

ビードき裂を有するUリブ鋼床版に対する スタッド当て板工法の影響分析

赤松伸祐¹・杉山直也¹・八重垣諒太²

¹ (一財)阪神高速道路技術センター調査研究部

² 管理本部管理企画部保全技術課

要約

阪神高速ではUリブ鋼床版のルート部から発生するビードき裂に対して、下面からの補修工法として「補修溶接」が規定されているが、本補修工法は施工時の振動に対する制限値が厳しく、施工時には交通規制が必要となる。これに対し、振動の影響を受けにくい工法として「スタッド当て板工法」が提案されているが、本工法を適用した際の周辺部への影響およびき裂の再発生リスクが明らかとなっていない。ここでは、Uリブ鋼床版ビードき裂にスタッド当て板補修を施した際の影響をFEAにより分析した結果を報告する。

キーワード: Uリブ鋼床版, ビードき裂, 補修, スタッド当て板工法, FEA

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数多く報告されている¹⁾。

Uリブ鋼床版の疲労損傷は多岐にわたるが、代表的な損傷は図-1に示す通り、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、さらには交通規制による社会的損失を防ぐため、交通規制が不要な下面からの施工可能な対策工法が求められている。

このような背景に対し、阪神高速ではビードき裂への補修工法として、図-2に示すように、スタッド当て板工法（以下、「本工法」という）が提案されている。本工法は、ビードき裂の先端を削り込ん

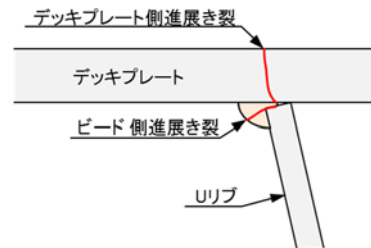
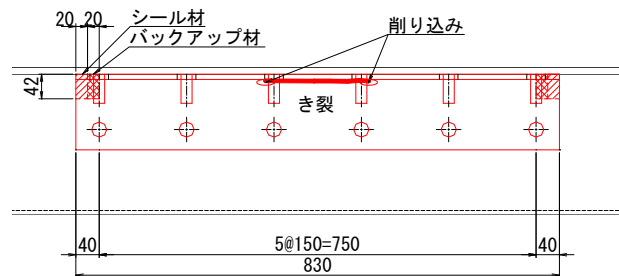
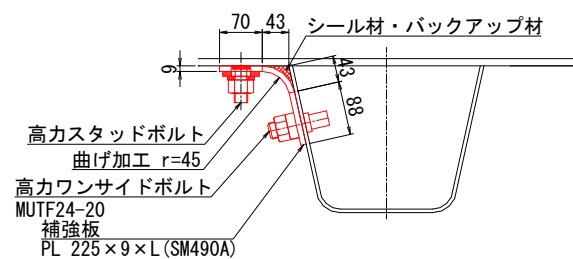


図-1 デッキプレートとUリブ溶接部の疲労き裂



(a) 側面図



(b) 断面図

図-2 スタッド当て板工法(単位:mm)

