

## 鋼橋の大規模な構造改良事例

## CASE STUDY ON LARGE-SCALE STRUCTURAL IMPROVEMENT WORK OF STEEL BRIDGES

橋 肇\*, 末峰 弘樹\*\*, 今井 隆\*\*\*, 北川淳一\*\*\*\*,  
 Hajime TACHIBANA, Hiroki SUEMINE, Takashi IMAI, Junichi KITAGAWA,  
 高嶋純一\*\*\*\*\*, 松井隆行\*\*\*\*\*, 渡辺陽二\*\*\*\*\*  
 Junichi TAKASHIMA, Takayuki MATSUI, Yohji WATANABE

**ABSTRACT** In Japan, a considerable number of infrastructure facilities were built in the period of high economic growth from 1960s to 1970s. With the passage of over 50 years, their maintenance is more important than ever and became of interest of society. JSCE has established the " Subcommittee for Surveying Large-scale Rehabilitation and Renovation of Steel Bridges" in 2014. In this paper, we first summarize 25 cases of large-scale structural improvement works and then report 4 cases in detail including the background, causes, design, and construction outlines.

**KEYWORDS** : 構造改良工事, 修繕工事, 更新工事, 維持管理, 鋼橋

Structure improvement work, Rehabilitation, Renovation, Maintenance, Steel bridges

## 1. まえがき

我が国には道路橋が約 70 万橋(支間 2m 以上)あり, その多くが高度経済成長期に建設された。10 年後には建設後 50 年が経過する道路橋が約 4 割に達すると予測され, 維持管理に対する関心が高まっている。各道路管理者では長期的にインフラを維持管理するために, 従来型の事後保全から予防保全の概念を取り入れた維持更新計画(大規模修繕・大規模更新)を打ち出し, 今後, 大々的な橋梁の架け替えや大規模な構造改良工事, 床版の取り替えが予定されている。

このような背景から土木学会では, 平成 25 年に鋼構造委員会の中に「鋼橋の大規模修繕・大規模改築に関する調査研究委員会(水口和之委員長)」を設置し, 今後想定される鋼橋の大規模修繕・大規模更新に備え, これまで行われた鋼橋の大規模な構造改良工事, 床版取替工事, 架け替え工事などの事例を収集・整理し, 橋梁の更新計画や設計に携わる技術者に参考となる情報を提供することを目的とした調査研究を実施してきた。

本稿では, 過去の大規模な補強・修繕・改良・改修・改築等の工事事例から構造改良として大分類し, 著者らが大規模工事に至った原因と経緯, 設計・施工概要等についてまとめた内容について報告する。

\* (株) 駒井ハルテック 橋梁営業本部 橋梁技術研究室 課長 (〒293-0011 富津市新富 33-10)

\*\* (株) 横河ブリッジ 設計本部 大阪設計第二部 計画課長 (〒592-8331 大阪府堺市西区築港新町 2-3)

\*\*\* (株) ビービーエム 取締役 (〒103-0027 東京都中央区日本橋 3-11-1)

\*\*\*\* エム・エムブリッジ(株) 技術部 設計グループ 主事 (〒733-0036 広島市西区観音新町 1-20-24)

\*\*\*\*\* 日本車輛製造(株) 輸機・インフラ本部 工事部 工事部長 (〒456-8691 名古屋市熱田区三本松町 1-1)

\*\*\*\*\* 西日本高速道路(株) 関西支社 保全サービス事業部 改築課 課長代理 (〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町 1-13)

\*\*\*\*\* 三井造船鉄構エンジニアリング(株) 技術本部 橋梁設計部 課長 (〒290-8531 千葉県市原市八幡海岸通 1 )

## 2. 構造改良工事における鋼橋の特徴と調査対象

### 2. 1 鋼橋の構造改良工事の特徴

大規模な構造改良工事においては、損傷した部材の一部を取り替えや、補強や車線拡幅のために新たな部材を既設部材に取付けることが多いが、通常、部材の接合方法として高力ボルト接合が採用される。高力ボルト接合は、鋼構造物の一般的な現場継手として数多くの実績があり、姿勢や作業者の技量、被接合材の材質に左右されにくいこと、現場での施工性が良好であること、疲労強度が高いことなどから、既設鋼構造物の補修補強、修繕、更新の現場継手として標準的に使われており、この利点を生かすことにより、既設鋼構造物の改造や改築を比較的容易に、高品質を保ちながら行うことができる。鋼橋の主桁腐食部の大規模補強事例を写真-1に示す<sup>1)</sup>。RC床版からの漏水による湿潤状態が長く続き、フランジとウェブの溶接部付近に孔があくほどの腐食が生じたものの、鋼板当て板による補強により、耐荷力をはじめとする性能は新設時を上回る程度にまで回復している。この後、漏水を防ぎ、点検や塗装塗替えなどのメンテナンスを確実に行えば、ほぼ半永久的にその性能を維持し続けることが可能である。



(1) 主桁ウェブとフランジ接合部の著しい腐食

(2) 当て板による補強

写真-1 著しい腐食部への当て板補強<sup>1)</sup>

さらに、部材の一部を完全に取替えることも可能である。写真-2は既設鋼橋単純桁の腐食した桁端部を新しい部材に取り替え、連続桁とした例である。これらの補修・補強部の性能は、新設構造の同部位の性能と比較して遜色はない。このように、既設構造物の初期の性能を損なうことなく、既設部材への新たな部材の取り付けや、部材の取替を容易に行えることが大規模修繕・大規模更新における鋼橋の最大の特徴であり、今後、適切な修繕・更新工事を行うことで、既設鋼橋を将来にわたり、末永く活用していくことができる。



1) 桁端部取替前

(2) 桁端部取替後 (桁端部主桁を取替, 連続化)

写真-2 桁端部の取替, 構造改良事例<sup>2)</sup>

## 2. 2 調査対象

委員会では、前述したような特徴をもつ過去の鋼橋の大規模な構造改良工事を収集し、25 事例についてまとめた。事例の選定にあたっては、ダイナミックな施工方法、用地や交通規制などが厳しい施工条件、吊橋の主ケーブル取替、アーチ橋等の拡幅、長大橋梁の耐震補強、架替・改築、災害復旧など、今後、道路管理者や設計者が大規模修繕・大規模更新を検討するうえで参考と考えられる特徴的な事例を幅広く選定した。これらの収集した大規模工事について、その理由を整理した結果を図-1 に示す。あくまでも限られた収集事例ではあるが、国内事例における大規模工事の理由の多くを「道路改良（線形変更・拡幅・荷重増）」（理由 B）と、「道路改良と同時に老朽化した構造を改築」（理由 C）が占めている。選定した 25 例には老朽化のみを理由に更新した事例は少なかったが、今後増加することが考えられる。

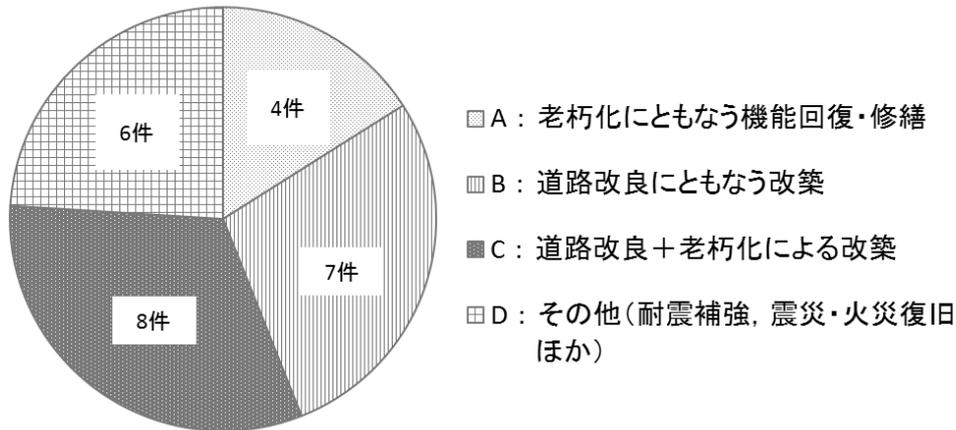


図-1 委員会で収集した国内での大規模な構造改良工事事例 25 例の修繕・改築理由

## 3. 調査事例の紹介

国内の大規模な構造改良として大分類した 25 件の事例について、損傷対応（形式変更，部材取替，橋梁架替），機能向上（拡幅，橋梁架替，改築），耐震補強および災害復旧ごとに小分類し，題目，橋名，キーワードをまとめ表-1 に示す。

