

論文・報告

床版取替え用プレキャスト PC 床版の 合理化継手の開発

Essential Study on a Rationalized Connection of Precast PC Slab for Slab Replacement

吉松 秀和*1
Hidekazu YOSHIMATSU

大澤 浩二*2
Koji OSAWA

中山 良直*3
Yoshinao NAKAYAMA

川口 千大*4
Chihiro KAWAGUCHI

塩井 健太*4
Kenta SHIOI

我が国では高度経済成長期に建設された構造物の老朽化が進んでおり、供用期間が 40 年を超え補修・補強が必要とされる橋梁が多く存在する。近年、老朽化した RC 床版の取替え工事が増加している。旧基準で設計された RC 床版を、現行基準を適用し RC 床版として設計すると床版厚が厚くなり重量が増加する。そこで、RC 床版を PC 床版とすると床版厚を薄くすることができ、死荷重増加の問題が解決される。また、床版の取替え工事では、交通規制を最小限にすることが求められるためプレキャスト化することで現場施工時間の短縮が可能となる。しかし、従来のプレキャスト床版継手部には、ループ継手が採用されており床版厚が薄い場合適用できない。そこで、床版厚が薄いプレキャスト PC 床版に適用できる合理化継手構造の開発を行った。本稿では、継手部に対し、静的載荷試験、定点繰返し載荷試験、移動輪荷重走行試験を行った結果を報告する。

キーワード：床版取替え、プレキャスト PC 床版、継手、急速施工、耐久性

1. はじめに

わが国では、1965 年以降の高度経済成長期に建設された構造物の老朽化が進んでおり、特に鋼橋 RC 床版の損傷が重度のものが多く、取替え工事が増加している。

旧基準（昭和 55 年制定以前の道路橋示方書）により設計された RC 床版を、現行基準を適用して RC 床版のまま設計すると、床版厚が厚くなるために重量が増加して鋼主桁や下部構造の補強が必要になる可能性がある。そこで、取替え床版を PC 構造とすることで、床版厚を増加させずに、死荷重増の問題を解消できる。また、床版の取替え工事では、交通規制を最小限にすることが求められるため、プレキャスト化することで現場施工期間の短縮が可能となる。しかし、従来のプレキャスト PC 床版は、橋軸方向の接合構造としてループ継手が採用されており、床版厚が薄い場合にはループ鉄筋が収まらないという問題がある。また、通常の重ね継手方式では、継手の鉄筋長が公称鉄筋径の 25 倍程度（D19 の場合 475mm 以上）必要となり間詰め幅が広がる。また、現場での後施工となる間詰めコンクリート数量が増加し急速施工には不向きとなる。

そこで、薄いプレキャスト PC 床版の継手として、橋軸

方向鉄筋（床版配力鉄筋）の先端にナットを取り付けた継手構造（合理化継手と称する）の開発を行った。ナットで引抜き力を分担することによって、鉄筋付着長の短縮を図ったもので、ナット付き鉄筋を写真 1 に示す。

このようなプレキャスト PC 床版継手の性能を検証するため、間詰部付近を切り出した梁モデルを作成し床版の継手としての性能を静的載荷試験によって確認した。また、継手を床版供試体の中央に設置したプレキャスト PC 床版に対して輪荷重を 1 点に載荷する定点繰返し載荷試験と、輪荷重を走行させて載荷する移動輪荷重走行試験を実施し、耐久性の確認を行った。

2. 試験体概要および試験方法

表 1～3 に試験体の種類を、図 1 に継手構造概要図、写真 2 に継手構造を示す。床版支間 2.50 m（連続版）の RC



写真 1 ナット付き鉄筋

*1 川田建設㈱技術部技術課 係長

*2 川田建設㈱技術部 部長

*3 川田建設㈱技術部 次長

*4 川田建設㈱技術部技術課

床版を、プレキャストPC床版に取り替える工事を想定し、試験体サイズを決定した。床版厚は、床版支間 2.50 m の最小床版厚の 170 mm とし、配力鉄筋は上下鉄筋ともに D19 (SD345, ナット M18) とした。合理化継手の鉄筋アンカー長は、静的載荷試験と定点繰返し載荷試験では、鉄筋径の 10 倍, 12 倍, 14 倍, 16 倍の 4 種類とし、移動輪荷重走行試験のみ 12 倍, 14 倍と重ね継手(継手長は、鉄筋径の 25 倍)の 3 種類とした。コンクリートの設計基準強度はプレキャスト部, 間詰部ともに 50 N/mm² とし、間詰部コンクリートには収縮補償の目的で膨張材を 30 kg/m³ 添加した。

