

論文

打ち継ぎ目を有する RC プレキャスト床版の曲げ試験の評価 に関する実験研究

小野晃良*, 高橋明彦**, 大西弘志***, 久田真****

*工修, (株)小野工業所 (〒964-0004 福島市町庭坂字堀ノ内 3-1)

** 岩手大学工学研究科博士課程 (〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5)

*** 工博, 岩手大学准教授, 理工学部建設システム工学科 (〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5)

****工博, 東北大学教授, 工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

地方自治体が管理する小規模鋼道路橋床版の老朽化が多く報告されている。老朽化の現状は、耐力低下に起因する上面の砂利化や床版下面のひび割れなどの損傷も多く確認され、交通規制が強られる橋梁も年々増加している。一方技術者不足、維持管理費用不足などが損傷の進行を助長している。

本研究は、上記の背景の中、高度な技術力を必要とせず、経済的に優位な RC プレキャスト床版を打替え用床版とし、現場継手に機械式定着継手構造を有した鍛造鉄筋を採用し、耐久性、耐荷性能を確認するため、コンクリート版に継手を設けた試験体による曲げ試験を実施し、RC プレキャスト床版継手構造の耐荷性能を確認した。

キーワード: RC プレキャスト床版, 機械式定着継手, 静的曲げ試験

1. はじめに

我が国の道路橋は約 73 万橋と言われ、そのうち約 65 万橋を地方自治体が管理しており、その橋梁の多くは中小規模梁が占めている。また、東北地方や北陸信越地方等の積雪寒冷地に架橋される地方自治体が管理する橋梁の鋼橋コンクリート床版は、凍結抑制剤散布の影響や架橋当時の技術、施工品質の影響などにより、交通量の少ない路線であっても橋梁床版に損傷(図-1) ¹⁾が確認され、道路管理者はその維持管理に苦慮している。

本研究は、橋梁用床版打替え工法の中で地方自治体の工事発注上の制限や工事を請け負う施工業者の受注背景を勘案し、施工難易度の高い PC プレキャスト床版が多く採用される中、施工管理が容易な RC プレキャスト床版を提案し、必要性能について検証を行った。

検証内容は、提案する RC プレキャスト床版継手構造が母材性能と同等性能以上であるかを検証するため、鉄筋継手に関する試験を実施した。

試験体製作は、提案する機械式定着継手を検証するため、継手なし曲げ試験体と継手あり曲げ供試体を製作し、静的曲げ試験にて、鉄筋継手構造の優位性を確認した。

把握するため、工場ではプレキャスト部材の製作と現場 ⁵⁾で継手部コンクリートを打設する手順に準拠して供試体を製作した。

プレキャスト部材については、工場蒸気養生で強度発現後、プレキャスト部材の組み立てを行ったのち、自走式モービル車で超速硬コンクリートを練り混ぜ、床版連結部へ打設し、床版の曲げ供試体を作成した。また、提案する機械式定着継手は、主筋方向と配力鉄筋方向で形状が異なるため、両供試体と継手なし供試体を製作し、静的載荷試験を実施し性能を対比するために必要な試験体の製作を行った。



[路面]

[床版下面]

図-1 地方橋梁の床版損傷

2. 供試体概要

供試体 ⁴⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾は、鉄筋コンクリート床版の継手部性能を

2.1. 使用材料

(1)使用材料

使用した鋼材及びコンクリート材料は、表-1に示す。

表-1 使用材料

使用部材	規格	種類	備考
鉄筋材	JISG3112	SD345	異形棒鋼
プレキャスト コンクリート	$\sigma_{28}=40\text{N/mm}^2$		
場所打ち コンクリート	超速硬 コンクリート		

(2) 試験時のコンクリート強度

実験時のコンクリート強度は、表-2, 3 に示したとおりである。コンクリート強度は、製作時にサンプリングした材料から1軸圧縮強度試験を実施し、その試験体3本平均圧縮強度試験結果と材齢の関係を図-2 に示したとおりである。プレキャスト供試体は、日々製作したため、試験時の材齢が異なった中で試験を実施した。

