

既設 U リブ鋼床版に対する下面補強工法の構造合理化に関する研究

Study on Structural Rationalization of the Undersurface Retrofitting Method for Existing Orthotropic Steel Deck with the Trough Ribs

橋梁工学分野 木村 聡

Abstract

鋼床版におけるデッキプレートと U リブとの溶接ルート部から発生する疲労き裂の補強工法の 1 つとして下面補強工法が提案され、その有効性が検討されてきたが、実施工には至っていない。そこで本研究では、下面補強工法における逆 U 型鋼板のボルト間隔とデッキプレート下面への接合方法に着目し、実験と解析の両面から、実施工に向けた構造詳細の合理化の検討を行った。ボルト間隔と接合方法が逆 U 型鋼板の挙動および補強効果へ与える影響を明らかにし、合理化構造の提案を行った。

The undersurface retrofitting method for the fatigue crack which initiates at weld root between the deck plate and the trough ribs is proposed and the effectiveness is investigated. However, the real construction has not been performed yet. In this study, FEM analysis and static load test are carried out in order to rationalize the structural details by focusing on the bolt pitch connecting both the U-shaped attached plates and the type of connecting the deck plate with the U-shaped attached plate. We clarify the influence of the bolt pitch and the type of connecting the deck plate with the U-shaped attached plate on the behavior of the U-shaped attached plate and the retrofitting effect and propose the rational structure.

1. 研究背景と目的

鋼床版は、デッキプレート（以下、デッキ）上のアスファルト舗装を介して車両荷重が直接載荷されるため、近年、交通量、過積載車両の増加に伴い、多数の疲労損傷が発見されている。特に、U リブ鋼床版で生じている疲労損傷は、き裂のタイプが多岐にわたっており、その中でも、**図-1** に示すように、デッキと U リブとの溶接ルート部（未溶着部）を起点として生じ、デッキ上面方向に進展してデッキを貫通するき裂（以下、デッキ貫通き裂）と溶接ビードに進展してビード表面に貫通するき裂（以下、ビード貫通き裂）がある。これらの疲労き裂は、交通荷重の支持機能の低下や、舗装の損傷を引き起こし第三者被害につながる恐れがあり、これらの補修・補強工法の確立が道路管理上重要な課題となっている。

デッキ貫通き裂やビード貫通き裂の発生原因は、大型車両載荷時のデッキと U リブの複雑な変形により、溶接ルート部で応力集中が発生するためと考えられている¹⁾。そこで、橋面舗装を SFRC（Steel Fiber Reinforced Concrete）などのコンクリート系の材料に置き換え、デッキとの一体化による合成効果を期待した補強工法が検討され²⁾、多数の実施工が行われている。ただし、SFRC は、日射や降雨・降雪、ならびに車両荷重の影響を直接受けるため、舗装として、ひび割れ等の発生に伴う機能劣化が予想され、周期的な打ち替えが必要であると考えられる。また、SFRC の施工に先立つ既設舗装の剥ぎ取

りから鋼床版表面の素地調整などに時間を要することから、施工時における天候が品質に及ぼすリスクも高く、また、施工に伴い必要となる交通規制や通行止めは渋滞発生 の 要 因 とな り、社 会 的 損 失 に も つ な が る。こ の た め、交通規制を必要としない鋼床版下面からの補強工法が求められている。

このような背景のもと、床版下面からの補強工法の 1 つとして**図-2** に示すような鋼板補強モルタル充填併用工法（以下、下面補強工法）が提案され、その有効性が検討されてきた^{3),4)}が、実施工には至っていない。実施工に至っていない理由として、SFRC 敷設工法に対してコストが高いこと、構造詳細については未検討な部分があることなどが挙げられる。そこで本研究では、下面補強工法における逆 U 型鋼板のボルト間隔とデッキプレート下面への接合方法に着目し、実験と解析の両面から、実施工に向けた構造詳細の合理化の検討を行い、合理化構造の提案を目的とした。