(1) 静的載荷試験

図 2 に試験体概要図を示す。試験体の幅は 440 mm と小さいので、橋軸直角方向を RC 構造とし、打継目地は遅延剤を用い洗い出し処理を行った。床版支間中央付近より橋軸方向にはり状(幅: 440 mm)に切り出したモデルで、間詰部近傍に作用する曲げモーメントとせん断力が、実際の床版に作用する状態と同程度となるように試験体載荷支間長を設定した。支間長を 780 mm とすることで着目位置(打継目地近傍)での曲げモーメントとせん断力が、実際の床版とほぼ同じとなることを FEM 解析により確認した。支間中央部に載荷を行った。

(2) 定点疲労載荷試験

図 3 に試験体概要図を示す。試験体の橋軸直角方向を PC 構造とし、打継目地は静的載荷試験体と同様に洗い出し処理を行った。床版支間は、道路橋示方書により算出した連続版支間 2.50 m の橋軸直角方向曲げモーメントと同程度となるように、単純版支間 2.00 m とし、輪荷重の設置面を再現した 200 mm×500 mm の載荷板を使用し載荷を行った。載荷回数および載荷荷重は、実橋において交通荷重が 100 年間走行した場合の累積損傷度と等価な損傷度を試験体に与えるよう、過去に実橋で計測した交通軸重の頻度分布(大型車交通量を 1000 台/車線・日を想定)に基づき(式 2.1)¹⁾²⁾により設定した。

$$\sum_{i=1}^n (AP_i / P_{Ad})^m \times n_i = (EP / P_{Ed})^m \times N_E \quad (\text{式 2.1})$$

ここに

- AP_i : 実橋に i 番目に作用する輪荷重
- P_{Ad} : 実橋での設計荷重
- n_i : 実橋で 100 年間に作用する載荷回数
- EP : 試験体での載荷荷重
- P_{Ed} : 試験体での設計荷重
- N_E : 試験体での載荷回数
- m : 設計疲労曲線の傾きの絶対値の逆数(12.76)

結果として、疲労載荷回数は 50 万回とし、載荷荷重は 20 kN~186 kN (荷重変動量: 166 kN) とした。

表 1 試験体の種類 (静的載荷試験)

試験体名称	アンカー長	間詰長
B10	10φ(190 mm)	240 mm
B12	12φ(230 mm)	280 mm
B14	14φ(270 mm)	320 mm
B16	16φ(310 mm)	360 mm

表 2 試験体の種類 (定点疲労載荷試験)

試験体名称	アンカー長	間詰長
C10	10φ(190 mm)	240 mm
C12	12φ(230 mm)	280 mm
C14	14φ(270 mm)	320 mm
C16	16φ(310 mm)	360 mm

表 3 試験体の種類 (移動輪荷重走行試験)

試験体名称	アンカー長	間詰長
D12	12φ(230 mm)	280 mm
D14	14φ(270 mm)	320 mm
D25	25φ(475 mm)	540 mm

※D25: 通常の重ね継手

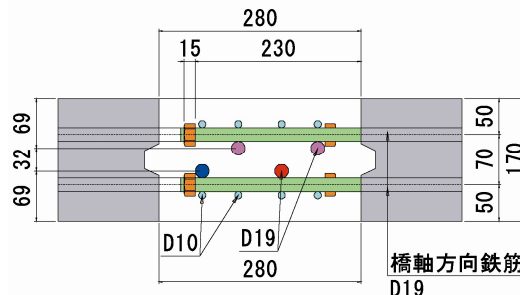


図 1 継手構造概要図 (12φ)

