

I-103

板縦リブ鋼床版桁橋の横桁交差部応力分布の検討

北見工業大学 ○学生員 藤田 真仁
 北見工業大学 正会員 三上 修一
 (株)日本製鋼所 正会員 佐藤 和則

北見工業大学 フェロー会員 大島 俊之
 北見工業大学 正会員 山崎 智之
 (株)日本製鋼所 正会員 小枝 日出夫

1. まえがき

鋼床版は重量が鉄筋コンクリート床版と比べ約 $1/2 \sim 1/3$ と軽量であり、死荷重の影響が少ないことから、都市の高架橋、吊橋や斜張橋の支間の長大化に伴って多く用いられるようになってきた。しかし、鋼床版は比較的薄い鋼版を用いて溶接により組み立てた複雑な構造のため溶接による欠陥や残留応力等が生じる可能性が高い。また、自動車荷重を直接支える構造となっているため、自動車の走行に伴う長期間の繰り返し荷重による応力が発生し、疲労損傷が生じやすい。近年橋梁の研究・開発は建設事業の建設費抑制の傾向に伴い、橋梁の合理化・省力化が目指されており、従来の橋梁形式の多主桁構造に比べ、桁を二主桁として構造を単純化・省力化した合理化橋が開発されている。この合理化橋は以前の報告で従来橋よりも製作コストが低いとされている¹⁾。しかし、二主桁構造は部材の断面を大きくして強度を保とうとしても局部的な応力集中は避けられないと考えられる。特に疲労損傷が多数報告されている縦リブ・横リブ交差部は複雑な応力状態となると予測されるため、この部分の応力状態を明らかにする必要がある。鋼床版の縦リブ・横リブ交差部の局部応力について大型試験体(閉断面縦リブ・フランジ厚 16mm)での実験及び解析的な研究も行われており²⁾、この結果では縦リブ・横リブ交差部の疲労に対しては、横リブの面外変形よりも面内変形の影響の方が大きく、その影響を特に大きく受ける上側スカラップ周辺が弱点であることが示されている。そこで本稿では板縦リブ鋼床版桁橋の横桁交差部に着目し、自動車荷重によるスカラップ周辺の応力分布解析を行い、横桁交差部の局部的な応力状態を明らかにすることを目的とし、応力の分散化に適したスカラップのディテールについて検討した。また、板縦リブ鋼床版桁橋上の舗装の亀裂防止について舗装のヤング率、応力緩和層の有無、上側スカラップの有無をパラメータとして検討を行った。

2. 交差部スカラップ周辺の応力分布解析

2. 1 解析概要

板縦リブ鋼床版桁橋の横桁交差部のスカラップ形状の異なるモデルによるスカラップ周辺の応力分布を汎用構造解析プログラム「MARC」を使用して解析を行った。解析に用いた橋梁形状は合理化鋼床版桁橋の製作コストの面で有利とされている断面形状を解析モデルとして用いた。比較するスカラップ形状はJ型スカラップ、O型スカラップ、また比較のためスカラップ省略型についてそれぞれ比較検討し、各々のモデルの応力集中箇所を明らかにすることを目的とした。

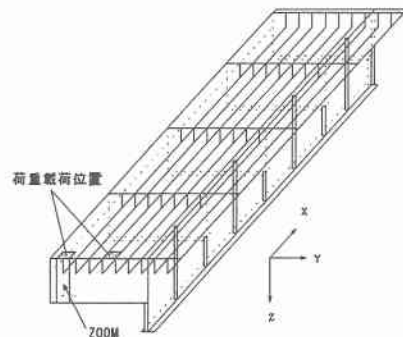


図1 全体解析モデル

Study on Stress Distribution of the Joint around Transverse and Longitudinal Ribs intersection of Steel Deck Bridge
 By Masahito FUJITA, Toshiyuki OSHIMA, Syuichi MIKAMI, Tomoyuki YAMAZAKI, Kazunori SATOH, Hideo KOEDA

2. 2 解析方法

解析に用いたモデルは4辺形厚肉シェル要素を使用し、橋全体の1/4サイズのモデル(図1全体解析モデル)とした。この要素タイプは1節点につき6自由度である。荷重はB活荷重を適用し、道路橋示方書³⁾の通りT活荷重(載荷面200×500mmに10tf)を2カ所に載荷した。そして、局所的な応力分布状態を明確にするため、荷重が載荷されている主桁間中央から2番目の交差部に着目し、この部分を切り取ったモデル(図2ズーム解析モデル)を作成してスカラップの解析を行った。このモデルは全体解析モデルで得られた節点変位を切り取り部に境界条件として与えたものである。表1に解析の設計詳細を示す。図3にスカラップ形状を示す。

