

鋼床版垂直スチフナ上端溶接部に生じる疲労き裂への UIT の効果に関する解析的検討

一般財団法人 首都高速道路技術センター 正会員 ○大住 圭太
法政大学 フェロー 森 猛

1. 目的

鋼床版垂直スチフナ上端溶接部には、その近傍に輪荷重が載荷されることで生じる圧縮繰返し応力により図1に示す疲労き裂が数多く発生している。著者らは、き裂の先端がデッキプレート（以下、デッキ）母材に進展する前の溶接止端に留まる段階でUITを適用する効果について検討するため、小型試験体を対象に、き裂深さ4mm程度までの溶接止端に留まるき裂を導入したうえで疲労試験を行っている¹⁾。そして、試験対象12個所のうち11個所のき裂が停留し、UIT施工前のき裂が深く、UITによる凹み深さが比較的浅い1個所のみでき裂が進展したことを報告している（後述の5R）。また、き裂がない状態を対象としてUITを模擬した弾塑性FEM解析を行い、UITによる凹みが深いほど圧縮残留応力が広く深い範囲まで導入されることを明らかにしている²⁾。これらの結果から、既に発生したき裂に対するUITの効果を確実にするためには、UITによる凹み深さ（図2）を確保することが重要と考えられるが、き裂を有する状態に対する解析的な検討は行われていない。本研究では、き裂を有する状態を対象にUITの施工を模擬した弾塑性FEM解析を行い、凹み深さによるき裂の閉口や導入される圧縮残留応力の変化について検討した。

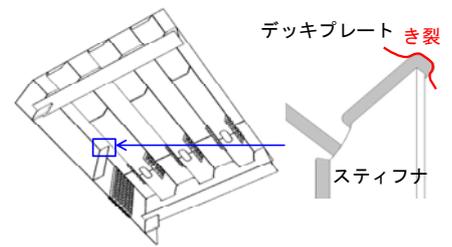


図1 垂直スチフナのき裂

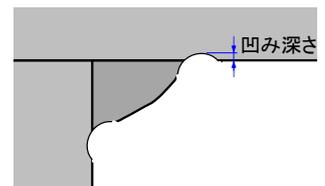


図2 UIT施工後の凹み深さ

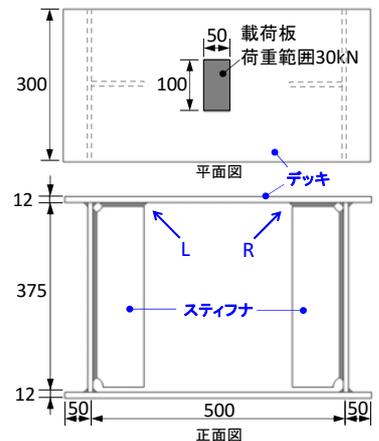


図3 試験体の形状・寸法

2. 解析モデルと解析条件

解析モデルは、図3に示す疲労試験に用いた垂直スチフナ上端溶接部を模擬した小型試験体の1/4モデルとした。解析モデルの概要を図4に示す。デッキとスチフナの溶接脚長は、デッキ側で9mm、スチフナ側で6mmとしている。UITのピンは、施工範囲において打撃深さが一様となるよう一つの剛体ピンとしてモデル化した。ピンの直径と先端部の局率半径は3mmである。き裂の表面での長さは20mmとし、き裂面の形状は長方形とした。なお、鋼材の弾性係数は $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比は0.3、降伏応力は 300N/mm^2 、塑性後の応力-ひずみ曲線の傾きは 1000N/mm^2 とした。

解析は材料非線形に加えて、幾何学的非線形と接触も考慮した静的解析である。荷重は3STEPで載荷し、STEP1で水平方向から65°傾けた方向に試験体に向かってピンを押し込み、STEP2で同方向に試験体と離れるまでピンを引き戻し、STEP3で疲労試験と同条件の30kNの荷重を載荷した。

