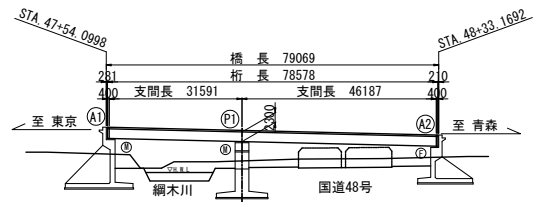


第3章 施工事例からわかる RC 床版更新の要点

3.1 設計・施工上の課題に対応した施工事例

3.1.1 床版の発生応力に対する影響が大きい斜角への対応¹⁾

東北自動車道仙台宮城 IC～泉 IC 間の綱木川渡河部にある綱木川橋は、1975 年に供用された。RC 床版は大型車交通量の増加に伴う損傷や凍結防止剤散布の影響を受けて再三の改修を実施しているが、コンクリート床版の補修頻度が高くなったことから、2013 年に抜本的な対策として、床版更新が行われた。本橋では RC 床版をプレキャスト PC 床版へ取り替えることとなったが、平面形状や斜角の影響が大きく（約 36～40 度と交角が小さい）、活荷重が作用した場合に一部床版上に引張応力が発生するため、主桁の影響も考慮した設計が行われた。



(a) 側面図

(1) 橋梁諸元

構造形式：鋼 2 径間連続非合成鈹桁橋

床版形式：RC 床版

⇒プレキャスト PC 床版

橋 長：79.069m

支 間 長：40.400m

有効幅員：10.530m～22.688m（上り線）

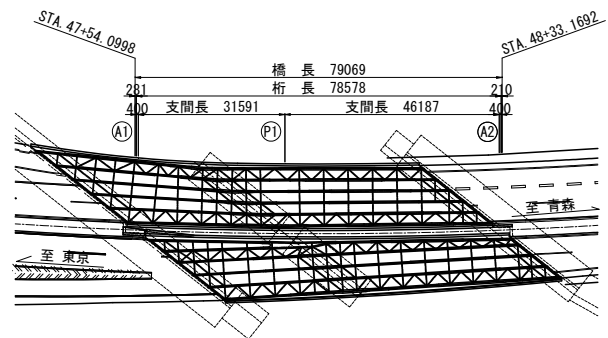
13.500m～27.475m（下り線）

斜 角：36° 11' 01"（A1 支承線上）

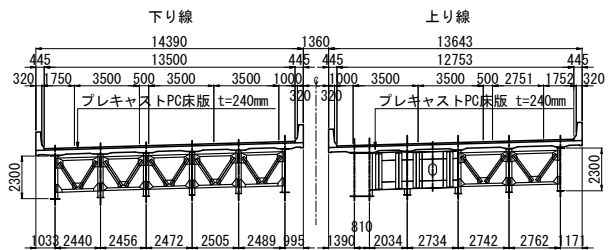
37° 59' 37"（P1 支承線上）

40° 38' 24"（A2 支承線上）

全体一般図を図 3.1.1 に示す。



(b) 平面図



(c) 断面図

図 3.1.1 全体一般図¹⁾

(2) 設計上の課題とその対応

本橋は、工事箇所の近くにインターチェンジがあるため、追越車線のほか、加速・減速車線を有しており、プレキャスト PC 床版の形

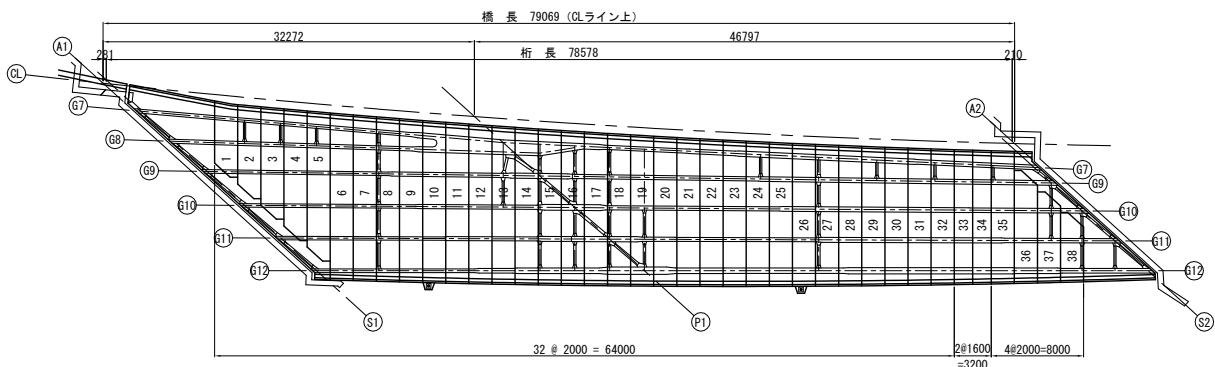


図 3.1.2 プレキャスト PC 床版の形状および配置¹⁾

状を合理的に設定する事が設計上の課題であった。プレキャスト PC 床版を桁端部付近まで採用した場合、設計要領の規定のみでは設計を完結できない事項があった。このため桁端は RC 床版として設計されている。また、プレキャスト化の観点からは床版は可能な限り同一形状とすることが望ましい。本橋は主桁間隔が変化しているため、ハンチ幅を大きくすることでプレキャスト PC 床版はグルーピング化された。図 3.1.2 に上り線のプレキャスト PC 床版の形状および配置を示す。

また本橋の支点部では斜角が約 36~40 度となっており、複雑な平面形状や主桁間隔の変化と相まって、活荷重作用時の主桁のたわみ差によって床版にはねじりモーメントが発生し、プレキャスト PC 床版に引張応力が発生することが懸念された。このため主桁、横桁までをモデル化した 3 次元 FEM 解析を実施し、PC 床版の安全性が検討されている。図 3.1.3 に FEM 解析モデル、図 3.1.4 に床版コンクリートの応力度を示す。中間支点上では、主桁のたわみ差により、G10 桁上の橋軸直角方向に引張応力度 1.09N/mm^2 が発生している。

一般的なプレキャスト PC 床版の橋軸直角方向の設計では、中間支点上では主桁にたわみ差が生じないことを前提に行われる。このため引張応力度は発生しないが、本橋では、斜角の影響により図 3.1.5 のように T 荷重が載荷された場合、G9~G11 桁にたわみ差が生じ、引張応力が発生する。このように、斜角を有する橋梁の床版では、主桁の影響を考慮した設計を実施する必要がある。



(a) 床版



(b) 主桁

図 3.1.3 FEM 解析モデル¹⁾

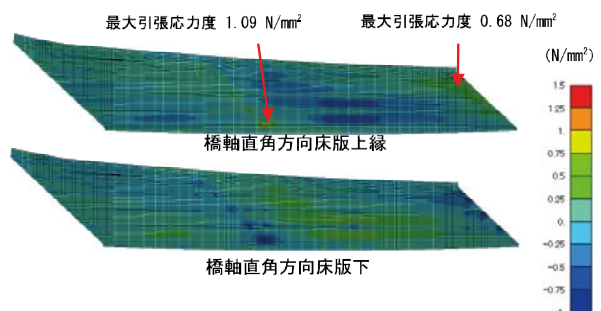


図 3.1.4 床版コンクリートの応力度¹⁾

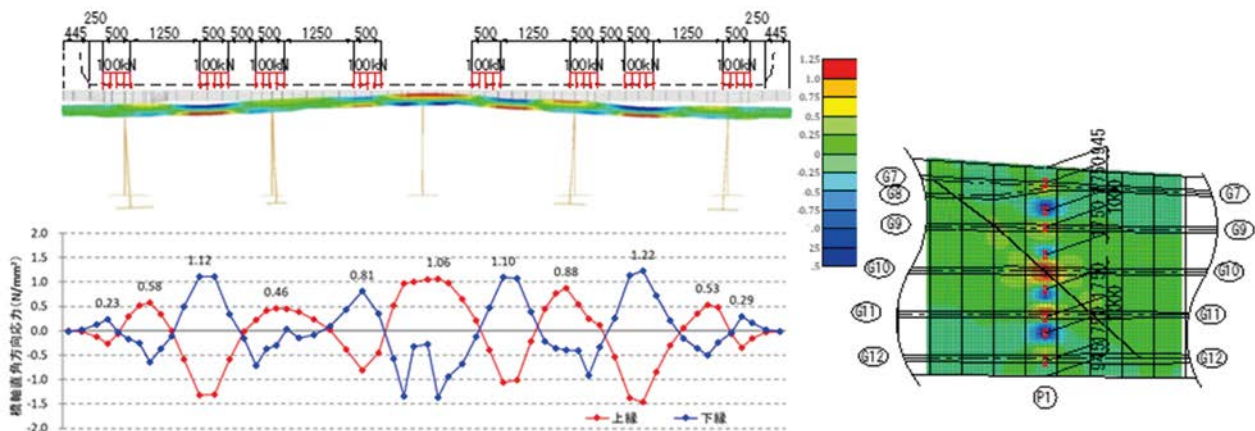


図 3.1.5 中間支点上の T 荷重載荷位置および橋軸直角方向応力度¹⁾

3.1.2 迂回路の確保と工程短縮²⁾

東北自動車道仙台宮城IC～泉IC間の中山橋は、1975年に供用された。RC床版は大型車交通量の増加に伴う損傷や凍結防止剤散布の影響を受け、床版下面には二方向ひび割れが発生し、床版上面は砂利化して舗装にポットホールが発生するなど、床版の著しい損傷が確認されていた。床版下面には炭素繊維強化プラスチック板接着による補強も施されていたが、2015年に抜本的な対策として、床版更新が行われた。本橋ではRC床版をプレキャストPC床版へ取り替えることとなったが、利用者へのサービス低下を抑えるため、交通規制日数が最小となるよう計画された。高速道路の床版更新は一般的に昼夜連続対面交通規制で行われるが、本橋では夜間通行止めと昼夜連続一車線規制を併用した方法で行った。夜間通行止めにあたり、**図 3.1.6**に示すように仙台東部道路などが迂回路として広報され、利用者への影響は最小限に抑えられた。



図 3.1.6 広報された迂回路

(1) 橋梁諸元

構造形式：単純鋼非合成桁橋

床版形式：RC床版

⇒プレキャストPC床版

橋長：29.100m

支間長：28.590m

有効幅員：12.250m（上り線）

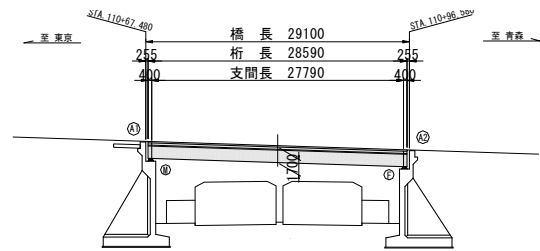
10.000m（下り線）

桁高：1.700m

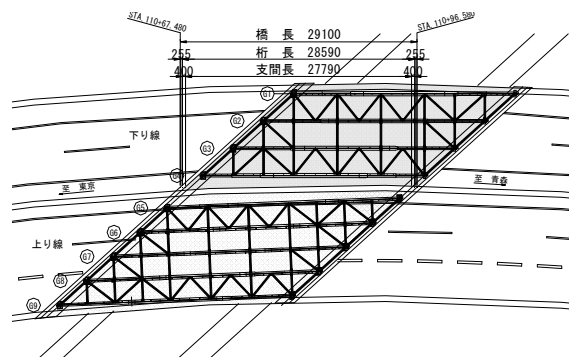
斜角：38° 36′ 24″（A1支承線上）

42° 46′ 30″（A2支承線上）

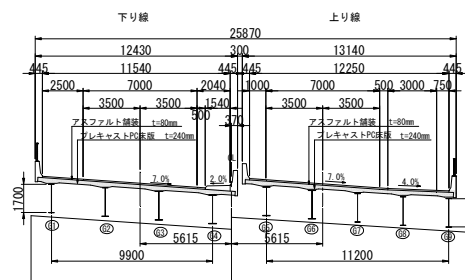
全体一般図を**図 3.1.7**に示す。



(a) 側面図



(b) 平面図



(c) 断面図

図 3.1.7 全体一般図²⁾を改変して転載

(2) 設計・施工上の課題とその対応

上下線が完全に分離しているセパレート区間では、上下線の一方を通行止めとし、残った反対車線を対面通行として運用する**図 3.1.8**に示すような対面交通規制の適用は、上下線の渡り線の設置箇所が限定されるため困難となる。本橋はセパレート区間ではないものの、平面線形 R=400 の連続する S 字カー

ブ区間に位置しており、この対面交通規制を適用した場合には、橋梁前後の土工区間の図 3.1.9 に示す中央分離帯部において約 800mm の段差をすり付けなければならないが、規制日数の大幅な増加が見込まれた。このため、図 3.1.10 に示すような中央分離帯のすり付けが必要でない夜間片側車線全面通行止め、昼間 1 車線交通規制が採用された。夜間の規制時間は、20:00～翌 6:00 であった。

施工期間短縮のため、以下の対策が講じられた。

- ・ プレキャスト PC 床版の設置範囲を桁端部まで拡大
- ・ プレキャスト PC 床版の幅を 2.0m から 2.2m に変更（設置枚数の減少）

夜間の通行止め時には、既設床版の撤去、新設床版の設置、床版の接合を実施し、仮舗装まで施工した状態で交通開放された。夜間の限られた時間内に壁高欄の施工を行うことは困難であるため、当初は仮設のガードレールを設置して場所打ちで壁高欄を施工する計画であったが、壁高欄は分割して現場ヤードで大部分を構築しておき、壁高欄の付いたプレキャスト PC 床版を架設して、昼夜連続規制時に場所打ち部を施工することに変更することで、現場での作業量が大幅に減少した。

また交通開放時には床版厚、舗装厚が異なるため、新旧床版の境目に段差が生じ、55mm の舗装のすり付けが必要であるが、橋梁前後の土工部を含む区間をあらかじめ 55mm かさ上げすることで夜間規制時のすり付け舗装が不要となった。

さらに、既設床版の事前切断、場所打ち部ループ継手には新設床版のループ継手と干渉しないような仮設鋼床版の設置（図 3.1.11）、現場ヤードでの模擬施工を行うことで作業効率の向上や予定外の事象への対応が可能となった。

このように、設計、施工の両面で対応することで、規制日数の大幅な削減も可能となることもあるため、床版更新にあたっては設計、施工を含めて総合的に計画する必要がある。

3.1.3 安全確保と効率化

道央自動車道 恵庭 IC～北広島 IC 間に位置する島松川橋（上り線）は、1971 年の開通から約 47 年経過し、車両の大型化による輪荷重の増加で床版下面に発生した微細なひび割れや、冬期の凍結防止剤による塩分などが原因となり、床版の劣化や鉄筋腐食が進行していた。その

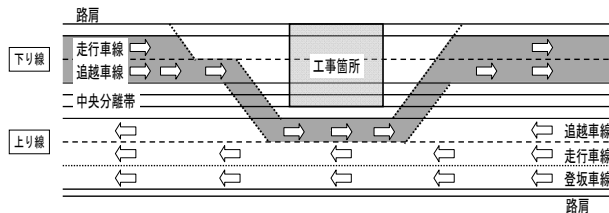


図 3.1.8 対面交通規制 2)を改変して転載

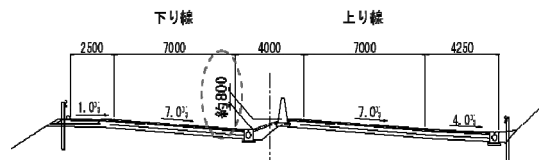


図 3.1.9 中央分離帯の段差 2)を改変して転載

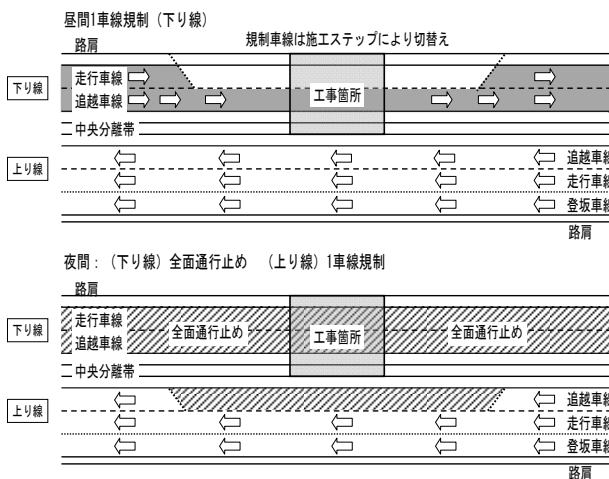


図 3.1.10 夜間通行止めと昼夜連続 1 車線規制の併用（下り線） 2)を改変して転載

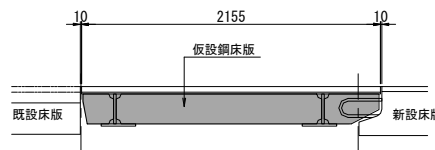


図 3.1.11 仮設鋼床版 2)を改変して転載

ため床版更新が計画され、2018年5月29日から同7月10日にかけて施工がなされた。図3.1.12に島松川橋の位置図を、写真3.1.1に島松川橋の現況写真を示す。



図 3.1.12 島松川橋の位置図



写真 3.1.1 島松川橋

(1) 渋滞を軽減するための交通規制計画

床版更新にあたり当該区間において、片側1車線運用の終日対面通行規制を行った場合、図3.1.13に示すように予測交通量が交通容量を超過し、工事期間中、ほぼ毎日渋滞が発生することが予想された。

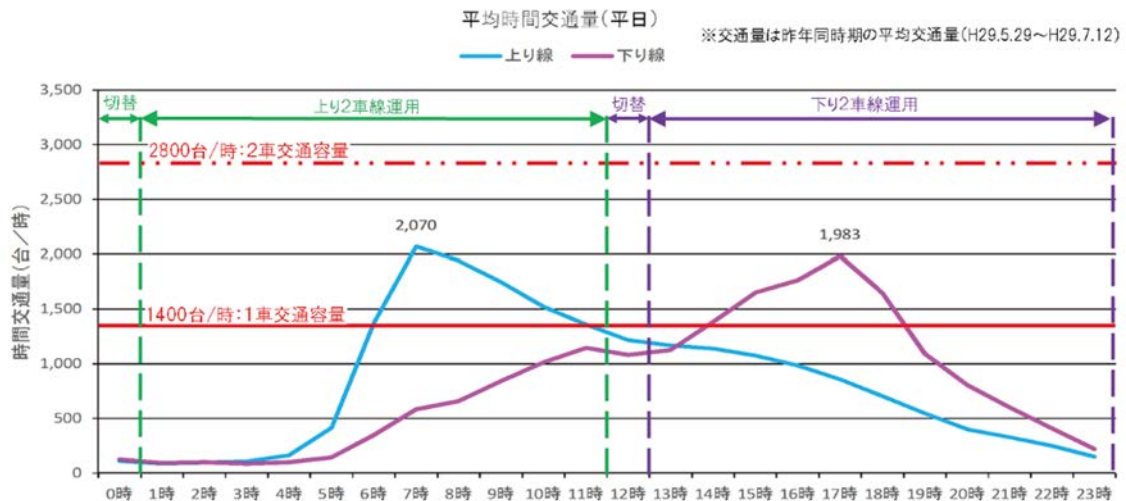


図 3.1.13 道央自動車道 恵庭 IC～北広島 IC 間の交通特性 (平日)

当該区間の交通特性は、午前と午後で交通量が卓越する方向が異なっている特性をもっている。そこで、この特性を活かし、交通運用する車線を上下線合わせて3車線を確保することで、車線を時間帯によって交通量が卓越する方向に応じて2車線と1車線を切り替え、渋滞を極力低減させる計画が進められた (図3.1.14)。

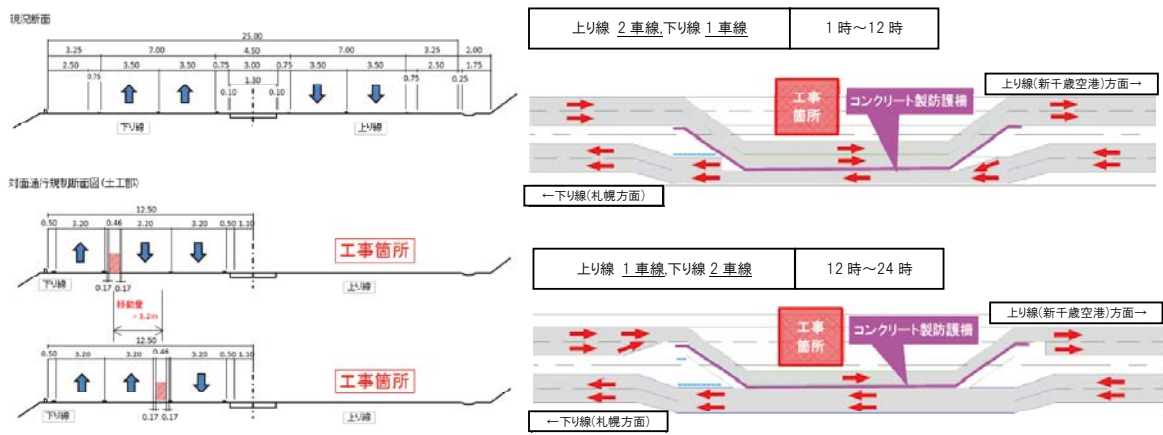


図 3.1.14 床版更新時の車線運用

(2) 安全確保と効率的な車線切替計画

高速道路上の車線切替には、一般的に先頭固定規制により一時的に交通の流れを止め、規制機材を人力により移動させるなどで切替作業が行われている。このような切替は、交通の流れが一時的に止まる僅かな時間内で作業を終えなければならない制約下で成り立つものであり、万が一、時間内で作業が終わらない場合は、一般車両と工事従事者双方に危険がおよぶことになる。

このような背景から、短時間で安全に車線を切り替え工事施工帯を確保する方法として、一般車両と工事従事者の安全性確保と作業の効率化を目指した、欧米各国で実績のある移動式防護柵「Road Zipper System」(以下、「ロードジッパーシステム」という)を導入している。

ロードジッパーシステムは、写真 3.1.2 および図 3.1.15 示すようにコンクリート製防護柵の設置位置を専用の防護柵切替車両 (Barrier Transfer Machine : 以下、「BTM」という) を



写真 3.1.2 BTMによる防護柵移動状況

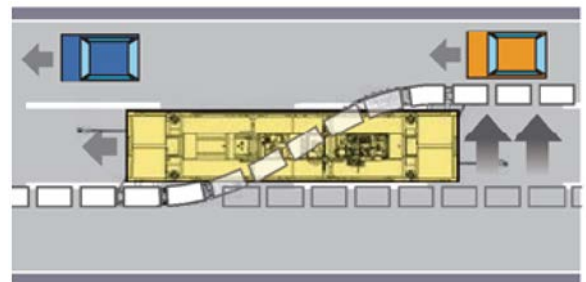


図 3.1.15 BTM 構造概念図



写真 3.1.3 ロードジッパーシステムに用いる防護柵の構成

用いて移動させることで、切替作業の安全性向上と短縮化(効率化)が可能になるものである。また、コンクリート製防護柵が用いられるため、一般車両と規制内の工事従事者の安全性も向上する。

なお、コンクリート製防護柵の構成は写真 3.1.3 に示すように一定間隔に設けた伸縮装置部(鋼製エクステンション)と防護柵同士をピン結合により連結したものが用いられている。

(3) 対策効果

前述の計画を基に工事中の車線運用は、平日および土曜日においては、1時から12時の間は上り線(新千歳空港方面)を2車線運用、13時から24時の間は下り線(札幌方面)を2車線運用した。なお、車線の切替においては、ロードジッパーシステムを用いている。

日曜日については、上下線ともに1車線の交通容量を超える予測がされたため、札幌から新千歳空港へ向かう車両の定時制確保を優先し、終日上り線を2車線運用としている。

実際の車線切替は、12時から13時と24時から翌1時までの各1時間で行っている。通常であれば、切替に伴い渋滞が発生するが、ロードジッパーシステムにより1時間で大きな渋滞なく切替ができた効果は非常に大きいものといえる。ロードジッパーシステムによる車線切替状況を写真 3.1.4 に示す。



写真 3.1.4 ロードジッパーシステムによる車線切替状況

図 3.1.16 に片側 1 車線の昼夜連続規制を行った場合の予測値と実績の比較を示す。ロードジッパーシステムの導入により約 84%の渋滞日数の大幅削減が実現でき、ロードジッパーシステムが安全確保と効率化に有効であることが示された。

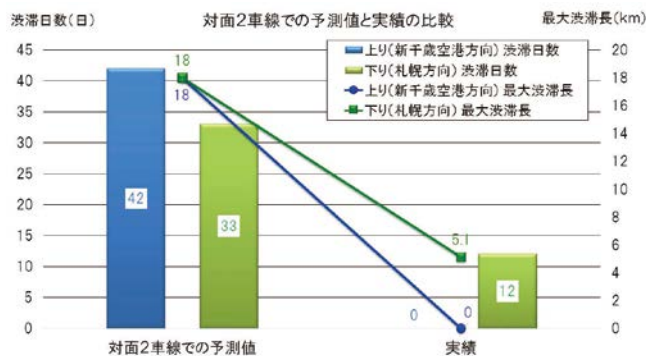


図 3.1.16 渋滞削減効果

3.1.4 跨線橋の剥落対策³⁾

九州自動車道太宰府 IC～築紫野 IC 間の向佐野橋は、1975 年に供用された。RC 床版は大型車交通量の増加に伴い、これまで数回の補修・補強を繰り返してきたが、2010 年に抜本的な対策として、床版更新が行われた。本橋では RC 床版をプレキャスト PC 床版へ取り替えることとなったが、床版張出先端部および壁高欄部分については場所打ちコンクリートとなる。桁下を JR 鹿児島本線が通っているため、将来の剥落防止および工程短縮を目的として FRP 型枠が採用された。

