

一般国道11号吉野川大橋 鋼床版亀裂補修の経過報告(四国の直轄として初めての取り組み)

長楽 英晴

四国地方整備局 徳島河川国道事務所 徳島国道出張所 (〒771-0220 徳島県板野郡松茂町広島字南川向35-7)

吉野川大橋(下り線;箱桁内)の垂直補剛材とデッキ溶接部の疲労亀裂を対象に、亀裂調査に基づく補修優先付け、損傷状況に応じた箇所毎の補修方法選定方針、FEM解析を用いた補修方法の検討を行い、これに基づき四国の直轄として初めて実施した橋梁補修工事について報告する。

キーワード 鋼床版, FEM解析, 疲労亀裂補修, スリット切欠き, 上端切断

1. はじめに

国道11号吉野川大橋は徳島県徳島市東吉野町を起点とし、吉野川を南北に横断する橋長1,137mの16径間鋼床版箱桁橋である。本橋は3車線の橋梁が2橋並行しており、供用年が1972年の下り線と1986年の上り線からなる。いずれの橋梁も鋼床版の縦リブにはUリブが採用されている。このUリブを用いた鋼床版形式は国内で1970年頃から採用されており、下り線は全国的に早い時代に採用された橋梁である。(図-1、図-2)

交通量は84,488台/日(大型車9,193台/日)¹⁾と多く、一次緊急輸送道路も担う重要な幹線道路となっている。

本橋では平成23年度の定期点検で鋼床版のUリブ突合せ溶接部、垂直補剛材とデッキ溶接部、Uリブと横リブ溶接部に疲労亀裂が発見された。(図-3²⁾)

点検結果を受け、平成24年度までに下り線箱桁内のUリブ突合せ溶接部の補修がほぼ完了している。本文では、平成25~26年度に行った亀裂調査や補修の優先順位、FEM解析を用いた補修方法の検討やそれに基づく、四国の直轄として初めて取り組んだ橋梁補修工事の結果について報告する。

