

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

Example of the Roadway widening on the Arch Bridge
Ohfukazawa Bridge, Kumagane Bridge

赤川正一*、園部敏**、木下潔***
Shoichi AKAGAWA, Satoshi SONOBE, Kiyoshi KINOSHITA

ABSTRACT This paper introduces the roadway widening of arch bridges; which were built about fifty years ago. Due to the increase of traffic volume and load, the bridge was required to have reinforcing and widening. The problem of these works are as follows :The safety method of erection nearby the road in service. The replacement and reinforcement of the existing structure to cope with the new design(Live load B)

KEYWORDS : アーチ、拡幅、一体化、
Arch, Widening, Integration

1. まえがき

大深沢橋と熊ヶ根橋はそれぞれ国道47号鳴子峡、国道48号広瀬川の渓谷に架設され、近くには鳴子温泉や作並温泉があり、観光スポットとしても定評がある橋である。いずれも、建設されてから半世紀近く経た上路式アーチ橋梁である。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、後に歩道部が拡幅されていたが、車道幅員が6.0mで狭隘なため、橋梁上で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改良工事が必要と判断された。両橋とも現橋の腐食状況、保有耐力、B活荷重への対応等を試算・検証の結果、架け替えに伴う用地の確保が難しいこともあり、現橋を活用した拡幅、改造・補強が採用・施工された。



図-1 位置図

アーチ系の橋梁、特に上路式の場合には、急峻な渓谷部に架設され、施工方法もケーブルエレクション工法に限定されることが多く、加えて拡幅補強工事では供用車線に近接した場所での施工となるため、施工条件の一段と厳しい施工にならざるを得ない。

本事例では、現場付近の交通状況を踏まえ、前者は1車線確保（片側交互通行）による片側拡幅で3主構を4主構に、後者は2車線確保（対面交通）による両側拡幅で2主構から4主構に拡幅し、併せてB活荷重に対応した補強工事を行なった。

以下、現場施工を中心に施工の概要を紹介する。

* 國土交通省東北地方整備局道路部 (〒980-8602 宮城県仙台市青葉区二日町9-15)

** 株式会社横河ブリッジ 橋梁工事本部 (〒170-8452 東京都豊島区西巣鴨4-14-5)

***正会員 松尾橋梁株式会社 技術部 (〒276-0046 千葉県八千代市大和田新田686-3)

2. 大深沢橋

2.1 工事概要

拡幅・補強工事の施工前後での一般概要図を、図-2-1, 2-2に示し、橋梁諸元と工種を記す。

(1) 橋梁諸元

工事名：大深沢橋上部工工事

発注者：建設省東北地方建設局（仙台工事事務所）

工期：自 平成10年10月15日

至 平成11年11月30日

施工場所：宮城県花渕岳国有林～玉造郡鳴子町字星沼地内

橋梁形式：前) 上路式ローゼ桁+単純鉄桁2連

後) 上路式ローゼ桁（補剛桁連続化）

橋長：車道部 99.7m 歩道部 107.9m

支間長：アーチ車道部 77.2m 歩道部 77.8m

幅員：前) 車道部 6.0m 歩道部 2.0m

後) 車道部 8.5m 歩道部 2.0m

舗装：前) アスファルト舗装 50mm 厚

後) アスファルト舗装 80mm 厚

床版：前) RC床版 170mm 厚

後) I型鋼格子床版 160mm 厚

製作重量：237.6 t

架設工法：新設アーチリブ/斜吊索

新設補剛桁/ケーブルクレーン

既設補剛桁取替/門型クレーン

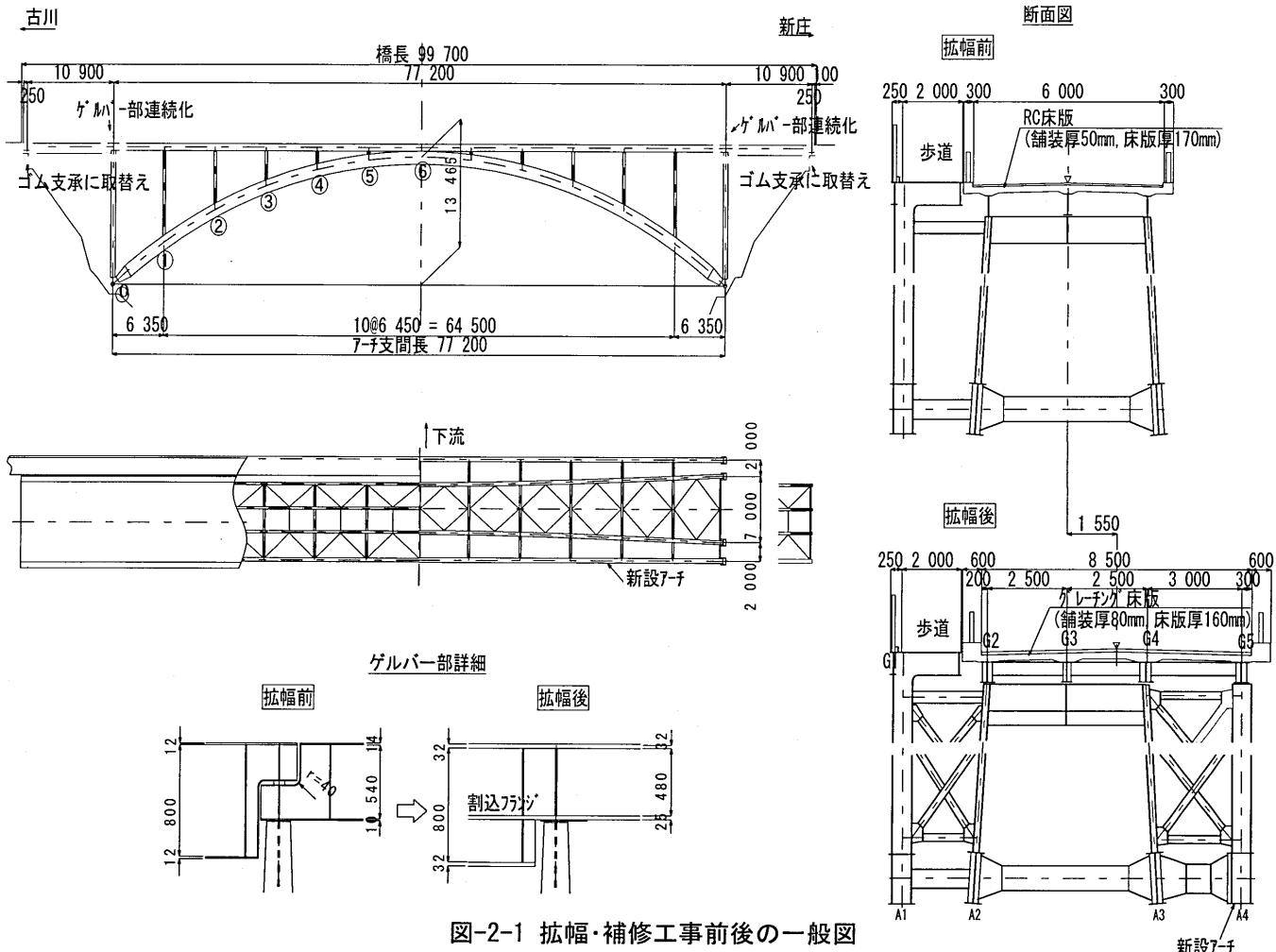


図-2-1 拡幅・補修工事前後の一般図

(2) 主な工種

① 新設桁の製作・架設工

車道の拡幅は、既設橋車道部にアーチリブと補剛桁からなる新設桁を製作し架設した（補剛桁やアーチの支承およびアンカーフレームの設置も含む）。

② 新設桁と既設橋との連結工

横桁、支材および対傾構を新規に製作し、新設桁と既設橋とを連結させ、新設桁の鋼自重以降に載荷される後死荷重と活荷重に対して一体化を図った。

③ 歩道部アーチ桁と既設橋との連結工

新たに対傾構を製作し、既設の歩道部アーチリブの支柱と車道橋の支柱とを連結させた。上記②項の連結工と合わせ、応力的に余裕のある歩道部アーチ桁に対しても、車道橋に載荷される後死荷重と活荷重の一部を負担させた。

④ 既設橋車道部の補強工

上記②、③の工事による既設車道橋の死荷重の増加とB活荷重の載荷に伴い、既設の横桁や支材、および対傾構の断面を補強した。

⑤ 既設橋補剛桁の取替工

側径間とアーチ径間とのゲルバー部の連続桁化や、B活荷重と舗装の増厚による荷重の増大に伴い、すべての既設橋の補剛桁を取り替えた。なお、補剛桁間を連結する支材の取付けや橋台部の鋼製支承も交換した。

⑥ 工事用縦桁の設置工

車道拡幅に伴う既設床版の撤去と新設床版の設置は、半幅施工により行った。この際、一時的に片持ちとなる床版先端部を支持する梁として縦桁を設置し、床版完了後も残置した。

⑦ その他工事

その他工事として、車道と歩道部の排水管の取り替え、既設橋支柱基部の溶接クラック発生箇所の補修、添架物のための支材の製作と取付け、拱台アンカーフレーム埋込み部の鉄筋の配筋とコンクリート打設などがあった。

