

拡大孔・長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手の拡大座金によるすべり係数の改善

(株)三井 E&S 鉄構エンジニアリング

正会員 ○石井 一騎 濱 達矢
法政大学 正会員 内田 大介

1. はじめに

高力ボルト摩擦接合継手では、誤差吸収のためボルト孔を標準孔径より大きくした拡大孔・長孔を適用する場合がある。著者らは摩擦面に厚膜型無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンク）を塗布し、母板に拡大孔（ $\phi 28.5\text{mm}$, $\phi 32.5\text{mm}$ ），あるいは長孔（ $\phi 26.5\text{mm} \times 55\text{mm}$ ）を有する高力ボルト摩擦接合継手に関する検討を実施し^{1),2)}，拡大孔および長孔とした場合，標準孔に比べてすべり係数が低下すること，連結板厚が薄いほどすべり係数が低下すること等を確認している。すべり係数の低下については，文献³⁾より摩擦係数（すべり係数）は接触圧の増加とともに減少するという検討結果が示されている。そこで，従来の高力ボルトの座金（以下，標準座金）より大きい座金（以下，拡大座金）の適用を考えた。すなわち，拡大座金により拡大孔や長孔によって欠損した接触圧分布面積を補って，局所的な接触圧の増加をおさえ，すべり係数の低下の改善を目指した。本研究では拡大孔や長孔を使用した高力ボルト継手のすべり耐力試験および非線形 FEM 解析を行い，拡大座金によるすべり係数の改善効果を明らかにすることを目的とする。

2. 試験体

試験体の形状と寸法を図 1 に，ボルト孔の諸元を表 1 に示す。連結板のボルト孔径を $\phi 26.5\text{mm}$ とし，母板のボルト孔の形状を拡大孔モデルでは $\phi 32.5\text{mm}$ ，長孔モデルは $\phi 26.5 \times 55\text{mm}$ とした。長孔モデルでは図 2 に示すようにボルト締付け位置を 3 か所とした。母板は板厚が 18mm ，連結板は 9mm ，母板および連結板の材質は SS400 である。高力ボルトは F10T (M22) を使用するが，試験体番号に W（以下，拡大座金シリーズ）が付く試験体は座金を外径 56mm ，厚さ 8mm の拡大座金に取り換える。摩擦面はブラスト処理後，道路橋示方書に示された条件を目標値として無機ジンクを塗布している。

3. ボルト軸力推移とすべり係数

各試験体におけるボルト軸力推移とすべり係数を把握するためリラクセーション試験とすべり試験を行った。試験結果を表 1 に示す。試験体番号の末尾が A は計測期間が 18 日間，B が 96 日間である。試験体番号に W が付かないシリーズ（以下，標準座金シリーズ）は各 4 体（A：3 体，B：1 体），拡大座金シリーズは各 6 体（A：3 体，B：3 体）である。リラクセーション試験はすべり側の 2 本のボルトの軸部にひずみゲージを貼り付け，軸部のひずみによって導入ボルト軸力とその推移を計測した。試験結果を図 4 に示す。計測期間が 18 日間の試験体（A）のボルト軸力減少率は 9～16%，96 日間の試験体（B）は 8～15% であり，バラツキは大きい。座金や期間による差異は見られなかった。すべり耐力試験はリラクセーション試験後に行った。ボルトの軸力測定はすべり試験当日まで継続し，最終値を試験直前のボルト軸力とした。すべり荷重は試験中に荷重が急激に下がった点のピーク荷重とした。すべり係数は標準座金シリーズでは拡大孔で 0.49，長孔端部で 0.52，長孔中心で 0.47，拡大座金シリーズでは拡大孔で 0.52，長孔端部で 0.52，長孔中心で 0.52 だった。拡大座金を用いることで，拡大孔で 6%，長孔端部（SL-O）で 2%，長孔中心で 9% すべり係数の向上を確認した。

