

## 新たなワンサイドボルトの開発に向けたパラメトリック解析

京都大学大学院 学生員 ○松田 俊一 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征  
 京都大学大学院 正会員 北根 安雄 京都大学大学院 正会員 五井 良直  
 ショーボンド建設 正会員 木田 秀人 日鉄ボルテン 正会員 吉見 正頼

### 1. はじめに

トラス橋やアーチ橋のような閉断面の腐食・疲労損傷部を補修・補強する場合、片側施工が可能な高力ワンサイドボルトを用いる場合がある。現在使用されている高力ワンサイドボルトはコアピンとバルブ・グリップスリーブの2重構造となっており、スリーブが座屈変形することでボルト頭を形成し、締結が可能となるメカニズムである。このワンサイドボルトの有効性は明らかにされているものの、費用が高い点やスリーブの座屈形状が不明確な点から改善する余地があると考えられる。本研究では新たな形のワンサイドボルト（以下、三つ葉ボルト）として、一つのボルトを三分割した三つ葉ボルトを提案し、ボルト頭の高さと材料特性をパラメータとしてボルトの変形挙動を比較した。

### 2. 三つ葉ボルトの特徴

本研究で提案する三つ葉ボルトでは、一つの材料のみでワンサイドボルトを製作することにより、従来の高力ワンサイドボルトのコスト削減を試みた。さらに、確実にボルト頭の高さを確保できることから、ボルト頭に生じる平均せん断応力が減少する。締結手順を図1に示す。締結手順は以下の通りである。

- (1) 三つ葉ボルトの一つを孔に挿入する。
- (2) 二つ目の三つ葉ボルトを挿入する。
- (3) 三つ全てのボルトを挿入したのち、三つ葉ボルトを中心に寄せる。
- (4) 孔に向かって引っ張り、ナットで締結する。

### 3. 解析手法

片面からの当て板補強工法を想定した一面摩擦接合継手のモデルを文献1)に沿って作成した。図2には三つ葉ボルトの図面を示す。(a)に示すようにボルトを反時計回りにボルト1, 2, 3とした。添接板と母板の寸法は80mm×80mm×厚さ9mmとした。材料特性は、母板および添接板にSM490、三つ葉ボルト、ナットとワッシャーにはF10TおよびF18Tを用いた。表1にそれらの材料特性を示す。表内の記号の $E$ が弾性係数、 $\nu$ がポアソン比、 $\sigma_y$ が降伏応力を表す。

Abaqus Standard 2017を用いて、接触を考慮した静的弾塑性FEM解析を行った。本解析では、三つ葉ボルトがナットで締結された状態をモデル化した。

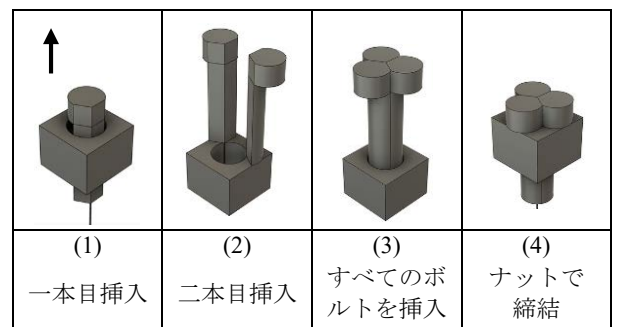
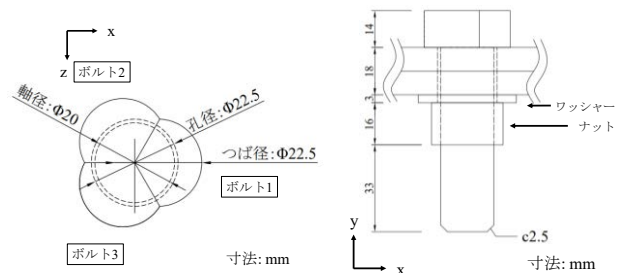


