

プレート・ガーダー圧縮フランジの隅肉溶接部の疲れ強度

大阪大学工学部 正員 前田幸雄
大阪大学大学院 学生員 中西延仁

1. まえがき 最近、プレート・ガーダーの薄肉化が進み、薄肉ウェブに特有な疲労亀裂の発生が報告されている。この種の亀裂は初期撓みを持つウェブが面内圧縮力を受け面外に変形することにより、隅肉溶接部に2次曲げを受けて発生するものである。ウェブの細長比を制限し水平補剛材の剛比を大きくすることにより、この疲労亀裂をある程度防止できることが明らかになった。しかし隅肉溶接部の歪測定が困難であり、また大型試験桁を用いるので実験データが限られているため、まだ明確な疲労性状および疲労強度を推定するには至っていない。今回、その一手法としてプレート・ガーダーをモデル化した板試験体を用いて曲げ疲労試験を行ない、その結果から圧縮フランジの隅肉溶接部の曲げ疲労強度について検討したのでここに報告する。

表-1 試験体の寸法・使用鋼材

(1) T-section test specimen					
dimensions (mm)	A-1,3	B-1,3	C-1,2,3	D-1,2	
flange	32x400x350	SS-41	SM-50A	SM-58	HT-80
web	10x400x500	SS-41	SS-41		
ber	φ40x400	SS-41			
leg length (mm)	9				

(2) I-section test specimen					
dimensions (mm)	A-4	B-4	C-4	D-4	
A-flange	32x400x200	SS-41	SM-50A	SM-58	HT-80
web	10x400x500	SS-41	SS-41		
B-flange	32x400x150	SS-41	SM-50A	SM-58	HT-80
leg length (mm)	6	9	9	15	

2. 実験概要 (a)試験体；プレート・ガーダーをモデル化した板試験体で、表-1、図-1に示すT型断面試験体(9体)、I型断面試験体(4体)の2種類である。単一鋼種桁、ハイブリッド桁の両者を想定し、使用鋼材はウェブにSS-41、フランジにSS-41, SM-50A, SM-58, HT-80の4種類を用いた。材料試験結果からウェブの降伏点は 29.5 kg/mm^2 であった。

(b)実験装置と実験方法；使用した試験桁はロゼンハウゼン型($45^\circ/30^\circ$)疲労試験機で荷重繰返し速度は毎分300回とした。プレート・ガーダーのウェブの横撓みと同一の撓みモードを与えるため、図-1に示す如くT型断面試験体は一边固定対辺単純支持で固定端から18cmの位置に線載荷(載荷巾2cm)し、I型断面試験体は一边固定対辺ローラー支持とし固定端から25cmの位置に線載荷した。動的載荷に先立ち下限荷重を含む適当な荷重段階で上限荷重まで静的載荷試験を行なうと共に、所定の繰返し数毎に動的載荷を中止し静的載荷試験を行なって荷重と測定諸量をチェックし試験体の疲れを観察した。

(c)実験結果；荷重と疲労試験結果の概略を表-2に示す。

3. 考察 (a)亀裂の発生・伝播；亀裂の発生例を図-2に示す。亀裂は曲げモーメントが最大となるウェブ引張側の溶接線中央付近に発生し、ウェブ両端に向って溶接線沿いに伝播すると共に板の裏側であるウェブ圧縮側に伝播した。これは大型試験桁の亀裂の発生・伝播と同じであった。

(b)溶接基部の応力算定；亀裂の発生箇所である溶接基部の歪測定が断面変化のため困難であるので、有限要素法により解析した板の曲げ応力計算値と基部近傍の更測値

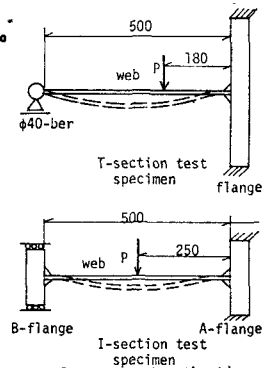


図-1. 試験体

表-2 疲労試験結果

試験体	上限荷重 Pmax (t)	下限荷重 Pmin (t)	基部の曲げ応力 (kg/cm ²) Mmax	基部の曲げ応力 (kg/cm ²) Mrange	疲労寿命 ($\times 10^4$ cyc.)
A-1	2.02	0.56	542	389	57.0
B-1	1.96	0.56	533	378	130.0
C-1	1.96	0.56	492	352	232.0
C-2	2.52	0.56	630	479	28.2
D-1	2.24	0.56	581	428	49.3
D-2	2.18	0.56	533	397	189.0
A-4	2.55	0.50	429	348	84.9
B-4	2.90	0.50	463	382	X
C-4	3.25	0.50	517	439	28.5
D-4	2.80	0.50	458	376	67.2
A-3	2.25	0.50	582	439	244.0
B-3	2.24	0.56	548	401	140.0
C-3	2.50	0.50	629	490	128.6

