

米国におけるコンクリートアーチ橋の大規模改修工事事例

株式会社大林組〔KRAEMER NORTH AMERICA社出向〕

しもむら こういちろう
下村 公一郎

1. はじめに

米国中西部ミネソタ州、ミシシッピ川を跨ぐ Franklin Avenue Bridge（正式名称：Cappelen Memorial Bridge）は、20世紀初頭における州最大都市ミネアポリスの交通量増加への対応と路面電車の営業区間拡張を目的として計画され、1923年に完成した。設計者はノルウェー出身の Frederick Cappelen氏で、同橋梁位置には、同氏により設計され1889年に完成した鋼トラス橋が既

に供用されていた。Franklin Avenue Bridgeは、既存の鋼トラス橋の通行を維持しつつ、その一部を建設作業床として建設された（写真－1）。

1889年完成の鋼トラス橋は、Franklin Avenue Bridgeの完成後、橋脚の一部を残して解体されている。橋梁が完成した1923年時点における世界最長支間を有するコンクリートアーチ橋として Franklin Avenue Bridgeは、国際的に土木技術者の注目を浴び、またその高い意匠性と斬新な更新施工法が評価され、米国の有形文化財（National Register of Historic Places）として登録されている。1923年の完成から約50年を経過した1970年に



写真－1 Franklin Avenue Bridge建設中の様子（1919年）
（出典：Hennepin County Library）

大規模な改修工事が行われ、それからさらに約50年が経過した現在、次の50年に向けた2度目の大規模改修工事が始まった¹⁾。

本稿では、今回の改修工事の概要を示すとともに、実施工において直面した課題と、それを克服すべく発注者・設計者・施工者が協働し、これまで工事を順調に進めてきた事例を紹介する。

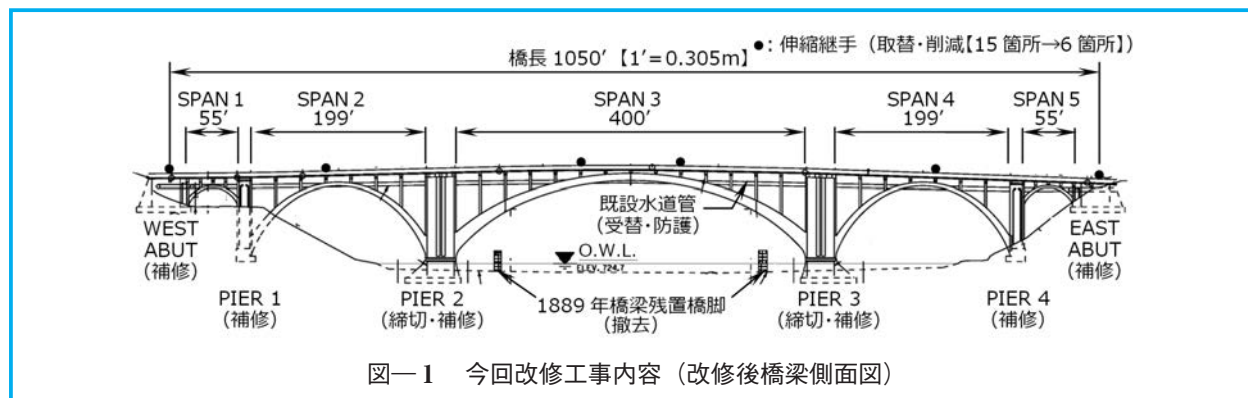
2. 改修工事の概要

Franklin Avenue Bridge 2度目の大改修工事は、設計・施工分離方式で発注され、一般競争入札の結果、大林組のグループ会社であるKraemer North America社（本社：米国ウィスコンシン州）が2014年12月に工事を受注した。表―1に工事概要を示し、図―1および図―2に今回の改修工事の模式図を表示する。

