

合理化鋼床版構造に関する研究

～Uリブと横桁が交差するスリット部の局部応力特性について～

Studies of Rational Orthotropic Steel Deck

勝俣 盛

Mori KATSUMATA

川田工業㈱技術開発本部技術研究室

小笠原 照夫

Teruo OGASAWARA

川田工業㈱技術開発本部技術研究室係長

町田 文孝

Fumitaka MACHIDA

川田工業㈱技術開発本部技術研究室主幹

吉家 賢吾

Kengo YOSHIIE

川田工業㈱生産本部溶接研究室

川瀬 篤志

Atsushi KAWASE

川田工業㈱技術開発本部技術研究室

溝江 慶久

Yoshihisa MIZOE

川田工業㈱技術開発本部技術研究室

This paper deals with the summary of orthotropic steel deck which were proposed to reduce fabrication cost and to improve durability. Moreover, we verified to clarify the stress characteristic of the joint between trapezoidal ribs and floor beams by static loading tests, and repeated loading tests used the full-scale specimen. The results revealed, the large local stress occurred at the toe of the rib side of the boxing weld in joint.

Thus, we elucidated the growth mechanism of the local stress, invented joint details to decrease the stress by FEM analysis, and proved that effect by tests.

Key words: rationalized design, orthotropic steel deck, out-of-plane deformation, local stress

1. まえがき

鋼床版構造は、死荷重の軽減と施工期間の短縮を図ることができることから、長大橋梁や都市高架橋で多数採用されてきた実績がある。しかし、比較的薄い鋼板を溶接によって接合するため、各部に生じる応力が複雑であり、さらに車両荷重を直接支持する床構造であることから、疲労損傷を被りやすいといわれている。また、橋面舗装の耐久性が劣るともいわれている。

著者らは、かねてより経済性ならびに耐久性が向上する鋼床版構造の研究開発に取り組んできており、デッキプレートに厚板を採用し、Uリブ断面を大型化することによって横リブを廃止した合理化鋼床版構造を提案してきた。本構造は、従来型に比較し構造が簡略化され、部材数、材片数ならびに溶接延長の低減が図れることから、従来型と同程度の鋼重で製作コストを縮減することができると考えられる。

昨年来、実物大の試験体を用いた載荷試験を実施してきた結果、合理化鋼床版の応力特性を明らかにし、有益な所見を得ることができた。ここでは、初めに本構造の開発経緯と概要を述べ、次に変位誘起が懸念されるUリブと横桁が交差する部位に設けられたスリット周りの局部応力特性について報告する。

2. 合理化鋼床版構造の概要

(1) 省力化と合理化

省力化の方針は、デッキプレートを多少増厚させても縦リブ、横リブを減らすことによって材片数と溶接延長を削減し、製作工数を低減させることである。しかし、単に縦リブを減らすだけではデッキプレートを厚くしなければならず、製作工数の低減以上に材料費が増加することとなり不経済である。そこで、横リブ間隔を広げて横リブを減らすことが省力化につながるものと考えた。

合理化の方針は、省力化とともに耐久性の向上を目的としており、以下にその考え方を記す。

- ① 最近の研究では、横リブスリット周りの疲労損傷は変位誘起による疲労との報告¹⁾がある。これは縦リブの鉛直たわみによる横リブ位置での縦リブの回転変形にともなう横リブ腹板の面外曲げが大きな原因の一つと考えられる。今回、横リブ間隔を広げることによって省力化を図ることから、この変位誘起挙動が大きくなると考えられる。したがって、縦リブを大型化して剛性を上げ、この変位誘起挙動を小さくする。
- ② 横リブは床組作用力により設計されており、計算上主桁作用力は負担していない。実際には大きな主桁作用力が生じることもあり、横リブに疲労損傷が多く生じている一因とも考えられる。よって、横リブを廃止

