

UIT による面外ガセット疲労強度向上対策

首都高速道路技術センター  
法政大学  
新日鐵住金

正会員  
正会員  
正会員

○上坂 健一郎  
森 猛  
富永 智徳

正会員  
正会員  
正会員

時田 英夫  
浅子 雅行  
島貫 広志

1. はじめに

鋼 I 桁橋の下横構ガセットプレート（以下、ガセット）は主桁下フランジ近傍に取り付けられており、作用応力が高いため、端部のまわし溶接部からき裂が発生する(写真-1)。

発見されたき裂のうち大部分は溶接止端部に留まっている短いき裂（以下、止端き裂）であり、グラインダーで切削してき裂を除去している。また止端き裂であっても、板厚方向2mm程度の切削でき裂が除去出来なかった場合には、当て板で補修することとしており、多大な労力とコストがかかっている。

UIT(Ultrasonic Impact Treatment)は、止端部を直径3～5mmのピンで打撃することにより圧縮残留応力を導入し、疲労強度の向上を図る手法であり、主に工場製作時に行われている。装置は軽量コンパクトで反動・振動が比較的小さく、処理速度も速い。そのため、止端き裂に適用できれば、作業効率を改善できると考えられる。

UIT のき裂が無い場合の疲労強度改善効果については、これまでも多数報告<sup>1)</sup>されている。き裂がある場合には、図-1 に示すようにき裂の一部または全面を圧着することで、き裂先端部の応力集中が緩和されると考えられる。本稿では、止端き裂に対するUITの効果について疲労試験で確認した結果を報告する。

2. UIT の効果確認

疲労試験は図-2 に示すように、主板の両面にガセットを取り付けた試験体を用い、下限側応力を 8.9N/mm<sup>2</sup> の片振り引張で行った。試験体は2種類用いており、AW 試験体は溶接のまま、PC 試験体は止端に留まる程度の疲労き裂を導入した後にUITを施した試験体である。

(1) 予き裂の導入

PC 試験体 11 体は、表-1(A)に示す応力範囲で、AW 試験体で求めた疲労寿命(表-1(F))の 1/3 程度の荷重繰返しを与えることで予き裂を導入した。予き裂導入後の磁粉探傷試験の結果、表-1(E)に示すように、8 試験体で止端き裂、3 試験体で母材進展き裂が発生していた。ただし、き裂の母材への進展は 1mm 程度である。

(2) UIT の施工

図-3 に示すように、UIT の施工範囲はまわし溶接部とガセット端から長手方向に 30 mm とし、UIT 深さは 0.2 mm 以上を目標とした。表-1(D)に示すように、PC-06, 08, 10 はまわし溶接部のUIT深さが 0.2 mm に達していなかった。

