

## 端部拡径鉄筋を用いたプレキャストPC床版継手の開発

三井住友建設(株)	正会員	工修	○三加	崇
三井住友建設(株)			有川	直貴
三井住友建設(株)	正会員	工修	鈴木	良和
三井住友建設(株)	正会員		中積	健一

Abstract : The loop joint and the lap joint are generally adopted as the joint structure of the precast PC slab. However, the precast PC slab is thick or the anchorage length long. Therefore, the authors developed joint structure using the reinforcing rod which processed the edge into the truncated cone shape (Trunk head) . This joint structure was same performance in the loop joint structure by the result of the bending test and the wheel running fatigue test.

Key words : Precast PC slab, Joint, Bending test, Wheel running fatigue test

### 1. はじめに

高度経済成長期に建設された構造物の老朽化が問題視されている。とくに、老朽化が進んでいると言われているのが、鋼橋に設置されているRC床版であり、現在、大規模更新事業において優先的に床版取替え工事が進んでいる。過去の基準で設計されたRC床版は、現行の基準では床版厚が大きくなり、鋼桁や橋脚の補強が必要となる場合があるため、床版取替え時は、床版厚を極力抑制ことが望ましい。また、施工性や品質の向上、高耐久化が求められていることから、取替え後の床版にはプレキャストPC床版を用いられることが多い。

プレキャストPC床版は、鋼桁間すなわち橋軸直角方向に架設し、プレキャストPC床版同士は継手とプレキャストPC床版と同等以上の間詰めコンクリートにより接合するRC構造が一般的である。継手構造には、重ね継手やループ継手が用いられている。しかしながら、重ね継手は継手長が長くなり、ループ継手は、重ね継手と比較して継手長は短くできるものの、鉄筋の加工形状によって最小の床版厚が決定される。これまでに、床版の継手構造を簡略化するために、ループ鉄筋に代わり鉄筋に別部材を接合して定着性能を向上させる構造<sup>1)</sup>などが検討されてきた。

著者らは、端部拡径鉄筋（トランクヘッド）を用いた床版の継手構造を開発した。端部拡径鉄筋は、**写真-1**に示すように異形鉄筋の端部を熱間処理した後に鍛造により突起部を設けた形状であり、定着性能を向上させた構造である。本論文では、突起部の基本性能として引張試験および引抜き試験を実施し、定着性能を確認した。また、端部拡径鉄筋を用いた床版の継手部を模擬した静的曲げ試験および輪荷重走行試験を実施し、継手性能について検証を行った。

### 2. 要素試験

#### 2.1 引張試験

端部拡径鉄筋の基本性能を確認するために引張試験を実施した。引張試験方法を**図-1**に示す。鉄筋端



写真-1 端部拡径鉄筋（トランクヘッド）

部の突起部をプレートにアンカーするように設置し、異形鉄筋の引張試験と同様に、単調載荷を行った。試験体は、異形鉄筋の材質がSD345、径がD19の6本である。引張試験結果を表-1、

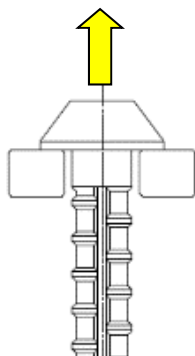


図-1 引張試験状況

表-1 引張試験結果

試験体	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	396	586
No.2	386	585
No.3	387	585
No.4	402	585
No.5	391	583
No.6	409	586
平均	395	585
規格値	345~440	490以上

破断状況を写真-2に示す。平均降伏強度が395N/mm<sup>2</sup>、平均引張強度が585N/mm<sup>2</sup>であり、すべての試験体で異形鉄筋の母材破断であった。突起部は、異形鉄筋の引張耐力以上の保持性能を有していることを確認した。



