

# 鋼床版デッキプレート・トラフリブ溶接ルート部の残留応力低減に関する検討

法政大学 フェロー 森 猛 三井造船 正会員 内田 大介 法政大学 入野 啓太

## 1. はじめに

2000年頃より鋼床版の縦リブと横リブの交差点近傍においてデッキプレート・トラフリブ溶接部のルート先端を起点として、デッキプレートに進展するき裂、デッキ進展き裂が報告されている。このき裂を対象とした疲労耐久性は、焼鈍炉を用いて残留応力を低減することにより大幅に向上するということが確認されている<sup>1)</sup>。しかし、この方法を実際の鋼床版に適用することは非現実的と考えられる。

ここでは、デッキ進展き裂の起点となる溶接ルート部の溶接残留応力、焼鈍炉による残留応力低減効果、そして鋼床版への適用が可能と考えられるシート状のセラミックヒータによる残留応力低減効果について、鋼床版部分モデルを対象として3次元熱弾塑性解析を行った結果を報告する。また、先述の方法による基本的な残留応力低減メカニズムを明らかにする目的で縦突合せ継手も解析対象とした。

## 2. 熱弾塑性解析による残留応力の解析方法

ここでは、(1)溶接による残留応力解析、(2)焼鈍炉に入れて焼鈍を行った場合の残留応力解析、(3)表面の一部をシート状セラミックヒータで加熱した場合の残留応力解析を行う。解析には、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS Ver.6.11-3 を用いた。熱弾塑性解析は熱と応力を連成させず、非連成で行った。鋼材の物理的性質と機械的性質の温度依存性は、表1と図1に示すように定義している。真応力-真ひずみの関係はbi-linearとし、塑性域での真応力-真ひずみの勾配は0.01N/mm<sup>2</sup>とした。常温時の降伏応力は403N/mm<sup>2</sup>、ヤング率は2.06×10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup>、ポアソン比は0.3としている。また、熱弾塑性解析において、鋼材のクリープ特性は廣畑らの論文<sup>2)</sup>に示している以下の式で表している。 $(\epsilon^{cr}=A \times q^n \times t^m, \epsilon^{cr}$ : 相当クリープひずみ速度 %/min,  $q$ : 相当偏差応力 kgf/mm<sup>2</sup>,  $A$ : べき乗数  $=2.8 \times e^{0.0667T} \times 10^{-20}$ ,  $n$ : 応力次数  $=(808.3-T)/83.3$ ,  $m$ : 時間時数  $=-0.65$ ,  $t$ : 時間 min,  $T$ : 温度 ) なお、クリープひずみは400~600の範囲で生じるとしている。

## 3. 縦突合せ溶接継手モデルに対する検討

解析モデルは図2に示す縦突合せ溶接継手モデルである。用いた要素は、すべて4x4x4mmのソリッド要素である。溶接による入熱は、表面の幅12mm、深さ4mmの範囲で、幅中央に縦方向に与えた。入熱量は一般的な溶接条件を参考に45J/mm<sup>2</sup>とした。図2の赤い線で示した部分が溶接位置である。溶接後の溶接表面中央の

