

高力ボルト摩擦接合継手のすべり後耐力の評価のための FE モデリング手法

九州工業大学 正会員○高井 俊和
大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

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

1. 目的

平成 29 年度改定の道路橋示方書で、高力ボルト摩擦
 接合継手に対し、すべり後を想定した限界状態 3 に関
 する規定が導入された。著者らのこれまでの継手の
 FEM 解析はすべりを主な対象としており、従来の解析
 手法がすべり後のボルト軸部とボルト孔の接触、変形
 に対し適用可能か明確ではない。また、局所的な変形を
 精度よく計算するには、詳細で計算負荷の大きなモデ
 ルとなる。そこで、簡易で、計算負荷が小さくかつ実験
 と整合がとれるモデル化の手法を検討した。

2. 検討方法

解析プログラムは Abaqus Standard 6.13 を用い、静的弾塑性 FEM 解析を行った。継手の引張実験[1]の再現解析を行い、実験結果との整合性からモデル化の妥当性を確認した。対象の実験は文献[1]の縁端距離が 24, 72 mm, 板幅が 80, 150 mm, ボルト軸力の導入あり、なしの組み合わせで合計 8 ケースとした。

3. 解析方法

継手の形状の例を図 1 に示す。継手の主要な諸元を表 1 にまとめる。モデル化範囲は図 2 に示すように、固定側を省略しかつ対称性を考慮した 1/8 とした。解析ケースおよびモデル化パラメータの設定内容を表 2 にまとめる。材料特性を図 3 に、ボルト頭部のモデル化形状の例を図 4 に示す。なお、解析モデルに設定した摩擦係数は、予備解析により実験結果と整合するように調整した値である。また、母板・連結板間の接触面以外の摩擦係数はすべて 0.01 としている。

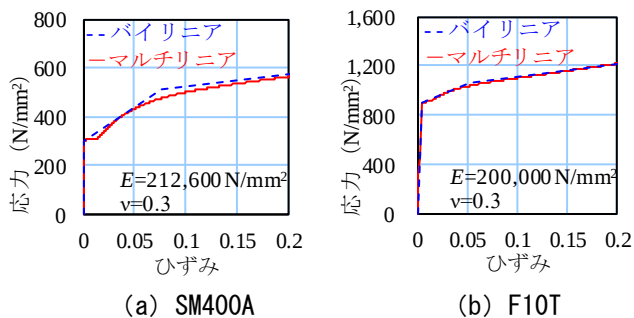


図3 材料特性（真応力—対数ひずみ）

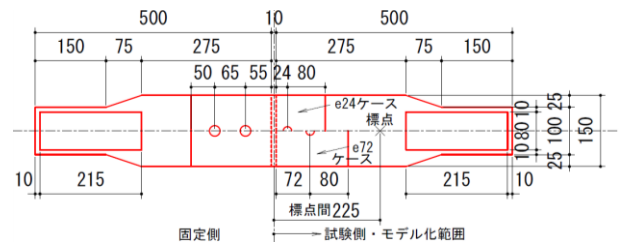


図1 継手の形状の例（板幅 150 mm）

表 1 継手の諸元

共通 項目	母板・連結板 鋼種・板厚	SM400A, 9 mm
	ボルト配置 (試験側)	1行1列
	ボルト等級, 呼び	F10T M16
	ボルト孔径	17.8 mm
着目 パラ メータ	ボルト軸力	0 kN, 106 kN
	母板縁端距離	24 mm, 72 mm
	板幅	80 mm, 150 mm

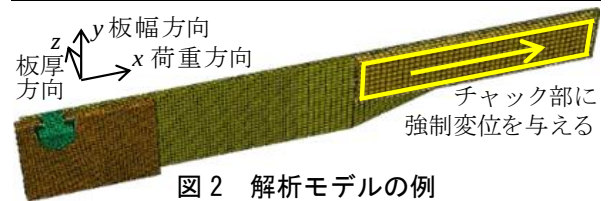
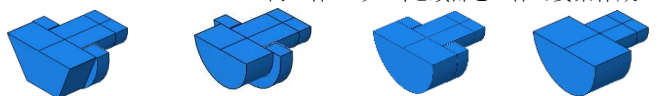


