

3. 亀裂対策検討の経緯

2013年12月に亀裂が確認されたことを受けて、2013年12月～2014年2月にかけて専門家（橋梁保全アドバイザー、日本橋梁建設協会、国土技術政策総合研究所、土木研究所等）による現地確認を実施し、その助言に従い応急対策を行った。なお、応急対策の一環として、片側交互通行規制および大型車迂回要請を行った。

その後、2014年3月に複数の専門家からなる「伊達橋補修検討委員会」（以下、「委員会」と呼称）を設置し、以後、2017年1月までのべ6回にわたって委員会を開催し、亀裂原因、対策方法等について審議を行った。

対策は、委員会での審議も踏まえて段階的に実施され、2015年7月（格点部補強工）、2016年3月～5月（当て板補修工）、2017年5月～8月（ニーブレースと下弦材接合部亀裂対策工）に工事を行っている。

対策実施の進捗に合わせて、2015年7月に片側交互通行規制を解除し、2017年1月に大型車迂回要請を解除して交通規制を完全に解除した。

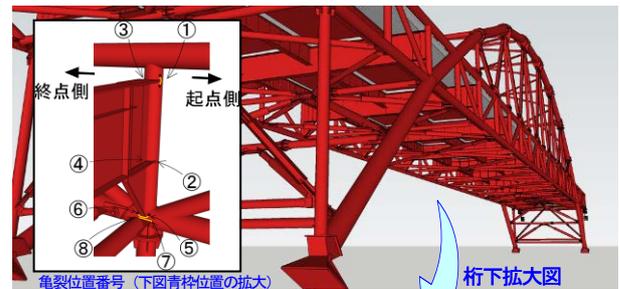


図-3 伊達橋構造概要図及び亀裂発生位置



写真-1 亀裂状況（ストップホール削孔後）

4. 亀裂原因の推定

(1) 構造概要と亀裂発生状況

本橋の橋梁形式はゲルバー鋼ランガー橋、補剛桁はトラス構造となっている。床組以外の主部材は全て鋼管で構成され、部材間は溶接接合となっている。（図-3）

亀裂発生位置は、I断面の横桁と補剛桁垂直材の接合部である。横桁上フランジ両端の回し溶接部のビードに沿って垂直材側に発生している（図-3 ①～④）。また、

横桁と垂直材の接合部にはニーブレースが配置されており、ニーブレースフランジと補剛桁下弦材の接合部でも、溶接ビードに沿って、下弦材側に亀裂が発生している（図-3 ⑤、⑥）。さらに、支承部の下弦材補剛リブがピンチプレートと接触しており、接触点を起点として亀裂が生じている。亀裂状況の例を写真-1に示す。

