

# 超低収縮高強度 FRCC を用いた継手構造

## Splice Joint Structure using Ultra-low Shrinkage and High Strength FRCC

構造技術部 竹山 忠臣 TADAOMI TAKEYAMA  
 構造技術部 篠崎 裕生 HIROO SHINOZAKI  
 橋梁構造設計部 西村 一博 KAZUHIRO NISHIMURA  
 建設基盤技術部 松田 拓 TAKU MATSUDA

近年、道路橋床版の老朽化が顕在化しており、RC床版からプレキャスト床版への取替工事が進められているが、プレキャスト床版同士の継手にはループ継手を用いることが標準とされている。ループ継手はループ継手内部への直角方向鉄筋の配置が煩雑であるため、筆者らは継手部のコンクリートに超低収縮高強度繊維補強コンクリートを用いることで、継手内部の直角方向鉄筋を省略することができる継手工法「サステインジョイント®」を開発した。プレキャスト床版を模擬した床版曲げ試験と輪荷重走行試験から十分な継手性能と疲労耐久性を有していることが明らかとなった。

**キーワード**：プレキャスト床版，継手，超高強度，短繊維補強コンクリート，低収縮

In recent years, aging of road bridge decks has become apparent, and replacement work from RC deck slabs to precast PC deck slabs is underway, and the standard connection method of each precast slabs is loop splice. Since arrangement of the transverse reinforcing bars in the loop splice joint is complicated, the new method was developed. The method named as "Sustain-Joint<sup>®</sup>" uses ultra-low shrinkage and high strength fiber reinforced concrete for the joint part and can implement to omit the reinforcing bars in the loop joint. The deck slab bending test and the wheel load running test simulating the precast deck slab were carried out and those results showed that the proposed joint method has sufficient splice performance and fatigue durability.

**Key Words**: Precast deck slab, Splice joint, Ultra-high strength, Fiber reinforced concrete, Low shrinkage

### 1. はじめに

近年、道路橋のRC床版の劣化が顕在化しており、RC床版からプレキャストPC床版（以下、プレキャスト床版）への取替工事が進められているが、プレキャスト床版同士の継手にはループ継手を用いることが標準とされている。一方で、ループ継手を用いる場合、ループ継手内部に配置する直角方向鉄筋の配筋作業が煩雑で現場における生産性の低下が懸念される（図-1）。

筆者らは鉄筋と短繊維補強コンクリートの重ね継手に関する検討を行っており、重ね継手に超高強度の短繊維補強コンクリートを使用することで、継手長を短くしても継手の強度を高くすることができることを確認している<sup>2)</sup>。米国の連邦高速道路局FHWAの指針<sup>3)</sup>では、継手部分のコンクリートに圧縮強度が $152\text{N/mm}^2$ 以上のUHPC (Ultra-high performance concrete) を用いること

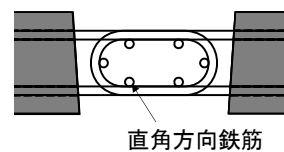


図-1 ループ継手

で、継手長を $7.5d$  ( $d$ : 鉄筋径) とし継手内部の直角方向鉄筋を省略することができる。一方で、UHPCなどの超高強度コンクリートは低水結合材比のため自己収縮が大きく、ひび割れ発生リスクが高いため、構造物の耐久性に課題が残る。このため、構造部材にUFC (Ultra-high strength fiber reinforced concrete) を用いる場合、土木学会のUFC指針<sup>4)</sup>では異形鉄筋との併用を原則認めていない。

松田らはフェロニッケルスラグ細骨材と各種混和材を用いることで、超高強度コンクリートの自己収縮を大

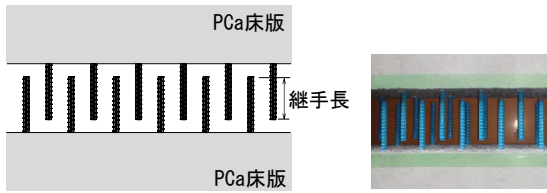


図-2 継手構造

表-1 継手部のコンクリートと継手工法

継手工法の比較		
名前	FHWA	サステインジョイント
圧縮強度	152N/mm <sup>2</sup> 以上	160N/mm <sup>2</sup> 以上
鋼繊維混入率	2.0vol.%	1.0vol.%
粗骨材の有無	無(UHPC)	有
鉄筋強度	517N/mm <sup>2</sup>	345N/mm <sup>2</sup>
継手長	7.5d (d: 鉄筋径)	

