

鋼橋の床版取替事例

CASE STUDY ON THE SLAB REPLACEMENT OF STEEL BRIDGE

高木優任* , 江崎正浩**, 大坪 恭***

Masahide TAKAGI, Masahiro EZAKI and Yasushi OHTSUBO

ABSTRACT Along with the aging of the existing infrastructure, there is a growing need for large-scale construction work of bridge structure, such as repair and reinforcement. In Japan, there are relatively many cases on the slab replacement of steel bridge, because the slab of steel highway bridge is the fragile one. The authors had been collected the cases of slab replacement in steel highway bridge as the activities of the technical committee of JSCE. ① Bridge type, ② Slab type after replacement, ③ Traffic regulations, were set as key words for collecting the cases which contains the wide range of variety. In this paper, key points and notes for the work of slab replacement are mentioned. Then, representative four cases of replacement work are introduced briefly.

KEYWORDS : 床版取替, 鋼道路橋, 施工方法, 事例収集

Slab replacement, Steel highway bridge, Replacement work, Case study

1. まえがき

近年, 国内外において, 鋼橋の長寿命化, 機能向上などを目的とした大規模な工事の事例が報告されている。既存構造物の高齢化が進みつつある現代において, 構造物の劣化や機能の陳腐化への対策として, このような大規模な工事に対するニーズが増えつつある。既設橋に対する大規模な工事においては, 一般に構造物を活かしながらの施工となるため, 工法が限られたり, 施工プロセスが複雑になることが多い。また, 各施工段階での安全性や使用性を, 下部工への影響も含めた上で確保しなければならないため, 高度な設計技術や判断が要求される。さらに, 作業空間や作業時間の制約, 通過車両や歩行者の安全の確保, 周辺への環境対策など, 施工にあたって考慮しなければならない点も多い。このような高度で多面的な技術は, 過去の経験から学べるところが大きい。

土木学会鋼構造委員会鋼橋の大規模修繕・大規模改築に関する調査研究小委員会(水口和之委員長)では, 国内外で行われた既設鋼橋に対する大規模な工事の事例を収集し, それらを分析することにより工法選択の考え方, 設計の考え方, 具体的な施工法, 困難を克服するための技術や工夫などを整理するとともに, 施工を行うにあたって考慮しなければならないポイントを整理した。

本文では, 同小委員会にて実施した床版取替に着目した事例の調査結果について報告する。

*博士(工学) 新日鐵住金(株) 建材開発技術部 室長 (〒100-8071 東京都千代田区丸の内 2-6-1)

** 川田工業(株) 鋼構造事業部 技術部 次長 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

*** (株)東京鐵骨橋梁 生産設計部 副部長 (〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020)

2. 調査対象

鋼橋は、用途により主として道路橋と鉄道橋に分類されるが、両者は載荷される活荷重の性質が異なるため、床版の損傷状況には大きな違いがある。

鋼道路橋の床版は、輪荷重を直接支持する部材であるため、荷重に占める活荷重の比率が大きく、鋼橋の中で最も損傷しやすい。とくに、重交通路線かつ過積載車両の多い路線の鋼橋で損傷が多いことが知られている。図-1は、一般国道、主要地方道、一般都道府県道の橋長15m以上の橋梁を対象とした架け替え理由を調査した資料¹⁾のうち、鋼橋の架替理由の内訳、およびその中で上部構造の損傷による架替理由の内訳を示したものである。各年代において要因は変動しているものの、上部工の損傷による架替えの割合とその原因については大きく変わっていない。上部構造の損傷により架け替えられたとされるものは12-30%程度で、近年になるほどその割合は低下する傾向にあるが、その中で床版の損傷は鋼材の腐食と並んで半数近い割合を占めている。このような背景から、道路橋においては床版の取替が行われた事例も多い。

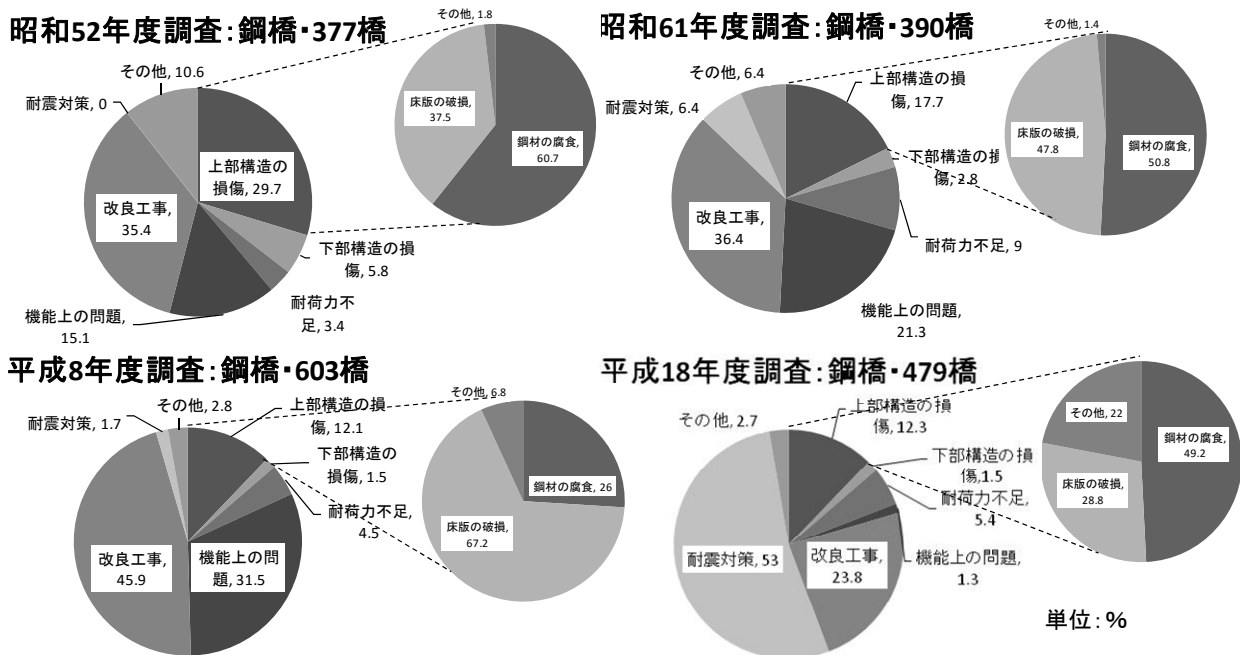


図-1 鋼道路橋の架け替え理由の調査結果(文献¹⁾をもとに作成)

一方で、鋼鉄道橋については、騒音問題の解決のため、床版を有する合成桁が多く建設されてきているものの、列車の走行位置が決まっていることや、損傷に繋がりがやすい過積載などの荷重の超過がないため、活荷重(列車通行)に起因する床版の損傷事例は筆者らの知る限りでは無い。

これらの要因から、鋼橋の床版取替の事例はそのほとんどが道路橋についてのものである。したがって、本調査では鋼道路橋の床版取替事例を調査の対象とした。

3. 調査の着眼点

既設鋼道路橋の床版取替工事において要求される基本的な事項としては、安全に施工できること、経済合理性を有するものであること、渋滞などによる社会的な損失を最小限に抑えること、などを挙げることができる。本調査では、これらの要求性能へ及ぼす影響が大きい要因として、①橋梁形式、②更新後の床版形式、③交通規制の方法、に着目して事例を選定することとした。

3.1 橋梁形式

鋼道路橋における床版の役割は、橋梁形式によって様々である。鋼橋で最も一般的な橋梁形式であ

る鋼桁橋を取り上げても、床版と鋼桁を一体化しない非合成桁と、これらを一体化した合成桁とがあり、設計で考慮している床版の役割はそれぞれで異なる。非合成桁の場合は、床版は主桁としての役割を考えず、鋼桁に対しては死荷重として作用するものとして設計されるため、取替工事で床版を撤去した状態でも鋼桁自身の耐荷力は合成桁に比べて比較的高い。一方で、合成桁の場合は、主桁の一部として床版が挙動することを期待しており、取替工事で床版を撤去すると主桁の構造系が変化することになる。合成桁では鋼桁の上フランジは一般的に小さな断面で構成されており、既設床版を撤去する際には、施工段階に応じた主桁の応力度照査や座屈安全性に対する照査など、事前に十分な検討を行うておくことが不可欠である。合成桁の床版取替工事においては、これまで不適切な施工によって鋼桁に横倒れ座屈を生じたり、最悪の場合には落橋に至った事例もあるため、取替工事を行うにあたってはとくに注意が必要である。また、複雑な構造形式の橋の場合は、死荷重として作用している床版を取替えることにより、その影響が橋全体の変形や応力状態などに及ぶことが考えられる。

