

上路アーチ橋の損傷補修と安全照査(国界橋)

The Retrofit and Safety Check for the Deck Arch Bridge (Kokkaibashi Bridge)

金原 慎一^{*1} 渡辺 智三^{*2} 松村 幹夫^{*3}
Shin-ichi KIMBARA Tomozo WATANABE Mikio MATSUMURA
 能登 宥愿^{*4} 増田 高志^{*5} 中野 秀二^{*6}
Hiroyoshi NOTO Takashi MASUDA Shuji NAKANO

Summary

The Kokkaibashi Bridge, which was constructed in 1937, is a deck arch bridge spans the Gamahara-sawa Stream on the border of Nagano and Niigata Prefecture.

This bridge was severely damaged by a flood accompanied with an avalanche of sand and stone on July 11th, 1995 and a lower chord member on the upper stream side was cut off.

This report describes the retrofitting method and after-retrofitted safety check for the Kokkaibashi Bridge.

1. はじめに

「国界橋」は、大町市と糸魚川市を結ぶ国道148号線、長野県と新潟県の県境に位置する橋長48mの張り出し径間を有するスパンドレルアーチ橋である。国道148号線の旧道は千国街道と呼ばれ、姫川沿いに日本海に抜ける街道で、海の無い信濃の国への塩の運搬路として戦国時代(それ以前?)から存在する(別名塩の道とも呼ばれている)。国界橋は、地形の険しい蒲原沢をまたぎ、古くから交通の要所として共用されてきた。最近では、海水浴客、スキー客なども多く利用しているため、交通量の増加や車両の大型化が進んでいる。これに伴い、新路線の施工も進み、本橋の下流に位置する「新国界橋(方杖ラーメン橋)」も平成6年11月から共用が開始された。昭和11年12月に建設され、60年近く交通に寄与してきた本橋の役割もほぼ終えようとしていた。

ところが、平成7年7月11日に長野県北部を襲った集中豪雨に伴う土石流によって、新国界橋は流出し、国界橋も上流側下弦材が破断するなど、大きな損害を受けた。国道を早期に復旧する手段として様々な角度から検討が

加えられた結果、新国界橋の架橋位置の河川内を渡る仮道を設けるとともに、国界橋の補修を行い、新国界橋が復旧するまでの迂回路としてこれを利用することになった。本報告は、土石流によって損傷を受けた国界橋の補修工事とその安全照査結果について述べるものである。

2. 損傷状況

本橋の被災状況について、主だったものをイメージとして図-1に示す。本橋は切り立った谷の上に架けられているが、被災後に残された土砂の状態から、土石流の水面は路面より3~4m位上であったように推測される。また、本橋の路面上や流出した新国界橋の橋台付近にはかなり大きな岩が残されており、土石流の凄さを物語っていた(写真-1)。

上流側のアーチコードは中央から3番目の格点で切断され、2格間にわたり下流側に折れ曲がっていた。これらの格点に結ばれた斜材・鉛直材、対傾構、横構等も下流側に折れ曲がり、支間の1/4から長野県側の支点部にかけて損傷が広がっている(写真-2~写真-4)。また、

