

報告

半断面床版取替に対応可能なプレキャスト PC 床版の接合目地構造の検討

畠山繁忠*, 野口彰宏**, 村岡史朗**, 渡邊絵美***, 正木守****, 左東有次*****

*博士 (工学), (株) 富士ピー・エス, 技術センター いわき研究所
(〒970-1144 福島県いわき市好間工業団地 16 番地)

**中日本高速道路 (株), 八王子支社 (〒192-1171 東京都八王子市宇津木町 231 番地)

*** (株) 富士ピー・エス, 技術センター 設計グループ (〒136-0071 東京都江東区亀戸 2 丁目)

**** (株) 富士ピー・エス, 技術センター いわき研究所
(〒970-1144 福島県いわき市好間工業団地 16 番地)

*****博士 (工学), (株) 富士ピー・エス, 技術センター (〒136-0071 東京都江東区亀戸 2 丁目)

道路橋において、劣化・損傷が生じた RC 床版をプレキャスト PC 床版に取り替える床版取替工事が全国各地で精力的に進められており、近年では重交通路線における床版取替工法の開発が求められている。

そこで著者らは、半断面施工に対応したプレキャスト PC 床版の橋軸直角方向接合工法を開発し、輪荷重走行試験を行った。その結果、所要の載荷後も床版は連続性を有しており、100 年相当の疲労耐久性を有することを確認した。

キーワード: 床版取替え, プレキャスト PC 床版, 半断面施工, 橋軸直角方向接合

1. はじめに

我が国の道路橋を概観するに、建設後 50 年を超える 2m 以上の橋梁の割合は 40%を超えてきており、これら老朽化した道路橋の大規模更新・修繕事業が各地で取り組まれている。中でも道路橋の床版部において、劣化・損傷が生じた RC 床版を耐久性に優れたプレキャスト PC 床版 (以下、PCaPC 床版) に取り替える床版取替工事が数多く実施されている。近年では重交通路線における床版取替工事の需要が増えており、工事規制による社会的影響を最小限にするため、半断面施工に対応した床版取替工法が求められている。床版取替工事における半断面施工工法の事例として、マッチキャスト部材として製造された PCaPC 床版を、ポストテンション方式により橋軸直角方向に接合する工法¹⁾や、間詰部に超高強度繊維補強コンクリートを適用し、橋軸方向と同様に橋軸直角方向も RC 接合とした工法²⁾がある。

著者らは半断面施工に対応可能な PCaPC 床版の接合方法として、マッチキャスト工法よりも現場における床版架設時の橋軸直角方向への施工誤差に対する裕度を持たせることを目的に、ポストテンション方式で橋軸直角方向に接合する PCaPC 床版で、30mm の目地幅を有する橋軸直角方向接合目地構造を開発した。本稿は、2 種類の接合目地構造を有する実規模試験体を用いて、輪荷重走行試験による疲労耐久性を確認した結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 接合目地形状および載荷位置の検討

(1) 接合目地形状の検討

接合目地の形状詳細図を図-1 に示す。接合目地の形状として、セグメント桁などで一般的に適用されるコンクリートせん断キーで、幅 30mm のクリアランスを設けたもの (以下、オスメス型)、およびプレキャストコンクリート部をどちらも凹形状とし、モルタル部を凸形状としてせん断キーとしたもの (以下、メスメス型) の 2 種類を検討した。

検討は、まずせん断キーに作用するせん断力を数値解析ソフト FEMLEEG Ver.11 を使用して線形 FEM 解析により検証した。FEM 解析モデルを図-2 に示す。解析の結果、活荷重 100kN 作用時にせん断キー一ヶ所あたり 10.78kN 作用することを確認した。次に、せん断キーに生じるせん断応力度が、設計基準強度 50N/mm² のコンクリートが負担できる平均せん断応力度の制限値 0.65N/mm² 以下³⁾であることを確認した。せん断応力度着目位置を図-3 に、各せん断キーに生じるせん断応力度の検討結果を表-1 に示す。

上記検討により、各接合目地の構造寸法を決定した。なお、橋軸直角方向接合用の PC 鋼材を通す位置では、シースのカプラーを接続する作業スペースの確保のため、上縁側の目地幅を 90mm とした。