表-1 大規模な構造改良工事の事例一覧表

番号	小分類	題目	キーワード
1	損傷対応 (形式変更)	アーチ橋の構造改良と床版取替 (名神高速道路 蟬丸橋)	アーチ橋, 床版取替, 鋼床版, 床版損傷, 疲労き裂
2	損傷対応 (形式変更)	単純桁橋を連続立体ラーメン橋に構造改良 (名神高速道路 下植野高架橋)	連続立体ラーメン橋, 鋼製横梁取替, 連続化, 疲労き裂, 鋼床版
3	損傷対応 (形式変更)	吊橋をアーチ橋に構造改良 (三好橋)	吊橋, ケーブル腐食, アーチ橋, 橋梁形式変更
4	損傷対応 (形式変更)	上路トラス橋の構造改良 (飯田線 天龍川橋梁)	鉄道橋, トラス橋, 主構高さ低減, 支間分割, 支間割変更, 再利用
5	損傷対応 (形式変更)	ゲルバー桁連続化による構造改良 (東名高速道路 清見寺橋)	ゲルバー桁橋, 連続化, 跨線橋, B 活荷重対応, PC 外ケーブル補強
6	損傷対応 (形式変更)	アーチの構造改良 (山神橋)	アーチ橋, 疲労き裂, ゲルバーヒンジ部連続化, 斜材追加

番号	小分類	題 目	キーワード
7	損傷対応 (形式変更)	鋼床版鈹桁の連続化による構造改良 (阪神高速 13 号東大阪線)	鋼床版鈹桁, 桁連続化, 1 支承線化, 集中工事, 疲労耐久性
8	損傷対応 (部材取替)	吊橋のケーブル調査と補修 (若戸大橋)	吊橋, ケーブル開放調査, ハンガーロープ取替, ケーブルバンドボルト取替, 除湿装置
9	損傷対応 (部材取替)	吊橋のケーブル取替 (東川橋)	吊橋, ケーブル腐食, ケーブル取替, 直吊り工法
10	損傷対応 (部材取替)	吊橋のケーブル取替 (新大杉谷橋)	吊橋, ケーブル取替, ケーブル残留強度, 直吊り工法, ケーブル張力の移行
11	機能向上 (拡幅)	アーチ橋の拡幅 (大深沢橋)	アーチ橋, 拡幅, アーチ主構増設, 一体化
12	機能向上 (拡幅)	アーチ橋の拡幅 (美恵橋)	アーチ橋, 歩道添架, バリアフリー化, ローゼ橋の補強, 斜材追加
13	機能向上 (拡幅)	トラス橋と鈹桁橋の拡幅 (鶴川大橋)	トラス橋, 拡幅, トラス主構増設, 主桁増設, 一体化, 橋脚炭素繊維補強
14	機能向上 (拡幅)	箱桁橋の拡幅 (加古川ジャンクション)	拡幅, 新旧橋梁一体化, 既設橋応力調整, SFRC 床版増厚, 老朽化対策
15	機能向上 (拡幅)	鈹桁橋とランガー橋の歩道拡幅 (網干大橋)	道拡幅, アルミ床版, B 活荷重, 桁補強, 支承取替, 落橋防止
16	損傷対応 (橋梁架替)	歴史的トラス橋の移設再利用による架替 (霞橋)	トラス橋, 移設, 再利用, 近代土木遺産, 歴史的橋梁
17	機能向上 (橋梁架替)	分割施工による RC 橋から鋼橋への架替 (新宿高架橋)	RC 桁架替, 鋼床版, 3 期施工, 全面通行止の回避
18	機能向上 (橋梁架替)	一括撤去・架設による架替 (首都高速八重洲線)	一括撤去, 一括架設, 多軸台車
19	耐震補強	吊橋の耐震補強 (首都高速 11 号台場線 レインボーブリッジ)	吊橋, 長大橋耐震, レベル 2 地震動
20	耐震補強	斜張橋の耐震補強 (首都高速湾岸線 鶴見つばさ橋)	斜張橋, 長大橋耐震, レベル 2 地震動, SRC 構造, 弾性拘束ケーブル, 落橋防止システム
21	耐震補強	長大ゲルバートラス橋の耐震補強 (首都高速湾岸線 荒川湾岸橋)	ゲルバートラス, 長大橋耐震, レベル 2 地震動, 制震装置, 地震損傷
22	機能向上 (改築)	既設ランプのフルジャンクション化 (阪神高速 4 号湾岸線 三宝ジャンクション)	フルジャンクション化, 鋼桁再利用, 拡幅, 新旧一体構造, 外ケーブル補強, 炭素繊維補強, 鋼コンクリート複合杭
23	機能向上 (改築)	既設ランプのジャンクション化 (阪神高速 31 号神戸山手線 湊川ジャンクション)	ジャンクション化, 既設構造物有効利用, 既設橋脚改築, 複合橋脚, 鋼床版拡幅, RC 床版拡幅, 主桁増設, 主桁改造
24	機能向上 (改築)	鉄道における連続立体交差事業 (京急蒲田駅付近)	鉄道橋, 直接高架方式, ハーフプレキャスト床版
25	災害復旧	火災損傷した上部工の急速架替 (首都高速 5 号池袋線)	タンクローリー火災事故, 火災損傷, 急速施工, 大断面撤去

この事例一覧表の中から、代表的な事例について大規模工事に至った原因と経緯，設計・施工概要等について紹介する。

### 3. 1 損傷対応（形式変更）の事例

#### 3. 1. 1 アーチ橋の構造改良と床版取替（名神高速道路 蟬丸橋）

##### （1）大規模工事に至った原因と経緯

1963年の供用開始後、10年を経過したころから、床版の損傷や鋼材部の疲労亀裂が顕在化したため、鋼板接着、縦桁補強および上面増厚補強などの床版補強や疲労亀裂対策を繰り返し行われてきた。その後、1987年の調査により、垂直補剛材とアーチリブの接合部に激しい損傷が発見されたため(図-2)、抜本的な対策が必要と判断され、「名神高速道路橋梁補強検討委員会（委員長：島田静雄教授）」が設置された。調査の結果、損傷原因は、斜角 $62^\circ$ を有しているや斜材・対傾構を有していないため立体挙動に対する剛性が不足していることであると確認され、根本的な構造改良による大規模工事の必要性が確認され、大規模工事を実施するに至っている。

##### （2）設計概要

主構造および床版の補強対策は、前述の委員会による審議により決定されている。

主構造は、アーチ橋の立体挙動に対する剛性不足を改善するため、主構造を鋼2ヒンジアーチ橋から、鋼2ヒンジスパンドレルブレスドアーチ橋に構造変更されている。(写真-3)具体的には、斜材、対傾構を追加し、垂直材を増設している。また、疲労き裂の直接の発生要因となる局部応力低減のため、構造全体の改善の他、垂直材とアーチ取り付け部に曲率を設けて局部応力を低減するディテールの改善も行っている。

床版に関しては、床版の耐久性向上のほか、部材増加による重量増の影響を回避するため、損傷したRC床版を鋼床版に取替えている。デッキプレート厚は疲労に配慮し14mmとされている。また、工期短縮のため、架設前に現場ヤードにて基層舗装 $t=40\text{mm}$ を施工する構造としている。

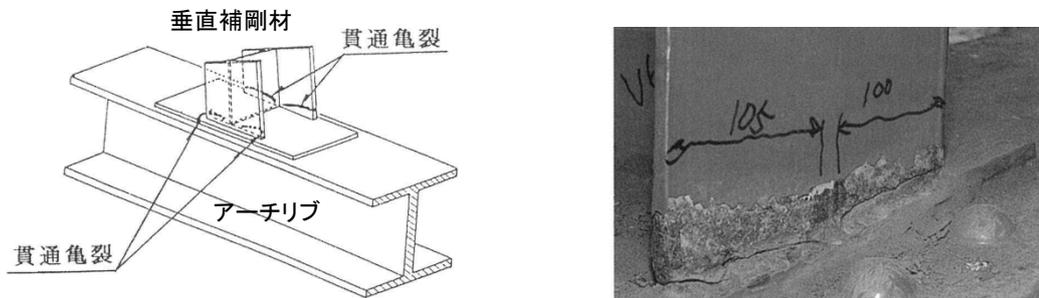
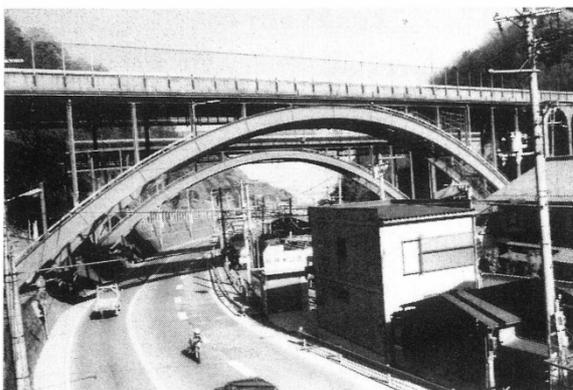
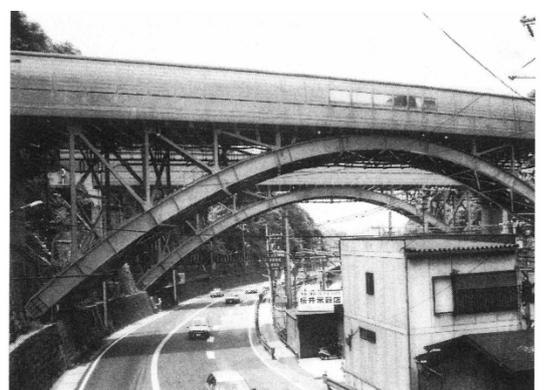


