

東北自動車道 中山橋床版補強工事

— 交通開放を伴う床版取替え工事 —

林 秀和*1・村西 信哉*2・小林 顕*3・井野 耕志*4

東北自動車道 中山橋の床版改良工事の設計・施工報告である。本橋は東北自動車道仙台宮城 IC～泉 IC 間に位置する鋼単純非合成鉄桁橋であり、開通から約 40 年が経過している。その間、車両の大型化、大型車交通量の増加、冬季の凍結防止剤散布などの影響により、コンクリート床版の劣化・損傷や鉄筋錆の発生が多く見られた。応急対策として、床版下面に炭素繊維強化プラスチック板の接着による補強が施されていたが、抜本的な老朽対策が必要と考えられ、床版取替えを実施することとなった。

本橋の工事は、夜間通行止めと昼夜連続 1 車線規制を併用した交通規制により、床版取替えを施工する計画とした。本稿では、交通規制開放を伴い実施する床版取替え工事の設計と施工計画時の留意点、および主に平成 27 年 11 月に施工した下り線床版取替え工事について報告する。

キーワード：床版取替え、プレキャスト PC 床版 (PCa 床版)、交通規制

1. はじめに

中山橋は東北自動車道仙台宮城 IC～泉 IC 間に位置する鋼単純非合成鉄桁橋である。1974 年の供用開始より約 40 年が経過しており、鉄筋コンクリート床版 (以下、RC 床版) は、経年劣化や車両の大型化を伴う交通量の増加、凍結防止剤の散布による塩化物の影響により、劣化が著しい状況にあった。床版上面は土砂化し、床版下面では亀甲状のひび割れやコンクリート剥落が生じており、近年では、降雨時に床版下面からの漏水が著しい状態であった。応急対策として、床版下面に炭素繊維強化プラスチック板の接着による補強が施されていたが、抜本的な老朽対策が必要と考えられ床版取替えを実施することとなった。

高速道路における床版取替え工事では、対面交通規制しながら実施されることが多いが、本工事では、夜間通行止めと昼夜連続 1 車線規制を併用した交通規制により、床版取替え工事を実施した。夜間のかざられた時間内で所定の枚数の床版取替えを完了させ、昼間は 1 車線を交通開放す

る。そのため、施工時間の短縮や交通開放を考慮した取替え用プレキャストプレストレストコンクリート床版 (以下、PCa 床版) などの形状設定が設計上の課題であった。

本工事では、PCa 床版の割付けや壁高欄形状の変更、舗装に関する対策などさまざまな施工時間短縮に繋がる対策を実施した。それにより、交通規制日数を当初計画より 8 日間、夜間通行止め日数を 2 日間減少させることができた。

本稿では、中山橋の下り線を中心に床版取替え工事の計画、設計および施工における課題とその対策について報告する。

2. 工事概要

本橋の工事概要および橋梁諸元を表 - 1、全体一般図を図 - 1 に示す。本橋の特徴の一つとして、斜角が 38° 36' (A1)～42° 46' (A2) と非常に小さいことがあげられる。



*1 Hidekazu HAYASHI

(現職) 東日本高速道路 (株)
東北支社 管理事業部
(当時) 東日本高速道路 (株)
東北支社 仙台管理事務所



*2 Nobuya MURANISHI

東日本高速道路 (株)
東北支社 仙台管理事務所



*3 Akira KOBAYASHI

(株) IHI インフラ建設
PC工事部



*4 Koji INO

(株) IHI インフラ建設
PC技術部

表 - 1 工事概要および橋梁諸元

項目	内容
工事名	東北自動車道 中山橋床版補強工事
路線名	東北自動車道
工期	自)平成26年12月26日 至)平成28年11月14日
発注者	東日本高速道路株式会社 東北支社
構造形式	鋼単純非合成桁橋
橋長	29.100 m
支間長	27.790 m
有効幅員	12.250 m (上り線) 10.000 m (下り線)
斜角	左: 38° 36' 24" (A1) 左: 42° 46' 30" (A2)

