

軸方向圧縮応力を受ける面外ガセット溶接継手の疲労き裂の発生・進展挙動と疲労強度

法政大学大学院 学生会員 ○木村 直登
 法政大学 フェロー 森 猛
 中日本高速道路株式会社 中山 大輝

1. はじめに

鋼橋に生じる疲労き裂の中には、圧縮応力の繰返しにより生じるものがある。例えば、I断面桁下フランジとソールプレートの前面溶接部、鋼床版デッキプレートとトラフリブの溶接部などに生じる疲労き裂である。これら面外曲げの圧縮繰返し応力により発生するき裂は、繰返し応力載荷直後に発生して一定速度でき裂が進展した後、停留することが知られている。しかし、軸方向圧縮繰返し応力を受ける場合の疲労き裂の発生・進展挙動については未だ不明な点が多い。本研究では、軸方向の完全片振り引張繰返し応力（応力比 $R=0$ ）、圧縮繰返し応力（ $R=-\infty$ ）、そして完全両振り繰返し応力（ $R=-1$ ）を受ける面外ガセット溶接継手のき裂進展性状と疲労強度を明らかにすることを目的とし、モデル試験体の疲労試験を行う。さらに、ここで得られた結果と昨年度示した板曲げを受ける場合の疲労強度と比較する。

2. 試験体と疲労試験

試験体は図1に示す面外ガセット溶接継手である。試験体の溶接はすべて CO_2 溶接法で、すみ肉溶接により行った。疲労試験は動的能力 500kN 電気油圧サーボ式材料試験装置を用いて軸力作用下で行った。試験は、応力範囲 $\Delta\sigma=80N/mm^2, 100N/mm^2, 125N/mm^2$ と応力比 $R=0, -1, -\infty$ を組み合わせた9つの条件で行った。また、一定振幅応力試験に加えて、平均応力を一定としたまま、所定の回数で応力範囲を半減するビーチマーク試験（以下 BM 試験）も行った。これらの試験では、溶接止端近傍にひずみゲージを貼付し、所定の間隔でひずみ測定を行っている。

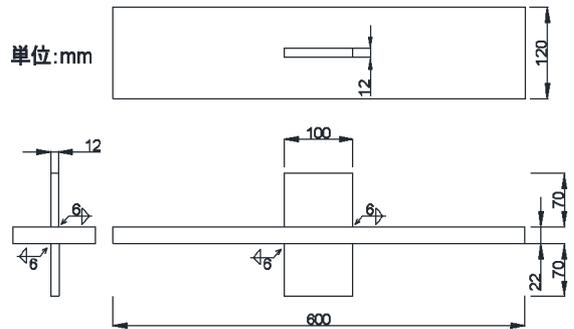


図1 形状と公称寸法

表1 試験結果

試験体	応力範囲 (N/mm ²)	下限荷重 (kN)	上限荷重 (kN)	疲労寿命 (× 10 ⁴)
T1	80	0	211	220.7
TC1	80	-105.5	105.5	232.4
C1	80	-211	0	>980.0
T2	100	0	264	121.3
TC2	100	-132	132	115.9
C2	100	-264	0	>388.6
T3	125	0	330	49.0
TC3	125	-165	165	62.2
C3	125	-330	0	>680.0
T4 (BM)	80	0	211	364.9
TC4 (BM)	80	-105.5	105.5	619.3
C4 (BM)	80	-211	0	>750.0
T5 (BM)	100	0	264	161.9
TC5 (BM)	100	-132	132	161.0
C5 (BM)	100	-264	0	>165.0
T6 (BM)	125	0	330	106.7
TC6 (BM)	125	-165	165	108.5
C6 (BM)	125	-330	0	>127.5

3. 試験結果

試験結果を表1に示す。 $R=0, -1$ の試験では、すべての試験体が破断に至った。しかし、 $R=-\infty$ の試験では、すべての試験体で疲労き裂が生じたものの、板厚を貫通して表面の長さが 86~100mm 程度となった時点ですべて停留した。ただし、BM 試験では、停留を確認する前に試験を終了している。

BM 試験を行った試験体の破面の例を図2に示す。いずれの場合にも、疲労き裂は溶接止端から発生し、半楕円形のき裂として進展している。これらのマークを詳細に観察することにより求めたき裂深さと荷重繰返し数の関係を図3に示す。いずれの応力比においても、き裂が深くなるにしたがってき裂の進展が早くなっている。また、疲労き裂は寿命の比較的初期に発生している。

キーワード 面外ガセット溶接継手、軸方向圧縮繰返し応力、疲労き裂進展挙動、疲労強度

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学大学院デザイン工学研究科 TEL 03-5228-1429

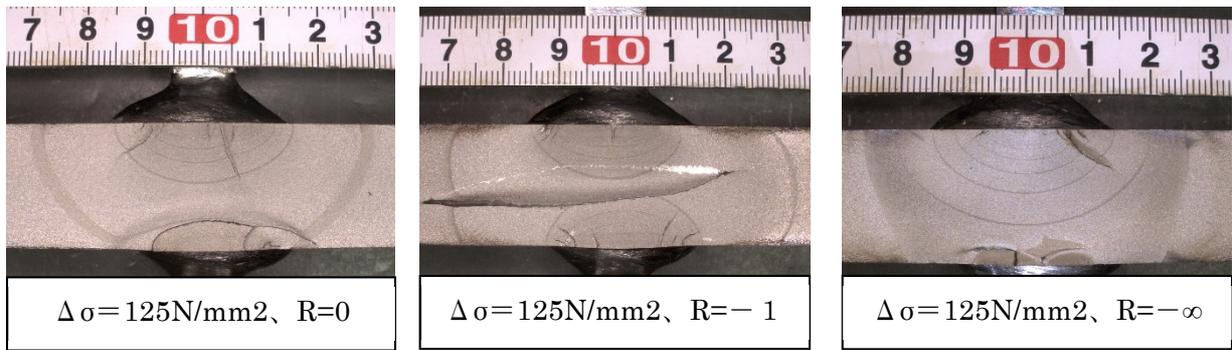


図2 BM試験を行った試験体の疲労破面の例

き裂形状比(き裂深さ a / き裂幅の半分 b) と き裂深さの関係を図4に示す。き裂形状比は、き裂が深くなるしたがって大きくなっており、この関係に対する応力範囲と応力比の影響は認められない。

