

鋼構造物の耐疲労性能向上に貢献する 新溶接法 (FLEX[®]溶接)

高木 芳史¹⁾ 崎本 隆洋²⁾
沖田 泰明²⁾ 植田 圭治³⁾

1. 緒 言

長期間で使用される鋼構造物は、老朽化に伴うメンテナンスコスト及び更新コストの低減が求められる。特に高速道路などの多くの鋼橋では自動車等の繰返しの交通荷重が作用するため、溶接部での疲労損傷が問題となる⁽¹⁾。このような疲労損傷は、溶接によって生じた引張残留応力及び繰返し作用する応力が形状不連続部となる溶接部に集中するため、発生するものである。特に鋼橋の疲労設計において、設計応力が厳しくなるのは水平補剛材の主桁ウェブへの接合部である⁽²⁾。その接合部に用いられる面外ガセット溶接継手の疲労破壊の起点は応力集中が高くなる溶接止端部であることが多い⁽²⁾。そこで、溶接止端部の疲労強度低下の対策として、溶接止端部を滑らかにして応力集中を低減させるグラインダ処理⁽³⁾や溶接止端部を打撃して圧縮残留応力を付与させるハンマーピーニング処理⁽⁴⁾、UIT⁽⁵⁾処理がある。しかしながら、これらの対策手法は、溶接施工後に追加して施工を実施するため、施工能率が低下する。さらに、溶接以外の特殊装置の準備も必要となるため、施工者にとって大きな負担となる。

本報では、この施工能率が低下する課題を解決しつつ疲労強度を向上させるために開発した新たな回し溶接技術について紹介する。新たな回し溶接として、面外ガセットの溶接ビードをガセットの短辺側及び長辺側に分割し、その長辺側の溶接ビードをガセットの短辺側及び長辺側に分割し、その長辺側の溶接ビードをガセット端部よりも延伸させることを特徴とする分割回し溶接 (FLEX[®]溶接) を提案した。

2. FLEX[®]溶接の提案

一般的な面外ガセット溶接は図1に示すようにガセットの長辺側からガセットの短辺側を經由し、角部を回して連続的に施工される。このような面外ガセット溶接継手では、主板の長手方向つまりガセット長辺と平行な方向に外力が作用する場合に、ガセット短辺部の溶接止端部の応力集中が高くなる。その結果、回し溶接に起因する溶接残留応力及び外力に起因する繰返し応力が重畳してガセット短辺部から疲労亀裂を発生し、その疲労亀裂が伝播して疲労破壊が生じる。この疲労破壊を抑制するために、FLEX[®]溶接を提案した。

図2に示す通り、FLEX[®]溶接手法は従来の隅肉溶接した場合とは異なり、面外ガセット溶接継手のガセットの短辺及びガセットの長辺で分割して溶接を行う。FLEX[®]溶接は

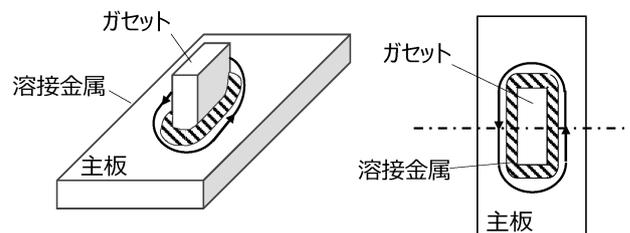


図1 従来回し溶接.

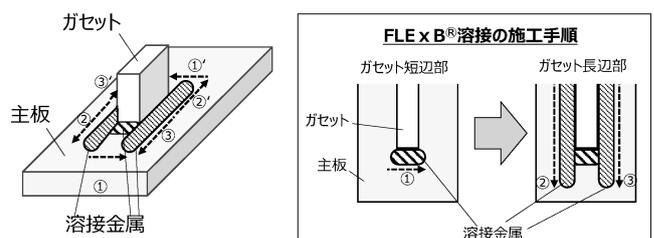


図2 分割回し溶接 (FLEX[®]溶接).

* JFE スチール株式会社 スチール研究所
接合・強度研究部 1)主任研究員 2)主査研究員 3)部長
New Welding Method for Improving Fatigue Strength of Steel
Structure: FLEX[®] Welding; Yoshifumi Takaki, Takahiro
Sakimoto, Yasuaki Okita, Keiji Ueda (JFE Steel Corporation)
2024年10月31日 [doi:10.2320/materia.64.114]

まず、ガセットの短辺(図2の①)と主板を隅肉溶接する。次に、ガセットの長辺と主板を図2の②, ③の順番で隅肉溶接し、両溶接ビードをガセット長辺方向に20mm程度延伸させる。ガセットの対辺においても同様の溶接順序となる。このとき、長辺溶接は短辺溶接ビードの始末端に被せて溶接することで、仮に①の短辺溶接部の始末端に欠陥が存在しても再溶融により無害化している。

