

施工計画

吉野川大橋（下り）補修工事の施工

日本橋梁建設土木施工管理技士会

川田工業株式会社

現場代理人・監理技術者

工事担当者

濱田 哲郎[○]

岩田 祥史

1. はじめに

「吉野川大橋」は、国道11号一級河川吉野川上に位置し（図-1）、1日の交通量が8万台を超える徳島市内への玄関口となる重要な橋梁である。本橋（下り）は架設後44年が経過し、劣化や老朽化が進行しており、平成23年度定期点検により発見された鋼床版箱桁内の疲労き裂の補修工事が順次進められている。

本文はそれらの内、鋼床版（デッキプレート）と垂直補剛材溶接部に発見された疲労き裂（図-2）の補修事例を報告するものである。

工事概要

- (1) 工事名：平成27-29年度吉野川大橋橋梁補修（その1）工事
- (2) 発注者：四国地方整備局
徳島河川国道事務所
- (3) 工事場所：徳島県徳島市東吉野町2丁目地先
- (4) 工期：平成27年10月10日～
平成29年12月20日



図-1 吉野川大橋(下り線)

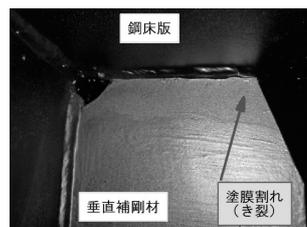


図-2 き裂写真
(垂直補剛材部)

2. 鋼床版と垂直補剛材溶接部の疲労き裂

鋼床版と垂直補剛材溶接部のき裂発生原因は、既往の研究成果により車両通行に伴う鋼床版のたわみ変形を垂直補剛材の先端で拘束することで生じる応力集中（鋼床版の板曲げ：図-3）である事が明らかになっており、損傷部周辺の応力集中を補修前の50%程度となる様な半円切欠きを施す補修方法が選定されている（図-4）。

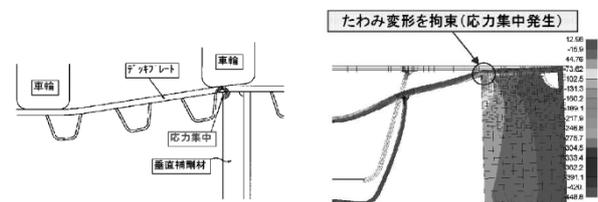


図-3 疲労き裂の発生原因

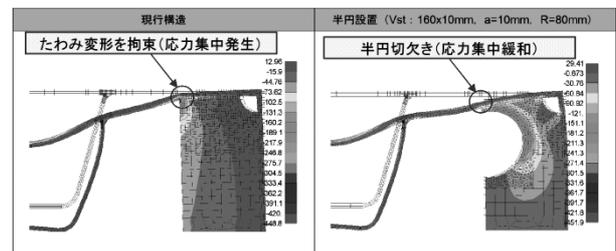


図-4 既往の研究事例（FEM解析結果）

3. 現場における問題点

- (1) 吉野川大橋（下り）のUリブが現在標準的に使用されているものと比較して断面が小さい上に、支持間隔（ブラケット・横桁間隔）も大きく、鋼床版のたわみ変形が大きい事が予想されるため、

既往の研究結果で設定されている半円切欠き半径をそのまま適用した場合、所定の補修効果が得られない恐れがあった（表-1）。

(2) 箱桁（箱桁断面：幅6.0m×桁高3.0m，支間長：71m）には換気用孔が無く、作業用マンホールも橋脚部にしか無い上に、供用中の電力送電設備（四国電力）も添架されている為、箱桁内の作業環境を配慮し、火気の使用（ガス切断等）を極力避ける必要があった。

(3) 半円部の仕上がり形状が、応力伝達に直接影響を及ぼす事となる為、品質的に非常に重要である。しかしながらデッキプレート付近の狭隘な箇所におけるガス切断（仕上げ作業含む）は、作業員の技能に左右され、仕上がり形状がバラつく可能性があった（図-5）。

表-1 Uリブ形状比較表

	形状（板厚 6mm）	Uリブ支持間隔
既往（標準）	320*240 mm （底面幅：213mm）	2,500 mm
本橋	320*200 mm （底面幅：150mm）	2,960 mm