図5に疲労試験より得られた主板の公称応力範囲と疲労寿命(破断に至るまでの荷重繰返し数)を示す。図中の矢印は、その繰返し数でも疲労破壊が生じなかったことを示している。図中には、鋼構造協会・疲労設計指針に示されている疲労強度等級に対応する設計曲線も示している。R=-∞では疲労き裂が停留したため、破断を基準とすると他の応力比での疲労寿命よりも長い。R=0とR=-1の疲労寿命は、ほぼ同じである。図6は疲労き裂が板厚を貫通した時点で疲労寿命に達したとみなした場合の応力範囲と疲労寿命の関係を示している。なお、板厚貫通は溶接止端近傍のひずみ測定により判断した。このような整理を行うと、疲労寿命に対する応力比の影響は認められない。

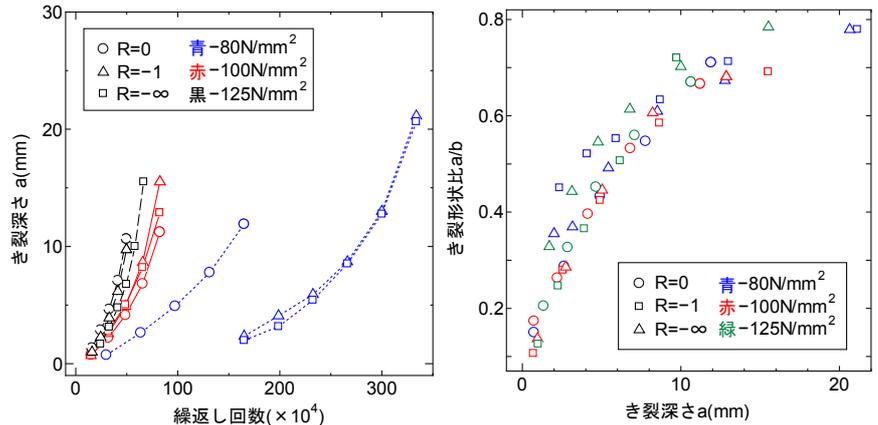


図3 き裂深さと荷重繰返し回数の関係 図4 き裂深さとき裂形状比の関係

昨年度、同じ形状・寸法の試験体を用いて板曲げ疲労試験を行っている。図7は、ここで行ったR=0の軸力疲労試験結果と板曲げ疲労試験結果を示したものである。ここでの疲労寿命は破断としている。両者の応力範囲-疲労寿命の関係の傾きは同じであり、疲労強度は板曲げの方が40%程度高い。

4. まとめ

き裂が板厚を貫通するまでの疲労き裂の発生・進展挙動は、圧縮繰返し応力を受ける場合も引張繰返し応力を受ける場合と同じである。そのため、疲労き裂の板厚貫通を疲労限界と考えた場合には、両者の疲労強度はほぼ同じある。ただし、圧縮繰返し応力下で生じる疲労き裂は、板厚を貫通した後に停留する。

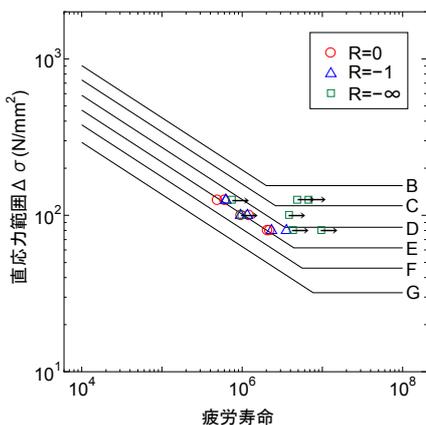


図5 各試験体の疲労寿命

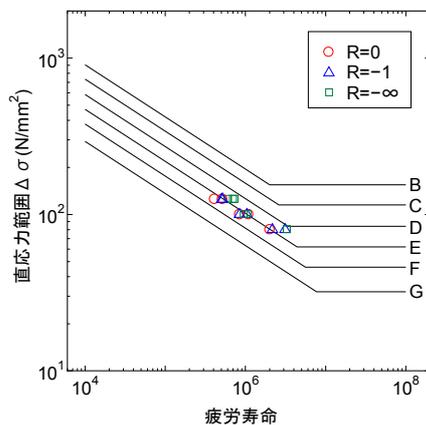


図6 貫通までの疲労寿命

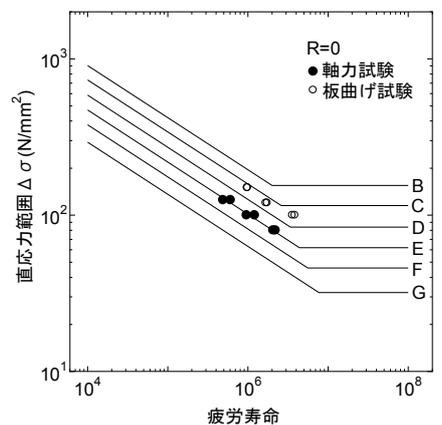


図7 軸力と板曲げの疲労強度