

報告

新設橋梁向けのプレキャスト鋼コンクリート合成床版の開発

及川俊介*, 浅井貴幸**, 結城洋一***, 石井博典***, 石部智之****, 春日井俊博*****

*東日本高速道路(株)関東支社, つくば工事事務所 (〒305-0882 茨城県つくば市みどりの中央 8-1)

**修 (工), 東日本高速道路(株)東北支社, 管理事業部構造設計チーム (〒983-8477 仙台市宮城野区榴岡一丁目1番1号 JR 仙台イーストゲートビル)

***博 (工), (株)横河ブリッジホールディングス, 総合技術研究所 (〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港88)

****修 (工), (株)横河ブリッジ, 設計本部東京設計第一部設計第二課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町27)

*****博 (工), (株)横河ブリッジ, 技術本部 (〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 88)

近年, 橋梁工事では保全工事のみならず新設工事においても品質向上や急速施工, 現場省人化の観点から, プレキャスト部材の採用実績が増加している. 鋼コンクリート合成床版は現場打ちコンクリート施工が大半であり, コンクリート部をプレキャスト化した実績は少ない. このような中, 現在, 著者らは新設道路橋用のプレキャスト鋼コンクリート合成床版の開発を進めている. 本報告では, 開発中のプレキャスト鋼コンクリート合成床版の床版継手構造や, 各種性能試験, 実物大施工試験の状況について述べる.

キーワード: プレキャスト合成床版, 性能試験, 実物大施工試験, 床版継手

1. はじめに

近年, 橋梁工事では品質向上や急速施工, 現場作業の省人化を目的として, 新設工事におけるプレキャスト部材の採用実績が増加している. 鋼コンクリート合成床版(以下, 合成床版と呼ぶ)においては, コンクリートを工場打込みとするプレキャスト鋼コンクリート合成床版(以下, プレキャスト合成床版と呼ぶ)がいくつかあるが¹⁾³⁾, 新設橋で採用された実績はなく, また, 多くの実績を有するプレキャスト PC 床版に比べ保全工事での実績も非常に少ない. プレキャスト合成床版は, 鋼板パネルから床版コンクリートまでを工場で作成させて現場へ搬入することで, 床版施工の人員を少なくすることができ現場作業や高所作業が軽減され, 生産性と安全性が向上するだけでなく, 工場管理により品質も向上することが期待される.

このような中, 現在2期工事で4車線化が進められている首都圏中央連絡自動車道では, 工程短縮のためプレキャスト PC 床版が一部で採用されている. そのうち, 牛久高架橋は東日本高速道路株式会社が発注する新設床版としては初めてプレキャスト合成床版を適用する予定である. 採用したプレキャスト合成床版はざね止めとして孔あき鋼板リブを有する. 現場打ちの合成床版での実

績は多数あり, プレキャスト合成床版としては新設のトンネル工事において実績がある. しかしながら, 新設橋向けの長支間床版としての実績がないことや, 最近のプレキャスト PC 床版で多くみられるような床版パネル同士の継手構造の合理化⁴⁾⁵⁾やその性能確認が必要と判断されたことから, 現在, 著者らは実用化に向けたプレキャスト合成床版の開発検討を進めている.

本報告では, プレキャスト合成床版の開発のプロセス, 継手部に着目した各種性能試験の概要, また施工性確認のために実施した実物大施工試験について述べる.

2. 開発中のプレキャスト合成床版について

2.1 構造および製造概要

新設橋梁向けのプレキャスト合成床版の概要図を図-1に, 継手構造を図-2に示す. 基本構造は現場打ちの合成床版と同様であるが, 床版パネル同士の接合にあたる橋軸方向継手部のみ現場打ちの合成床版と異なる構造となっている. 合成床版を有する新設橋梁で一般的な床版支間6mでは道路橋示方書で定める最小床版厚は26cmとなり, 重量は同支間の PC 床版と同等となる. 鋼板パネルは底鋼板と孔あき鋼板リブ, および側板が溶接された構造からなる. 鋼板パネルの標準幅は輸送条件を考慮

