

皿型高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に影響する構造因子

大阪市立大学大学院

学生会員 〇郎 宇

大阪市立大学大学院

正会員 山口 隆司

阪神高速道路株式会社

正会員 青木 康素

1. 研究背景および研究目的

鋼橋の高力ボルト摩擦接合部の防食耐久性を向上するため、既往研究¹⁾²⁾ではボルト頭部の形状が平滑な皿型高力ボルトを摩擦接合部に適用可能であることを示した。しかし、皿型高力ボルト摩擦接合継手については連結板ざぐり部および皿型高力ボルトの製作精度により母材表面からのボルト頭部の浮きや、沈み込みが発生し、継手のすべり挙動に影響を与える可能性がある。

本研究では皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手において、皿型ボルト頭部の開き角度、連結板ざぐり部の切削深さ、皿型ボルト自身の軸非対称性に着目し、それらがすべり挙動に与える影響を FEM 解析により検討している。

2. ボルト頭部開き角度がすべり強度に与える影響

解析モデルを図-1、ざぐり部および皿頭部の構造寸法を図-2、解析ケースを表-1にそれぞれ示す。解析パラメータは皿型ボルトの頭部開き角度であり、89.5°~96°と変化させた。なお、各ケースの連結板ざぐり部の開き角度は90°とし、一定にした。解析に導入した摩擦係数は、皿型ボルト頭部と連結板のざぐり面に対しては0.10を与えた¹⁾。母板と両側連結板の接合面には、既往研究²⁾で得ら

れたすべり試験の結果より0.66を与えた。ボルト軸力はAbaqus Standard がサポートするボルト荷重オプションを使用して205kN導入した。引張荷重は締付け終了後に、母板端面に一樣な強制変位として与えた。

締付け時のざぐり部に作用するミーゼス応力の一例を図-3に示す。皿型ボルト軸力の低下の原因は、締付け時において、ざぐり部下端で局所的に降伏が発生し、引張荷重の増加に伴い、ざぐり部下端の降伏域が進展し、ざぐり部の変形が大きくなり、ボルトが落ち込むためであることがわかった。また、皿型ボルト頭部の開き角度が大きくなるにつれて、ざぐり部下端での塑性変形が緩和され、ボルトの落ち込みが抑えられることも確認した。

皿型ボルトの頭部開き角度とすべり係数の関係を図-4に示す。頭部開き角度が大きいほどすべり係数も大きくなった。頭部開き角度が90°未満となる場合では、すべり耐力を低下させる要因となることが確認された。また、すべり係数の増加率は、頭部開き角度が93°以下の場合では大きく、93°より大きい場合では小さくなっている。これは頭部開き角度が93°より大きくなると、図-4に示すように、締付け時にボルト頭部の塑性変形が発生し、頭部が落ち込むためと考えられる。

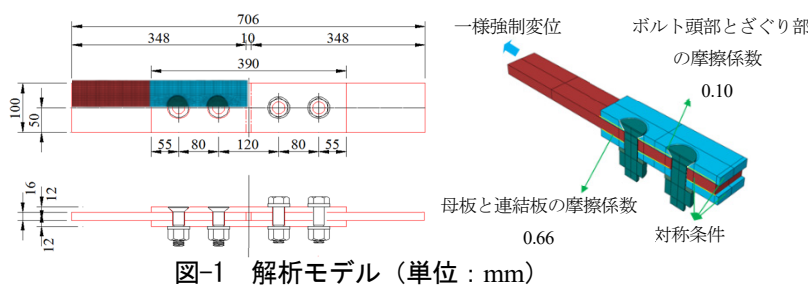


図-1 解析モデル (単位: mm)

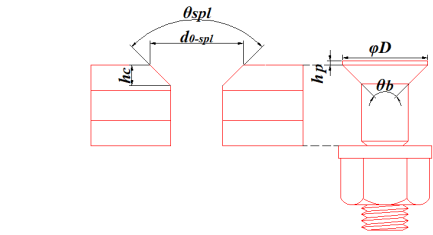


図-2 ざぐり部および皿頭部の構造寸法

表-1 解析ケース (頭部開き角度)

