

## 閉断面リブ溶接部における圧縮応力下の疲労挙動および ENS の適用性

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○神山 大介 山内 一広 正会員 穴見 健吾  
MK エンジニアリング株式会社 正会員 竹渕 敏郎

## 1. はじめに

鋼床版のデッキプレート（以下、デッキ）と閉断面リブ溶接部に発生するき裂は重交通路線で多数報告されている。当該部位は輪荷重による高い圧縮の応力が作用することでき裂が発生するが、輪荷重によるデッキの局所的な変形によって引き起こされる疲労現象であり、応力による疲労照査法は確立されていない。そこで本研究では ENS 法を用いた当該部位の疲労強度の評価法を検討するため、交差部模擬試験体（デッキ厚 12mm）を用いて、引張または圧縮応力下で疲労試験を行った。

## 2. 疲労試験概要

本研究で用いた U リブと横リブの交差部を模擬した試験体の寸法とひずみゲージ位置を図 1 に示す。閉断面リブ溶接部同様、溶け込み量は 75%以上とした。試験は板曲げ振動疲労試験機による繰り返し曲げ载荷で行い、自由端側にコイルばねによる予荷重を調整することで引張、圧縮応力下の疲労試験を行っている。図 2 に試験体をモデル化した解析モデルと境界条件を示す。モデルは 1/2 モデルであり、支持架台側 240mm までを全面固定、自由端側の端部にフエース荷重をかけている。図には溶接ルート部に仮想円孔を設けた場合のモデルも併せて示してある。ルート部における長手方向応力分布を図 3 に示す。横リブの拘束により交差部位置で応力が高く、この位置でき裂が発生する可能性が高い。中央ラインの長手方向応力分布を図 4 に示す。図には梁理論により求めた応力分布と実験値も併せて示している。リブ端部から 75mm ほど離れれば、応力集中の影響がほとんどなくなることが分かる。荷重を反転させ引張の場合も求めたが、分布に変化はなかった。よって公称応力は試験体中央における 75mm(⑤)と 110mm(⑧)のひずみゲージにより算出した値をルート部まで外挿し求めた。ルート部からき裂が発生した場合、目視により確認することは困難であるため、疲労試験中のひずみ範囲の変化を確認した。ひずみ範囲の変化の例を図 5 に示す。き裂の発生に伴い①のひずみ範囲は減少し、②③は増加する。その後、②③は減少しており、き裂がゲージ位置よりも進展していると推定される。このような確認を行い、十分なき裂が導入されたと判断した時点で試験を終了した。

## 3. 疲労試験結果

試験は圧縮応力下で 3 体、引張応力下で 2 体行った。引張のうち 1 体で試験中にひずみの波形が大きく乱れたため試験終了での整理は行っていない。写真 1 に疲労破面の例を示す。圧縮、引張の両試験体で交差部位

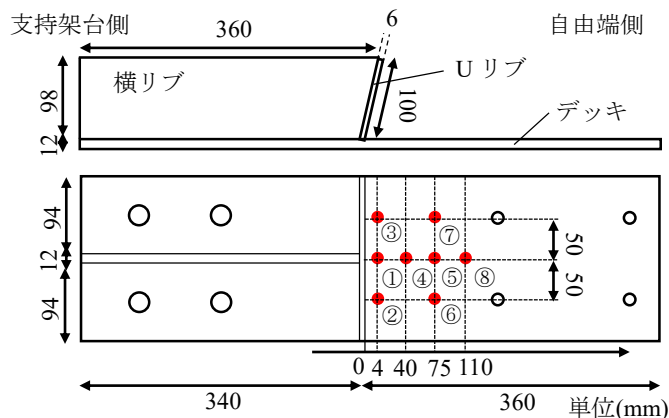


図 1 試験体寸法とひずみゲージ位置

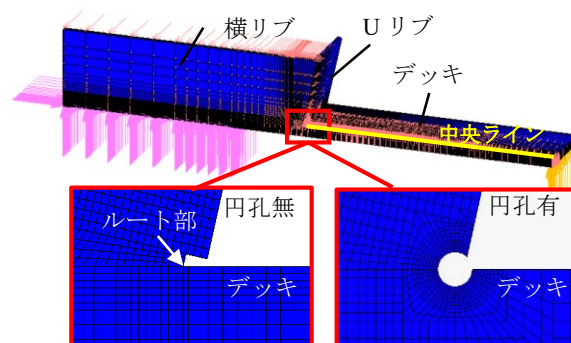


図 2 解析モデルと境界条件 (1/2 モデル)

