

疲労き裂が生じた鋼床版垂直スチフナ溶接部に対する UIT 処理の効果 (解析)

(一財) 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

法政大学大学院 学生会員 阪間 大介

1. はじめに

著者らは¹⁾鋼床版垂直スチフナのデッキプレート側溶接止端に留まる, 小さい段階の疲労き裂に対して UIT 処理を行った際のき裂進展抑制効果について, 小型試験体を用いた疲労試験により検討した. その結果, き裂深さが 1-2mm の止端き裂については, 進展を停留させることができたが, 疲労試験を続けるとルート部から溶接表面に向かってき裂が発生・進展することが確認された. また, き裂深さが 3-4mm の止端き裂については, その進展が確認された.

図 1 に停留したき裂と進展したき裂の断面観察例を示す. UIT 処理による凹み形状に大きな違いはないようにみえるが, 打撃の深さ, 間隔, 方向, 回数等は試験体ごとに若干異なるものと考えられる.

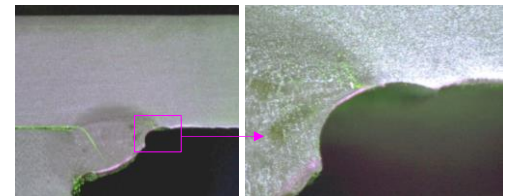
本研究では, UIT 処理の施工状態が圧縮残留応力に与える影響を検討するため, 打撃間隔と打撃深さをパラメータとした弾塑性 FEM 解析を行う. また, 止端き裂が停留した試験体で, ルートき裂が生じた原因を明らかにするため, 止端き裂の大きさおよび溶け込み深さをパラメータとした弾性 FEM 解析を行う.

2. UIT 処理の施工状態が圧縮残留応力の導入に与える影響

UIT 処理の打撃間隔が圧縮残留応力に与える影響を検討した. 解析モデルは図 2 に示す T 継手の 1/2 モデルで, 溶接線の中央付近に UIT 処理を模擬した荷重を与えた. 荷重は, 剛体のピンとモデルの接触面にペナルティ法による接触条件を与えたうえで, ピンに強制変位を与えることで UIT 処理を模擬した. すなわち, STEP1 でピンを押し込み, STEP2 でモデルと離れるまでピンを引き戻して, その後の残留応力を調べた. ピンの変位方向は鉛直から 25° 傾けた方向とし, 鉛直方向に 0.4mm 移動するまで変位を与えた. なお, ピンの直径と先端部の曲率半径は 3mm, 着目部の要素寸法は 0.4mm である. 鋼材の降伏点は 300N/mm^2 , 弾性係数は $2 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ で塑性域の応力-ひずみ勾配は弾性域の 1/200 とした. なお, 溶接による引張残留応力と打撃速度は考慮していない.

図 3 に打撃間隔 2.8mm で 5 回の打撃を与えた場合と打撃間隔 0.4mm で 5 回の打撃を与えた場合の溶接止端直下の断面の溶接線直方向応力のコンター図を示す. 打撃間隔 2.8mm では打撃の境界部に圧縮残留応力が低い部分が生じているが, 打撃間隔を密にすることで圧縮残留応力が一様となっている.

打撃深さが圧縮残留応力に与える影響については, 試験体¹⁾の 1/4 モデルで検討した. UIT 処理の範囲は回し溶接および回し溶接から 50mm の範囲で, 一つのピンで打撃深さが一様となるように荷重を与えた.



(a) 止端き裂が停留した試験体



(b) 止端き裂が進展した試験体

図 1 断面観察

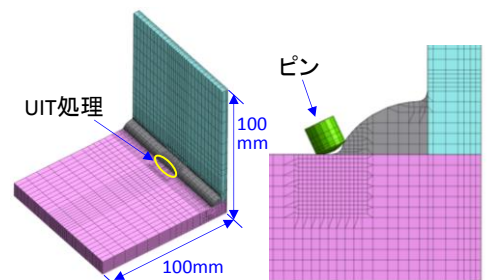


図 2 打撃間隔検討モデル (T 継手)

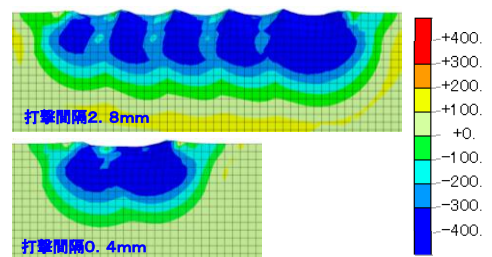


図 3 打撃間隔による圧縮残留応力の変化

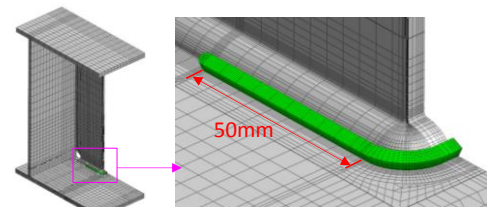


図 4 打撃深さ検討モデル (試験体)

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, 残留応力

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 03-3578-3765

図4に解析モデル、図5に打撃深さ0.4mmの載荷時と除荷後の回し溶接中央断面の最小主応力コンターとその方向を示す。ピンが押し込まれている状態では接触面と直交する方向の応力が卓越しているが、ピンを引き戻した後の圧縮残留応力は接触面と平行方向に卓越している。