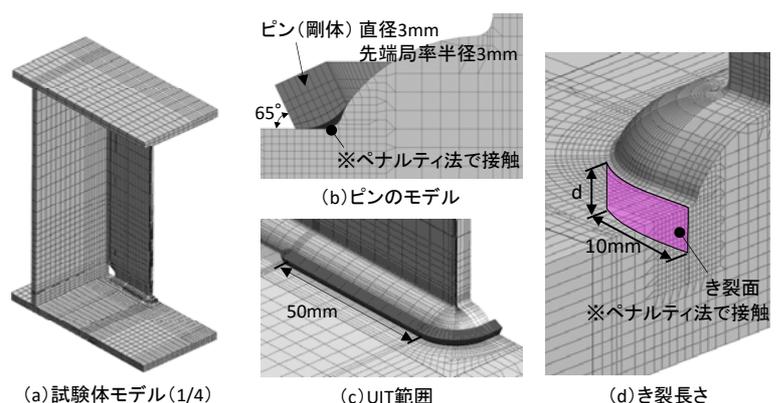


図4 解析モデル

ピンと試験体の接触面およびき裂面にはペナルティ法により接触条件を与えた。なお、STEP1,2では、実験において下向き姿勢でUITを施工したことを考慮して、デッキ上面全範囲の鉛直方向を拘束し、STEP3では、疲労試験と同様にウェブ直下の下フランジ下面の鉛直方向を拘束した。なお、溶接による引張残留応力は考慮していない。

キーワード 鋼床版, 垂直スチフナ, 疲労き裂, 補修, ピーニング, UIT

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-10-11 (一財) 首都高速道路技術センター TEL 03-3578-3769

3. き裂幅の検討

UIT を模擬した解析を実施する前に、き裂深さ 2mm と 4mm を対象に STEP3 の荷重のみを与えて、き裂の開閉口について検討した。き裂の開閉口は深さ方向で同じとし、き裂深さ 2mm では開口幅 0.0050~0.0150mm で 4 ケース、き裂深さ 4mm では開口幅 0.005~0.020mm の 4 ケースについて解析した。UIT 施工前の実験から得られたデッキ側溶接止端から 5mm 離れた位置の荷重-ひずみ関係を図 5、解析で得られた関係を図 6 に示す。なお、図 5 の推定き裂深さは既報³⁾で提案されている関係式から算出している。き裂の開閉口により荷重-ひずみ関係の傾きが変化する荷重(開閉口荷重)は、き裂深さ 2mm では幅

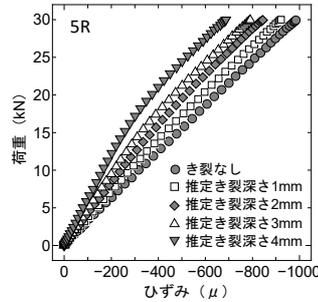


図 5 UIT 前の荷重-ひずみ

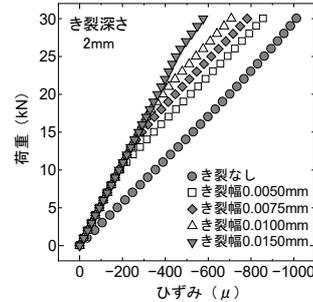


図 6 き裂の幅による荷重-ひずみの変化(解析)

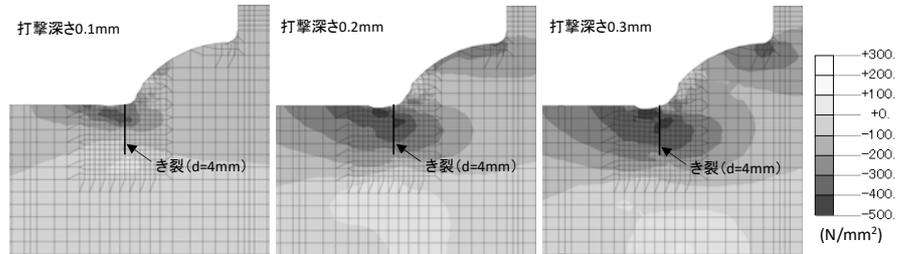
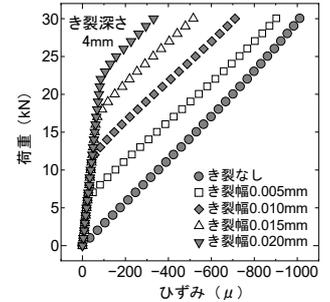