写真-2 引張試験破断状況

## 2.2 引抜き試験

端部拡径鉄筋のコンクリート中における定着性能を確認するために、引抜き試験(写真-3)を実施した。引抜き試験体形状を図-2に示す。試験体に使用した端部拡径鉄筋は、引張試験と同様に異形鉄筋の材質がSD345、径がD19である。試験体の形状は、文献2)を参考に、寸法が500mm×500mm×400mmのコンクリートブロックに異形鉄筋径の12倍(228mm)を埋込み長とした。ここでは、突起部のみの定着性能を確認するため、埋込み長の範囲はビニールテープでコンクリートとの付着を切った。定着部の抜け出し量は、突起部の下端に取り付けた全ねじボルトを変位計で測定した。試験体数は3体とし、比較用にD19の半円形フックについても試験を実施した。

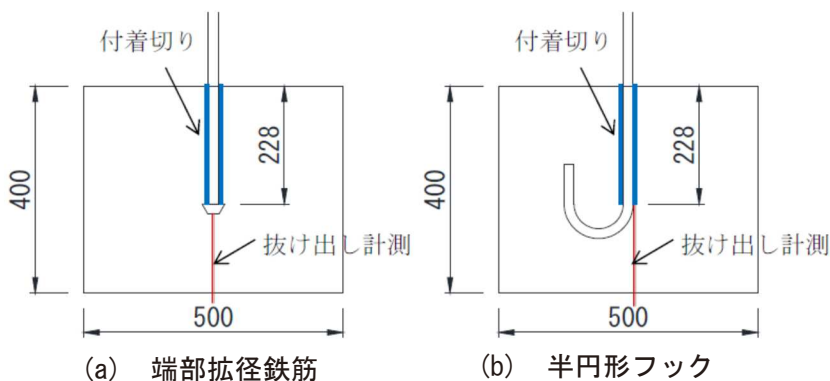


図-2 引抜き試験体



写真-3 引抜き試験状況

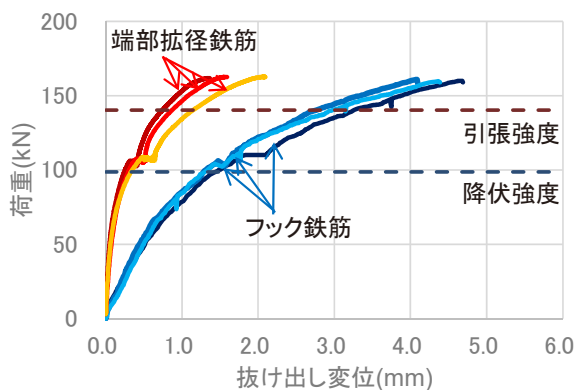


図-3 定着抜け出し量

引抜き試験による引抜荷重と突起部の抜け出し変位の関係を図-3に示す。端部拡径鉄筋を用いた場合、半円形フックと比較して抜け出し変位が小さく、両試験体とも引張強度の規格値以上で異形鉄筋が破断した。試験後にコンクリートブロックを切断して端部拡径鉄筋の拡径部および拡径部近傍のコンクリートの破壊状況を確認したが、損傷は見られなかった。端部拡径鉄筋の拡径部の定着性能は、半円形フック以上の定着性能を有していることを確認した。

### 3. 静的曲げ試験

#### 3.1 試験概要

端部拵径鉄筋による床版継手の性能を確認するために、静的曲げ試験を実施した。試験体の形状を図-4に示す。試験体は、2枚のプレキャストRC床版を製作し、所定の大きさの継手部を設けた試験体である。試験体の種類を表-2、継手部の形状を図-5に示す。継手部の構造は、ループ鉄筋を用いた構造(写真-4(a))と端部拵径鉄筋を用いた構造(写真-4(b))の2種類である。床版厚は、ループ継手の最少厚240mmを基準とし、床版厚を薄くした200mmである。端部拵径鉄筋は、軸直角方向の鉄筋を端部拵径鉄筋の外側に配置した場合には、外径43mmとした。軸直角方向の鉄筋を端部拵径鉄筋の内側に配置する場合には、突起部が最外縁となるため、鉄筋かぶりを確保した上で、極力外側に配置することを目的として、外径39mmとした。