*1松本工場生産設計部生産設計課課長代理

*2(株)宮地総合メンテナンス 工事部次長

*3松本工場製造部工事課

*4技術本部先行技術研究室長

*5技術本部先行技術研究室

*6松本工場製造部生産技術課長

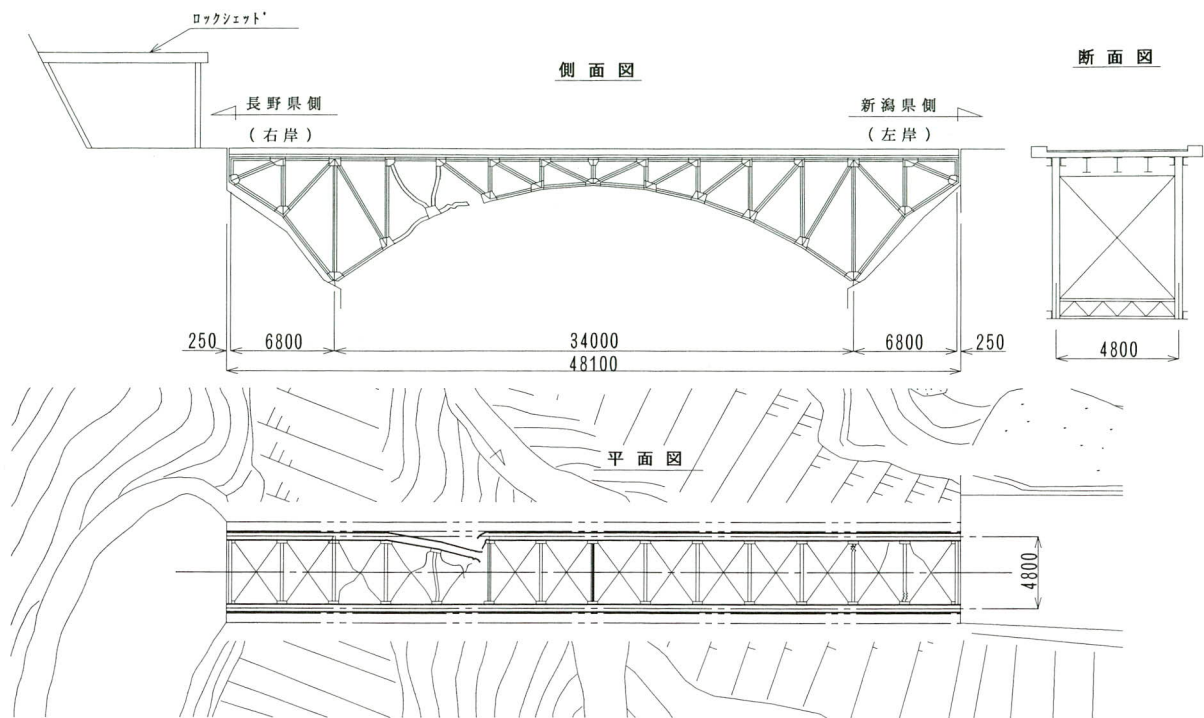


図-1 国界橋一般寸法および損傷状況



写真-1

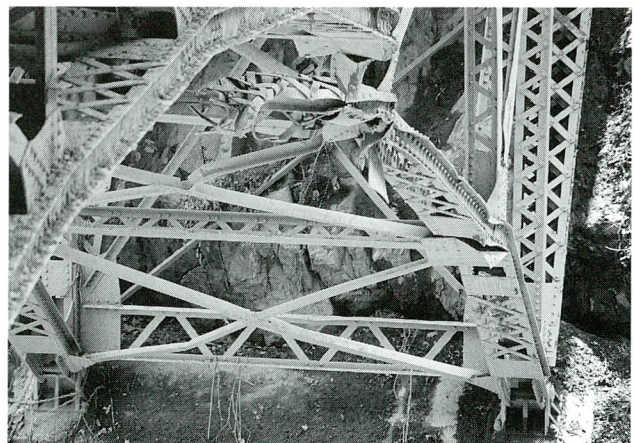


写真-3

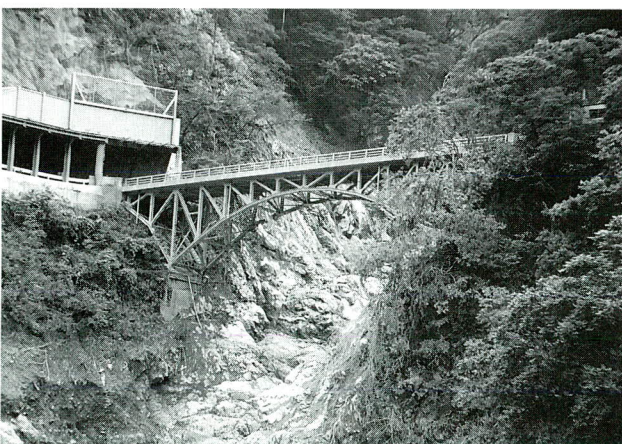


写真-2



写真-4

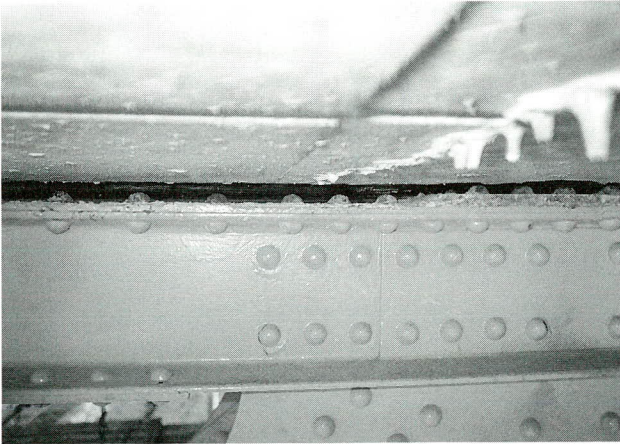


写真-5

損傷の大きな長野県側の支間1/4部分は、上弦材も下方に変形し、この部分の床版は上弦材や縦桁と剥離していた(写真-5)。

図-2に損傷後に測定した地覆上端での水準測量の結果を示す。測量は上下流の地覆上面で行い、図中の実線と破線はそれぞれ上流側、下流側の測定値を示す。本橋の建設が昭和11年と古く、設計図書がなく、道路線形が不明であるため、損傷によるたわみ量は特定出来ない。そこで、変形が生じていないと思われる支点部での高低差に着目すると、長野県側は上流側が4mm低く、新潟県側は上流側が6mm高い。橋梁前後の平面線形は、S字(長野県側からみて右カーブ～左カーブ:橋梁部分は直線)となっている。測定値はわずかではあるが曲線の内