試験実施までには、プレキャスト部材コンクリート打設後2週以上、二次コンクリート打設後1週間以上経過、目標強度を40N/mm²以上を確認したうえで試験を実施した。

表-2 曲げ試験時のコンクリート強度

	平均試験強度 (σ_{28})	備考
プレキャスト部	$\sigma_{28}=40\text{N/mm}^2$	
場所打ち部 (超速硬 Co)	$\sigma_{1}=30\text{N/mm}^2$ 以上	24 時間後 30N/ mm ² 以上

表-3 定着長設定時のコンクリート強度

	平均試験強度
引抜き 試験体	$\sigma=30\text{N/mm}^2$ (交通開放時最低コンクリート強度)

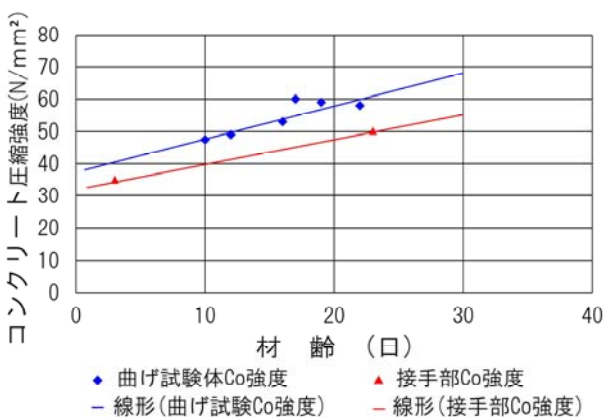


図-2 使用材料のコンクリート強度発現状況

2.2. 供試寸法

(1) 機械式定着継手形状および鉄筋組み立て方法

かぶりを最小とするため、頭部形状毎に主筋と配力筋の使い分けを行うものとした。配筋上の△頭部鉄筋と○頭部鉄筋の使い分けは、図-3 (下段) に示すとおりである。

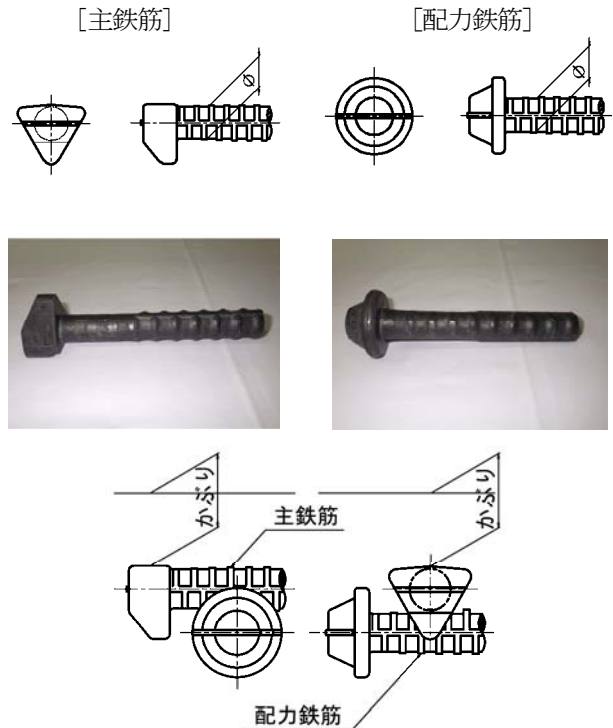


図-3 鉄筋形状 (上段), 鉄筋写真 (中段), 組み立て方法 (下段)

(2) 継手の定着長

定着長 $l_a(\text{mm})^2$ は、以下を採用した。

$$l_a = (\sigma_{sa} / 4\tau_{0a}) \cdot \phi - 10\phi$$

σ_{sa} : 鉄筋引張応力度の基本値 (N/mm²)

定着長は、床版打替え時の施工ステップと供用状況を勘案し、施工計画に伴い制限された時間内に強度確保が可能なコンクリート強度に配慮した設計長とした。

引抜き試験は、新設コンクリート床版の設計基準強度が道路橋示方書に30N/mm²以上と示され、プレキャスト部材を構築するコンクリート材料を供給する工場の現状を踏まえ、コンクリート設計基準強度40N/mm²を使用した。また、現場打ちとなる定着部のコンクリートは、暫定供用を勘案し、30N/mm²から算出する定着長を採用し、中長期的には、母材部と同様の40N/mm²以上の強度を期待するものとした。