試験時のコンクリートの圧縮強度は、プレキャストRC床版で75.6N/mm<sup>2</sup>~79.4N/mm<sup>2</sup>であったが、T-240-39の試験体の継手部のみが高い値であった。鉄筋は軸方向鉄筋にループおよび端部拵径鉄筋に加工したD19を使用し、軸直角方向には、D19とD13を使用した。軸方向鉄筋の降伏強度は376.0N/mm<sup>2</sup>~381.7N/mm<sup>2</sup>であった。

試験方法を図-6に示す。支間長3100mm、載荷スパン700mmの2点載荷による曲げ試験とし、載荷位置は継手部を跨ぐように設定した。

#### 3.2 実験結果

R-240 (ループ鉄筋) およびT-240-43 (端部拵径鉄筋) の継手構造の荷重とたわみの関係を図-7に示す。解析値は、材料強度を考慮したファイバー解析により算出した。継手部の鉄筋は、プレキャストRC床版と継手部を貫通している鉄筋としてモデル化した。両試験体ともたわみの挙動、耐力

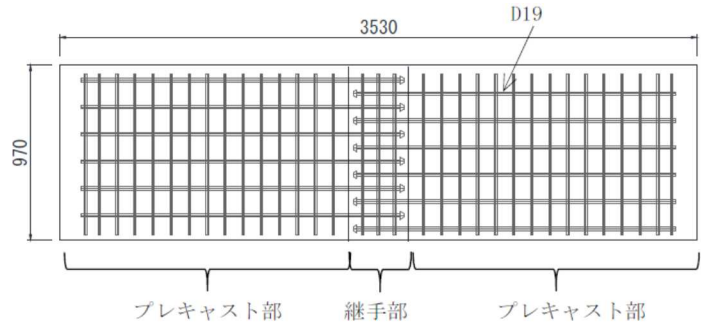


図-4 静的曲げ試験体形状

表-2 静的曲げ試験体種類

試験体	床版厚 (mm)	継手構造	拵径部外径 (mm)	コンクリート圧縮強度		鉄筋降伏強度
				プレキャスト部 (N/mm <sup>2</sup> )	継手部 (N/mm <sup>2</sup> )	軸方向鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )
R-240	240	ループ継手		75.6	77.0	378.7
T-240-43	240	端部拵径鉄筋継手	43	75.6	77.0	378.7
T-240-39	240	端部拵径鉄筋継手	39	79.4	91.2	376.0
T-200-39	200	端部拵径鉄筋継手	39	75.6	75.0	381.7