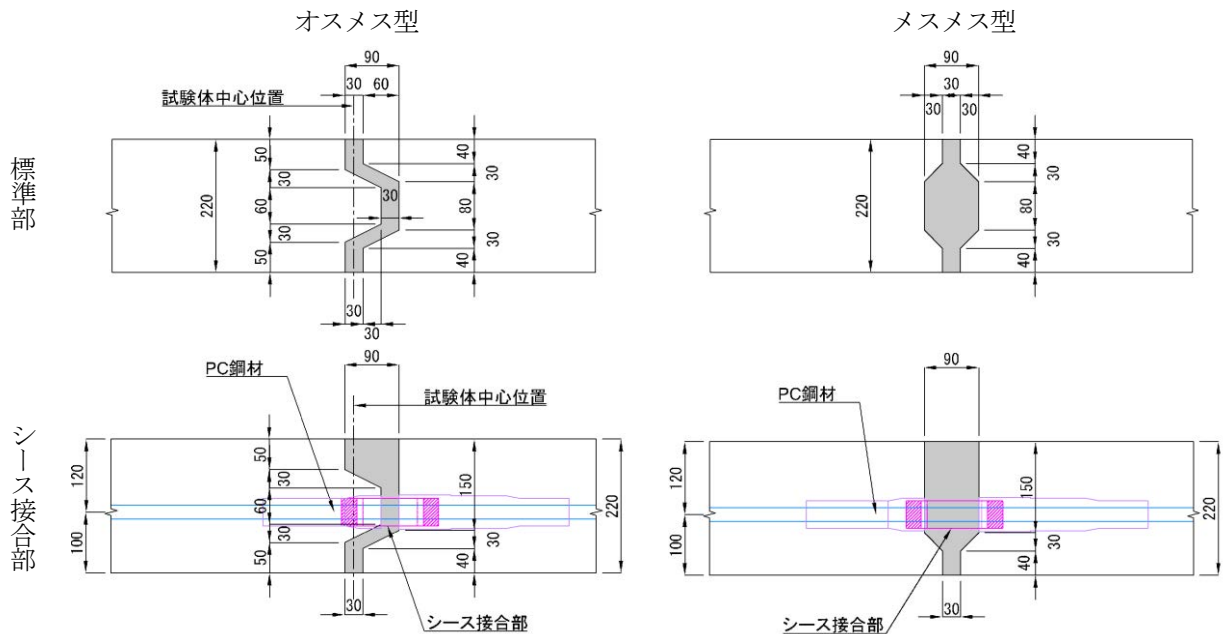


図-1 接合目地形状詳細図 (単位: mm)

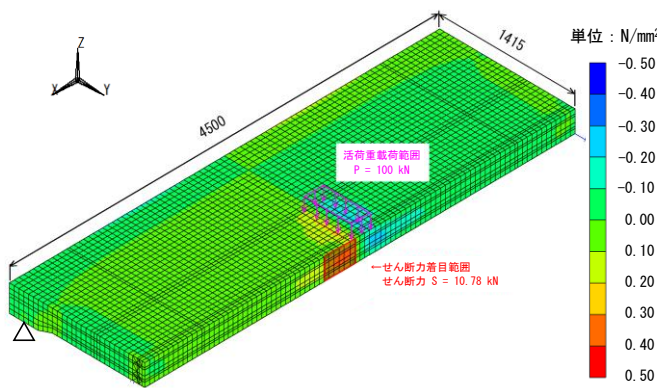


図-2 FEM 解析モデル

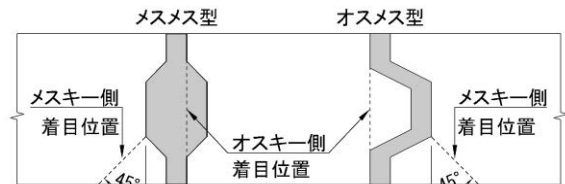


図-3 せん断応力度着目位置

表-1 せん断応力度検討結果 (単位: N/mm²)