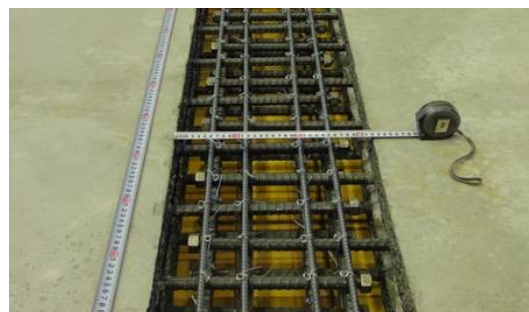


写真 2 継手構造 (14φ)

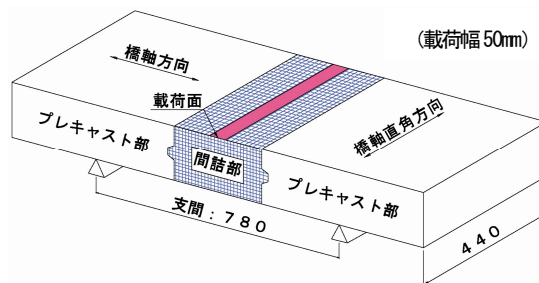


図 2 試験体概要図 (静的載荷)

載荷荷重が、実際の輪荷重に比べ大きいいため想定外の損傷を生じさせないように、疲労載荷開始前に静的載荷を数回行い、プレキャスト部および間詰部にひび割れを発生させた。静的載荷は、間詰部輪荷重載荷予定位置と打継目地、プレキャスト部中央付近に設計荷重の 1.5 倍程度で、ひび割れ状況を確認しながら載荷を行った。

(3) 移動輪荷重走行試験

図 4 に試験体概要図を示す。静的載荷試験と定点疲労載荷試験の結果から、アンカー長は鉄筋径の 12 倍と 14 倍の 2 パターンとした。また、比較のために、重ね継手の試験体についても移動輪荷重走行試験を実施した。定点疲労載荷試験体と同様に橋軸直角方向を PC 構造とし、打継目地は洗い出し処理を行い、床版支間も単純版支間 2.00 m とした。載荷回数および載荷荷重は、定点疲労載荷試験と同様に (式 2.1) により設定した。結果として、輪荷重載荷回数は 40 万回とし、移動輪荷重は 170 kN とした。また、連続桁橋の中間支点上では、床版に橋軸方向引張力が作用する状態で輪荷重を受けるため、40 万回の繰返し載荷後に、間詰部近傍に橋軸方向引張力が作用する状態を再現した輪荷重走行試験を行った。輪荷重載荷回数は破壊の進展性の有無を判断できる 20 万回とし、移動輪荷重は 100 kN とした。

定点疲労載荷試験と同様に載荷荷重が実際の輪荷重に比べ大きいため、想定外の損傷を生じさせないように、移動輪荷重載荷前に 150 kN を 5 万回走行させた。D12 と D14 試験体は、上記試験後に試験体上面に水を張り引き続き移動輪荷重試験を実施した。

3. 載荷試験結果および考察

(1) 静的載荷試験

図 5 に荷重-支間中央変位の関係を示す。支間中央位置でのひび割れ発生荷重は 36 kN (設計値)，設計荷重 (鉄筋応力: 120 N/mm²) は 58 kN (設計値) であり、荷重-変位の勾配が、B10 では 150 kN，B16 では 230 kN 程度まで一定で、設計荷重の 2 倍程度まで剛性が低下せず線形性を有していることが確認できた。

図 6 に曲げモーメント-鉄筋ひずみ (打継目地) の関係を、図 7 に計測位置を示す。曲げモーメントが 7~10kN・m 程度でモーメント-ひずみ関係の傾きが変化している。この時点で打継目地下縁側にひび割れが生じたと考えられるが、鉄筋の初降伏程度までひずみの変化は線形的であることが確認できた。

支間中央部に降伏荷重 165 kN が作用する際のせん断力は 82 kN で、FEM 解析により算出した実橋に作用すると考えられるせん断力 39 kN と比較すると、2 倍以上の余裕があった。また、図 8 に静的載荷によるひび割れ図を示す。せん断ひび割れと思われるひび割れが打継目地を貫通しているが、目地部に異常なひび割れ等が発生していないことが確認できた。