① 格点ライン（断面）

② 格点ライン（断面）

平面図（アーチ部）

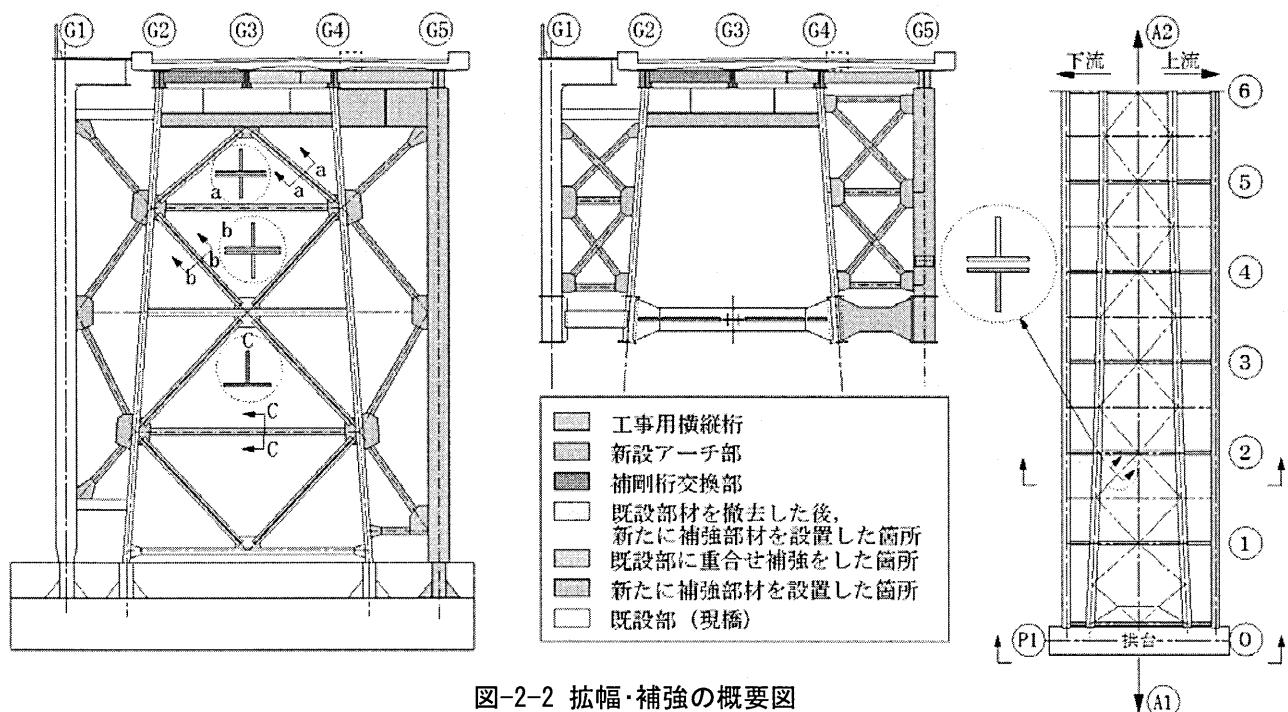


図-2-2 拡幅・補強の概要図

2.2 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力を算定して、部材設計した。

- (1)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た。
- (2)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た。
- (3)完成系は、下記の部材からなる立体構造とし、各々の部材について断面積と曲げ剛性を評価した。
 - ①主構（アーチリブ、補剛桁、支柱）
 - ②床組（横桁、対傾構、支材）
 - ③横構（上横構、下横構）

- (4)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・クラウン部の両隣の支柱：実断面積、実剛性を用いた剛結部材
 - 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
- 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¹⁾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た。

既設部材の断面照査と新設部材の断面決定の結果、4主構一体の橋梁としてB活荷重の載荷や、車道拡幅に対して十分な剛性、強度が確保されることが分かった。表-2-1に、中央径間補剛桁の補強前後の活荷重たわみと各アーチリブの面内での平均曲げ剛性を示す。

2.3 架設工法

本工事は、下部工の引渡しが約1ヶ月間遅れ、かつ、全幅供用開始も紅葉シーズンに間に合わせるように、約2ヶ月間短縮する必要があった。

このため、架設要領を以下とした(図-2-3 参照)。

- (1)既設橋車道部に増設するアーチリブ(以下、新設アーチリブと記)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た。
- (2)ケーブルクレーンは、両岸ともに高さ25mの鉄塔を設置し、鉄塔支間長123.2m、主索は、45φの2系統とし、両系統ともキャリアは、Cap. 10 tとした。
- (3)既設橋補剛桁の交換は、1期と2期の施工に大別され、前者はケーブルクレーンを利用した架設とし、後者は門型クレーンで行った。
- (4)既設橋の補強は、基本的にレバーブロックなどで人力による架設とした。ただし、補強部材の運搬は、ケーブルクレーンを使用した。

現場概略工程表を表-2-2に示し、その工程の概要を、以下に示す。

- (1)工期短縮を図るために、ケーブルクレーンなど仮設備と足場組立、また、既設橋の補強と新設桁の架設は、ほぼ並行作業で行った。
- (2)本工事と床版・橋面工事は分割発注である。既設橋補剛桁の交換は、既設床版の打ち替える床版業者との交互施工となった。
- (3)既設橋の補強やケーブルクレーンの解体は、交互施工での状況に応じて施工した。

表-2-1 補剛桁の補強前後の活荷重たわみと
アーチリブ面内の平均曲げ剛性

桁名	補剛桁中央径間の 活荷重たわみ量[mm]			アーチリブの 面内断面2次モーメント		備考
	補強前	補強後	許容値	I [mm ⁴]	比率	
G1		52	129	0.0107	0.754	既設歩道部行
G2	95*	53	129	0.0142	1.000	既設車道行
G3	95*	62	129	0.0142	1.000	既設車道行
G4		60	129	0.0126	0.887	新設車道行

注)たわみ量のうち、*印はL-20を、他はB活荷重によるものを示す。

注)桁名は、図-2-2 参照のこと。

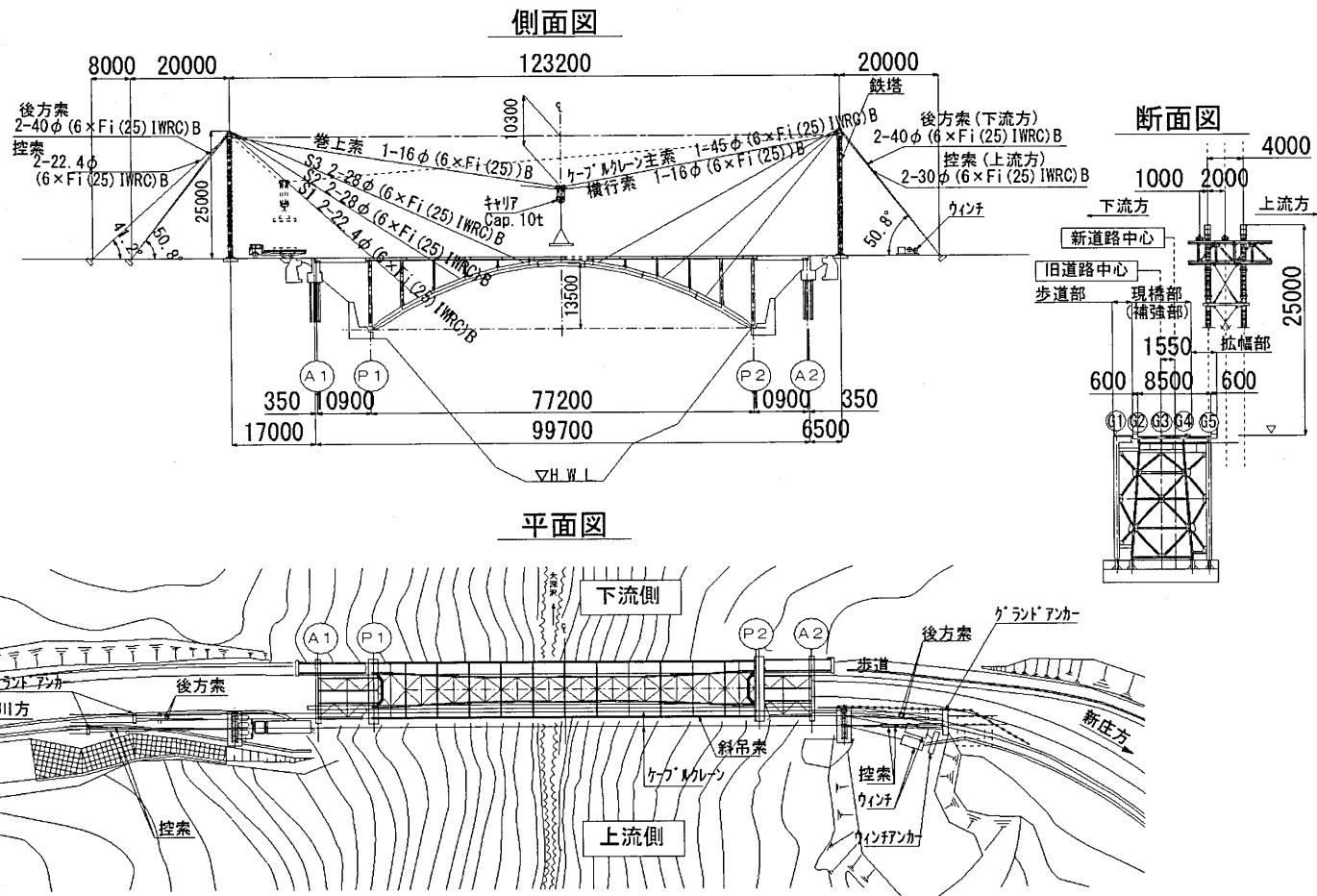


図-2-3 架設要領図

表-2-2 現場概略工程表

工種		平成11年													
		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月	
上部工	準備・片付工	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
	足場工			10										10	
	既設橋の補強					10									
	既設補剛桁の交換							10							
	1期施工							10							
	2期施工									10					
	新設桁の架設				10		10								
	ケーブルクレーン工			10		10									
	斜吊設備工				10		10								
	桁架設工				10		10		10		10		10		
床版工	床版工・橋面工 (床版業者施工)				10		10		10		10		10		

