

疲労強度改善法を施した実物大試験体の疲労試験

Fatigue Tests on Full-Sized Specimens by the Fatigue Strength Improvement Method

林 暢彦*¹ 百瀬 敏彦*² 村上 貴紀*³ 坂根 秀和*⁴ 金原 慎一*⁵
 Nobuhiko HAYASHI Toshihiko MOMOSE Takanori MURAKAMI Hidekazu SAKANE Shin-ichi KIMBARA

Summary

The fatigue strength of the out-of-plane gusset welded joint is low in relation to joints used for steel bridges and is prone to suffer fatigue damage. To prevent such fatigue damage, it is necessary to improve fatigue strength. In this study, we conducted fatigue tests on full-sized specimens with such fatigue strength improvement methods as LTT, RSC and UIT applied to welded parts, thereby comparing fatigue resistance depending on the existence of post processing after welding and treatment methods.

キーワード：疲労強度改善法、UIT、低変態温度溶接材料（LTT）、残留応力制御型溶接材料（RSC）

1. はじめに

わが国の橋梁維持管理の将来を考える際に、新しく建設される橋梁は出来るだけ建設コストを抑え、メンテナンスに関わる負担を低減していくことが必要と考えられ、平成18年の鋼橋の架替理由の内訳として、腐食、床版の破損、支承の機能不良、自動車荷重に伴う鋼部材のき裂破断という報告¹⁾もある。そのような背景から、今後も各機関からは橋梁の延命化、長寿命化を望まれている。

溶接継手部の疲労強度を溶接終了後改善する方法として、(社)日本鋼構造協会「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」(以後JSSC指針)²⁾では、下記の二つに整理できると述べられている。

- ①溶接ビード及び溶接止端部形状を改善して応力集中を緩和する方法
- ②溶接することにより発生する(引張)残留応力を低減させる方法

これらの改善方法は、古くから検討が行われており、①は溶接部をグラインダ仕上げすることにより疲労強度を改善する方法³⁾、溶接止端部をTIG処理して再溶融させる方法⁴⁾などがある。グラインダ仕上げを行うことにより疲労強度を改善する方法は、最近では森ら⁵⁾や平山

ら⁶⁾の報告もあり、森らはグラインダ仕上げ方法の違いが疲労強度に及ぼす影響を疲労試験と応力解析から確認している。

②の溶接部の残留応力を低減させる方法は、止端部に圧縮残留応力を導入して疲労強度を向上させる方法として、ショットピーニング、ハンマーピーニングなどがある。穴見らが小型試験体を用いてその有効性を確認⁷⁾している。

前述の改善方法に加え、Low Transformation Temperature Welding Material(低変態温度溶接材料:以後LTT)を用いた付加溶接、Ultrasonic Impact Treatment(超音波打撃処理:以後UIT)などがあり、大型試験体にLTTを用いた疲労強度向上法を研究された例⁸⁾もある一方、国内外ではUITによる疲労強度改善方法も検討されている。

UITは1980年代初頭にE.S.Statnikovにより提案され、IIWやLeigh大学を中心として盛んに研究⁹⁾が行われている。わが国においては、これまで新日本製鐵によりその適用が検討されており、小型～中型試験体においてその効果を確認^{10)~15)}している。

さらに、新日本製鐵にて開発された鋼管などの鋼構造部材の腐食欠損部を肉盛り溶接により補修する際に、溶接時の溶接変形が小さい溶接材料、Residual Stress Control Welding Material(残留応力制御型溶材:以後

*1(株)宮地鐵工所 技術本部設計部技術開発グループ係長

*2(株)宮地鐵工所 千葉工場副工場長

*3(株)宮地鐵工所 技術本部技術研究所生産技術グループ課長

*4(株)宮地鐵工所 技術本部技術研究所生産技術グループ主任

*5(株)宮地鐵工所 技術本部長

ウェブの溶接部)にはSF-60の1種類とした。

3. 疲労試験

(1) 試験方法

疲労試験は、宮地鐵工所所有の試験機（油圧サーボ式アクチュエーター）を利用して行い、支間を6m、荷重点間距離を2mとし、試験体が四点曲げとなるようにした。すべての試験体に対して上限荷重470kN、下限荷重10kN、荷重範囲460kNとした一定振幅荷重下で実施し、載荷周波数は1Hz、荷重波形は正弦波とした。試験状況を写真-1に示す。定期的に磁粉探傷試験（MT）を実施し、疲労き裂発生の確認やき裂進展状況を確認した。