このように、橋梁形式は床版取替の施工法やその手順の選択に大きく影響するものである。

3.2 更新後の床版形式

鋼道路橋の RC 床版には損傷が多く発生しているが、その原因の一つとして床版の耐荷力不足が指摘されてきており、道路橋示方書では RC 床版の損傷防止のため、床版厚の増大が図られてきている。また、平成 5 年版の道路橋示方書より、物流の国際化の観点から設計自動車荷重が改定(T-20 から T-25 へ変更)されたことを受け、床版の耐力向上が求められてきている。このため、取替える床版として RC 床版を選択すると既設のものより床版厚が増加してしまい、死荷重の増加や前後の縦断線形の修正などの不具合が生じることが問題となっている。さらに近年では、耐震性能の面でも大規模地震に対する備えが要求されるようになってきており、補修・補強に際して上部構造の軽量化などが求められるようになってきている。

RC 床版以外の鋼道路橋の床版には、主として PC 床版、鋼・コンクリート合成床版、鋼床版などがあり、コンクリート系の床版には、現場でコンクリートを打設する場所打ちタイプと、接合部を除く大部分のコンクリートを工場で作成しておくプレキャストタイプとがある。更新後の床版形式は床版厚を抑えつつ耐久性を確保するため PC 床版が採用される事例が近年では多く、床版取替工事では、現場作業の省力化や交通規制の最小化を目的として急速施工が可能なプレキャストタイプが採用される例が多い。鋼・コンクリート合成床版は新設鋼橋での場所打ちタイプでの採用事例は比較的多いものの、プレキャストタイプでの採用事例はほとんど無く、現在のところ床版取替への採用事例は少ない。鋼床版は RC 床版と比較して重量が 1/2~1/3 程度と軽量であり、最も床版の死荷重を低減できるため、耐震性の確保や拡幅への適用が容易である点、また、鋼床版に取り替えることで鋼桁との合成効果が期待できることから、非合成桁の上部工の耐荷力向上にも寄与する点などが評価されて選定されている。既設橋の大規模更新においては数多くの床版取替工事が予定されているが、幅員の狭い既設橋の機能向上に対するニーズや、基礎への負担軽減、橋梁全体の耐震性向上が求められる場面も多いため、今後、鋼床版の採用が増えていくものと考えられる。ただし、床版軽量化に伴う上部工キャンバーの変化や取替床版の逐次剛結の影響など、施工ステップを考慮した事前検討が重要である。

このように、取替後の床版形式は橋全体での性能に大きな影響を与えるものである。

3.3 交通規制方法からの事例選定

供用下の路面を直接支える床版を取替える場合、交通規制が必要となるが、選択可能な交通規制の種類が、施工方法や施工手順、さらに現道走行車両に対する安全対策等に大きく影響する。交通規制の可否は、交通量や迂回路の有無など、周辺を含む道路の状況によるものであるため、様々なパターンが存在すると考えられる。

このように、実施可能な交通規制の方法は、施工の手順や難易度に大きな影響を与えるものである。

4. 調査事例

4.1 対象工事

3章で述べた要素を考慮して、表-1に示す8つの事例を収集し、構造概要、大規模工事に至った原因と経緯、設計・施工の概要を調査した。

表-1 大規模な床版取替工事の事例一覧表

No.	題目	①橋梁形式		②床版形式 (大規模工事後) 取替前：RC床版	③交通規制 方法	キーワード (①～③ を除く)
		取替前	取替後			
1	非合成桁のプレキャストPC床版への取替(九年橋)	非合成桁		プレキャストPC床版	通行止 (上流側迂回)	床版損傷, 拡幅, 軽量PC
2	重交通路線における非合成桁のプレキャストPC床版への取替(九州自動車道 向佐野橋)	非合成桁		プレキャストPC床版	交通切替え (分割施工)	床版損傷, 継手構造
3	活荷重合成桁のプレキャスト合成床版への急速取替(西名阪自動車道 御幸大橋)	活荷重合成桁	非合成桁	プレキャスト合成床版	夜間通行止(昼間交通開放)	床版損傷, 主桁ウェブ切断, 間詰鋼床版
4	活荷重合成桁の外ケーブルによる主桁補強を併用したプレキャストPC床版への取替(獅子倉橋)	活荷重合成桁		プレキャストPC床版	半幅規制	床版損傷, 外ケーブル補強
5	非合成桁の鋼床版への取替(美川大橋)	非合成桁	活荷重合成桁	鋼床版	半幅規制	床版損傷
6	活荷重合成桁の鋼床版への取替(上川橋)	活荷重合成桁		鋼床版	半幅規制	国道昇格(耐荷力向上), 拡幅
7	吊橋の鋼床版への取替(若戸大橋)	吊橋 (補剛トラス)		鋼床版	半幅規制	拡幅, 橋形クレーン
8	上路アーチ橋の鋼床版への取替(裾花大橋)	上路アーチ		鋼床版	夜間通行止(昼間交通開放)	床版損傷

調査内容の詳細は小委員会の報告書²⁾を参照いただきたいが、以下で代表的な例について、そのポイントを簡単に紹介する。

4.2 非合成桁のプレキャスト床版への取替事例(表-1のNo. 1, No. 2)

(1) 収集した事例のポイント

非合成桁では、鋼桁のみで死荷重、活荷重を支えるとして設計されているので、床版を撤去しても鋼桁自身の耐荷力は非合成桁に比べると比較的高い。しかしながら、床版の撤去によって鋼桁の拘束状態が変わることにより、あるいは工事用車両などの大きな荷重が載荷されることにより、床版を撤去した状態の鋼桁の耐荷力が不足する可能性もあるので、床版取替工事の実施においては、施工ステップを考慮した安全性の確認は不可欠である。収集した2つの事例でも鋼桁の安定性に配慮して施工ステップが設定され、安全性の確認がなされている。また、非合成桁の床版撤去における特徴としては、鋼桁上フランジ上のずれ止めの量が少ないため、主桁上の床版の撤去が比較的容易な場合が多いことが挙げられる。

なお、取替後の床版としては現場作業の省力化、工期短縮のためにプレキャストタイプの床版が用いられることが多いため、その事例を収集したが、プレキャスト版の継手部、ならびに鋼桁の上フランジ上、桁端付近などの部分はコンクリートを現場で打設する必要がある。これらの現場打設部分については工夫の余地が大きく、設計・施工の上でポイントとなる。収集した2つの事例でも、プレキャスト版の継手部の構造、プレキャスト版の配置の検討、鋼桁上へのずれ止めの設置方法などに工夫がなされている。

また、交通規制の方法は、床版の取替手順を決定する上で重要な要因となるが、本調査では、迂回路のある場合(全面通行止め可能)と重交通路線での分割施工(交通切替えを実施)を行った場合についての事例を収集している。

(2) 九年橋(岩手県道 254 号相去飯豊線)の事例³⁾

九年橋の大規模工事の概要を表-2に、概要図を図-2に示す。

表-2 九年橋の概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	左岸側:8径間単純4主非合成鈹桁 右岸側:9径間単純2主非合成鈹桁	左岸側:8径間連続4主非合成鈹桁 右岸側:9径間連続2主非合成鈹桁
橋長	334.0m	
支間長	左岸側:22.3m, 8連 右岸側:16.8m, 9連	左岸側:22.4m×8 右岸側:17.2m×9
主構間隔	左岸側:1.67m+1.80m+1.67m 右岸側:5.0m(縦桁間隔:1.25m)	
有効幅員	5.6m	6.5m
斜角	90度	
床版	左岸側:RC床版(23cm) 右岸側:RC床版(20cm)	左岸側:プレキャストPC床版(16cm) 右岸側:高強度軽量プレキャストPC床版(16cm)