図-2 垂直補剛材とアーチリブ接合部の疲労損傷概要図(左)と疲労損傷状況写真(右)<sup>1)</sup>



(1) 大規模工事前



(2) 大規模工事後

写真-3 大規模工事前後の状況写真<sup>2)</sup>

(3) 施工概要

本橋の大規模工事は、日本の大動脈である名神高速道路の一部をなす橋梁であり、一般国道1号と京阪電鉄を跨ぐという厳しい制約条件の中で行われている。本工事の施工フローチャートと工程を図-3に示す。上り線・下り線を2カ年にわけ、仮設・防護設備の設置とあわせて約3年間で行われている。本橋の工事は1年あたりわずか13夜間の名神高速道路の通行止めの間に実施されている。また、床版取替にあたって切断部は仮覆工板で復旧し、昼間の交通開放を実現している。

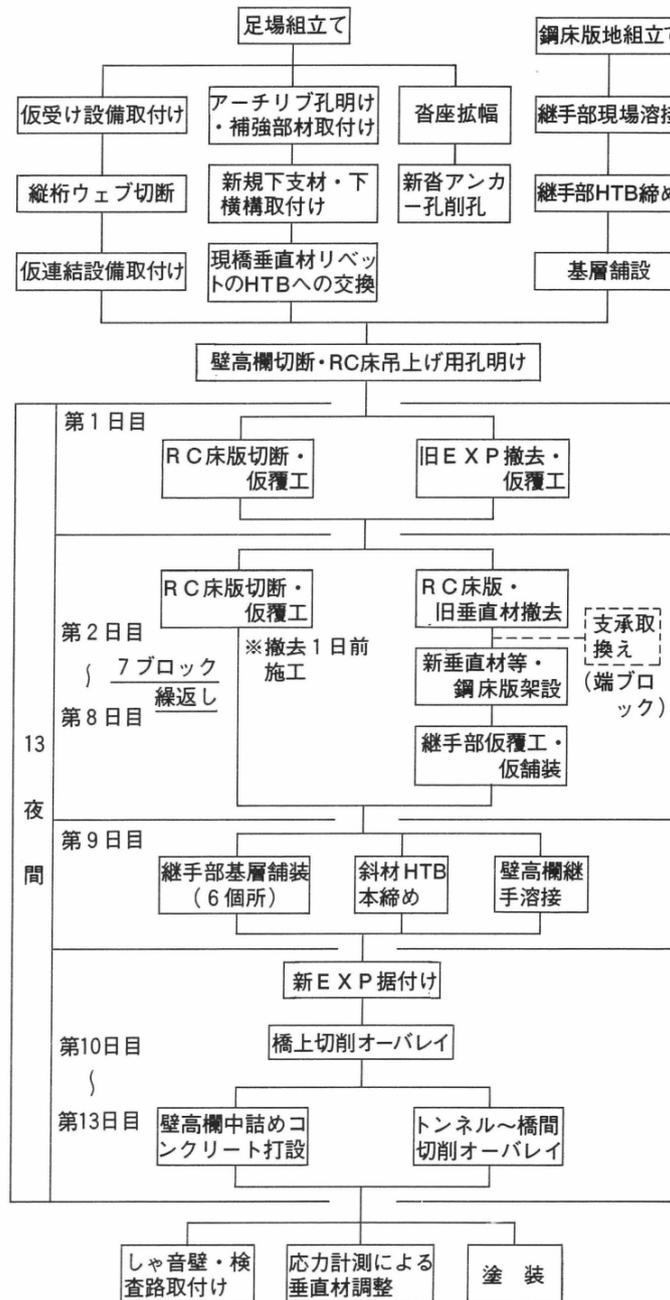


図-3 施工フローチャートと工程<sup>2)</sup>

(4) 補強効果の確認

載荷試験車(車両重量196kN)と一般車両走行時の24時間の変位・応力・振動状況の測定が行われ、補強効果の確認と補強方法の妥当性の検証が行われている。その結果、局部応力が補強前の67~12%と大きく低減していること、補強後の推定寿命は100年以上であること、振動性状が大きく改善していることなどが確認されている。

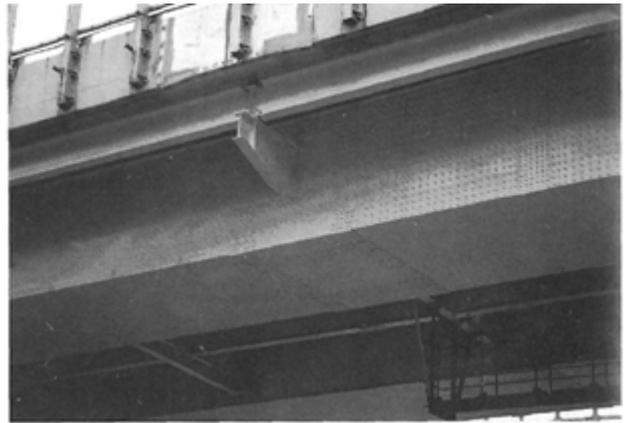
### 3. 1. 2 ゲルバー桁連続化による構造改良（東名高速道路 清見寺橋）

#### （1）大規模工事に至った原因と経緯

1968年の供用開始後、急増する交通量の増大と、予想を上回る車両の大型化によってコンクリート床版の劣化が顕著となり、1977年に床版補強工事として縦桁の増設や鋼板接着が実施され、その後B活荷重対応となっている。また、本橋の架橋位置である静岡市清水区は東海地震の対策地域内にあり、大規模地震の発生が心配され、吊桁部が落橋した時の被害は、東名高速道路のみならず直下の東海道新幹線にもその影響が及び、陸上交通の要である両者に莫大な損害を与えることが懸念されてきた。そのため、写真-4に示すように3径間連続ゲルバー桁のヒンジ部主桁を取替え、橋梁の構造系を3径間連続桁に変更し、落橋という最悪の事態を回避するようにしている。



(1) 大規模工事前



(2) 大規模工事後

写真-4 大規模工事前後の状況写真<sup>3)</sup>

#### （2）設計概要

設計時における構造解析ステップを表-2に示す。死荷重は補強履歴にそって加算し、旧吊り桁区間は合成桁として設計されているため、前・後死荷重のステップ分けを行い、構造計算を実施している。本工事で行う補強による鋼重増は、概算値を構造系の変化と施工時期に合わせて計上している。また、架設荷重として、工事桁およびその吊上げ、移動用設備重量のほか、吊り足場の重量と足場に対する新幹線通過時の吹き下ろし荷重をそれぞれの施工・撤去時期に合わせて考慮されている。

活荷重は、連続化工事完了後はB活荷重により照査を行った。ただし、ゲルバー桁系の状態は、TL-20の載荷とし、架設系での本体照査は、許容応力度の割増を25%にて実施している。