図-5 垂直補剛材周辺の構造図

4. 工夫・改善点と適用結果

(1)-1 FEM 解析の実施

既往の研究事例と断面形状が異なる為、横リブ

2パネル分（2,960mm×2）を取り出した部分モデル（既往の研究事例と同じパネル分）でFEM解析を実施し、垂直補剛材の半円切欠き形状を決定する事とした（図-6）。

FEM解析を実施するパラメータについては、現場を考慮し、き裂切削幅（g）と切欠き半径（R）及び切欠き深さ（L）とした。

また次項に示すスリット切欠きを検証する為、FEM解析モデルに反映する事とした（図-7）。

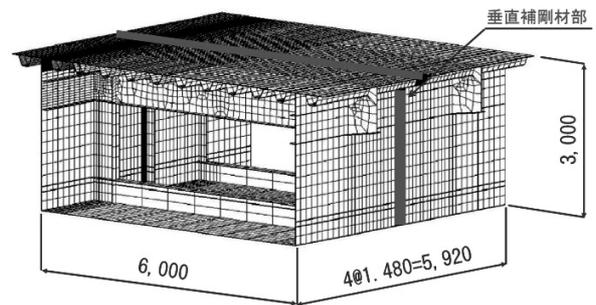


図-6 解析モデル図

No.	補剛材幅		デッキ離れ	切欠き半径	切欠き深さ	亀裂切削幅	R+L-g	備考
	b	a						
1	145	—	—	—	—	—	—	補修前モデル
2	145	20	20	55	0	75		
3	145	20	20	55	20	55		No.8との比較用
4	145	20	20	55	30	45		
5	145	20	20	80	30	70		
6	145	20	20	80	40	60		
7	145	20	20	80	50	50		
8	145	20	75	0	20	55		No.3との比較用
9	145	20	100	0	50	50		

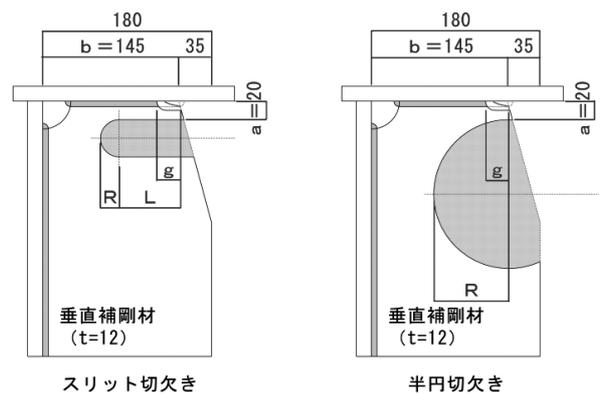


図-7 解析パラメータ

(1)-2 FEM 解析結果（図-8・表-2）

①スリット切欠きによって応力集中箇所が、き裂発生箇所である垂直補剛材先端部からスリット孔周辺に移行しており、着目部の応力は補修前の22%程度（=1400N/mm²→299N/mm²）まで低減できる事がわかった。

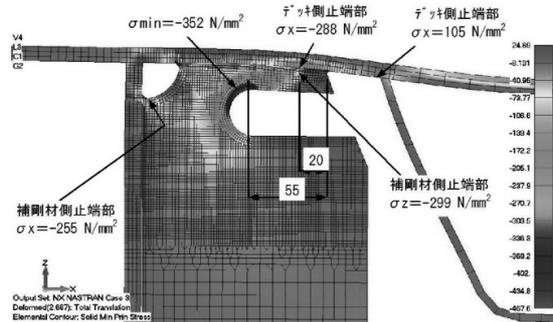
表-2 発生応力一覧表

発生応力[N/mm ²]	補修前	スリット切欠き	半円切欠き
垂直補剛材先端部	1400	299	532
スリット部		352	206
スカラップ部	51	255	180

②スリット切欠きによってスカラップ部の応力が増加する(=51N/mm²→255N/mm²)が、増加量は補修前の垂直補剛材先端部応力と比較して小さく(=255N/mm²<1400N/mm²)、溶接止端仕上げ処置を行う事で対応する事とした。