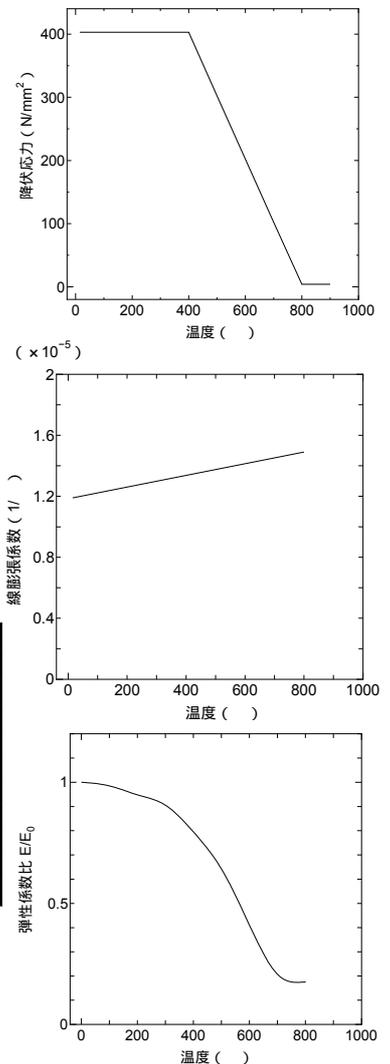


図1 機械的性質

表1 物理的性質

温度 °C	比熱 J/kg°C	熱伝導率 J/cmsec°C	密度 g/cm <sup>3</sup>
0	465	0.72	7.85
100	477	0.68	7.82
200	536	0.61	7.79
300	586	0.56	7.76
400	632	0.49	7.72
500	682	0.44	7.68
600	787	0.39	7.65
700	963	0.35	7.61
800	879	0.30	7.58

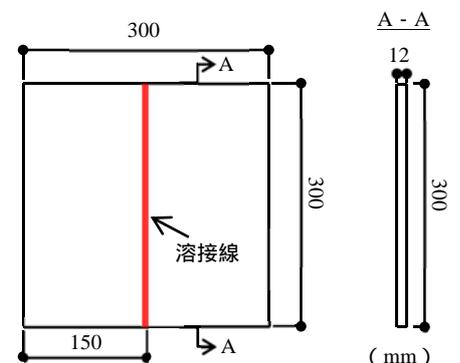


図2 縦突合せ溶接継手モデル

キーワード 鋼床版, デッキ進展き裂, 残留応力, 疲労耐久性改善, セラミックヒータ

連絡先 〒162-0843 新宿区市谷田町 2-33 法政大学都市環境デザイン工学科 TEL 03-5228-1453

長手方向残留応力は  $409\text{N/mm}^2$ 、裏面中央では  $244\text{N/mm}^2$  であった。

(2)の解析は、温度を  $20$  から上げて  $625$  で  $3$  時間保持した。昇温・降温速度は  $40$  /hr である。解析から得られた溶接表面中央の温度と長手方向残留応力の経時変化を図 3 に示す。クリープ考慮の解析では、 $400$  を超えた時点で残留応力が大きく緩和されている。焼鈍終了後の残留応力はクリープ非考慮で  $168\text{N/mm}^2$ 、クリープ考慮で  $20\text{N/mm}^2$  である。このように、残留応力除去焼鈍による残留応力緩和は、温度上昇に伴う降伏応力の低下だけでなく、クリープの効果も大きい。

(3)の解析では、溶接表面に幅  $28\text{mm}$  のシート状のセラミックヒータを想定し、溶接表面が  $600$  に達するまで熱を与えた。図 4 に解析から得られた溶接表面の温度と長手方向残留応力、溶接裏面の長手方向残留応力の経時変化を示す。溶接表裏面の残留応力は大幅に軽減しており、その値は表面で  $18\text{N/mm}^2$ 、裏面で  $13\text{N/mm}^2$  である。この結果は、セラミックヒータなどを用いて局部加熱を行うことにより、残留応力の大幅な低減が可能であることを示している。

#### 4. 鋼床版モデルに対する検討

解析モデルは、図 5 に示す実物大の鋼床版の部分モデルである。デッキプレート厚は  $16\text{mm}$  であり、トラフリブの断面は  $320\text{mm}\times 240\text{mm}\times 6\text{mm}$  である。解析では試験体の対称性を考慮して  $1/4$  モデルとし、全ての要素をソリッド要素でモデル化している。ルート部近傍の要素寸法は  $0.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}$  とした。ここではデッキプレート・トラフリブ、デッキプレート・横リブ、横リブ・トラフリブの順に溶接を行うとし、溶接の移動は考慮していない。入熱量は一般的な溶接条件を参考として設定した。この解析より求めた溶接ルート部の橋軸直角方向の残留応力は  $766\text{N/mm}^2$  であった。また、焼鈍後のルート部の残留応力は  $51\text{N/mm}^2$  であった。

