

### 圧縮残留応力を用いたUリブ鋼床版溶接ルート部の疲労対策方法の検討

新日鐵住金 正会員 ◦島貫 広志, 新日鐵住金 会員 米澤 隆行, 新日鐵住金 正会員 田中 睦人

#### 1. 背景と目的

Uリブ鋼床版ではUリブの溶接ルート部から疲労亀裂が発生しデッキプレートを貫通するケースが報告されている. この疲労亀裂は発生・進展を外観から発見することができず, 手間のかかる非破壊検査が必要となり, デッキプレートの陥没など板厚貫通後, 大きく進展してから明らかになることもあり防止対策が求められている<sup>1)</sup>. このルート部からの疲労亀裂は輪荷重の繰り返しと溶接残留応力の重畳によるものと考えられており, この傍証として熱処理による残留応力緩和処理により疲労亀裂の発生を抑制できることが報告<sup>2,3)</sup>されている. そこで本研究ではUリブの溶接ルート部に積極的に圧縮残留応力を付与することで疲労亀裂発生を抑制する方法について検討した.

#### 2. Uリブ鋼床版の溶接ルート部の疲労と対策

Uリブ鋼床版のルート部は上述したように, 溶接残留応力とデッキプレート上からの繰り返し荷重が付与され図1(a)に示す様な応力が作用していると考えられる. この繰り返し負荷による引張側繰り返し応力が疲労の有効応力として働き疲労亀裂が生じると考えられる. そこで, 著者らは図1(b)に示す様に, ルート部に積極的に圧縮応力を付与することで有効応力が小さくなり疲労亀裂が生じにくくなると考えた.

Uリブ溶接ルートへの残留応力付与方法の概略図を図2に示す. この方法はUリブ内側で溶接部からリブ側に少し離れた部位を押し広げてルート部のスリット状未溶着部を開口させ, 先端を引張降伏させた後の除荷により生じる周囲の弾性変形部のスプリングバックでルートの未溶着部先端に圧縮残留応力を導入する.

#### 3. ルート部への圧縮残留応力付与方法の数値解析

上述した方法によりUリブ鋼床版の横リブと交差しない一般部のルートに生じる残留応力を四辺形の2次元平面ひずみ要素を用いたFEM解析(MARC2014)にて算定した. 解析に用いたデッキプレートにUリブを取り付けた試験体形状を図3に示す. 想定材料はSM490YAとし, 実鋼材の応力ひずみ関係を基に, 降伏応力 452 N/mm<sup>2</sup>, 引張強さ 574 N/mm<sup>2</sup>の応力ひずみ関係を設定, ヤング率は 205800N/mm<sup>2</sup>, ポアソン比 0.3,

硬化則は等方硬化則を用いた. なお, 実際には移動硬化や混合則の方が妥当な場合もあるが, 基本的な残留応力の発生傾向は同様であるためここでは, 等方硬化のみの結果を示す. また, 溶接による残留応力も省略した. 押し広げ負荷をデッキプレートからUリブ側にUリブ板厚の5倍(30mm)離れた位置を段階的に押し, 途中で除荷した結果を図4に示した. 応力の測定位置は図5に示した未溶着部先端に最も近いデッキプレート側の要素の積分点の位置とし, 測定応力の方向はUリブの幅方向とした. この結果,

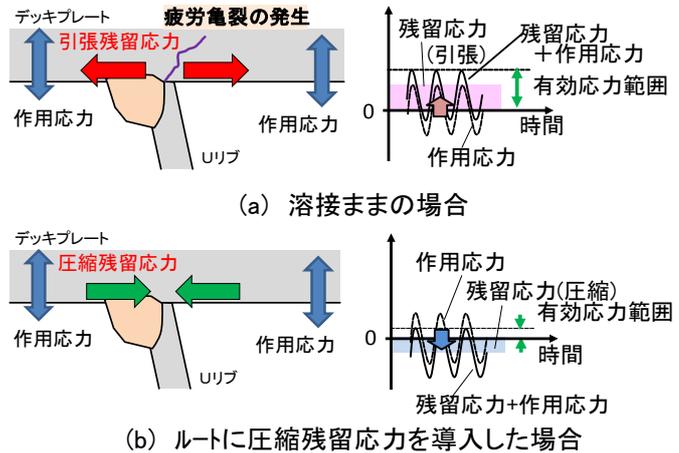


図1 想定されるUリブルート部の残留応力と荷重により生じる疲労の有効応力(概念図)