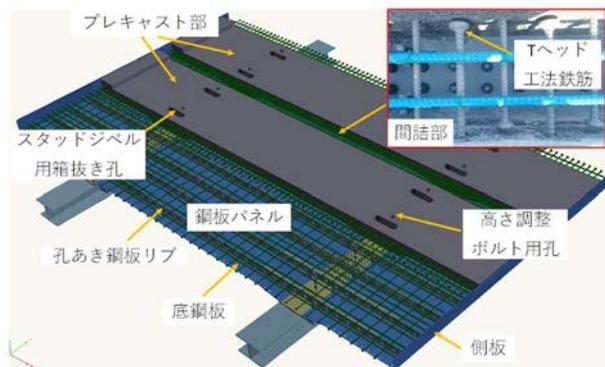


図-1 プレキャスト合成床版の概要図

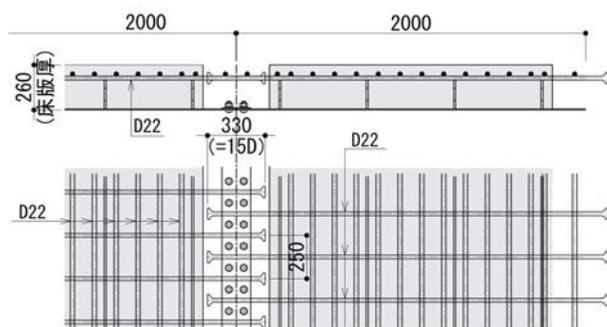


図-2 プレキャスト合成床版の継手構造

し2.0mとしている。床版パネル同士の継手構造は、底鋼板同士は高力ボルト摩擦接合継手とし、配力鉄筋の継手には端部に定着体を有するTヘッド工法鉄筋を採用することで、継手部の過密鉄筋緩和によるコンクリート充填性の向上を期待している。また、プレキャストPC床版と同様に主桁との接合には頭付きスタッドを用い、床版パネルに箱抜き孔を設けている。

図-3に製造、床版工事の手順を示す。工場では、コンクリート型枠の一部を兼ねた鋼板パネル製作、塗装後、配筋及びコンクリートの打込み、養生を行う。一方、現場では床版パネル敷設後、底鋼板を高力ボルト摩擦接合により添接し、鋼板パネル継手部のシール、主桁と床版の接合部に無収縮モルタル充填を行った後、間詰部の配筋およびコンクリート施工によりパネル同士を一体化する。

2.2 設計

プレキャスト合成床版の設計方法は基本的には現場打ちの合成床版と同様である。鋼板パネル同士は高力ボルトによる摩擦接合継手となるため、配力鉄筋方向の設計では継手部においても底鋼板は抵抗断面となる。また、主鉄筋方向の設計では前死荷重に対し鋼部材断面で、後死荷重および活荷重に対し合成断面で抵抗する。よって、製造工場では前死荷重となるプレキャスト部は実橋と同じく主桁位置で鋼板パネルを支持した状態でコンクリートを打込む。その他、製造工場や現場での吊上げ、輸送時支持点におけるコンクリートのひび割れを抑制する応