(3) 曲げ試験体

供試体の基本構造は、B活荷重が載荷される支間3.3mの床版モデルを60%に再現した供試体を作成し、曲げ試験を実施するものとした。試験体モデルは、主筋および配力筋方向の継手設定モデルと主筋および配力筋方向

の継手なしモデルを製作し試験を実施した。

コンクリート床版の供試体は、RC プレキャスト床版部と現場継手部から構成され、プレキャスト床版製作時と継手部の施工を勘案して、それぞれのコンクリート材料を設定した。また、二次コンクリートを打設するプレキャスト部材の継手面の表面処理は、工場製作時に遅延材を塗布し、目荒らし処理を行った。図-8に継手あり曲げ試験供試体概要図を示す。また、概要図に表示される○印は、ひずみゲージ貼り付け位置を示し、載荷時の打継部とプレキャスト部コンクリートの変化を確認するため、図-9に示す位置にIIゲージを設置した。

図-4～7は、供試体作成状況及びひずみゲージ設置状況を示したものである。試験に際して製作した曲げ試験体製作数量は、表-5に示すとおりである。また、図-8および10に供試体の細部構造を示す。



図-4 配筋状況 (主筋)



図-5 ゲージ設置状況



図-6 継手部 Co 打設



図-7 ひずみゲージ設置状況

表-4 曲げ試験時機械式定着の定着長(SD345)

鉄筋径	コンクリート設計基準強度 σ_{sa}	付着応力 τ_{0a}	定着長算出時引張応力度	設計定着長 (mm)
D13	$\sigma_{28}=21\text{N/mm}^2$	1.40	200N/mm ²	340
	$\sigma_{28}=24\text{N/mm}^2$	1.60		280
	$\sigma_{28}=30\text{N/mm}^2$	1.80		240
	$\sigma_{28}=40\text{N/mm}^2$	2.00		200

表-5 曲げ試験体製作数

鉄筋径	頭部形状	曲げ試験体		備考
		体	数	
D13	直	体	6	主鉄筋3体 配力鉄筋3体
	○	体	3	4点曲げ試験：2体 3点曲げ試験：1体
	△	体	3	4点曲げ試験：2体 3点曲げ試験：1体
小計		体	12	

表-6 供試体別ゲージ等設置数 (1 試験体あたり)

	ひずみゲージ	II ゲージ	変位計
継手なし	26	0	10
主筋継手	30	12	14
配力筋継手	30	12	14

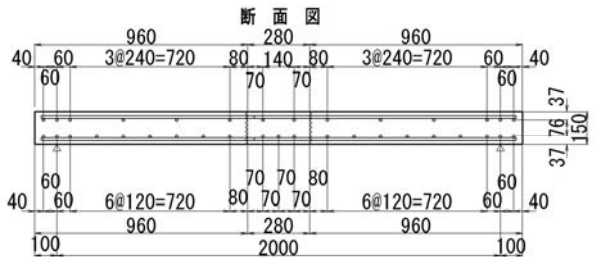
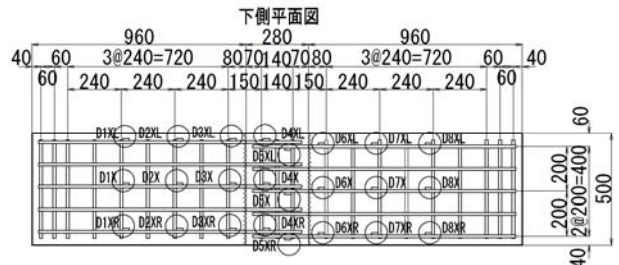
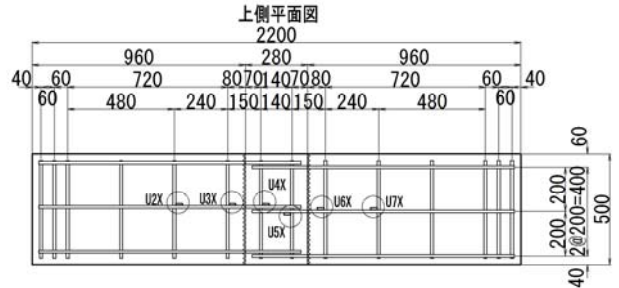


