

すべりが生じた高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力低下要因に関する解析的研究

九州工業大学 学生会員○中村 悠紀

九州工業大学 正会員 高井 俊和

1. はじめに

地震等の過大な荷重が作用すると高力ボルト摩擦接合継手のすべりが生じる場合がある。高力ボルト継手のすべり耐力が低下することが知られており、その要因の一つとして図1のようなすべりによる接触面の塗膜損傷が挙げられる。本研究では、塗膜損傷に着目しすべり耐力低下のメカニズムを明らかにするためFEM解析を実施して検討した。

2. すべり係数の設定範囲

既往の研究[1]の高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験体を用いて、塗膜損傷の程度に応じて同心円状に損傷の大きいボルト孔近傍の内側、その外側、それ以外に領域分けし、円の直径を計測した。7体のすべり試験体の母板と連結板を計測対象とした。得られた内側、外側の直径の平均、分散、標準偏差、変動係数を表1にまとめる。

3. 解析方法

高力ボルトを片側1行2列配置した高力ボルト摩擦接合継手のFEM解析を行った。解析プログラムはAbaqus Standard v6.13を用いた。継手の諸元を表2に、形状を図2に示す。図3のように対称性を考慮した1/8モデルとした。要素長は3mm程度の均一とし、8節点低減積分ソリッド要素を用いた。材料特性は、JISで規定されている降伏点、耐力、引張強さを参考にした。応力—ひずみ曲線を図4に示す。ヤング係数 E は $200,000 \text{ N/mm}^2$ 、降伏点、耐力から引張強さまでの2次勾配は $E/100$ のトリリニアとした。ポアソン比は0.3とした。摩擦係数は0.5を基本として、塗膜損傷を模擬した接触面の摩擦係数を0.25とした。0.25はすべり後、動摩擦に移行し作用荷重がすべり荷重の半分程度に低下する場合[2]があることを参考にした。すべり荷重は、母板と連結板の相対変位に着目し、0.2mmに達した時点の母板の引張作用荷重とした。

解析ケースを表3に示す。母板と連結板の接触面のすべての摩擦係数を0.5としたケース1、内側から順に摩擦係数を0.25に低減する領域を増やしたケースを設定し、それぞれケース2、ケース3、ケース4とした。

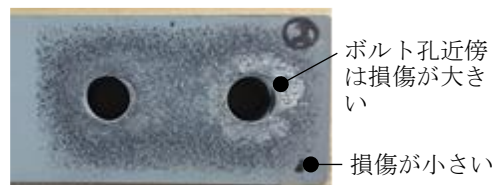


図1 すべりが生じた接触面の塗膜損傷の様子[1]

表1 すべり係数設定範囲の算出

	平均(mm)	分散	標準偏差	変動係数
内側	55.6	39.3	6.3	11%
外側	73.5	26.2	5.1	7%

表2 継手の諸元

解析ケース名		ケース1~4
設計条件	ボルト配置	1行2列
ボルト	等級	F10T
	呼び	M22
	耐力 (N/mm^2)	900
	引張強さ (N/mm^2)	1,000
	設計ボルト軸力 N (kN)	205
	摩擦係数 μ	0.5
母板・連結板	鋼種	SM490Y
	降伏点 σ_y (N/mm^2)	400
	引張強さ (N/mm^2)	490
	純幅 (mm)	65.5
設計耐力	すべり耐力 (kN)	410
	母板純断面降伏耐力 (kN)	838.4
	すべり/降伏耐力比 β	0.489

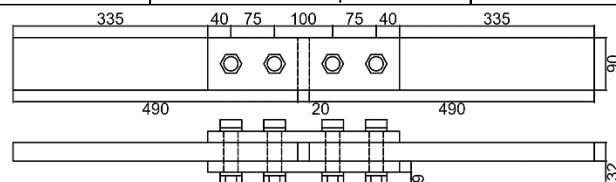


図2 解析対象とした継手の形状

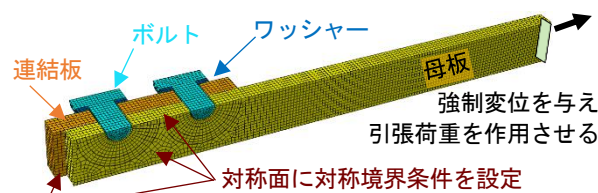


図3 解析モデル

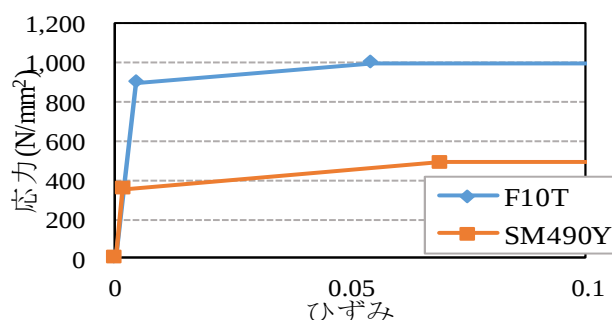


図4 応力—ひずみ曲線

4. 解析結果および考察

各解析ケースのすべり係数の理論値を表4にまとめる。理論値は解析で得られた内、外、その他の各領域に働くボルト軸力と摩擦係数の積で得られるすべり耐力の合計値から計算した値であり式(1)で求めた。

$$\mu' = \frac{\sum(\mu \times \alpha)}{100} \quad (1)$$

ここに、 μ' : すべり係数の理論値

μ : 各領域の摩擦係数

α : ボルト軸力の割合 (%)