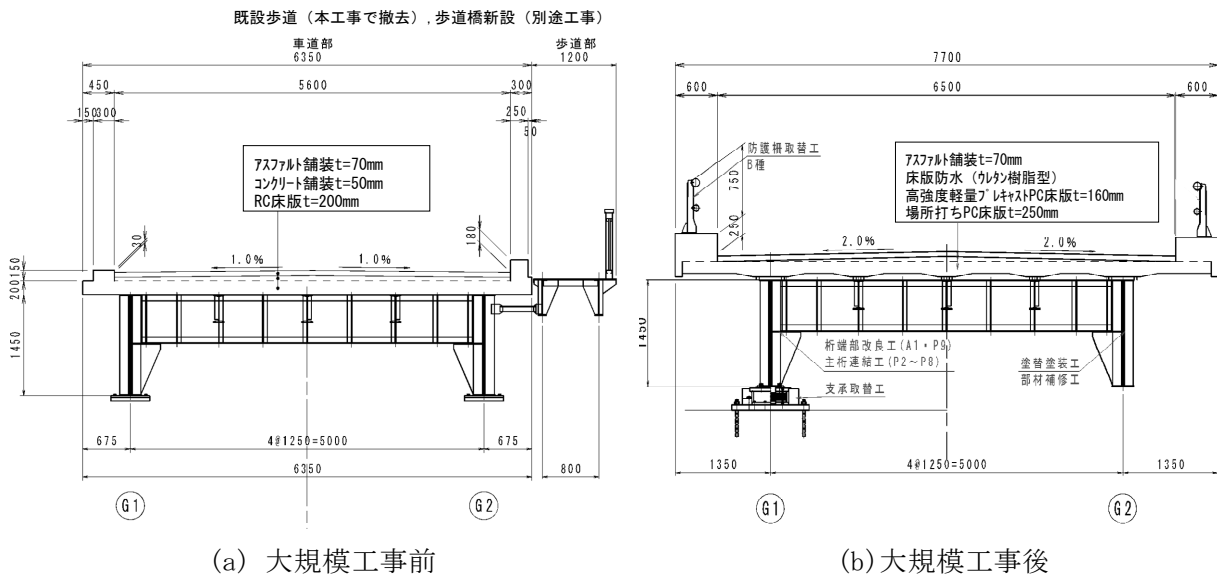


図-2 大規模工事前後の構造概要図(右岸側2主鈹桁部分)³⁾

本橋は、1922年に国道4号線として供用が開始されて以来、国から県、県から市へと移管されて現在に至っている。その間、活荷重の増大や歩道部の拡幅、経年変化などに応じて桁の補強工事や床版の鋼板接着工事が行われていたが、床版の損傷、床版コンクリートのひび割れや桁伸縮部からの漏水による鋼部材の腐食などが顕在化していた。

鋼部材の腐食も床版の劣化が一因となっており、抜本的な床版の構造改良の必要性が確認され、歴史的鋼橋の保存と更なる長寿命化を目指し、床版の全面的な取替工事が行われることとなった。本工事では、腐食した鋼部材の交換や当て板補強、桁連続化及び支承交換、全面的な塗装の塗替、歩道部を分離した専用橋の別途架設など、多岐に及ぶ工種が実施されているが、ここでは床版取替に着目して記述する。

本工事では既設橋脚への耐震補強が行われないことから、右岸側2主鈹桁部分では下部工への死荷重反力を既設のものより小さくする必要があったため、床版形式は高強度軽量プレキャストPC床版

が採用された。左岸側 4 主桁桁部分では荷重に余裕があり，当初 RC 床版で計画されていたが，工事期間が東日本大震災からの復興へ向けて多数の工事が交錯している時期であったため，現地での労務者不足が予想されたため，事前に工場で作成することで現地での作業量を減らすことが可能となるプレキャスト PC 床版に変更された。支間中央部では継手部が無筋のプレキャスト版を敷設後，橋軸方向にプレストレスを導入する構造が採用されている。

本橋は非合成桁であるが，既設舗装の撤去を行う際の橋梁上への大型路面切削機の大荷重載荷や，床版の撤去により，床版による主桁上フランジの固定効果が一時的に無くなった不安定な状態が想定されたため，綿密な事前調査・計画に基づいた各架設系の構造計算が行われ，その安全性が確認されている。例えば，橋梁上へクレーンを設置することを考えた場合，桁連続化後の方が構造の安定が得られるため，桁連結工を先行して行った後，床版の撤去・架設が行われている。

非合成桁の床版取替の特徴として，ずれ止めの配置が密でないため，床版の撤去が比較的容易になることが挙げられるが，本橋では，専用の鋼梁と撤去する床版を PC 鋼棒で締結し，梁の両端部をジャッキで扛上して RC 床版を撤去する工法が採用された(図-3)。また，プレキャスト版は，橋梁上にクレーンを設置して順次敷設されたが，ずれ止めにはスタッドが用いられ，PC 床版にあらかじめ設けておいたスリットを利用して後施工とすることで，PC 床版敷設時の作業性が高められている(図-4)。



図-3 床版はく離³⁾



図-4 スタッドの施工³⁾

交通規制については，上流側に架橋されている新九年橋などに交通を迂回させることが可能であったため，工事期間中（2013年9月～2015年6月）は全面交通止めとして工事が行われた。

4.3 活荷重合成桁のプレキャスト床版への取替事例(表-1のNo. 3, No. 4)

(1) 収集した事例のポイント

活荷重合成桁は，死荷重に対しては鋼桁のみで抵抗するとして設計されているが，活荷重に対しては床版が主桁の一部となるとして設計されることから，床版を撤去して鋼桁単独となった場合，不安定になることが予想される。したがって，工事にあたっては，施工ステップを考慮した安全性の確認とそれに見合った鋼桁の適切な補強は欠かすことができない。収集した2つの事例においては，縦桁と横桁の増設により鋼桁を補強した例と，外ケーブルを使って鋼桁の補強を行った例を取り上げた。合成桁における床版取替においては，施工順序が鋼桁の安全性の検討にとってとくに重要な情報であることから，各事例の施工ステップをできるだけ詳細に記載することとした。

合成桁では，鋼桁の上フランジ上にずれ止めが密に配置されていることからコンクリートとの分離が困難であり，通常は鋼桁上の部分はブレーカなどでコンクリートをはつりとることになるため，急速施工が求められる場合には RC 床版の撤去工程のネックとなることが予想される。調査した事例の一つでは，ジベルが密に配置された床版の撤去を急速施工するため，施工方法に工夫がなされている。

また、プレキャスト床版の現場継手については、合成桁、非合成桁の区別なく、工夫の余地が大きい項目であり、合成桁の床版取替においても、現場打設するコンクリート量の低減と配筋の省力化が検討されている。

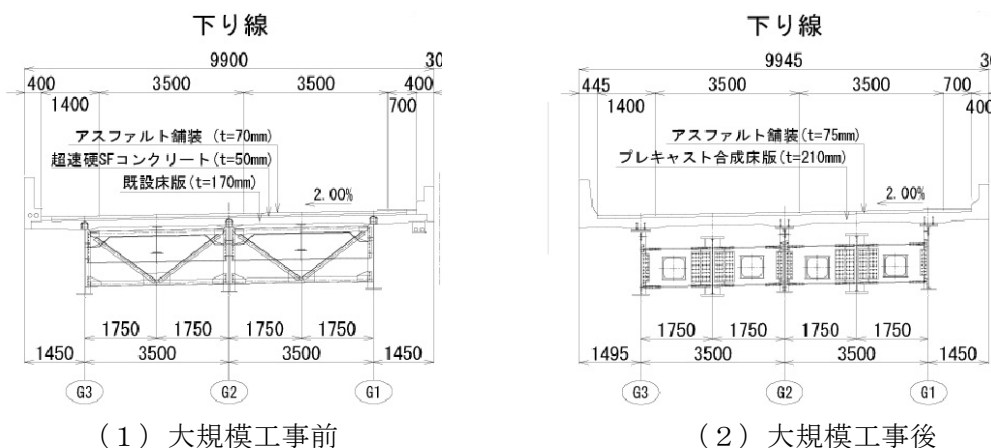
交通規制の方法については、夜間通行止め(昼間交通解放)と半幅規制を行った事例を収集した。夜間工事を行い昼間に交通解放した事例では、床版取替において新旧床版の間で路面の連続性を確保する方法に工夫がなされている。

(2) 御幸大橋（西名阪自動車道）の事例⁴⁾

御幸大橋の大規模工事の概要を表-3に、概要図を図-5に示す。

表-3 御幸大橋の概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	鋼単純合成鉄桁+2@3 径間連続合成鉄桁	鋼単純非合成鉄桁+2@3 径間連続合成鉄桁
橋長	321.6m	
支間長	25.2m + (3@49.0m) + (3@49.0m)	
主構間隔	2@3.500m(縦桁補強あり 4@1.750m)	
有効幅員	9.10m	
斜角	90°	
床版	RC床版(既設床版厚 17cm+増厚 5cm)	鋼コンクリート合成床版(21cm)