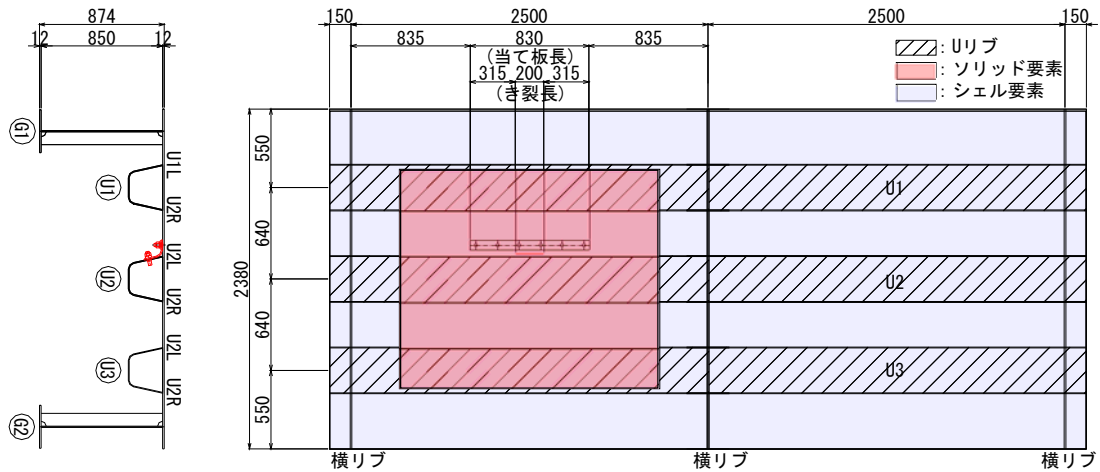


図-3 解析対象と使用要素

だ上で当て板を取り付ける工法であり、当て板とデッキプレートの摩擦接合に高力スタッドを、当て板とUリブの摩擦接合には高力ワンサイドボルトを用いている。この当て板によりデッキおよびUリブの剛性が部分的に大きくなるが、それが周辺部に及ぼす影響、すなわち、Uリブの片側を補修したときの対面側の溶接部や、橋軸方向に対して一定区間を補修したときの補修部と無補修部の境界の溶接部へ及ぼす影響が明らかとなっていない。さらに、補修後のき裂先端の削り込み部の応力性状については、詳細な検討がなされていない。

そこで本研究では、横リブ間のビードき裂に施した本工法を対象に、部分的な当て板が周辺部へ及ぼす影響、および補修部の応力性状を明らかにすることを目的にFEM解析を実施した。

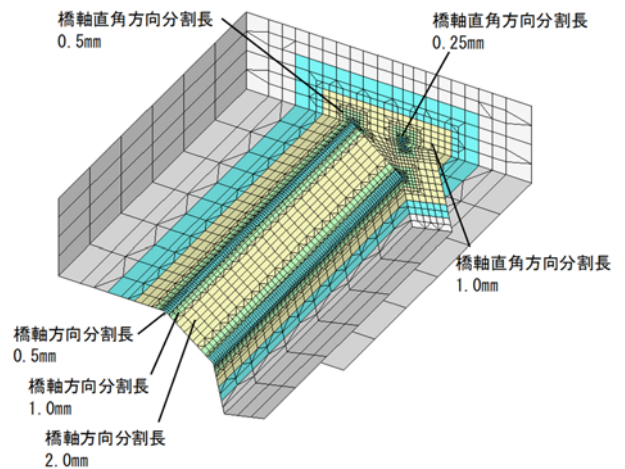


図-4 着目溶接部の要素分割

2. 解析条件

(1) 解析対象と解析モデル

汎用有限要素解析ソフト DIANA Ver10.2 を用いて 3次元弾性解析を行った。解析対象は図-3 に示すように、Uリブ3本と横リブ3本で構成される鋼床版とし、Uリブ間隔を640mm、横リブ間隔を2500mmとした。デッキプレート厚は12mm、Uリブ厚は6mm、当て板厚は9mmである。デッキプレートとUリブの溶接部の溶け込み深さは、ビードき裂が生じている鋼床版に合わせUリブ板厚の25%程度とした。なお、溶接部のフランク角や止端半径に着目したモデル化としていないが、安全側となるように止端形状をモデル化した。ビードき裂は横リブ中央に長さ200mmとし、当て板にはき裂範囲外の両側にスタッドボルトおよびワンサイドボルトを150mm間隔で2列配置した。