図-8 曲げ試験 (継手あり) 供試体 (主筋継手) (※配力筋方向曲げ供試体は、断面図の試験体方向に配力鉄筋を配置した供試体となる。)

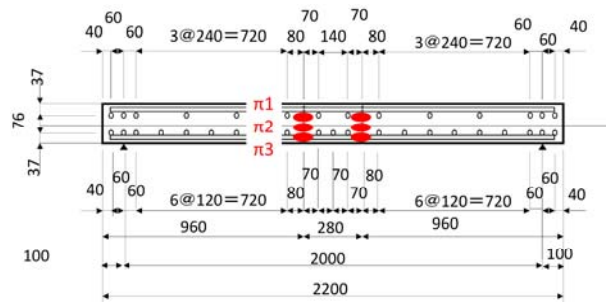


図-9 曲げ試験供試体IIゲージ設置位置

3. 実験概要

3.1. 静的曲げ試験

鉄筋継手なし供試体，主筋継手および配力鉄筋の継手を有した床版供試体を作成し，図-11~12の試験概要図に示す載荷状態で2点曲げ試験および1点曲げ破壊試験を実施した．図-12~15に曲げ試験実施状況を示す．

試験時の載荷点および支点は，供試体幅方向全体を線支点で支持するものとし，データの収集は，供試体内に埋め込んだひずみゲージと変位計， Π ゲージを用い，載荷試験を実施した．荷重の載荷は，連続的に載荷し続け，変位計のストロークが限界に達した時点で変位計を再設置し，荷重が抜けた段階で試験を完了させるものとした．試験では，連続載荷時の床版の破壊状態および変位一荷重，荷重一鉄筋に作用した応力度の関係を確認した．

4. 試験結果

2点曲げ試験体は，二次コンクリート部分にひび割れがほとんど確認されず，荷重載荷位置より支点部にかけてひび割れ発生が確認された．一方，1点曲げ試験は，二次コンクリート部の直角方向ひび割れは確認されないが，二次コンクリート上側に図-25に示す様なひび割れ発生が確認された．このひび割れは，上側鉄筋に沿って，水平ひび割れが側面に確認され，二次コンクリート部分とプレキャスト部の鉄筋量が異なるため，二次コンクリートのかぶり部がプレキャスト部に押しされ，上側鉄筋に沿ってひび割れが発生した．

荷重一変位の関係については，図-16~17に示すとおりであった．結果として，2点曲げ試験および1点曲げ試験の同試験方法では，継手ありと継手なし試験体での差異がほとんどない状態であった．

荷重載荷状態が異なる2点曲げ試験と1点曲げ試験では，終局時の変位量に差が大きく確認された．これは，試験方法の相違によるものと考えられ，載荷方法が二次コンクリートの中央に荷重を載荷しているか二次コンクリートを跨いで載荷したことの違いとプレキャスト部材から伸びた機械式定着継手が重なり合う構造となるため，継手部の鋼材量が多くなっており，一般部の破壊に進展したものと考えられる．鉄筋の伸びが追従し，変位が大きくなった．

1点曲げ試験は，二次コンクリート中央直角方向に線載荷されるため，2点曲げ試験に比べ，変位量が小さくなったものと考えられる．1点曲げ試験時の破壊状況は，図-25に示すように継手部が左右のプレキャスト部材から伸びた機械式定着継手が重なり合う鉄筋の上側かぶり部の側面にひび割れと床版の圧縮側に局所的コンクリートの圧壊が生じていた．