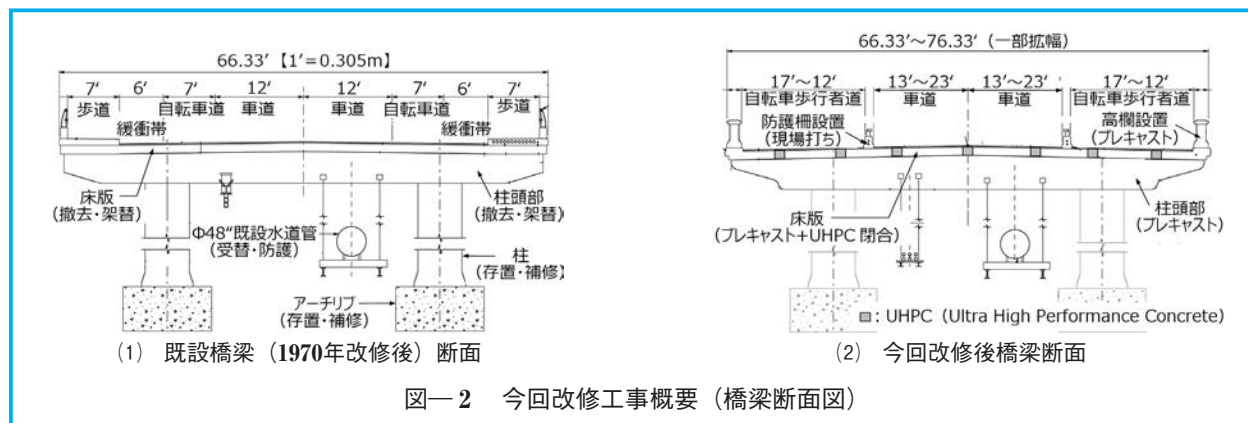
既存の2車線道路は、橋梁東端交差点における安全性向上のため一部4車線道路に拡幅される。

表―1 工事概要		
工事名称	Franklin Avenue Bridge 改修工事	
発注者	Hennepin County（ヘネピン郡交通局）	
設計者	HNTB	
施工者	Kraemer North America（大林組グループ）	
施工場所	米国ミネソタ州ミネアポリス市	
工期	2015年1月22日―2016年11月18日	
仕様	ミネソタ州交通局標準仕様書および特記仕様書準拠	
主要工事数量	プレキャスト床版製作・設置	366枚
	プレキャスト床版閉合工（UHPC）	1式
	プレキャスト柱頭部製作・設置	47基
	現場打柱頭部施工	6基
	既設橋梁上部工撤去	1式
	プレキャスト高欄製作・設置	163基
	現場打防護柵設置	1式
	アーチリブ・橋脚・柱補修工	1式
	既設水道管防護・受替工	1式
	コンクリート塗装工	1式
	舗装工（ポリマーコンクリート舗装）	1式

橋梁各部材の取扱い（補修もしくは架替）については、設計開始当初に行われた既設橋梁の調査・診断結果から、橋梁の構造性能、ライフサイクルコスト、文化財としての残存価値等を総合評価し



図―1 今回改修工事内容（改修後橋梁側面図）



図―2 今回改修工事概要（橋梁断面図）



(1) 橋脚



(2) 柱頭部および床版

写真—2 既設橋梁損傷状況

て決定された²⁾。柱頭部と床版は、1970年の改修工事で一度全て架替えられたが、今回工事でも再度の架替を行う。アーチリブ上部の柱は、1970年の改修時には全て取り替えられたが、今回は補修工事のみを行う。アーチリブおよび橋脚は、1923年の建設時からこれまで補修のみ行われてきたが、今回も補修のみを行う。

1940年頃に設置されたとされる床版下のφ48"水道管は、既存柱頭部の撤去前にアーチリブから仮受けを行い、上部工の架替中に新設の柱頭部に取り付けることで工事期間中常時供用する。写真—2に既設橋梁の損傷状況（今回改修工事施工前状況）の一例を示す。伸縮継手および排水設備の劣化・損傷により漏水が生じ、その下部に位置する橋梁部材が著しく損傷を受けていることがわかる。

米国ミネソタ州では、気温が氷点下20度以下になることもよくあり、長く厳しい冬が続く。例年11月中旬から翌春3月末頃までの間、道路の凍結防止のため、塩化カルシウムや塩化マグネシウム溶液が路面に大量に散布され、漏水箇所を介して下部橋梁部材の損傷を大幅に加速する。今回の改修工事では、この悪循環を低減するため、既設橋梁に15箇所ある伸縮継手を6箇所に削減する。