2.4 現場施工

2.4.1 車道拡幅に伴う工事

(1) 新設桁の架設

新設桁の架設要領を以下に示す(なお、新設桁とは、2.1(2)①, ②に前述)。

- 新設アーチリブは、全部で7ブロックあり、最大部材重量6.3tである。架設順序として、片側3ブロックずつの架設とし、最後に写真-2-1のように閉合部材を落し込んだ。

2)新設アーチリブは1主構であるため、以下の理由より、新設の支材にて既設桁との仮連結を行った。

①架設時における桁の通り確保

②地震時における横倒れ防止措置

仮連結は、架設時ブロックごとに行い、新設アーチリブに自由度を持たせるため、図-2-4のように仮ボルト1本でのピン構造とした。

3)新設アーチリブの形状管理は、先端の斜吊り索のみで調整を行うと、中間格点での変位が大きくなり、既設橋との取合いに支障の生じるおそれがあった。そこで、ブロックごとに形状管理を行い、閉合直前に3段の斜吊り索による多点での調整を行うことで、先端継手部のたわみ角と部材間隔を確保した。

4)一般的に、斜吊り工法は、約100~200mmの上越し量を確保しながら架設するが、今回は、既設橋との取合いを考慮すると、上越し量が制限される。そのため、上越し量は、既設橋に先行して設けた支材仕口部のルーズホールと支材本体に設けた拡大孔との関係より最大約15mmとなった。

5)新設桁と既設橋を連結するための対傾構は、以下を考慮し、写真-2-2のように地組立後に架設した。

①クレーンでの部材運搬回数を極力減らす。

②既設橋との取合いの精度や作業性を高める。

また、対傾構の取合い部(Conn. PL)は、既設橋と新設部材における高さの相対的誤差を吸収するために、長孔(25φ×50mm)とした。

(2)既設補剛桁の交換

1)工事用縦桁等の設置

新設桁の架設と並行して工事用縦桁と新設する横桁の設置を行った。設置には、あらかじめ仮配置したこれらの部材をレバーブロックや玉掛けワイヤなどで数回盛り替え、人力で架設した。それらと既設床版との高さのクリアランスは、約50mmしかなく、また、写真-2-3のように、設置箇所の直下には、既設下横構やN T T添架管もあり、困難な作業となった。

2)1期施工

1期施工は、既設G4補剛桁(以下、既設G4桁と記)等の撤去、またそれに替わる新設G4補剛桁(以下、新設G4桁と記)等の架設までが施工範囲である。

図-2-5に、1期施工の架設要領図を示す。

新設G4桁の架設は、当初、片側交互通行での車道

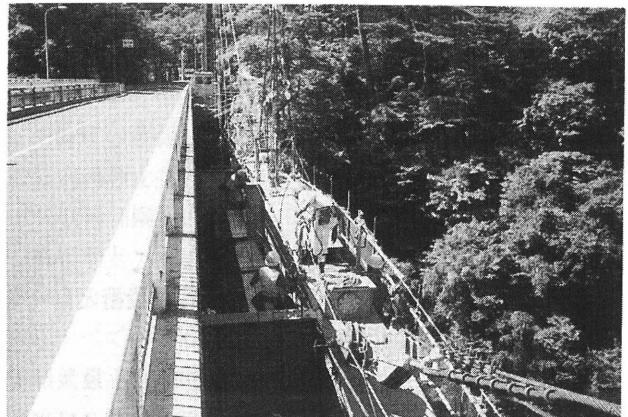


写真-2-1 閉合部材の落し込み状況

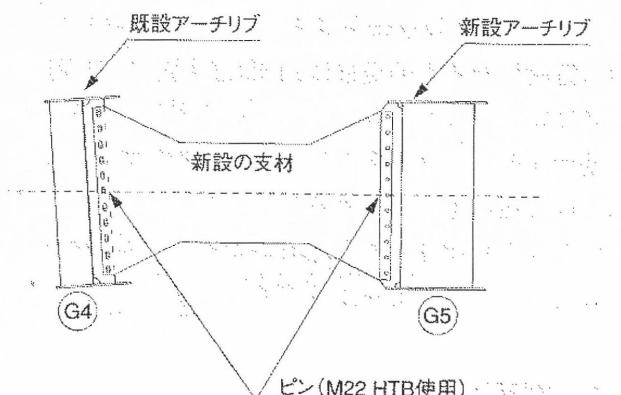


図-2-4 仮ボルト1本でのピン構造



写真-2-2 対傾構の地組立状況



写真-2-3 工事用縦桁の設置状況

部一時通行止め(30分間)を行い、油圧クレーンを用いて架設する計画であったが、この作業を1日に30分間で数回ずつ行うことは、作業や安全性から困難と判断した。

そこで、一時通行止めを行わず、かつ、昼間作業時間内に、安全かつスムーズに作業できる工法として、吊天秤を用いたケーブルクレーンでの架設工法とした(写真-2-4 参照)。これにより、当初よりも1週間、工程の短縮が可能となった。実施工での問題点は、新設G5桁と既設G4桁との架設キャンバーの相違であった。両方の桁連結にあたっては、あらかじめ、既設G4桁の腹板天端高を基準にしてG4桁側に新設する横桁を取付け、その横桁をガイドにして新設G5桁を架設する方法をとった。このとき、G4桁、G5桁相互の取付け誤差に伴う高低差は、G5桁側のみで吸収するものとし、G5桁側が低い場合には支柱天端にライナー材を挿入し、また高い場合にはハンチ高の調整で所定の路面高を確保するものとした。その結果、全格点で路面出来形を許容値内とすることができた。

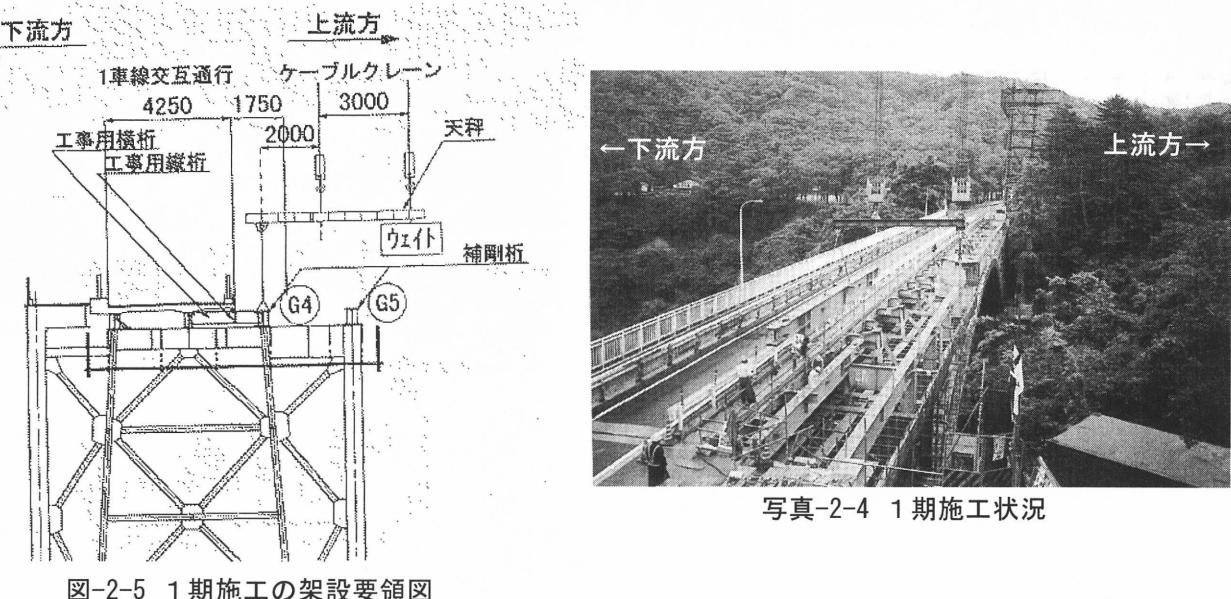


図-2-5 1期施工の架設要領図

3) 2期施工

2期施工は、既設G2・G3補剛桁(以下、既設G2・G3桁と記)等の撤去、またそれに替わる新設G2・G3補剛桁(以下、新設G2・G3桁と記)等の架設までが施工範囲である。図-2-6に2期施工の架設要領図を示す。2期施工も1期施工と同様に車道部の一時通行止めを行い、油圧クレーンを用いて施工する計画であった。

しかし、上項(2)と同じように作業・安全面から困難であると判断した。また、新たにケーブルクレーンを設置することは時間・地理的な条件から不可能であった。

そこで、歩道部の通路を確保し、かつ工程の短縮が可能となる門型クレーンを使用するものとした(写真-2-5 参照)。これにより、当初工程よりも5日間、工程の短縮ができた。

門型クレーンは既製のものが使用できず、支柱としてベント材を使用し、上梁はH鋼を用いて組立てた。またホイストは2.9t吊で、その運転と操作は延長コードにより遠隔操作が可能なものとした。軌条設備は、通行車両の振動や地震における横力等に抵抗させるために、軌条梁の基礎梁を介して固定した。

