

すべりにより変形した高力ボルト継手のすべり係数低下要因の解析的検討

九州工業大学 学生会員○荒木 壮一郎

九州工業大学 正会員 高井 俊和

九州工業大学 学生会員 松本 結実

1. はじめに

高力ボルト摩擦接合継手に地震荷重などの過大な荷重が作用するとすべりが生じる場合がある。一度すべりが生じた継手は、すべり耐力が低下することが明らかとなっている。すべりが生じた継手の連結板を交換して補修をしたとき、すべり係数が低下する要因として、母板側の接合面処理の損傷、すべり時の作用荷重による母板降伏、ボルト孔縁の支圧変形および、その支圧変形の除去のための切削などが考えられる。本検討では、母板の降伏および支圧変形部の過剰な切削によるすべり耐力への影響をFEM解析により確認した。

2. 解析ケース

解析対象とした継手の諸元を表1にまとめる。着目パラメータは、すべり/降伏耐力比 β （すべり先行型の0.65、遷移領域の0.9、降伏先行型の1.2）とボルト孔縁の過剰な切削の有無、予すべりおよび再すべりである。再すべりとは、1回目のすべりである予すべりが生じた後、継手の連結板を取替えた後で生じるすべりのことである。計算の手順は予すべり発生後、過大荷重の作用を想定し設計すべり荷重の1.3倍まで引張载荷し、除荷した後ボルト軸力を除いて、ボルト軸力を再導入し再すべりが生じるまで引張载荷した。

解析ケースを表2にまとめる。解析パラメータの組み合わせで合計18ケースを設定した。図1に解析モデルに与えたボルト孔縁の過剰な切削形状および切削量の定義を示す。

3. 解析条件

解析プログラムはAbaqus Standard v6.13を使用し、解析手法は既往の研究[1]を参考にした。解析モデルは図2で示すように3方向とも対称性を考慮した8分の1モデルとし、5mmのメッシュで作成した。変位増分により母板端部に変位を与えて継手に引張荷重を作用させた。引張载荷では弧長増分法(RIKS)により計算し、除荷以降はリスタート機能を用いて計算した。すべり発生の定義は、母板と連

表1 継手諸元

設計条件	すべり/降伏耐力比 β	0.65	0.9	1.2
ボルト本数	片側2本ずつ			
等級	F10T			
列数	2			
呼び	M22			
耐力(N/mm ²)	900			
設計ボルト軸力(kN)	205			
設計すべり荷重(kN)	410			
設計母板降伏荷重(kN)	631	455	341	
鋼種	SM490Y			
降伏点(N/mm ²)	355			
母板厚(mm)	19			
連結板厚(mm)	12			
縁端距離(mm)	40			
ピッチ(mm)	75			
板幅(mm)	118	92	75	
ボルト孔径(mm)	24.5			
摩擦係数	0.5			

表2 解析ケース

切削量	すべり	切削量(mm)			解析ケース		
		深さ	長さ	曲	$\beta 0.65$	$\beta 0.9$	$\beta 1.2$
0mm	予すべり	0	0	0	065-0	09-0	12-0
	再すべり				re-065-0	re-09-0	re-12-0
0.5mm	予すべり	0.5	10	10	065-1	09-1	12-1
1mm	予すべり	1	15	10	065-2	09-2	12-2
2mm	予すべり	2	15	10	065-3	09-3	12-3
	再すべり				re-065-3	re-09-3	re-12-3

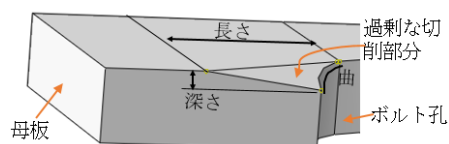


図1 ボルト孔縁の過剰切削形状

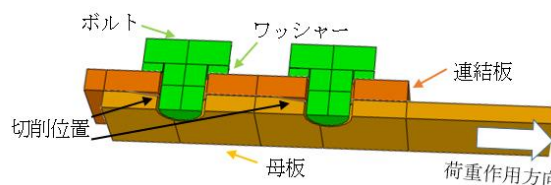


図2 解析モデルの概要

結板の相対変位に着目し、「解析における最大荷重時、または内側相対変位が0.2mmに達した時点のうち、内側相対変位が小さい時点の方」としこの時点の継手に作用する荷重をすべり荷重とした。

4. 解析結果および考察

表 3 に解析で得られたすべり係数およびすべり係数低下率をまとめる。すべり係数低下率は、切削量 0mm, 予すべり時のすべり係数に対するものである。

図 3 に予すべり時の切削量の違いによるすべり係数の比較を示す。切削量が多いほどすべり係数が低下した。また、すべり/降伏耐力比 β が大きいほどすべり係数の低下が大きくなった。図 4 にすべり時の母板の摩擦応力分布を示す。摩擦応力は切削箇所でも低下した分、その近傍で高くなり、結果的にすべり係数の低下は小さくなった。低下率は最大でも 1% 前後であり、本検討で設定した大きさ程度のボルト孔縁の過剰な切削ではすべり係数への影響はほとんどないといえる。