表1 解析諸元

	従来構造 (U320)	合理化構造 (U450)
デッキプレート厚	12 mm	19 mm
Uリブ断面	320×240×6-40	450×330×8-40
Uリブ間隔	640 mm	900 mm
主桁本数 (Uリブ本数)	2.0, 4.56, 7.12 m (3), (7), (11)	1.8, 4.5, 7.2 m (2), (5), (8)
横リブ(横桁)間隔	2.0, 2.5, 3.0 m	4.0, 5.0, 6.0 m
横リブ(横桁)断面	Web-PI:600×9 Flg-PI:250×12	Web-PI:1500×10 Flg-PI:300×14

注) 主桁間隔の影響に着目したときの横リブ(横桁)間隔はU320が2.5m, U450が5.0mであり, 横リブ(横桁)間隔の影響に着目したときの主桁間隔はU320が4.56m, U450が4.5mである。

して横桁構造とする。

- ③ その他の部位に関しては, 厚板化や構造詳細の改良により, 疲労耐久性の向上を図る。
- ④ 鋼床版舗装の特徴的な損傷として, 縦リブや主桁腹板上の線状ひびわれがある。文献2), 3)によれば曲率半径を20 m(舗装のスチフネス: $2 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$, 合成版)以上にするのが望ましいとされており, 曲率になるべく大きくなるように配慮する。

(2) 断面の設定

a) 縦リブ断面

縦リブは, 材片数や溶接延長を低減できるUリブを用いることとし, 現状の設備で製作可能な形状とするため, 従来型の類似形で内側の板曲げ半径 R を40 mm, 腹板の勾配を1:4.5の逆台形とする。また, 道路橋示方書³⁾に, 鋼床版に用いるUリブの冷間曲げ加工による内側曲げ半径が板厚の5倍以上と規定されていることから, 板厚を8 mmとする。

文献4)によって局部座屈の検討を行うと, Uリブ形状は純圧縮状態で, 最大Uリブ高が331 mm, 底板の最大幅が258 mm, デッキプレート側の最大Uリブ幅が482 mmとなる。一方, 文献5)によれば, 最小デッキプレート厚 t_d は $t_d=0.035 \times b$ で算定される。ここで, t_d を16 mmと仮定すれば, Uリブ幅は $b=16/0.035 \div 457 \text{ mm}$ となる。そこで, Uリブ断面をU450×330×8-40とする。

なお, Uリブとデッキプレートからなる梁の断面性能とデッキプレート厚の関係は, デッキプレートを増厚しても断面性能はあまり改善されないが, Uリブ断面を大型化することによって, 大幅に改善できることがわかっている⁶⁾。

b) デッキプレート厚

現行の道路橋示方書³⁾によれば, t_d は $t_d=0.037 \times b$
 $=0.037 \times 450 \div 16.7 \text{ mm}$ となるが, 舗装の線状ひびわれを抑制するためには増厚することが望ましい。そこで舗装われとマーケットサイズを考慮して $t_d=19 \text{ mm}$ とする。

c) 横桁間隔

支間長80 m以上の連続箱桁を想定した場合, 輸送から主桁のブロック長は10 m程度になると考えられる。ブロックの形状保持のためには最低2カ所のダイヤフラムが

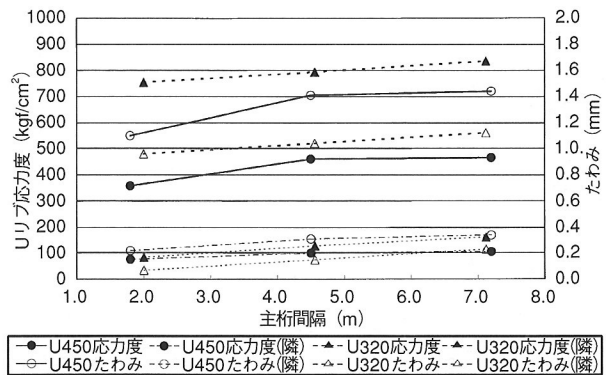


図1 主桁間隔の違い

必要であることから, 横桁間隔を5.0mとする。

d) 横桁断面

横桁断面は, 橋梁の構造諸元によって著しく異なるため, 一意的に決めることができない。そこで, 基本的な方針は水平継手と補剛材が省略できる桁高とし, 腹板を厚くする。

