

拡大孔・長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手の板厚と材質がすべり係数に及ぼす影響

(株)三井 E&S 鉄構エンジニアリング 正会員 ○濱 達矢 石井 一騎
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。拡大孔や長孔については、これまでの研究により、すべり係数が低下することがわかっている¹⁾。一方で、道路橋示方書では、標準孔径+2mmまでの拡大孔のみ規定がされており、それ以上の拡大孔や長孔を適用する場合には、海外の基準の準用や、すべり耐力試験を実施して所定のすべり係数の確保を確認した上で適用される場合が多い。著者らはこれ

までに、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、あるいは長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手に関する実験と解析的検討を実施しており^{2),3)}、すべり係数の低下が海外の基準よりも小さいことを確認した。しかし、すべり係数の低減および摩擦面の接触圧分布に影響を及ぼすと考えられる板の材質や板厚等に関する検討については今後の課題となっていた。本研究では拡大孔や長孔を用いた場合のすべり係数の低減について、板の材質や板厚が及ぼす影響を確認することを目的とし、すべり耐力試験および非線形 FEM 解析を実施した。

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 $\phi 32.5\text{mm}$ 、長孔モデルでは $\phi 26.5 \times 55\text{mm}$ 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 とし、昨年の試験体²⁾に比べて母板・連結板共に薄板、弱材質とした。高力ボルトには F10T (M22) を使用し、降伏に対して主すべりの発生が先行するよう設計した。長孔については、図 2 に示すように、ボルトの締付け位置を変えた 3 種類の試験体を用意した。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。ボルトの締付け軸力は、設計軸力の 10%増しである 226kN、固定側のボルト軸力は 20%増しである 246kN を目標とした。

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。ST245-4 は試験不備よりリラクセーション試験のみ行っている。表中には昨年行った母板 19mm、連結板 12mm の場合のすべり耐力試験の結果¹⁾も示している。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。計測期間は試験体番号の末尾が 1~3 は 18 日間、4 は 96 日間である。各試験体のボルト軸力減少率は 11~14%と文献⁴⁾が増し締め量として推奨する 15%はよりは小さかったが、設計軸力を下回るものもあった。

すべり耐力試験はリラクセーション試験の後に行った。試験機は 1000kN の万能試験機を用い、すべりが生じるまでは載荷速度 2kN/秒を目標とした。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。すべり係数は全て 0.45 を上回ったが、昨年度と比較して全体的に軸力が大きかったためか、すべり係数は低めの値となった⁵⁾。