3. 高速橋梁施工（ABC）

発注者は、工事に伴う橋梁利用者の不便を最小限に抑えるため、FHWA（米国連邦交通局）や米国各州交通局が近年共同研究し導入を進めている高速橋梁施工手法（ABC：Accelerated Bridge Construction）を採用し、橋梁床版および柱頭部の撤去・架替を85日の橋梁封鎖期間（2016年6月8日～8月31日）で完了することを要件として工事契約に取り入れた。新設橋梁の柱頭部、床版、高欄は全てプレキャストコンクリートとし、プレキャスト床版の閉合には超高強度鋼繊維補強コンクリート(UHPC:Ultra High Performance Concrete)を用いて、閉合幅・床版の鉄筋埋込長を縮小し、床版仮受等の仮設構造を省略することで工期短縮を図っている³⁾。

代替案として、橋梁を封鎖・撤去し、従来の現場打ち工法で橋梁を補修・架替する計画や、橋梁上の通行を維持しながら片側ずつ補修・架替を行う計画も検討されたが、現場打ち工法では、冬場に実質の工事進捗が望めず橋梁封鎖期間が長くなり過ぎる、片側交通を維持・支持する仮設構造物が複雑化し、工事および橋梁利用者の安全に高いリスクを伴う等の理由から最終的に却下された。

表—2に工事着工当初における全体概略工程を

表一 2 工事概略工程表（当初）

工種	2015												2016											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
施工計画 PERMIT																								
既存橋梁測量 プレキャスト床版製作																								
プレキャスト柱頭部製作																								
プレキャスト高欄製作																								
作業足場設置～ 橋梁下部構造補修																								
既設水道管仮受防護																								
床版・柱頭部架替用 作業足場設置																								
ABC 床版・柱頭部架替																								
橋梁下部工・上部工 塗装工事																								
高欄設置・仕上げ 足場・製作ヤード撤去																								

示す。橋梁封鎖前年の2015年春からプレキャスト部材製作、および橋梁下部工の補修に着手し、2016年は既設水道管を仮受けし、作業床整備の後、夏の橋梁封鎖高速施工を開始する流れである。

4. 既設橋梁測量とプレキャスト部材製作

今回の改修工事の当初設計は、1970年の改修工事における設計図に記載された寸法に基づいており、現橋の出来形を反映しておらず、施工者がプレキャスト製作図面作成に先立ち既設橋梁の測量を行い、設計者・発注者から製作図面の承諾を得た後に製作に取り掛かることと仕様書に明記されていた。

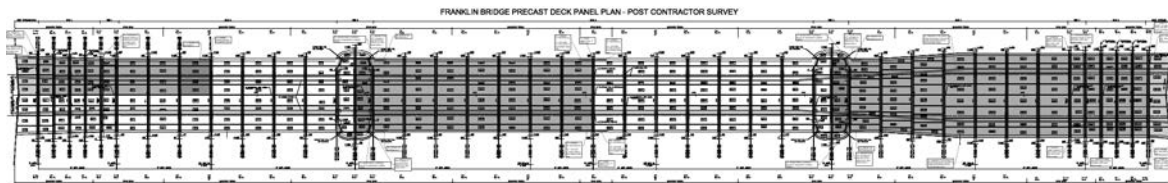
既設橋梁測量の結果、橋梁全長が約6"（150mm）短く、各柱間の距離も±4"（±100mm）の範囲で大きくばらついていることが判明した。また、左右のアーチでばらつきの傾向が全く異なり、設計者による製作図面のレビューの結果、プレキャスト部材の寸法、鉄筋長・サイズ、設置位置等を変更する必要性が生じた。図一3に新設橋梁平面図を示す。図のアミかけ箇所のプレキャスト床版は、当初設計からの変更が必要になったものを示す。合計366枚のプレキャスト床版のうち218

枚が変更された。

プレキャスト柱頭部は橋梁の構造上、既設柱および橋脚の中央に設置しなければならず、結果として全ての柱頭部は橋軸直角方向に対して傾けて設置することになった。プレキャスト床版については、柱頭部上における必要最低限のかかり長が見直され、それを確保するように寸法および設置位置が変更された。支間が長くなる部分については、鉄筋も見直された。

