

## 報告

## 半楕円状に拡径加工した鉄筋を用いた床版接合構造の疲労耐久性の検証

小林崇\*, 青木津雅子\*\*, 池上浩太郎\*\*\*

\* 株式会社 IHI インフラ建設, 開発部 (〒135-0016 東京都江東区東陽 7-1-1)

\*\* 株式会社 IHI インフラ建設, 橋梁事業部 (〒135-0016 東京都江東区東陽 7-1-1)

\*\*\* 工修, 株式会社 IHI インフラ建設, 橋梁事業部 (〒135-0016 東京都江東区東陽 7-1-1)

プレキャスト PC 床版を用いた床版取替工事では, 床版間の接合に RC ループ継手が標準的に採用されているが, 鉄筋加工による床版厚の制約や施工性から, 鉄筋端部を拡径加工するなど付着力と支圧抵抗力の複合作用で定着することで床版厚や施工性を確保した継手構造が開発されている. 本継手は, 鉄筋加工を必要とせず, 床版厚の低減が可能となる. 今回, 端部を半楕円状に拡径加工した鉄筋を用いる接合構造において, 床版厚を低減したときの疲労耐久性の確認を目的として輪荷重走行試験を実施した.

キーワード: 床版継手, 床版厚, 疲労耐久性, 輪荷重走行試験

## 1. はじめに

わが国では, 橋梁の大規模更新事業として床版取替工事が各地で進められている. プレキャスト PC 床版を用いた床版取替工事で橋軸方向の床版間の接合に用いられる RC ループ継手は, 床版厚が鉄筋の曲げ加工の制約を受ける場合がある. また, ループ内に橋軸直角方向の鉄筋を配置しにくいという施工上の問題から, 鉄筋を曲げ加工せず, 端部に拡径部などを設けて支圧と付着で引張力を伝達する継手構造が各社で開発されている<sup>1)</sup>.

このようななか長尾らは, プレキャスト PC 床版の継手部の疲労安全性を統一して評価するため, 2005 年の調査で平均軸重の最も重い東名日本平の軸重計データを基に, 輪荷重走行疲労試験により 100 年相当の耐用年数を評価するための載荷荷重と走行回数を検討<sup>2)</sup>, プレキャスト PC 床版接合部の疲労耐久性試験方法 (以下, 試験法 442) として高速道路会社 3 社で規格化されている<sup>3)</sup>.

本試験で試験体の床版厚は, 高速道路会社 3 社で標準とする RC ループ継手を使用した場合の最小床版厚 220mm に設定されている. 床版支間は, 床版厚に対して押抜きせん断破壊面がハンチにかからないよう 2.5m に設定, 単純支持での試験に対して発生曲げモーメントがそれと同等となる支間 3.2m の連続版として試験体を設計する. これに対して, 鉄筋を曲げ加工しない継手構造は, 床版厚を 220mm 以下に抑えることが可能であり, 床版取替えを行う橋梁の床版支間 2.0~3.8m と想定されるなかで合理的に床版厚を確保できる<sup>4)</sup>.

今回, 床版厚を 210mm とし, 床版支間 2.0m の単純支持での試験に対して, 支間 2.65m の連続版として設計し

た床版試験体の継手部について疲労耐久性を検証, 先に実施している床版厚 220mm, 支間 3.2m の連続版として設計した, 床版支間 2.5m での試験結果と比較した.

## 2. 試験条件

## 2.1 試験体概要

## (1) 試験体形状

床版支間 2.0m の単純支持での試験にあたり床版試験体は, 幅 2.3m, 長さ 4.5m とし, 橋軸直角方向にプレストレスを導入した長さ 2.05m のプレキャスト PC 床版 2 体を 0.4m の間詰部を介して接合して形成した.

ここで, 床版取替工事では, 工事期間中の大きな課題となる交通確保の方法のひとつとして, 床版を幅員方向に分割して車線毎に施工することで, 交通を確保する工法が採用されている. 幅員方向を分割した施工では, 橋軸直角方向を接合するための接合部 (以下, 縦目地) が必要となる. 縦目地の構造として, 接合キーを有するマッチキャスト部材としてプレストレスにより一体化する構造が開発, 輪荷重走行試験により疲労耐久性が確認されている<sup>5)</sup>. 本試験では, FEM 解析で接合部付近の最大主応力が最も大きくなる結果が得られた床版支間中央に載荷が行われているが, これ以外の箇所に載荷して疲労耐久性を確認した事例はない.