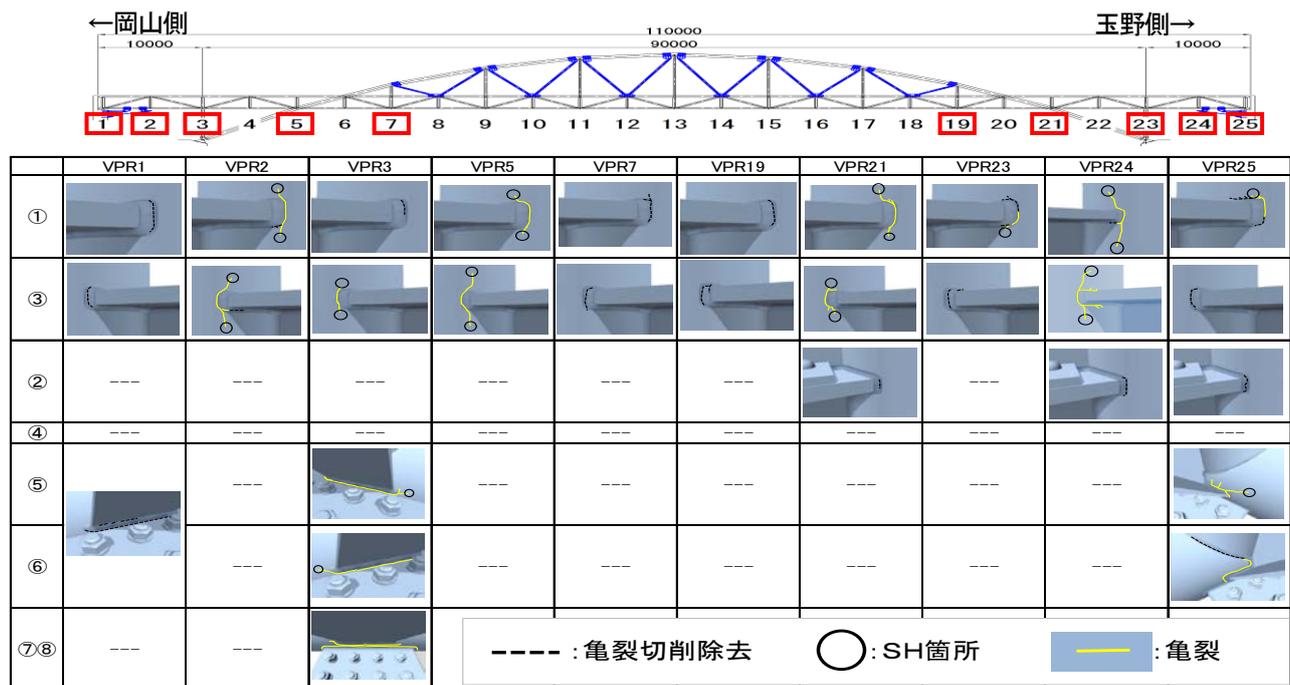


図-4 亀裂一覧図（右側主構に発生した亀裂）

亀裂発生位置および亀裂形状スケッチを図-4に示す。亀裂は、支間中央を中心に起終点側対称で、かつ左右対称に分布していることから、橋梁の構造特性が亀裂の原因となっていることが推測される。次節以降に亀裂原因の推定結果を示す。

なお、図-4は代表して右側主構に発生した亀裂を示したものであり、左側主構にも同様に亀裂が発生している。

(2) 横桁と垂直材接合部の亀裂原因

亀裂原因と推定される橋梁の形挙動と、それに伴う局部応力は以下ようになる。(図-5)

(a) 亀裂原因となる橋梁全体系変形挙動

次の2つの要因が複合して横桁が橋軸方向に面外変形することで、横桁と垂直材の接合部に高い応力が発生すること原因と推定される。

- ・活荷重によるたわみ変形に伴う、床組・床版と補剛桁の間の相対変位により、横桁が橋軸方向に面外変形する。
- ・アーチ径間のたわみ変形に伴うゲルバーヒンジ部の回轉變位により、縦桁と補剛桁の間に相対変位が生じ、縦桁と補剛桁を結ぶ横桁に面外変形が発生する。

