

I-83

合理化鋼床版におけるUリブ・横桁交差部の局部応力解析

北見工業大学	○学生員	藤田 真仁	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	三上 修一	北見工業大学	正会員	山崎 智之
(株)日本製鋼所	正会員	熱海 明彦	(株)日本製鋼所	正会員	小枝 日出夫

1. まえがき

鋼床版は死荷重が小さく短期施工も可能であり、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。工場製作による品質管理が容易であることや架設期間が短い等の長所もあり、また、高架橋の耐震性向上を目的とした上部工の軽量化に対しても有効とされている。なかでもデッキプレート厚の厚板化とUリブの大型化などにより構造を簡略化して、部材数ならびに溶接延長の低減を図り、施工の合理化を目的とした合理化鋼床版桁橋が注目されている。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、車両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疲労損傷が生じやすい。特に鋼床版の縦リブと横リブの交差部は、縦リブが横リブを貫通するためスカラップが設けられるなど構造的に複雑となり、この交差部に生じる応力も複雑であり局部的な応力集中に起因する疲労損傷の事例も多数報告されている。そこで本研究では合理化鋼床版桁橋の全体的な挙動を把握し、Uリブと交差している横桁スカラップ近傍に生じるR部の応力集中の抑制、Uリブ・横桁交差部の溶接止端部の局部応力について解析を行い比較検討する。

2. 合理化鋼床版桁橋の全体解析

2-1 解析概要

本研究では図1のような合理化鋼床版桁橋を解析対象として、このモデルにおける応力の全体挙動を有限要素解析（汎用構造プログラム MARC を使用）によって検討した。解析モデルは4辺形厚肉シェル要素を使用し、計算作業の効率化を図るために全体形状の1/2サイズをモデル化した。縦リブは図3のUリブ形状とし、デッキプレート厚は19mmとした。載荷荷重はT荷重（200×500mm, 10tf）を図2のように支間中央の横桁上に載荷した状態で解析を行った。主桁間中央の境界部分には左右対称となるように境界条件を設定した。なお、この全体解析では横桁スカラップは考慮していない。

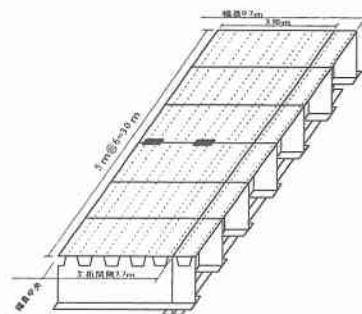


図1 解析モデル全体図

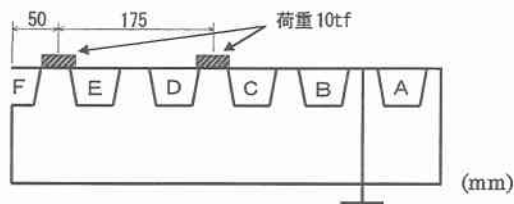


図2 荷重載荷位置



図3 Uリブ断面図

Local Stress Analysis for U-ribs to Cross Beam Joint in Rationalized Steel Floor Deck

By Masahito FUJITA, Toshiyuki OSHIMA, Syuichi MIKAMI, Tomoyuki YAMAZAKI, Akihiko ATSUMI, Hideo KOEDA

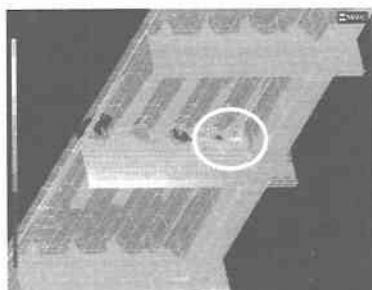


図4 支間中央横桁付近応力図

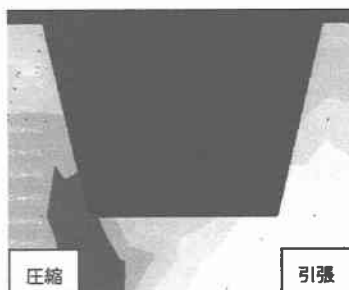


図5 UリブB付近応力図

2-2 解析結果

解析結果は図4（図1モデル裏側斜め方向から見た図）のようになり、荷重が載荷している支間中央横桁付近の応力が大きくなり、特に図2のリブBの下側で応力集中が生じており（図5）、応力値はそれぞれ最大引張応力 25.1MPa、最大圧縮応力 11.1MPa となった。これらの結果からリブBに着目して横桁内のスカラップの詳細な解析を行うこととする。