(2) 定点疲労載荷試験

定点疲労載荷試験については、初期、100, 1000, 1 万, 5 万, 10 万回載荷後、以降は 10 万回毎に静的に載荷を行い計測を行った。

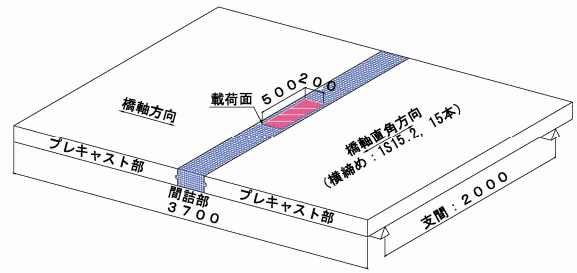


図 3 試験体概要図 (定点疲労載荷)

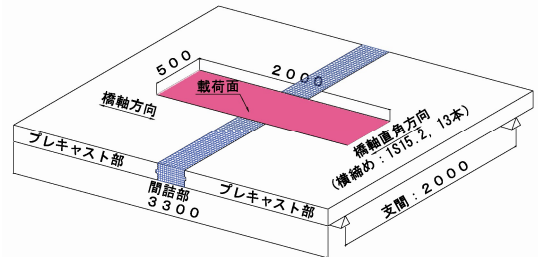


図 4 試験体概要図 (移動輪荷重載荷)

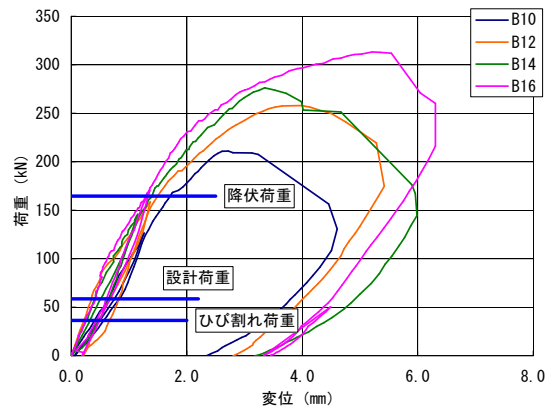


図 5 荷重 - 支間中央変位

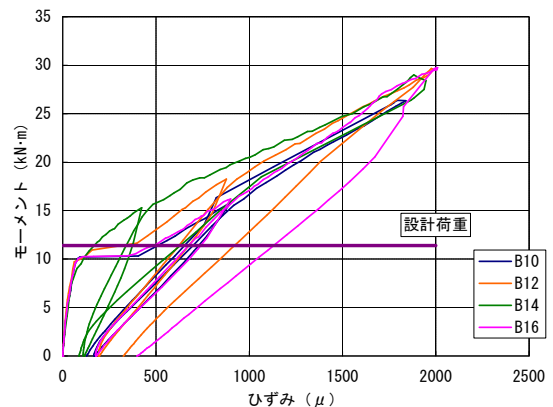


図 6 曲げモーメント - 鉄筋ひずみ

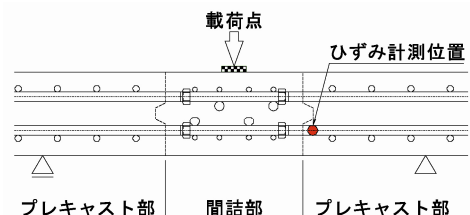


図 7 ひずみ計測位置

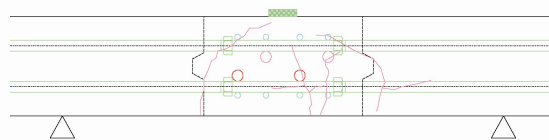
図9に中央変位-载荷回数の関係を示す。変位は、輪荷重100kNに床版支間2.50mの衝撃係数を考慮した138kN载荷時に相当する値に換算した。変位は、繰返し载荷を行っても一定であることが確認できた。

図10に鉄筋ひずみ-载荷回数の関係を示す。鉄筋ひずみは、打継目地のひずみに着目し目地位置に同一モーメント(138kN载荷時のC12打継目地での橋軸方向モーメント)が作用したものととして換算した。鉄筋ひずみは変位と同様、繰返し载荷を行っても一定であることが確認できた。