今回, 押抜きせん断抵抗面が, 接合部の中立軸位置を交差するときの縦目地部の挙動の確認を目的として, プレキャスト PC 床版にのみ床版中央より 385mm の位置に縦目地を設けるものとした. 図-1 に試験体の形状を, 図-2 に(2)で記す D エッジ鉄筋による継手部の詳細図を,

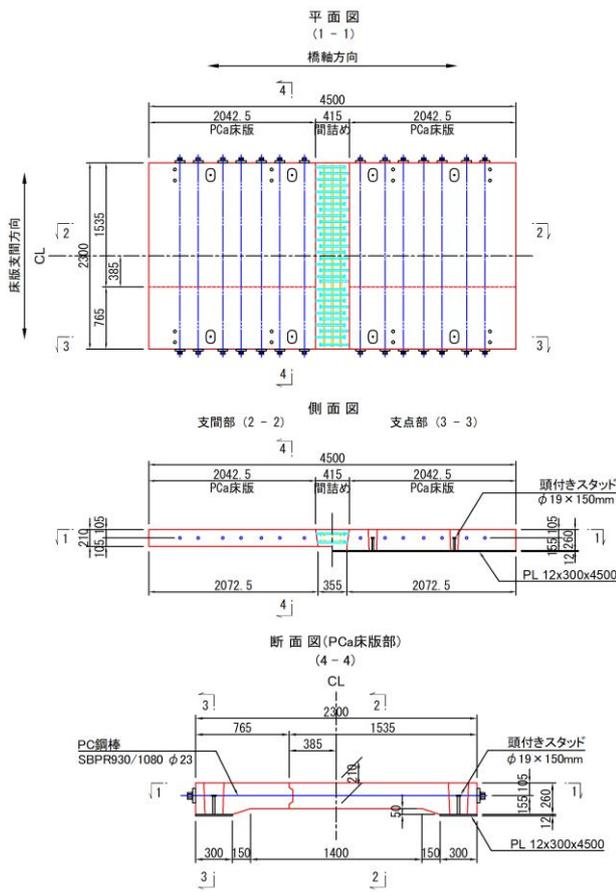


図-1 試験体形状図

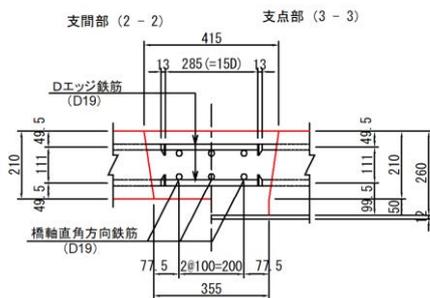


図-2 橋軸方向継手部詳細

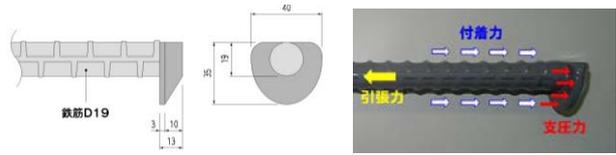


図-3 縦目地部の接合キー外観

図-3 に縦目地部の接合キーの外観示す。

## (2) 橋軸方向の接合

橋軸方向の接合は、筆者らが開発した D エッジ鉄筋継手により行った。D エッジ鉄筋継手とは、熱間鍛造により鉄筋端部を半楕円形状に拡径加工した鉄筋(以下、D エッジ鉄筋、図-4)を使用した、床版間の継手部に生じる引張力を継手長間の付着と拡径部の支圧で伝達するプレ



