

既設鋼鈹桁橋の補修設計事例

東洋技研コンサルタント(株) ○徳本祐介
北臺修一

論文要旨

本業務は、地方自治体が管理する、飛来塩分等の影響を受ける既設鋼橋の補修設計業務である。現地詳細調査に基づく補修設計を行ったが、工事着手後に新たに原因不明の損傷が発生したことから、発注者からの緊急要請を受け、3者による合同現地踏査を実施し、新規損傷について原因の究明を行った上で対策工法の検討を行った。また、施工後半年後に現地視察を実施し、補修後の状況確認も行っており、本稿では、補修設計から工事完了後までの一連の内容について報告する。

キーワード：既設橋、橋梁長寿命化、鋼橋、RC床版、補修設計、塩分、大型車両

まえがき

既設橋梁の補修工事中に予期せぬ事態が生じる事は、そう珍しくない事象である。設計時から損傷が著しく進行したことによるもの、添架物等の支障物による施工不可等現場状況の確認不足によるもの、関係機関との協議が不十分であったことによるもの等、様々な要因が挙げられる。

本稿では、兵庫県北部積雪寒冷地域の海岸部近傍に位置し、飛来塩分等の影響を受ける既設鋼鈹桁橋の補修設計の内容と、補修工事中に新たに生じた損傷に対する原因究明と対策工法の検討を行った事例(図-1参照)について報告するものである。

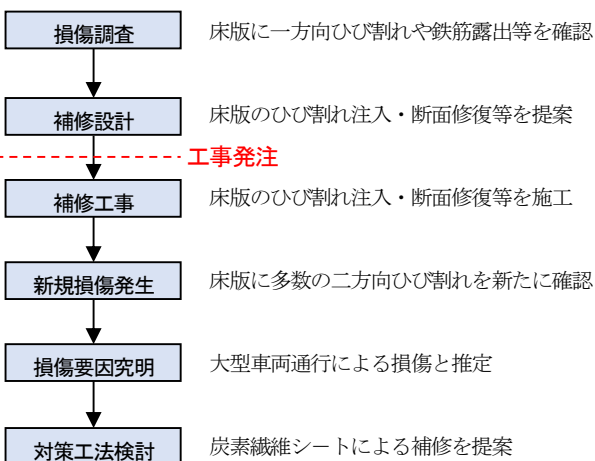


図-1_業務フロー

1. 橋梁概要

対象橋梁は、竣工から50年程度が経過しており、現場条件として、海岸部からの飛来塩分や、冬季の凍結防止剤散布による影響を受けていると想定された。

橋梁諸元について表-1、図-2に示す。

表-1 橋梁諸元

項目	内容
竣工年	1973年(昭和48年)
適用示方書	道路橋示方書・同解説(昭和48年)
橋長/全幅員	92.0m/6.80m
橋梁形式	3径間単純鋼鈹成鈹桁橋
活荷重	TL-14
交差条件	二級河川

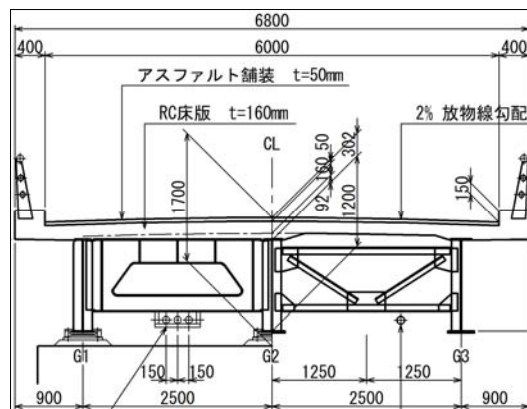


図-2 断面図

橋梁写真について、写真-1、2に示す。



写真-1 全景



写真-2 桁下面

2. 損傷状況および補修設計概要

本橋の損傷状況について表-2 に示す。主な損傷としては、伸縮部からの漏水によって、桁端部材(主桁、横桁、支承)に著しい腐食が生じており、健全度Ⅲ:早期補修が望ましい状態であった。その他には RC 床版下面に広範囲のうきや剥離・鉄筋露出が生じていた。

