

第I部門

高力ボルト摩擦接合継手の引張載荷時の母板降伏線のコバ面到達位置に関する解析的検討

九州工業大学 正会員○高井 俊和
大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

熊本大学大学院 正会員 森山 仁志

1. 目的

高力ボルト摩擦接合継手の母板降伏挙動では図1のように、ボルト孔からコバ面にかけて斜めに降伏領域が生じる。母板の降伏発生をコバ面のひずみが降伏ひずみに達した時点で判定するとき、コバ面で降伏が最も早く生じる位置のひずみを参照することで、得られる降伏荷重が低くなり安全側の評価となる。本検討では、コバ面上で最も早く降伏に達する位置について検討した。

2. FEM 解析の概要

コバ面の応力およびひずみ分布は、既往のFEM解析結果[1]で確認した。解析プログラムはAbaqus Standard 6.13を用いた。対象とした継手の諸元を表1にまとめる。F10T M22の高力ボルトを用いた摩擦接合継手で、着目パラメータは、すべり/降伏耐力比 β とボルト列数の組合せで合計6ケースである。

3. コバ面のひずみのピーク位置

解析結果で、コバ面のひずみが降伏ひずみに達した時点でひずみがピークとなる位置を確認した。母板に着目し、最も外側のボルト孔周辺部のみを確認対象とした。

結果を図2に示す。降伏距離とは図1に示した純断面位置から降伏位置までコバ面に沿って測った変形前の距離で、降伏角度とは図1の θ_a の角度である。継手の載荷実験では1軸のひずみゲージを用いることを想定し、荷重方向の直ひずみ ε_x および直応力 σ_x を参照した。純断面の内側と外側でわずかに位置が異なったため両側を示している。結果より降伏距離は22~51mmとケースにより大きく異なったが、降伏角度は差が小さく30~35度程度の範囲となった。

4. コバ面のひずみのピーク位置の力学的検討

コバ面のひずみのピーク位置の力学的な説明として、円孔板の応力集中現象により説明を試みる。結果的な妥当性は後述の図6で補足する。

図3の様な応力を受ける円孔板の応力の理論値は

$$\sigma_r = \frac{\sigma_t}{2} \left\{ \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right) \cos 2\theta \right\} \quad (1)$$

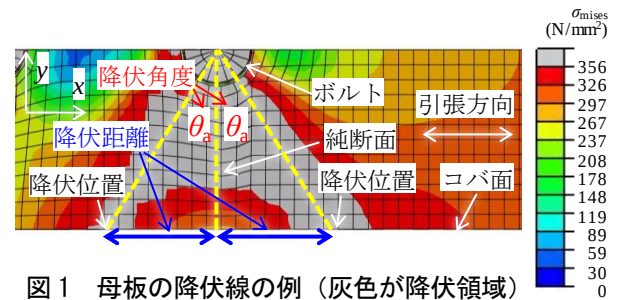


図1 母板の降伏線の例（灰色が降伏領域）

表1 FEM 解析対象の継手の諸元

設計条件	すべり/降伏耐力比 β	約0.65		約0.9		約1.2	
ボルト	ボルト本数	3本	12本	3本	12本	3本	12本
	等級・呼び	F10T M22					
	接合面数	2					
	設計ボルト軸力 (kN)	205					
	摩擦係数	0.5					
	すべり耐力 (kN)	615	2,460	615	2,460	615	2,460
母板・連結板	鋼種	SM490Y					
	降伏点 (N/mm ²)	355					
	母板厚 (mm)	28	90	28	90	28	90
	連結板厚 (mm)	14	45	14	45	14	45
	縁端距離 (mm)	40					
	ピッチ (mm)	75					
	板幅 (mm)	120	144	94	112	76	90
	ボルト孔径 (mm)	24.5					
	純幅 (mm)	95.5	119.5	69.5	87.5	51.5	65.5
	純断面降伏耐力 (kN)	949	3,818	691	2,796	512	2,093
β	すべり/降伏耐力比 β	0.648	0.644	0.890	0.880	1.201	1.176

