

長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数低減のメカニズムに関する検討

大阪市立大学工学部 学生員 ○堀井 いずみ 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

日本橋梁(株) フェロー 小西 日出幸 オリエンタル白石(株) 正会員 亀崎 誠志

西日本高速道路(株) 正会員 浅野 貴弘 西日本高速道路(株) 正会員 佐溝 純一

NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 正会員 加藤 大樹 大阪市立大学大学院 正会員 林 厳

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おり、例えば、田中ら¹⁾の実験では、2 面摩擦接合のブラスト後赤錆面で 2~7%のすべり係数低減が確認されている。しかし、道路橋示方書において、長孔に関する規定はない。長孔におけるすべり係数低減のメカニズムを解明し、すべり係数低減率を見直し、長孔を使用することができれば、当て板補強、鋼桁部分取替、鋼桁落とし込み架設等、架設精度の確保が重要となる工法においては施工性や経済性の向上が期待できる。

そこで、本研究では、長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数低減のメカニズムの解明を目的として、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すべり/降伏耐力比 β (以下、 β)および連結板厚をパラメータとして FEM 解析を実施した。

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(F10T)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。対称条件は対称面全てに与えた。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、母板と連結板の接合面には、設計すべり係数 0.45²⁾程度となるように摩擦係数は 0.50 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、バイリニア型とした。

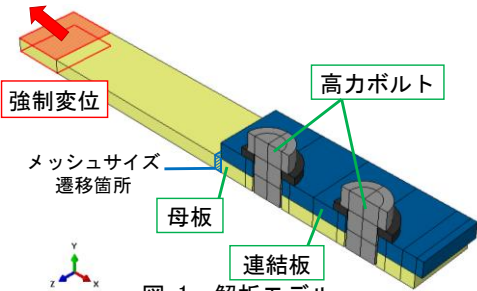


図-1 解析モデル

表-1 材料特性

	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (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 ^{*1}	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)				
070-t12-NH	φ24.5	φ24.5	22	12	100	0.70	0.50	205
070-t12-SH	φ24.5×50	φ24.5		12	74	1.06		
106-t12-NH	φ24.5	φ24.5		12	74	1.06		
106-t12-SH	φ24.5×50	φ24.5		12	74	1.06		
070-t15-NH	φ24.5	φ24.5	15	15	100	0.70	0.50	205
070-t15-SH	φ24.5×50	φ24.5		15	100	0.70		

*1 ケース名の記号

070-t12-NH
母板の孔形状
NH : 標準孔,
SH : 長孔
連結板厚
t=12, 15
すべり/降伏耐力比
 $\beta=0.70, 1.06$

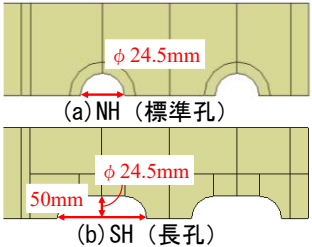


図-2 母板の孔形状

3. 解析ケース

解析ケース、ケース名を表-2 に、母板の孔形状を図-2 に示す。ボルト軸力は、ボルト荷重により設計ボルト軸力の 205kN を導入した。降伏耐力の差が長孔のすべり係数に与える影響を検討するために、 β はすべり先行型の 0.70 と降伏先行型の 1.06 の 2 水準とした。また、長孔では標準孔より母板・連結板間の接触面積が小さく、それが長孔のすべり係数に与える影響を検討するために連結板厚は 12mm と 15mm とした。長孔は橋軸方向とし、図-2 に示すように寸法は、既往研究と同程度の φ 24.5×50(mm)とした。

キーワード 長孔、高力ボルト摩擦接合継手、すべり係数、FEM 解析

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 工学部 応用構造工学研究室 TEL&FAX06-6605-2765

4. 解析結果と考察

4.1. 解析結果

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測定し、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、軸力低減率を表-3 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、表中の軸力低減率とは導入軸力とすべり時軸力の差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標準孔に対して長孔ですべり係数は低減している。また、長孔では標準孔よりすべり時までの軸力低下が大きくなっているため、軸力低下がすべり係数低下に大きく影響していると考えられる。

4.2. すべり係数低減のメカニズム

070-t12 の締付け時の接触圧コンターを図-3 に、すべり時の Mises 応力コンターを図-4 に示す。図-3 より、長孔では標準孔より母板の軸力影響範囲が小さくなり、接触面積も小さくなるため、接触圧が大きい。また、図-4 より、長孔の方が接触圧が大きい場合、母板孔周りに生じる板厚方向の直応力が大きくなり、塑性域が広がる。降伏し、板やせすることで軸力低下が大きくなったと考えられる。