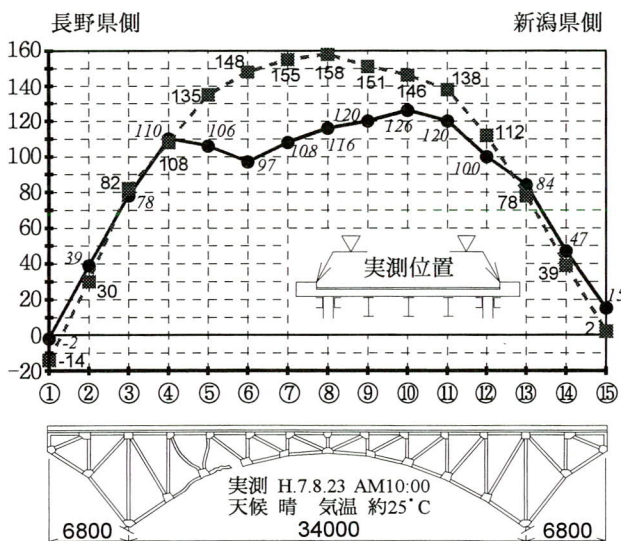


図-2 路面での水準測量結果

側が高く、一般的な横断勾配のとりかたとは逆の傾向にある。損傷の影響が現れているかどうかは定かではないが、横断勾配が大きい部分とは考えにくく、上流側路面は、下限材が破断したことにより、40mm～50mm程度下がっているものと推測される。

3. 補修計画および補修作業

(1) 補修計画の検討および工法選定

1) 一般国道148号の早期開通の検討

一般国道148号の蒲原沢では、土石流が発生し、上流側に架かっている旧道の旧国界橋はスパンドレルアーチ橋の上流側の下弦材が破断する損傷を受け、下流側に架かっている新道の新国界橋は完全に流失し、長野県と新潟県間の通行が徒歩に頼る以外は遮断された。

そこで、両県間の車両による通行を早急に可能にするために、復旧または仮復旧方法として、以下に示す「3案」が工程面や技術面を含めて検討されたが、比較検討案の中では、他の2者に比較して、総合的に問題の少ない第3案に決定し、補修方法について検討を進めることとなった。

【第1案】 新橋を早急に架け替える。

工程面でどんなに急いでも、約17ヵ月(約1年半)必要であり、早期開通の比較対象とはならない。ただし、架け替えの検討を進める。

【第2案】 流失した新国界橋の橋台を使用して、仮橋を設置する。

橋台間の支間が約80mと長く、現時点でその支間に適応できる手持ちの応急橋がない。

【第3案】 旧国界橋を補修する。

補修工法を工夫すれば、技術的には補修可能と思われ、また、工程的にも約2.5ヵ月から3ヵ月で補修可能と判断された。

2) 旧国界橋の補修工法の決定

本橋は、損傷前の測量結果が無いので100%確信を持つての断言はできないが、上流側下弦材が破断した現時点では、路面高さの実測結果(図-2参照)に示す様に、明らかに上流側が下がっている。床版下面と上弦材が剥離しているため、床版面(実際は地覆上面)の高さと上流側主構の変形はが同じではない。しかしながら、下弦

材が破断することによって、上流側主構の剛性は著しく低下し、損傷前に作用していた応力（断面力）の大部分は、下流側の主構に再配分されているものと推察できる。したがって、本橋の補修にあたっては、損傷後に下流側に配分された死荷重応力を、上流側主構に負担させなければならない。

そこで、本補修工事では、上流側主構に死荷重応力を負担させる方法として、上流側の主構を一定量引き上げ（3次元有限変位解析によって引き上げ量を推定）、新規の部材を挿入・連結することとした。

上記に示した応力分担変更作業を現場で行うために、以下に上げる2つの工法を考え、比較・検討した。

【A案】 ケーブルエレクションを応用する工法

本アーチ橋の支点部上に鉄塔を立て、エレクション用の主ケーブルを張り渡し、その主ケーブルから直吊りでアーチの各格点を吊り上げ、上流側主構を必要量引き上げる工法である。

【B案】 工事桁を使用する工法

本アーチ橋の路面上を使用し、支点部ポスト上に支

点を設ける工事桁を設置し、その工事桁上に用意した吊り梁から直吊りでアーチの各格点を吊り上げ、上流側主構を引き上げる方法である。

A・B案両工法の問題点等の比較を以下に示す。

- ①両案に必要な基本的な機材はともに即刻用意可能である。
- ②A案では、工法的として難度の高いケーブルエレクション工法に精通した現場代理人および作業員を緊急に手配する必要があるが、できない可能性が高い。
- ③A案では、ケーブルエレクションの主索用に比較的大きなアンカー設備が必要となる。長野県側は、橋端までロックシェドがせまっておき、その背後は切り立った崖となっている。このため、長野県側はアースアンカーとしなければならないが、落石の多い箇所でもあることから、岩盤の強度に問題があるものと推測される。
- ④B案の方が、工期が2週間程短くできる(図-3 比較工程表 参照)。
- ⑤比較・検討の時点で、流失した新国界橋の位置に盛