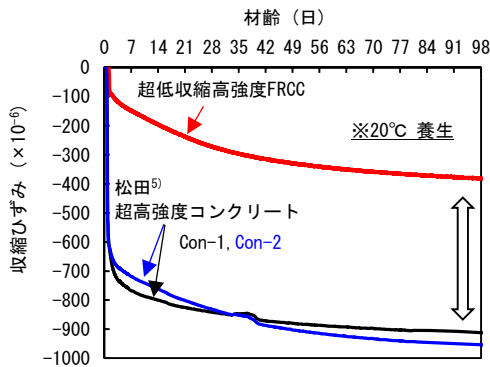


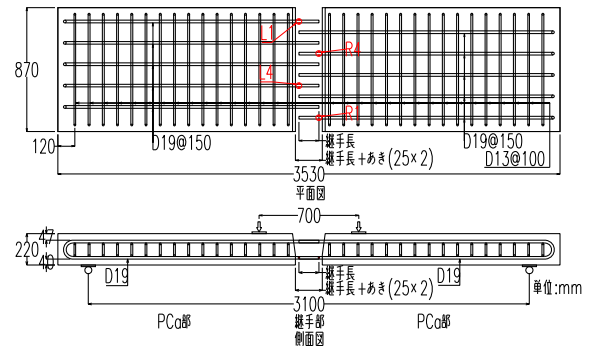
図-3 収縮ひずみ

幅に低減できるとしている<sup>5)</sup>。そこで、本検討では施工の省力化を目的として、継手部分のコンクリートに超高強度の短繊維補強コンクリートを用い、床版継手部分の継手長を短くすることで、床版継手内部に配置する直角方向鉄筋の省略を目標とした。更に、継手部分のコンクリートには前述の配合技術を適用して自己収縮を大幅に低減することで、高耐久な継手構造を目標とした。

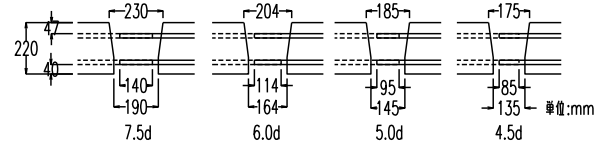
本検討では、継手部を有するプレキャスト床版を模擬した梁の曲げ試験により継手長の設定を行ない、さらに継手部を有するプレキャスト床版の輪荷重走行試験を行ない、本継手構造の100年相当の疲労耐久性を確認した。

## 2. 目標とする継手構造

本検討で目標としたプレキャスト床版継手構造を図-2に示す。継手部は直鉄筋のあき重ね継手とし、継手内部の直角方向鉄筋を省略してプレキャスト床版同士を接合するものである。ここで本検討における継手とFHWAにおける継手方法の比較を表-1、収縮ひずみを図-3に



a) 試験体全景



b) 接合部形状

図-4 曲げ試験体

示す。継手部の超低収縮高強度繊維補強コンクリート<sup>6)</sup>(以下、超低収縮高強度FRCC)は、自己収縮低減効果の高い細骨材の利用に加え、通常の粗骨材も用いることで低収縮による高耐久化を実現し、更に繊維混入率をUHPCよりも半減することでコスト低減を実現している。そして、FHWAにおける継手と同等の継手長で、床版継手構造を成立させるものである。なお、短繊維はφ0.2-15mm、引張強度が2,000N/mm<sup>2</sup>以上の鋼繊維を使用している。

## 3. プレキャスト床版の曲げ試験

### (1) 目的

本継手構造における継手長の設定と継手の安全性を確認するために、プレキャスト床版継手部を模擬した試験体の曲げ試験を行なった。

### (2) 実験概要

図-4に示すような試験体を用い、床版継手構造の検討を行なった。試験パラメータは継手長とし、継手長を7.5d (140mm)、6.0d (114mm)、5.0d (95mm)、4.5d (85mm)とした。試験体の軸方向鉄筋はD19、SD345を用い、鉄筋のかぶりを40mm、鉄筋の配置間隔を150mmとした。試験体のプレキャスト部分には、設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>を満足するコンクリートを用いた。コンクリート打設の翌日、継手部と接する面を高圧洗浄水で打継目処理を行なった後に養生を行なった。養生後、プレキャスト部分を所定間隔に組み立てた後、継手部分に超低収縮高強度FRCCを打設し、実験室に静置した。