3.ズームモデルによるスカラップ形状の検討

3-1 解析概要

スカラップ形状の検討を行うため、図6のように着目するリブB付近を切り取った形状のモデルを作成し、さらに要素を微細にしてスカラップも考慮した形状のズーム解析モデルを作成した。局所的な解析を行うため、ズーム解析として全体解析で得られた節点変位を境界条件として、ズームモデルの切り取り部に与えて解析を行い、全体解析と同じ挙動となるように解析を行った。スカラップ形状は図7のA-typeの本州四国連絡橋以後多く用いられている形状を基準とし、応力集中の緩和が期待できるとされているB-typeの形状と、さらに応力集中の緩和を目的とした形状のC-type、D-typeについて比較を行った。

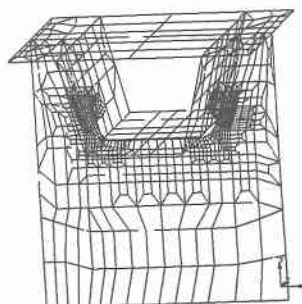


図6 ズーム解析モデル

3-2 解析結果

図8に4タイプの解析結果を示す。A-typeの結果を見るとスカラップ右下で引張応力集中が生じ、左下で圧縮応力集中が生じていた。これはスカラップの下側の直線部と曲線部の継ぎ目で応力集中が生じており、この部分での応力集中を緩和させるため下側を曲線にし、両側の曲線部は半径を大きくして継ぎ目を滑らかにしたB-typeで解析を行った。結果はA-typeよりも応力値は増加しているが、これは両側の曲線部の半径が小さすぎたためと考えられC-typeのように曲線部を50Rに変更して解析を行った。その結果A-type、B-typeよりも応力値は低減され、さらに応力集中を緩和させるために二つの曲線間に85Rの曲線を挿入して解析を行った。その結果応力値はA-typeと比べると約2割程度減少させることができた。これらのことからD-typeのように曲線を複数用いて滑らかに繋ぎ合わせた形状が応力集中を抑制できる形状であることが確認された。

