対する安全性を確認する必要がある。

本稿では、輪荷重走行試験を実施し、この構造形式の疲労



写真-1 ギアボックス

耐久性について確認したのでここに報告する。

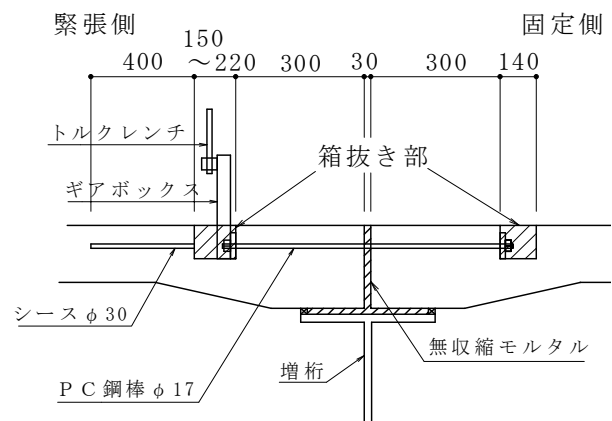


図-1 幅員中央部のPC接合例

2. 実験の概要

2.1 試験体形状と種類

試験体は2方向のPC版として製作した。設計条件は支間3mの連続版として、道路橋示方書¹⁾（以下道示と呼ぶ）の設計曲げモーメントに対してフルプレストレス（活荷重作用時で床版上下縁の引張応力度が 0 N/mm^2 ）で設計した。コンクリート設計基準強度は 50 N/mm^2 とし、床版厚は2方向PC鋼材の配置上の制約から最小となる200mmとした。PC鋼材を図心配置し、プレストレスは橋軸直角方向で 6 N/mm^2 、橋軸方向で 4 N/mm^2 とした。試験体は表-1の特徴をもつ3種類の版を図-2のようにPC鋼棒φ26で緊張接

*1 オリエンタル建設（株）技術研究所 （正会員）

*2 オリエンタル建設（株）技術研究所 工修 （正会員）

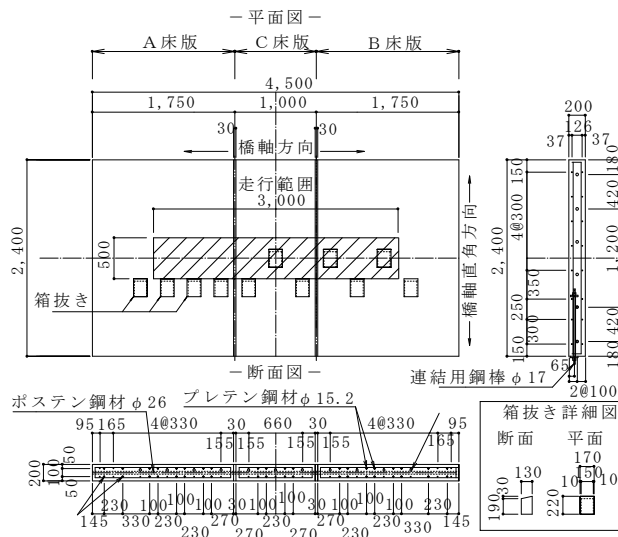
*3 オリエンタル建設（株）第一技術部 工博 （正会員）

合し、1枚の版として走行試験を実施した。A床版は従来の施工方式を模擬し、箱抜きを直線的に配置したものである。B床版は打継面が一断面に集中するのを避け、箱抜きを千鳥配置したものである。C床版は千鳥配置に加え、箱抜きの打継面に、遅延剤を塗りチップング処理を施したものである。

表－1 試験体の特徴

	箱抜き配置	打継面の処理
A床版	直線配置	処理なし
B床版	千鳥配置	処理なし
C床版	千鳥配置	チップング処理

(表内の打継面とは、コンクリートと箱抜き部のあと埋めモルタル間の打継面をさす)