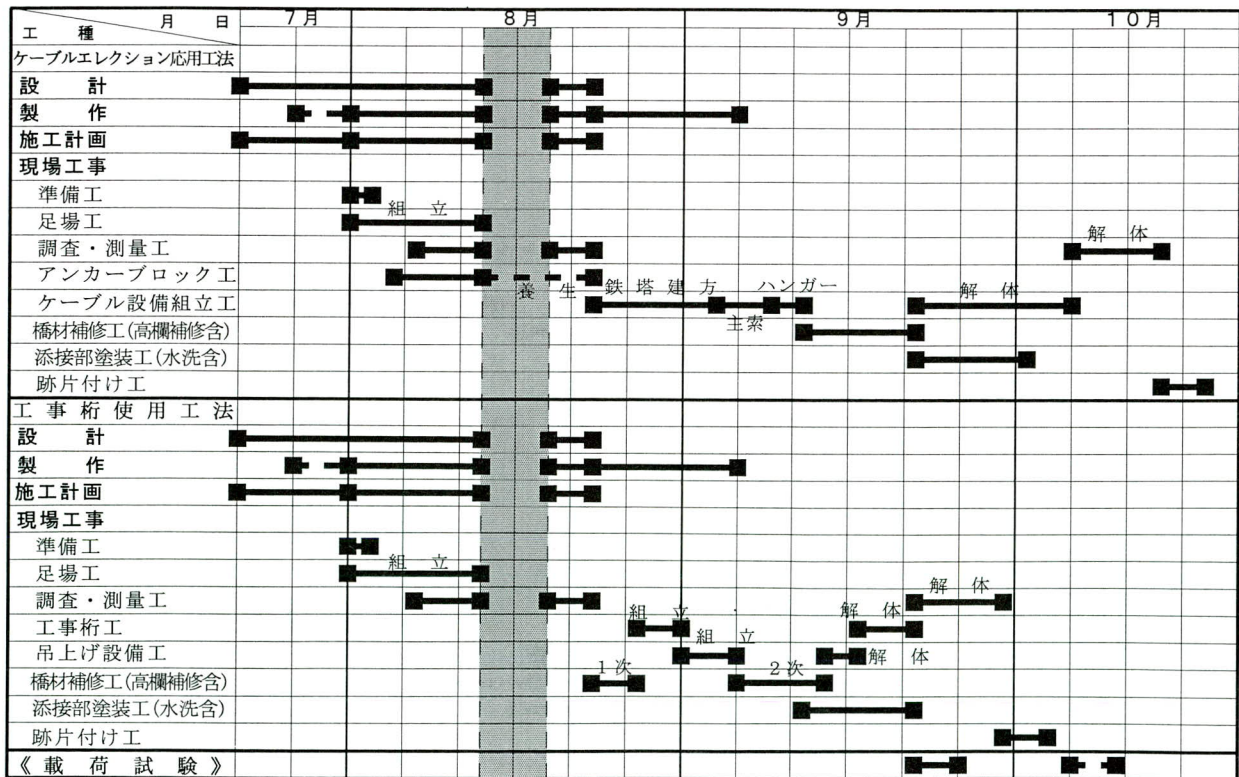


図-3 補修工事比較工程表

り土による仮設道路が施工され、長野県側から新潟県側にトラッククレーン等の進入や車両による機材の搬入が可能になることがはっきりした。

以上の比較・検討の結果から、損傷状態にある現橋体の、工事桁架設時の各ステップにおける設計上の詳細な照査が必要であるが、基本的に工事桁使用工法で行うこ

とに決定した。

(2) 補修作業の概要

1) 補修作業の手順

図-5に補修作業手順フローチャートを示すが、国界橋の補修手順は概ね以下となる。

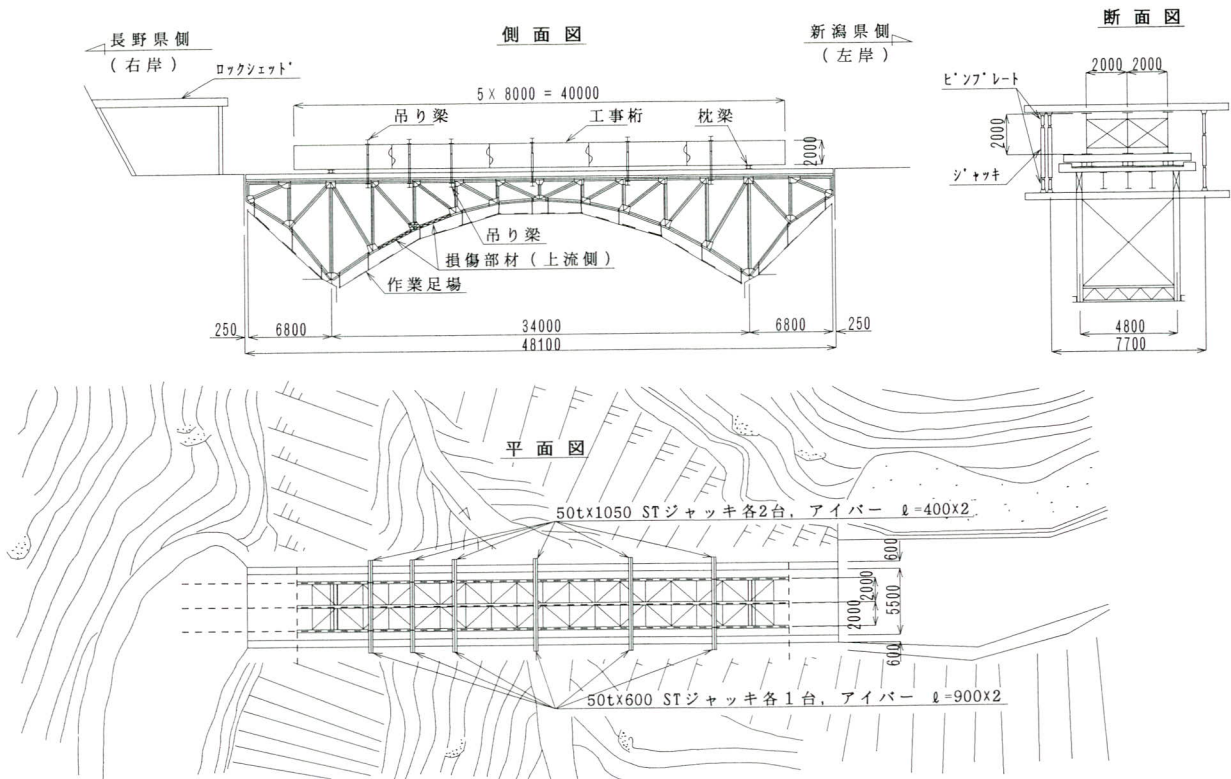


図-4 工事桁使用工法一般図

①現場施工計画の作成

補修設計の考え方と現場での施工可能な方法との調整を行いながら、現場の施工計画書を作成する。

②現場準備工

現場事務所の設営、足場材等の機材を搬入する。