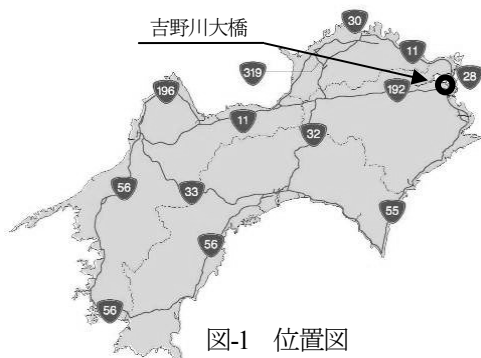


図-1 位置図

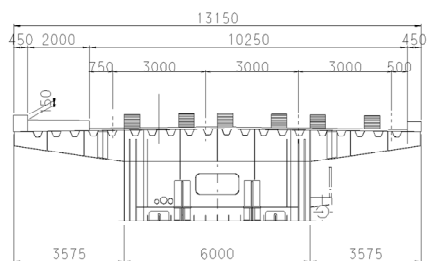


図-2 吉野川大橋(下り)断面図

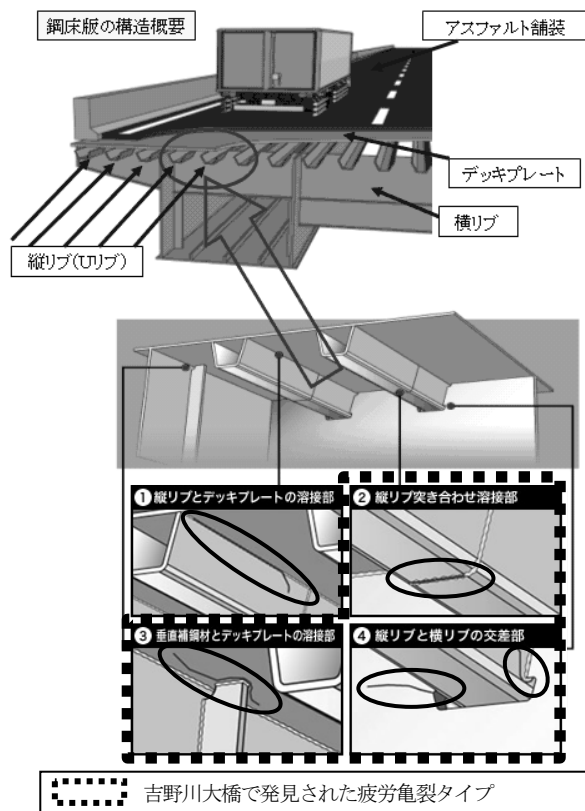


図-3 吉野川大橋の疲労亀裂のタイプ

2. 補修にあたっての課題

まず、補修工事に先立ち、下り線箱桁内の亀裂目視調査を実施した。その結果、定期点検で報告済みの箇所を含め1463箇所という非常に多くの疲労亀裂の疑いがある塗膜割れを発見した。

本工事にて、全ての塗膜割れについて、補修するには工事工期や契約金額的に、ともに2倍以上必要となることが想定されたため、本工事にて全てを補修していくことが困難であると判断した。そこで、限られた工期内で、発見された多数の損傷から優先度の高いものを、いかに効果的に補修していくのか、ということが課題となった。

ちなみに、上記の調査が終わったのが平成26年5月であり、工期は平成27年3月までであった。

上記の課題を解決するための問題点を以下に整理する。

- ① 全体施工量の峻別について
非常に多くの損傷から、橋梁の安全性に関わる損傷を、いかに選定していくべきか、という問題点
- ② 亀裂1箇所あたりの施工時間の短縮について
亀裂の進展に応じて、最も効果的な対策工法を選定し、いかに円滑に施工していくべきか、という問題点

3. 施工対象の選定

はじめに、発見された塗膜割れに対しては、「橋梁定期点検要領（案）平成16年3月」を参考に損傷程度を判定し、数量について整理した。損傷部位別に分類すると、以下の3つの分類となる。

- a) 垂直補剛材とデッキプレート溶接部（表-1）
e判定603箇所・c判定232箇所
- b) Uリブ突合せ溶接部
e判定12箇所・c判定14箇所
- c) Uリブと横リブ溶接部
e判定50箇所・c判定546箇所

表-1 垂直補剛材とデッキプレート溶接部の塗膜割れ

<ul style="list-style-type: none"> ・亀裂先端がデッキへ進展 ・亀裂進展長が長い 	<ul style="list-style-type: none"> ・亀裂先端が溶接ビード内 ・亀裂進展長が短い
e判定 : 603 箇所	c判定 : 232 箇所

ここで、a) 垂直補剛材とデッキプレート溶接部で発見された疲労亀裂の位置は、吉野川大橋下り線の橋梁形式である1箱桁形式では左右両方のウェブ位置にあたる。これは既往の研究で報告されているとおり、当該溶接部の直上に車両荷重が作用することで生じる鋼床版デッキプレートのたわみ変形を、垂直補剛材が拘束することによる応力集中が損傷要因であることを意味している。

(図4)³⁾

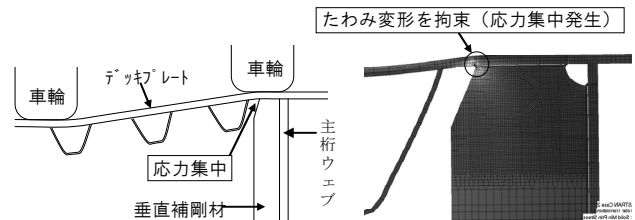


図4 垂直補剛材とデッキ溶接部の損傷要因

今回の吉野川大橋下り線の左右ウェブの損傷箇所においても、路面を走行する車両のタイヤ位置に近接している状態である。このため、左ウェブでの損傷は走行車線第1レーンの車両荷重を、右ウェブでの損傷は走行車線第2レーンと第3レーンの車両荷重の影響をそれぞれ大きく受けたことで損傷が発生したと考えられる。