	オスメス型	メスメス型
オスキー側	0.39	0.33
メスキー側	0.40	0.40

表-2 輪荷重載荷位置ごとの最大主応力度

載荷位置図			
載荷位置	床版支間中央部	目地左端側	目地右端側
最大主応力度 (N/mm ²)	6.12	5.46	5.57

(2) 輪荷重載荷位置の検討

輪荷重載荷位置は接合目地形状および接合キーをモデル化した FEM 解析を行い、載荷荷重 100kN の載荷位置を表-2 のように変えて接合目地部に生じる最も大きい応力を最大主応力度により評価した¹⁾。その結果、床版支間中央部で載荷した場合に最も大きい最大主応力度を示したため、載荷位置は床版支間中央部とした。

2.2 試験体製作

試験体形状は NEXCO 試験方法 第 4 編 構造関係試験方法⁴⁾ (以下、NEXCO 試験法) の試験法 442 に準じて、

長さ 4.5m、幅 2.8m、床版支間中央部における床版厚を 220mm とした。試験体詳細図を図-4 に示す。製作順序は半断面施工を行う現場と同様の施工順序となるよう製作した。まず、設計基準強度 50N/mm² のコンクリートを用いて 4 枚の RC 床版を製作後、橋軸方向接合部 (以下、横目地部) および橋軸直角方向接合部 (以下、縦目地部) を高圧洗浄水により目荒らしを行った。次に、1 次施工の床版である L1 床版および R1 床版 2 枚のループ継手を有する横目地部 Y1 に設計基準強度 50N/mm² のコンクリートを打設した。なお、横目地部のコンクリートには膨張材を使用した。コンクリート硬化後、L1 床版と L2 床