写真-1 試験状況

表-2 強度試験結果

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング 係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ひび割れ 発生強度 (N/mm <sup>2</sup> )
プレキャスト部	65.9	37.4	3.74
継手部	171.9	56.5	8.02

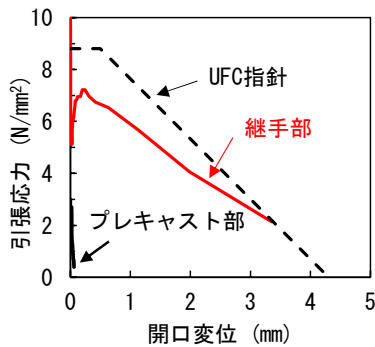


図-5 引張軟化曲線

図-4 に荷重位置、写真-1 に試験状況方法を示す。本検討では等曲げスパン 700mm、支点間距離 3100mm の 4 点曲げ試験を行なった。

### (3) 実験結果

荷重試験時の強度試験結果を表-2、引張軟化曲線を図-5 に示す。ひび割れ発生強度は UFC 指針<sup>4)</sup>に準じ、割裂引張強度試験の供試体端面にひずみゲージを設置し、計測値が不連続になった時の荷重から求めた。引張軟化曲線は JCI 試験方法<sup>7)</sup>に準じ、切欠きはりの 3 点曲げ試験から得られた荷重-開口変位曲線を逆解析することで算出した。継手部のコンクリートの圧縮強度とひび割れ発生強度は、特性値とほぼ同程度であった。引張軟化曲線は繊維混入率を UFC よりも低減しているため、UFC よりも同一の開口変位における引張応力が低くなっている。

荷重と中央変位の関係を図-6、試験終了後の試験体下面のひび割れ状況を写真-2 に示す。計算値にはプレキャスト部分のコンクリートの圧縮強度とひび割れ発生強度を用い、鉄筋の降伏強度 (375N/mm<sup>2</sup>) は鉄筋の引

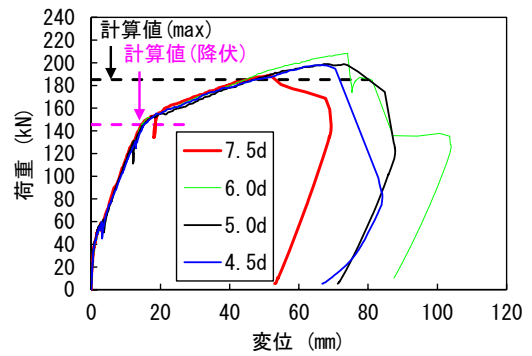


図-6 荷重-中央変位

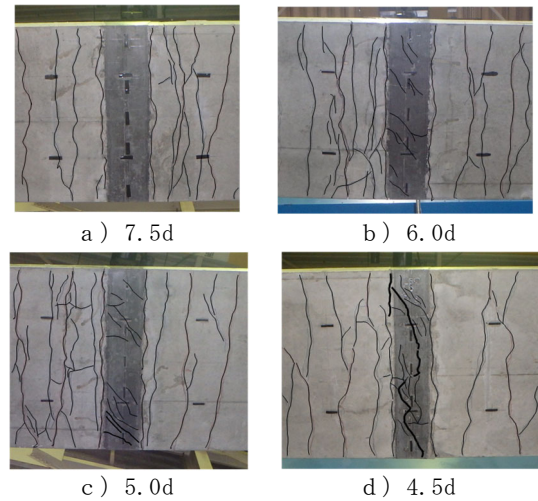


写真-2 試験終了後のひび割れ状況 (試験体下面)