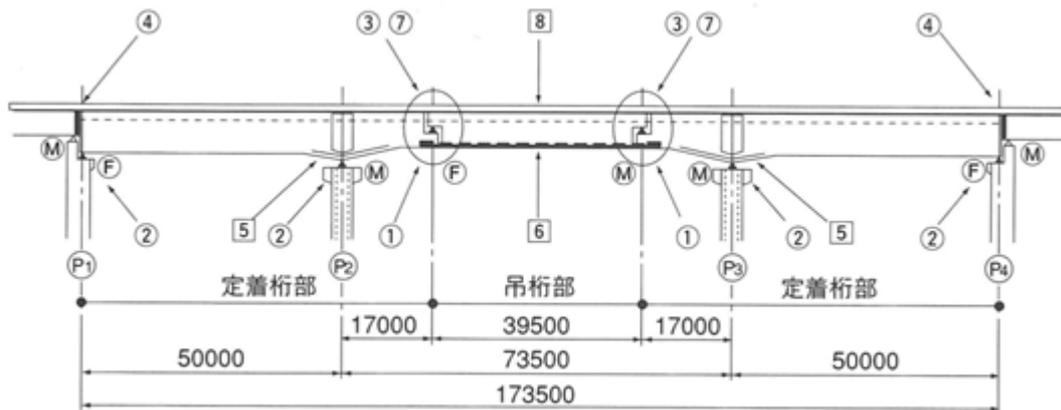
表-2 構造解析ステップ<sup>3)</sup>

STEP No.	施工段階	構造系	断面性能	死荷重	活荷重
1	S43 床版打設	ゲルバー系	合成前	鋼重・床版コンクリート・型枠	
2	S43 橋面工 S52 床版補強	ゲルバー桁	吊り桁合成後	舗装・地覆・壁高欄・ガイドレール 落下物防止柵・型枠撤去(-) 増設縦桁、横桁・検査路	
3	連続化前	ゲルバー桁	合成後	吊り足場・新幹線吹き下ろし荷重 工事桁・工事桁吊上げ、移動設備	
4	TL-20	ゲルバー桁	合成後		TL-20
5	連続化後	連続桁系	合成後	仮設備撤去(-)	
6	主桁補強 床版補強	連続桁系	合成後	補強鋼板・PC外ケーブル 増設縦桁・耳桁、ブラケット	
7	B活荷重	連続桁系	合成後		B活荷重

(3) 施工概要

本工事は、3径間連続ゲルバー桁から3径間連続桁に構造変更したことにより、旧吊り桁区間における正曲げモーメントが増加し、下フランジ側に引張応力超過区間が集中する結果となったため、主桁のモーメント耐荷力の不足をPCケーブルの緊張によって補強を行っている。また、B活荷重に対応するため、主桁ウェブに補強鋼板を高力ボルト接合にて取り付けるとともに、中間支点上の下フランジ縦リブの増設により、断面性能の向上と局部座屈の防止を図っている。その他、支承・伸縮についても構造変更による影響を考慮し取り替えを行っている。床版については、構造系全体の死荷重を極力少なくするために、増厚による補強は行わず、大型化する車両荷重に対して、縦桁増設により床版補強を行っている。構造改良位置図を図-4に、構造改良の内容を表-3に示す。

中央径間の直下を通る東海道新幹線を運行しつつ、直上の東名高速道路の交通規制を最小限の車線規制で工事を行っている。主桁ウェブおよび下フランジの取替え時は、取替え箇所の上の車両走行を避けるため、片側車線規制（車線規制の許可時間帯は3時間前後）により実施している。また、床版の取替えは橋面上からの作業となるため、例年行われる秋の集中工事期間（11日間）に行い、昼夜敢行により9日間で工事を完了させている。



図中の○、□は表-3と連動

図-4 構造改良位置図<sup>3)</sup>

表-3 構造改良の内容<sup>3)</sup>

部位名称	改良点
主桁ゲルバーヒンジ部	工事桁定着部補強 ヒンジ部切断・仮添接 主桁フランジ, ウェブ交換 <span style="float: right;">} ①</span>
支承	仮受部桁補強 橋脚拡幅 ピンローラー沓から反力分散ゴム沓に交換 <span style="float: right;">} ②</span>
伸縮装置	吊桁部 既設部材撤去(ノージョイント化) ③ 桁端部 既設部材撤去・可動式に交換 ④
主桁	主桁ウェブ, リブ補強 ⑤ PC 外ケーブル緊張 ⑥
床版	既設床版撤去・型鋼格子床版に打替 ⑦ ブラケット増設 縦桁増設 <span style="float: right;">} ⑧</span>

○ : ゲルバーヒンジ部連続化工事

□ : 大型化荷重対応工事

### 3. 2 機能向上（拡幅）の事例

#### 3. 2. 1 アーチ橋の拡幅（大深沢橋）

##### （1）大規模工事に至った原因と経緯

1961年に供用を開始し、1972年には歩道部の増設のために、下流側にアーチリブを架設した橋梁である。しかし、全般的な老朽化に加え、交通量の増大、車両の大型化による損傷の進行が確認され、車両幅員が6.0mで狭隘なため、橋梁上での大型車のすれ違いが困難で、ボトルネックによる慢性的な渋滞解消を含めた拡幅改良工事が必要と判断されている。大規模工事前後の構造概要図を図-5に示す。

##### （2）設計概要

補強設計は、以下の条件より、完成系での立体解析を行い、既設および新設部材の設計断面を算出して、部材設計を行っている。

- ・アーチリブは、歩道部と、車道部の既設アーチ2主構、および車道部の新設アーチを合わせた4主構からなり、補剛桁は側径間から中央径間を通した連続構造としている。
- ・車道部に増設する新設アーチの断面は、景観性を配慮し、歩道部と同一の箱断面としている。
- ・各断面の応力照査における許容応力度の割増しは道路橋示方書に準じ、既設橋の補強としての割増しは見込まないものとしている。

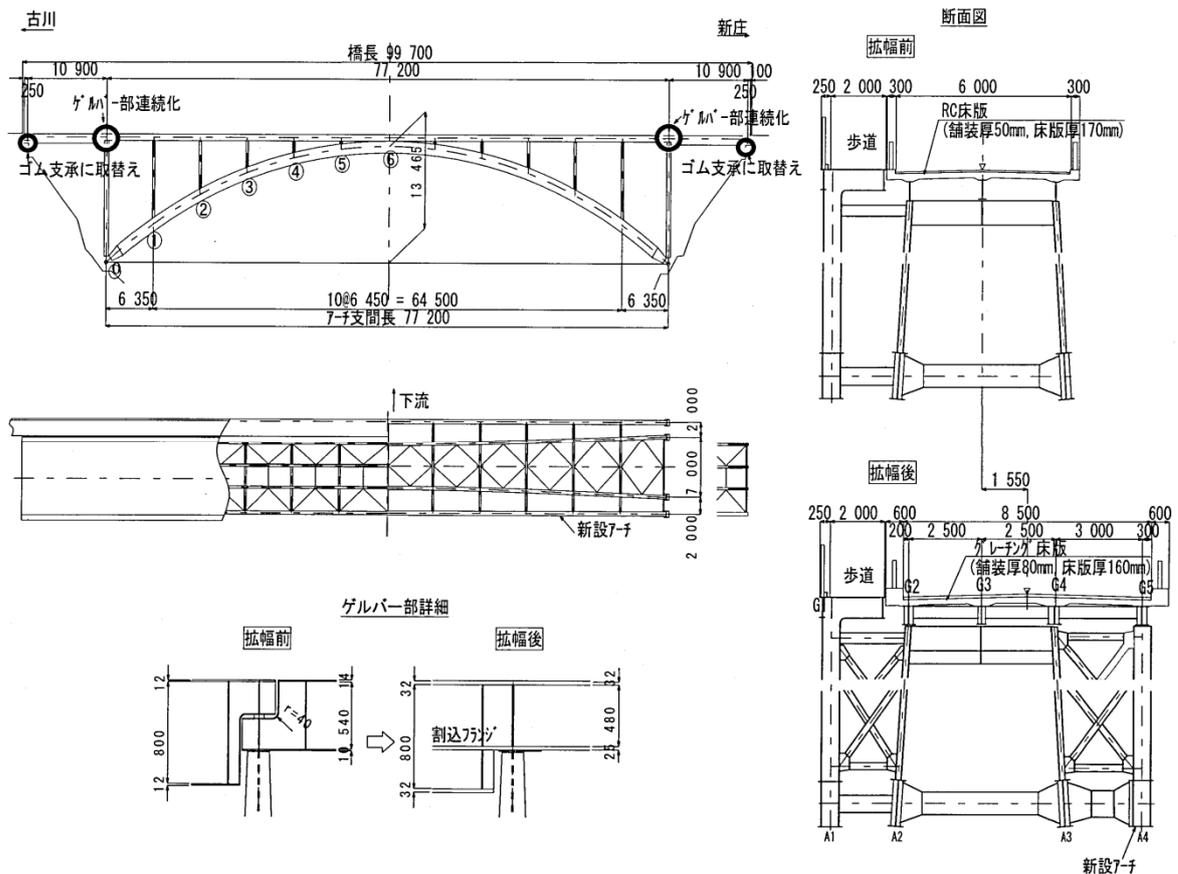


図-5 大規模工事前後の構造概要図<sup>4)</sup>

(3) 施工概要

新設アーチリブは、ケーブルクレーン斜吊工法による架設を行い、支柱や補剛桁は、ケーブルクレーン工法により架設している。新設アーチリブは1主構であるため精度確保、横倒れ座屈防止のため既設構と仮連結を行っている。既設橋補剛桁の交換は、1期と2期の施工に大別して行われており、1期施工では図-6に示すように交通規制を1車線交互通行としケーブルクレーンを利用した架設とし、2期施工はでは図-7に示すように歩道部の通路を確保し、工程短縮が可能となる門型クレーンにて行っている。また、拡幅前後の各構造系に対して表-4に示した試験計測を実施し、橋梁上部構造各部の応力・変形性状の変化を確認している。