(b) 亀裂原因となる局部応力

前述の全体系の変形挙動における横桁面外変形により、横桁と補剛桁垂直材の接合部（横桁フランジ両端）には高い局部応力が発生する。

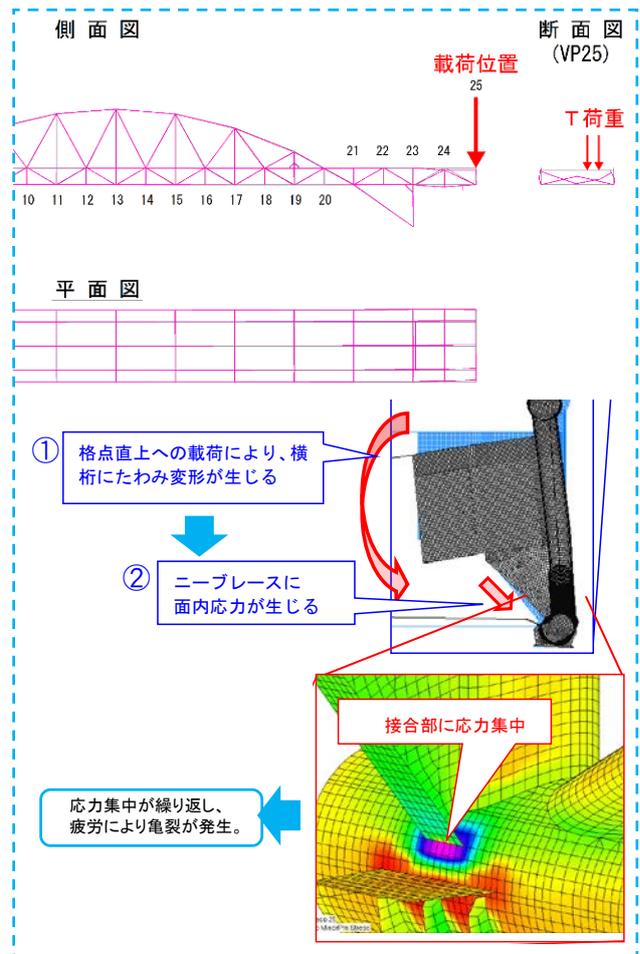


図-6 ニーブレースと下弦材接合部の亀裂原因

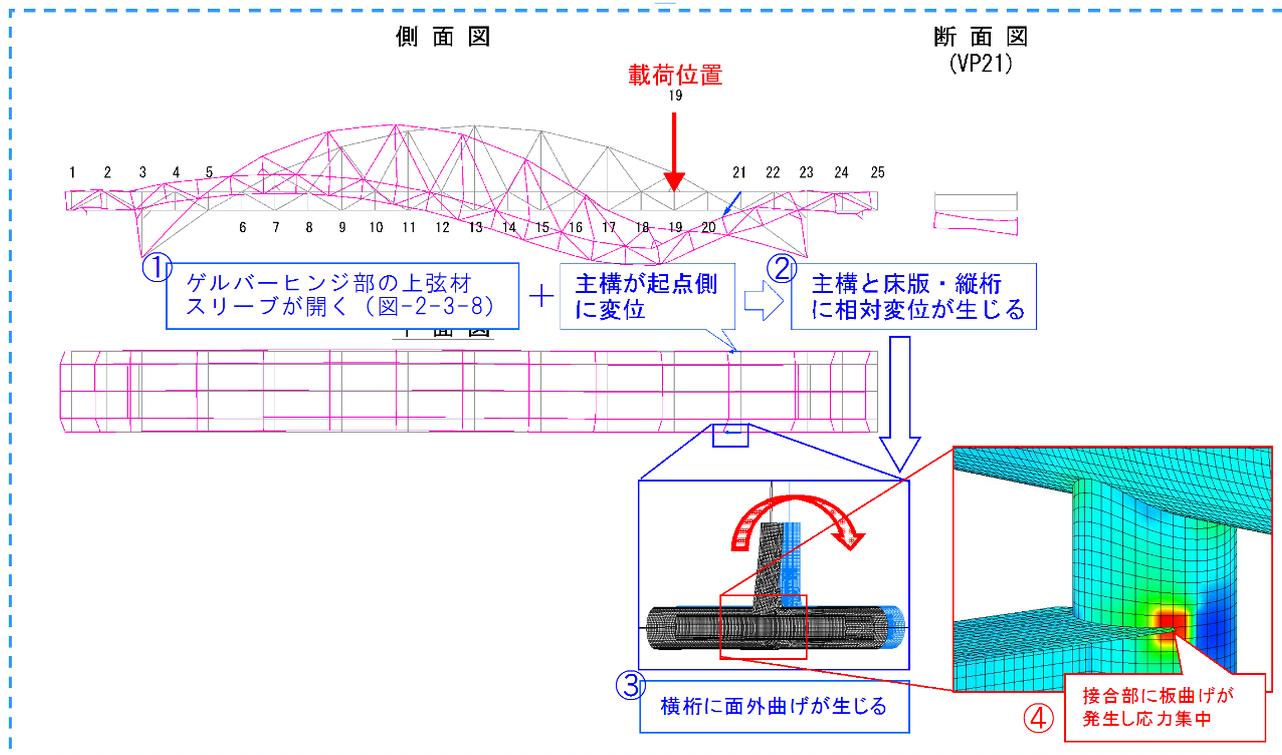


図-5 横桁と垂直材接合部の亀裂原因

(c) ニーブレースと下弦材接合部の亀裂原因
 ニーブレースと下弦材接合部の亀裂は、格点（横桁位置）の直上に車両が載った時の横桁のたわみ変形により、ニーブレースが下弦材を押し込み、接合部に局部応力が生じることが原因と考えられる。（図-6）

5. 補修・補強対策検討

(1) 亀裂対策の基本方針

亀裂対策は以下の順に実施することとした。

対策①安全確保のための応急対策

対策②亀裂進展抑制のための応急対策

対策③亀裂進展抑制のための恒久対策

本橋は、全溶接鋼管構造のゲルバー鋼ランガ橋という事例の少ない構造となっており、補修・補強対策の実施が、補修・補強対象箇所以外の部位に悪影響を与える懸念が拭い去れないことが委員会で指摘された。