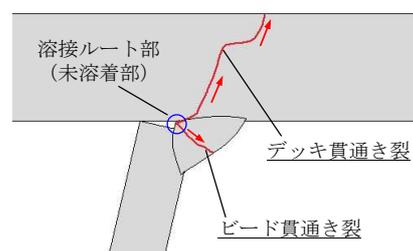


図-1 溶接ルート部からのき裂

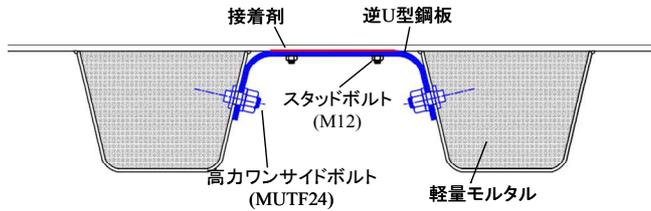
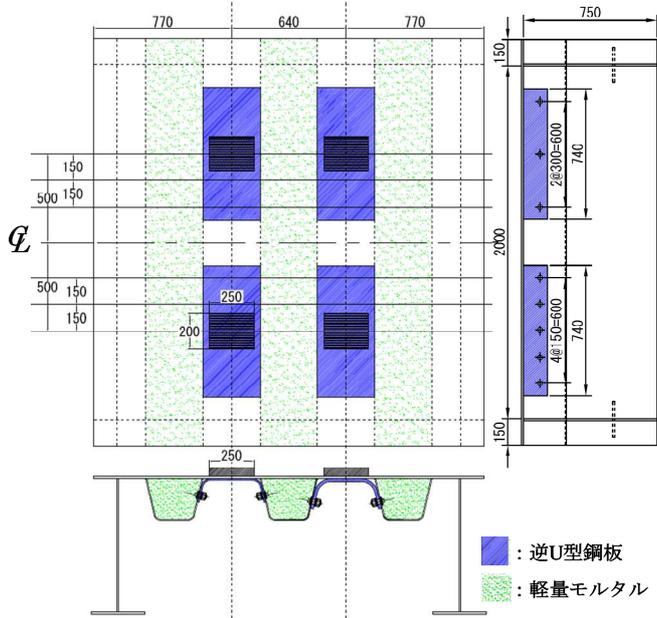
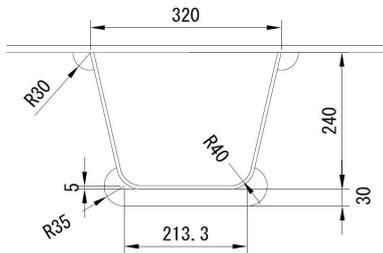


図-2 下面補強工法



(a) 平面図および側面図



(b) Uリブ断面図および横リブのスカロップ形状
図-3 試験体の形状 (単位: mm)

2. 鋼床版部分モデルによる静的荷重実験

2.1 試験体形状と実験ケース

逆 U 型鋼板のボルト間隔と逆 U 型鋼板とデッキとの接触面における接着剤の効果が溶接部の発生応力に与える影響を明らかにするために、実物大鋼床版の部分モデルを対象に静的荷重実験を行った。

試験体の形状を図-3 に示す。既往の研究における知見^{3),5)}をもとに、Uリブ3本と端横リブ2本を有する構造とし、横リブ間隔は2,000mm、板厚構成はデッキ12mm、Uリブ6mmとした。また、図-3には、補強構造としての逆 U 型鋼板の取付け位置と、Uリブ内の軽量モルタル充填範囲も併せて示す。試験体に使用した主要な鋼材を表-1 に示す。

実験ケースを表-2 に示す。本実験におけるパラメータは、ボルト間隔 (150mm, 300mm)、逆 U 型鋼板の板厚 (9mm, 16mm)、接着剤の充填 (有, 無) である。ボ

表-1 試験体に使用した主要な鋼材

材質	板厚 (mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
デッキプレート	12	331	449
Uリブ	6	311	440
逆U型鋼板	9	344	464
	16	319	455

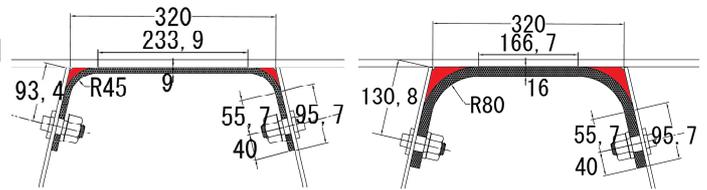
表-2 実験ケース

ケース名	逆U型鋼板の板厚 (mm)	ボルト間隔 (mm)	接着剤の充填	
補強前	—	—	—	
9-150-N	9	150	無	
9-300-N		300		
16-150-N		150		
16-300-N		300		
9-150-F	9	150	有	
16-150-F				16
16-300-F				

*実験ケースの例

9-150-F

— 接着剤の充填 (充填有り: F, 充填無し: N)
— ボルト間隔
— 逆U型鋼板の板厚



(a) 板厚 9mm (b) 板厚 16mm
図-4 逆 U 型鋼板の断面図 (単位: mm)

ルト間隔は、道路橋示方書・同解説⁶⁾の高力ボルト M22 の最大ボルト間隔に準拠し、150mm 間隔を標準とし、その2倍である300mmとの比較を行った。逆 U 型鋼板の板厚は U リブ間のデッキの剛性を向上させる目的で、9mm を標準とし、16mm との2ケースとした。なお、既往の研究の逆 U 型鋼板の板厚はすべて 9mm である。また、接着剤については、デッキと逆 U 型鋼板の接触面に接着剤を塗布しない、すなわち、逆 U 型鋼板とデッキ下面との付着がない場合と、逆 U 型鋼板を取り付けた後に、逆 U 型鋼板の曲げ加工部と鋼床版との隙間に接着剤を充填し、逆 U 型鋼板とデッキを一体化させた場合を対象とした。逆 U 型鋼板の断面図を図-4 に示す。同図には、接着剤の充填箇所も併せて示す。