(1) 橋梁諸元

構造形式：RC 中空床版橋 + 4 径間連続鋼鈹桁橋 + 2 径間連続中空床版橋

床版形式：RC 床版⇒プレキャスト PC 床版（4 径間連続鋼鈹桁橋）

橋 長：210.050m

支 間 長：37.500+38.000+38.000+38.500m（4 径間連続鋼鈹桁橋）

有効幅員：13.750m（上下線）

斜 角：約73°

全体一般図を図 3.1.17 に示す。

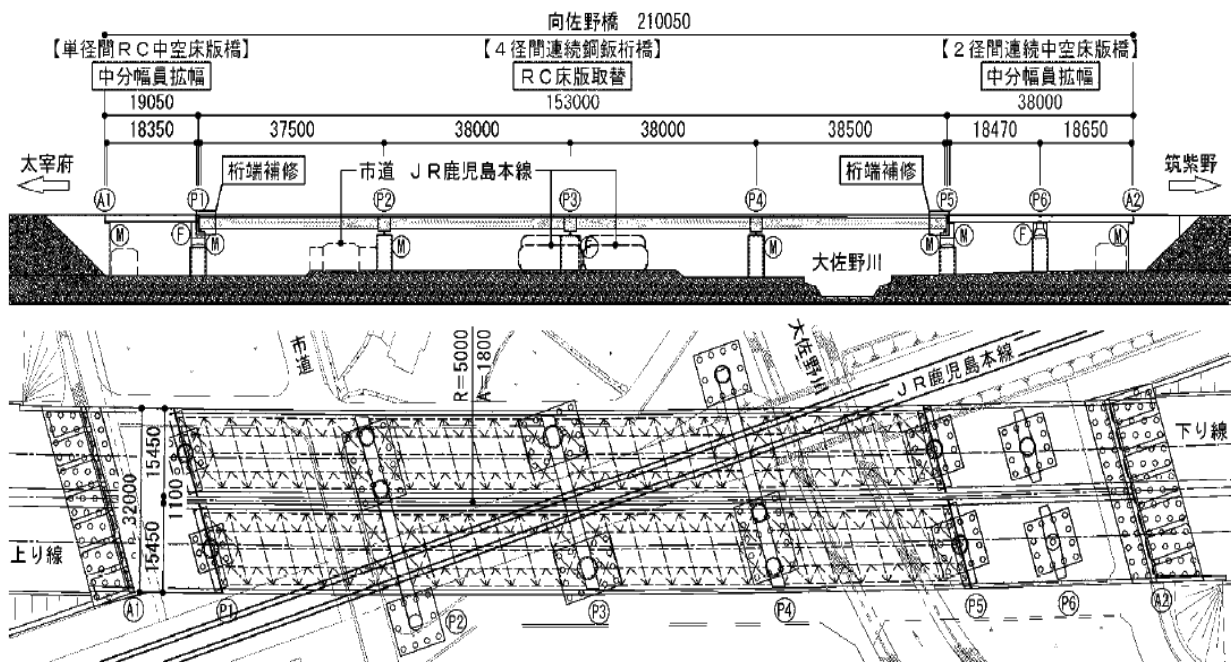


図 3.1.17 全体一般図³⁾

(2) 設計・施工上の課題とその対応

本橋は上下線それぞれ 3 車線ずつの幅員構成となっており、床版更新では上下線の片側を通り止めとして反対側を 2 車線+2 車線の幅員構成に変更して車両を通行させる案が採用された。しかし既設の RC 床版全幅では 4 車線を確保できなかったため、中央分離帯部分が拡幅された（図 3.1.18）。ただし中央分離帯は床版拡幅に伴い、RC 中空床版部分も含めて、コンクリートブラケットを設置するため、型枠を設置してコンクリート施工を行うが、車線規制期間を少しでも短縮するために FRP 製の埋設型枠を使用して脱枠工程が省略された。また JR 鹿児島本線や市道と交差しているため、FRP 型枠を存置することで剥落防止効果も期待された。一方で新設するプレキャスト PC 床版にはポリプロピレン繊維を混入して剥落防止対策が行われた。

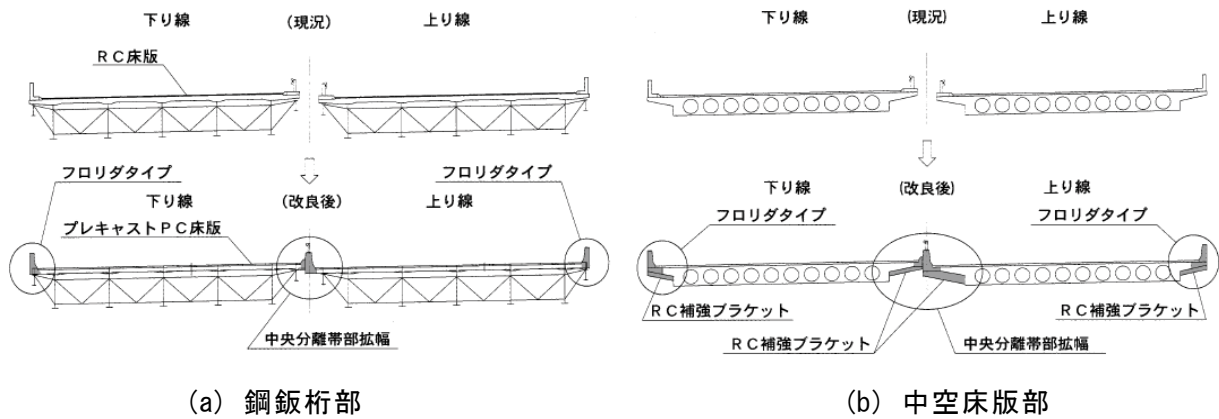


図 3.1.18 拡幅の断面図³⁾

FRP 型枠は以下の特徴を有している。

- ・ 鋼製型枠に比べて軽量で施工性が良い
- ・ 死荷重増加が抑制される
- ・ 錆の問題がないため、永久型枠として使用できる
- ・ 現地で孔明け加工が可能で、既設構造との調整が容易

FRP 型枠の板厚は 6mm で FRP 材の色はコンクリートに合わせたグレーとし、顔料を FRP 材料に混入して着色された。鋼鈹桁部の FRP 型枠を写真 3.1.5 に、RC 中空床版の型枠を写真 3.1.6 に示す。

このように、工程短縮や路下の状況によっては、剥落対策として型枠存置の検討が有効であり、FRP 型枠などの適用が合理的な場合がある。

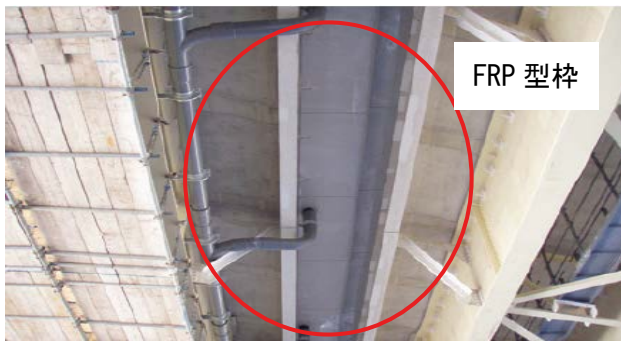


写真 3.1.5 鋼鈹桁中央分離帯の FRP 型枠³⁾を改変して転載



写真 3.1.6 RC 中空床版路肩側の FRP 型枠³⁾を改変して転載

3.1.5 鋼合成桁の床版撤去と主桁補強⁴⁾

あきる野市乙津地区の乙津橋は、1964 年に供用された。近隣に観光基盤施設の建設が予定されており、工事車両の通行および観光アクセス道路の確保として挙げられた本橋は耐荷力不足のため、主桁補強および床版更新が必要となった。しかし本橋は鋼合成鈹桁橋であり、設計活荷重も TL-14 と小さい。適用基準は昭和 31 年鋼道路橋設計示方書であり、RC 床版には配力筋不足から橋軸直角方向のひび割れが多く発生しており、主桁に発生する曲げ圧縮力の一部を床版に負担させる合成桁であることから、床版撤去時に主桁の座屈が懸念された。そこで床版取替時および完成時の主桁補強として上下フランジの補強が行われた。

3.1.6 鋼合成桁の腹板事前切断・仮添接による床版の急速撤去^{5), 6), 7)}

奈良県法隆寺近郊の西名阪自動車道路御幸大橋は、1972年の開通以来40年以上の供用を経て騒音・振動と床版の劣化の問題が深刻化し、これまでに桁連結や床版増厚など様々な環境対策や補強対策が実施されてきた。近年、床版の更なる劣化に伴い、抜本的対策として延長床版や床版更新工事が行われた。図3.1.21に床版更新前後の断面図を、図3.1.22に延長床版と床版更新施工後の平面図を示す。

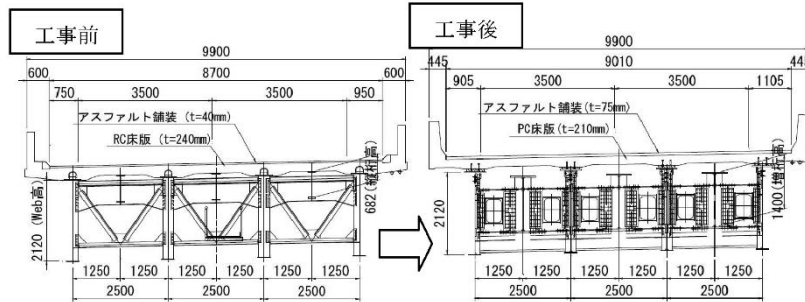


図 3.1.21 御幸大橋の床版更新前後の断面図⁵⁾

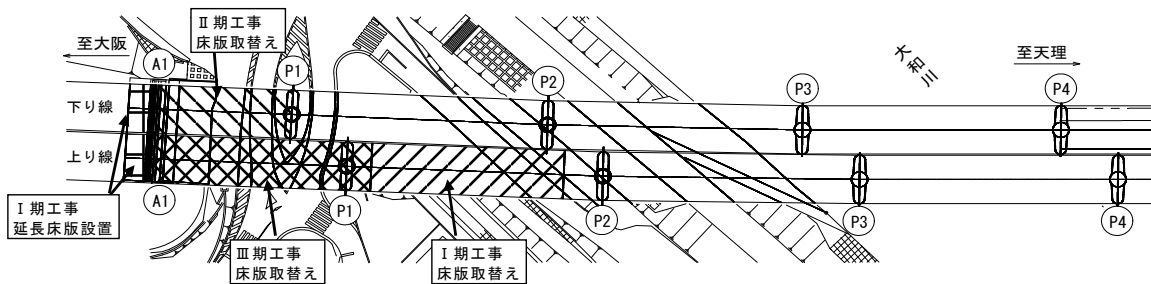


図 3.1.22 御幸大橋の工事概要平面図⁵⁾

(1) 更新内容

御幸大橋の劣化に対する対策の経緯を表3.1.1に示す。

表 3.1.1 御幸大橋の対策履歴⁵⁾

施工年	補修補強内容
昭和 47年	供用開始
55年	騒音・振動・低周波調査，段差修正，ジョイント取替え
平成 2年	縦桁補強(A1～P7)，中央分離帯部遮蔽ゴム設置
4年	床版増厚(A1～P2)，ジョイント取替え，舗装補修，縦桁部樹脂注入
6年	桁連結，ゴム支承設置，下面遮音版設置(A1～P2)，ジョイント改良
7年	ジョイント補修，遮音壁設置
10年	P2～A2床版上面増厚
16年	A1横桁コンクリート巻き立て
19年	詳細調査ならびに抜本対策検討会
22年	[I期工事] 床版取替(上り線P1～P2)，A1部延長床版(上下線)
23年	[II期工事] 床版取替(下り線A1～P1)，RC床版⇒合成床版
	主桁補強・横桁補強
24年	[III期工事] 床版取替(上り線A1～P1)，RC床版⇒PC床版
	主桁補強・横桁補強

更新内容は以下のとおりである。

- 1) I 期工事では上下線の延長床版と上り線の P1 から P2 までの床版更新(非合成桁⇒非合成桁)
- 2) II 期工事では下り線の A1 から P1 までの既設 RC 床版を合成床版に更新，横桁の剛性向上と合成桁の非合成化
- 3) III 期工事では上り線の A1 から P1 までの既設 RC 床版を PC 床版に更新，横桁の剛性向上と合成桁の非合成化

合成桁の非合成化へは，鋼材の補強量が増えることとなるが，本工事は振動抑制など環境改善の一環という側面も大きいことから剛性の確保は必要であり，このような判断が行われたと考えられる。

(2) 設計・施工上の課題とその対応

本橋の床版更新が行われてこなかった理由として，年平均の交通量が 6 万台/日と多く，迂回のための代替道路がなかったため，床版更新に伴う交通規制の影響が大きくなると判断されてきたことによる。そこで，床版更新を行うには，なるべく既存交通への影響を少なくするため，夜間施工・昼間交通開放という工法（通行止め時間 20:00 から翌朝 6:00）が要求された。

既設 RC 床版を更新する場合，合成桁か非合成桁かによって撤去方法が異なる。鋼桁と床版のずれ止めにスラブ止めが用いられている非合成桁の RC 床版を鋼桁から取り外す場合は，鋼製梁，PC 鋼棒やジャッキなどで構成する専用の剥離装置にて行われる。これを写真 3.1.8 に示す。I 期工事の対象は，非合成桁であったため，この方法で行えたが，II 期と III 期工事は合成桁であった。



写真 3.1.8 既設 RC 床版を鋼桁から撤去する装置

合成桁の場合は，ずれ止めに頭付きスタッドや馬蹄形ジベルなどが密に配置されているため，この剥離装置を使うことができず，主桁上のコンクリートをハンマードリルなどではつり取り，ずれ止めはガスなどで切断する必要がある。この場合，長期の通行止め規制が必要となるため，図 3.1.23 に示すとおりあらかじめ主桁ウェブを切断・仮連結しておき短時間の通行止めで床版とフランジを一体で撤去する方法が採られた。床版を切り離したときには，同図に示すように一時的に上フランジが無くなるため，主桁が横倒れ座屈する可能性がある。そこで，その防止のための補強材を写真 3.1.9 に示すように事前に取り付けた。

また RC 床版更新作業時は主桁断面剛性が一時的に著しく低下するため，工事規制前に図 3.1.24 に示す剛性の高い新たな縦桁および横桁に取り換えを行った。

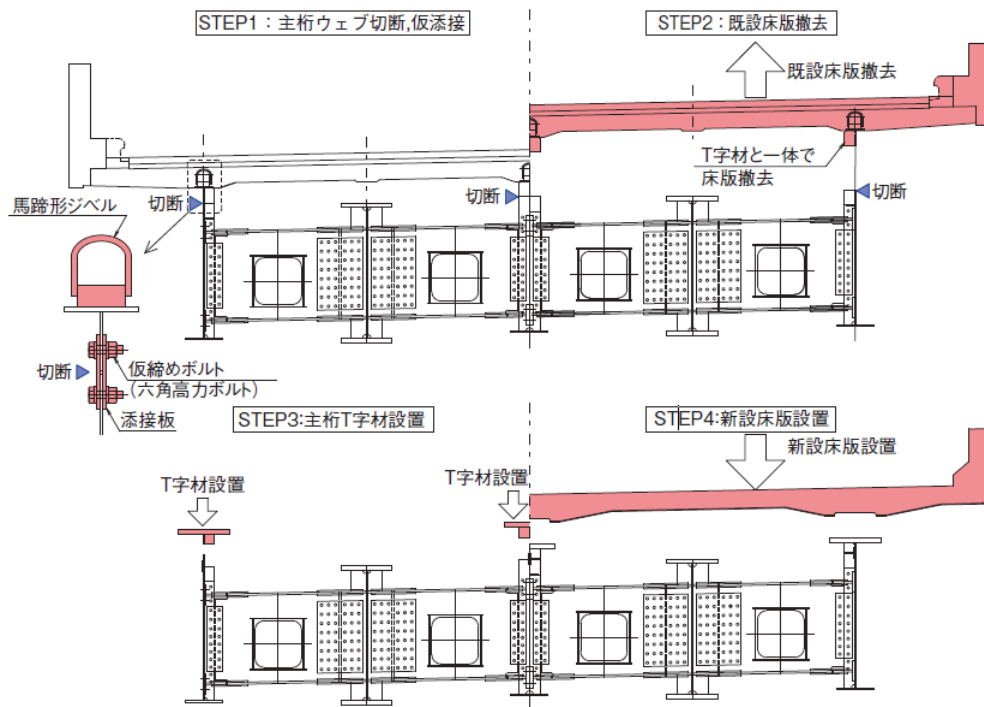


図 3.1.23 主桁ウェブを切断・仮連結した RC 床版更新事例⁶⁾

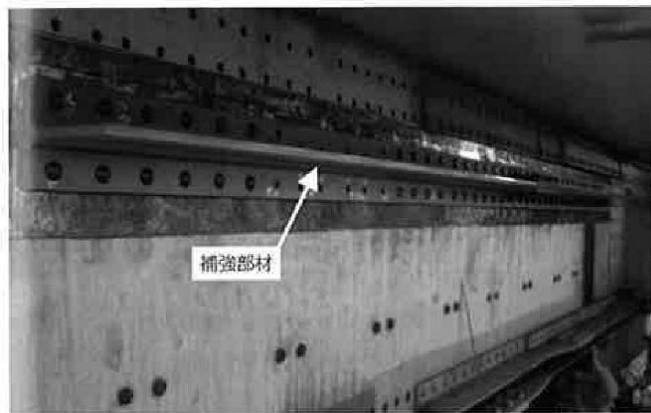


写真 3.1.9 主桁の横倒れ座屈防止と応力低減のために設けた補強部材

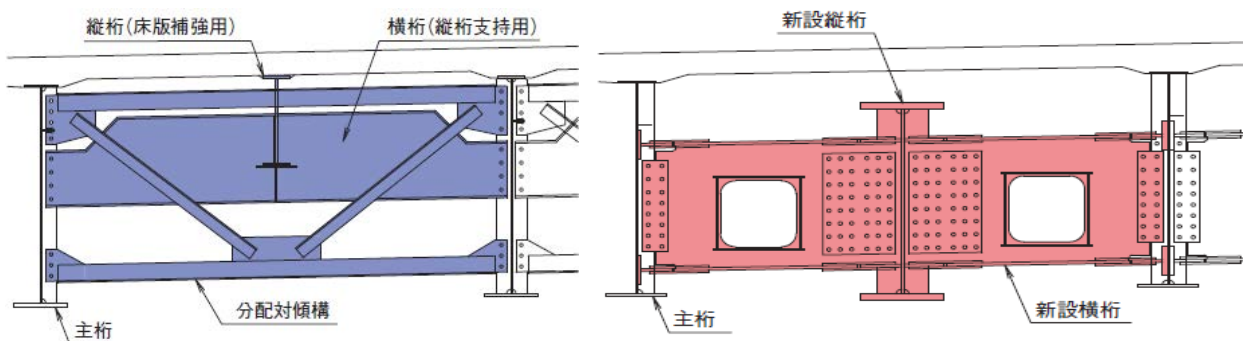


図 3.1.24 剛性の高い新たな横桁および縦桁による補強⁶⁾

(3) 本工法の成果

集中工事での時間工程表を表 3.1.2 に示す。これは、非合成桁の I 期工事と比較した表である。これより、床版撤去にかかる時間は、非合成桁に比べて約 3 分の 2 となり、なによりも上フランジのコンクリート片の清掃や塗装作業などが不要となるのが大きいことがわかる。この場合、実作業時間 8 時間の中で 1 時間半の作業が不要となっている。しかし、主桁腹板の一部と上フランジからなる T 字型部材の取り付けに同程度の時間がかかっている。また、近隣には民家もあり、コンクリートをはつる際の騒音などもなく静音下で作業ができたことも大きい。

本工法は高力ボルトによる添接部が増えるものの、急速施工や静音作業という目的は満たしていると考えられる。

表 3.1.2 御幸大橋の集中工事時間工程表 ⁷⁾を改変して転載

工 種	スリットループ継手(Ⅲ期)			ループ継手(Ⅰ期)		
	3枚取替え			2枚取替え		
	実施実績(3枚当り)	時間(分)		実施実績	時間(分)	
交通規制	20:00 ~	20:50	0:50	20:00 ~	20:50	0:50
作業員・工事車両進入	20:50 ~	21:10	0:20	20:50 ~	21:21	0:31
床版切断	21:12 ~	21:58	0:46	21:08 ~	21:30	0:22
仮設鋼床版 撤去	21:05 ~	21:20	0:15	22:06 ~	22:16	0:10
床版撤去	21:30 ~	23:00	1:30	21:34 ~	23:12	1:38
フランジはつり	- - -	- - -	- - -	22:20 ~	0:01	1:41
T字部材 架設	21:40 ~	23:10	1:30	- - -	- - -	- - -
PC床版 架設	23:15 ~	0:04	0:49	0:02 ~	0:27	0:25
仮設鋼床版 再据付	0:05 ~	0:30	0:25	0:57 ~	2:14	1:17
モルタル充填(床版下面)	23:55 ~	0:37	0:42	0:39 ~	1:46	1:07
〃 養生	0:37 ~	1:37	1:00	1:46 ~	2:46	1:00
間詰め部 鉄筋・型枠	23:35	0:30	0:55	0:10 ~	1:20	1:10
間詰め部 モルタル打設	0:32 ~	1:35	1:03	- - -	- - -	- - -
〃 ジェットCon打設	- - -	- - -	- - -	2:09 ~	2:50	0:41
〃 養生	0:55 ~	2:35	1:40	2:50 ~	5:50	3:00
PCケーブル緊張	2:29	2:52	0:23	- - -	- - -	- - -
仮舗装	2:27 ~	4:00	1:33	3:50 ~	4:40	0:50
後片付け	4:00 ~	4:30	0:30	4:40 ~	4:50	0:10
PC床版架設～間詰め部養生完	23:15 ~	2:35	3:20	0:02 ~	5:50	5:48

3.1.7 ウォータージェットによる鋼合成桁 RC 床版の急速撤去 ⁸⁾

(1) 背景および橋梁概要

阪神高速道路 15 号堺線の玉出入路において、平成 30 年 7 月上旬から 11 月上旬までの約 4 ヶ月間通行止めして床版更新工事が行われた。床版更新を行う 6 径間のうち、3 径間はワイヤーソー工法で床版撤去およびプレキャスト PC 床版への更新が行われ、残りの 3 径間では新技術が採用された。新技術としては既設床版の撤去にウォータージェット（以下、WJ）を用いた既設床版急速撤去工法（以下、急速撤去工法）が採用され、新設の床版に超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用いた床版が採用された。新技術を用いて床版更新が行われた 3 径間の工事報告について本項および 3.2.6 項で解説する。

対象となる橋梁は 6 径間の単純合成桁であり、主な諸元は総幅員 6.25m、支間長 22m@6 径間、床版支間 4.0m、床版厚 180mm などである。入路および周辺状況を写真 3.1.10 に、桁断面を図 3.1.25 に示す。



写真 3.1.10 玉出入路およびその周辺

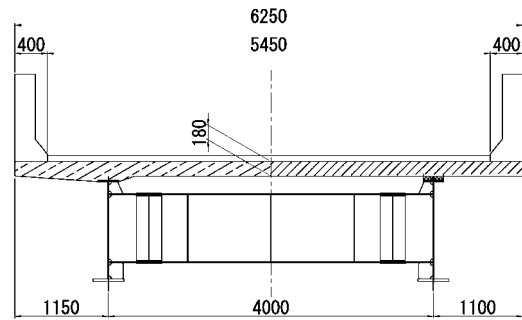


図 3.1.25 玉出入路断面図

本橋は 1970 年に供用し、床版更新時には供用後約 50 年経過していた。1982 年に疲労対策として床版下面に厚さ 4.5mm の鋼板を接着する補強を実施したが、それから約 30 年後の点検で鋼板に広範囲の浮きが確認されている。これを受けて実施した詳細調査で床版内部に水平方向のひび割れが面的に発生していることが確認されたことから今回の更新工事は行われた。

(2) 設計・施工上の課題とその対応

工事の実施に当たり、課題は以下とおり整理された。

- ・ 玉出入路は交通量の多い都市高速道路の入口であることから、社会影響を極力抑えるために通行止め期間の短縮が求められる。また住居に近接するため、工事中の騒音、粉塵などを抑えることが必要となる。
- ・ 上述のとおり設計の古い合成桁であることから、最新基準を満足し、さらに元の縦断線形に影響を与えないため、更新用床版は元の薄い床版厚以下に抑える必要がある。

これらの課題を踏まえ、急速撤去工法が開発・採用されて通行止め期間の短縮および低騒音での施工が可能となり、UFC 床版の採用により床版厚の問題が解決されるとともに新型架設機の開発により急速施工も可能となった。本項は急速撤去工法の概要を、3.2.6 項は UFC 床版による床版更新の概要を解説する。

通常の鋼橋の床版撤去の方法では、鉄筋やずれ止めが配置されている桁上部を残して床版を切断し、細かく分割して撤去しなければならず、残った桁上部の床版コンクリートの除去に時間が掛かるため撤去工程が長くなる。近年普及が図られているワイヤーソーにて鋼桁と床版を分離する工法は、鉄筋やずれ止めが密に配置されている接合部内部の状況を確認できないため、鋼桁を損傷させないように慎重な作業が必要であり、大幅な工程短縮には至っていない。

床版コンクリート
現場条件(クレーン配置)が良好であれば横断方向に分割せずに撤去が可能

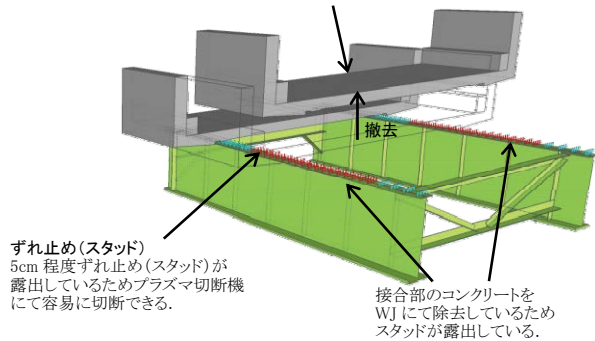


図 3.1.26 WJ を用いた急速撤去工法の概要



写真 3.1.11 ずれ止め露出状況

急速撤去工法は、床版の撤去に先立ち供用下で鋼桁上のずれ止めを全延長に渡って 5cm 程度露出させる（図 3.1.26、写真 3.1.11）ため、通行止め後にずれ止めを切断するだけで速やかな床版撤去が可能となる。また鋼桁位置に関係なく床版を切断することができるので、撤去ブロック数を少なくできる。その結果、通行止め後の撤去工程の大幅な短縮が見込まれた。

工事着手前の試算は、表 3.1.3 に示すとおり一径間あたり桁上コンクリートを後から手ばつりする通常工法では 18 日程度通行止めが必要となるが、急速撤去工法は 9 日程度と約半分に短縮可能とされた。

表 3.1.3 工程の比較

通常の床版撤去工程		急速撤去工法による床版撤去工程	
工種	日数	工種	日数
通行止め前作業	なし	WJはつり・仮補強	22日程度
床版切断	6日程度	仮補強材撤去・床版切断	6日程度
床版ブロック撤去	6日程度	床版ブロック撤去	3日程度
桁上破碎	4日程度	桁上破碎	なし
スタッド撤去	2日程度	スタッド撤去	なし
通行止め計	18日程度	通行止め計	9日程度

急速撤去工法の施工手順を図 3.1.27 に示す。

- ① 210MPa 程度の超高压水による WJ 削孔にて接合部のコンクリートを除去する。WJ 装置の設置は、床版下面と鋼桁上面の間（床版ハンチ高さ）が 60mm 程度確保できることが条件となっている。
- ② 接合部除去後、図 3.1.28 に示すようにスタッドに仮補強材を設置して合成桁橋としての機能低下を防止する。
- ③ 撤去作業開始時に仮補強材を撤去し、スタッドを切断して床版を撤去する。

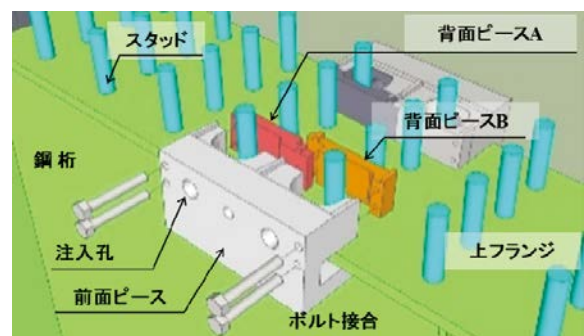
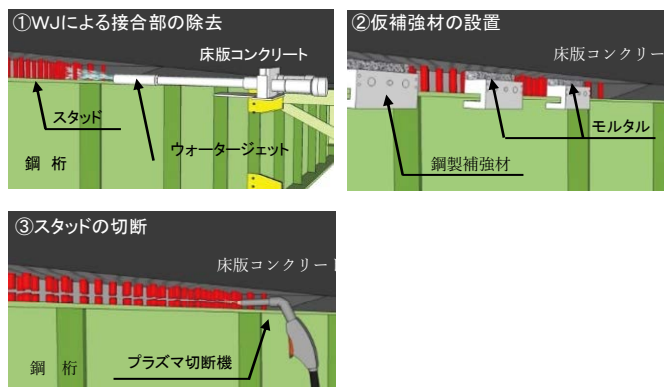


図 3.1.28 仮補強材

図 3.1.27 急速撤去工法の施工手順

合成桁において RC 床版接合部コンクリートを WJ で除去した状態で活荷重が载荷されると、スタッドが降伏して合成構造が不完全となることが懸念された。そのため、この工事では構造的な影響を 3 次元弾性 FEM 解析による検討結果⁹⁾より、スタッドを曲げ降伏させなければ鋼桁と床版の構造安全性を確保できることを確認している。そこで WJ で接合部のコンクリートを除去後、仮補強材を設置しスタッドの曲げ降伏を防ぎ、合成桁橋としての機能を維持することと