次に、Mises 応力コンターと変形図を図-5 に示す。図-5(b)には締付け時からすべり時までのボルトの沈下量を示している。長孔の場合、標準孔より連結板の変形が大きくなっており、連結板が母板側に変形すると、ボルトは軸力が低下する方向に沈下する。また、連結板厚の差に着目すると、連結板厚 $t=15\text{mm}$ では、長孔の場合での変形量が小さくなっている。この変形量の差が $t=15$ の方がすべり係数の低下が小さくなっていることに影響していると考えられる。

4. まとめ

- (1) 標準孔と比較して長孔ではすべり係数が 2～6%低減した。また、長孔では標準孔より軸力低減率が大きくなった。軸力低減率が大きいほどすべり係数は小さくなる。
- (2) 長孔では母板・連結板間の接触面積が小さくなる

表-3 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	軸力低減率
070-t12-NH	389.7	0.475	—	4.4%
070-t12-SH	373.4	0.455	4.2%	8.6%
106-t12-NH	380.2	0.464	—	7.1%
106-t12-SH	358.8	0.438	5.6%	12.1%
070-t15-NH	395.5	0.482	—	3.4%
070-t15-SH	387.0	0.472	2.2%	5.1%

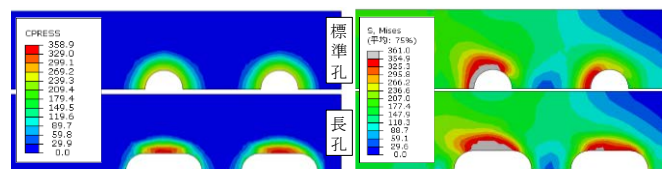


図-3 締付け時の接触圧コンター(070-t12)

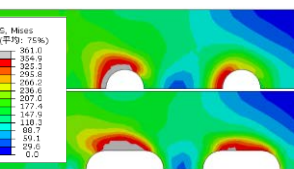
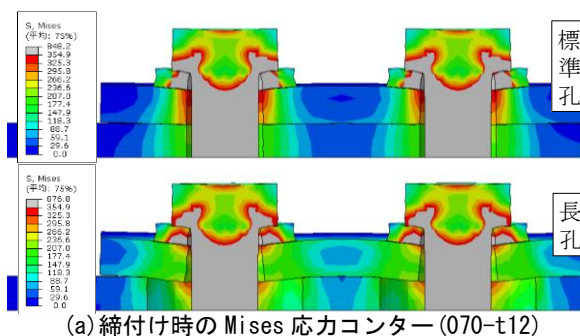
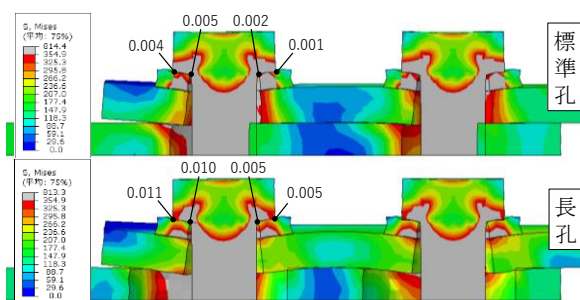


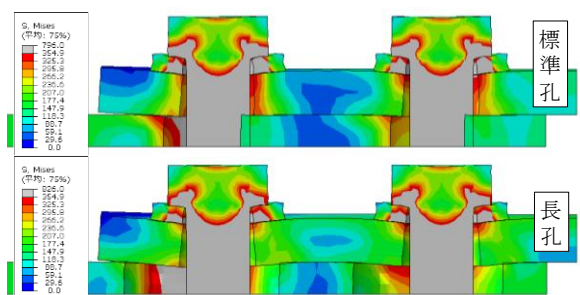
図-4 すべり時の Mises 応力コンター(070-t12)



(a) 締付け時の Mises 応力コンター(070-t12)



(b) すべり荷重時の Mises 応力コンター(070-t12)



(c) すべり荷重時の Mises 応力コンター(070-t15)

図-5 Mises 応力コンター(変形倍率 30 倍)

ため、母板孔周りに生じる板厚方向の直応力が大きくなり、母板のボルト周りの塑性域が広がる。また、長孔では連結板の変形が標準孔よりも大きくなる。これらにより、長孔で軸力低下が大きくなり、すべり荷重が減少し、すべり係数が低下する。

<参考文献>

- 1) 田中淳夫, 増田浩志, 脇山廣三, 辻岡静雄, 平井敏二, 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
- 2) 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 鋼構造シリーズ 15, 2006