図11にひび割れ幅-载荷回数の関係、図12にC12およびC14の定点疲労载荷によるひび割れ図を示す。定点疲労载荷試験開始前に静载荷を行いひび割れを発生させたが、疲労载荷により新たに発生したひび割れはC16を除き確認されなかった。また、ひび割れ幅も非常に小さいものであり、繰返し载荷を行っても一定であることが確認できた。

(3) 移動輪荷重走行試験

移動輪荷重走行試験では、各载荷毎に初期、2000、5000、1万、2万回载荷後、以降は6万回(2+4万回)毎を基本とし、中央に静的载荷を行い計測を行った。



(B12 側面)

図8 ひび割れ図(静的载荷)

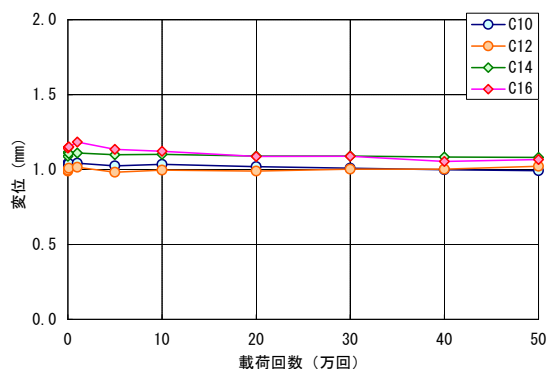


図9 中央変位 - 载荷回数

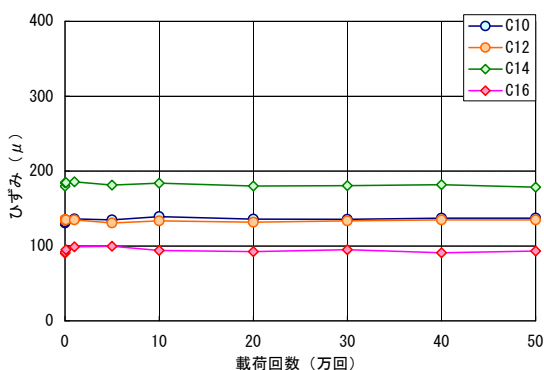


図10 鉄筋ひずみ - 载荷回数

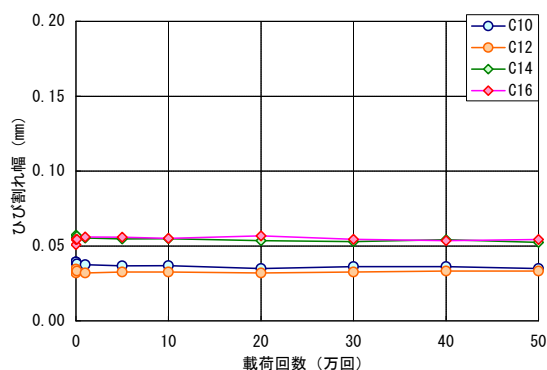
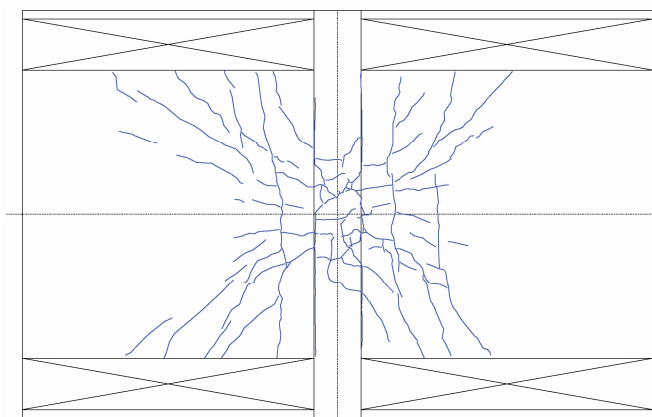
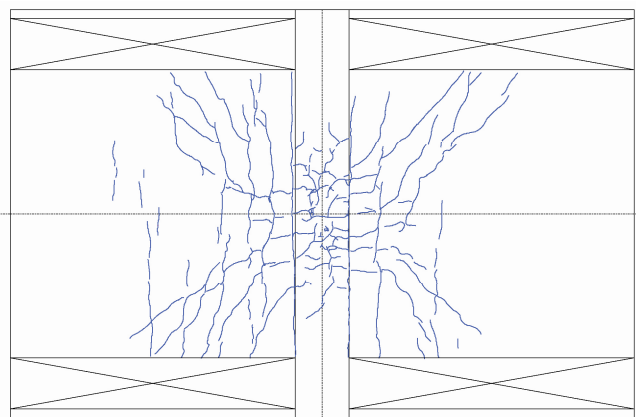