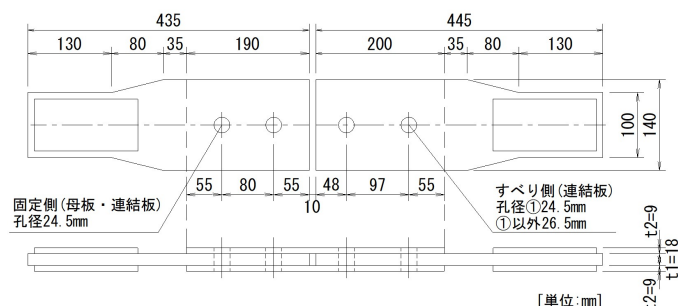


図 1 試験体寸法

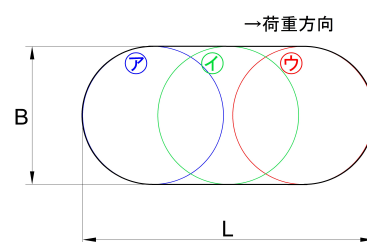


図 2 長孔形状

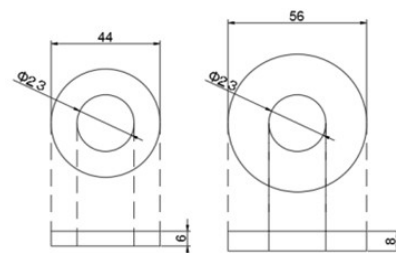


図 3 座金形状（単位：mm）

表 1 すべり耐力試験結果

試験体	母板・孔径 [mm]B×L	ボルト 締付け 位置	すべり耐力 試験直前 ボルト軸力 [kN]	すべり 荷重 [kN]	すべり 係数μ	すべり 係数比 (拡大座金 ／標準座金)
LH325-A	32.5×32.5		207	405	0.49	1.06
LH325-B			201			
LH325W-A			220	403	0.52	
LH325W-B			210			
SL-0-A	26.5×55	㊦	208	403	0.49	1.02
SL-0-B			197			
SL-0W-A			217	420	0.50	
SL-0W-B			202			
SL-C-A	26.5×55	㊥	202	381	0.47	1.09
SL-C-B			199			
SL-CW-A			208	412	0.52	
SL-CW-B			194			
SL-I-A	26.5×55	㊧	198	414	0.52	1.00
SL-I-B			202			
SL-IW-A			209	429	0.52	
SL-IW-B			235			