(3) 構造特性

FSM解析によって, 表1に示した解析諸元の従来構造と合理化構造の応力特性とたわみ量を比較検討した。

解析モデルは, 橋軸方向に横リブ(横桁)間隔5パネル, 幅員方向を主桁位置で単純支持とした。ここでは, 橋軸方向中央のパネルに着目し, 横リブ(横桁)間中央で主桁間中央のUリブ上1カ所に200×500 mmの面に10 tfを等分布で載荷した。

なお, 解析結果の図中の凡例“(隣)”は, 載荷したUリブに隣接したUリブの値である。また, たわみ量は横リブ(横桁)のたわみを除いた値である。

a) 主桁間隔の影響

図1に主桁間隔とUリブ下端の応力度, たわみ量の関係を示す。同図より, 主桁間隔が広がることにより応力度, たわみ量ともに増加するが, 主桁間隔による影響は比較的少ないことがわかる。

b) 横リブ(横桁)間隔の影響

図2に横リブ(横桁)間隔とUリブ下端の応力度, たわみ量の関係を示す。同図より, 従来構造は横リブ間隔が広がることによって, 荷重直下のUリブのみで大きな増分が認められるが, 合理化構造ではたわみ量のみ隣接するUリブも増加している。これから主桁間隔よりも影響度合いが大きく, 構造を決定する支配的な要因となることがわかる。

c) 幅員方向の荷重分配

幅員方向の荷重分配を調べるため, 以下のように隣接するUリブとの分担率($R1=M'/M$)と全Uリブに対する分担率($R2=M/\Sigma M$)を整理し, 図3 a)に主桁間隔による違いを, 図3 b)に横リブ(横桁)間隔による違いを示す。

ただし,

M : 荷重が載荷されたUリブの曲げモーメント

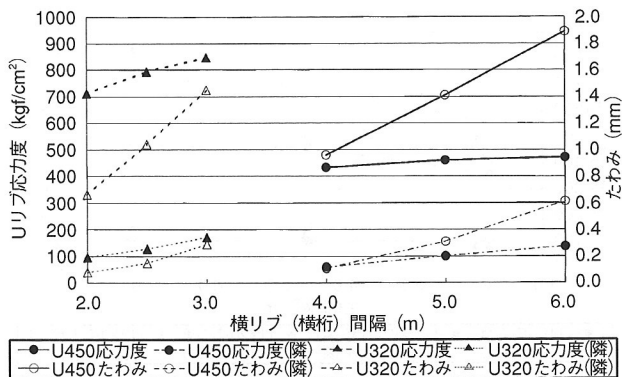
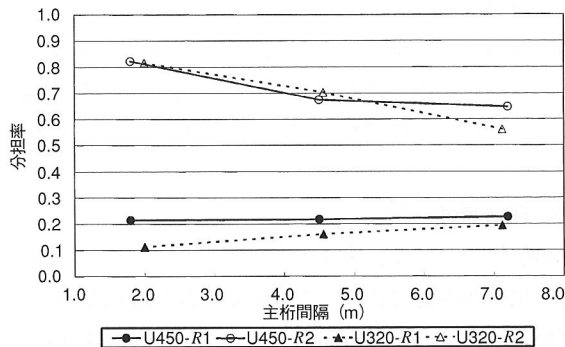
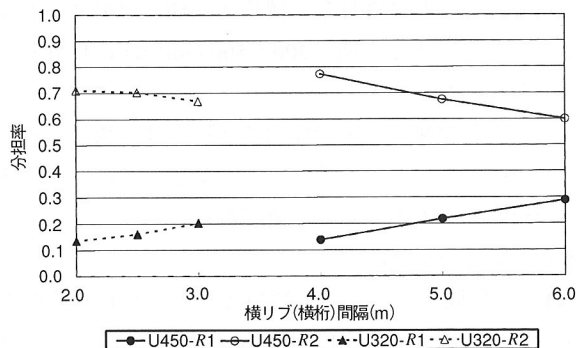