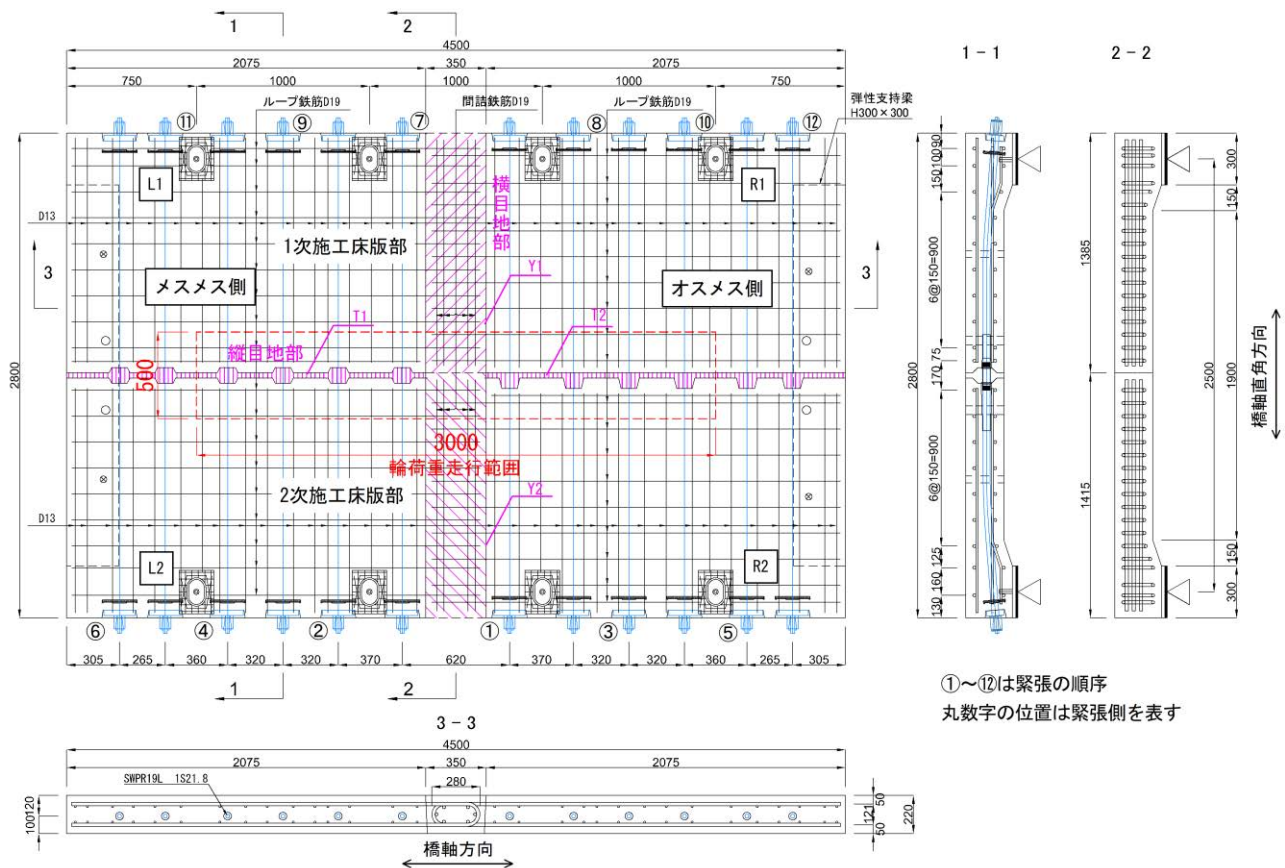


図-4 試験体詳細図 (単位: mm)

表-3 材料物性値 (単位: N/mm²)

材料	適用	圧縮強度	降伏強度	引張強度	ヤング係数	備考
コンクリート	床版部	60.3	—	—	34000	打設後29日
	横目地部*	53.7	—	—	—	打設後25日, 膨張材20kg/m ³ 添加
モルタル	縦目地部	51.3	—	—	25500	打設後21日, 超速硬型
鉄筋	床版・横目地部	—	401	554	200000**	SD345, エポキシ樹脂塗装鉄筋
PC鋼材	床版部	—	1764	1940	193200	SWPR19L, 1S21.8

*Y1, Y2で強度の低い方(Y2)を掲載 **規格値

版, R1 床版と R2 床版それぞれの縦目地部 T1, T2 に超速硬型セメント系無収縮モルタルを打設した。モルタル硬化後に 2 次施工の床版である L2 床版および R2 床版のループ継手を有する横目地部 Y2 に Y1 と同様のコンクリートを打設した。横目地部が所定の強度を発現した後に、橋軸直角方向にポストテンション方式で PC 鋼より線 1S21.8 を図-4 の①~⑫の順序で緊張を行った。緊張力は活荷重作用時において床版支間中央部でフルプレストレス (下縁側で 0.44N/mm²) となるよう導入した。最後に、緊張後にグラウトを注入して 4 枚の RC 床版を一体化した。使用した各材料の物性値を表-3 に示す。なお、コンクリートとモルタルの物性値は輪荷重走行試験開始時の結果を示している。鉄筋は全て SD345 のエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。

2.3 試験方法

(1) 輪荷重走行試験機

試験は(株)G&U技術研究センターが保有する輪荷重走行試験機を用いて行った。試験状況を写真-1 に示す。試験機はクランク式であり、試験機の車輪は直径 0.7m, 幅 0.5m の鉄輪で、走行時の最大荷重は 490kN である。また、回転速度は最高 15 回転分であり、試験は 10~15 回転分の速度で行った。

(2) 試験条件および計測項目

試験は NEXCO 試験法に準じて行い、支持条件は支間長 2.5m の単純支持とし、載荷範囲は図-4 の赤破線で囲まれた長さ 3.0m×幅 0.5m の範囲を輪荷重の走行範囲とした。載荷荷重ステップと走行回数関係を図-5 に示す。載荷条件は、まず STEP1 として耐用年数 100 年相当

