

(60) 補修・補強履歴のある既設RCT桁橋の架替えに関する一考察

門脇 和孝¹・山村 浩一²・下田 創³・前川 優輝⁴・岩崎 正二⁵

¹株式会社 昭和土木設計（〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南4丁目1-23）

E-mail: kadowaki@showacd.co.jp

²正会員 株式会社 昭和土木設計（〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南4丁目1-23）

E-mail: yamamura@showacd.co.jp

³株式会社 昭和土木設計（〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南4丁目1-23）

E-mail: shimoda@showacd.co.jp

⁴株式会社 昭和土木設計（〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南4丁目1-23）

E-mail: maekawa@showacd.co.jp

⁵正会員 株式会社 昭和土木設計（〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南4丁目1-23）

E-mail: s.iwasaki@showacd.co.jp

補修・補強履歴のある橋梁を点検すると、補修・補強が上手くいかず再劣化を起こしている事例が多く見られるようである。その際、さらなる補修・補強を行うのか架替えを行うかの判断は大変難しい。

本論文では、補修・補強履歴のある RCT 桁橋に対して、詳細点検及び応力照査等を行い、補修・補強案と架替え案を経済面及び技術面から比較検討した結果、鋼橋架替えに至った例を報告する。既設橋梁では上部工に比べ下部工の損傷が比較的少ない橋が多い。このような橋のうち特に小規模橋梁の補修・補強設計では、本論文のように自重の軽い上部工（鋼橋）に架替えて、下部工を再利用するのが合理的な場合が多くなると考えられる。本研究の成果は、補修・補強履歴のある小規模橋梁の再劣化対策に対して実用的な資料を提供するものと思われる。

Key Words: Repair, reinforcement, replacement, RCT girder bridge, stress check

1. はじめに

我が国で建設、供用している道路橋は約 70 万橋であり、その多くは地方自治体が管理している^{1), 2)}。

そのうち、橋長 15m未満の小規模橋梁は 8 割程度を占めており、今後老朽化が進行する小規模橋梁の適切な維持管理が必要である。

特に積雪寒冷地の道路橋の劣化要因として、重交通による活荷重の影響によるもの以外に、凍害や塩害などの環境負荷によるものが多いことが知られている。

地方自治体では、老朽化橋梁の新規更新は難しく既設橋梁を補修・補強しながら、いかに長寿命化させるかが課題となっている。しかしながら補修・補強履歴のある橋梁を点検すると、補修・補強が上手くいかず再劣化を起こしている事例が多く見られるようである。

その際、さらなる補修・補強を行うのか架替えを行うかの判断は大変難しい。

本論文では、補修・補強履歴のある RCT 桁橋に対して、詳細点検及び応力照査等を行い、復元設計や現橋耐荷力評価を行った。現在の RCT 桁には損傷部の補修だけでなく、主桁の大きな補強も必要になってくるため、補修・補強案と架替え案を経済面及び技術面から比較検討した。その結果、上部工（鋼橋）架け替えに至ったので報告する。

既設橋梁では上部工に比べ下部工の損傷が比較的少ない橋が多い。このような橋のうち特に小規模橋梁の補修・補強設計では、本論文のように自重の軽い上部工に架替えて、下部工を再利用するのが合理的な場合が多くなると考えられる。

また、最近では構造物の更新・改築に関する体系化の試み³⁾も始まっているようである。

本研究の成果は、今後市町村において増えつつある補修・補強履歴のある小規模橋梁の再劣化対策に対して実用的な資料を提供するものと思われる。

2. 対象橋梁概要と補修・補強履歴

(1) 対象橋梁の概要

本研究で対象とする既設橋梁は、岩手県の I 町の北上川に架かる昭和 20 年以前（推定）に架設された橋長 18.78m の 2 径間連続 RCT 桁橋である。写真-1 に対象橋梁の全景を示す。

また、図-1, 2 にそれぞれ橋梁側面図と平面図を示す。図-3 の上部工断面図に示すように、全幅員は平成 9 年に施工した PC 単純プレテン中空床版橋の拡幅部を含めて 6.87m であり、3 本主桁の桁高は 0.78m である。拡幅部の桁高は 0.7m となっている。対象橋梁は直橋である。