③足場工(組立)

補修作業に必要な足場を組み立てる。

④調査・測量工

補修に必要な新規部材および吊上げ作業時に必要な橋体補強用の仮部材を製作するために必要な調査と測量を行う。

⑤橋材補修工(その1)

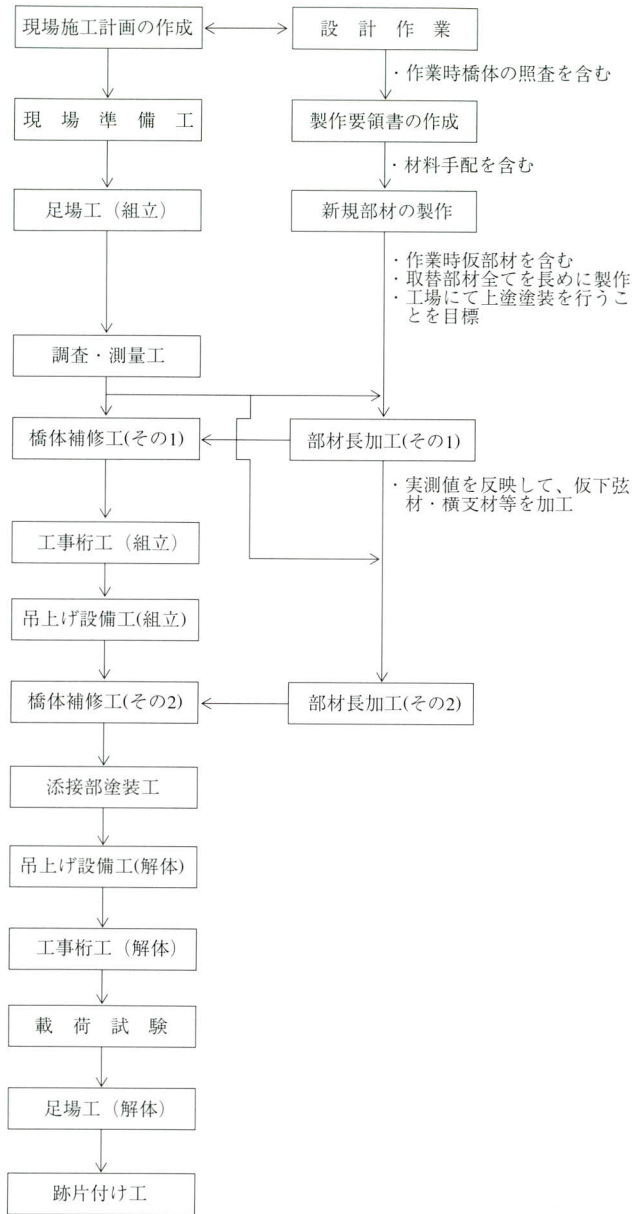
工事桁を橋上に組み立てるために必要な仮部材を

取り付ける(図-7詳細ステップ【ステップ①】～【ステップ⑥】参照)。部材の架設は、両側の橋台背面に設置したラフターで行う。

⑥工事桁工(組立)

- ・新潟側橋台背面に架設用の50 t 吊りラフターを据え付ける。
- ・工事桁を、トラックにて現場に搬入する。
- ・工事桁の組立・架設を行う。

工事桁3主桁を橋軸方向の所定のラインとする。工事桁を吊り上げ作業用の所定位置へ直接架けられないので、新潟側で部材単位で地組立する。地組立された工事桁を、順次、長野側へ縦送りし、所定位置へ据え付ける。