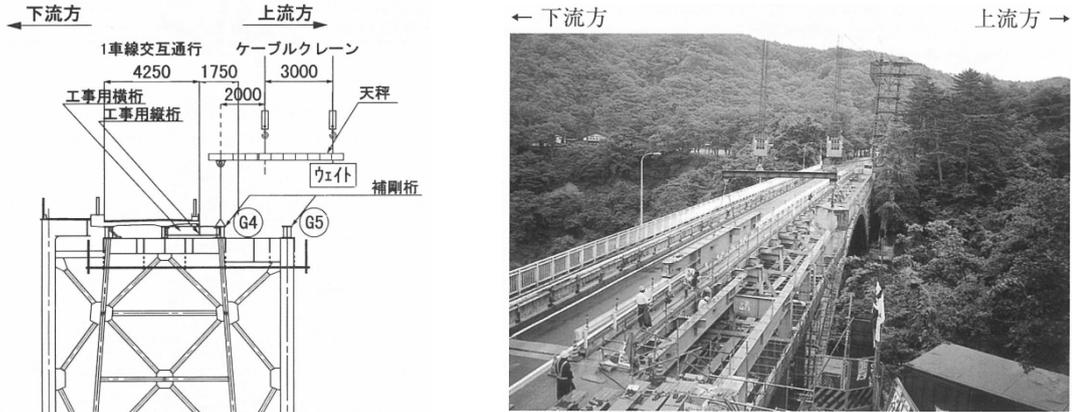


図-6 1期施工の架設要領図(左)および施工状況(右)<sup>5)</sup>

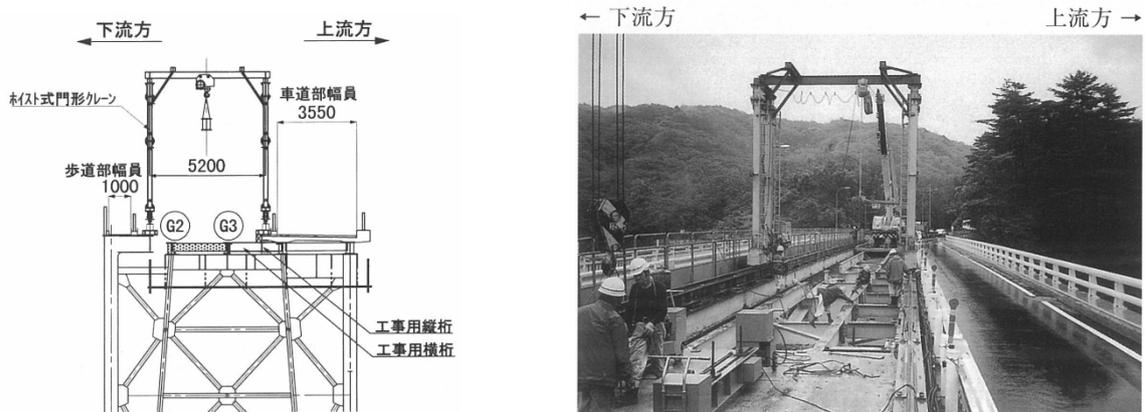


図-7 2期施工の架設要領図(左)および施工状況(右)<sup>5)</sup>

表-4 試験計測項目と試験内容<sup>6)</sup>

試験項目	試験内容	試験項目		
		ひずみ	支承変位	鉛直変位
試験車静的 載荷試験	20 トントラック 2 台を用い、側径間中央、アーチ支間内に影響線載荷し、静的な発生ひずみ、変位を計測	○	○	○
試験車 走行試験	20 トントラック 1 台を用い、橋梁上を単独、定速走行させ、動的ひずみ、変位を計測	○	○	—
実働応力 頻度計測	代表的な計測点について、平日 72 時間 (3 日間) の実働交通下での応力頻度計測を行い、疲労損傷度を評価する	○	—	—

### 3. 3 機能向上（橋梁架替）の事例

#### 3. 3. 1 一括撤去・架設による架替（首都高速八重洲線）

##### （1）大規模工事に至った経緯

首都高速八重洲線は、東京都都市計画事業である東京都都市計画道路環状第2号線整備に伴い、架替が必要になった。高架構造である八重洲線と地下トンネル形式で計画された環状2号が交差し、八重洲線の既設橋脚基礎が干渉するため、一部区間の橋桁と橋脚を撤去し、新たに支障しない場所に橋脚を新設して橋桁を架替えることとなった。大規模工事前後の構造概要図を図-8に示す。

##### （2）設計概要

施工方法を検討するにあたって、既設上部工を仮受けベントで支持し、既設橋脚の撤去、環状2号線トンネルと一体化した新設橋脚の設置を行う「既設上部工利用案」の場合、既設高架橋を有効活用し、工事の規模が小さくなるメリットがあるが、構造的な問題、周辺街路への影響等を考慮して「架替え案」を採用されている。

##### （3）施工概要

##### 1) コンクリート床版の撤去

3径間連続箱桁部の床版はスラブアンカーで結合されている非合成桁であるため、ジャッキアップ工法（図-9）にて主桁と床版を切り離している。ジャッキアップ工法は、床版をコア削孔し、PC鋼棒を介してジャッキの反力で床版を引き上げるものであるため、騒音の発生がほとんどない。また、ブロック化して床版を撤去することから、速やかに現場から搬出できるため、工程面においても有効な手段である。

単純版桁部の床版は馬蹄形ジベルで結合されている合成桁であるため、床版と桁の合成が強く、ジャッキアップ工法で切り離す前にコンクリート自身が破壊してしまうため、上フランジ部の床版を残し、桁間の床版をクレーンによって吊り切りして撤去する工法が採用されている。

ブロック化する際に使用したコンクリートカッターやワイヤーソーは冷却水を必要としない乾式（ドライタイプ）を採用されている。乾式の採用により直下を走行する一般車両に対し、冷却水の漏れに対するリスクを回避している。また、乾式は湿式に比べると施工効率が若干落ちるが、事前に切断位置の鉄筋探査を行い、床版鉄筋を避けることにより、工程遅延に繋がらないように配慮されている。

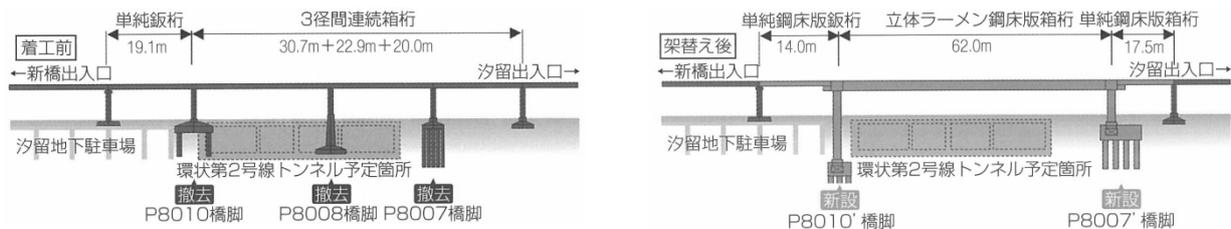


図-8 大規模工事前後の構造概要図<sup>6)</sup>

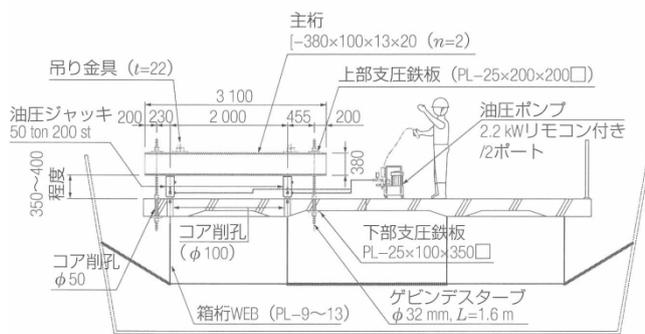


図-9 ジャッキアップ工法概要図(左)および施工状況(右)<sup>7)</sup>

## 2) 桁の撤去

3 径間連続箱桁の中央径間は、汐先橋交差点上に位置するため、多軸台車により一晩で撤去し、その他の海岸通り上の径間は、大型クレーンにて順次撤去している（図-10）。