今回の吉野川大橋下り線の左右ウェブの損傷箇所においても、路面を走行する車両のタイヤ位置に近接している状態である。

このような疲労損傷はこれまでも多く報告されていることより、現在の新設橋設計では損傷発生を事前に予防する目的から現在の設計基準である鋼道路橋の疲労設計指針にて「大型車の輪荷重が常時載荷される位置直下には、原則として縦けた（＝主桁ウェブ）を配置しないものとする」と記載され、対策が講じられている状況である。⁴⁾

以上の損傷要因等を踏まえ、供用されている橋梁として走行車両への影響が大きいデッキプレートに最も近接している損傷であるa) 垂直補剛材とデッキプレート溶接部を補修対象箇所と選定し、さらに、優先される損傷であるe判定の603箇所を第1優先とし、これを本工事の施工範囲とした。

4. 補修方法の選定

補修方法は、既往の施工事例に倣うものとし、損傷要因に対して効果的となるように、箇所毎の損傷状況を見ながら補修方法選定フローに基づき決定した。（次頁図-5参照）

- ① 磁粉探傷試験（事前）により位置特定した疲労亀裂を、まず、溶接ビード内の亀裂を除去することを基本とした。

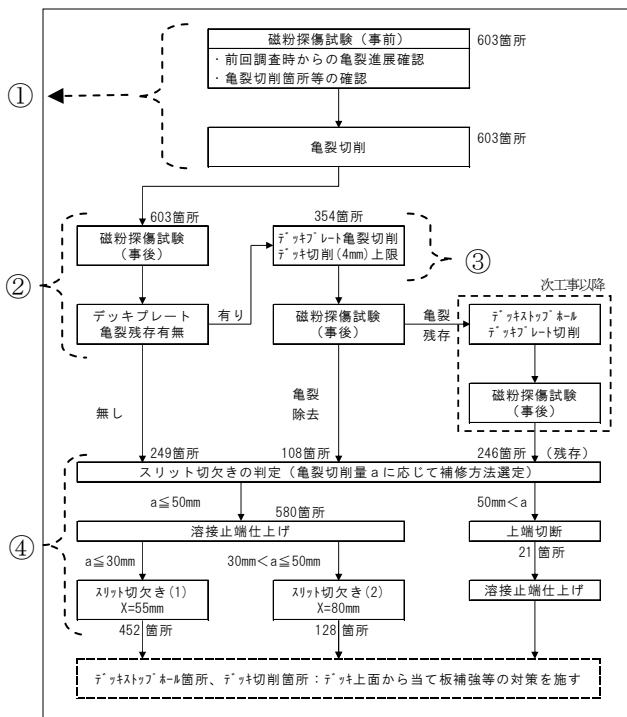


図-5 補修方法選定フロー

- ② 磁粉探傷試験（事後）によりデッキプレートへの亀裂進展度及び新たな亀裂の有無を確認した。
- ③ デッキプレート切削はデッキプレートの厚さ12mmに対して1/3である4mmを上限とし、切削後に亀裂が残存する場合には、デッキプレートにストップホール施工（もしくは再度深く切削する）するものである。

しかし、本工事の施工範囲では、デッキプレート4mm切削までにとどめることとした。これは、切削量が4mmより深い場合やストップホール施工を行った場合、デッキの断面欠損を補うための当て板補強を要すると考えられるが、当て板設置に伴うボルト締めには比較的長期にわたる交通規制を伴う大規模な施工となるためであり、デッキプレートへの当て板補強と併せて次工事以降に施工する方針とした。

このような亀裂処置は、亀裂の進展を抑制する効果があるものの、補修後の垂直補剛材先端部からの亀裂再発を予防する方策を併用する必要がある。このため、既往の施工事例では、垂直補剛材先端部の応力集中を緩和するためのスリット切欠き（図-6）および垂直補剛材先端部100mmを切断撤去する上端切断（図-7）が採用されている。