そこで、対策の実施にあたっては、まず極力現況構造に影響を与えない補修（対策②）を実施し、構造系に影響を与えるような対策は、現況構造への影響を十分検討したうえで実施する（対策③）こととした。

対策工を表-2に示す。

(2) 安全確保のための応急対策

亀裂確認後の専門家の診断の結果、局部的な亀裂であり、ただちに橋梁の安全が損なわれる損傷ではないとみられたことから、亀裂進展抑制のために直ちに実施する応急（緊急）対策として、片側交互通行規制、および大型車迂回要請措置を実施した。併せて、亀裂の状態を監視するために、職員巡視、監視カメラによる常時監視、

応力モニタリングを実施し、万が一橋面に段差が生じることのないよう、待ち受け支保工を設置した。（図-7）

(3) 亀裂進展抑制のための応急対策

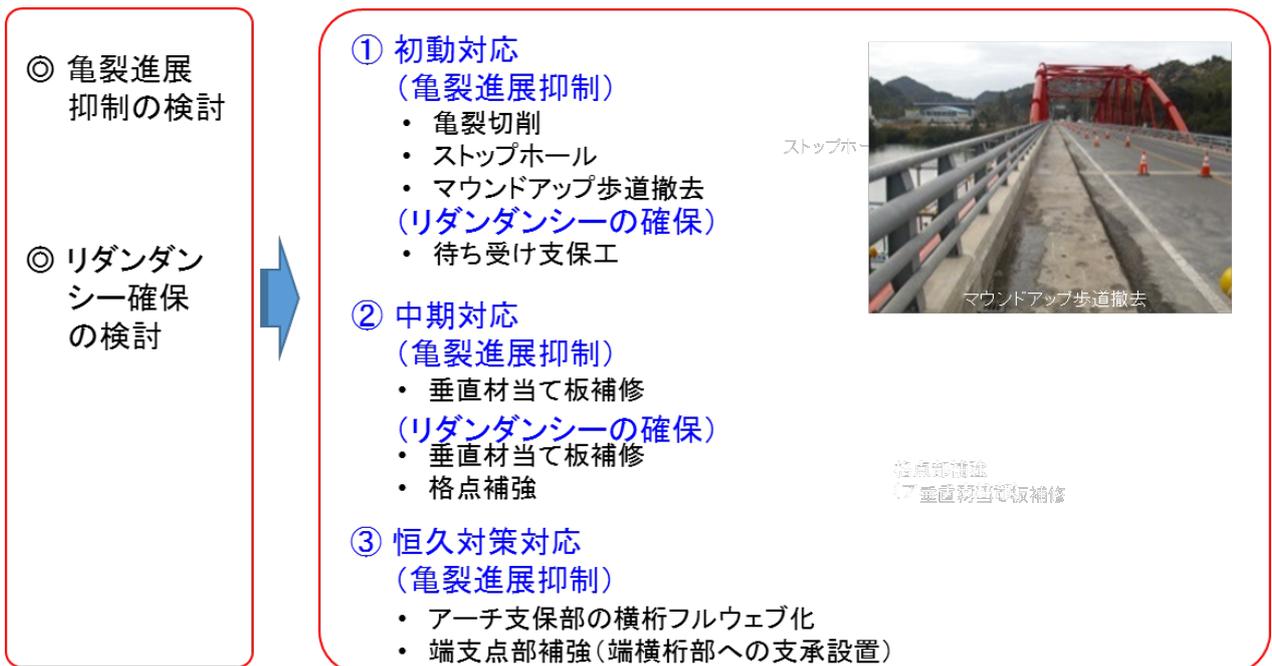
亀裂原因および恒久的な対策の検討～施工までの間に、亀裂進展を抑制するため、下記の応急対策を実施した（図-7）。なお、格点部補強とは、亀裂発生位置で万が一一部材が破断した際に、応力の特に大きくなる箇所をあらかじめ補強しておくものである。

- ・歩道マウントアップの撤去（荷重軽減）
- ・ストップホール設置、亀裂切削（亀裂除去）
- ・格点部補強（フェールセーフ構造）



図-7 応急対策工

表-2 補修対策工



格点部補強 (垂直材当て板補修)