(1) 大規模工事前

(2) 大規模工事後

図-5 大規模工事前後の構造概要図⁴⁾

本橋は、1969年に供用を開始したが、1979年頃から振動・騒音問題が発生したため、縦桁増設、床版上面増厚、桁連結、ジョイント補修、下面遮音板の設置など、多種多様な対策が施されてきた。2006年頃からは床版上面増厚の変状に起因すると推定される舗装路面のポットホール発生が頻発し、新たな振動・騒音の原因となったため、RC床版の補修を応急的に繰り返してきた。また、2010年頃には舗装路面、床版上面増厚部だけではなく旧床版の損傷も再び進行し始めてきたことから、抜本的な対策として高耐久な床版へ取替えることとなった。

当該区間は年平均断面交通量が約6万台/日の重交通区間(上下2車線ずつの分離構造で、本工事の対象は下り線側橋梁の床版取替)であり、社会的な影響が甚大となるため長期間にわたる通行止め規制は不可能と判断された。よって、設計計画する際の施工条件として、取替え作業時間は、夜間のみの一時的な全面通行止め(上下線ともに8時間)として、昼間は1車線を開放(上り線全面開放、下り線1車線開放)する方法で規制計画されることとなった。

床版取替の対象となった径間は単純合成桁の部分であり、鋼桁の上フランジには馬蹄形ジベルが密に配置されていることから、床版の撤去作業が難航することが想定された。このため、主桁ウェブを工事規制前に事前に切断・仮添接しておくことで、工事規制時間帯には床版と上フランジ・ウェブ上

端部材（以下、「T字材」という）を同時に撤去し、新設のT字材、床版を設置する工法が計画された(図-6)。床版取替えと同時に上フランジを取替える構造であるため、設計においては合成桁を非合成化する補強が検討された。すなわち、床版取替作業時には主桁の断面剛性が一時的に著しく低下するため、過去に設置された増設縦桁を剛性の高い新たな縦桁および横桁に取り換え、現行のB活荷重へも対応することとされた(図-5)。

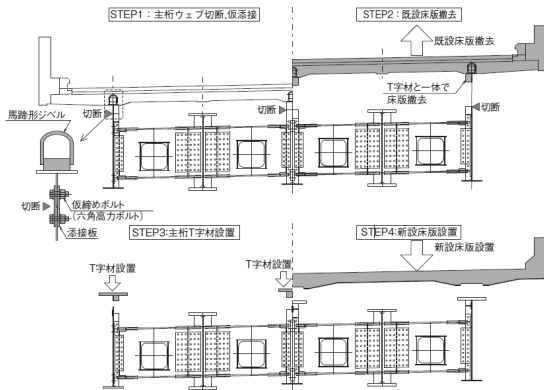


図-6 床版取替方法 4)

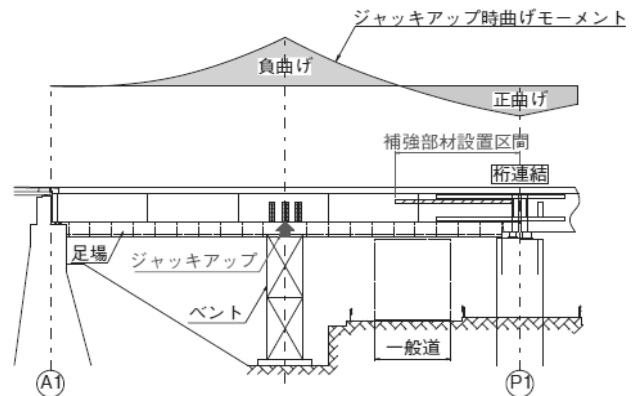


図-7 主桁のジャッキアップ 4)

また、施工の検討においては、床版撤去時に鋼桁の上フランジが一時的に無い状態となるため、死荷重および架設時の荷重によりウェブ上縁側が座屈しないよう、図-7に示すように支間中央において主桁をジャッキアップした状態で床版が取替えられた。なお、支間中央ではジャッキアップにより負曲げが生じ、P1 支点部では逆に主桁連結により正曲げが生じるため、鋼桁ウェブの上部に補強部材を設置することで鋼桁の座屈が防止されている。

本橋では、床版取替え時間の短縮が求められたことから、一般的なループ継手を有するPC床版よりも架設時間の短縮が可能な、合理化継手と称する継手構造を有するプレキャストの鋼・コンクリート合成床版が採用された。合理化継手を採用することにより、現場打設部分の幅縮小によるコンクリート打設量の減少、通常ループ継手の配筋作業で生じるループ継手内への鉄筋挿入作業の時間短縮などが図られている。プレキャスト版の敷設後、超速硬モルタルを床版上面から新設床版・主桁上フランジ間に流し込み、間詰部にはジェットコンクリートが打設された。さらに、壁高欄についても、現場への運搬枚数に制約が生じるものの、あらかじめ工場にて打設・設置する方法を取ることで現場における場所打ち施工時間の短縮が図られた。

床版取替工事中は、1夜間ごとに2～4パネルの床版を取替え、昼間は交通解放された。昼間に1車線を交通解放する際、既設床版と新設床版が一時的に混在するため、新旧床版間に生じる継手部の隙間を埋める必要が生じた。本工事では図-8に示す間詰鋼床版を使用することで、新旧床版間の隙間を解消し、交通解放が行われた。なお、この間詰鋼床版は転用可能な構造に工夫されており、工事中は繰り返し使用された。

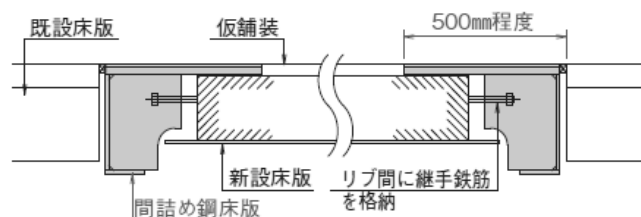


図-8 間詰め鋼床版 4)

4.4 RC床版から鋼床版への取替事例(表-1のNo.5, No.6)

(1) 収集した事例のポイント

鋼床版は軽量であることから、橋面の拡幅などで死荷重を増加させたくない場合や、上部工の重量増を抑えることで上部工ならびに下部工の耐震補強を最小限にしたい場合などに適している。また、鋼床版を鋼桁と一体化して合成桁とすることで非合成桁の主桁の補強を図ることもできる。

設計においては、鋼床版による床版取替においても既設床版の撤去、鋼床版の設置などの施工ステップを踏まえた荷重、構造系の変化を適切に考慮した安全性の確認が必要であることはもちろんであるが、鋼床版を主桁に結合する構造詳細や合成桁化のタイミングに注意が必要である。収集した2つの事例は、いずれも歩道の増設に伴う拡幅の事例であり、それぞれ、改築前に合成桁であったものと非合成桁であったものである。

施工の面からは、鋼床版ではコンクリートを打設する必要がないため急速施工が可能になるが、主桁との取りあい部の構造がポイントとなる。一般に、鋼床版の鋼桁への取り付けは高力ボルト継手が用いられる。このため、RC床版の撤去後、鋼桁に取り付け用のボルト孔加工が行われることになる。部材の製作においては、コンクリート系の床版に比べて現場での寸法調整の余裕が少ないため、事前に実寸法を測定し、その結果を製作へと反映することが重要である。また、高さ調整は、鋼桁と鋼床版との間にフィラープレートを挟み込み、フィラープレートの厚さを調整することで行われる例が多い。

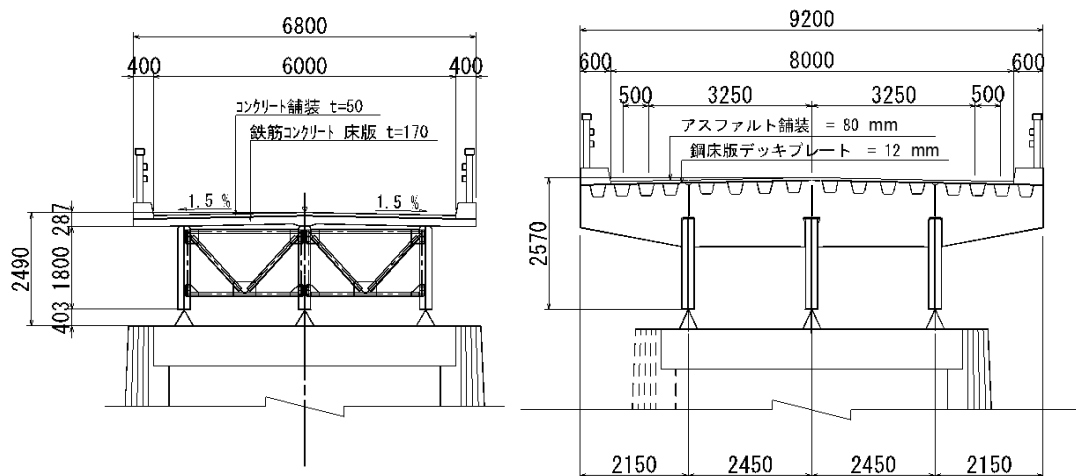
交通規制の方法については、収集した事例はいずれも交互通行による半幅施工である。

(2) 上川橋(一般国道274号)の事例⁵⁾

上川橋の大規模工事の概要を表-4に、概要図を図-9に示す。

表-4 上川橋の概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	単純合成鉄桁(8連)	単純鋼床版鉄桁(8連)
橋長	270.0m	
支間長	33.150m×8連	
主構間隔	1.150m+2@2.450m+1.150m	2.150m+2@2.450m+2.150m
有効幅員	6.0m	8.0m
斜角	90度	
床版	RC床版 (床版厚17cm)	鋼床版 (デッキプレート厚12mm, Uリブ)



