

第 I 部門

伊古木高架橋の補修について

河田 侑樹

近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 田辺国道維持出張所 (〒646-0024 和歌山県田辺市学園24-17)

本稿は塩害環境下で腐食が発生している鋼部材に対して当て板補修を行う予定であったが、腐食が更に進行しており、当初設計の当て板では施工が不可能であったことから、橋梁ドクターによる助言を踏まえたうえで現状の損傷状況に適合する補修方法に見直す事とした。今後、同様の損傷が生じた場合の参考例として、今回の事例を紹介するものである。なお、現在見直し後の補修対策結果を基に令和5年6月中に補修工事を終える予定である。

キーワード 鋼部材の腐食、当て板補修、塩害環境

1. はじめに

伊古木高架橋は和歌山県南部である白浜町の太平洋沿いに位置する国道42号の鋼橋であり、飛来塩分により鋼部材の腐食、断面欠損が発生していた。その補修対策として設計を行った当て板補修方法の一事例として紹介するものである。

2. 伊古木高架橋の状況

(1) 橋梁概要

本橋は1996年に竣工し、約27年が経過した3径間連続非合成箱桁橋であるが、本線とランプ部が途中から分岐しているため、2橋が並列しているように見える構造となっている。また、太平洋沿いの伊古木漁港上に架橋しているため、潮風を常時受けることにより塩害の影響が生じやすい環境にある。本橋の位置を図1、全景を写真1、平面図・断面図を図2に示す。

図1



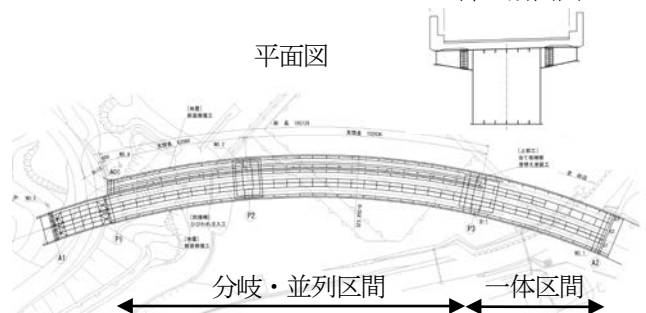
写真1



図2

ランプ部
上部工断面図

平面図



(2) 損傷原因

本線とランプ部ともに海側から潮風を受けているが、塩害による腐食状況は海側が著しいとは限らず、本線とランプ部に挟まれた部分の腐食が進行していた。この原因は、海側の部分は潮風を受けるものの雨水も受けることから塩分は洗い流されていると推測される。一方、本線とランプ部に囲まれた狭隘な箇所は、潮風を直接受けないものの巻き上げの潮風を受ける。しかし雨水は受けにくいことから塩分が洗い流されことなく堆積し、腐食が進行したものと推測される。

3. これまでの経緯および現況の損傷状況

(1) 点検及び補修経緯

本橋は2013年に3種ケレンで塗り替え工事が実施されていたが、5年経過した2018年の橋梁定期点検にて、上部工の鋼橋部分に腐食が見られた。特にランプ部の山側縦桁フランジには断面欠損を伴う腐食（写真2、3）が発生しており、対策区分はC2判定（表1）であった。その点検時の損傷状況を踏まえて2022年に当て板及び1種ケレンの塗り替えの補修工事を行うことにした。

写真2



写真3



表1 橋梁定期点検要領 判定区分

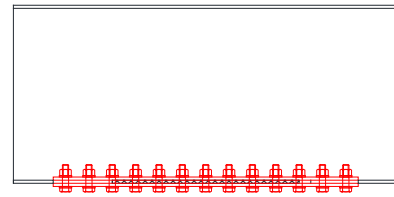
判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C 1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
C 2	橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
E 1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E 2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
S 1	詳細調査の必要がある。
S 2	追跡調査の必要がある。

(2) 当初設計と工事着手後に判明した問題点

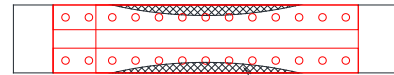
2018年の点検結果を踏まえた当初補修設計は、腐食により断面欠損した側縦桁の断面を補うために新たに当て板を高力ボルトで固定する方法（図3）である。