(2) 各試験体の疲労試験状況

試験体Sp-1の疲労試験は、溶接材料SF-1とSF-60に関係なく100万回時点で多くの疲労き裂をまわし溶接止端部で確認し、120万回で試験を終えた。

試験体Sp-2の疲労試験は、115万回時点で疲労き裂を確認し、150万回で進展したき裂のみでボルト締めストップホール法による補修を行い、230万回まで試験を続け終了した。疲労き裂は、115万回時においてSF-60 + RSCのガセットまわし溶接部で確認し、その後135万回でSF-1 + LTTとSF-60 + RSCの両組合せの面外ガセット部まわし溶接部からの発生を確認した。疲労き裂の発生に関しては、溶接材料と溶接後処理の組合せSF-1 + LTTとSF-60 + RSCとの大きな差異は見られず、両組合せともほぼ同時期に疲労き裂を確認している。そして、ウェブ両面の対称となる面外ガセット溶接継手部において、き裂が発生した位置が異なる溶接部もあった。例えば、一方はガセットまわし溶接部のウェブ側に、他方はガセット側の溶接部において疲労き裂が発生しており、ウェブをはさんで発生位置が異なっていた。

試験体Sp-3の疲労試験については、100万回で疲労き裂を確認し、135万回、220万回の時点でボルト締めストップホール法による補修を行い、250万回まで試験を続け終了した。

疲労き裂は、100万回の時点でSF-60 + RSCの面外ガセットまわし溶接部において、その後135万回にてSF-60 + RSCのガセットまわし溶接部側から疲労き裂を確認した。疲労試験は続けて250万回まで実施したが、SF-1 + UITの溶接部においては、疲労き裂の発生は確認出来なかった。

疲労き裂が発生した全11ヶ所のうち10ヶ所が引張側で、ウェブをはさんで両面となっており、発生箇所はほぼ一致している。試験終了後にUITを施した溶接部位に疲労き裂が発生しなかったことを、再度、磁粉探傷試験（MT）を実施することにより確認した。

(3) 疲労試験結果

各試験体の疲労試験結果は、面外ガセット溶接部で確認した全ての疲労き裂を対象とした。試験データの取扱は、疲労き裂が発生したガセット溶接継手部での公称応力範囲と疲労き裂長さが10mm以上になった時点での繰返し回数で、S-N線図に整理した。その結果を図-2に示す。図中の実線と点線はJSSC指針で規定されている疲労設計 $\Delta\sigma$ -N関係である。