冬が終わりに近づく2015年3月末に測量を開始し、製作図面作成・提出から設計者による部材詳細の再設計・変更、発注者承諾に至るまでに多大な時間を要し、貴重な春夏の数ヶ月を費やした。結局、プレキャスト床版の製作を開始したのは2015年7月中旬になった。2016年の春は、橋梁封鎖の直前でプレキャスト製作を行う時間が全くないことが予想されたため、当初計画よりプレキャスト製作型枠・蒸気養生設備を増やした。また、プレキャスト床版吊上・運搬設備を改良し、吊上・運搬中の床版に生じる応力を下げることで、脱型強度を仕様書に規定される値より低くする承諾を設計者から得る等して、製作サイクルを大幅に改善した。

これらの結果、全てのプレキャスト床版製作は、本格的な冬が始まる11月末までに無事完了す



図一 3 橋梁平面図—プレキャスト床版変更箇所図（アミかけ箇所）



(1) 製作ヤード全景



(2) コンクリート打設

写真一 3 プレキャスト床版製作状況

ることができたが、橋梁全長や主要支間長等の橋梁部材諸元を決める要となる寸法については、設計段階である程度の精度で計測しておくことで、着工後の各種プレキャスト部材の諸元変更に必要な時間を大幅に低減できたと思われる。

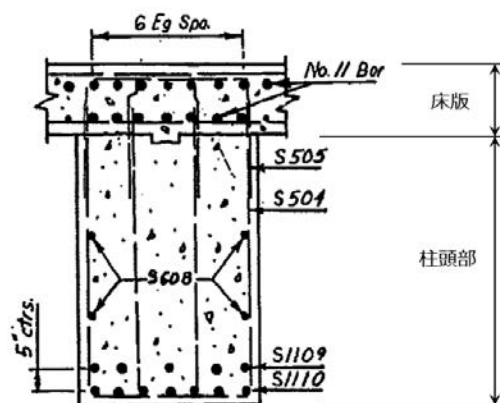
写真一 3 にプレキャスト床版製作状況を示す。

5. 既設橋梁の撤去とモニタリング

橋梁封鎖中の作業をできる限り減らし、簡素化するのが今回工事の成功の鍵であることは、プロジェクト関係者全員の共通認識であった。2016年の春3月中旬から交通量の少ない夜間や週末に車線規制を行い、既設床版の橋軸方向カッター切断および床版撤去用のコアボーリングを施工した。切断に先立ち、1923年および1970年の設計図書を熟読し、既設構造内部の鉄筋位置、支承構造等の詳細を把握することで、供用中の橋梁切断可能箇

所を決定し、構造計算を実施した。設計者による橋梁構造計算レビューと強度・安全確認、発注者の承諾を得た後、施工を開始した。

図一 4 に供用中の橋梁切断に際して注意を要した一例として、既設柱頭部と既設床版の取合部における鉄筋断面を表示する。ごく一部の既設柱頭



図一 4 既設橋梁鉄筋図（1970年）

部の上側主鉄筋が、床版に飲み込まれる形で配置されており、床版を切断すると既設柱頭部は、供用中の荷重および自身撤去時の吊上げに対する強度を失うため、橋梁封鎖前の床版カッター切断は柱頭部表面で止める必要があった。橋梁封鎖後は、床版を橋軸直角方向にカッター切断し、長方形のコンクリートブロックとして撤去した後、既設柱頭部をそれを支える柱および橋脚との接合部分でカッター切断して撤去した（写真—4）。

新設のプレキャスト柱頭部は前述した通り、残置する柱および橋脚の頂部中央に固定される必要がある。アーチリブ上部の柱のうち、特に背丈の長い柱が既設柱頭部との接続部で切断された際に、柱各々が独立して動き、既設床版・柱頭部撤

去前の測量に基づき指定した位置にプレキャスト柱頭部を取り付けることができず、その上部のプレキャスト床版かかり長が確保できなくなることが懸念された。橋梁撤去開始に先立ち、背の高い柱計16本（Span 2：4本，Span 3：8本，Span 4：4本）については、橋脚およびアーチに鋼製切梁を用いて固定することで変位を抑制した。既設橋梁の撤去が進行する中、残置される柱の位置を常時モニタリングしたが、幸いプレキャスト床版のかかり長を侵すほどの動きは観測されず、プレキャスト柱頭部とともに計画通りの位置に設置することができた。