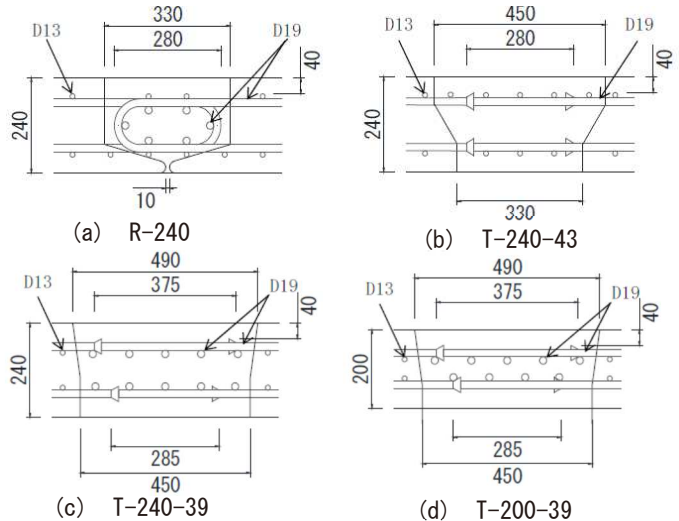


図-5 静的曲げ試験体 継手部形状



写真-4 静的曲げ試験体継手部状況

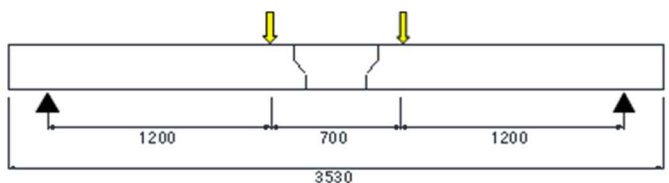


図-6 静的曲げ試験載荷方法



ともほぼ同じであり、継手部の曲げ圧縮破壊であった。端部拡張鉄筋を継手構造に用いた場合、ループ鉄筋の継手構造と同等の性能を有していることを確認した。また、解析値と比較しても曲げ耐力を十分評価できる結果となった。

端部拡張鉄筋の拡張部外径を小さくしたT-240-39の荷重とたわみの関係を図-8に示す。解析値よりも耐力が若干高い傾向であるが、拡張部の外径を39mmとしても十分な継手性能を有している。

床版厚を小さくしたT-200-39の荷重とたわみの関係を図-9に示す。曲げ耐力は解析値とほぼ同じ耐力であり、床版厚を200mmとした場合においても、計算通りの耐力が得られた。

#### 4. 輪荷重走行試験

##### 4.1 試験概要

実物大の試験体を製作し、輪荷重走行試験によって疲労耐久性を確認した。

試験体の概要を表-3、試験体の形状を図-10に示す。試験体は、4枚のプレキャストPC床版を端部拡張鉄筋継手で接合した試験体である。試験体の形状は、全長8.45m、幅4.0m、床版厚は中央部220mm、支点部270mmである。プレキャストPC床版の橋軸直角方向は、1S15.2でプレテンション方式によりプレストレスを導入したPC構造とし、橋軸方向はRC構造である。継手部の形状は、長さ上縁側で490mm、下縁側で450mmとし、最外縁となる端部拡張鉄筋の突起部で純かぶりを40mmとした。継手長は上段側で375mm、下段側で285mmである。試験時のコンクリート圧縮強度は、プレキャストPC版の端部側のパネル③で88.4N/mm<sup>2</sup>、中央側のパネル①、②で90.0N/mm<sup>2</sup>、

継手部が52.5N/mm<sup>2</sup>であった。

鉄筋は、橋軸方向および継

手部の橋軸直角方向にD19、

プレキャストPC版の橋軸直

角方向にD13を使用した。橋軸方向の鉄筋の降伏強度は、376N/mm<sup>2</sup>であった。

輪荷重走行試験は、(株)高速道路総合技術研究所所有の移動載荷疲労試験機(写真-5)により実施した。移動載荷は、単軸の鉄輪を用いて載荷を行った。載荷位置は図-10に示すように、橋軸方向の走行範囲を供試体中央から橋軸方向に±1.5mの範囲とし、橋軸直角方向は、床版支持間隔を3.0mとして、その中央に載荷した。載荷ステップを図-11に示す。載荷ステップは、文献3)を参考にし、STEP1として予備走行を180kNで0.1万回実施した。STEP2として180kNを5.4万回、STEP3として200kNを26万回を実

