ひずみ矯正による鋼床版デッキプレート・トラフリブ溶接部の残留応力の解析

法政大学　正会員　○森　猛
法政大学大学院　学生会員　原田　英明
横浜市　榎田　洸介

１．はじめに

鋼床版は, 比較的薄い鋼板を用いて溶接により組み立てた構造であるために, 溶接変形や残留応力が生じやすい. さらに自動車荷重を直接支える役割上, 自動車の走行に伴って高い繰り返し応力が生じるため, 鋼床版は耐疲労性に問題があるとされることもある. そのためか, 鋼床版の溶接部に数多くの疲労損傷事例が報告されている. 疲労損傷の例を図 1 に示す. これは, デッキプレート・トラフリブ溶接のルート部を起点としてデッキプレート内を進展する疲労き裂であり, これが過度に進展するとデッキプレートが陥没する恐れもある非常に危険な損傷である. これまでの研究によれば, 疲労き裂が発生する溶接ルート部には圧縮の繰り返し応力が作用することが知られている. また, その部分は一般に圧縮残留応力場になるとされている. したがって, 疲労き裂は進展しないものと考えられるが, 先述のように多くの疲労き裂が検出されている. 先に述べたように, 鋼床版は溶接による変形が生じやすい. この変形を矯正するためにプレス加工によるひずみ矯正が一般に行われる. このひずみ矯正が, ルート部の残留応力を支配しているとも考えられる.

本研究では, ひずみ矯正により生じる鋼床版デッキプレート・トラフリブ溶接部の残留応力を明らかにする目的で, 簡易モデルの 2 次元弾塑性 FEM 解析を行う.

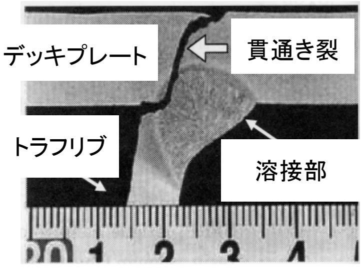


図 1　疲労損傷事例

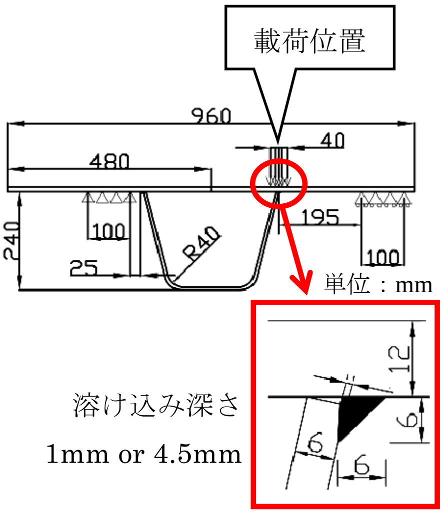


図 2　解析モデル

２．残留応力解析

応力解析には, 図 2 に示す鋼床版を模擬した簡易モデルを用いた. トラフリブの板厚は 6mm, デッキプレートの板厚は 12mm である. 溶接のトラフリブへの溶け込みは, 1mm である. また, トラフリブの一部がデッキプレートと接触したモデルも作成した. 接触部の長さを, 接触していない状態（非接触）, 0.5mm, 1.5mm, 2.5mm, 4mm と変化させた. ルート部近傍の要素寸法は 0.5mm である. 溶接部の要素分割図を図 3 に示す. 応力解析は, 平面ひずみ条件下で材料非線形を考慮して行った. 降伏応力を 300 N/mm^2 とし, 応力－ひずみ関係は Bi-Linear とし, ヤング率は 2.0×10^5 N/mm^2, 降伏後の応力－ひずみ関係の傾きは 200 N/mm^2 とした. ポアソン比は 0.3 である. 降伏の判定には Von-Mises の条件式を用い, 硬化則としては等方硬化則を用いた.

