

プレストレスジョイントを用いた 道路橋床版更新技術の開発

岡 本 信 也・伊 佐 政 晃・小 林 顕

道路橋の床版更新工事におけるプレキャスト床版の橋軸方向の継手としては、現状は場所打ちの鉄筋コンクリート（以下、RC という）構造が多く採用されている。しかし、設計および施工上の改善の余地があると考え、著者らは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ジョイント（プレストレスジョイント以下、PS ジョイントという）の技術開発に取り組んでいる¹⁾。

PS ジョイントを用いたプレキャスト床版（以下、PS ジョイント床版という）は、より早くより高品質な道路橋の床版更新を可能とする技術であり、本稿ではこれまでに取り組んだ技術開発の概要について述べる。

キーワード：道路橋, 床版更新, プレキャストプレストレスコンクリート床版, プレストレスジョイント, 軽量化, 急速施工, 耐久性確保

1. はじめに

昭和 30 年代後半から昭和 40 年代に建設された高速道路は供用後 40 年以上が経過しており、一部の橋梁では各種の劣化が顕在化している。高速道路会社では、このような劣化した構造物を長期的に維持管理していくために、橋梁などを対象として、大規模更新・修繕事業が進められている。本稿で対象とする RC 床版は、阪神高速道路では、昭和 48 年より前の道路橋示方書で設計され、その後、鋼板接着補強された RC 床版のうち、耐疲労性の低下が懸念される径間・パネルを事業の対象とし、耐疲労性の低下の程度に応じて、補修、補強、取替えなどの対策を予定している。

このうち、床版の更新（取替え）に関するニーズとしては、1) 既設床版と同等以下の重量で、橋梁下部構造および基礎に影響を与えない軽量構造、2) 更新時の通行止めによる社会的影響、騒音などの環境負荷を抑制できる、急速かつ確実性の高い施工方法、3) 更新した床版における高い耐久性の確保などが挙げられる。

これらのニーズに対応した一方策として、プレキャストプレストレスコンクリート床版（以下、PCa 床版という）の橋軸方向の接合構造に着目した。現状では、橋軸方向の接合構造は、場所打ちの RC 構造が多く採用されているが、1) ループ継手の使用により PCa 床版厚の増加、2) 継手部の配筋、型枠組立て、

間詰めコンクリートの打設・養生など、一定の現場作業を必要とする、3) 場所打ち RC 構造部における長期的な耐久性の懸念など、設計および施工上の改善の余地があると考えている。本稿ではこれらの改善点に対応すべく取り組んできた PCa 床版の橋軸方向の接合部に適用できる継手構造の開発の概要について述べる。

2. 構造概要

現在、開発中の 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）として使用されているピン挿入型継手の技術を PCa 床版に適用させて、急速施工、高性能化、環境負荷の低減を目指すものである。PS ジョイントは、施工時にオスボルトをメスケース内の皿バネに押し付けられた楔型のコマに押し込むことでボルトをワンタッチで接合させる仕組みで、接合後はコマとフタの楔機構により引抜き力を伝達する機械式継手である（図-1、2 参照）。

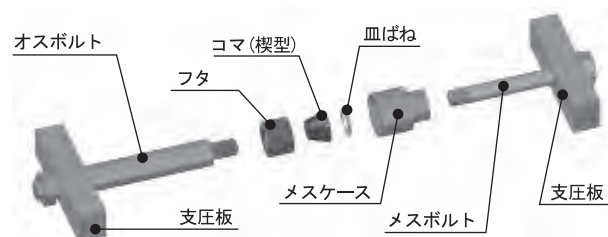
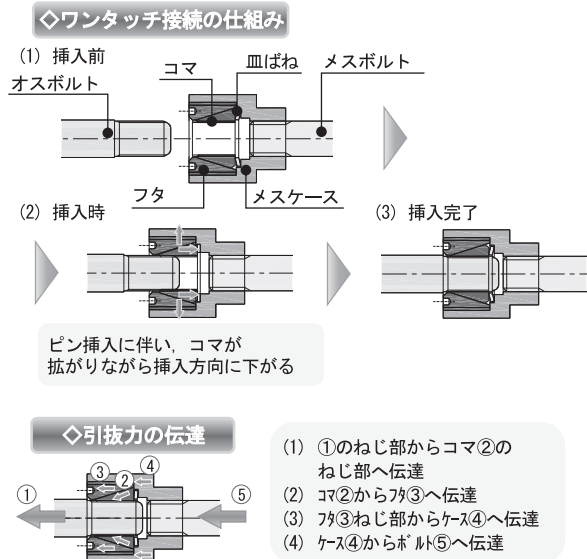