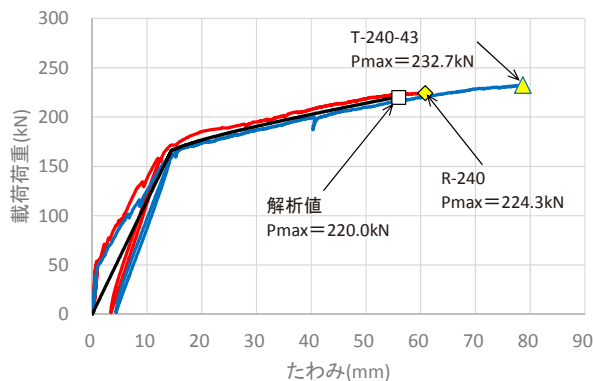


図-7 継手部形状の違いによるたわみ

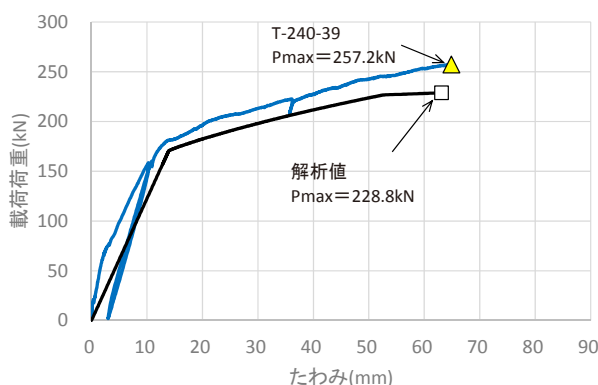


図-8 拡張部形状の違いによるたわみ

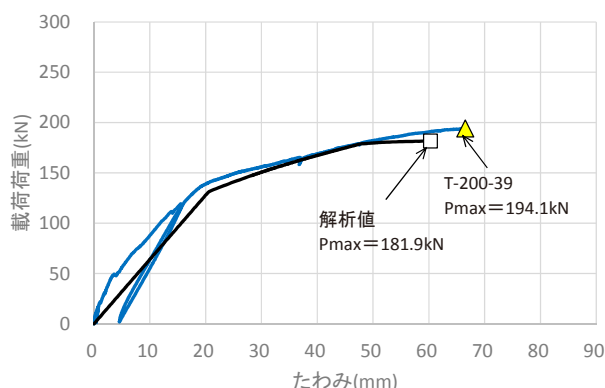


図-9 床版厚の違いによるたわみ

表-3 輪荷重走行試験体概要

試験体	床版厚 (mm)	継手構造	拡張部外径 (mm)	コンクリート圧縮強度		鉄筋降伏強度
				プレキャスト部 (N/mm <sup>2</sup> )	継手部 (N/mm <sup>2</sup> )	軸方向鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )
輪荷重走行試験体	220	端部拡張鉄筋継手	39	88.4, 90.0	52.2	376.0