している。仮補強材を設置するまでの間、一度に接合部コンクリートを撤去可能な延長は構造解析にて設定され、これを1日の撤去延長としてWJの施工と仮補強材の設置が繰り返された。

施工中は鋼桁の上下フランジにひずみ計が設置され、ひずみ分布から合成桁の中立軸高さが算出・監視されることにより供用交通の安全が担保されている。

仮補強材は、スタッドを囲むように前後に配置する鋼製補強材と隙間を充填する特殊モルタルからなる。背面2ピースと前面1ピースの鋼製補強材の前面ピースの注入孔から特殊モルタルを充填し、スタッドと鋼製補強材、鋼製補強材とRC床版の隙間を充填して一体化され、合成桁橋としての機能低下が防止されている。鋼製補強材は鋼桁上フランジの左右外縁の2列のみ配置され、配置個数は構造解析結果より径間長22mの1主桁に68個配置されている。

玉出入路では、橋面上の施工幅が狭く大型クレーンの設置が困難であったため、高欄を含む張り出し部が先行して撤去され、吊り上げ重量が軽減された。また高欄を切断・撤去する際のクレーンは仮補強材の設置により、鋼桁の補強を行うことなく撤去する径間内に設置できることが3次元FEM解析にて確認されている。

高欄撤去後、仮補強材を撤去して床版を切断し、**写真 3.1.12**に示すようにスタッドを切断して床版が撤去された。鋼製補強材の撤去作業は10分/個、スタッド周りの補強モルタルの除去は5分/個程度と極めて短く、撤去作業の支障とならないことが確認された。また、スタッドの切断はプラズマ切断機を採用して鋼桁への熱伝達の低減、作業時間の短縮が図られた。床版撤去は、鋼桁補強を避けるため**写真 3.1.13**に示すように隣接径間に25tクレーンを据えて行われ、高欄部分を除く横断方向が一括して撤去されている。

吊り孔削孔や高欄地覆の横断方向の切断などの先行作業が3径間分で3日程度必要となり、その後の撤去作業は全て昼間作業のみで、1径間(22m)当たり6日(高欄地覆撤去2日、床版切断3日、床版撤去・搬出1日)の繰り返しで施工された。



写真 3.1.12 スタッド切断状況



写真 3.1.13 撤去用クレーン設置状況

(3) 本工法の成果

床版撤去時にWJを用いた新しい撤去工法を用いることで都市内施工における騒音・振動問題を対処した。また、スタッド部の仮補強材が開発されたことにより、合成桁における床版ハンチ先行撤去が可能となり、床版撤去に伴う通行止め期間を短縮した。

参考文献 (3.1 設計・施工上の課題に対応した施工事例)

- 1) 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 綱木川橋床版補強工事—, プレストレストコンクリート, Vol. 56, No. 1, pp. 23-30, 2014.
- 2) 林秀和, 村西信哉, 鈴木永之, 綱川悠, 井野耕志: 夜間通行止めおよび日々翌朝交通開放による鋼橋の床版取替え工事, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 51, No. 10, pp. 23-30, 2017.
- 3) 桑山豊六, 藤田学, 久保圭吾: RC 床版取替工事における FRP 型枠の採用—九州自動車道・向佐野橋—, 宮地技報, No. 26, pp. 93-96, 2012.
- 4) 川合徳男, 前島真二: 鋼合成桁橋梁の床版取替えと主桁補強～乙津橋補強工事～: 川田技報, Vol. 25, pp. 54-59, 2006.
- 5) 兼石義統, 藤原啓隆, 土性清隆: 西名阪自動車道御幸大橋床版取替工事による環境改善効果の検証, 土木学会第 68 回年次学術講演会, VI-451, pp. 901-902, 2013.
- 6) 光田剛史, 木原通太郎, 山田秀美, 龍頭実, 水野浩, 原考志: 西名阪自動車道 御幸大橋 (下り線) 床版取替え II 期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 45, No. 9, pp. 15-21, 2011.
- 7) 光田剛史, 木原通太郎, 久米将紀, 向台茂, 山浦明洋, 白水晃生: 西名阪自動車道 御幸大橋 (上り線) 床版取替え III 期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 46, No. 2, pp. 53-64, 2012.
- 8) 鈴木英之, 中山栄作, 佐竹康伸, 中山佳久, 齋藤公生, 村岸聖介: 阪神高速道路 15 号堺線 玉出入路床版取替え工事への新技術の適用, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 53, No. 2, pp. 42-47, 2019.
- 9) 佐藤彰紀, 橋爪大輔, 石塚健一, 佐竹康伸: 合成桁橋の RC 床版取替におけるウォータージェットを用いた急速撤去技術の開発 (その 1 : 概要と構造検討), 土木学会, 第 73 回年次学術講演会, VI-328, pp. 655-656, 2018.

3.2 機能を向上した施工事例

3.2.1 主桁の連続化による走行性の改善

北上市内を流れる和賀川を渡河する九年橋¹⁾は、大正11年に8径間単純4主鉄桁橋179.2mが、昭和8年に9径間単純2主鉄桁橋154.8mが建設された。これまでに、幾度か補修工事が行われてきたが、2015年、床版の損傷や塗装の劣化、局部腐食が著しくなったことから、長寿命化を見据えた大規模更新が行われた。図3.2.1に更新前後の2主桁部の断面図を左側に、4主桁部を右側に示す。図3.2.2には側面図を示す。奥州市側が昭和8年竣工の2主鉄桁部で、盛岡市側が大正11年竣工の4主鉄桁部である。RC床版更新を含む連続化や支承交換、腐食部の当て板補強、再塗装などのリニューアル工事により、単純桁は9径間連続2主鉄桁と8径間連続4主鉄桁に構造形式を変えた。

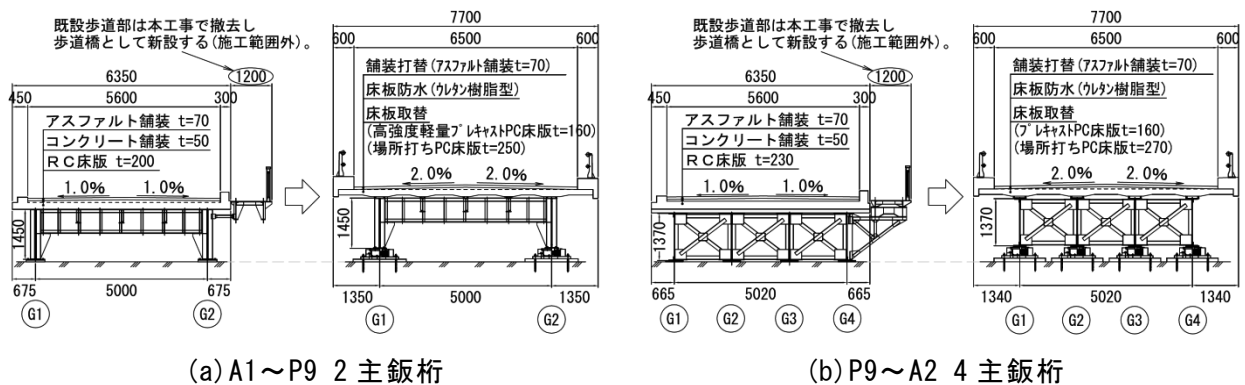


図 3.2.1 更新前後の断面図¹⁾

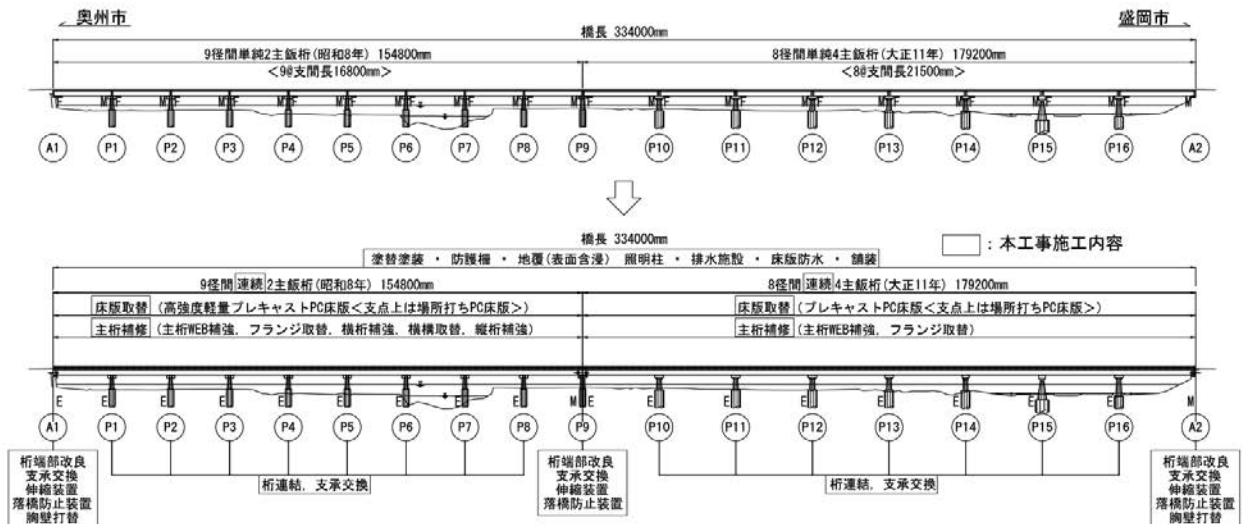


図 3.2.2 更新前後の側面図¹⁾

(1) 劣化状況と更新内容

劣化状況は以下のとおりである。

- 1) 床版, 伸縮装置, 歩道部からの漏水による鋼主桁の腐食 (写真 3.2.1)
- 2) 腐食の進展による支承機能の喪失 (写真 3.2.2)
- 3) 疲労や凍結防止剤などの影響による床版の砂利化

このような劣化状況を踏まえリニューアルでは以下の方針が立てられた。

- 1) 鋼桁腐食部の当て板補修と部材取替，および現場ブラスト再塗装（復元）
（写真 3.2.3）
- 2) ゴム支承への交換と鋼主桁の連続化（LCC の低減と耐震性向上）
（写真 3.2.4）
- 3) 軽量プレキャスト PC 床版への更新と床版防水工事（幅員拡幅と耐久性向上）



写真 3.2.1 鋼橋の腐食状況 1)を改変して転載



写真 3.2.2 支承部の劣化状況 1)を改変して転載



写真 3.2.3 当て板補修され再塗装された鋼主桁 1)を改変して転載



写真 3.2.4 支承の更新と連続化

(2) 床版連続化による鋼橋の機能向上

このリニューアル工事では，単純桁を連続化するとともに RC 床版を更新することにより，以下の機能向上が見込まれる。

- 1) 支承や伸縮装置の削減による耐久性の向上
- 2) 伸縮装置からの漏水がなくなることによる耐久性向上
- 3) 連続化による橋梁自体の耐震性の向上
- 4) 床版や舗装が一体化されることによる走行性の改善
- 5) 走行車両による騒音や振動の低減による周辺環境の改善
- 6) 主桁断面力（正曲げ）の減少による主桁の主応力の軽減

3.2.2 合成桁の非合成化による維持管理の容易化

中央道諏訪南 IC～諏訪 IC 間の弓振川渡河部にある弓振川橋は，1973 年に供用された。2016 年，RC 床版と鋼主桁が劣化したことから，長寿命化を見据えた大規模なリニューアルが行われた。このリニューアルで行われた RC 床版更新では，鋼単純合成鉄桁から鋼単純非合成鉄桁へ構造形式が変更²⁾された。合成桁を非合成化することで，以下の機能向上が見込まれる。

- 1) 構造の単純化による床版取替後の維持管理の容易化
- 2) スタッド本数の減少によるプレキャスト PC 床版への更新の容易化

(1) 橋梁諸元

構造形式：鋼単純合成鈹桁橋
 ⇒鋼単純非合成鈹桁橋

床版形式：RC 床版⇒プレキャスト PC 床版

橋 長：39.250m

支 間 長：38.400m

有効幅員：8.500m⇒8.755m

桁 高：2.000m

構造一般図を図 3.2.3 に示す。

(2) 床版厚

上部構造の重量増分を抑えるために、あごなしループ継手（図 2.2.14）を採用するなどして床版厚を $t=210\text{ mm}$ としている。

(3) 主桁補強設計

主桁の補強方法として表 3.2.1 の 3 ケースが検討された。各々の評価と採否の結果を以下に示す。

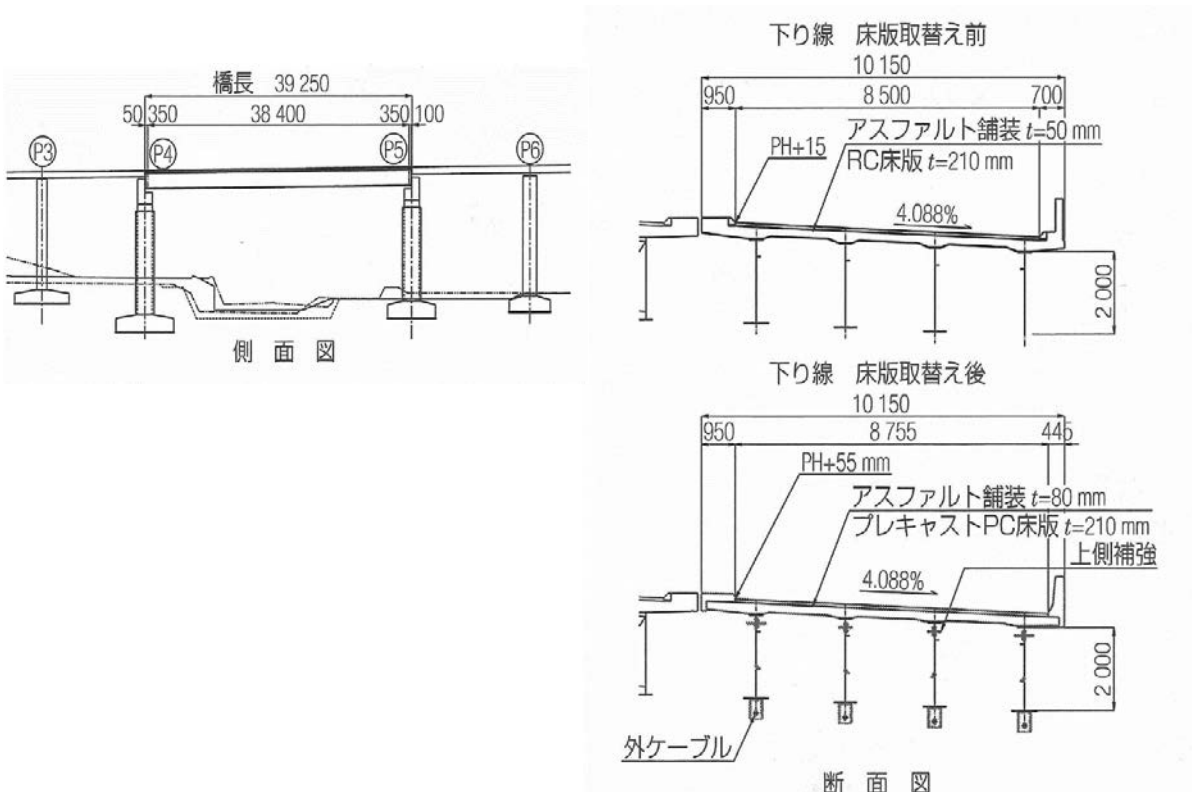


図 3.2.3 構造一般図²⁾

表 3.2.1 主桁補強方法の比較²⁾

ケース① 既設床版撤去後補強 補強部材のみ	ケース② 既設床版撤去前（供用下）補強 外ケーブル+補強部材	ケース③ 既設床版撤去後補強 外ケーブル+補強部材
①補強部材一部仮付け（供用下） ②既設床版撤去 ③補強部材取付け固定 ④取替え床版架設 補強重量 補強部材 403.2 kg/m	①補強部材取付け固定（供用下） ②既設床版撤去 ③外ケーブル緊張 ④取替え床版架設 補強重量 補強部材 702.5 kg/m 外ケーブル 17.6 kg/m 合計 720.1 kg/m	①補強部材仮付け（供用下） ②既設床版撤去 ③補強部材固定 ④外ケーブル緊張 ⑤取替え床版架設 補強重量 補強部材 173.7 kg/m 外ケーブル 10.5 kg/m 合計 184.2 kg/m

1) ケース①

- ・床版撤去後の抵抗断面として上下フランジ近傍に最大級サイズの等辺山形鋼が必要
- ・補強後の荷重に対して応力の余裕がなく，上フランジの応力度が許容値を超過
- ・フランジと水平補剛材の間に配置され狭隘なため，塗装などの維持管理が困難
以上より，ケース①は採用されなかった。

2) ケース②

- ・工期短縮のために床版撤去前に補強部材を設置する安全な施工方法
- ・床版撤去時に上フランジの応力が解放されないため更新後の補強部材が極端に大型化
以上より，ケース②は採用されなかった。

3) ケース③

- ・床版撤去後に外ケーブルにより既設桁の応力改善を行った後，補強材を固定する方法
- ・外ケーブル緊張時に補強部材を緊張に対して抵抗断面として切り離すことが可能
- ・上記の結果，主桁応力に優れた改善効果を発揮され，上側補強材は最小，下側補強材は不要となる
以上より，ケース③が採用された

(4) その他

外ケーブル工法による鋼桁応力改善の実績は少ないこと、PC鋼材定着のためのブラケット周辺では複雑な応力分布となることから、部材の安全性は3次元FEM解析により確認されている。主桁の最終的な補強状況を図3.2.4に示す。

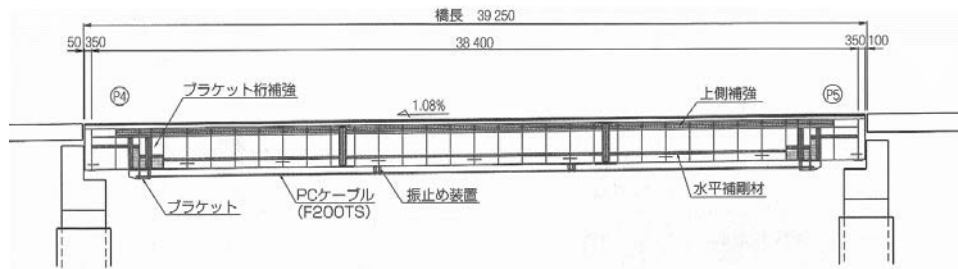


図 3.2.4 主桁補強一般図²⁾

3.2.3 軽量化による耐震性の向上

京都府と滋賀県の県境にある逢坂山の麓に位置する名神高速道路 蟬丸橋³⁾は、1963年に国道1号線と京阪電鉄鴨東線上に架橋された後、約10年で床版の抜け落ちなどの損傷やアーチ垂直材やアーチリブとの取り合い部に疲労き裂が散見されるようになった。1987年の調査で著しい損傷が発見されたため、「名神高速道路橋梁補強検討委員会」が旧日本道路公団内に設置された。この委員会により主構造をスパンドレルブレースアーチ構造に、床版をRC床版から鋼床版に改良する決定がなされ、以後約3年をかけ、計画と設計施工が行われることとなった。図3.2.5に平面図を、図3.2.6に更新前後の側面図を示す。

(1) 劣化状況と更新内容

劣化状況は以下のとおりであった。

- 1) 床版の損傷（床版上面のひび割れ、床版の抜け落ちなど）
- 2) 鋼部材の疲労き裂（アーチリブと鉛直材の接続部、縦桁）
- 3) 縦桁支点の腐食

このような劣化状況を踏まえ、以下の方針によりRC床版の更新が行われた。

- ・RC床版 (t=160mm, 580トン) から鋼床版へ取替 (t=14mm, 310トン)
- ・アーチからスパンドレルブレースアーチへの変更

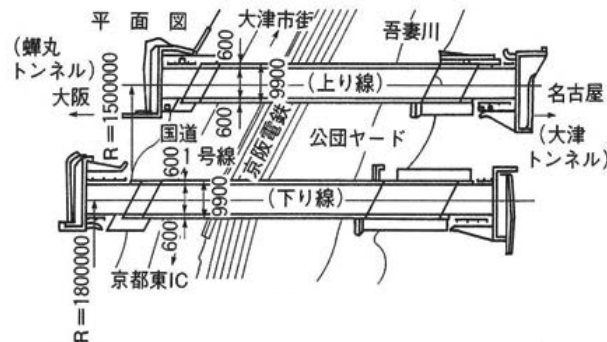


図 3.2.5 平面図⁴⁾

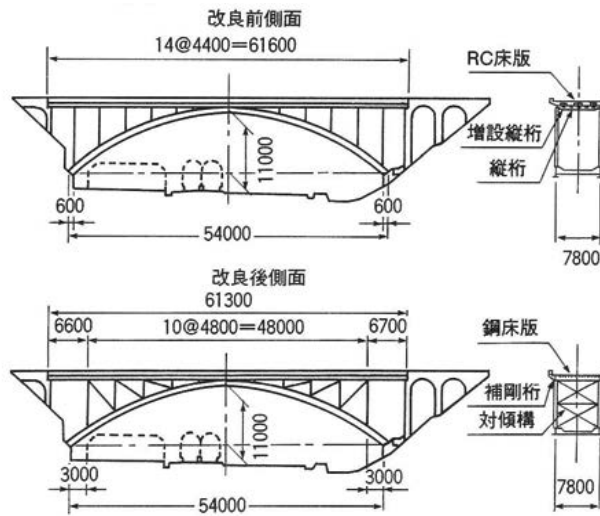


図 3.2.6 改良前後の側面図⁴⁾

(2) 床版軽量化による鋼橋の機能向上

この大規模更新工事では、床版の取替とともにアーチの剛性を増すためにスパンドレルブレース構造に変更された。その結果、以下のような機能向上が見込まれた。

- ・アーチ部材の疲労損傷の軽減化
- ・上路アーチ構造にとって不利な地震時慣性力を軽減し耐震性を向上

(3) 施工方法

本橋の床版更新は、交通の大動脈である名神高速道路であったため、急速施工が求められた。夜間施工・昼間交通開放（通行止め時間 20:00 から翌朝 6:00）という制約の中、上り線と下り線の間配置したトラベラークレーンにより、撤去部材と新設部材の搬出入を効率化するために部材は大ブロック化された。タイムスケジュールを表 3.2.2 に、設備図を図 3.2.7 に示す。

RC 床版撤去時にはアーチ構造が不安定となると予想されるため、主要部材のひずみと変位をリアルタイム計測による安全監視が行われた。また、アーチからスパンドレルブレースアーチへの変更の有効性については、実橋載荷試験により確認されている。

表 3.2.2 実施工程タイムスケジュール⁴⁾

工 種	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00
全 面 閉 鎖 工	追出し										確認
工 事 用 車 両 進 入 配 置											
仮 履 工 板 撤 去											
R C 床 版 撤 去											
垂 直 材 撤 去 ・ 架 設											
鋼 床 版 架 設											
H T B 本 締 め											
鋼 製 高 欄 架 設											
仮 履 工 板 設 置											
仮 表 層 舗 装											養生
R C 床 版 切 断 ・ 仮 履 工											
撤 去 R C 床 版 撤 出											

(実線は下り線施工時, 下段点線は上り線施工時)

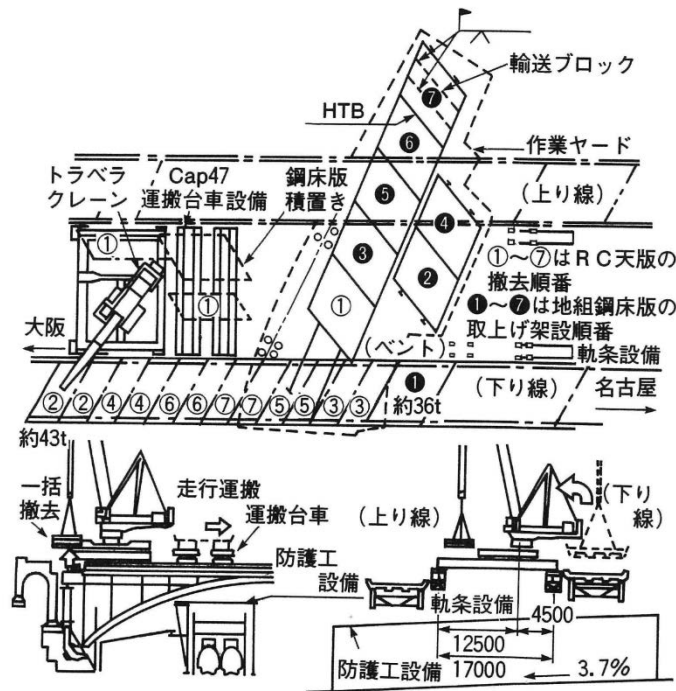


図 3.2.7 設備図³⁾

3.2.4 補強による歩道の車道化と軽量化による幅員拡幅

石川県にある手取川を横過する美川大橋⁵⁾は、橋長 398m の多径間連続非合成鉸桁橋であり 1971 年に竣工している。本橋は、RC 床版の塩害による劣化の進行、耐震補強、隣接歩道橋に代わる歩道付加のために、RC 床版から鋼床版への更新が行われた。図 3.2.8 に更新前後の断面図を図 3.2.9 に側面図と平面図を示す。

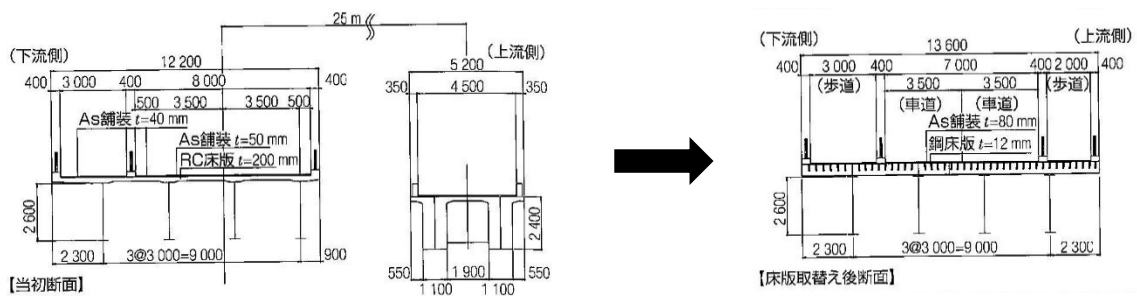


図 3.2.8 施工前後による断面図⁶⁾

(1) 劣化状況と更新内容

床版の劣化状況は、鉄筋腐食、かぶりコンクリートの剥落などが顕著であり、更新する際の条件として、上流側の歩道橋の撤去と代替機能が求められていた。

このような背景から、RC 床版更新として以下の方針を立てられた。

- ・ RC 床版 (t=200mm) を鋼床版 (t=12 mm) に取替
- ・ 上流側の既設桁に歩道 (幅員 2000 mm) を付加

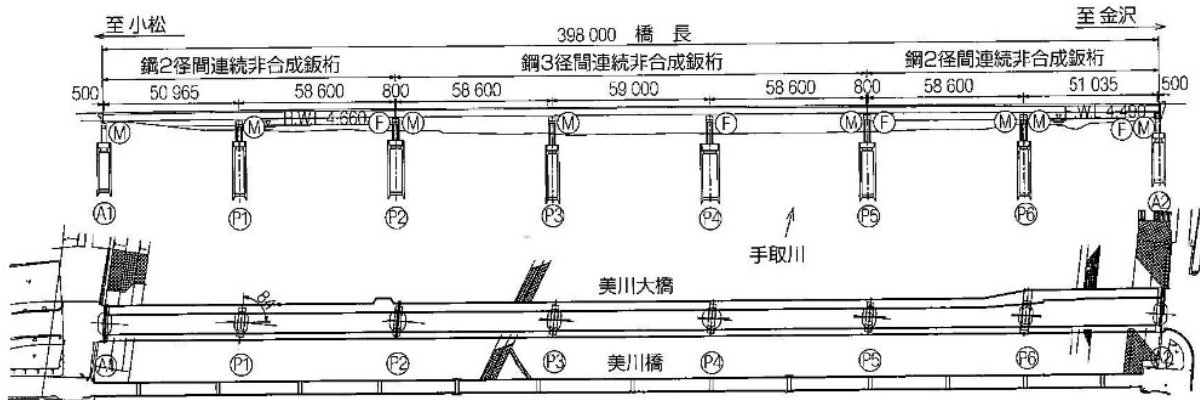


図 3.2.9 美川大橋側面図と平面図⁶⁾

(2) 更新工事による鋼橋の機能向上

RC 床版から鋼床版に軽量化することで以下のような機能向上が見込まれた。

- ・ 幅員拡幅（上流側に歩道を追加）
- ・ 耐震性の向上

(3) 施工方法

本橋の床版更新は、既存交通への影響を最小にするため、常時 2 車線の交通を確保するために図 3.2.10 に示すように幅員方向に分割し対面交通規制により施工は進められた。まず、既設橋の歩道部を補強して車道として使用できるようにしてから、交通の切り回しを行いながら床版更新を行った。2 車線の確保のため下流側と上流側の交通切り回しを考慮した段階施工となり、ステップ毎に部材の安全性を確認している。施工全体の工程を表 3.2.3 に示す。