図一5 補修作業フローチャート

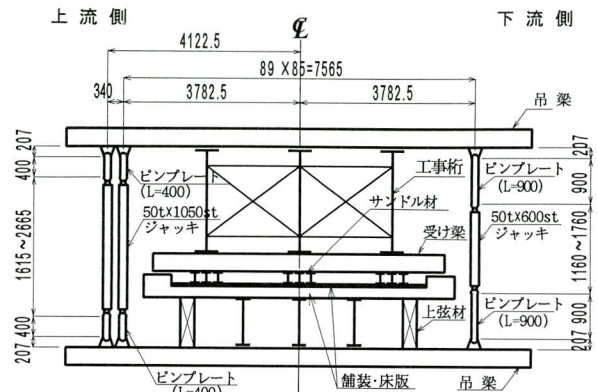
工事桁をアーチ支点上の格点部での、所定の支点支持にする。

⑦吊上げ設備工(組立)

上下の吊り梁・押し引きジャッキ・ピンプレート(アイバー)等を、吊り上げ作業用に組み立て設置する。

⑧橋材補修工(その2)

・工事桁・吊上げ設備にて、現橋を仮受けする。



図一6 吊上げ工法概念図

- ・現橋の吊上げ作業に必要な部分のボルトをゆるめる(図一7詳細ステップ【ステップ⑦】参照)。
- ・吊り上げ設備のジャッキ操作にて、現橋を目標高さまで、吊上げる。ただし、無理な作業を行うことによって、事故を誘発する様なことがあってはならないので、引き上げ作業時の作用力による吊り梁と工事桁のたわみ量および引き上げ目標量より、最大作業量を算出し、それ以上の引き上げ作業は、行わないこととする。
- ・必要な新規部材の取付けおよび添接部ボルトの本締めを行う(図一7詳細ステップ【ステップ⑧】～【ステップ⑫】参照)。
- ・工事桁・吊上げ設備による吊り上げを解除する。吊上げ作業用の仮部材を撤去する(図一7詳細ステップ【ステップ⑬】参照)

⑨添接部塗装工

- ・橋体を全て水洗いする。
- ・工場で上塗りまで行えなかった部材とを添接部の塗装を行う。

⑩吊上げ設備工(解体)

上下の吊り梁・押し引きジャッキ・ピンプレート(アイバー)等の、吊り上げ設備を解体撤去する。

⑪工事桁工(解体)

工事桁を新潟側橋台背面の50t吊りラフターにて、解体撤去する。

⑫載荷試験

次項に詳細を述べる。

⑬足場工(解体)

足場を解体撤去する。

⑭跡片付け工

仮設機材・足場材・現場事務所等を片付け、搬出する。

2) 橋体の補修作業に関する詳細ステップ

図一 7 に橋体補修に関する詳細ステップを示す。本橋の補修にあたっては、極力主構の弦材に付加的な断面力を加えない手法をとるものの、橋面上で工事桁を組み立てるなど、架設機材が損傷を受けた橋体上に載る。このため、橋体の仮補強として有効座屈長を縮める目的の仮ストラットを設置したり、曲げ剛性を付加させる目的で下弦材に溝形鋼を抱き合わせた。なお、これらの仮設部材の取り付けのほとんどは、ブルマンを使用した。

【ステップー①】

有効座屈長を短くするための仮ストラット 50～62 (50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62) を取り付ける (ブルマン締め)。

【ステップー②】

2 の旧部材撤去、2 の仮部材取り付け (ボルト本締め) および、2 と 1 間の新ガセット取り付け (ボルト本締め)

【ステップー③】

3, 6 の旧部材撤去、3, 6 の本部材 (計算上は仮部材扱い) 取り付け (ボルト本締め)

【ステップー④】

24 の旧部材撤去、24 の本部材 (計算上は仮部材扱い) 取り付け (ボルト本締め)

【ステップー⑤】

1 の旧部材撤去、1 の仮部材取り付け (ボルト本締め)

【ステップー⑥】

仮部材 63, 64, 65 の取り付け (ブルマン締め)

【ステップー⑦】

1, 2, 3, 6, 24 部材のボルトをゆるめる。

【ステップー⑧】

1 の仮部材、7 の旧部材、11・12・13 の旧部材撤去、1, 7 およびそのガセット、11・12・13 の本部材取り付け [ボルトゆるめた状態 (計算上の仮部材)]

【ステップー⑨】

2 の仮部材、25 の旧部材、14・15・16 旧部材撤去、2, 25 およびそのガセット、14・15・16 の本部材取り付け [ボルトゆるめた状態 (計算上の仮部材)]

【ステップー⑩】

1, 2, 3, 6, 7, 24, 25 のボルト本締め (計算上仮部材から本部材とする)

【ステップー⑪】

11・12・13, 14・15・16 のボルト本締め

【ステップー⑫】

残りの取り替え部材を撤去し、順次、新部材の取り付け (ボルト本締め)

23→8・9・10→4→5→17・18・19→20・21・22 の順

【ステップー⑬】

50～65 の仮部材撤去

4. 試験車載荷による供用時の安全性照査

構造物の損傷の補修をするにあたり、短期間で安全に行える補修方法 (橋上の架設用 I 桁を使用したケーブル吊上げ工法) を、数案の中から構造解析で安全を確認して決定した。