さらに、スリット切欠き施工または上端切断に伴いデッキプレートとウェブ交差部のスカラップ周辺等の応力増加する箇所に溶接部止端仕上げが行われている。スリット切欠きは、亀裂切削部先端からの距離（スリット位置の深さ）が大きいほど補修効果が向上する（応力集中

の緩和）という点がメリットであるが、施工量が増大し補修費用が増大する点がデメリットとなってしまう。

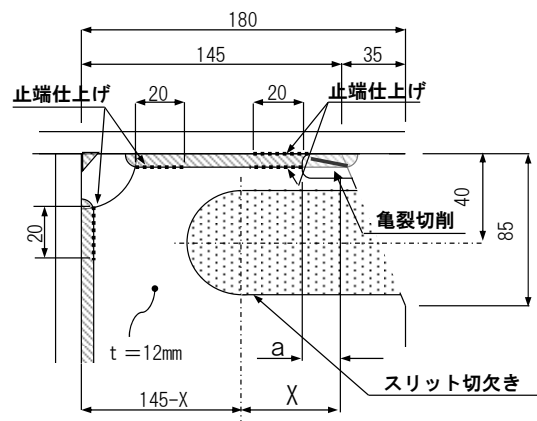


図-6 スリット切欠き補修

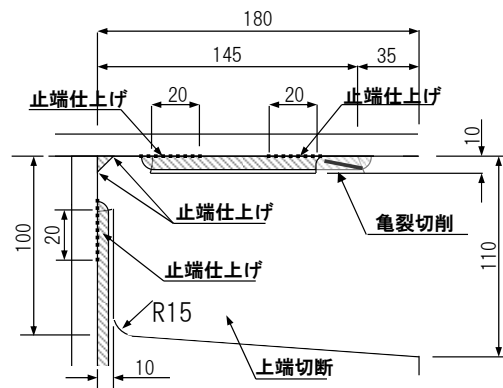


図-7 上端切断補修

- ④ 本工事では既往の施工事例と同様の補修方法を基本とし、次項で報告するFEM解析による検討結果から、スリット切欠き形状とスリット位置の深さを決定するとともに、亀裂切削量 a に応じて補修方法を分類した。

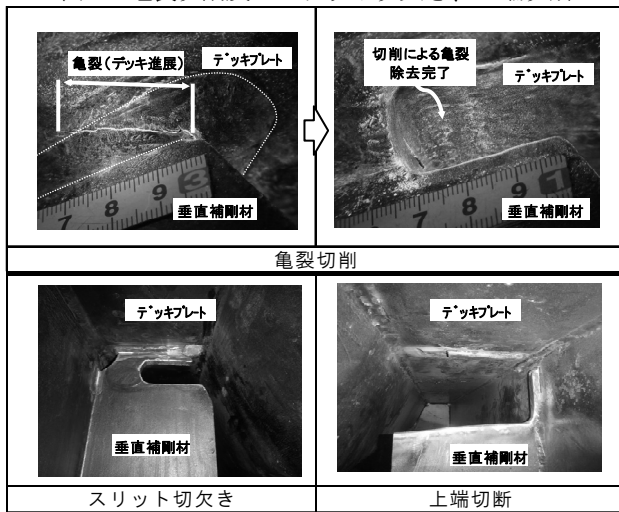
- 1) 亀裂切削量 $a \leq 30\text{mm}$ の場合
スリット切り欠きサイズ $X=55\text{mm}$
- 2) $30\text{mm} < \text{亀裂切削量 } a \leq 50\text{mm}$ の場合
スリット切り欠きサイズ $X=80\text{mm}$
- 3) $50\text{mm} < \text{亀裂切削量 } a$
上端切断(デッキプレートからの100mmを切断)

なおデッキプレート4mm切削後に亀裂が残存した箇所についても、次工事以降の補修施工まで間、亀裂進展を抑制することを目的にスリット切欠き等の補修施工を実施した。

実施工において、亀裂切削についてはグラインダーによる施工、スリット切り欠きについてはアトラ孔明機器

による施工、上端切断についてはガス切断による施工とした。(表-2)