表-2 損傷状況一覧

部材名		損傷内容	健全度
橋面	舗装	路面の凹凸	I
		ひび割れ、わだち掘れ	II
上部工	主桁	腐食	III
		ボルトの脱落	II
	横桁	腐食	III
	床版	漏水・遊離石灰	II
剥離・鉄筋露出、うき		II	
床版ひび割れ		II	
下部工	橋脚	ひび割れ	II
		漏水・遊離石灰	II
支承部	支承本体	腐食	III
	沓座モルタル	欠損	II
その他付属物	伸縮装置	ゴム劣化、漏水	II
	防護柵	腐食、破断	III
		変形	II
	地覆	剥離・鉄筋露出	II
添架物	腐食	II	

また、コンクリートコアを採取して各種室内試験を実施したところ、床版コンクリートに中性化、下部工コンクリートに塩害が確認された(表-3 参照)。

表-3 コンクリートコア試験結果

調査箇所	圧縮強度(N/mm ²)			中性化残り(mm)			塩分含有量(鉄筋位置)(kg/m ³)		
	試験値	設計基準強度	判定	試験値	基準値	判定	試験値	発錆限界濃度	判定
床版	30	24	設計基準強度以上のため、構造的に問題なし	-6	10	今後腐食が生じうる	0.14	1.2	腐食が生じる可能性は低い
橋脚梁部	33	21		60	10	当面の間は、問題ない	7.8	1.2	今後腐食が生じうる

さらに本橋は鋼橋であったことから塗膜調査も実施し、有害物質である鉛が含有されていることも確認された(表-4 参照)。

表-4 塗膜調査結果

分析内容	分析項目	基準値	新市橋
含有量試験	鉛	検出の有無	8.30% OUT
	クロム	1.0%超	0.2%以下 OK
	ポリ塩化ビフェニル(PCB)	0.5mg/kg 超	0.08mg/kg OK
溶出試験(産業廃棄物溶出試験)	鉛又はその化合物	0.3mg/L 超	82mg/L OUT
	六価クロム化合物	1.5mg/L 超	検出せず OK
	ポリ塩化ビフェニル(PCB)	0.003mg/L 超	検出せず OK

以上の結果を踏まえて補修設計を実施し、塗装塗替工(循環式ブラスト+RC-I 塗装系)による有害物質の除去および防食機能の改善、シラン系表面含浸材による中性化対策や塩分吸着型ポリマーセメントモルタルによる塩害対策、伸縮装置取替工(荷重支持型鋼製伸縮装置)による非排水化や、橋面補修工(舗装打換工、橋面防水工)等を提案し設計を行った(写真3~12 参照)。



写真-3 主桁(補修前)



写真-4 主桁(補修後)



写真-5 横桁(補修前)



写真-6 横桁(補修後)



写真-13 足場写真



写真-7 支承(補修前)



写真-8 支承(補修後)



写真-14 セキュリティールーム



写真-9 伸縮装置(補修前)



写真-10 伸縮装置(補修後)



写真-11 橋面(補修前)



写真-12 橋面(補修後)

3. 工事中に発生した新規損傷

前述の補修設計完了後、工事発注され補修工事が進んでいく最中で、補修直後の RC 床版に新たに多数のひび割れが生じているのが確認されたことから、発注者より原因究明と対策検討の緊急依頼があった。

新規損傷の発見までの経緯としては、ひび割れ注入や断面修復等の床版補修後、床版を養生したうえで塗装塗替えを実施し、塗替え完了後に養生を撤去したところ、補修した RC 床版下面に新規のひび割れが多数発生していることが確認された(写真-15 参照)。設計時のひび割れ(写真-16 参照)補修数量は合計 50m 程度であったが、新規で確認されたひび割れ数量は合計 1,300m 程度と約 26 倍であったことから、明らかに異常事態であることが見受けられ、本橋の通行止め規制を行つたうえで、早期対応を求められた。

また、施工計画については、有害物質対策として密閉化した吊足場を計画し、セキュリティールーム等の環境対策設備の配置計画も立案した(図-3、写真 13, 14 参照)。

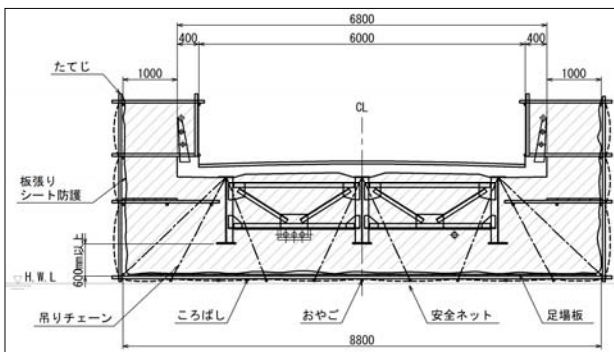


図-3 足場図



写真-15 床版ひび割れ(新規) 写真-16 床版ひび割れ(設計時)