図11 ひび割れ幅 - 载荷回数



試験体 C12 底面



試験体 C14 底面

図12 ひび割れ図(定点疲労試験)

図 13 に中央変位-载荷回数との関係を示す。変位は、輪荷重 100 kN に床版支間 2.50 m の衝撃係数を考慮した 138 kN 载荷時に相当する値に換算した。変位は、走行载荷を繰返し行っても一定であることが確認できた。

図 14 に鉄筋ひずみ-载荷回数との関係を示す。鉄筋ひずみは、間詰部（中央）および打継目地のひずみに着目した。目地位置に同一モーメント（138 kN 载荷時の D12 打継目地での橋軸方向モーメント）が作用したものととして換算した。間詰部、打継目地の鉄筋ひずみは、走行载荷を繰返し行ってもほぼ一定であることが確認できた。

図 15 にひび割れ幅-载荷回数との関係を示す。ひび割れ幅は、間詰部（ひび割れ発生箇所）および打継目地のひび割れ幅に着目した。間詰部、打継目地に同一モーメント（間詰部：138 kN 载荷時の中央での橋軸方向モーメント、打継目地：138 kN 载荷時の D12 打継目地での橋軸方向モーメント）が作用したものととして換算した。間詰部、打継目地のひび割れ幅は、走行载荷を繰返し行ってもほぼ一定であることが確認できた。

図 16 に移動輪荷重载荷によるひび割れ図を示す。プレキャストPC版では橋軸直角方向にのみひび割れが生じているが、間詰部では格子状にひび割れが生じていた。打継目地に沿ってひび割れが生じているが、貫通ひび割れ

は確認できなかった。

(4) 切断・ハツリ確認状況

写真 3 に間詰部確認状況を示す。载荷試験終了後に間詰部を切断し、試験体内部の確認を行った。静的载荷試験体は、ひび割れに沿ってコンクリートをハツリ、ナット付近の確認を行いナット部が健全であることを確認した。定点疲労载荷試験体と移動輪荷重载荷試験体は、切断面の確認を行った。ひび割れが微細で目視での確認が困難なため薬品を用いてひび割れを観察した。定点疲労载荷試験は、ナット部分にひび割れを確認したが、アンカー鉄筋がひび割れを貫通しているため、ひび割れが拘

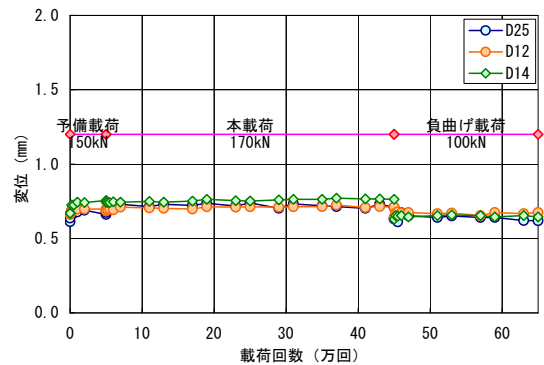
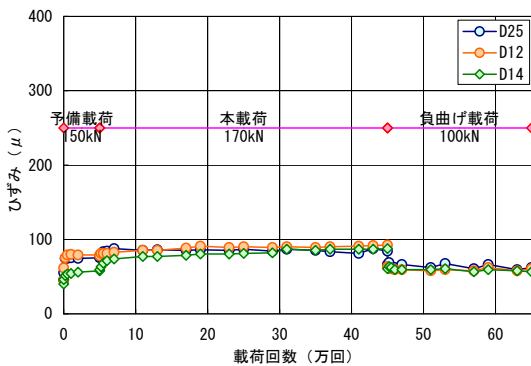
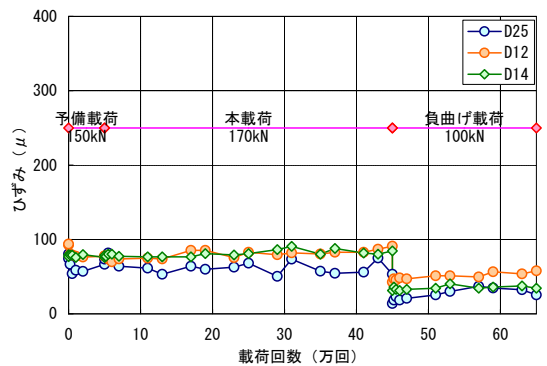