2.2 実験方法

補強前ケースの荷重位置は、橋軸直角方向には U リブ間中央、橋軸方向には支間中央 (支間 1/2 地点) とした。一方、補強ケースの荷重位置は、図-3 (a) に示すように、橋軸直角方向は逆 U 型鋼板の中央、橋軸方向は逆 U 型鋼板の中央、すなわち支間 1/4 地点とした。なお、橋軸直角方向の荷重位置に関しては、事前の FEM 解析において、逆 U 型鋼板と U リブウェブとの接合面に生じる摩擦力が大きくなる、すなわちボルト接合部に厳しくなる荷重位置であることを確認した。

荷重方法は、シングルタイヤを想定し、荷重荷重 50kN、荷重形状 L:200mm×W:250mm とした。一方、補強ケー

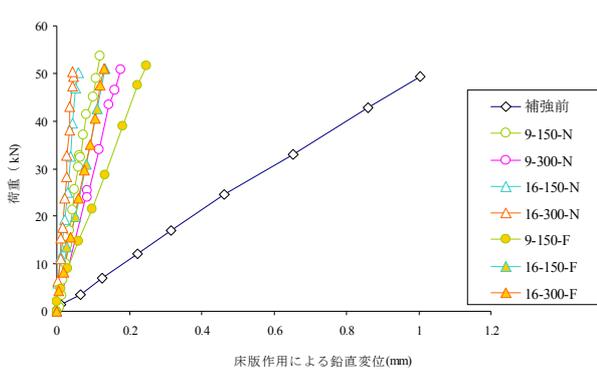


図-5 荷重と床版作用による鉛直変位との関係

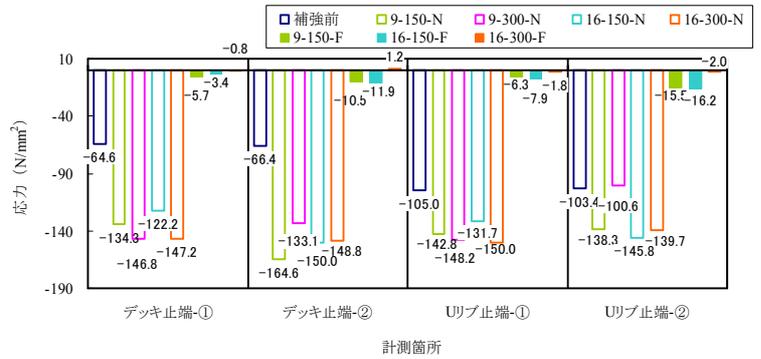


図-6 載荷位置における溶接止端部の発生応力 (橋軸直角方向)

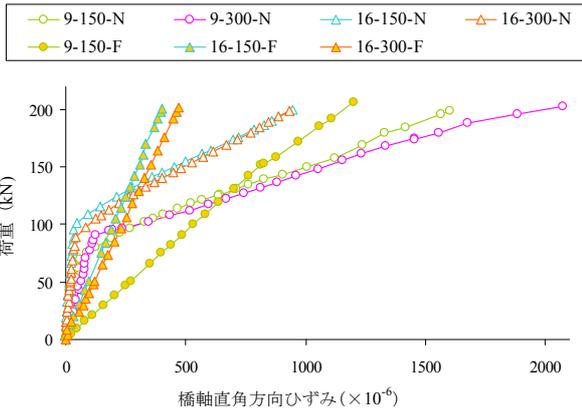


図-7 荷重と逆 U 型鋼板下面の橋軸直角方向ひずみとの関係

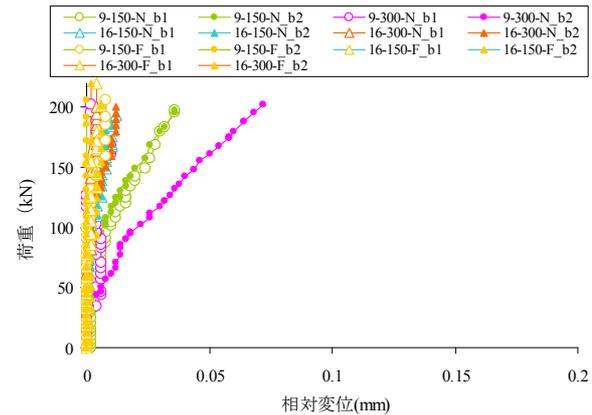


図-8 荷重と逆 U 型鋼板と U リブウェブの相対変位との関係

スに対しては、50kN 載荷後、ボルト接合部のすべりの有無を確認するために 200kN まで単調漸増載荷を行った。また、載荷はタイヤを模擬した板厚 40mm のクロロプレングム板をデッキ上面に設置し、その上に同寸法の板厚 12mm の鋼板を重ね、載荷能力 1,000kN のアクチュエータを用いて、変位制御で行った。

