

アルミニウム合金板摩擦接合継手の疲労特性

大阪大学大学院 学生員 ○西田 貴裕

大阪大学大学院 正会員 大倉 一郎

1. はじめに

既設橋に補修・補強が求められる場合、基礎やその他の支持構造を変更することなく、鉄筋コンクリート床版をアルミニウム床版に取り替え、床版そのものの自重を減らす方法が考えられる。アルミニウム床版を現場接合する場合、鋼製高力ボルトによる摩擦接合が必要になる。アルミニウム床版の摩擦接合継手の疲労試験の結果、添接板にフレッシング（擦れ）疲労き裂が発生することが明らかになった¹⁾。本研究では、1列の鋼製高力ボルトで締結されたアルミニウム合金板摩擦接合継手の疲労試験を実施し、添接板の板厚、初期導入軸力の大きさ、および応力比が疲労強度に与える影響を明らかにする。

2. 疲労試験体および使用材料

試験体の種類を表-1、その形状を図-1に示す。試験体のボルト本数は片側1本である。母材の板厚 t_1 は8mmであり、添接板の板厚 t_2 は4、6および8mmである。母材および添接板のアルミニウム合金はA6061P-T6であり、高力ボルトには摩擦接合用鋼製高力六角ボルトM20(F10T)を使用した。ボルト孔径は22mmである。初期導入軸力 P_{re} に対して、道路橋示方書に規定されているF8TおよびF10Tの設計ボルト軸力をそれぞれ1割り増した146kNおよび182kNを考慮した。

アルミニウム建築構造製作要領²⁾には、摩擦面の表面粗さ R_z が $20\mu\text{m}$ 以上であれば、すべり係数が 0.45 以上となることが記されている。図-2 に示すように、添接板の 4 つの長辺の角を 1mm 面取りした後、材縁から 5mm 離して摩擦面をブラスト処理した。母材にはブラスト処理をしていない。使用したブラスト材はアルミナ#46、ノズルの内径 9.9mm である。添接板の中央における表面粗さは $Rz28.1\mu\text{m}$ から $46.0\mu\text{m}$ の間であり、すべての添接板の摩擦面において $Rz20\mu\text{m}$ 以上の表面粗さが確保されていた。

3. 疲労き裂の種類

最大荷重 100kN の油圧式サーボパルス型疲労試験機を用いて疲労試験を行った。試験体を破断させた疲労き裂は、図-3 に示す 3 種類であり、各き裂タイプに該当する写真を図-4 に示す。ボルト孔の縁には疲労き裂は発生しなかった。

タイプⅠのき裂は、突合せ側の添接板の表面で、ボルトの座金との接触部の縁に発生する。この接触部は、ボルト孔周辺で、金属光沢が失われている。タイプⅡのき裂は、突合せ側の添接板の裏面で、母材との接触部の縁に発生する。この接触部は、ボルト孔周辺で、ブラスト処理による表面粗さがなめらかになっている。タイプⅢのき裂は、添接板の材端側の母材表面で、添接板との接触部の縁に発生する。この接触部は、ボルト孔周辺で、金属光沢が失われている。

接触部の縁には、アルミニウム合金が擦れることにより生じる、黒い粉 ($\text{AlO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$) が付着していることから、発生したき裂はフレッティング疲労き裂である。図-3 には、各タイプの疲労き裂の発生起点が○で示されている。タイプⅠ、ⅡおよびⅢのき裂発生起点は、荷重方向 (x 軸方向) からそれぞれ約 30° 、 40° および 60° であった。

表-1 試験体の種類

試験体 シリーズ	t_1 (mm)	t_2 (mm)	P_{re} (kN)	応力比 R	数量
A	8	4	146	0.1	5
B			146	-1	3
C			182	0.1	4
D			182	0.5	4
E		6	182	0.1	3
F		8	182	0.1	4

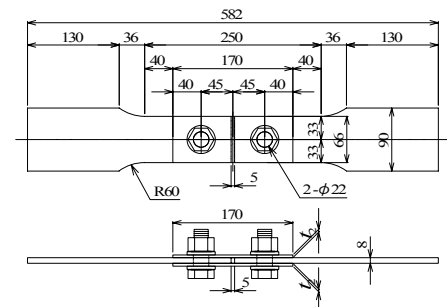


図-1 試験体

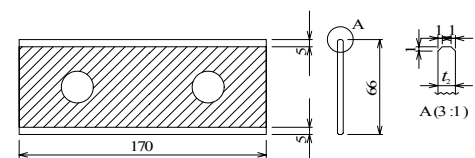


図-2 添接板の面取りとブラスト処理範囲

キーワード フレッシング疲労, アルミニウム合金板, 摩擦接合継手, 鋼製高力ボルト

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL06-6879-7620

添接板の板厚 t_2 が 4 mm, すなわち添接板の総板厚が母材の板厚と等しい場合, 試験体の多くはタイプ I のき裂で破断した. 他方, $t_2 = 6$ mm と 8 mm の試験体の多くは, タイプ III のき裂で破断した. これは, 添接板が厚くなるに従って, 添接板の応力が低下するためである. P_{re} および R によって, 試験体を破断させたき裂タイプに違いは見られなかった.

