

下横構ガセットプレート溶接部に発生したき裂に対する疲労対策

首都高速道路技術センター
法政大学
日本製鉄

正会員 ○上坂 健一郎 正会員
正会員 内田 大介 フェロー
正会員 富永 知徳 正会員

時田 英夫 正会員 増井 隆
森 猛
島貫 広志

1. はじめに

首都高速道路の鋼I桁橋では、下横構ガセットプレート（以下、ガセット）端部のまわし溶接部に多数のき裂が発生している（写真-1）。発見されたき裂のうち大部分は溶接止端内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。ただし、止端き裂であっても、板厚方向2mm程度の切削で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を要している。

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鋼材表面に圧縮残留応力を導入する疲労強度改善法である。これまでは、主に工場製作時に用いられており、疲労き裂の発生の防止を目的としていた。他のピーニング工法に比べて、装置の反動・振動が比較的小さく、処理速度も速い。ここでは、実橋で発生している止端き裂に対しても、き裂深さが小さければ、図-1に示すようにUITによりき裂を閉口することができ、疲労き裂の進展を抑制できると考えられた。本稿では、き裂深さとUITの効果の関係について報告する。なお、本稿に示す疲労試験結果は筆者らが過年度に行ったデータ²⁾も含めて示している。



写真-1 ガセットの止端部のき裂

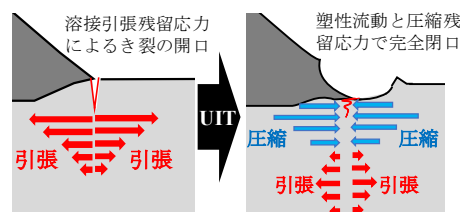


図-1 UITによるき裂閉口と残留応力分布のイメージ

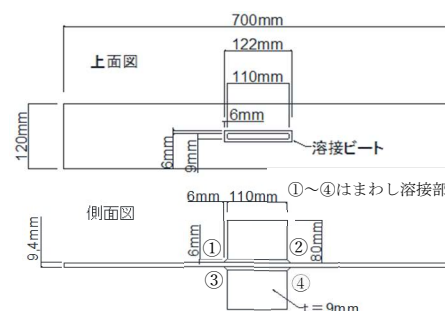
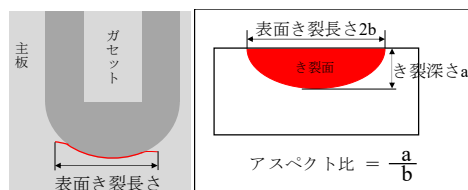


図-2 試験体の形状と寸法



(a) 表面き裂長さ (b) 表面き裂長さとき裂深さ

図-3 表面き裂長とき裂深さの定義

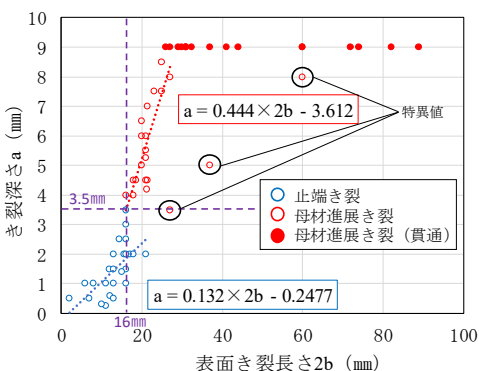


図-4 表面き裂長とき裂深さの関係（11体）

2. き裂深さと表面き裂長さの関係

UITの現場施工時には、UITの効果을期待できるき裂深さ a を表面き裂長さ $2b$ から把握する必要がある。そのため、き裂深さと表面き裂長さの関係を疲労試験で求めた。

a) 試験内容

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、11体の溶接のまま（UITを施工していない）の試験体に対してビーチマーク試験を実施し、試験後の疲労破面からき裂深さと表面き裂長さの関係および疲労寿命を求めた。疲労試験は、下限応力 8.9N/mm^2 の片振り引張荷重で、応力範囲 $65 \sim 120\text{N/mm}^2$ で行った。

b) 試験結果

図-3のように表面き裂長さとき裂深さを定義し、疲労試験から得られた両者の関係を図-4に示す。止端き裂で表面き裂長さが概ね16mm以上になると母材進展する。また、止端き裂は深さが3.5mm未満である。図-4には、止端き裂と母材進展き裂の a と $2b$ に対する線形近似式も示している。止端き裂の場合の平均アスペクト比は0.26であるが、母材進展した場合では0.89となっている。き裂発生初期は溶接止端の応力集中により止端線に沿ってき裂が進むが、き裂が母材進展し、深さが大きくなると、溶接止端の応力集中の影響が小さくなる。そのため、母材進展き裂では、表面側のき裂先端部より板厚方向のき裂先端部の応力拡大係数が相対的に大きくなるため、このように、母材進展き裂ではアスペクト比が大きくなると考えられる。なお、図中の丸囲み3点は特異値として、近似式算出から除外している。

キーワード ガセット、止端き裂、UIT

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目 10 番地 11 号虎

3. UIT の効果確認

き裂深さとUITの効果の関係を求めるため、19体で疲労試験を実施した。本試験は、疲労試験で予めき裂を発生（以下、予き裂導入試験）させた後にUITを行い、疲労試験を再開してその後の疲労寿命を求めた（以下、UIT後試験）。試験体は図-3と同様である。

(1) 予き裂導入試験

表-1 (A) に示す応力範囲で疲労試験を行い、予き裂を導入した。応力範囲は実橋での最大応力範囲が60N/mm²程度であることから、65N/mm²を基本とした。予き裂は疲労試験を一時中断し、磁粉探傷試験でき裂の長さを確認することで導入した。結果として表-1 (D) に示すとおり、11体で止端き裂、8体で母材進展き裂を導入した。

