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

法政大学大学院　学生会員　○武下　美那　　法政大学　正会員　森　猛
三井造船　正会員　内田　大介

１．はじめに

桁形式橋梁の鋼製支承の機能（回転，移動）が錆の発生などにより失われると，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．(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を示している．

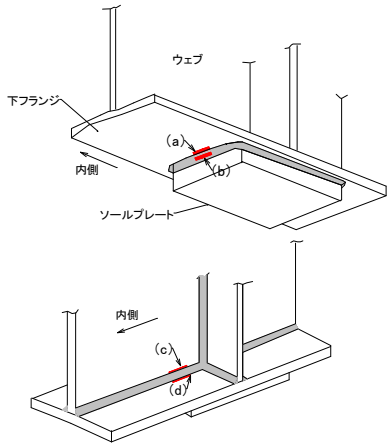

図 1　支承部に生じる疲労損傷

支承ソールプレート周辺部の疲労強度改善策に関してはこれまでにもいくつかの検討がなされており，下フランジやウェブへの当て板補強や垂直リブ付きの当て板の設置，支承やソールプレートの交換などの補修がなされている．また，ソールプレートを延長してテーパー部を設けるとともに溶接止端部を仕上げるといった対策も取られている．これらは溶接止端部から発生するき裂に着目しており，ルート部から発生するき裂 (b) に対する効果は検討されていない．

本研究では既設鋼橋梁の支承部の疲労耐久性向上を目指し，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，そして垂直補剛材を追加するといった比較的容易な方法の効果について，モデル試験体のひずみ測定試験と 3 次元弾性有限要素応力解析を行うことにより検討する．

(a) ピン支点　　(b) ローラー支点　　(c) 拘束支持

写真 1 支点

２．ひずみ測定試験

試験体の形状と寸法を図 2 に示す．下フランジとソールプレートの溶接は，ウェブ直下で最大 3mm の空隙が生じるように下フランジをハの字に曲げ加工して施工した．ひずみ測定試験は，動的能力 300kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用い，荷重 100kN として行った．支点は，写真 1 に示すように単純支持（ピン，ローラー）と拘束支持とした．

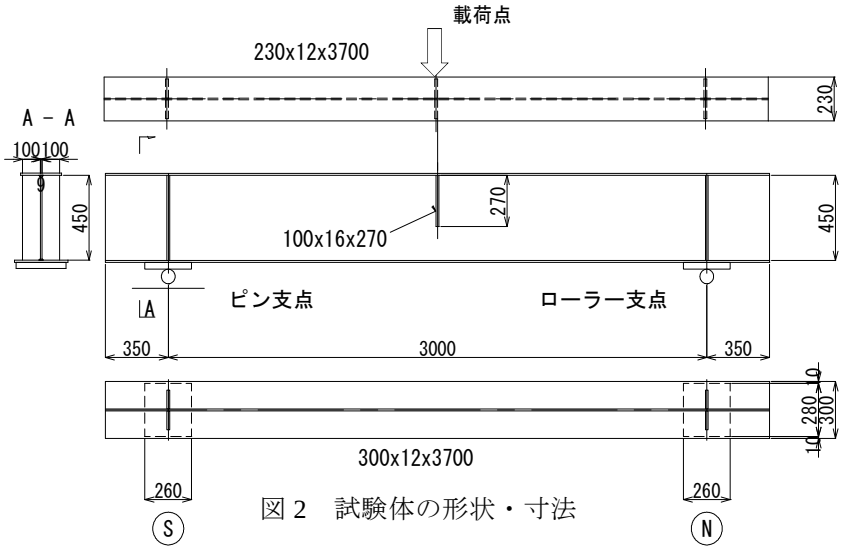

図 2　試験体の形状・寸法

ひずみ測定試験より求めたウェブ-下フランジのウェブ側溶接止端から 5mm 離れた位置の長手方向に沿うひずみ分布を図 3 に，ウェブ-下フランジのフランジ側溶接止端のひずみ分布を図 4 に示す．いずれの位置においてもソールプレート前面のすみ肉溶接止端部直上付近でひずみが高くなっている．これは，実橋で観察された疲労き裂の発生位置と対応している．

キーワード　桁形式橋梁，支承部，疲労損傷対策
連絡先　　〒162-0843　東京都新宿区市谷田町 2-33　法政大学大学院デザイン工学研究科　ＴＥＬ：03-5228-1429

3．応力解析

応力測定を行った試験体を対象とし，汎用有限要素応力解析コード CAEFEM Ver6.0 を用いて 3 次元弾性有限要素応力解析を行った．支承部近傍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では要素寸法を 1mm とした．解析モデルは試験体の対称性を考慮して試験体の 1/4 モデルとした．ヤング率は$2.0\times10^5\mathrm{N}/mm^2$，ポアソン比は 0.3 である．

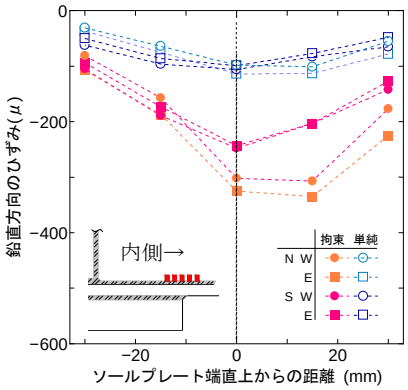

図 3 応力測定結果(ウェブ側)