支承は鋼製プレートを用いた平面支承であり、設計荷重は TL-14 t である。

下部工形式は、左岸 (A1) 右岸 (A2) 側ともに重力式橋台であり、中間橋脚はラーメン式橋脚（推定）である。橋台高さは、旧橋台部においては A1, A2 橋台ともに 4.78m であり、拡幅部では A1 で 5.51m, A2 で 5.47m となっている。P1 橋脚の高さは 3.76m である。

舗装は、アスファルト舗装 $t=30\text{mm}$ となっている。

(2) 補修・補強履歴

補強履歴としては、平成 16 年に上部工に対して図-4, 5 に示すような補強対策が実施されている。本橋は、架設時には RC 床版 $t=180\text{mm}$ の上にコンクリート舗装 $t=50\text{mm}$ が敷設されていたようである。平成 14 年度の調査結果によると、コンクリート舗装の上に 160mm の調整コンクリートを嵩上げし、その上にアスファルト舗装 $t=60\text{mm}$ を敷いていた。平成 14 年度の主桁の劣化状況は、全体に施工不良部が多く見られ断面欠損（剥離）が生じていた。下流側 (G1) の桁は、下面のコンクリートが剥落し、側面には大きな亀裂が生じていた。床版下面の劣化は、舗装部からの浸透水の影響を受け、全体に遊離石灰が発生し、剥離箇所の鉄筋は錆が著しく切断箇所も考えられた。平成 16 年に TL-14 t へ対応するために、調整コンクリート (160mm) を撤去して、2 径間にわたり RC 床版に対して厚さ 150mm の上面増厚工を施している。同時に図-4 に示すように 3 本主桁下面には、橋軸方向に中間支承部の近傍を除いた部分に炭素繊維シート接着（一層）による主桁補強を行っている。その他、橋台橋座拡幅や橋脚の補修・補強も実施している。

