

第1部門

接触面にテーパを付けた高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に関する解析的研究

石川工業高等専門学校 正会員○高井 俊和
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
 石川工業高等専門学校 高田 直幸

大阪市立大学大学院 学生員 森山 仁志
 大阪市立大学大学院 正会員 山本 佑大

1. 目的

高力ボルト摩擦接合継手において、1 ボルト線上に並ぶ本数が多くなり多列配置となるとボルトに作用する力が不均等[1]になり、すべり係数が低下することが知られている。本研究では、多列高力ボルト摩擦接合継手を対象にすべり係数の向上を期待して、母板および連結板の板厚にテーパを付けたときのすべり耐力への効果について FEM 解析を実施し確認した。

2. 解析モデル

解析対象は、既往の研究[2]を参照して、すべり係数が低下する多列の継手とし、ボルト配置は1行12列である。テーパを付けないベースモデルの構造諸元を表1に示す。母板厚が50mmの厚板で、母板、連結板とも材質はSM490Y、高力ボルトはF10TM22である。鋼材の機械的性質を表2に示す。

テーパは、最薄部の板厚が6mm以下とならない範囲内で最大の勾配としており、その勾配は1:45程度である。すべてのケースで同一の勾配を使用している。

ソリッド要素でモデル化し、1辺が5mm程度となるように要素分割をしている。接触部の摩擦係数は0.5を設定している。材料特性は文献[2]と同一である。

3. 解析ケース

ボルトの締付け厚が減少すれば、ボルト軸力が低下し摩擦抵抗が減少するため、すべり荷重およびすべり係数は低下する。テーパの方向と、荷重方向(引張, 圧縮)の組み合わせにより、締付け厚が増加、もしくは減少す

る方向にすべるため、場合によって期待されるテーパの効果は異なる。その概要を表3に示す。

解析ケースを表4にまとめる。テーパを付けないベースモデルに対して、接触面に片勾配および両勾配を設定し、さらにテーパの方向、および荷重方向(引張, 圧縮)の組み合わせで解析ケースを設定している。接触面を横から見たときの継手側面の形状を図1に示す。なお、テーパを付けた接触面部以外の母板、連結板の一般部の板厚を同一としているため、テーパの付け方によって締付け厚が違い、接触面部の母板、連結板の断面積比も異なる。

表1 継手の構造諸元(ベースモデル)

母板厚	(mm)	50
連結板厚	(mm)	26
板幅	(mm)	262
ボルト呼び径		M22
ボルト孔径	(mm)	24.5
導入ボルト軸力	(kN)	205
ボルト列数		12
摩擦係数		0.5
すべり/降伏耐力比 β		0.57
母板/連結板降伏耐力比 γ		1.04

表2 鋼材の機械的性質

母板	鋼種	SM4900Y
	降伏点 (N/mm ²)	363.3
連結板	鋼種	SM4900Y
	降伏点 (N/mm ²)	375.7
高力ボルト	等級	F10T
	耐力 (N/mm ²)	900

表3 期待されるテーパの効果

すべり発生前	接触面のすべり発生後	
	引張荷重	圧縮荷重
	板厚が減少する方向に移動 →軸力が抜けやすい →すべり荷重低下	板厚が増加する方向に移動 →軸力が抜けにくい →すべり荷重増加
	板厚が増加する方向に移動 →軸力が抜けにくい →すべり荷重増加	板厚が減少する方向に移動 →軸力が抜けやすい →すべり荷重低下

Toshikazu TAKAI, Hitoshi MORIYAMA, Takashi YAMAGUCHI, Yuta YAMAMOTO and Naoyuki TAKADA

takai@gm.ishikawa-nct.ac.jp

表 4 解析ケース

条件	母板厚 (mm)	連結板厚 (mm)	締付け厚 (mm)	解析ケース	
				引張 載荷	圧縮 載荷
テーパなし	50	26	102	1t	1c
片勾配	母板減厚 10~50	6~26	62	2t	2c
	母板増厚 50~90	26~46	142	3t	3c
両勾配	母板減厚 30~50	26~36	102	4t	4c
	母板増厚 50~70	16~26	102	5t	5c