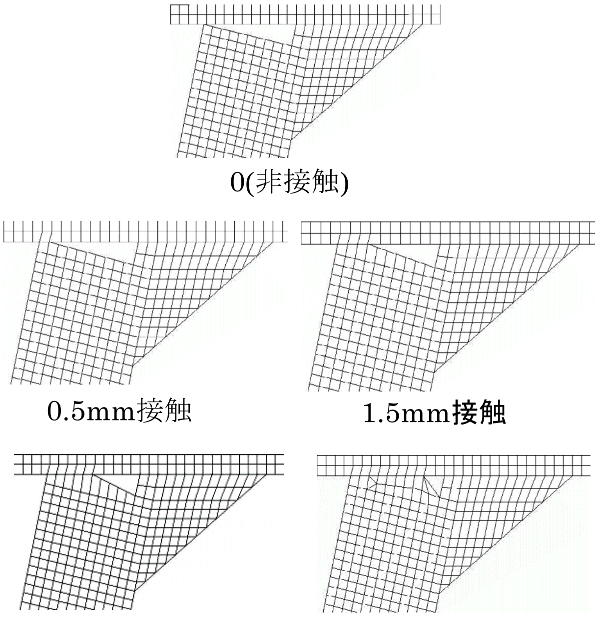


図 3　要素分割図

ひずみ矯正は, 図 2 に示すように幅 100mm で 2 箇所を固

キーワード：鋼床版、デッキプレート・トラフリブ溶接部、ひずみ矯正、残留応力
連絡先　：〒184-8584　東京都小金井市梶野町 3-7-2　法政大学工学部　TEL:042-387-6287

定し, ルート部直上に幅 40mm で等分布荷重を作用させることで模擬した．なお, これらの寸法・位置は, 実際の鋼床版のプレス矯正を参考に定めている．残留応力は, 所定の等分布荷重（5N/mm）を載荷し, それを除荷した際の応力と定義した．載荷時の変位量は 6.0mm，除荷後の残留変位は 1.5mm であった．

３．解析結果

非接触モデルの載荷前と除荷後の溶接ルートを含むデッキプレート断面に沿う橋軸直角方向応力の分布を図 4 に示す．載荷時にはデッキプレート下面に引張の塑性変形, 上面に圧縮の塑性変形が生じている．また, 除荷後には, それぞれの位置に 270N/mm^2 程度の圧縮残留応力と 50 N/mm^2 程度の引張残留応力が生じている．デッキプレート下面の圧縮残留応力は下面から 1mm 程度の位置から引張に転じ, 6mm（板厚中心）程度まで引張残留応力場となっている．

図 5 は, 非接触モデルと接触モデルの残留応力を比較したものである．トラフリブとデッキプレートが接触している場合には, デッキプレート下面の圧縮残留応力は小さくなり, またその領域も小さくなる傾向が認められる．また，デッキプレート下面から 0.2mm 程度の位置から引張に転じている．

溶接ルート部の橋軸直角方向の残留応力と接触長さの関係を図 6 に示す．繰返しになるが, 接触している場合には, ルート部の圧縮残留応力は軽減され, 接触長さ 1.5mm 以上ではほぼ 0 となっている．

接触 1.5mm のモデルで得られた除荷後の主応力図を図 7 に示す．除荷後のルート部の最大主応力は 21.6N/mm^2 であり, その方向はほぼ鉛直方向となっている．これが原因となって, 図 1 に示すような鉛直方向から傾いたき裂進展経路になるとも考えられる．なお, デッキプレート側溶接止端部には，294N/mm^2 の高い圧縮残留応力が生じている．このことは, 応力解析を用いた研究*では，この位置からも疲労き裂の発生が懸念されるとされているが, 実橋ではこのような疲労き裂の発生事例が報告されていないことと対応している．トラフリブ側溶接止端部には、29.3N/mm^2 の引張残留応力が生じている．その方向は，ほぼトラフリブウェブの方向と一致している．

＊ 原田　英明, 森　猛, 田中　慶治：デッキプレート・縦リブ溶接部の疲労性状に対するリブ剛性の影響，鋼構造年次論文報告集， Vol.16， pp.459-466，2008.11.