2.3 実験結果と考察

(1) 荷重と鉛直変位との関係

荷重と載荷位置中心における床版作用によるデッキプレートの鉛直変位との関係を図-5 に示す。補強前ケースと補強ケースとでは、横リブ支間に対する載荷位置が 1/2 地点と 1/4 地点で異なるため、主桁作用による鉛直変位量が異なる。そのため、デッキ下面および逆 U 型鋼板下面の鉛直変位から載荷両側の U リブ下面の鉛直変位の平均値を差し引くことで、床版作用による鉛直変位を算出し、その剛性の比較を行った。50kN の荷重に対して、すべてのケースにおいて、弾性応答を示していることがわかる。また、接着剤の充填の有無によらず下面補強工法による剛性の向上が確認でき、接着剤充填の有無により剛性に有意な差はない。充填の有無による差がないのは、U リブ内に充填されている軽量モルタルや、逆 U 型鋼板による剛性向上効果が大きいためであると考えられる。

(2) 溶接部における橋軸直角方向の発生応力

50kN 載荷時の、載荷位置直下における溶接止端部の

デッキ側および U リブ側の発生応力の比較を図-6 に示す。同図より、デッキ側止端部、U リブ側止端部の発生応力を見ると、接着剤の充填がないケースでは補強効果は確認できず、さらに、補強前よりも大きな応力が発生している。特に、U リブ側止端部に比べ、デッキ側止端部での増加量が大きいことがわかる。また、ボルト間隔や逆 U 型鋼板の板厚による発生応力の差はほとんどみられない。接着剤の充填がないケースで補強効果が得られなかった原因は以下のように考えられる。図-7 の荷重と逆 U 型鋼板下面のひずみとの関係より、50kN 時点では逆 U 型鋼板にひずみはほとんど発生していない。これは、逆 U 型鋼板の製作精度や取り付けの精度により、取り付け初期状態にデッキと逆 U 型鋼板との接触面に隙間が生じていたためである可能性が高い。この隙間により、逆 U 型鋼板への荷重伝達がほとんどされず、逆 U 型鋼板による補強効果が得られず、モルタル充填のみの補強状態となっているためであると推察できる。さらに文献 2) において、モルタル充填のみの補強では U リブ間(無補強部分)の荷重に対する補強効果はなく、U リブの剛性が高くなり、デッキの拘束がより剛となることで補強前よりも大きな応力が発生することが報告されている。接着剤を充填したケースでは、デッキ側止端部、U リブ側止端部ともに、大きな補強効果が確認できる。また、逆 U 型鋼板下面のひずみは線形的に増加しており、逆 U 型鋼板への荷重伝達がなされているこ

とがわかる。これらのことから、接着剤によるデッキと逆 U 型鋼板の一体化が溶接部の補強効果に及ぼす影響は大きいといえる。

(3) 逆 U 型鋼板と U リブウェブとの相対変位

載荷位置直下における荷重と両端のボルト接合部の相対変位との関係を図-8 に示す。同図より、ほとんどのケースにおいて相対変位に変化はないが、9-150-N と 9-300-N のケースでは、荷重の増加とともに相対変位が増加している。また、この相対変位が局所的なすべりによるものなのか、弾性変形の相対変位差によるものなのかは不明であるが、200kN 載荷時の相対変位量は 0.07mm 程度であり、すべり発生 の定義を相対変位が 0.2mm に達したとき⁷⁾とすると、継手としてすべりは生じていないと考えられる。このことは、逆 U 型鋼板下面の鉛直変位やひずみは線形性を保っていることから確認できる。なお、接着剤を充填したケースでは、すべてのケースにおいて相対変位に大きな変化はない。

3. ボルト接合部に着目した FEM 解析

3.1 解析モデル

実験結果の妥当性の検証を行うとともに、逆 U 型鋼板のボルト間隔、板厚および逆 U 型鋼板とデッキとの接合方法をパラメータとし、溶接部の発生応力、逆 U 型鋼板の挙動の比較を行うために、3次元有限変位弾性解析を行った。解析モデルを図-9 に示す。静的載荷実験を行った試験体の形状を対象とし、横リブ間隔は 2,000mm、U リブ本数を 2 本とした。U リブ本数は試験体と異なっているが、鋼床版の荷重の影響範囲は小さいため、U リブ本数が溶接部の局部応力や逆 U 型鋼板の挙動に与える影響は小さいと判断した。モデル化範囲は対称性を考慮した 1/4 モデルとした。