4. 新規損傷の原因究明

発注者からの要請により、対象橋梁において道路管理者・設計者・施工者の3者による合同現地踏査を緊急で実施した(写真-17参照)。



写真-17 合同現地踏査

合同現地踏査での現場状況および協議内容を踏まえ、新規損傷の原因究明を行った。

- ・設計時の現地調査では、橋軸直角方向の床版ひび割れ、剥離・鉄筋露出、うきが確認されていた。
- ・新規で発生した床版ひび割れは二方向ひび割れであり、橋軸直角方向のひび割れが顕著であった。
- ・本橋の床版コンクリートの強度には問題なく、床版厚についても、竣工当時の基準で設計された16cmであり、当時の橋梁としては問題ない。ただし現行基準で必要とされる床版厚は下回っている。
- ・本橋は、TL-14で設計されているが、特に車両重量制限措置等は行われていない。
- ・吊足場供用開始時期から床版補修完了時期までの間は、特に異常はなかったことから、吊足場の荷重や橋面上に設置した工事車両の荷重によって発生したとは考えにくい。
- ・同時期に別の現場で行われている工事(発注者は本工事とは異なる)があり、その工事車両が本橋を通行することがあった。

以上のことから、一時的に本橋の耐荷性能を上回る大型車両(20t~25t)が通行したことに伴って、床版下面に引張側の曲げモーメントが頻繁に繰り返し作用したことが新規損傷発生の主な原因ではないかと推測された。また、建設から50年経過した現在までの交通量の増加に対して、床版耐荷力が低下していることも懸念された。

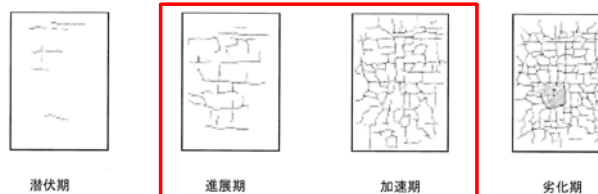
5. 新規損傷の補修対策検討

原因究明の後、発注者と協議のうえで、補修方針を決定し、補修対策検討を実施した。

本橋は TL-14 で設計された橋であるが、将来的にグレードアップの予定はないことから、今後 14t 規制を行って供用していく方針と決定された。

床版下面の損傷状況より、竣工時の耐荷力が低下していると思われる床版に対し、単純にひび割れ補修のみ実施することは抜本的な解決とはならないと考え、床版耐荷力の改善が必要と判断した。次にコンクリート標準示方書[維持管理編]¹⁾を参考に、外観上のグレードを判断し、そのグレードに応じた工法による比較検討を行った。本橋のグレードについてはⅡ~Ⅲ(進展期~加速期)であると判断した(図-4参照)。

外観上のグレード	劣化過程	定義	期間を決定する要因
グレードⅠ	潜伏期	主に乾燥収縮により、主桁直角方向に一方ひび割れが数本程度発生している段階。主桁の拘束条件によっては、温度変化等によりさらにこのひび割れが進行することもある。	適用した設計基準 床版厚 配力鋼材量 床版支間長 施工
グレードⅡ	進展期	主桁作用により、主桁直角方向に曲げひび割れが進展するとともに、主桁方向に床版の曲げひび割れも進展し始め、格子状のひび割れ網が形成される段階。ひび割れ密度の増加が著しいが、床版の連続性(二方向性版)は失われていない。	乾燥収縮 使用条件 交通量 車両重量(軸重) 走行位置 表面防水層
グレードⅢ	加速期	床版下面の格子状のひび割れ網が発達し、一部のひび割れは床版上下面の貫通ひび割れとなる段階。その後、ひび割れの閉閉やひび割れのこすり合わせが始まり、ひび割れ面の平滑化や角落ちが生じるとコンクリート断面の抵抗は期待できないので、床版の押し抜きせん断体力は急激に低下し始める。	上記に加えて 環境条件 浸透水の影響 実施してきた対策 表面防水層の有無 補修、補強の有無
グレードⅣ	劣化期	床版断面内にひび割れが貫通して床版の連続性が失われ、貫通ひび割れで区切られたはり状部材として輪荷重に抵抗することになる段階。貫通ひび割れの間隔やコンクリート強度、鋼材量等が部材としての終局耐力に劣航する。雨水の浸透や鋼材腐食等にも配慮する必要がある。	上記全て