実施工での問題点は、1期施工と同様に新設の横桁を介して新設G3・G2桁を架設しなければならない事であった。しかし、ある程度、取合い部における高さの相違の予測がついたので、施工上問題はなかった。

安全に関しては、歩道部幅員が約1,000mmしか確保できなかつたため、車道側にはフェンスバリゲードを設置し、歩行者との境界を明確にした。また常時、交通誘導員を配置し、歩行者の安全通路を確保した。

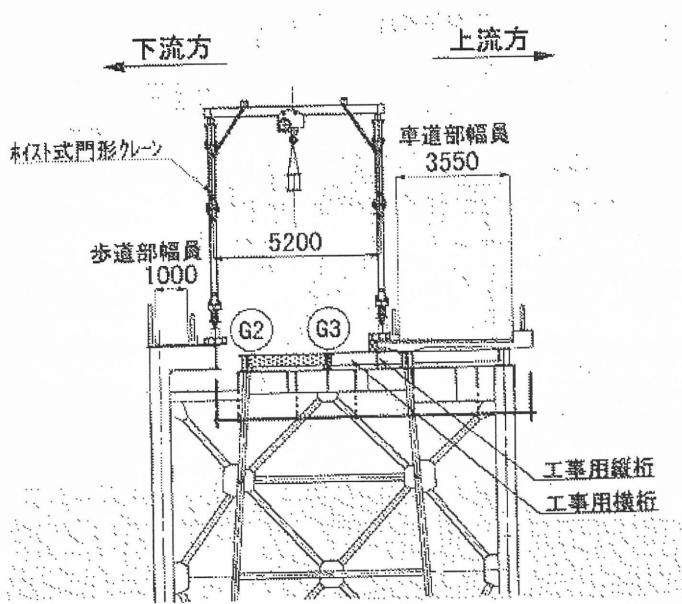


図-2-6 2期施工の架設要領図



写真-2-5 2期施工状況

2.4.2 既設橋の補強工事

(1) 補強部位

本工事における既設橋の補強は上項 2.1(2)④でも述べたように、車道拡幅による死荷重の増加やB活荷重の載荷に伴う断面補強である。表-2-3 に、代表的な補強部位と施工箇所、および手順を示す。

表-2-3 既設橋における補強部位

	補強部位	施工箇所	施工手順		補強部位	施工箇所	施工手順
①	既設支柱の補強	支柱③(G4側) 2箇所 (支柱Webに補強板設置)	①ケレン ②既設支柱 ③WEBに一部孔明け ④補強板で当てもみ、TCB締め	⑦	下横構の補強	既設部材重合せ(全箇所)	①既設CT鋼 Flg面ケレン ②既設CT鋼 Flg面の内面塗装 ③既設CT鋼 Flg面一部孔明け ④新設CT鋼設置(重合せ) ⑤当てもみ、TCB締め
②	既設支柱の交換	既設支柱⑤部 (上下流側4箇所)	既設 G4・G2 補剛桁撤去後、 ①既設支柱撤去 ②新設支柱設置、TCB締め	⑧	増設する横桁の設置 (支柱部横桁)	端支柱部	①既設横桁下 Flg部 ケレン ②既設横桁下 Flg部 一部孔明け ③対傾構・ガセット撤去 ④ガセット部仕上げ ⑤増し桁設置 ⑥当てもみ、TCB締め
③	新設対傾構の設置 (歩道側)	端支柱部～支柱④部	①ケレン ②新規 Conn.PL 現場溶接 ③対傾構部材設置、TCB締め		中間支柱部(①～④)		①既設横桁下 Flg部 ケレン ②既設横桁下 Flg部 一部孔明け ③Conn.PL 現場溶接(支柱部) ④増し桁設置 ⑤当てもみ、TCB締め
④	下支材への補剛材設置 (Web・Flg面)	下支材(端部)	①ケレン ②既設 Web・Flg面 一部孔明け ③アングル材・補強板設置 ④当てもみ、TCB締め		中間支柱部(⑤～⑥)		①既設横桁下 Flg部 ケレン ②既設横桁下 Flg部 一部孔明け ③補強板設置 ④当てもみ、TCB締め
⑤	下支材への補剛材設置 (Web面)	下支材(①～④)	①ケレン ②既設 Web面 一部孔明け ③アングル材設置 ④当てもみ、TCB締め	⑨	端対傾構の補強 (現橋部)	端対傾構(交換部)	①既設部材撤去(上側2パネル目) ②既設 Conn.PL撤去、ケレン ③新規 Conn.PL 現場溶接 ④増設横桁設置(上記済) ⑤新規 CT鋼設置、TCB締め
⑥	Flg ガセットの設置 (歩道部支材)	支材⑤・⑥ (歩道部3箇所)	①ケレン ②Conn.PL 現場溶接 ③既設支材フランジ当てもみ ④TCB締め			端対傾構(重合せ部)	①既設 CT 鋼 Flg面ケレン ②既設 CT 鋼 Flg面の内面塗装 ③既設 CT 鋼 Flg面一部孔明け ④新設 CT 鋼設置(重合せ) ⑤当てもみ、TCB締め

(2) 補強要領

既設橋の補強は、1期と2期施工による補剛桁等の交換と並行して行われた。基本的には、予め仮配置された補強部材をレバーブロックや玉掛けワイヤなどを用いて所定の場所まで運搬し、部材設置箇所にパンチャや携帯式磁気応用ボルト盤(アトラ)を使用して基準孔を設け、仮設置を行った。そ

の後、部材なりに当てもみを行い、孔明け・現場溶接を行い、設置を完了した。代表的な補強箇所の施工前後を、写真-2-6～9に示す。

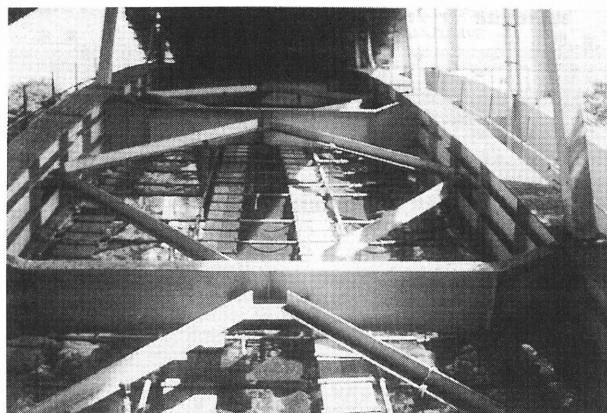


写真-2-6 下支材・横構の補強前

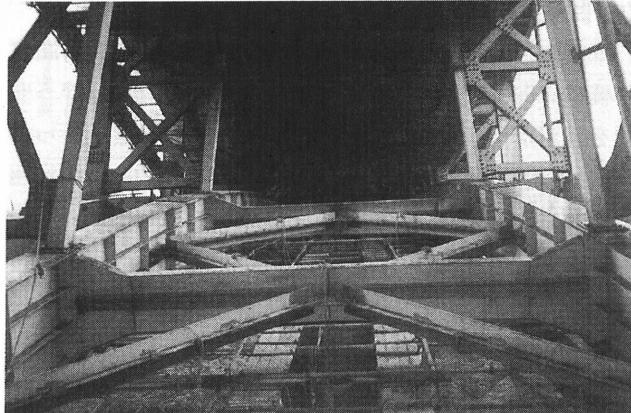


写真-2-7 下支材・横構の補強後

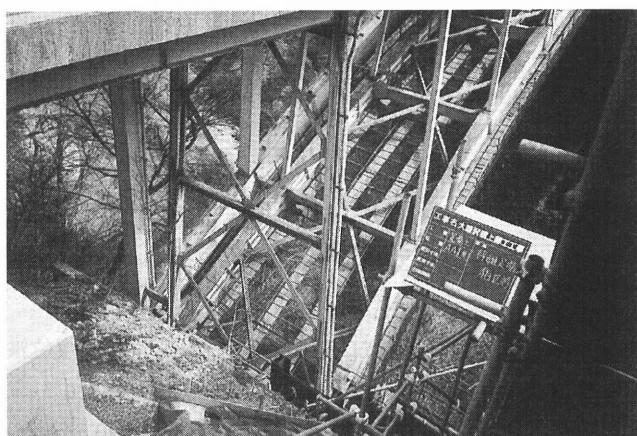


写真-2-8 端柱付近の補強前

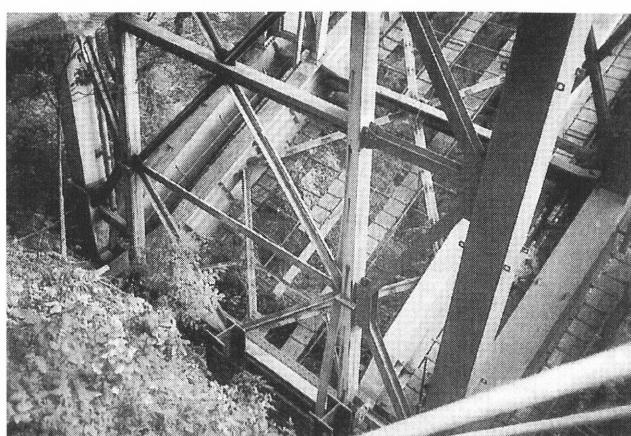
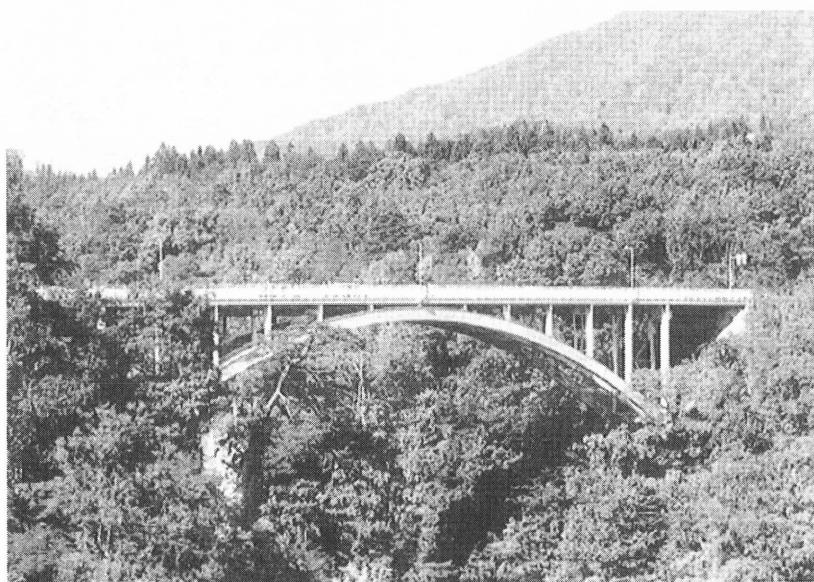