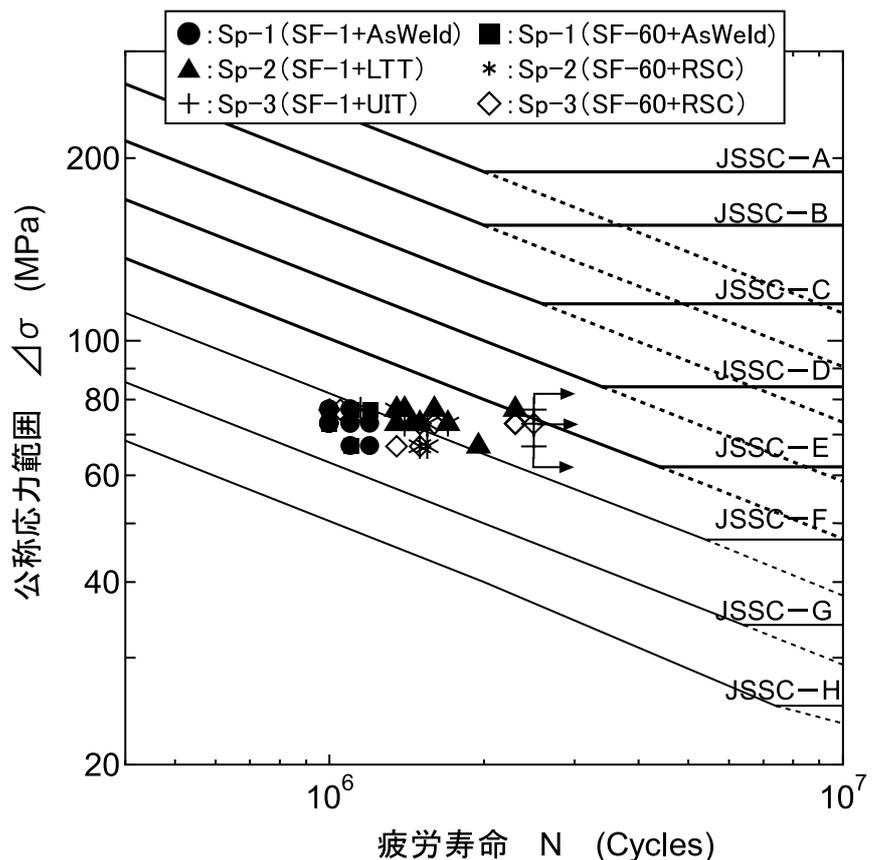


図-2 疲労試験結果

試験体 Sp-1 は、溶接材料を同一の試験体に SF-1 と SF-60 に 2 種類使用し、溶接のまま（溶接後処理を行わない）の試験体である。この試験体の結果において、SF-1 + AsWeld は●、SF-60 + AsWeld は■と図-2 に整理した。溶接材料に関係なく JSSC 指針の疲労設計 $\Delta \sigma$ -N 関係の G 等級と F 等級の間に位置し、面外ガセットの G 等級を満足している。溶接材料を 2 種類使用し溶接後処理を施した試験体 Sp-1 での疲労試験結果より、溶接材料を変えても疲労強度が大きく変わるような試験データは得られなかった。

試験体 Sp-2 は溶接材料 SF-1 と溶接後処理 LTT、溶接材料 SF-60 と溶接後処理 RSC の組合せで製作した試験体で、この試験体の試験結果は、SF-1 + LTT は▲、SF-60 + RSC は* とし図-2 に整理した。SF-1 + LTT の▲の多くは F 等級から E 等級程度までばらついている。SF-60 + RSC の* の多くは、F 等級程度に位置している。試験体 Sp-2 の▲と* の試験結果は、試験体 Sp-1 の溶接のまま（AsWeld）の試験結果（SF-1 + AsWeld は●、SF-60 + AsWeld は■）よりは長寿命側に位置していることがわかる。

試験体 Sp-3 は、溶接材料 SF-60 と溶接後処理 RSC と溶接材料 SF-1 と溶接後処理 UIT の組合せで製作した試験体である。この試験体の結果は、SF-60 + RSC は◇で、SF-1 + UIT は+で、図-2 に整理した。SF-60 + RSC の試験結果◇の多くは F 等級上に位置し、E 等級程度までばらついていることが確認できる。そして、SF-1 + UIT の結果+は、250 万回まで試験を続けたが疲労き裂を確認出来なかったので、E 等級以上と整理した。

4. まとめ

LTT や RSC、UIT などの疲労強度改善法を溶接部に施した実物大レベルの試験体の疲労試験を実施して得た知見を列記する。

- ・ RSC（残留応力制御溶材）、LTT（低温変態温度溶材）などの付加溶接を施した疲労強度改善法を採用することにより、面外ガセット溶接継手に対して JSSC 指針の疲労設計強度 1 等級程度の疲労強度改善ができると考えられる。
- ・ UIT（超音波打撃処理）を採用することにより、1 等級以上～2 等級程度の疲労強度改善が期待できる。
- ・ 溶接材料を SF-1 と SF-60 に 2 種類使用したが、特に