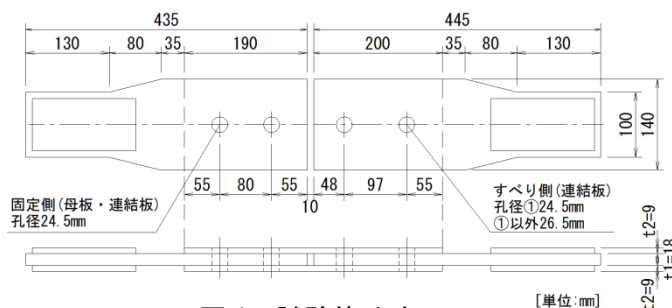


図 1 試験体寸法

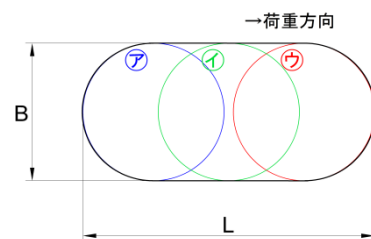


図 2 長孔形状

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手、拡大孔、長孔、すべり係数

連絡先 〒290-8531 千葉県市原市八幡海岸通 1 番地 TEL 0436-40-1174

表 1 リラクセーション試験および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	導入直後 ボルト軸力 [kN]	ボルト軸力 減少率[%]	母板18mm,連結板9mm				母板19mm,連結板12mm※1				①／②
					試験直前 ボルト軸力 [kN]	すべり 荷重 [kN]	すべり係数μ		試験直前 ボルト軸力 [kN]	すべり 荷重 [kN]	すべり係数μ		
							試験結果	①平均			試験結果	②平均	
ST245-1	24.5×24.5		251	11.4	225	435	0.48	0.50	196	460	0.59	0.57	0.87
ST245-2			246	13.6	216	428	0.49		201	469	0.58		
ST245-3			245	11.9	218	448	0.51		204	465	0.57		
ST245-4			239	13.5	203				193	429	0.56		
LH325-1	32.5×32.5		225	11.1	201	389	0.48	0.50	193	403	0.52	0.54	0.92
LH325-2			228	11.3	205	426	0.52		191	433	0.57		
LH325-3			231	12.1	205	407	0.50		193	417	0.54		
LH325-4			226	11.2	200	398	0.50		207	444	0.54		
SL-O-1	26.5×55	㊦	229	12.0	205	403	0.49	0.49	194	378	0.49	0.51	0.96
SL-O-2			230	13.9	201	415	0.52		184	386	0.52		
SL-O-3			242	14.4	214	397	0.46		206	402	0.49		
SL-O-4			229	13.4	196	396	0.50		179	396	0.55		
SL-C-1	26.5×55	㊦	220	11.3	197	394	0.50	0.48	171	394	0.58	0.56	0.86
SL-C-2			228	10.3	197	375	0.48		152	393	0.65		
SL-C-3			232	11.7	207	384	0.46		181	377	0.52		
SL-C-4			228	12.9	199	372	0.47		199	382	0.48		
SL-I-1	26.5×55	㊦	238	11.5	207	427	0.52	0.52	197	407	0.52	0.52	1.01
SL-I-2			215	13.0	188	406	0.54		196	410	0.52		
SL-I-3			226	12.4	197	412	0.52		199	400	0.50		
SL-I-4			232	12.7	201	411	0.51		195	411	0.53		

※1 文献²⁾より引用

4. すべり係数に対する板の板厚・材質の影響

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),5)}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⁶⁾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φ26.5mm とφ28.5mm の拡大孔を加えた。なお、全てのケースですべり先行型となるようすべり／降伏耐力比βは 0.75～0.80 としている。SS400 のモデルの母板および連結板の板厚とすべり係数の関係を図 3, 4 に示す。連結板厚とすべり係数に高い相関性が認められ、母板厚の影響は小さいと考えられる。図 5 は母板厚 19mm, 連結板厚 12mm のモデルの材質とすべり係数の関係を示しているが、材質による影響は板厚に比べると非常に小さい。材質による影響が小さい理由は今回用いた試験体は全てすべり先行型であり、降伏応力の影響が小さいことが考えられる。

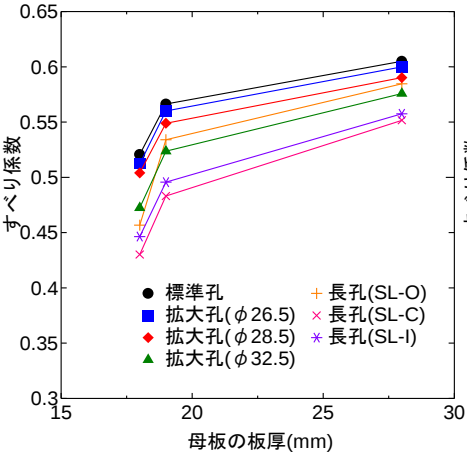


図 3 母板の板厚—すべり係数

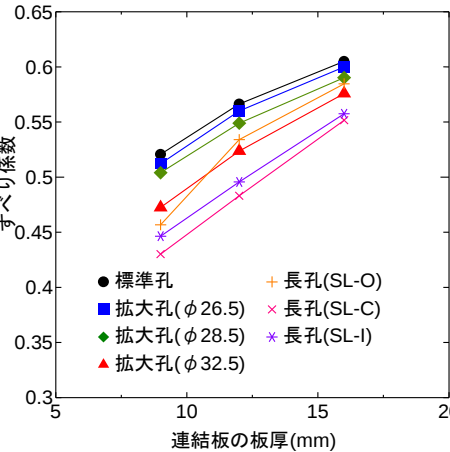


図 4 連結板の板厚—すべり係数

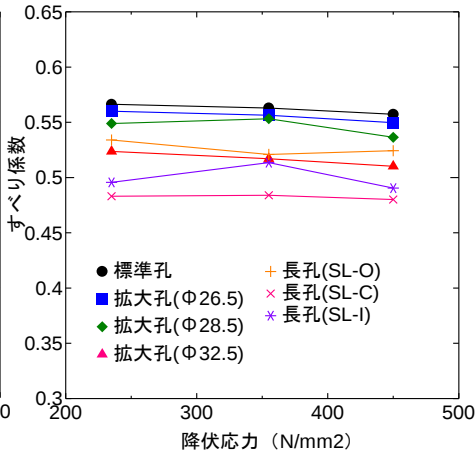


図 5 降伏応力—すべり係数

参考文献

1) 土木研究所：高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査「接合面に無機ジンクリッチペイントを塗布した継手のすべり耐力等(その1)」，土木研究所資料，1984.3
2) 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.
3) 内田大介ほか：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解析的検討，土木学会第 73 回年次学術講演会，I-192，pp. 383-384，2018.
4) 南邦明：厚膜型無機ジンクリッチペイントを施した摩擦面で 15%増し締めした高力ボルト継手試験，土木学会論文集 A1，Vol. 73，No. 1，pp.32-39，2017.
5) 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.
6) 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