なお、中央径間を最初に撤去することで、一括撤去後の側径間は単純桁となり構造系が変化することから、側径間の床版を先行して撤去することで曲げモーメント増加による桁への負担を軽減している。また、撤去する桁は、事前にガス切断しセッティングビームにて仮受けをした。切断位置は、応力の発生が小さな箇所を選定し、切断位置を仮添接板にて連結している。

## 3) 架設

本工事は、RC床版鋼桁を長スパンの鋼床版橋に架け替える工事であり、八重洲線の早期通行止め解除と周辺街路の通行止め回数削減が大命題とされており、立体ラーメン鋼床版箱桁部については地組立てブロック単位を大ブロック化し、門型吊上げ式ベントを用いた一括架設工法を選択されている（図-11）。

本工法は、地組立てブロックを多軸台車で架設地点まで運搬し、図-12 に示す門型吊上げ式ベントによって地組立てブロックを吊り上げる工法としている。架設においても撤去と同様に多軸台車上の油圧リフトでジャッキアップする工法も選択可能であったが、多軸台車によるブロック位置の微調整に時間を要するため、吊り点で確実に大ブロック位置が決まり、現地調整が容易な吊り上げ方式を採用している。また、桁の吊り上げには連続的に吊り上げ可能なダブルツインジャッキを用いることにより、スピーディーな架設を実現している。

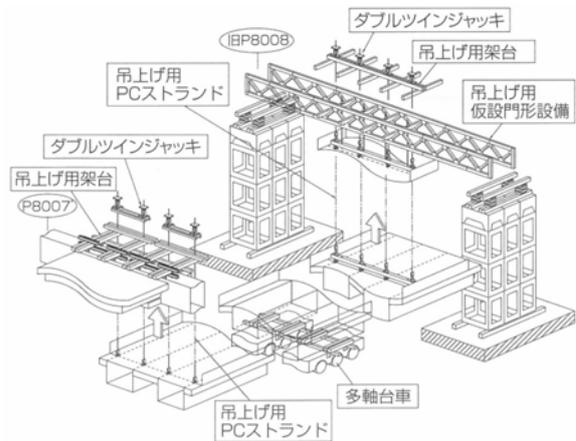


図-12 門型吊上げ式ベント図 6)

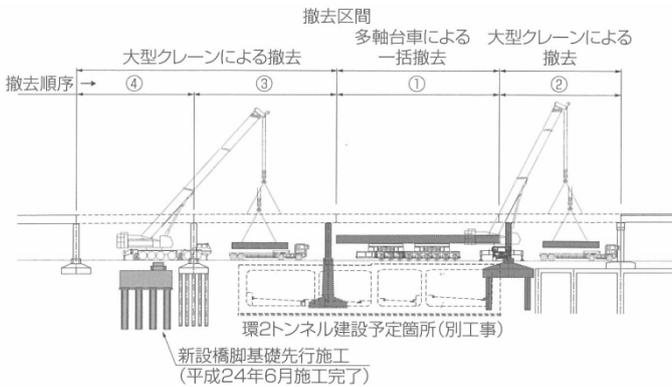


図-10 桁撤去要領(左)および桁撤去状況(右)7)

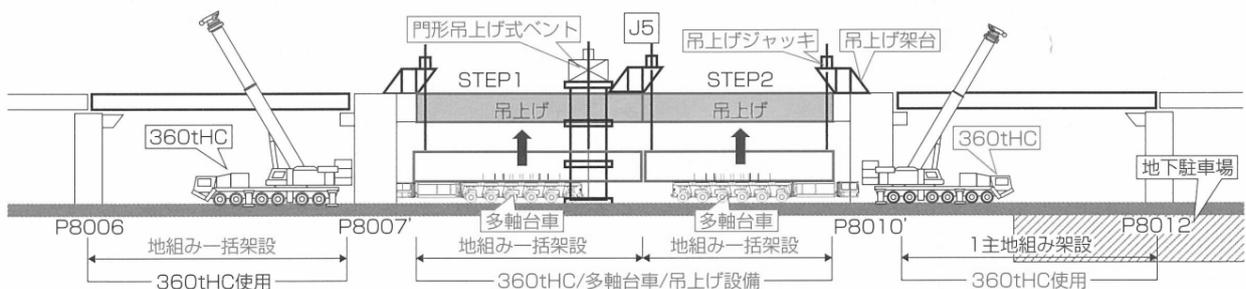


図-11 架設概要図 6)

#### 4. あとがき

今後想定される鋼橋の大規模修繕・大規模更新に備え、これまで行われてきた鋼橋の大規模な構造改良工事の事例について紹介してきた。これまで建設された鋼橋を重要な社会資本ストックとしてこれからも有効に活用するためには、予防保全の概念を取り入れた維持更新計画が必要であり、それらを実施するには様々な課題が考えられる。例えば、事業予算や路線が担っている機能・交通量、交通規制による社会的影響低減など多くの制約条件があり、また構造物の劣化状態を的確に把握することなどが考えられる。これらの課題を踏まえた設計、架設計画および維持管理計画を行うことが重要であり、そのためには、これまでの施工実績が有益な情報であり、本委員会の調査研究の成果が今後の鋼橋の大規模修繕・大規模更新の工事において参考になれば幸いである。

さらに、高度なメンテナンスサイクルを構築し継続していくためには、人材育成や情報のデータベース化、点検・診断精度の向上・自動化や新材料・工法の開発など業種の垣根を超えた技術開発の推進も重要な課題と考える。

#### 謝辞

本稿は「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）」の「構造改良WG」において検討されたものを取りまとめたものである。委員長はじめとする小委員会メンバーおよび各道路管理者の方々から情報提供を多数いただいた。ここに記して、関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

#### 参考文献

- 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, 橋梁と基礎 Vol.49 No.12, pp.17~22, 2015.12
- 2) 株式会社フジエンジニアリング: 甦った蟬丸橋, 1991.6
- 3) 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. 1
- 4) 金子 鉄男, 中原 淳一郎: 供用中ゲルバー桁の連続桁化工事ー清見寺橋上部工補強工事報告ー, 横河ブリッジ技報 No. 26, pp. 179 - 191, 1997. 1
- 5) 赤川正一, 園部 敏, 木下 潔: アーチ橋, トラス橋における車線拡幅事例 大深沢橋, 熊ヶ根橋, 第12回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp. 11-28, 2009. 8
- 6) 園部敏, 白崎哲郎, 稲田育朗, 佐々木利光: 大深沢橋上部工工事報告ー車道拡幅における架設・補強工事と実橋応力測定ー, 横河ブリッジグループ技報 No. 30, pp. 104-114, 2001. 1
- 7) 岡崎健一, 柿沼康浩: 門形吊上げ式ベントを用いた大ブロッカー一括架設による架替え工事が完了, 橋梁と基礎 Vol. 48 No. 2, pp. 62-63, 2013. 3
- 8) 吉原忠, 桂聡, 高橋邦博, 齋藤彰, 柿沼康浩: 首都高八重洲線架替工事の施工 (撤去編), 橋梁と基礎 Vol. 47 No. 3, pp. 29-38, 2013. 3

## 鋼橋の大規模な構造改良事例

(株)駒井ハルテック	橋 肇
(株)横河ブリッジ	末峰 弘樹
(株)ビービーエム	今井 隆
エム・エム・ブリッジ(株)	北川淳一
日本車輛製造(株)	高嶋純一
西日本高速道路(株)	松井隆行
三井造船鉄構エンジニアリング(株)	渡辺陽二

### 1. 調査背景

### 2. 調査対象

### 3. 調査事例

#### 3.1 損傷対応(形式変更)の事例

- ・アーチ橋の構造改良と床版取替
- ・ゲルバー桁連続化による構造改良

#### 3.2 機能向上(拡幅)の事例

- ・アーチ橋の拡幅

#### 3.3 機能向上(橋梁架替)の事例

- ・一括撤去・架設による架替

### 4. まとめ

## 1. 調査背景

我が国の道路橋 約70万橋(支間2m以上)

↓ 10年後...

建設後50年以上の道路橋が約4割に

↓

鋼橋の大規模修繕, 大規模更新に備えた準備が必要!