図 13 中央変位 - 载荷回数

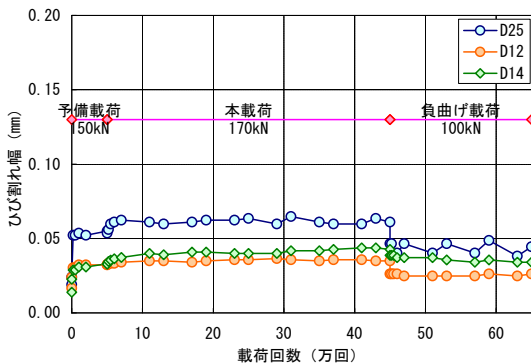


間詰部（中央）

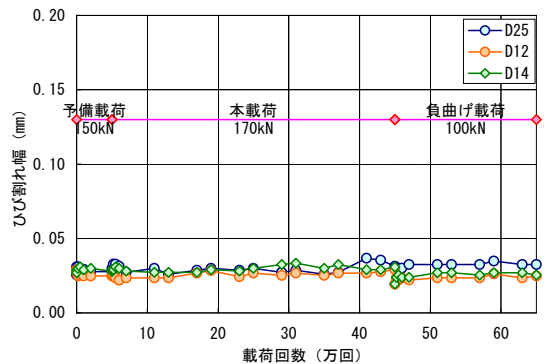


打継目地

図 14 鉄筋ひずみ - 载荷回数

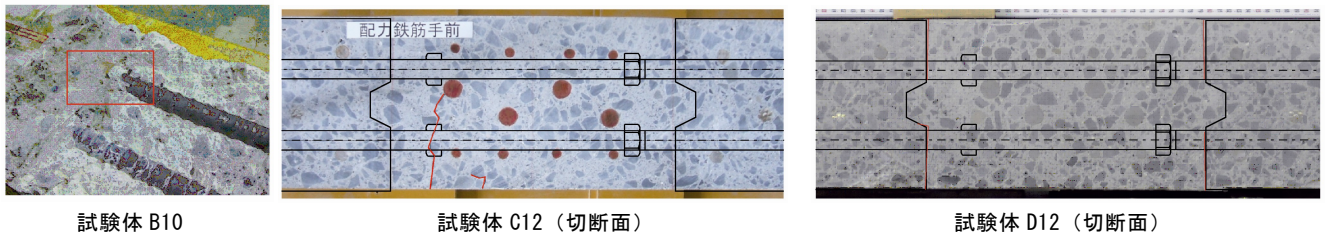


間詰部（ひび割れ発生箇所）



打継目地

図 15 ひび割れ幅 - 载荷回数

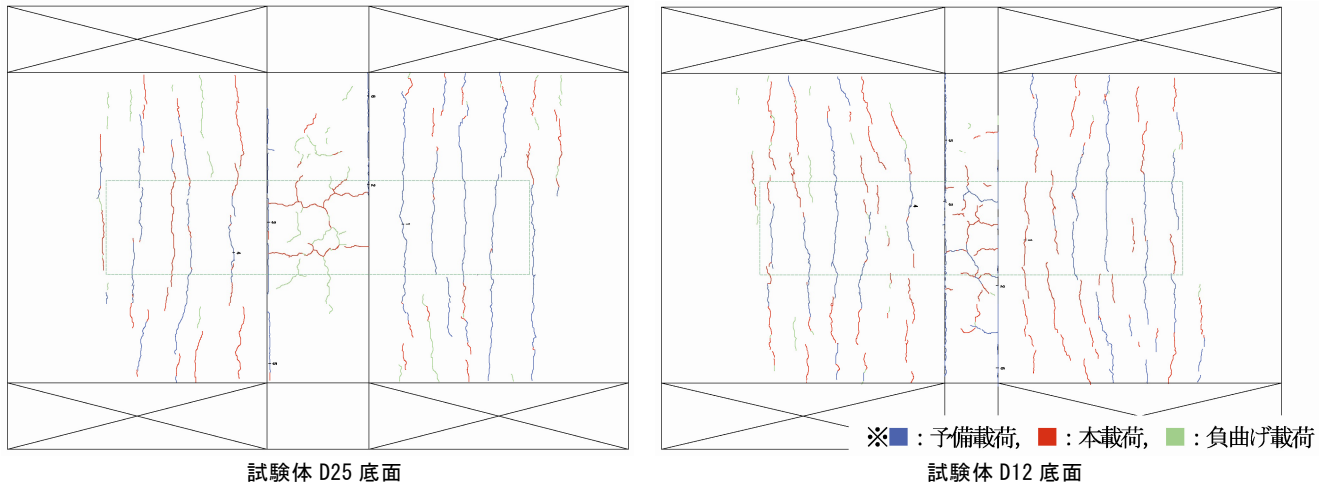


試験体 B10

試験体 C12 (切断面)

試験体 D12 (切断面)

写真 3 間詰部確認状況



試験体 D25 底面

※ 青 : 予備載荷, 赤 : 本載荷, 緑 : 負曲げ載荷
試験体 D12 底面

図 16 ひび割れ図 (移動輪荷重試験)

束され大きく進展しないと考えられる。移動輪荷重載荷試験体は、打継目地下面に加え上面にもひび割れが確認されたが、負曲げ試験により発生したものである。ただし、上下ひび割れは貫通していない。

4. まとめ

実験により得られた知見を以下に示す。

(1) 静的載荷試験

- ①鉄筋に生じるひずみが初降伏程度となるまで線形的な挙動を示す。
- ②打継目地に着目すると、アンカー長が鉄筋径の 10 倍の場合、耐力が降伏荷重の 9 割程度であった。アンカー長が鉄筋径の 12 倍以上では、降伏荷重程度の耐力を有していた。