図－2 試験体図面

2.2 使用材料

(1) コンクリート

プレキャスト部材であるコンクリートの物理的特性を表－2に示す。

(2) モルタル

床版の接合目地に用いるモルタルと、箱抜き部のあと埋めモルタルの物理的特性を表－3に示す。

(3) 鋼材

使用鋼材の力学的特性と、導入時の緊張力を表－4に示す。

表－2 コンクリートの物理的特性

		A床版	B床版	C床版
圧縮強度 N/mm ²	試験前	67.9	67.6	59.2
	試験後	69.8	69.0	60.5
	平均	68.9	68.3	59.9
弾性係数 N/mm ²	試験前	36.7	37.3	35.7
	試験後	37.1	37.9	36.4
	平均	36.9	37.6	36.1
引張強度 N/mm ²	試験前	4.88	4.85	4.81
	試験後	4.47	4.58	4.63
	平均	4.68	4.72	4.72

表－3 モルタルの物理的特性

		目地用モルタル	箱抜き用モルタル
圧縮強度 N/mm ²	試験前	63.4	66.0
	試験後	67.7	71.6
	平均	65.6	68.8
弾性係数 kN/mm ²	試験前	28.4	28.2
	試験後	29.7	29.5
	平均	29.0	28.9

表－4 使用鋼材の力学的特性と導入時の緊張力

鋼材種別	耐力 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	弾性係数 kN/mm ²	導入時 緊張力
D13	347	583	182.6	—
1S15.2	1788	1864	212.8	1398kN/m
φ26	1039	1126	201.0	372kN
φ17	1079	1145	201.0	175kN

2.3 載荷方法

載荷装置には(独)土木研究所所有の輪荷重走行試験機(写真－2)を使用した。支持条件は長辺(橋軸直角方向)を単純支持とした。短辺(橋軸方向)は実橋の一方向版としての挙動を再現させるためと、ひび割れ発生による短辺側の急激な曲げ剛性の低下にともなう実橋の破壊形態と異なった早期曲げ破壊防止のため、適切な剛性を



写真－2 輪荷重走行試験機

持つ端横桁による弾性支持とした。

実橋の箱抜き部は、曲げを負担する鋼材量については箱抜きのない床版と同等であるが、せん断力や衝撃を負担するコンクリートについては床版の上縁側に打継面をもつ構造である。実橋の輪荷重走行位置については、箱抜きから離れた支間中央部を走行するより、支点付近の箱抜き脇を走行する載荷状態が、せん断、衝撃、曲げにおいて厳しい載荷状態となるため、荷重と箱抜きの位置関係は図-2 斜線部のように箱抜き脇とした。また、実橋の箱抜き位置は支間中央より支点側にあり偏心載荷された状態であるが、本試験方法で偏心載荷を行った場合、過去の性能照査試験²⁾に比べ、せん断力が過大になり、過剰な照査になる可能性があるため支間中央部走行にて試験を実施した。実橋での支点付近に配置された箱抜き部に作用する最大曲げモーメントは、3mの単純梁として算出した場合 32.4kNm となる。一般的な床版の性能照査試験では、道示により 3mの連続版の支間中央部曲げモーメントは、単純版の 2.5m 支間のそれに相当するとして、2.5m 支間にて試験を行うことが多いが、本試験では支間中央でなく箱抜き部を対象としているため、2.5m 支間の中央付近では単純梁計算で 50.0kNm と過大になる。ここでは 1.8m 支間、作用モーメント 32.5kNm として実橋の曲げモーメントに合わせた載荷支間とした。