図2 横リブ(横桁)間隔の違い



a) 主桁間隔の違い



b) 横リブ(横桁)間隔の違い

図3 幅員方向の荷重分配

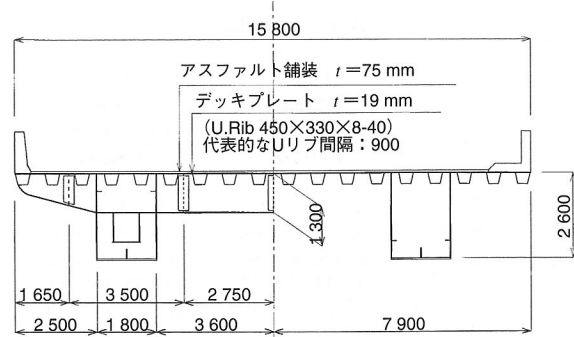
M' : 隣接したUリブの曲げモーメント
 ΣM : 全Uリブの曲げモーメントの和
とする。

図3 a) より, R1は構造の違いによる差異が認められないが, R2は間隔が広がることにより分担率が小さくなるのがわかる。一方, 図3 b) より, 従来構造は横リブ間隔にかかわらず, ほぼ同程度の比率であるが, 合理化構造は横桁間隔が広がることによって, 載荷直下のUリブの荷重分配が小さくなるのがわかる。

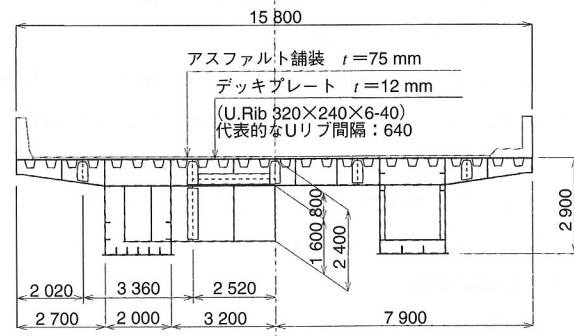
また, 合理化構造の横桁間隔を5.0 mとした場合, 従来構造に近い荷重分配を示すことがわかった。

(4) 経済性

支間長80 mの5径間連続鋼床版箱桁橋を対象として, 図4に示した従来型鋼床版と合理化鋼床版の断面を採用した場合の試設計を行い, 鋼重(図5), 材片数および溶



a) 合理化構造



b) 従来構造

図4 断面図

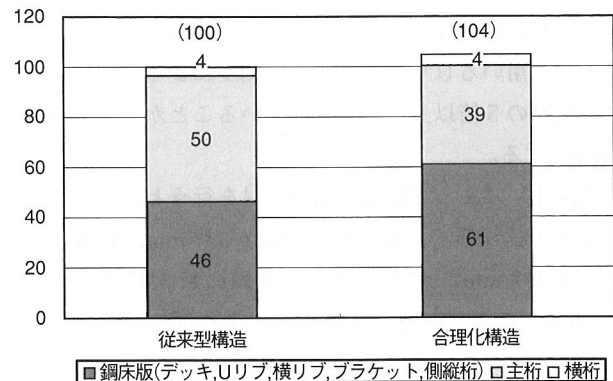


図5 鋼重の比較

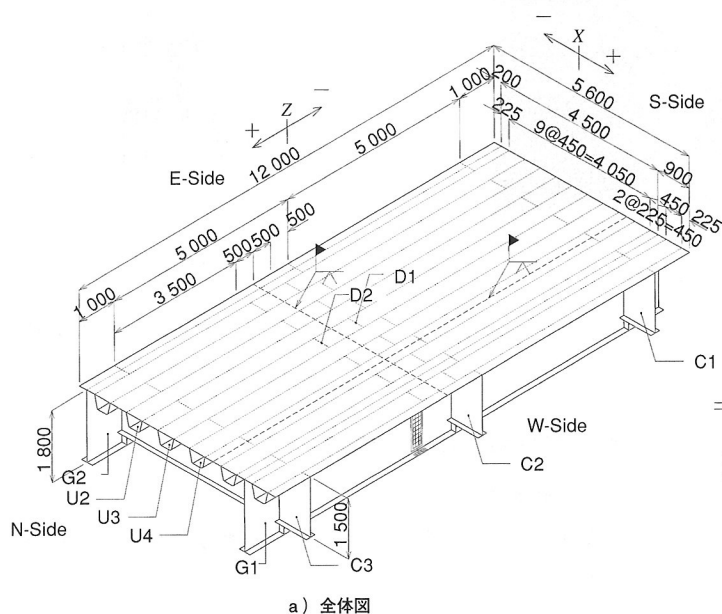
接延長を比較した。その結果, 従来型の構造を100%とした比率で表すと, 合理化構造は鋼重が約4%増加するが, 材片数を55%に, 溶接延長を63%に低減できることがわかった。したがって, 合理化構造は製作工数を低減できる経済性に優れた構造であると考えている。