写真—5にプレキャスト柱頭部およびプレキャスト床版の設置状況を示す。

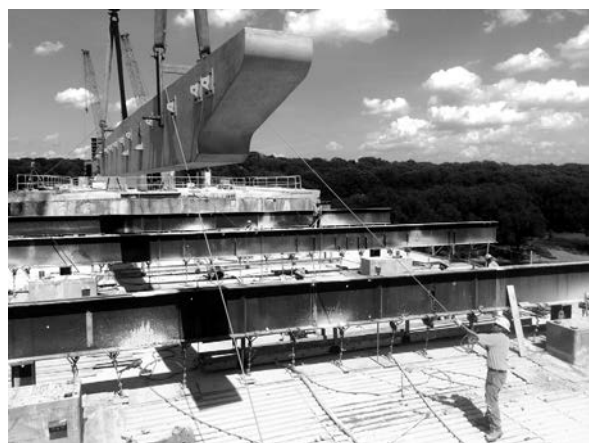


(1) 床版



(2) 柱頭部

写真—4 既設橋梁撤去状況



(1) 柱頭部



(2) 床版

写真—5 新設プレキャスト部材設置状況

6. コンクリート補修実施工数量の大幅超過

コンクリート補修に関わる当初設計数量は、2007年（着工の8年前）に2週間かけて行われた現地詳細調査と、2013年（着工の2年前）に4日間かけて行われた目視調査および打音調査に基づいて算出されている。2007年に実施された調査の一覧を表—3に示す。コンクリート補修工事に関しては、当初設計数量に基づいた単価契約を発注者と結んでおり、補修箇所・深さ等により異なる各々の施工条件（補修タイプ）に対して表—4に示す支払費目が定められている。施工者側の技術者と発注者側の検査官が、各補修タイプの実施工数量を日々計測・合意し、各支払費目の月ごとの

出来高に応じて毎月の支払いが行われる仕組みである。2016年7月末現在、当初設計数量の合計相当量の補修を実施したが、最終的な実施工数量は当初設計数量を大幅に（25%以上）超過する見込みである。実施工における補修箇所の選定は、設計図面に基づく損傷箇所およびその周辺エリアで打音検査を行い、施工者側技術者と発注者側検査官が合意した上で決定している。補修箇所の表層

表—3 既設橋梁調査一覧（2007年）

調査項目	調査手法
剥離・空洞	打音検査
鉄筋かぶり・配筋	非破壊・電磁波レーダ法
鉄筋腐食	自然電位法
中性化深さ	フェノールフタレイン溶液試験
コンクリート組織・圧縮強度	コアサンプリング
塩化物イオン量	コンクリート粉末サンプリング
鉄筋引張強度	鉄筋サンプリング

表—4 既設橋梁調査一覧

（1インチ=25.4mm, 1 SF=0.09m², 1 LF=0.30m）

支払費目	補修タイプ	補修箇所	補修内容	契約数量	計測単位
A	A/P-1	アバット/橋脚（地上）	側面補修（深さ：6インチ以下）	6,000	SF
B	A/P-2-8"	アバット/橋脚（地上）	側面補修（深さ：6～8インチ）	1,448	SF
C	A/P-2-10"	アバット/橋脚（地上）	側面補修（深さ：8～10インチ）	759	SF
D	A/P-2-12"	アバット/橋脚（地上）	側面補修（深さ：10インチ以上）	631	SF
E	P-1	橋脚（河川内）	橋脚ジャケット部打替	2	基
N	P-2	橋脚（河川内）	橋脚コンクリート表層補修	1,178	SF
F	AR-CT	アーチリブ	隅角部（上側）補修	2,345	LF
F	AR-CU	アーチリブ	隅角部（下側）補修	1,893	LF
G	AR-T	アーチリブ	上面補修（深さ：6インチ以下）	4,034	SF
H	AR-D(T)-8"	アーチリブ	上面補修（深さ：6～8インチ）	504	SF
J	AR-D(T)-10"	アーチリブ	上面補修（深さ：8～10インチ）	252	SF
K	AR-D(T)-12"	アーチリブ	上面補修（深さ：10インチ以上）	252	SF
G	AR-U	アーチリブ	下面補修（深さ：6インチ以下）	1,065	SF
H	AR-D(U)-8"	アーチリブ	下面補修（深さ：6～8インチ）	23	SF
J	AR-D(U)-10"	アーチリブ	下面補修（深さ：8～10インチ）	23	SF
K	AR-D(U)-12"	アーチリブ	下面補修（深さ：10インチ以上）	23	SF
G	AR-V	アーチリブ	側面補修（深さ：6インチ以下）	783	SF
H	AR-D(V)-8"	アーチリブ	側面補修（深さ：6～8インチ）	17	SF
J	AR-D(V)-10"	アーチリブ	側面補修（深さ：8～10インチ）	17	SF
K	AR-D(V)-12"	アーチリブ	側面補修（深さ：10インチ以上）	17	SF
O	AR-C	アーチリブ	ひび割れ補修	2,642	LF
L	AR-CO	アーチリブ	隅角部電気防食設置	4,221	LF
M	SC-1	柱（スパンドレル部）	側面補修	296	SF



