

### 鋼 I 桁支承部の疲労き裂と桁疲労試験

三井造船 正会員 ○内田 大介 法政大学 フェロー 森 猛  
法政大学大学院 学生会員 武下 美那 三井造船鉄構エンジニアリング 正会員 浅野浩一

#### 1. はじめに

支承の回転・移動機能が低下した鋼 I 桁橋では、図 1 (a) ~ (d) に示すような疲労損傷が生じることが知られている。図中の (a) は下フランジ下面とソールプレートの前面すみ肉溶接の止端部、(b) は前面すみ肉溶接のルート部、(c) と (d) は主桁ウェブと下フランジの溶接のウェブ側溶接止端と下フランジ側溶接止端に生じる疲労き裂である。

当該箇所のき裂に対しては補修方法の検討や構造改善について、これまでも数多くの検討が行われている<sup>1)</sup>。著者らは比較的容易な補修・補強方法、及び構造改善方法の確立を目的として、これまでにソールプレート・下フランジ溶接の溶込みを深くする、溶接止端部をグラインダで仕上げる、垂直補剛材を追加する等の方法について、桁試験体の応力測定試験と 3 次元応力解析に対する検討を行っている<sup>2),3)</sup>。ここでは、疲労き裂を再現するために実施した桁試験体の疲労試験の結果と、下フランジの逆ひずみが局所応力に及ぼす影響に関する解析的検討の結果を報告する。

#### 2. 疲労試験

試験体の形状と寸法を図 2 に示す。下フランジにはソールプレート溶接後のウェブ直下における空隙が 3mm となるような逆ひずみを設けている。下フランジに逆ひずみがある場合には、支承部に生じるき裂の発生寿命が短くなるのが文献 1) で確認されている。疲労試験は、動的能力 300kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用い 3 点曲げで行った。荷重は下限荷重を 10kN、上限荷重を 210kN とし、一定振幅荷重下で行った。支持条件は、ソールプレートを剛な架台に高力ボルト (M30) で連結し、支承の機能低下を模擬した。なお、このような固定により、単純支持の場合と比較して着目部の応力が高くなるが、完全な拘束とはなっていない<sup>2)</sup>。き裂の発生については、試験体の左右、ウェブの表裏の溶接止端近傍に添付したひずみゲージ (図 3) を用いて、定期的に動ひずみを計測することによりモニタリングを行った。写真 1 に疲労試験状況を示す。

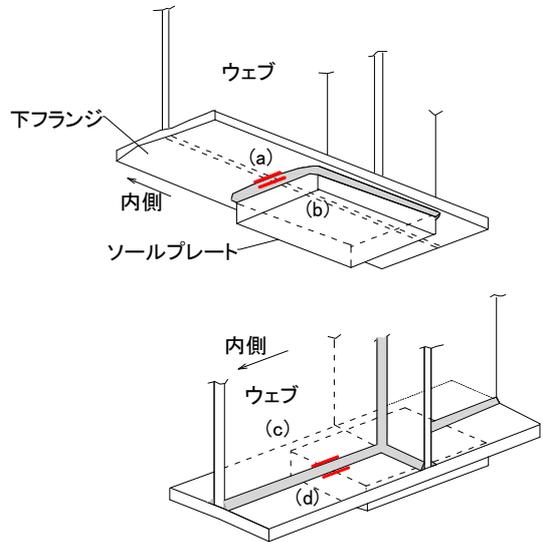


図 1 支承ソールプレート部に生じる疲労損傷

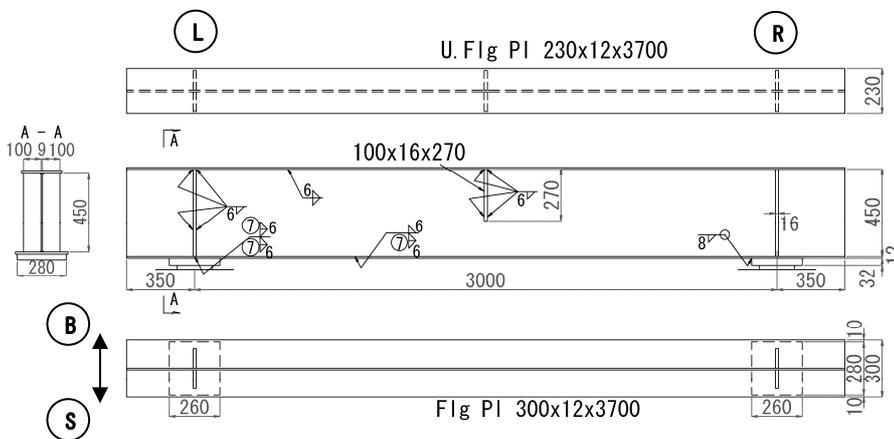


図 2 試験体

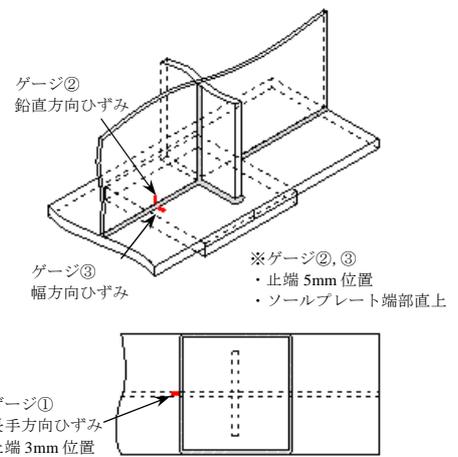


図 3 モニタリング用ひずみゲージ

キーワード 鋼 I 桁橋, 支承部, 疲労損傷, 逆ひずみ

連絡先 〒104-8439 東京都中央区築地5丁目6番4号 三井造船(株)船舶・艦艇事業本部 事業開発部 TEL03-3544-3345

疲労試験では、92万回載荷時に図2中のR-S側におけるゲージ③のひずみ値の低下が始まった。153万回載荷時のき裂の状況を図4に示す。疲労き裂はタイプ(c)と(d)が確認され、それぞれの水平方向長さは29mmと9mmであった。なお、この段階ではタイプ(a)のき裂は確認されていない。