(1) 大規模工事前

(2) 大規模工事後

図-9 大規模工事前後の構造概要図⁵⁾

本橋は、1964年に道道として完成し、1993年に国道274号に昇格した。完成当初は二等橋(TL-14)として設計され、これまで床版の繊維接着補強や地覆の補修補強がなされてきた。近年の車両大型化により建設時の有効幅員6mでの対面通行が困難な状況になり、この状況を解消するため拡幅することとなった。

主構造は健全な状態であったが、平成14年版の道路橋示方書に準拠してB活荷重を載荷した場合、大幅な応力超過となる状況であった。また、下部工には耐荷力低下を伴う損傷は見られず、躯体コンクリートはコア採取による圧縮強度試験により設計基準強度以上の強度が確認されていたものの、上部工死荷重及び活荷重増となる場合には躯体及び基礎工に補強が必要となる状況にあった。これらの条件から、桁増設による拡幅は困難と判断され、既設RC床版を鋼床版に取替えるとともに桁高を増加し、既設桁下フランジに当て板補強する拡幅案が採用された。

本橋は、大規模工事を行う前は合成桁構造であったため、全工程においてベントで主桁を支持し、床版取替及び桁補強を行くことが計画されていた。しかし、河川内での施工となることから、増水時には河川内からベントを撤去する必要があるがあった。このため、ベントが必要な施工ステップを明らかにするため、図-10に示す構造系と荷重の変化を考慮した解析(ベント無しでの応力照査)を行い、鋼桁に発生する応力を低減するための床版の撤去順序が選択された。このような事前検討を行うことで徐々に荷重を軽減させ、鋼桁の上フランジの座屈を防止しながら応力度を軽減させる工法を採用することで、ベント設置期間が大幅に短縮されている。

主桁剛性：合成桁 → 鋼桁 → 鋼床版桁
 横桁剛性：対傾構 → 横桁
 荷重：撤去する既設の舗装・高欄・地覆・RC床版
 新設する補強材・鋼床版桁・舗装・高欄
 施工位置：左右半断面ずつ(剛性・荷重とも変化)
 構造系：ベント支持の有無

施工ステップ毎の床版状況 RC床版撤去時(鋼床版架設時)	RC床版撤去前 (鋼床版設置後)	床版撤去時 (鋼床版設置時)	床版撤去後 (鋼床版設置前)
概要図 (RC床版撤去時の概要図)			
荷重	RC床版(鋼床版)+鋼桁	RC床版(鋼床版)+鋼桁	鋼桁
抵抗断面(剛性)	RC床版(鋼床版)+鋼桁	鋼桁	鋼桁
施工ステップでの応力状態	抵抗断面が合成桁であり耐荷力大きい	抵抗断面が小さく作用する荷重が大きいためもっとも不利な状況となる	抵抗断面が小さいが作用する荷重も小さい問題とはならない

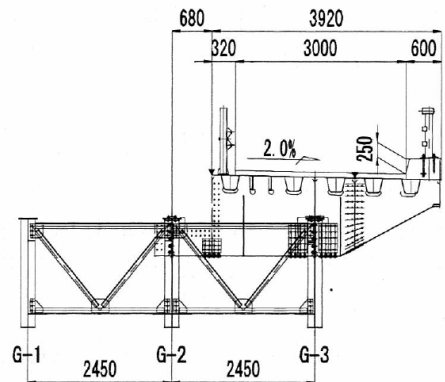


図-11 片側交通解放時の断面図⁵⁾

図-10 構造系と荷重の変化⁵⁾

交通規制については、本橋の迂回路は最も近い橋梁を利用しても10km程度の道程となるため、全面通行止めは不可能と判断された。このため、片側交互通行による半幅施工が選択され、交通路の反対側で床版取替及び主桁補強が行なわれた。

片側交互通行による半幅施工が選択されたことから、3つの鋼桁のうちG1・G2桁の2つの鋼桁上のRC床版を撤去し、残りG3桁のみ鋼床版と一体化した合成桁となる状況で片側交通解放する計画が立てられた(図-11)。この構造系では交通規制により活荷重が偏載された場合のG2桁とG3桁の接合部や各部局部応力を含めた応力状態や変形状が格子解析では適切に表現できていない可能性があり、不安定な構造となる懸念があった。このため、立体FEM解析による検証が行われ、安全性が確認された上で施工が行われた。

4.5 特殊橋梁の床版取替事例(表-1のNo. 7, No. 8)

(1) 収集した事例のポイント

本調査で収集した特殊橋梁の床版取替の事例は、吊橋における道路の拡幅ならびにアーチ橋における床版劣化への対応を目的としたものである。床版取替工事では、橋梁の安全性に影響が現れないように配慮しなければならないが、吊橋やアーチ橋などの特殊橋梁では、床版取替により、複雑な構造である橋梁全体系への影響が現れることがないように、設計・施工での工夫が求められることになる。

特殊橋梁の床版取替においては、床版死荷重の増減、拡幅などによる活荷重の増加などを適切に評価し、現行の設計基準に照らして安全性の照査を行う必要があるとともに、他の橋梁形式と同様、床版取替施工時の構造系の変化を考慮した施工ステップを踏まえた安全性の確認が必要である。また、近年の地震被害を踏まえた巨大地震に対する橋の各部材の耐震補強の要否の検討なども考慮する必要がある。収集した事例では、活荷重や地震荷重の増加に対して、全体系の構造安全性の検討と部材補強の要否の検討がなされた結果、いずれも軽量の鋼床版が採用されている。

特殊橋梁では、床版を取替えることによる死荷重の変化が橋梁全体系に及ぼす影響が大きいと考えられるため、事前に十分な検討を行い、施工ステップを決定することが重要である。また、施工においては、各施工ステップで適切な施工が行われていることを確認しながら施工を進めて行く必要がある。収集した事例の一つでは、施工時の荷重系の変化による変位などの応答を即時に計測するシステムが開発され、変形の状態を逐次確認しながら施工が行われた。

また、交通規制は特殊橋梁においても、安全性の確保や施工ステップの設定のために重要な項目である。収集した事例は、吊橋における半幅規制と鋼上路アーチ橋における夜間通行止め(昼間交通解放)の2種類である。

(2) 若戸大橋(一般国道199号)の事例^{6),7)}

若戸大橋の大規模工事の概要を表-5に、概要図を図-12に示す。

表-5 若戸大橋の概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	吊橋(3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋)	
橋長	680.3m	
最大支間	367.0m	
主塔高さ	85.0m	
床版	RC床版 (床版厚 車道部 16cm, 歩道部 12cm)	鋼床版 (デッキプレート厚 12mm, バルブリップ)
有効幅員	歩道 3.0m+車道 9.0m+歩道 3.0m	車道 15.2m