3. 載荷試験

(1) 試験体の概要

図6に試験体の形状と寸法を, 表2に構造諸元を示す。試験体は, 試験室内で組み立て, 主桁と横桁の交差部の全6カ所で主桁下フランジをH.T.B.で10 mm厚のゴム板を介し架台に固定した。この架台は, PC鋼棒によって, 試験室の床に強固に固定してある。

載荷は荷重強度を10 tfとして200×500 mmの載荷面に等分布となるように, 25 mm厚の鋼板と10 mm厚のゴム

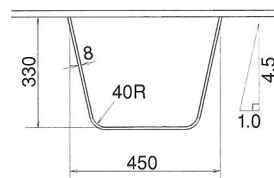


a) 全体図

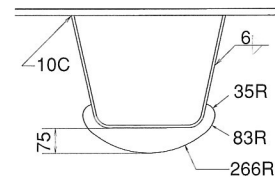
表2 構造諸元

構成部材	寸法(mm)
デッキプレート	板厚 19
Uリブ (U1~U6)	断面 450×330×8-40 間隔 450
主桁 (G1, G2)	断面 Web-PI:1800×10 Flg-PI:300×12 間隔 4500
横桁 (C1~C3)	断面 Web-PI:1500×10 Flg-PI:250×12 間隔 5000
密閉ダイヤフラム (D1,D2)	断面 450×330×10

