

道路橋床版更新工事におけるPCa床版架設機械の開発 急勾配かつ狭隘な実橋梁への適用

藤 吉 卓 也・安 田 篤 司・岩 里 泰 幸

高度経済成長期に建設された道路橋床版は劣化が進んでおり、それらに対する適切な維持管理や更新工事が重要な課題となっている。更新工事においては社会的影響をできるだけ小さくするため通行規制期間を短縮できる急速施工技術が求められており、その一方策として著者らは新しいPCa床版の開発に取り組んでいる。今回試験工事にて開発した新しいPCa床版を適用し、実橋梁での更新工事を実施した。それに伴い新しいPCa床版の施工特性ならびに現場条件を考慮し、新しい施工機械を開発した。本稿ではその施工機械の開発経緯と試験工事での稼働実績について報告する。

キーワード：道路橋床版，更新工事，急速施工，施工機械

1. はじめに

道路橋床版更新工事におけるプレキャストPC床版（以下、PCa床版という）の橋軸方向の接合構造には、場所打ちの鉄筋コンクリート構造（以下、RCという）が多く採用されている。著者らは接合構造部の耐久性向上ならび床版の急速施工を目指し、橋軸方向接合部のRC部を省略し、床版接合部にプレストレスを導入できるジョイント（以下、PSジョイントという）を用いた新しいPCa床版（以下、PSジョイント床版という）の開発に取り組んでいる。PSジョイント床版は接合部に埋め込まれた複数のオスボルトとメスボルトを接合する構造（図-1）であるため、接合作業時にオス・メスボルトの相対的な位置合わせ（心出し）を高い精度で行う必要がある。これらのPSジョイント床版の特性と試験工事における施工条件を考慮し、床版架設作業を効率的に行うための施工機械を開発した。

2. 試験工事概要

試験工事の対象橋梁である中島排出路の橋梁諸元を以下に示す。また、既設橋梁の一般図を図-2に、試験工事前の現況を写真-1に示す。

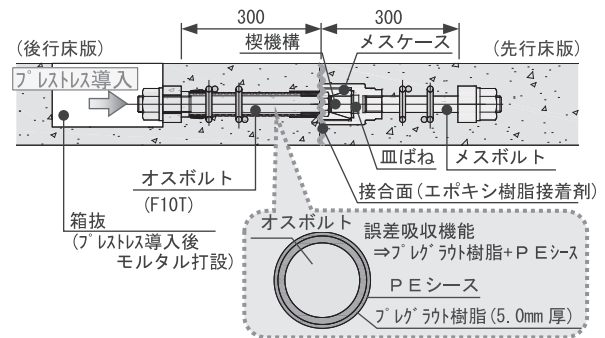


図-1 PSジョイント床版概要図

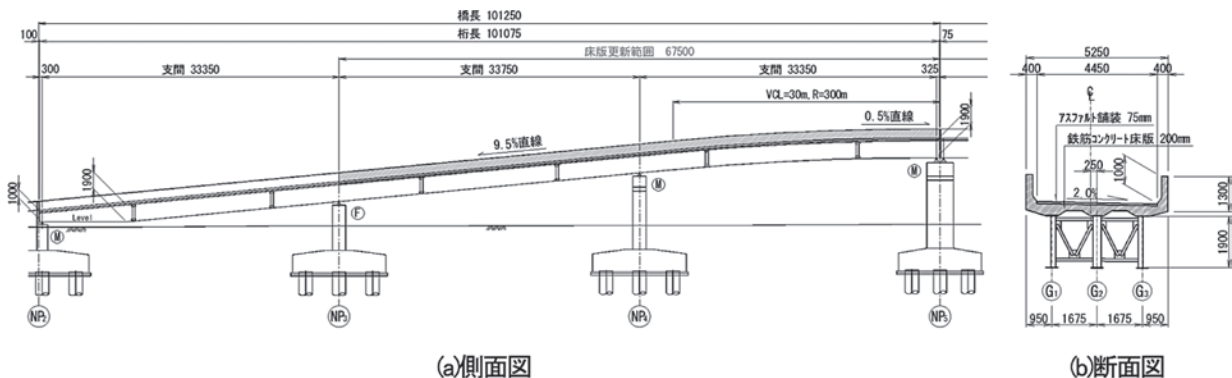


図-2 既設橋梁一般図



写真一 試験橋梁の施工前状況

構造形式：鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋
 橋 長：101.25 m
 支 間：33.350 m + 33.750 m + 33.350 m
 有効幅員：4.45 m
 平面曲線：R = ∞
 縦断勾配：9.5% ~ -0.5%
 横断勾配：2.0%