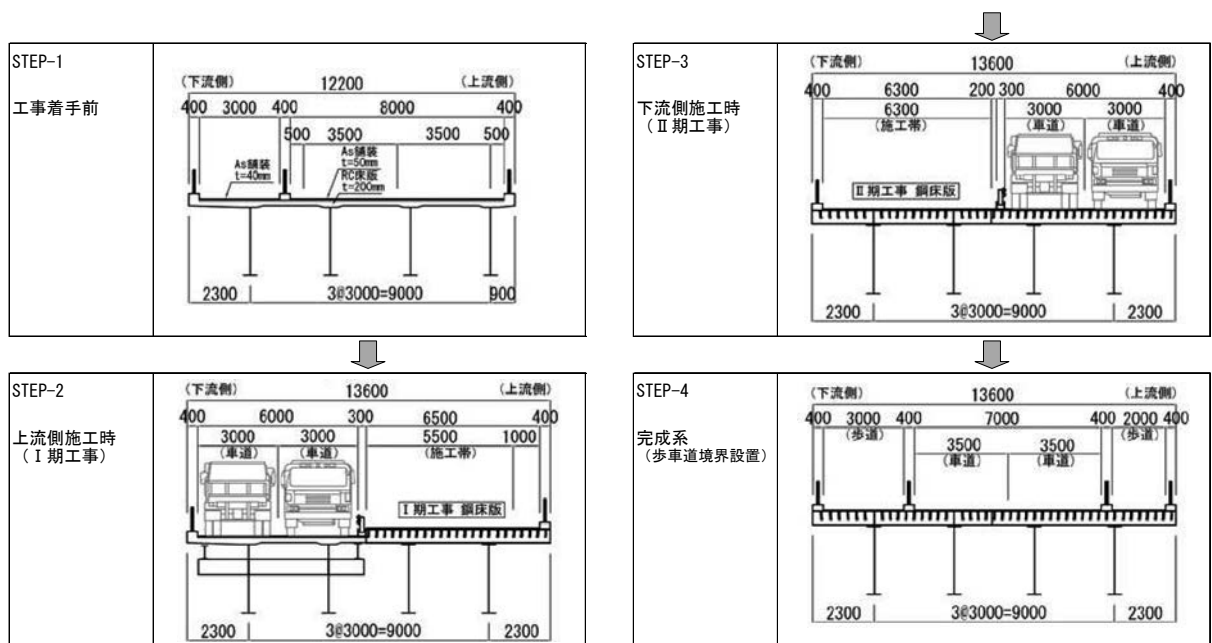


図 3.2.10 交通の切り回しを考慮した施工ステップ図⁶⁾

表 3.2.3 全体工程⁶⁾

	平成22年度			平成23年度						平成24年度						平成25年度														
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
現地測量・設計照査	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
工場製作工	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
床版補強材設置工(下流側)	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
RC床版撤去・鋼床版架設	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
既設拡幅桁嵩上工	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
付属物工(高欄等)	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
歩車道境界 地覆工	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
橋面工	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													
交通規制形態	[Gantt chart showing activity bars across the timeline]																													

次に新設鋼床版と既設主桁との取り合い構造を図 3.2.11 に示す. このとき, 下流側の張り出し部の歩道部に自動車荷重が载荷され, 既設 RC 床版の連続版の中間部が片持版となることから, 図 3.2.12, 写真 3.2.5 のように仮設縦桁およびブラケットによる補強を行っている. 更新に伴い路面高は従来に比べ 25 cm 高くなったため, 前後の道路で擦り付けが行われている. また, 新設鋼床版は既設 RC 床版の撤去後に主桁に結合されており, 本橋は活荷重合成桁として設計されている.

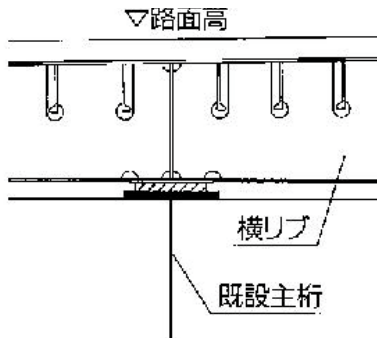


図 3.2.11 鋼床版と主桁の取り合い⁶⁾を改変して転載

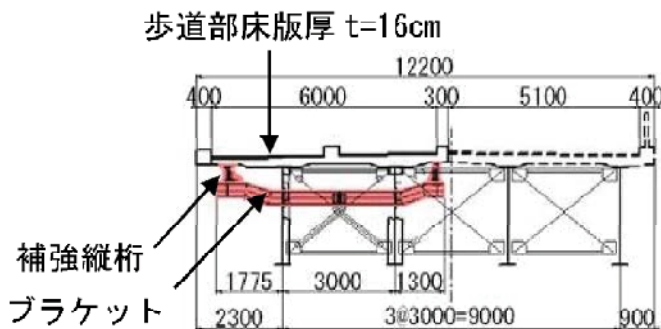


図 3.2.12 下流側床版補強図⁶⁾



写真 3.2.5 床版補強ブラケット⁶⁾

3.2.5 非合成化用の補強材追加による振動の低減

3.1.6 項で記した西名阪自動車道路御幸大橋^{7), 8), 9)}は、合成桁の床版更新の急速施工に配慮した工法を採用したが、他の課題として、1972年の供用開始以来騒音・振動の問題があった。これが近年、床版の劣化の進行と共に顕在化し、抜本的対策が求められた。これまでに桁連結や床版増厚など様々な環境対策や補強対策を実施されてきたが、期待したほどの効果をもたらすことができなかった。そこで、対策として延長床版や床版更新が行われ、合成桁の非合成化に伴い、主桁の補強も行われた。

(1) 振動レベル、周波数特性の改善

周辺家屋脇の地盤および家屋内の振動レベル統計処理結果 (L_{10} 値) の工事前後の値を図 3.2.13 に示す。

これより、水平成分のうち、特に橋軸直角方向では、工事後での計測値が全測点で工事前の振動レベルを下回っており、環境改善の効果が大きかったと考えられる。また、鉛直成分についてもほとんどの測点で工事後の値が工事前のそれに比べて下回っている。

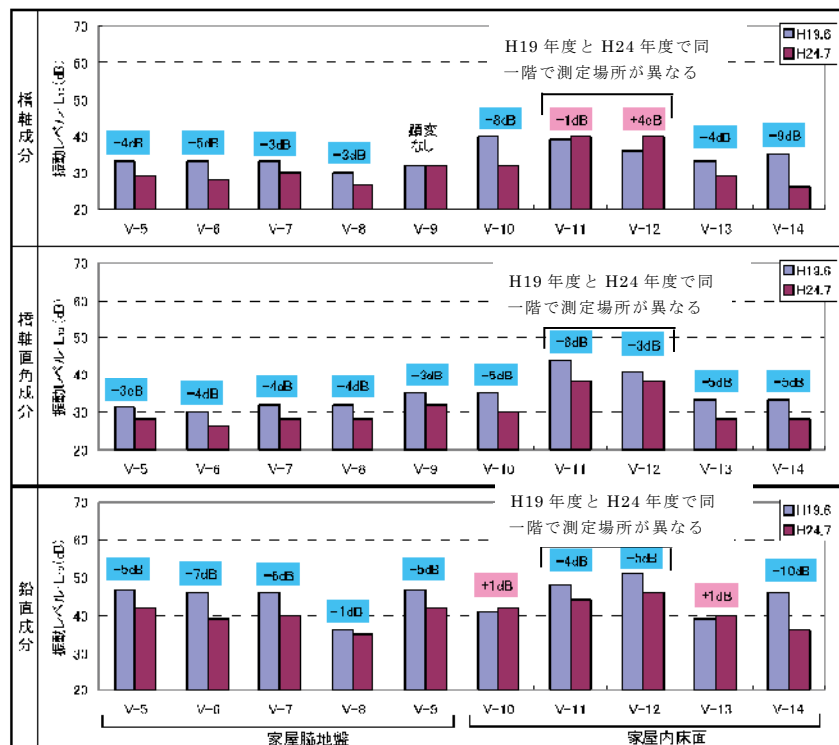


図 3.2.13 更新前後の振動レベル (L_{10} 値) の比⁷⁾

工事前後の周波数特性の比較を図 3.2.14 に示す。上下線とも P1 橋脚脇の振動で、特に 25Hz よりも高い領域で低減が明確に認められる。これは、延長床版によって伸縮装置から発せられていた高い周波数領域の値が低減されたからと考えられる。一方、他の領域でも工事後のピークレベルが低減していることがわかる。

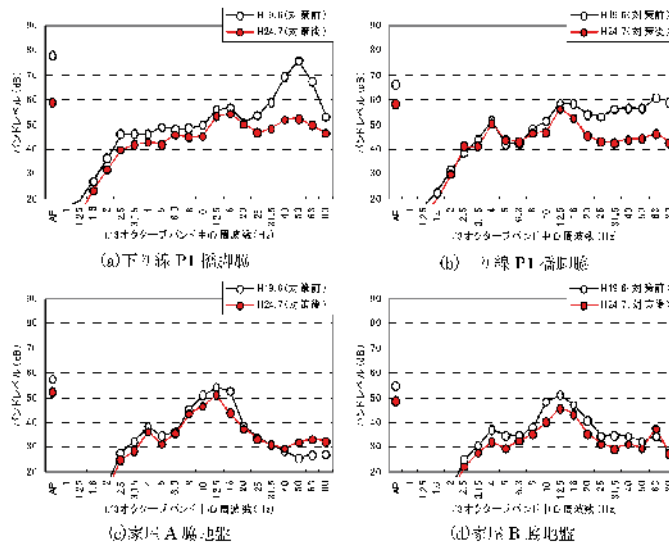


図 3.2.14 更新前後の周波数特性の変化⁷⁾

(2) 施工後の体感調査

体感調査を実施した 0 時から 2 時の時間帯で頻度分析を行った結果を表 3.2.4 に示す。これより、振動閾値である 55dB を超える振動レベルの発生数が 86 回から 10 回に低減している。別に行われたアンケート結果からは「以前と比較して、かなり改善された」という回答が目立ったと記録されている。

延長床版や主桁の非合成化に伴う主桁補強での剛性向上による効果が、橋梁振動による体感の抑制に有効であることが示された。

表 3.2.4 体感振動発生回数の変化⁷⁾

		単位：回					
		55dB 超過回数			調査員による体感回数		
		H19.6 (対策前)		H24.7 (対策後)	H19.6 (対策前)		H24.7 (対策後)
家屋 A 2F	設置状況	洋室	和室(中央)	和室(板間)	洋室	和室	
	橋軸方向	1	0	0	86	3 (16)	
	橋軸直角方向	0	0	0			
	鉛直方向	86	10	4			

() 内はがたつき音の発生回数

3.2.6 UFC 床版を用いた軽量化による鋼合成桁の補強軽減¹⁰⁾

(1) 橋梁諸元

橋梁諸元は 3.1.7 項に述べたとおり。

(2) 設計・施工上の課題とその対応

玉出入路の床版更新は、UFC 道路橋床版が適用された。この床版は、UFC の優れた材料特性を活かして薄肉・軽量でありながら非常に高い耐疲労性を有する床版である。今回既設 RC 床版更新に適用した平板型 UFC 床版は、床版下面を凹凸やハンチの無いフラットな形状として、製作作業の簡素化を図るとともに、プレテンション方式によるプレストレスの導入方向を橋軸直角方向の 1 方向として、既存の PC 工場での製作を可能としたものである。

薄肉化に伴う車両通行時の床版たわみの増大が、既設鋼桁の疲労に影響を及ぼすことを回避するために、UFC 床版の厚さは 150mm に設定された¹¹⁾。これは既設 RC 床版よりも 30mm 薄く、鋼桁上フランジ上面と UFC 床版下面の間に高さ調整用の間詰め部を設けることで、床版更新前

の路面高の維持を可能としている。

玉出入路における既設の RC 床版, UFC 床版, および一般的なプレキャスト PC 床版 (厚さ 250mm) の重量比較を表 3.2.5 に示す。UFC 床版の適用により, 床版重量が既設 RC 床版より 21.3% 軽量化されている一方で, 一般的なプレキャスト PC 床版の場合は, 既設 RC 床版より 28.4% の重量増となっている。床版更新に伴う鋼桁の照査に B 活荷重を適用し, 鋼桁の補強量を計算した結果, UFC 床版を適用した場合, 図 3.2.15 に示すように橋長 22.0m に対し支間中央部の 3.4m の範囲で補強が必要となったのに対し, 一般的なプレキャスト PC 床版では 15m の範囲で補強が必要と試算されている。

表 3.2.5 既設床版と取替床版重量の比較

	単位	既設RC床版	UFC床版	PC床版
床版断面積	m ²	1.236	0.938	1.581
床版重量	kN/m	30.287	22.969	38.722
水平間詰め厚	mm	0	83	20
水平間詰め重量	kN/m	0	0.872	0.16
合計重量	kN/m	30.287	23.84	38.882
比率	%	100	78.7	128.4

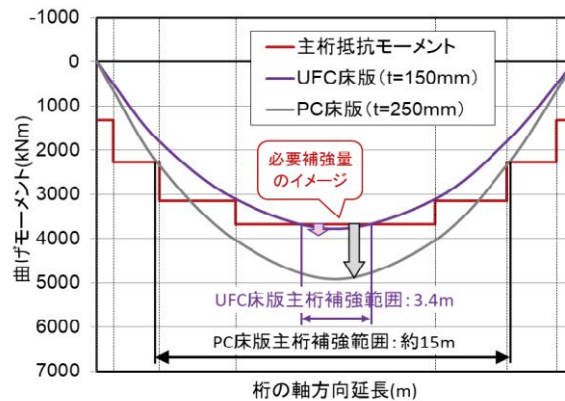


図 3.2.15 主桁補強範囲の試算

玉出入路は, 1 径間の床版は 13 枚のプレキャストパネルで構成された。内訳は, 橋軸方向 PC 鋼材の定着部が配置されない厚さ 150mm の標準パネルが 10 枚と, PC 鋼材の固定端定着部が配置されて伸縮装置用の切欠きが設けられる厚さ 205mm の端部パネルが 2 枚, さらに PC 鋼材の緊張端定着部が配置される厚さ 260mm の交差定着パネルが 1 枚である。パネルの配置を図 3.2.16 に示す。

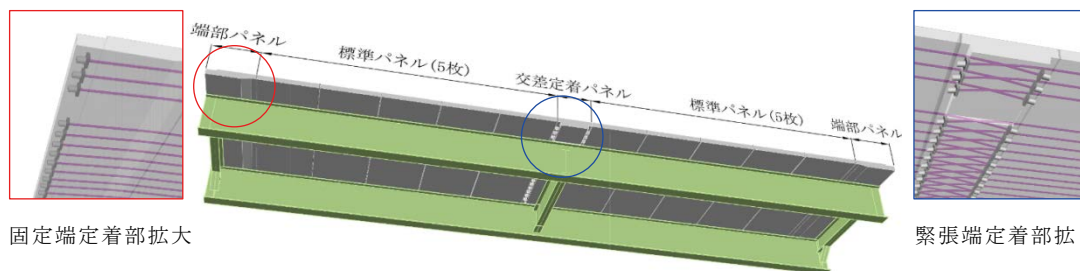


図 3.2.16 プレキャストパネルの配置

玉出入路では、UFC の材料特性を活かしてコンパクト化された PC 鋼材定着具を端部パネル内に埋設することで、床版端部までがプレキャスト化された。緊張スペースを確保するため、交差定着パネルを径間中央に配置して緊張端とすることで、床版全長に亘って橋軸方向のプレストレスが導入されるとともに、伸縮装置付近に場所打ち部の施工継ぎ目が無くなり、床版全体としての耐久性向上が図られ、さらに工事期間の短縮にも寄与することとなった¹²⁾。

プレキャストパネルの設置には、一般には移動式クレーンが使用されるが、玉出入路は阪神高速道路の本線と一般街路の間に挟まれているため、クレーン旋回時に街路の一時通行止めが避けられない。そこで、ランプ橋の幅の範囲でプレキャストパネルの設置が可能となる、UFC 床版設置のための新たな架設機械が開発された。新型架設機は、写真 3.2.6 に示すようにプレキャストパネルを吊った状態で、事前に設置されたプレキャストパネル上を走行する。このとき、プレキャストパネル・施工機械とも軽量であることと、プレキャストパネルが高強度であることから、設置済みの合成前のプレキャストパネル上の走行を可能としている。このため周辺交通に影響を与えることなくプレキャスト床版の架設が可能となり、架設工程の短縮に寄与している。



写真 3.2.6 プレキャスト床版架設機械

(3) 本工法の成果

高強度かつ軽量の UFC 床版が用いられることにより縦断線形の修正が不要となったほか、最新基準に適合させるための鋼桁補強が必要最小限に抑えられた。また、径間中央に交差定着パネルを配置したことで伸縮装置付近に設ける場所打ちコンクリート床版部の施工継ぎ目を無くしたことによる耐久性の向上、新たな架設機械の開発による架設工程の短縮が図られた。

参考文献 (3.2 機能を向上した施工事例)

- 1) 柿沼努, 池田大介, 貞島健介, 亀田隆志, 杉澤康友, 遊田勝: 九年橋長寿命化対策工事の設計と施工, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 49, No. 12, pp. 17-22, 2015.
- 2) 長谷俊彦, 田尻丈晴, 高橋政雄, 石橋雅一, 池上浩太郎: 外ケーブルを用いた主桁補強を伴う床版取替え工事-弓振川橋-, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 51, No. 5, pp. 51-56, 2017.
- 3) 土木学会鋼構造委員会: 鋼橋の大規模修繕・大規模更新 - 解説と事例 -, 鋼構造シリーズ 26, pp. 52-60, 2016.
- 4) 伊藤寛親, 高田寛, 竹中昌一: 蟬丸橋改良工事報告, 横河ブリッジ技報, No. 21, pp. 163-179, 1992.
- 5) 土木学会鋼構造委員会: 鋼橋の大規模修繕・大規模更新 - 解説と事例 -, 鋼構造シリーズ

- 26, pp.210-216, 2016.
- 6) 大江純生, 美藤友郎, 加藤貴祥, 藤江剛敏, 本野貴史: RC 床版から鋼床版への取替え設計および施工: 美川大橋, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol.47, No.7, pp.12-17, 2013.
 - 7) 兼石義統, 藤原啓隆, 土性清隆: 西名阪自動車道路御幸大橋床版取替工事による環境改善効果の検証, 土木学会第 68 回年次学術講演会, VI-451, pp.901-902, 2013.
 - 8) 光田剛史, 木原通太郎, 山田秀美, 龍頭実, 水野浩, 原考志: 西名阪自動車道 御幸大橋(下り線)Ⅱ期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol.45, No.9, pp.15-21, 2011.
 - 9) 光田剛史, 木原通太郎, 久米将紀, 向台茂, 山浦明洋, 白水晃生: 西名阪自動車道 御幸大橋(上り線)Ⅲ期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol.46, No.2, pp.53-64, 2012.
 - 10) 鈴木英之, 中山栄作, 佐竹康伸, 中山佳久, 齋藤公生, 村岸聖介: 阪神高速道路 15 号堺線 玉出入路床版取替え工事への新技術の適用, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol.53, No.2, pp.42-47, 2019.
 - 11) 佐藤彰紀, 黒田孝志, 藤代勝, 齋藤公生: 既設道路橋の床版取替えにおける平板型 UFC 床版の適用, 第 27 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.201-204, 2018.
 - 12) Kimio Saito, Takashi Kuroda, Akinori Sato, Masaru Fujishiro, Seisuke Muragishi: Design of UHPFRC Deck Slab for Replacement of Deteriorated Concrete Slab, 5th International fib Congress, 2018.

3.3 工期短縮のための施工事例研究

工事に伴う交通規制などによる社会的な影響を抑えるために、取り替える床版構造は現場作業の多い場所打ち床版ではなくプレキャスト製のPC床版や鋼床版が採用される機会が多い。ここでは、プレキャストPC床版を採用するRC床版更新の工期短縮を目的として、施工プロセスの中でどのようなことが課題となっているかを確認するとともに複数の工事を分析し、どの工種をどのように改善すれば良いかを検討した。

RC床版の更新の施工手順を確認するために、委員会にて収集した主なRC床版更新（表1.5.1）の中から、I形鋼格子床版を用いた既設RC床版の更新を対象として、昼夜連続施工で床版更新が行われた東名高速道路の用宗（もちむね）高架橋（下り線）を標準的な工事と考え、この工事をベンチマークとして他の工事と比較することにより施工時間の短縮に向けた問題点と課題を抽出し課題解決のための要点をまとめた。

3.3.1 標準工事の概要と全体工程

(1) 標準工事の概要

東名高速道路静岡 IC～焼津 IC 間（図 3.3.1）に位置する用宗高架橋（下り線）は、1969 年に供用を開始した非合成鈹桁橋である。路線の断面交通量は、新東名高速道路（御殿場ジャンクション～浜松いなさジャンクション間）が開通した 2012 年 4 月以降は約 50 千台/日（大型車混入率 31%）であるが、それ以前は約 80 千台/日（大型車混入率 36%）と重交通であった。1978 年、RC 床版の疲労損傷により、桁間部の I 形鋼格子床版への打替および張出し部の床版下面への鋼板接着が講じられたが、その後、鋼材の腐食および膨張が見られるようになり、2016 年、抜本的な対策として桁間部および張出し部の床版が取り替えられた。写真 3.3.1 のように施工は対面通行規制で行われ、この規制期間を短縮するため、取替後の床版形式として急速施工が可能なプレキャスト PC 床版が採用された¹⁾。本橋は、JR 東海道本線および市道と交差している。全体一般図を図 3.3.2 に、橋梁諸元を以下に示す。



図 3.3.1 橋梁位置図



写真 3.3.1 床版取替え状況

- 路線名：東名高速道路
- 道路規格：第1種第2級 設計規格A
- 構造形式：鋼2径間連続非合成鈹桁橋（用宗高架橋P7～A2下り線）
- 床版形式：I形鋼格子床版 ⇒ プレキャストPC床版
- 橋長：72.250 m（40.400 + 31.000 m）
- 有効幅員：11.000 m ⇒ 11.325 m
- 桁高：1.950 m

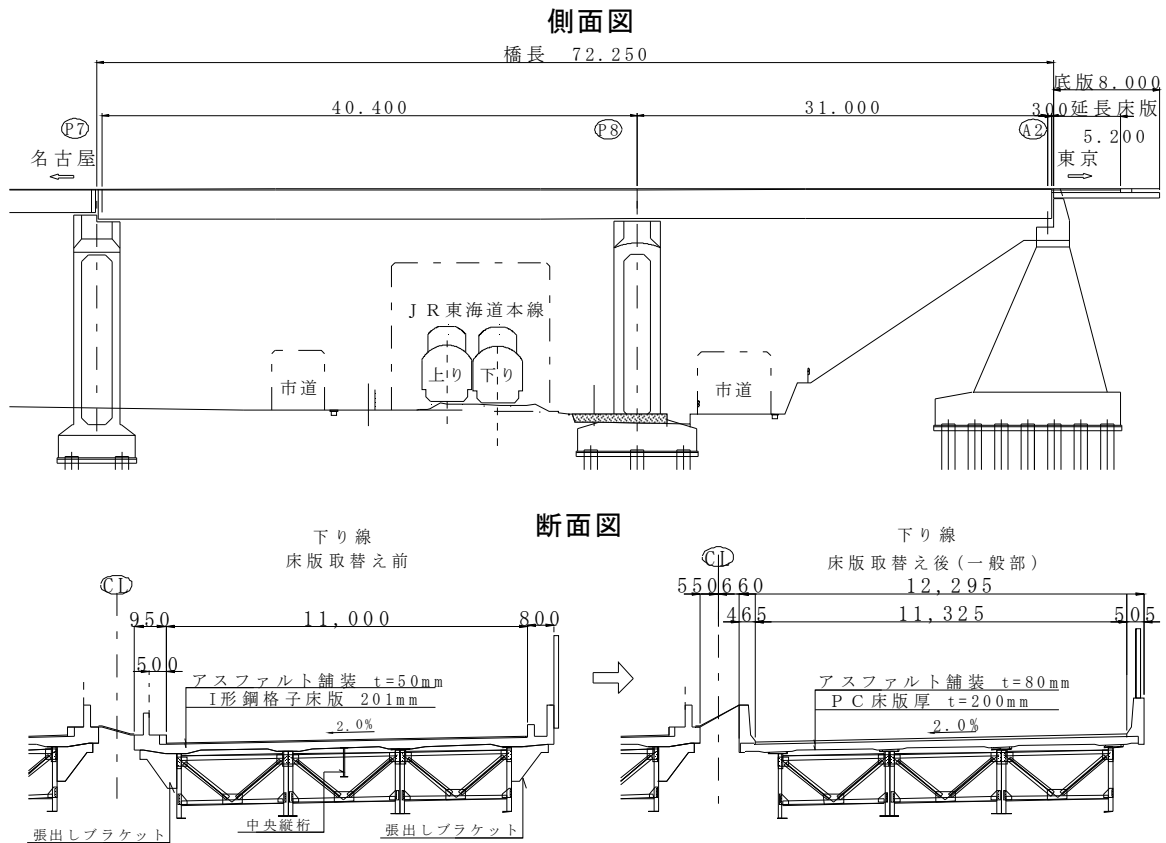


図 3.3.2 全体一般図

(2) 床版の損傷状況

本橋で用いられている床版下面が鋼板で覆われている I 形鋼格子床版は、床版の損傷と劣化の状況を直接目視することができない構造であった。2013 年、鋼板漏水調査、鋼板打音調査、CTM 調査（衝撃弾性波試験）、鋼板の部分撤去と内部コア調査をしたところ、漏水や床版を貫通するひび割れ（写真 3.3.2）などが確認された。また、壁高欄外側に壁高欄の補強対策として行われた鋼板接着（1992 年施工）の下面の鋼板は、全面的に腐食していた（写真 3.3.3）。撤去後の既設床版の切断面には、ひび割れや空洞が観察された（写真 3.3.4）。



