

[I-43] 長孔高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数に関する解析的検討 Analitical Study on Slip Coefficient of High Strength Bolted Friction Joint with Slotted Holes

○浅野 文佳¹、亀崎 誠志²、井隼 俊也²、小西 日出幸³、佐藤 寛幸³、山口 隆司¹（1.大阪市立大学、2.オリエンタル白石、3.日本橋梁）

○Fumika Asano¹, Seiji Kamezaki², Toshiya Ihaya², Hideyuki Konishi³, Hiroyuki Sato³, Takashi Yamaguchi¹
（1.Osaka City University, 2.Oriental Shiraishi Corporation, 3.Japan Bridge Corporation）

キーワード：長孔、摩擦接合、すべり係数、すべり試験、FEM解析

slotted hole, friction joint, slip coefficient, slip experiment, FEM analysis

拡大孔や長孔を対象に多くの研究が実施されている。高力六角ボルト2面摩擦接合継手の場合、長孔のケースでは約20%のすべり係数が確認された実験もあれば、すべり係数の低減がみられなかった実験もある。これらの違いは、試験体形状やボルトの締め付け方法の違いが影響していると考えられる。本研究では、板厚および軸力導入方法に着目した長孔によるすべり係数低減メカニズムの解明を目的にFEM解析を行った。結果、板厚が薄いほど長孔のすべり係数がわずかに低下する傾向にあることと、ナット回転角法の場合、トルク法に比べてすべり係数の低減率が大きくなることを解明した。

長孔高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生員 ○浅野 文佳
オリエンタル白石 正会員 亀崎 誠志
日本橋梁 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 正会員 井隼 俊也
日本橋梁 正会員 佐藤 寛幸

1. 研究背景および研究目的

高力ボルト摩擦接合継手が登場した 1970 年代において、拡大孔や長孔を対象に多くの研究が実施された。田中らの実験によると、高力六角ボルト 2 面摩擦接合の場合、長孔のケースでは約 20%のすべり係数の低減が確認されている¹⁾。しかし、実験によっては、長孔によるすべり係数の低減はみられなかったという結果もあり、これらの違いは試験体形状やボルトの締め付け方法の違いが影響していると考えられる。

そこで、本研究では、板厚および軸力導入方法に着目した長孔によるすべり係数低減メカニズムの解明を目的に FEM 解析をおこなった。

2. 解析モデル

解析には汎用有限要素解析コード Abaqus2018 を用い、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とし、高力ボルトは M22(F10T)とした。解析モデルは図-1 に示すように対称性より 1/4 モデルとした。要素は 8 節点低減積分ソリッド要素を用い、メッシュ分割は 1 辺 2mm となるように分割した。すべりを考慮できる接触境界を定義し、静止摩擦係数は赤錆の接合面を想定し 0.55 とした。境界条件は、添接板の対称面に対称条件を与えている。荷重は、母板外側縁端面において強制変位による変位制御で与えた。表-1 に解析に用いた材料特性を示す。

3. 解析ケース

解析ケースを表-2 に示す。パラメータは、母板の孔径、板厚、軸力導入方法である。添接板のボルト孔は全ケースで $\phi 26.5\text{mm}$ の拡大孔とし、母板の荷重方向の孔径は、図-2 に示すように、26.5、 26.5×1.5 および 26.5×2.0 (mm) の 3 種類とした。軸力導入方法は、既往研究で使用されているナット回転法とトルク法の 2 種類とした。なお、ナット回転法では回転角度、すなわちボルトの伸び変形で管理されている。そのため、図-3 に示す 1/8 モデルを用いて、孔径 26.5 のケースに

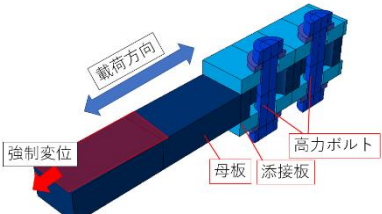


図-1 1/4 解析モデル

表-1 材料特性

	降伏点(N/mm ²)	ヤング率(N/mm ²)	ポアソン比	構成則
母板・添接板 (SM490Y)	355	200,000	0.3	バイリニア型 E/100
高力ボルト(F10T) 座金	900	200,000	0.3	