損傷時、補修時、供用時の安全性確認の裏付けとなる構造解析は、解析始点を当初の完成系とし、各施工段階について、想定した施工法に合わせるべく有限変形理論で連続的に行った。(図一 8 参照)

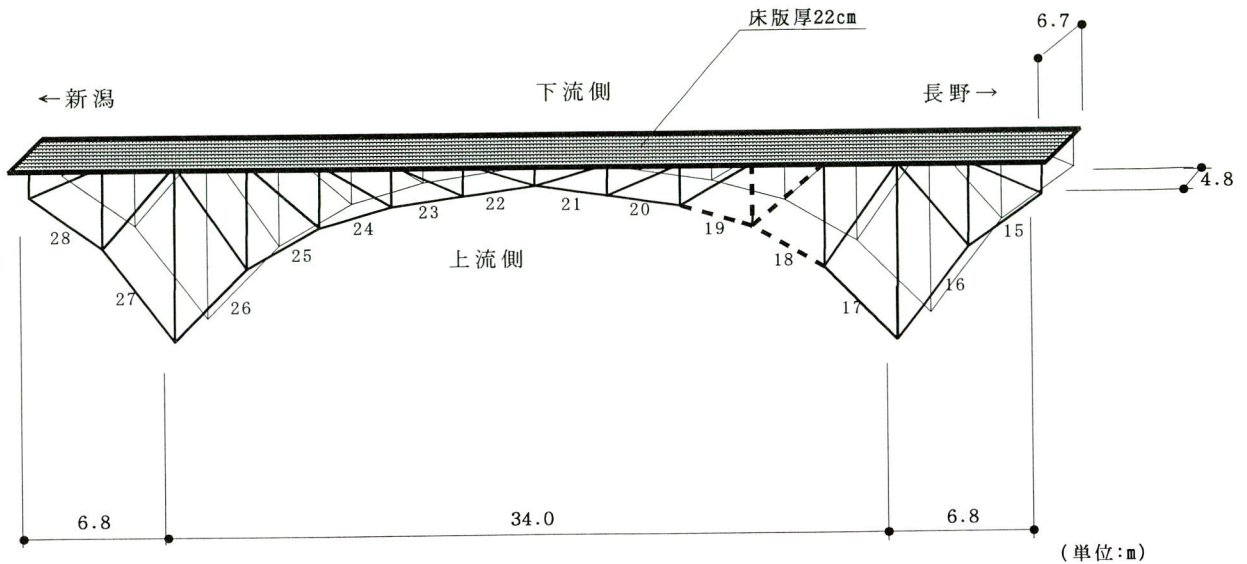
応力測定調査は本線復旧までの数年間の供用が予定されていることから、T-20 荷重 1 車両に近似的に相当するクレーン車 (重量 23.3ton) を橋梁上に 1 台載荷することに対する応力および鉛直たわみの測定を行い、その補修効果の確認を行ったものである。

(1) 補修方法および構造解析

構造形状を主部材と対傾構、横構等の 2 次部材さらに床版を含めた立体板要素付き骨組モデルとし、損傷時の大きな変形を追跡するために、有限変形理論で解析を行っている。

補修要領としては非損傷側 (下流側) の主構面を当初の完成状態に、損傷側 (上流側) の主構面を解析上の無応力状態まで吊り上げながら補修する方法で、補修後が新しい死荷重完成状態となる。ここでの構造系は床版を考慮 (上弦材との重ね梁であり、合成梁ではない) するか、しないか二通りあり、床版接合部の損傷度によっては中間と考えられる。

静止した活荷重の計測値から判断すると、現時点の床



図一八 板要素付き構造解析モデル

版状態では、床版有りの構造系の解析値に近いと言える。死荷重応力は床版の有無について、極端な相違もないので、安全を考えて大きい方の応力を採用する。また構造モデルおよび解析の仮定も、後述の支間長の1/4、1/2点静的載荷の実測値と対比すると妥当であることが判った。

構造モデルの主部材同志は剛結合しているが、部材高/部材長の比が1/10以下なので、極端な変形をしてない状態では2次応力としての曲げ応力は微少である。但し、床版を直接支持している上弦材については、曲げモーメントの挙動に注意する必要がある。

後述の計測値（上流側または下流側車両走行時の応力値）をみると、解析値と同様殆ど曲げ応力が生じていないことがわかる。これは縦桁が5本あるため、間接載荷の様相を呈しているためと考えられる。

(2) 応力調査

調査の目的は次の3点に着目した。

- ①着目した部材の応力が与えられた許容値以内に収まっているか。
- ②試験荷重車の繰り返し走行に対して部材応力が時系列的に安定しているか。
- ③構造系としての全体的バランス（右岸側と左岸側、上流側と下流側）を考えて、対称部材間で応力上問題はなにか。

測定は事前に重量の計測を行った2種類の荷重車を別個に10Km/h程度の速度で走行させ、また所定位置に停止させ、着目箇所の応力ならびにたわみの走行時応答（応力、たわみ波形）とピーク値を記録した。