解析ケース	ざぐり部の 切削深さ h_c (mm)	ざぐり部の 上部孔径 d_{0-spl} (mm)	ざぐり部の 開き角度 θ_{spl} (°)	ボルト頭部の 開き角度 θ_b (°)
89.5	9.75	44.0	90	89.5
90 (標準)				90.0
90.5				90.5
91				91.0
92				92.0
93				93.0
94				94.0
95				95.0
96				96.0

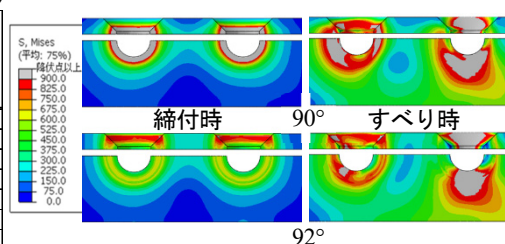


図-3 ざぐり部の Mises 応力の一例

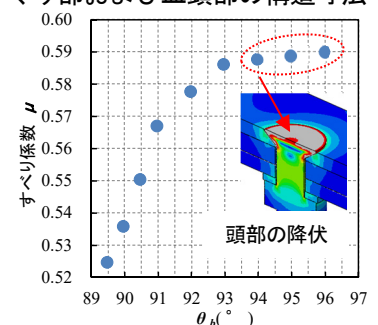


図-4 頭部開き角度とすべり係数の関係

キーワード：皿型高力ボルト、摩擦接合、FEM解析、すべり係数、製作許容範囲

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 橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

3. ざぐり部の切削深さがすべり強度に与える影響

解析ケースを表-2に示す。皿型ボルトの頭部開き角度を 90° に固定して、ざぐり部の切削深さを $7.75\text{mm} \sim 11.75\text{mm}$ と変化させた。

すべり係数および軸力低下率と切削深さの関係を図-5に示す。切削深さが大きくなるにつれて、すべり係数は小さくなった。これは切削深さが大きくなるにつれて、締付けによるざぐり部の降伏範囲が大きくなり、それに伴うボルトの落ち込みが生じやすいためと考えられる。切削深さが小さくなるにつれて、すべり係数は向上するが、連結板表面からのボルト頭部が突出することから、防食耐久性の低下が懸念される。

4. 皿型ボルトの軸非対称性がすべり強度に与える影響

皿型ボルトの軸非対称性の種類を図-6に示す。皿型ボルトの頭部中心と軸部中心がずれている場合、頭部が傾いている場合の2種類を設定した。なお、皿型ボルトの頭部開き角度およびざぐり部の切削深さをそれぞれ 90° , 9.75mm と一定にした。解析ケースを表-3に示す。

すべり係数と軸力低下率と軸非対称性の関係を図-7に示す。解析結果より、皿型ボルト頭部の中心が 0.2mm 程度の偏心および皿型ボルトの頭部が 0.5° 程度の傾斜である場合は、締付け時のざぐり部の降伏範囲に与える影響が小さく、すべり強度がわずかに大きくなったが、ほぼ同様の挙動を示した。

5. まとめ

本研究では、皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手の実用化に向けて、皿型ボルト頭部の開き角度、連結板ざぐり部の切削深さ、皿型ボルト自身の軸非対称性に着目し、それらがすべり挙動に与える影響を FEM 解析により検討した。以下に得られた結果をまとめる。

- 1) ざぐり部の開き角度を 90° と一定とした場合、皿頭の開き角度が大きいほどすべり係数も大きくなる傾向にあった。頭部開き角度に対する製作時の目標角度は 93° とし、製作精度としては -3° , $+1^\circ$ を許容値とすることが望ましい。
- 2) ざぐり部の切削深さが小さくなるにつれて、すべり係数は向上するが、母材表面からのボルト頭部が突出するため、耐久性の低下が懸念される。連結板の厚さが 12mm の場合、切削深さの目標値は 9.75mm とし、製作精度としては -2mm , $+0\text{mm}$ を許容値とすることが望ましい。
- 3) 皿型高力ボルト頭部と軸部のずれ量は 0.2mm 、頭部