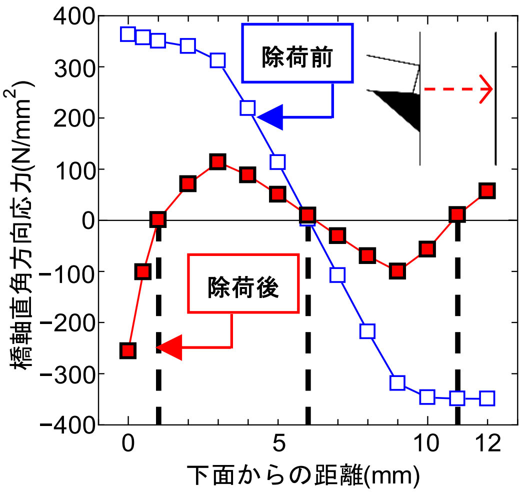


図 4　橋軸直角方向応力

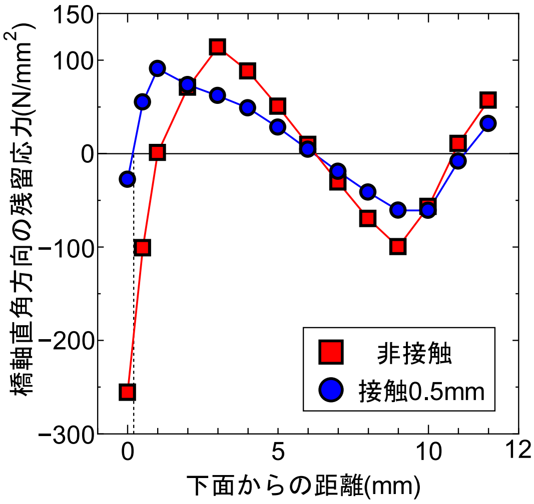


図 5　残留応力分布に対する接触の影響

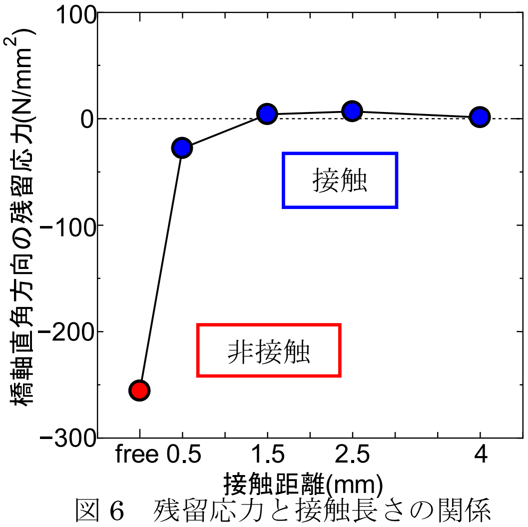
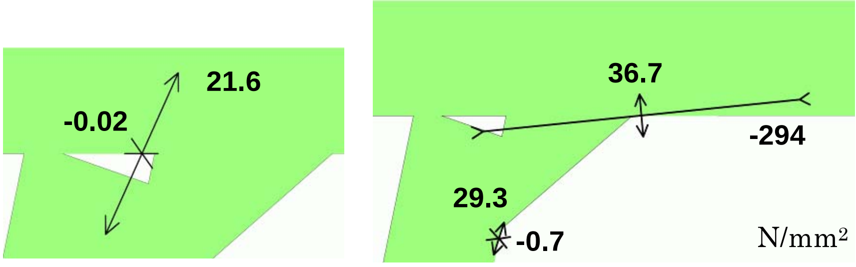


図 6　残留応力と接触長さの関係



(a) ルート部　(b) 止端部

図 7　接触 1.5mm の主応力