写真-2-9 端柱付近の補強後

2.5まとめ

本工事を終えて、補強工事の難しさを改めて実感した次第である。既設橋に対する新設アーチリブの増設および連結は、各架設段階の相互の高さ管理が、非常に重要であった。

また、工期的な遅れも危惧していたが、架設工法などの施工の工夫により、無事故で全幅供用開始ができ、全体工期も約1ヶ月間短縮することができた。



3. 熊ヶ根橋

3.1 工事概要

工事名：熊ヶ根橋上部工架設工事(1～3期)

発注者：国土交通省東北地方整備局 (仙台河川国道事務所)

路線名：一般国道48号

工事場所：仙台市青葉区熊ヶ根地内

施工工：製作工事 2001年3月～2002年3月 架設工事 2002年6月～2006年3月

施工者：松尾橋梁株式会社

構造諸元：

構造形式	施工前	(車道部) 曲弦プラットトラス+単純I桁×2連 (歩道部) 曲弦ワーレントラス
	施工後	3径間連続曲弦プラットトラス (4主構)
橋長		137.960m (トラス支間) 110.000m
幅員	施工前	車道 6.000m、歩道 2.300m
	施工後	車道 10.900m、歩道 3.500m
適用示方書	施工前	鋼道路橋設計示方書(昭和14年制定)一等橋 (T-13) 他
	施工後	道路橋示方書 (平成5年11月) B活荷重

工事内容：①拡幅 ②既存歩道部の撤去 ③連続化 ④既存構造物の補強 (主構・対傾構・横構)
⑤既存構造物の更新 (床組・床版) ⑥既存構造物の塗替え塗装

鋼重 既設部 主構造 車道部 398.8t、歩道部 90.0t、付属物 35.8t
増設・補強 700.4t、現場塗装 5,000m²

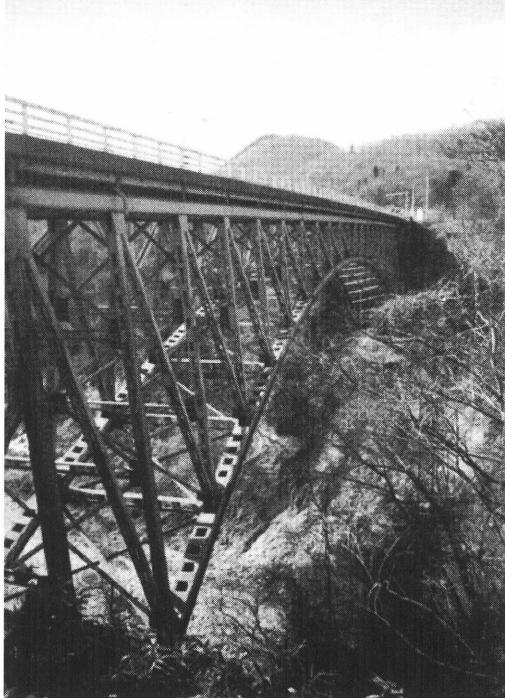


写真-3-1 施工前

注：本橋はスパンドレルプレースとアーチを呼ばれることがあるが、現橋設計計算書において、構造形式を「曲弦プラットトラス」としているため、以下、これにより部材名等を呼称する。

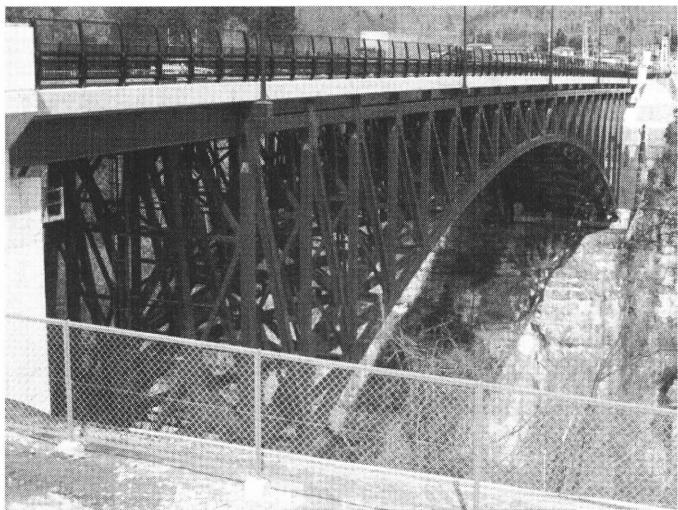


写真-3-2 施工後

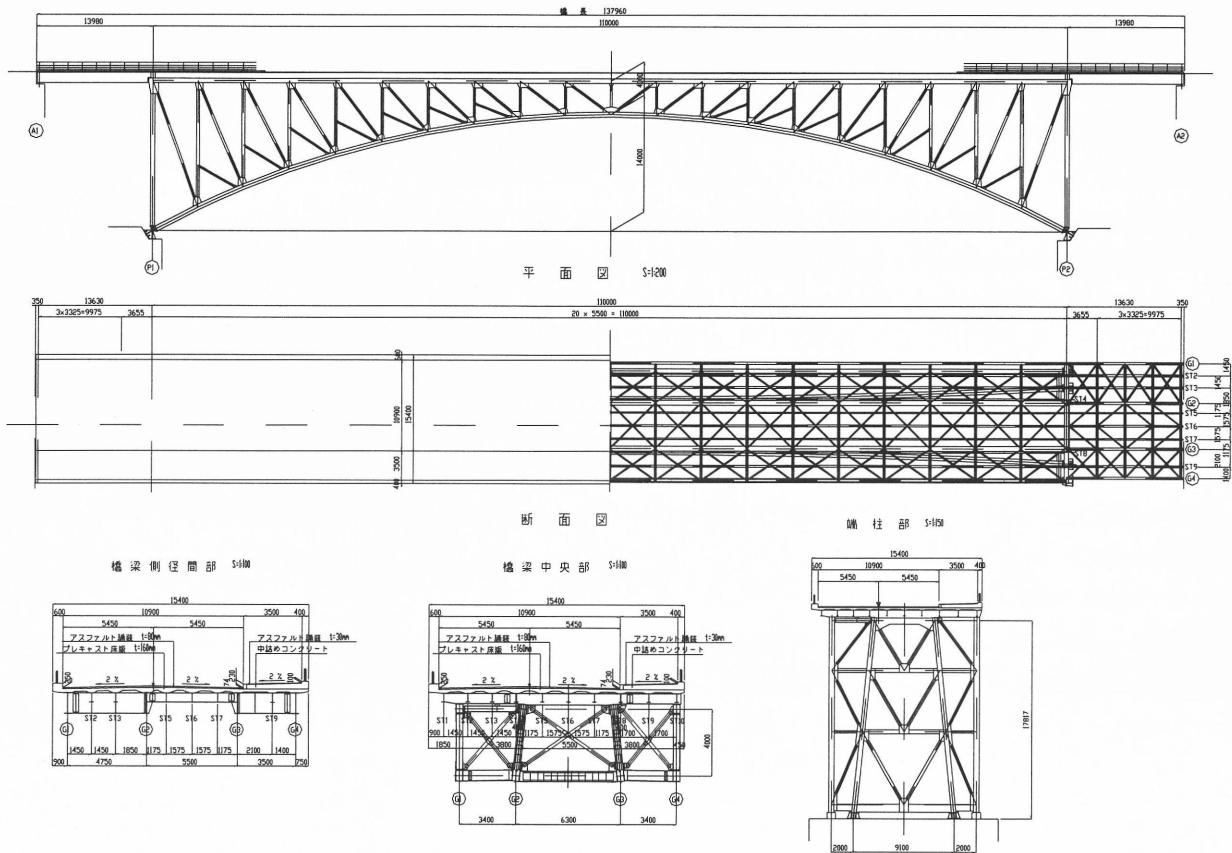


図-3-1 一般図

3.2 設計概要

(1) 橋梁点検および耐荷力の把握結果

平成 11 年に鋼部材の近接目視調査、亀裂発生部の浸透探傷試験、鋼材腐食部のモーリング等の橋梁調査を行なった結果、① 外縦桁と I 型鋼格子床版下面の腐食（車道部は昭和 50, 51 年度に I 型鋼格子床版に全面打ち換え施工）、② ト拉斯部縦桁の横桁取付け部ウェブの疲労亀裂、③ 側径間主桁架

