

## 連結板に長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 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

西日本高速道路株式会社 正会員 豊田 雄介

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

### 1. 研究背景および目的

著者らのグループでは、長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手を対象にすべり耐力試験やFEM解析を行ってきた。そこでは、母板を長孔とした場合を主に対象としていた。しかしながら、腐食した連結板の取り換えや施工時の相対変位・現場溶接收縮などへの対応が必要な場合もあり、連結板に長孔を用いることができれば孔ずれの吸収が可能となり、メリットも大きい。

本稿では、連結板に長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数低下率とその低下要因について検討する。標準孔・長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手を対象に、長孔の寸法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 Abaqus/Standard2020 を用いて、境界非線形性を考慮した静的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、モデル化範囲は図-1 に示すように、対称性を考慮した 1/4 モデルで、使用するボルトの呼び径は M22 である。すべり/降伏耐力比は 0.63 程度である。使用要素は主に 8 節点低減積分 6 面体 1 次要素を用い、要素サイズは高力ボルトおよび座金は 2mm、母板・連結板のボルト孔付近は 2mm、それ以外は 4mm になるように分割した。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、図-1 に示すように、摩擦係数は母板連結板の接合面には 0.50 を、座金-連結板間およびボルト孔壁-ボルト軸部表面間には 0.01 を与えた。解析に用いた材料特性は表-1 に示すように、加工硬化係数が E/100 のバイリニア型構成則とした。

### 3. 解析ケース

解析ケースを表-2 に示す。パラメータは孔形状と長孔寸法とし、長孔寸法は短い長孔 SHs は 1.5d、長い長孔 SHI は 2.5d としている。長孔寸法とボルト位置を図-2 に示す。長孔の場合、母板の遊間部は、施工時に

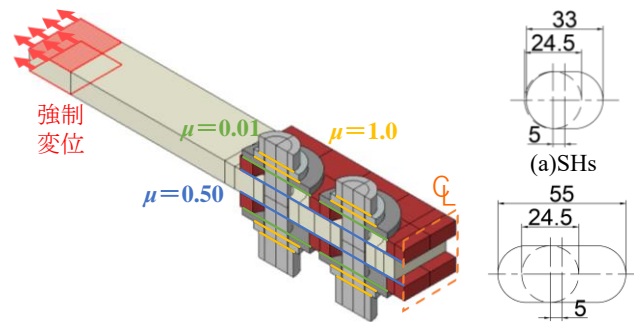


図-1 解析モデル

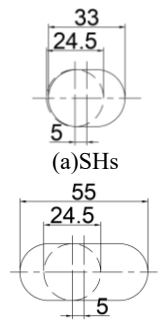


図-2 長孔寸法とボルト位置

表-1 材料特性

部材	鋼種	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ひずみ (×10 <sup>6</sup> )
母板・連結板	SM490Y	200,000	0.3	355	1775
				451.45	50000
高力ボルト ナット/座金	F10T	200,000	0.3	900	4500
				991	50000

表-2 解析ケース

	孔寸法(mm)		板幅 (mm)	板厚(mm)		遊間部 (mm)
	連結板	母板		連結板	母板	
NH	24.5	24.5	100	12	22	10
SHs	24.5×33	24.5				20
SHI	24.5×55	24.5				
SHI-ws2	24.5×55	24.5				

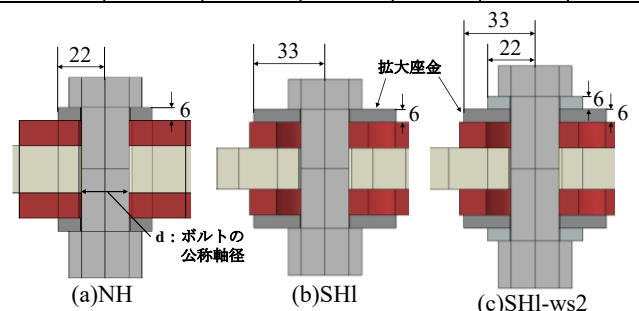


図-3 座金寸法 (単位: mm)

母板が 10mm ずれるケースを想定して 20mm とし、ボルトは長孔中心から 5mm 外側にずらした。座金寸法を図-3 に示す。連結板に長孔を用いた場合、標準の座金寸法では、長孔より小さく 2 辺支持となり、軸力導入時に座金が内側に入り込むため、通常より 1.5 倍大きい外径が 66mm の拡大座金を用いている。また、接触圧の差がすべり係数に与える影響を確認するため、通常座金を拡大座金の上に重ねたケース SHI-ws2 も設定した。

キーワード 長孔, 高力ボルト摩擦接合継手, すべり係数, 連結板

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 橋梁工学研究室 TEL&FAX06-6605-2765

#### 4. 解析結果

母板内側縁端から 10mm 位置の母板連結板間の接合面の相対変位に着目し、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-3 に示す。表中の軸力残存率とはすべり時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、すべり係数低下率は長孔の値を標準孔の値で除して算出した。

解析結果より、標準孔 NH と比較して短い長孔 SHs ではすべり係数は 2.9%、長い長孔 SHI では 2.8%低下した。すべり係数が小さいほど軸力残存率も小さくなっており、すべり係数の低下は軸力低下と関係している。座金を 2 枚重ねた SHI-ws2 では、すべり係数は 0.487 と標準孔とほとんど差がなかった。