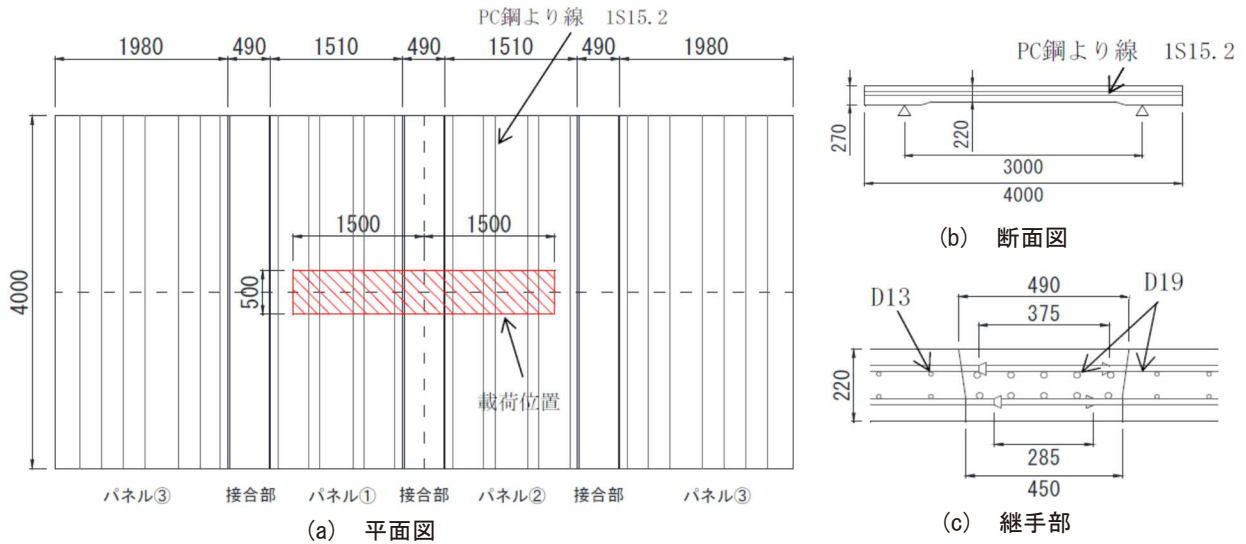


図-10 輪荷重走行試験体形状



写真-5 輪荷重走行試験装置

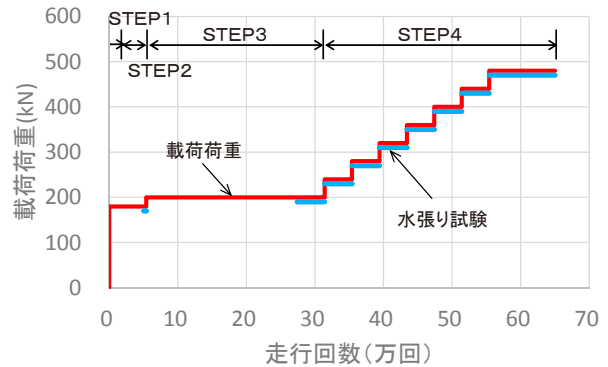


図-11 輪荷重走行試験方法

施した。STEP4は、破壊性状を確認するため、4万回ごとに荷重を増加させて480kNまで載荷した。各ステップごとに、静的載荷を実施した。また、STEP2の180kNで最後の0.4万回、STEP3の200kNで最後の4万回、STEP4では、床版上面に水を張った状態で載荷し、床版からの漏水の有無を確認した。

#### 4.2 試験結果

輪荷重走行試験における載荷回数と試験体中央の載荷によるたわみの関係を図-12に示す。載荷荷重が200kNのSTEP3までは、載荷回数によるたわみの増加は、ほとんど確認できなかった。STEP4では、400kNからたわみが増加する傾向となり、480kNの2.2万回で押し抜き破壊した。

橋軸方向のたわみ分布を図-13に示す。載荷荷重が200kNのSTEP3までは、継手部のたわみが連続的な挙動を示しており、プレキャストPC床版と継手部が一体となって挙動していることがわかる。STEP4では、320kNからプレキャストPC版から載荷