け違い部のウェブの座屈および下フランジの破断（写真 -3-3）等が見られた。主構の塗装状態は良好で、軽微な塗装劣化や、歩道側の側縦桁に腐食が認められたものの、大きな構造的な腐食は認められなかった。

車道部は昭和 14 年制定示方書の一等橋（T-13）であるが、現行 B 活荷重（T-25 相当）を載荷した場合の試算検討を行なった。また、実橋の耐荷力と耐久性を把握するため、試験車による静・動的載荷試験、応力頻度計測等を実施した。その結果、

① ト拉斯垂直材、側径間の主桁は著しい応力超過が認められたが、他部材は B 活荷重載荷時および一般供用状態で許容値以内である。（表-3-1）

② 腐食を考慮し、強度等級を 1 ランク下げた亀裂発生予想でも、主構や主桁は 100 年以上の余寿命を有する。

③ 縦桁、横桁は現在の供用状態が継続すれば 50 年以内に疲労亀裂が発生する。

ことが判明した。

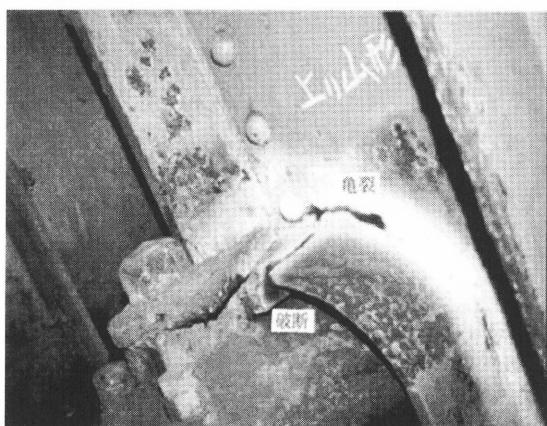


写真 3-3 側径間主桁架違い部の損傷

表-3-1B 活荷重時の応力度試算

部材	発生応力度 (死荷重 + B 活荷重)	許容 応力度	発生応力度/ 許容値
ト拉斯部	117	136	0.86
	138	136	1.01
	107	69	1.55
	147	140	1.05
曲げモーメント に対して	200	140	1.43
せん断力 に対して	100	80	1.25

(2) 改善対策の決定

以上により、本橋の改善対策として、

第1案：架け替え案（別線に新設）

第2案：現橋拡幅案（上流側に片側拡幅、3主構）

第3案：現橋拡幅案（両側拡幅、4主構）

の3案を検討の結果、既存設備構造物の有効活用と両側に増設することで既存主構のバランスよい補剛が可能となり、架け替えた場合に比べて経済性、構造性に優れ、且つ、貴重な土木遺産の継承ができる「第3案：現橋両側拡幅案（4主構）」を選定した。

(3) 設計・施工条件と方針

主要幹線である国道48号を長期間片側交互規制した場合、社会的影響が多いいため、現道の「2車線+歩道」を確保することを前提条件とし、以下の設計・施工検討を行なった。

① ステップ解析

4分割施工として、各施工段階における最も厳しい荷重ケースで部材断面を設計する。（表-3-2）

② 地震時保有耐力（動的解析）

応答等スペクトル法による線形動的解析を行い、安全性を確認した。

ここで、既設橋の上・下弦材はリベット構造で補強が困難であり、B活荷重で決定した断面では、動的解析時の発生断面力が地震時許容断面力より小さくならない。このため、増設主構の剛度および二次部材の最適配置をトライアルし、既存部分への地震力を軽減させ、補強の難しい既存上・下弦材の発生断面力を軽減し、現橋の上・下弦材をそのまま利用することとした。（図-3-2）

表-3-2 解析ステップと発生軸力

死荷重 B活荷重	G1 主構追加 G1～G2 対称構造追加 G1～G3 荷重分配可能 —既存死荷重追加 —一部活荷重載荷		G4 主構追加 G1～G4 対称構造追加 —既存死荷重追加 —一部活荷重載荷 —一部群集荷重載荷		死荷重:STEP1 ～STEP4 活荷重:完成形	
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4	STEP 5(完成形)	
G1	-6,214.7	-6,108.7	-7,230.0	-7,386.3		
G2	-5,692.4	-6,407.0	-6,427.1	-5,389.2	-5,656.5	
G3	-5,691.4	-4,905.6	-4,585.3	-6,186.3	-6,630.4	
G4				-6,141.1	-6,545.7	

③ PCプレキャスト床版の採用

現場工期の短縮とライフサイクルの長期化を目的として、PCプレキャスト床版を採用する。

④ 増設主構の連結

拡幅部の死荷重を既設部で分担すると、耐荷力不足が生ずるため、拡幅部床版敷設までは仮連結状態とし、PC床版敷設後に本連結し一体化する。

⑤ 既設部材の補強、取り替え

腐食の著しい部材や疲労耐力の有しない部材の取替え、応力超過部材の補強順序・時期は、各施工段階での荷重状態や構造系を考慮して設定する。補強部材は高力ボルトによる接合を基本とし、1部材毎に、供用下にリベットを高力ボルトに交換できる本数も設定する。

⑥ 側径間桁の連続化

既設部材の補強、取り替えに加え、全体としての耐震性能の強化、ミニマムメンテナンスを目的として側径間桁の連続化を実施する。

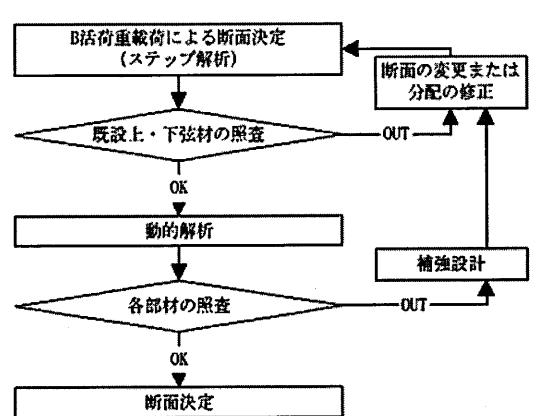


図 3-2 設計手順

3.3 施工概要

(1) 施工ステップ

下記4ステップに分けて施工を行った。(図-3-3)

1期施工(ステップ1)：上流側拡幅

2期施工(ステップ2)：上流側既存構造物の補強、床組・床版の更新

〃(ステップ3)：下流側既存構造物の補強、床組・床版の更新

3期施工(ステップ4)：既存歩道部の撤去、下流側拡幅、

既存構造物の塗替え塗装

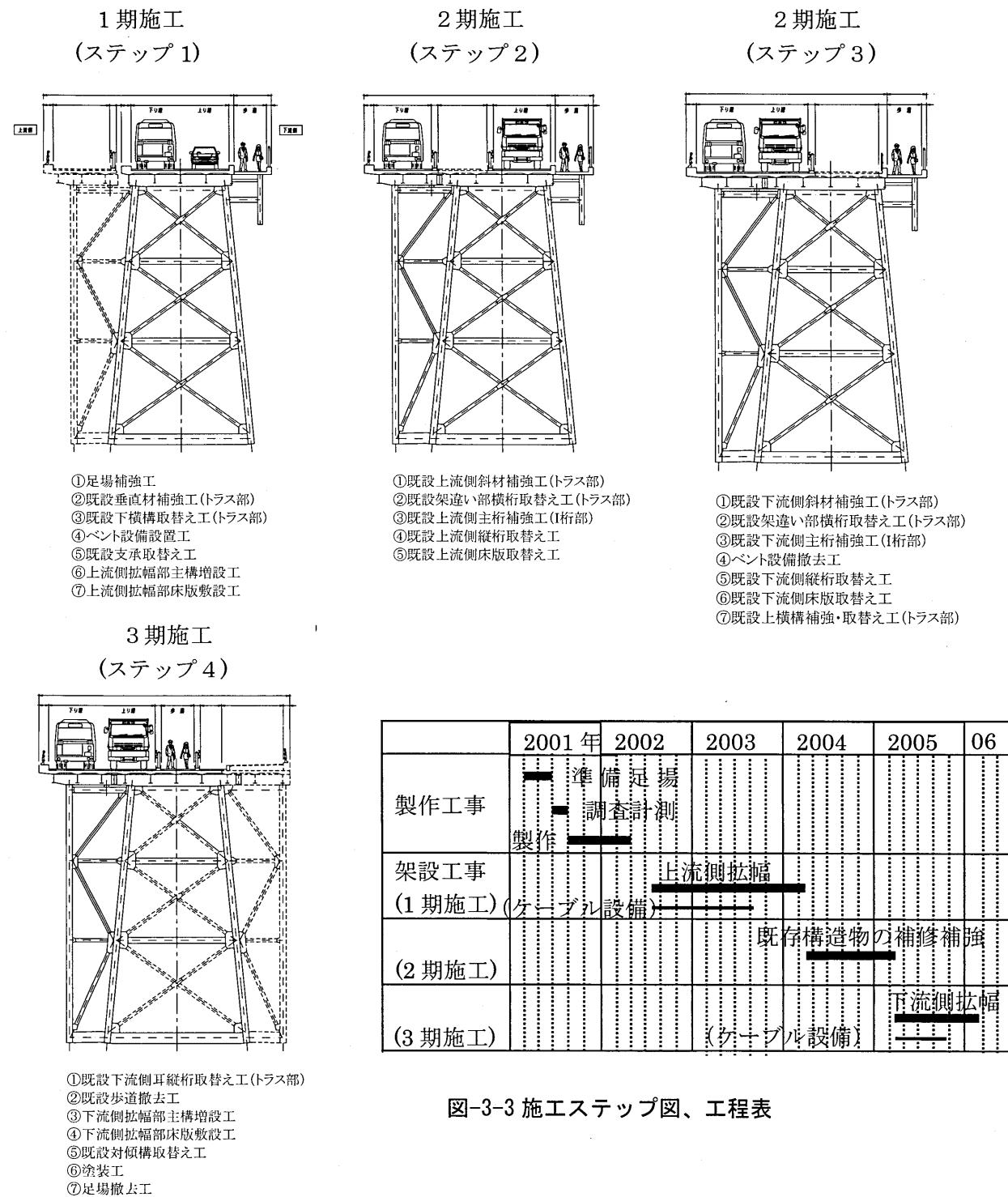


図-3-3 施工ステップ図、工程表

(2) 架設工法

架設工法としては、施工中は上・下各1車線の確保が必要なこと、桁下は約50mの深い谷であること、前後にケーブルアンカー位置が確保できること、斜材を有する曲弦トラスである等の条件により、ケーブルエレクション工法（直吊り式）を採用した。