表-2 解析ケース

ケース名	母板厚 (mm)	添接板厚 (mm)	ボルト孔大きさ (mm)	軸力導入方法
32-w	32	16	26.5×(26.5)*	トルク法/ ナット回転法
32-1.5d			26.5×(1.5×26.5)	
32-2.0d			26.5×(2.0×26.5)	
22-w	22	12	26.5×(26.5)	トルク法
22-1.5d			26.5×(1.5×26.5)	
22-2.0d			26.5×(2.0×26.5)	

*：荷重直角方向 径×(荷重方向 径)

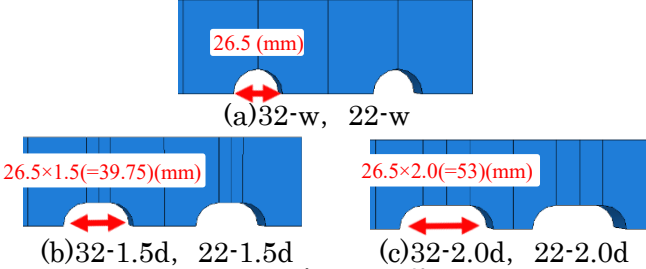


図-2 母板の孔形状

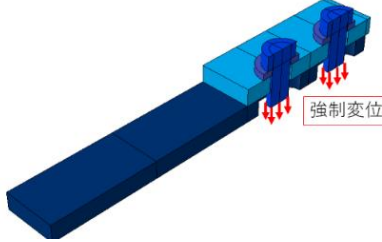


図-3 1/8 解析モデル

においてナット回転量 120° で締め付けたときに発生する設計軸力の 1.4 倍の軸力²⁾がボルト軸部に発生するような強制変位量を求め、その強制変位量を各ケースに与え、その際発生したボルト軸力を導入軸力とした。なお、ナット回転法における設計軸力は、トルク法と同じ 205kN とした。

キーワード 長孔、摩擦接合、すべり係数、すべり試験、FEM 解析

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

4. 解析結果と考察

トルク法およびナット回転法のどちらにおいても、最大荷重をすべり荷重と定義し、すべり係数の算出には設計ボルト軸力である 205kN を用いた。

(1) トルク法

表－3 にトルク法での締付けを想定した場合のすべり荷重およびすべり係数を示す。導入軸力は全ケース設計ボルト軸力と同じ 205kN である。すべり時ボルト軸力平均はすべり発生時の 2 本のボルト軸力の平均を表しており、カッコ内は設計ボルト軸力からの低減率を示す。すべり係数低減率は、拡大孔のケース(32-w, 22-w)のすべり係数からの低減率を示している。

板厚が 32mm のケースでは、拡大孔と長孔のケースですべり荷重およびすべり係数に差はみられなかった。一方、板厚が 22mm のケースでは、長孔の場合 0.8～1.9% のすべり係数の低減がみられた。これは、板厚が薄いほど母板の降伏域が広くなり、それに伴いボルト軸力の低下率が大きくなったためと考えられる。図－4 にすべり時の母板孔周りにおける mises 応力分布を示す。

(2) ナット回転法

図－5 に 1/8 モデルにおいてボルトに同変形量を与えた際、各ケースで発生した軸力および、拡大孔のケースからの低下率を示す。

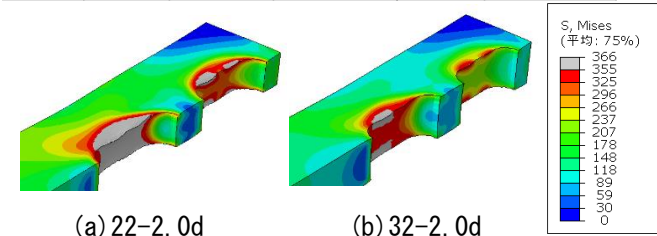
長孔の場合、ボルトに発生する軸力は 1.7%～6.5%低下した。これは、ボルトに伸び変形を与えた際、図－6 に示すように長孔では添接板および母板の変形が大きくなるためと考えられる。また、表－4 にナット回転法での締付けを想定した場合のすべり荷重およびすべり係数を示す。