3. FLExB® 溶接による疲労強度向上効果

一般的な回し溶接と本報で提案した FLExB® 溶接による面外ガセット溶接継手の疲労強度を比較するため、面外ガセット溶接継手の疲労試験を実施した。本報で用いた供試材は板厚 14 mm の SM490YB である。SM490YB の化学成分及び機械的性質をそれぞれ表 1, 表 2 に示す。また、ガスマタルアーク溶接により、面外ガセット溶接継手を製作した。溶接電流は 240[A], 溶接電圧は 32[V], 溶接速度は 30[cm/min]とした。製作した面外ガセット溶接継手は従来通り隅肉溶接した溶接継手及び本報で提案した FLExB® 溶接による溶接継手である。両溶接継手の脚長は 8 mm とした。FLExB® 溶接における延伸させたビード同士の止端間隔の狙いは 6 mm とし、製作した分 FLExB® 溶接での延伸させたビード同士の止端間隔は 5 mm~7 mm の範囲であった。また、FLExB® 溶接の延伸させたビード長さの狙いはガセット短辺の端部より 20 mm とし、製作した FLExB® 溶接での延伸させたビード長さは 19 mm~21 mm であった。電気油

表 1 供試材の化学成分.

C	Si	Mn	P	S
0.12	0.30	1.34	0.010	0.004

表 2 供試材の機械的性質.

降伏応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
321	463

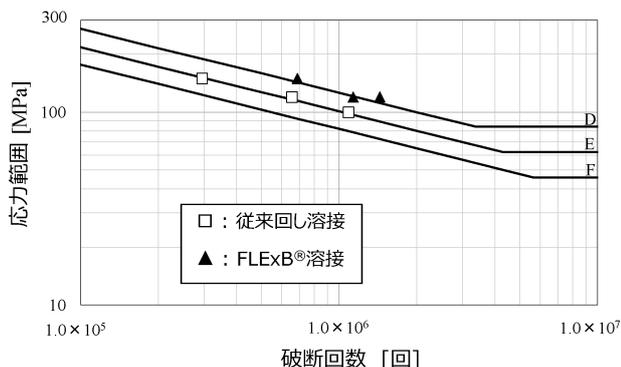


図 3 S-N 線図.

圧サーボ方式疲労試験機により応力比を 0.1 (R=0.1) とした疲労試験を実施した。

疲労試験を実施した溶接継手の疲労試験結果を日本鋼構造協会⁽⁶⁾に示されている疲労等級と合わせて図 3 に示す。従来の回し溶接した場合の疲労等級は F 等級となった。一方で、FLExB® 溶接した場合の疲労等級は E 等級を満足した。したがって、面外ガセット溶接継手に FLExB® 溶接を適用すると、疲労等級は従来の回し溶接と比較して 1 等級向上した。

4. FLExB® 溶接による疲労強度向上メカニズム

FLExB® 溶接の溶接止端の局所応力が疲労強度に及ぼす影響について検討するため、主板の端面に静的な外力を作用させ、弾性有限要素解析により溶接止端部の局所応力を計算した。解析に使用したヤング率は 206000 MPa, ポアソン比は 0.3 とした。解析モデルの寸法は実験で使用した溶接継手と同様に板厚 14 mm に脚長 8 mm の溶接ビードを再現し、基準となる FLExB® 溶接の延伸ビード間隔は 6 mm とし、延伸ビード長さを 5 mm~50 mm の範囲で解析を実施した。

FLExB® 溶接の延伸ビード長さがガセット短辺部の溶接止端からの局所応力分布に及ぼす影響について検討するため、各延伸ビード長さの解析モデルにおけるガセット短辺部

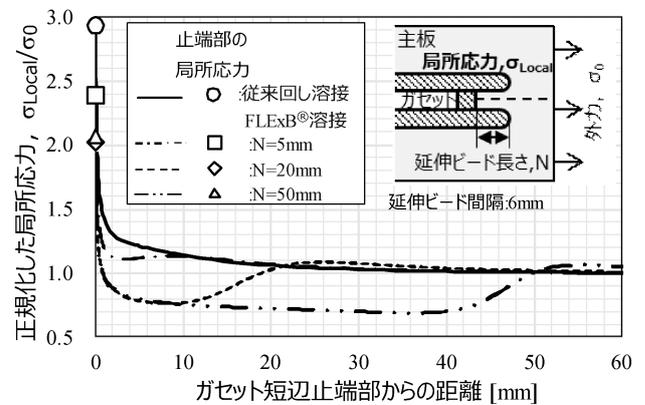


図 4 ガセット短辺止端部からの局所応力分布⁽⁷⁾.