図3 側面図

断面図



平面図



黒：既設部材 黒ハッチ：腐食欠損部
赤：新設当て板及び新設高力ボルト

当初設計の手法で2022年に補修工事を進めたところ、2018年の点検時から更に腐食が進行しており、当て板を設置する下フランジには断面欠損部が連続的に発生している状態であった。（写真4、5）

写真4

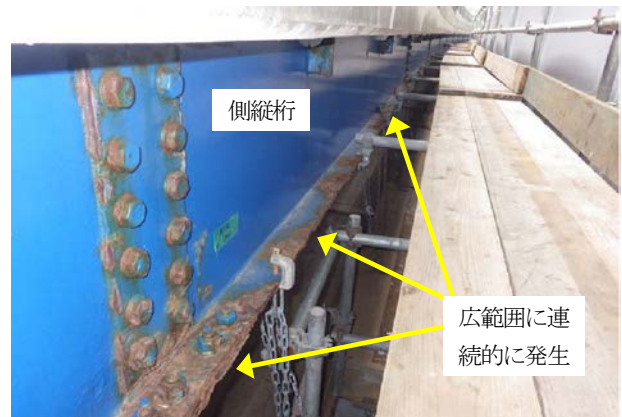


写真5（1種ケレン後）



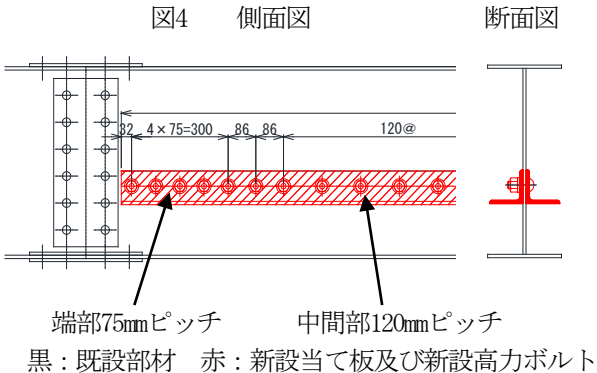
当て板の設計の考え方は、腐食により断面欠損した部位（以下：腐食部）の両側に腐食のない部位（以下：健全部）を確保し、そこに高力ボルトで当て板を固定することで健全部に摩擦力を生じさせ、それを介して応力を当て板に伝達する仕組み（以下：摩擦接合）である。

しかし、今回のように連続的に腐食断面欠損が生じていると、以下の理由から当初設計の当て板が困難となる。

- a)鋼材が腐食、断面欠損し、表面に凹凸が存在すると摩擦接合にならない。
- b)摩擦接合に必要な健全部が少ない。
- c)少ないながらも健全部まで部材を伸ばすと1部材が長くなり、重量が増加することから、桁下における人力作業が困難となる。
- 今回のように腐食が進行した箇所では当初設計案の下フランジへの当て板が不可能となったことから、別手法を検討することが必要となった。

4. 現況の損傷状況に適合した補修設計

- (1)橋梁ドクターによる助言
- これらの課題を解決するために橋梁ドクターに助言を頂き、以下の助言内容に基づく修正設計を行う事とした。
- a)腐食が連続している箇所は、下フランジに当て板を設置することが困難と思われることから、腐食、断面欠損のないウェブに山形鋼を当て板として設置する。それを第二フランジとして活荷重による応力を受ける構造にする手法（図4）がある。
- b)腐食箇所については現況の残存断面に基づいた応力状態を計算し、必要となる当て板（山形鋼）の断面を算出すること。
- c)当て板（山形鋼）のボルトピッチについて、部材中間部のピッチは大きくても影響ないが、端部については当て板に応力が伝達しにくいことから、端部のボルトピッチを密にする（図4）ことで当て板に応力が伝達し易くなり、有効に機能する。



(2)修正補修設計

- 橋梁ドクターによる助言内容に基づき、現地の腐食状況を踏まえて以下の流れで修正補修設計を行った。
- a) 1種ケレンによる素地調整を行い、残存断面を確認した後、応力照査を検討する断面を以下の4ケース（表2）に分類した。
- b) 曲げモーメントは中間支間と端支間に区分（図5）し、断面力は上記4ケース毎、合計8ケースについて欠損限界値となる板厚、フランジ幅を見極めながら応力照査を実施した。（表3）なお、応力照査に用いる支間長は、張出ブラケット間の側縦桁のうち最大支間長の