図 2 解析モデルの例

表 2 解析ケースの内訳

ケース名	縁端	板幅	解析摩	要素	使用	材料	ボルト	母板			
あり*	なし*	(mm)	擦係数	サイズ	要素	特性	形状	長さ			
AT-a	AN-a	24	150	0.61	3 mm	2次	マル チ	6角	全体		
AT-b	AN-b									5 mm	
AT-c	—										2 mm
AT-d	—										
AT-e	—				3 mm	**					
AT-f	—					1次					
AT-g	—					***					
AT-h	—					パイ					
AT-i	—						円面積 円ワッ				
AT-j	—										
AT-k	—	2次	マル チ	円一体	標点 間距 離						
AT-o	AN-o										
BT-o	BN-o					72					
CT-o	CN-o					24					
DT-o	DN-o	72	80								

* ボルト軸力導入あり, なし	マルチ: マルチリニア バイ: バイリニア
** 2次ハイブリッド要素	円面積: ワッシャとの接触面積を考慮
*** 1次非適合要素	円ワッ: ワッシャの直径と同一 円一体: ワッシャと頭部を一体で要素作成



(a) 6 角再現 (b) 接触面積考慮 (c) ワッシャ径同一 (d) 一体型

図4 ボルト頭部のモデル化形状の例

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, ボルト孔, 支圧変形, FEM 解析, 解析モデル

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

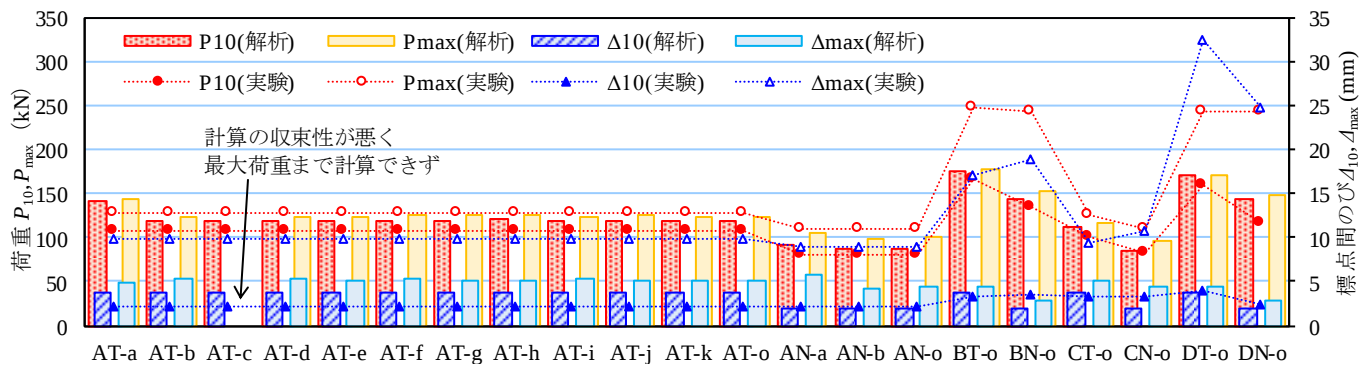


図5 解析結果と実験結果の比較

4. 解析結果

図5にボルト孔変形量がボルト軸径の10%に達した10%変形支圧限界[1]時、最大荷重時の作用荷重 (P_{10} , P_{max}) および標点間のび (Δ_{10} , Δ_{max}) の解析と実験[1]の結果を示す。標点間の区間は図1に示している。10%変形支圧限界時の作用荷重 P_{10} は実験との差が10%程度以下、標点間のび Δ_{10} の実験との差が1.5 mm 以下とおおむね実験に近い結果が得られた。しかしながら、最大荷重時の作用荷重 P_{max} と標点間のび Δ_{max} は実験との差がそれぞれ最大約40%, 30 mm と顕著な差がみられた。