(1) 2007年



(2) 2013年



(3) 2015年実施工

写真—6 橋脚損傷進行状況 (PIER 4)

のコンクリートを撤去し、再び打音検査を行い、健全なコンクリートが現れるまで撤去を続けることで補修深さ（補修タイプ）が確定する。今回工事では特に橋脚・アバット部における深い補修の数量が大幅に超過している。

写真—6に既設橋梁の調査・診断が行われた2007年と2013年、さらに補修開始後の2015年夏に撮影された同一橋脚の写真を示す。2007年から2013年の6年間でコンクリートの損傷が進行し、さらにその後2年にかけて損傷が加速し、実施工では橋脚側面の全面が当初設計より深い規模で補修される結果となった。対象橋脚は、上部に機能をほぼ失った排水設備および伸縮継手があり、経年劣化が他の橋梁部分に比較し早かった可能性も考えられるが、損傷の進行速度を予測するのが困難であることがわかる一例である。数年以内に追加の補修工事が必要となることを防ぐため、今回工事中に橋梁保全に必要な全ての補修を完了するという方針で発注者と施工者の両者は一致しており、現在ミネソタ州交通局の標準仕様書に基づき、超過した施工数量に関して、支払費目の補修タイプごとの単価および工期の見直しを行っている段階である。

7. ABC期間の延長による橋梁利用者の安全性向上

当初契約においては、85日間のABC終了時点での橋梁再開通最低要件は、防護柵を含む車道部の完成と北側歩道部のプレキャスト床版設置およびUHPC打設の完了であった（図—5参照）。北側歩道部の舗装および本設プレキャスト高欄の設置は、橋梁再開通後に行い、南側歩道部については、プレキャスト床版・UHPC・舗装・プレキャスト高欄の全てが橋梁再開通後に施工される計画であった。

施工者としては、橋梁を封鎖している期間中に作業を行う方が、施工性・安全性・経済性のどの点から考慮しても最も効率がよい。また、橋梁利用者には不便をかけるが、第三者災害を防ぐ上で、橋梁封鎖によるメリットは著しく大きい。一方、ABCの成功を目的として2016年1月から発注者・設計者・施工者および市営バス・公園・レクリエーション等の周辺事業者で隔週の協議会を開催しているが、その協議の過程で橋梁利用者の安全を確保するために、ABC開始を当初より1ヶ月前倒しし、5月9日に橋梁封鎖することで相互合意した。なおABC終了日は、周辺事業者の

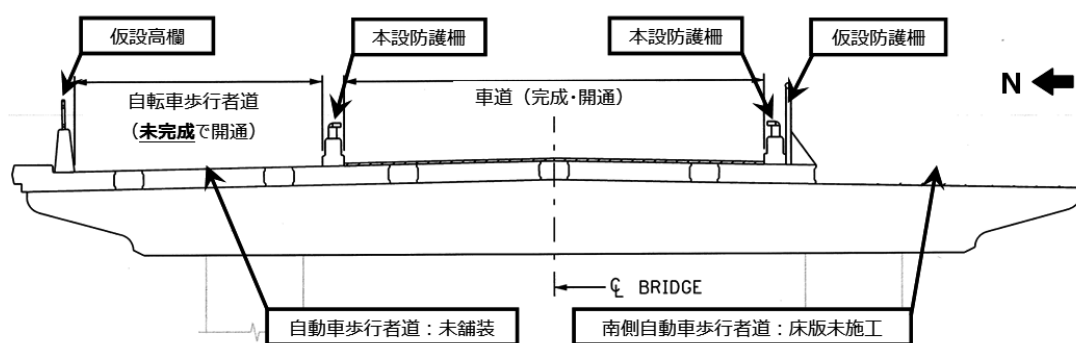
行事と干渉するため、1日のみ橋梁封鎖を延長し、9月1日に開通することで合意した。

