

アルミニウム合金板摩擦接合継手のフレット疲労亀裂発生に影響する因子

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○吉野 浩祐
大阪大学大学院工学研究科 正会員 大倉 一郎

1. はじめに

近年、軽量で耐食性に優れるアルミニウム合金が歩道橋、拡幅歩道用床版、道路橋用床版などに用いられるようになってきた¹⁾。これらの構造物の建設には、工場ではMIG溶接や摩擦攪拌接合が使用されるが、現場では鋼製高力ボルトによる摩擦接合継手が必要となる。

図-1に示すような試験片の疲労試験が過去実施され、図-2に示すような疲労亀裂が、添接板表面(座金側)、添接板裏面(母材側)および母材の3箇所で開催した²⁾。これらの疲労亀裂はボルト孔の縁ではなく、円形の接触跡の縁に付着していた摩耗粉の帯上に発生しており、フレット疲労によるものであることが明らかにされた。既往の研究³⁾においては、摩耗粉の帯の外に生じる応力と変形がFEM解析によって調べられたが、疲労亀裂発生への説明には至らなかった。

本研究では、亀裂発生点である、摩耗粉の帯上に生じる応力と変形をFEM解析によって調べ、フレット疲労亀裂の発生に影響する因子を明らかにする。

2. 固着部とこすれ部

図-3に示すように、接触跡は、傷がなく光沢のある固着部と摩耗粉が付着しているこすれ部に分けられる。固着部では板と板の界面が連続し、こすれ部では板と板が界面で水平ずれを起こすと仮定する。図-2に示すように、こすれ部の内径は明瞭に確認できるが、外径は自然消滅しているため、接触する板が離間し始める位置をこすれ部の外径と定義し、これを解析によって求める。

3. FEM解析

図-1の試験片の片側の締結部を解析対象とする。汎用解析プログラムDianaを用いて、ボルト軸力による応力と変形を、図-4の軸対称FEM解析によって調べる。使用した有限要素は8節点アイソパラメトリック軸対称ソリッドリング要素であり、ボルト孔の中心に回転軸を置く。添接板に対して4, 6, 8mmの板厚を考慮し、

アルミニウム合金板、摩擦接合継手、フレット疲労、FEM解析

k.yoshino@civil.eng.osaka-u.ac.jp

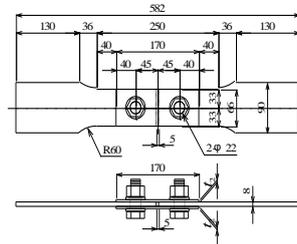


図-1 疲労試験片

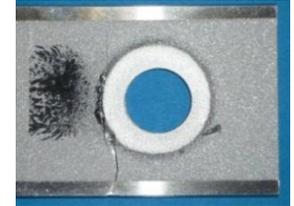


図-2 添接板裏面の亀裂

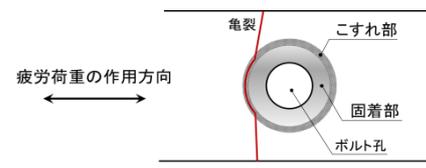


図-3 ボルト孔周辺の接触跡

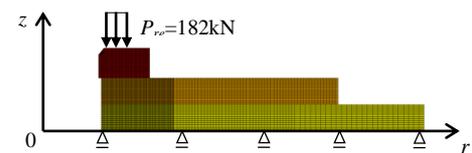


図-4 軸対称FEM解析

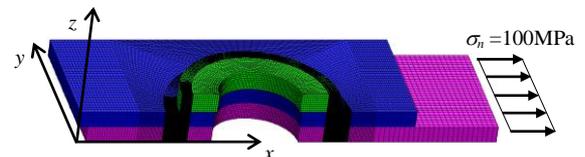


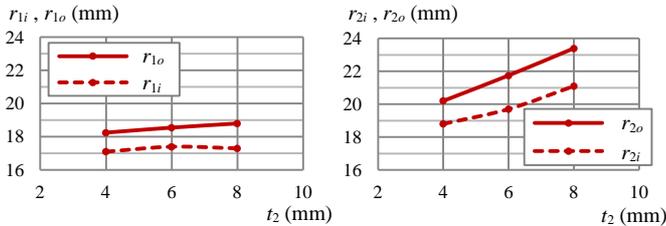
図-5 3次元FEM解析

ボルト軸力としてF10Tの設計ボルト軸力の1割増し $P_{re}=182\text{kN}$ に相当する面圧力を座金上面に作用させる。

他方、疲労荷重による応力と変形を、図-5に示す立体要素を用いた3次元FEM解析によって調べる。使用した有限要素は8節点立体要素である。 $x=0$, $y=0$, $z=0$ の各面に対称性の境界条件を与える。4mmの板厚の添接板を考慮し、外力として、母材の材端に引張応力 $\sigma_n=100\text{MPa}$ を作用させる。

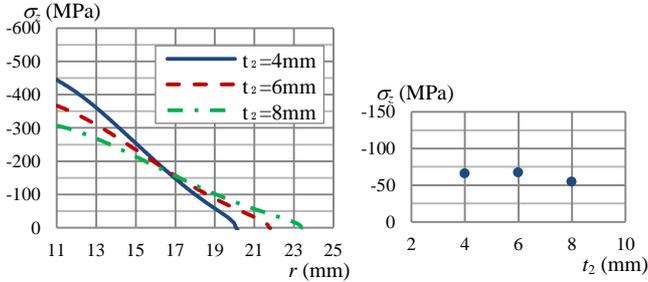
4. こすれ部の範囲

こすれ部の内径と外径を図-6に示す。座金と添接板とのこすれ部の内径と外径は、添接板の板厚が増加してもほとんど変化しないが、添接板と母材とのこすれ部の内径と外径は、添接板の板厚が厚くなるに従って増加する。