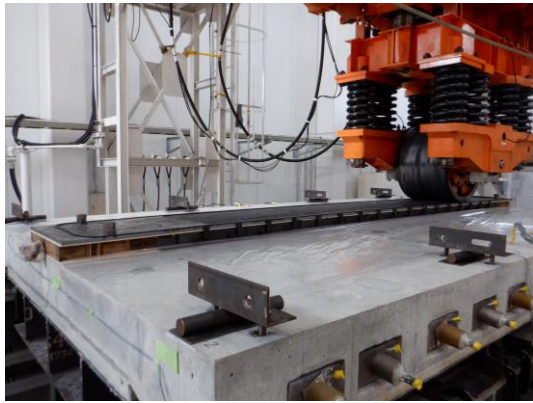


写真-1 輪荷重走行試験状況

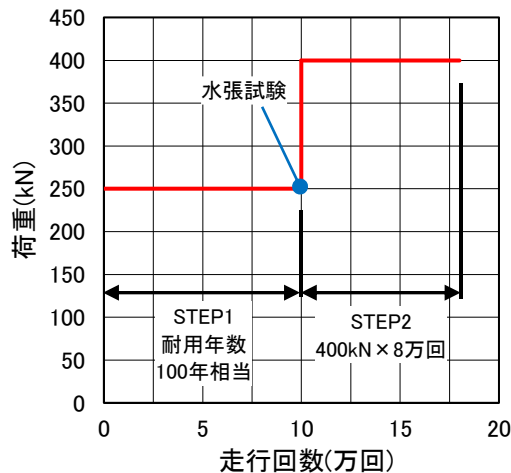


図-5 載荷荷重ステップと走行回数

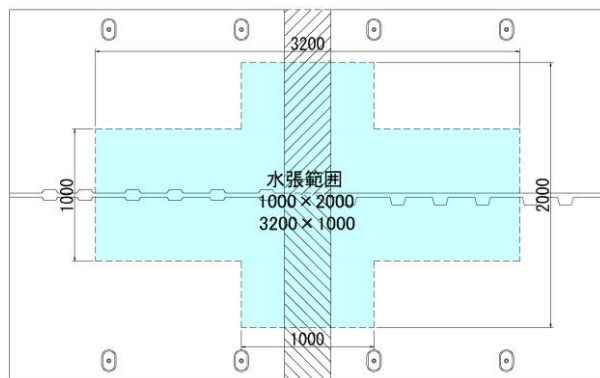


図-6 水張試験範囲 (単位: mm)

9)とされる載荷荷重 250kN×10 万回載荷後に水張試験を行った。水張試験の範囲を図-6 に示す。水張試験では、高さ 10mm のスポンジで枠を形成し、5mm 程度の水深となるよう水を満たし、6 時間静置することで床版下面への漏水の有無を確認した。静置後目地部からの漏水の有無を確認した後に水を除去し、その後 STEP2 として 400kN×8 万回載荷を行った。STEP2 の載荷回数および載荷荷重について、載荷回数は試験場の試験期間の条件により決定した。なお、後藤らの実験⁶⁾では載荷荷重の急激な増加は一般的な疲労破壊と異なることが示されて

いること、ならびに後藤らの実験結果と比較検討ができるよう、載荷荷重は 400kN とした。

上記載荷条件における換算走行回数は、基本軸重を 157kN、床版表面を乾燥状態、S-N 曲線の傾きの逆数を松井ら⁷⁾が提案する 12.76 として次の式(1)より求めると、およそ 122 億回となる。

$$N_{eq} = \sum \left(\frac{P_i}{P_o} \right)^m \times N_i \quad (1)$$

ここに、

N_{eq} : 基本軸重による荷重載荷回数

P_i : 輪荷重 (kN)

P_o : 基本輪荷重 (=157kN)

m : S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 (=12.76)

N_i : 輪荷重 P_i における載荷回数

走行載荷試験開始直前にゼロセットを行い、所定回数載荷後に試験体中央部において静的載荷を行い、床版のたわみ、プレキャスト部と縦目地部界面の目地開き量を計測した。床版のたわみは鉛直変位計、目地開き量はπ型変位計を用いて計測した。鉛直変位計およびπ型変位計位置を図-7 に示す。

3. 試験結果

3.1 たわみ

図-8 に試験体中央部における活荷重たわみ-走行回数関係、図-9 および図-10 に橋軸直角方向および橋軸方向の総たわみ分布図を示す。総たわみは各荷重段階の最大荷重時、残留たわみは除荷時に計測した値、また、活荷重たわみは総たわみから残留たわみを差し引いた値を示す。図-8 について、本試験は著者らが行った実験結果を、N2 および N3 は後藤らの実験結果⁶⁾を示している。後藤らの実験は、床版継手として一般的に用いられているループ継手を適用した横目地のみ試験体を用いており、本試験と同様の試験体寸法、ヤング係数および載荷荷重ステップで行われた実験である。なお、N2 と N3 は走行回数 20 万回以降の載荷ステップが異なるのみである。図より、耐用年数 100 年相当である STEP1 の間の活荷重たわみは 0.8mm 前後と、ほぼ一定の値を示した。一方、STEP2 初期の 10 万回から 14 万回までにおいて、活荷重たわみは走行回数の増加と共に 1.4mm から 1.8mm へと増加している。これは、後述するように走行回数の増加とともに橋軸方向のひび割れが進展しており、橋軸直角方向の曲げ剛性の低下による影響と考えられる。ここで、後藤らの実験結果である N2 および N3 と比較すると、全ての載荷荷重ステップにおいて同等の活荷重たわみを示した。このことから、本接合法は縦目地を有さない PCaPC 床版と同等の挙動を示しており、十分な耐荷性能を有していると判断できる。図-9 より、STEP1 終了時の総たわみは 2 次曲線を描く挙動を示し、STEP2 終