測定結果の処理方法としては次式で評価した。

$$\sigma_d + \sigma \times \beta / \alpha \times (1 + i) \leq \sigma_a$$

ここで、

σ ：実測応力、 β ：荷重車（重量23.3tf）のT-20に対する応力比、

α ：実応力比（設計計算応力に対する実測応力の比=0.7¹⁾）、

i ：衝撃係数、 σ_d ：死荷重応力、 σ_a ：許容応力

(3) 考察

本橋は昭和の初期に施工されているので、念のために材料試験を行いSS400相当の鋼材であることを確認した。今回の構造物の供用時の安全性照査は、補修後活荷重によって主構に働く応力挙動を実橋測定することによって、また死荷重による応力は構造解析することによって求め、両者から安全を確認しようとしたものである。結果は、現時点で目標としている20t単独走行に対し問題となる点は認められなかった。

すなわち、今回の照査は前述の3点から、解析、測定した応力、変形に対して判断したものである。

- ①設計時に想定されている部材形状や二次部材の働き

表一 死荷重+活荷重（衝撃含む）最大値による応力

死荷重+活荷重最大値による応力推定(衝撃係数考慮) 計測値：最大値

部材No	補修時 床版有 床版無		23.3tクレーン載荷活荷重									設計採用応力 合計最大 許容応力		
			中央走行			上流走行			下流走行					
			計測点a	計測点b	計測点c	計測点a	計測点b	計測点c	計測点a	計測点b	計測点c			
上弦材														
U-U1	5	-65	-99	-26	-35	-27	-26	-40	-25	-17	-26	-26	-139	-1400
下弦材														
U-L1	19	-133	-214	-80	-82	-72	-102	-94	-84	-64	-64	-56	-316	-1243
U-L2	18	-268	-301	-90	-92	-113	-120	-110	-135	-68	-78	-89	-436	-1224
U-L3	17	-555	-632	-172	-182	-212	-205	-202	-246	-129	-140	-161	-878	-1146
U-L4	24	-491	-644	-172	-168	-184	-227	-222	-28	-114	-121	-134	-871	-1227
D-L1	119	-587	-716	-168	-162	-184	-114	-108	-125	-208	-208	-240	-956	-1227
垂直材														
U-V1	34	-165	-265	-152	-192		-225	-243		-92	-129		-508	-1103
U-V2	33	-571	-387	-126	-231		-187	-267		-76	-164		-838	-863
U-V3	32	-166	-212	-134	-186		-190	-215		-96	-127		-427	-1053
U-V4	31	-383	-299	-168	-164	-198	-225	-208	-253	-116	-99	-126	-636	-809
U-V5	39	-373	-318	-142	-224		-204	-278		-85	-159		-651	-874
D-V1	134	-294	-292	-194	-115		-128	-71		-254	-182		-548	-1103
D-V2	133	-352	-309	-187	-143		-132	-87		-246	-216		-598	-874
斜材														
U-D1	48	244	275	257	237		334	306		178	178		609 (730)	1400
U-D2	47	618	349	253	197		313	263		185	150		931(1116)	1400
U-D3	54	359	266	293	167		375	221		204	114		734(1137)	1400
D-D1	148	333	280	239	259		161	176		321	360		693(1074)	1400
D-D2	147	301	232	210	213		152	152		286	293		594 (920)	1400

注1) 各計測点で複数計測のうち最大値を取り、さらにその最大値で合計応力を算出
 注2) 斜材の応力については、左が総断面積、右の()内が純断面積で考えた値

および継手の強度等が、補修後の施工で保証されているものと仮定すれば、部材応力が設計許容応力を超える部材はない。

- ② 損傷が上下流の主構で異なるため（上流側に偏っている）、補強も非対称となり、構造的にバランスを欠くことも懸念された。ここでは経験的な判断の目安として、活荷重による上下流の主構に作用する応力やたわみ量が、原則として10~20%までの違いを許容すると、特に問題はなかった。
- ③ 経時変化に対する安定は、安全を考える上で重要なファクターといえる。供用後、構造物の改造はなじみのでるまでは比較的安定しづらい傾向にある。ここでは、短期の安定に対して数回の車両走行から確認するために行ったもので、結果的には応力、鉛直たわみともほとんど変化なく、問題なしと判断できた。

5. まとめ

アーチ部材が衝撃的な荷重によって切断した、その近辺のRC床版と補剛桁の間には一部剥離した箇所があり、かつ格点のガセットも大きな損傷を受け、さらに部

材もかなり変形した。特に後者のガセットおよびリベットの異常がどの範囲にまで及んでいるか、また変形の修復をどの程度まで行うかなど、明確にしにくい部分もあった。

しかし、現場の地形、本橋の損傷時の耐荷力、復旧までの所要日数等の条件を考慮して補修工法を選定し、補修を行った。工事完了後、供用時の安全性を照査するために応力測定を行い、供用に対する確信がもてるに至った。

6. おわりに

本業務に対して、長野県大町建設事務所の方々にいろいろ御指導頂き、紙上を借りて厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 日本鋼構造協会；鋼構造物の疲労設計指針・同解説
- 2) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説（II鋼橋編）、平成6年2月

1996. 10. 31受付