4. S-N 曲線

表-1 において, $t_2 = 4$ mm に対して, 初期導入軸力 P_{re} と応力比 R が異なる試験体

シリーズ A から D の S-N 曲線を図-5 に示す. この図の縦軸には母材の公称応力範囲 $\Delta\sigma_1$ が採られている. この図に示す試験体は, タイプ I または II のき裂で破断しており, タイプ II で破断した試験体は白抜きの記号で示されている. 各 S-N 曲線の m , $\log c$ および次式より算出される任意の $\log(\Delta\sigma)$ に対する $\log N$ の標準偏差 ξ_N の値を表-2 に示す.

$$\xi_N = \left[\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \{ \log N_i - \log c + m \log(\Delta\sigma_i) \}^2 \right]^{0.5} \quad (1)$$

ここに, n は破断した試験体の総数, N_i と $\Delta\sigma_i$ はそれぞれ繰返し回数とその応力範囲である.

図-5 において, P_{re} のみが異なる試験体シリーズ A と C の比較から分かるように, P_{re} により試験体の疲労強度に違いは見られない. そして, 試験体シリーズ A から D の比較から分かるように, R が大きくなるに従って, 疲労強度は低下する.

表-1 において, $R = 0.1$ に対して, $t_2 = 4, 6$ および 8 mm の試験体シリーズ C, E および F の S-N 曲線を図-6 に示す. この図に示す試験体は, タイプ I または III のき裂で破断しており, タイプ III で破断した試験体は白抜きの記号で示されている. 各 S-N 曲線の m , $\log c$ および式(1)より算出される ξ_N の値を表-2 に示す. 前述したように, 添接板が厚くなるに従って, き裂タイプが I から III へと変化する. 図-6 において, $t_2 = 6$ mm である試験体シリーズ E の疲労寿命は, $t_2 = 4$ mm であるシリーズ C のそれと比べて, およそ 2 倍向上している. 他方, $\Delta\sigma_1 = 150$ MPa と 100 MPa において, $t_2 = 6$ mm と 8 mm である試験体シリーズ E と F の疲労強度はほぼ一致している. これは, これらの試験体がタイプ III で破断しており, 添接板の板厚により母材の応力が変わらないためである.

表-2 に示すように, 全ての試験体シリーズの S-N 曲線の傾き m は 3.19 から 3.87 の間である.

参考文献

- 1) 大倉一郎, 西田貴裕: アルミニウム合金板摩擦接合継手の疲労特性, ALST 研究レポート, No.8, 2009.
- 2) アルミニウム建築構造協議会: アルミニウム建築構造製作要領, アルミニウム建築構造物製作工場認定規程および基準・同解説, 2003.

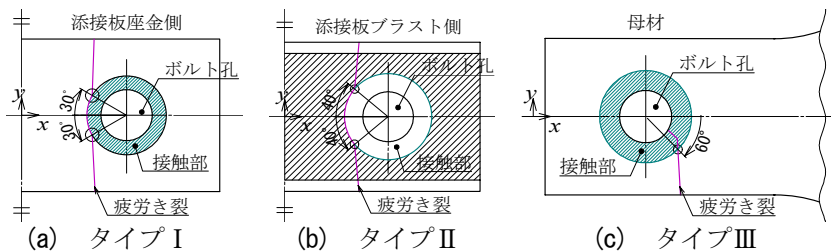


図-3 き裂タイプの模式図

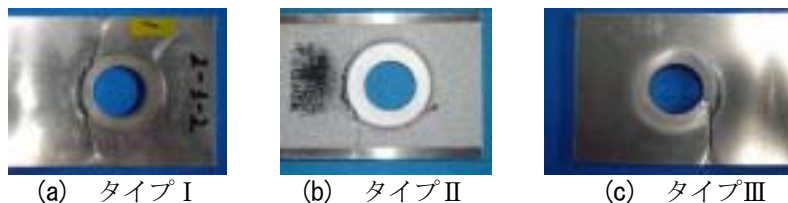


図-4 各き裂タイプの写真

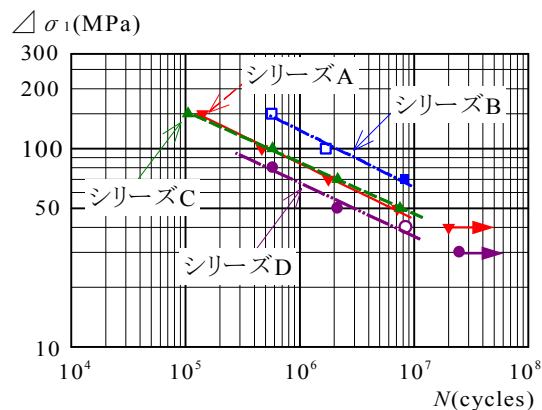


図-5 P_{re} と R が異なる S-N 曲線

表-2 m , $\log c$ および ξ_N の値

試験体シリーズ	m	$\log c$	ξ_N
A	3.58	12.9	0.069
B	3.87	13.5	0.032
C	3.70	12.8	0.177
D	3.50	13.3	0.117
E	3.54	13.1	0.085
F	3.19	12.4	0.039

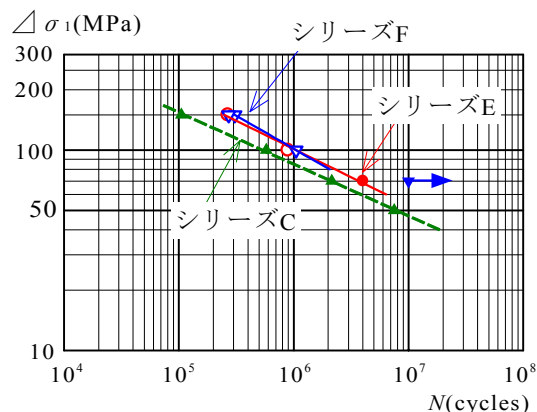


図-6 $t_2 = 4, 6$ および 8 mm の S-N 曲線