着目部周辺のデッキと U リブ、溶接部および軽量モルタル、逆 U 型鋼板とワンサイドボルト、充填接着剤を 8 節点および 6 節点ソリッド要素で、その他の領域を 4 節点シェル要素でモデル化した。デッキと U リブの溶接部の溶け込み量は 0 とし、U リブのコーナーとデッキ下面との接触は考慮していない。溶接部周辺の最小メッシュサイズは、1mm×1mm とした。なお、鋼床版の溶接部という複雑な応力状態にある箇所の応力は、要素のサイズや形状の影響を強く受けるが、同一のメッシュを使用することで相対比較は可能であると考えられる。応力の評価要素は、図-9 に示すように、載荷位置直下のデッキプレート側ルート部 (DR)、デッキプレート側止端部 (DT)、U リブ側ルート部 (UR)、U リブ側止端部 (UT) の 4 ヶ所とした。

使用した材料定数を表-2 に示す。軽量モルタルの材料定数は文献 3) を、充填接着剤は実験に使用した接着剤の材料試験結果を参考に決定した。

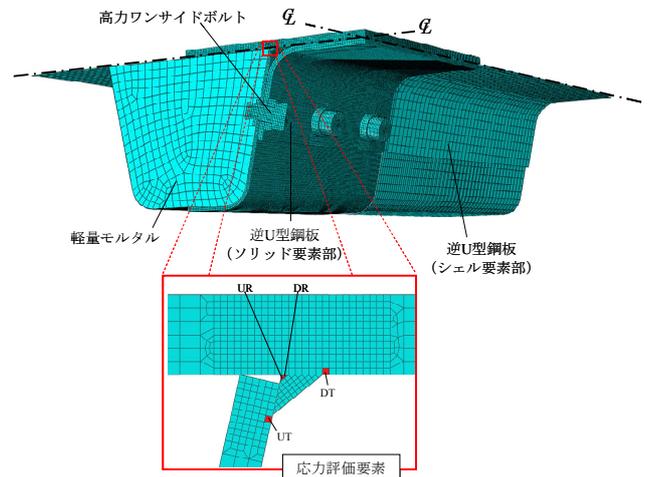


図-9 FEM 解析モデルと応力評価要素

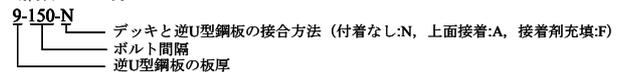
表-2 解析に使用した材料定数

	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比
デッキプレート	2.0×10 ⁵	0.3
Uリブ		
逆U型鋼板		
高力ワンサイドボルト	2.85×10 ⁴	0.167
軽量モルタル	2.33×10 ³	0.47

表-3 解析ケース

ケース名	逆U型鋼板の板厚 (mm)	ボルト間隔 (mm)	デッキプレートと逆U型鋼板との接合方法
補強前	—	—	—
9-150-N	9	150	付着なし
9-300-N		300	
16-150-N		150	
16-300-N	16	300	上面接着
9-150-A	9	150	
9-300-A		300	
16-150-A		150	
16-300-A	16	300	接着剤充填
9-150-F	9	150	
9-300-F		300	
16-150-F		150	
16-300-F		16	300

*解析ケースの例



3.2 解析ケース

解析ケースを表-3 に示す。解析パラメータは、実験と同じく逆 U 型鋼板の板厚、ボルト間隔、デッキと逆 U 型鋼板との接合方法である。なお、解析では、既往の文献 2)、3) で提案されているデッキ下面と逆 U 型鋼板上面の接触面に接着剤を塗布することにより一体化するケース (上面接着ケース) を追加し、接着剤充填ケースと比較することで、接合方法による違いを検討した。

荷重載荷位置、形状は実験と同じく、それぞれ逆 U 型鋼板の中央、L:200mm×W:250mm であり、等分布荷重 50kN として与えた。

3.3 解析結果

(1) 溶接部近傍の発生応力

応力評価要素に発生する最小主応力の一覧を表-4 に示す。なお、同表にはボルト間隔による比率も示している。ボルト間隔による比率とは、ボルト間隔 150mm のケースに対するボルト間隔 300mm のケースの発生応力