(a) 座金と添接板 (b) 添接板と母材

図-6 こすれ部の内径 r_i と外径 r_o



(a) 接触面圧力 σ_z (b) 内径の位置の σ_z

図-7 添接板と母材との界面に生じる接触面圧力 σ_z

5. 接触面圧力

ボルト軸力によって、添接板と母材との界面に生じる接触面圧力 σ_z の半径方向分布を図-7(a)、こすれ部の内径 r_{2i} の位置の σ_z の値を図-7(b)に示す。 σ_z の値は、添接板の板厚によらず、約 63MPa(三つの値の平均値)である。座金と添接板とのこすれ部でも同様の傾向が見られ、こすれ部の内径 r_{1i} の位置の σ_z の値は約 96MPa である。

6. フレッシング疲労亀裂発生に影響する因子

図-3 に示すように、疲労亀裂はこすれ部で発生し、疲労荷重の作用方向に対して、直角方向に伝播する。したがって、こすれ部に生じる疲労荷重方向の応力が疲労亀裂発生に影響する。他方、疲労荷重を受けると、板はこすれ部で水平方向に変位差を生じる。

疲労荷重による母材の引張応力 $\sigma_n = 100\text{MPa}$ によって、こすれ部に生じる荷重方向の応力を σ_x 、座金と添接板とのこすれ部の水平変位差および添接板と母材とのこすれ部の水平変位差をそれぞれ Δu_1 、 Δu_2 で表す。疲労荷重による引張応力 σ_n の下限が 0MPa の場合、こすれ部の荷重方向の応力の平均応力 σ_{xm} は次式で与えられる。

$$\sigma_{xm} = \frac{\sigma_x}{2} + \sigma_{Bx} \quad (1)$$

ここで、 σ_{Bx} はボルト軸力によって生じる、疲労荷重方向の応力であり、次式で与えられる。

$$\sigma_{Bx} = \sigma_r \cos^2 \theta + \sigma_\theta \sin^2 \theta \quad (2)$$

ここに、 σ_r と σ_θ : 軸対称 FEM 解析で得られる、半径方向の応力と円周方向の応力、 θ : 円周方向の角度。

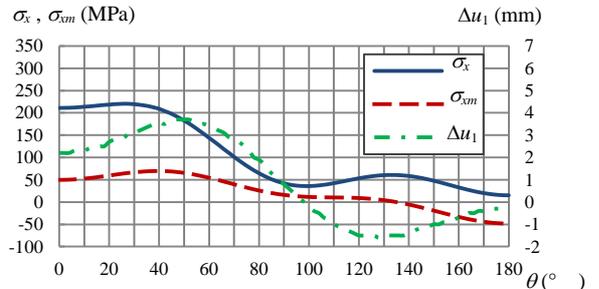


図-8 添接板表面における σ_x 、 σ_{xm} 、 Δu_1 の円周方向分布

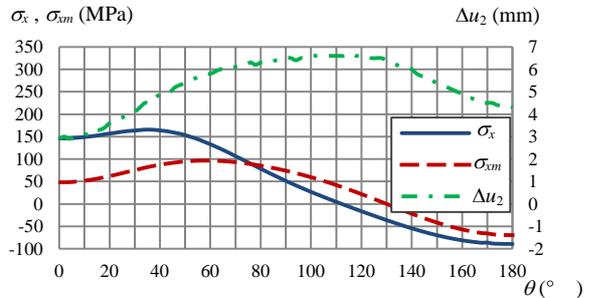


図-9 添接板裏面における σ_x 、 σ_{xm} 、 Δu_2 の円周方向分布

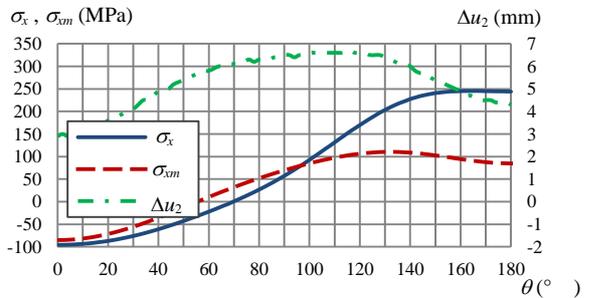


図-10 母材における σ_x 、 σ_{xm} 、 Δu_2 の円周方向分布

こすれ部の幅中央 $[r=(r_i+r_o)/2]$ における、 σ_x 、 σ_{xm} 、 Δu_1 、 Δu_2 の円周方向分布を図-8~10 に示す。図-8 と 9 から分かるように、添接板表面および添接板裏面においては、亀裂の発生位置がそれぞれ 30° と 40° であり、この位置で σ_x が最大値をとる。他方、図-10 に示すように、母材においては、 σ_x は 160° 付近で最大値をとり、亀裂の発生位置の 120° と異なる。しかし、 Δu_2 が 120° 付近で最大値をとる。したがって、母材においては、水平変位差 Δu_2 、すなわち板と板とのこすれ作用が大きく影響したので、 σ_x が最大値をとる位置とは異なった位置に亀裂が発生したと考えられる。

参考文献

- 1) アルミニウム橋研究会：アルミニウム構造物， <http://alst.jp/str.htm>
- 2) 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。
- 3) 大倉一郎，中野崇志：アルミニウム合金板摩擦接合継手の疲労強度，ALST 研究レポート，No.14，2010。