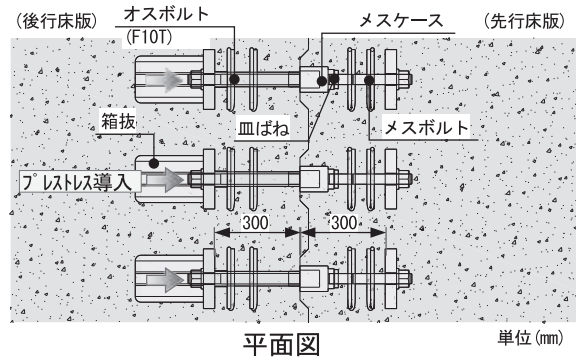
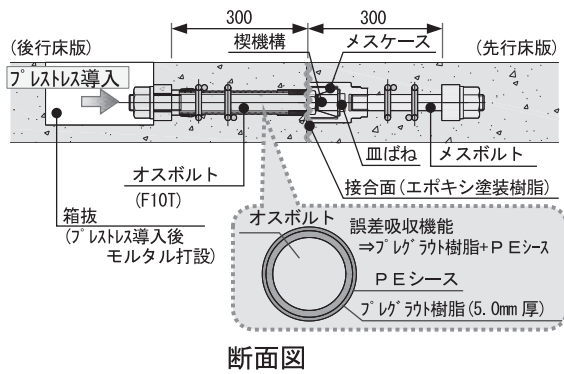
図-1 PS ジョイント図



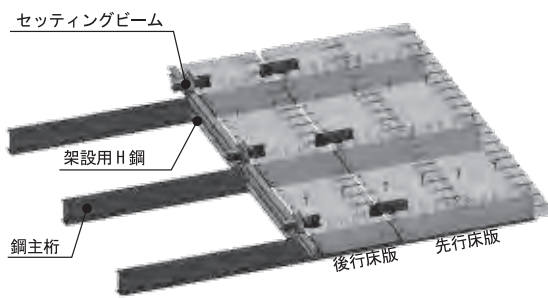
図一 2 PS ジョイント接続機構

PS ジョイント床版 (図一 3 参照) は、1) PCa 床版の接合面に PS ジョイントを埋め込み、床版同士を押し込むことで一体化を図り、プレストレストコンクリート床版 (以下、PC 床版) の薄厚化 (軽量化) および急速施工が可能となる、2) オスボルトをポリエチレンシース (以下、PE シースという) で被覆し、プレグラウト樹脂を注入しておくことで必要な可動域を設けることにより施工誤差を吸収できるとともにグラウト作業が不要となる、3) 接合部にプレストレスを導入することにより継手部の耐久性が向上するなどの特徴を有する。

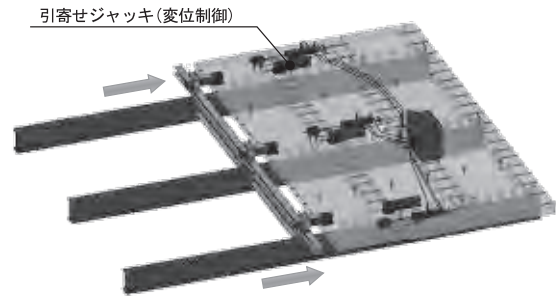
図一 4 に PS ジョイント床版の施工順序のイメージを示す。先行架設した床版を鋼主桁に固定し、後行架設する床版にセッティングビームを設置し、変位制御機構を有するジャッキを用いて引き寄せ、PS ジョイ