写真 3.3.2 床版下面の劣化状況



写真 3.3.3 壁高欄下面の劣化状況



写真 3.3.4 既設床版切断面の劣化状況

(3) プレキャスト PC 床版の割付けと継手

プレキャスト PC 床版の割付けを図 3.3.3 に示す。標準版 30 枚と異形版 3 枚の計 33 枚であり、橋軸方向端部には場所打ち部がある。ループ継手はループ筋の曲げ半径の制約から床版厚が 250mm と既設床版より厚くなるため、既設床版と同程度の 200mm にできるナット付鉄筋継手²⁾が床版継手構造に採用されている。ループ継手とナット付鉄筋継手の比較を図 3.3.4 に示す。

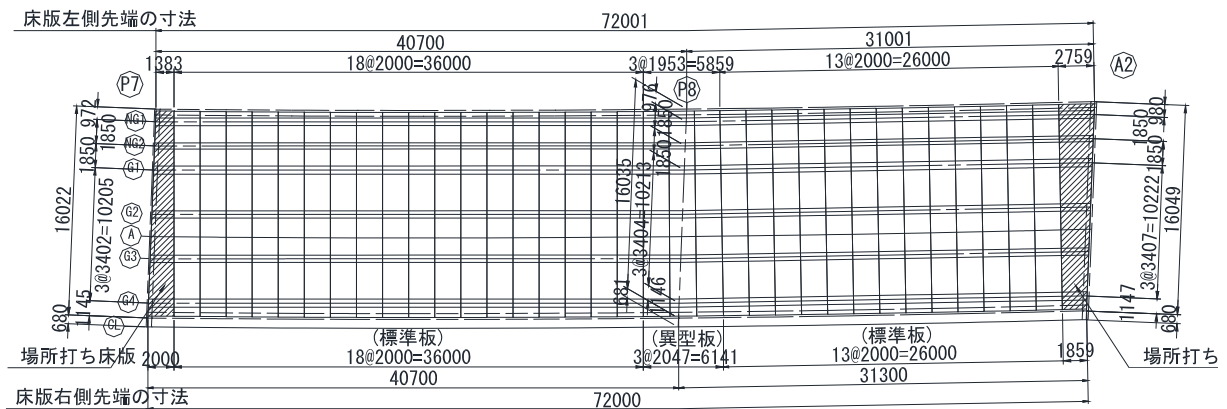


図 3.3.3 プレキャスト PC 床版の割付け

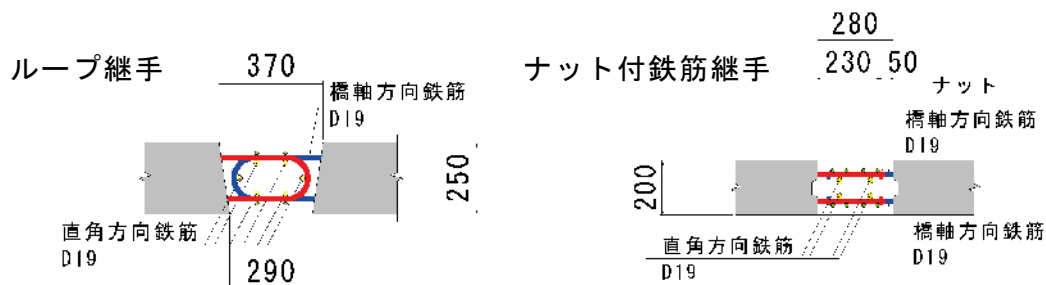


図 3.3.4 床版継手構造

本橋は TL-20 が作用する非合成構造で設計されていたが、鋼とコンクリートの材料特性を有効活用するために B 活荷重の作用を考慮した活荷重合成構造に変更された。そのため、約 1m 間隔に設けたジベル孔に配置する $\phi 22$ スタッドジベルの配置本数は、せん断力が大きくなる支

点部付近で1箇所あたり最大10本が必要となっている。

(4) 全体工程

全体工程表を表 3.3.1 に示す。大型連休を避けた 2016 年 5 月 18 日から 2016 年 6 月 28 日の 42 日間、昼夜連続作業により床版の撤去・架設、高欄の設置、延長床版の施工、舗装などが行われた。また、鋼桁の疲労き裂調査や疲労き裂補修も同時に行われた。

表 3.3.1 全体工程表

全体工程表	平成27年				平成28年												平成29年		
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
準備工・施工計画・詳細設計	■																		
プレキャストPC床版製作・輸送							■	■	■										
吊足場設置・撤去				■	■								■	■	■			■	■
疲労亀裂調査・補強工					■	■	■	■							■	■			
塗替塗装工					■	■	■	■				■	■						
床版取替準備工							■	■	■										
床版撤去/架設・橋面工									■	■	■								
中央分離帯改良工					■	■	■	■											
規制準備・撤去工							■	■	■	■	■								
昼夜連続対面規制									■	■	■								
昼夜連続規制								■	■	■	■								
昼間規制					■	■	■	■	■	■	■								

(5) 交通規制

床版更新時の交通規制状況を図 3.3.5 に示す。施工箇所から焼津インターチェンジ寄りに 2km 離れた位置に日本坂トンネルがあり、常時は上り線左ルート、上り線右ルート、下り線の断面 7 車線が供用されている。下り線床版更新の施工ヤード確保のために、下り線側 3 車線のうち 2 車線を上り線側右ルートに移し、断面 4 車線 (片側 2 車線) の対面通行が 42 日間行われ

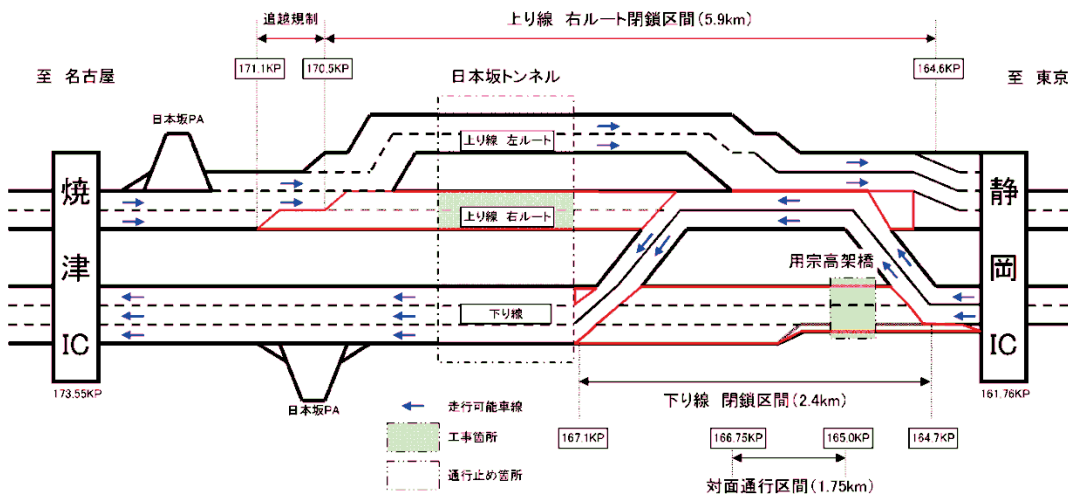


図 3.3.5 床版更新時の交通規制状況 (対面通行規制時)

た．道路を切り回すために必要な中央分離帯側の擦付け舗装などの準備工と復旧工は，それぞれ対面通行の前後に 9 日間と 7 日間の昼夜連続車線規制で行われた．

通常的車線幅員より狭い幅員による片側 2 車線の対面通行では，中央線を実線として追越し走行が禁止されるとともに設計速度は 50km/h に抑えられた．車線シフト部は**写真 3.3.5**に示すように導流レーンマークが設置されるとともに，夜間でも視認性の高い LED 式電光掲示板，仮設防護柵上の視線誘導標，わかりやすい表記の高輝度看板など多数の走行速度抑制対策が施された．また，非常駐車帯のスペース確保が困難なため，規制区内で故障車が発生した場合の対応として，レッカー車の常駐待機，緊急規制を設置できる巡回車の配置，上下線に合計 4 台の後尾警戒車を常駐配置，ウェブカメラによる監視などが行われた．市道との境界にゲートを設け，緊急車両が高速道路から市道へ退出する通路が確保されるとともに，工事関係車両の通行に利用することで規制帯への流出入の可能な限りの抑制が行われた．



写真 3.3.5 対面通行規制（シフト部）

3.3.2 工種ごとの工程と作業内容

工種ごとの工程を**表 3.3.2**に示す．舗装工の後で，橋面上に大型車を搭載して鋼桁に生じるひずみを計測する載荷試験³⁾が行われ，計測結果と FEM 解析結果がほぼ一致しており，群配置したスタッドジベルの十分な床版合成効果が確認されている．

表 3.3.2 工種ごとの工程

工 種	施工日	1 週	2 週	3 週	4 週	5 週	6 週	備 考
舗装・高欄撤去	1～4	←→						
既設床版撤去	3～10	←→						
PCa 床版架設	6～10		←→					
間詰め施工	8～15		←→					
場所打ち床版	20～24			←→				
延長床版施工	7～32		←→	←→	←→	←→		
高欄工（路肩側）	16～28			←→	←→	←→		場所打ち
〃（中分側）	18～25			←→	←→	←→		プレキャスト
防護柵設置	29～32					←→		
防水・舗装工	33～40						←→	
載荷試験	41							←→

(1) 舗装・高欄撤去

伸縮装置部はブレーカーによって撤去され，既設壁高欄は，**写真 3.3.6**に示すように橋軸方向に約 4m 間隔で乾式ワイヤーソーにより切断され，**写真 3.3.7**に示すようにコンクリートカッターで床版先端付近を切断する方法でクレーンにより吊り上げられ撤去された．

舗装の撤去後、床版は上面側からのたたき点検によるコンクリートの浮き、鉄筋の露出、ひび割れなどの調査が行われた。調査は既設床版に防水層がなかったため床版上面を 1cm 程度削られた状態で行われた。



写真 3.3.6 既設壁高欄の切断状況



写真 3.3.7 壁高欄の吊上げ切断状況

(2) 既設床版撤去

既設床版は、橋軸直角方向は 2 分割、橋軸方向は 2.0m 間隔に切断された。2 分割の切断（切断延長：72m）は I ビームが床版内に埋設されているために湿式のカッターが用いられたが、作業直下に東海道本線および市道が交差するため切断時に発生する濁水量の抑制として橋軸直角方向の切断（切断延長： $11.0\text{m} \times (72\text{m} / 2\text{m}) \approx 400\text{m}$ ）は、写真 3.3.8 に示すように乾式切断機が用いられた。

床版切断時の鋼桁の損傷を避けるために、コンクリートカッターは床版ハンチ下まで完全に切断せずに鋼桁と床版ハンチの接合部を写真 3.3.9 のように 50t 油圧ジャッキ 4 台で縁切りされた。床版を吊り上げて、その撤去は写真 3.3.10 に示すようにトラッククレーンで行われた。床版補修時に増設された既設縦桁や鋼製ブラケットは不要となるため床版撤去と同時期に撤去された。



写真 3.3.8 乾式切断機での床版切断状況



写真 3.3.9 既設床版の縁切り状況

鋼桁上フランジに溶接されていたスラブ止め材の除去や素地調整は、母材を痛めないよう写真 3.3.11 に示すように手作業で慎重に行われた。上フランジは、頭付きスタッドを溶植する箇所を除いて防錆のための塗装が行われた。



写真 3.3.10 既設床版の撤去状況



写真 3.3.11 鋼桁の素地調整状況

(3) プレキャスト PC 床版架設

工場で製作し現場に搬入されたプレキャスト PC 床版は、橋面上に配置した 170t トラッククレーンで架設された。A2 側の桁端部で延長床版を同時施工するため、既設床版とプレキャスト PC 床版の搬出入は P7 側に集約された。そのため、既設床版の撤去とプレキャスト PC 床版の架設は、**図 3.3.6** に示すように A2 側から P7 側への一方向に向けて行われた。1 日あたりの架設枚数は最大 7 枚であり、全 33 枚のプレキャスト PC 床版は 5 日間で架設された。騒音発生の抑制の観点から、大きな音が発生する床版撤去は昼間に行われ、プレキャスト PC 床版の架設は夜間に行われた（**写真 3.3.12**）。

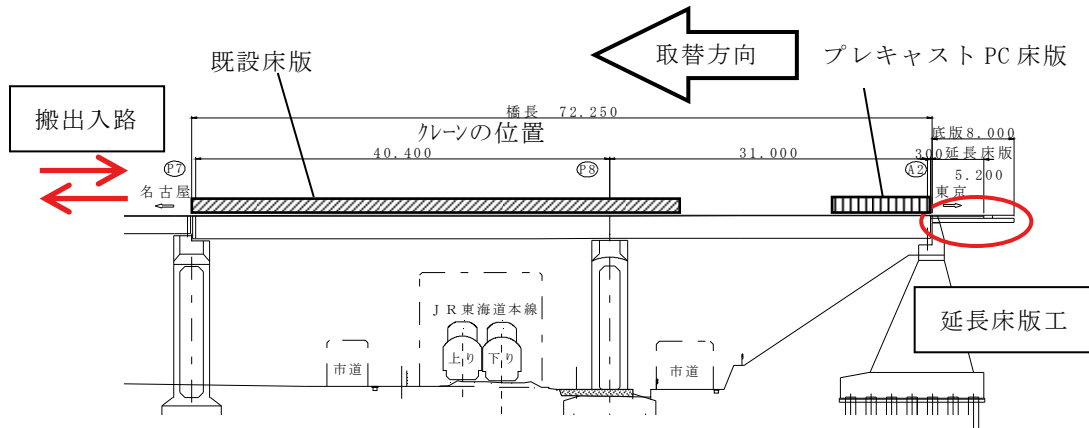


図 3.3.6 プレキャスト PC 床版の取替方向

(4) 間詰め施工

鋼桁と床版のずれ止めとして頭付きスタッドをプレキャスト PC 床版架設後に溶植した（**写真 3.3.13**）。頭付きスタッド溶植後に、鋼桁上フランジとプレキャスト PC 床版の間に無収縮モルタルを充てんして鋼桁とプレキャスト PC 床版を一体化した。**写真 3.3.14** は、プレキャスト PC 床版の架設前に張り付けられた鋼桁上フランジへの無収縮モルタル注入のための型枠用スポンジである。間詰め部に配置する橋軸直角方向鉄筋は、所定位置への配筋作業を効率的に進めるために、**写真 3.3.15** に示すようにプレキャスト PC 床版を架設する際にプレキャスト PC 床版小口面に仮格納されている。間詰め部のコンクリートは、剥落対策の目的で有機短繊維補強材を混合され、コンクリート打設は橋梁背面にコンクリートポンプ車が配置され、2 日に分けて行われた。



写真 3.3.12 プレキャスト PC 床版の架設

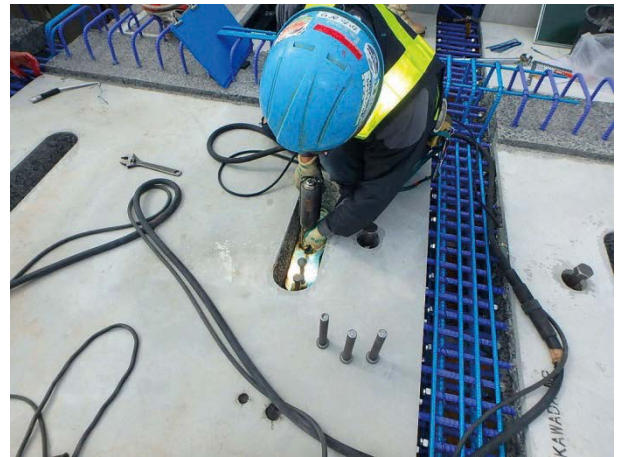


写真 3.3.13 スタッドジベルの溶植状況

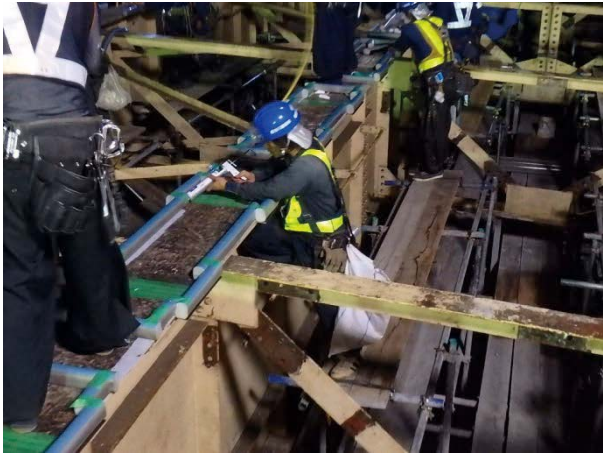


写真 3.3.14 スポンジ型枠の貼付状況



写真 3.3.15 小口面への鉄筋の仮格納

(5) 高欄工

新設する路肩側の壁高欄は従来どおりの現場打ちで施工された。配管やアンカーを設置しながら鉄筋組立と型枠設置が行われており、コンクリート打設までに10日を要している。中央分離帯側の壁高欄は落下物防止柵アンカーや通信管路を設置する必要がなく、写真 3.3.16 に示すようにプレキャスト壁高欄が用いられた。プレキャスト PC 床版にそろえて標準長を2mとした



写真 3.3.16 プレキャスト壁高欄の設置状況

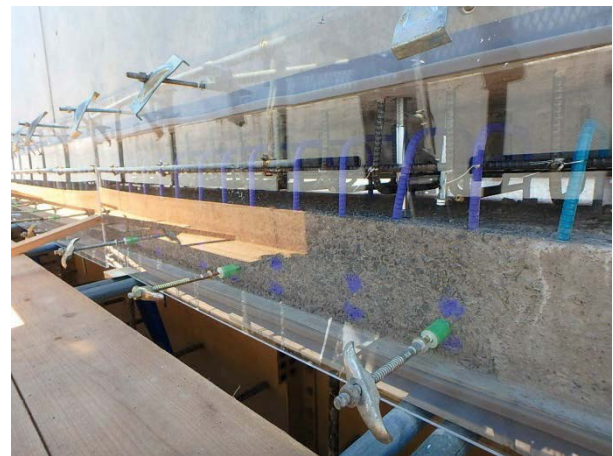


写真 3.3.17 透明型枠の設置状況

プレキャスト壁高欄 31 部材（両端部は場所打ち）は 2 日間で設置された。プレキャスト壁高欄とプレキャスト PC 床版の接合部は型枠の設置と無収縮モルタルの充てんが必要であり、この施工に 4 日を要している。品質確保の手段として写真 3.3.17 に示す透明型枠にて充てん状況の確認が行われた。

3.3.3 工期短縮の課題と要点

(1) 既往実績の整理

PC 工学会主催の PC シンポジウムが毎年開催されており、1990 年の第 1 回から 2017 年の第 26 回で、約 3500 編の論文が発表されている。論文タイトルの「床版」と「取り替える」や「取り換える・打ち変える・架け換える」のキーワードで絞り込み、RC 床版更新の工事報告に関する論文として表 3.3.3、表 3.3.4 に示す 50 編を抽出した。表中、左欄の整理番号は、例えば 19-53 の場合、第 19 回目の PC シンポジウムの 53 番目の論文を表している。

標準工事に選定した用宗高架橋と、論文中に詳細工程表が記載されている最近 10 年間に行われた実工事（向佐野橋は上・下線のため除外）の計 6 橋について施工長、規制期間、プレキャスト PC 床版の枚数などを整理し表 3.3.5 に示す。用宗高架橋を除く 5 橋は、橋梁の中央部から 2 グループの作業班で両橋台の二方向に向かってプレキャスト PC 床版が取り替えられている。

表 3.3.5 実工事における取替数量

橋梁名		用宗	青津	吹矢谷	湖辺底	伊芸	蓼野	
施工長	m	72	143	243	256	387	272	
規制期間	日	40	65	75	57	70	95	
PCa 床版	床版枚数	枚	33	69	113	120	186	131
	架設日数	日	7	20	12	20	20	25
	架設方向	—	片押し	二方向	二方向	二方向	二方向	二方向
	架設量	枚/日	7	4	10	10	10	8

橋梁ごとに施工長が異なるが、施工長と規制期間の関係は、図 3.3.7 のようにやや右上りの傾向で、図中の破線は「期間＝施工長／200×30＋30」の近似直線である。論文中に記載されている詳細工程表を表 3.3.6～表 3.3.11 に統一形式で整理した。

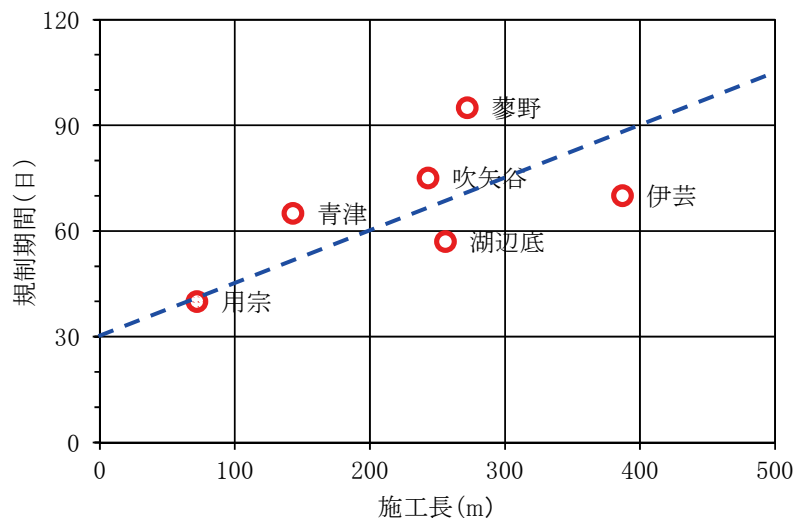


図 3.3.7 施工長と規制日数の関係

表 3.3.3 床版更新の工事報告一覧その 1 (PC シンポジウム論文集より)

整理番号	橋名	施工会社	路線	所在地	施工時期			当初の構造形式
					供用年	更新年	経過年	
1-80	箒橋	富士ビー・エスコート	国道294号	栃木	1931	1989	58	鋼15径間単純非合成2主鋼桁
1-81	五行橋	オリエンタル建設	県道	栃木	1966	<u>1989</u>	23	鋼2径間単純H型非合成桁
2-41	相場川橋	富士ビー・エス	県道	三重		<u>1990</u>		鋼単純活荷重合成H桁
2-44	戸鹿野橋	富士ビー・エス	県道	群馬	1935	<u>1990</u>	55	鋼単純トラス
3-66	濃尾大橋	ショーボンド建設	県道	岐阜	1956	1990 1991	34 35	鋼3径間ゲルバー式ワーレントラス×4連
4-33	古川渡橋(下り線)	ビー・エス	中央自動車道	山梨	1969	1993	24	鋼2+3径間鋼連続非合成鋼桁
5-99	令終橋	富士ビー・エス	国道404号	新潟	1964	<u>1994</u>	30	鋼2径間単純非合成H桁
6-36	千俣(セシジ)橋	ビー・エス	国道42号	三重	1968	<u>1995</u>	27	鋼14径間単純非合成トラス桁
6-38	松浜橋	富士ビー・エス	国道113号	新潟		<u>1995</u>		鋼単純トラス
7-9	万丈橋	オリエンタル建設	国道42号	三重		<u>1996</u>		鋼単純非合成上路式トラス
7-10	龍雲寺橋	オリエンタル建設	県道	宮城	1967	1996	29	鋼5径間ゲルバー鋼桁(吊桁部は合成桁)
9-56	朝羽大橋	オリエンタル建設	県道	福岡	1966	1998	32	鋼11径間連続鋼桁ゲルバー
9-168	柚添橋	富士ビー・エス	国道141号	長野	1971	1998	27	鋼2径間単純非合成桁
11-146	小袖橋	ピーシー橋梁	県道	群馬	1935	2000	65	鋼単純曲弦プラットトラス
11-147	加古川橋	オリエンタル建設	国道2号	兵庫	1958	2001	43	鋼17径間単純鋼桁
12-90	小橋	オリエンタル建設	国道175号	兵庫	1964	<u>2002</u>	38	鋼単純合成I桁
12-91	七北田川橋(下り線)	富士ビー・エス	東北自動車道	宮城	<u>1972</u>	<u>2002</u>	30	鋼3径間連続鋼桁
12-117	岩木川橋	ピーシー橋梁	県道	青森	1957	2002	45	鋼単径間ワーレントラス
13-63	通揚橋	オリエンタル建設	国道113号	山形	1972	<u>2003</u>	31	鋼単純合成鋼桁
13-140	木抜間橋	ピーシー橋梁	国道105号	秋田	1963	<u>2003</u>	40	鋼2径間単純活荷重合成鋼桁
13-141	松山橋	ピーシー橋梁	県道	鹿児島	1962	2003	41	鋼上路平行弦ワーレントラス
14-55	子野川橋	ピーシー橋梁	中央自動車道	岐阜	<u>1975</u>	2005	30	鋼3+2径間連続非合成鋼桁
15-28	白滝橋	オリエンタル建設	国道10号	大分	1981	2005	24	鋼単純合成2主箱桁+鋼3径間2主箱桁など
15-29	網干大橋	横河工事(ピーシー橋梁)	国道250号	兵庫	<u>1961</u>	2006	45	鋼単径間ランガー
15-30	大川橋	ピーシー橋梁	県道	秋田	1969	2005	36	鋼単純活荷重合成鋼桁
16-62	小沢川橋	ピーシー橋梁	中央自動車道	長野	<u>1975</u>	<u>2006</u>	31	鋼3+5径間連続非合成鋼桁
18-116	矢野川橋	ピーエス三菱	中国自動車道	兵庫	1975	2008	33	鋼3径間連続非合成鋼桁
19-7	渋江川橋(下り線)	ピーシー橋梁	北陸自動車道	富山	1974	2009	35	鋼3径間連続非合成鋼桁
19-53	青津橋	ピーエス三菱	中国自動車道	広島	1978	2009	31	鋼3径間連続非合成鋼桁
20-110	向佐野橋(上り・下り)	オリエンタル白石	九州自動車道	福岡	1975	2010	35	鋼4径間連続鋼桁
21-53	吹矢谷橋(下り線)	ピーエス三菱	中国自動車道	広島	1978	2011	33	鋼3+3径間連続鋼桁
21-54	湖辺底橋(上り線)	富士ビー・エス	沖縄自動車道	沖縄	1975	2011	36	鋼2+3+2径間連続鋼桁
21-55	伊芸高架橋(下り線)	オリエンタル白石	沖縄自動車道	沖縄	1975	2011	36	鋼3+3+3径間連続鋼桁
22-92	市川大橋(上り・下り)	IHIインフラ建設	播但連絡道路	兵庫	<u>1973</u>	<u>2012</u>	39	鋼単純合成鋼桁
23-78	綱木川橋(上り・下り)	IHIインフラ建設	東北自動車道	宮城	1975	2013	38	鋼2径間連続非合成鋼桁
23-79	伊芸高架橋(上り線)	オリエンタル白石	沖縄自動車道	沖縄	1975	2013	38	鋼3+3+3径間連続鋼桁
23-80	きみまち大橋	三井住友建設	国道7号	秋田	1978	2013	35	鋼2+3径間連続非合成箱桁
23-81	屋嘉第一高架橋(下り線)	富士ビー・エス	沖縄自動車道	沖縄	1975	2013	38	鋼4+3径間連続鋼桁
23-144	夢野第五橋(上り線)	ピーエス三菱	中国自動車道	島根	<u>1983</u>	<u>2013</u>	30	鋼3+2+2径間連続非合成鋼桁
24-89	明治山第二橋(下り線) 明治山第三橋(下り線)	川田建設	沖縄自動車道	沖縄	1975	2014	39	鋼4径間連続非合成鋼桁 鋼3径間連続非合成鋼桁
24-90	割石橋	IHIインフラ建設	国道41号	岐阜	1974	2014	40	鋼単純ランガーアーチ+鋼単純鋼桁
25-66	上長房橋(上り線)	オリエンタル白石	中央自動車道	東京	1968	2015	47	鋼3+3径間連続非合成鋼桁
26-81	早月川橋(下り線)	川田建設	北陸自動車道	富山	<u>1983</u>	2016	33	鋼4径間連続鋼桁
26-82	菅野川橋(上り・下り)	オリエンタル白石	中国自動車道	兵庫	1975	2015	40	鋼2径間連続非合成鋼桁
26-83	弓振川橋(下り線)	IHIインフラ建設	中央自動車道	長野	<u>1981</u>	2016	35	鋼単純合成鋼桁
26-84	屋嘉第一高架橋(上り線) 松田橋(下り線)	オリエンタル白石	沖縄自動車道	沖縄	1975	<u>2016</u>	41	鋼4+3径間連続非合成鋼桁 鋼4+3径間連続非合成鋼桁
26-85	下熊谷橋(下り線)	三井住友建設	中国自動車道	岡山	1978	2016	38	鋼2径間連続鋼桁
26-86,87	用宗高架橋(下り線)	川田建設	東名高速道路	静岡	1969	2016	47	鋼2径間連続非合成I桁
26-88	金武橋(下り線) 明治山第二橋(上り線) 明治山第三橋(上り線)	オリエンタル白石	沖縄自動車道	沖縄	1975	2017	42	鋼単純合成鋼桁+鋼3径間非合成鋼桁など 鋼4径間連続非合成鋼桁 鋼3径間連続非合成鋼桁
26-89,90	道谷第二橋(上り線)	ピーエス三菱	中国自動車道	山口	1980	2016	36	鋼3径間連続非合成鋼桁