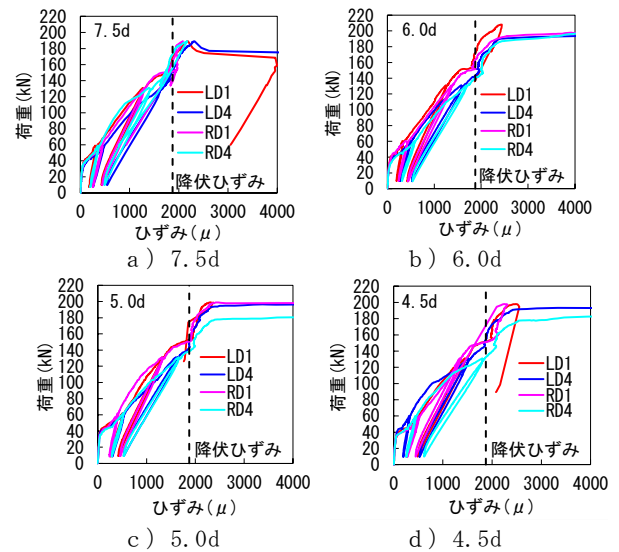


図-7 鉄筋ひずみ

張試験結果を用いた。いずれの試験体も、曲げひび割れ発生後、鉄筋が降伏し、破壊に至った。7.5d と 6.0d と 5.0d はプレキャスト部分のコンクリートが圧壊して荷重が低下したが、4.5d は継手破壊により荷重が低下した。いずれも最大荷重は計算値を上回っていた。6.0d と 5.0d と 4.5d は継手部分のコンクリートにひび割れが進展したが、7.5d は継手部分のコンクリートに目視可能なひび割れは確認されなかった。