ケース2の場合、摩擦係数0.25となる領域は内のみであり、摩擦係数0.5となる領域は外、その他の2つである。したがって、計算式は以下ようになる。

$$\mu' = \frac{0.25 \times (38 + 38) + 0.5 \times (13 + 7 + 3)}{100} = 0.309 \quad (2)$$

なお、内、外、その他の領域に働くボルト軸力の割合は、ケース間で大きな差はなく、それぞれ80%, 18%, 2%程度となった。

解析で得られたすべり荷重とすべり係数を表5にまとめる。解析で得られたすべり係数と理論値の比較を図5に示す。解析結果のすべり係数と、理論値がほぼ同じであり、すべり耐力の低下は、摩擦係数の変化とボルト軸力の割合に応じて変化することが確認された。すべり係数の理論値より解析結果のすべり係数が少し低いのは、引張荷重の作用によるボルト軸力低下の影響のためである。

図6にすべり時の母板の摩擦応力分布を示す。ケース1の右側のボルト孔近傍は摩擦応力が高い一方で、ケース2~4はボルト近傍の摩擦係数を0.25と半分としているため生じた摩擦応力が低くなっている。また、その他の領域に働くボルト軸力が2%と少なく、その他の領域の摩擦係数が異なるケース3と4の比較では、摩擦応力分布に差が見られない。

4. まとめ

継手のすべり実験で塗膜の損傷が大きかったボルト孔近傍に働くボルト軸力は、解析の結果から80%程度であることが分かった。また、解析で得られたすべり係数は、働くボルト軸力の割合と摩擦係数の積の総和にほぼ等しいことを確認した。よって、すべり発生により塗膜損傷が生じた際のすべり耐力の低下は、ボルト孔近傍の摩擦係数の低下が大きく影響すると思われる。

表3 解析ケース(摩擦係数の違い)

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
内	0.5	0.25	0.25	0.25
外	0.5	0.5	0.25	0.25
その他	0.5	0.5	0.5	0.25

表4 すべり係数の理論値

理論値	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
ボルト1内側	43%	38%	50%	39%
ボルト1外側	8%	13%		14%
ボルト2内側	42%	38%	47%	39%
ボルト2外側	4%	7%		7%
その他	2%	3%	3%	1%
すべり係数	0.5	0.309	0.257	0.25

表5 解析で得られたすべり荷重とすべり係数

解析値	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
すべり荷重 (kN)	399.4	228.6	204.9	202.0
初期ボルト軸力 (kN)	205			
ボルト本数	2			
摩擦面数	2			
すべり係数	0.487	0.279	0.250	0.246

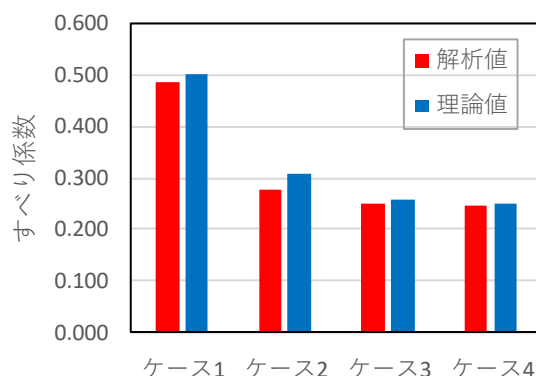


図5 すべり係数の比較

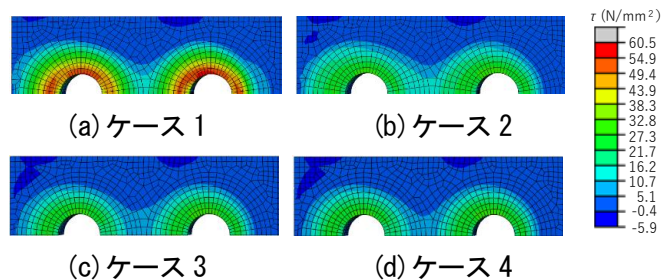


図6 すべり時の摩擦応力分布

参考文献

- [1] 松本 結実, 高井 俊和, 荒木 壮一郎: 無機ジンク塗装された高力ボルト継手の変動を考慮した塗膜厚測定法に関する一考察, 土木学会西部支部研究発表会概要集, pp23-24, I-012, 2019.3
- [2] 舟山 耕平, 高井 俊和, 三ツ木 幸子, 山口 隆司: 片側2本ボルトの高力ボルト継手の終局挙動, 鋼構造論文集, 第23巻, 第89号, pp.23-35, 日本鋼構造協会, 2016.3