下線()付は施工会社へ聞取り

下線()付は論文記載外

表 3.3.4 床版更新の工事報告一覧その 2 (PC シンポジウム論文集より)

整理番号	施工規模 (m)		枚数 (枚)	更新事由		床版構造		橋軸目地		幅員方向 一括/分割	分割目地 構造	通行規制		規制 日数	詳細 工程	特記事項
	長さ	幅		劣化	他	PCa	他	PC	RC			全期	開放			
1-80	284	8	<u>280</u>	○		○		○		○	RC			180		
1-81	29	9	14	○		○		○		○	モルタル					
2-41	24	10	163		拡幅		P合			○	—	○		90	有	床版構造はPC合成床版
2-44	43	6	40	○		○		○		○	—		昼間	30		
3-66	389 389	8	348 348	○		○		○		○	鉄筋溶接		昼間	158 174		1990年に岐阜側6径間、1991年に愛知側6径間
4-33	193	12	90	○		○		○		○	—	○		75	有	
5-99	33	17	14	○		○		○		○	鉄筋溶接		○			非合成Hから合成Hに構造変更
6-36	77	8	36	○	拡幅	○		○		○	短鋼棒					
6-38	66	7	<u>364</u>	○		○		○		○	—		昼間			
7-9	66	9	31	○	拡幅	○		○		○	短鋼棒		○			
7-10	163	7	<u>160</u>	○		○		○		○	—		昼間			
9-56	110	7		○		○		○		○	—		昼間			スラブコンバート工法(架設機械)
9-168	48	10	46	○		○		○		○	桁緊結			75		
11-146	28	5		○		○		○		○	—					高強度軽量プレキャストPC床版
11-147	384	6	218	○		○		○		○	—		昼間			
12-90	63	8	60	○		○		○		○	PC			75		地覆付プレキャストPC床版
12-91	104	11	53	○		RC			ループ	○	—	○		14		プレキャスト地覆
12-117	45	6	21	○		○		○		○	—		昼間			高強度軽量プレキャストPC床版(HSLスラブ)
13-63	35	10	26	○		○		○		○	RC		夜間	47		
13-140	60	9	62			○	鋼合	ループ		○	RC		○			単純桁→2径間連続、軽量PC床版28枚と鋼合成床版34枚
13-141	35	8			拡幅	○		○		○	—	○				高強度軽量プレキャストPC床版
14-55	150	10	<u>73</u>			○		○		○	—		土日	21	有	
15-28	293	13			B活	○		○		○	—	○				
15-29	58	9	30	○		○		○		○	—	○				高強度軽量プレキャストPC床版(HSLスラブ)
15-30	549	8	272	○		○		○		○	—		昼間			高強度軽量プレキャストPC床版
16-62	317	10	<u>150</u>	○		○			ループ	○	—	○		16	有	
18-116	94	10	55	○		○		○		○	—					非合成鍍金桁から合成鍍金桁に構造変更
19-7	127	12	63	○		○		○		○	—	○		19		
19-53	143	11	69	○		○			ループ	○	—	○		65	有	
20-110	210	16+16	66	○		○			エンド	○	—	○		170	有	中分を鋼床版で仮車線供用
21-53	243	10	113	○		○			ループ	○	—	○		70	有	高炉スラグ50%置換
21-54	256	11	120	○		○			ループ	○	—	○		60	有	
21-55	387	10	186	○		○			エンド	○	—	○		71	有	
22-92	40	10+10		○		○		○		○	—	○				高強度軽量プレキャストPC床版
23-78	79	17+21	81	○		○			ループ	○	—	○				
23-79	387	10		○		○			エンド	○	—	○		69		
23-80	264	14		○		○			ループ	○	RC	○		150		
23-81	228	10	112	○		○			ループ	○	—	○		50		
23-144	272	10	131	○		○			ループ	○	—	○		95	有	
24-89	175 101	10 10		○		○			ナット	○	—	○				
24-90	127	9		○		○		○		○	PC	○				高強度軽量プレキャストPC床版
25-66	20	13		○		○			エンド	○	PC		土日	10		SLJスラブ、添接板部はハンチ無しで70N
26-81	198	12	93	○		○			ナット	○	—	○		40		高炉スラグ50%置換
26-82	69	15+14	32	○		○			エンド	○	—					SLJスラブ、高炉スラグ50%置換
26-83	39	10		○		○			ループ	○	—			51		
26-84	228 268	10 10		○		○			エンド	○	—	○				
26-85	88	10	56	○		○			拡径	○	—	○				高炉スラグ50%置換
26-86,87	72	12	34	○		○			ナット	○	—	○		58		
26-88	340 175 101	11 11 11		○		○			エンド	○	—	○		90		合成桁→主桁補強し非合成
26-89,90	115	11		○		○			ループ	○	PC	隣止		170		高炉スラグ50%置換、壁高欄をプレキャスト床版付、架設機材

規模は概略値、下線()付は推定値 下線()付は施工会社へ聞取り

表 3.3.6 用宗高架橋の工程表 (整理番号 26-87) ^{1), 4)}

	開始	終了	日数	30	60	90	120
既設撤去	1	10	10	■			
PCa架設	6	10	5	■			
間詰め	8	15	8	■			
場所打ち	20	24	5		■		
伸縮装置	8	32	25	■			
壁高欄	16	32	17		■		
防水・舗装	33	40	8		■		

表 3.3.7 青津橋の工程表 (整理番号 19-53) ⁵⁾

	開始	終了	日数	30	60	90	120
既設撤去	1	30	30	■			
PCa架設	11	30	20	■			
間詰め	13	35	23		■		
場所打ち	31	50	20		■		
伸縮装置	26	50	25		■		
壁高欄	36	55	20		■		
防水・舗装	56	65	10			■	

表 3.3.8 吹矢谷橋の工程表 (整理番号 21-53) ⁶⁾

	開始	終了	日数	30	60	90	120
既設撤去	1	22	22	■			
PCa架設	11	22	12	■			
間詰め	23	30	8		■		
場所打ち	36	47	12		■		
伸縮装置	31	38	8		■		
壁高欄	36	65	30		■		
防水・舗装	66	75	10			■	

表 3.3.9 湖辺底橋の工程表(整理番号 21-54)⁷⁾

	開始	終了	日数	30	60	90	120
既設撤去	1	26	26				
PCa架設	7	26	20				
間詰め	14	18	5				
場所打ち	17	36	20				
伸縮装置	24	38	15				
壁高欄	19	45	27				
防水・舗装	46	57	12				

表 3.3.10 伊芸高架橋の工程表(整理番号 21-55)⁸⁾

	開始	終了	日数	30	60	90	120
既設撤去	1	28	28				
PCa架設	9	28	20				
間詰め	11	45	35				
場所打ち	16	50	35				
伸縮装置	51	53	3				
壁高欄	21	60	40				
防水・舗装	46	70	25				

表 3.3.11 蓼野第五橋の工程表(整理番号 23-144)⁹⁾

	開始	終了	日数	30	60	90	120
既設撤去	1	45	45				
PCa架設	21	45	25				
間詰め	41	50	10				
場所打ち	46	60	15				
伸縮装置	46	55	10				
壁高欄	51	85	35				
防水・舗装	86	95	10				

各橋梁で施工長が異なるので、橋梁同士で比較できるように、実際の工程日数を補正する。補正係数 k は施工長 200m に対する増減比率の 1/2 とし、換算工程日数を次式から算出する。

$$\text{換算工程日数} = \text{実工程日数} / k$$

k : 補正係数

$$\left[\begin{array}{l} \text{施工長が 280m の場合} \cdots 40\% \text{ 増なので、補正係数は 0.2 増の } k = 1.2 \\ \text{施工長が 80m の場合} \cdots 60\% \text{ 減なので、補正係数は 0.3 減の } k = 0.7 \end{array} \right]$$

既設床版撤去・プレキャスト PC 床版架設・壁高欄設置などの工種ごとの換算工程日数は、表 3.3.12 に示すとおりである。なお、伸縮装置の日数は換算せずに実工程日数のままで、換算規制日数は、舗装終了日を補正係数で除した値である。各工種について橋梁ごとで比較し図 3.3.8 に示す。既設撤去とプレキャスト PC 床版の架設工程にはややばらつきがあり、短期に施工できた事例が参考になりそうである。間詰めは他の工種とラップして施工ができ工程のクリティカルラインとならないため、少しずつ施工する場合と短期間に集中して施工する 2 パターンが見受けられる。高欄と舗装については、橋梁ごとでの差異が小さく、高欄の急速化が全体工期の短縮に寄与すると考えられる。

表 3.3.12 200m あたりの換算施工工程

橋梁名		用宗	青津	吹矢谷	湖辺底	伊芸	蓼野	平均
施工長 (m)		72	143	243	256	387	272	—
補正係数		0.7	0.9	1.1	1.1	1.5	1.2	—
換算工程 日数(日)	既設撤去	14	33	20	24	19	38	25
	PCa 架設	7	22	11	18	13	21	15
	間詰め	11	26	7	5	23	8	13
	場所打ち	7	22	11	18	23	13	16
	伸縮装置	25	25	8	15	3	10	14
	壁高欄	24	22	27	25	27	29	26
	防水・舗装	11	11	9	11	17	8	11
換算規制日数 (日)		57	72	68	52	47	79	63

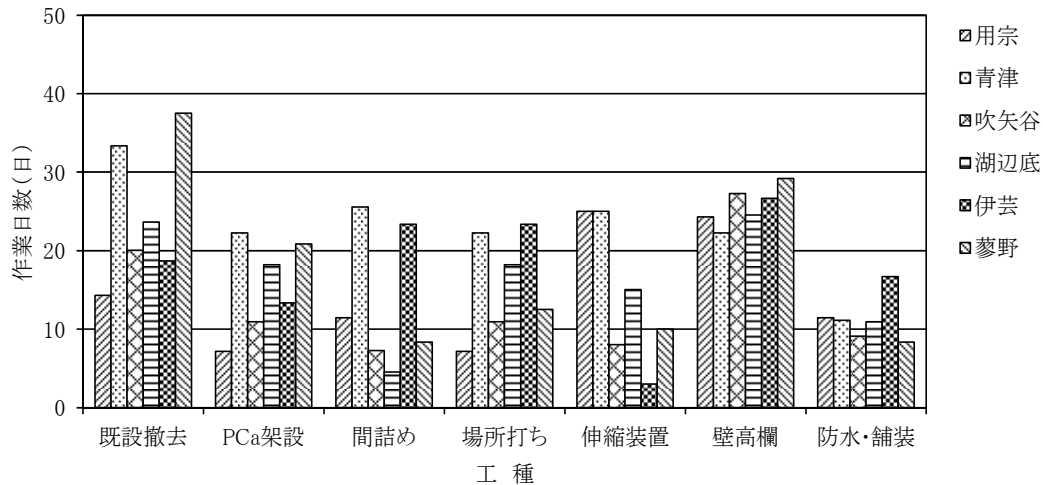


図 3.3.8 換算工程日数の比較

(2) 既往実績での工夫と対策

論文に公表されている工期短縮の工夫と対策を、表 3.3.13 にまとめた。整理番号は表 3.3.3 と表 3.3.4 に対応している。備考欄には工夫と対策に対応する図番号と参考文献を記している。

表 3.3.13 既往実績での工夫と対策

項目	整理番号	橋名	工夫と対策	備考
版の割付け	13-140	木狭間橋	拡幅有の斜橋で端部を三角形版	図 3.3.9(a) 参照 文献 ¹⁰⁾
	21-53	吹矢谷橋 (下り線)	曲線橋で中間支点上を異形版	図 3.3.9(b) 参照 文献 ⁶⁾
	26-81	早月川橋 (下り線)	斜橋で端部を台形版(中間部は長方形)	図 3.3.9(c) 参照 文献 ¹¹⁾
	26-82	菅野川橋 (上り・下り)	斜橋で全てを平行四辺形版	図 3.3.9(d) 参照 文献 ¹²⁾
間詰め鉄筋	16-62	小沢川橋	鉄筋挿入用に桁上のループ径を小径化	図 3.3.10(a) 参照 文献 ¹³⁾
	21-55	伊芸高架橋 (下り線)	プレキャスト PC 床版小口に鉄筋を仮収納して架設	図 3.3.10(b) 参照 文献 ⁸⁾
	24-89	明治山第二橋 (下り線)	プレキャスト PC 床版小口に鉄筋を仮収納して架設	図 3.3.10(b) 参照 文献 ¹⁴⁾
壁高欄	26-87	用宗高架橋 (下り線)	プレキャスト壁高欄を採用	図 3.3.10(c) 参照 文献 ⁴⁾
	26-89	道谷第二橋 (上り線)	壁高欄をプレキャスト PC 床版付きにして運搬・架設	図 3.3.10(c) 参照 文献 ¹⁵⁾
延長床版	26-85	下熊谷川橋 (下り線)	延長床版部にプレキャスト PC 床版を採用	図 3.3.10(d) 参照 文献 ¹⁶⁾

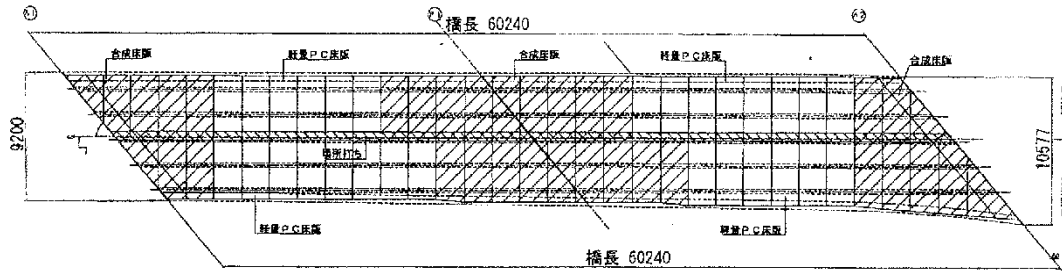
(3) 工期短縮の可能性

用宗高架橋の RC 床版の取替では、床版の搬出入が一方向からに限定されたが、壁高欄にプレキャスト壁高欄（部材長 2m）を採用し終日対面通行規制で昼夜連続施工をしたため、平均的な工程が確保されている。床版の取替方向を 2 グループの作業班で橋梁中央部から二方向にし、また、プレキャスト壁高欄で部材長を 2 倍の 4m にすれば架設期間を半減でき、表 3.3.14 に示すように規制日数を 3/4 に短縮できる可能性がある。

表 3.3.14 工程短縮の可能性

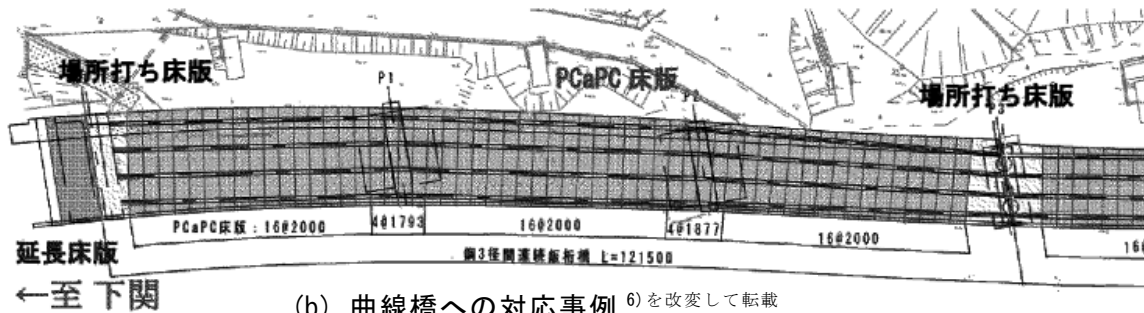
工 種	施工日数		条 件
	実績	可能性	
舗装撤去，床版切断	4	4	
床版撤去，PCa 床版架設	6	3	床版取替を二方向
間詰め施工	5	5	
壁高欄工	13	6	プレキャスト壁高欄（4m）の採用
防護柵設置	4	4	
防水，舗装	8	8	
合 計	40	30	

拡幅有の斜橋で端部を三角形版・・・木挟間橋



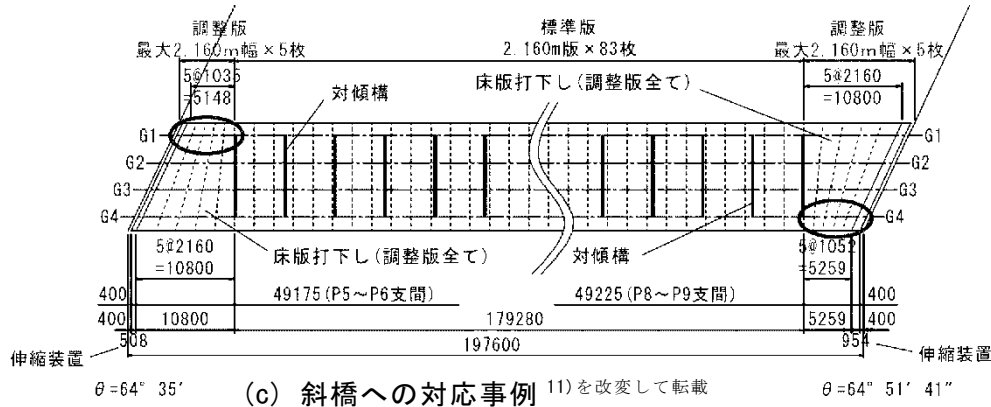
(a) 斜橋への対応事例¹⁰⁾

曲線橋で中間支点上を異形版・・・吹矢谷橋



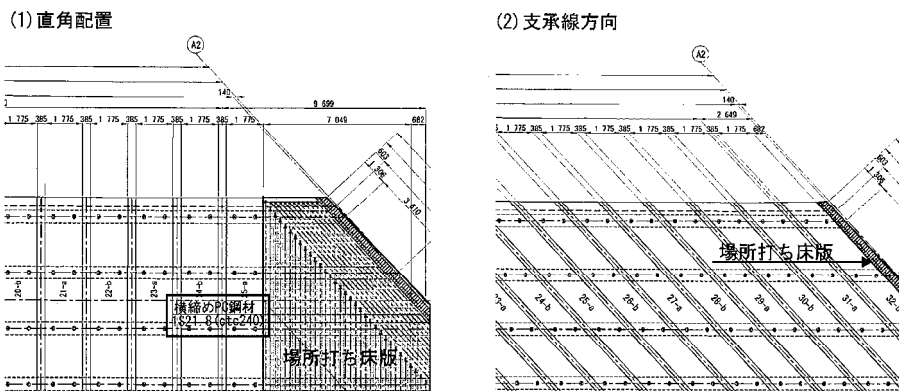
(b) 曲線橋への対応事例⁶⁾を改変して転載

斜橋で端部を台形版（中間部は長方形）・・・早月川橋



(c) 斜橋への対応事例¹¹⁾を改変して転載

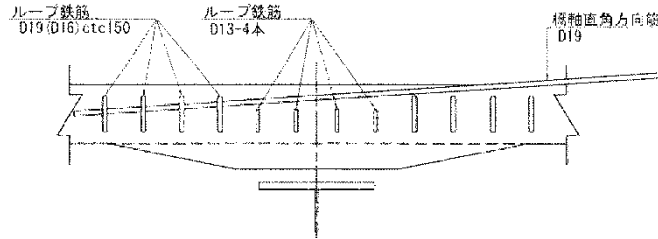
斜橋で全てを並行四辺形版・・・菅野川橋



(d) 斜橋への対応事例¹²⁾

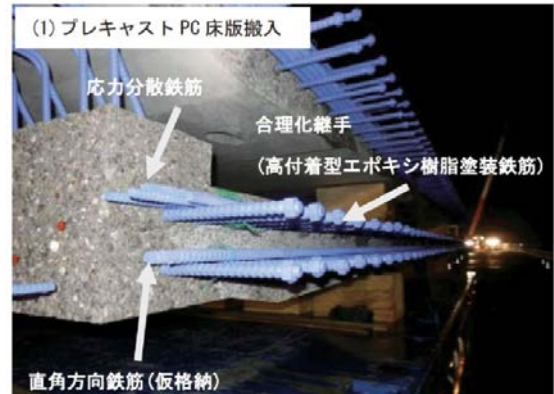
図 3.3.9 工程短縮の工夫と対策 (その1)

鉄筋挿入用に桁上のループ径を小径化・・・小沢川橋



(a) 配筋の効率化への対応事例¹³⁾

プレキャスト PC 床版小口に鉄筋を仮収納して架設・・・伊芸高架橋, 明治山第



(b) 配筋の効率化への対応事例^{8), 14)}

プレキャスト壁高欄を架設・・・用宗高架橋

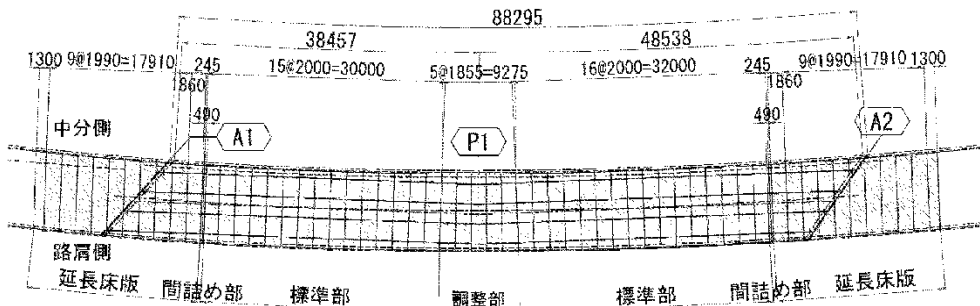


壁高欄をプレキャスト PC 床版付きにして架設・・・道谷第二橋



(c) 壁高欄の効率化への対応事例^{4), 15)}

延長床版部もプレキャスト PC 床版を架設・・・下熊谷川橋



(d) 延長床版の効率化への対応事例¹⁶⁾

図 3.3.10 工程短縮の工夫と対策 (その 2)

(4) 社会的影響の最小化のための要点

床版を取り替える際には交通規制が必須となる。交通規制を実施した場合、交通量の多い路線では工事渋滞が発生する可能性がある。この交通渋滞の発生により走行時間や走行経費の増加、渋滞後尾での交通事故の増加などの社会的な影響が生じることとなるため、工事計画時には、交通渋滞の発生を極力抑えるよう計画立案することが求められる。

交通渋滞は、車線数や幅員などの減少により道路の交通容量が低下した状態で交通容量を上回る交通流が発生した時間帯において渋滞が発生する。また、交通渋滞が発生している時間が長いほど延べ渋滞時間・延べ渋滞延長が増加することとなる。

このため、図 3.3.11 に示すように RC 床版更新では極力交通容量を低下させない工事規制方法の採用や、工事規制期間の短縮などにより社会的な影響を最小化することが必要となる。

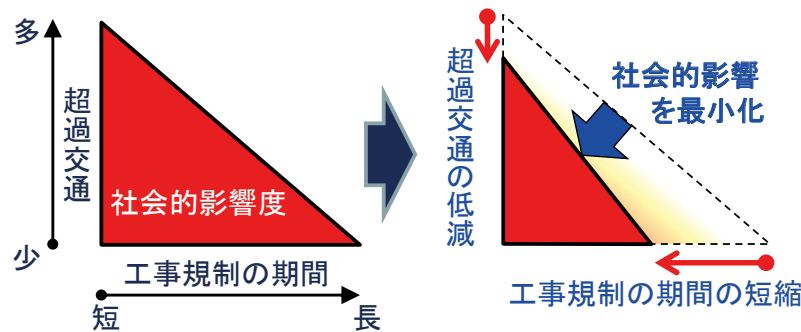


図 3.3.11 社会的影響の低減（イメージ）

超過交通の低減、および工事期間の短縮に関する各施工段階における要点を以下に示す。

1) 工事計画段階

工事計画段階では、超過交通や工事規制期間を最小化するために、交通規制計画と架設計画を併せて検討すると良い。

① 交通規制計画

交通渋滞の発生を抑制するためには、交通量の多い時期を避けて工事計画を立案することが重要となる。一般的には年末年始、GW、夏休み・お盆などの繁忙期を避けた時期において工事を実施する事例が多い。しかしながら、重交通路線においては、繁忙期を避けた時期でも交通渋滞が生じることから、各路線特性を十分踏まえたうえで交通規制計画を立案する必要がある。表 3.3.15 に路線特性を踏まえた交通規制計画（案）を示す。

表 3.3.15 路線特性と交通規制計画（案）イメージ

路線	路線特性	交通規制方法（案）
僅少交通	・昼夜ともに交通量が少ない	・対面通行規制など
重交通	・周辺道路ネットワークが充実しておらず、迂回路の選択肢がない	・夜間通行止め規制（日々解放）など ・仮設拡幅による対面通行規制など
	・周辺道路ネットワークが充実しており、迂回路の選択肢がある ・通勤などで利用されるなど、上り方向、下り方向の時間帯交通量が異なる	・昼夜間通行止め規制（終日）など ・対面通行規制（ロードジッパーによるリバーシブルレーンの導入）など

2) 工事实施段階



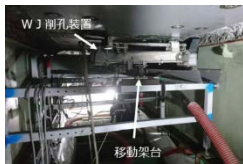

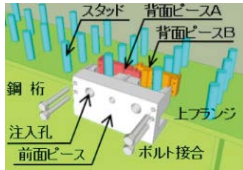

工事实施段階では、交通規制期間を最小化するために、施工計画、工事实施方法などについて検討すると良い。以下に、これまで行われてきた事例を解説する。

① 鋼合成桁の床版撤去

鋼非合成桁の撤去については、カッターなどにより床版を切断した後に、ジャッキによって鋼桁上フランジと床版を剥離させている事例が多い。鋼非合成桁に配置された床版留め構造（V型添接鉄筋）はジャッキにより引きはがすことが可能であるが、鋼合成桁のずれ止め構造（頭付きスタッドなど）はジャッキにより容易に引きはがすことができず、鋼桁へ影響を与えることも想定される。このため、鋼合成桁の床版取替えでは、鋼桁上フランジ部分を除く床版部分をあらかじめ撤去し、その後ブレイカーなどで上フランジ部分の床版コンクリートをはつり除去している。

このように鋼合成桁の床版撤去作業には非常に時間を要するため、様々な対応が実施・検討されている。過去の施工事例を表3.3.17に示す。

表 3.3.17 過去の鋼合成桁の床版撤去事例（参考）

橋梁名	施工内容	工事状況
西名阪自動車道 御幸大橋 ^{19), 20)}	工事規制までに既設ウェブ上端を事前切断・ボルト接合しておき、床版撤去時に上フランジごと床版を撤去する	  <p>既設ウェブの事前切断作業</p>
阪神高速道路 玉出入路 ²¹⁾	工事規制までにWJにおいてハンチコンクリートを除去し、鋼材とモルタルによる仮設補強材にて床版と鋼桁を固定する。工事規制開始後、仮設補強材を取り外し、頭付きスタッドスタッドを切断し床版を撤去する	    <p>ずれ止めの事前切断作業</p>

② 架設部材のプレハブ化による施工能力の向上

床版取替え工事では、場所打ちコンクリートにより床版、壁高欄などを構築する場合がある。しかしながら、現場でコンクリート構造物を構築するためには、型枠・鉄筋の組み立て、生コン打設、養生、脱型など、複数工程を行うため施工に時間を要している。

近年においては、工事期間の短縮や、適切な労働力の確保などを目的に工場製作による屋内作業化が求められている。床版を取り替えた過去の施工事例を表3.3.18に示す。

表 3.3.18 架設部材のプレハブ化の事例

橋梁名	対応項目	工事内容
木狭間橋ほか	斜橋などにおける端部床版の場所打ち作業の省力化	斜橋などの床版端部の台形形状部分においてプレキャストの特殊形状版を製作し、場所打ち床版範囲を最小化する
用宗高架橋ほか	壁高欄の場所打ち作業の省力化	場所打ち壁高欄に代わり、プレキャスト壁高欄を採用する

③ 床版間詰め作業の効率化による施工能力の向上

プレキャスト床版では、床版同士の橋軸方向接続としては RC ループ継手構造（場所打ちコンクリートによるループ鉄筋構造）が一般的である。RC ループ継手構造は、場所打ちコンクリートの打設や橋軸直角方向の鉄筋組立て作業に時間を要することとなる。このため、現場作業の省力化などを目的とした様々な継手構造が研究開発されており、現場ニーズに応じた最適な継手構造の採用を検討すると良い。なお、継手構造については 2.2.3 項のプレキャスト床版相互の接合構造を参考にすると良い。

④ 低騒音機械の導入による施工能力の向上

重交通路線では日あたりの施工能力を向上させ、延べ工事規制期間を短縮することが求められることから、現場によっては複数パーティーの導入や二交代制の導入などが計画される。しかしながら、二交代制では昼間作業と夜間作業に区分され工事实施することとなるが、特に夜間作業の実施に際しては周辺家屋へ与える工事騒音が問題となり作業内容が限定される場合が多い。このため、低騒音・低振動型建設機械を導入し夜間作業の施工能力を向上させることも有効である。例えば、超低騒音型ラフタークレーン、低騒音型コンクリートカッター、低騒音型発動発電機などの採用が挙げられる。

参考文献（3.3 工期短縮のための施工事例研究）

- 1) 真田修，倉田朋和，佐藤徹也，竹沢正文，北川学，黒木武：用宗高架橋（下り線）の床版取替え工事，建設図書，橋梁と基礎，Vol. 51，No. 1，2017.
- 2) 表真也，吉松秀和，中山良直，松井繁之，大澤浩二，水野 浩：床版取替え用プレキャスト PC 床版の合理化継手の開発，土木学会，構造工学論文集，Vol. 60A，2014.
- 3) 吉松秀和，佐藤徹也，倉田朋和，小松一明：東名高速道路用宗高架橋（下り線）床版取替え工事－設計・計測について－，プレストレストコンクリート工学会，第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2017.
- 4) 北川学，真田修，倉田朋和，山岸俊一：東名高速道路 用宗高架橋（下り線）床版取替え工事－施工について－，プレストレストコンクリート工学会，第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2017.
- 5) 本荘清司，中野将宏，田中寛規，桐川潔：高耐久化を目指した床版取替え（中国自動車道青津橋），プレストレストコンクリート工学会，第 19 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2010.
- 6) 本荘清司，福井誠司，田中寛規，桐川潔：高耐久化を目指した床版取替え（中国自動車道吹矢谷橋），プレストレストコンクリート工学会，第 21 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2012.

