

デッキき裂を有するSFRC舗装済み鋼床版への 対策工法に対する一考察

立花徳啓¹・赤松伸祐¹・八重垣諒太²

¹ (一財)阪神高速先進技術研究所調査研究部

² 管理本部管理企画部保全技術課

要約

鋼床版デッキ貫通き裂への対策として、SFRC舗装による補強工法が適用されているが、SFRC補強済み鋼床版でデッキ貫通き裂が確認された場合の補強方法については、十分に検討が行われていない。阪神高速では、これに対し、Uリブを部分的に取り替える応急対策を施しているが、この対策の有効性や部分的な当て板が周辺部に及ぼす影響は明らかとなっていない。ここでは、FEAを用いてデッキ貫通き裂を有するSFRC舗装済み鋼床版を再現し、本対策が鋼床版の応力性状に及ぼす影響を分析した上で、恒久対策としての是非を考察した。

キーワード: Uリブ鋼床版, デッキ貫通き裂, SFRC舗装, Uリブ取替工法

1. はじめに

鋼床版はコンクリート系床版に比べ軽量であり、コンクリート養生期間がないことから施工期間を短縮できる点において有利である。特に縦リブを閉断面リブであるUリブとした鋼床版は、ねじり抵抗を大きくすることができ、阪神高速では1980年代から多数採用されてきた。しかし、鋼床版は薄板を溶接で組み立てた構造であり、舗装を介しているものの車両荷重が直接作用するため、重交通路線を多く抱える阪神高速においては疲労損傷が頻繁に報告されている。

Uリブ鋼床版の疲労損傷は多岐にわたるが、デッキプレートとUリブの溶接ルート部から発生する疲労き裂であり、デッキプレートの板厚方向に進展するき裂(以下、「デッキき裂」という)と溶接ビード方向に進展するき裂(以下、「ビードき裂」という)の2種類に区分される。これらのき裂は鋼床版の床組機能を損ね、車両荷重の支持機能を低下させるだけでなく、舗装の損傷を誘発し、車両の走行にも影響を及ぼす恐れがある。そのため、これらの疲労損傷に対する補修・補強対策工法の確立が求められている。デッキき裂の主な発生原因として、大型車の輪荷重が直上に載荷された際にデッキプレートの面外曲げ変形に伴う溶接ルート部への応力集中であるとされている。

阪神高速においては、この変形を抑制する対策として、デッキプレート上面に剛性が高い鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRC: Steel Fiber Reinforced

Concrete)舗装とする工法が適用されている。この工法は、SFRC舗装をデッキプレートと接着剤により接合し、鋼床版と一体化することにより鋼床版の局部変形や応力を抑制し、疲労耐久性の向上を図るものである。

SFRC舗装による補強効果は、鋼床版供試体を用いた輪荷重走行試験や、実橋梁での施工を対象としたひずみ計測等により検証されている²⁾。一方で、SFRC舗装による補強が適用された鋼床版でデッキき裂が確認されるケースが報告されているが、SFRC舗装を施工した場合、デッキプレートに上面から当て板を設置することができないため、下面からの対策が必要となる。これに対し阪神高速ではデッキ下面からUリブを部分的に取り替える応急対策(以下、Uリブ取替工法)を施している。本工法は、図-1に示すように、既設のUリブの一部を切断し、デッキき裂先端にストップホールを施した上で、工場で製作した天板付きのUリブを取り付ける構造である。既設のUリブとは当て板によって連続化し、横リブとは不等辺山形鋼により一体化を図っている。なお、切断したUリブ先端には半円切り欠きを設けて、応力集中へ配慮している。しかし、本工法の有効性や部分的な剛性の違いが周辺部に及ぼす影響が分析されておらず、恒久対策の必要性が明らかとなっていない。

本稿では、FEAを用いてデッキき裂を有するSFRC舗装を施した鋼床版を再現し、本工法が補修部周辺に及ぼす影響およびき裂の再発生リスクについて分析した結果を報告する。

2. 解析条件

(1) 解析対象

本検討では、汎用有限要素解析ソフトDIANA10.2を用いて、3次元弾性解析を実施した。対象構造物は実橋において横リブ交差部に発生したデッキき裂に対してUリブ取替工法を実施した箇所を対象とした。デッキき裂は、走行車線の輪荷重位置に発生していた。

