

# プレストレスジョイントを用いた プレキャスト床版の開発と試験施工

阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 笹脇 壮太  
阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 岩里 泰幸  
阪神高速道路(株)建設事業本部神戸建設部湾岸西伸第一建設事業所  
伊佐 政晃  
阪神高速道路(株)管理本部神戸管理・保全部保全事業課 長谷川 智昭

## 要 旨

阪神高速道路では道路橋の床版更新工事におけるプレキャスト床版として、急速施工が可能でかつ接合部にプレストレスを導入できるプレストレスジョイント床版（以下、PSジョイント床版）の技術開発に取り組んできた。実用化に向けた課題解決と本線適用へ向けた課題抽出・解決を目的として阪神高速5号湾岸線中島排出路にて試験施工を実施した。本稿では、技術開発の概要を述べるとともに試験施工における急速施工や高品質化を実現するために実施した設計・施工面における取組みと試験施工により実構造物への適用性を確認した結果を報告する。

**キーワード:**大規模更新, 床版取替, プレキャスト床版, 試験施工, PS ジョイント床版

## はじめに

阪神高速道路は、1964年に1号環状線（土佐堀～湊町）が最初に開通してから約60年が経過しており、2020年度末には総延長258.1kmのうち約4割の111.8kmが40年を経過し、構造物の高齢化が進行している。さらに、現在の交通量は1日70万台以上におよび、大型車の交通量は一般道路の約6倍と過酷な使用状況であることは否めない。阪神高速では、構造物の健全性を永続的に確保し、高速道路のネットワークを将来にわたり維持していくため、大規模更新・修繕事業に着手している。

昭和48年より前の道路橋示方書で設計された鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）は、現

行の基準で設計されたRC床版に比べ床版厚が薄く、鉄筋量が少ない。そのため疲労耐久性が低く、これまで対策として鋼板接着補強を実施してきた。しかしながら、一部の鋼板接着補強済RC床版では補強後に劣化が生じ、疲労耐久性の低下が懸念されるため、抜本的な対策が必要な箇所では床版取替を実施することとしている。

床版取替においては、交通影響を最小限に抑えるためプレキャスト床版（以下、PCa床版）に取り替えることが多い。PCa床版は橋軸方向の接合構造にループ継手を用いた現場打ちRC構造が多く採用されているが、ループ継手の配筋形状により床版厚を決定するため床版厚が既設床版より厚くなることが多い。また、現場打ち部のループ継手の配筋、コンクリートの打設・養生といった現場作業が必要となるため、通行止めや交通規制期

間への影響が大きいことが課題である。そこで、2016年より急速施工かつ既設床版と同等以下の床版厚・重量となるPCa床版構造として、橋軸方向の床版同士の接合部に着目し、ワンタッチで接合してプレストレスを導入できるプレストレスジョイント（以下、PSジョイント）の開発を進めた。これまでに、PSジョイント床版の試設計や解析、継手の耐荷性能・耐久性能確認試験<sup>1)</sup>、輪荷重試験等<sup>2)</sup>を行い床版としての性能を確認し、この度、実用化に向け実構造物である中島排出路での床版取替試験施工を行った。

## 1. PSジョイント床版の開発

### 1-1 PSジョイント床版の構造概要

PSジョイントは、シールドセグメントのリング間継手（長手方向継手）として利用されるピン挿入型継手技術をPCa床版に適用したものである。オスボルトとくさび式のメスボルトをそれぞれPCa床版に埋込み、現場でメスボルトに設置された楔にオスボルトを押し込むことでボルトを一体化させ、接合後はコマとフタの楔機構により引き抜き力を伝達し、プレストレスを導入できる機械式継手である（図-1）。また、オスボルトはPEシースで被覆しプレグラウト樹脂を注入しており、可動域があるため施工誤差の吸収が可能であるとともに施工時にグラウト注入等の作業が不要な構造である。