(3) UIT 後試験

UIT 後の疲労試験での応力範囲は、予き裂導入試験時と同じとし(表-1(A))、繰返し回数は、AW 試験の疲労寿命キーワード UIT、ガセット、疲労寿命

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目 10 番地 11 号虎ノ門 PF ビル



写真-1 ガセットの止端部のき裂

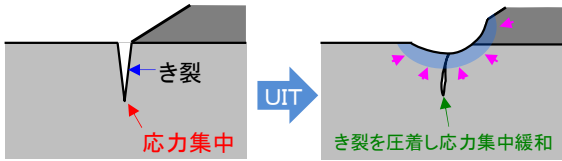


図-1 UITによるき裂圧着のイメージ

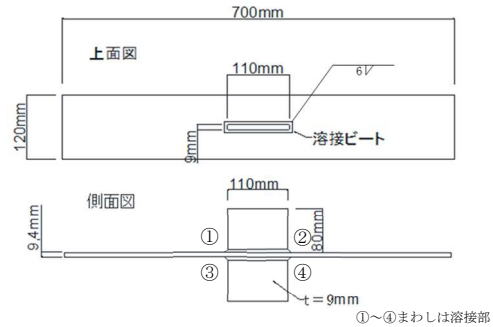


図-2 試験体の形状と寸法

表-1 UIT 効果確認の条件と結果

|         | (A)                       | (B)                                 | (C)             | (D)             | (E)     | (F)                          | (G)                            | (H)          |
|---------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------------------|--------------------------------|--------------|
| 試験体 No. | 応力範囲 (N/mm <sup>2</sup> ) | 予き裂導入試験 荷重繰返し回数 (×10 <sup>4</sup> ) | 破断面の 予き裂深さ (mm) | 破断面の UIT深さ (mm) | 母材進展 有無 | AWの 疲労寿命 (×10 <sup>4</sup> ) | UIT後の 疲労寿命 (×10 <sup>4</sup> ) | 寿命比率 (G)/(F) |
| PC-01   | 50                        | 400                                 | 2.6             | 0.34            | 止端内     | 約850                         | 2,400以上                        | 2.8以上        |
| PC-02   | 65                        | 150                                 | 3.8             | 0.28            | 母材進展    | 約400                         | 876 (破断)                       | 2.2          |
| PC-03   |                           | 150                                 | 1.7             | 0.38            | 止端内     |                              | 1,200以上                        | 3.0以上        |
| PC-04   |                           | 160                                 | 1.4             | 0.25            | 止端内     |                              | 2,000以上                        | 5.0以上        |
| PC-05   |                           | 242                                 | 5.3             | 0.23            | 母材進展    |                              | 1,251 (破断)                     | 3.1          |
| PC-06   | 80                        | 70                                  | 0.7             | 0.13            | 止端内     | 約210                         | 700以上                          | 3.3以上        |
| PC-07   |                           | 80                                  | 2.2             | 0.25            | 止端内     |                              | 700以上                          | 3.3以上        |
| PC-08   |                           | 85                                  | 4.2             | 0.11            | 母材進展    |                              | 130 (破断)                       | 0.6          |
| PC-09   |                           | 80                                  | ルート破壊           | 0.31            | 止端内     |                              | 700以上                          | 3.3以上        |
| PC-10   | 100                       | 50                                  | 2.9             | 0.18            | 止端内     | 約140                         | 139 (破断)                       | 1.0          |
| PC-11   | 120                       | 30                                  | 2.0             | 0.22            | 止端内     | 約70                          | 220以上                          | 3.1以上        |

の3倍程度とした。また、図-3に示すように、UIT 最深部から3mmの位置にひずみゲージを貼付け、ひずみの変化を計測した。

表-1(G)にUIT後の疲労寿命、表-1(H)にAW疲労寿命に対するUIT後疲労寿命の比率(以下、寿命比率)を示す。寿命比率は破断しなかった7試験体で2.8以上であった。破断した4試験体のうち2試験体(PC-02, 05)は2.2~3.1であったが、他の2試験体(PC-08, 10)は1.0以下であった。

AW試験とUIT後試験のS-N線を図-4に示す。「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」(JSSC)では、AW試験体の継手はG等級に分類されているが、疲労試験ではE~F等級であった。また、UIT後試験では破断した4試験体を除いてD等級を上回っている。

図-5に破断しなかったPC-03のひずみの変化を示す。ひずみは変化しておらず、予き裂は圧着したままで、開口していないと考えられる。

3. 疲労寿命への影響

表-3は表-2の(A)応力範囲、(C)予き裂深さ、(D)UIT深さを抽出したものである。各項目がUIT後の疲労寿命に与える影響について下記に示す。

(1) UIT 深さの影響

UIT深さが目標の0.2mm以上の8試験体の寿命比率は2.2以上であった。0.2mmに達していなかった3試験体のうち、2体(PC-08, 10)の寿命比率はそれぞれ0.6, 1.0であり、UIT深さが0.2mm未満の場合はUITの効果小さくなる場合がある。

(2) 予き裂深さの影響

破断した4試験体のうち3試験体(PC-02, 05, 08)が母材進展であり、き裂深さは3.8~5.3mmであった。PC-08の寿命比率は0.6であり、き裂深さが大きいとUITの効果小さくなる場合がある。ただし、PC-08のUIT深さは0.11mmであり、UIT深さが小さいことで、寿命比率が小さくなった可能性もある。

(3) 応力範囲の影響

応力範囲が65N/mm<sup>2</sup>以下の全試験体は、母材進展き裂であってもAW疲労寿命に対するUIT後疲労寿命の比率が2.2以上であった。

実橋での最大応力範囲は60N/mm<sup>2</sup>程度である。き裂深さが大きくてもUIT深さが0.2mm以上の場合は、UITによるき裂の進展防止の効果が期待でき、止端き裂およびわずかに母材に進展しているき裂に対し、適用の可能性があると考えられる。