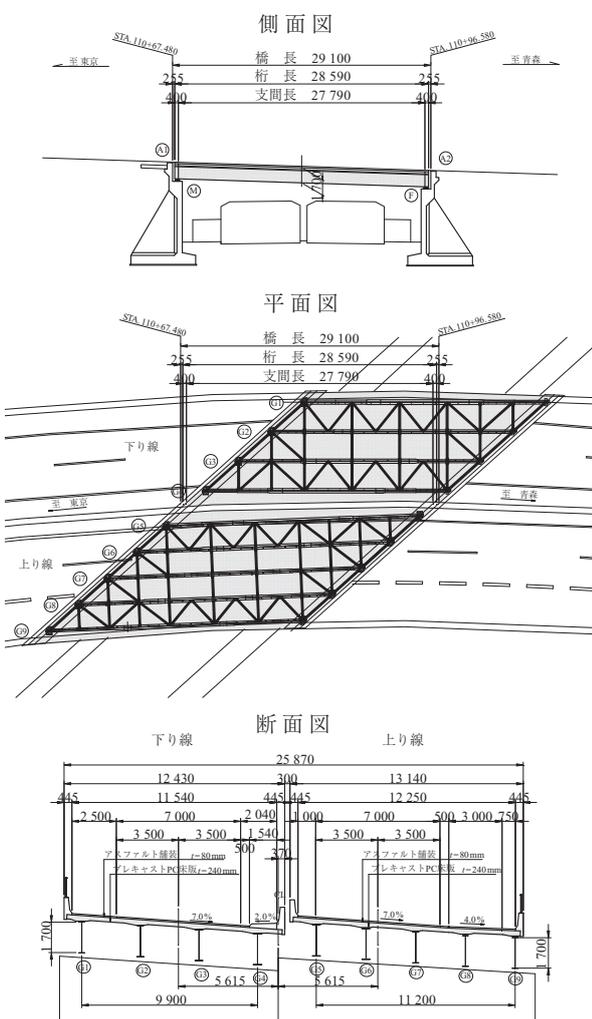


図 - 1 全体一般図

3. 交通規制

高速道路における床版取替え工事の交通規制方法としては、対面交通規制による方法が多い。これは、対象車線を通行止めし、中央分離帯部に上下線間を跨ぐ仮設の道路を構築して、反対車線を対面通行とする方法である (図 - 2)。

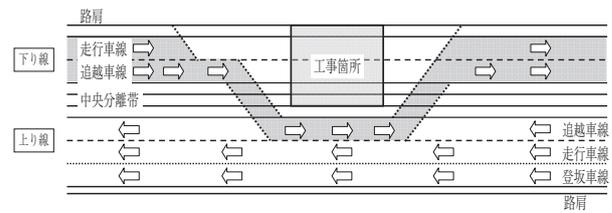


図 - 2 対面交通規制

本工事においては、橋梁付近の土工区間で、中央分離帯部に約 80 cm の高低差があり (図 - 3)、この段差を解消し通行可能な仮設道路を構築するには多大な施工量、規制日数を要することが考えられた。そのため、本工事では、道路利用者や周辺環境への影響を考慮し、規制日数が優位となる夜間通行止めと昼夜連続 1 車線規制を併用する案が採用された (図 - 4)。これは、床版取替え施工を夜間の全面通行止め時間内 (20:00 ~ 翌 6:00) に行い、そのほかの施工を昼夜連続の 1 車線規制内で実施する方法である。この交通規制による方法は、前者と比較しおよそ半分の規制日数で施工が可能であった。なお、夜間通行止め時間内で実施した工種を以下に示す。

- 1) 既設床版切断工 (一部昼間にも実施)
- 2) 既設床版撤去工
- 3) ケレン, シールスポンジ設置工
- 4) 新設床版設置工
- 5) 仮設鋼床版設置工
- 6) スタッドジベル溶着工
- 7) 版下モルタル工
- 8) 床版接合工
- 9) 仮設防護柵工
- 10) 仮舗装工

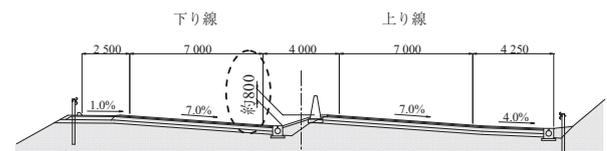


図 - 3 中央分離帯部の段差

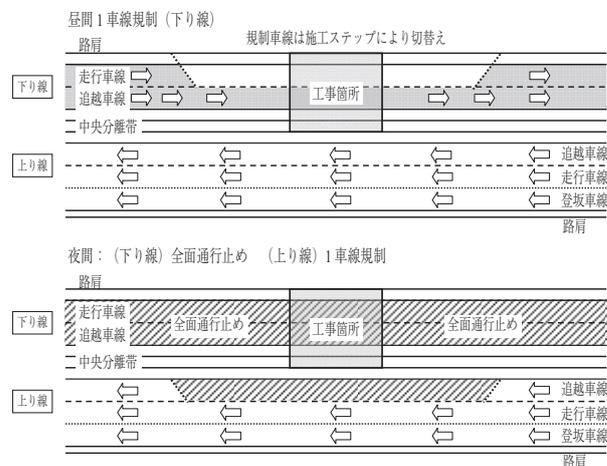


図 - 4 夜間通行止めと昼夜連続 1 車線規制

4. 計画および設計

4.1 施工時間の短縮

夜間施工では、かぎられた時間内で所要の作業を完了させ、翌日朝6時には1車線走行可能な状態にて交通開放させる必要がある。そのため、作業に要する時間をできるかぎり短縮させることが必要であった。また、早期の完全開放に向け、規制日数の短縮も求められた。以下に施工時間短縮に関する課題およびその対応について記す。