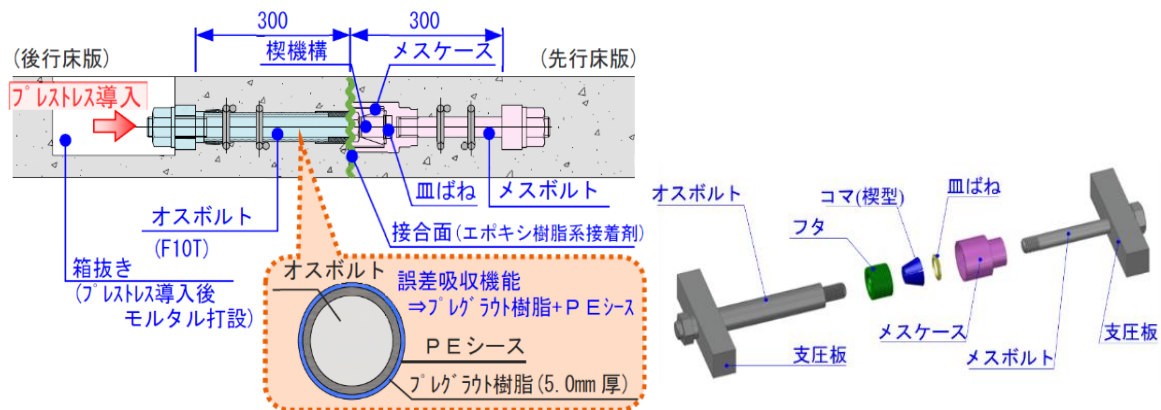


図-1 PSジョイントの構造概要

上記の機構を有したPSジョイント床版は、①場所打ちRC構造部の解消、②薄厚化（軽量化）による鋼主桁や下部構造および基礎への影響低減、③接合部にプレストレスを導入することによる長期耐久性の向上等の特徴を有し、急速施工を目指したPCa床版である。

### 1-2 PSジョイント床版の接合部の安全性の確認

PSジョイントを床版に適用した場合の接合部に関する安全性の確認のため、静的曲げ試験および耐疲労性試験を行った。

#### (1) PSジョイント床版の静的曲げ試験

静的荷重に対する曲げ試験では、PSジョイント床版と接合部の無い通常のPC床版（橋軸方向はRC構造）について、ひび割れ性状、曲げ耐力、破壊形態の比較検討を行った。また、荷重の載荷は、支間長さ3,000mmで単純支持した試験体の中央一点（PSジョイント床版の場合は床版接合面に）に道路橋示方書で示される輪荷重幅（200×500mm）で一点載荷を行い、載荷・除荷を繰り返す一方向漸増繰返し載荷で行った（図-2）。

PSジョイント床版は、設計荷重時を上回る荷重で継手位置の外側に曲げひび割れが発生し、最大荷重は設計荷重の4.2倍となった。最大荷重時に上縁側に水平ひび割れが確認され、PSジョイントは降伏していないため、破壊形式は曲げ圧縮破壊と判断した。除荷時にはPSジョイント床版は、接合部の無い床版に比べて残留変位が小さく

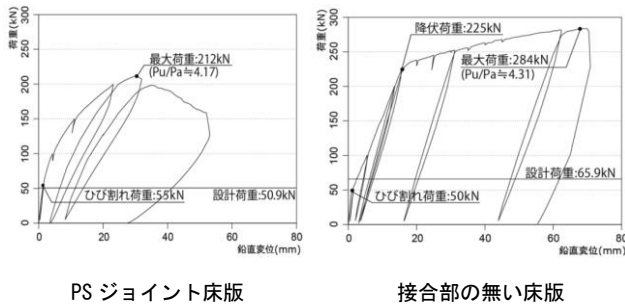


図-2 静的曲げ試験による荷重—変位曲線

なる原点指向性が強い挙動を示した。一方、接合部の無い床版は、設計荷重以下で曲げひび割れが発生し、最大荷重は設計荷重の 4.3 倍となった。破壊形式は鉄筋降伏による曲げ引張破壊であり、PS ジョイント床版に比べて多数のひび割れが確認された。以上より、PS ジョイント床版は接合部の無い床版と比較して同程度の安全率（最大荷重/設計荷重）を有し、設計荷重時における接合部のひび割れを防止できることが確認された<sup>3)</sup>。

## (2) PS ジョイント床版の耐疲労性試験

耐疲労性試験は、輪荷重走行試験を実施して確認した。PSジョイントを用いて接合した試験体 (PSJ) 2体と、一体で打設した試験体 (NS) 2体の計4体について試験を実施した。試験体は、2,400 × 1,600 × 180 mmの床版試験体である。配筋は、一般的なPCa床版のものを参考とした。輪荷重の走行方向と平行に試験体を単純支持し、輪荷重幅 300 mm、走行範囲1,200 mmで載荷を行った。荷重は初期荷重を100 kNに設定し、走行回数が4万回ごとに荷重を増加させる階段状荷重漸増載荷とした (図-3、図-4)。