走行ステップを図-3 に示す。初期荷重は、文

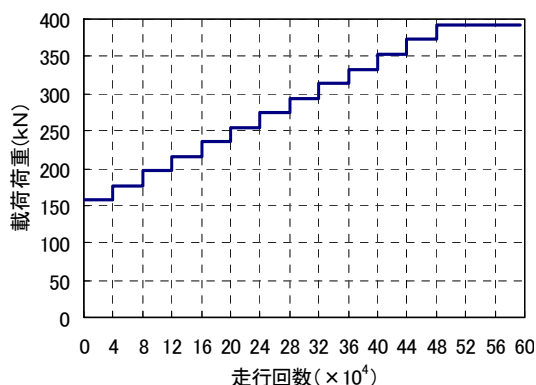


図-3 走行ステップ

献 3 に従い設計の輪荷重 100kN に対し、衝撃を考慮した係数 1.3 と、安全を考慮した係数 1.2 を乗じた 157kN とした。1 ステップ毎に 19.6 kN (2tf) 増加する階段載荷を 14 ステップ迄行った。(ただし、試験機の管理上限荷重が 400kN であるため、最終ステップは既往の研究⁴⁾より等価走行回数を算出し、412kN-4 万回走行と等価となる 392kN-7.5 万回走行として行った。) 各走行ステップの終了後には図-4 に示す各床版の走行域中央位置においてそれぞれ走行荷重迄の静的載荷を行った。

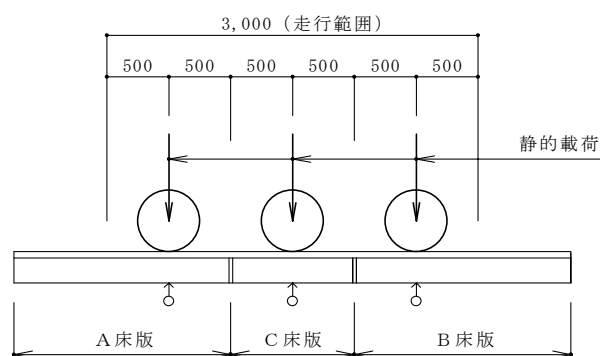


図-4 静的載荷位置 (側面図)

2.4 測定項目

以下の項目について測定を行った。

- ・鉛直方向変位 (静載荷時)
- ・コンクリートのひずみ (静載荷時)
- ・ひび割れ進展状況 (静載荷時)
- ・疲労走行回数

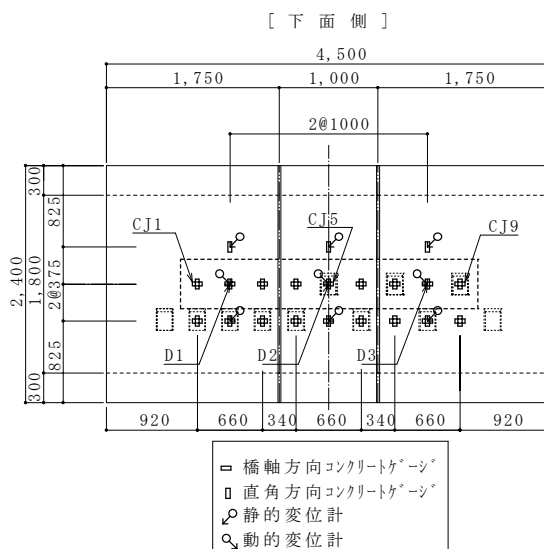


図-5 変位計、ひずみゲージ位置図

計測位置を図-5に示す。計測間隔は、輪荷重の走行回数が0, 1万, 2万, 4万以降4万回毎に各床版中央3箇所について計測し, 100, 300, 1000, 3000, 6万以降の4万回毎については, C床版中央部1箇所について計測を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 疲労耐久性について

いずれの床版も59.5万回走行において破壊には至らなかった。ただしA, B, C床版は3回に別けて打設を行っているため, コンクリートの圧縮強度に差が生じている。コンクリートの圧縮強度は疲労せん断耐力との相関性が高いことが知られており⁵⁾, A, B, C床版の疲労耐久性を比較する上では補正が必要と考えられる。また, 短辺側に配置されたA, B床版については, 中央のC床版に比べ, 端部横桁の拘束による影響を受けている可能性がある。そこで, 以下について検討を行った。