(1) 桁端部へのPCa床版の設置可能範囲の拡大

施工時間短縮を図るためには、現場での作業量を減少させる必要があり、それには、PCa床版の設置範囲を広げ、場所打ち床版部を最小化させる必要があった。本橋の場合、斜角が約40°と小さく、桁端部に鋭角部が生じ、その付近ではPCa床版が2本の主桁を跨ぐことができず、橋梁端部までPCa床版を設置することは困難であった(図-5)。そこで、本工事では、桁端部に仮設サポートを設置することで対応した。張出し床版下や主桁間にブラケットサポートなどの支保工材を設置し、PCa床版を支持した。これにより鋭角部付近までPCa床版が設置できるようにし、PCa床版の設置可能範囲を広げた。サポートの設置状況を写真-1に示す。

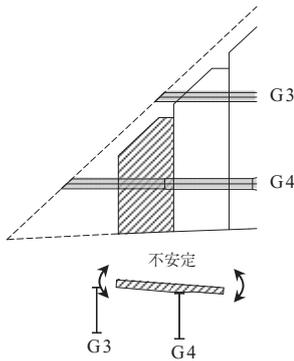


図-5 桁端部のPCa床版の状態



写真-1 仮設サポート設置状況

(2) PCa床版の割付け幅の拡大による敷設面積の増加

場所打ち床版部の最小化のためには、PCa床版の敷設面積を最大限まで増加させる必要があった。その方法として、PCa床版の設置枚数を増加させることが考えられるが、本工事では、PCa床版の架設には夜間通行止めが伴い、枚数の増加は夜間通行止め日数の増加へと繋がる。そこで、

PCa床版枚数は変えず、床版の割付け幅を当初計画の2.0mから2.2mに広げることで、敷設面積の増加を図った(図-6)。これにより、夜間通行止め日数を増加させることなく、PCa床版の敷設面積を増加させることが可能となった。この変更により、桁端鋭角部の場所打ち床版部の面積は当初計画の60%程度にまで減少した。なお、PCa床版幅は、工場からの運搬時の制限を考慮し、2.5m以内に収まるよう設定した。

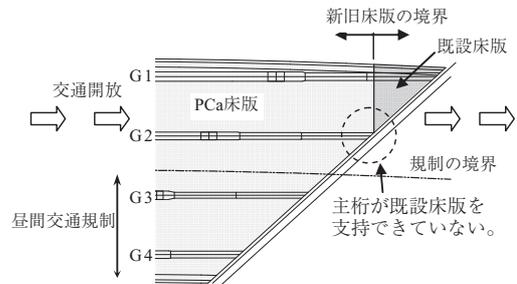


図-6 PCa床版の割付け幅

(3) PCa床版の割付け位置の変更

PCa床版の割付け幅の変更と同時に割付け位置を変更した。本工事における床版取替えの主な施工順序は、片車線交通可能な状態を確保しながら床版取替えを進め、規制車線の切替えが可能な状態まで施工を進めたのち、規制車線を切替え、反対車線の床版取替えを実施する。本橋の場合、桁端部に鋭角部があるため、施工の進捗によって、既設床版の鋭角部のみが残された状態で交通開放することが懸念された。この残された鋭角部の既設床版は、狭すぎても広すぎても施工を困難とした(図-7)。残された既設床版の範囲が狭すぎる場合には、既設床版を支持する主桁が1本となり不安定で、車両が走行できる状態にない。また、広すぎる場合には、交通規制範囲内に既設床版が残ってしまい、この既設床版を撤去しないかぎり施工が進められな

〈規制車線切替えを行う際に、残された既設床版の範囲が狭すぎる場合〉



〈規制車線切替えを行う際に、残された既設床版の範囲が広すぎる場合〉

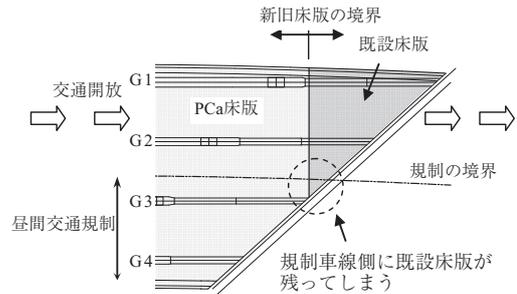


図-7 桁端部鋭角部の既設床版

い。そこで、PCa床版の割付けは、これらの取合いを考慮し、新旧床版の境界が両者の中間の位置となるように設定した。PCa床版の形状および配置を図-8に示す。この変更によって、施工ステップ数が改善された。

当初計画と変更後の床版取替えのステップ数を図-9に示す。施工ステップを考慮に入れPCa床版の割付けを設定したことで、施工ステップが最適化され、床版取替え施工回数（夜間通行止め回数）を減少させることが可能となった。

