

## 初期疲労き裂を有する溶接継手の超音波衝撃処理(UIT)による疲労寿命向上

新日本製鐵 正会員 ○富永 知徳  
 新日本製鐵 正会員 本間 宏二  
 新日本製鐵 正会員 松岡 和巳

### 1. はじめに

近年、疲労損傷が多く、の構造物で顕在化しているため、さまざまな疲労寿命向上工法が提案されてきている。それら工法については、疲労性能をどれだけ向上できるかで優劣を議論することが多いが、実際には橋梁については基本的にD等級を確保すれば十分なため、それほど大幅な性能向上が必要とされているとは言えず、そのレベルであればほとんどの提案された工法がその要求性能を満足することができる。むしろ、工法選択にあたって重要なのは作業性と品質管理である。例えば、最も一般的な疲労性能向上工法であるグラインダー仕上げは、目視で品質管理を行うことが可能ではあるが、削りすぎはむしろ疲労性能を低下させるなど処理そのものが非常に熟練を要する上に、品質管理も難しい。それは、グラインダーでは止端の応力集中が大きな範囲を全て処理して止端半径を大きくする必要はあるが、少しでも残っていればそこが弱点になってしまうためである。また、既設の構造物进行处理するときには別の課題が生じる。つまり、グラインダーをはじめとする、疲労性能向上工法は、その適用時に既にその部位にき裂が入っている場合、疲労性能を向上させることができない。もちろん、グラインダーは既に入っているき裂を削るため、ごく小さいき裂の場合は除去して無害化してしまう場合もあるが、ほんの深さ0.1mmでもき裂が残っていれば、その残ったき裂がすぐに進展してしまうために、十分な疲労寿命向上が得られなくなってしまう。そのため、これはあまり議論されることは多くないが、既設の構造物にどんな疲労寿命向上工法を適用する場合でも、その前に処理部位に疲労き裂の検査を行う必要がある。しかし、問題は疲労き裂の検査方法には検出限界が存在することである。もし、検出限界より小さな初期疲労き裂が入っている溶接継手をその工法で性能向上できないのであれば、その工法は既設構造物には使えないということになる。

そこで、超音波衝撃処理(UIT)について、既設構造物への適用性を実験的に検討することとした。他の圧縮応力を与える手法であるハンマーピーニングやショットピーニングが0.3mm程度までしか圧縮応力を導入できないのに比較して、超音波衝撃処理は2mm程度と非常に深くまで与えるため、比較的大きな初期疲労き裂に対しても、その悪影響を無害化し、疲労性能を向上させることができると期待できる。

### 2. 検討方法

図-1に検討のフローを示す。まず、継手試験体について、き裂深さ計で計測を行いながら疲労試験を行う(STEP1)。目標の深さまでき裂が入った時点で疲労試験を終了し、き裂の検出検査を行う(STEP2)。検出検査後(発見の有無にかかわらず)に超音波衝撃処理(UIT)を適用し(STEP3)、その後、さらに疲労試験を続行する(STEP4)。検討のパラメータは、初期疲労き裂の深さである。

なお、疲労き裂深さは、電位差法によって計測した。その精度を確認するため、き裂深さが0.3mmの場合と1.0mmの場合の2ケースについて、上記のフローでのSTEP1だけで止め、試験体を切断してマイクロ試験体を作成し、光学顕微鏡による観察でき裂長さを計測した。その結果、計測結果と実際のき裂長さが0.2mm単位で一致していたため、電位差法が本検討に適用可能であることが確認できた。

また、非破壊のき裂検査方法としては浸透探傷検査法(PT)を用いた。磁粉探傷検査法(MT)の方が一般的に検出限界が小さいため、PTを用いて検査を行えば安全側の検討結果が得られると考えたからである。

溶接継手の形状を図-2に示す。溶接継手は通常、橋梁に使う継手の中で最も疲労強度が低い面外ガセット継手とし、鋼材にはSM490を用いている。

キーワード 疲労, き裂, 品質管理, 疲労性能向上工法, グラインダー,

連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵(株) 鋼構造研究開発センター TEL 0439-80-3124

超音波衝撃処理にあたっては 27kHz の機器 [1] を用い、ピンは 3mm のものを用い、通常の品質管理方法に基づいて処理を行った。(ことさらにき裂の発見された部位に対しての集中的な処理などはしていない)