3. 現地詳細調査の概要⁴⁾

現地詳細調査の概要について以下に示す。

調査内容としては、形状寸法調査、外観変状調査、劣化



写真-1 対象橋梁の全景写真

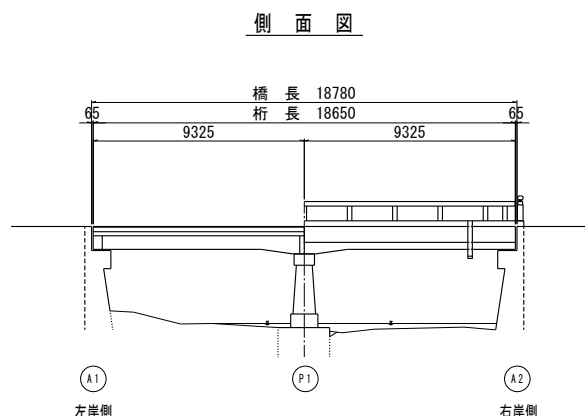


図-1 対象橋梁の側面図

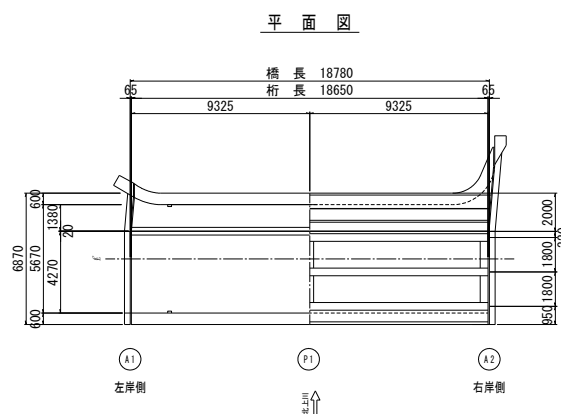


図-2 対象橋梁の平面図



写真-2 桁下の状況

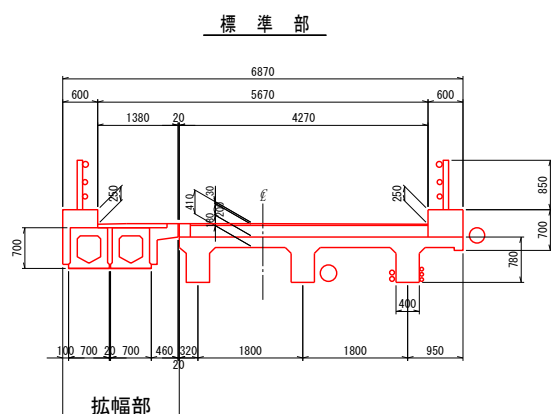


図-3 上部工断面図

進行状況調査を行った。外観変状調査では、主桁中間支
点部付近に斜めひび割れ（せん断ひび割れ）が見られた。
第2径間支間中央部あたりの G1 主桁下面の補強材に浮
き・剥離が認められた。A1 橋台側の横桁には軽微な剥
離・遊離石灰が見られた。

床版部では、拡幅部のプレテンホール桁の間詰め部お
よびプレテンホール桁と張り出し床版部間に、漏水・遊
離石灰や剥離・鉄筋露出が見られた。RC 床版部の第1、
2径間全面に、写真-3 に示すようにひび割れ・遊離石灰
が広がっている。特に第2径間 A2 橋台側に、剥離・鉄
筋露出が認められた。

下部工については、A1、A2 橋台全面にひび割れが見
られる。伸縮装置からの漏水が両橋台全面に見られた。

写真-2 に示す P1 橋脚基礎部には、ひび割れ・剥離が
見られた。P1 橋脚の A2 橋台側で一部洗掘が認められた。

次に劣化度進行調査については、外観変状調査で主桁
の補強部材に、剥離、浮きという著しい変状が認められ、
主桁及び床版にはコンクリート強度の不足・鉄筋の腐食
が疑われたため、一軸圧縮強度試験、鉄筋探査工、はつ
り調査、中性化試験、塩化物含有試験を実施した。写真
-4 に示すように第2径間支間中央部あたりの G1 主桁下
面に浮きが認められた。写真-5 は、G1 桁の浮きの詳細
を示したものである。そのため G1 主桁ではつり調査を
行った。その結果、写真-6、7 に示すように設計当初φ
28mm であった T 桁の主鉄筋径がφ21mm に減少してい
た。原因の一つとして、主桁補強の炭素繊維シート接
着を下面に限定したことが考えられる。図-6 に示すよ
うに G1 桁の各支間中央でコアを1個ずつ採取し主桁の
圧縮強度を計測したところ、第1径間、第2径間で、そ
れぞれ 13.7N/mm²、27.7 N/mm² とばらつく結果となった。
なお設計値は、13.5N/mm² である。