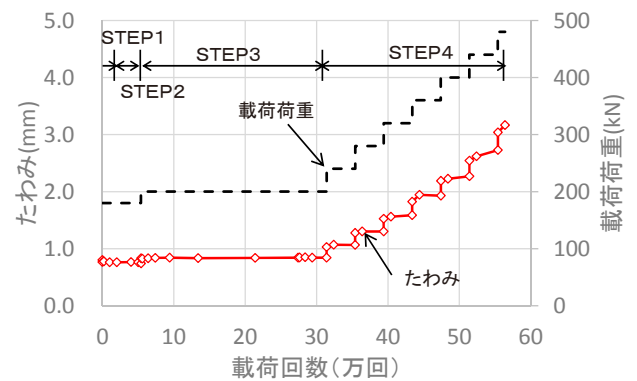


図-12 載荷回数によるたわみ

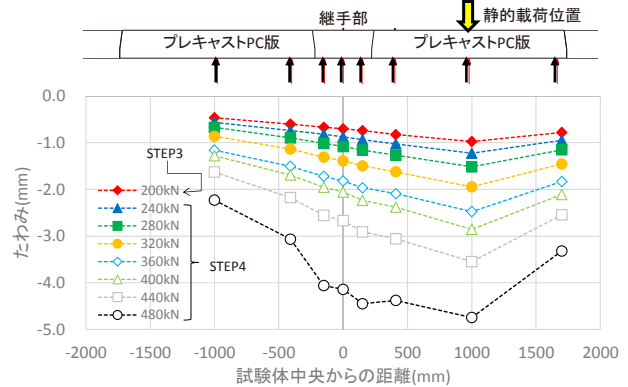


図-13 橋軸方向たわみ分布

位置までの変位分布が、継手部の界面で直線性を失っていることから連続性が保持できていないと考えられる。

橋軸方向および直角方向の中央におけるプレキャストPC版と継手部の開口変位を図-14に示す。鉄筋の純かぶり40mmの場合、許容ひび割れ幅が $0.2\text{mm}^4$ であるが、STEP3までは、開口変位の増加はほとんど見られず、最大でも $0.07\text{mm}$ であり、許容ひび割れ幅に対して、十分に小さい開口変位であった。プレキャストPC床版および継手部のひび割れは、STEP3の200kNで発生しているが、水張り試験による漏水は確認できなかった。STEP4の360kNの4万回終了時に継手部の界面で漏水が確認され、400kNではPC床版のひび割れからも確認された。

端部拵鉄筋による継手構造は、STEP3までは、プレキャストPC床版と継手部が連続性を有しており、漏水も確認できなかったことから、ループ継手構造<sup>3)</sup>と同等な疲労耐久性を有していることが確認された。

## 5. まとめ

端部拵鉄筋の要素試験、床版継手構造における静的曲げ試験および輪荷重走行試験により、以下のことが明らかになった。

- (1) 引張試験により、端部拵鉄筋の突起部は、母材鉄筋の引張強度以上の保持性能を有している。
- (2) 引抜き試験により、コンクリート中における定着性能は、半円形フックと同等以上の定着性能を有している。
- (3) 静的曲げ試験により、本継手構造は、ループ継手と同等程度の継手性能を有しており、突起部の形状および床版厚を小さくした場合でも、本試験内の寸法であれば、解析で算出される耐力を有している。
- (4) 輪荷重走行試験により、本継手構造は、ループ継手と同等の疲労耐久性を有している。

## 謝辞

端部拵鉄筋（トランクヘッド）を用いたプレキャストPC床版の検証にあたり移動載荷試験機を借用させて戴きました株式会社高速道路総合技術研究所様および中国自動車道下熊谷川橋<sup>5)</sup>への適用にあたり、有益なご助言を戴きました西日本高速道路株式会社（中国支社）様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 例えば 原, 福永, 今村, 三浦: エンドバンド継手を有するプレキャストPC床版の輪荷重走行試験, 第19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, pp. 61-64, 2010. 10
- 2) (社) 土木学会: コンクリートライブラリー128号 鉄筋定着・継手指針, 2007
- 3) 松井, 角, 向井, 北山: R Cループ継手を有するプレキャストPC床版の移動載荷試験, 第6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, 1999. 10, pp. 149-154
- 4) (社) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書 設計編
- 5) 中島, 本荘, 山下, 中積: 高耐久化を目指した床版取替え (中国自動車道 下熊谷川橋), 第26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, 2017. 10に投稿中

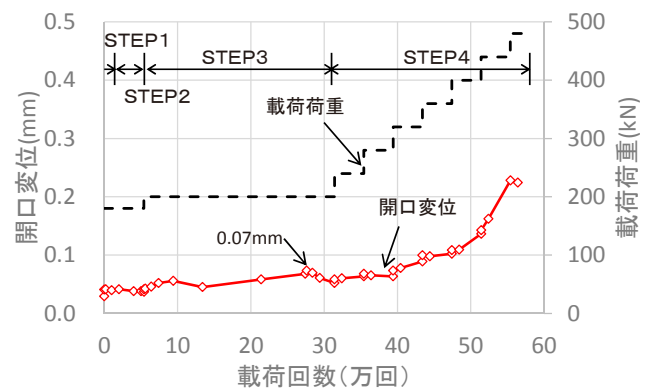


図-14 載荷回数による継手部開口変位