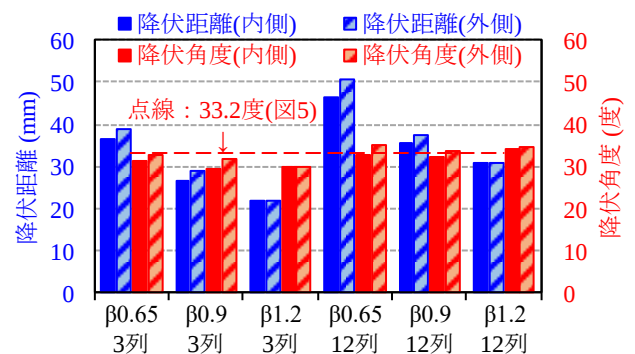


図2 最外ボルト孔付近の母板コバ面の降伏位置

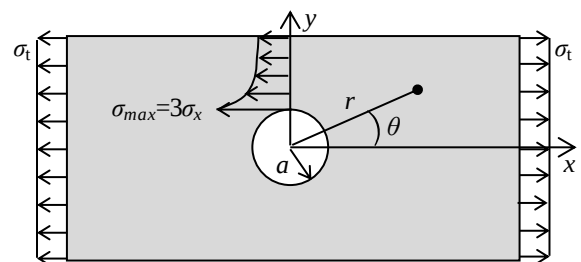


図3 一応な応力を受ける円孔板

Toshikazu TAKAI, Hitoshi MORIYAMA and Takaishi YAMAGUCHI

takai@civil.kyutech.ac.jp

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_t}{2} \left\{ \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right\} \quad (2)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{\sigma_t}{2} \left(1 - \frac{3a^4}{r^4} + \frac{2a^2}{r^2} \right) \sin 2\theta \quad (3)$$

で求められる[2]。継手の板幅を 75～150 mm，公称引張応力 σ_t を 1 と仮定し計算したコバ面上に生じる 3 応力からミーゼス応力 σ_{mises}

$$\sigma_{mises} = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right\}} \quad (4)$$

を求めた結果を図 4 に示す。なお、式 (1)～(3) で求められる 3 応力以外はゼロとした。板幅が 75 mm の場合はピークの位置が純断面から 24 mm，板幅が 150 mm の場合は 49 mm と，板幅が広いほどピーク位置が純断面から遠くなるが， θ_a は図 5 のように板幅にかかわらず約 33.2 度となった。この 33.2 度を図 2 に重ねて示すと，FEM 解析の降伏角度と近いことが確認された。

コバ面の降伏位置を円孔板の応力集中現象でおおむね説明できた理由として，図 6 に θ_a が 33.2 度の位置のコバ面の応力成分を示すように，ミーゼス応力を構成するほとんどの成分が荷重方向の σ_x であり，板厚方向の σ_z が最大でも 15 N/mm² 程度と，摩擦応力も含めて他の応力成分が小さいためと考えられる。図 6 は純断面より内側の結果であるが，外側も同様であった。

5. コバ面のひずみ着目位置のずれの影響

図 7 にひずみ着目位置が， $\theta_a=33.2$ 度の位置から荷重方向に前後 5 mm および 10 mm ずれたときの直応力 σ_x が降伏点に達した時点で決定した降伏荷重を示す。

θ_a が 33.2 度の位置の降伏荷重がおおむね低く安全側の評価が得られることが確認された。5 mm のずれであれば降伏荷重の差は平均で 0.7%，最大でも 2%程度と小さいが，10 mm ずれると降伏荷重の差は平均で 4%程度，最大で 16%程度とやや大きくなった。図 7 は純断面より内側の結果であるが，外側も同様であり，5 mm のずれでは降伏荷重の差は平均で 0.6%，最大でも 1%程度と小さく，10 mm のずれでは降伏荷重の差は平均で 4%程度，最大で 14%程度とやや大きくなった。