前述したように床版下面の劣化状況は、写真-3 に示
すように、全面にわたってひび割れ・遊離石灰が認めら
れた。そのため、既設床版と増厚床版の一体化を確認す

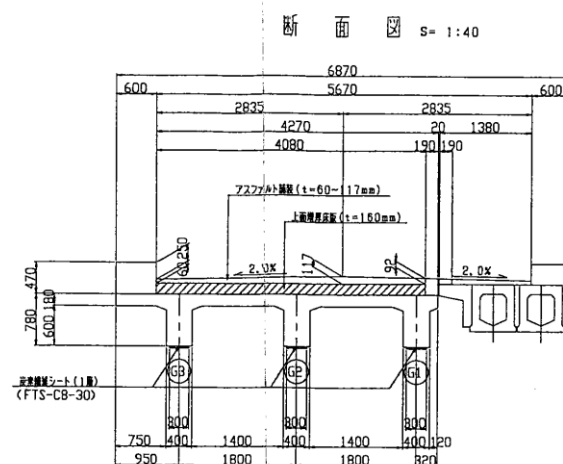


図-4 補強後の上部工断面図

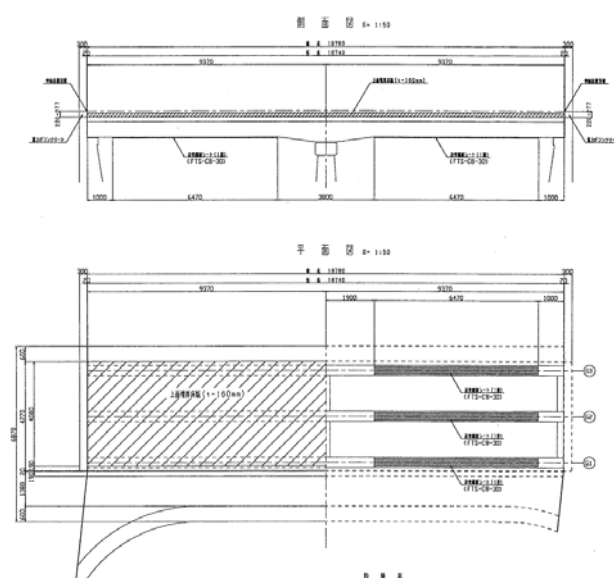


図-5 補強後の側面図と平面図



写真-3 床版下面の状況（遊離石灰）



写真-4 G1主桁の浮き



写真-5 G1主桁の浮きの詳細



写真-6 G1主桁の鉄筋径の減少



写真-7 鉄筋径の減少 ($\phi 21\text{mm}$)

るため、**図-6**に示すように各径間の床版でコアを採取した。**写真-8**に示すように、第2径間で補強のために施工した既設床版と増厚床版が分離していることが分かった。

この結果から、床版の上面増厚部は補強の役割を果たしておらず、上部工の死荷重を増加させているだけの部材であることが明らかとなった。この原因としては、前回の補修に際し既設床版に上面増厚を行う場合に、床版部との一体化工法を取らなかったことが考えられる。

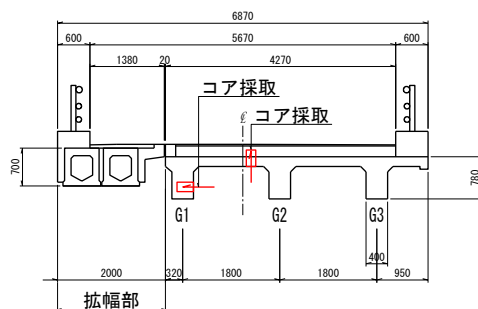


図-6 主桁及び床版のコア採取位置

4. 復元設計と現橋耐荷力評価

(1) 復元設計

現地詳細調査結果および過年度調査報告書を基に、建設当時の RCT 桁の復元設計を行う。

設計活荷重は T-13 t とする。（昭和 14 年 2 月 鋼道路橋橋設計示方書の設計活荷重）図-7 に示す T 桁の軸方向主鉄筋は、設計当初の $\phi 28\text{mm}$ とする。

表-1 に復元設計における G1 桁の支間中央と中間支点の耐荷力照査の結果を示す. T-13 t の設計活荷重に対して主桁の応力度は, すべて許容値内に収まっている.



写真-8 床版部と上面増厚部の分離

表-1 G1主桁の復元設計

設計対象桁	G3	復元設計	
設計活荷重	T-13		
項目		支間中央	中間支点
設計断面力	曲げモーメント	213.37	-392.80
	せん断力	108.01	184.33
コンクリートの 曲げ圧縮応力度	計算値	1.70	4.32
	許容値	4.50	4.50
鉄筋の 曲げ引張応力度	計算値	59.30	104.30
	許容値	120.00	120.00

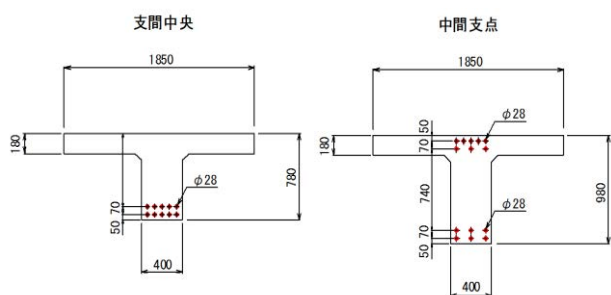
単位 (応力度 N/mm^2 曲げモーメント $\text{N} \cdot \text{mm}$ せん断力 N)

図-7 復元設計用断面図（曲げ抵抗断面）

なお表中で使用しているコンクリートの許容曲げ圧縮応力度や鉄筋の許容曲げ引張応力度は、S15 年標準示方書の値を採用した。照査結果より、当初の RCT 桁は T-13 t の活荷重で設計されていたと推定される。