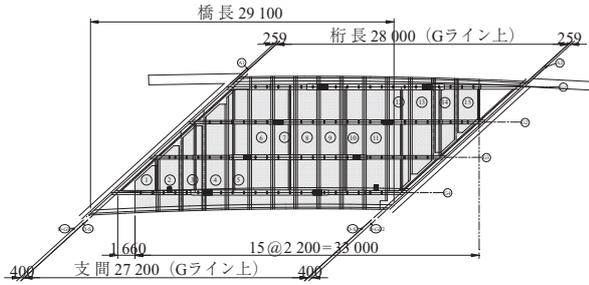


図-8 PCa床版形状および配置

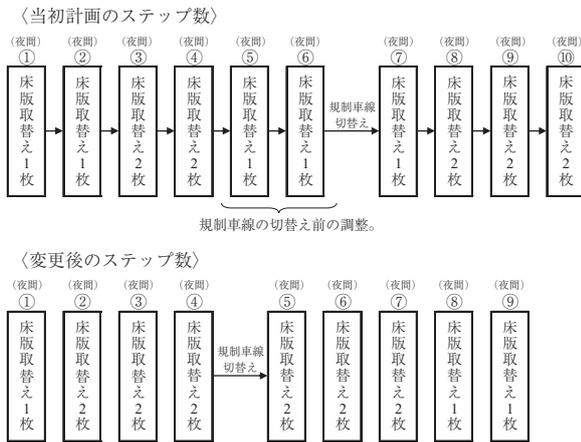


図-9 床版取替えステップ数

(4) 壁高欄の仕様変更

本橋の壁高欄は、分割施工で計画されていた。これは、地覆部を工場または現場ヤードであらかじめ施工しておく、そののち、現場にて残りの壁高欄部の施工を行うものである(図-10)。また、夜間のかぎられた時間内に壁高欄部の施工を行うことは困難であるため、地覆上に仮設ガードレールを設置し、一時的に交通開放をさせたのち、昼夜連続1車線規制になった際、壁高欄部の施工を行う計画であった。そのため、本工事においては工程面にて懸念される工種であった。そこで、詳細設計において、あらかじめ壁高欄の大部分を現場ヤードで施工しておく方法に変更した。

変更した壁高欄の概要を図-11、夜間規制開放時の壁高欄の状況を写真-2に示す。床版の設置と同時に、壁高欄の施工がほぼ完了している状態となり、地覆上の仮設ガードレールの設置撤去が不要となった。また、現場での作業量が大幅に減少し、施工時間を短縮させることが可能となった。

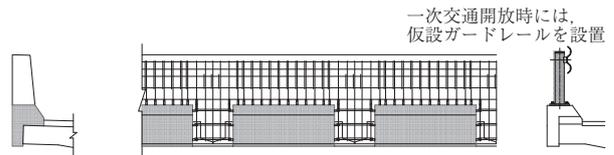


図-10 分割施工の壁高欄

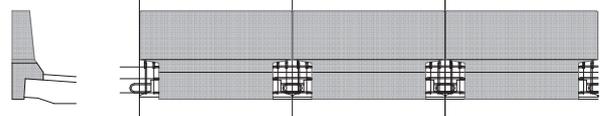


図-11 本工事で採用した壁高欄形状



写真-2 壁高欄設置状況

(5) 交通開放時の舗装のすり付け

床版取替えに伴い、床版厚および舗装厚が増加し計画高が上昇する。そのため、床版取替えの際に、新旧床版の境界部に段差が生じ、交通開放するには舗装のすり付けが必要であった。走行性を考慮し、緩やかな勾配ですり付けるには、広範囲の舗装の施工を必要としたが、夜間のかぎられた時間内での施工は困難であった。

上記の課題に対し、事前の高上げ舗装による対応を行った。PCa床版設置の際に敷かれる舗装天端と既設床版側の舗装天端の高低差が55mmとなることから、橋梁前後の土工部を含む区間の舗装を集中工事前に55mm高上げした。これにより、床版取替えの際の新旧床版間の段差が無くなり、夜間規制開放時のすり付け舗装が不要となった(図-12)。

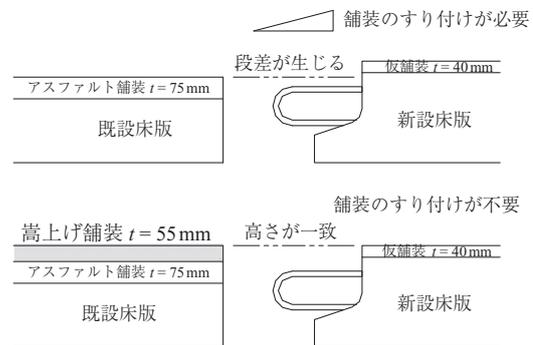


図-12 高上げ舗装による高さの調整

4.2 模擬施工

床版取替え施工に先立ち、模擬施工を実施した。これは、現場ヤード内に主桁配置を模したH形鋼を配置し、実際のPCa床版を用いて、床版の架設、床版接合部の配筋お

よび壁高欄の配筋を実施するものである。また、本橋は、縦断勾配約3%、横断勾配7%と厳しい線形を有しており、PCa床版の設置に手間どることが懸念されたことから、模擬施工においても砕石や敷鉄板を配置し同様の勾配を設定して、現場の状況を再現した。この模擬施工により、各工種に要する時間の確認、問題点の抽出およびその改善を図ることができた。とくに、実際に作業を行う作業員に施工前に実際の作業を経験させることができたことは作業効率の向上に繋がったと考える。模擬施工の状況を写真-3に示す。