(1) コンクリート圧縮強度の影響

コンクリート標準示方書⁶⁾の設計せん断強度式によるとコンクリートのせん断強度は圧縮強度の3乗根に比例するため, $\sqrt[3]{(\text{コンクリートの設計基準強度} / \text{コンクリートの実圧縮強度})}$ を載荷荷重に乗じることで補正を行った²⁾。補正値を表-6に, 補正荷重を実載荷重に等価換算した走行回数⁴⁾と, 土木研究所で行われた平成8年道示に従って製作されたRC供試体の破壊回数²⁾を図-6に示す。

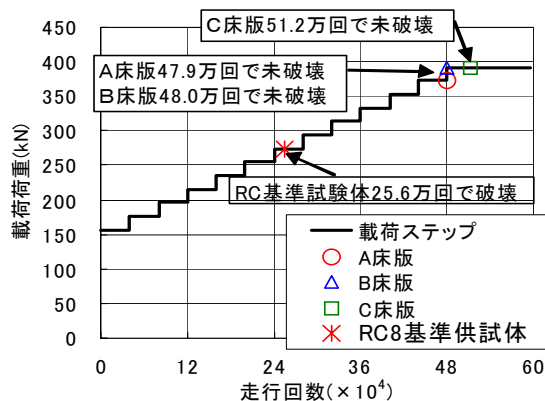


図-6 等価換算した走行回数

表-6 コンクリート実強度差の補正値

試験体	試験時強度 N/mm ²	補正値
A 床版	68.9	0.90
B 床版	68.3	0.90
C 床版	59.9	0.94

(2) 端部横桁の影響

中央側のA床版と短辺側のB, C床版では端部横桁による影響が異なることが予想される。ここではひび割れ発生前の走行時における, 各床版の荷重負担率について検討する。短辺側の床版が横桁の拘束による影響を受けた場合, 床版下面に発生する正の曲げモーメントが低減されると考えられる。平面保持の仮定では曲げモーメントと比例関係にある橋軸方向のコンクリートひずみについて着目した。各床版の静的載荷時のひずみ分布から, 中央のC床版に対する各床版の荷重負担率を図-7に示す。試験装置のなじみと床版の疲労損傷を考慮し, 1万回走行後の静的載荷時における下縁側コンクリートのひずみ値を用いた。走行初期においては短辺側のA, B床版は中央部のC床版と比較すると, 8割程度の曲げモーメントの履歴を受けたものと考えられる。等方性無限版として算出した道示の設計モーメント式では, 単純版のモーメントに対し連続版を想定した実橋の設計モーメントについては2割の低減を行っていることなどから, 本試験における作用モーメントは, 2割低減して考えた場合, 設計値に対してC床版で2

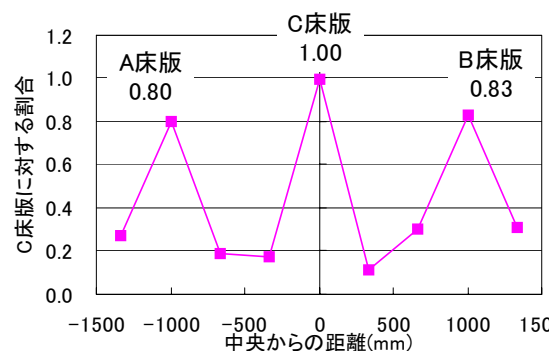


図-7 1万回走行におけるコンクリート橋軸方向ひずみからみた各床版の荷重負担率

割程度の増、A、B 床版ではほぼ同等であったと考えられる。

3.2 たわみ挙動

各床版の走行位置中央の変位（図-5 の D1～3）と走行回数（載荷荷重）の関係を図-8 に示す。静的載荷時の走行回数と載荷荷重は最終ステップを除いて比例関係にあるため、床版の剛性が弾性範囲内にあればグラフは直線的になる。既往の研究²⁾では破壊の接近に伴いたわみの急増が確認されている。A、B、C 床版の何れも、最終段階まで直線的であることから、破壊までには余裕があるものと考えられる。