↓

過去の事例を情報収集・整理し, 技術者へ情報を提供する

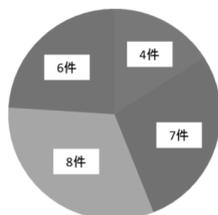
## 2. 調査対象

今後の大規模修繕・大規模更新で参考になると考えられる特徴的な事例を選定

- |                       |             |
|-----------------------|-------------|
| ▷ ダイナミックな施工方法         | ▷ アーチ橋等の拡幅  |
| ▷ 用地や交通規制が厳しい<br>施工条件 | ▷ 長大橋梁の耐震補強 |
| ▷ 吊橋の主ケーブル取替え         | ▷ 架替・改築     |
|                       | ▷ 災害復旧 等    |

➡ 25件の事例を調査・取りまとめた

## 収集事例(25件)の修繕・改築理由



- A: 老朽化にともなう機能回復・修繕
- B: 道路改良にともなう改築
- C: 道路改良+老朽化による改築
- D: その他(耐震補強, 震災・火災復旧ほか)

老朽化のみを理由に更新した事例は少ない

↓

今後増加することが予想される

## 3. 調査事例

### 3.1 損傷対応(形式変更)の事例 【アーチ橋の構造改良と床版取替】

#### (1) 橋梁概要

橋名	名神高速道路 鵜丸橋
所在地	滋賀県大津市逢坂1丁目
供用開始年	1963年
管理者	西日本高速道路株式会社(大規模工事当時 日本道路公団)
大規模工事年	1989年(下り線), 1990年(上り線)
キーワード	アーチ橋, 床版取替, 鋼床版, 床版損傷, 疲労き裂

(2)大規模工事前後の構造概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	上路式鋼2ヒンジアーチ橋	上路式鋼2ヒンジスバンドレルプレートアーチ橋
橋長	61.6m	
アーチ支間長	54.0m	
アーチライズ	11.0m	
主構間隔	7.8m	
有効幅員	8.7m	
斜角	62度	
床版	RC床版 (床版厚16cm)	鋼床版 (デッキプレート厚14mm, パルプリア)

7

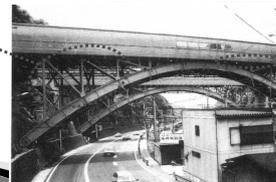
大規模工事前後の状況

大規模工事前



斜材, 対傾構の追加

大規模工事後



鋼床版に取替え

8

(3)大規模工事に至った経緯

1963年の供用開始から10年後...

⇒各部の損傷が顕在化

床版の損傷, 床組の疲労き裂, 縦桁支点の腐食, アーチ垂直材とアーチリブ取合い部の疲労き裂 等

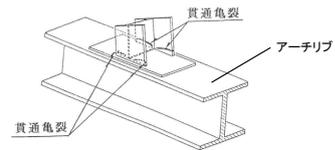
⇒種々の対策を実施

床版の鋼板接着補強, 縦桁補強, 床版上面増厚 等

⇒1987年の調査にて垂直補剛材とアーチリブの接合部に激しい損傷が見つかり, 大規模工事へ

9

損傷の1例



垂直補剛材とアーチリブ接合部の疲労損傷

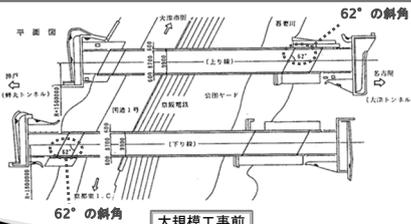


10

【損傷原因】

①斜角62°を有していることから3次元的な複雑な挙動を示す

②斜材・対傾構を有していないため立体挙動に対する剛性が不足している



大規模工事前

11

(4)設計概要

【主構造】

鋼2ヒンジアーチ ⇒ 鋼2ヒンジスバンドレルプレートアーチ橋 に変更

①斜材・対傾構の追加, 垂直材の増設  
⇒立体挙動に対する剛性不足の改善

②垂直材にフィレットを追加, 垂直材のガセットを完全溶込溶接とする 等  
⇒疲労き裂を防ぐための配慮

【床版】

RC床版 ⇒ 鋼床版に取替え

①鋼床版のデッキ厚14mm  
⇒疲労き裂を防ぐための配慮

②架設前にヤード内で基層舗装を施工  
⇒工期短縮

12

### (5) 施工概要

#### 【施工条件】

日本の大動脈である名神高速道路の一部であり、厳しい制約条件

#### ①本橋

⇒上り線、下り線を2カ年に分けて施工(仮設、防護設備を含め約3年)  
⇒1年あたりわずか13夜間の名神高速道路の通行止め

#### ②床版

⇒切断部を仮覆工板で復旧し、昼間の交通解放を実現  
⇒床組が不連続になる床版撤去時は、作業車両をカウンターウェイト代わりにし、応力と変形を制御

13

### (6) 補強の効果

#### 【補強前後で計測を実施】

- ▶ 載荷試験車を用いた変位・応力・振動測定
- ▶ 一般車両走行時の24時間の変位・応力・振動測定



- ▶ 局部応力が補強前の67~12%と大きく低減
- ▶ 補強後の推定寿命は100年以上
- ▶ 振動性状が大きく改善されている

14

### 【ゲルバー桁連続化による構造改良】

#### (1) 橋梁概要

橋名	東名高速道路 清見寺橋
所在地	静岡県静岡市清水区興津清見寺町
供用開始年	1968年
管理者	中日本高速道路株式会社(大規模工事当時 日本道路公団)
大規模工事年	1996年
キーワード	ゲルバー桁橋, 連続化, 跨線橋, B活荷重対応, PC外ケーブル補強

15

#### (2) 大規模工事前後の構造概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	鋼3径間連続ゲルバー箱桁橋	鋼3径間連続箱桁橋(B活荷重対応)
橋長	174.5m	
支間長	173.5m(50.0+73.5+50.0m)	
桁高	2.10~2.90m	
箱桁幅	2.80m	
有効幅員	10.95m	
斜角	不明	
床版	RC床版(床版厚18cm)	RC床版(床版厚18cm) ※連続化改良部は型鋼格子床版

16

### 大規模工事前後の状況

大規模工事前



大規模工事後



17

### (3) 大規模工事に至った経緯

1968年の供用開始後・・・

⇒急増する交通量, 車両の大型化

床版の劣化が顕著になり, 1977年に床版補強を目的とした縦桁の増設, 鋼板接着を実施

⇒1993年道路構造令の改定により設計自動車荷重が一律25トンになり, 対応が必要になった

18

本橋は大規模地震の発生が懸念される地域にあり、かつ落橋した場合の交通への影響は莫大であり、早急な対応が必要

⇒3径間連続ゲルバー桁橋から3径間連続桁橋に構造変更

大規模工事前

(4) 設計概要

【構造解析】

- 死荷重は補強履歴に沿って加算、旧吊桁区間は合成桁として設計
- ⇒前・後死荷重のステップ分けをし、構造計算
- 連続化完了後の活荷重はB活荷重により照査
- ゲルバー桁系の状態はTL-20の載荷
- 架設系での本体照査は許容応力度の割増を25%にて実施

STEP No.	施工段階	構造系	断面性能	死荷重	活荷重
1	S43 床版打設	ゲルバー系	合成前	鋼重・床版コンクリート・型枠	
2	S43 橋面工 S52 床版補強	ゲルバー桁	吊り桁合成後	舗装・地覆・壁高欄・ガイドレール 落下物防止柵・型枠撤去(-) 増設縦桁、横桁・検査路	
3	連続化前	ゲルバー桁	合成後	吊り足場・新幹線吹き下ろし荷重 工事桁・工事桁吊上げ、移動設備	
4	TL-20	ゲルバー桁	合成後		TL-20
5	連続化後	連続桁系	合成後	仮設備撤去(-)	
6	主桁補強 床版補強	連続桁系	合成後	補強鋼板・PC外ケーブル 増設縦桁・耳桁、ブラケット	
7	B活荷重	連続桁系	合成後		B活荷重

構造解析ステップ

(5) 施工概要

部位名称	改良点
主桁ゲルバー・セン部	工事桁定着部補強 セン部切断・仮設後 セン部フランジ・ウェブ交換 主桁フランジ・ウェブ交換 ①
支保	仮受脚補強 橋脚内補強 センターラー部から応力分散ゴム嵩に交換 ②
伸縮装置	吊桁部 既設部材撤去(ナージョイント化) ③
主桁	主桁ウェブ・ウェブ補強 ⑤ PC外ケーブルと型枠 ⑥
床版	既設部材撤去・型枠撤去(床版に打替) ⑦ ブラケット増設 ⑧ 縦桁増設