PS ジョイント床版、接合部の無い床版、いずれの試験体も走行回数の増加に伴いたわみが徐々に増加し、最終的にはたわみが急増した時点で破壊に至ったと判断した。試験体間にばらつきは見られるものの、PS ジョイント床版と接合部の無い床版の間に明瞭な違いは確認できず、破壊モードはいずれも押抜きせん断破壊であった。

ひび割れ性状は、接合部を設けていない床版は試験体下面に格子状のひび割れが発生していたが、PS ジョイント床版は接合部のプレストレスの効

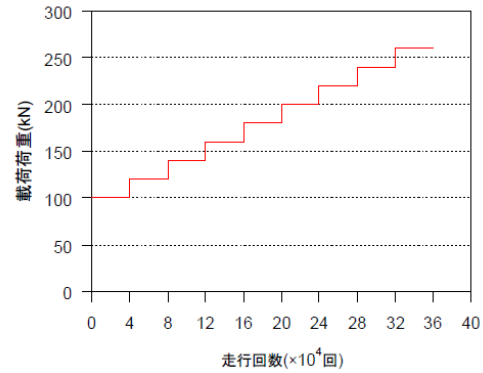


図-3 載荷プログラム

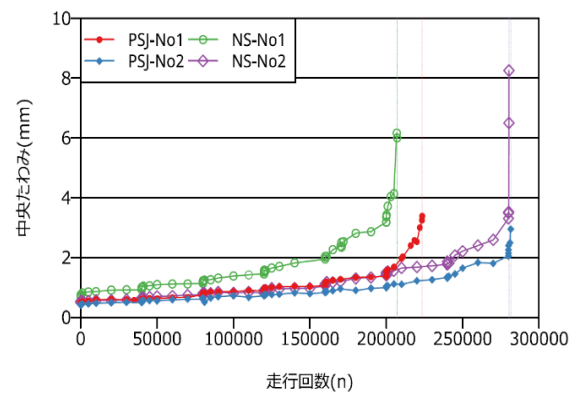


図-4 輪荷重走行試験による走行回数—中央たわみ関係

果によって接合部周辺のひび割れは少なく、それぞれに製作した床版パネルの中央部分を中心にひび割れが進展し、PS ジョイント床版の支圧板付近を中心にひび割れの発生が見られた。以上の結果より、PS ジョイント床版は継手部で生じるひび割れ性状は異なるものの、一体で打設した床版と同程度の耐疲労性を有していることを確認した<sup>2)</sup>。

## 2. 試験施工概要

### 2-1 対象橋梁の概要

本試験施工で床版取替を実施した阪神高速 5 号湾岸線中島排出路の概要と試験施工の対象範囲を表-1、図-5、写真-1 に示す。中島排出路は中島入路と中島出路の間に位置し、連続する 3 径間のうち縦断勾配変化のある中島排出路 S-1、S-2 の 2 径間の RC 床版を PS ジョイント床版の適用対象

とした。

## 2-2 試験施工の目的および確認事項

PS ジョイント床版は 2016 年より開発に着手し、2021 年に橋梁を模擬した実物大施工性確認試験を実施している。実用化に向けては以下の 3 つの課題への対処と新たな課題抽出・解決を目的とする。

- ①既設構造物への適用（既設鋼桁への影響や道路勾配への対応等）
- ②付属物の取り付け構造・配置等（急速施工を前提とした壁高欄の構造・施工方法等）
- ③狭隘な施工条件への対応（限定的な施工ヤードでの施工等）

## 3. PS ジョイント床版の設計

### 3-1 PS ジョイント床版の設計概要

対象橋梁とした中島排出路の既設 RC 床版厚は 200 mm であったため、既設床版厚と同等以下を目指し、床版厚を 180 mm, 190 mm, 200 mm の 3 ケースで概略検討を実施した。検討の結果、構造の成立が確認できたため、今後合成桁に適用することを見据え一番薄い床版厚 180 mm を選定した（図-6）。コンクリートの設計基準強度は、輪荷重による押抜きせん断破壊や PS ジョイントのプレストレスによる支圧力に抵抗するため、70 N/mm<sup>2</sup> とした。PS ジョイント（F10T, M36）はトルクによりプレストレス導入を行う緊張材とし