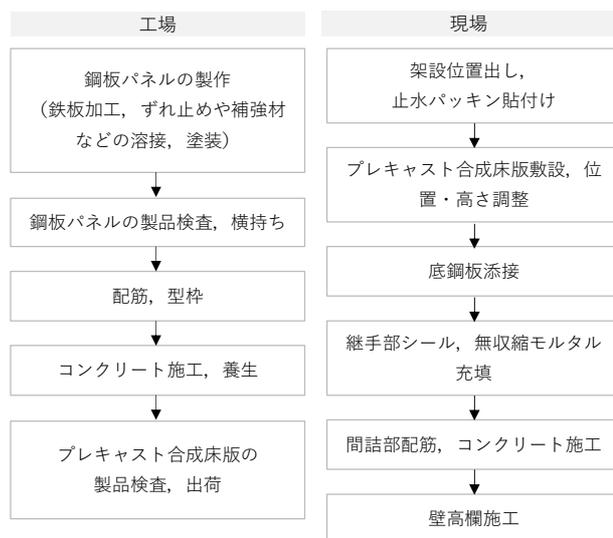


図-3 プレキャスト合成床版の製造、床版工事の手順

表-1 コンクリートの諸元

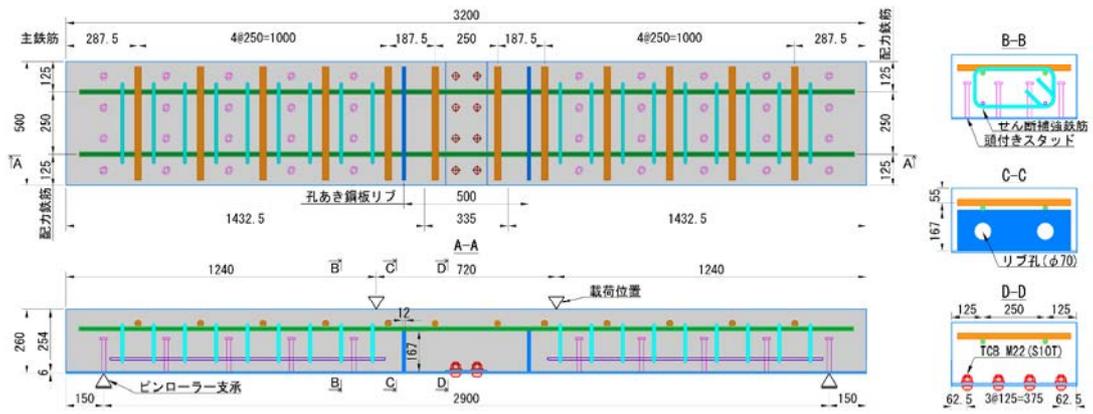
部位	コンクリート種類	呼び強度	最大粗骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	膨張材 (kg/m ³)
プレキャスト部	普通	36	20	12	4.5	20
間詰部	プレキャスト部と同等以上					

力度照査が必要となり、若材齢での工場内の横持ちや完成時と支持点が異なる場合は注意が必要となる。よって、2.3節以降で紹介する試験体製造時にはこの点について注意した。配力鉄筋となるTヘッド工法鉄筋の重ね長は、類似の定着体付き鉄筋を用いた継手や既往の研究⁶⁾などを参考にここでは鉄筋径の15倍とすることを基本とした。また、打継目のような水の侵入が懸念される箇所であることからTヘッド工法鉄筋にはエポキシ樹脂を塗付した。コンクリートの諸元を表-1に示す。プレキャスト部ならびに間詰部ともに呼び強度36、最大粗骨材寸法20mm、スランプ12cmの普通コンクリートとすることを基本とした。

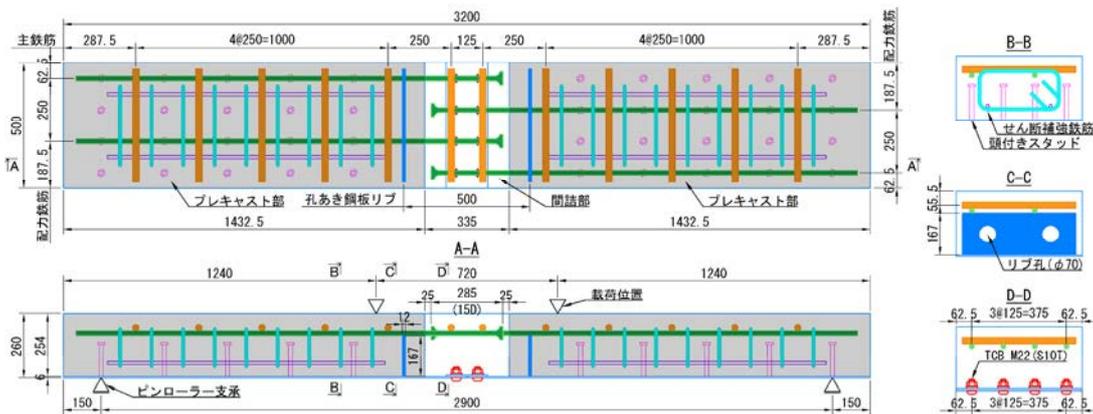
2.3 開発に向けて実施予定の試験項目

今回開発するプレキャスト合成床版は、先述のとおり、基本構造は現場打ちの合成床版と同様であり、間詰部の有無が主な相違点となる。そこで、プレキャスト合成床版の開発にあたり、日本橋梁建設協会が提示する合成床版の要求性能⁷⁾を参考に性能試験項目を整理し、間詰部に着目した以下の4つの性能試験を実施することとした。