③スリット切欠きは半円切欠きと比較して、スリット孔部応力やスカラップ部応力が大きいものの、垂直補剛材先端部の応力低減効果が高くなる事が分かった。(=299N/mm²<532N/mm²)

従って、スリット切欠きの方が半円切欠きよりも補修効果が高い為、スリット切欠き施工を採用する事とした。



No. 3 スリット切欠きモデル

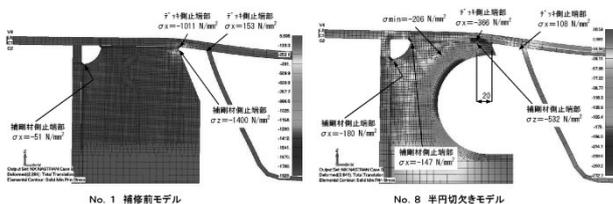


図-8 FEM 解析結果

(2) 磁気応用孔明機 (アトラー) の採用

半円切欠きは半径 R = 80mm 程度となる為、施工する場合は、ガス切断 (加工) が一般的であるが、切欠き半径を磁気応用孔明機 (アトラー) の孔明可能な大きさ (φ40) に変更する事で、火気の使用 (ガス切断) を回避する事ができた。

また、スリット切欠きの施工では、アトラーに

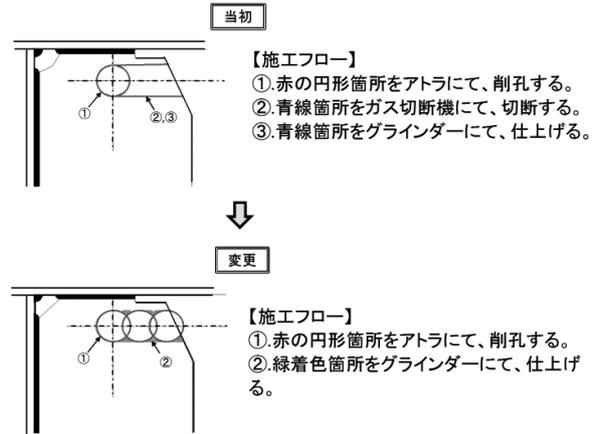


図-9 スリット切欠き施工方法

よる削孔を複数回横にずらして行う事により、半円部から垂直補剛材端までの直線部の切断作業に掛かる作業員の負担 (ガス切断やセーバーソー等複数の工具を作業箇所毎に持ち歩く事) を軽減し、効率よく施工できる様に工夫した (図-9)。

(3) アトラーによる削孔をする事により、削孔面が半円部の出来形となる為、作業員の技能に左右される事が無くなった。また、切削刃を定期的に交換する事により、破面形状が美しく、同一形状の切欠き半径に加工する事ができた。結果、均一で高い品質を有する切欠き半径を確保する事ができた。(計画通りに応力伝達させる事が実現できた。)

5. 垂直補剛材部の補修施工

垂直補剛材部の補修施工は、①損傷箇所の塗膜除去、②磁粉探傷試験 (事前) によるき裂の有無、進展位置、き裂長の記録 (写真撮影)、③き裂切削除去の順序で行った。なお、き裂のデッキプレートへの進展有無を確認する為、溶接金属 (垂直補剛材母材含む) のみを切削し、デッキ面を露出させて磁粉探傷試験 (事後) を実施した。デッキプレートにき裂が進展している場合は、デッキの板厚方向への追加切削、若しくはストップホール処置後、当て板補修を行う事とした。