から基部の曲げ応力を推定した。
このF.E.M.計算値はウェブ中央断面及び基部近傍のゲージ位置で実測値とよく一致しており、溶接基部のF.E.M.計算値について十分な精度が期待できる。

(c)隅肉溶接部の疲労強度；試験体によっては亀裂発生位置の曲げモーメント推定値はウェブの降伏曲げモーメント($M_y = 492 \text{ kg}\cdot\text{cm}$)を越えているので応力振幅ではなく曲げ歪振幅と亀裂発生時の繰返し数で回帰分析した。

$$\log(N \times 10^{-3}) = -3.26 \log \epsilon_r + 12.80$$

200万回強度は歪振幅で 814μ 、応力振幅で 18.2 kg/mm^2 と推定される。図-3は今回の試験結果と Lehigh大学の大型試験桁を使った試験結果を $\epsilon-N$ 線図にプロットしたものであるが本実験結果は Lehigh大学の結果とよく合うことが判る。

(d)隅肉溶接部の仕上げの効果；溶接部表面を機械加工で仕上げた試験体3体を用い、溶接部の形状が疲労強度に及ぼす影響を調べた(図-3参照)。疲労データが3件と少ないため明確にはできなかったが、仕上げにより疲労強度は相当向上し応力振幅で 23 kg/mm^2 前後になるとと思われる。

4 結論 本実験結果と各種疲労試験結果とを比較検討した結果、次の結論が得られた。

- (1)モデル試験体の隅肉溶接部の200万回曲げ疲労強度は応力全振幅で 18.2 kg/mm^2 であった。
- (2)本実験結果は Lehigh大学で行なわれた大型試験桁の実験結果とよく一致する。これよりプレートガーターの圧縮フランジとウェブとの隅肉溶接部の曲げ疲労強度は本実験で用いたモデル試験体で十分推定できる。
- (3)溶接部の形状は疲労強度に著しく影響し、本実験では溶接部を仕上げると疲労強度は約30%向上した。また高張力鋼と普通鋼の溶接には強度の高いものを用いる必要はなく、極低水素系でさえあればよくなるという問題は生じなかった。

(参考文献)

- (1) 前田, "Initiation of Fatigue Cracks in Welded Plate Girders," 1st International Symposium of J.W.S.
- (2) 前田, 川井, "薄肉溶接ハイブリッドガーターの曲げ疲労強度に関する研究" 溶接学会誌 vol.43, No.7 (1994)
- (3) A.A. Toprac, "Fatigue Strength of Hybrid Plate Girders," Welding Journal 195-S, May (1969)
- (4) A. Ostapenko, "On the Fatigue Strength of Unsymmetrical Steel Plate Girders," Lehigh Univ. Rpt. No. 66 (1970)

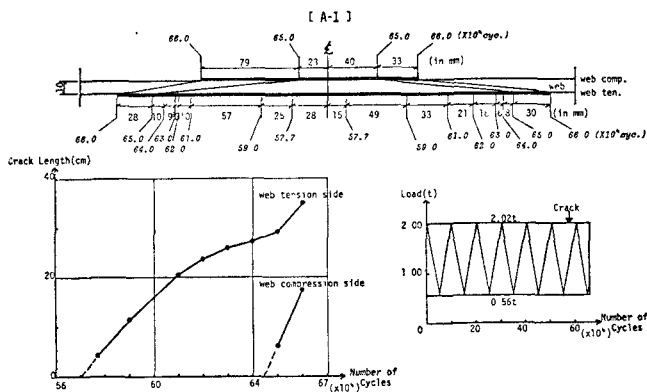


Fig. 2 Fatigue crack propagation for test specimen (A-1).

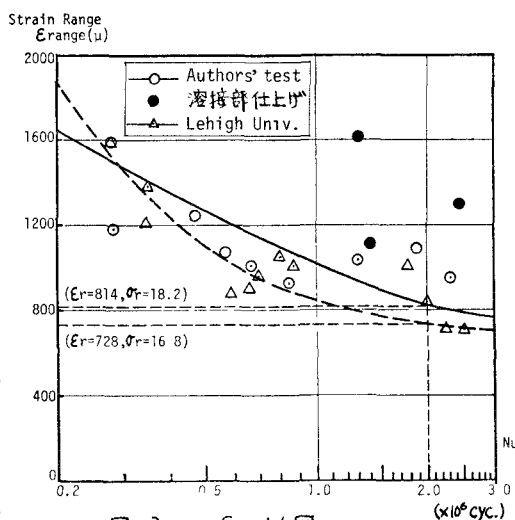


図-3 $\epsilon-N$ 図