改良位置図

① : ゲルバー・セン部連続化工事  
② : 大型化耐震対応工事

構造改良の内容

【主桁ウェブ・下フランジ取替え】

ウェブ・下フランジ取替え要領図

【B活荷重対応による補強】

中間支点上の主桁は、ウェブに補強鋼板、下フランジ縦リブの追加に加え、主桁のモーメント耐力の不足をPC外ケーブルの緊張によって補強

PC外ケーブルによる補強状況

### 3.2 機能向上(拡幅)の事例 【アーチ橋の拡幅】

#### (1) 橋梁概要

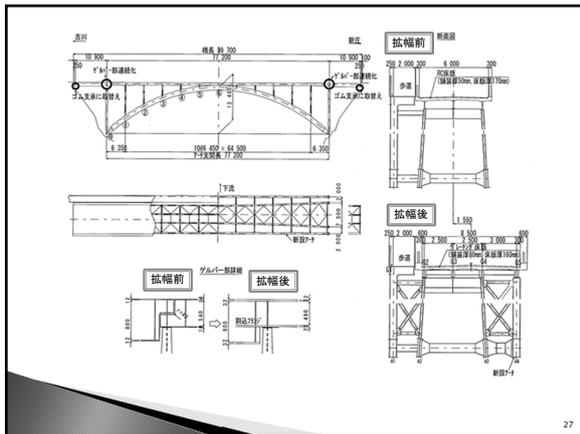
橋名	大深沢橋 (一般国道47号)
所在地	宮城県花巻岳国有林へ玉造郡鳴子町字星沼地内
供用開始年	1961年
管理者	国土交通省東北地方整備局
大規模工事年	1999年
キーワード	アーチ橋, 拡幅, アーチ主構増設, 一体化

25

#### (2) 大規模工事前後の構造概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	上路式ローゼ桁+単純鉄桁2連	上路式ローゼ桁 (補剛桁連続化)
橋長	99.7m (車道部), 107.9m (歩道部)	
アーチ支間長	77.2m (車道部), 77.8m (歩道部)	
アーチライズ	13.465m	
主構間隔	5.0~7.0m	
有効幅員	6.0m (車道部), 2.0m (歩道部)	8.5m (車道部), 2.0m (歩道部)
斜角	90度	
床版	RC床版	I型鋼格子床版

26



27

#### (3) 大規模工事に至った経緯

1961年の供用開始後・・・

- ⇒歩道部増設のため、1972年にアーチリブを架設
- ⇒全般的な老朽化、交通量の増大、車両の大型化による損傷
- ⇒車両幅員が6.0mと狭隘でボトルネックによる慢性的な渋滞

補強だけでなく渋滞解消を含めた改良工事が必要になった



現況の腐食状況、保有耐力、B活荷重への対応等を試算し、  
現橋を活用した拡幅・改良・補修を採用

28

#### (4) 設計概要

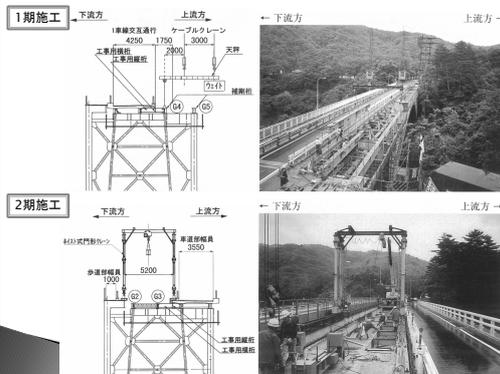
- ▶ アーチリブは、歩道部、車道部の既設アーチ2主構、車道部の新設アーチの4主構からなる。  
⇒補剛桁は側径間から中央径間を通した連続構造とした。
- ▶ 新設アーチの断面は、景観性を配慮し、歩道部と同一の箱断面とした。
- ▶ 各部材端の結合条件は、以下のとおりとした。

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| ①補剛桁部材             | : 剛結部材              |
| ②アーチリブ             | : 剛結部材              |
| ③アーチリブ・クラウン部の支柱    | : 断面積、剛性を無限大とした剛結部材 |
| ④アーチリブ・クラウン部の面隣の支柱 | : 実断面積、実剛度を用いた剛結部材  |
| ⑤上記③、④以外の支柱        | : ヒンジ結合部材           |
| ⑥床組と横構部材           | : ヒンジ結合部材           |

- ▶ 応力照査における許容応力度の割増しは道路橋示方書に準ずる  
⇒既設橋の補強としての割増しは見込まない

29

#### (5) 施工概要



30

### (6) 応力・変状性状の確認

試験項目	試験内容	試験項目		
		ひずみ	支承変位	鉛直変位
試験車静的 載荷試験	20トントラック2台を用い、側径間中央、アーチ支間内に影響線載荷し、静的な発生ひずみ、変位を計測	○	○	○
試験車 走行試験	20トントラック1台を用い、橋梁上を単独、定速走行させ、動的ひずみ、変位を計測	○	○	—
実働応力 頻度計測	代表的な計測点について、平日72時間（3日間）の実働交通下での応力頻度計測を行い、疲労損傷度を評価する	○	—	—

計測内容

31

### 3.3 機能向上（橋梁架替）の事例 【一括撤去・架設による架替】

#### (1) 橋梁概要

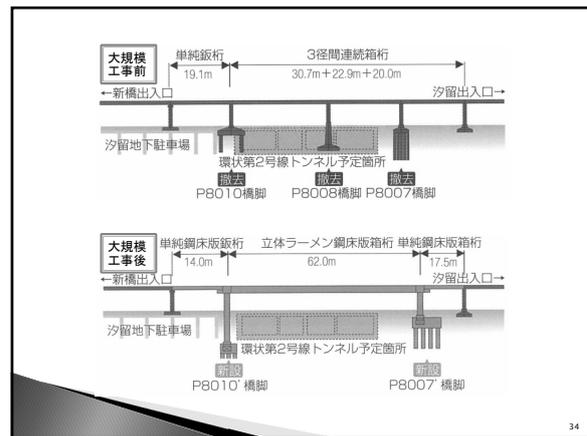
路線名	首都高速八重洲線
所在地	東京都港区東新橋1丁目地内～中央区銀座8丁目地内
供用開始年	1961年
管理者	首都高速道路株式会社
大規模工事年	2014年
キーワード	一括撤去、一括架設、多軸台車

32

#### (2) 大規模工事前後の構造概要

	大規模工事前	大規模工事後
橋梁形式	単純鋼桁+3径間連続箱桁	単純鋼床版鋼桁+上下部一体鋼床版箱桁+単純鋼床版鋼桁
橋長	92.700m(北行き), 不明(南行き)	93.456m(北行き), 100.984m(南行き)
支間長	20.00m+22.90m+30.70m+19.10m(北行き) 不明(南行き)	14.000m+62.000m+17.456m(北行き) 14.013m+66.800m+20.171m(南行き)
活荷重	不明	B活荷重
床版	RC床版	鋼床版

33



34

#### (3) 大規模工事に至った経緯

東京都市計画道路環状第2号線整備に伴い、架替えが必要になった



八重洲線(高架構造)と環状2号線(地下トンネル形式)が交差し、八重洲線の既設橋脚基礎が干渉してしまう



一部区間の橋桁と橋脚を撤去し、橋脚を新設して橋桁を架替える

35

#### (4) 設計概要

【架替え案採用の経緯】

候補: 既設上部工利用案

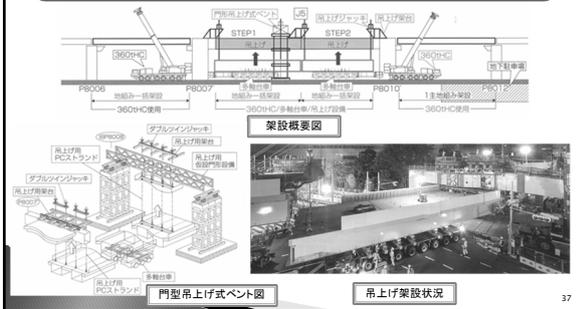
- ① 既設上部工を仮受け
- ② 既設橋脚撤去
- ③ トンネルと一体化した新設橋脚設置

⇒ 工事の規模が小さくなるメリットがあるが、構造的な問題、周辺街路への影響を考慮して「架替え案」を採用

36

(5) 施工概要

**八重洲線の早期通行止め解除と周辺街路の通行止め回数削減が大命題**  
⇒立体ラーメン鋼床版箱桁部の地組立ブロック単位を大ブロック化し、  
門型吊上げ式ベントを用いて一括架設工法を選択



## 4.まとめ

- ▶ 鋼橋の大規模修繕・大規模更新に備え、過去の大規模な構造改良工事の事例を調査した
- ▶ 既設鋼橋を有効活用するためには、予防保全の概念を取り入れた維持更新計画が必要である

【課題】

- ①実施にあたり、様々な制約条件を考慮する必要がある  
⇒事業予算、交通量、交通規制による社会的影響 等
- ②構造物の劣化状態を的確に把握する必要がある

**高度なメンテナンスサイクルを構築・継続するには・・・**

- ⇒人材育成
- 情報のデータベース化
- 点検・診断精度の向上、新工法等・・・ 技術開発の推進も重要

ご清聴ありがとうございました