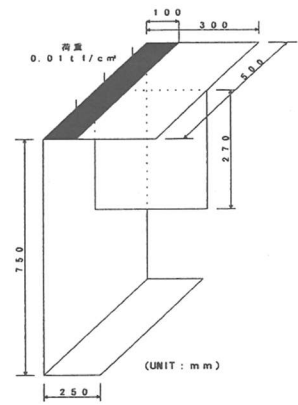


図2 ズーム解析モデル

表1 設計詳細

橋梁形式	単純鋼床版桁橋	デッキ厚	20 mm
支間長	30.0m	主桁本数	2 本
橋員構成	総幅員 9.7m	主桁間隔	7.7 m
	車道幅員 8.5m	主桁腹板高	1600 mm
	幹線道路	主桁腹板厚	13 mm
	地域区分 D	横リブ間隔	4000 mm
設計活荷重	B 活荷重	縦リブ間隔	500 mm

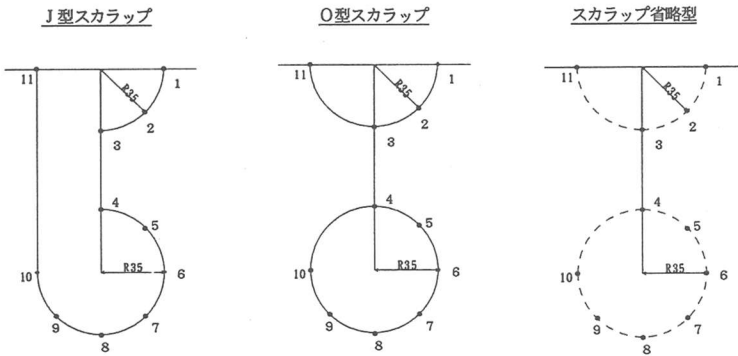


図3 スカラップ形状

2. 3 解析結果と考察

図4に各スカラップ形状の解析結果を示す。応力の最大値はそれぞれ、J型スカラップは611kgf/cm²(引張)・650kgf/cm²(圧縮)、O型スカラップは543kgf/cm²(引張)・404kgf/cm²(圧縮)、スカラップ省略型は171kgf/cm²(引張)・177kgf/cm²(圧縮)となった。J型とO型を比較すると、圧縮・引張応力ともにJ型スカラップの方が大きくなっているが、この原因として、O型スカラップは縦リブが横リブと両側を接合されているので横リブとの拘束力が強まり、その分だけスカラップの変形を抑えていると考えられる。

次に図5にスカラップ周辺の応力値を示す。この図の横軸の数字は図3の1～11の数字と対応している。

荷重載荷後のスカラップは下側スカラップが鉛直方向に潰れた楕円形のような形状に変形しているため、応力集中箇所はJ型スカラップが点8で引張、点6で圧縮応力となり、O型スカラップでは点4・点8で引張、点6・点10で圧縮応力となった。また、スカラップ省略型では他の2タイプに比べ全体的に応力が低くなっており、応力分布を見ても特に大きな応力集中箇所は見られない。このことからスカラップを設けるとスカラップ周辺で局所的な変形が生じ、また応力の流れが阻害されることなどから局所的な応力集中が発生する。

また、縦リブ・横リブ交差部の下側（点4付近）の縦リブ方向の変位は他の溶接部に比べ変位量が大きくなっており、横リブが縦リブによる面外変形を生じていることも分かった。したがって、面内変形と面外変形の影響を受けるこの溶接部は他の溶接部と比較すると疲労損傷の発生率が高いと考えられる。

これらの結果からスカラップを省略することにより交差部の応力集中を避け、横リブの応力を低減できることが言える。しかし、スカラップを省略するのは施工上困難であり、また以前の報告⁴⁾によると鋼床版における疲労損傷の大部分は各部材間の溶接部に集中しているとされている。そのため、スカラップを省略すると横リブの応力は低減できるが溶接延長が増加することによって、部材の交差部では溶接ひずみによる疲労損傷が生じると考えられる。したがって、スカラップを使用することによって施工性を向上し、溶接延長を短くするのが最も良い構造となり、かつ応力集中箇所の応力を低く抑える形状として有効であるといえる。これらの条件に適しているのはJ型スカラップよりもO型スカラップの方であると言える。（応力の最大値がO型スカラップの方が多少低い値を示している為）