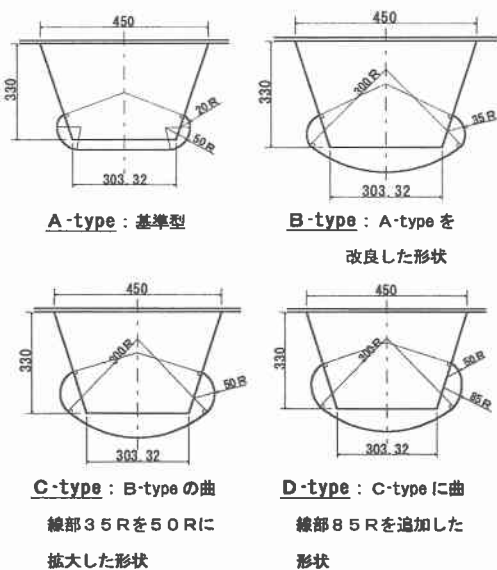


図7 スカラップ形状

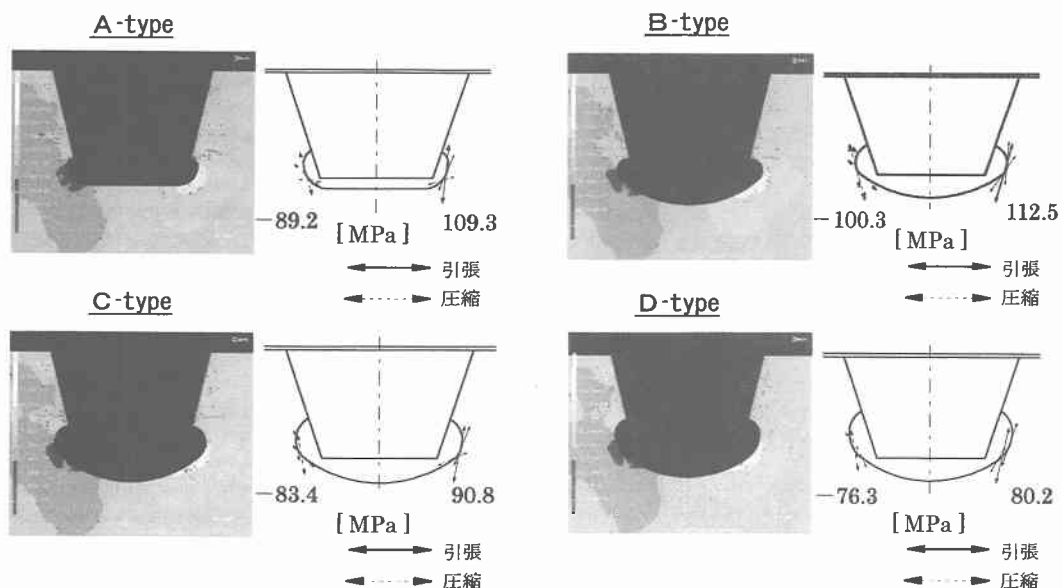


図8 解析結果（図中の数字は最大主応力値を示す）

4. まわし溶接止端部の局部応力の検討

4-1 解析概要

まわし溶接止端部では横桁スカラップと同様に多数の損傷事例が報告されており、図6のズーム解析モデルを立体化して溶接ビードも考慮した形状のズーム立体モデルを用いてまわし溶接止端部の応力状態の検討を行った。溶接部は脚長6mmとしてモデル化し、溶接順序や表面の凹凸は考慮していない。解析方法はまず荷重位置を図10のcase1～case4のように载荷した状態を全体解析モデルで計算し、その節点変位を用いて図9のズーム立体モデルの解析を行い、本研究で着目しているリブBの溶接止端部の局所的な解析を行った。

4-2 解析結果

荷重位置をcase1～case4に载荷した時のリブBの溶接止端部の解析結果を図13に示す。主応力、橋軸直角方向、鉛直方向は溶接止端部の値を示し、比較のためR部の主応力も示した。

解析結果はスカラップの主桁側の溶接止端部で引張応力集中が生じており、その反対側の止端部では圧縮応力集中が生じていた。図11に溶接止端部付近の応力分布図を示す。

この図から横桁とUリブが交差しているビード部分の下側で

応力集中が生じており、特にUリブ側の止端部で引張応力集中状態となっている。これまでUリブの実物大疲労試験が行われた研究報告等によるとこの部分での疲労亀裂はUリブ側止端部を起点とし、リブの板幅方向へ亀裂が進展するとされており、この結果からも引張応力集中が生じているUリブ側止端部から亀裂発生位置の予測ができると考えられる。図12のように止端部の鉛直方向引張応力、橋軸直角方向引張応力、主応力のベクトル図をみると主応力方向ベクトルがUリブ腹板の傾き方向に近いことから、この方向に応力が集中するとUリブ側止端部からUリブの板幅方向に亀裂が発生すると考えられる。

