

## 簡易ツールによる疲労き裂の進展抑制工法の開発

関西大学 ○松原 由典  
関西大学 石川 敏之

### 1. はじめに

現在、重交通路線を中心に、鋼橋に多数の疲労き裂が発生していることが報告されている。点検により疲労き裂を発見してから補修するまでに時間を要する場合、疲労き裂が進展しているケースや、新たに疲労き裂が発見されるケースがある。そのため磁粉探傷などのき裂の有無の確認や、通常の点検の際に、特別な装置を必要とせずに簡単に疲労き裂の進展が抑制できる工法が望まれている。これまで、疲労き裂の簡易的な補修方法として衝撃き裂閉口処理(ICR処理)<sup>1)</sup>が提案されているが、ICR処理はエアークンプレッサーやエアーツールの準備が必要であるため、通常の点検の際には利用することができない。

このような背景から、通常の点検の際に容易に施工できる簡易補修法として、先端を加工したオートポンチによってき裂表面を閉口させてき裂の進展を一時的に抑制する工法を提案する。オートポンチは、電力を必要としない手のひらサイズの小型の工具なので、現場で容易に施工を行うことが可能である。本研究では、オートポンチを用いたき裂閉口によるき裂進展の抑制効果および疲労強度向上効果を、板曲げ疲労試験により明らかにする。

### 2. 試験体と疲労試験方法

本研究で用いた面外ガセット溶接継手試験体とひずみの計測位置を図-1に示す。板厚 12mm、幅 200mm の主板 ( $\sigma_t=434\text{N/mm}^2$ ) に板厚 12mm、高さ 100mm のガセットプレートが、下向きで半自動  $\text{CO}_2$  ガスシールドアーク溶接されている。すみ肉溶接は等脚長の 6mm としている。

疲労試験には、図-1に示す板曲げ振動試験機を用い、バネを押し下げて応力比を  $R=0$  として疲労試験を行った。本試験では、繰り返し板曲げを与えた時のひずみを図-1に示すゲージ B と C の値の平均値から求めた応力範囲を公称応力範囲と定義した。本研究では、溶接止端に貼付けた被覆銅線( $\phi 0.05\text{mm}$ )が、まわし溶接部からの疲労き裂の発生で切断した時の繰り返し回数を  $N_{\text{toe}}$  とし、疲労き裂が溶接止端から離れて主板を 10mm 進展した段階( $N_{10}$ )で疲労試験を終了した。

試験体としては、溶接したままの試験体(AW)、溶接止端から疲労き裂が発生した段階( $N_{\text{toe}}$ )でバネを除荷しない状態

(平均応力状態)で、溶接止端近傍の主板を叩いてき裂を閉口させた試験体( $N_{\text{toe}}+\text{P}(\text{preloading})$ )、 $N_{\text{toe}}$  でバネを解放して無応力状態でき裂を閉口した試験体( $N_{\text{toe}}+\text{P}$ )、溶接したままの状態に溶接止端にオートポンチで打撃した試験体(AW+P)を準備した。疲労き裂の閉口処理によるき裂進展抑制効果は、き裂閉口処理を行う際の応力状態の影響を受けるので、試験体試験体  $N_{\text{toe}}+\text{P}$  よりも試験体( $N_{\text{toe}}+\text{P}(\text{preloading})$ )の方がき裂の進展抑制効果が高いと考えられる。

### 3. オートポンチの打撃により導入される圧縮ひずみ

オートポンチの打撃により導入される圧縮ひずみを確認するために、試験体 AW+P、 $N_{\text{toe}}+\text{P}$  のオートポンチによる打撃の際に計測した、ゲージ A(図-1 参照)のひずみの変動を図-2に示す。ひずみの大幅な変動の回数からもわかるように、試験体 AW+P では、溶接止端近傍の主板を 2 往復、試験体  $N_{\text{toe}}+\text{P}$  ではき裂の近傍の主板を 3 往復打撃している。図-2 から、一往復の打撃で、圧縮ひずみの 5~7 割程度が

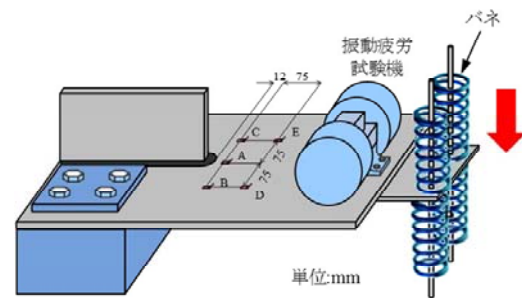


図-1 面外ガセット溶接継手の疲労試験

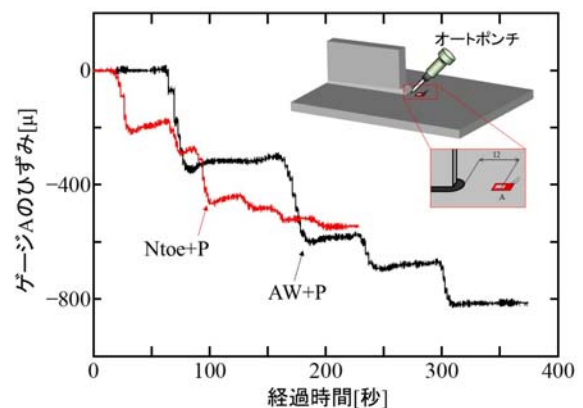


図-2 閉口処理中のひずみの変動

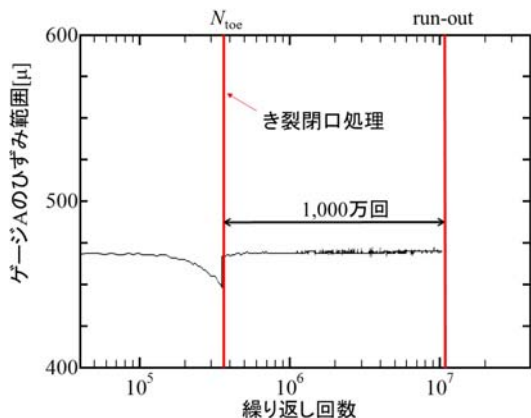


図-3 ひずみ範囲と繰返し回数の関係 ( $N_{toe}+P(\text{preloading})$ )