写真-3 模擬施工状況

4.3 設計上の課題

本橋は桁端部で約40°の斜角を有する橋梁であり、主桁間の橋軸直角方向のたわみ差、支承の拘束およびねじりモーメントの影響などにより桁端部付近の床版に引張応力が生じることが懸念された。

上記課題への対応として、主桁、対傾構および床版をモデル化した3次元有限要素（以下、FEM）解析を実施した。主桁をシェル要素、対傾構をビーム要素、床版をソリッド要素としモデル化した。図-13にFEM解析モデル図、表-2に材料条件、表-3に支持条件を示す。主桁と床版の接合は、複合構造標準示方書より、頭付きスタッドのせん断力-ずれ変位関係を計算し、その結果よりバネ値として設定し解析モデルに適用した。T荷重およびL荷重の荷重は、床版に最大引張応力が生じる位置とした。以降に荷重例を示す。

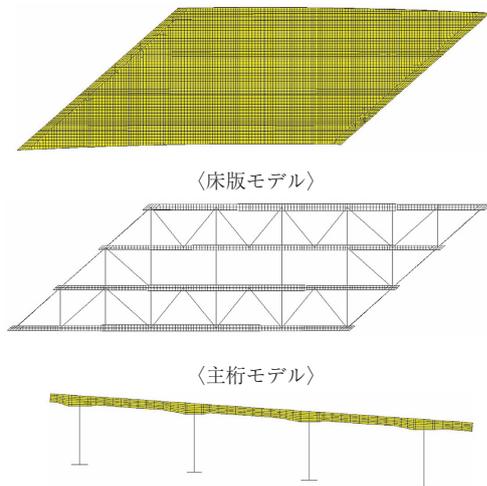


図-13 FEM解析モデル図

表-2 材料条件

項目	設計基準強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	摘要
PCa コンクリート	50	33 000	0.167	ソリッド要素
場所打ちコンクリート	50	33 000	0.167	ソリッド要素
主桁	---	200 000	0.3	シェル要素
対傾構	---	200 000	0.3	ビーム要素

表-3 支持条件

	X方向変位 (橋軸方向)	Y方向変位 (橋軸直角方向)	Z方向変位 (鉛直方向)	X軸周り回転 (橋軸周り)	Y軸周り回転 (直角方向軸周り)	Z軸周り回転 (鉛直軸周り)
A1	自由	固定	固定	自由	自由	固定
A2	固定	固定	固定	自由	自由	固定

(1) T荷重の荷重

斜角や支承の拘束による影響を確認するため、これらの影響が小さいと考えられる支間中央にT荷重を荷重したケースと桁端部付近に荷重したケースとで発生する引張応力を比較した。支間中央にT荷重を荷重したケースの応力分布図を図-14、桁端部付近にT荷重を荷重したケースの応力分布図を図-15に示す。橋軸直角方向の床版上縁

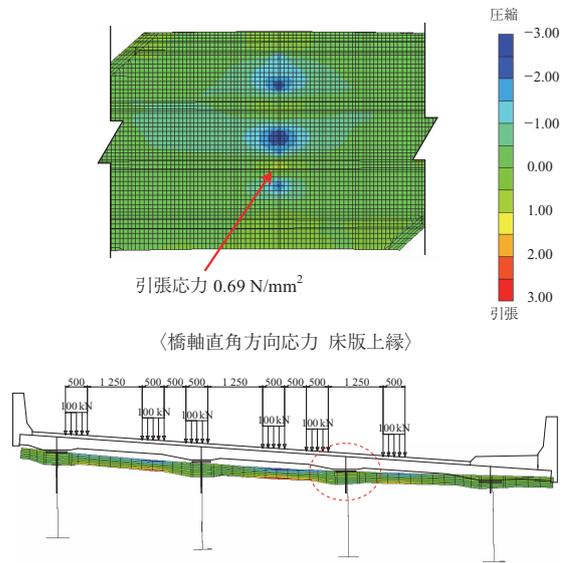


図-14 床版コンクリートの応力 (支間中央荷重)