4. まとめ

本検討により、溶接止端内に留まっているき裂に対してUITの効果があることが確認された。今後、品質管理方法を含めて実橋への適用性について検討していく予定である。

参考文献

1) 例えば、野瀬哲郎：疲労強度向上向け超音波ピーニング法，溶接学会誌，Vol. 77, No. 3, pp210-213, 2008

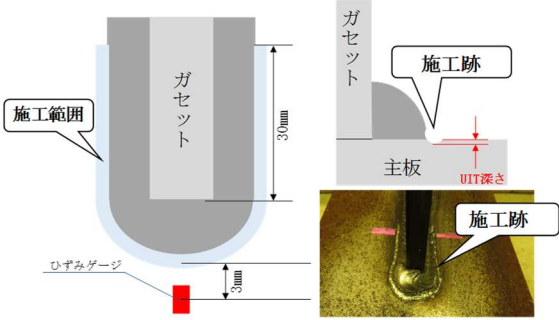


図-3 UITの施工範囲と跡

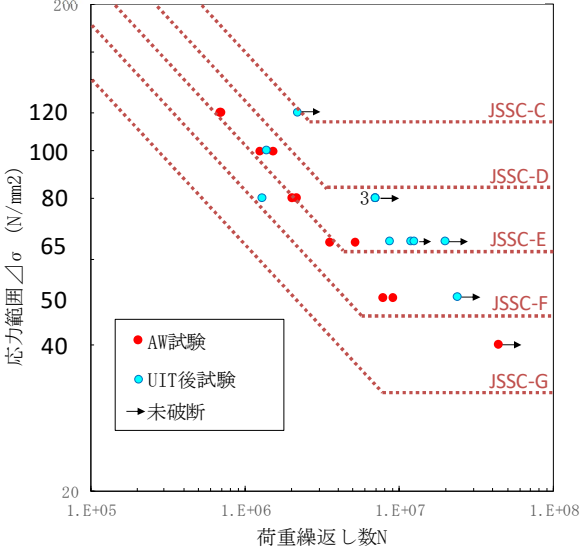


図-4 AW試験とUIT後試験の結果(S-N線図)

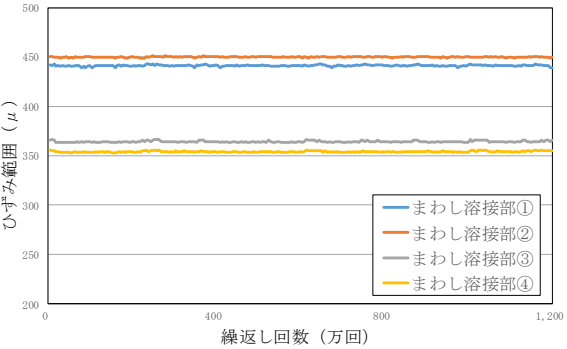


図-5 PC-03のUIT後試験中のひずみの変化

表-3 各項目と疲労寿命の関係

| 試験体No. | 【応力範囲】<br>65N/mm <sup>2</sup> 以下 | 【UIT深さ】<br>0.2mm以上 | 【予き裂深さ】 |         | 寿命比率  |
|--------|----------------------------------|--------------------|---------|---------|-------|
|        |                                  |                    | 母材進展なし  | 深さ (mm) |       |
| PC-01  | ○                                | ○                  | ○       | 2.6     | 2.8以上 |
| PC-02  | ○                                | ○                  |         | 3.8     | 2.2   |
| PC-03  | ○                                | ○                  | ○       | 1.7     | 3.0以上 |
| PC-04  | ○                                | ○                  | ○       | 1.4     | 5.0以上 |
| PC-05  | ○                                | ○                  |         | 5.3     | 3.1   |
| PC-06  |                                  |                    | ○       | 0.7     | 3.3以上 |
| PC-07  |                                  | ○                  | ○       | 2.2     | 3.3以上 |
| PC-08  |                                  |                    |         | 4.2     | 0.6   |
| PC-09  |                                  | ○                  | ○       | ルード破壊   | 3.3以上 |
| PC-10  |                                  |                    | ○       | 2.9     | 1.0   |
| PC-11  |                                  | ○                  | ○       | 2.0     | 3.1以上 |