板厚が 32mm のケースでは 1.8%～5.5%、板厚が 22mm のケースでは 3.7%～8.6%と、初期導入ボルト軸力の影響により、トルク法に比べてすべり係数低減率は大きくなった。また、トルク法と同様に、板厚が薄いほどすべり係数低減率は大きい結果となった。

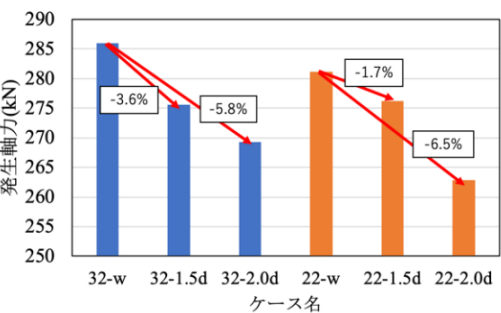
5. まとめ

- 得られた主な結果を以下にまとめる。
- (1) 長孔のすべり係数は、板厚が薄いほどボルト孔周辺の母板の降伏域が広く、ボルト軸力の低下が大きくなることで、わずかに低下する傾向にある。
 - (2) 長孔では、軸力導入時に添接板の変形も大きくなる。そのため、ナット回転法において、長孔では

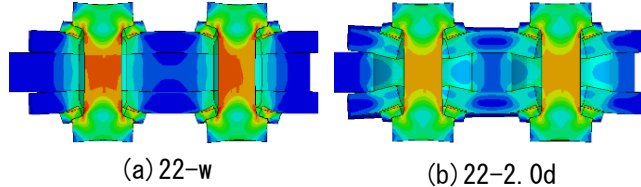
表－3 トルク法 すべり係数					
ケース	すべり荷重(kN)	設計ボルト軸力(kN)	すべり時ボルト軸力平均(kN)	すべり係数	すべり係数低減率(%)
32-w	443.6	205	197.5(3.7%)	0.541	0.0
32-1.5d	443.6		195.2(4.8%)	0.541	
32-2.0d	443.6		194.4(5.2%)	0.541	
22-w	436.0		192.7(6.0%)	0.532	0.8
22-1.5d	432.7		188.6(8.0%)	0.528	
22-2.0d	428.2		184.7(9.9%)	0.522	



図－4 トルク法 すべり時 mises 応力



図－5 ナット回転法 導入軸力



図－6 軸力導入時変形図

表－4 ナット回転法 すべり係数						
ケース	すべり荷重(kN)	設計ボルト軸力(kN)	初期導入軸力(kN)	すべり時ボルト軸力平均(kN)	すべり係数	すべり係数低減率(%)
32-w	599.7	205	286	267.2(6.6%)	0.731	1.8
32-1.5d	588.7		275.6	258.6(6.2%)	0.718	
32-2.0d	567.0		269.3	245.7(8.8%)	0.691	
22-w	581.6		281.1	256.5(8.8%)	0.709	3.7
22-1.5d	560.3		276.2	243.5(11.8%)	0.683	
22-2.0d	531.4		262.9	228.0(13.3%)	0.648	

導入されるボルト軸力が小さくなり、トルク法に比べてすべり係数の低減率が大きくなる。

<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, 鋼構造論文集, 第5巻, 第20号, pp34-44, 1998.12
2)白旗弘実, 南邦明, 藤野大地, 宮井大輔, 矢野翔太, 横田渉: F10Tを用いた高力ボルト摩擦接合継手におけるナット回転角法の適用の検討, 土木学会論文集 A1, Vol.76, No.1, 1-14, 2020