(4) 亀裂進展抑制のための恒久対策

(a) 対策概要

亀裂原因を除去・低減し、かつリダンダンシーを確保する恒久的な対策とする。横桁と垂直材接合部、およびニーブレースと下弦材接合部の亀裂のそれぞれについて、亀裂原因に応じた対策を実施した。

(b) 横桁と垂直材接合部の亀裂対策

横桁と垂直材の接合部の亀裂に対しては、亀裂進展抑制とリダンダンシーを確保することを目的とする当て板補修工を実施した。当て板補修工の施工状況を図-8に、構造概要を図-9にそれぞれ示す。

なお、当て板は鋼管部材（閉断面）である垂直材との接合となるため、片側からボルトを締結できる、ワンサイドボルトを適用した。ただし、鋼管径がφ300mm未満であり、このような小径鋼管へのワンサイドボルトの適用は実績が少なく摩擦接合として確実に機能するか懸念があったため、支圧接合としての照査も併せて行い、ボルト本数を決定している。

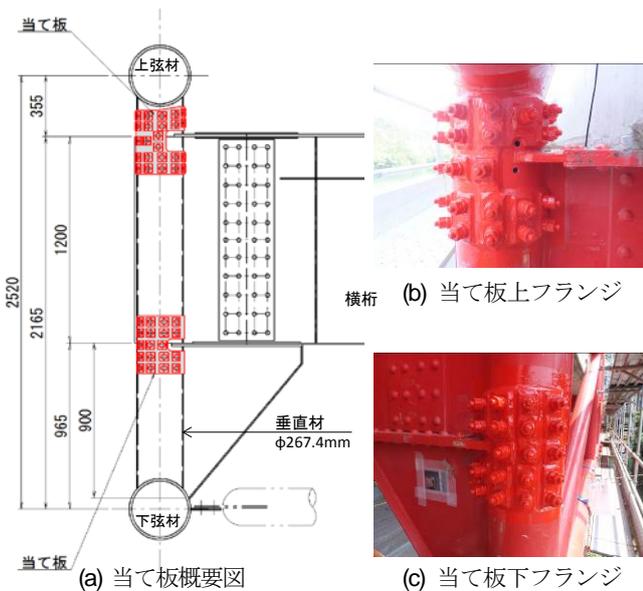


図-8 当て板補修工

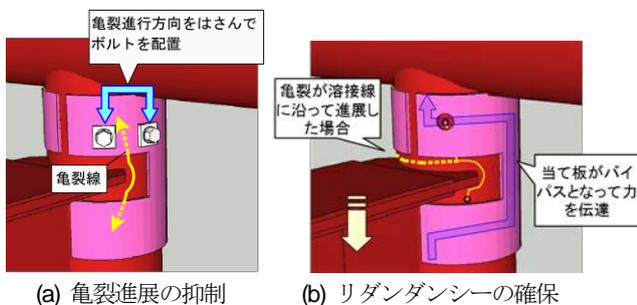


図-9 当て板補修工の構造概要

(c) ニーブレースと下弦材接合部の亀裂対策

ニーブレースと下弦材接合部の亀裂に対しては、亀裂原因となる横桁のたわみ変形を抑制する対策を実施した。端支点部（格点番号VP1, VP25）とアーチ支柱部（格点番号VP3, VP23）とで構造が異なるため、それぞれに対して対策構造を決定した。

端支点部については、横桁の下に橋座があるため、横桁に新たに支承を設置し、たわみ変形を抑える構造とした（図-10）。アーチ支柱部は、支承を追加することができないため、横桁をフルウェブ化し、剛性を向上させることでたわみ変形を抑制する構造とした（図-11）。

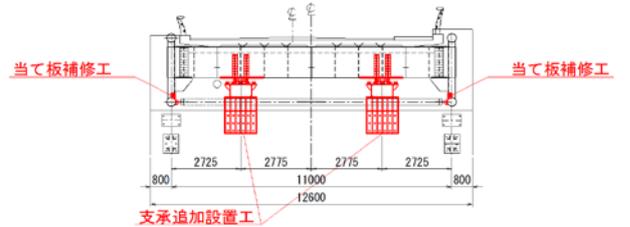


図-10 ニーブレースと下弦材接合部 端支点部対策工

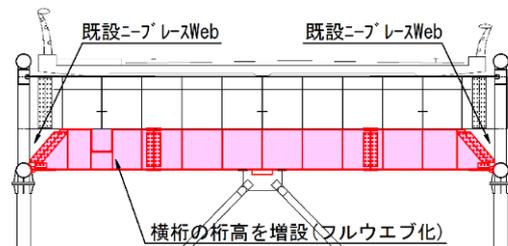


図-11 ニーブレースと下弦材接合部 アーチ支柱部対策工

6. 亀裂確認以降の管理方針

(1) 亀裂確認後の管理方針

亀裂確認後、安全が確保される恒久対策完了までの間は近接目視を基本とした職員による日常点検を基本として、日常点検を補う監視システムを構築し、変状・危険を早期に発見できるよう監視を行った。

