

第I部門

圧縮繰返し荷重を受ける溶接部の疲労寿命に及ぼす残留応力緩和の影響

大阪大学大学院工学研究科	学生員	○植下	淳史
大阪大学大学院工学研究科	正会員	廣畑	幹人
エム・エムブリッジ (株)	正会員	鈴木	俊光
エム・エムブリッジ (株)	正会員	小西	英明

1. はじめに

鋼桁端部のフランジ、ウェブ、垂直補剛材の溶接部（図-1）において疲労き裂の発生が懸念されるが、この部位は基本的に支点上で鉛直方向に圧縮荷重を受けるものである¹⁾。圧縮繰返し荷重によりこの部位に疲労き裂が発生するのは、溶接残留応力のために平均応力レベルが高い引張の状態となっていることが理由の一つと考えられる²⁾。すなわち、溶接残留応力を低減することで、平均応力が低い状態で圧縮繰返し荷重を受けることになり、疲労き裂の発生および進展が抑制されるものと考えられる。本研究では、圧縮繰返し荷重を受ける部位の疲労寿命向上を想定し、残留応力の緩和が疲労寿命に及ぼす影響を明らかにするための基礎的検討を実施した。

2. 実験供試体

本研究で使用した実験供試体を図-2 に示す。194 mm×150 mm×6/9 mm の H 形鋼を奥行 150 mm に切断したものであり、材料は SS400（降伏応力：325 MPa）である。この H 形鋼に、疲労き裂の発生点となる応力集中部および溶接残留応力を導入するため、片側のウェブ、フランジ接合部にビードオンプレート溶接を施した。溶接脚長は 5 mm を目標とした。溶接材料は YM-50T1（ワイヤ径 1.2 mm）を使用した。溶接条件は電流 240～260 A、電圧 23 V であり、溶接速度は 6～7 mm/s であった。

3. 溶接後熱処理

後述する疲労実験において溶接残留応力の有無が疲労寿命に及ぼす影響を検証するため、一部の供試体に対し溶接後熱処理を実施した³⁾。熱処理には電気炉を使用し、炉内温度 600℃まで 4 時間で加熱し、600℃で 6 時間保持した後、炉内で徐冷した。

溶接のままの供試体における残留応力の傾向を把握するため、熱弾塑性解析によるシミュレーションを実施した³⁾。表-1 に示すように、中央断面におけるウェブの溶接止端部から 5mm の範囲には、1 パス側に 58 MPa、2 パス側に 29 MPa の引張応力（溶接線直交方向成分）が生じていた。また、フランジの溶接止端部から 5mm の範囲には、1 パス側に 141 MPa、2 パス側に 150 MPa の引張応力が生じていた。溶接後熱処理により、これらの引張残留応力は緩和されたものとする。

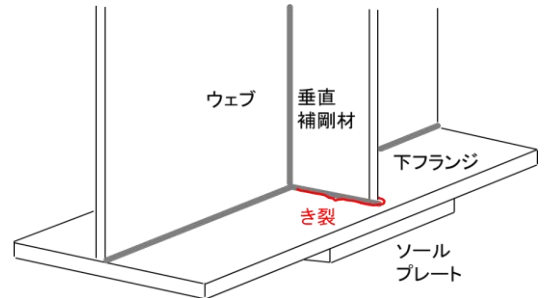


図-1 鋼桁端部の構造の例

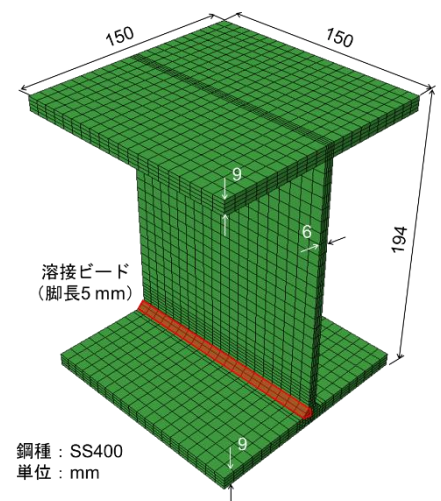


図-2 実験供試体（解析モデル）

表-1 溶接止端部の残留応力

	Pass 1	Pass 2
ウェブ側	58 (0 mm)	29 (5 mm)
フランジ側	141 (2.5 mm)	150 (5 mm)

(溶接線直交方向成分, MPa)