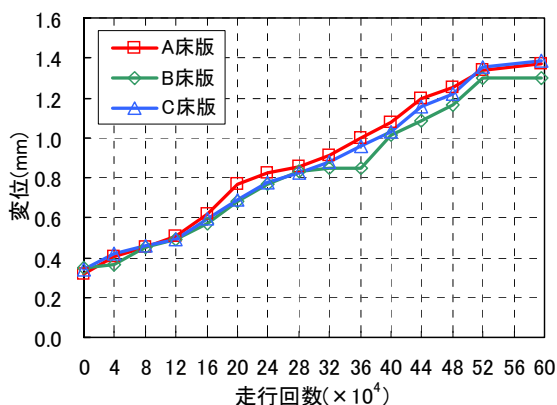


図-8 たわみと走行回数の関係

3.3 ひび割れ状況

4 万回走行時の上面側のひび割れ状況を図-9 に示す。A、B 床版の箱抜き部周縁に沿って、C 床版では箱抜き内部においてひび割れが確認された。A、B 床版では打継面の処理をせず打ち継いでいるため、床版本体および後打ちモルタルの引張強度に比べ、打継面の引張強度が劣るためと考えられる。C 床版については、モルタルのせん断強度がチップング処理を施した打継面のせん断強度より劣るためと考えられる。

図-10 に 20 万回走行時の下面側のひび割れ状況を示す。A、B 床版では、目地近くの箱抜き位置近傍において、ひび割れが確認された。C 床版の下面側については、36 万回走行後において図-11 に示すひび割れが確認された。