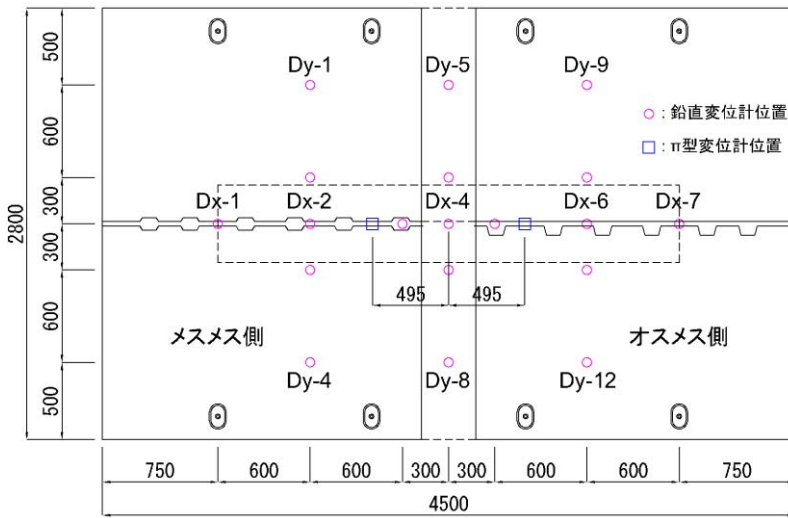


図-7 変位計およびπ型変位計位置 (単位: mm)

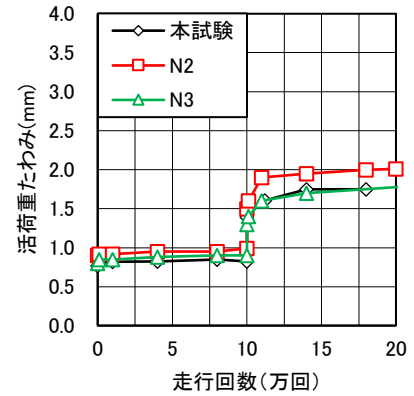


図-8 活荷重たわみ-走行回数 (Dx-4)