解析モデルは、損傷発生前と補修後の応力状態を比較するために、「健全モデル」と、ビードき裂・き裂先端の削り込みおよび当て板をモデル化した「補修モデル」とした。

使用要素は、図-3 に示すように、当て板周辺部を8節点ソリッド要素、その他を4節点シェル要素

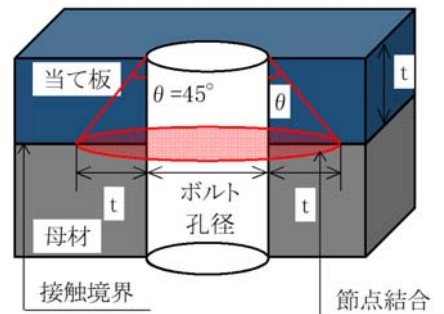


図-5 接触境界と節点結合の定義範囲²⁾

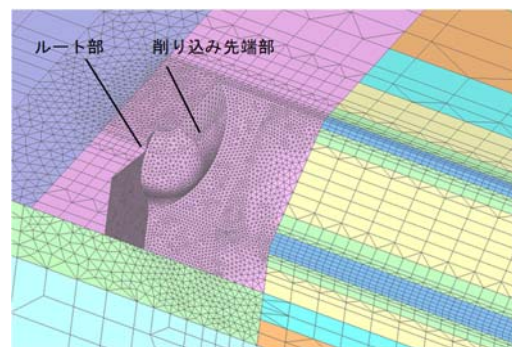


図-6 き裂先端の削り込み形状のモデル化

を基本とした。溶接部は図-4 に示すように、応力集中が想定される溶接ルート部および溶接止端部の最小要素辺長を 0.25mm とした。

補修モデルにおけるボルトのモデル化は、図-5 に示すように、接触圧が作用する範囲を節点結合による剛結、その他の接触面にはすべりおよび離間を考慮できる接触境界を設定し、接触境界の静止摩擦係数は 0.4 とした²⁾。また、き裂は界面要素を用いて模擬し、き裂先端部の削り込みは、現場での施工状況や施工要領³⁾を参考に、図-6 に示すようにできる限り忠実にモデル化した。境界条件は、主桁下フランジの 4 点を橋軸直角方向の回転と鉛直変位を拘束する単純支持とした。鋼材のヤング率は 200,000N/mm²、ポアソン比は 0.3 とした。

(2) 荷重条件

荷重条件を図-7に示す。橋軸方向はき裂中心 (I)、き裂先端 (II)、当て板端部 (III) とし、橋軸直角方向はU2Lラインに対してシングルタイヤと車輪間隔が120mmのダブルタイヤを160mm間隔で移動させた。載荷範囲は200mm×200mmとし、1カ所あたり50kNを等分布荷重で与えた。

3. 解析結果と考察

(1) 当て板端部における溶接部の影響

図-8に評価に用いる溶接部の着目要素および応力を示す。着目要素はき裂の起点となるDRおよびURとし、応力はき裂の進展方向に対してほぼ直角な応力成分である σ_x および σ_y とした。荷重ケースは橋軸方向をIIとし、橋軸直角方向を当て板端部の溶接部においてDRおよびURの応答が最大となるCおよびC'とした。

図-9にU2LラインのDRおよびURの応答を示す。どちらの荷重状態においても、当て板部と無補修部の境界(x=415mm)に応力集中や応力の段差は見られなかった。これは当て板の剛性がデッキとUリブの剛性に比べて小さく、当て板の有無が溶接部の応力性状に影響を及ぼさなかったためと考えられる。このことから、部分的な当て板が剛性変化位置の溶接部に及ぼす影響は小さいといえる。

(2) 当て板対面部における溶接部への影響

当て板対面の溶接部の評価では、き裂中心位置における当て板対面の溶接部(U2R)に着目し、健全モデルと補修モデルの応答を比較した。荷重ケースは橋軸方向をIとし、橋軸直角方向を着目溶接部においてURおよびDRの応答が最大となるEおよびE'とした。

これらの荷重ケースのき裂中央断面におけるURおよびDRの応答を図-10(a)(b)に示す。ピーク応力はシングルタイヤ直上載荷(E)の健全モデルで-280kN/mm²、補修モデルで-291kN/mm²となり、ダブルタイヤ跨ぎ載荷(E')の健全モデルで-438kN/mm²、