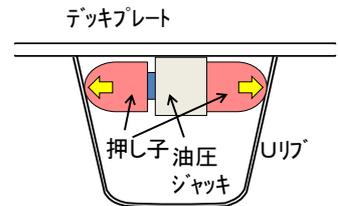


図2 スプリングバックを活用したルート部への圧縮残留応力導入方法

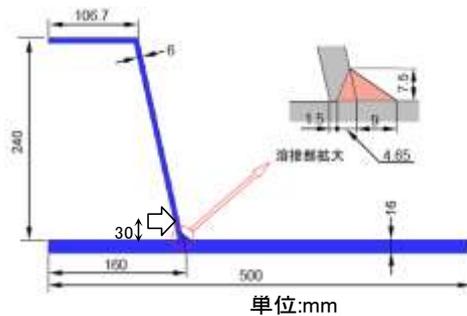


図3 一般部試験体形状

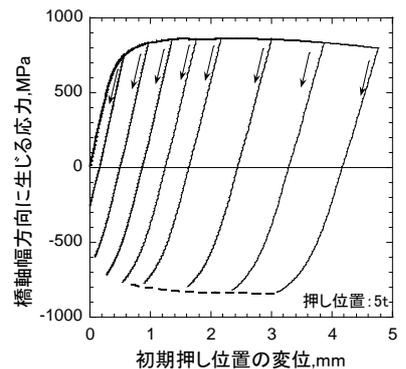


図4 荷重除荷によるルート部応力変化

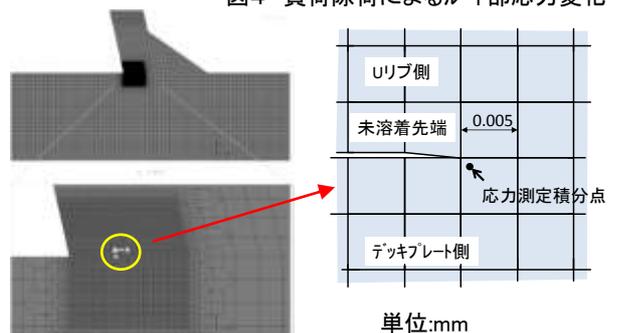


図5 ルート部の二次元FEM要素分割詳細と応力測定点

Uリブの側面の片側最大変位が 1.7mm 以上となるように押し広げ除荷した場合のルート部測定点の残留応力は押し広げの量によらず約 800~900N/mm<sup>2</sup>程で安定する結果となった。また、Uリブ鋼床版では横リブとの交差部についてもルートから疲労亀裂が生じることが知られており、図6に示す交差部を模擬した試験体について8節点の立方体要素を用いた3次元解析を行い、二次元解析の場合と同様、押し広げ除荷処理後の測定点の応力を求めた。横リブがあるため、Uリブ側面を大きく張り出させると横リブの面外変形を誘発するため、解析最大変位は1.2mmまでと制限した。この計算結果を図7に示す。押し広げ除荷後のルート部のデッキプレート側の残留応力は0.8mm程度以上押し広げた場合、300~400N/mm<sup>2</sup>程で安定する傾向となった。

4. 試験方法

提案した溶接ルート部への圧縮残留応力導入方法を一般部と横リブ交差部を模擬した試験体それぞれに適用し、溶接ままの試験体と疲労寿命を比較した。それぞれの試験体のUリブ溶接はリブ板厚の75%を目安に溶接金属を溶け込ませた。押し広げ荷重を行った時の状況の例を図8に示す。なお、試験体の形状は解析に用いたものと同様で、使用材料は何れも SM490YA であるが、一般部と交差部で異なる材料である。押し広げは 20 トンの小型油圧ジャッキを用い、押し子の先端 R は 35mm。なお、横リブ交差部の試験体は交差部を最大荷重で直接押ししても変形が小さいため、横リブ部を避けて横リブを挟むように左右片側ずつ押し、変形を与えた。このため FEM 解析結果とは残留応力の傾向が多少変わっている可能性がある。

疲労試験の荷重・保持位置をそれぞれ図6、図9に示す。一般部モデルは、溶接ままで亀裂発生が起こりにくいため、Uリブ溶接部の左右をダブルタイヤで押した状況を想定した荷重を行い、横リブ交差部モデルではUリブ溶接線の間を荷重点とした。疲労試験は50トンサーボ疲労試験機を用いて荷重周波数はそれぞれ1Hz、5Hzとした。