図-12 に走行試験終了後の上面側のひび割れ

状況を示す。箱抜き部と目地部において僅かにひび割れの発生が確認された程度で、床版本体への影響はみられなかった。

図-13 に走行試験終了後の下面側のひび割れ

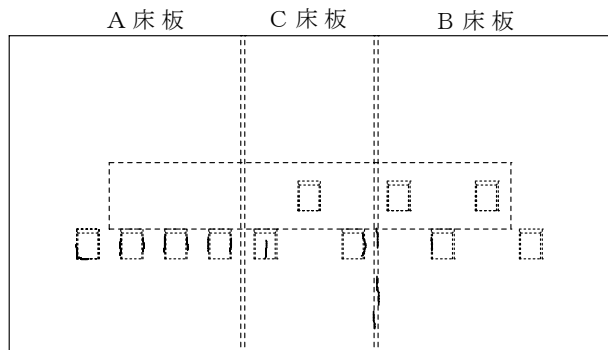


図-9 上面ひび割れ図（4 万回走行時）

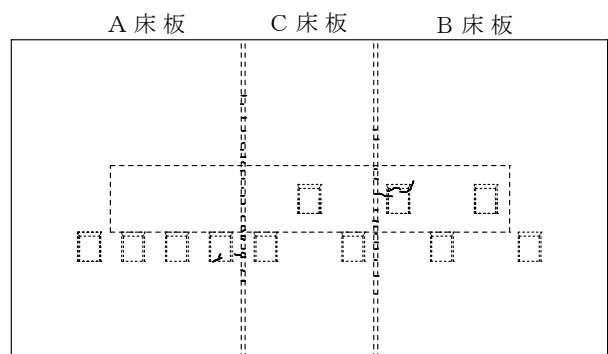


図-10 下面ひび割れ図（20 万回走行時）

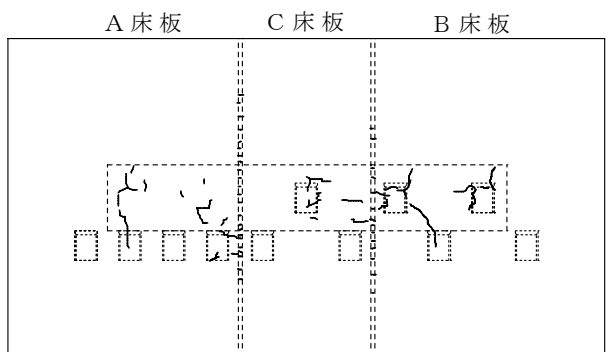


図-11 下面ひび割れ図（36 万回走行時）

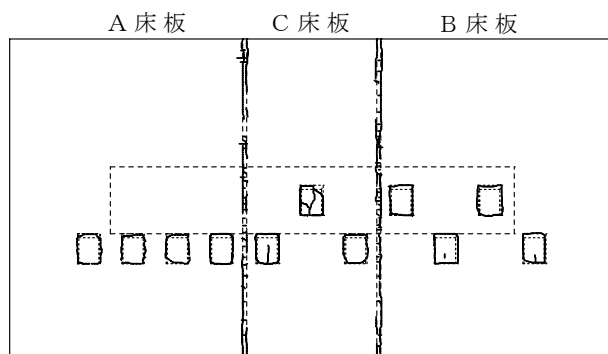
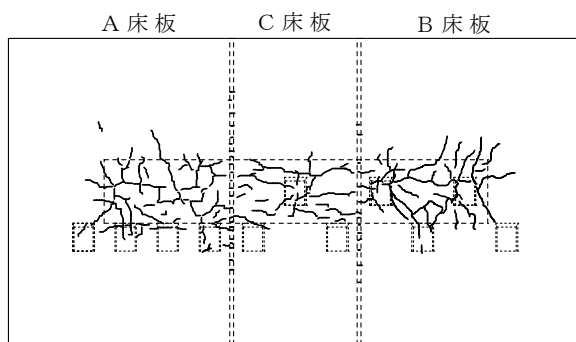


図-12 上面ひび割れ図（59.5 万回走行時）

状況を示す。載荷時には2方向のひび割れが確認されたが、ひび割れの網細化にまでは進展しなかった。除荷時はプレストレスの効果によりひび割れが閉じ、確認できなかったことから、一般的にRCの床版でみられる、こすり合わせによるひび割れの進行性は確認されなかった。箱抜き部の影響については、走行位置に対しほぼ左右対称にひび割れが進行したことなどから、箱抜きの存在による疲労破壊への進展の可能性は確認されなかった。



図－13 下面ひび割れ図（59.5万回走行時）

4. まとめ

本実験の範囲において以下のことが言える。

- (1) A, B, C床版は59.5万回走行において、未破壊で試験を終了した。いずれの床版も荷重の大きさとたわみの関係が直線だったため、床版剛性は弾性範囲内と判断できる。
- (2) 箱抜き部の配置については、A, B床版のひび割れ進展状況にあまり差が無く、箱抜きを330mm間隔で配置した場合では、疲労耐久性への影響は認められなかった。
- (3) 打継部のチッピング処理については、初期のひび割れ性状に多少の違いはあったものの、疲労耐久性の観点から差は認められなかった。

5. おわりに

今回試験を行った程度の箱抜きの集中においては、疲労耐久性上の問題はなかったが、今後将来的な水分の浸入を防止するといった品質向

上の観点からは、打継部、後打ち部などのプレストレスの入らない弱点部分の強化が構造物全体の耐久性を高めると考えられる。打継部については、チッピング処理や接着剤の使用を、箱抜き上面には防水に対して配慮するなどの対策が考えられる。耐久性を考慮した設計施工を行うことで、構造物としてバランスのとれた耐久性の向上を図っていきたい。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ 鋼橋編，pp.259，平成14年3月
- 2) 国土交通省土木研究所，他：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その5）－評価編－，国土交通省土木研究所，平成13年3月
- 3) 土木学会鋼構造委員会：道路狭床版の設計の合理化と耐久性の向上，pp7，2004.11
- 4) 安松，長谷，篠原，長瀬：交通荷重実態を考慮した鋼橋床版の疲労設計に関する検討，第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp.77-82，1998.11
- 5) 松井繁之：橋梁の寿命予測，安全工学vol.30，No.6，pp.432，1991
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書[構造型能照査編]，(社)土木学会，pp.73，2002.3