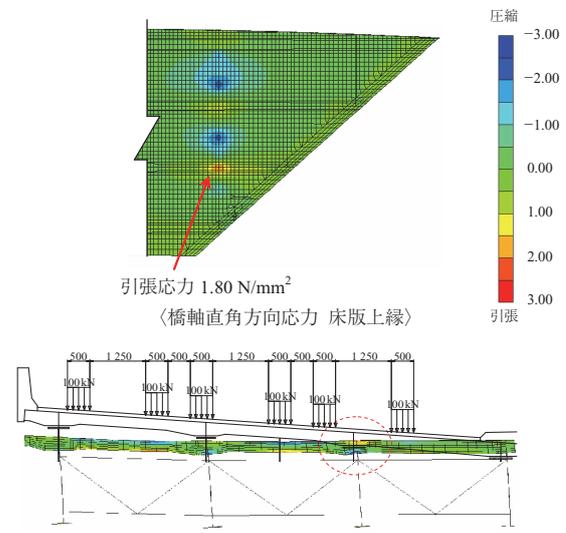


図-15 床版コンクリートの応力 (端部付近荷重)

の引張応力は、支間中央の荷重ケースで 0.69 N/mm^2 、桁端付近の荷重で 1.80 N/mm^2 であった。荷重の荷重に対して、桁端部では、支承により桁のたわみが拘束され主桁間にたわみ差が生じ、床版上縁の引張応力が増加したものと考えられる。

(2) L 荷重の荷重

L 荷重の荷重ケースを図 - 16、その応力分布図を図 - 17 に示す。橋軸直角方向については、T 荷重のケースと同様、支点部付近に引張応力が生じ、床版上縁の引張応力は、 1.11 N/mm^2 であった。橋軸方向については、主桁と床版とのバネ接合の合成作用から、鈍角部に生じる負の曲げモーメントにより床版上縁に 1.92 N/mm^2 の引張応力が生じた。

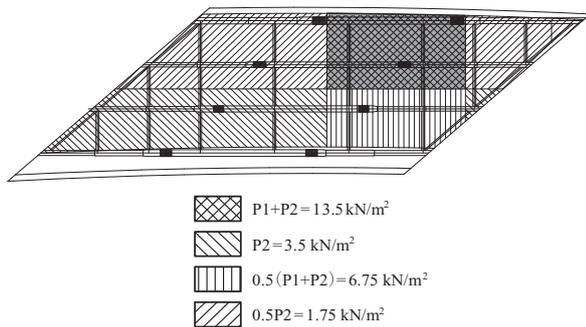


図 - 16 L 荷重の荷重例

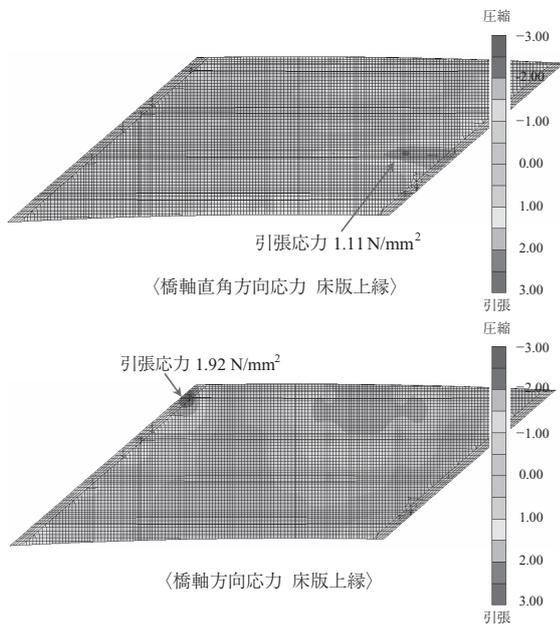


図 - 17 床版コンクリートの応力

(3) 道路橋示方書式による応力との比較

数ケースの荷重状態に対して、FEM 解析による引張応力と道路橋示方書²⁾式による曲げモーメントから算出される引張応力とを比較した。FEM 解析結果に衝撃²⁾を考慮した場合においても FEM 解析結果が道路橋示方書式による値を超過するものはなかった。よって、道路橋示方書による検討結果は FEM 解析結果に対して安全側であると確

認できた。本橋の設計では、道路橋示方書に従った計算にて各部位における必要な PC 鋼材、鉄筋量を算出し配置した。

5. 施工

5.1 施工フロー

本工事の施工フローを図 - 18 に示す。施工は、4 章 1 節で述べた施工時間短縮策により、交通規制日数 23 日間 (内 8 日間が夜間通行止め) で実施した。ここでは、夜間通行止め時間内で実施した施工内容を中心に述べる。