(2) 解析モデル

Uリブ形状は320×260×6 mm、デッキプレート厚は12 mmとし、鋼床版上のSFRC舗装を45 mmでモデル化した。アスファルト舗装は夏場の弾性係数の低下を考慮し、モデル化の対象としていない。使用した要素は、図-2に示すように、着目部周辺をソリッド要素、それ以外の箇所についてはシェル要素でモデル化した。ソリッド要素とシェル要素の結合部は、シェル要素が回転しないようにソリッド要素に1メッシュ分のシェル要素を埋め込むこととした。デッキとSFRC舗装の接着剤層のモデル化の有無は、既

往の文献³⁾でルート部の応答に影響を及ぼさないことが確認されているため、モデル化せず完全結合とした。着目部のモデル図を図-3に示す。着目部の要素サイズは、最小要素寸法を約0.25 mmとした。Uリブとデッキプレートの溶接部の溶け込み量はき裂が発生している既設橋を対象としているため25%とした。デッキき裂部には界面要素を設け、応力を伝達させないことによりき裂を模擬した。解析モデルは、損傷発生前の「健全モデル」と、Uリブ取替工法をモデル化した「補修有モデル」を構築し、これらの応答を比較して分析を行った。鋼材のヤング係数は200,000 N/mm²、ポアソン比は0.3とし、SFRC舗装は既往の文献³⁾を参照して、ヤング係数は40,000 N/mm²、ポアソン比は0.2を使用した。