図 7 UIT 施工後の橋軸直角方向の残留応力コンター

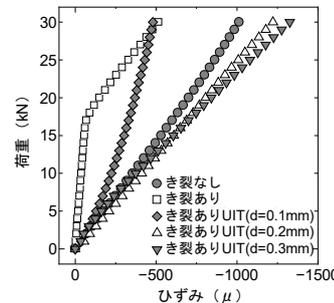


図 8 荷重-ひずみ(解析)

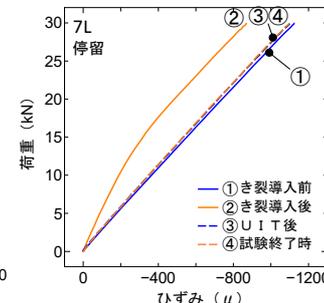
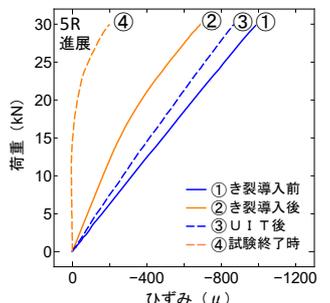


図 9 UIT 前後の荷重-ひずみの変化



0.0075mm, き裂深さ 4mm では幅 0.015mm の解析結果が実験結果と近い。き裂が深くなることでその幅は大きくなると考えられる。

4. 凹み深さによるき裂補修効果の検討

深さ 4mm, 幅 0.015mm のき裂に対して打撃深さ 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm の UIT を模擬した荷重を与えた。UIT 施工後の橋軸直角方向の残留応力コンターを図 7 に示す。なお、UIT 施工後の凹み深さは、それぞれ 0.09mm, 0.18mm, 0.28mm であった。き裂面が接触して圧縮残留応力が導入されており、その範囲は打撃深さが深いほど広範囲となっている。打撃深さ 0.2mm, 0.3mm では、き裂の先端付近まで比較的高い圧縮残留応力が導入されている。



図 10 UIT により停留したき裂と進展したき裂の疲労破面

STEP3 で 30kN の荷重を与えた際の荷重-ひずみ関係を実験結果と比較した。解析で得られた荷重-ひずみ関係を図 8 に示す。き裂ありではひずみ範囲の減少と開閉口点が生じているが、UIT 施工後のひずみ範囲は、打撃深さ 0.2mm, 0.3mm ではき裂がない状態と同程度まで回復している。しかし、打撃深さ 0.1mm では回復が小さい。既報の実験¹⁾において、UIT 施工前の推定き裂深さが同じ 4mm でき裂が停留した 7L と進展した 5R の荷重-ひずみ関係を図 9, それらの疲労破面を図 10 に示す。なお、測定された凹み深さはそれぞれ 0.24mm と 0.10mm である。き裂が停留した 7L ではき裂発生前と同程度までひずみ範囲が回復しているが、進展した 5R の回復は小さく、解析結果と同じ傾向である。き裂が進展した 5R は、打撃深さが浅いことで十分な圧縮残留応力が導入されなかったと考えられる。

5. まとめ

UIT による凹み深さを確保することで、UIT で閉口したき裂の開閉口や進展を防ぐことができると考えられる。

参考文献

- 1) 大住ら：疲労き裂が生じた鋼床版垂直スティフナ溶接部に対する UIT の効果，鋼構造論文集，Vol. 24, No. 93, pp. 83-92, 2017.
- 2) 大住ら：疲労き裂が生じた鋼床版垂直スティフナ溶接部に対する UIT 処理の効果(解析)，土木学会第 71 回年次学術講演会，I -388, 2016.
- 3) 森ら：鋼床版デッキプレート・垂直スティフナ溶接部に生じる疲労き裂の再現と起点の検討，鋼構造論文集，Vol. 21, No. 82, pp. 87-98, 2014.