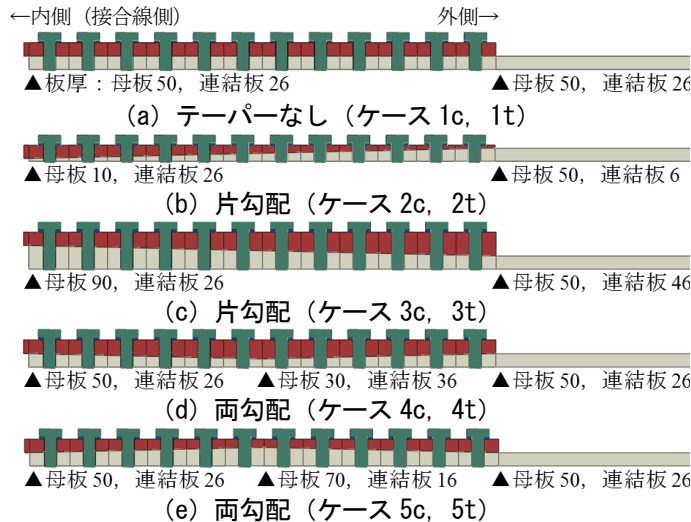


図 1 テーパーの形状 (図中数字: 板厚 (mm))

5. 解析結果

解析で得られた結果を表 5 にまとめる。すべり係数およびすべり時のボルト軸力の比較を図 2 示す。なお、ボルト軸力はすべてのボルト軸力の総和を示している。

すべり発生の定義は、継手内側の母板と連結板のずれ (内側相対変位) に着目し、「解析における最大荷重発生時、もしくは母板と連結板の接触面の内側相対変位が 0.2 mm に達した時のうち、内側相対変位が小さい方の時点[2]」として、すべり荷重を決定している。いずれの解析ケースとも内側相対変位が 0.2 mm に達した時点がすべり発生となった。

図 2 より、片勾配のケース (2t, 2c, 3t, 3c) では、テーパなしのケース (1t, 1c) に比べ、表 3 にまとめたテーパ方向と荷重方向の組み合わせの効果に応じてすべり係数の増減が確認できた。また、その効果によるすべり係数の増減率はベースモデルに対して最大で 9% 程度であった。

4t, 4c のケースは、ベースモデルに対して 11% 程度、すべり係数が上昇した。圧縮載荷、引張載荷とも増加がみられたことから、テーパの効果だけではなく、両勾配による噛み合わせによる効果もあったと考えられる。

ただし、5t, 5c のケースでは引張、圧縮載荷ともすべり係数が 13~19% と大きく低下した。これは、テーパ

表 5 解析結果

解析ケース	すべり荷重 P_{slip} (kN)	すべり時ボルト軸力 N_3 (kN)	すべり係数	
			μ_0 *	増減
1t	2,169	2,530	0.441	—**
2t	2,071	2,588	0.421	-5%
3t	2,356	2,499	0.479	9%
4t	2,364	2,550	0.480	9%
5t	1,764	2,527	0.358	-19%
1c	2,236	2,387	0.455	—**
2c	2,370	2,335	0.482	6%
3c	2,202	2,415	0.448	-2%
4c	2,472	2,361	0.502	11%
5c	1,953	2,393	0.397	-13%

* μ_0 は導入ボルト軸力 ($12 \times 205 = 2,460$ kN) により算出

** 増減はベースのケース 1t, 1c に対する値

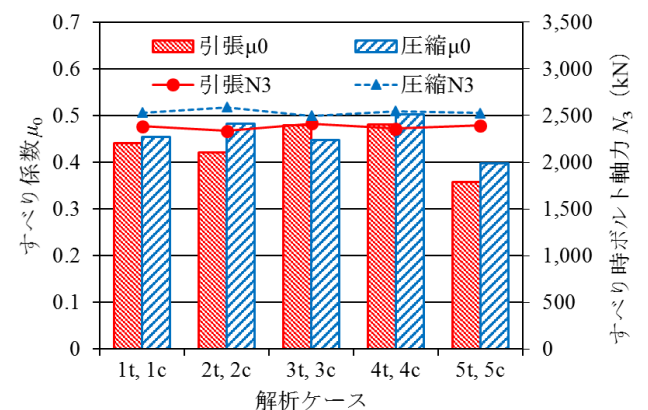


図 2 すべり係数、ボルト軸力

の方向により、作用断面力が多い連結板の継手内側の断面積が小さく、作用断面力の小さい母板の断面積が大きいため、両者の応力およびひずみの差が大きく、のびの差による相対変位も大きくなり、結果的に荷重の低い段階で相対変位が 0.2 mm に達したためと考えられる。

図 2 の折れ線で示したボルト軸力のケース間の差よりもすべり係数の差の方が大きいことから、テーパの効果はボルト軸力の増減以外にも、すべり挙動に対しても影響があることを確認した。

本研究ではテーパ部以外の母板、連結板の板厚を同一として検討した。そのため、一部、ボルトの締付け厚が異なる比較となった。テーパの効果をさらに詳細に評価するには締付け厚、母板、連結板の板厚比などをパラメータとした比較も必要と考えている。

参考文献

- [1] 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2012.3
- [2] 土木研究所, 大阪市立大学: 高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書, 共同研究報告書, 第 428 号, 2012.1