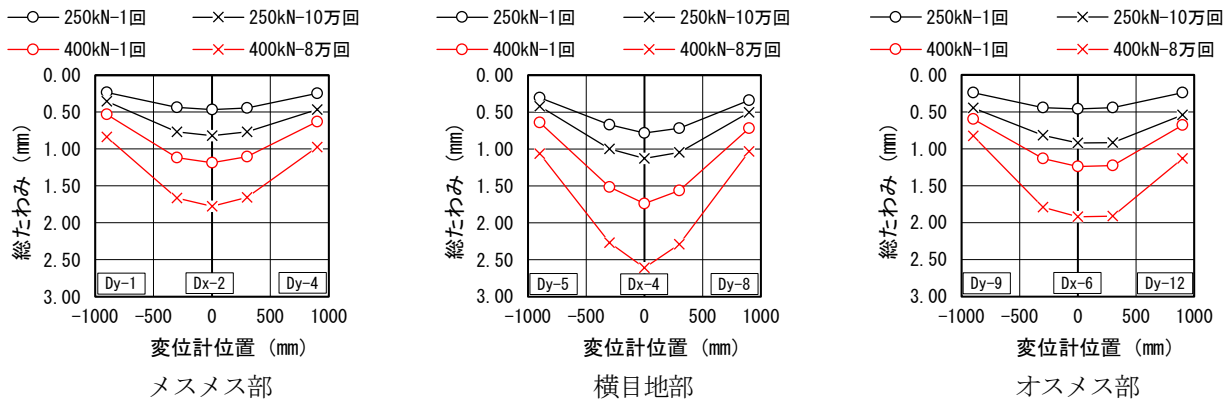


図-9 橋軸直角方向総たわみ分布

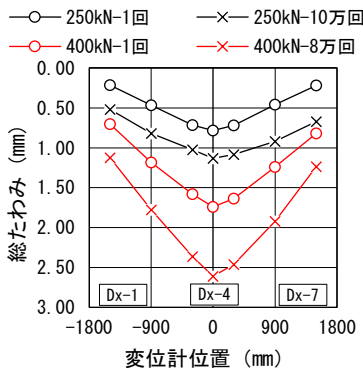


図-10 橋軸方向総たわみ分布

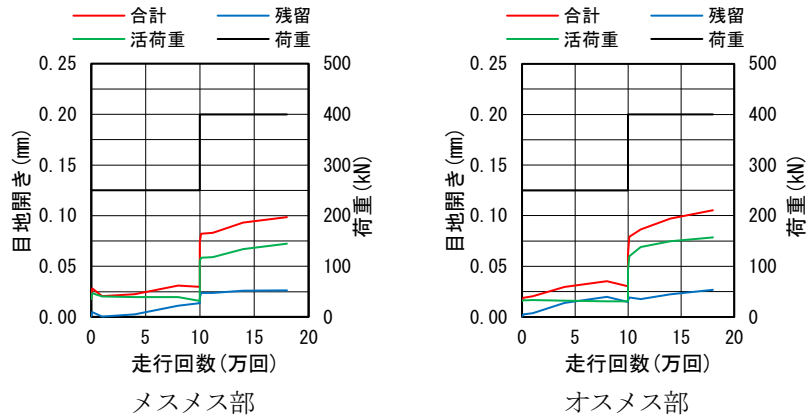


図-11 目地開き-走行回数関係

了時においても中央付近で総たわみが大きくなるものの曲線に近い挙動を示した。メスメス部とオスメス部を比較すると、いずれの載荷荷重ステップにおいても0.2mm程度の差であり、目地形状の違いによるたわみ挙動への影響は小さいものと考えられる。図-10より、橋軸方向においても総たわみの挙動は橋軸直角方向と同様の挙動を示した。これより、本接合法を適用したPCaPC床版は載荷荷重250kNを10万回載荷終了時において床版と

しての連続性を有していると考えられる。

3.2 目地開き

図-11にπ型変位計による目地開き-走行回数関係を示す。合計は各荷重段階の最大荷重時、残留は除荷時に計測した値、また、活荷重は合計から残留を差し引いた値を示す。図より、メスメス部およびオスメス部どちらも同様の挙動を示しており、試験終了時においても目

