

高力ボルト摩擦接合継手のすべり後の荷重伝達機構に関する基礎的研究

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

高力ボルト摩擦接合継手の設計で、母材および連結板の降伏に対する照査をするとき、引張材ではボルト孔を控除した純断面積が用いられる。限界状態1の照査では純断面積を1.1倍してもよい[1]とされている。これは図1に示すボルト前面の摩擦伝達を考慮しているためである。対して、すべり後を想定した限界状態3では、1.1倍してもよいとは規定されていない[1]。

高力ボルト摩擦接合継手のすべり後挙動におけるボルト前面の摩擦による荷重伝達の寄与を明らかにするため、FEM解析を実施し確認した。

2. FEM解析方法

検討対象の高力ボルト摩擦接合継手は、片側に高力ボルトを1行3列配置したすべり試験体を模擬した形状とした。継手の諸元を表1にまとめる。すべり/降伏耐力比 β が異なる3ケースを設定した。

解析プログラムはAbaqus Standard v6.13を用いた。図2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と要素分割の形状の都合により一部に6節点完全積分ソリッド要素を用いた。図3に示す材料特性は、JISで規定される降伏点、耐力、引張強さの下限値を用いた。応力-ひずみ関係は、ヤング係数 E が200,000 N/mm²、降伏点、耐力から引張強さまでの2次勾配が $E/100$ 、引張強さ以降の勾配が0のトリリニアとした。ポアソン比は0.3とした。母板と連結板の摩擦係数はすべり発生までを0.5、すべり後ボルト孔とボルト軸部が接触し支圧に移行した後を0.25、その間を母板端の変位増分に応じて線形に変化させた。摩擦係数の0.25は継手のすべり実験においてすべり発生後、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設定した。

すべり発生は、母板端から15mm位置の母板と連結板の内側相対変位が0.2mmに達した時点とした。降伏は、ミーゼス応力が降伏点を越えた領域が、母板のボルト孔から進展しコバ面に達した時点とした。終局は、ボルト孔壁で相当塑性ひずみが19%に達した時点とした。

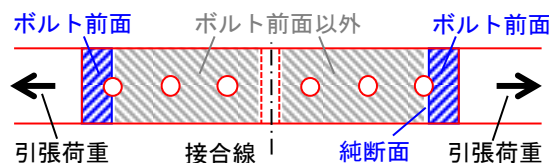


図1 母板と連結板の接触面のボルト前面の位置

表1 継手の諸元

解析ケース名		case1	case2	case3
条件	目標すべり/降伏耐力比 β	0.7	1.0	1.3
ボルト	等級・呼び	F10T M22		
	ボルト配置	1行3列		
	耐力 (N/mm ²)	900		
	引張強さ (N/mm ²)	1,000		
	接合面数 m	2		
	ボルト本数 n	3		
	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)	355		
	引張強さ (N/mm ²)	490		
	母板厚 t_1 (mm)	24		
	連結板厚 t_2 (mm)	16		
	縁端距離 e (mm)	40		
	ピッチ p (mm)	75		
	板幅 W (mm)	130	96	78
	ボルト孔径 d (mm)	24.5		
	純幅 (mm)	105.5	71.5	53.5
	すべり耐力 (kN)	615		
設計耐力	母板純断面降伏耐力 (kN)	899	609	456
	すべり/降伏耐力比 β	0.68	1.01	1.35

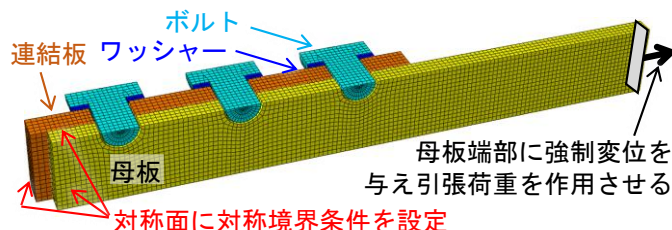


図2 解析モデルの概要

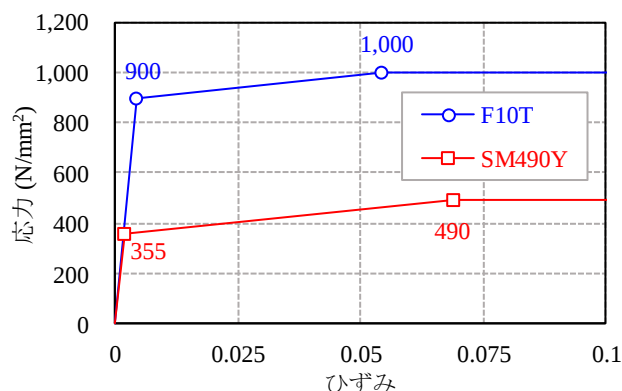


図3 応力-ひずみ関係

3. FEM 解析結果および考察

図4に荷重と、母板・連結板の内側相対変位との関係を示す。引張荷重とは母板端部に作用する荷重、摩擦力とは母板と連結板間の引張荷重方向に生じる摩擦力、接触力とはボルト軸部と母板のボルト孔壁の接触力のことである。

ボルト軸部とボルト孔壁が接触した支圧開始以降で、摩擦力と接触力の合計が引張荷重と一致したことから荷重が摩擦と支圧で伝達されていることが確認された。ボルト軸力と摩擦係数の積が摩擦力と一致したため、支圧開始以降の摩擦力の低下の要因はボルト軸力の減少のためといえる。この傾向は他の β のケースでも同様であった。