- ① 4点曲げ試験：梁試験体で、配力鉄筋方向に継手を設けた合成床版の継手の基本的な性能を静的挙動とひび割れ性状から確認
- ② 押抜きせん断試験：版としての基本的な性能を静的挙動とひび割れ性状から確認、切断試験により間詰部の充填性についても確認



(a) ケース N (間詰部なし)



(b) ケース T (間詰部あり)

図-4 試験体概要図

表-2 4点曲げ試験の試験ケース

	ケースN	ケースT
曲げ方向	正曲げ	
間詰部	なし	あり
主鉄筋 [mm]	D25@250 (中央のみ@125)	
配力鉄筋 [mm]	D19@250	
配力鉄筋塗装	なし	エポキシ樹脂
ジベル孔補強筋	なし	
高力ボルト間隔 [mm]	125	



写真-1 試験状況

- ③ 桁付き負曲げ試験：連続合成桁の負曲げ部の応力状態に近い状況を再現し、ひび割れ幅制御とひび割れ分散性能を確認
- ④ 輪荷重走行試験：床版の疲労耐久性を確認

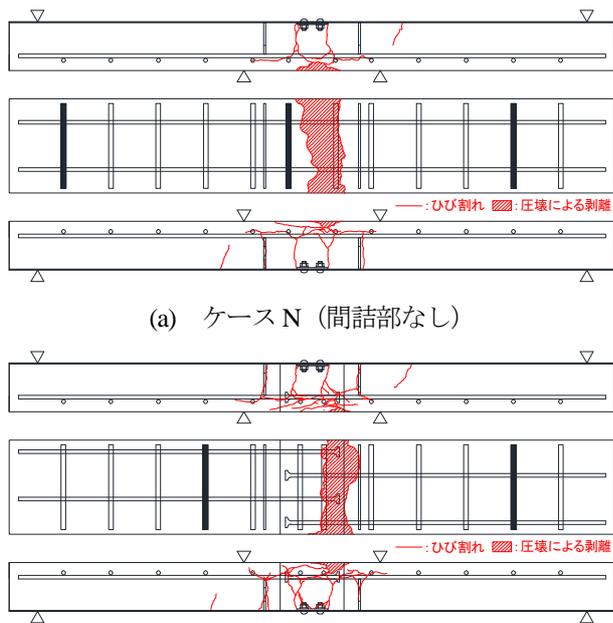
さらに、実施工に先立ちプレキャスト合成床版の一連の製造、施工の流れや施工性を確認するために、実物大のプレキャスト合成床版を使用して施工試験を実施することとした。

以降、3章～5章においては、既に実施した4点曲げ試験、押抜きせん断試験、実物大施工試験の実施内容に関する概要を報告し、未実施である桁付き負曲げ試験、輪荷重走行試験については別の機会に報告する。

3. 4点曲げ試験

3.1 試験概要

試験体概要図を図-4、荷重試験実施状況を写真-1に、試験ケースを表-2に示す。試験体は幅500mmの梁モデルであり、床版厚は260mm、試験体断面は床版支間6m、張り出し支間2.35mの非合成2主鉄桁橋を想定して設計した。コンクリートの諸元は表-1と同じである。荷重方法は支点間距離2,900mm、荷重点間距離720mmの4点曲げ荷重（正曲げ）で単調荷重とし、試験体の終局状態を確認できるまで荷重した。なお、着目範囲は等曲げ区間内とし、それ以外の部分はせん断破壊が先行しない



(a) ケース N (間詰部なし)

(b) ケース T (間詰部あり)

