

第 I 部門

長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に関する解析的検討

大阪市立大学工学部 学生員 ○堀井 いずみ
日本橋梁株式会社 フェロー 小西 日出幸

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
オリエンタル白石株式会社 正会員 亀崎 誠志
大阪市立大学大学院 正会員 林 巖

1. 研究背景および目的

国内では 90 年代以降、長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手を対象に多くの研究が実施されている。例えば、田中ら¹⁾の実験によると、2 面摩擦接合のブラスト後赤錆面で 2~7% のすべり係数の低減が確認されている。しかし、この低減率は文献によってばらつきがあり、試験条件の違いが影響していると考えられる。

そこで、本研究では、標準孔あるいは長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手を対象に FEM 解析を実施し、すべり/降伏耐力比 β (以下、 β)、導入軸力、座金の有無および連結板厚の違いがすべり挙動に与える影響について検討を行った。

2. 解析モデル

汎用有限要素解析コード Abaqus2018 を用いて、弾塑性有限変位解析を実施した。解析対象は、1 行 2 列の高力ボルト摩擦接合継手である。解析モデルは図-1 に示すように、対称性を考慮した 1/8 モデルで、使用するボルトの呼び径は M22 とした。使用要素は主に 8 節点低減積分 6 面体 1 次要素を用い、母板にメッシュサイズの遷移箇所(図-1 斜線部)を設け、そこには 10 節点低減積分 4 面体 2 次要素を用いた。対称条件は、母板、連結板、ボルト、座金の対称面に与えた。载荷は図-1 に示すように、母板外側縁端面に強制変位を与えて行った。接触やすべりが想定される部位全てに接触の相互作用を与え、摩擦係数は母板と連結板の接合面には 0.50 もしくは 0.80 を、座金と連結板間およびその他、ボルト孔壁とボルト間の接触面には 0.01 を与えた。解析に用いた材料特性を表-1 に示す。降伏点と引張強度等の機械的性質は特性値を用い、構成則はバイリニアとした。

3. 解析ケース

解析ケースを表-2 に、解析ケース名を表-3 に、母板の孔形状を図-2 に示す。ボルト軸力の導入方法は、所定の導入軸力がボルト軸部に発生する強制変位量を求め、その変位量を与えることで軸力を導入した。導入軸力は、トルク法による締付けを想定した設計ボルト軸

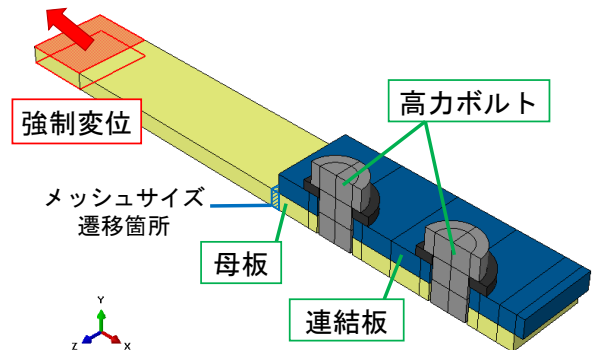


図-1 解析モデル

表-1 材料特性

	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比	構成則
母板・連結板 (SM490Y)	355	490	200,000	0.3	バイリニア型 E/100
高力ボルト (F10T)	900	1,000	200,000	0.3	

表-2 解析ケース

ケース名	座金	孔寸法		板厚		板幅 (mm)	すべり /降伏 耐力比 β	摩擦 係数	導入 軸力 (kN)
		母板 (mm)	連結板 (mm)	母板 (mm)	連結板 (mm)				
069-t12-OH	有	24.5	24.5	22	12	100	0.69	0.50	205
069-t12-SH		24.5×50	24.5		12		1.11	0.80	205
111-t12-OH		24.5	24.5		12		0.97	0.50	287
097-t12-OH		24.5	24.5		12		0.69	0.50	205
097-t12-SH		24.5×50	24.5		12		0.69	0.50	205
069-t12-nWS-OH	無	24.5	24.5	22	12	100	0.69	0.50	205
069-t12-nWS-SH		24.5×50	24.5		12		0.69	0.50	205
069-t15-OH	有	24.5	24.5	22	15	100	0.69	0.50	205
069-t15-SH		24.5×50	24.5		15		0.69	0.50	205