図5に摩擦力をボルト前面とそれ以外に分けた荷重－内側相対変位関係を示す。ボルト前面の摩擦力は、すべり前後では母板降伏耐力の10%程度に達したが、すべり後挙動の進行に応じて低下し、降伏の前後以降は荷重のほとんどが支圧とボルト前面以外の摩擦により伝達された。このことから、図6のイメージ図で、すべり後においてはボルト前面の摩擦伝達は期待せず、引張荷重のすべてが母板純断面に作用するとして設計することが安全側となり望ましいと言える。

図7に引張荷重に対する接触力（ボルトの接触による支圧力）とボルト前面とそれ以外の摩擦力の割合（赤、左目盛り）、および摩擦力に対する各摩擦力の割合（青、右目盛り）の変化を示す。

ボルト前面の面積は、母板と連結板の接触面の1/6＝約17%に相当し、ボルト前面の摩擦力の引張荷重に対する割合は、すべり発生直後、支圧開始までは17%程度で推移し、支圧開始以降は支圧荷重が増加するため大きく低下した。摩擦力に対するボルト前面の摩擦力の割合も支圧開始までは17%前後で推移し、その後は減少した。他の β のケースでも同様であった。

4. まとめ

引張荷重に対するボルト前面の摩擦力がすべり発生後に母板降伏耐力の10%程度からすべり進行に応じて低下したことから、限界状態3で規定されるようにボルト前面の摩擦伝達を考慮せず設計することが安全側の設計となり望ましいことが確認された。

参考文献

- [1] 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ 鋼橋・鋼部材編，2017.11

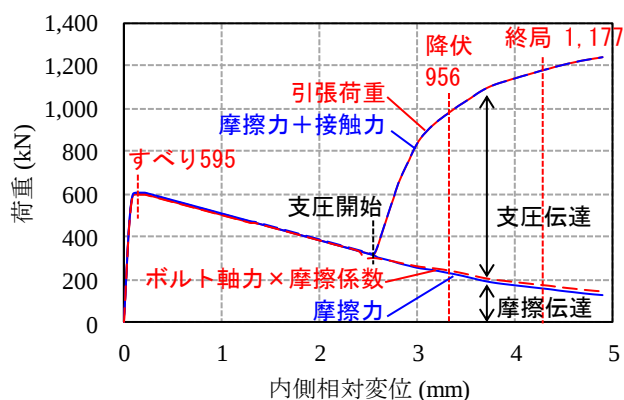


図4 荷重－相対変位関係 (case1)

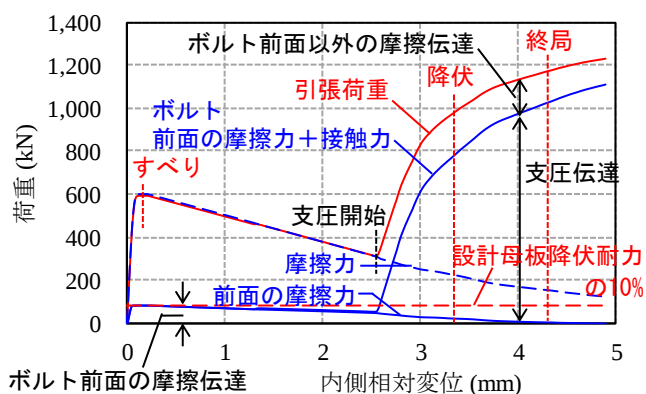


図5 ボルト前面の摩擦力の寄与 (case1)

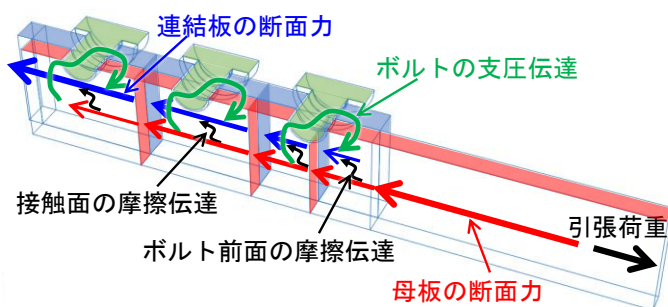


図6 荷重伝達経路のイメージ

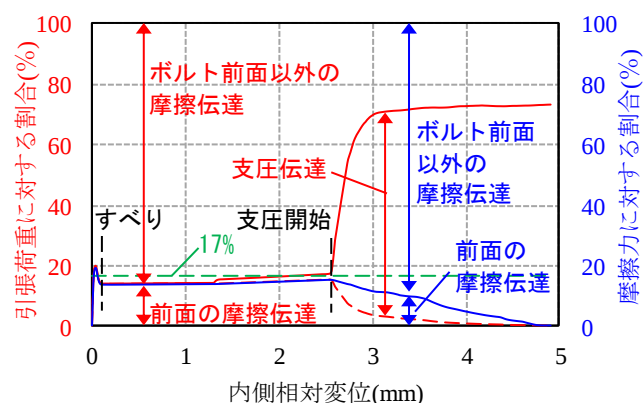


図7 ボルト前面の摩擦力の割合の変化 (case1)

- [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