写真1 疲労試験状況

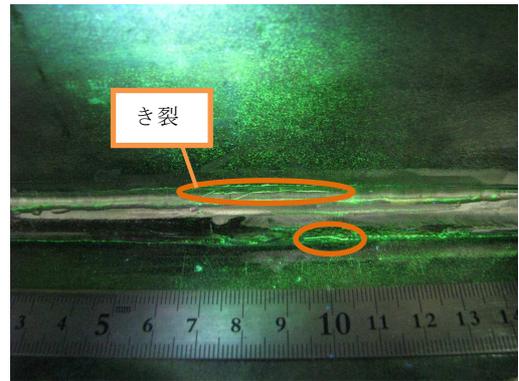
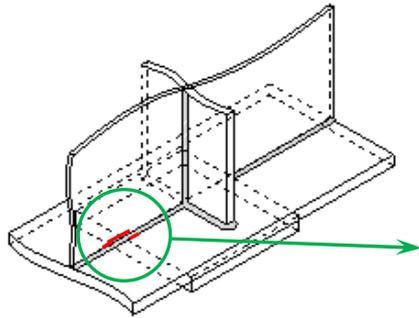


図4 153万回載荷時のき裂の状況

### 3. 応力解析

試験体を対象とし、3次元有限要素応力解析を行った。解析にはABAQUS ver.6.11.2を用い、幾何学的非線形を考慮した。鋼材は $E=200,000\text{N/mm}^2$ 、 $\nu=0.3$ の弾性体とした。モデル化にはソリッド要素を用い、図1に示したき裂が発生すると予想される位置の要素寸法は1mmとした。解析モデルは試験体の対称性を考慮して1/4モデルとし、架台の上フランジまでをモデル化した。拘束条件は架台上フランジ下面のウェブと補強リブ接合部を完全固定とした。支点部の高力ボルト部、下フランジとソールプレートの隙間、ソールプレートと架台上面の間には接触要素(摩擦係数 $\mu=0.2$ )を挿入し、高力ボルトにはボルト軸の上下端近傍の要素に標準軸力相当の応力を与えて軸力の導入を模擬している。荷重は自重をかけた後にボルトの軸力を導入し、試験荷重を載荷した。図5に解析モデルを示す。下フランジの逆ひずみは一般部の計測値より4mmとした。また、比較のために逆ひずみを設けず、下フランジとソールプレートの隙間を0mmとしたモデルの解析も行った。

上限荷重時の溶接止端部(タイプ(a),(c),(d))要素応力のうち、最小の最小主応力値の一覧を表1に示す。

試験体モデルの溶接止端部の応力はき裂(c)の位置が最も大きくなっており、長い亀裂が発生した疲労試験の傾向と一致している。また、逆ひずみを有する場合には、逆ひずみがない場合と比較して全てのき裂位置で発生応力が高くなるのがわかる。

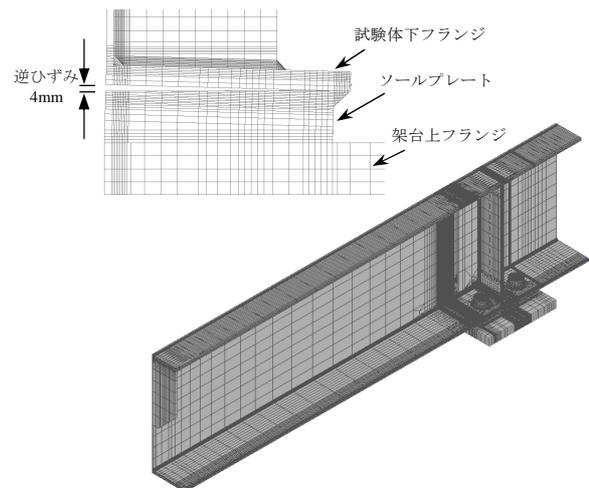


図5 解析モデル

### 4. まとめ

鋼I桁支承部の疲労き裂を桁疲労試験により再現するとともに、FEM解析により、逆ひずみが応力集中に及ぼす影響を確認した。今後は桁試験体の疲労試験を継続するとともに、補修方法に関する検討を実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) 例えば、館石ら：プレートガーダー支承部の疲労損傷とそのディテール改良に関する研究，土木学会論文集，No.489/I-27，1994.4.
- 2) 武下ら：鋼I型断面桁形式橋梁支承部の疲労耐久性改善に関する検討，土木学会第68回年次学術講演会概要集，I-557，2013.9.
- 3) 武下ら：垂直スチフナの設置による鋼I桁支承部の疲労強度改善に関する検討，土木学会第69回年次学術講演会概要集，2014.9.

表1 溶接止端部の最小主応力

解析モデル	位置		
	(a)	(c)	(d)
試験体	-365	-388	-241
逆ひずみなし	-294	-254	-149

単位(N/mm<sup>2</sup>)