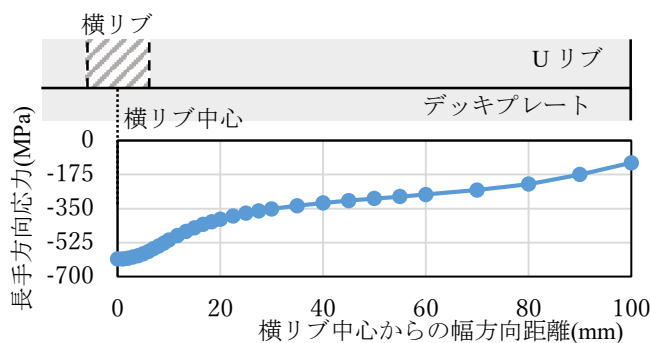


図 3 溶接ルート部の長手方向応力分布

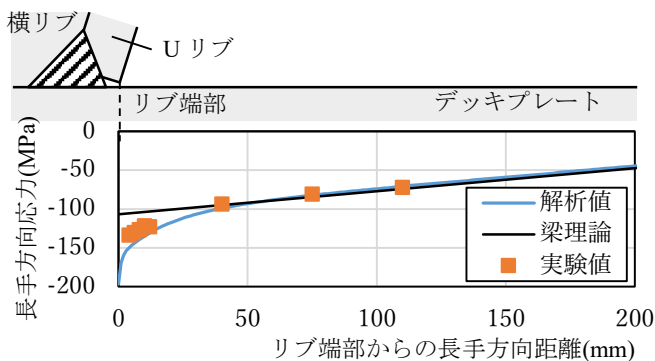


図 4 試験体中央ラインの長手方向応力分布

キーワード：疲労強度、圧縮応力、ENS 法

連絡先：東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 穴見健吾 TEL:03-5859-8352, anami@sic.shibaura-it.ac.jp

置の溶接ルート部から発生し、幅・板厚方向に大きく進展した。①のひずみゲージにより測定したひずみ範囲が5%減少した段階をNc、試験終了をNfとして、等価公称応力により整理した試験結果を図6に示す。図には過去に閉断面リブ溶接部の一般部を対象に4点曲げ疲労試験を行った結果も示している。4点曲げ試験の終了は上限荷重による変位が初期値よりも1mm程度大きくなった時点である。本研究曲げ引張では曲げ圧縮や一般部に比べ、疲労強度が低くなっている。Ncまでの载荷回数は引張に比べ圧縮で長くなっている。また、NcからNfまでの载荷回数は圧縮で短い傾向があるが試験体ごとにばらつきがあり、今後データを蓄積する必要がある。

#### 4. ENSで整理した際の各疲労試験結果との比較

図2に示すように曲率半径1mmの仮想円孔を溶接ルート部に接するように設け、円周上の最小の最小主応力もしくは、最大の最大主応力をENSとして、試験終了時で疲労試験結果を整理した。最小メッシュサイズは $0.12 \times 0.18 \times 1\text{mm}$ である。板曲げ試験では荷重が不明なため、試験終了時の等価公称応力範囲を用いてENS範囲を算出している。結果を図7に示す。図には図6の試験結果に加え、過去に荷重伝達型十字継手<sup>1)2)</sup>や鋼床版を模擬した実大試験体の輪荷重走行試験<sup>3)</sup>の結果も併せて示している。なお各結果は試験終了時で整理しているため破断に至っていない試験体もある。交差部と一般部の曲げ引張を比較すると、概ね同じ位置にプロットされている。また、ENS範囲で整理することにより、本研究で作成した継手試験体は実大鋼床版試験体と同程度の疲労強度となっていることが分かる。

図に示してある点線は、载荷方法と作用応力の正負により、A軸引張、B面外曲げ引張、C面外曲げ圧縮および実大鋼床版としてグループを分け、傾きを3と固定した回帰直線である。各グループの比較をすると、曲げ引張のグループBは軸引張のグループAのばらつきの上限付近にプロットされている。これは断面内の応力分布の差異が原因であると考えられる。一般に公称応力の疲労照査では面外曲げ応力範囲の疲労への影響は膜応力範囲の4/5倍とされている。AおよびBグループのばらつきの回帰直線から求めた200万回疲労強度はそれぞれグループAで346MPa、グループBで497MPaであり、その比は1.44程度であった。正負の面外曲げ载荷であるBおよびCグループを比較すると、圧縮载荷のCグループの疲労強度が引張载荷のBグループより大きくなっている。公称応力を用いた疲労照査では圧縮応力下の場合、補正係数 $C_R$ (1.3)を基本疲労強度に乗ずることにより疲労強度を求めてもよいとされているが、同様に200万回疲労強度を比較するとCグループは761MPaであり、Bグループの1.53倍であった。面外曲げの影響や作用応力の正負の影響については、ENS法においても公称応力と同様に扱える可能性があると言えるが、この点については今後更なるデータの蓄積が必要であると考えられる。