日常点検は、職員による定期的な近接目視とし、数日毎～1ヶ月に1回の頻度で実施した（変状が無いことを確認しながら徐々に頻度を抑制）。

監視システムとしては、①道路監視用カメラを用いて亀裂状況を事務所から常時監視、②応力モニタリングシステムにより事務所から橋梁の応力状態を常時監視（前日の応力を確認）を実施し、安全を監視した。

恒久対策完了後は、通常の橋梁と同等の安全性が確保されたと評価できることから、5年に1度の定期点検による通常の管理を基本とすることとした。

(2) 職員による日常点検

亀裂の進展有無の確認を目的として、確認ポイントのチェックリスト（図-12）を用いた近接目視点検を実施した。チェック項目は、各亀裂位置に対して、下記のような項目としている。

- ・ 切削箇所周辺の塗膜割れ
- ・ ストップホール周辺の塗膜割れ
- ・ 接合部（溶接線）に沿った塗膜割れ 等

なお、本橋では恒久対策完了までの間、常時吊足場を設置しており、吊足場より近接目視を行った。

(3) 応力モニタリングによる応力状態の監視

日常点検を補う監視体制として、応力モニタリングを行った。亀裂近傍をモニタリング点として抽出し、2時間毎に応力を計測・記録し、翌日に2時間毎の応力変動を事務所のパソコンで確認できるシステムとした。当初は閾値等は設けず、応力状態を監視するシステムとして、応力状態に顕著な変化が無いかを確認した。

1年分の計測データを蓄積した後、計測データを分析し、モニタリング点ごとに閾値を設定して警報システムを作成した。これにより、事務所のパソコンから前日の閾値超過有無を確認し、毎日の安全監視を行った。

(4) 恒久対策後の維持管理

恒久対策完了後6ヶ月間日常点検及び応力モニタリングを継続したが変化が認められなかったため通常の橋梁と同様に、5年に1度の定期点検により管理を行うこととしている。

1. 横桁上フランジと垂直材接合部

点検箇所 (参照図)	VPR5		VPR7	
	表-4.5.2	表-4.5.2	表-4.6.1	表-4.6.1
確認項目	①	③	①	③
切削箇所周辺の塗膜割れ				
ストップホール周辺の塗膜割れ				
横桁上フランジ(上面・下面)に沿った塗膜割れ				

2. ニーブレース・ガセットと下弦材接合部

点検箇所 (参照図)	VPR1		VPR3	
	表-4.8.2	表-4.8.2	表-4.9.2	表-4.9.2
確認項目	⑤	⑥	⑤	⑥
ストップホール周辺の塗膜割れ				
ニーブレースフランジ(上面・下面)に沿った塗膜割れ				
ニーブレースウェブに沿った塗膜割れ				
垂直材と下弦材接合部の塗膜割れ				
未対策亀裂先端の塗膜割れ				
ガセットと垂直材接合部(下面)に沿った塗膜割れ				

図-12 日常点検チェックリスト

なお、本橋には検査路は設置されていなかったが、今回の亀裂発生箇所を確実に監視できるよう、検査路を設置する予定である。検査路は、亀裂が発生していることに配慮し、死荷重軽減に配慮して軽量のアルミ製検査路とした。

7. 亀裂対策の評価及び今後の展望

恒久対策実施までの間の監視（職員による日常点検、応力モニタリングによる応力監視）においても、また亀裂対策実施後においても、変状は確認されておらず、今回実施した対策は有効であったと考える。

今後の維持管理にあたっては、今回の対策経緯、設計思想を確実に継承していくことが課題となる。特に、今後の定期点検においては、今回の亀裂発生事例より、本橋において留意すべき点検項目の知見が得られており、これを継承することが重要である。