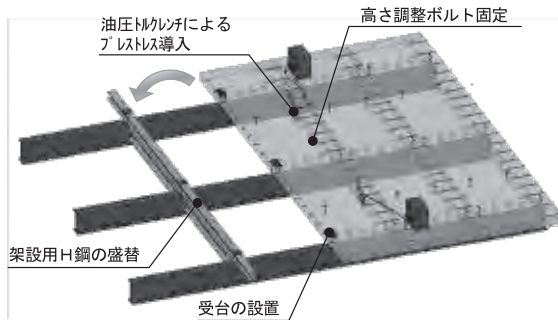
図一 3 PS ジョイント床版概要図



1) PS ジョイント床版の架設



2) 引き寄せ・接合



3) プレストレス導入

図一 4 PS ジョイント床版の施工順序

ントのオスボルトとメスボルトを楔機構で接合する。各ボルトの接合は床版の隙間を計測することにより確認する。その後、PS ジョイントに油圧トルクレンチを用いてプレストレスを導入し、これらの施工を繰り返すことでPCa床版を一体化する。最後に一体化したPCa床版と鋼主桁を結合し、プレストレス導入用の箱抜部を後埋めする。

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を期待した構造である。

3. PS ジョイントを用いた床版の設計

(1) 床版厚さおよびコンクリートの設計基準強度

PS ジョイント床版を対象として、床版の厚さを变化させた比較設計を実施した結果、その中から床版厚180mmを選定した。この床版厚さは、接合面のPSジョイントの配置(ボルト径, 配置間隔), 工場製作性, 取替えの対応となり得る保有ストック数などを総合的に評価したものである。なお、床版厚さ180mmは従来のPCa床版より薄く、輪荷重による押抜きせん断破壊およびPSジョイントのプレストレスによる支圧力の双方に対する抵抗性を確保するため、コンクリートの設計基準強度を 70 N/mm^2 とした。

(2) PS ジョイントによるプレストレス導入

PS ジョイントはトルクによりプレストレスを導入できる緊張材として設計を行った。使用した緊張材の材質はF10T, ボルト径はM36である。設計ではPSジョイントの導入力は、道路橋示方書ⅡのF10Tの引張接合用高力ボルトの許容値²⁾を満足するとともに、PSジョイントをPC鋼材と見立てて道路橋示方書Ⅲの許容値³⁾も満足するように設定した。PSジョイントの配置間隔は、PCa床版の接合部において設計荷重時にフルプレストレスになるように定めた。なお、PSジョイントの初期導入力は、コンクリートのクリープ・乾燥収縮、弾性変形およびPSジョイントのリラクセーションを考慮するが、最終的にはこれらの値は現在実施している試験結果を反映して定める予定である。

(3) PS ジョイントによる支圧力の検討

PS ジョイントのボルト径をM36とした場合、180mmの床版厚さに対して600kNを上回るプレストレスを導入するため、支圧力に対して補強法を検討する必要があった。そのため、日本建築学会プレストレスコンクリート設計施工基準⁴⁾に従い、補強鉄筋量および支圧プレート形状を決定した。その後、3次元FEM解析にてPSジョイントによる付加応力の確認を行い、PSジョイント締付け用の箱抜周辺に発生する局所的に大きな引張応力に対して補強鉄筋を配置した。以上の検討を踏まえたPSジョイント床版の概要図を図-5に示す。