ただし、今回の解析では溶接ビード、溶接の溶け込み及び溶接残留応力の影響は考慮していないため、さらに溶接による交差部の詳細な応力状態を検討しなければならない。

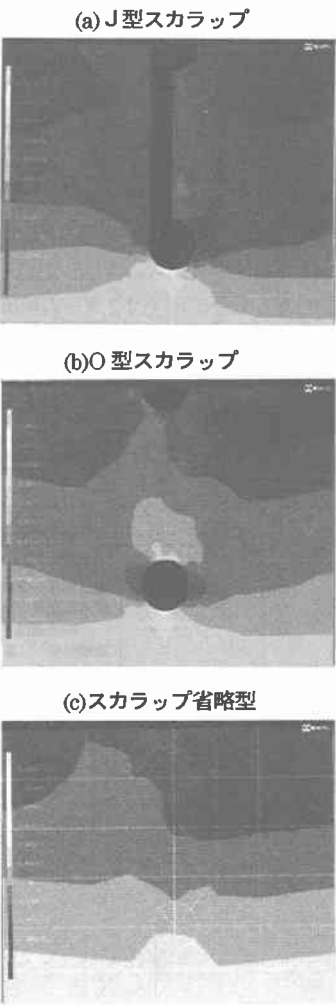


図4 最大主応力分布

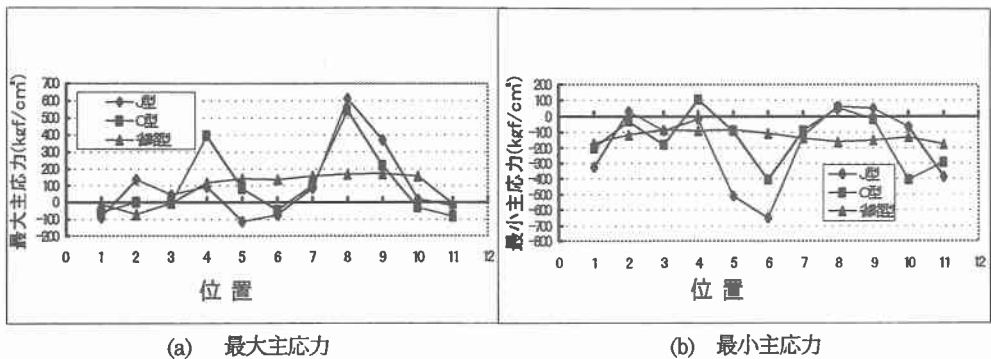


図5 スカラップ周辺の応力値

3. 板縦リブ鋼床版桁橋上の舗装亀裂防止の効果について

3. 1 解析概要

合理化鋼床版桁橋における舗装の影響について、舗装1層のみの場合と応力緩和層（ヤング率（ 5000kgf/cm^2 ）を取り入れた場合とを比較することにより舗装亀裂防止の効果について検討した。そして、スカラップ形状はJ型スカラップで一般に用いられている形状（上スカラップ有型）と改良案として提案された形状⁵⁾（上スカラップ無型）について解析を行った。また、舗装のヤング率は、 $10,000\text{kgf/cm}^2$ 、 $30,000\text{kgf/cm}^2$ 、 $50,000\text{kgf/cm}^2$ の3つの場合について解析を行った。

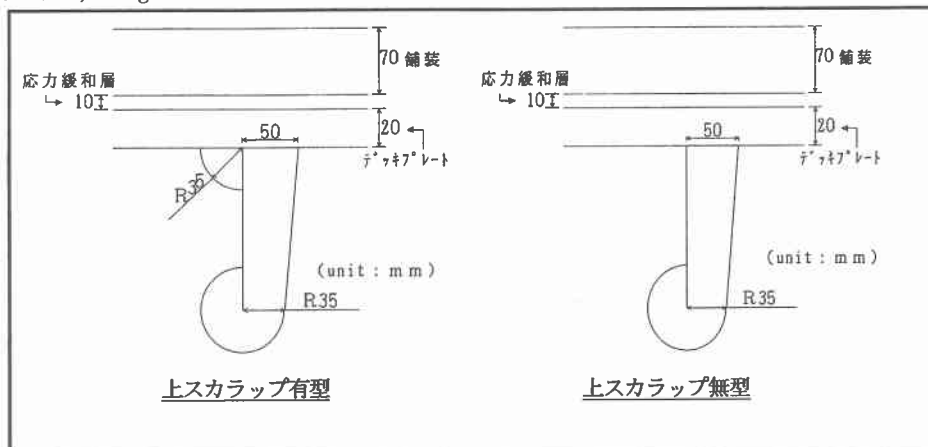


図6 解析モデル詳細

3. 2 解析方法

解析は前述と同様に行い、舗装部分は立体要素により作成した。そして、応力緩和層の有無、舗装のヤング率の変化による比較、上スカラップの有無による比較について解析を行い、舗装亀裂に関しては舗装表面の横断方向ひずみを調べることで検討した。図6に解析モデル詳細を示す。