て設計した。PS ジョイントは、床版の橋軸方向の接合部において設計荷重時にフルプレストレスとなるように配置した。PS ジョイントへの初期導入軸力は、コンクリートのクリープ、乾燥収縮および PS ジョイントのリラクゼーションを考慮して定めた。

表-1 対象橋梁の概要

対象径間	阪神高速 5 号湾岸線 中島排出路 S-1, S-2
竣工年	1991 年
構造形式	鋼 3 径間連続非合成鋼桁 橋のうち 2 径間
橋長	101.250 m のうち 67.5 m
既設床版形式	RC 床版 (床版厚 200 mm)
取替後床版形式	PS ジョイント床版 (床版厚 180 mm)
幅員	5.250 m
設計活荷重	既設：TL-20, TT-43 新設：B 活荷重
道路勾配	縦断 9.5%～-0.5% 横断 0.2%



写真-1 試験施工前の状況

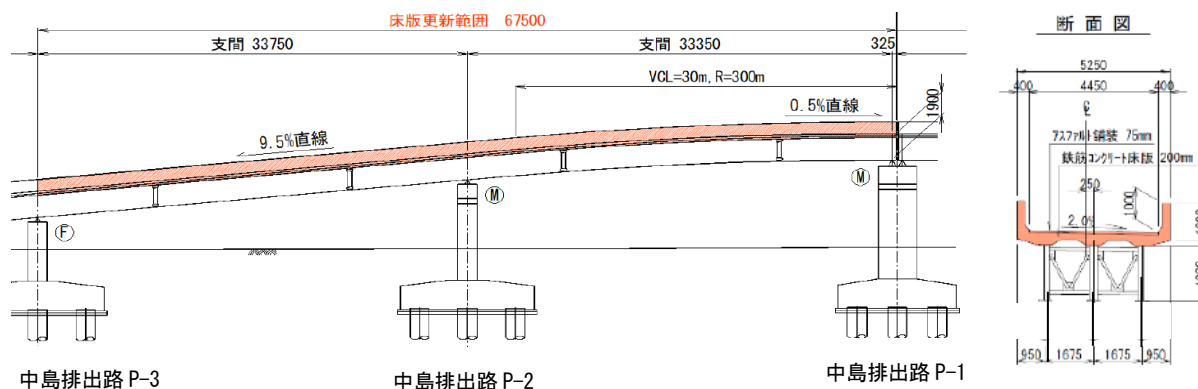


図-5 対象径間側面・断面図（既設）

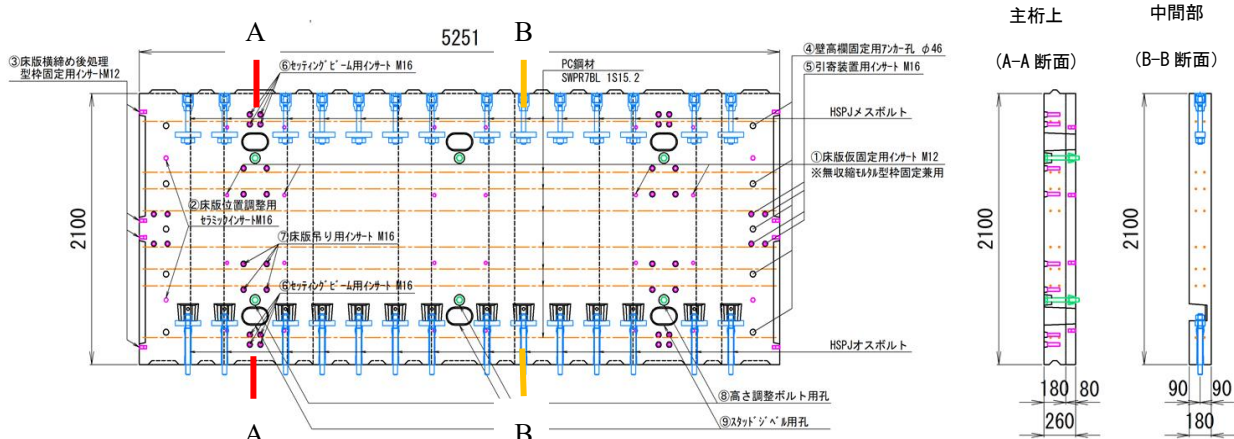


図-6 PSジョイント床版設計断面

中島排出路はランプ部特有の縦断勾配が 9.5% ~-0.5%に変化する縦断曲線を有している。一般的なPCa床版は、橋軸方向の接合部に間詰コンクリートがあるため、縦断曲線にも柔軟に対応できる。しかし、PS ジョイント床版は、PCa 床版同士が直接接合する構造であるため、縦断曲線の再現が課題であった。縦断勾配が一定の区間では、橋軸方向の長さ 2,100 mm を標準版とした。縦断勾配変化区間では、前述より短い標準版と床版下側面が短くなるよう勾配を付けた調整版を組み合わせ配置し、縦断曲線を再現した (図-7)。