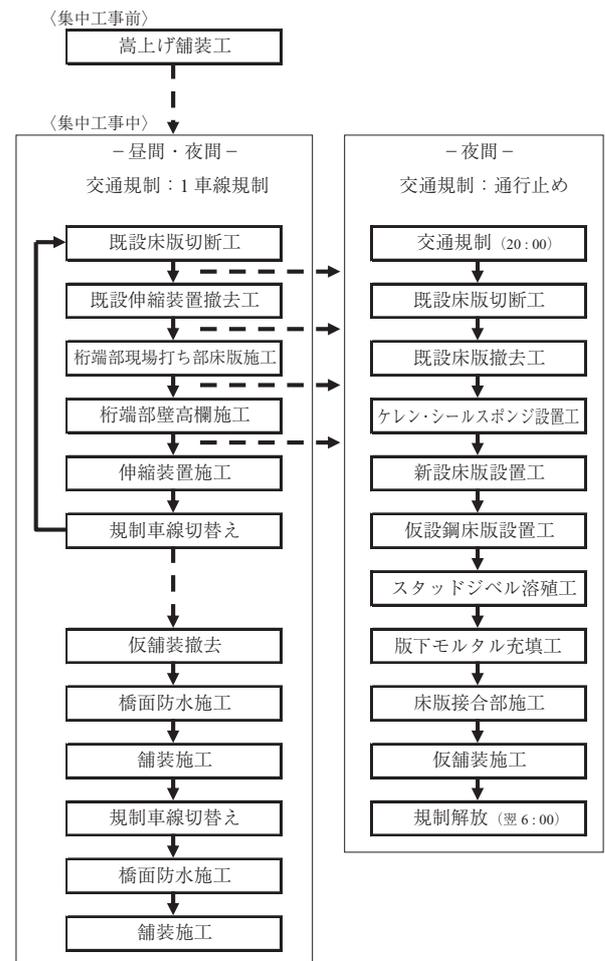


図 - 18 施工フロー

5.2 既設床版の撤去

既設床版の撤去は剥離装置を用いて実施した。既設床版の所定の位置をカッターにて切断したのち、撤去する床版に吊装置を取り付け、ジャッキにて強制的に剥離させた。剥離の状況を写真 - 4 に示す。なお、床版の切断は、夜間のみで行うには時間的に困難であったため、一部を昼間に実施した。

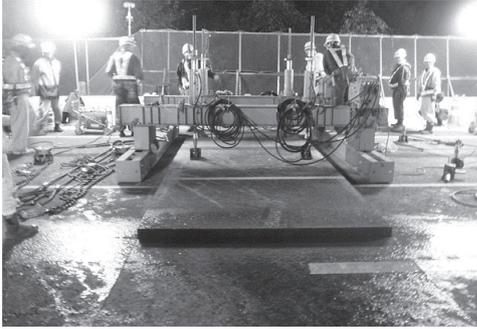


写真 - 4 既設床版はく離状況

5.3 PCa 床版の架設

PCa 床版の架設は、200 tfトラッククレーンを1台用いて実施した。1度の夜間施工で取り替える床版の枚数は最大2枚とした。架設方法として、施工時間短縮の観点から、2台のクレーンを併用する方法も考えられたが、本橋は単純桁にて斜角が小さい影響から、2台同時に作業可能な床版枚数はわずかであったこと、仮に同時作業を行ったとしても2台のクレーンのブームが近接することで、作業を遅延させる懸念があったことから、クレーン1台による架設方法を採用した。床版架設の状況を写真 - 5 に示す。

そのほか、桁端部付近の小規模のPCa 床版の架設には、50 tfラフタークレーンを用いた。小型クレーンを用いることで、1車線の交通規制で架設が可能となり、夜間通行止めを不要とした。ラフタークレーンによる床版の架設状況を写真 - 6 に示す。



写真 - 5 PCa 架設状況 (200 tf クレーン)



写真 - 6 PCa 架設状況 (50 tf クレーン)

5.4 新旧床版境界部の養生

新旧床版の境界部には、ループ筋が露出した状態での開口が生じる。交通開放するには、この開口部を養生する必要があった。本工事では、新旧床版の境界部にループ筋を

覆う形状の仮設鋼床版を設置することで対応した。仮設鋼床版の形状を図 - 19、設置状況を写真 - 7 に示す。

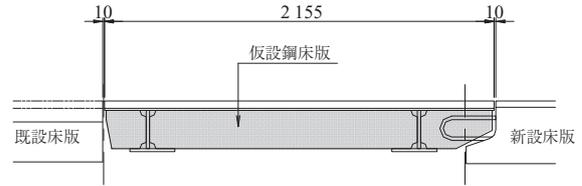


図 - 19 仮設鋼床版



写真 - 7 仮設鋼床版設置状況

5.5 仮舗装の施工

PCa 床版および仮設鋼床版上には仮舗装を施工した。仮舗装厚は40 mmと設定した。仮舗装厚については、比較検討を行った。比較表を表 - 4 に示す。土工区間の舗装の施工回数が少ない、本来の舗装厚と同様の80 mmとするケース1の方法も考えられたが、80 mmの舗装を施工するには、1層40 mmとした2回の舗装の施工が必要となる。そのため、夜間作業時間短縮の観点から、仮舗装厚は1層分の40 mmとするケース2を採用した。

本橋には防水工を必要とするが、夜間のかざられた時間内に防水工を行うことは困難であるため、交通開放のための一時的な仮の舗装を設置し、昼夜連続1車線規制になった際に仮舗装を撤去し、防水工と舗装の施工を実施した。また、薄い舗装は車両走行時に剥がれる懸念があったため、新旧舗装の境界部などに、路面補修シートを貼り、舗装の剥がれや角欠け、ひび割れを抑制する対策を講じた。交通開放時の状態を写真 - 8 に示す。