(a) 端部形状 (b) 引張力の伝達  
図-4 D エッジ鉄筋

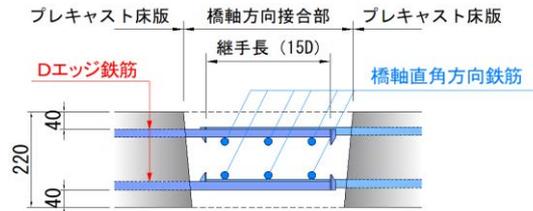
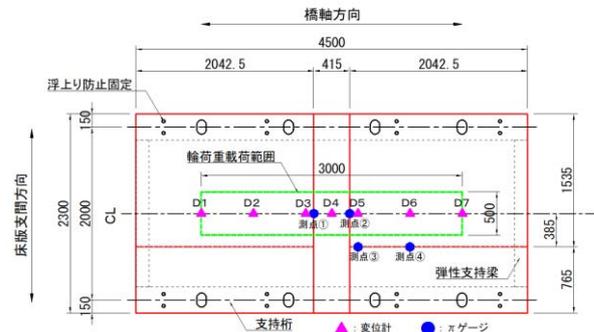
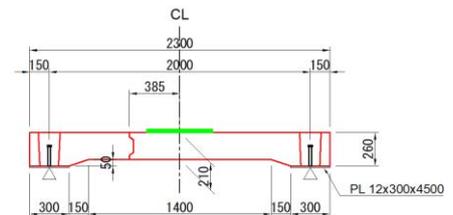


図-5 D エッジ鉄筋継手の概要



(a) 平面図



(b) 断面図

図-6 輪荷重載荷位置

キャスト PC 床版継手構造である。半楕円形状の拡径部を内向きに配置することで鉄筋の標準部と同かぶりの確保が可能であり、鉄筋の曲げ加工を必要としないことで床版厚がこれの制約を受けることがなく、また、橋軸直角方向の鉄筋を予めプレキャスト PC 床版に預けて架設することで施工性が改善できる(図-5)。

## 2.2 試験方法

### (1) 荷重方法および支持条件

荷重は、試験体上面に一列に敷設した 500×200mm の荷重ブロックの軌道上 3m の範囲(中央から±1.5m)で、鉄輪を往復走行させて行った。床版支間方向の支持は、前述したように試験体と支持桁の間に丸鋼を設置した支

間 2.0m の単純支持，橋軸方向は，端横桁を利用した弾性支持とした。また，試験体は浮き上がりを防止するために固定具で支持桁に固定した。図-6 に輪荷重の載荷位置を示す。

### (2) 載荷条件

試験は，先ず試験法 442 による走行試験で耐用年数 100 年相当とされる載荷荷重 250kN で 10 万回の走行を行い (STEP-1)，その時の床版たわみと接合部の付着切れを確認するとともに，水張り試験により貫通ひび割れの有無を確認した。その後，350kN で 10 万回 (STEP-2)，450kN で 10 万回走行 (STEP-3) させ，以降破壊に至るまで試験機の最大載荷荷重 491kN (=50tf) で走行 (STEP-4) を行うものとした。図-7 に載荷ステップを示す。

## 3. 試験結果

### 3.1 床版コンクリートの圧縮強度

表-1 にプレキャスト床版および間詰部コンクリートの強度試験の結果を示す。一般にプレキャスト PC 床版は，翌朝にプレストレス導入強度を確保するため，初期強度を高く設定，長期強度が間詰部に対して大きくなる傾向にある。これより今回の試験では，現状に近い条件となるよう，間詰コンクリートの圧縮強度がプレキャスト床版部コンクリートの強度が上回ることはないようプレキャスト床版部コンクリートの目標強度を 55N/mm<sup>2</sup>，間詰コンクリートを 50N/mm<sup>2</sup> とした。

### 3.2 走行試験結果

#### (1) 耐用年数 100 年相当時の状況

図-8 に荷重 250kN での一定回数の輪荷重走行毎に床版中央に静的に 250kN 載荷したときの橋軸方向の床版たわみの分布を，図-9 に輪荷重走行位置直下におけるプレキャスト床版と間詰部の付着切れの推移を示す。床版中央のたわみは，試験開始前が 1mm であったのに対して 1 万回走行後で 1.32mm に増加，10 万回走行後は 1.58mm であった。これは，本試験における載荷荷重 250kN が設計荷重に対して大きく，走行開始直後の疲労によるものでないひび割れの発生により床版の剛性が低下したためで，その後の疲労によるひび割れの進展は緩やかであったものと思われる。また，10 万回走行後におけるプレキャスト床版部と間詰部のたわみに大きな差異は見られず，プレキャスト床版と間詰コンクリートの付着切れ幅も 1 万回走行後以降の進展は緩やかである。10 万回走行後の無載荷での付着切れ幅は 0.045mm であり，プレキャスト床版と間詰部の接合部を跨ぐよう床版中央に幅 2m×長さ 1m の範囲で行った水張り試験においても漏水は確認されていない。これより，D エッジ鉄筋継手は，床版厚 210mm として支間 2.65m の連続版に使用した場合においても 100 年以上の耐用年数を有することが確認された。