(2) UITの施工

UITの施工範囲はまわし溶接部とガセット端から30mmとし、UIT深さが0.2mm以上となることを目標に行った。UIT深さは型取り用のシリコンゴムを用いて計測した。UITの施工後の形状を写真-2に示す。表-1 (E) のとおり、UIT深さはPC-14, 16, 18を除いて0.2mm以上であった。

(3) UIT後試験

UIT後試験の応力範囲は予き裂導入試験と同じとし、繰返し回数は溶接のままの試験体の疲労寿命の3倍程度を上限として、破断するまで行った。

表-1 (G) にUIT後の疲労寿命、表-1 (H) には溶接のままの試験体の疲労寿命に対するUIT後疲労寿命の比（以下、寿命比）を示している。19体中9体が破断しており、うち8体は予き裂が母材進展した試験体であり、その他1体（PC-18）はUIT深さが0.2mm以下であり、応力範囲も他に比べて大きい。また、母材進展していた予き裂の深さは3.8mm以上、表面き裂長は16mm以上であった。

図-5に寿命比と予き裂深さの関係を示す。き裂深さが3.8mm未満の場合、すなわち止端き裂であれば、寿命比率は概ね3以上であり、効果が低い。しかし、き裂深さが3.8mm以上の場合、すなわち母材進展き裂に対しては、止端き裂に比べてUITの効果が低い。UITによる塑性流動と圧縮残留応力によるき裂閉口効果は表面付近のみであるため、き裂深さが大きい場合は、き裂進展防止効果が低くなると考えられる。ただし、き裂深さが3.8mm未満であっても、PC-18のようにUIT深さが0.2mm未満で応力範囲が大きい場合は、寿命比は1.0でありUITの効果は低い。

4. まとめ

ここでの実験から得られた主な結果は以下の通りである。

- ・ 止端き裂の深さは3.5mm未満であり、表面き裂長さが概ね16mm以上になると母材に進展する。
- ・ 止端き裂に対してUIT深さを0.2mm以上とすることで、き裂の進展を抑制できる。
- ・ 止端き裂に比べて母材進展き裂に対するUITの効果は低い。

参考文献

- 1) 富永ら：補修溶接を施した既設クレーンランウェイガーターの超音波衝撃処理による疲労寿命向上, 構造論文集, Vol14, No.55, pp47-58, 2007.9.
- 2) 上坂ら：UITによる面外ガセット疲労強度向上対策, 土木学会第73回年次学術講演会, I-147, 2018.

表-1 UIT 効果確認の内容と結果

試験体 No.	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
	応力範囲 (N/mm ²)	予き裂※		表面き裂長さ () 内は 母材進展長 (mm)	UIT深さ (mm)	溶接のままの 試験体の 疲労寿命 (万回)	UIT後の 疲労寿命 (万回)	寿命比 (G)/(F)
		発生位置	深さ (mm)					
PC-01	50	②	2.6	17	0.34	約850	2400以上	2.8以上
PC-02	65	②	1.4	15.5	0.25	約400	2000以上	5.0以上
PC-03	65	④	1.6	14	0.56	約400	1300以上	3.3以上
PC-04	65	②	1.7	14.5	0.38	約400	1200以上	3.0以上
PC-05	65	②	1.8	12.5	0.35	約400	1300以上	3.3以上
PC-06	65	①	1.8	17	0.54	約400	1300以上	3.3以上
PC-07	65	①	3.8	19.5(1)	0.28	約400	876 (破断)	2.2
PC-08	65	①	4.6	16(3)	0.62	約400	184 (破断)	0.5
PC-09	65	②	5.3	16.5(1)	0.23	約400	1251 (破断)	3.1
PC-10	65	②	5.7	16(1)	0.67	約400	848 (破断)	2.1
PC-11	65	①	6.3	20(3)	0.56	約400	119 (破断)	0.3
PC-12	65	②	7.0	20(2)	0.44	約400	162 (破断)	0.4
PC-13	65	②	7.6	22(2)	0.56	約400	120 (破断)	0.3
PC-14	80	②	0.7	20	0.13	約210	700以上	3.3以上
PC-15	80	④	2.2	16.5	0.25	約210	700以上	3.3以上
PC-16	80	②	4.2	21.5(1)	0.11	約210	130 (破断)	0.6
PC-17	80	-	ルート破壊	-	0.31	約210	700以上	3.3以上
PC-18	100	①	2.9	18	0.18	約140	139 (破断)	1.0
PC-19	120	①	2.0	19	0.22	約70	220以上	3.1以上

※ 赤字は母材進展き裂



写真-2 UIT 施工後の形状

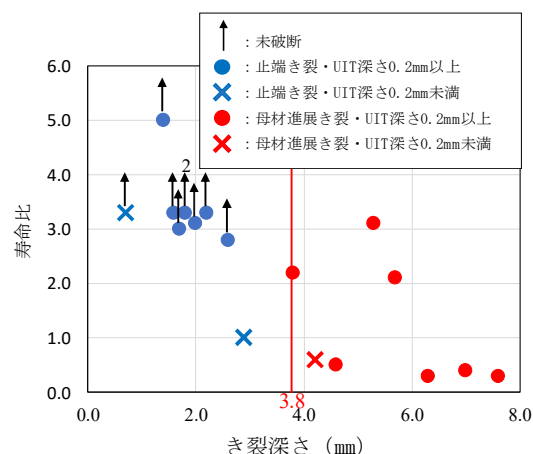


図-5 UIT 後試験の寿命比と予き裂深さの関係