図-5 ひび割れ図

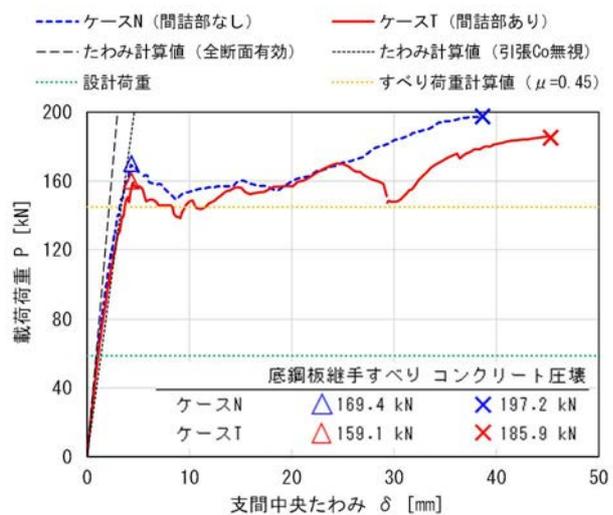


図-6 荷重変位関係

よう補強している。

試験ケースは、現場打ち合成床版を想定した間詰部なし（ケース N）とプレキャスト合成床版を想定した間詰部あり（ケース T）の 2 ケースである。間詰部ありの配力鉄筋は、基本構造と同様にエポキシ樹脂塗装鉄筋とした。

3.2 試験結果

試験体のひび割れ図を図-5 に示す。破壊までのステップは、ケース N,T とも同様であり、最初に床版下面から曲げひび割れが発生、進展し、一部で配力鉄筋位置を結ぶような水平ひび割れがみられた後に、ひび割れがさらに進展し、最終的に床版上面コンクリートの圧壊により終局を迎えた。ここで、ケース T において間詰部の打

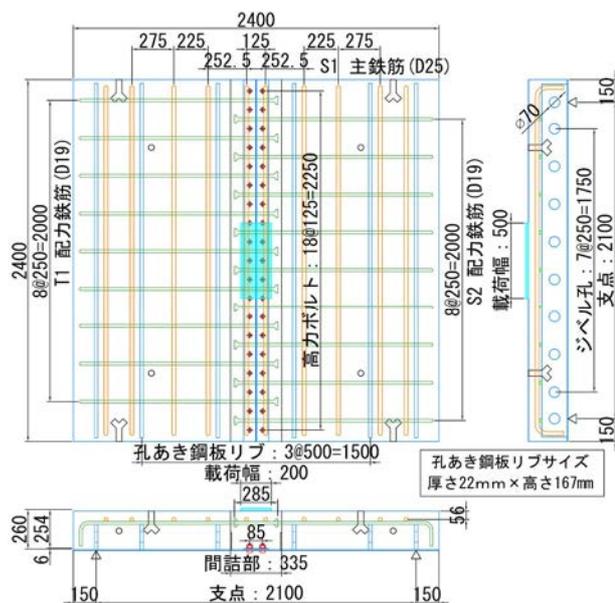


図-7 押抜きせん断試験の試験体概要（ケース S1）



写真-2 押抜きせん断試験の試験状況

継部に起因したひび割れは確認されず、また、荷重終了後に観測した底鋼板ボルト継手部のずれ量から、添接部は摩擦接合から支圧接合に移行していたと考えられる。

荷重荷重と支間中央たわみの関係を図-6 に示す。ここでは、道路橋示方書に示される配力筋方向の設計曲げモーメント⁸⁾を荷重荷重に換算したものを設計荷重、無機ジンクリッチペイントを塗付した添接部のすべり係数を道路橋示方書に従い0.45として計算した底鋼板継手のすべり荷重をすべり荷重計算値として示す。底鋼板継手のすべりまでは、ひび割れの進展に伴い剛性がやや低下し、すべり発生時に一時的に荷重が低下するが、再び荷重が増加し、最大荷重で床版コンクリート上面が圧壊した。すべり発生時の荷重荷重は、設計荷重の 2.7 倍程度であり、十分な耐荷力を有するといえる。すべり発生時、およびコンクリート圧壊時の荷重荷重は、ケース T に比べてケース N がやや大きいものの、概ね同程度であった。また、ケース N,T とも荷重終了時まで計測した範囲では底鋼板に降伏は生じていなかったことを補足する。