表-3 解析ケース名

069-t12-nWS-OH			
	a	b	c
内容	表記	概要	
すべり/降伏 耐力比 β	069	$\beta=0.69$	
	111	$\beta=1.11$	
	097	$\beta=0.97$	
連結板厚	t12	12mm	
	t15	15mm	
座金の有無	nWS	座金無し	
孔形状	OH	標準孔	
	SH	長孔	

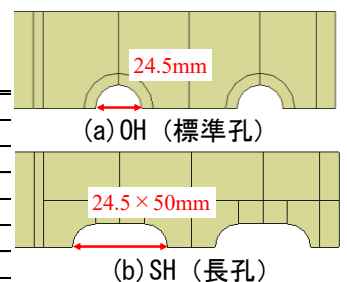


図-2 母板の孔形状

力の 205kN と、ナット回転法による締付けを想定した設計ボルト軸力の 1.4 倍である 287kN の 2 水準とした。また、長孔では標準孔より軸力影響範囲が小さくなると考えられるため、座金の有無をパラメータとすることで軸力影響範囲の違いについて検討した。長孔は橋軸方向とし、寸法は孔径×2+1(mm)とした。

表-4 解析結果

ケース名	すべり荷重(kN)	すべり係数	すべり係数低減率	軸力残存率	軸力残存率の低減率
069-t12-OH	388.6	0.474	—	95.2%	—
069-t12-SH	369.7	0.451	4.8%	91.5%	3.9%
111-t12-OH	588.3	0.717	—	90.1%	—
111-t12-SH	559.0	0.682	5.0%	86.1%	4.4%
097-t12-OH	519.4	0.452	—	90.9%	—
097-t12-SH	494.0	0.430	4.9%	87.2%	4.0%
069-t12-nWS-OH	374.2	0.456	—	93.9%	—
069-t12-nWS-SH	352.1	0.429	5.9%	88.6%	5.7%
069-t15-OH	394.5	0.481	—	96.5%	—
069-t15-SH	385.9	0.471	2.2%	94.5%	2.1%

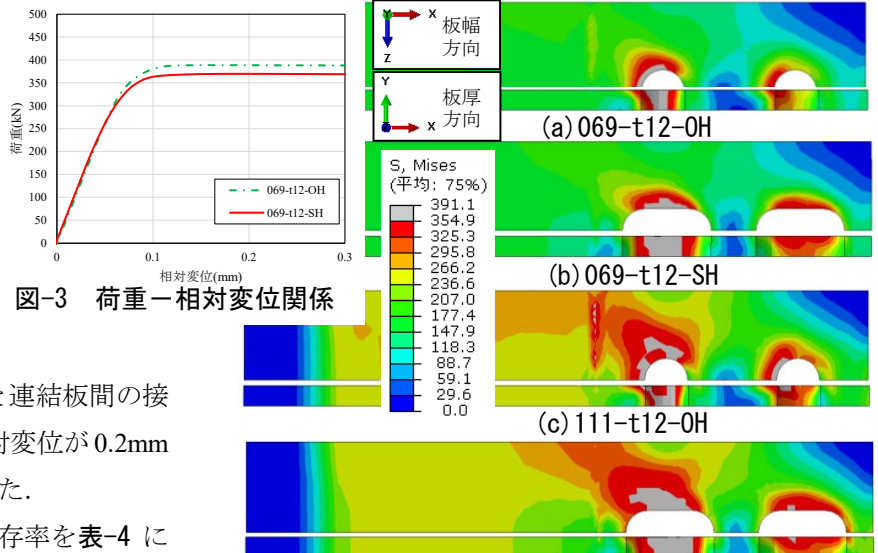


図-3 荷重—相対変位関係

4. 解析結果と考察

母板内側縁端から 10mm 位置の母板と連結板間の接合面において相対変位を計測し、その相対変位が 0.2mm に達した際の荷重をすべり荷重と定義した。

すべり荷重およびすべり係数、軸力残存率を表-4 に示す。また、すべり係数の算出式を式(1)に示す。

$$\mu = \frac{P_s}{m \cdot n \cdot N} \quad (1)$$

ここに、 P_s : すべり荷重、 m : 接合面数、 n : ボルト本数、 N : 導入軸力である。なお、表中の軸力残存率とはすべり時の軸力を導入軸力で除したボルト 2 本の平均値である。また、すべり係数低減率および軸力残存率の低減率は長孔の値を標準孔の値で除して算出した。