(2) 現橋耐荷力評価

現地詳細調査結果および過年度調査報告書を基に現在の RCT 桁の TL-14 t に対する耐荷力照査を行う。

現状の交通荷重を考慮して設計活荷重は TL-14 t とした。詳細調査から明らかなように既設床版と上面増厚床版は一体化してないため増厚床版は剛性を無視し、死荷重として取り扱った。もし、適切な修繕工法を用いて既設床版と上面増厚床版が一体となっていた場合についても、増厚床版の剛性を考慮した耐荷力評価を実施した。

また、図-8、9 に示す軸方向鉄筋の有効径は、減肉を考慮し φ21mm とした。（設計当初 φ28mm）鉄筋のかぶりの値は、詳細調査で確認した 119mm とする。

表-2 に現橋の耐荷力照査の結果を示す。現状の G1 主桁は TL-14 t に対して応力超過している。場所によっては TL-14 t に対して 1/2 程度の耐荷力しか有していないことが分かった。このため、設計活荷重 TL-14 t を供用させるためには、損傷部の補修だけではなく主桁の大きな補強も必要になることが予想される。もし既設床版と上面増厚床版が一体となっていた場合の耐荷力評価

表-2 現橋の耐荷力評価（増厚床版無視）

設計対象桁	G3	現橋耐荷力	
設計活荷重	TL-14		
項目		支間中央	中間支点
設計断面力	曲げモーメント	316.26	-518.68
	せん断力	171.44	265.05
コンクリートの 曲げ圧縮応力度	計算値	3.60	8.20
	許容値	4.50	4.50
鉄筋の 曲げ引張応力度	計算値	167.20	243.10
	許容値	120.00	120.00

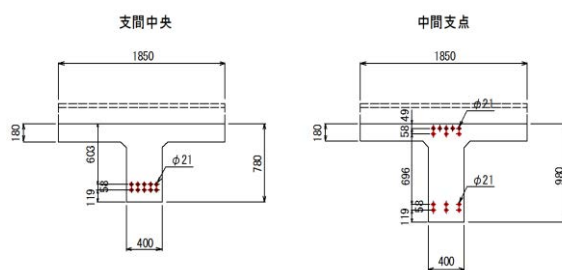
単位 (応力度 N/mm^2 曲げモーメント $\text{N} \cdot \text{mm}$ せん断力 N)

図-8 現橋耐荷力照査用の断面（増厚床版無視）

表-3 現橋の耐荷力評価（増厚床版考慮）

設計対象桁	G3	現橋耐荷力	
設計活荷重	TL-14		
項目		支間中央	中間支点
設計断面力	曲げモーメント	224.02	-402.29
	せん断力	135.14	126.69
コンクリートの 曲げ圧縮応力度	計算値	2.55	6.36
	許容値	4.50	4.50
鉄筋の 曲げ引張応力度	計算値	131.80	116.20
	許容値	120.00	120.00

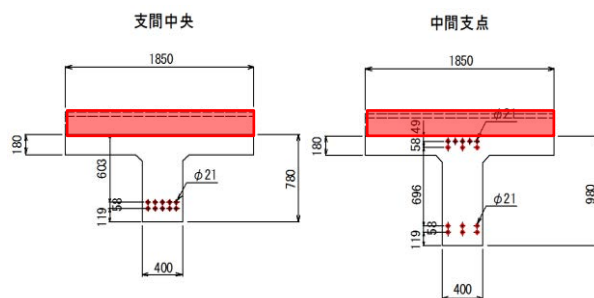
単位 (応力度 N/mm^2 曲げモーメント $\text{N} \cdot \text{mm}$ せん断力 N)

図-9 現橋耐荷力照査用の断面（増厚床版考慮）

結果も表-3 に示す。一部応力超過を起こしている場所もあるが、その割合は 1.1~1.4 程度であり大がかりな補強は必要でない。

5. 補修・補強案と架替え案の比較検討

(1) 修繕工法検討の基本方針

現地詳細調査および現橋耐荷力結果より、現在の RCT 桁には損傷部の補修だけでなく、主桁の大がかりな補強も必要になってくるため、補修・補強案ばかりでなく上部工架替え案を含めて修繕工法を検討することとした。図-10 に本橋梁で用いた修繕工法検討のフローチャートを示す。本橋梁では、図-10 に示すように補修・補強案と架替え案について比較検討した上で補修・補強の基本方針を決定する。修繕工法として次の 3 案を検討する。