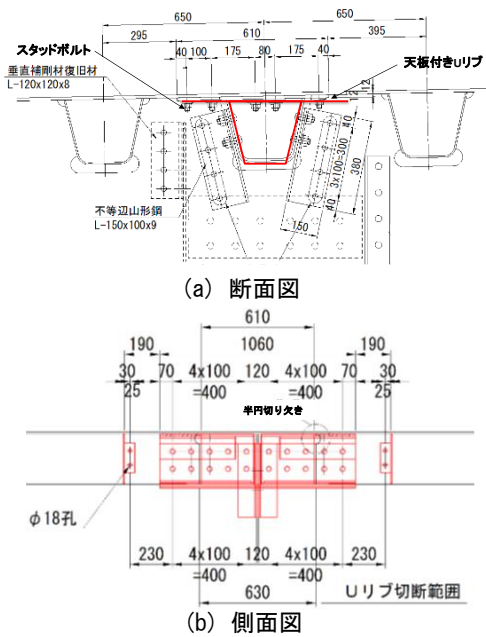


図-1 Uリブ取替工法の構造

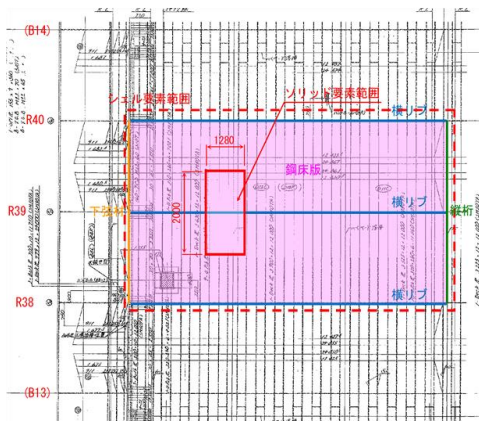


図-2 解析対象およびモデル化範囲

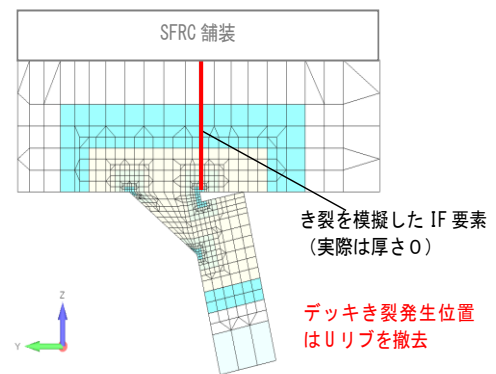


図-3 着目部のモデル図

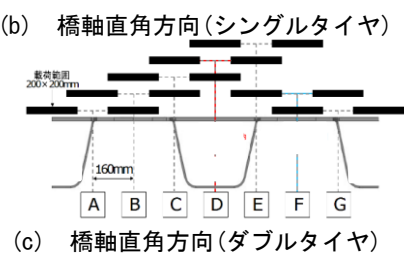
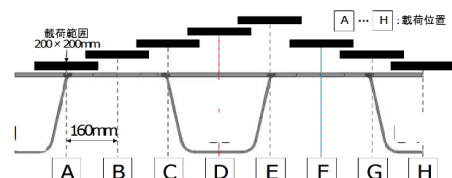
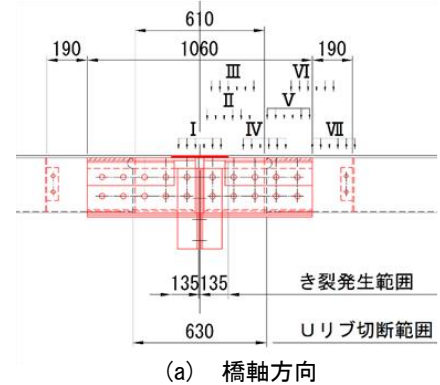


図-4 荷重パターン

(3) 荷重条件

橋軸直角方向における荷重パターンは、図-4(a)に示すとおり橋軸方向は、き裂中心(I)、天板付きUリブ中央(II)、き裂先端直上(III)、半円切り欠き直上(IV)、当て板内の既設溶接部(V)、当て板端部(VI, VII)の7ケースとした。橋軸直角方向は図-5(b), (c)に示すとおり、Uリブ取替を施すUリブに対してシングルタイヤと車輪間隔が120 mmのダブルタイヤを160 mm間隔で移動させた。荷重範囲は200 mm×200 mmとし、1ヶ所あたり50 kNを等分布荷重で与えた。これらの荷重から、着目に応じて荷重条件を決定した。

3. 解析結果と考察

(1) 補修部周辺に及ぼす影響

補修部周辺への影響の分析は、図-5に示す部分に着目した。着目部aは当て板端部の剛性変化位置、着目部bは当て板部に隣接したUリブの溶接部の一般部(①)と横リブ交差部(②)とした。

評価に用いる溶接の着目要素および応力は図-6に示すとおり、着目要素はデッキき裂の起点となるDRおよびビードき裂の起点となるURとし、応力はき裂進展方向に対してほぼ垂直な応力成分である σ_x および σ_y とした。

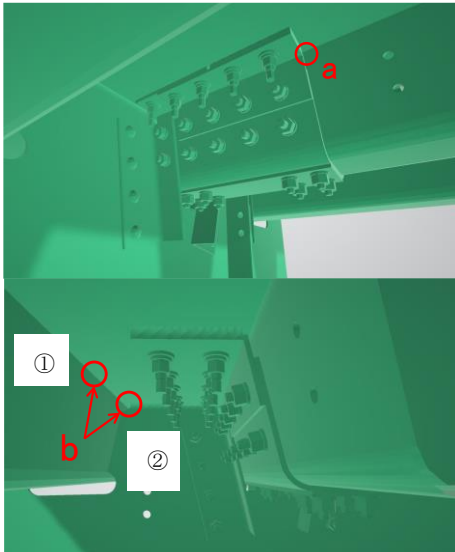


図-5 補修端部周辺の影響分析の着目部

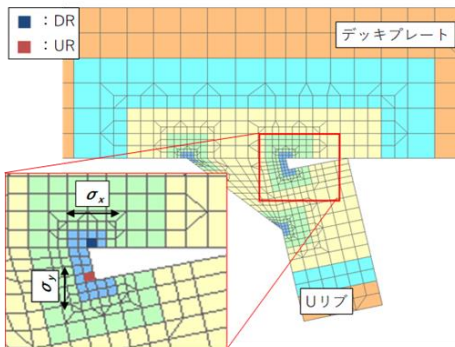


図-6 溶接部の着目要素と応力

(a) 当て板端部の溶接部への影響

荷重ケースは橋軸方向をVIIとし、橋軸直角方向をCおよびC'とした。図-7に当て板端部の溶接部におけるDRの σ_x およびURの σ_y を示す。当て板端部の剛性変化位置に応力集中は見られなかった。横リブ中央位置から $x=580$ mm付近で応力の急激な応答値低減が確認されたが、これは溶接部のメッシュサイズの変更位置に起因するものである。当て板端部における応答の傾向は、ダブルタイヤ荷重においても同様であり、当て板端部における剛性変化位置での応力集中や応力の段差は確認されなかったことから、補修による当て板端部の溶接部への影響は小さいといえる。