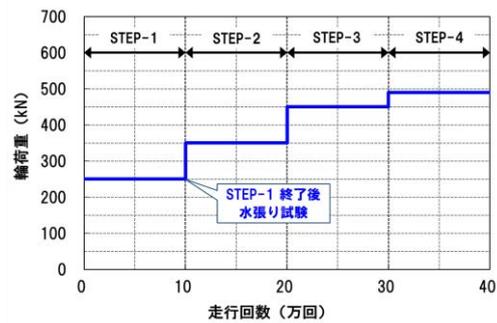


図-7 載荷ステップ

表-1 コンクリート強度試験結果 (試験開始時)

種類	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )
プレキャスト床版	57.4	34.8	2.71	7.13
間詰部	53.4	32.7	2.68	5.92

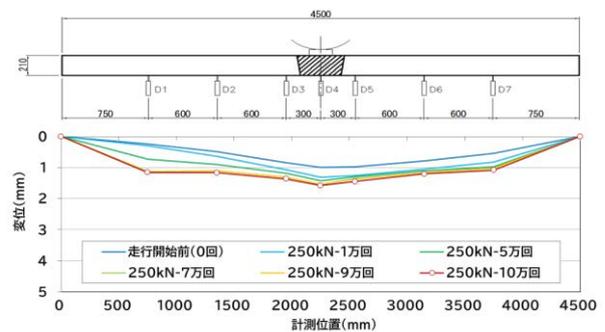


図-8 床版たわみ分布

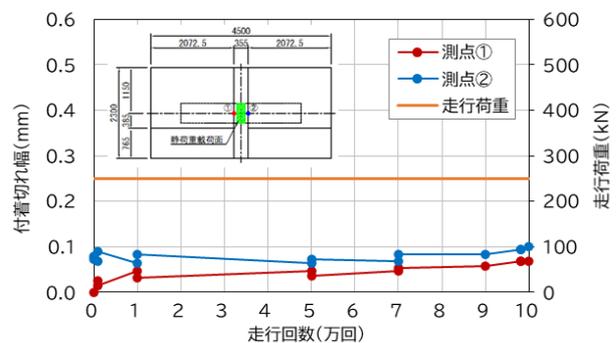


図-9 付着切れ幅の推移

#### (2) 試験終了時

試験は，前述の水張り試験後，STEP-2 として載荷荷重 350kN で 10 万回走行，その後 STEP-3 として載荷荷重 450kN で約 9.54 万回走行，総走行回数約 29.5 万回で間詰部の押抜き破壊により終了した。図-10 に走行回数と床版中央のたわみの関係を示す。ここでは，先に実施した床版厚を 220mm として床版支間 3.2m の連続版で設計，2.5m の単純支持で実施した試験の結果を併せて示している。床版厚 210mm での試験は，床版厚 220mm での総走行回数約 32.8 万回に対して少ない結果であった。

道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力は，圧縮域コンクリートのせん断耐力と引張側鉄筋のダウエル力による

はく離耐力によるとされており、PC床版では、これに中央に配置されたPC鋼材のはくり耐力を考慮した算定式が提案されている<sup>9)</sup>。今回の試験では、床版厚を210mmとすることでコンクリートの圧縮域の範囲やPC鋼材、引張鉄筋の有効高さの減少、これにより押抜きせん断耐荷力が低下したときの疲労耐久性の確認を目的とした。床版厚210mmの床版は、220mmに対して総走行回数が減少し、押抜きせん断耐荷力の低下は確認されたものの、走行回数25万回まではほぼ同様のたわみ挙動を示しており、床版厚210mmとして接合したDエッジ鉄筋継手部は十分な疲労耐久性を有するものと判断できる。