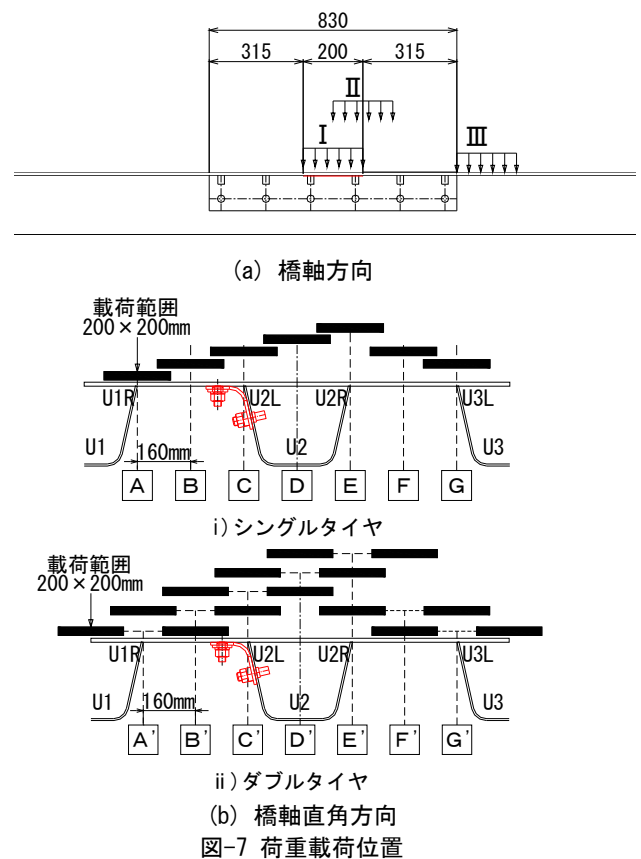


図-7 荷重載荷位置

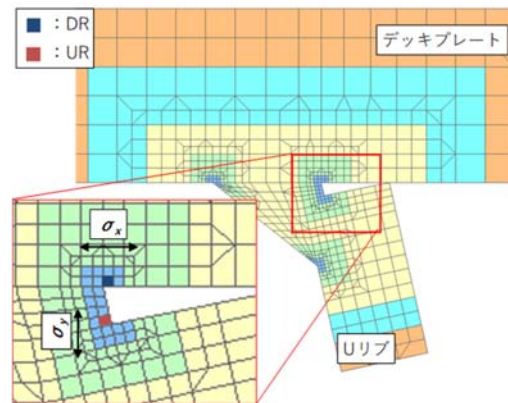


図-8 溶接部の着目要素と応力

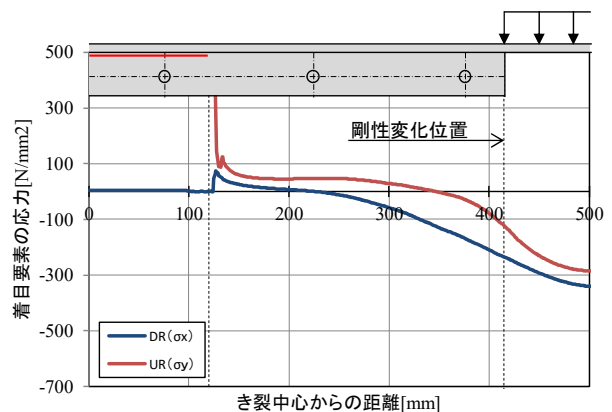


図-9 U2LラインのDRおよびURの応答

補修モデルで-451kN/mm²となった。どちらの荷重状態においても補修モデルの方が大きくなる傾向がみられたが、その値は5%以下であった。また、ダブルタイヤ載荷時は、U2L付近で溶接と当て板の応

力伝達機構の違いにより応力の発生状況が異なるもののU2のリブ中央では同じ挙動となっており、部分的な当て板が対面の溶接部に及ぼす影響は小さいといえる。

(3) き裂先端の削込み部の応力性状

ここでは、補修モデルにおける当て板内のき裂先端の削込み部に着目した。図-11にき裂先端部(II)にシングルタイヤを直上載荷(C)した場合の削込み先端部のミーゼス応力コンターを示す。図-11より、ルート部Uリブ側のエッジ部分では、SM490材の降伏強度をはるかに超える高い応力集中が確認できた。

図-12に、削込み先端部から橋軸方向に5mm離れた横断ラインにおけるURおよびDRを示す。ここでは健全モデルと補修モデルに加え、当て板の有無による影響を分析するために、削込みのみを施した「削込みモデル」の応答を示した。図-12より、DRはURとともに、健全モデルに比べ、補修モデルおよび削り込みモデルの応答が大きくなる傾向がみられた。各モデルの差が大きいURのピーク値に着目すると、健全モデルが -267kN/mm^2 であるのに対し、補修モデルが -1026kN/mm^2 と約4倍、削込みモデルが -1580kN/mm^2 と約6倍であった。削込みモデルより補修モデルの方がピーク値が小さく、当て板の効果が見られるものの、健全モデルよりどちらも大きな応力が発生していることからき裂再発生のリスクがあると考えられる。ただし、このピーク値は削り込み部のモデル形状やメッシュサイズによって増減し、一概に値の比較によってき裂の再発生リスクを考察できないことから、定点載荷試験によって疲労耐久性への影響を検証する必要がある。