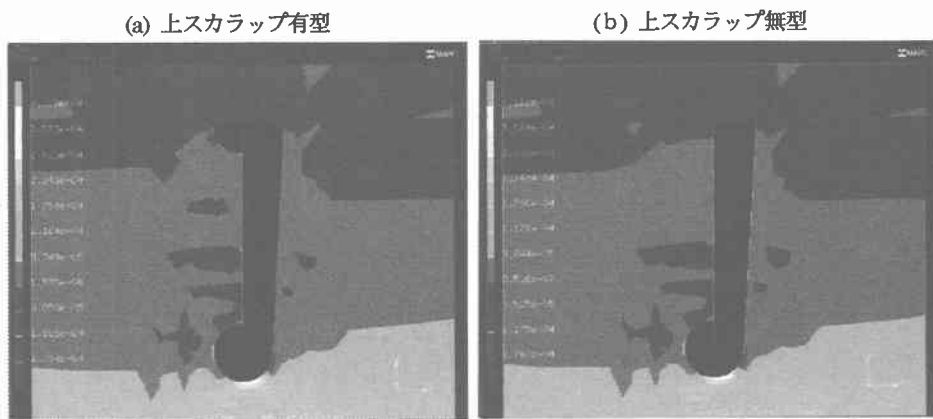
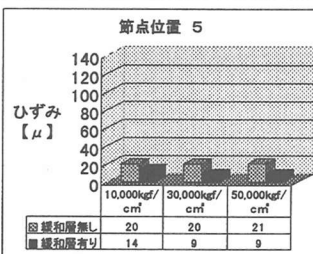
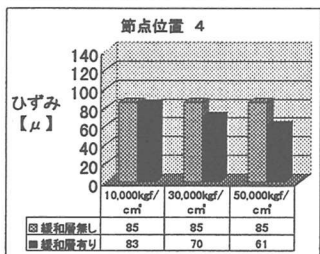
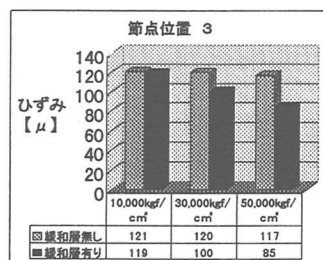
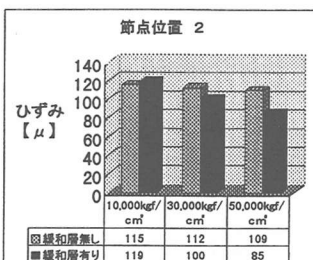
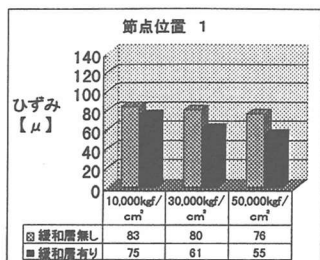
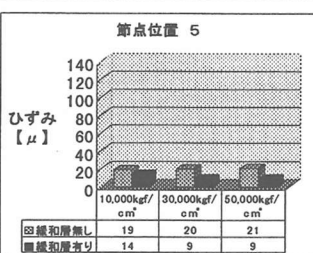
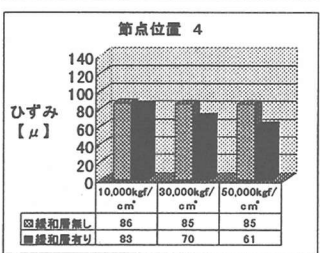
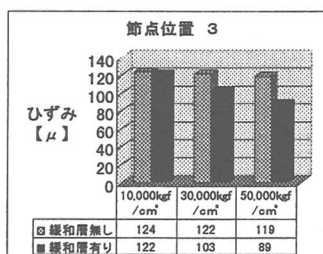
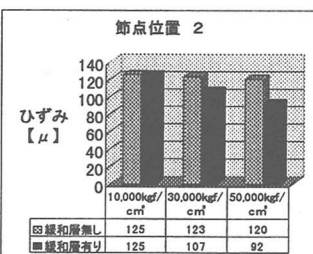
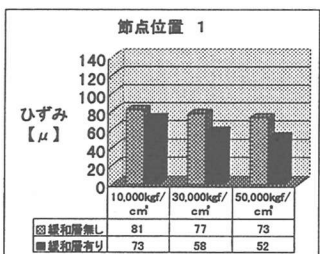