図6に打撃深さ0.1mmにおける除荷後の最小主応力コンターを示す。図5に示す打撃深さ0.4mmでの除荷後の最小主応力コンターと比べて圧縮残留応力の導入範囲は小さく、打撃深さが深い方がより深くまで圧縮残留応力が導入されると考えられる。

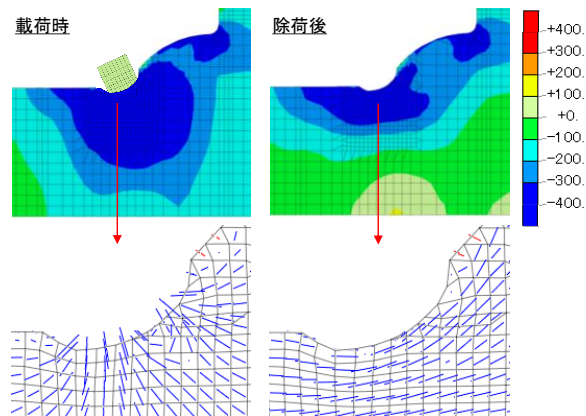


図5 打撃深さ0.4mmにおける最小主応力

3. ルートき裂の発生・進展原因の検討

UIT 処理により止端き裂を停留させることのできた試験体でルートき裂が発生・進展した原因を検討するため、止端き裂の大きさとルート部応力の関係を求めた。解析モデルは図7に示す試験体¹⁾の1/4モデルとして、着目部であるルート部にはエフェクティブノッチを設けた。要素寸法は0.1mmである。止端き裂は半楕円形とし、鉛直および水平方向に直線でモデル化した。き裂の深さと幅は2mm×16mm, 4mm×24mm, 6mm×30mm, 8mm×36mmとした。

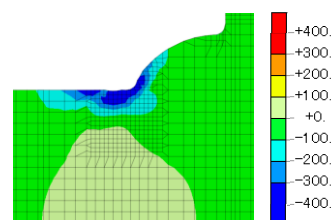


図6 打撃深さ0.1mmの最小主応力

図8にルート部の最小主応力と止端き裂サイズの関係を示す。止端き裂が大きくなることでルート部の応力は減少している。小型試験体を用いた実験では、UIT 処理によって止端き裂を停留させたことで、ルート部の応力集中が高いままとなり、き裂が発生・進展したと考えられる。

このようなルート部の応力集中は、溶接の溶け込みが深い場合には小さくなるのではと考えた。図9に、ルート部の最小主応力と溶け込み深さの関係を示す。溶け込みが深くなることでルート部の最小主応力は大幅に低減されている。

4. まとめ

- ・UIT 処理によって一様で高い圧縮残留応力を深くまで導入するためには、深い打撃痕が密に残るように施工するとよい。
- ・小型試験体を用いた疲労試験においてルートき裂が発生・進展した原因は、UIT 処理によりデッキプレート側溶接止端のき裂が停留したためと考えられる。

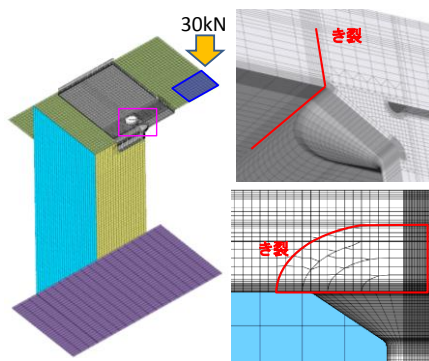


図7 ルート着目モデル(試験体)

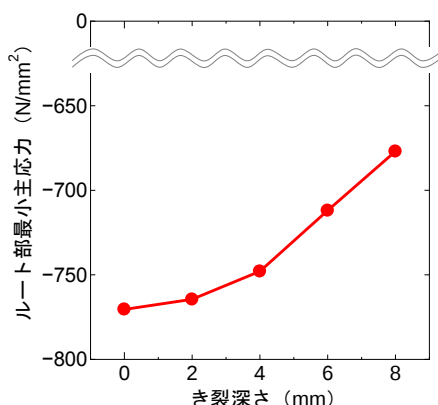


図8 ルート部最小主応力と
き裂サイズの関係

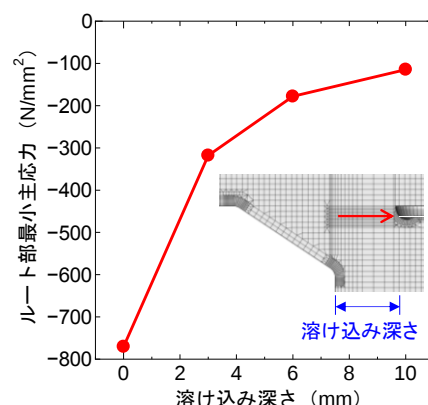


図9 ルート部最小主応力と
溶け込み深さの関係

参考文献

- 1) 阪間ら：疲労き裂が生じた鋼床版垂直スリット溶接部へのUIT 処理に関する実験検討，土木学会第70回年次学術講演会，2016。

UIT 処理は米国 UIT. L. L. C 社の技術である。