ケーブルエレクション設備は上下流拡幅時にそれぞれ設置した。鉄塔支間は170.0m、鉄塔間隔3.7m、主索（60φ2本）間隔5.3mとし直吊り索は拡幅部の下弦材格点10箇所に設けた。拡幅部材および既設補強部材の運搬用のケーブルクレーン（吊上げ荷重9.8t）を2系統設置した。

下弦材を左右の橋台部より中央部に順次架設し、中央部で閉合した。拡幅桁が1主構のため、下弦材を先行して仮閉合した後に、垂直材・斜材、横桁・対傾構等を既存桁と仮連結して架設した。

（図-3-8）

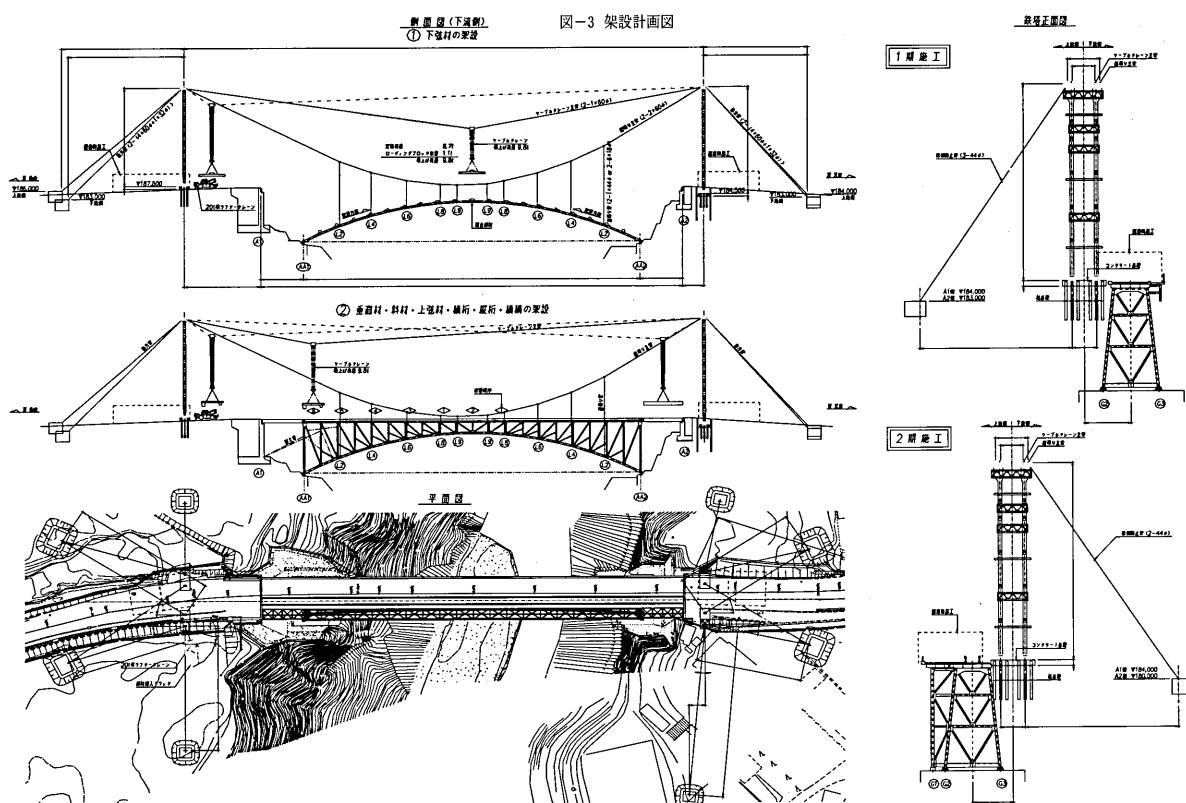


図-3-4 架設計画図

3.4 現場施工

(1) 拡幅工事

① 設備としての配慮

- a 現橋をはさむ上流側と下流側の拡幅用ケーブルエレクション設備はその都度設置・解体するが、コンクリートアンカーを双方に兼用することでコストの縮減を図った。このため、直吊り索、軌索は塔頂部でそれぞれ固定し、1期と3期とで異なるケーブル方向・角度に対応可能な定着金物を考案した。（写真-3-4、写真3-5）
- b 鉄塔高さに較べ幅が狭いことに加え、上記により、コンクリートアンカー位置が制約を受け、後方索のみでは鉄塔を安定したかたちで保持でき難いため、各施工時にそれぞれ横アンカーを設け、転倒防止索を設置した。
- c 拡幅桁の芯と鉄塔中心を揃えることが出来ないため、直吊り途中にはカウンターパート材を受け梁中央部に仮置し、横断方向のバランスを取りながら施工した。（写真3-6）

- d 鉄塔の設置位置が国道に非常に近接し、国道を跨いで後方索を設置する等の理由により、A1側・A2側にそれぞれに延長 20.0m の国道防護を設置した。(写真-3-7)
- e 鉄塔基礎は、国道のり面の崩壊を防ぐ目的で、掘削をともなわない杭基礎併用したコンクリート基礎を契約後 VE 提案として採用し、施工中の安全確保と工期短縮・コスト縮減を図った。
- ② 施工上の配慮
- a 既存構造物の現状調査・計測に基づき新設部の製作を行なうが、計測・製作・施工誤差を想定し、現場当てもみ（後孔）加工や仮設部材など誤差吸収の可能な構造とした。
- b PC床版を敷設した状態で、新設構造物と既存構造物との連結が可能となるため、新旧連結部にはスライド機能を有する仮添接板を採用した。(写真-3-8)

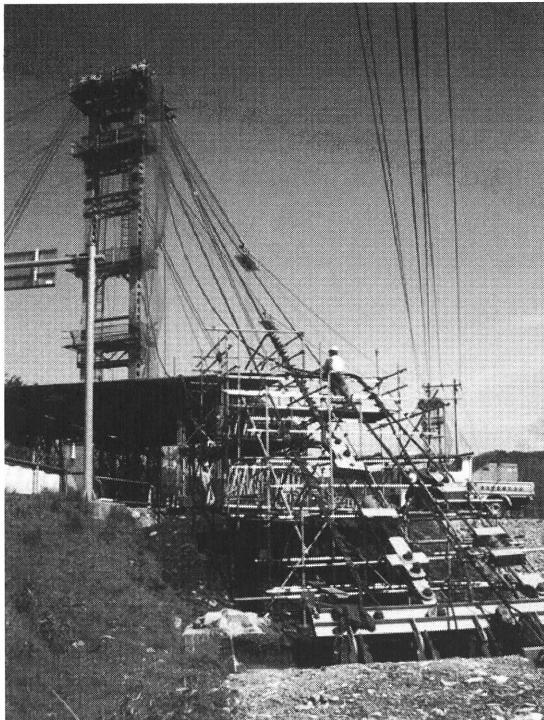


写真-3-4 碓着金具(アンカー側)



写真-3-5 碓着金具(塔頂側)



写真-3-7 国道防護工



写真-3-6 架設状況(カウンターウェート)

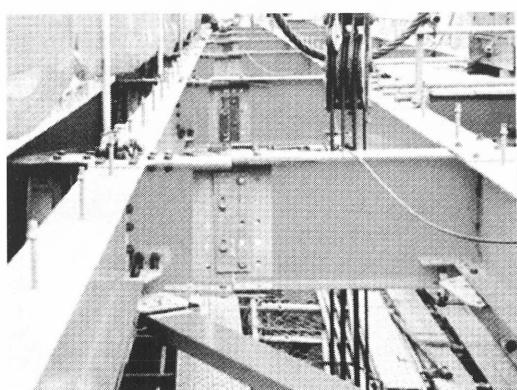


写真-3-8 仮添接板

(2) 既存構造物の補強・更新

① 床組・床版の更新

B活荷重対応としての床組（縦桁・端横桁）の交換とRC床版、I型鋼格子床版をプレキャストPC床版に更新した。床組と床版の交換はステップ2, 3に夜間片側交互通行で行なった。

供用路線に隣接して施工するため、RC床版の切断・引き剥がし、撤去縦桁のリベット切断・高力ボルトへの取替え作業を昼間に先行し夜間施工の効率化を図った。RC床版撤去・縦桁交換1格間とPC床版の敷設1格間の2格間分と一晩の施工量とし、RC床版撤去・縦桁交換を1格間分先行し、施工中に開口部を極力作らないよう順次施工した。（図-3-9）