#### 5. 考察

標準孔 NH と長孔 SHs・SHI の軸力導入時の連結板の接触圧コンターを図-4 に、すべり時の Mises 応力コンターを図-5 に示す。図-4 より、標準孔と比較して長孔では接触圧の高い範囲が広がっており、図-5 より、長孔の方が塑性域が広がっていることがわかる。長孔では、接触圧の高い範囲が広いことで、板厚方向の直応力により塑性化が進展し、板やせが促進され、軸力の低下が大きくなったと考えられる。以上より、長孔では、高接触圧の範囲が広く、塑性域の進展が早いことが影響して、軸力が低下し、すべり係数も低下したと考えられる。

長孔寸法の差に着目して、SHs と SHI のすべり時における接触力と継手断面の変形の比較を図-6 に示す。図中の数字は接触力を表している。図-6 (b) に示すように、短い長孔 SHs では連結板内側でボルトが孔に食い込むように傾いている。長孔に対するボルトの位置がずれていることで、座金の板厚方向の変形が小さい連結板外側で接触力が大きくなっている。ボルトの左右で接触力に差があり、それによりボルトに曲げが発生し、軸力の低下が大きくなり、すべり係数も低下したと考えられる。

表-3 に示すように座金を 2 枚重ねた SHI-ws2 では、SHI よりすべり係数は大きくなった。接触圧はボルト頭部およびナット部の座面から接合面までの距離に支配され、座金厚を大きくすることで接触圧は小さくなる。図-4 (d) より、SHI-ws2 では接触面積が大きくなり、接触圧が小さくなっている。それにより、軸力低下が小さ

表-3 解析結果

	すべり荷重(kN)	すべり係数	すべり係数低下率	すべり時軸力(kN)		軸力残存率
				内側	外側	
NH	400.5	0.488	—	195.8	196.2	95.6%
SHs	388.9	0.474	2.9%	189.4	188.8	92.3%
SHI	389.4	0.475	2.8%	187.4	188.8	91.8%
SHI-ws2	399.1	0.487	0.3%	193.3	193.9	94.4%

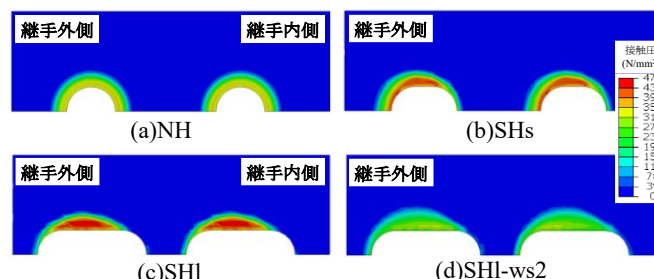


図-4 軸力導入時の連結板(座金側)接触圧コンター

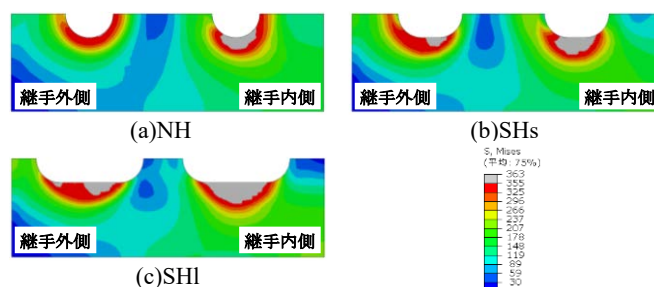


図-5 すべり時の連結板(母板側)Mises 応力コンター

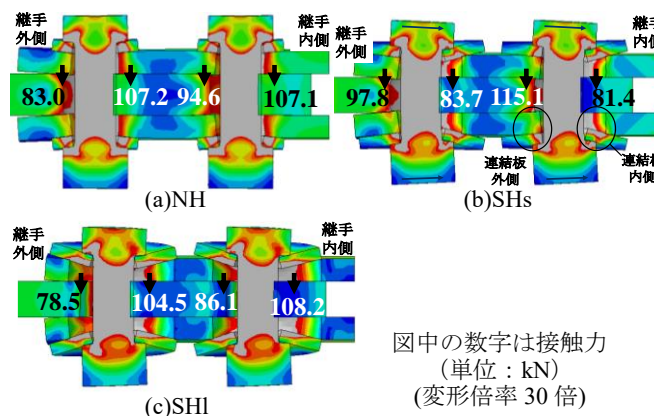


図-6 すべり時における継手断面の変形

くなり、すべり係数が大きくなったと考えられる。

#### 6. まとめ

- (1) 標準孔と比較して短い長孔ではすべり係数は 2.9%、長い長孔では 2.8%低下した。
- (2) 長孔では標準孔より高接触圧の範囲が広く、塑性域も広がることで軸力が低下し、すべり係数も低下した。
- (3) 短い長孔を連結板に用いる場合、長孔の中心からボルトがずれると、ボルトに曲げが発生し、軸力が低下し、すべり係数低下率が大きくなった。

<参考文献>

- 1) 加藤あゆみ, 桑原進: スロット孔を使用した高力ボルト摩擦接合のすべり係数に及ぼす諸変数の影響 (FEM 解析による検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.753-754, 2019.