

鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接ルート部における残留応力

九州大学 学生会員 ○尾上 聡史 九州大学 正会員 貝沼 重信
九州大学 学生会員 ヴゥ・ダット・ヴァン (社)日本橋梁建設協会 正会員 井口 進
(社)日本橋梁建設協会 正会員 内田 大介 (社)日本橋梁建設協会 正会員 川畑 篤敬

1. はじめに 近年、鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接ルート部の先端から疲労き裂が発生し、デッキプレートを貫通する疲労損傷が報告されている。このき裂の発生要因は、車両の走行によりルート部の先端近傍に生じる正負交番応力と溶接残留応力であると考えられる¹⁾。しかし、ルート部の残留応力については、これまで十分な検討がなされていない。本研究では、ルート部の残留応力の熱弾塑性 FEM 解析と切断法による測定を実施することで、疲労き裂の発生・進展に影響を及ぼすと考えられる残留応力分布を明らかにすることを目的とする。

2. 試験体 標準的な鋼床版では、デッキプレート厚 12 mm, Uリブ厚 6 mm の鋼板が使用され、その溶接サイズとして 6 mm が採用されている。この小さい溶接部を対象として、切断法により残留応力を測定することは困難とされる。そこで、本研究では着目部の寸法を実寸の 3 倍（デッキプレート厚：36 mm, Uリブ厚：18mm, 溶接サイズ：18mm（公称値））としたモデル試験体を製作した。試験体に用いた供試鋼材は、JIS SM400 である。また、Uリブに開先加工することで、Uリブ厚 t_u に対する溶接溶込み深さ p_w の比 p_w/t_u を 0 あるいは 0.75 とした。また、ルートギャップの有無を模擬するため、未溶着部のギャップを 2mm および 0mm とした。

試験体の形状・寸法、およびゲージ貼付位置を図-1 に示す。デッキプレートとUリブの溶接は、表-1 の溶接条件で水平下向きの半自動 CO_2 溶接により行った。以下では、試験体をそれぞれ D36U18SP0G0, D36U18SP0G2, D36U18SP75G0, D36U18SP75G2 (D:デッキプレート厚(mm), U:Uリブ厚(mm), S:半自動 CO_2 溶接, P:Uリブ厚に対する溶込み深さの比率, G:ルートギャップ厚 (mm))と呼ぶ。

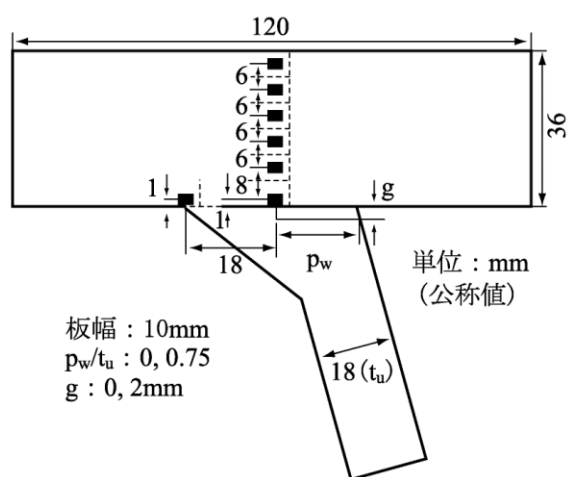


図-1 試験体の形状・寸法，およびゲージ貼付位置

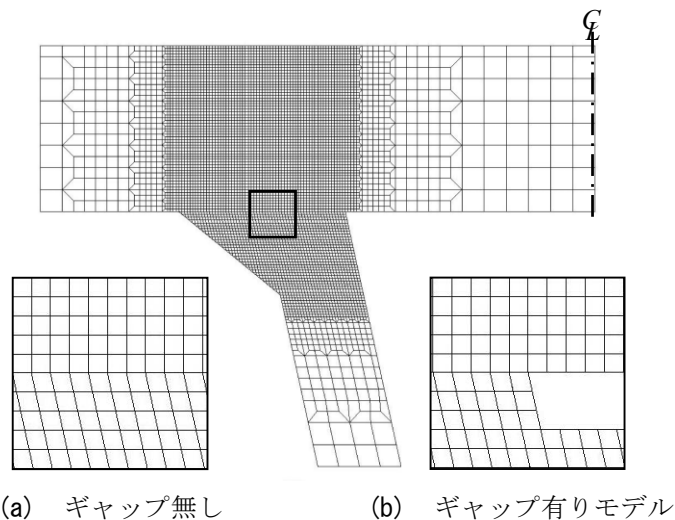
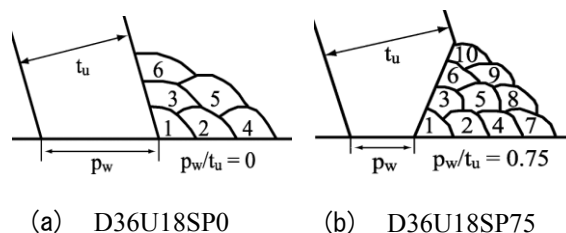


図-2 解析モデルの要素分割例

表-1 試験体の溶接方法

試験体	溶接材料	電流 (A)	電圧 (V)	パス数	速度 (cm/min)
D36U18SP0	半自動 CO_2 溶接	240	30	6	30~39
D36U18SP75	SF-1			10	24~42