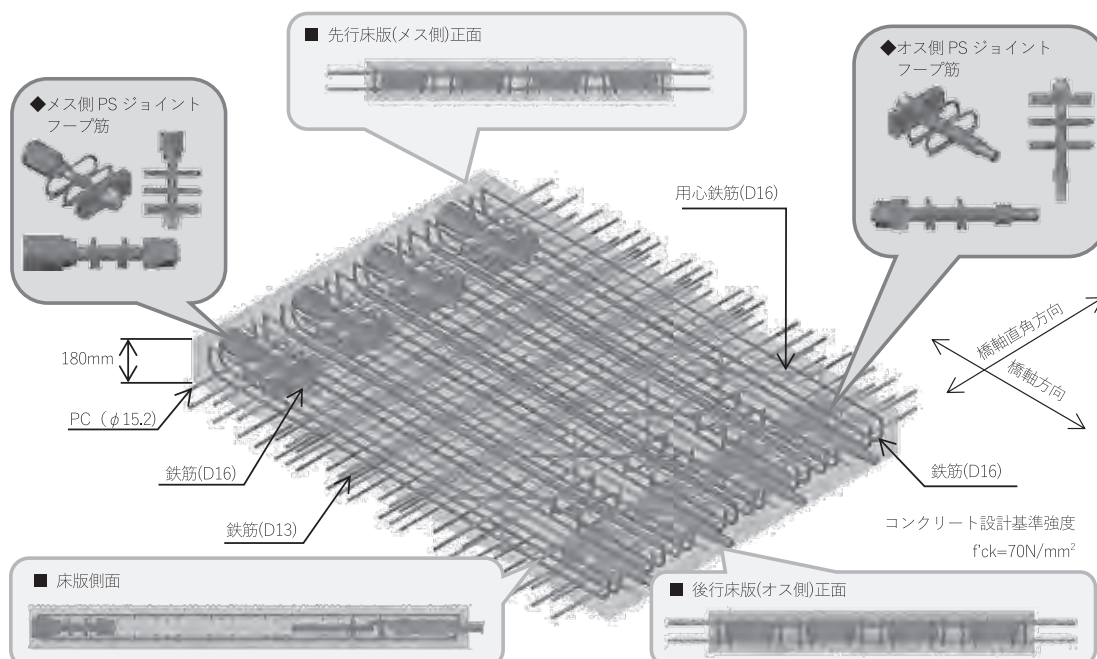


図-5 PS ジョイント床版概要図

4. PS ジョイントボルトの性能確認

PS ジョイントは、設計に必要なプレストレスを導入できる材質であることに合わせて、床版製作や接合時の作業性、ボルトの取扱いなどを踏まえて仕様を決定した。

PS ジョイント床版同士の一体化に用いる PS ジョイントのオスボルトとメスボルトの嵌合に必要な押込み力を確認することおよび嵌合された PS ジョイントが設計引張力に対して十分な強度を有することを確認するため、押込みおよび引抜き試験を実施した。押込み試験状況を写真-1に示す。押込み試験では、ねじ部の摩擦を安定化させる潤滑処理を施すことで押込み力が安定することを確認した。引抜き試験では、引張荷重までの荷重-変位関係は直線関係となっており、構造的にも機能上も問題ないことを確認した。なお、PS ジョイントは円周方向に 5 mm の施工誤差を吸収できる構造となっている。実施工では PS ジョイント



写真-1 押込み試験状況

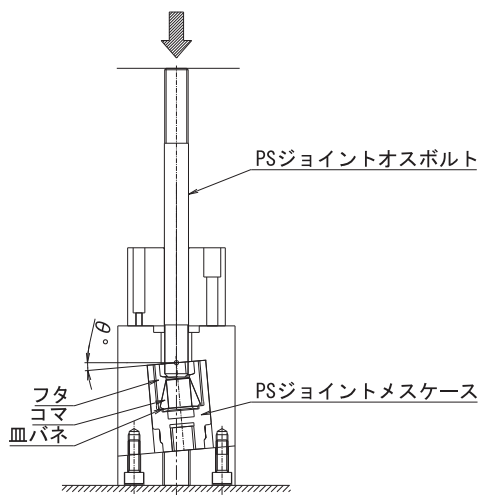


図-6 押込み試験状況図 (偏芯有)