4. 押抜きせん断試験

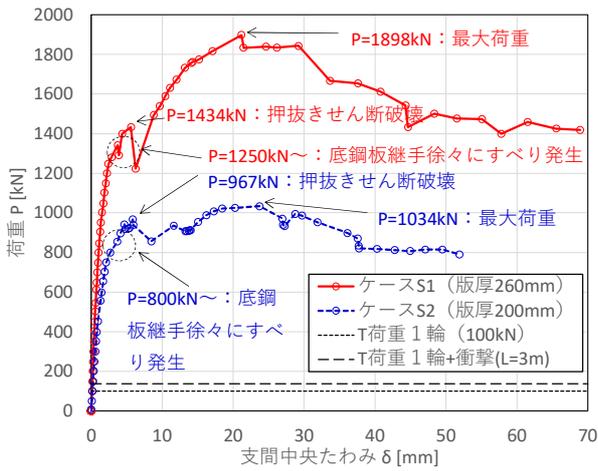
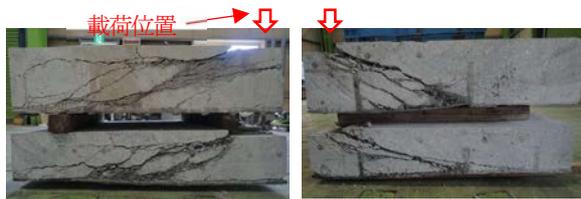


図-8 荷重変位関係



(a) 配力鉄筋断面 (b) 主鉄筋断面
(上段：ケース S1，下段：ケース S2)

写真-3 試験後の切断面

4.1 試験概要

試験体概要図を図-7、荷重試験実施状況を写真-2に示す。試験体は平面寸法 2400mm×2400mm の版モデルであり、試験ケースは床版厚 260mm (ケース S1)、今後実施予定の輪荷重走行試験の試験体の床版厚である 200mm (ケース S2) の 2 ケースである。4 点曲げ試験体と同様に設計曲げモーメントは床版支間 L をケース S1 では $L=6m$ 、ケース S2 では $L=3\sim 3.5m$ を想定して設計した。ケース S2 はケース S1 との版厚の違いの影響の確認、今後実施予定の輪荷重走行試験における試験体の版厚と合わせることで押抜きせん断試験と輪荷重走行試験との耐荷力比較を行うことを目的として実施した。支持スパンは 2100mm の 4 辺支持とし、試験体の中央部に T 荷重の載荷面寸法 200mm×500mm の載荷板を用いて漸増荷重を行った。

4.2 試験結果

ケース S1, S2 の荷重変位関係を図-8 に示す。荷重初期はいずれも線形的な挙動を示しており、ケース S1 では 1250kN 付近から、ケース S2 では 800kN 付近から徐々に非線形挙動を示している。これは、底鋼板継手のすべりが発生したことによるものと思われる。押抜きせん断破壊の発生は荷重が急落した最初のピークと載荷板周辺のひび割れ発生状況から判断しており、その値はケース S1 で 1434kN、ケース S2 で 967kN であった。これは床版支間 $L=3m$ として衝撃を考慮した T 荷重 1 輪

のそれぞれ約 10 倍、7 倍であり、静的には十分な耐荷重を有していると言える。押抜きせん断破壊が発生したのち、再度荷重は増加し最大荷重を迎えたあと、ケース S1 で 1400~1500kN、ケース S2 で 800kN 程度の荷重を維持したまま変形が増加した。写真-3 に試験後の間詰部切断面を示す。載荷点から概ね $15^\circ \sim 25^\circ$ 程度の浅い角度で押抜きせん断破壊していることが確認され、間詰打継部や鉄筋の継手構造に起因するようなひび割れ、破壊は見受けられなかった。

5. 実物大施工試験

5.1 実施概要

実物大施工試験に適用したプレキャスト合成床版の主な諸元は牛久高架橋に準じ、床版厚 260mm、幅員 10.7m、横断勾配 3%、縦断勾配 0.4% とし、橋軸方向長さは床版パネル 3 枚分となる 6m とした。間詰部は 2 か所設け、配力鉄筋間隔がそれぞれ 250mm、125mm となる一般部、中間支点部の 2 種類とした。施工試験は主桁を模擬した架台を試験ヤードに設置したのち、工場で製造したプレキャスト合成床版を試験ヤードに搬送、100t オールテレーンクレーンにて敷設、高さおよび位置調整、底鋼板のボルト添接、主桁上フランジと床版パネル間の無収縮モルタルの充填、間詰部と壁高欄の配筋、間詰部のコンクリート打込み、養生、壁高欄施工を行い、各工程における施工性や改善事項等を確認した。