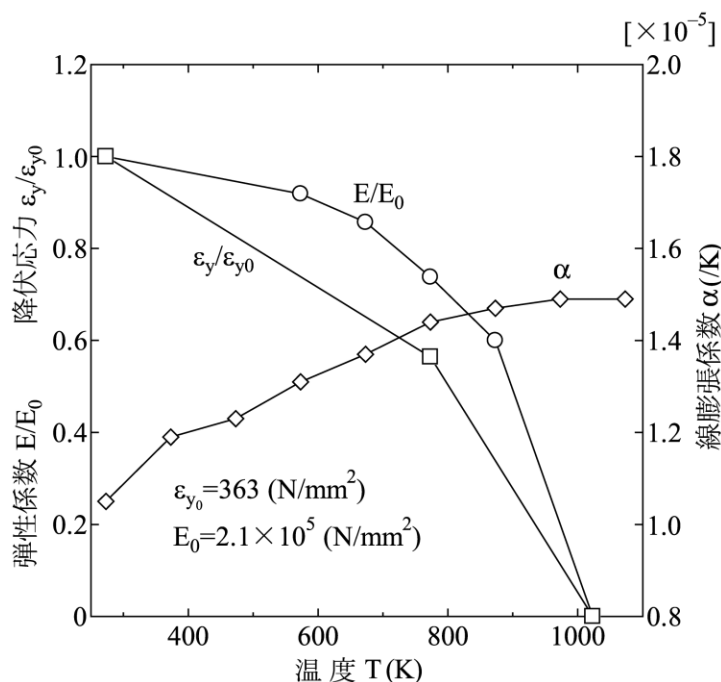


図-3 鋼材の機械的性質の温度依存性

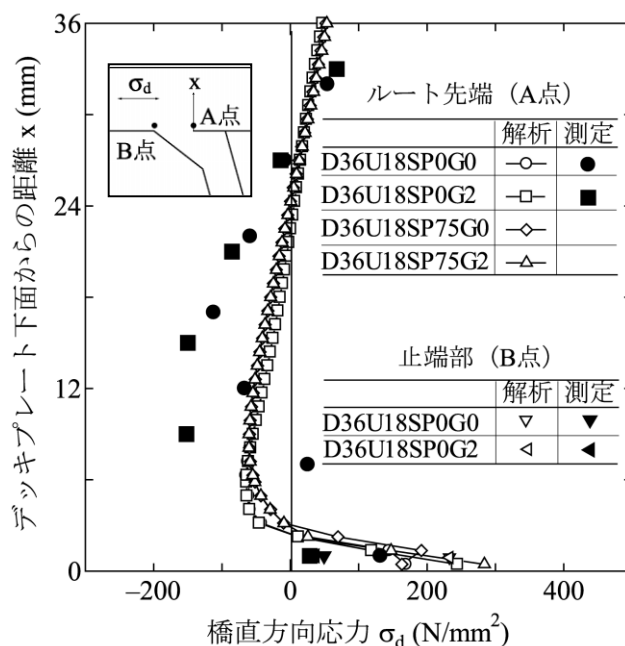


図-4 解析結果と測定結果の比較

3. 解析方法および測定方法 解析モデルは実際の試験体の寸法に基づき決定した。その要素分割例を図-2 に示す。要素には4節点の平面ひずみ要素を用いた。その最小要素寸法は $0.6\text{mm} \times 0.6\text{mm}$ とした。残留応力解析では、まず、鋼材の弾性係数と降伏応力が常温に比べ半分以下の大きさに低下する温度 873K に溶接部を瞬間的に加熱した状態を初期条件として熱伝導解析を行った。次に、熱伝導解析で得られた温度分布を熱荷重として与え、材料の機械的性質の温度依存性を考慮した熱弾塑性応力解析を行った。この解析を繰返し行い、十分に時間が経過してモデル全体が外気温度 288K にまで達したときの最終的な応力状態を求めた。また、解析モデルは完全弾塑性体と仮定し、降伏応力には von Mises の降伏条件を用いた。なお、溶接残留応力の数値解析には、汎用有限要素応力解析コード Marc を用いた。本解析で用いた鋼材の機械的性質の温度依存性を図-3 に示す。

切断法による溶接残留応力の測定は、図-1 に示す位置に1軸ゲージ(ゲージ長: 0.3mm)を貼付し、ひずみゲージの周辺近傍の破線をバンドソーおよび糸鋸で切断し、切断前後のひずみの変化量から算出した。

4. 解析結果および測定結果 解析結果および測定結果を図-4 に示す。ルートギャップの有無によらず解析結果および測定結果は、いずれもルート部の先端近傍および止端部において引張残留応力が生じている。また、溶接未溶着部直上の応力分布の傾向は、解析結果は測定結果と良く一致している。これらの結果から、本解析条件を用いて残留応力の解析を行うことで、ルート部の先端近傍の溶接残留応力を求められると考えられる。また、解析および測定から得られた応力分布の傾向と、断面における応力の釣り合いから、ルート部近傍においては高い引張応力が存在すると考えられる。以上の結果から、実橋の鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接未溶着部の先端近傍において高い引張残留応力が生じているものと考えられる。

5. まとめ 本研究では、溶接ルート部における残留応力を明らかにするために、熱弾塑性 FEM 解析および切断法による応力測定を行った。これらの結果から、ルート部の先端近傍には高い引張残留応力が存在することを明らかにした。また、疲労き裂が発生・進展する断面近傍の残留応力分布を明らかにした。

参考文献 1) 貝沼重信, 尾上聡史, 三浦健一, 井口進, 川畑篤敬, 内田大介: 鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接ルート部の疲労き裂に対する試験システムの構築, 土木学会論文集, 2008 (投稿中)。