### 3-2 PS ジョイント定着部の補強検討

PS ジョイント床版はオスボルト側のナットを締め付けることで橋軸方向の床版同士の接合面にプレストレスを導入する構造である。PS ジョイントのボルト径 M36 の場合、床版厚 180 mm に対して 600 kN を上回るプレストレスを導入する必要がある。この支圧力に対し、日本建築学会プレストレスコンクリート設計施工基準<sup>4)</sup>に従い、補強鉄筋量および支圧プレート形状を決定した。また、FEM 解析によって、PS ジョイントのボルトの締め付けにより、定着部周りに局所的に大き

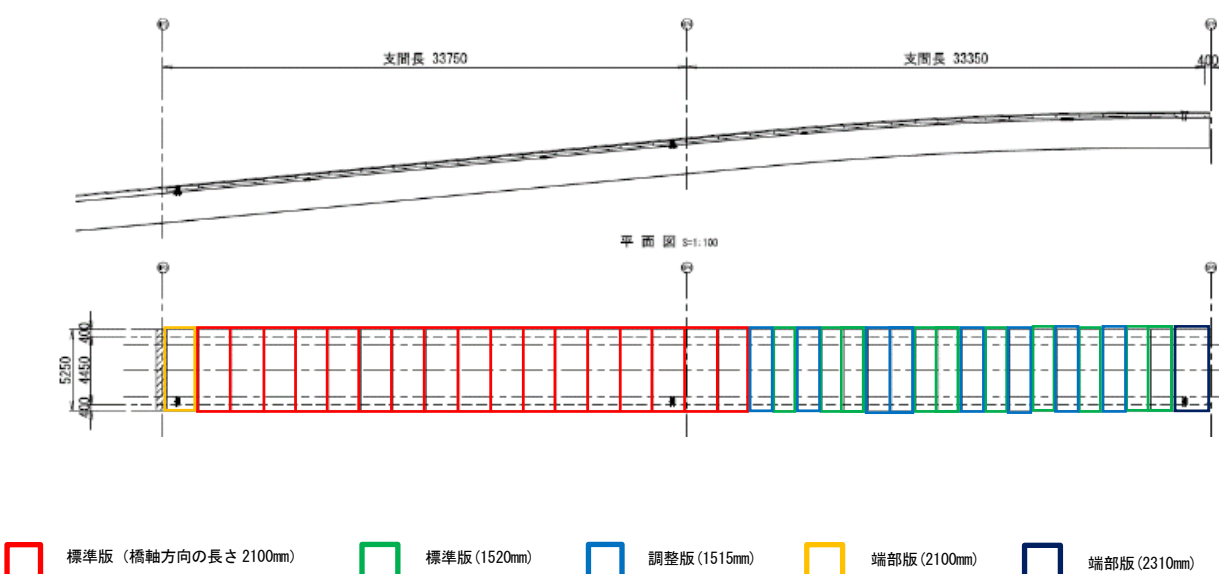


図-7 PSジョイント床版の割付け

な引張応力が発生することを確認し、そのような引張応力が発生している箇所に対して追加で補強鉄筋量を算出し、補強鉄筋を配置している。

### 3-3 壁高欄の構造概要

壁高欄はリニューアル工事での施工を想定し、急速施工を図るため、プレキャスト製とした。このプレキャスト壁高欄（以下、PCa 壁高欄）は2020年に阪神高速12号守口線の守S20において実施した床版取替工事にて採用した構造とした。床版からの鉄筋ではなく、アンカーボルトを引張材として用い、PSジョイント床版下面にアンカープレートを設置して抵抗する構造とした（図-8）。またアンカーボルト、アンカープレート、ナット、角座金には、防錆処理としてPSジョイントと同様、ダクロタイズド処理を施すこととする。壁高欄の写真を写真-2に示す。