その協議で新たに合意されたものとして、ABC終了日における橋梁再開通要件は、防護柵を含む車道部の完成と、プレキャスト高欄・舗装を含む北側歩道部の完成（プレキャスト高欄塗装等の仕上げ工事は除く）となった。南側歩道部は、プレキャスト床版・UHPC・舗装を完了し、本設プレキャスト高欄の設置のみが橋梁再開通後の工事となり、北側歩道部を橋梁利用者が使用する間に南側歩道部での重機を使用する工事は全て完了し、大幅な安全性向上が見込まれる。

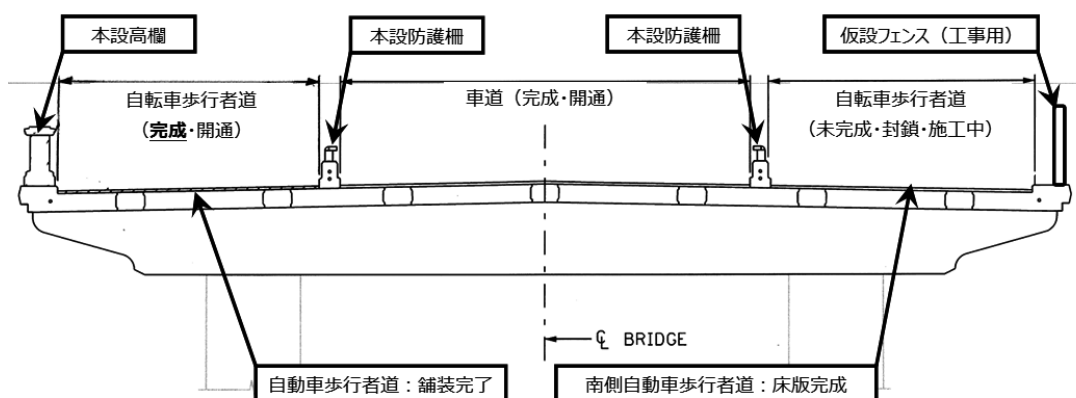
8. おわりに

プロジェクト関係者全ての合意により5月9日に開始した高速橋梁施工（ABC）は、床版および柱頭部の架替、UHPC打設、防護柵および高欄の取り付けを行い、最終工程であるポリマーコンクリート舗装が完了し、9月1日に橋梁は無事に再開通した。

本橋梁の周辺、ミシシippi川に沿う一帯には、20世紀初頭に同様に建設された橋梁が多数あり、



(1) 当初契約【車道：完成—自転車歩行者道：未完成】



(2) 協議・変更後【車道：完成—自転車歩行者道：北側完成・南側未完成】

図一5 橋梁再開通要件（ABC終了時点）の変更

それぞれが改修の時が来るのを待ちわびているかのように見えるほど、橋の老朽化が各所で進行している。日本国内でも建設後50年以上が経過する橋梁の割合が今後大幅に増加することが見込まれ、今後の対策・戦略が議論される機会が多くなってきている。歴史的にも価値ある橋梁を保全しながら、最新の技術を駆使して進められる今回の改修工事で得られた契約手法や知見を、今後の工事に活かしていければ幸いである。

【参考文献】

- 1) Cappelen Memorial Bridge Rehabilitation, ミネアポリス文化遺産保全委員会議事録, 2013年9月
- 2) WJE Associates, Franklin Avenue Bridge Structural Investigation, 2008年4月
- 3) 米国連邦交通局 (FHWA), UHPC: A State-of-Art Report for the Bridge Community, 2013年6月



(1) 5月9日【橋梁封鎖直後】



(2) 6月11日【床版/柱頭部一撤去・架替最盛期】



(3) 7月30日【床版完了, 防護柵・高欄施工中】



(4) 9月1日【ABC終了, 開通直前】

写真一7 ABC進捗状況