疲労試験は応力振幅の 150MPa, R=0.1 で実施した。き裂進展に関し、相当に厳しい条件であると言える。

### 3. 検討結果

表-1 に試験体および試験結果の一覧を示す。また、図-3 に PT 結果のうち代表的なものを示す。

PT での指示模様は初期き裂深さ 0.4mm では見られなかったが、0.6mm 以上では確認することができた。一方で、0.8mm 以下では初期疲労き裂は進展しなかった。これは、UIT による塑性変形でき裂が潰されて進展しなくなったり、深くまで導入される圧縮応力によりき裂が開口しなくなったことによる。UIT により潰された初期き裂の一例の写真を図-4 に示す。

### 4. まとめ

- (1) UIT 処理により、本試験条件 (150MPa, 200 万回) で、き裂深さ 0.8mm でもき裂が無害化されている。
- (2) き裂深さ 0.4mm 以下は PT で検出できない。しかし、0.6mm 以上は指示模様を見ることができる。1.0mm 以上となると、きわめて明確に指示模様が出る。
- (3) 以上より、PT 検査実施後に UIT 処理を行えば疲労性能向上を基本的に確保できる。また、PT 結果の見落としに関しても、ある程度の余裕を持つ。

### 参考文献

[1] Tominaga, T.; Matsuoka, K.; Sato, Y.; Suzuki, T.: Fatigue improvement of weld repaired crane runway girder by ultrasonic impact treatment, Welding in the World, v52, n11-12, pp50-62, 2008



図-1 検討フロー

表-1 試験体一覧および検討結果

試験片 No	疲労載荷き裂 深さ(mm)	PT 結果	繰返し数 (Nf)
1	0.4 mm	検出なし	2000000(き裂なし)
2	0.6 mm	指示あり	2000000(き裂なし)
3	0.8 mm	指示あり	2000000(き裂なし)
4	1.0 mm	指示明確	323410
5	1.2 mm	指示明確	877070

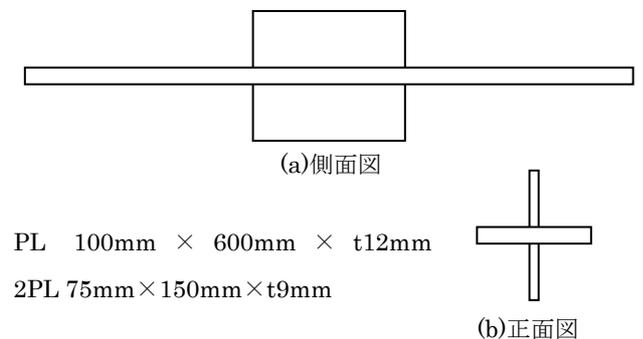


図-2 試験体概要

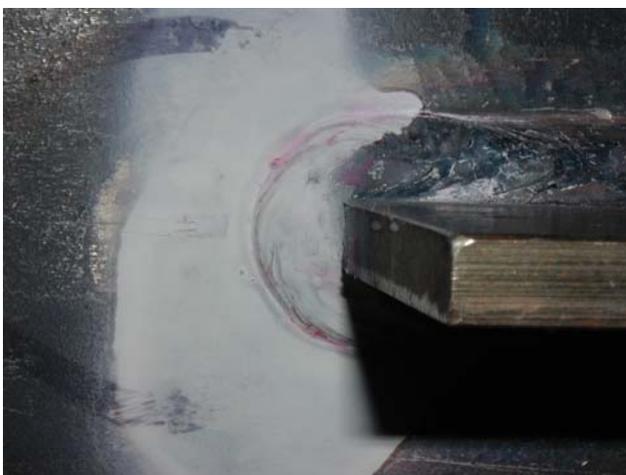


図-3 代表的な PT 結果

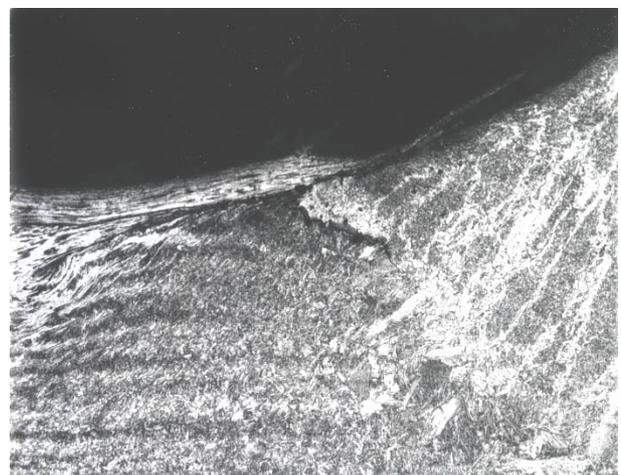


図-4 UIT 処理により潰された初期き裂の例