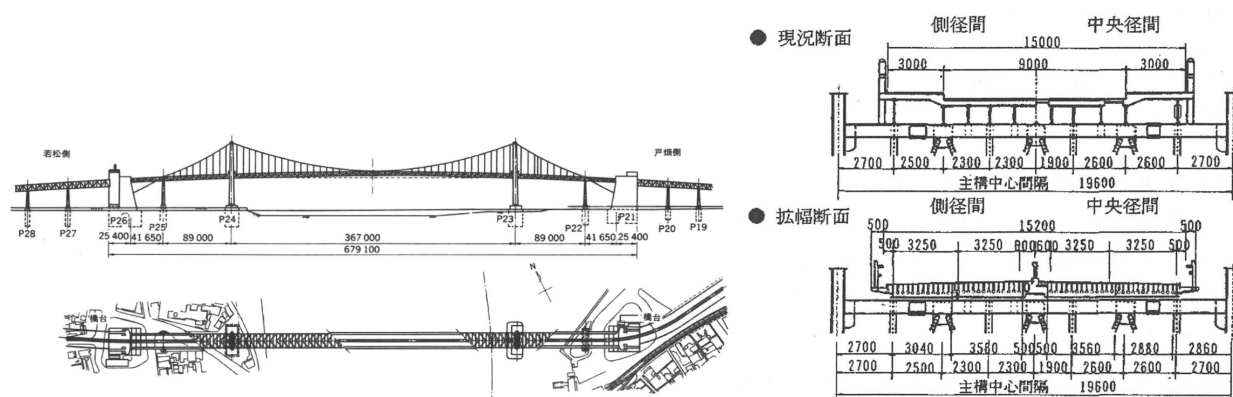


図-12 大規模工事前後の構造概要図^{6),7)}

わが国の長大吊橋の草分けである若戸大橋は、1962年の開通以来、北九州の幹線道路としての役割を果たし、慢性的な交通渋滞が問題となっていた。この渋滞を解消するために改築前2車線であった車道を4車線に拡幅する工事が事業化された。拡幅工事に際して、長期間の完全通行止めは北九州幹線道路網の機能低下を引き起こすことが予想されたため、社会的・経済的効果のマイナス面を考慮すると完全通行止めは許されない状況であった。そのため、現交通を確保しながら吊橋を拡幅するという日本では先例のない工事が行われることとなった。

床版形式は、①場所打ちのRC床版、②RCプレキャスト床版、③人工軽量コンクリート床版、④I形鋼格子床版、⑤オープンタイプI形鋼格子床版、⑥PC埋設型枠床版、⑦鋼床版、の7タイプの中から、死荷重の軽減、走行性、工費、工期、工法等の総合判断から鋼床版が採択された。

拡幅にあたっての設計においては、鋼床版構造の検討、吊橋本体の応力的検討などが行われたが、主構造の改造はほとんど必要とはならなかった。その理由は、本橋の吊構造(ケーブル、補剛トラス、ハンガーロープ、主塔)の建設時の設計活荷重が、歩道も含めた床版全幅(15m)について350kgf/m²(3.4kN/m²)の等分布活荷重を載荷して行なわれていたためである(図-13)。この荷重は、本四基準、道路橋示方書による荷重よりも大きな値であったため、拡幅後の主構造の補強は不要となった。

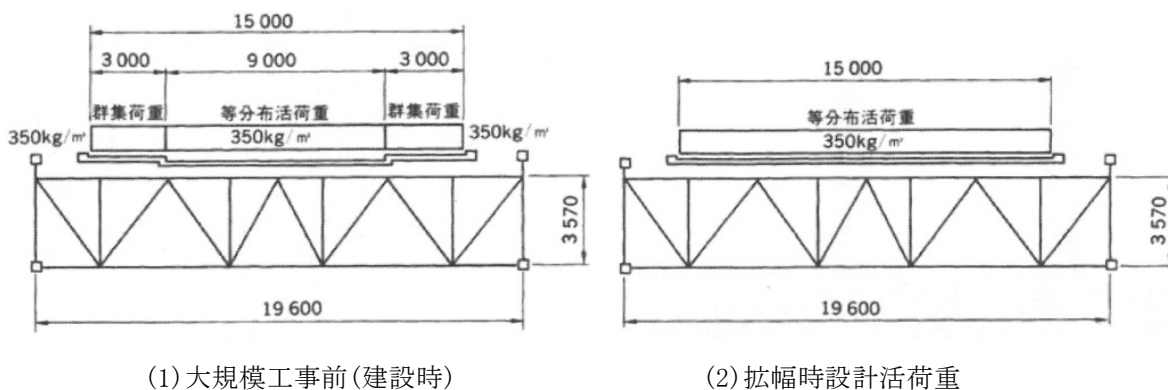


図-13 吊構造の設計活荷重⁶⁾

工事においては、現交通を確保しながら行うことが最も重要なポイントであった。そのため、十数回の交通切り回し、夜間の交通規制を行うとともに、大型機械の導入により作業ヤードと車両通行帯とを分離することで安全性、施工性の向上と工期の短縮が図られている(図-14)。

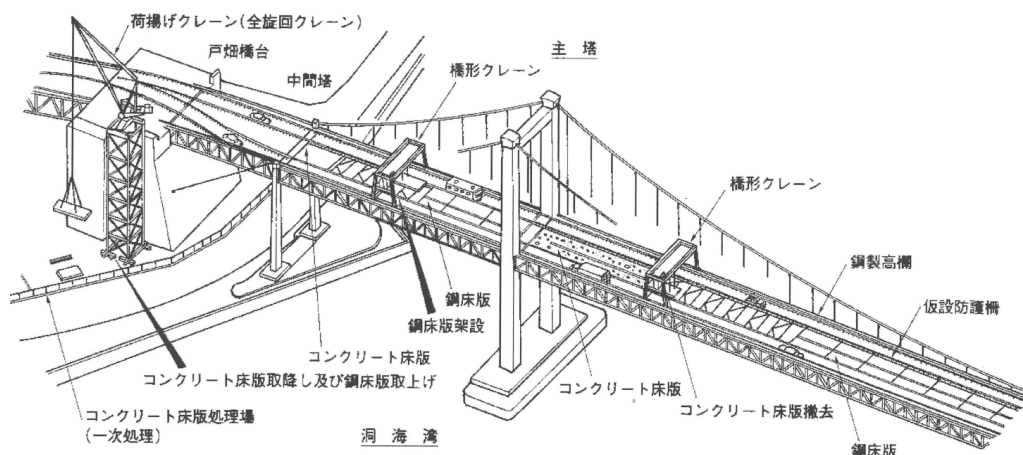


図-14 若戸大橋の床版取替の工事概要⁶⁾

本工事では、床版の取替にともない変化する吊橋全体の形状を把握しながら正確かつ安全に施工することが求められたため、吊橋の全体形状を多点同時測定することを目的として水レベル連通管方式による計測システム(図-15)が開発、採用され、各施工段階での変位をチェックしながら作業が進められた(図-16)。

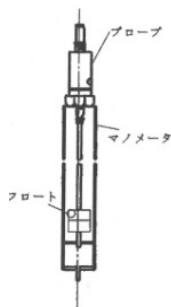
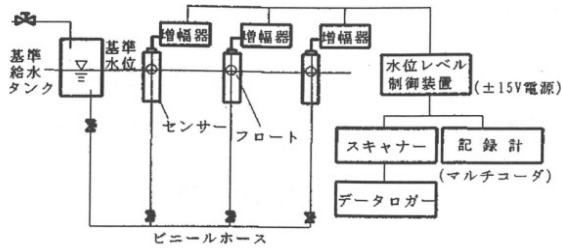


図-15 形状測定システム 7)

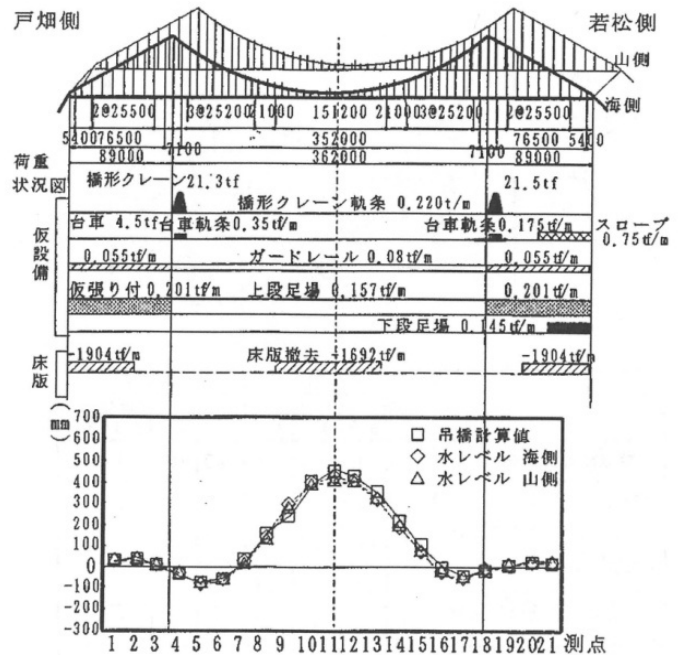


図-16 施工段階での形状の即時計測の例 7)