が 5 mm の範囲で芯ずれした状態で嵌合する可能性も考えられたため、オスボルトがメスボルトに対して傾いて押し込まれることを想定した押込み試験、引抜き試験も行った。試験状況図を図-6に示す。オスボルトの傾きによって、押込み荷重は大きくなったが接合可能な範囲であることを確認し、その後の引抜き試験では、嵌合部の拔出しなどの異常が無いことを確認した。その他、PS ジョイントの機械的性能、耐食性などの確認試験も行い、良好な結果を確認した^{5), 6)}。

以上の性能確認や別途実施した施工性確認試験の結果、PS ジョイントに適用するボルトは、材質は F10T、ボルト径は M36、ねじピッチは 2.0 mm とし、熱処理後転造してダクロダイズド塗装を施したものを採用して検討を進めている。

5. PS ジョイント床版の接合部に関する安全性の確認

PS ジョイントボル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を静的曲げ試験および耐疲労性試験で行った。接合部を設けない床版でも同様の試験を実施し比較検討を行った。

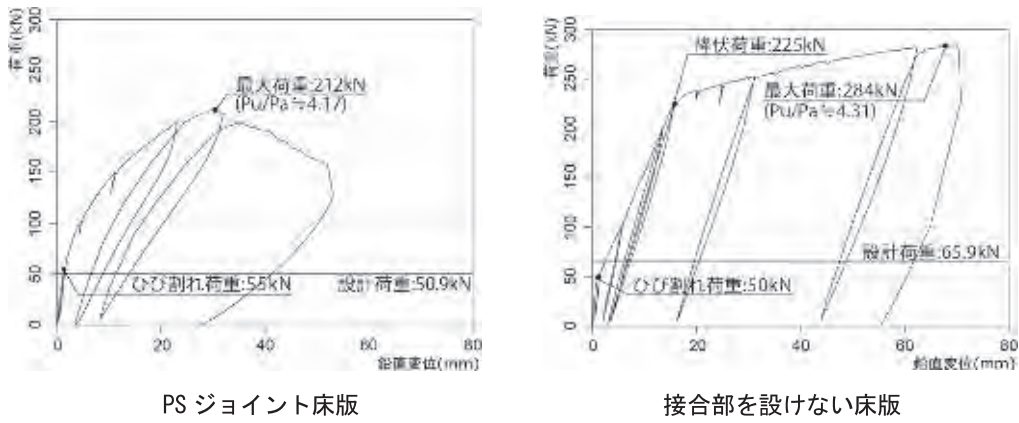
(1) PS ジョイント床版の静的曲げ試験

静的荷重に対する曲げ試験では、ひび割れ性状、曲げ耐力、破壊形態を確認した。また、荷重の載荷は、支間長さ 3,000 mm で単純支持した試験体の中央一点に道路橋示方書で示される輪荷重幅 (200 × 500 mm) 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。試験状況を写真-2に示す。

試験で得られた荷重-変位関係を図-7に示す。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、最大荷重と設計荷重の比率は 4.2 倍となった。最大荷重時に上縁側



写真-2 静的曲げ試験状況



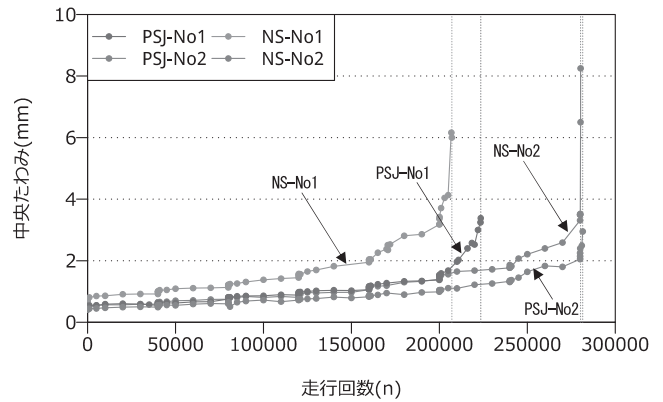
図一七 静的曲げ試験による荷重—変位曲線

に水平ひび割れが確認され、PS ジョイントボル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、接合部を設けない床版に比べて残留変位が小さくなる原点指向性が強い挙動を示した。一方、接合部を設けない床版は、設計荷重以下で曲げひび割れが発生し、最大荷重と設計荷重の比率は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を設けない床版と比較して同等以上の曲げ性能を有し、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⁷⁾。