導入されていることがわかる。試験体 AW+P では、オートポンチによりひずみゲージ A に  $-800\mu$  程度の圧縮ひずみが導入され、試験体  $N_{toe}+P$  でも、 $-500\mu$  程度の圧縮ひずみが導入されているのでき裂が閉口していると考えられる。

#### 4. 疲労試験結果

一例として、試験体  $N_{toe}+P(\text{preloading})$  のひずみゲージ A のひずみ範囲と繰返し回数の関係を図-3 に示す。 $N_{toe}$  の疲労き裂の導入によって、ひずみ範囲が低下していることがわかる。 $N_{toe}$  の疲労き裂をオートポンチで閉口することにより、ひずみ範囲が再びき裂発生前と同程度に回復している。図-3 に示すように、試験体  $N_{toe}+P(\text{preloading})$  では、き裂閉口後、 $\Delta\sigma=60\text{MPa}$  を 1,000 万回繰返し载荷してもひずみ範囲に変動が見られなかったため run-out とした。

図-4 に、疲労強度  $N_{10}$  に対する、各疲労試験の結果の S-N 関係を示す。繰返し回数は、オートポンチを施工してからの繰返し回数を示している。図では、本研究の試験体と同寸法疲労試験結果<sup>2)</sup>もプロットしている。試験体 AW の結果は、文献 2) の結果と同程度の疲労強度であった。

試験体  $N_{toe}+P(\text{preloading})$  では、 $\Delta\sigma=60\text{MPa}$  で run-out した後、応力範囲を  $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  として疲労試験を行った結果、約 670 万回の繰返し回数で溶接ルート部から疲労き裂が発生した。ルート部から発生した疲労き裂に対して、平均応力の状態で、き裂の両側面と直上をそれぞれ 2, 3 往復オートポンチで打撃して疲労き裂を閉口し、再び疲労試験を実施したところ、き裂閉口後 1,000 万回繰返し载荷しても溶接止端およびルート部のき裂に進展が見られなかった。このように、平均応力で疲労き裂をオートポンチによって閉口することにより疲労寿命を大幅に遅延できた。

試験体 AW+P も同様に、 $\Delta\sigma=60\text{MPa}$  で 1,000 万回繰返してもき裂が発生しなかったため、run-out として、応力範囲

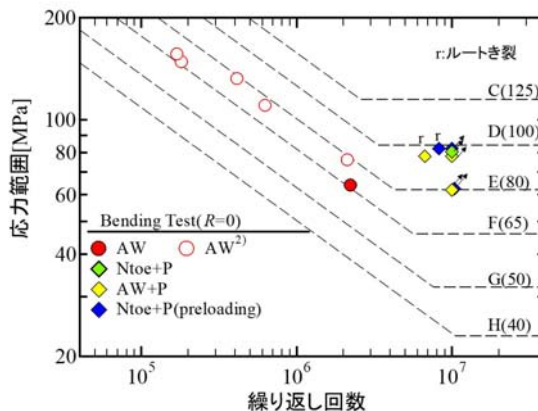


図-4 疲労試験結果

を  $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  として疲労試験を行った結果、約 610 万回でルート部からき裂が発生した。バネを解放して無応力状態でルートき裂を閉口し疲労試験を再開したところ、1,000 万回繰返し载荷してもルート部のき裂に進展が見られなかった。したがって、 $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  では、無応力状態で疲労き裂を閉口した場合でも、疲労寿命の延命効果が高かった。

試験体  $N_{toe}+P$  でも、 $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  で 1,000 万回繰返し载荷してもひずみ範囲に変動が見られなかったため run-out とした。溶接止端に発生した  $N_{toe}$  程度の疲労き裂に対しては、無応力状態でき裂を閉口しても、疲労寿命が延命化できた。

#### 5. まとめ

本研究では、オートポンチを用いた簡易ツールによる疲労き裂の進展抑制工法を提案し、その効果を板曲げ疲労試験により明らかにした。本研究の条件の範囲内に対する主な結論を以下に示す。

- 1) オートポンチによる打撃によって比較的小さなき裂は閉口できることを示した。
- 2) 溶接止端から発生した疲労き裂、ルート部から発生した疲労き裂を、オートポンチによる打撃によって閉口することで、疲労寿命を大幅に延命することができた。
- 3) 溶接ままの状態でもオートポンチによる打撃を行うことで、疲労強度が大幅に向上した。

#### 参考文献

- 1) 石川敏之, 山田健太郎, 柿市拓巳, 李蓄: ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生した疲労き裂の寿命向上効果, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp.264-272, 2010.
- 2) 判治 剛, 穴見健吾: 止端処理による溶接継手の疲労強度改善効果とその鋼材強度依存性, 構造工学論文集, Vol.63A, pp.646-658, 2017.