5. まとめ

既設橋の床版取替には様々なパターンがあり、実際の工事においては、施工現場での様々な制約条件や要求性能など、構造物の特性や現地の環境に合わせて工事の計画・実施を行っていく必要がある。このような工事の計画にあたっては、過去の事例が参考になることが多い。鋼道路橋の床版取替は、大規模な工事として事例も豊富であり、そのニーズも今後高まってくると考えられる。

本調査では、今後の類似の工事において参考となる資料の作成を目的として、事例の比較的豊富な鋼道路橋の床版取替工事を対象として、橋梁形式、取替後の床版形式、交通規制の方法に着目してその事例を系統的に収集し、工事の特徴と施工上の工夫について報告書²⁾にまとめた。本文ではその概要を簡単に紹介した。

床版取替工事を行うにあたり、本報告が何らかの形で参考になることがあれば幸いである。

謝辞

本調査は、土木学会鋼構造委員会鋼橋の大規模修繕・大規模改築に関する調査研究小委員会の活動の一環として実施したものである。水口和之委員長(東日本高速道路(株))、石井博典幹事長(横河ブリッジホールディングス(株))をはじめとする小委員会のメンバーには、調査資料の提供をはじめとして、資料のまとめ、報告書の作成などで多くのご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 玉越隆史, 大久保雅憲: 橋梁の架替に関する調査結果 (IV), 国総研資料第 444 号, 2008. 4
- 2) 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, 2016. 7
- 3) 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, 橋梁と基礎, Vol. 49 No. 12, pp. 17-22, 2015. 12
- 4) 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, 橋梁と基礎, Vol. 45, No. 9, pp. 15-20, 2011. 9
- 5) 酒井武志, 川村達也, 大野正人: 供用化における合成桁橋の鋼床版化と主桁補強 (上川橋拡幅工事), 平成 21 年度 土木学会北海道支部論文報告集 第 66 号, A-11, 2009. 9
- 6) 宮下泰, 坂東正治, 加藤靖: 若戸大橋の鋼床版拡幅工事, 日立造船技報, Vol. 32, No. 1, pp. 104-110, 1991. 5
- 7) 石井孝男, 金子鉄男, 讃岐康博, 杵本正信: 若戸大橋拡幅工事における形状観測と振動特性について, 土木学会論文集, 第 427 号, VI-14, pp. 123-131, 1991. 3

鋼橋の床版取替事例

高木 優任 新日鐵住金(株)
江崎 正浩 川田工業(株)
大坪 恭 (株)東京鐵骨橋梁

1. 調査の目的

既存構造物の高齢化 → 構造物の劣化・機能の陳腐化への対策(大規模な工事) ニーズ増

既設橋の大規模な工事は構造物を活かしながら施工
→ 工法に限られる, 施工手順が複雑, 高度な設計技術・判断
→ 作業空間・作業時間の制約, 通過車両・歩行者の安全確保, 周辺への環境対策

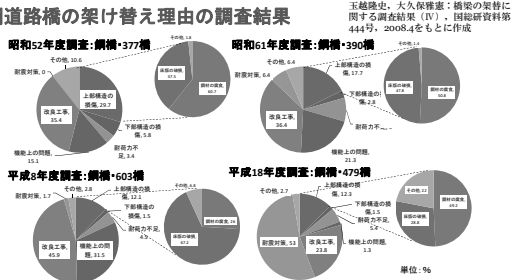
○ これらは, 過去の経験から学べるところが大きい

鋼橋の大規模修繕・大規模改築に関する調査研究小委員会
→ 国内外の既設鋼橋に対する大規模な工事の事例を収集
→ 工法選択・設計の考え方, 具体的な施工法, 困難を克服するための技術・工夫, 施工で考慮すべきポイントなどを整理

○ 本調査では床版取替事例を紹介

2. 調査の対象

鋼道路橋の架け替え理由の調査結果



床版の損傷は鋼橋の損傷の主要原因(鉄道は床版の損傷なし)
→ 事例の多い鋼道路橋の床版取替事例を調査

3. 調査の着眼点

工事への影響大の要因として, 以下3点に着目して事例収集

- ① 橋梁形式: 非合成桁, 合成桁, 特殊橋梁など
→ 床版取替の施工法やその手順の選択に大きく影響
- ② 更新後の床版形式: PC床版, 合成床版, 鋼床版
→ 既設RCの問題(耐久性不足, 床版厚増)
→ 橋全体での性能(床版の耐久性, 死荷重, 路面高, 耐震性能)に大きな影響
- ③ 交通規制の方法: 全面通行止め, 半幅施工など
→ 施工の手順や難易度に大きな影響

4. 事例紹介

収集した事例

No.	題目	① 橋梁形式		② 床版形式 (大規模工事等) 取替前: RC床版	③ 交通規制 方法	キーワード (①~③を横く)
		取替前	取替後			
1	非合成桁の14x21PC床版への取替(九条線)	非合成桁	非合成桁	14x21 PC床版	通行止(上流側迂回)	床版損傷, 葦橋, 継ぎPC
2	既設交通規制における非合成桁の14x21PC床版への取替(九州自動車道 両庄寄側)	非合成桁	非合成桁	14x21 PC床版	交通切替え(分割施工)	床版損傷, 継ぎPC
3	両側非合成桁の14x21合成床版への取替(西名阪自動車道 御幸大橋)	両側非合成桁	非合成桁	14x21 合成床版	夜間通行止(昼間交通迂回)	床版損傷, 主桁ウェブ切断, 鋼筋補強
4	両側非合成桁の外枠14x21による主桁補強を併用した14x21PC床版への取替(御幸大橋)	両側非合成桁	両側非合成桁	14x21 PC床版	半幅規制	床版損傷, ガケーブル補強
5	非合成桁の鋼床版への取替(奥川大橋)	非合成桁	両側非合成桁	鋼床版	半幅規制	床版損傷
6	両側非合成桁の鋼床版への取替(上川橋)	両側非合成桁	両側非合成桁	鋼床版	半幅規制	鋼筋補強(耐力方上), 葦橋
7	吊橋の鋼床版への取替(若戸大橋)	吊橋(補剛トラス)	吊橋	鋼床版	半幅規制	葦橋, 鋼筋クレーン
8	上流アーチ橋の鋼床版への取替(御幸大橋)	上流アーチ	上流アーチ	鋼床版	夜間通行止(昼間交通迂回)	床版損傷

事例1 非合成桁のプレキャスト床版への取替

非合成桁の工事のポイント

鋼桁のみで死荷重, 活荷重を支持
→ 床版撤去後も鋼桁の耐荷力は比較的高い
しかし, 不安定になる要因はあるので施工ステップを考慮した安全性照査は必要

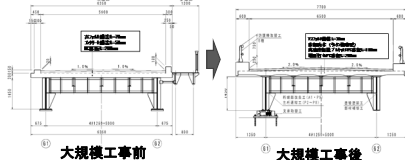
鋼桁上フランジ上のずれ止めの量が少ない
→ 主桁上の床版の撤去が比較的容易な場合が多い

プレキャスト床版の工事のポイント

急速施工のため, プレキャスト床版が使われることが多い
→ プレキャスト版の継手部の構造, プレキャスト版の配置の検討, 鋼桁上へのずれ止めの設置方法などに工夫の余地がある

事例1 非合成桁の プレキャスト床版への取替（九年橋）

	大規模工事前	大規模工事後
構築形式	左岸側：8径間単線4主非合成桁 右岸側：9径間単線2主非合成桁	左岸側：8径間単線4主非合成桁 右岸側：9径間単線2主非合成桁
橋長	334.0m	
支間長	左岸側：22.3m、8径 右岸側：16.0m、9径	左岸側：22.4m×8 右岸側：17.2m×9
主桁間隔	左岸側：1.67m+1.80m+1.67m 右岸側：5.0m（縦桁間隔：1.25m）	
有効幅員	5.6m	6.5m
斜角	90度	
床版	左岸側：RC床版（23cm） 右岸側：RC床版（20cm）	左岸側：プレキャストPC床版（16cm） 右岸側：高強度軽量プレキャストPC床版（16cm）