解説 図 2.2.1 床版下面のひび割れ進行

図-4 床版ひび割れの外観上のグレード¹⁾

工法検討にあたって、死荷重が大幅に増加する工法については除外し、表-5に示す比較検討を実施し、「炭素繊維

接着工法」を選定した。採用理由としては、経済性に優れることはもちろんのこと、地元住民からの要望で通行止め規制を可能な限り早期に開放する必要があったことから、材料手配が容易で施工性に優れていること、軽量であり死荷重の増加による影響がほぼない点が決め手であった。

表-5 補修工法検討結果

工法	構 造 性	施 工 性	維 持 管 理 性	経 済 性	総 合 評 価
鋼板接着工法	△	△	△	△	△
炭素繊維接着工法	○	○	○	○	○

炭素繊維シートの規格については、補強用の規格では過大な対策となることから、今後のひび割れ進行を抑制することを目的とした補修用の標準的な規格を適用することとし、「コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ)」²⁾を参考に、高強度炭素繊維シート 200g/m²目付を橋軸と直角方向に各1層ずつ貼付けを行うこととした。また、補修後にひび割れ状況の経過観察を行う必要もあったことから、「道路橋床版 設計・施工と維持管理」³⁾を参考に、格子貼りを検討した(図-5 参照)。

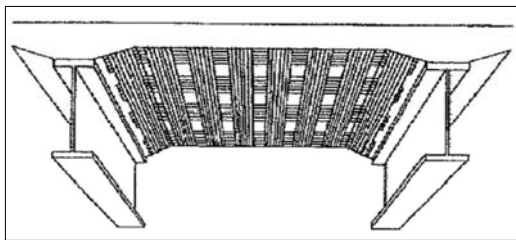


図-5 格子貼り概要図

6. 施工後の現場確認

施工完了後半年程度経過した頃に、状況確認のため、現地を視察を行った。炭素繊維シートの格子貼り施工後の状況(写真-18, 19 参照)と、新たに設置された14t 規制看板(写真-20 参照)を確認し、施工後問題なく供用されている状況を確認することができた。

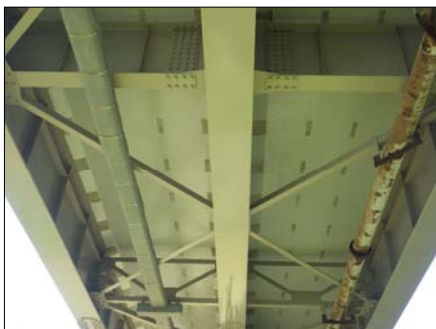


写真-18 炭素繊維シート格子貼り状況



写真-19 炭素繊維シート格子貼り状況(近接)



写真-20 14t 規制標識(新規設置)

あ と が き

本業務では、一般的な補修設計業務だけではなく、工事中に急遽発生した原因不明の新規損傷に対して、原因究明および対策工法の検討を行った。施工時に予期せぬ事態が起こることは、そう珍しくはない事象ではあるが、今回は他工事の大型車両通行によるものと、想定外の原因であり、事前に予測することは困難であったと思われる。

今後は、地方自治体が管理している設計活荷重が小さい既設橋梁の補修・補強設計においては、現在の交通状況や将来的な近辺の工事予定等、できる限り地域情報を収集したうえで、必要に応じて申し送り事項等で車両重量制限措置を行うことが望ましい等、道路管理の方法に関して注意喚起を促すことも効果的ではないかと考える。

本事例が今後の維持管理業務の一助になれば幸いである。最後に、本稿を執筆するにあたりご協力いただいた方々へ、心より感謝の意を表します。

参 考 文 献 (または 引 用 文 献)

- 1) 公益社団法人土木学会:2022年制定コンクリート標準示方書[維持管理編], R4.3
- 2) 建設省土木研究所:コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ)-炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)一, H11.12
- 3) 松井繁之:道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版株式会社, 316p, H19.10