図6に、荷重－標点間のび関係を示す。すべり係数が実験と整合するように摩擦係数を0.61とすると、すべり以降の挙動が整合しなかった。解析では動摩擦係数を設定しておらず、すべり後の荷重低下が反映されないためである。すべり後の低下した荷重に合うように摩擦係数を調整し0.35とすることで、すべり後の支圧開始以降の荷重が実験に近い結果となった。

要素サイズの違いでは、得られる荷重と標点間のびの違いは見られなかった。しかし、図7のように応力分布で差がみられたことから、応力分布も参照する場合は3 mm 以下が望ましいと考えられる。

要素の種類の違いで結果に差がみられなかった。1次要素は計算負荷が低い、一部の要素の変形が大きくなるため、一般に2次要素が望ましいと考えられる。

材料特性の違いでは結果に差は確認されなかったが、図8のようにひずみが5%を超えたことから、20%程度までのひずみを対象によく使われるマルチリニア[2]が望ましいと考えられる。

ボルト形状、母板のモデル化長さの違いでも荷重、継手のびおよび母板の応力分布に差は見られなかった。

5. 結論

検討ケースは限られるが、ケース名の末尾が「-o」のモデル化手法により、簡易なモデルで、かつ継手のすべ

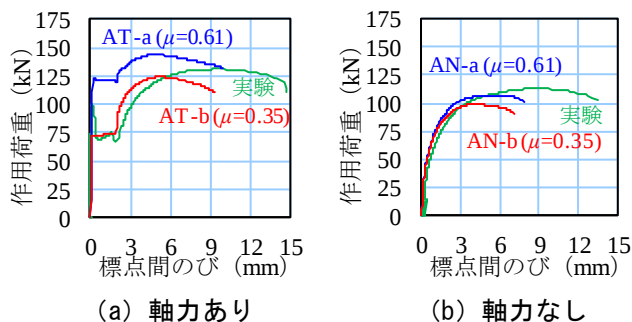


図6 荷重－標点間のび関係

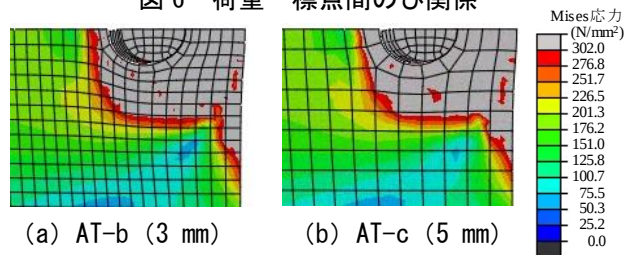
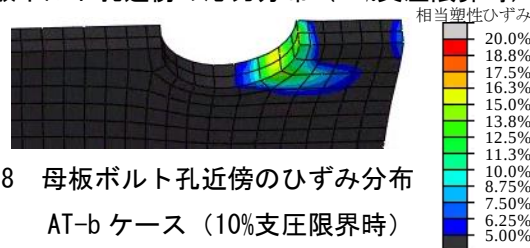


図7 母板ボルト孔近傍の応力分布 (10%支圧限界時)

図8 母板ボルト孔近傍のひずみ分布
AT-b ケース (10%支圧限界時)

り後から10%変形支圧限界荷重[1]に達する前後までは荷重と継手のびが実験とおおむね整合することが確認された。なお、最大荷重時は、実験結果と乖離が確認されたため、最大荷重時の評価にはモデル化の高精度化などさらなる改善が必要である。

謝辞 本検討は JSPS 科研費 JP16H04401 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] 戸田 圭彦, 山口 隆司, 岑山 友紀, 直江 康司: 高力ボルト摩擦接合継手の孔変形に基づいた支圧耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1, Vol. 70, No. 3, pp. 333-345, 2014.9
- [2] 土木学会: 鋼・合成構造物標準示方書, 耐震設計編, 第1版, 2008.2