

作用応力に対して斜めの未溶着部を有する突合せ溶接継手の疲労挙動

名古屋大学（現 JR 東海） 正員 ○ 新海 英昌

名古屋大学 学生員 金 仁泰 名古屋大学 正員 山田健太郎

名城大学 竹下 寿 名古屋大学 正員 小塩 達也

1. はじめに 実鋼構造物では、各部材が溶接やボルトによって立体的に組立られ、連結部の周辺などは多軸応力が作用するため応力場が複雑な場合がある。例えば、鋼床版 U リブが横リブに溶接された部位のように、直応力とせん断応力が同時に作用し、主応力が溶接線に垂直でない場合がある。そこで、本研究では、作用応力が溶接線に対して傾いている未溶着部を有する突合せ溶接継手の疲労試験を行い、組合せ応力下における溶接部からの疲労き裂の発生、進展挙動とその疲労強度を実験的に検討する。

2. 試験体および疲労試験 供試鋼材は、板厚 16 mm の普通構造用鋼材 JIS SM490YA で 試験体の形状および寸法を図 - 1 に示す。未溶着部と作用応力に垂直な方向との角度（斜めの角度 α ）は、通常の横突合せ溶接継手（ $\alpha = 0^\circ$ ）に対して、 $\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の 4 種類である。また、それぞれの試験体のルートギャップサイズ g を $g = 0$ mm, 1.5 mm の 2 種類とした。試験体の中央部に R 加工を施した突起部をつけることで、未溶着部が傾いているために生じる端部の応力集中を緩和し、端部からの疲労き裂の発生を防止した。また、汎用有限要素解析プログラム COSMOS/M を用いて 2 次元 FEM 解析を行い、 $\alpha = 0^\circ, 45^\circ$ の試験体において未溶着部の荷重方向の応力分布を算出し、試験体中央部における未溶着部の応力分布が一定であることを確認した。なお、突合せ溶接の未溶着部（ルート部）からき裂を発生させるために、溶接余盛りはグラインダーで削除した。未溶着部の板厚方向の平均長さは $g = 0$ mm の試験体で 3.2 mm $g = 1.5$ mm では 6.6 mm であった。疲労試験は、アムスラー型疲労試験機（容量 980 kN）を用いて、繰り返し速度 4.5 Hz, 上限荷重 372 kN（最大公称応力 208 MPa）を一定として疲労試験を行った。疲労寿命 N_f は、疲労き裂が板厚を貫通するまでの繰り返し数とした。

3. 疲労き裂の進展挙動 すべての試験体で、疲労き裂は板幅中央部の未溶着部の先端から発生し、板厚方向に進展し破断に至った。疲労破面の観察より、図 - 2 に示す 2 種類の疲労き裂の進展挙動が確認された。タイプ I は、未溶着部先端に沿って同時に発生し、一つの扁平なき裂として未溶着面の延長上に進展、破断する。タイプ II は、図 - 3 に示すように、未溶着部先端の複数点からき裂が発生し、未溶着部の延長上ではなく作用応力に垂直な面でき裂が重なりながら進展する。板厚を貫通すると、進展面の重なった部分の前縁に沿って破壊が起こり、破面には階段状の段差が形成される。

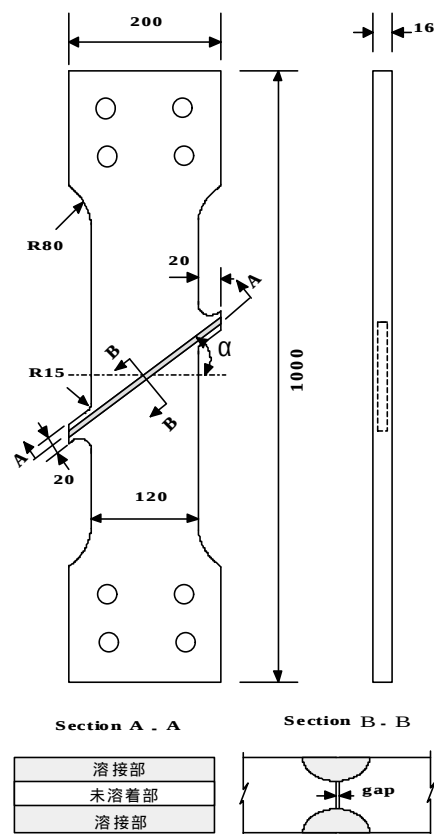


図 - 1 試験体の形状（単位：mm）



(a) タイプ ($\alpha = 0^\circ$)



(b) タイプ ($\alpha = 45^\circ$)

図 - 2 典型的な疲労破面

各試験体のき裂進展挙動タイプを、斜めの角度 α とどの断面応力範囲（荷重を伝達する溶接部の断面に発生する応力範囲）で図-3に整理する。その結果、 $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の場合、それぞれ110MPa以下、150MPa以下、240MPa以下の作用応力範囲で段差（タイプ）が形成される。すなわち、作用応力との傾き角度が大きく、応力範囲が小さくなるにつれて、個々のき裂が独立して進展していく割合が大きく、疲労破面に階段状の段差が形成される傾向がある。