(b) 隣接Uリブの溶接部

着目部b①の荷重ケースは橋軸方向をIとし、橋軸直角方向をAおよびA'とした。評価は補修有モデルとき裂が発生していない健全モデルを比較して行った。図-8(a)に一般部におけるデッキ下面の σ_x およびURの σ_y を示す。隣接Uリブの溶接部(一般部)にお

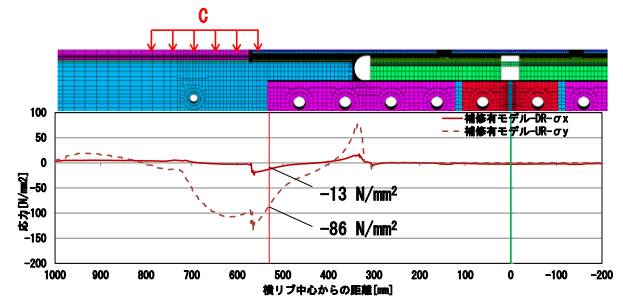
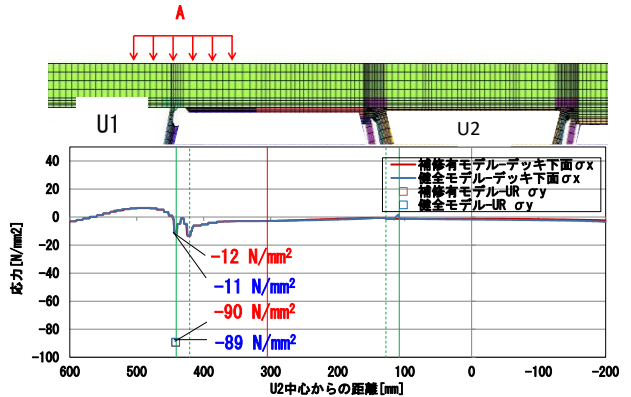
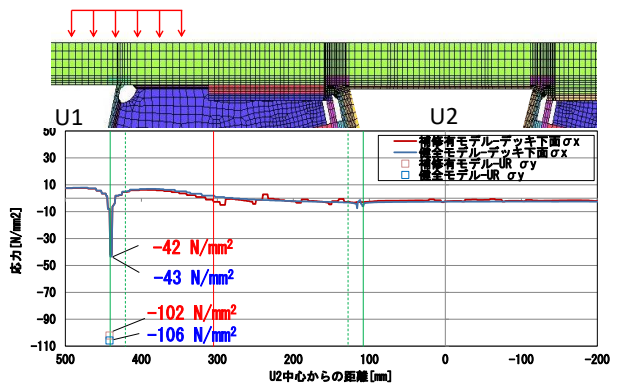


図-7 着目部 a の抽出応答



(a) 一般部



(b) 横リブ交差部

図-8 着目部 b の抽出応答



図-9 き裂再発生リスク分析の着目部

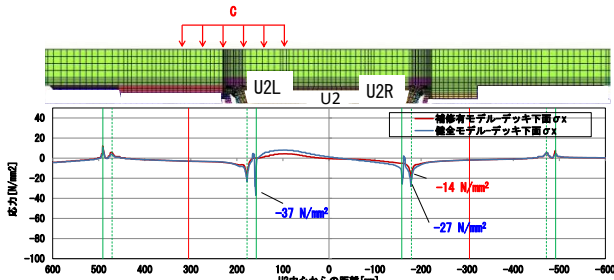


図-10 着目部cの抽出応答

けるデッキ下面の σ_x の最小値は、健全モデルが -11 N/mm^2 、補修有モデルが -12 N/mm^2 であり、URの σ_y は健全モデルが -89 N/mm^2 、補修有モデルが -90 N/mm^2 とほぼ同等であった。この傾向はダブルタイヤ載荷においても同様であった。