表-2 亀裂切削及びスリット切欠き、上端切断



下り線箱桁内の補修施工の結果として、603箇所内の亀裂切削が完了した箇所が357箇所、デッキ4mm上限に切削し残存した箇所が246箇所となった。

またスリット切欠き箇所は、X=55mmが452箇所、X=80mmが128箇所、上端切断が21箇所となった。

以上のように、亀裂切削量に応じたスリット切り欠き形状を決定したことで、現場における補修工法の決定が容易となり、非常に円滑に施工することができた。つまりは、工期の短縮を図ることができた。

本補修施工後の下り線箱桁内の垂直補剛材とデッキプレート溶接部の疲労亀裂は、補修後も亀裂が残存した246箇所と、亀裂先端が溶接ビード内にあり、今回の施工範囲外としたc判定の232箇所の計478箇所については、次工事以降で補修を実施していく必要がある。

5. FEM解析による補修方法の検証

本工事の下り線箱桁内に適用するスリット切欠き形状およびスリット位置の深さ (X=55 or 80) と上端切断の分類は、前述した通りFEM解析を行い決定した。これは、下り線のUリブ (320×200×6：底面幅150) が標準的なUリブ (320×240×6：底面幅213) より断面が小さく鋼床版の車両荷重によるたわみ変形が大きいと、既往の施工事例と同様に設定した場合、補修効果が十分に得られないことを懸念したためである。

FEM解析は補修前と補修後について行い、補修効果を確認するものとした。補修後は6ケースについて、スリット位置の深さと亀裂切削量をパラメータとして解析した。(表-3)

FEM解析の結果 (図-8) より、補修前後の着目部応力は3割程に低減され、スカラップ部応力が補修後に増加するものの補修前の応力に比べて小さい結果となった。

表-3 FEM解析ケース

解析ケース	スリット深さ	亀裂切削量	備考
	X	a	
1	—	—	補修前
2	55	0	
3	55	20	
4	55	30	
5	80	30	
6	80	40	
7	80	50	

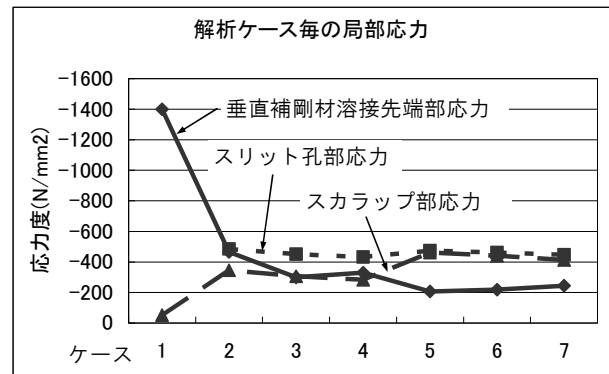


図-8 FEM解析結果

また上端切断についても、補修前後の着目部応力は2割程に低減される結果となった。

このことより、本工事において、亀裂切削量に応じたスリット切欠きや上端切断が有効であることの検証ができた。

6. おわりに

本工事は平成26年1月から着手し、亀裂調査と損傷程度に基づく補修優先付け、補修方法選定方針やFEM解析による補修方法の検証を行った後、同年7月から補修施工に着手した。下り線箱内603箇所を対象とした四国の直轄として初めて取り組んだ補修施工は、約5ヶ月間という短期間で施工完了し、工期内で終了することができた。

吉野川大橋で発見された疲労亀裂の補修は、平成23年度から計画的に着手し、本工事にて下り線箱桁内の損傷程度が高い箇所の補修がほぼ完了した。しかし、吉野川大橋には多くの疲労亀裂が残っているため、今後も橋梁全体の補修計画に基づき、補修工事を継続していく予定である。

参考文献

- 1) 平成22年度 道路交通センサス
- 2) 阪神高速道路株式会社HPより
- 3) 鋼床版デッキプレートと主桁ウェブ 垂直補剛材溶接部の疲労損傷補修・補強構造検討
- 4) 鋼道路橋疲労設計指針