表-4 応力評価要素に発生する最小主応力とそのボルト間隔による比率

	DR		UR		DT		UT	
	発生応力 (N/mm ²)	ボルト間隔による比率						
補強前	-80.8	—	-46.9	—	-137.4	—	-125.6	—
9-150-A	-17.1	1.00	-22.5	0.91	-43.5	1.12	-26.0	1.00
9-300-A	-17.1	1.00	-20.4	0.91	-48.8	1.12	-26.0	1.00
16-150-A	-13.6	1.04	-18.4	1.03	-29.0	1.06	-19.7	1.04
16-300-A	-14.1	1.04	-19.0	1.03	-30.7	1.06	-20.4	1.04
9-150-N	-33.3	1.01	-37.1	1.02	-134.6	1.03	-54.7	0.96
9-300-N	-33.7	1.01	-38.0	1.02	-139.0	1.03	-52.4	0.96
16-150-N	-14.9	1.03	-18.5	1.03	-46.0	1.04	-23.2	1.04
16-300-N	-15.4	1.03	-19.1	1.03	-47.9	1.04	-24.1	1.04
9-150-F	-7.6	0.72	-4.4	0.86	-9.9	1.06	-4.7	1.02
9-300-F	-5.5	0.72	-3.8	0.86	-10.5	1.06	-4.8	1.02
16-150-F	-6.5	1.02	-6.5	1.00	-6.8	1.00	-5.7	1.00
16-300-F	-6.6	1.02	-6.5	1.00	-6.8	1.00	-5.7	1.00

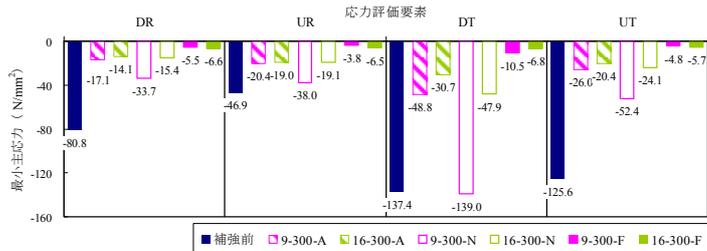


図-10 応力評価要素に発生する最小主応力の比較

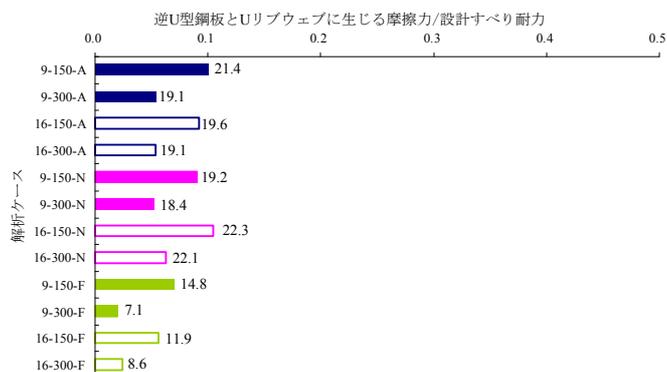


図-11 逆 U 型鋼板と U リブウェブとの接合面に生じる摩擦力の比較

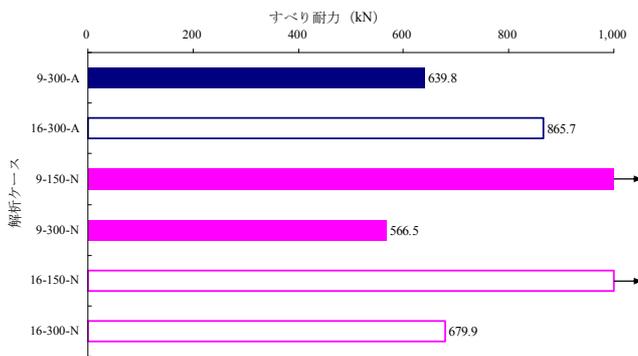


図-12 すべり耐力の比較

の比率である。同表より、ほぼすべてのケースでボルト間隔による差は 5%以下であり、ボルト間隔による溶接部の発生応力の差はないことがわかる。

補強前とボルト間隔 300mm のケースにおける最小主応力を比較したものを図-10 に示す。上面接着ケースの応力低減率は、逆 U 型鋼板の板厚が 9mm の場合で 20~45%、16mm の場合で 16~40%であった。どちらの板厚の場合でも、補強効果は UT で最も大きく、UR で最も小さい結果となった。しかし、補強効果が最も小さい UR で 40%程度の応力低減率が確認でき、上面接着による補強効果は大きいことがわかる。また、逆 U 型鋼板の板厚による応力低減率の差は小さい。

接着剤充填ケースの応力低減率は、逆 U 型鋼板の板厚が 9mm の場合 4~8%、16mm の場合 4~14%であった。接着剤充填ケースは上面接着ケースと比較して、補強効果に優れていることがわかる。また、逆 U 型鋼板の板厚による発生応力の差は、上面接着ケースと同様にほとんどない。

付着なしケースの応力低減率は、逆 U 型鋼板の板厚が 9mm の場合、DT では補強前よりも大きな応力が発生しており、その他の要素では 40~80%であり、16mm の場合は 20~40%であった。逆 U 型鋼板の板厚が 9mm の場合、補強前よりも発生応力が大きくなっていることから、U リブ間の剛性が小さいと補強効果が十分に得られない可能性がある。また、デッキ側止端部で補強前よりも発生応力が大きくなるのは、実験と同様の傾向である。板厚が 16mm の場合は、付着なしケースと上面接着ケー