※材質はすべてSM400A材

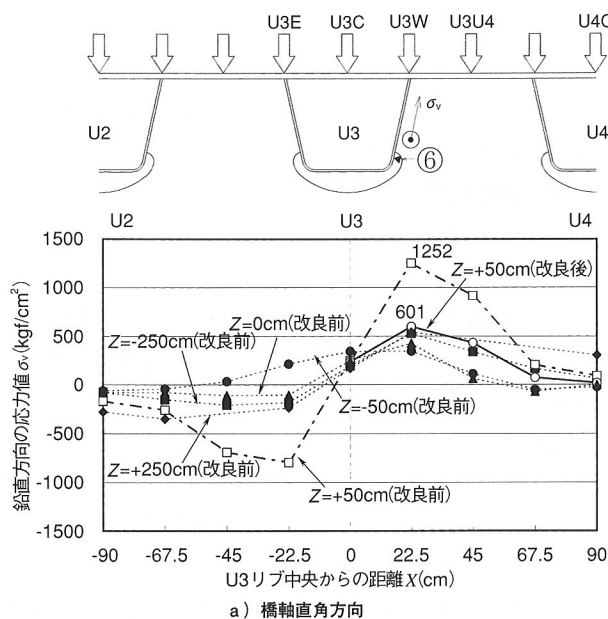


b) Uリブ断面

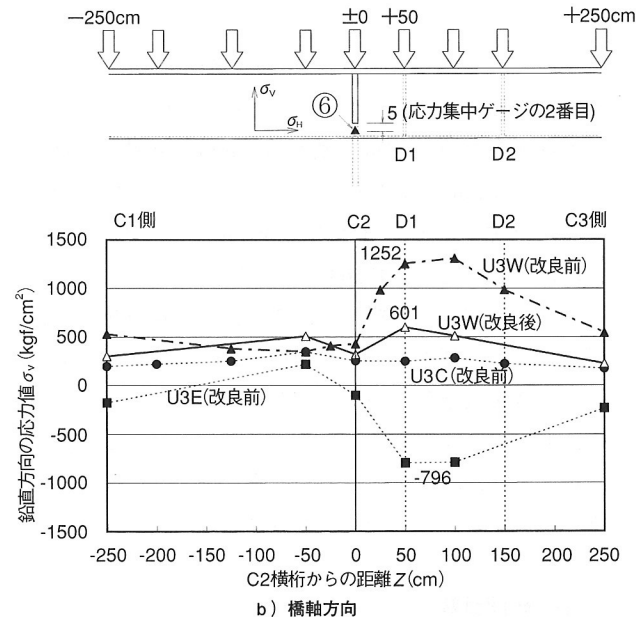


c) スリット形状

図6 試験体



a) 橋軸直角方向



b) 橋軸方向

図7 Uリブ側の σ_v の影響線

板を介し、ジャーナルジャッキを用いて行った。

なお本報告では、U3リブとC2横桁が交差する部位に設けられたスリット部のまわし溶接Uリブ側止端部に貼付したひずみゲージ(応力集中ゲージ;ゲージ長1mm×5素子)の測定値(図7中⑥;止端から5mm)のみ、鉛直方向応力 σ_v として整理する。

(2) 静的荷重試験

荷重を橋軸方向と橋軸直角方向に多点荷重させる静的荷重試験を実施した。その代表的な測定結果を σ_v の影響線として図7(図中の改良前)に示す。橋軸方向の影響線は、密閉ダイヤフラム(D1)近傍のときを除いて、およそ-500~+500 kgf/cm²の範囲内に収まっており、大きな差異は認められない。また、橋軸方向の影響線を比較してみると、応力値はUリブの中央(U3C)荷重の際には

ほとんど変動しないが、Uリブ腹板直上(U3W)荷重において密閉ダイヤフラム近傍に達したとき、急激に大きくなるのがわかる。

なお、U3W荷重時の交差部の応力値を横桁側止端の最大主応力と σ_v と比較したところ、 σ_v は約1.6倍となることから、溶接ビード止端部は横桁側よりもUリブ側の方が厳しい状態にあるといえる。

(3) 繰返し荷重試験

静的荷重試験終了後、200万回の繰返し荷重試験(荷重面積200×500 mm×2カ所、荷重振幅28 tf、荷重間隔175 cm)を全4ケース行った。この結果、U2、U4リブの現場継手部直上に荷重するケースのとき、U2リブとC2横桁およびU4リブとC2横桁が交差するスリット部のまわし溶接Uリブ側止端から写真1に示すような疲労

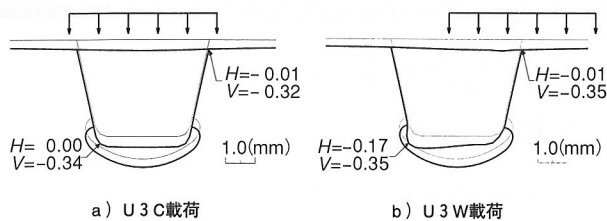
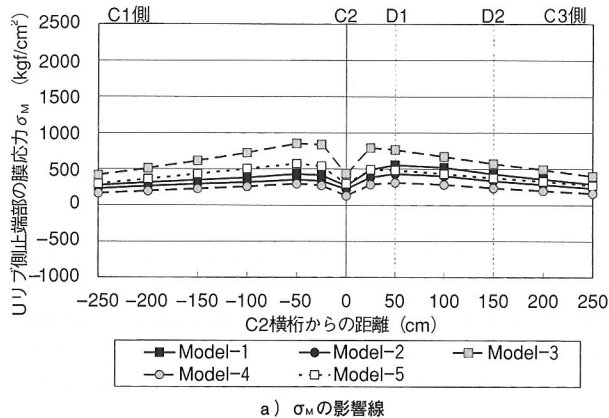
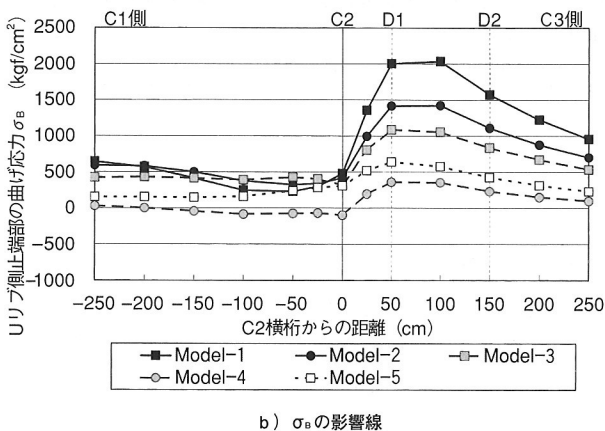