鉄筋継手なしと機械式定着継手の差異は，2点曲げ試験時は，継手なし構造が変位の追従が大きい傾向が確認

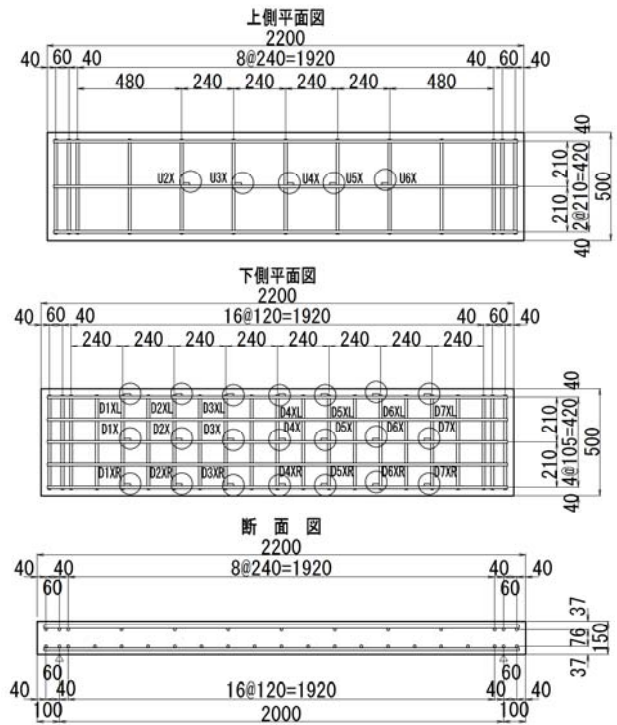


図-10 曲げ試験（継手なし）供試体（主筋継手）
（※配力筋方向曲げ供試体は，断面図の試験体方向に配力鉄筋を配置した供試体となる．）

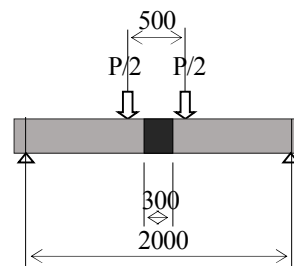


図-11 2点曲げ試験概要

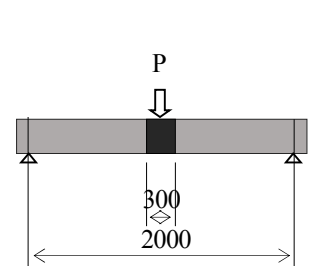


図-12 1点曲げ試験概要



図-12 2点曲げ試験状況



図-13 2点曲げ試験状況



図-14 1点曲げ試験状況



図-15 1点曲げ試験状況

された。1点曲げ試験は、機械式定着継手の方が継手なし試験体に比べ、変位の追従が大きい結果が確認された。

図-26は、二次コンクリートとプレキャスト部材との境界に設置したIIゲージで収集した目地の開きと荷重の関係を示したものである。載荷荷重が許容応力を超えたあたりから、打継部に開きが生じはじめ、荷重を増加するに従い、床版下面から徐々に橋面に開きが進展していることが確認された。

5. 結論

今回提案する機械定着式継手は、RCプレキャスト床版の取替工法として採用の可能性を把握するため、コンクリート採用時の継手定着長の確保と床版の現場組み立て施工を勘案し提案する継手工法であり、その試験の結果から次の知見が得られたものとする。

提案する機械定着式継手を用いた床版供試体の静的曲げ試験は、全試験体とも曲げひび割れが発生し、鉄筋の伸びが生じた段階であっても、引張鉄筋継手が機能し続け、終局の段階に至っており、特異的破壊や機械式定着に起因した破壊が確認されなかった。

プレキャスト部材と二次コンクリートの打継部は、付着性能向上のための目荒らし処理を実施した試験体で曲げ試験を行い、ひび割れ発生と同時に打継部に開きが生じたことを受け、今後は接着剤の塗布を勘案し、性能向上に関する検討も必要と考える。

以上のことから、提案する機械式定着を採用した打替え用RCプレキャスト床版は、経済性、施工性に優れ、地方自治体が管理する一般道路に架橋する橋梁の床版打替え工法として、要求が高いものとする。