② 側径間の主桁補強・連続化、支承更新

側径間は支間長13.980mの掛け違い構造の単純I桁であったが、トラス部端横桁を箱断面に交換し、これを介しトラス部との連続化を行い、上・下フランジをカバープレートで補強した。側径間端支点の支承はゴム沓に更新した。

③ 中央径間の斜材・垂直材補強

いずれも形鋼とカバープレートとで構成されるリベット構造のため、斜材は溝形鋼のウェブ面にカバープレートを取り付け、垂直材は新たな斜材を設け有効座屈長を低減することで、それぞれの耐荷力の向上を図った。（写真-3-10）これらの補強は、直上に供用車線が通行していない段階で行った。

④ 上・下横構、中央径間の中間対傾構交換

横荷重に対する耐荷力を向上するため、上横構は端部および支間中央部を交換し、下横構は全数の交換を行った。中間対傾構の交換は上下流拡幅工事完了後に行い、部材は下流側拡幅時に桁下への取り込みを行なった。（写真-3-11、写真-3-12）

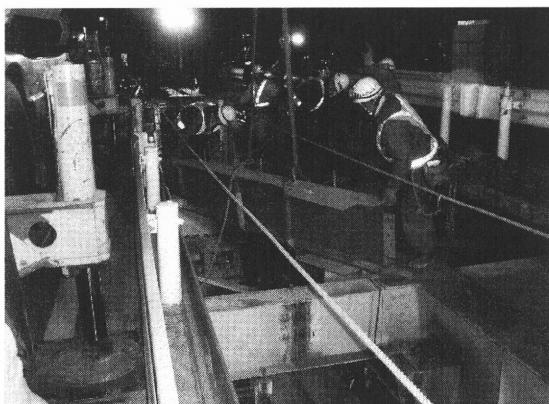


写真-3-9 縦桁の交換

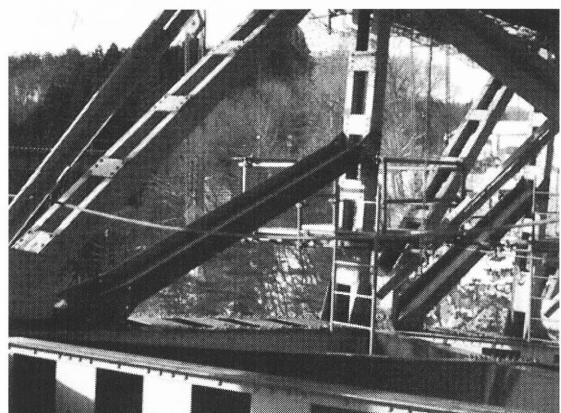


写真-3-10 垂直材の補強

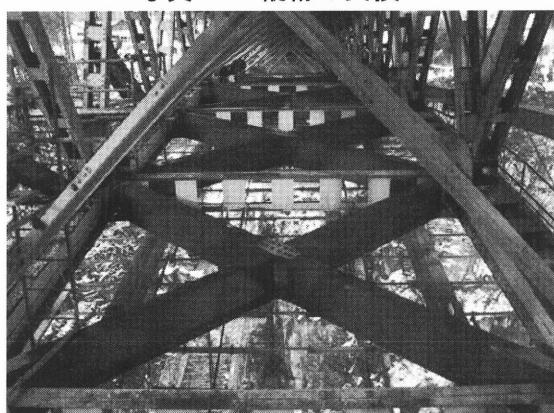


写真-3-11 下横構の交換

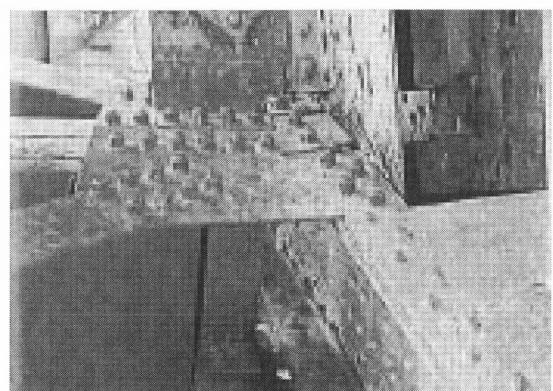


写真-3-12 ガセットの交換

(4) 歩道部桁の撤去



写真-3-13 歩道部の撤去

(5) PC床版の施工

各施工段階にほぼ1車線幅ずつプレキャストPC床版に更新し、先行部と後施工部を横連結する構造のため、製品の精度管理に留意した。特に、最期に一体化する下流側(歩道部)では、各段階の変位結果が集積するため、ハンチ設定・モルタル注入厚を細かく補正・調整した。(図-3-5)

PC床版敷設は、拡幅部ではケーブルクレーンで昼間行い、既存部分の交換は夜間車線規制を行いラフタークレーンにて敷設した。(写真-3-14)また、地覆部にもプレキャスト版を採用し、品質確保と工期短縮を図った。

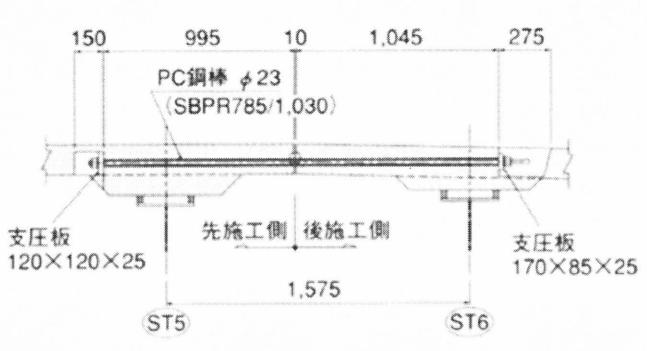


図-3-5 PC床版の横連結

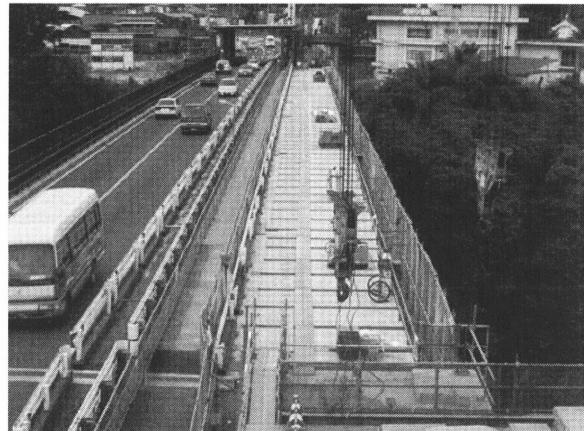


写真-3-14 PC床版の設置

3-5 耐腐食性の改善

今回の拡幅補強工事を鋼橋の長期活用の最大課題である耐腐食性の観点から見直してみる。

- ① 形鋼と鋼板とで構成されるリベット構造のため、滯水しやすい部位から腐食が進行する。
⇒新設部材は箱およびI断面で滞水しにくい構造であり、これを既存構造物の上・下流側に配置したことにより、既存構造物の腐食に対する環境は向上した。
- ② 伸縮装置付近からの漏水により、支点近傍の部材に塵埃が堆積し、湿潤状態が保たれ腐食しやすい。
⇒連続化により側径間桁架け違い部（トラス部端対傾構）付近での漏水がなくなり、耐腐食性が改善された。
- ③ 床版の老朽化と歩・車道境界隙間からの雨水の浸入が原因で腐食が進展した。
⇒歩車道を一体化しPC床版への更新、同時に、シート防水の施工により耐腐食性が向上した。
- ④ 点検通路等の設備がなく日常点検が困難であった。
⇒点検通路を設置することで点検が容易になり、腐食・変状の早期発見と対応が可能になった。

4. まとめ

建設より約半世紀を経過した時点で、今回の拡幅・補強工事が行なわれ、耐荷力・耐震性が向上したこととは言うまでもない。一方、拡幅により円滑な交通が確保されたことで、今まで以上の載荷状態におかれる可能性があることもまた事実である。

鋼道路橋においても疲労の問題がクローズアップされている昨今、大深沢橋、熊ヶ根橋がこれ迄より永く利用するためにも予防保全の立場に立って、点検と維持・補修を繰り返してゆくことが重要と考える。

供用車線に近接した場所で行なう拡幅・補強工事は緊張の連続と同時に、既存橋梁下でのベビーウィンチやレバーブロック等を用い、盛り替えを繰り返しながら1部材ずつ取り付ける工事で、人力を主体とする地味で根気を要する作業であるが、そのひとつが補強工事の成否を左右する欠かせない作業であり、今後の改善課題も多い。

調査・計測に始まり、新設部の架設(拡幅)、既存部分の補修・補強と更新、連続化さらには撤去と、今後の「鋼橋のあり方」について考えさせられ、難しさを改めて実感し、反省することも多かったが、このような事業に携わることができ、本工事を無事に完了させることができたことに感謝する。

この報告書が今後の鋼橋の維持・管理のうえで参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 老朽化した鋼上路2ヒンジアーチ橋の拡幅検討、
- 2) 園部敏他：大深沢橋上部工事報告、横河ブリッジ技報No30、2001年1月
- 3) 国道48号熊ヶ根橋の補修計画と施工、パシフィックコンサルタンツ
- 4) 石橋勅雄他：熊ヶ根橋の拡幅補強、松尾橋梁技報Vol47、2006年4月
- 5) ズームアップ熊ヶ根橋拡幅・補強工事：日経コンストラクション2005.7.22,P32～37