

ルートの局所応力による U リブ・デッキプレート溶接継手の疲労強度評価

名古屋大学 正会員 ○清水 優, 正会員 判治 剛, フェロー会員 館石 和雄
法政大学 正会員 内田 大介, 法政大学大学院 学生会員 吉田 黎
高速道路総合技術研究所 正会員 服部 雅史

1. 目的

U リブ溶接部のルートを起点とした疲労き裂には、デッキプレートへ進展するき裂（以下、デッキ進展き裂）と、溶接ビードへ進展するき裂（以下、ビード進展き裂）があり、それぞれ異なる試験方法で疲労寿命の評価が行われている。これまでに、ルートに設けた仮想円弧上の応力（以下、ノッチ応力とする）による両き裂の疲労強度の評価や、ひずみの計測値からノッチ応力を推定する手法が構築されている¹⁾。本研究では、これまでに実施された疲労試験結果をノッチ応力により再整理し、デッキ進展き裂とビード進展き裂の統一的評価の可能性の検証、および疲労強度のばらつきについて検討を行った。

2. 対象とした疲労試験

これまでに、U リブとデッキプレートの溶接部のみを模擬した継手単位の疲労試験、横リブ交差部や、単体の U リブを部材単位で模した疲労試験、および実物規模のパネル単位での疲労試験が行われている。継手単位および部材単位の疲労試験について、図-1 に示すように、FEM による再現解析を行った。溶接ルート部は図-2 に示すように、デッキプレート、U リブ、溶接ビードに囲まれた三角形形状になるようにモデル化し、角になる部分には半径 0.2mm の仮想円弧を設け、曲率半径の 1/10 程度で要素分割を行った²⁾。仮想円弧上の最大主応力および最小主応力のうち絶対値が大きい方の応力を用いて試験結果を再整理した。パネル単位の疲労試験については再現解析が困難であるため、文献中で算出されているルート部の要素応力と、ノッチ応力の比をあらかじめ求め、それを要素応力に乗ずることによりノッチ応力を求めた。

3. ノッチ応力による疲労試験結果の整理

デッキ進展き裂とビード進展き裂の両方の疲労試験結果をノッチ応力範囲で整理した結果を図-3 に示す。凡例は表-1 に示しており、応力比により色分けしている。横軸はそれぞれの疲労試験において最も早期にき裂が検知された繰返し回数である。平均応力が圧縮 ($R < -1$, $R > 1$) となる文献 3)~6), 13), 14) の結果は、プロットが全体的に長寿命側に集中していることがわかる。図-4 は平均応力が圧縮となる試験結果に対して、応力比に関する補正係数 C_R で応力範囲を除して補正した結果である。応力比に関する補正係数は次式を用いた¹⁵⁾。