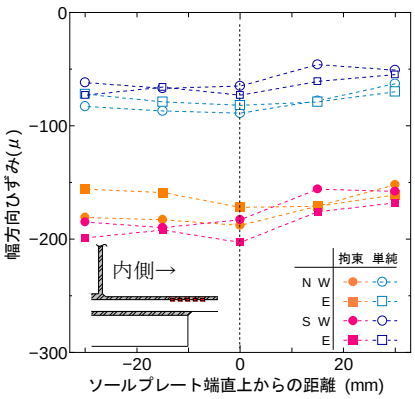

図 4 応力測定結果(フランジ側)

ソールプレートと下フランジの溶接止端から長手方向に 5mm 離れた位置の幅方向のひずみ分布を図 5 に示す．単純支持を想定した解析結果は測定結果とほぼ一致しているものの，拘束支持では測定結果よりも大きなひずみが得られている．これは，写真 1 に示したようにソールプレートをボルトで固定したものの，完全には拘束できなかったためと考えられる．このような挙動を模擬するためにソールプレート下面に厚さ 3mm の要素を 3 層加え，その層のヤング率を 200, $100\mathrm{N}/mm^2$ とした解析も行った．$100\mathrm{N}/mm^2$ とした場合の解析結果は測定結果とほぼ一致している．

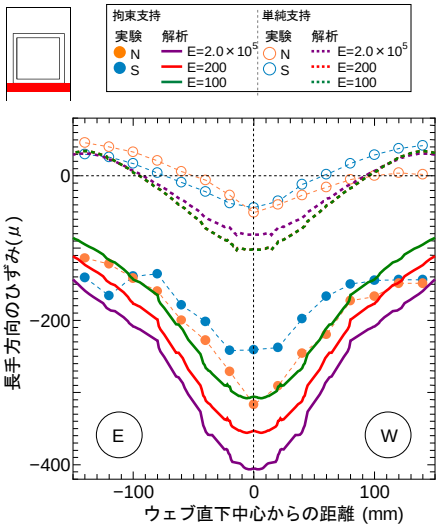

図 5 解析結果と測定結果の比較

4．疲労耐久性改善方法の検討

以下に示す方策による疲労強度改善効果を，完全拘束とした解析を行うことにより検討する．(1) 全面すみ肉溶接の溶け込み深さを 0 から 5，10mm とする．(2) ソールプレート前面直上に垂直スティフナを設ける．スティフナは板厚 9mm，板幅 100mm とし，高さは主桁ウェブ高さの 1/8，2/8，3/8，4/8 とする．(3) 前面すみ肉溶接止端の曲率半径を 1mm から 5mm に仕上げる．なお，(3) の効果を検証する解析では着目部の要素寸法を 0.1mm 程度とした．図 6 は，桁軸直角方向に沿う溶接ルート部の応力分布を示している．溶接の溶け込みを深くすることにより，ルート先端の応力は大幅に改善されている．例えば，溶け込みを 10mm とした場合の応力は，溶込み 0 の場合の 46%となっている．表 1 に各補修方法を対象とした応力解析で得られた応力の大きさを示す．なお，ここで示す応力の大きさは補修なしの場合の応力で無次元化している．ここで示す結果より，垂直スティフナの高さをウェブ高の 3/8，溶接の溶込みを 10mm，止端仕上げ，とする補修が適当と考え，そのような条件で行った解析結果も表 1 に示している．

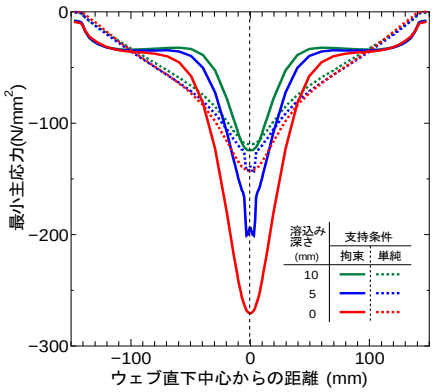

図 6 ルート部の応力分布

5．まとめ

前章で示した補修を行えば，ここで着目した溶接部の疲労強度は 2.4～3.4 倍程度となり，疲労耐久性は 15～40 倍程度となる．

表 1 補修効果一覧

		止端	ルート	フランジ-ウェブ(フランジ)	フランジ-ウェブ(ウェブ)
補修前	－	1.00	1.00	1.00	1.00
溶け込み	5mm	0.90	0.72	0.85	0.99
	10mm	0.84	0.46	0.77	0.95
垂直スティフナ	1/8	0.73	0.72	0.42	0.59
	2/8	0.69	0.67	0.37	0.54
	3/8	0.66	0.65	0.36	0.50
	4/8	0.64	0.64	0.35	0.49
止端仕上げ	ρ=5mm	0.65	1.01	1.00	1.01
提案構造		0.65	0.29	0.81	0.46