(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。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。試験状況を写真一三に示す。

試験より得られた走行回数—中央たわみ関係を図一八に示す。図一八中の PSJ がプレストレスジョイント



図一八 走行回数—中央たわみ関係

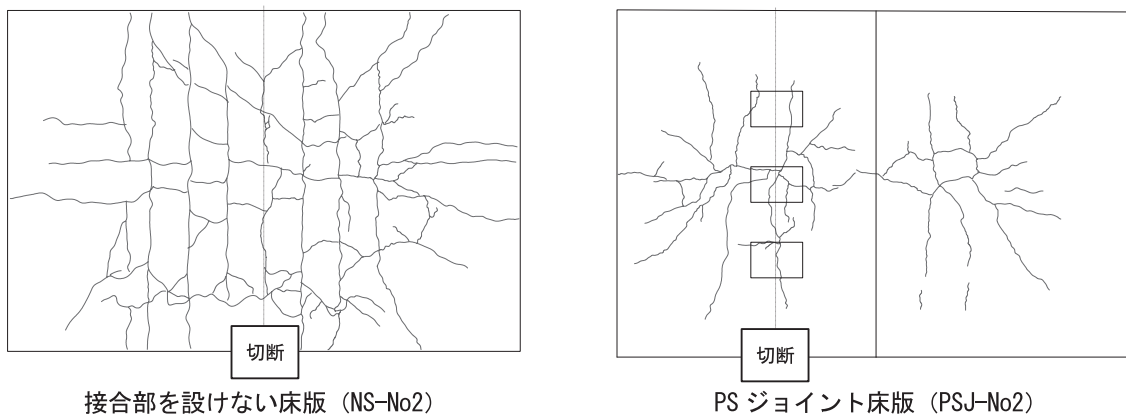
床版、NS が接合部を設けない床版の結果である。いずれの試験体も走行回数の増加に伴いたわみが徐々に増加し、最終的にはたわみが急増した時点で破壊に至ったと判断した。試験体間にばらつきは見られるものの、PS ジョイント床版と接合部を設けない床版の間に明瞭な違いは確認できず、破壊モードはいずれも押抜きせん断破壊であった。試験体のひび割れ性状を図一九、一〇に示す。ひび割れ性状は、接合部を設けていない床版は試験体下面に格子状のひび割れが発生していたが、PS ジョイント床版は接合部のプレストレスの効果によって接合部周辺のひび割れは少なく、それぞれに製作した床版パネルの中央部分を中心にひび割れが進展し、PS ジョイント床版定着板付近には複雑な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、接合部を設けない床版と同等の耐疲労性を有していることを確認した⁸⁾。