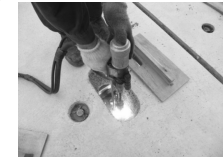
九年橋：非合成桁の床版撤去・設置の工夫

床版の撤去



- 床版をブロックに切断後、PC鋼棒で梁と一体化
- 両端のジャッキで鋼桁から剥離

ずれ止めの設置



- プレキャスト版を設置後、開口部でスタッド打設
- プレキャスト版設置の効率化

事例2 活荷重合成桁の プレキャスト床版への取替事例

合成桁の工事のポイント

床版を主桁の一部として設計

- 床版撤去後は鋼桁の耐力は低い
- 施工ステップを考慮した安全性照査と適切な桁の補強が必要

鋼桁上フランジ上にずれ止めが密に配置されている

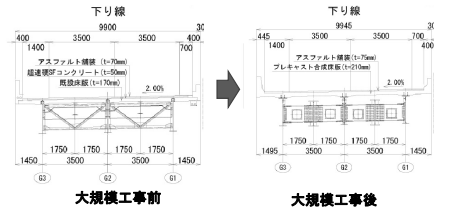
- 主桁上の床版の撤去が困難な場合が多く、工程上のネックとなりやすい

プレキャスト床版の工事のポイント（非合成桁と共通）

- 急速施工のため、プレキャスト床版が使われることが多い
- プレキャスト版の継手部の構造、プレキャスト版の配置の検討、鋼桁上へのずれ止めの設置方法などに工夫の余地がある

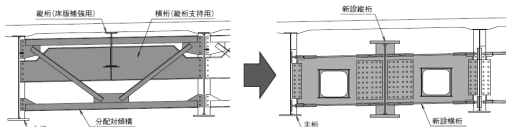
事例2 活荷重合成桁の プレキャスト床版への取替事例（御幸大橋）

	大規模工事前	大規模工事後
構築形式	鋼単純合成桁+2@3径間連続合成桁	鋼単純非合成桁+2@3径間連続合成桁
橋長	321.6m	
支間長	25.2m+（3@49.0m）+（3@49.0m）	
主桁間隔	2@3.500m（縦桁補強あり4@1.750m）	
有効幅員	9.10m	
斜角	90°	
床版	RC床版（既設床版厚17cm+増厚5cm）	鋼コンクリート合成床版（21cm）



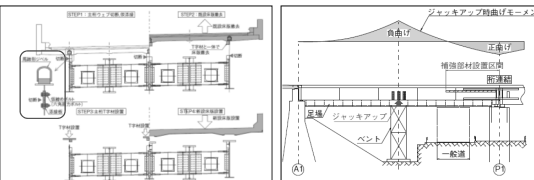
御幸大橋：桁の補強

既設／合成桁→床版取替の効率化に向け、非合成桁化



- 床版撤去時に主桁断面剛性が一時的に著しく低下
- 剛性の高い縦桁と横桁に取換え、非合成桁化（B活荷重へも対応）
- 縦桁・横桁の取替え作業は工事規制前に実施

御幸大橋：合成桁の床版撤去の急速化



施工ステップ

- Step-1: 鋼桁をウェブで切断・仮止め（事前施工）
- Step-2: 上フランジと床版を同時に撤去
- Step-3: 主桁上フランジ部材設置
- Step-4: 床版設置

床版撤去時の鋼桁の安定化

- 一時的に上フランジの無い構造となるため、支間中央をジャッキアップ
- 桁連結により安定化
- 中間支点付近の正曲げに耐えられるよう、ウェブ上側に補強部材を設置

事例3 RC床版から
鋼床版への取替事例

鋼床版の工事のポイント

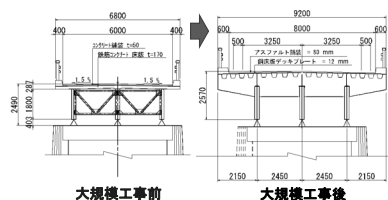
床版死荷重がRC床版の1/2~1/3(最も死荷重を低減できる)
→ 拡幅、耐震性の確保に有利

鋼桁との合成化により、非合成桁の補強ができる
→ 鋼桁との接合方法がポイント
→ 合成化のタイミングを施工に反映

コンクリート打設不要なため急速施工が可能
→ 調整余地が少ないので、現地計測と製作への反映が重要

事例3 RC床版から
鋼床版への取替事例(上川橋)

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	単純合成版桁(8連)	単純鋼床版版桁(8連)
橋長	270.0m	33.150m×8連
支間長	1.150m+2段2.450m+1.150m	2.150m+2段2.450m+2.150m
主桁間隔	6.0m	8.0m
有効幅員		90度
床版	RC床版 (床版厚17cm)	鋼床版 (デッキプレート厚12mm, Uリブ)



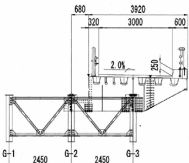
上川橋：床版取替ステップの安全性確認

施工ステップを考慮した安全性の検討

施工ステップ	RC床版撤去前	RC床版撤去中	RC床版撤去後	鋼床版設置前	鋼床版設置後
橋梁形式	単純合成版桁	単純合成版桁	単純合成版桁	単純合成版桁	単純鋼床版版桁
橋長	270.0m	270.0m	270.0m	270.0m	33.150m×8連
支間長	1.150m+2段2.450m+1.150m	1.150m+2段2.450m+1.150m	1.150m+2段2.450m+1.150m	1.150m+2段2.450m+1.150m	2.150m+2段2.450m+2.150m
主桁間隔	6.0m	6.0m	6.0m	6.0m	8.0m
有効幅員					90度
床版	RC床版 (床版厚17cm)	RC床版 (床版厚17cm)	RC床版 (床版厚17cm)	RC床版 (床版厚17cm)	鋼床版 (デッキプレート厚12mm, Uリブ)

床版取替の過程における抵抗断面の変化を考慮した照査
→ ベントの設置期間を最小化する施工手順の設定

施工中での立体的挙動に対する安全性の検討



施工中で偏載荷重が作用
→ 立体FEM解析で安全性を確認

事例4 特殊橋梁の床版取替事例

特殊橋梁の工事のポイント

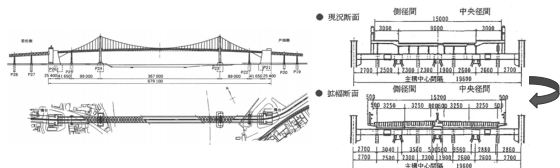
床版形式の選択
→ 死荷重の増減、工法、工期などを総合的に勘案して選択すべき

床版の撤去、取替が橋梁全体系へ与える影響を適切に評価する必要あり
→ 施工ステップを考慮した安全性照査と適切な補強が必要

施工ステップにより、各部材の挙動は複雑に変化
→ 橋梁全体での挙動を即時計測し、想定通りの施工が行われていることを確認

事例4 特殊橋梁の床版取替事例
(若戸大橋)

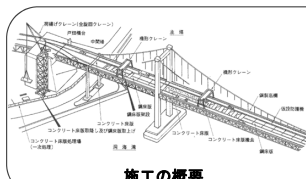
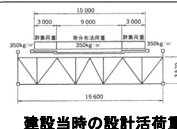
	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	吊橋(3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋)	
橋長	680.3m	
最大支間	367.0m	
主桁高さ	85.0m	
床版	RC床版 (床版厚 車道部16cm, 歩道部12cm)	鋼床版 (デッキプレート厚 12mm, ハルブリブ)
有効幅員	歩道3.0m+車道9.0m+歩道3.0m	車道15.2m



若戸大橋：拡幅の検討、施工手順

床版形式：7種類の中から総合的なメリットで鋼床版を選定

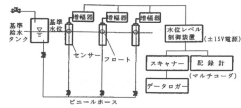
主構造の補強：建設時に大きな活荷重が考慮されており、主構造の補強は不要(2次部材は補強要)



施工：現交通を確保→十数回の交通切り直し、夜間の交通規制を実施。大型機械の導入→作業ヤードと車両通行帯とを分離。安全性、施工性の向上、工期短縮

若戸大橋：全体形状の

即時計測



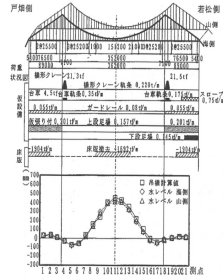
水レベル連通管方式計測システム

正確かつ安全な施工

→施工ステップにより変化する吊橋全体の形状を把握する必要

吊橋の全体形状を多点同時測定

→計測システムの開発・適用
→各施工段階での変位をチェックしながら作業が進められた



計測の例

5. まとめ

- 今後、増加が見込まれる既設橋の大規模な工事に向け、委員会でも過去の事例を調査・分析した
- 本報告では、鋼道路橋で事例の比較的多い床版取替の事例を収集・分析した結果の一部を紹介した
- 本報告が今後の床版取替工事に何らかの形で役立つことがあれば幸いである

ご清聴、ありがとうございました