図10 交差部の変形挙動



a) σ_M の影響線



b) σ_B の影響線

図11 解析結果

は、単独で扱うよりも組み合わせることによってさらなる効果が期待できる。

5. まとめ

本研究の結果、得られた所見をまとめると以下のとおりである。

- ① FSM解析により検討した結果、現在提案している合理化構造は従来構造に比べ、たわみ量が3割程度増加するものの応力度を4割程度低減できることがわかった。またUリブの荷重分配は、ほぼ同程度である。
- ② 試設計した結果、鋼重は多少増加するものの、材片数や溶接延長を大幅に低減できることがわかった。
- ③ Uリブの密閉ダイヤ位置に荷重を偏載すると、まわし溶接部のUリブ腹板側止端に著しい応力集中が生じる。この応力集中は、Uリブ底板がスリット部で橋軸直角方向に変形するため、横桁で拘束される部位の腹板が面外方向に曲げられることに起因する。そのため、

繰返し荷重試験の結果、横桁側ではなくUリブ側に疲労亀裂が発生した。

- ④ 横桁腹板の面外曲げ応力は膜応力に比較して極めて小さな値であり、変位誘起は小さいと考えられる。
- ⑤ 実験によりUリブ内にダイヤフラムを設置して応力の低減効果を確認した結果、まわし溶接部のUリブ腹板側止端で約半分に、また横桁側腹板で約4割に低減できることがわかった。
- ⑥ Uリブ内にダイヤフラムを設置する方法は、Uリブ貫通による横桁腹板の断面欠損を少なくでき、横桁のせん断変形を軽減できるため、付加応力が少なくなるものと考えられる。しかし、継手は疲労強度の低いリブ十字継手となるとともに、製作上、設置精度の確保やその確認が困難であることから、さらに検討が必要である。
- ⑦ Uリブ底板と横桁を接合する方法は、Uリブ貫通による横桁腹板の断面欠損や横桁のせん断変形に対して検討が必要である。また、この接合部のルートギャップの管理が難しく、底板側のスリットに疲労亀裂が生じるとの報告があることから、別途検討が必要である。

6. あとがき

本研究では、合理化鋼床版のUリブと横桁が交差する部位に設けられたスリット周りの局部応力の発生メカニズムを荷重試験とFEM解析によって明らかにするとともに、その局部応力の低減方法を提案した。しかし、継手の疲労強度や製作性については今後の課題としており、さらに研究を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 三木千壽・館石和雄・奥川淳志・藤井裕司：鋼床版縦リブ・横リブ交差部の局部応力と疲労強度,土木学会論文集, No.519/I-32, pp.127~137, 1995.7.
- 2) 多田宏行：鋼床版舗装の設計と施工, 鹿島出版会, 1990年3月.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 平成8年12月.
- 4) 日本鋼構造協会標準化委員会・Uリブ規格作成小委員会：鋼床版用U形鋼のJSS規格, 橋梁と基礎, Vol.14, No.7, pp.16~24, 1980.7.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 平成2年2月.
- 6) 小笠原照夫・町田文孝・伊藤博章：鋼床版の厚板化による疲労強度の向上と合理化の検討,土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, I-A372, pp.744~745, 1995.9.
- 7) 国広昌史・迫田治行・公江茂樹・仁瓶寛太：閉断面縦リブを有する鋼床版の疲労実験, 川崎重工技報, 92号, pp.78~86, 1986.4.