※カッコ内は止端部からの距離

4. 疲労実験

圧縮繰返し荷重作用下において、溶接残留応力の有無が疲労寿命に及ぼす影響を検証するため、疲労実験を実施した（図-3）。供試体の上下フランジを載荷板で挟み込み、供試体高さ方向に圧縮繰返し荷重を負荷した。作用荷重範囲は、 $-7\text{ kN} \sim -70\text{ kN}$ （応力範囲： $-7\text{ MPa} \sim -70\text{ MPa}$ ）とし、周波数は 2 Hz とした。载荷に伴い適宜磁粉探傷試験を行い、疲労き裂の発生を確認した。磁粉探傷試験の結果を図-4に示す。熱処理なしの供試体については、圧縮繰返し荷重の繰返し回数 $130 \sim 180$ 万回でウェブとフランジの両側の溶接止端部に疲労き裂の指示模様が確認された。一方、熱処理ありの供試体については、 300 万回以上の载荷を行ったが疲労き裂の指示模様は確認されなかった。熱処理なしと熱処理ありの供試体の疲労寿命の比較を表-2に示す。

本研究で実施した実験条件は限定的であるが、本研究の範囲では圧縮繰返し荷重を受ける部位の溶接残留応力を緩和することで、疲労寿命が2倍以上に改善される可能性を結果は示唆していた。

5. まとめ

圧縮繰返し荷重を受ける部位の疲労寿命向上を想定し、残留応力の低減が疲労寿命に及ぼす影響を明らかにするための基礎的検討を実施した。得られた主な知見を以下に示す。

- (1) H形鋼のウェブ、フランジ接合部にビードオンプレート溶接を施した供試体を作製した。熱弾塑性解析によれば、ウェブおよびフランジの溶接止端部から 5 mm の範囲には、溶接線直交方向に 58 MPa および 150 MPa の引張応力が生じていた。溶接後熱処理により、これらの残留応力を緩和した。
- (2) 本研究の範囲では、応力範囲 63 MPa 、応力比 0.1 の圧縮繰返し荷重を受ける条件において、溶接引張残留応力が生じている供試体は繰返し回数 $130 \sim 180$ 万回で疲労き裂が発生した。これに対し、溶接後熱処理により残留応力を緩和した供試体は 300 万回以上の载荷でも疲労き裂が確認されなかった。
- (3) 本研究で実施した実験条件は限定的であるが、本研究の範囲では圧縮繰返し荷重を受ける部位の溶接残留応力を緩和することで、疲労寿命が2倍以上に改善される可能性を結果は示唆していた。

謝辞

本研究における熱弾塑性解析に実施には、大阪大学工学部地球総合工学科4年生の野澤修平君の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 内田大介，森猛，武下美那，宮崎晴之，木村直登：鋼I桁支承部の疲労損傷対策に関する検討，構造工学論文集 Vol. 63A，pp. 503-516，2017.
- 2) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2012.
- 3) 廣畑幹人，伊藤義人：簡易熱源を用いた熱処理によるすみ肉まわし溶接継手の残留応力緩和に関する研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.71，No.2，pp. 208-220，2015.

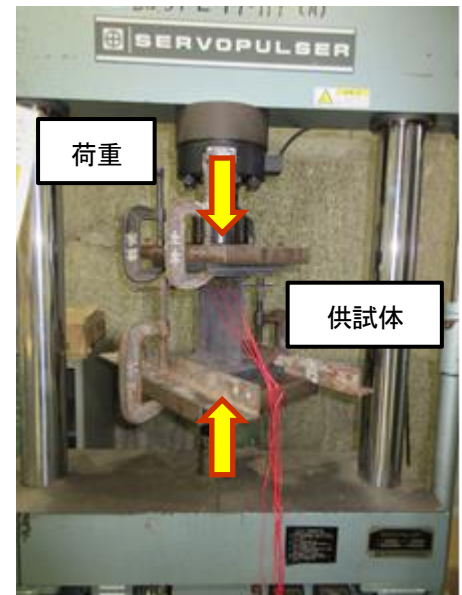


図-3 疲労実験実施状況

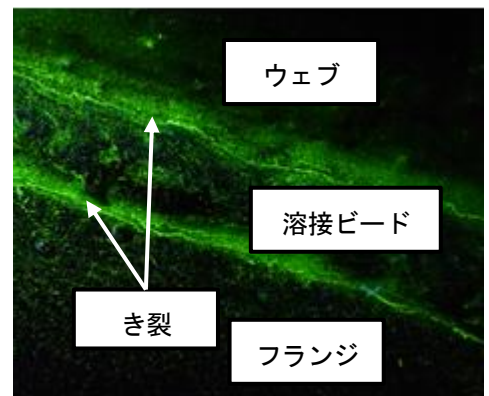


図-4 磁粉探傷試験結果

表-2 疲労寿命の一覧

	熱処理なし	熱処理あり
No.1	1,341,147	3,045,600
No.2	1,843,200	3,409,433
No.3	1,304,414	3,556,800
平均	1,496,245	3,337,728