疲労強度が変化するような試験結果は確認出来なかった。

謝辞

本研究開発は、数年前から新日本製鐵株式会社と共同で実施してきたものである。真摯に対応・活動していただいた新日本製鐵の諸氏や、試験体製作、疲労試験に関わった弊社スタッフに深く感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 市川明広, 武田達也, 玉越隆史:既設橋梁の架替実態調査結果, 土木技術資料, Vol.50, No.5, pp.10-13, 2008.
- 2) 日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針.同解説, 1993.
- 3) 例えば, 日本鋼構造協会:JSSC レポート No.6, 止端加工による疲労強度向上法, pp.22-36, 1987.
- 4) 例えば, 太田省三朗, 浅井公屋, 大谷真一:すみ肉溶接継手の TIG アーク再溶融による疲労強度の向上, 溶接学会論文集, Vol.8, pp.254-261, 1990.
- 5) 森猛, 猪股俊哉, 平山繁幸:グラインダ仕上げ方法が面外ガセット溶接継手の疲労強度に及ぼす影響, 鋼構造論文集, 第 11 巻, 第 42 号, pp.55-62, 2004.
- 6) 平山繁幸, 森猛, 猪股俊哉:面外ガセット溶接継手の疲労強度に対するグラインダ仕上げ方法の影響, 鋼構造論文集, 第 12 巻, 第 45 号, pp.111-121, 2005.
- 7) 穴見健吾, 三木千壽, 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, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.67-78, 2000.
- 8) 富永智則, 三木千壽, 高橋健, 糟谷正, 森影康:低温変態溶接材料を用いた既設鋼橋の疲労強度の向上法の研究, 土木学会論文集, No.759/I-67, pp.355-367, 2004.
- 9) 穴見健吾:Ultrasonic Impact Treatment (UIT), 鋼構造物の疲労損傷は防止できるのか? (各種鋼構造物の疲労設計の現状と将来像) シンポジウムテキスト, (社) 日本溶接協会鉄鋼部会技術委員会発行, pp.101-104, 2005.
- 10) 野瀬哲郎:疲労強度向上向け超音波ピーニング, 溶接学会誌, 第 77 巻, 第 3 号, pp.6-9, 2008.

- 11) 野瀬哲郎, 島貫広志:重ね継手の疲労寿命に及ぼす超音波ピーニングの影響に関する実験及び解析, 日本機械学会論文集 (A 編), 74 巻, 737 号, 2008.1, pp166-168
- 12) 野瀬哲郎, 島貫広志, 中島清孝:溶接構造物の疲労特性に及ぼす超音波衝撃処理の効果—疲労対策技術の溶接構造物への応用— (第 1 報), 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 5E 号, 2007, pp75-76.
- 13) 野瀬哲郎, 島貫広志, 中島清孝:溶接構造モデル試験による疲労対策効果の実証試験—疲労対策技術の溶接構造物への応用— (第 1 報), 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 5E 号, 2007, pp81-82.
- 14) 島貫広志, 野瀬哲郎:構造モデル試験体の疲労特性に及ぼす超音波衝撃処理の効果, 溶接学会全国大会講演概要, 第 81 集, 2007.9
- 15) 富永知徳, 松岡和己, 佐藤嘉昭:補修溶接を施した既設クレーンランウエイガーダーの超音波衝撃処理による寿命向上, 鋼構造論文集, 第 14 巻, 第 55 号, 2007.9, pp47-58
- 16) 日本規格協会:JISZ3313-1999 軟鋼、鋼張力鋼及び低温用鋼用アーク溶接フラックス入りワイヤ

2009.1.26 受付

グラビア写真説明

東京港南部地区臨海道路橋梁上部築造工事 (その 5) 工事

本工事は、中央防波堤外側埋立地と若洲を結ぶ東京港臨海道路 II 期事業における延長約 2.9km の東京港臨海大橋 (仮称) のうち、国土交通省施工区間 (海上部) のアプローチ部を対象とした工事です (本橋≪トラス・ボックス複合橋≫も宮地 JV にて施工しております)。

主要材料に橋梁用高性能鋼材 (BHS) を採用。溶接では施工性確認試験や技量試験を実施するなど品質管理は特に留意しています。

架設は、大型起重機船による大ブロッカー一括架設 (全 7 回) で行われ、1 回目の架設は多くの報道機関で紹介されるなど注目をあつめています。

完成後は周辺の整備 (公園、展望台の計画) もされ、東京港の入り口で一際目を引くランドマークの一端を担うこととなるでしょう。
(清水 達也)

銚子大橋

本橋は、老朽化が激しい供用中の銚子大橋の架け替え橋として、現橋の真横 (上流側) に架けられる橋梁です。

当社施工部分は、H21.3.24 に隣接の現橋の迂回部分として先行供用されます。現場施工では、強風地域・12 月～4 月のシラス漁期による作業制限等により通常の現場に較べて施工稼働率は低くならざるを得ないこと、また供用中の隣接現橋が 26,000 台超/日の交通量があり施工時 (特に主塔工の施工時) の安全確保に特段の配慮が必要であったことから、工程管理・安全管理・品質管理・環境配慮の面で非常に難しい現場でありました。

しかし、現場担当者の努力により安全に且つスムーズに施工は進捗し、竣工を迎えることができました。

(菊地 秀貴)