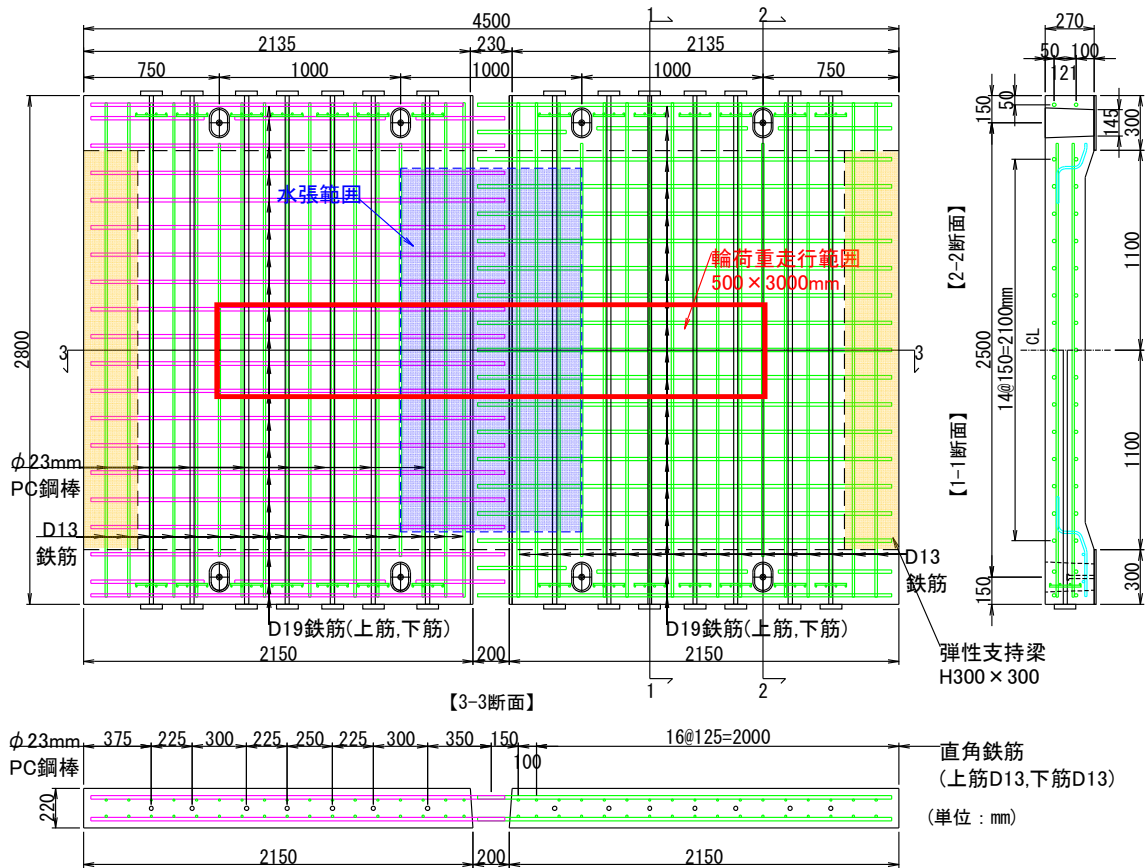


図-8 輪荷重走行試験体図

図-7 に荷重と鉄筋ひずみ関係を示す。測定した鉄筋ひずみは図-4 に示した位置の鉄筋ひずみである。いずれの試験体も荷重が150kN程度で鉄筋ひずみが降伏ひずみに達し、その後も鉄筋ひずみが増加していることが分かる。これより、本継手構造であれば、継手長が4.5dでも鉄筋を降伏させることができることが分かる。

以上より、本継手構造では継手長を7.5dとすることで、継手部分のコンクリートにひび割れは確認されず、床版継手構造として十分な継手の安全率を保有することが分かった。

#### 4. プレキャスト床版の輪荷重走行試験

##### (1) 目的

3章で確認した本継手構造を用いた床版構造の疲労耐久性を確認するために、プレキャスト床版継手部を模擬した試験体を用いて、輪荷重走行試験により疲労耐久性を確認した。

##### (2) 実験概要

図-8 に試験体を示す。試験体はプレキャスト床版継手部を模擬した試験体で、幅2,800mm、長さ4,500mm、厚さ220mmとし、NEXCO試験方法<sup>8)</sup>に準拠して設定し

た。試験体の橋軸方向鉄筋にはD19、SD345を用い、配置間隔を150mm間隔とした。橋軸直角方向鉄筋にはD13を用いた。なお、試験体の鉄筋は全てJSCE-E102-2013の規格を満足するエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。PC鋼材はφ23mmのSBPR B種のPC鋼棒を用い、緊張力を1本あたり285kNとした。

試験体のプレキャスト部分には、設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>を満足するコンクリートを用いた。コンクリート打設の翌日、継手部と接する面を高圧洗浄水で打継目処理を行なった後に養生を行なった。プレストレス導入後、所定間隔に組み立てて、継手部のコンクリートを打設し養生を行なった。

##### (3) 試験方法

試験には株式会社高速道路総合技術研究所保有の輪荷重走行試験機を用いた(写真-3)。試験体は支間長2.5mの単純支持とし、橋軸方向に十分長い連続版とたわみ分布が同程度となるように試験体端部にH形鋼を設置した。載荷方法は支間中央に載荷ブロックを組み合わせた軌道を設置して、鉄輪(単輪)を用いて載荷した。なお、本試験ではNEXCO試験方法に準拠して、荷重250kNで10万回の繰返し載荷を行なった後に試験体上面に水を滞水させ、試験体下面への漏水の有無を確認した。





写真-3 輪荷重走行試験機

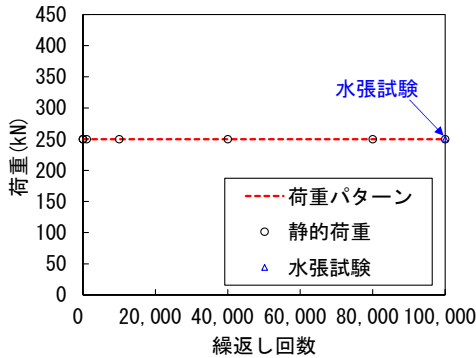


図-9 荷重パターン

輪荷重走行試験中に繰返し荷重が1回、1千回、1万回、4万回、8万回、10万回で試験機を止めて、静的荷重を行ない、たわみや目開きなどの測定を行なった(図-9)。

(4) 実験結果

表-3 にコンクリートの強度試験結果、図-10 に引張軟化曲線を示す。試験開始時と終了時における継手部のコンクリートの圧縮強度は 210N/mm<sup>2</sup> 程度で試験期間中の強度増加はなかった。なお、試験体は夏期に製作され比較的養生温度が高かったこともあり、継手部のコンクリートの圧縮強度が特性値に対して高くなった。一方で試験開始時の引張軟化特性は、引張軟化曲線の同一開口変位における引張応力が3章の床版曲げ試験の検討結果よりも 2N/mm<sup>2</sup> 程度低くなった。