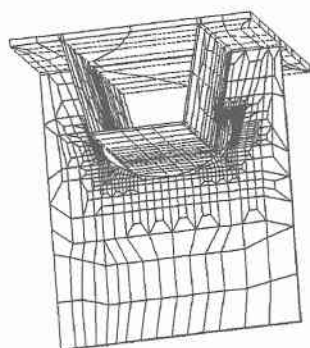


図9 ズーム立体解析モデル

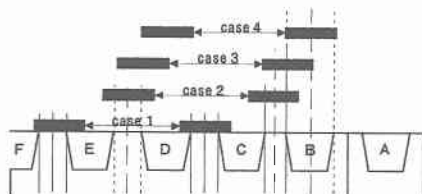


図10 荷重載荷位置

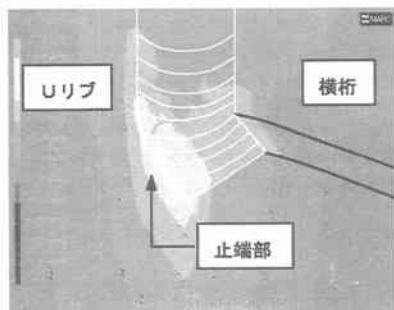


図 11 溶接止端部の引張応力分布

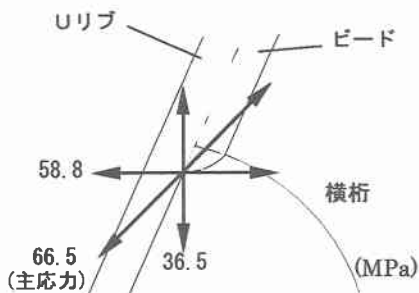


図 12 応力ベクトル図（止端部断面）

荷重位置別に比較すると溶接止端部では case3 の位置で各応力が最大となり、これは case3 ではリブ B の左側腹板上に荷重が載荷されているため、主桁側 U リブ止端部を起点にして U リブ腹板が橋軸直角方向曲げ挙動を示していると考えられる。

また、鋼床版では活荷重応力の占める割合が大きく、自動車の走行によって生じる繰返し応力度も大きいので、U リブ・横桁交差部の溶接止端部においては U リブ腹板の橋軸直角方向曲げ挙動の他に橋軸方向の荷重移動による横桁の面外曲げ挙動の影響も考えられる。そして、本稿ではスカラップの R 部で引張応力が最大となったリブ B に着目して解析を行ったが、合理化鋼床版桁橋は二主桁となっていることから主桁間中央付近の U リブ止端部でも橋軸直角方向の荷重位置がリブの右側にある時と左側にある時とでは同じ箇所でも圧縮・引張が入れ替わることから、繰返し荷重下では疲労亀裂の発生する確率が高くなると考えられるので今後検討する必要がある。

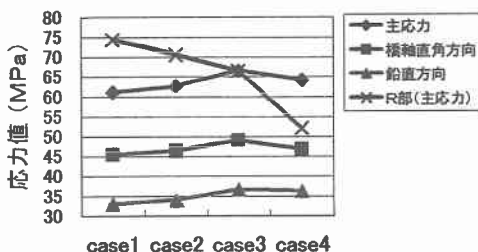


図 13 荷重位置別による比較結果（引張応力）

5. まとめ

本研究では合理化鋼床版桁橋の U リブ・横桁交差部に着目し、横桁スカラップ形状特性、溶接止端部の局部応力の検討を行った。スカラップ形状の比較を行った結果は曲率変化部に複数の曲線を組み合わせて滑らかにすることにより、応力集中を抑制できる効果があることが確認された。また、主桁直近の溶接止端部では U リブ側で引張応力集中が生じており、荷重が U リブ腹板上に載荷した時に橋軸直角方向曲げ挙動が示され、これが亀裂発生の原因になると考えられる。溶接部では溶接残留応力が存在していることから、今後の課題として残留応力の影響も含めた荷重載荷状態における溶接止端部の検討をする必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたりまして㈸日本製鋼所室蘭研究所の村井正光氏、佐藤和則氏には多大なる御協力、御助言を頂きました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- ・大阪大学溶接工学研究所、株式会社日本製鋼所：鋼床版の実物大部分模型による疲労試験とその解析、1990.7
- ・勝俣、小笠原、町田、吉家、川瀬、瀧江：合理化鋼床版構造に関する研究、川田技報、1999.1
- ・接合・溶接技術 Q&A1000 編集委員会：接合・溶接技術 Q&A1000、1999.8
- ・日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、指針・解説/設計例/資料編、1993.4
- ・日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I・II、1996.12
- ・土木学会鋼構造委員会：鋼構造シリーズ 4、鋼床版の疲労、1990.9