本橋は、阪神高速 5 号湾岸線の中島出入口の入路橋と出路橋の間に位置する車両排出路である。今回の試験工事は、通常走行に使用しない排出路を対象としており、通行止めて 3 径間のうち NP3 ~ NP5 の 2 径間で床版取替を実施した。なお、NP5 は隣接する入路橋との掛け違い構造となっている。

3. 施工方法ならび施工機械の検討

試験工事は、開発した PS ジョイント床版の実橋への適用性を確認するとともに、急速施工の効果を確保するために施工方法のさらなる効率化が求められた。そこで PS ジョイント床版の施工にかかる特性に加え、中島排出路特有の施工条件より求められる課題を抽出し、要求項目を満たし、かつ急速施工を実現可能とする施工機械の開発を試みた。

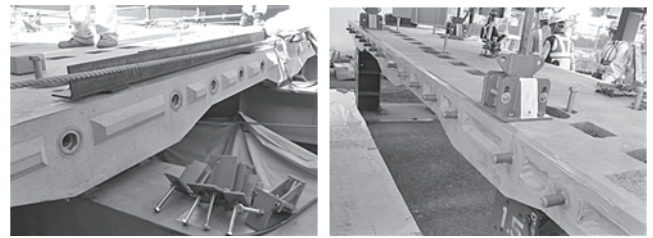
(1) 施工条件

(a) PS ジョイント床版の施工上の特性

PS ジョイント床版接合部には複数のボルトが配置されており（写真一 2）、架設作業においてはオスボルトとメスボルトの相対位置を 3 次元的に高い精度で合わせた（心出し）後に、PS ジョイント床版同士を引寄せて接合させる必要がある。

(b) 試験工事における施工条件

対象橋梁は、最大縦断勾配が 9.5% の急勾配であり、有効幅員が 4.45 m で両側を走る供用中の隣接橋との離隔がほとんどなく、橋梁側部へ大型クレーンが配置



写真二 PS ジョイント床版接合部

できない狭隘な条件にある。

(2) 施工機械における課題

PS ジョイント床版の架設作業を対象橋梁において実現するための施工機械として、また重量物である床版を施工箇所への運搬する機械としてこれまで用いてきた移動式クレーンの代替機械が求められた。加えて急速施工を実現するため、既往の研究で用いてきた PS ジョイント床版架設時の位置合わせ用の仮設物を極力少なくすることが求められた。これらの要求項目を満たす施工機械の開発が課題となった。

(3) フォークリフトの適用検討

一般的に新設床版架設時は大型の移動式クレーンが揚重機として橋梁上に配置され、搬入した床版の荷降ろしや架設箇所への運搬を担う（写真一 3）。



写真三 大型クレーンによる床版架設例

しかし対象橋梁においては狭隘な条件により、大型クレーンの設置や旋回動作等が不可能であった。そこで物流だけではなくシールド工事のセグメント運搬等、建設現場でも多く用いられているフォークリフトの適用を検討した。フォークリフトが有する優れた荷役運搬性能を利用しつつ、PS ジョイント床版架設で必要とされる高精度の位置調整機能を有する機械を別途開発し、これらを組合せることにより課題解決を試みた。

まずはフォークリフト実機（写真一 4）の視察を行い、開発する機械との機能分担や取合いに関する構造等を検討した。結果、フォークリフトの以下の機能を

主に利用することとした。

(a) 走行機能

フォークリフトは後輪操舵による小回りの良さと優れた登坂能力を有することが特徴であり、試験工事における厳しい運搬路条件においても問題ない走行性能を有することを確認した。

(b) 荷物昇降機能

新設床版を架設箇所に運搬、のちに据付高さに下ろすために用いる機能。PS ジョイント床版の設計時想定重量（約7t～10t）より最大荷重15tのフォークリフトの仕様を参考に検討を進めた。