スとで発生応力の差はほとんどない。

(2) ボルト接合部の摩擦力

逆 U 型鋼板と U リブウェブとの接合面に生じる摩擦力の比較を図-11 に示す。ここで摩擦力とは、接触境界を設定している節点において、接触面に作用する摩擦せん断応力の合計値である。また、同図の摩擦力はボルト間隔ごとの設計すべり耐力により無次元化している。設計すべり耐力は、接合面の摩擦係数 0.4 と設計ボルト軸力 177kN およびボルト本数を掛け合わせて算出し、ボルト間隔 150mm、300mm のケースはそれぞれ、354.0kN と 212.4kN である。図中の数値は、無次元化前の摩擦力の値である。同図より、いずれのケースにおいても発生する摩擦力は設計すべり耐力の 10%以下であることがわかる。

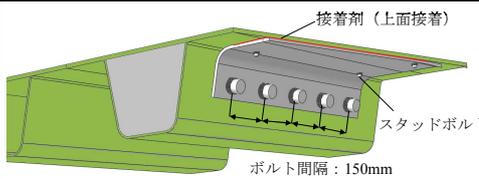
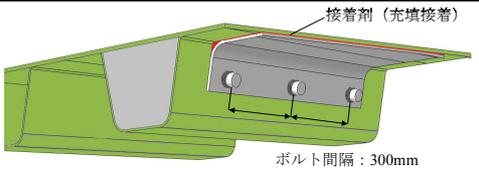
ボルト間隔による比較をすると、逆 U 型鋼板の板厚、接合方法によらず、ボルト間隔 150mm のケースの方が大きな摩擦力が生じていることがわかる。これは、150mm の方がボルト本数は多く、逆 U 型鋼板と U リブウェブとの接触面積が増えるためと考えられる。

接着剤充填ケースはボルト間隔、逆 U 型鋼板の板厚によらず、発生する摩擦力は小さい。これは、接着剤充填箇所において逆 U 型鋼板と U リブウェブとが一体化されており、摩擦せん断方向の動きが拘束されているためであると考えられる。

(3) ボルト接合部のすべり耐力

輪荷重を想定した 50kN の載荷荷重に対しては、逆 U 型鋼板と U リブウェブに生じる摩擦力は設計すべり耐

表-5 従来構造と提案構造との比較

	従来構造	提案構造
構造のイメージ		
ボルト間隔	150mm	300mm
逆U型鋼板とデッキプレートとの接合方法	上面接着(接着剤+スタッドボルト)	充填接着(接着剤)

力の10%以下であった。しかし、高力ボルト摩擦接合継手はすべりに対して設計されており、終局状態の把握としてすべり耐力を算定しておく必要がある。そこで、上面接着ケースのボルト間隔 300mm のケース 9-300-A、16-300-A と付着なしケースの全ケースに対して、載荷荷重を 1,000kN とし、すべり耐力の算定を試みた。すべり耐力の算定は、実験と同様、ボルト接合部の相対変位が 0.2mm に達したときの荷重とした⁷⁾。

すべり耐力の比較を図-12 に示す。ボルト間隔 150mm のケース 9-150-N、16-150-N は、相対変位が 0.2mm に達することはなく、1,000kN の荷重に対してすべりは生じなかった。最も低いすべり耐力は 9-300-N のケースで 566.5kN であった。また、付着なしから上面接着とすることで、逆 U 型鋼板の板厚が 9mm の場合は 15%、16mm の場合は 30%のすべり耐力が上昇している。実態活荷重はシングルタイヤで 50kN、ダブルタイヤで 100kN 程度であり、実際の荷重条件に対してはボルト間隔を 300mm としてもボルト接合部にすべりが生じることはないと考えられる。

4. 合理化構造の提案

本研究における提案構造と従来構造との比較を表-5 に示す。逆 U 型鋼板のボルト間隔は 300mm とし、逆 U 型鋼板とデッキプレートとの接合方法は、充填接着とすることで、相対的に強度が低い接着剤縁端のはがれを防止する目的で設置されているスタッドボルトの取り付けを不要とした。

5. まとめと今後の課題

下面補強工法について、U リブウェブと逆 U 型鋼板を連結する高力ワンサイドボルトのボルト間隔、逆 U 型鋼板の板厚、および鋼床版デッキプレート下面と逆 U 型鋼板の接着状態をパラメータとして実物大試験体を用いた静的載荷実験および FEM 解析を行った。本研究で得られた結果は以下の通りである。

- 1) 逆 U 型鋼板のボルト間隔が 150mm、300mm の場合を比較すると、溶接部の発生応力に有意な差はなかった。
- 2) ボルト間隔を 300mm とした静的載荷実験において、