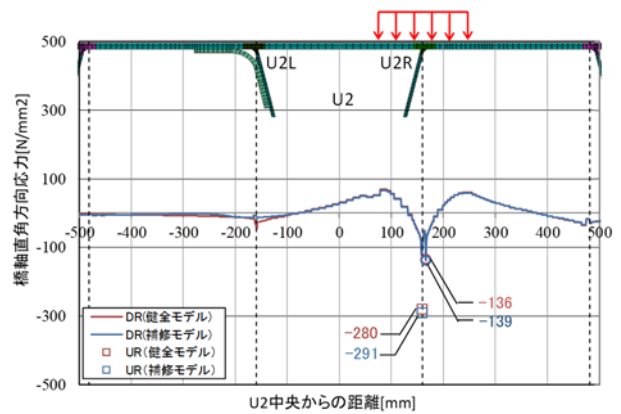
4. まとめ

横リブ間に設置されたスタッド当て板工法の部分的な当て板が周辺部位に及ぼす影響およびき裂先端の削り込み部の応力性状をFEM解析により検討した。この結果、本工法が当て板端部の剛性変化位置や当て板対面の溶接部に及ぼす影響は小さいことが確認された。また、削込み先端部では当て板の効果は確認できるものの高い応力集中がみられ、き裂再発生の可能性があると考えられる。

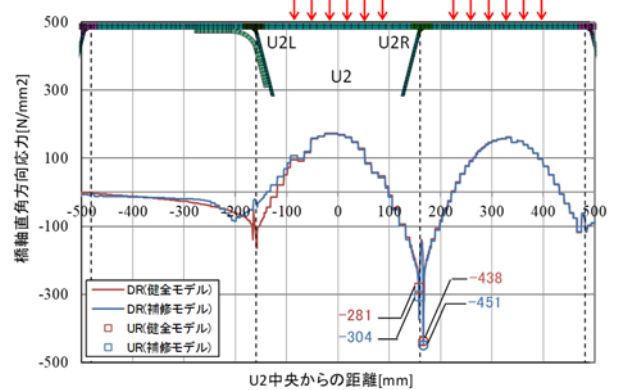
今後は、き裂先端部で見られた高い応力集中が疲労耐久性へ及ぼす影響を定点載荷疲労試験によって検証する必要がある。

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) 森下弘大，山口隆司，八ツ元仁，田畑晶子：Uリブ鋼床版下面補強工法の補強範囲に関する解析的検討，構造工学論文集Vol.64A，2018.3
- 3) 阪神高速道路株式会社：鋼床版疲労き裂応急処置施工要領(案)，平成24年10月



(a) シングルタイヤの直上載荷 (橋軸: I, 直角: E)



(b) ダブルタイヤの跨ぎ載荷 (橋軸: I, 直角: E')

図-10 き裂中央断面のDRおよびURの応答

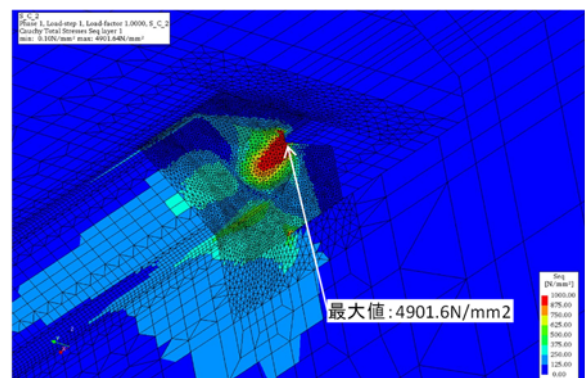


図-11 削り込み先端部のミーゼス応力コンター (橋軸: II, 直角: C)

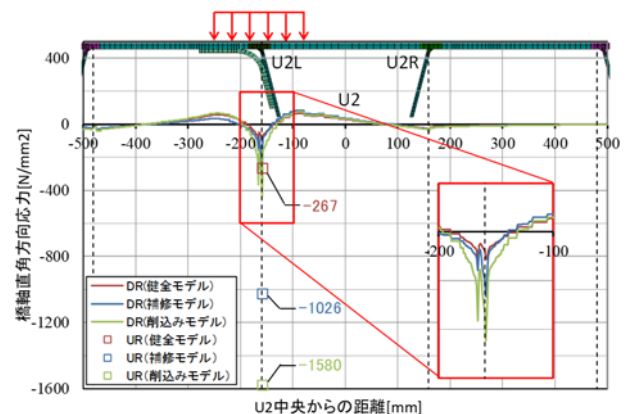


図-12 き裂先端断面のDRおよびURの応答 (橋軸: II, 直角: C)