(c) フォーク左右スライド機能

本体に対してフォーク（爪）のみを左右方向にスライドできる機能（写真—5）。本来機体と荷物がズレて進入した場合、フォークをスライドさせることによりズレを無くし機体の切り返しを少なくするための機能である。この機能を床版の微小な位置合わせに適用可能であるかを検討した。15tフォークリフト実機にて実験的に油量を絞るような操作を行った結果、2mm/秒程度の微速動作が可能であることを確認した。この結果を踏まえ床版の位置合わせに適用可能と判断した。

(4) 開発する機械の機能検討

PS ジョイント床版架設作業に必要な機能について、前述したフォークリフトの機能を利用しつつ、足りない機能を補うことができる機械（フォークに取付

ける構造）を開発することとした。

検討した結果、開発機械には以下の機能をもたせることとした。

(a) 床版縦横断勾配調整機能

既設のPS ジョイント床版に対する新設PS ジョイント床版の橋軸方向ならび橋軸直角方向の傾斜度の調整に用いる機能となる。フォークリフトのタイヤのへこみやフレームのたわみ等の予測が難しい微小な変位への対策として必要な機能と判断した。

(b) 床版回転調整機能

既設のPS ジョイント床版接合面に対する新設PS ジョイント床版の接合面の平行度の微調整に用いる機能となる。軌道方式では回転にかかる大きな調整は生じないが、タイヤ方式であるフォークリフトでは、ハンドル操作で停車位置まで橋軸方向に対しまっすぐ進入していくことが難しいと考え、必要な機能と判断した。

(c) 引寄せ追従機能

PS ジョイント床版はオスボルトとメスボルト間の位置合わせ完了後、変位同調システムで制御されたセンターホールジャッキを用いて新設床版を約10cm程度引寄せ、ボルトを簾合させる作業に移行する。ボルトの簾合が終了するまでは、新設床版はフォークリフトで支持された状態にあるが、新設床版を引寄せの際に床版支持金物が取り残されていくことを防止するために、フォークリフトに設置した装置の一部が引寄せ動作に追従する機能が必要と判断した。

4. 心出し装置の開発

開発する機械の名称は、PS ジョイントのオスボルトとメスボルトの中心を合わせるという機能から「心出し装置」とした。本章では心出し装置の仕様、開発における課題、そして実証実験の場となった実物大施工性確認試験での動作確認試験内容ならび試験結果からの改善項目について述べる。

(1) 開発における課題

心出し装置の開発における課題は、装置の簡素化、安全の確保、さらに現場での取扱いを容易にすることである。

基本設計については、過去に筆者が開発した機械を参考に橋軸方向、橋軸直角方向へ勾配調整機構をそれぞれ独立した構造とした。そしてそれらを中核に吊下げフレームのスライド機構（引寄せ）、フォークに取付ける台座フレームに対して上部機構全体が回転する



写真—4 調査した15tフォークリフト



写真—5 フォーク左右スライド機能

機構を加えるものとした（図-3）。全て油圧ジャッキによる駆動とし、それぞれのジャッキの役割を明確に分けることにより、設計を簡素化することやオペレータの装置操作理解を簡明化する狙いがあった。

安全の確保については、フォークリフトからの装置の脱落がないように、フォーク背面に鉄板を当て貫通ボルトで装置を挟みこむ構造とした。さらに装置のがたつきを抑えるために、フォーク下面から押しボルトで装置を固定した（写真-6）。床版の急な揺れを防止するために装置の動作速度についても、作業に支障ない範囲で極力遅くする方向で調整を行った。

(2) 心出し装置の仕様

心出し装置は、フォークリフトに取付けた状態で最大10tまでのPSジョイント床版を懸垂して保持する機能と縦横断方向の勾配調整機能（±2%）、回転方向の調整機能（±5°）、引寄せ追従機能（250mm）を有するものとして開発を行った（図-4）。前述のとおり床版の左右方向と上下方向の位置合わせは、フォークリフト本体が有する機能を適用するものとした。

(3) 実物大施工性確認試験

試験工事でのPSジョイント床版施工の事前検証を目的に、試験工事対象橋梁の縦断勾配9.5%、横断勾配2.0%の主桁を模した鋼製架台を構築し、実物大PSジョイント床版を用いて試験を行った（写真-7）。