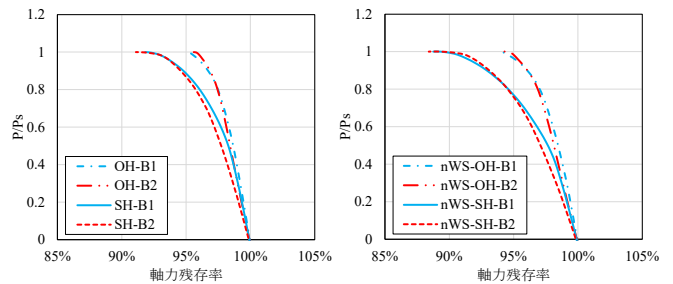
全てのケースにおいて、長孔では標準孔と比較してすべり係数が 2~6%低減していた。荷重と相対変位の関係を、069-t12 を例に図-3 に示す。標準孔と長孔とで初期剛性はほぼ同様であるが、長孔では荷重 300kN 付近から傾きが小さくなっていることが確認できる。

$\beta=0.69$ のすべり先行型と、 $\beta=1.11$ の降伏先行型のすべり時の Mises 応力コンターを図-4 に示す。どちらのケースでもすべり係数低減率にほとんど差異は認められない。 $\beta=1.11$ では母板連結板ともに塑性域が広く、ポアソン効果により軸力が低下しており、軸力残存率は小さいものの、標準孔と長孔の軸力残存率の低減率は 4%程度と同じである。これより、 β によらず軸力低下がすべり係数の低下に支配的であることがわかる。

ナット回転法による締付けを想定したケースではトルク法を想定したケースと比較すると、標準孔と長孔の軸力残存率の低減率がどちらも 4%程度、すべり係数低減率も 5%程度で、導入軸力の違いが長孔と標準孔のすべり挙動の違いに与える影響は少ない結果となった。

連結板厚 15mm のケースでは、12mm のケースよりすべり係数低減率が小さく、軸力残存率が標準孔長孔ともに大きい。連結板厚が大きいほど軸力影響範囲は大きく、発生応力が小さくなるため、塑性化が緩和される。

図-4 すべり時の Mises 応力コンター



(a) 069-t12 (座金有) (b) 069-t12-nWS (座金無)

図-5 軸力残存率—荷重関係

そのため軸力の低下が小さくなったと考えられる。

座金無しのケースのすべり係数低減率は、全ケースの中で 5.9%と最大であった。座金の有無を比較した軸力残存率と荷重の関係を図-5 に示す。図中の B1, B2 は継手内側からのボルト番号を示しており、縦軸は荷重をすべり荷重で除した値である。座金無しの長孔では標準孔より曲線の傾きが大きく、すべり時の軸力残存率が小さい。座金無しの長孔では座金有りの場合より軸力影響範囲が小さく、母板孔周りの発生応力が大きくなり、塑性域が広域となる。そのため、軸力の抜けが大きくなり、すべり係数低減率が大きくなったと考えられる。

5. まとめ

- (1) 標準孔を長孔とする場合、すべり係数は 2~6%程度低減し、軸力残存率は長孔の方が小さくなった。
- (2) 連結板厚を 1.25 倍にした場合、すべり係数低減率が 3%ほど小さくなった。
- (3) 座金が無い場合、軸力影響範囲が小さくなり、すべり係数低減率が 1%ほど増加した。

<参考文献>

- 1) 田中淳夫, 増田浩志, 脇山廣三, 辻岡静雄, 平井敬二, 立山英二: 過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部の力学性状, 鋼構造論文第 5 巻第 20 号, 1998