- 7) 宇土力, 進藤哲也, 駒谷大三: 湖辺底橋床版補修工事における昼夜連続対面通行規制の工程短縮施工, プレストレストコンクリート工学会, 第 21 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2012.
- 8) 脇坂英男, 駒谷大三, 森崎拓也, 岩渕貴久: エポキシ樹脂塗装エンドバンド継手を用いた伊芸高架橋の床版取替え工事, プレストレストコンクリート工学会, 第 21 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2012.
- 9) 本荘清司, 田中寛規, 岩井利裕: 高耐久化を目指した床版取替え (中国自動車道蓼野第五橋), プレストレストコンクリート工学会, 第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2014.
- 10) 村岡洋一, 関根肇, 甲谷松夫: 高強度軽量プレキャスト PC 床版・プレキャスト合成床版による鋼橋 RC 床版の取替え工事—木狭間橋工事報告—, プレストレストコンクリート工学会, 第 13 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2004.
- 11) 岩瀬祐二, 山田稔, 本庄正樹, 今井平佳: 北陸自動車道早月川橋床版更新工事の設計・施工, プレストレストコンクリート工学会, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2017.
- 12) 松永徹, 岩谷祐太, 永久直樹, 飯田大輝: 中国自動車道菅野川橋床版取替え工事の施工報告, プレストレストコンクリート工学会, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2017.
- 13) 郷保英之, 竹内彰隆, 尾辻真紀, 城代和行: プレキャスト PC 床版を用いた床版取替え工事について—中央自動車道小沢川橋—, プレストレストコンクリート工学会, 第 16 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2007.
- 14) 福田健作, 西谷朋晃, 村田耕二, 吉松秀和: 沖縄自動車道明治山第二橋, 第三橋の床版取替え工事, プレストレストコンクリート工学会, 第 24 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2015.
- 15) 本荘清司, 山下恭敬, 桐川潔, 山村智: 半断面施工による高耐久化を目指した床版取替え—中国自動車道道谷第二橋—, プレストレストコンクリート工学会, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2017.
- 16) 中島大樹, 本荘清司, 山下恭敬, 中積健一: 高耐久化を目指した床版取替え (中国自動車道 下熊谷川橋), プレストレストコンクリート工学会, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2017.
- 17) 土木学会鋼構造委員会: 鋼橋の大規模修繕・大規模更新 - 解説と事例 -, 鋼構造シリーズ 26, pp. 52-60, 2016.
- 18) 土木学会: 橋 Bridges in Japan, pp. 108-109, 1998-1999.
- 19) 光田剛史, 木原通太郎, 山田秀美, 龍頭実, 水野浩, 原考志: 西名阪自動車道 御幸大橋 (下り線) II 期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 45, No. 9, pp. 15-21, 2011.
- 20) 光田剛史, 木原通太郎, 久米将紀, 向台茂, 山浦明洋, 白水晃生: 西名阪自動車道 御幸大橋 (上り線) 床版取替え III 期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 46, No. 2, pp. 53-64, 2012.
- 21) 鈴木英之, 中山栄作, 佐竹康伸, 中山佳久, 齋藤公生, 村岸聖介: 阪神高速道路 15 号堺線 玉出入路床版取替え工事への新技術の適用, 建設図書, 橋梁と基礎, Vol. 53, No. 2, pp. 42-47, 2019.

3.4 高速施工を目指す米国の ABC プロジェクト

3.4.1 ABC プロジェクト

米国はインフラへの大規模な投資が日本に比べ 20 年ほど早く行われており¹⁾、そのための維持補修や更新事業も日本に先んじて行われてきた。現在も、凍結防止剤を散布する北部を中心に鋼橋やコンクリート橋の更新工事が行われている^{2,3)}。更新あるいは維持修繕工事における既存交通や周辺環境への影響低減は米国も日本と同様に求められており、そのための急速施工が必要とされている。そこで、その開発と実装のために、FHWA（連邦道路管理局）が中心となって 2000 年代後半から ABC (Accelerated Bridge Construction) プロジェクトが推進されており⁴⁾、2011 年版のマニュアル⁵⁾が最終版として公開されている。急速施工の手段として、橋梁部材のプレキャスト化、トランスポーターを用いた橋梁の架設、横取り設備を用いた施工方法など多くの開発が行われている^{6,7)}。例えばプレキャスト化では、普及が進むように床版を含めた鋼桁や PC 桁の高速施工を可能とする標準構造が準備されている⁶⁾。ここでは、ABC プロジェクトの目的や経緯を紹介するとともに、代表的な 3 工事を解説する。なお、本節の ABC プロジェクトで用いられる用語を表 3.4.1 にまとめている。

(1) ABC プロジェクトの目的と分野

ABC プロジェクトがここまでの成果を得ることができたのは、TRB と AASHTO や FHWA や各州 DOT と大学などの研究機関の貢献によるところが大きく⁸⁾、このプロジェクトが国家規模で横断的に行われていることがわかる。これを裏付けるように 2018 年に上述した標準構造が AASHTO の LRFD Guide Specifications for ABC に標準図として掲載されている⁹⁾。プレキャスト化された標準構造は、上部工の他に、インテグラルアバット、セミインテグラルアバット、橋台や橋脚などの下部工、踏掛版など橋梁を構成する部材全般に及んでいる。

ABC プロジェクトの目的は、既存交通へ与える影響の最小化、作業員や地域住民のための安全面での向上、プレキャスト部材の適用による品質の向上、周辺環境へ与える影響の最小化、が挙げられている¹⁰⁾。

次に ABC プロジェクトが進める分野を図 3.4.1¹⁰⁾に示す。部材のプレキャスト化、架設工法や撤去工法に加え地盤も含まれていることが特徴である。この他に追加調査として UHPC (Ultra High Performance Concrete) が加えられている⁸⁾。また、調査研究を継続的に深めるため、2013 年 9 月に ABC University Transportation Center をフロリダ国際大学に開学し、毎年工事閑散期となる 12 月に、この大学を中心に ABC に関する会議が開かれている⁸⁾。他にも同研究施設で普及のためのセミナーなどが開催され、啓蒙・普及活動が進められている。

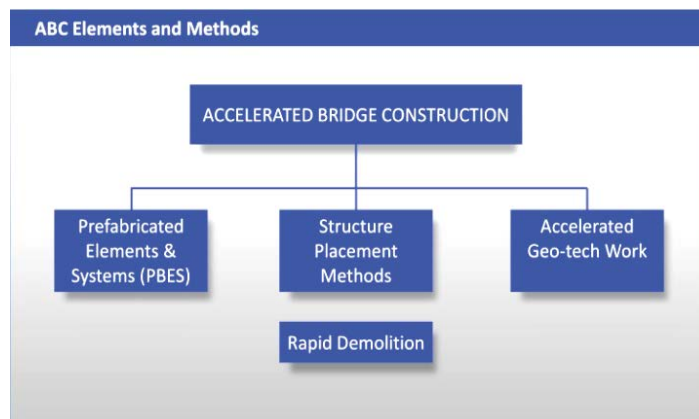


図 3.4.1 ABC プロジェクトが注力する分野¹⁰⁾

表 3.4.1 ABC プロジェクトで用いることの多い用語説明

TRB :	Transportation Research Board の略。 TRBは米国で1863年に設立されたThe National Academies of Sciences , Engineering and Medicine (科学やエンジニアリングや医学に関する国家的なアドバイス機関) のなかのThe National Research Council に所属しており, 主に交通分野での技術革新を担っている。
NCHRP :	National Cooperative Highway Research Program の略。 TRBが高速道路の管理者や技術者が直面する課題解決のためもっとも効果的なアプローチで取組むよう組織する研究プログラム。このプログラムが AASHTOの委員会や各DOTの管理者で研究の基礎となり発展する。
FHWA :	Federal Highway Administration の略。 連邦交通省の道路管理局。地方政府の技術面かつ財政面での支援も行う。
AASHTO :	American Association of Highway and Transportation Officialsの略。 米国高速道路交通協会。高速道路に関する各基準を整備する機関。
SHRP2 :	The second Strategic Highway Research Program の略。 第2次戦略的高速道路調査研究プログラム。高速道路の安全性の向上渋滞の解消, 道路や橋梁のリニューアルを主として扱っている。
PBES :	Prefabricated Bridge Elements and Systems の略。 橋梁のプレキャスト化とシステム化。ABCプロジェクトの中核をなす。
UHPC :	Ultra High Performance Concrete の略。 超高機能コンクリート。基準圧縮強度で150N/mm ² , 引張強度で5N/mm ² 以上が目安とされている。一般的には, セメント, シリカヒュームやフライアッシュなどの微細な粒子の結合体, 金属系短繊維が含有されており, 粗骨材は含まない。現場打ちに対応できる仕様も開発されている。水セメント比が小さいので, 耐久性にも優れている。
PPC 舗装 :	Polyether Polymer Concrete の略。 ポリエステル・ポリマー・コンクリート。施工後2時間で交通開放でき急速施工に対応できる。防水機能があり, 防水層は不要とされている。PCM舗装の一種。単価が高いこともあり, 約 25mmの薄層舗装に用いられる。
PCM 舗装 :	Polymer Cement Mortar の略。 ポリマーセメントモルタルを用いた舗装。
DOT :	Department of Transportation の略。 道路局。
リンクスラブ :	リンクスラブ構造は, 単純桁を中間支点部の鉄筋コンクリート床版だけで連結する連続構造。橋軸方向の鉄筋が密に配置される。
I-** :	Interstate-** の略。*は整数。 州間高速道路と呼ばれており, 米国交通の大動脈である。
セミインテグ ラルアバット :	インテグラルアバット構造は杭が変形することで橋梁に橋軸方向の温度応力を発生させないことが特徴であるが, セミインテグラルアバット構造は上下部構造を分離させることで直接基礎や剛な基礎にも適用できる。

(2) ABC プロジェクトの経緯

ABC プロジェクトの経緯を表 3.4.2 に示す。その発端は 1985 年に国家レベルで高速道路の課題解決を行うプログラムである NCHRP にプレキャスト部材の橋梁への適用が認定されたことであり、急速施工により環境への負荷が軽減されたことが報告されている⁸⁾。鋼橋の床版更新に関しても 1988 年に急速施工を行うためにプレキャスト床版の適用事例と載荷試験が報告されている¹¹⁾。さらに橋梁床版の更新工事での急速施工化に関しても NCHRP のプログラムで取組まれ、1998 年に報告書が出版されている¹²⁾。この報告書では、フルプレキャスト床版の構造や床版と主桁との接続方法、既設床版の撤去工法などに力点が置かれている。それ以降も、2003 年に NCHRP から 2 回目の「プレキャスト部材の橋梁への適用検討」が出版され、翌年に日本と欧州への橋梁へのプレキャスト部材の適用に関する調査のためにスキヤンツアーが行われている¹³⁾。このスキヤンツアーでは、新東名高速道路でプレキャスト化されたプレストレストコンクリート床版が大規模に使用された東海大府高架橋や工場製プレキャストセグメント部材で施工された安城高架橋、JR 東日本による東北縦貫線の架設工事などの調査や見学が行われている。

2005 年には議会から FHWA が主体となった上述の団体が橋梁の急速施工化に取り組むための予算措置とそのプログラムである SHRP2 が承認され、2011 年に ABC マニュアルがその成果として出版されている。SHRP2 は舗装や基礎なども含んだ 20 以上のワーキンググループと 100 以上のプロジェクトで構成されており、そのうち R04 の Innovative Bridge Designs for Rapid Renewal で、上述の文献^{6),7)}を刊行している。さらに SHRP2 の活動の延長が認められ、2012 年に議会で再び予算化されるに至った⁸⁾。

一方、ABC プロジェクトを実装させるために、パイロット工事が 2 つ行われた。そのうちの 1 つがニューヨーク州で行われた I-84 の跨道橋の横取り工事¹⁴⁾で、もうひとつが次に紹介する 2011 年に竣工したアイオワ州で行われた下部工を含めた橋梁の更新工事であった⁸⁾。

表 3.4.2 ABC プロジェクトの経緯

年	ABC関連の出来事
1985 年	NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) でプレキャスト部材への橋梁適用検討を着手
1988 年	鋼橋の床版更新の急速施工のためのプレキャスト床版の適用事例と載荷試験の報告
1998 年	NCHRP で橋梁床版更新の急速施工化に関する取り組み
2003 年	再度「NCHRP でプレキャスト部材の適用検討」が出版された
2004 年	FHWA から日本と欧州へ橋梁のプレキャスト部材の適用状況調査
2005 年	議会から急速施工検討のための予算措置
2011 年	ABC マニュアルが完成
2011 年	パイロット工事 2 件が竣工
2012 年	SHRP2 (Stragic Highway Research Program) で ABC プログラムを再度議会が承認し、予算化
2013 年	ABC University Transportation Center がフロリダ国際大学に開学。以降同校で ABC のシンポジウムが催される
2018 年	ABC マニュアルでの図面が AASHTO の LRFD Guide Specifications for ABC に標準図が掲載

3.4.2 US Highway 6 over Keg Creek Bridge^{7), 15), 16)}

このプロジェクトは、米国で比較的良好な規模の橋として供用後 60 年以上経過した PC 橋が、橋梁全体の更新工事として ABC プロジェクトのパイロット工事に選ばれた。橋梁の幅員が狭いことから拡幅することとなり、基礎構造と下部構造を含めた上部構造の架け替えが、車両通行止めの期間をわずか 14 日という短期間で施工されたことが特徴である。なお本橋の工事には、FHWA からアイオワ州道路局に 40 万ドルが付与されている。

本プロジェクトの内容は、28 フィート (8.534m) から 44 フィート (13.411m) への拡幅を含む 3 径間連続 PC 橋から 3 径間連続鋼鈹桁橋への上部構造の架け替えである。更新工事期間中は橋面上の交通を全面通行止めして工事は行われた。ただし、杭基礎は、交通規制前にあらかじめ施工し、河川改修やその護岸工事は上部工架け替え後に行われた。橋脚や上部工は近くに製造ヤードを設け、そこで製造するいわゆる現場ヤードでのプレキャスト化が採用されている。図 3.4.2 に当該橋梁の架橋位置図を示す。図 3.4.3 に上部工の平面図を図 3.4.4 に断面図を示す。平面図の橋台部外に示される構造は、踏掛版である。以下に、プロジェクト概要を示す。

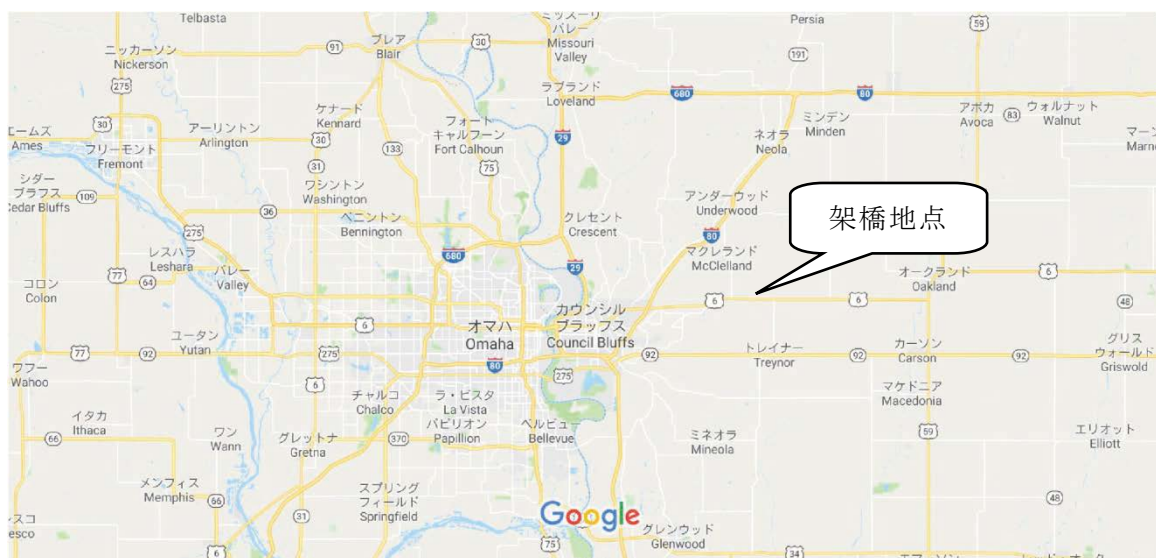


図 3.4.2 架橋位置図

(1) プロジェクト概要

橋梁名：US Highway 6 over Keg Creek Bridge

場所：アイオワ州、ポッタワタミー郡

更新年度：2011 年 11 月

建造年度：1953 年

発注者：アイオワ州道路局

橋梁形式：3 径間連続 PC 橋 ⇒ 同鋼鈹桁 (28 フィートから 44 フィートへ拡幅)

橋長：180 フィート (54.864m)

中央支間長：70 フィート (21.336m)

規制方法：14 日連続

(杭などはあらかじめ施工，河川や護岸工事は供用開始後の後日施工)

受注金額：\$ 2.67 Million (2487 \$ / m²)

日交通量：3,890 台 (2009 年)

主 桁：W30 x 99(桁高 75.3cm, 腹板厚 13.2mm フランジ幅 265mm, フランジ厚 17mm)
 床 版 厚：8.5 インチ (21.6cm)

主桁間隔：ユニット鋼桁間が 4 フィート 6 インチ (137cm), それ以外 3 フィート 4 インチ (102cm)

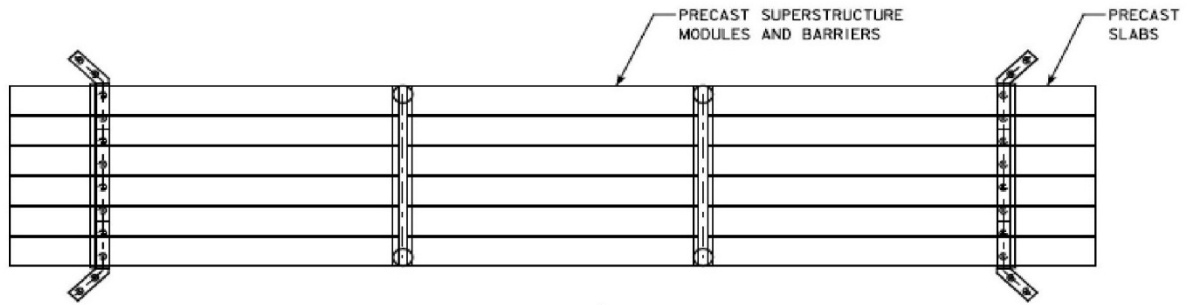


図 3.4.3 橋梁の平面図¹⁵⁾

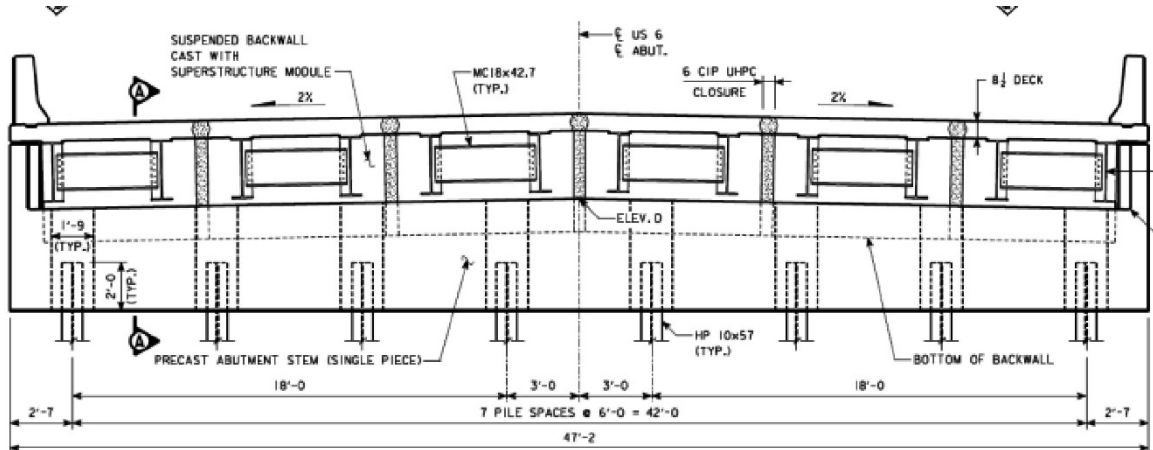


図 3.4.4 橋梁の断面図¹⁵⁾

(2) 更新後の上部工の構造

本橋に適用されている鋼桁と床版は、ABC プロジェクトで標準構造に採用されている。鋼桁は図 3.4.5 に示すように、2 本 1 組で床版と壁高欄と合わせてユニット化され 40, 70, 100, 130 フィートの各支間長に適用される。鋼桁は H 形鋼で支間長によってそれぞれサイズが決められ、無補剛である。ユニットとなる主桁間は横桁で結ばれているが、ユニット同士の間は横桁で結ばれない。ユニットの幅は 8 フィート以下、つまり 2.5m 以下である。また、横構はない。床版は作業ヤードで配筋後コンクリートを打込み、鋼桁に合成構造としてスタッドで取り付けられている。壁高欄もヤードで床版施工後に建造されることが多い。連続桁形式を取る場合に負曲げモーメントの発生する中間支点部は、単純桁として架設して、連結後に作用する活荷重などの負曲げモーメントに対し、引張り側となる上フランジ側は PC 鋼棒で緊張しプレストレス力を与え、圧縮側となる下フランジ側は高力ボルトによるスプライスでお互いの桁を接続して抵抗する構造としている。この施工状況のわかる写真を次項 (3) に示す。

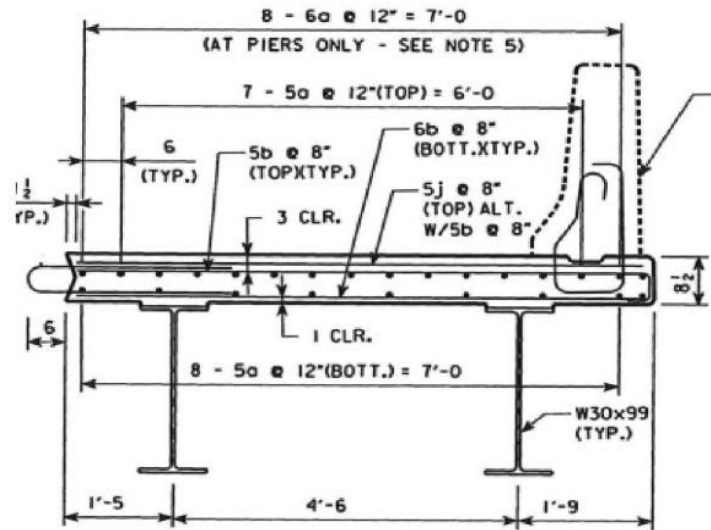


図 3.4.5 : 橋梁ユニットの断面図¹⁵⁾

プレキャスト床版間の間詰め部のコンクリートには現場打ちのUHPC(Ultra High Performance Concrete)が用いられており、これもABCプロジェクトで進められている。UHPCには十分な接合力があることから、橋軸方向の縦目地としての間詰め部の間隔は6インチと短い。この構造詳細を図3.4.6に示す。橋台部は、図3.4.7に示すように伸縮装置を桁からはずすことで漏水をなくす構造を採用しており、オーバーハング式のセミインテグラルアバットと呼んでおり、橋台構造も標準化している。本橋では、この部分もヤードでコンクリートを打ち込んでプレキャスト化を図っている。図中左上の版構造は、延長床版のような構造でセミインテグラルアバット部と、Sleeper Slabと呼ばれるプレキャストRC版上に載荷されている。栗田らによれば、この形式を採用すると、落橋防止構造も兼用でき、延長床版と同様に伸縮装置からの騒音や振動の減少を見込めるとされている¹⁷⁾。