今後もRCプレキャスト床版による取替工法について研究を進めていく所存である。

現在、移動輪走行試験機による疲労実験を進めており、本研究で確認された成果と移動輪走行試験機による疲労試験結果を踏まえ、更なる改良を推し進めたいと考える。

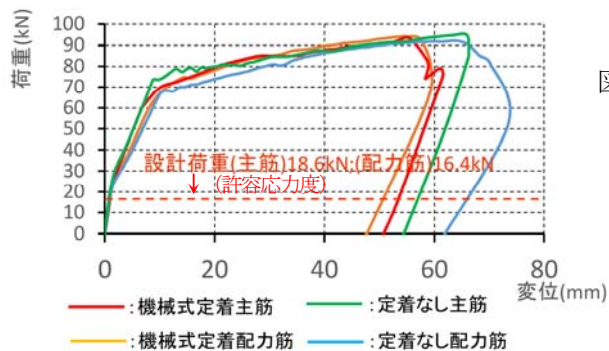


図-16 2点曲げ試験（荷重-変位の関係）

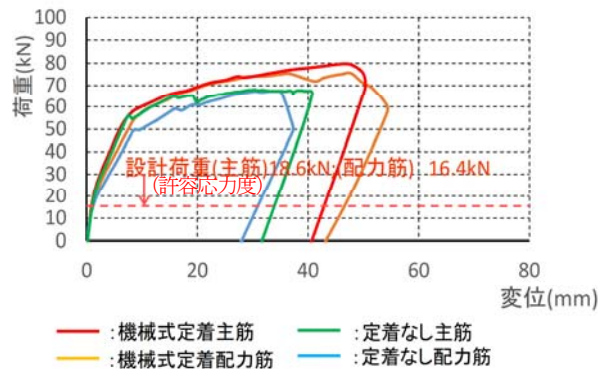


図-17 1点曲げ試験（荷重-変位の関係）

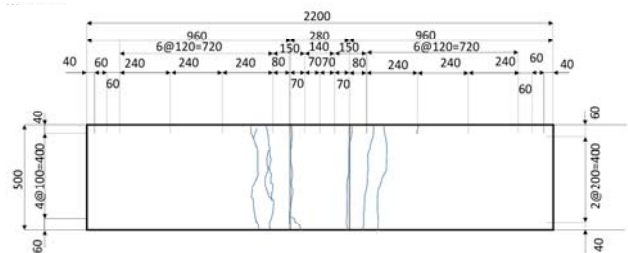


図-18 継手あり主筋配筋曲げ試験体破壊状態
床版下面（2点曲げ試験）

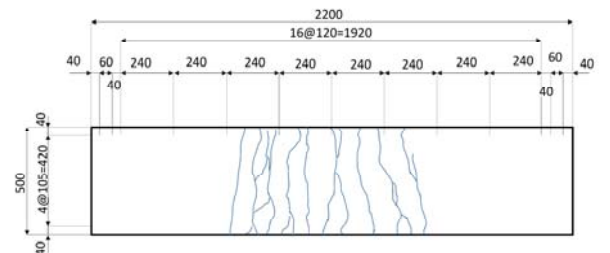


図-19 継手なし主筋配筋曲げ試験体破壊状態
床版下面（2点曲げ試験）



図-20 2点曲げ試験破壊状況
（継手あり）



図-21 2点曲げ試験破壊状況
（継手あり）



図-22 2点曲げ試験破壊状況
（継手なし）



図-23 1点曲げ試験破壊状況
（継手あり）



図-24 1点曲げ試験破壊状況
(継手あり)



図-25 1点曲げ試験破壊状況
(継手あり)

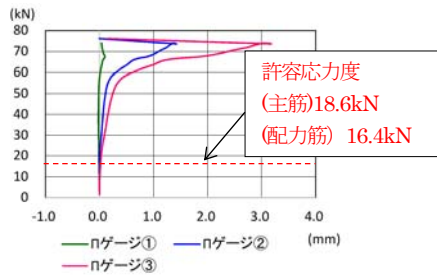


図-26 供試体打継部荷時開口計測結果

謝辞

本研究では、東栄コンクリート株式会社の皆様には、試験協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

付録

参考文献

- 1) 国土交通省：道路橋点検要領，2016
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編 2012 年制定
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー128 鉄筋定着・継手指針[2007年版]
- 4) 中村定明，三浦尚：RC ループ継手の力学的挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集 No.774/V-65, pp. 17-26, 2004.11
- 5) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007
- 6) 表真也，吉松秀和，中山良直，松井繁之，林川俊郎：床版取替え用プレキャスト床版の合理化継手の開発，構造工学論文集 Vol.60A,2014.3
- 7) 三加崇，有川直貴，鈴鹿良和，篠崎裕生：Trunc-head を用いたプレキャスト PC 床版継手の開発，三井住友建設技術開発報告第 15 号
- 8) 吉松秀和，中山良直，松井繁之，水野浩：床版取替用プレキャスト PC 床版の合理化継手の評価，プレストレストコンクリート工学会第 22 回シンポジウム論文集 2013.10

(2018 年 7 月 20 日受付)