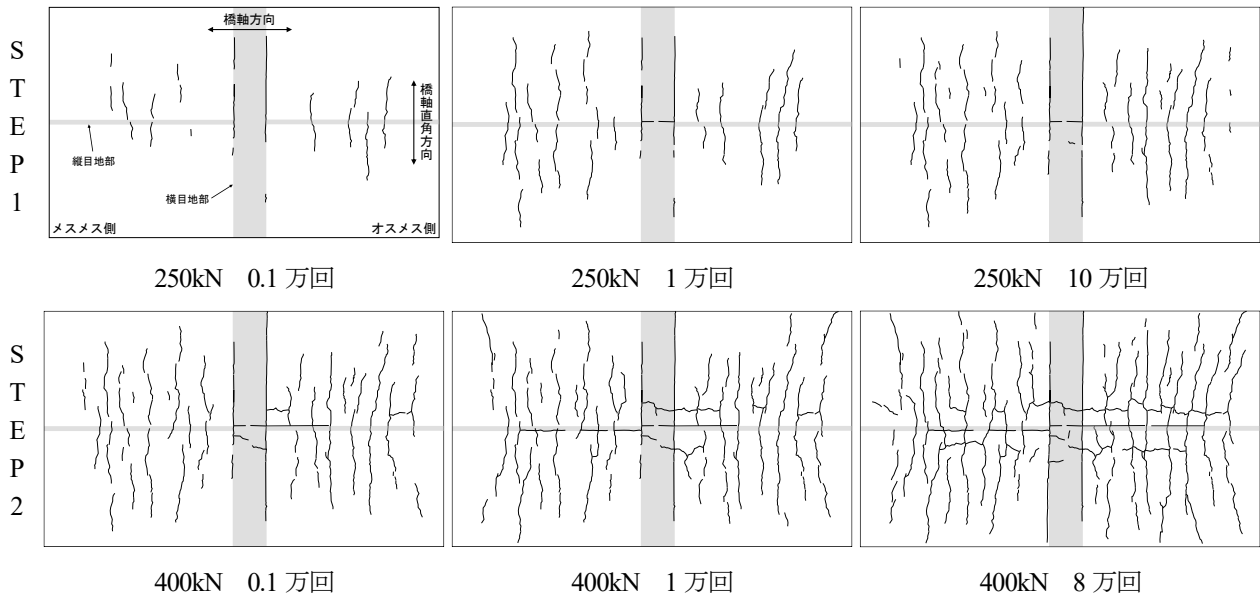


図-12 試験体下面ひび割れ進展図

地開きの合計は 0.10mm 程度であった。一般的なひび割れ幅の制限値 0.20mm 以下であることから、十分な耐久性を有していると考えられる。STEP1 終了後の水張試験において、目地部からの漏水は確認されなかったことから、本接合法は耐用年数 100 年相当の疲労耐久性を有していると考えられる。

3.3 ひび割れ分布

図-12 に試験体下面のひび割れ進展図を示す。図より、STEP1 におけるひび割れのほとんどは橋軸直角方向であった。1 次施工と 2 次施工の床版が別々に挙動した場合、1 次施工側と 2 次施工側でひび割れの発生位置は異なると考えられるが、本試験体では橋軸直角方向のひび割れはプレキャスト部と縦目地部で連続していた。このことから、縦目地部はプレキャスト部と一体となって挙動していたと考えられる。STEP2 より、輪荷重直下のプレキャスト部と縦目地部の界面に先行してひび割れが発生し、次第にプレキャスト部においても橋軸方向のひび割れが発生した。さらに载荷を続けた場合、亀甲状のひび割れに進展したものと推察される。

4. まとめ

本試験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 試験体中央部において、縦目地を有さない PCaPC 床版と同等の活荷重たわみ挙動を示したことから、十分な耐荷性能を有していると考えられる。
- (2) 総たわみ分布より、载荷荷重 250kN を 10 万回载荷終了時において 2 次曲線を描くたわみ挙動を示したことから、試験体は床版として連続性を有していた

と考えられる。

- (3) 総たわみ分布および目地開きの結果より、本接合法における接合目地形状の有意差は確認されなかった。
- (4) 水張試験後において目地部より漏水が確認されなかったことから、本接合法は 100 年相当の疲労耐久性を有していると考えられる。

参考文献

- 1) 大柳修一, 青木圭一, 和田吉憲, 河村直彦: 縦目地を有した PC 床版の輪荷重疲労載荷試験, プレストレストコンクリート工学会 第 24 回シンポジウム論文集, pp.415-418, 2015.10.
- 2) 富永高行, 岩城孝之, 佐々木一成, 新倉一郎: UFC を用いたプレキャスト床版接合構造の疲労耐久性, プレストレストコンクリート工学会 第 30 回シンポジウム論文集, pp.655-658, 2021.10.
- 3) 公益社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編, 2017.11.
- 4) 東・中・西日本高速道路株式会社: NEXCO 試験法 第 4 編 構造関係試験方法, 2020.7.
- 5) 長尾千瑛, 広瀬剛: プレキャスト PC 床版継手の疲労耐久性照査試験, プレストレストコンクリート工学会 第 26 回シンポジウム論文集, pp.189-192, 2017.10.
- 6) 後藤俊吾, 長谷俊彦, 本間淳史, 平野勝彦: PC 床版の疲労耐久性評価方法の提案, 構造工学論文集 Vol.66A, pp.762-773, 2020.3.
- 7) 松井繁之: 道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007.

(2022 年 7 月 8 日受付)

(2022 年 9 月 9 日受理)