図 5 に切削量 0mm のケースの予すべり時と再すべり時のすべり係数の比較を示す。再すべり時のすべり係数は予すべり時に比べて最大で 2% 程度低下した。ポアソン効果により母板厚が薄くなり、ボルト荷重が抜けたことが考えられる。再すべり時も予すべり時と同様に β が大きいほど低下量が大きくなった。

図 6 に切削量 2mm, かつ再すべり時のすべり係数を示す。再すべり時のすべり係数の低下の程度は過剰切削がないケースと同等となった。

5. まとめ

本検討ではすべりが生じた高力ボルト摩擦接合継手の連結板の交換による補修を想定し、ボルトの再すべりによる影響およびボルト孔支圧変形部の除去に伴う過剰な切削による影響を確認した。すべり係数の低下は最大でも 2% 程度でありその影響は小さいことが確認された。本検討には、すべり時の無機ジンクリッチペイント塗装などの接合面処理の損傷が評価に含まれていないため、別途実験を行い影響の確認する必要がある。

謝辞

本検討は JSPS 科研費 JP18K13821 の助成を受けたものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 高井 俊和ほか：高力ボルト摩擦接合継手の横拘束のすべり挙動に与える影響，平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，I-020，pp.39-40 2018.3

表 3 すべり係数低下率一覧

切削量	すべり	解析ケース			すべり係数低下率(%)		
		β 0.65	β 0.9	β 1.2	β 0.65	β 0.9	β 1.2
0mm	予すべり	0.485	0.480	0.471	—	—	—
	再すべり	0.482	0.475	0.461	0.56	0.98	2.04
0.5mm	予すべり	0.484	0.478	0.469	—	—	—
	再すべり	0.483	0.475	0.467	—	—	—
1mm	予すべり	0.483	0.475	0.466	0.41	1.01	1.04
	再すべり	0.482	0.475	0.461	0.57	1.07	2.02

※すべり係数低下率は0mm予すべりのケースに対する値

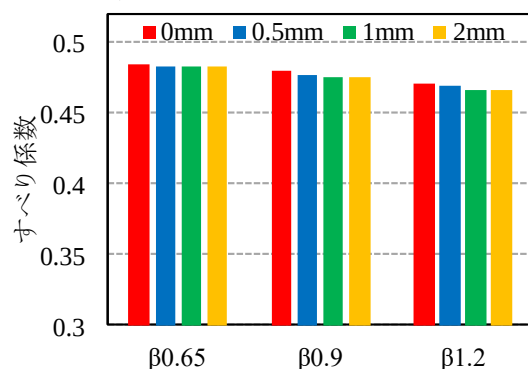


図 3 すべり係数(切削量の影響)

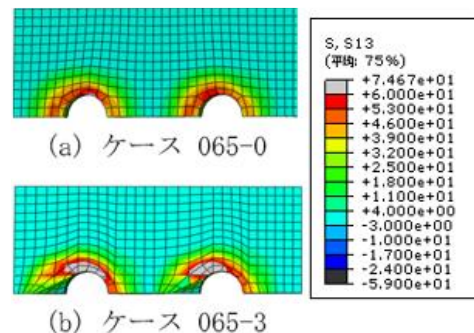


図 4 すべり時の母板の摩擦応力分布

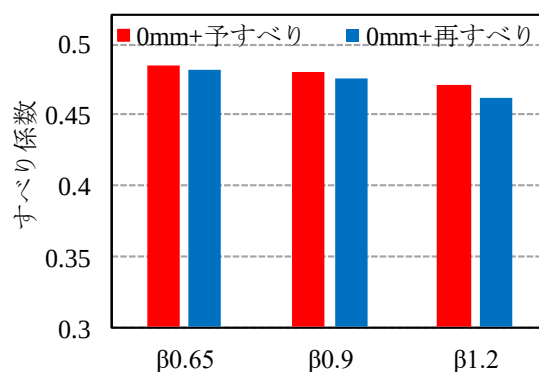


図 5 すべり係数(再すべりの影響)

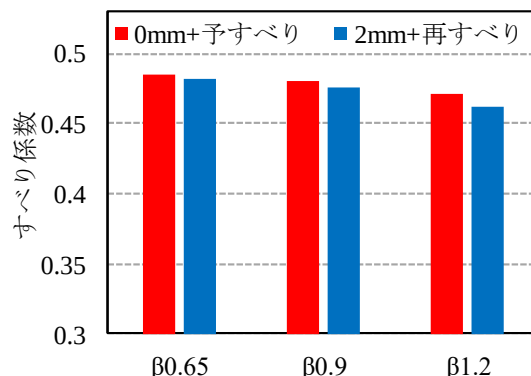


図 6 すべり係数(切削および再すべりの影響)