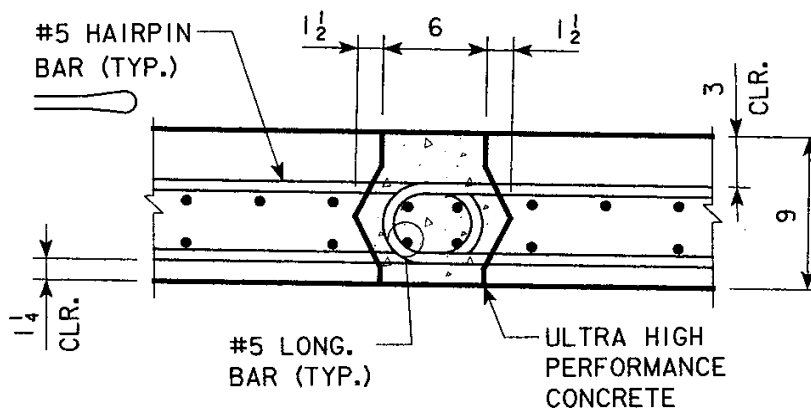


図 3.4.6 間詰め部の断面図¹⁵⁾

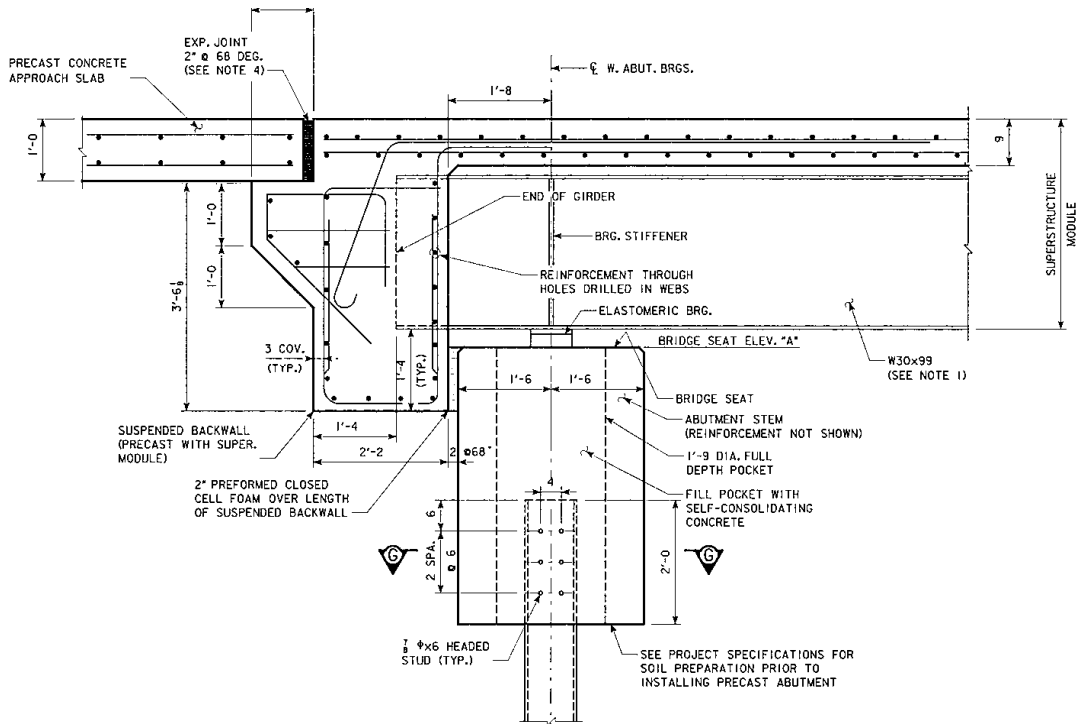


図 3.4.7 セミインテグラルアバット構造⁷⁾

(3) 施工計画とその実施状況

次に表 3.4.3 には交通規制期間である 14 日間の工程表を示す。最初の 3 日間で橋梁を撤去し、基礎と橋脚や橋台を 3 日で施工し、続いて上部工の架設も 3 日で施工し、その後、間詰めコンクリートや舗装、高欄、タッチアップなどの施工を行うといった工程である。

表 3.4.3 工程表⁷⁾

	14 Day Closure Period													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Close HWY 6	■													
Bridge Demolition	■	■	■											
Drive Abut, Pilingset columns			■	■										
Set Abut & Wingwall/ Pour Self Leveling Concrete				■	■									
Set Caps					■									
Erect Deck Modular						■	■	■	■					
Set Approach Sleeper										■				
Pour UHPC Joints											■			
Pour UHPC Barrier Closure												■		
Grinding / ACC Paving													■	
Guardrail / Paint / Open Road														■

なお、ABC プロジェクトの標準構造にはプレキャストプレストレストコンクリート橋の仕様もある⁶⁾。写真 3.4.1 は既設橋梁の全景写真である。写真 3.4.2 は新設された橋梁全体の写真である。写真 3.4.3 はプレキャストコンクリート部材を製作したヤード状況である。写真右上には、更新対象の橋梁が見える。写真 3.4.4 はヤードで製作された床版と壁高欄のついた鋼主桁を輸送している状況である。写真 3.4.5 には前述したセミインテグラルアバット構造を示す。

これより、伸縮装置部から漏水があったとしても支承部に水が回らないことがわかる。



写真 3.4.1 対象橋梁の施工前¹⁵⁾



写真 3.4.2 対象橋梁の施工後¹⁵⁾

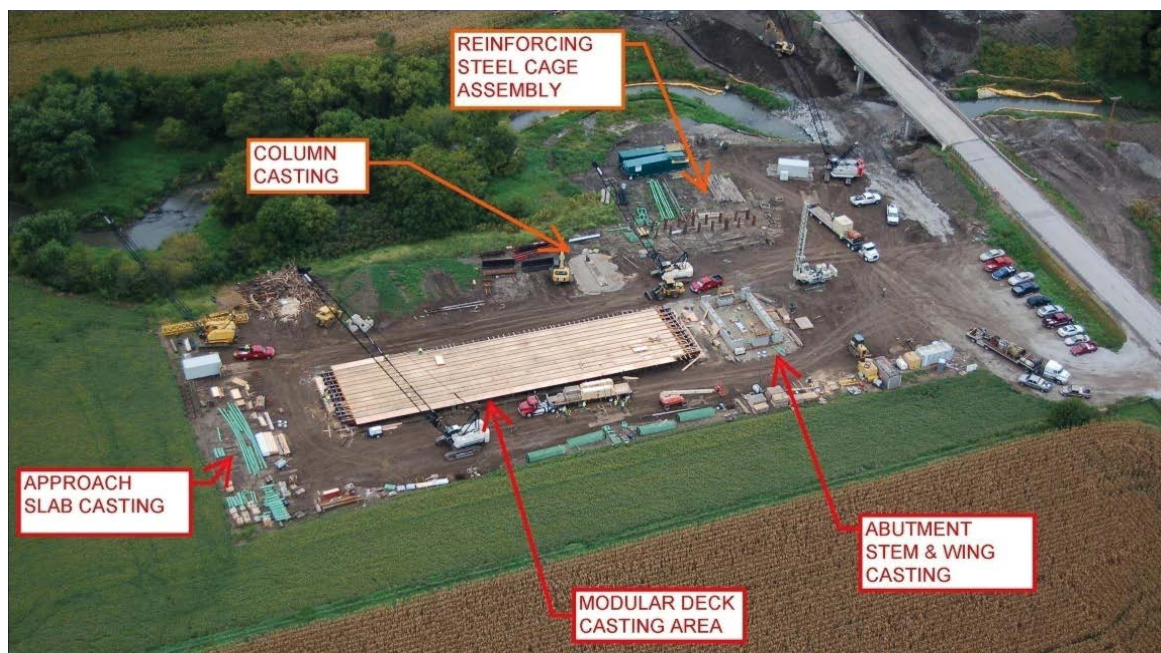


写真 3.4.3 現場プレキャスト化の施工ヤード¹⁵⁾



写真 3.4.4 ヤードで製作された鋼桁の現場輸送¹⁵⁾



写真 3.4.5 セミインテグララルアバット¹⁶⁾

写真 3.4.6 はプレキャスト橋脚の組立状況を、写真 3.4.7 は現場ヤードで製作された上部工の架設状況を示す。続いて写真 3.4.8 は床版の間詰め部の配筋状況を、写真 3.4.9 は UHPC を床版間詰め部に打ち込んでいる状況を示す。最後に、単純桁として架設された連続化への工程として中間支点上の連続化への対応状況を写真 3.4.10 と写真 3.4.11 に示す。



写真 3.4.6 プレキャスト橋脚の組立¹⁶⁾



写真 3.4.7 プレキャスト上部工の架設¹⁶⁾



写真 3.4.8 床版間詰め部の状況¹⁵⁾



写真 3.4.9 床版間詰め部に適用する UHPC¹⁵⁾



写真 3.4.10 中間支点下フランジの施工状況¹⁵⁾

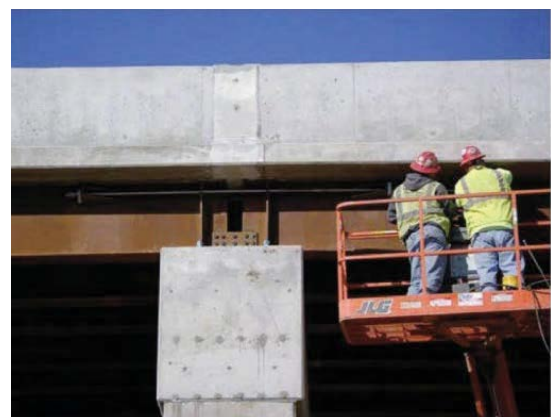


写真 3.4.11 中間支点上の上フランジ側の PC 鋼棒の緊張状況¹⁵⁾

3.4.3 I-93 Fast14 Project^{18), 19)}

ボストン近郊メドフォード市を通る Interstate-93 号線は、建設後約 60 年を経過している。市内の大半は土工部であるが、交差道路部がオーバブリッジとなっており、RC 床版を有する 3 径間の連続鈹桁となっている。これらの橋梁は、近年、凍結防止剤や膨大な交通量の影響で床版が抜け落ちる事態が何度か発生した。そこで、車両の安全性確保の点でオーバブリッジ 14 橋の架け替えに至った。このプロジェクトの架橋位置を図 3.4.8 に、更新対象の 14 橋のうちの 4 橋の全景を写真 3.4.12 に示す。Interstate-93 号線は、平日の日交通量が休日に比べて多いため、既存交通への影響が最も少なくなるように週末の規制時間内で上部工の架け替え工事が行われたことが特徴である。



図 3.4.8 架橋位置



写真 3.4.12 プロジェクトの対象橋梁¹⁸⁾

(1) プロジェクト概要

プロジェクト名：The Massachusetts Fast 14 Project

場 所：ボストン北，メドフォード近郊

完成年度：2011 年 6 月から 8 月

建造年度：1950 年代後半

発注者：マサチューセッツ州道路局

橋梁形式：3 径間連続鈹桁（片側 4 車線，計 8 車線）

日交通量：200,000 台

週末の最大時間交通量：5,500 台

規制方法：金曜夜から日曜夕方までの週末のみを通行止め

床版構造：RC 床版 ⇒ プレキャスト RC 床版（工場で作製し現場打ちで施工し輸送）

その他：10 週末で 14 橋の桁ごとの更新を行う

(2) 更新計画の推移

当初の計画は、幅員を狭小幅にて4車線を確保しつつ5段階の施工ステップで、約1車線分を更新していく工法で最低でも4年以上かかると計画されていた。この計画のデメリットとして交通が分断されること、建設作業員の安全が担保されないこと、何よりも床版があと4年もつかどうか分からないため、見直しが余儀なくされた。そこで、6、7、8月の10週間の週末のみを利用した架け替え工事を行うこととなった。その際、北行きと南行きのそれぞれ2車線ずつを確保する計画となった。2車線での時間あたり最大交通量は2,960台とされており、週末の時間あたり最大交通量は5,500台のため、溢れた交通を迂回路へ流すことを計画していた。

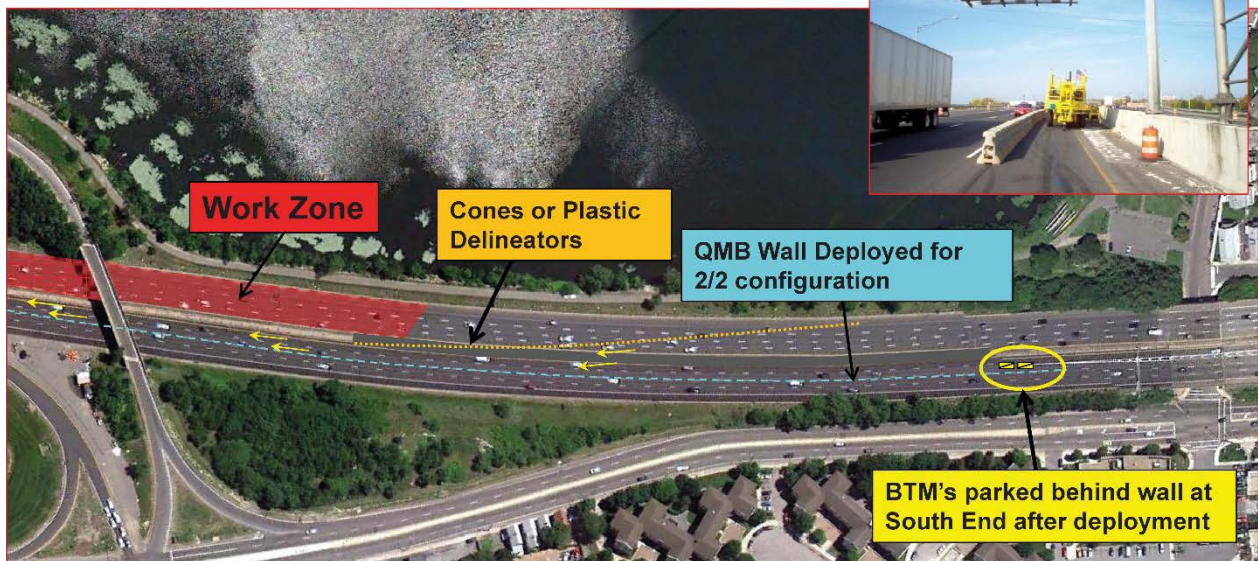


図 3.4.9 4車線から2車線への規制計画（平面位置）¹⁹⁾

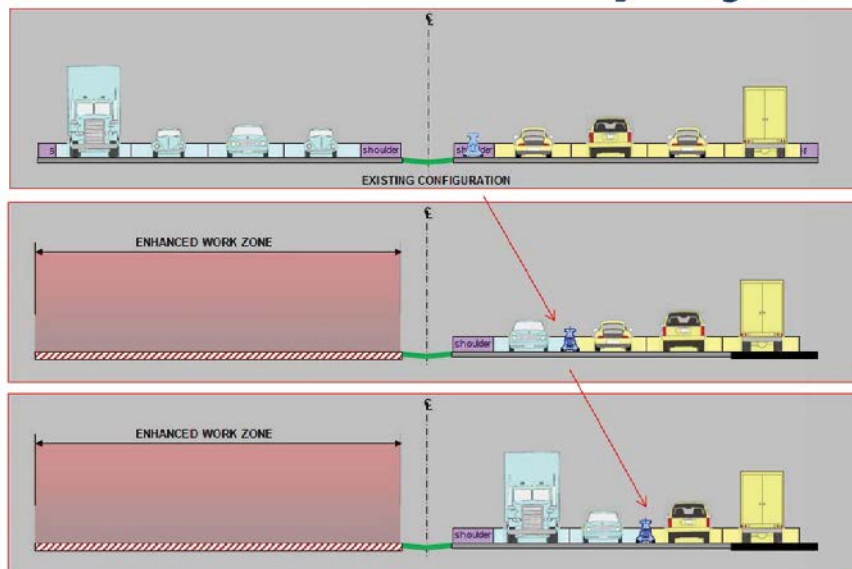


図 3.4.10 4車線から2車線への規制計画（断面）¹⁹⁾

次に片側の 4 車線道路は、金曜日の夜に双方向の 2 車線道路へ切り回す必要がある。その計画を図 3.4.9 と図 3.4.10 に示す。車線の切り回しには、2 台のロードジッパーを用い、図 3.4.9 に、施工領域を左の Work Zone に、ロードジッパーの待機位置を右下の BTM に示す。

(3) 更新後の橋梁構造

更新後の橋梁構造は、前述の事例と同様、ABC プロジェクトで規定されている標準構造の RC 床版を有する鈹桁が採用されている。上部工は、2 主桁を 1 組として 252 個のモジュールからなり、RC 床版と壁高欄の配筋までを工場で製作してきた。なお、壁高欄を配筋までとしたのは、架設時のクレーンによる荷重の制約から決めている。

中間支点上の連続構造は、アイオワ州と異なり、図 3.4.11 に示すキャップケーブル方式と鉄筋補強によるリンクスラブ形式とで検討されている。また、床版間の間詰め部も、施工性に配慮して前項で紹介した橋梁に比べ広めに設定している点が異なっている。間詰め部に用いられるコンクリートも UHPC ではなく、超速硬コンクリートが用いられ、日曜日の夕方打ち込んでも月曜日の早朝には、必要強度が発現できる強度に設計されている。

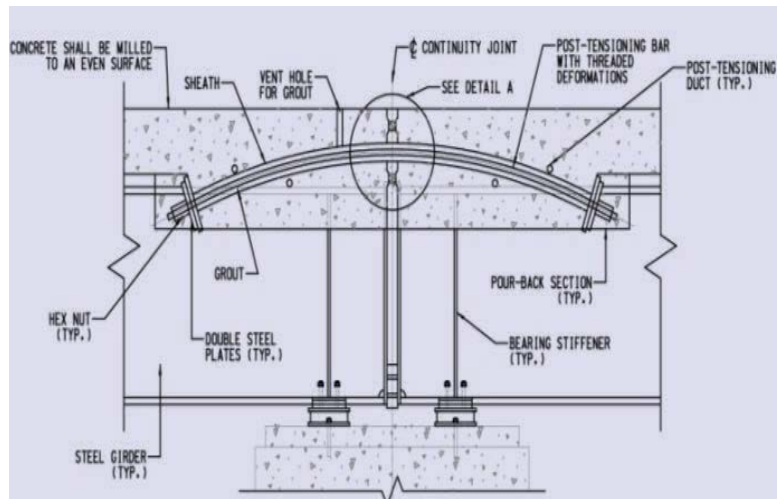


図 3.4.11 キャップケーブルによる中間支点連続化¹⁸⁾

(4) 更新工事の状況

更新前の現状の床版の下面からの状況を写真 3.4.13 に、写真 3.4.14 に陥没した床版の状



写真 3.4.13 プロジェクトの施工対象の劣化状況¹⁸⁾



写真 3.4.14 床版陥没の状況¹⁸⁾

況を示す。次に以下、2台のロードジッパーによる4車線から2車線への車線切り回しの施工状況を写真3.4.15に、車両の誤進入対策を写真3.4.16に示す。



写真3.4.15 ロードジッパーによる4車線
2車線への切り回し状況¹⁹⁾



写真3.4.16 誤進入対策状況¹⁹⁾

続いて、写真3.4.17に金曜日夜の時点での着手状況を、写真3.4.18に翌土曜朝の上部工を撤去した後の状況を示す。写真3.4.19に工事全体の状況を示す。



写真3.4.17 施工着手状況(金曜夜)¹⁸⁾



写真3.4.18 上部工撤去後(土曜朝)¹⁸⁾



写真3.4.19 上部工撤去後の全体状況(土曜朝)¹⁹⁾

次に更新する鋼 2 主桁構造の床版と壁高欄の鉄筋付きユニットの輸送状況を写真 3.4.20 に、そして土曜日の午後には上部工の架設が行われ、この状況を写真 3.4.21 に示す。写真 3.4.22 に上部工の架設後に行われた間詰め床版の配筋作業の様子を示す。この配筋作業には、比較的時間がかかり、翌日曜の朝に間詰め部のコンクリートの打ち込みを行った。この状況を写真 3.4.23 に示す。最後に、完成状況を写真 3.4.24 に示す。

写真 3.4.20 ユニットの輸送状況¹⁹⁾写真 3.4.21 上部工架設状況 (土曜午後)¹⁸⁾写真 3.4.22 桁間間詰め部の配筋
(土曜午後)¹⁸⁾写真 3.4.23 間詰めコンクリート打設状況
(日曜朝)¹⁸⁾写真 3.4.24 上部工の完成状況¹⁸⁾

3.4.4 Grand Island Bridge²⁰⁾

本橋は、建設後約 50 年が経過した RC 床版を有するトラス橋と鉸桁である。凍結防止剤の散布や増加した交通の影響で、床版に損傷が生じ、そのため RC 床版更新に至った。架橋位置はニューヨーク州のナイアガラ近郊である。図 3.4.12 に架橋位置を示す。本橋は代替ルートがないことから夜間施工・昼間交通開放という特徴的な施工条件で施工された。以下にプロジェクトの概要を示す。



図 3.4.12 架橋位置図²⁰⁾

(1) プロジェクト概要

橋梁名：Grand Island Bridge (Interstate-190)

場 所：ニューヨーク州ナイアガラ近郊

完成年度：2011 年

建造年度：1960 年

発注者：ニューヨーク州 Thruway Authority

橋梁形式：アーチ+鉸桁

規制方法：夜間施工昼間交通開放

日平均交通量：65,500 台/日

橋梁構造：アーチ構造と鉸桁構造（アーチ部の床版は、アーチの下弦材とその間に配置した縦桁で受けている。よって、床版の支間方向は橋軸直角方向で、鉸桁部の床版は主桁上の横桁で受けている。よって、床版の支間方向は橋軸方向である。）

床版構造：RC 床版 ⇒ Precast Exodermic deck (t=240mm, 189mm) (プレキャスト合成床版)

施工面積：8,400m²

施工条件：北行きの床版更新工事は、月曜から木曜日の朝 6 時には交通を開放すること、金曜日と土曜日は施工が許されない。

受注金額：\$ 48.2 Million

その他：歩廊、伸縮、支承や高欄の更新，1夜間で4パネル更新(アーチ部は2枚の場合もある)，急速施工可能なポリエステルポリマーコンクリート(PPC)舗装 (t=20mm)を施工。

次に，写真 3.4.25 にアーチ部の全体を，写真 3.4.26 に劣化した床版を示す。



写真 3.4.25 橋梁の全景²⁰⁾



写真 3.4.26 橋梁床版の劣化状況²⁰⁾

(2) 施工状況

写真 3.4.27 には更新床版として使用するプレキャスト化された鋼・コンクリート合成床版を示す。ここでユニークな点は，引張側となる側にはメッキされた鋼部材のみで構成され，軽量化が図られている。写真 3.4.28 には既設 RC 床版を下からジャッキアップにより鋼桁から取り外す様子を，写真 3.4.29 と写真 3.4.30 には既設 RC 床版の撤去状況を示す。写真 3.4.29 には，鋼桁の上部にコンクリートがかなり残されていることがわかる。



写真 3.4.27 更新用の合成床版²⁰⁾



写真 3.4.28 既設床版のジャッキアップ
施工状況²⁰⁾

写真 3.4.31 には、新設床版の設置状況を示す。ここは、鉸桁部なので床版支間が橋軸方向となっている。橋軸方向には最大 37 フィート、つまり約 11m、橋軸直角方向は約 2m である。写真 3.4.32 には間詰め部のコンクリートの打ち込み状況を示す。この工事では夜間施工、昼間に交通開放を行っている。写真 3.4.33 は、昼間交通開放用のために床版に用いる仮設鋼版を高欄に留めている状況を示す。次に写真 3.4.34 に、交通開放中の仮設鋼版の敷設状況を示す。これより、鋼版の端部は、車両がスムーズに通れるようにテーパを切っていることがわかる。



写真 3.4.29 既設床版の撤去状況²⁰⁾



写真 3.4.30 既設床版の撤去状況²⁰⁾



写真 3.4.31 新設床版の設置状況
(鉸桁部)²⁰⁾



写真 3.4.32 間詰め部の打ち込み状況²⁰⁾



写真 3.4.33 昼間開放用の仮設鋼版²⁰⁾



写真 3.4.34 供用中の仮設鋼版²⁰⁾

続いて、高欄もプレキャストコンクリートの基部を用いており、その状況を写真 3.4.35 に示す。写真 3.4.36 には、PPC 舗装を行うために、床版の上面をブラストしている状況を示す。次に、写真 3.4.37 に PPC 舗装の施工状況を示す。最後に、写真 3.4.38 に床版更新後の状況を示す。



写真 3.4.35 プレキャスト高欄とその継手状況²⁰⁾



写真 3.4.36 新設床版のブラスト状況²⁰⁾



写真 3.4.37 PPCの施工状況²⁰⁾



写真 3.4.38 床版更新後の状況²⁰⁾

参考文献 (3.4 高速施工を目指す米国の ABC プロジェクト)

- 1) 国土交通省 HP,
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h25/hakusho/h26/html/n1132000.html>
- 2) 土木学会鋼構造委員会：鋼橋の大規模修繕・大規模更新 一解説と事例一，鋼構造シリーズ 26，2016.
- 3) 下村公一朗，三田村健二，ポール ベッカー，スティーブ カルデンバック：米国における歴史的文化的財コンクリートアーチ橋の大規模修繕工事事例 一 フランクリン アベニュー橋 一，建設図書，橋梁と基礎，pp.43-48，2017.
- 4) ABC Website, Federal Highway Administration, <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/abc/>.
- 5) Federal Highway Administration: Accelerated Bridge Construction Final Manual, November 2011.
- 6) Transportation Research Board: Innovative Bridge Designs for Rapid Renewal ABC Toolkit, SHRP2 Report S2-R04-RR-2, 2013.

- 7) Transportation Research Board: Innovative Bridge Designs for Rapid Renewal, SHRP2 Report S2-R04-RR-1, 2014.
- 8) Mary Lou Ralls: History of ABC Implementation in U.S., the National ABC Conference, Miami, FL., December 2014.
- 9) American Association of State Highway and Transportation Officials: LRFD Guide Specifications for Accelerated Bridge Construction, 1st Edition, 2018.
- 10) Bala Sivakumar: ABC Techniques for Rapid Bridge Replacement, Purdue Road School, March 2017.
- 11) Osegueda and Noel: Rapid bridge deck replacement, -A field demonstration and load test-, Research Report Number 324-5F, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, May 1988.
- 12) NCHRP Report 407: Rapid Replacement of Bridge Decks, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 1998.
- 13) Federal Highway Administration: Prefabricated Bridge Elements and Systems in Japan and Europe, Final Report, U.S. DOT, March 2005
- 14) 日経コンストラクション: 特集 世界を席卷! 生産性革命-1 晩で道路橋を架け替えろ -, 2017.12.25.
- 15) FHWA: Iowa Demonstration Project, Accelerated Bridge Construction on US 6 over Keg Creek, Final Report, June 2013.
- 16) HP, [www.theconf.com/presentation/2016/Implementing ABC on Bridge Replacement and Rehabilitation Projects](http://www.theconf.com/presentation/2016/Implementing%20ABC%20on%20Bridge%20Replacement%20and%20Rehabilitation%20Projects)
- 17) 小枝芳樹, 岩崎信正, 天満真士, 新平信幸, 津田佳明, 栗田章光: セミインテグラルアバット橋のわが国への適用性に関する調査・研究--海外の施工事例とプレビーム合成桁の適用性, 建設図書, 橋梁と基礎, pp.31-37, 2011.
- 18) HP, <https://www.tn.gov/content/dam/tn/tdot/construction/cmgc-projects/CMGC-CaseStudy-I-40.pdf>
- 19) HP, https://ops.fhwa.dot.gov/wz/p2p/arw/p3_boudreau.pdf
- 20) HP, www.bgfma.org/resources/pdf/reports/GrandIslandIBC/IBC11PaperFinal5-25-11.pdf