図-11 に橋軸方向のたわみ分布を示す。繰返し回数が1回から1千回で橋軸方向のたわみ分布が増加しているが、繰返し回数が1万回から10万回までのたわみ分布はほとんど増加していないことが分かる。また、繰返し回数が10万回でも橋軸方向のたわみ分布が不連続になり継手部分で角折れすることなく、床版構造としての連続性が確保できている。

図-12 に試験体中央のたわみ変化を示す。なお、活荷重たわみは荷重250kNを載荷した時のたわみ(総たわみ)から荷重を除荷した時のたわみ(残留たわみ)を差

表-3 強度試験結果

		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ひび割れ発生強度 (N/mm <sup>2</sup> )
PCa 部分①	試験開始	74.3	3.75
PCa 部分②	試験開始	68.9	4.20
継手部分	試験開始	213	8.26
	試験終了	215	-

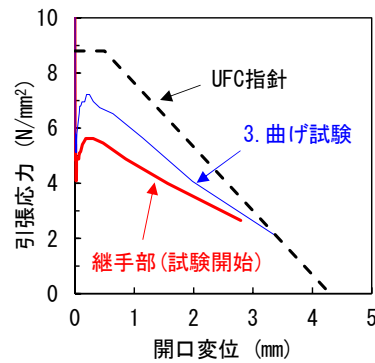


図-10 引張軟化曲線

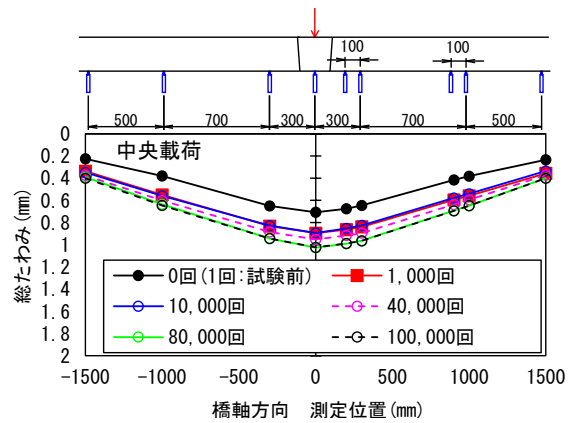


図-11 橋軸方向のたわみ分布

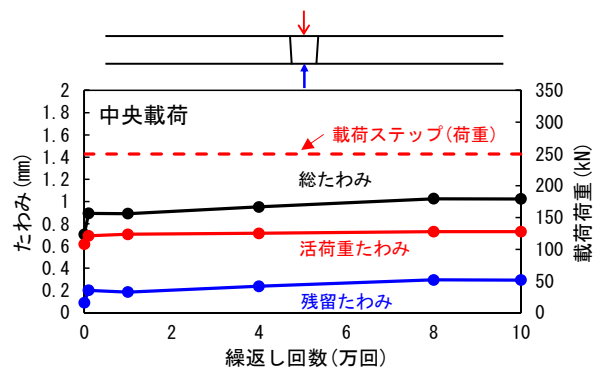


図-12 たわみ変化

し引いたたわみである。繰返し回数が1回から1千回において総たわみが増加しているのは、残留たわみが増加しているためであり、活荷重たわみは繰返し回数が1千回以降増加していないことが分かる。

図-13 にパイ型変位計を用いて測定した全8か所のブ

レキャスト部と継手部の打継目における目開きの結果を示す。なお、結果は活荷重目開きと残留目開きの合計である総目開きとして示している。繰返し回数が1回で0.08mm程度の目開きが発生しているが、繰返し回数が10万回の時でも目開きの最大値は0.08mm程度で繰返し載荷により目開きはほとんど変化しなかった。

図-14に試験終了時の試験体下面のひび割れ状況を示す。初期に橋軸直角方向のひび割れと打継目の目開きが発生し、繰返し回数が増加することで、橋軸直角方向のひび割れが進展した。250kN-10万回の繰返し載荷後に漏水試験を行なったが、床版下面への漏水はなかった。

### 5. まとめ

本検討では、プレキャスト床版継手部に超低収縮高強度繊維補強コンクリートを用い、継手内部の直角方向鉄筋を省略することで、従来のループ継手よりも合理的な継手構造の開発をプレキャスト床版の曲げ試験と輪荷重走行試験により行なった。結論を以下に示す。