写真-2 PCa 壁高欄

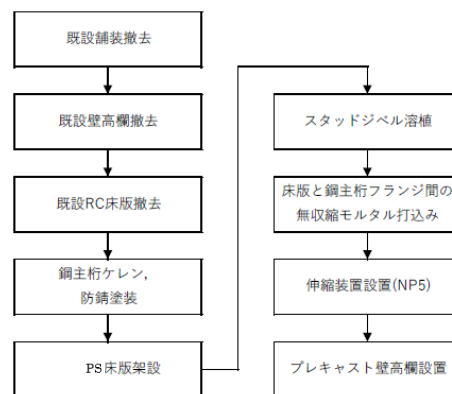


図-9 施工フロー

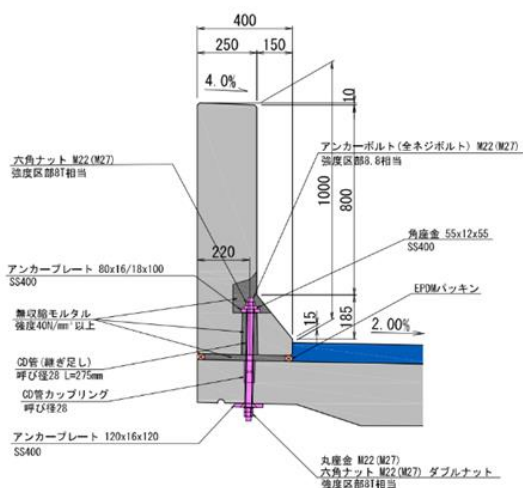


図-8 PCa壁高欄断面図

## 4. 施工

### 4-1 施工概要

試験工事の施工フローを図-9に示す。試験工事の対象橋梁は、最急縦断勾配が9.5%と大きく、また有効幅員が4.45mで両側を走る隣接橋との離隔がほとんどない狭隘な条件であった。このような施工条件において効率よく床版取替工事を実施するため、施工の各段階で施工性向上を図った。

### 4-2 PSジョイント床版架設

PSジョイント床版の架設は、先行床版と後行床版の位置を合わせる架設、後行床版を先行床版に接合する引寄せ・接合、PSジョイント床版の接合面にプレストレスを導入するPSジョイント構造の締付けの順に実施する。

PSジョイント床版の架設状況を写真-3に示す。PSジョイント床版の架設は、後行床版の接合面を架設済みの先行床版の接合面に合わせるため、フォークリフトと芯出し装置（写真-4）の位置調整機能を活用し、先行床版と後行床版の架設高さや離隔を合わせた後、オスボルトとメスボルトを



写真-3 PSジョイント床版架設状況

接合させるために引寄せ作業を実施した（写真-5）。芯出し装置は、オスボルトとメスボルトの中心を合わせるという目的のため、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（250 mm）を有する装置のことを指す。ボルトの接合に必要となる引寄せ荷重は、接合試験時の計測で PS 接合構造 1 本当たり 10 kN 程度であることが確認されている。引寄せ作業では、引寄せ荷重を満足する引寄せジャッキと引寄せ金具を床版の左右端部に取り付け、左右端部の床版の引寄せ量が同程度の状態を保持するように制御しながら床版同士の離隔が 1 mm 程度になるまで実施した。



写真-4 芯出し装置

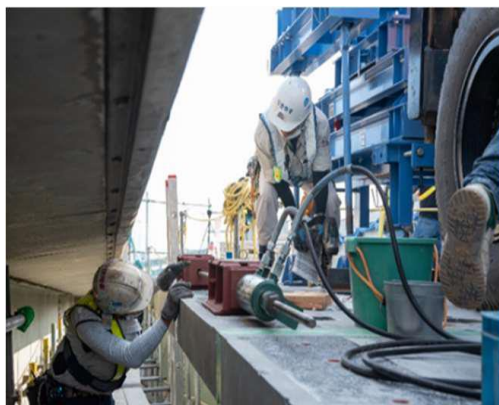


写真-5 床版引寄せ作業

PS ジョイントの締付け作業（写真-6）では、作業による施工品質の変動を避けるため、所定の締付けトルクに到達した段階で油圧トルクレンチが自動で停止する自動制御油圧ポンプを採用した。目標導入緊張力の 60% で一次締付けを行ったあと、目標導入緊張力の 100% での本締付けを実施し、本締付けの翌日に確認締めとして再度目標