(a) 動作操作確認試験

実物大施工性確認試験では床版架設作業における課題や問題点を抽出するために、心出し装置を15tフォークリフトに実装着し、主に以下の項目について確認を行った。

- ア) 床版の運搬・心出し・引寄せ作業における床版の一連の挙動を確認する。
- イ) 心出し装置の動作速度を検証し最適な速度に調整を行う。
- ウ) 配置予定作業員による心出し装置に関連する操作練習と作業手順における問題点等の抽出。

(b) 改善項目について

実施工を模擬した本試験では、多くの貴重な実験データが取得できた。主な心出し装置の改善項目について前項の試験項目ごとに整理する。

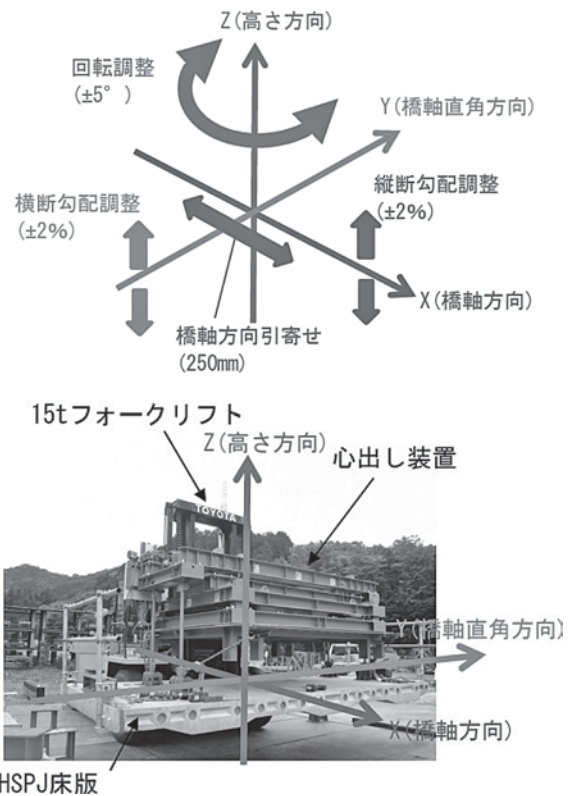


図-4 心出し装置の仕様

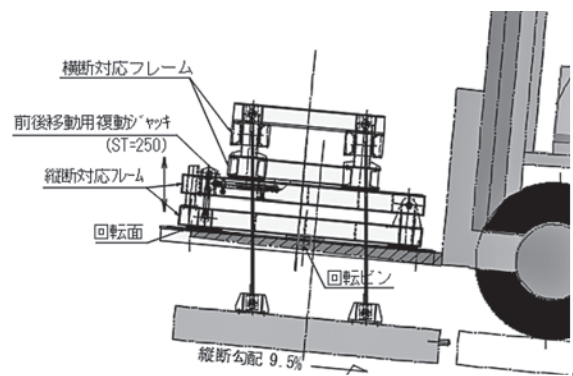


図-3 心出し装置の基本構造



写真-6 心出し装置のフォークへの固定方法



写真-7 実物大施工性確認試験実施状況

①項目ア) について

- ・床版の振止め用金具の追加

②項目イ) について

- ・油圧制御回路の改造 (勾配調整機能)
- ・絞リ弁の追加による油量調整 (引寄せ・回転機能)

③項目ウ) について

- ・各動作の稼働範囲を明瞭にマーキングし、オペレータや周囲の作業員が機械の動作状態を確認しやすくする
- ・電動工具を使いやすくするために床版取付金具の形状を改造する
- ・電源ケーブルの余長の調整
- ・リモコンやケーブルをかけるためのフックの追加等

5. 試験施工での稼働結果報告

実橋梁での試験工事では、心出し装置を用いて計37枚のPSジョイント床版の架設作業を行った。本章ではその稼働結果について報告する。

(1) 稼働結果

実物大施工性確認試験においてはフォークリフトのオペレーターに周囲の情報を伝える手段として、無線機を用いてチーム内での声でのやり取りを行った。これに加え実橋での試験工事においては狭所対策として5方向カメラをフォークリフトに取付けた。これによりオペレーターの視覚情報量が大きく向上し、隣接橋と離隔の確認、床版の周辺設備との接触防止に寄与した。さらに3方向AIカメラ(safety2.0技術認証取得)を併設し、フォークリフト周囲に作業員が近づいた際の自動警報機能を付加することにより、作業員の重機接触災害防止を図った(写真—8)。床版の振れ止めのブラッシュアップについても有効であり、大型フォークリフトによる狭隘な施工箇所への床版運搬を