(3)の解析での加熱位置は、溶接ルート部の温度を上げるのに最も効率的と考えた図 6 に示す位置でルート部の温度が  $550$  になるまで熱を与えた。図 7 に解析から得られた板厚方向の溶接後と部分加熱後の橋軸直角方向の残留応力分布を示す。残留応力の分布形状は逆となっており、溶接ルート部の残留応力は  $766\text{N/mm}^2$  から  $-250\text{N/mm}^2$  と、引張から疲労に対して有利な圧縮となっている。

#### 5. まとめ

セラミックヒータなどを用いて鋼床版の表面を局部的に加熱することにより、疲労破壊の起点となる溶接ルート部の引張残留応力を大幅に軽減できる、あるいは圧縮残留応力を導入できる可能性を示した。

参考文献: 1) 森, 山本, 内田, 林, 鋼構造論文集, Vol.22, No.85, pp.101-109, 2015. 2) 廣畑, 伊藤, 土木学会論文集 A1, Vol.71, No.2, pp.208-220, 2015.

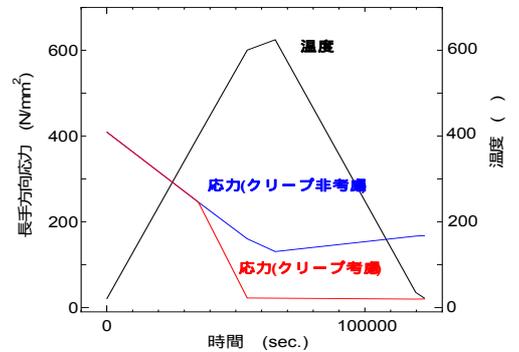


図 3 残留応力の経時変化 (残留応力除去焼鈍)

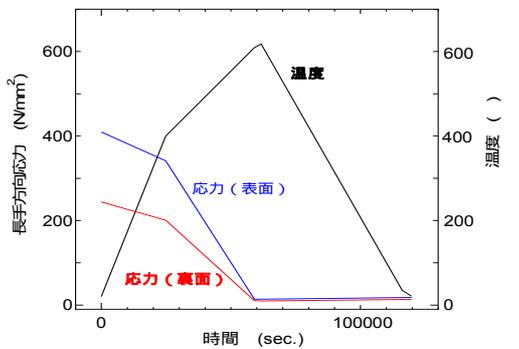


図 4 残留応力の経時変化 (局部加熱)

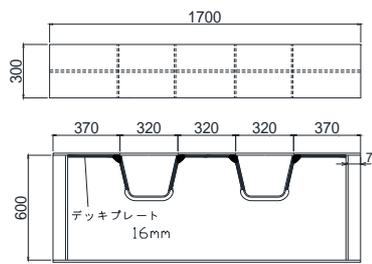


図 5 解析対象 (mm)

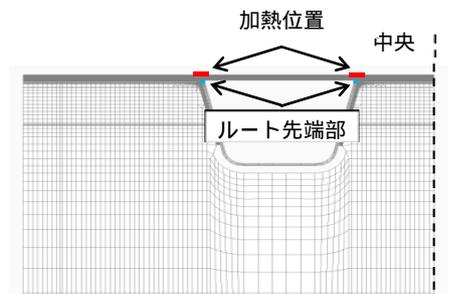


図 6 部分加熱の位置

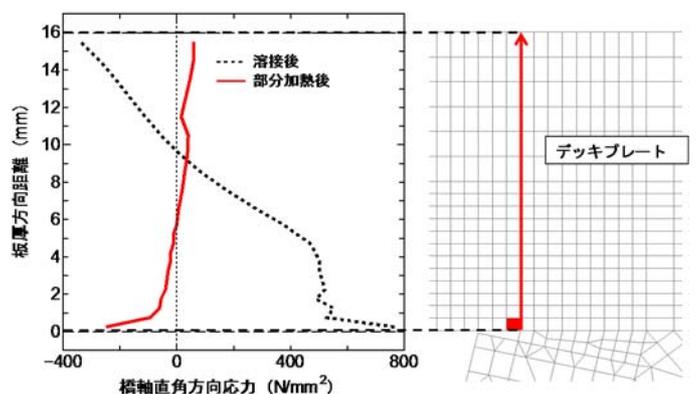


図 7 残留応力分布