

ボルトおよびボルト孔の位置ずれが高力ボルト摩擦接合継手の力学挙動へ及ぼす影響

九州工業大学 正会員○高井 俊和

九州工業大学 正会員 山口 栄輝

1. 目的

高力ボルト継手のボルトの締結位置やボルト孔の位置がずれた場合の継手の力学挙動への影響は必ずしも明らかではない。摩擦接合の場合、ボルト軸部とボルト孔の間にクリアランス（隙間）があるため、写真1のように継手のボルトを締め付けた場合、ボルト孔の中心に対してボルトが下側に片寄る。また、補修で添接板を取替える場合は、現物に合わせてボルト孔をあける必要があり、母材と添接板でボルト孔の位置がずれる可能性も考えられる。

本研究ではボルトおよびボルト孔の位置ずれが継手の力学挙動へ及ぼす影響の詳細を明らかにすることを目的に FEM 解析を実施して確認した。

2. 解析ケース

表1に検討対象とした継手の諸元をまとめる。F10T M22のボルトを片側に3本配置した継手である。すべり先行型と降伏先行型の中間とし、すべり/降伏耐力比 β を0.9とした。

表2に解析ケースをまとめる。図1に示すようにボルトまたはボルト孔が組立て初期からずれたケースを設定した。ずれは荷重平行方向と、直角方向とした。ボルト孔と軸部のクリアランスが狭くなる方向(-)と広がる方向(+)の両方を設定した。また、継手は最も外側の母材純断面で降伏、終局となるため、bolt3(図2参照)のボルト孔だけがずれたケースも設定した。

3. 解析方法

解析プログラムは Abaqus Standard 6.13 を用いた。解析モデルの概要を図2に示す。対称性を考慮して1/8モデルとした。材料、境界、幾何学的非線形を考慮した。

材料特性は、JISで規定される降伏点、引張強さをもとにヤング率 E を200,000 N/mm²、ポアソン比を0.3とした。降伏点と引張強さまでの2次勾配を $E/100$ 、引張強さ以降の3次勾配を0としたトリリニア型とした。これを真応力-ひずみに換算して用いた。摩擦係数は設計で仮定したすべり係数と同じく0.5とした。ソリッド要素の1辺は約3 mmとした。



写真1 組立て途中のすべり試験体の一例

表1 検討対象の継手の諸元

ボルト	等級, 呼び	F10T M22
	ボルト配置	1行3列
	ボルト軸力 (kN)	205
	すべり係数	0.5
	すべり耐力 (kN)	615
母材・添接板	鋼種	SM490Y
	降伏点 (N/mm ²)	355
	母材, 添接板厚 (mm)	28, 16
	板幅 (mm)	94
	ボルト孔径 (mm)	24.5
	純幅 (mm)	69.5
	母材純断面降伏荷重 (kN)	691
すべり/降伏耐力比 β	0.890	

表2 解析ケース（ずれ量の単位：mm）

ケース名	ボルトずれ	ボルト孔ずれ(添接板)*	
	bolt1~3	bolt1~2	bolt3
Nom	0		
BT	y:-1.25	0	
BL	x:+1.25	0	
HL-, HL+	0	x:-1.25, x:+1.25	
HT	0	y:-1.25	
HL-3, HL+3	0	0	x:-1.25, x:+1.25
HT3	0	0	y:-1.25

* 母材のボルト孔のずれは添接板と同じ量で正負逆

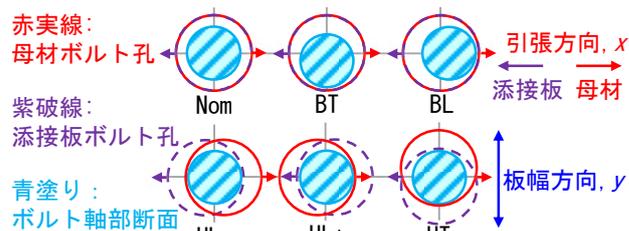


図1 ボルト軸部とボルト孔の位置関係（初期位置）

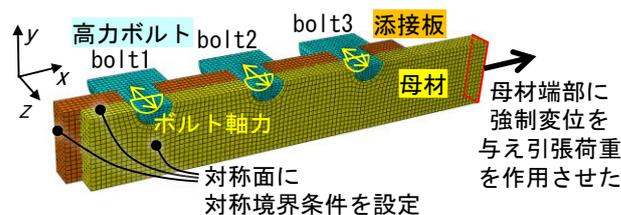


図2 解析モデルの概要

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, 位置ずれ, 組立誤差, 力学挙動, FEM 解析

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 大学院工学研究院 建設社会工学研究系 Tel 093-884-3123

4. 解析結果

図3にすべり，降伏，終局最大荷重を示す。図4にボルト，ボルト孔ともずれていない基本ケース Nom の各種荷重を 100%としたときの荷重の比率を示す。bolt3 のクリアランスが狭い HL-3 の降伏，終局最大荷重の 3%弱低下した。それ以外の各種荷重の増減は 1%以下と小さく，実質的に影響がなかった。

図5に各種荷重時のボルト軸力残存率を示す。導入ボルト軸力である 205 kN を 100%とした。bolt3 のクリアランスが広い HL+3 の終局最大荷重時のボルト軸力残存率が他より 10%程度低くなった。それ以外はボルト軸力残存率に大きな違いはなかった。

図6に基本ケース Nom のすべり時の母材端部変位 0.4 mm，降伏時 3.2 mm，終局最大荷重時 10.1 mm に対する各ケースの増減量を示す。すべり時の母材端部変位の増減はなく，降伏時，終局最大荷重時の増減は，ボルト孔のクリアランスの増減の範囲内となった。最大でも 2.5 mm 程度であり，継手の長さと比較すると増減の程度は小さい。