図7 横断方向ひずみ分布図



(a) 【上スカラップ無型】

節点位置による
ひずみの比較



(b) 【上スカラップ有型】

節点位置による
ひずみの比較

図8 舗装表面の横断方向ひずみ (ズーム解析モデル)

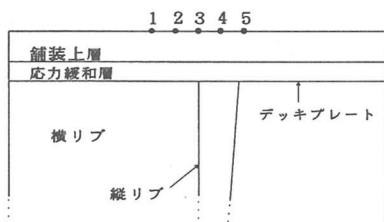


図9 舗装表面の節点位置

3. 3 解析結果と考察

図7に横断方向ひずみ分布図を示す。分布図を見るとスカラップ下側で大きな引張ひずみが生じており、舗装部では圧縮ひずみが生じていることがわかる。そして、図8(a)に上スカラップ無型、図8(b)に上スカラップ有型の節点位置による横断方向ひずみの比較したグラフを示す。グラフの節点位置はそれぞれ図9の数字1～5に対応している。まず、節点位置による横断方向ひずみを比較してみると、節点位置3が大きな値となっており、節点位置3から離れるに従ってひずみの値が小さくなる傾向となっている。これは、荷重が載荷された時に縦リブが鉛直下方へ下がるような変形となり、縦リブ・横リブ直上に位置している節点位置3の圧縮ひずみが大きくなっていると考えられる。次に、応力緩和層の有無の比較をヤング率別に見ると、応力緩和層が無い場合は、ヤング率が変化してもひずみの値はあまり変化がない。しかし、応力緩和層が有る場合は、ヤング率が増加するとひずみが減少していく傾向となり、さらに応力緩和層が無い場合と比較するとひずみが減少しているのがはっきりわかり、最大27%ひずみが減少している。

これにより、スカラップ(縦リブ・横リブ交差部)上部の舗装において応力緩和層の効果が表れていることがわかる。また、上スカラップの有無による比較の結果ではあまり差はないが、上スカラップが無い形状の方が多少ひずみが小さくなっているため、舗装のひずみを低減させるディティールとしては上スカラップが無い方が有効であると考えられる。したがって、今回の解析により、舗装部に応力緩和層を取り入れて、板リブの場合は上スカラップを省略することにより舗装の縦亀裂防止に対して有効であることがいえる。しかし、実際の舗装は粘弾性体であり、温度や走行速度によってその弾性率は大きく変化する⁶⁾。そのため、今回の解析に舗装温度と走行速度を含めた荷重移動を考慮した動的解析が必要となる。

4. まとめ

本稿では板縦リブ鋼床版橋の横桁交差部の自動車荷重によるスカラップ周辺の応力分布解析を行い、スカラップ形状の違いによる横桁交差部の応力分布を明らかにするとともに、鋼床版橋上の舗装の縦亀裂防止効果について検討した。その結果、スカラップ形状の違いによる横桁交差部の応力分布についてはスカラップ下側で引張応力が大きくなり、交差部周辺では複雑な応力状態となっていることが分かった。また、スカラップを省略した形状では応力集中は生じないが、施工上困難なうえに溶接延長が増加することになる。したがって、施工性・応力状態を考慮した結果O型スカラップが有効であると考えられる。また、鋼床版上の舗装に関しては応力緩和層の有無による比較により1層舗装の時よりも応力緩和層を用いることにより、横断方向ひずみを減少させる効果が有ることが分かった。このことから、板縦リブ鋼床版橋上の舗装は応力緩和層を用いることによってひずみによる縦亀裂防止の効果があるといえる。

今後は今回の解析に含まなかった横桁交差部の溶接残留応力による交差部の応力変動の解析を行い、溶接部の局部応力と自動車荷重の及ぼす影響を検討するとともに、舗装温度や荷重移動を含めた舗装の動的解析を行うことによって本稿の結果を確認する必要がある。

本研究を行うにあたりましては日本製鋼所室蘭研究所の村井正光氏、熱海明彦氏には多大なるご協力、助言を頂きました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 大島、山崎、熱海、小枝、佐藤：合理化に対応した鋼床版構造の提案、鋼構造年次論文報告集 1997.11
- 2) 三木、館石、奥川、藤井：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 1995.7
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1980
- 4) 土木学会：鋼床版の疲労、鋼構造シリーズ4、1990.9
- 5) 鋼橋技術研究会・施工部会報告書：スカラップ構造に関する研究、1998.7
- 6) 天野、森吉、鏡、笠原：アスファルト舗装の熱応力と変形の粘弾性解析、土木学会論文集 1997.5