6. 活荷重合成桁への適用性検討

PCa 床版を用いた床版更新工事では、ずれ止めを配置し既設鋼桁と床版の一体化を図る必要がある。通



写真一三 輪荷重走行試験状況



図一 9 試験体下面ひび割れ性状

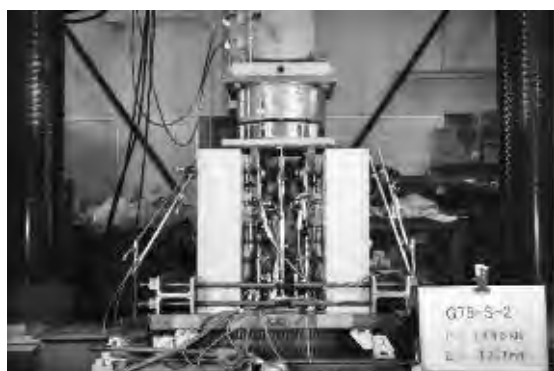


図一 10 試験体内部ひび割れ性状

常, PCa 床版に設けたジベル孔開口部から鋼桁上に所定の頭付きスタッドを溶植した後, スタッド孔開口部より床版と鋼桁フランジ間の隙間を無収縮モルタルで充填する。その後, スタッド孔開口部は収縮補償用膨張コンクリートで後埋めをする。しかし, PS ジョイント床版内部には PS ジョイントボルトや鉄筋, 横締め PC 鋼材が配置されており, スタッド孔の配置が制限される。そのため, 特に合成桁においては, 道路橋示方書に準拠したスタッド配置が困難なことから, PS ジョイント床版のスタッド孔にスタッドをグループ配置した場合の耐荷力の実験的検討を行い, 設計・施工への適用を検討した。写真一 4 に押抜きせん断試験の状況を示す。また, 写真一 5 はスタッドをグループ配置しスタッドの周囲にスパイラル鉄筋を設けたケースの押抜きせん断破壊後の状況である。今後, 実設計への適用を試みる予定である。



写真一 5 試験終了後のスタッドの状況



写真一 4 押抜きせん断試験状況

7. 今後の取組み

種々の検討を重ねた結果, PS ジョイントは床版更新の橋軸方向の接合技術として, 接合部を設けない一般的な RC 構造部と同等以上の性能を保有していることが確認できた。現在は, これまでの試験や検討で得られた課題に対する改善を図り, 実橋への適用に向けた品質管理手法の確立や設計および施工法の標準化に向けたマニュアル整備を行っている。今後, 実橋における詳細設計, 施工計画および試験施工を経て, PS ジョイント床版を用いた実際の床版更新工事への適用を目指している。

8. おわりに

本報告は、道路橋床版更新技術として橋軸方向の接合構造である、PS ジョイントの技術開発について述べた。PS ジョイントを適用したPS ジョイント床版は、1) PC 床版の薄厚化（軽量化）および急速施工が可能となる、2) オスポルトを PE シースで被覆し、プレグラウト樹脂を注入しておくことで施工誤差を吸収できるとともにグラウト作業が不要となる、3) 場所打ち RC 構造部を解消し接合部にプレストレスを導入することにより継手部の耐久性が向上するなどの特徴を有し、より早くより高品質な橋梁の床版更新を可能とする技術である。実橋への適用に向けて様々な課題の解決、改善を重ね、老朽化が加速する高速道路橋梁の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 HS プレストレス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。本共同研究の遂行に対し、ご指導いただいた関係各位に深く謝意を示します。

J C M A

《参考文献》

- 1) 小林顕, 新名勉, 奥石正己: プレストレスジョイントを用いた PCa 床版の設計, コンクリート工学年次論文集, PP.499-504, 2018.7
- 2) 日本道路橋協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, PP.149-154,

PP.232-236, PP.488-493, 2012.3

- 3) 日本道路橋協会: 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編, PP.133, 2012.3
- 4) 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
- 5) 大島克仁, 新名勉, 奥石正己, 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.52, PP.50-55, 2019.9
- 6) 小林顕, 岡本信也, 伊佐政見, 陶昭男: プレストレスジョイントのねじピッチ, 締付けトルク値に関する検討, 第 29 回プレレストコンクリート発展に関するシンポジウム, 2020.10 (投稿中)
- 7) 奥石正己, 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 回プレレストコンクリート発展に関するシンポジウム, PP.401-404, 2018.11
- 8) 新名勉, 林大輔, 小林顕, 奥石正己, 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

【筆者紹介】

岡本 信也 (おかもと のぶや)
 阪神高速道路(株)
 管理本部 神戸管理・保全部 保全事業課
 担当課長



伊佐 政見 (いさ まさあき)
 阪神高速道路(株)
 管理本部 大阪保全部 保全事業課



小林 顕 (こばやし けん)
 清水建設(株)
 名古屋支店 土木技術部
 部長