- ・第1案 補修・補強案
- ・第2案 1径間架替え案
- ・第3案 2径間架替え案

(2) 補修・補強案

まず、第1案は、損傷部を補修し、耐荷力が不足する部材を補強して既設の主桁を再使用する案である。

主桁の耐荷力照査結果より現況断面では TL-14 t に対して応力度を満足しないことから、補修補強が必要である。図-11, 12 に、補修補強案の断面図と側面図を示す。

主桁の補強工法は、図-12 に示すように支間中央部が鋼板接着工法を採用する。主桁高を 78cm から 73cm に変更する。図-11 に示すように主桁側面及び底面を炭素繊維シート 2 層貼りで補強した後、主桁下面に鋼板接着 $t=22\text{mm}$ させて補強する。

中間支点部は主桁の上面鉄筋を追加するため部分打ち替え工を採用する。主桁の主鉄筋は $\phi 21\text{mm}$ とし、 $\phi 30\text{mm}$ を桁 1 本当たり 7 本補強する。主桁、床版の部分打換を実施する。その際、設計基準強度は 27N/mm^2 とする。

第1案の概算工事費の項目は、上部工補修工、表面保護工、下部工補修工、伸縮装置取替工、地覆工、橋梁用防護柵工、主桁打換工、床版打換工、橋面防水工、アスファルト舗装工、構造物撤去工、運搬処理工、仮設工、旧橋撤去工、諸経費となっている。