シングルタイヤを想定し、U リブ間（逆 U 型鋼板）中央に 200kN まで載荷したが、U リブウェブと逆 U 型鋼板にすべりは発生しなかった。

- 3) FEM 解析によると、ボルト間隔が 300mm の場合に、シングルタイヤによる荷重により U リブウェブと逆 U 型鋼板にすべりが発生する最も小さい荷重は 566.5kN であり、実態活荷重においては、すべりは生じないと考えられる。
- 4) デッキプレートと逆 U 型鋼板の間に接着剤を充填した場合は、デッキプレートと U リブウェブの溶接部の補強効果は大きく、逆 U 型鋼板の板厚（9mm、16mm）にかかわらずほぼ同等であった。
- 5) デッキプレートと逆 U 型鋼板の間に接着剤を充填しない場合、既設鋼床版の不陸、逆 U 型鋼板の製作精度や取り付け時の施工誤差により、デッキプレート下面と逆 U 型鋼板上面に隙間が生じる可能性が高く、隙間があると、溶接部の発生応力は補強前より増加する可能性がある。

今後の課題は、充填した接着剤が経年劣化した場合の検討や、曲線橋に対する逆 U 型鋼板の製作精度の管理など、実橋での施工に向けた詳細検討があげられる。

参考文献

- 1) 三木千寿, 菅沼久忠, 富澤雅幸, 町田文孝: 鋼床版箱桁橋のデッキプレート近傍に発生した疲労損傷の原因, 土木学会論文集, No.780/I-70, pp57-69, 2005.1.
- 2) 小野秀一, 下里哲弘, 増井隆, 町田文孝, 三木千寿: 既設鋼床版の疲労性能向上を目的とした補強検討, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.231-226, 2005.10.
- 3) 田畑晶子, 青木康素, 服部雅史, 大西弘志, 松井繁之: U リブ内面モルタル充填による既設鋼床版の疲労耐久性向上検討, 構造工学論文集 Vol.56A, pp.1356-1369, 2010.3.
- 4) 高田佳彦, 坂野昌弘: 交通規制を必要としない既設鋼床版の疲労損傷対策に関する検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.67 No.1, pp.13-26, 2011.
- 5) 貝沼重信, 尾上聡史, 三浦健一, 井口進, 川畑篤敬, 内田大介: 鋼床版のデッキプレートと U リブの溶接ルート部の疲労き裂に対する試験システムの構築, 土木学会論文集 A Vol.64 No.2, pp297-302, 2008.4.
- 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編.2012.3.
- 7) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2006.3.

討議

討議 [谷口 与史也 教授]

スタッドボルトと接着剤との効果の違いは、鋼同士を接着剤で接合するよりもスタッドボルトで接合したほうがよいのでは。また、接着剤の信頼性はどうか。

回答

下面補強工法において、スタッドボルトはあくまで接着剤縁端のはがれを防止する目的で設置されており、接合部に生じるせん断力には接着剤でのみ抵抗し、スタッドボルトは抵抗する断面として設計されていない。仮に、スタッドボルトをせん断力に抵抗させるような構造とした場合、スタッド取付け部の溶接部から疲労損傷が生じる可能性があり、疲労き裂の補強工法としては望ましくない。接着剤の信頼性に関しては、接着剤の経年劣化や部分剥離、疲労耐久性の検討は今後の課題である。ただし、充填接着剤は鉄筋コンクリート床版の補修にも使用されており、性能としては十分信頼できるものと考えている。

討議 [谷口 与史也 教授]

溶接部の応力集中には、橋軸方向、橋軸直角方向どちらの剛性が効いているのか。また、Uリブのねじれの影響は大きいのか。

回答

鋼床版の溶接部における応力集中に対しては、橋軸直角方向の剛性が支配的である。また、デッキプレートのたわみとそれに追従するUリブのねじれ変形により溶接部には応力集中が生じる。

討議 [角掛 久雄 講師]

接着剤は入れないといけないのか。接着剤以外のもので隙間を埋めればよいのでは。

回答

デッキプレート下面と逆U型鋼板との不陸、隙間は必ず生じ、隙間が大きい場合は逆U型鋼板への荷重伝達がされず、補強効果が得られない。逆U型鋼板の板厚を16mmにした場合は、接着剤によるせん断抵抗を必要としないため、鉛直方向の荷重伝達を可能とする別の材料でも適応可能である。ただし、逆U型鋼板の板厚が9mmの場合は、接着剤によるせん断抵抗を必要とするため、接着剤でなければならない。

討議 [鬼頭 宏明 教授]

充填する接着剤の流動性は高いのか。

回答

鉄筋コンクリート床版の補修で床版下面から鋼板接着する場合に、鋼板とコンクリート床版下面の隙間に充填される接着剤であり、施工時の流動性に優れている。