表 - 4 仮舗装厚の比較

〈ケース1〉

Step	工種	土工区間	橋梁区間
1	嵩上げ舗装	+95 mm	+95 mm
2	(PCa床版架設), 仮舗装	---	80 mm
3	仮舗装撤去	---	-80 mm
4	本舗装	---	80 mm
最終厚さ		+95 mm	80 mm

〈ケース2〉

Step	工種	土工区間	橋梁区間
1	嵩上げ舗装	+55 mm	+55 mm
2	(PCa床版架設), 仮舗装	---	40 mm
3	仮舗装撤去	---	-40 mm
4	本舗装	+40 mm	80 mm
最終厚さ		+95 mm	80 mm



写真 - 8 1車線交通開放状況

6. モニタリング

本工事では、1度の夜間施工で2枚の床版取替えを実施し、昼間1車線交通開放した。そのため、床版が切断され、連続性を失った状態で、一時的に車両が走行する状況となる。既設床版の劣化が著しい状態であったことから、施工の影響により、既設床版に急激な変位が生じることが懸念された。本工事では、この課題に対し、車両が走行する既設床版下面に変位計を設置し、床版の変位をモニタリングし、緊急時には即時対応できる対策を講じた。概要を図-20に示す。あらかじめ設定した値を超過する変位が生じた際に現場に設置した回転警告灯が点灯する仕組みとし、緊急時には即時に応急対応ができるサポートなどの準備をした。

床版の変位は、集中工事着手前から計測したが、結果として、床版切断による影響は小さく、床版に過大な変形が生じることはなかった。

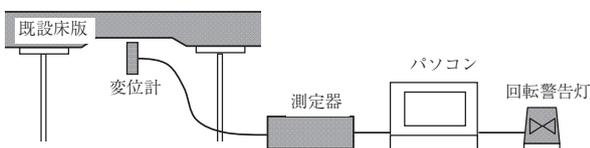


図 - 20 既設床版のモニタリング

7. 上り線での改善

本工事では、下り線施工完了後に上り線についても同様の施工を実施した。下り線での施工結果を踏まえ、上り線での主な改善点を以下に記す。

7.1 壁高欄の仕様再変更

下り線の壁高欄形状は、現場作業量をできるかぎり減らすことを重視して設定した。その結果、現場での作業箇所は壁高欄間のわずかな開口部のみとなった。当初計画と比較し作業量は大幅に減少したが、開口部を必要最小限まで狭めたため、作業スペースも狭まり、鉄筋の組立てに想定以上の時間がかかった。施工ステップに影響を与えるほどではなかったが、上り線では、壁高欄の構築と仮設防護柵を併用する案に変更した。概要を図-21に、1車線交通開放時の状況を写真-9に示す

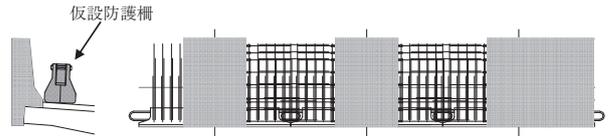


図 - 21 上り線での壁高欄の仕様



写真 - 9 上り線での1車線開放時の状況

7.2 仮設鋼床版のサイズ縮小化

下り線の施工結果を踏まえ、上り線では仮設鋼床版のサイズを縮小した。橋軸方向寸法で約2.0mを約1.5mに、橋軸直角方向寸法で、約12mを約8mに変更し、サイズを50%程度まで縮小させた。規模の縮小により、仮設鋼床版の架設の施工性が向上した。また、サイズの縮小により、転用可能な範囲が広がり、経済性も向上した。

8. おわりに

本工事は、平成27年11月に下り線の床版取替えを、平成28年7月には上り線の床版取替えも完了し、平成28年11月に無事竣工した。夜間のかぎられた時間内で床版取替えを行う厳しい制約のなか、工期にて施工を完了することができたことは、関係各位の努力の結果であり、ご尽力頂いたすべての方に感謝を申し上げたい。

本稿が、本橋のように、厳しい線形を有する構造における交通開放を伴うPCa床版による取替え工事の今後の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) (公社) 土木学会, 2009年制定複合構造標準方書, 2009
- 2) (公社) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2012
- 3) (公社) 土木学会, 鋼構造物設計指針 PARTB 合成構造物, 1997
- 4) 広瀬泰之, 網川悠, 市川晃, 村西信哉: NEXCO 東日本東北支社における老朽化橋梁床版の取替事業, 土木施工 2016 vol17 No.4
- 5) 宮越信, 奈良康平, 吉原直樹, 井野耕志: プレキャストPC床版 (PRC) を用いた床版取替工事 - 東北自動車道 網木川橋床版補強工事 -, プレストレストコンクリート, vol56 No.1

【2016年12月30日受付】