- ③アンカー長が鉄筋径の 12 倍以上の場合、せん断ひび割れが打継目地を貫通しており、せん断キーの破壊等確認されないことから打継目地での一体性が確保されていると考えられる。
- ④FEM 解析により算出した実橋に作用すると考えられるせん断力に対し 2 倍以上の耐力を有していることが確認できた。
- ⑤アンカー長が鉄筋径の 10 倍の場合、間詰め幅が狭く配筋や打設が困難であった。

(2) 定点疲労載荷試験

- ⑥アンカー長が鉄筋径の 10 倍以上あれば、実橋での 100 年に相当する 50 万回載荷後においても変状が生じないことが確認できた。

(3) 移動輪荷重走行試験

- ⑦アンカー長が鉄筋径の 12 倍あるいは 14 倍あれば、実橋での 100 年に相当する 40 万回輪荷重走行後においても通常の重ね継手と同等の耐久性を有していることが確認できた。
- ⑧連続桁橋の中間支点上で床版に引張力が作用する場合においても通常の重ね継手と同等の耐久性を有していることが確認できた。
- ⑨水張り試験の結果、打継目地からの水漏れはなく水に対する耐久性が確認できた。

以上より、アンカー長が 12 倍あるいは 14 倍の場合、1000 台/車線・日であれば、100 年に相当する耐久性を有していると考えられる。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版，森北出版，2007. 10. 2.
- 2) 水野，松井，大西，杉山，街道：床版取替用プレキャスト合成床版の合理化継手の疲労耐久性評価，構造工学論文集 Vol. 58A, pp. 1112-1122, 2012. 3.