着目部b②における荷重ケースは橋軸方向をIIとし、橋軸直角方向をAおよびA'とした。図-8(b)に横リブ交差部におけるデッキ下面の σ_x およびURの σ_y を示す。隣接Uリブの溶接部(横リブ交差部)におけるデッキ下面の σ_x の最小値は、健全モデルが -43 N/mm^2 、補修有モデルが -42 N/mm^2 であり、URの σ_y は、健全モデルが -106 N/mm^2 、補修有モデルが -102 N/mm^2 とほぼ同等であった。この傾向はダブルタイヤ載荷においても同様であった。

よって、隣接するUリブに対する当て板によって溶接部の応力性状は変化していないため、補修対策による周辺部への影響は小さいといえる。

(2) き裂再発生リスク

き裂再発生リスクは、図-9に示す部分に着目した。着目部cは既設の横リブの溶接止端部、着目部dは半円切欠きを施した部分とした。

評価に用いる着目要素および応力は、(1)で述べたものと同様である。評価は補修有モデルとき裂が発生していない健全モデルを比較して行った。

(a) 既設横リブの溶接止端部

荷重ケースは橋軸方向をIとし、橋軸直角方向をCおよびC'とした。図-10に、Uリブ取替を施したU2の左右の溶接止端部(U2L, U2R)におけるデッキ下面の σ_x を示す。Uデッキ下面の σ_x は、U2L, U2R共に健全モデルと比較し補修有モデルのほうが応力は小さかった。これらの傾向はダブルタイヤでも同様であった。よって、補修を行うことによる横リブとデッキの溶接止端部の応力は、健全モデルより小さいため、横リブ溶接止端部のき裂再発生リスクは

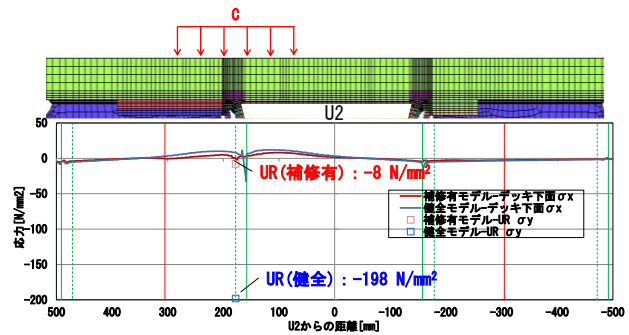


図-11 着目部dの抽出応答

小さいことがわかった。

(b) 半円切り欠き部

荷重ケースは橋軸方向をIVとし、橋軸直角方向をCおよびC'とした。図-11に半円切り欠き部におけるデッキ下面の σ_x およびURの σ_y を示す。デッキ下面の σ_x は、補修有モデルでは応力集中は発生しなかった。URの σ_y は、健全モデルで -198 N/mm^2 、補修有モデルで -8 N/mm^2 であり、補修有モデルのほうが応力が小さかった。これは、当て板によって変形が拘束されているためと考えられる。この傾向はダブルタイヤ載荷においても同様であった。

よって、補修後のUリブ端部である半円切欠き部に応力集中は見られなかったため、き裂再発生リスクは小さいことがわかった。

4. まとめ

以上の結果より、Uリブ取替工法について次のことがわかった。

補修部周辺に高い応力集中は見られなかったため、補修部周辺への影響は小さいと考えられる。また、SFRC舗装とUリブ取替工法により、変形が抑制されたため、横リブ溶接止端部や半円切欠き部における応力集中は確認されなかった。このことから、これらの部位におけるき裂再発生リスクは低いと考えられる。

以上より、応急対策として実施したUリブ取替工法は、デッキき裂を有するSFRC舗装済み鋼床版の恒久対策として使用できると期待される。

参考文献

- 1) 阪神高速道路株式会社：阪神高速道路における鋼橋の疲労対策，平成24年3月
- 2) 宇井他：輪荷重走行試験による鋼床版上SFRC舗装の疲労耐久性に関する検討，土木学会第64回年次学術講演会，平成21年9月
- 3) 村越他：デッキ進展き裂を有する鋼床版に対するSFRC舗装のき裂進展抑制効果，土木学会論文集A1, Vol.75, No.2, 194-205, 2019