5316mmとする。

表2

ケース	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
	下フランジ全面欠損	下フランジ片面欠損	下フランジ両面部分欠損	下フランジ板厚減少
概要図 (側縦桁形状)				

図5

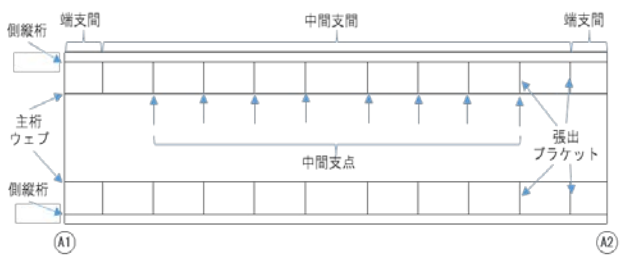


表3（中間支間部）

項目	許容値	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
曲げモーメント	—	76.42			
せん断応力	—	124.45			
曲げ応力度 (σc)	140 N/mm2	80.6 (0.58)	67.6 (0.48)	67.5 (0.48)	70.7 (0.51)
判定		OK	OK	OK	OK
曲げ応力度 (σt)	140 N/mm2	234.9 (1.68)	132.7 (0.95)	138.3 (0.99)	125.1 (0.89)
判定		NG	OK	OK	OK
せん断応力度 (τ)	80 N/mm2	25.1 (0.31)	25.1 (0.31)	25.1 (0.31)	25.1 (0.31)
判定		OK	OK	OK	OK
合成応力度 (σ/σa)	1.2	0.30 (0.25)	0.23 (0.20)	0.23 (0.20)	0.25 (0.21)
判定		OK	OK	OK	OK
補強の必要性	補強必要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=9mm未満	フランジ幅がW=100mm未満	フランジ板厚がt=3mm未満
	補強不要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=9mm以上	フランジ幅がW=100mm以上	フランジ板厚がt=3mm以上

表3（端支間部）

項目	許容値	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
曲げモーメント	—	69.95			
せん断応力	—	99.50			
曲げ応力度 (σc)	140 N/mm2	65.5 (0.47)	58.2 (0.42)	56.8 (0.41)	59.4 (0.42)
判定		OK	OK	OK	OK
曲げ応力度 (σt)	140 N/mm2	159.9 (1.14)	127.7 (0.91)	136.6 (0.98)	111.9 (0.80)
判定		NG	OK	OK	OK
せん断応力度 (τ)	80 N/mm2	20.1 (0.25)	20.1 (0.25)	20.1 (0.25)	20.1 (0.25)
判定		OK	OK	OK	OK
合成応力度 (σ/σa)	1.2	0.23 (0.19)	0.19 (0.16)	0.19 (0.16)	0.20 (0.17)
判定		OK	OK	OK	OK
補強の必要性	補強必要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=5mm未満	フランジ幅がW=70mm未満	フランジ板厚がt=2mm未満
	補強不要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=5mm以上	フランジ幅がW=70mm以上	フランジ板厚がt=2mm以上

- c)4ケースの断面形状毎に許容応力を超過する欠損限界値（表4）が算出され、欠損限界値未満の形状となっている箇所には当て板を設置する。一方、欠損限界値以上の断面が残る、許容応力以内に収まる箇所は当て板不要であり、腐食部を整形のうえ再塗装のみとする。なお、許容応力を超過した場合は、腐食が局部的であ

っても該当する張出ブラケット間の側縦桁全区間を当て板の対象区間とした。

表4

ケース	腐食状況	減肉・欠損限界値	
		中間支間	端部支間
ケース①	下フランジ 全面欠損	補強必要	補強必要
ケース②	下フランジ 片面欠損	反対側フランジ板厚が $t=9\text{mm}$ 未満	反対側フランジ板厚が $t=5\text{mm}$ 未満
ケース③	下フランジ 両面部分欠損	フランジ幅が $W=100\text{mm}$ 未満	フランジ幅が $W=70\text{mm}$ 未満
ケース④	下フランジ 板厚減少	フランジ板厚が $t=3\text{mm}$ 未満	フランジ板厚が $t=2\text{mm}$ 未満
添接部		添接板の最小必要断面積 $A=831\text{mm}^2$ 以上	