表-2 解析ケース (切削深さ)

解析ケース	解析パラメータ	ざぐり部の切削深さ h_c (mm)	ざぐり部の上部孔径 d_{opt} (mm)	ボルト頭部の突出量 h_p (mm)	ボルト頭部の開き角度 θ_b ($^\circ$)	ボルト頭部の径 ϕD (mm)
7.75	h_c	7.75	40.0	2.00	90	39.8
8.75		8.75	42.0	1.00		
9.75(標準)		9.75	44.0	0.00		
10.75		10.75	46.0	-1.00		
11.75		11.75	48.0	-2.00		

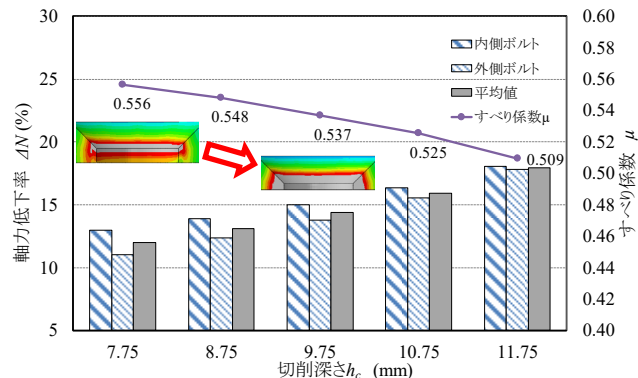


図-5 すべり係数および軸力低下率

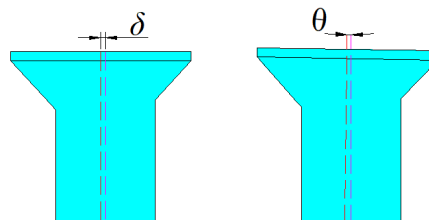


図-6 皿型高力ボルトの軸非対称

表-3 解析ケース (軸非対称)

解析ケース	誤差種類	頭部と軸部のずれ量 δ (mm)	頭部と軸部の傾斜角度 θ ($^\circ$)	頭部の突出量 h_p (mm)	頭部の開き角度 θ_b ($^\circ$)	ざぐり部の切削深さ h_c (mm)
base	誤差なし	0.0	0.0	0.00	90	9.75
deviation-left	ずれ-引張方向	0.2				
deviation-right	ずれ-継手中央	-				
inclination-left	傾斜-引張方向	-	0.5	0.00	90	9.75
inclination-right	傾斜-継手中央	-				

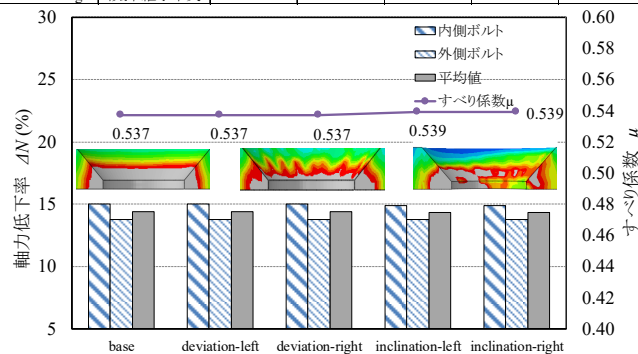


図-7 すべり係数および軸力低下率

の傾斜角度は 0.5° を許容値とすれば、軸非対称性に伴うすべり強度への影響は小さいと考えられる。

参考文献

- 1) 田畑晶子, 金治英貞, 黒野佳秀, 山口隆司: 皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手のボルト形状及び継手特性に関する解析的検討, 鋼構造論文集, Vol.20, No.79, pp.19-28, 2013.
- 2) 藤林美早, 郎宇, 儀賀大己, 山口隆司, 吉見正頼: 高力ボルト摩擦接合継手に用いる皿型高力ボルトの皿頭開き角度がすべり強度に与える影響, 土木学会第70回学術講演会, I-501, pp.1001-1002, 2015.