図-11に走行回数毎に床版中央から900mmの位置に静的に載荷したときの縦目地の開きの推移を示す。ここで、測点③は床版中央から300mm(プレキャスト床版と間詰部の接合面より122.5mm)、測点④は同900mm(同722.5mm)の位置における計測値である。今回の試験体は、間詰部に縦目地を設けておらず、ここの拘束の影響も受けているものと思われるが、試験終了間際の27.4万回走行時における測点④の目開きは0.21mmであり、縦目地に損傷は確認されなかった。

#### 4. まとめ

端部に拡径部などを設けて支圧と付着で引張力を伝達することで床版厚が鉄筋加工の制約を受けない継手構造について、支間2.65mの連続版を想定して床版厚を210mmとした床版の疲労耐久性を検証した。

本検証で得られた知見を以下に示す。

- (1) 床版厚を210mmとし、床版支間2.0mの単純支持での試験に対して、支間2.65mの連続版として設計した床版の橋軸方向の継手部は、耐用年数100年以上の疲労耐久性を有する。
- (2) プレストレスにより一体化された縦目地は、既往の研究と異なる輪荷重載荷位置においても高い耐久性を有する。

プレキャストPC床版を用いた床版取替工事では、鋼桁上フランジと床版間に版下モルタルを充填する必要がある。床版厚の低減が求められる場合がある。また、床版支間2.0~3.8mと想定される床版取替えを行う橋梁にあって、床版厚を抑えることは床版自重の低減、これによる既設鋼主桁や下部工の応力負担の低減を可能とする。

床版厚の低減を検討するにあたり、Dエッジ鉄筋継手および本検証が参考となれば幸いである。

#### 謝辞

本検証は、中央自動車道(特定更新等)深沢橋床版取替工事において、Dエッジ鉄筋継手を床版厚210mmで適用するにあたり実施致しました。本検証の実施にあたり、ご指導、ご協力を頂いた中日本高速道路株式会社名古屋支社の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

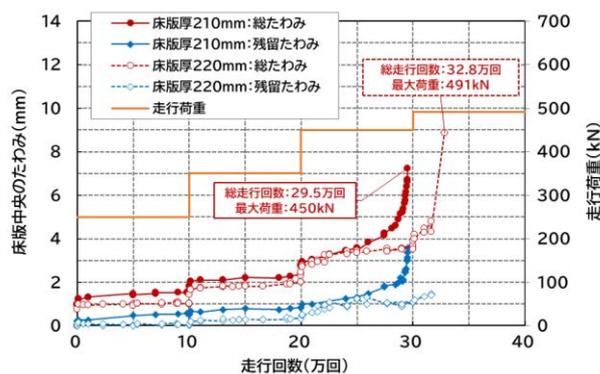


図-10 走行回数と床版中央のたわみの関係

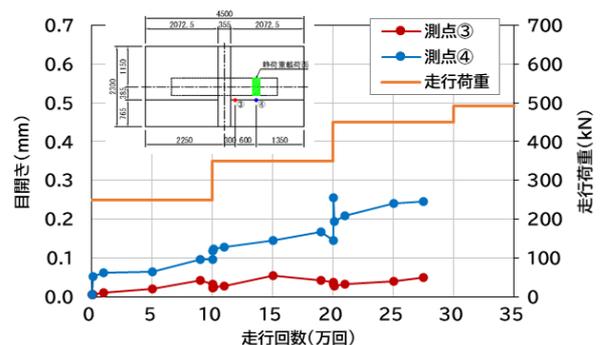


図-11 縦目地部の目開きの推移

#### 参考文献

- 1) 高木祐介, 小林崇, 中村定明: 半楕円形状に拡径加工した鉄筋を用いたプレキャストPC床版継手の開発, プレストレストコンクリート工学会, 第27回シンポジウム論文集, pp.371-374, 2018.11.
- 2) 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.
- 3) 東・中・西日本高速道路株式会社: プレキャストPC床版接合部の疲労耐久性試験方法, NEXCO試験方法, 第4編構造関係試験方法, 試験法442, 2019.
- 4) 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.
- 5) 大柳修一, 青木圭一, 和田吉憲, 川村直彦: 縦目地構造を有した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.
- 6) 東山浩士, 松井繁之: 橋軸方向プレストレスしたコンクリート床版の走行荷重に対する疲労耐久性に関する研究, 土木学会論文集, No.605, I-45, pp.79-90, 1998.10.

(2022年7月8日受付)

(2022年9月9日受理)