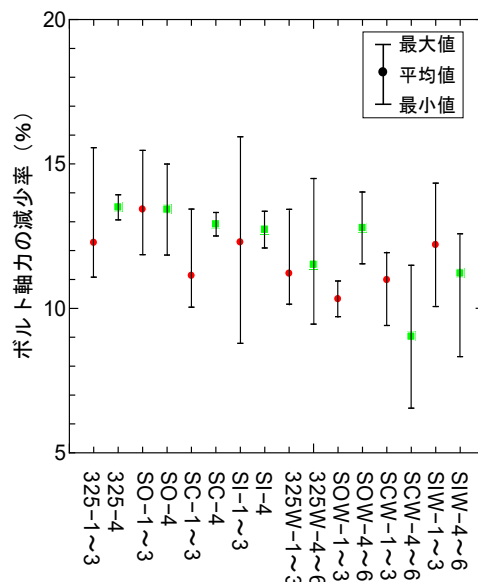


図 4 ボルト軸力減少率

4. FEM 解析

FEM 解析により、ボルト軸力を標準設計軸力で統一し、板の板厚、材質、座金形状をパラメータとした場合のすべり係数の比較を行った。使用した解析ソルバーは ABAQUS Standard 6.11 である。摩擦面には昨年と同様の接触圧と摩擦係数の関係式³⁾を用いている。解析モデルは実験に用いた試験体と同じ 1 行 2 列の 2 面摩擦継手モデルである。材質は SS400, SM490Y, SM570 の 3 種類で、板厚はそれぞれ文献⁴⁾に示される標準試験片に準拠するが、SS400 のみ母板の板厚が 18mm (連結板 9mm), 19mm (連結板 12mm) のケースも加えた。また、ボルト孔の種類は実験で用いた拡大孔・長孔に $\phi 28.5\text{mm}$ の拡大孔を加えた。座金は標準の座金と拡大座金の 2 種類のモデルの解析を行った。拡大座金の標準座金に対するすべり係数の比率と母板厚との関係を図 5 に、連結板厚との関係を図 6 に、降伏応力との関係を図 7 に示す。拡大座金を用いることで、すべてのモデルですべり係数が向上した。すべり係数の増加率は 5~10% 程度である。また、母板・連結板ともに板厚が小さいほどすべり係数の増加率が高い。文献²⁾より高力ボルト摩擦継手において薄板であるほどすべり係数は小さくなるという結果が示されており、今回の結果より継手の板厚に由来するすべり係数の低下を大きく改善できる可能性がある。一方で、降伏応力との相関性は低く、材質によるすべり係数の比率の差はほとんどない。

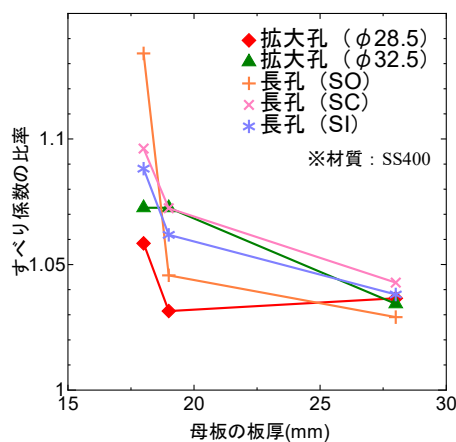


図 5 母板厚—すべり係数の比率

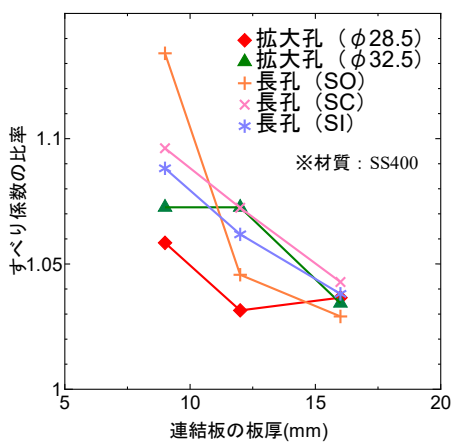


図 6 連結板厚—すべり係数の比率

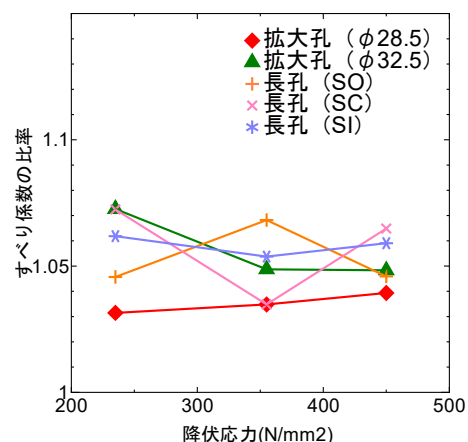


図 7 降伏応力—すべり係数の比率

参考文献

- 濱達矢ほか：母板に拡大孔・長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手に関する実験的検討，土木学会第 73 回年次学術講演会，I-191，pp.381-382，2018
- 濱達矢ほか：高力ボルト摩擦接合継手における板の材質・板厚がすべり係数の低減に及ぼす影響，土木学会第 74 回年次学術講演会，2018.9
- 森猛ほか：高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数に対するボルト軸力の影響，土木学会論文集 A1，Vol. 75，No. 1，pp.58-66，2018.
- 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），2006