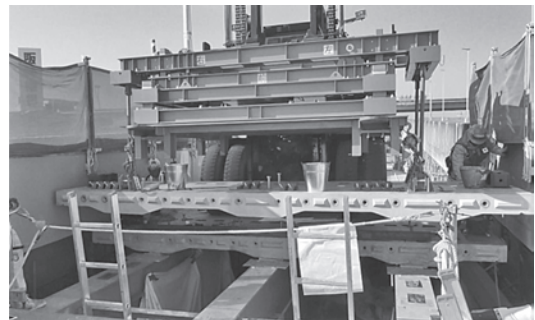
写真—8 5方向カメラとAIカメラ

問題なく行うことができた(写真—9)。

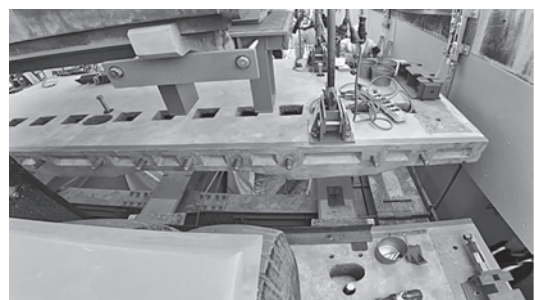
架設作業においては、実物大施工性確認試験で抽出された課題の改善によって、準備作業をはじめ床版の位置合わせ作業をよりスムーズに行うことができた。特に回転動作速度の調整については開発当初の半分程度の速度まで落とした結果、床版の過剰な回転によって生じる余計な反復操作をなくすことができた。これによりサイクルタイムの削減に大きく寄与した。作業員が架設作業を習熟してきた試験工事の後半では床版架設作業(フォークリフト停車~オスポルトメスポルトの心出し~床版引寄せ~PSジョイントの嵌合終了)を10分程度で行うことができた(写真—10, 11)。

(2) まとめ

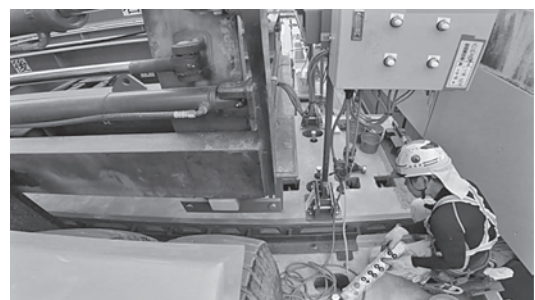
実橋の条件に基づいた設計・施工によって試験工事を完了することができた点からPSジョイント床版が実橋梁へ適用可能であることが確認できた。また大型



写真—9 PSジョイント床版運搬状況



写真—10 PSジョイント床版架設開始



写真—11 心出し装置操作状況

フォークリフトと開発した心出し装置の組合せにより、急勾配かつ狭隘な施工条件においてPSジョイント床版の運搬ならび架設作業をスムーズに行うことができた。

6. おわりに

道路橋床版更新工事においては今後さらなるPCa床版の急速施工が求められる。引続きさらなる急速施工を可能にする機械開発に取り組んでいきたいと考える。

本稿は、阪神高速道路(株)、清水建設(株)、ユニタイト(株)、住友電気工業(株)、昭和コンクリート工業(株)によるPSジョイント工法に関する共同研究成果の一部を報告したものである。

ご指導いただいた関係各位に深く謝意を示します。



《参考文献》

- 1) 長畑友貴, 越野まやか, 安田篤司: プレストレスジョイント床版を活用した道路橋床版更新の生産性向上, 建設機械施工, 通巻 866 号, pp.23 ~ 29, 2022.4

- 2) 長畑友貴, 越野まやか, 安田篤司: プレストレスジョイント床版による床版更新工事の試験施工 - 阪神高速道路5号湾岸線 中島排出路 -, 土木施工, Vol.63, No.7, pp.140-143, 2022.6

【筆者紹介】



藤吉 卓也 (ふじよし たくや)
清水建設(株) 関西支店土木生産計画部
主査



安田 篤司 (やすだ あつし)
清水建設(株) 土木技術本部橋梁統括部
主査



岩里 泰幸 (いわさと やすゆき)
阪神高速道路(株) 管理本部 管理企画部 保全技術課
課長代理