上記の応力照査、欠損限界値の結果から、当て板補修が必要となる区間に山形鋼を設置する。

(3) 当て板に用いる山形鋼の設計、規格、構造細目

設計照査を踏まえた当て板の設計方針、使用する山形鋼の規格、現場条件を考慮した構造細目は以下のとおりとする。

- 当て板の断面計算の考え方は、残存断面で死荷重を、当て板で活荷重などの後荷重を負担するとして断面計算を行う。¹⁾
- 本橋は曲線橋のため、側縦桁の設計に際しては付加応力を考慮し、また山形鋼は曲げ加工が可能なサイズから選定する。
- 現場での施工性を考慮し、1部材の最大長は2mまでとする。
- 第二フランジの設置位置は、断面二次モーメントを踏まえると、下フランジに近い位置に設置する方が望ましいが、高力ボルトの締付や塗装作業を考慮し、側縦桁下フランジから150mmの位置(図6)とする。
- 山形鋼同士の添接部にスプライスプレートを用いると設計上、また維持管理上合理的でないことから、継手箇所は部材の上下を入れ替えた1面摩擦のラップ継手(図6)とする。
- 上記を踏まえた結果、山形鋼はL-100×100×10を用いる。

図6 側面図

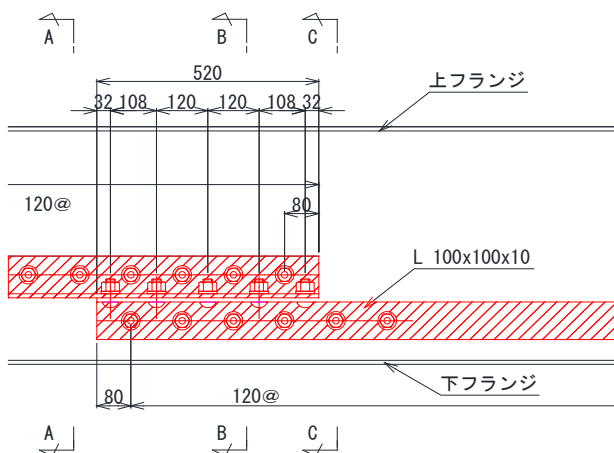
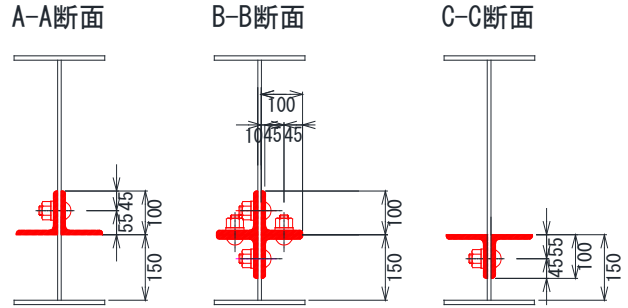


図6 断面図



5. おわりに

鋼部材の腐食による補修対策は多種多様であり、当て板補修はその選択肢の1つであるが、当て板補修に関する基準等は明確に整備されておらず、現場状況等に応じてフレキシブルに対応しているのが実情である。本事例のように、現況の残存断面から応力照査を実施し、山形鋼を第二フランジとして活用する方法は、同種損傷が発生した他橋にも十分適用できると思われる。また、山形鋼の上下を入れ替えた1面摩擦のラップ継手を用いる効果として、死荷重増加の一因となる添接板が不要なことにより上部工への負担が軽減できる。また部材数を増加させないことにより、塩分の堆積箇所や腐食箇所の抑制にも寄与できるため、当て板補修を検討する際の参考にして頂ければ幸いです。

謝辞：本橋の補修設計、当該論文作成にあたっては、近畿地方整備局橋梁ドクターでもある大阪公立大学の山口隆司教授、(一財)橋梁調査会、オリエンタルコンサルタンツのみなさまには貴重なご助言を頂きました。この場をお借りして感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ37 補修・補強のための高力ボルト摩擦接合技術 ―当て板補修・補強の最新技術―