5. 試験結果

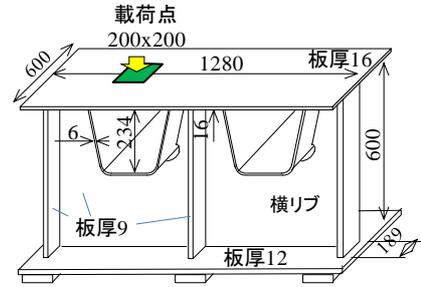
一般部と交差部の疲労試験結果をそれぞれ図10、図11に示す。疲労寿命はUリブ内面のUリブ端部から5mmでの歪ゲージ値が10%低下した時とした。一般部では溶

接ままに対し、数倍の寿命延長が見られ、S-N線図の勾配が溶接ままよりも小さいため、低荷重振幅域ではより大きな寿命延長が得られる可能性がある。また、交差部では横リブ部を直接押しせなかったものの、低荷重振幅領域では溶接ままに比べ7倍程度の寿命延長が得られた。

6. まとめ

Uリブ鋼床版ルート部からの疲労破壊防止方法としてルート部に圧縮残留応力を導入する方法を提案し、それによる疲労寿命延長効果を鋼床版一般部と横リブ交差部のモデル試験体を作製し、疲労試験により有効性を確認した。今後、より有効な条件や効果の度合いを明らかにするため詳細に条件を検討する予定。

参考文献：1)例えば、土木学会:鋼床版の疲労,鋼構造シリーズ 19,第 6 章,117,2010. 2)山本,森林:第 69 回 JSCE 年講,I-464,2014. 3)廣畑,伊藤:溶接学会全国大会講概,97,408,2015.



止端処理無し 単位:mm

図6 横リブ交差部モデル寸法と疲労試験荷重

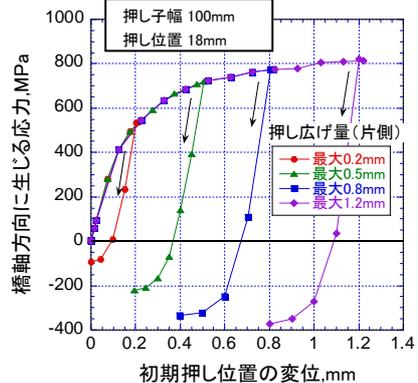
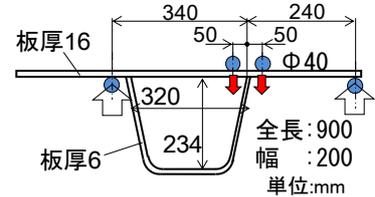


図7 荷重除荷によるルート部応力変化



図8 押し広げ荷重の様子



Uリブ良応接止端はグラインダー仕上げ

図9 一般部モデルの荷重条件

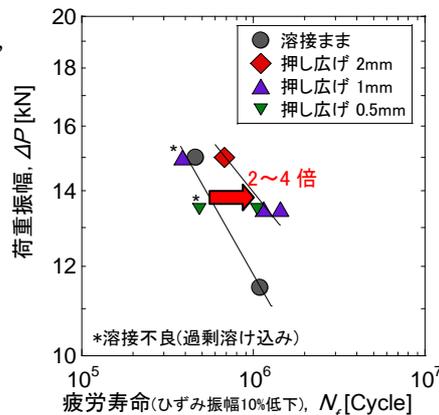


図10 一般部モデルの試験結果

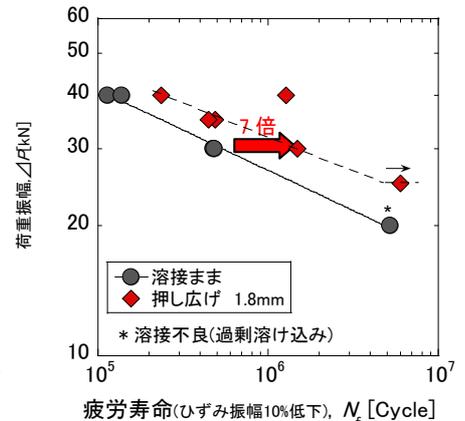


図11 横リブ交差部モデルの試験結果