- ① 曲げ試験では継手長を 4.5d としても鉄筋を降伏させることができ、床版継手構造として十分な継手性能を有する。
- ② 曲げ試験では継手長を 7.5d とすることで、継手部分のコンクリートにひび割れが確認されず、床版継手構造として十分な安全率を保有する。
- ③ 輪荷重走行試験では、繰返し載荷を行なっても、継手部とプレキャスト部の打継目などで角折れすることはなく、床版構造としての連続性が確保されていた。
- ④ 輪荷重走行試験終了後、床版下面で漏水することはなかったことから、本継手構造は耐用年数 100 年に対して十分な疲労耐久性を有している。

### 参考文献

- 1) F・レオンハルト, E・メニッヒ (横道英雄訳) : 鉄筋コンクリートの配筋, 鹿島出版会, pp.68-69, 1985
- 2) 竹山忠臣, 佐々木亘, 篠崎裕生, 内田裕市 : FRCC を用いた部材の鉄筋の重ね継手に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.2, pp.1075-1080, 2020
- 3) Federal Highway Administration : Design and Construction of Field-Cast UHPC Connections, TECHNICAL NOTE, FHWA-HRT-14-084, 2014
- 4) 土木学会 : 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー, No.113,

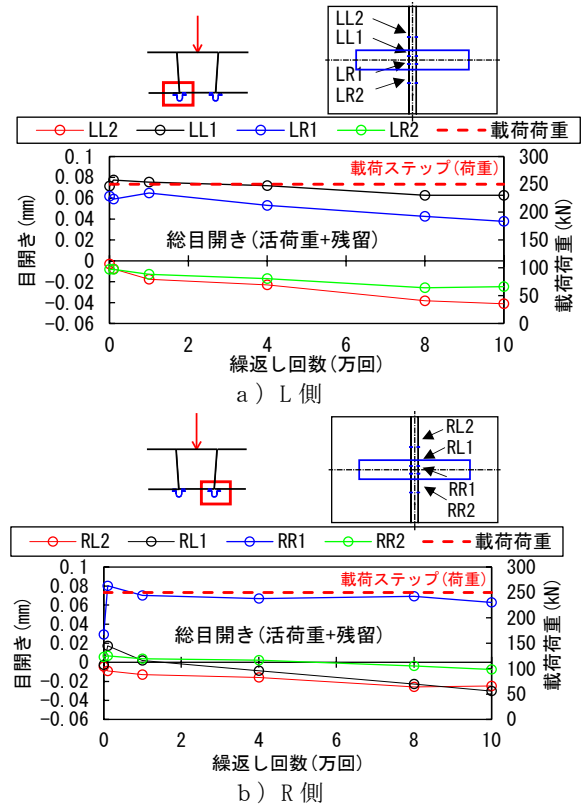


図-13 目開き

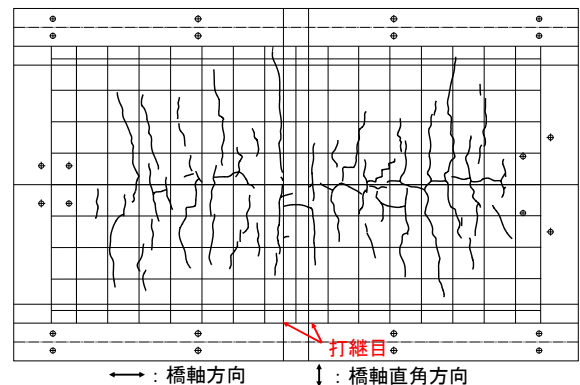


図-14 試験終了後のひび割れ状況 (下面)

### 2004

- 5) 松田拓, 蓮尾孝一, 野口貴文 : 細骨材の違いが超高強度コンクリートの性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1117-1122, 2015.7
- 6) 恩田陽介, 佐々木亘, 基哲義, 松田拓 : 乾燥状態のFNSを用いた超低収縮高強度繊維補強コンクリートに関する検討, 第30回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2021(投稿中)
- 7) JCI 試験方法 : 切欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法 JCI-S-002-2003
- 8) 東日本・中日本・西日本高速道路(株) : NEXCO 試験方法, 第4編構造関係試験方法, 2019年