5.2 実施結果

実物大施工試験の実施状況を写真-4 に示す。本試験により確認できた内容を以下に挙げる。

- 床版パネル据付時の位置調整、高さ調整をスムーズに行うことができた。据付け後、ボルト添接前に隣接する床版パネルの底鋼板の目違い量を測定したが、概ね 0~2mm 程度、最大 4mm であり、底鋼板ボルト締付けによるコンクリートと底鋼板の剥離は確認されなかった。
- 底鋼板のボルト添接について、一般部はボルトを床版下面から挿入し、ハンチ部のように懐が深い箇所はロングソケットを T ヘッド工法鉄筋の間を通すことで床版上から締付けを行うことができた。中間支点部は配力鉄筋間隔が 125mm でボルトを挿入できる幅は 40mm 程度となるが、マグネットピックアップツールを利用して上からボルトを挿入し、床版下側から締め付けることで問題なく施工することができた。
- 間詰部コンクリートの施工性に問題はなく、比較的狭隘となる中間支点部では $\phi 30mm$ の小径パイプレータを使用することで締固めを行うことができ、底鋼板継手部からのノロ漏れも確認されなかった。
- コンクリート硬化後にプレキャスト部と間詰部との段差を計測したが、許容値である 3mm 以内であった。



(a) 床版パネル



(b) 床版敷設



(c) 底鋼板添接（一般部）



(d) 底鋼板添接（中間支点部）



(e) 間詰部配筋（中間支点部）



(f) 間詰部コンクリートの打込み



(g) 完成（吊部埋戻しは省略）



(h) 間詰部切断面（配力鉄筋断面）



(i) 間詰部切断面（主鉄筋断面）

写真-4 実物大施工試験の実施状況

また、完成後に試験体を切断し観察したが、間詰部コンクリートの充填性に問題ないことを確認できた。

- プレキャスト製造時の問題ではあるが、一部のTヘッド工法鉄筋の長さがばらつき、打継面とのあきが十分ではなかった箇所があったことから、長さ管理値を見直す必要があること、底鋼板の一部の塗装に製造時の汚れやキズ等が確認されたため、製造時の塗装の養生方法を見直す必要があること等の改善事項が確認された。

6. まとめと今後の予定

本報告では、新設橋梁向けのプレキャスト合成床版の開発状況について述べた。今後は、桁付き負曲げ試験や輪荷重走行試験を実施し、実施工へ向けて準備をしていく予定である。

参考文献

- 1) 橋吉宏, 児島哲朗, 磯光夫: さまざまなニーズに対応する床版の急速取替え～プレキャストSCデッキを用いた急速床版取替え工法～, 川田技報, Vol.24, pp.84-85, 2005.1

- 2) 滝本和志, 田中博一, 小林顕, 朱曉旭, 阿部寛之, 高橋圭一, 清水和昭: 角形鋼管を用いた軽量プレキャスト合成床版(SLaT-FaB 床版)の開発, 清水建設研究報告, pp.95-104, 第97号, 2019.12
- 3) 加藤暢彦, 若菜和之, 石井修: プレキャスト合成床版のパネル間継手の開発, 土木学会第55回年次学術講演会, I-A103, pp.206-207, 2000.9
- 4) 福田健作, 村田耕二, 堀口和広, 野上朋和, 賤川智一, 吉松秀和: 合理化継手を使用したプレキャストPC床版取替工事について, 川田技報, Vol.35, pp.32-37, 2016
- 5) 浦野悟, 田中貞俊, 神谷裕司, 片田聡, 大谷悟司, 長谷俊彦: 断面分割によるプレキャストPC床版取替工事の設計と施工, 橋梁と基礎, 50号, pp.12-18, 2016.9
- 6) 塩屋俊幸, 栗田守朗, 吉武謙二, 高岸正章, 尾上篤生: Tヘッドバーを用いた重ね継ぎ手実験, 土木学会第56回年次学術講演会, V-457, pp.914-915, 2001.10
- 7) 日本橋梁建設協会: 鋼コンクリート合成床版 設計・施工の手引き, pp.1-2, 2021.1
- 8) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, pp.266-272, 2012.3

(2022年7月8日受付)

(2022年9月9日受理)