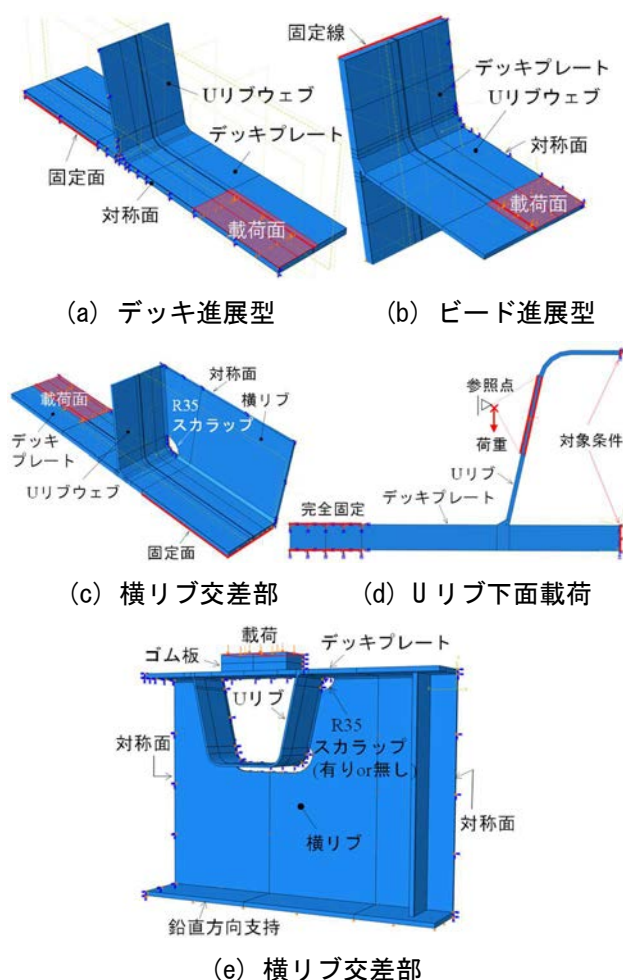


図-1 継手試験および部材試験の解析モデル

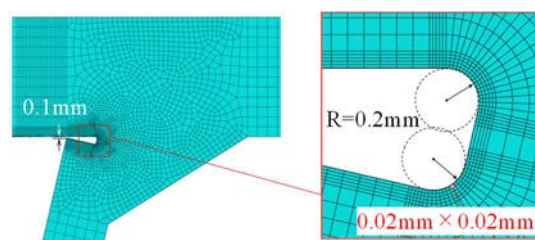


図-2 ルート部のモデル化

キーワード 鋼床版, ルートき裂, 疲労, 仮想円弧

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科 TEL052-789-4514

$$C_R = 1.3 \times (1 - R) / (1.6 - R) \tag{1}$$

ここで、 R は応力比である．最大応力，最小応力がともに圧縮である場合には $C_R = 1.3$ とする．文献 8) の輪荷重試験では応力比が不明なため，補正を行っていない．

図-4 より，応力比に関する補正を行うことで試験結果のばらつきは小さくなっており，デッキ進展き裂とビード進展き裂の両方の試験結果を傾き 3 の 1 本の曲線で表せることがわかる．

4. 疲労強度

疲労試験結果から，次式の関係を用いて 200 万回疲労強度を求めた ¹⁵⁾．

$$\Delta\sigma_{NS}^3 \cdot N = 2.0 \times 10^6 \cdot \Delta\sigma_f^3 \tag{2}$$

ここで， $\Delta\sigma_{NS}$ はノッチ応力範囲 [N/mm²]， N は疲労寿命 [cycle]， $\Delta\sigma_f$ は 200 万回疲労強度 [N/mm²] である．

応力比に関する補正後の 200 万回疲労強度の常用対数 $\log_{10} \Delta\sigma_f$ のヒストグラムを図-5 に示す．同図より，200 万回疲労強度の常用対数はほぼ正規分布となっていることがわかる．全試験結果の 200 万回疲労強度 $\Delta\sigma_f$ の平均値は 500.7 N/mm²，非破壊確率 97.7% の 200 万回疲労強度 $\Delta\sigma_f$ は 271.2 N/mm² であった．図-3，図-4 には各試験の終了時点でき裂未発生であった Run-out の結果も示している．

$\Delta\sigma_{NS} = 349.0 \sim 825.1$ N/mm² の領域では，Run-out と き裂が発生したデータが混在しており，疲労限は $\Delta\sigma_{NS} < 349.0$ N/mm² の領域にあると考えられる．

5. まとめ

ルートに設けた仮想円弧上の応力範囲を用いて過去の疲労試験結果を再整理した．応力比に関する補正を行うことで，傾き 3 の曲線で整理でき，200 万回疲労強度 $\Delta\sigma_f$ の平均値は 500.7 N/mm²，非破壊確率 97.7% の 200 万回疲労強度 $\Delta\sigma_f$ は 271.2 N/mm² であった．また，疲労限は $\Delta\sigma_{NS} < 349.0$ N/mm² の領域にあると考えられる．

謝辞 土木学会鋼構造委員会・鋼床版の維持管理と更新に関する調査研究小委員会（委員長：内田大介法政大学教授）において委員の皆様より情報提供およびご意見を賜りました．ここに感謝を記します．