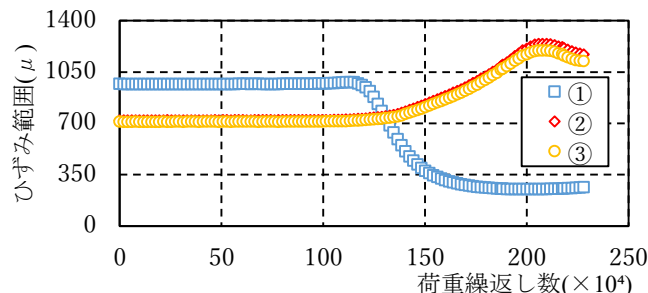


図5 ルート部付近のひずみ範囲の変化

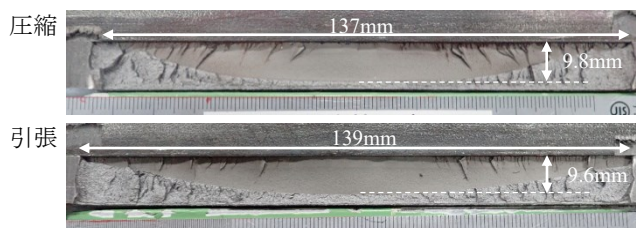


写真1 疲労破面の例

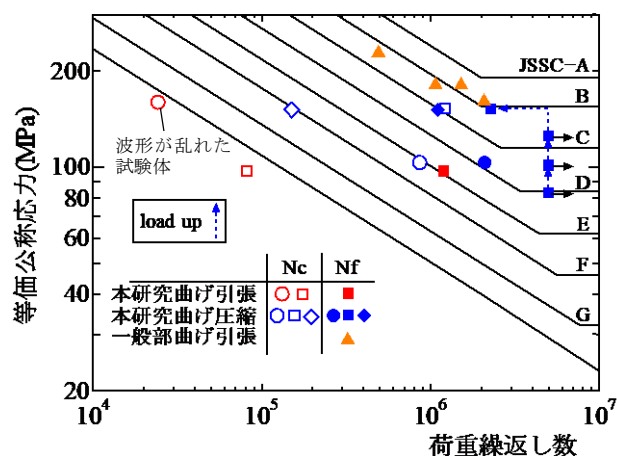


図6 公称応力により整理した疲労試験結果

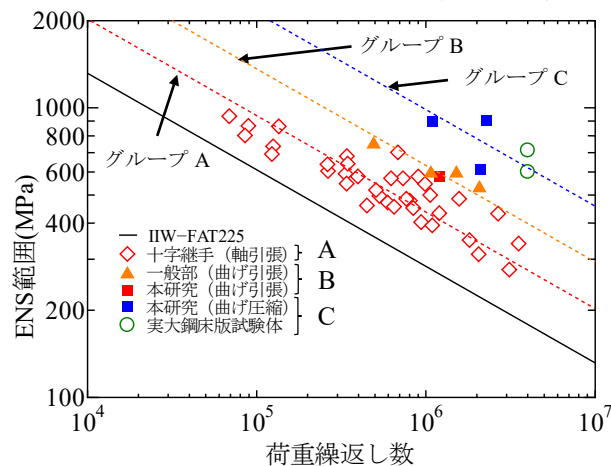


図7 ENSにより整理した疲労試験結果

#### 参考文献

- 1) 穴見健吾, 横田博之: 引張と曲げを受ける荷重伝達型十字継手の疲労挙動, 構造工学論文集, Vol.54A, pp695-702, 2008
- 2) 森猛, 明見正雄: 十字溶接継手ルート破壊の疲労強度評価に対する有効切欠き応力概念の適用性, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.1, pp188-195, 2009
- 3) 村越潤, 梁取直樹, 石澤俊希, 遠山直樹, 小菅匠: 鋼床版デッキプレート進展き裂に対するデッキプレート増厚の効果に関する検討, 鋼構造論文集, 第19巻, 第75号, pp55-65, 2012