したがって，降伏荷重の評価のためには，ひずみの着目位置をある程度の精度で設定する必要がある。

参考文献

[1] 高井 俊和，森山 仁志，山口 隆司，山本 佑大：高力ボルト摩擦接合継手の引張載荷実験における試

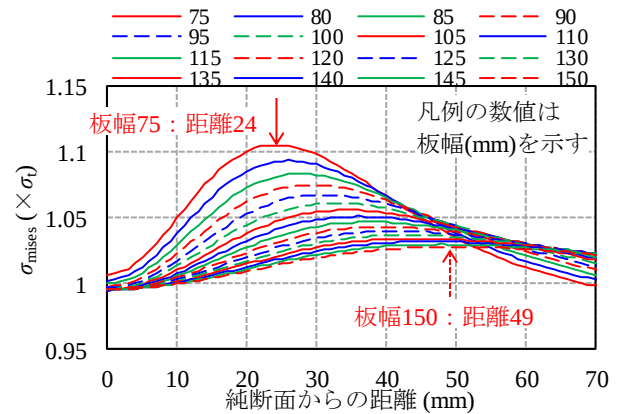


図 4 コバ面のミーゼス応力の分布 (式 (4) による)

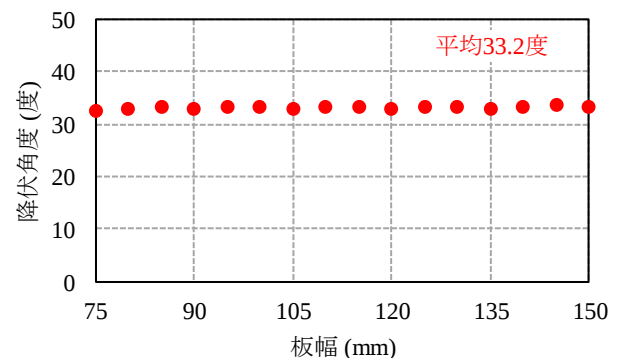


図 5 図 4 のピーク位置の降伏角度

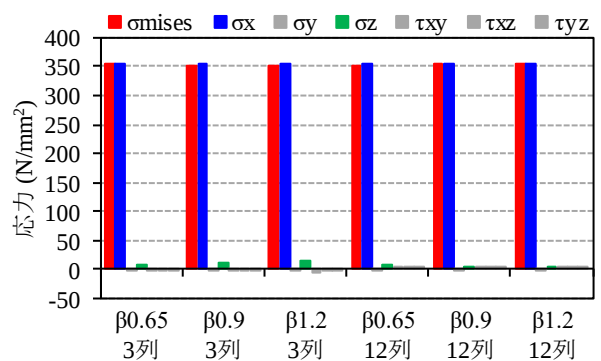


図 6 降伏位置 (内側) での応力成分

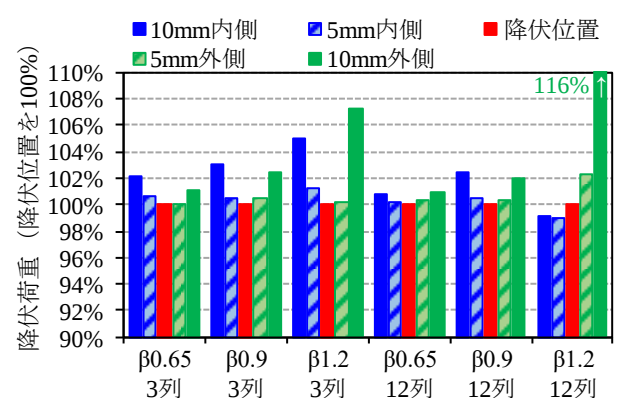


図 7 ひずみ着目位置のずれの影響 (内側)

験体ボルト行数のすべりおよび母板降伏挙動への影響に関する基礎的研究，構造工学論文集 A，Vol. 65A，土木学会，2019.3

[2] 倉西 茂：構造の力学基礎，第 1 版，森北出版，1999.5