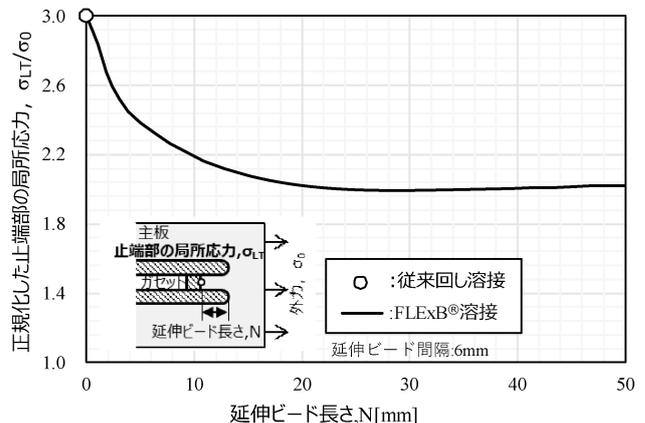


図 5 延伸ビード長さと止端部の局所応力の関係⁽⁷⁾.

の溶接止端からの局所応力分布を図4に示す。局所応力は主板的公称応力 100 MPa で正規化した。FLExB[®] 溶接の延伸ビードが存在し、長くなることで、ガセット短辺部の溶接止端付近の局所応力は従来回し溶接と比較して低下した。このFLExB[®] 溶接のガセット短辺部における溶接止端付近の局所応力の低下は、延伸ビード間の主板を流れる応力の一部が延伸ビードに流れたためと考えられる。延伸ビード長さとガセット短辺部における溶接止端の局所応力の関係を図5に示す。FLExB[®] 溶接の延伸ビード長さを大きくすると、ガセット短辺部の溶接止端の局所応力は従来回し溶接と比較して33%低下したが、延伸ビード長さが20 mm以上となるとガセット短辺部の溶接止端の局所応力は変わらなかった。これは図4に示すように延伸ビード長さが20 mm以上となると、溶接止端付近で低下した局所応力が変わらず、延伸ビードに流れ込んだ応力が変わらなかったことが原因と考えられる。以上より、FLExB[®] 溶接のガセット短辺部の止端部における局所応力は低下し、この効果により疲労亀裂発生を抑制したと考えられる。

5. 結 言

本報では面外ガセット溶接継手にFLExB[®] 溶接を新たに適用し、疲労試験及びFEM解析によりFLExB[®] 溶接の疲労強度向上効果について明確化した。FLExB[®] 溶接を面外ガセット溶接継手に適用することで、従来通り回し溶接を実施した場合よりも疲労等級が1等級向上した。FLExB[®] 溶接は従来の回し溶接よりも面外ガセット溶接継手の疲労強度向上が確認できたため、溶接施工の工数が削減可能となり、有益な技術になると期待される。

6. 実用性・将来性

提案したFLExB[®] 溶接は主板上にガセット短辺に平行な

溶接ビードを有し、ガセット短辺に平行な溶接ビードに被せてガセット長辺に平行な溶接ビードを延伸させることを特徴としており、所定の溶接ビードのレイアウトにするだけで疲労強度を改善可能となる。特殊な溶接材料や鋼板も不要なため、橋梁の水平補剛材を含む広範囲な部材に適用可能である。また、溶接ビードのレイアウトについては、水平補剛材で使用される最大板厚を想定し、広範囲で権利化している。

FLExB[®] 溶接は、学協会での研究成果発表にとどまらず、革新的な技術として、2023年5月に国土交通省の新技术情報提供システム(NETIS)に登録された。橋梁等のインフラ分野での適用や公共事業の技術提案に用いられることが期待される。また、FLExB[®] 溶接は溶接施工の工数削減が可能のため、業界の関心が高く、新聞や雑誌などにも多数掲載されている。

7. 特 許

本溶接技術に関わる特許は基本特許の特許6733683号をはじめ、6件登録されている。

文 献

- (1) 山田健太郎, 牧野時則, 馬場千尋, 菊池洋一: 土木学会論文報告集, **1980**(1980), 31-41.
- (2) 西村俊夫, 三木千寿: 土木学会誌, **60**(1975), 55-64.
- (3) 平山幸, 森 猛, 猪股俊哉: 鋼構造論文集, **12**(2005), 111-121.
- (4) 穴見健吾, 三木千寿, 谷 秀樹, 山本晴人: ハンマーピーニング及びTIG処理による溶接継手部の疲労強度向上法, **2000**(2000), 67-78.
- (5) 米澤隆行, 島貫広志, 森 猛: 溶接学会論文集, **37**(2019), 44-51.
- (6) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説(2012年改訂版), 技報堂出版, (2012).
- (7) 高木芳史, 崎本隆洋, 植田圭治, 伊木 聡, 半田恒久, 森影康: 溶接構造シンポジウム2023講演論文集, **14**(2023), 134-143.