(3) 架替え案

第2案は、図-13, 14 に示すように既設 2 径間の主桁と橋脚を撤去し、1 径間の拡幅部と同じプレテンション方式 PC 単純中空床版橋へ架替える案である。

橋脚の撤去方法は、可道内へのバックホウ等の進入が困難であることから、ワイヤーソーイング工法を用いて

部材を切断した後、トラックレーンで吊り上げて撤去する。

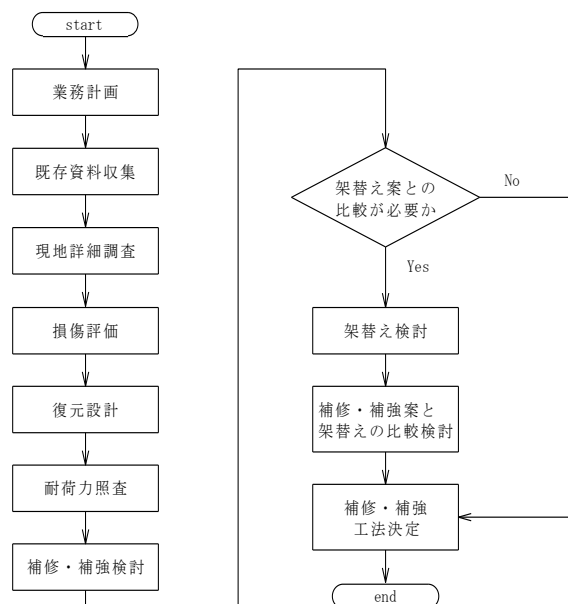


図-10 橋梁修繕工法検討のフローチャート

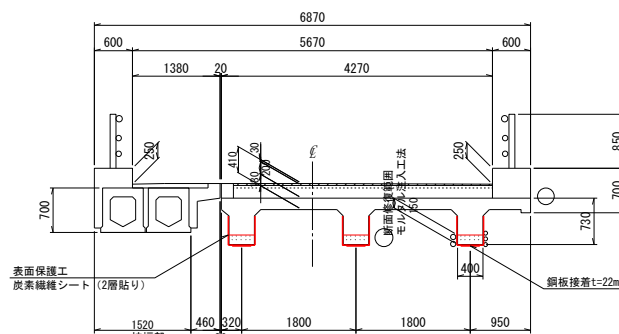


図-11 補修・補強案の断面図（標準部）

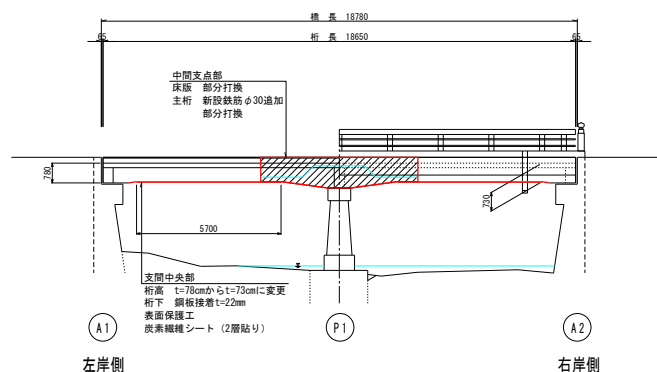


図-12 補修・補強案の側面図

第2案の概算工事費の項目は、主桁製作工、主桁架設工、支承工、横組工、地覆工、橋面防水工、アスファルト舗装工、伸縮装置工、橋梁用防護柵工、橋座嵩上げ工、構造物撤去工、運搬処理工、仮設工、旧橋撤去工、下部工補修工、諸経費となっている。

第3案は、図-15、16に示すように既設の上部工のみを撤去し、2径間連続H形鋼橋（H-588×300×12×20）へ架け替える案である。既設橋脚は撤去せず、再使用する。

第3案の概算工事費の項目は、主桁製作工、主桁輸送・架設工、支承工、RC床版工、地覆工、橋面防水工、アスファルト舗装工、伸縮装置工、橋梁用防護柵工、運搬処理工、旧橋撤去工、下部工補修工、諸経費となっている。

(4) 比較検討結果

比較検討の結果、本橋梁では第3案を採用した。

採用理由は、概算工事費が第1案、第2案に比べそれぞれ82%、91%と経済的であり、また第1案の補修・補強案に比べ維持管理も容易である。すなわち補修・補強対応の第1案では、架替え案に比べ早期に再劣化する可能性があり、現橋を長寿命化するためには、今後もさらなる補修・補強が必要である。

第2、3案では、上部工を新規部材に架替えるためその可能性は少ないと思われる。

さらに、上部工の自重（t）（アスファルト舗装と防護柵は除く）を概算すると、第1案は121.3t、第2案は141.5t（第1案の2割増）、第3案は62.1tとなる。

第2案は、2径間から1径間に構造変更することから橋台が負担する上部工荷重が増加し、橋台に悪影響を及ぼす恐れが考えられる。

それに対して2径間連続H形鋼橋に架け替える第3案は、上部工の自重が現橋の1/2程度と小さいため、既設橋台の負担軽減を図れる利点がある。

6. まとめ

補修・補強履歴のある既設橋梁の補修・補強設計では、詳細調査による現状把握に加え、既設橋の構造および応力状態を十分に検討した上で補修方針を決定することが重要である。

本論文では、補修・補強履歴のある2径間連続RCT桁橋に対して、詳細調査及び応力照査等を実施した結果、本橋の補修・補強が上手くいかずに再劣化を起こしていることが分かった。そのため補修・補強案と2つの架替え案を経済面及び技術面から比較検討した。その結果、2径間連続H形鋼橋架替えに至ったので、その経緯を報告した。