④き裂切削量に応じて、スリット切欠き深さを定め、スリット切欠き施工を実施した。アトラー削孔後、グラインダー処理によりスリット部の仕

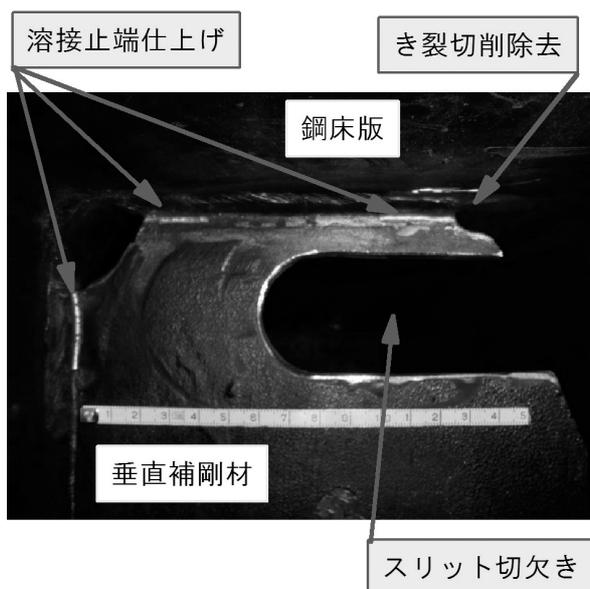


図-10 補修完了写真

上げを慎重に行い、補修施工を完了とした。

またFEM解析より、き裂先端部及びスカラップ部の応力が高くなる為、き裂の切削除去後に溶接止端部仕上げを行い、疲労強度を高め、新たな疲労き裂が発生しない様に工夫した(図-10)。

6. 応力計測

鋼床版に進展したき裂の対処方法として、鋼床版の板厚方向に追加切削によるき裂除去を実施したが、当て板補修等の応急対策の必要性を確認する為に、応力計測(72時間連続計測)を実施した。

応力計測箇所は、補修前箇所と板厚方向の切削深さが最大な箇所とし、①②スカラップ部、③デッキ切削部、④垂直補剛材部、⑤スリット部の位置の発生応力を計測した(図-11)。応力計測の結果(表-3)、垂直補剛材先端部の応力は、24%程

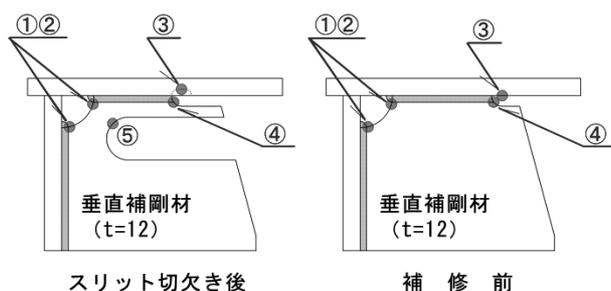


図-11 応力計測ゲージ位置図

表-3 応力計測結果

	ゲージ No.	最大計測値 [N/mm ²]	疲労損傷比
補修前	①	13.6	9.18E-06
	②	14.0	1.07E-06
	③	45.3	3.52E-05
	④	302.8	3.33E-03
切スリッキ後ト	①	92.7	3.95E-05
	②	86.5	3.72E-05
	③	67.0	2.83E-05
	④	70.0	2.70E-05
	⑤	281.2	3.39E-04

表-4 FEM解析結果との比較表

	FEM解析結果	応力計測結果
垂直補剛材先端部の応力低減率	22%	24%
スカラップ部への応力増加率	5倍	6.5倍

度(=302.8N/mm²→70.0N/mm²)まで低減している事が確認できた。

また、補修後の疲労耐久性は補修前の約10倍(=3.327E-03/3.930E-04)であり、鋼床版切削部の疲労耐久性は補修前の約1.2倍(=3.519E-05/2.827E-05)であった。

従って鋼床版切削箇所への応急処置としての当て板設置は不要と判断できる。

FEM解析結果と応力計測結果を比較すると、ほぼFEM解析結果通りの結果を得る事ができた(表-4)。これらはスリット切欠き施工の形状が精確に施工した結果であり、本補修方法が妥当である事が確認できた。

7. おわりに

本工事は、標準的な鋼床版と異なるUリブ形状であったが、鋼床版と垂直補剛材溶接部に発生した疲労き裂に対して半円切欠き(スリット切欠き)補修が有効である事が確認できた。

今後の鋼床版の疲労き裂補修工事に対して一つの参考資料となれば幸いです。

最後に、四国地方整備局、徳島河川国道事務所、徳島国道出張所の関係各位に適切な助言、協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。