4. 疲労寿命評価 試験結果をどの断面応力で整理したS-N線図を図-4に示す。 $\alpha=15^\circ, 30^\circ$ の疲労寿命は、 $\alpha=0^\circ$ と同程度の寿命となりJSSC-F等級であるが、 $\alpha=45^\circ$ の場合は $\alpha=0^\circ$ に比べ長寿命となりJSSC-D等級程度となる。また、図-5(a),(b)では、斜めの角度と疲労き裂の進展挙動（段差の有無）による疲労寿命の違いを検討する。段差を形成していない（タイプ）試験体は、 $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ のいずれにおいても、 $\alpha=0^\circ$ の平均疲労寿命 $\pm 2s$ （ s ：標準偏差）曲線内に分布し、疲労寿命はほぼ同程度である。これに対して、段差を形成した（タイプ）場合、 $\alpha=0^\circ$ と同程度以上で、斜めの角度 α が $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ と大きくなると疲労寿命が長くなる。

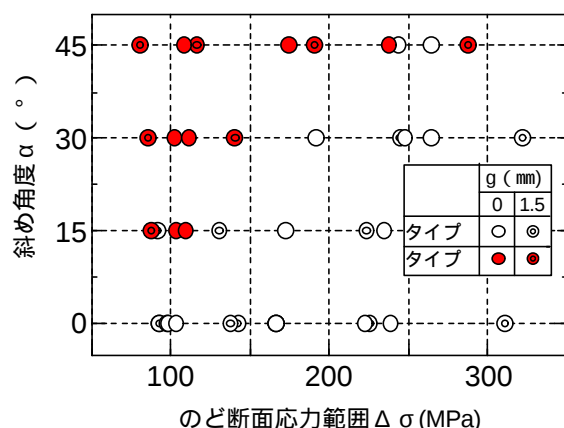


図-3 き裂の進展挙動タイプ

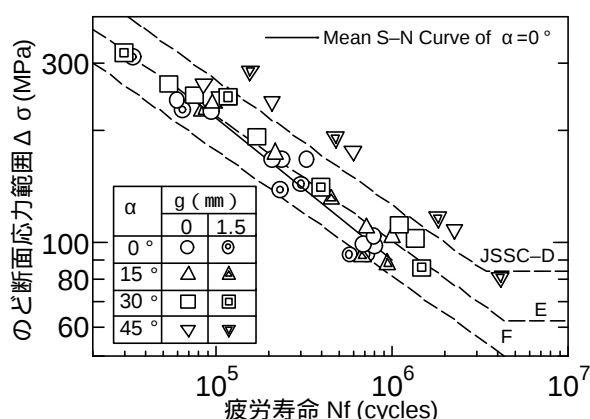
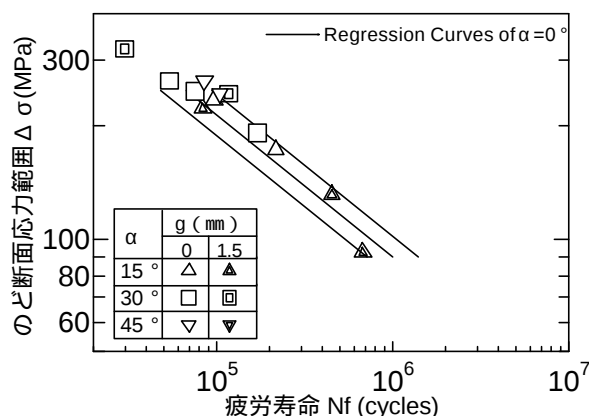
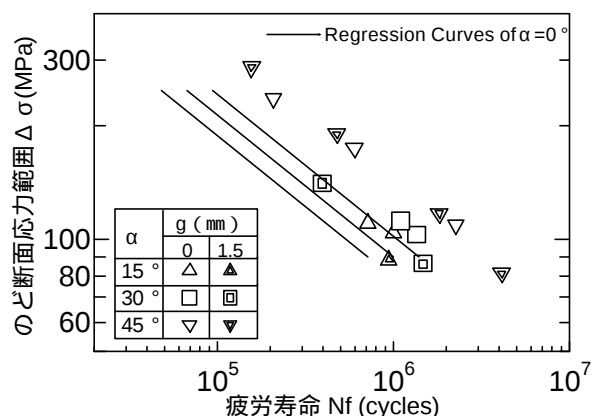


図-4 疲労試験結果



(a) タイプ



(b) タイプ

図-5 き裂の発生、進展挙動による疲労試験結果の比較

5. まとめ 1) 斜めの角度と応力範囲によって、2種類のき裂進展挙動がみられ、斜めの角度が大きく、応力範囲が小さくなると疲労き裂の進展挙動がタイプ からタイプ へ変化する。2) のど断面応力（主応力）で整理した場合、 $\alpha=0^\circ \sim 30^\circ$ では疲労寿命を同程度と評価することができる。しかし、 $\alpha=45^\circ$ の疲労寿命は $\alpha=0^\circ$ に比べ長寿命となる。

参考文献 1) 吉岡純夫・渡辺勝彦ら：モード 下での疲労き裂進展の下限界条件（ ΔK_{th} ）（応力比，混合モードの影響），日本機械学会論文集（A編），50巻454号（昭59-6），pp.1267-1274，1988． 2) 山田健太郎・加藤秀一郎・岡部篤紀・金仁泰・小塩達也：作用応力に斜めに溶接された面外ガセット継手の疲労試験，構造工学論文集，Vol.47A，2001． 3) 山田健太郎・金仁泰・伊藤健一：作用応力に斜めの荷重非伝達型リブ十字すみ肉溶接継手の疲労挙動，土木学会論文集，2001（投稿中）。