5. 考察

ボルトの位置ずれは，基本ケースに対する各種荷重の増減が 0.5%未満であり，母材端部変位にも増減がなく影響がないと言える。

ボルト孔の位置ずれに関して，ボルト孔が一樣にずれたケースは，各種荷重の増減が 1%未満と少なく，母材端部変位の増減も小さく影響がなかった。これは，厳密には異なるが，添接板が平行移動でずれた状況と近いと考えられる。

母材純断面降伏が生じる bolt3 のボルト孔のみがずれた HL-3 では，図7に示すように各ボルト軸部とボルト孔の接触が均等ではなく，強く接触した bolt3 の降伏が早まることで降伏荷重が低くなった。HL+3 ではクリアランスの大きい bolt3 のボルト軸部と孔の接触が弱くなる反面，図8に示すように bolt2 の母材純断面の応力が高くなりボルト軸力の低下が大きくなった。

6. まとめ

締結したボルトの位置ずれや，ボルト孔の一樣なずれの各種荷重への影響はほとんどなかった。一方で，一部のボルト孔だけがずれた場合は挙動に影響がみられ，ずれ方向によっても影響が異なった。ただし，本研究で検討した範囲では各種荷重の低下が最大でも 3%弱であり，影響の程度は大きくなかった。

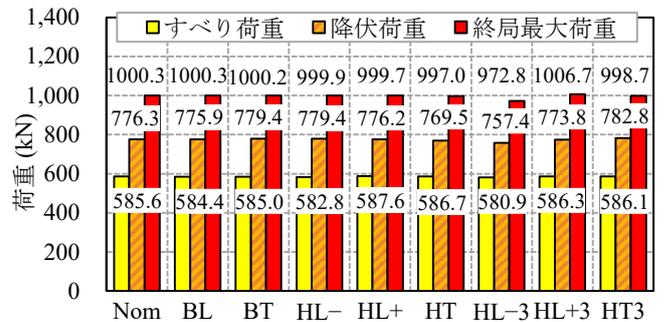


図3 すべり，降伏，終局最大荷重

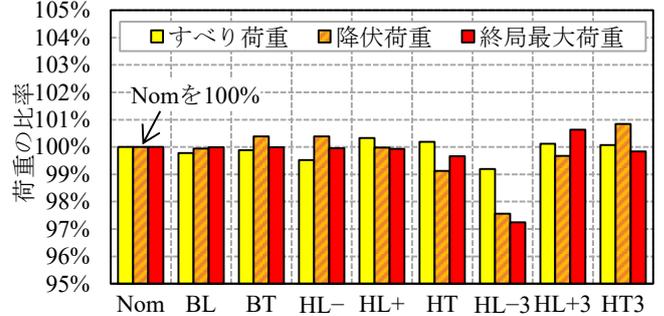


図4 各荷重の比率

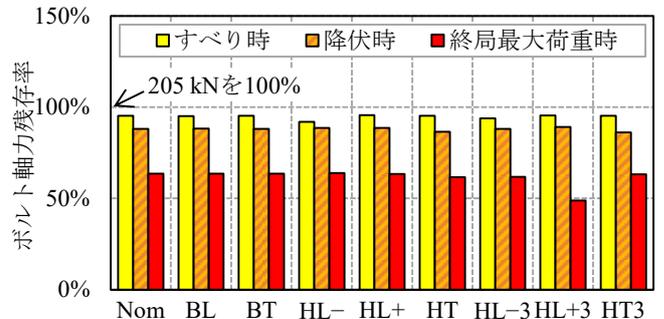


図5 ボルト軸力残存率

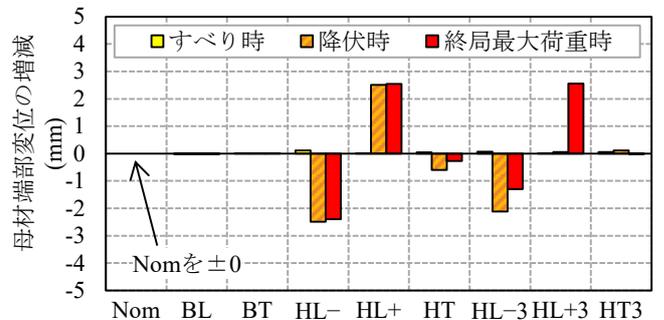


図6 母材端部変位の増減量

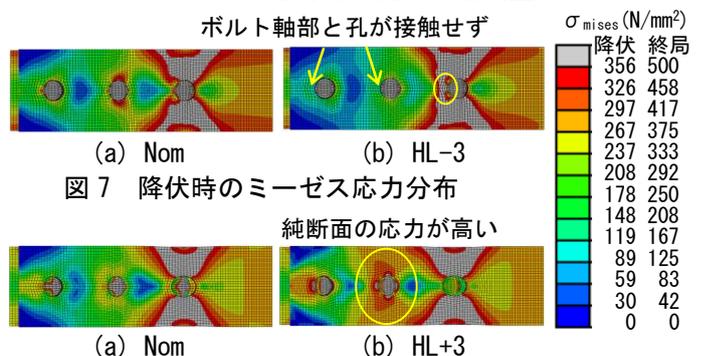


図7 降伏時のミーゼス応力分布

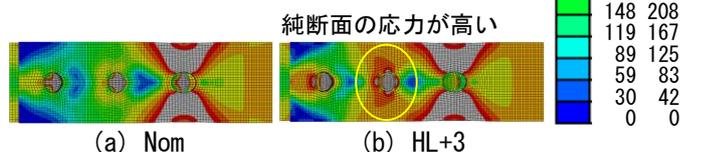


図8 終局最大荷重時のミーゼス応力分布

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP19K04582 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。