導入緊張力で締付けを実施し、所定のプレストレスを PS ジョイント床版の接合面に導入した。

急勾配かつ狭隘な施工条件での試験施工であったが、施工性確認実験で抽出した課題の改善によって、1 日当たり 4 枚の PS ジョイント床版を架設することができた。架設開始から PS ジョイント構造の締付け作業完了までのサイクルタイムは約 70 分であったが、そのうち PS ジョイント構造の締付け作業で約 50 分を要することを確認した。実橋の条件に基づいた設計・施工によって床版更新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を確認した。



写真-6 PS ジョイント構造の締付け状況

#### 4-3 本試験施工での課題

試験施工によって当初課題として挙げた、既設構造物への適用、付属物の取り付け構造・配置等、狭隘な施工条件への対応を確認した。本試験施工を踏まえたさらなる課題として、床版上面のひび割れやはく離、床版の道路中心線からのずれが挙げられた。これらの課題に対し、PC 鋼材の配置の見直し、プレキャスト壁高欄の調整可能範囲の増大による道路線形調整余裕の確保等の対策を検討し、さらなる品質の向上・施工精度向上を目指した。

#### おわりに

本稿は道路橋の RC 床版更新技術として PS ジョイント床版の技術開発および中島排出路におけ

る試験施工の設計、施工について報告した。

これらの試験施工の結果を踏まえて 2023 年阪神高速 3 号神戸線リニューアル工事の床版取替において本工法を実施する予定である。今後も様々な課題の解決、改善を重ね、床版更新事業の推進に貢献したいと考えている。

謝辞：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「PCa 床版の急速施工及び接合部の耐久性向上を目指した継手構造に関する共同研究」の成果の一部を報告したものである。

本共同研究を遂行するにあたり、ご指導いただいた関係者各位に深く謝意を示します。

#### 参考文献

- 1) 大島克仁, 新名勉, 興石正己, 宮田勝治: プレストレスジョイントの開発および性能確認試験, プレストレストコンクリート, Vol.61, No.5, 2019.9.
- 2) 新名勉, 林大輔, 小林顕, 興石正己, 国井優嗣: プレストレスジョイントで接合したプレキャスト PC 床版の耐疲労性評価, 第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.17-22, 2018.11.
- 3) 興石正己, 新名勉, 林大輔, 小林顕: プレストレスジョイントを用いた PCa 床版の静力学特性, 第 27 回プレレストレストコンクリート発展に関するシンポジウム, pp.401-404, 2018.11.
- 4) (一社)日本建築学会: プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説, pp.209-224, 1987.

## DEVELOPMENT AND TEST CONSTRUCTION OF PRECAST SLAB WITH PRESTRESSED JOINTS

Sota SASAWAKI, Yasuyuki IWASATO, Masaaki ISA and Tomoaki HASEGAWA

Hanshin Expressway has been engaged in the technological development of prestressed joint slabs that can be quickly installed and prestressed at the joints as precast slabs for slab renewal work of road bridges. Test construction was carried out at the Nakajima emergency exit road of the Wangan Route 5 of the Hanshin Expressway in order to solve problems for practical use and to identify and solve issues for application to main lanes. This paper describes the outline of the technological development, the efforts made in design and construction to achieve rapid construction and high quality in the test construction, and the results of confirming the applicability to actual structures through the test construction.

笹脇 壮太



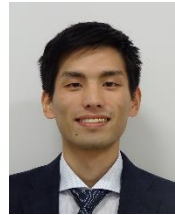
阪神高速道路株式会社  
管理本部 管理企画部  
保全技術課  
Sota SASAWAKI

岩里 泰幸



阪神高速道路株式会社  
管理本部 管理企画部  
保全技術課  
Yasuyuki IWASATO

伊佐 政晃



阪神高速道路株式会社  
建設事業本部 神戸建設部  
湾岸西伸第一建設事業所  
Masaaki ISA

長谷川 智昭



阪神高速道路株式会社  
管理本部 神戸管理・  
保全部 保全事業課  
Tomoaki HASEGAWA