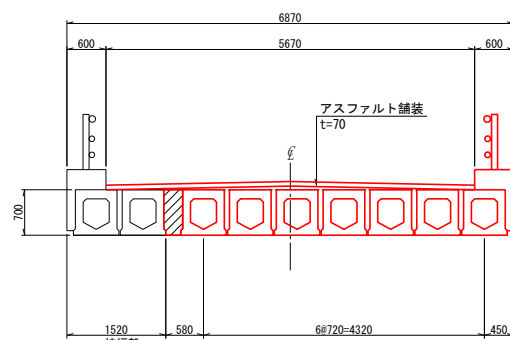


図-13 1径間架替え案の断面図

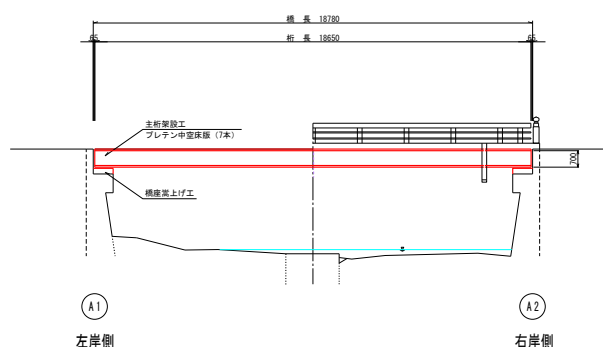


図-14 1径間架替え案の側面図

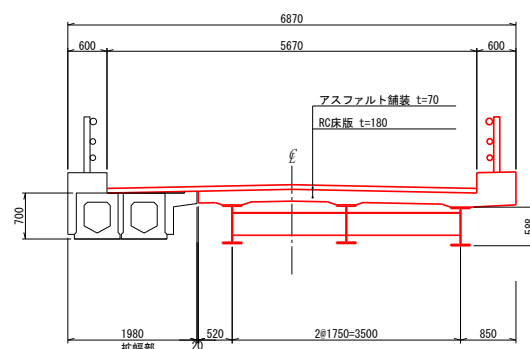


図-15 2径間架替え案の断面図

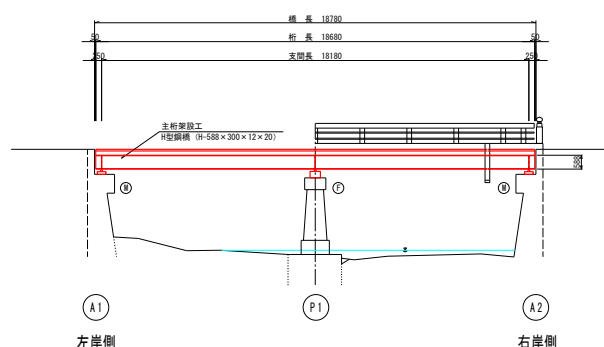


図-16 2径間架替え案の側面図

また、既設橋では上部工に比べ下部工の損傷が比較的に少ない橋が多い。このような橋のうち特に小規模橋梁の補修・補強設計では、本橋梁のように自重の軽い上部工に架替えて、下部工を再利用するのが合理的な場合も多くなると考えられる。

本研究の成果は、今後市町村において増えつつある補修・補強履歴のある小規模橋梁の再劣化対策に対して実用的な資料を提供するものと思われる。

上部工の架替えにより、下部工の安定性や耐震性がどのように改善されるかは、本論文では定量的に検討していないので今後の課題としたい。

- 2) 三木博史，萩原良二，河野広隆，福井次郎，山元弘，柳沢雄二，二瓶正康他：社会資本ストックの健全度評価・補修技術に関する研究，土木研究所，2001～2005.
- 3) 公益社団法人 土木学会 複合構造委員会：複合構造レポート 13 構造物の更新・改築技術—プロセスの紐解き—，公益財団法人 土木学会，2017.
- 4) 山村浩一，門脇和孝，下田創，岩崎正二：補強履歴のある既設 RCT 橋の架け替えに関する検討，平成 28 年度土木学会東北支部技術研究発表会 I-6，2017.

(Received August 30, 2019)

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋点検必携，平成 27 年版～橋梁点検に関する参考資料，2015.

A STUDY ON REPLACEMENT OF EXISTING RCT GIRDER BRIDGE WITH REINFORCE HISTORY

Kazutaka KADOWAKI, Koichi YAMAMURA, Hajime SHIMODA,
Yuuki MAEKAWA and Shoji IWASAKI

For long-term slump of the economy, the new update of the existing bridge is difficult. It becomes the problem how you extend the life of existing bridge group. However, when inspecting existing bridges with repair, reinforcement history, there are many cases where repair, reinforcement is not successful and re-deterioration occurs. In doing so, it is very difficult to decide whether to repair or reinforce further or to replace new bridge. In this paper, as a result of carrying out detailed inspection and stress checking on the existing RCT girder bridge with repair, reinforcement history, it was decided to replace the superstructure with a steel bridge and we report on its process.