参考文献

1) 服部ら，土木学会論文集 A1，Vol.77，No.2，pp.255-270，2021．
2) 山田ら，構造工学論文集，Vol.54A，pp.675-684，2008．
3) 国土技術政策総合研究所，国総研資料，第 608 号，2010．
4) 井口ら，鋼構造年次論文報告集第 18 巻，pp.113-120，2010．
5) 原田ら，鋼構造論文集，第 19 巻，第 73 号，pp.65-74，2012．
6) 齊藤ら，土木学会第 69 回年次学術講演会，I-462，pp.923-924，2014．
7) 清水ら，鋼構造年次論文報告集，第 30 巻，pp.297-305，2022．
8) 平山ら，鋼構造論文集，第 22 巻，第 85 号，pp.71-84，2015．
9) 牛尾ら，日立造船の鉄構，橋梁-80，pp.1-12，1985．
10) 川上ら，土木学会第 60 回年次学術講演会，I-397，pp.791-792，2005．
11) 川上ら，鋼構造論文集，第 22 巻，第 85 号，pp.85-100，2015．
12) Samol ら，鋼構造論文集，第 16 巻，第 64 号，pp.11-20，2009．
13) 栗原ら，土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集，I-545，2006．
14) 森ら，鋼構造論文集，第 21 巻，第 82 号，pp.29-38，2014．
15) 日本鋼構造協会，鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，2012．

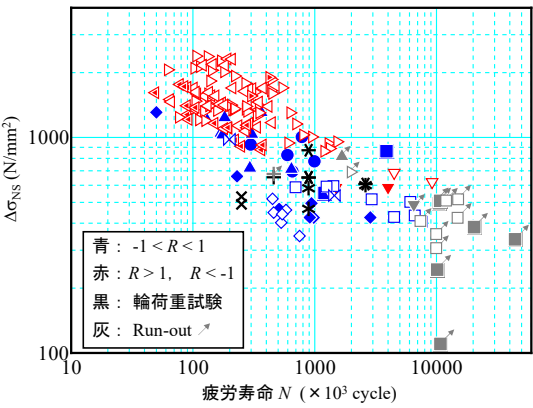


図-3 ノッチ応力範囲と疲労寿命の関係

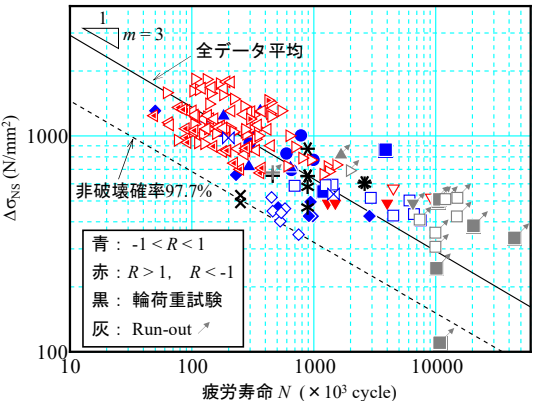


図-4 ノッチ応力範囲と疲労寿命の関係
(応力比補正後)

表-1 図-3，図-4 の凡例

(a) デッキ進展き裂			(b) ビード進展き裂		
記号	文献	種別	記号	文献	種別
□	2)	継手 (R=0)	●	9)	継手 (R=0)
▷	3),4)	部材 (R=11.0)	▲	10),11)	継手 (R=0)
◁	5)	部材 (R=11.0)	■	12)	継手 (R=0)
▽	6)	部材 (R=-6.2)	▼	6)	部材 (R=-6.2)
◇	1)	継手 (R=0)	◆	1)	継手 (R=0)
⊠	7)	継手 (R=0)	+	8)	輪荷重 支間部 交差部
*	8)	輪荷重 支間部 交差部	×		
▶	13)	部材 (R=-inf)			
◀	14)	部材 (R=8.0)			

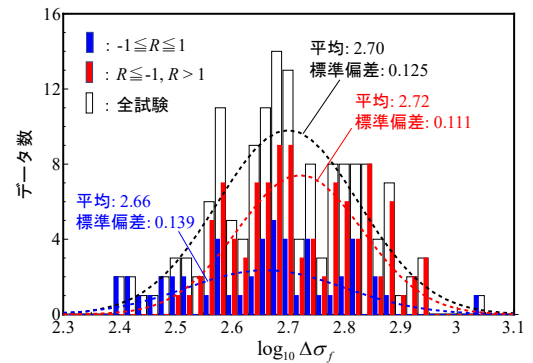


図-5 疲労試験結果のヒストグラム