図1 締結手順



(a) 上面図 (b) 断面図

図2 三つ葉ボルト図面

表1 材料特性

部材	$E$ (GPa)	$\nu$	$\sigma_y$ (MPa)	構成則
母板	200	0.3	355	$E/100$ バイリニア
添接板				
F10T	200	0.3	900	ひずみ硬化なし バイリニア
F18T			1620	

キーワード 一面摩擦接合継手, 当て板補強工法, 高力ワンサイドボルト, 高力ボルト, FEM 解析  
 連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-3-257 Tel. 075-383-3164

パラメータであるボルト頭の高さ  $h$  は 14mm, 16mm, 18mm の 3 ケースとした。摩擦はクーロン摩擦とし、摩擦係数は母板と添接板間を 0.4, 三つ葉ボルト間およびボルトと添接板間を 0.01 とした。要素寸法 3mm の 8 節点低減積分ソリッド要素を基本とし、ボルト軸部の中心のみ 6 節点ソリッド要素を用いた。ボルト軸力の導入には Abaqus 上のボルト荷重オプションを使用し、現行の高力ワンサイドボルト MUTF20 (標準軸力: 136~159kN) を想定し、平均値である 150kN を導入し、変形・応力状態を検討した。

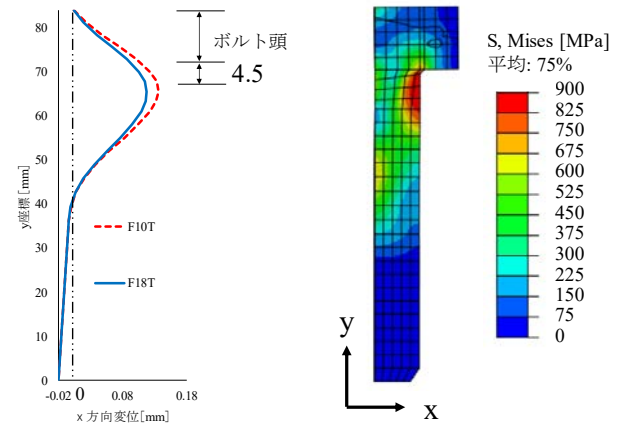


図3 軸部 x 方向変位

図4 ミーゼス応力コンター図 (F10T,  $h = 14$  mm)

## 4. 解析結果

### 4.1 三つ葉ボルト軸部の変形挙動

図3にボルト1の軸部のx方向変位を、図4にボルト1のミーゼス応力コンター図を示す。軸力の増加に伴い、三つ葉ボルトの軸部がボルト孔の壁面に向かって変形する様子が確認された。これは、添接板からボルト頭部にかかる反力が、ボルト軸部に対して偏心しており、ボルト軸部に曲げ変形が発生するためである。F10Tでは偏心曲げに伴い、塑性変形が進んでいるのに対して、F18Tでは弾性域のみで軸力に抵抗しているため変位が少ないと考えられる。さらに、軸部の変位はボルト頭下面から 4.5mm の位置で最大値を取り、ボルト頭の高さが変化してもこの位置は変わらないことが確認された。表2に全解析ケースのx方向最大変位を示す。F10Tの場合、ボルト頭の高さを14mmから18mmにすることで最大変位を6%抑えることができたが、F18Tでは、最大変位はボルト頭の高さの影響をそれほど受けないことが分かった。

### 4.2 三つ葉ボルト頭部の負のy方向変位

全解析ケースのボルト頭の沈む方向の変位を図5に示す。F18Tの方がF10Tよりもボルト頭の変位が小さくなることが分かった。さらに、ボルト頭の高さが大きくなるにつれて、負のy方向変位は小さくなり、ボルト頭の高さを14mmから18mmにすると、材料特性に関係なく変位を25%以上抑えることができた。

表2 x 方向変位

ボルト頭高さ $h$ [mm]	材料特性	
	F10T	F18T
14	0.136 mm	0.118 mm
16	0.132 mm	0.118 mm
18	0.128 mm	0.117 mm

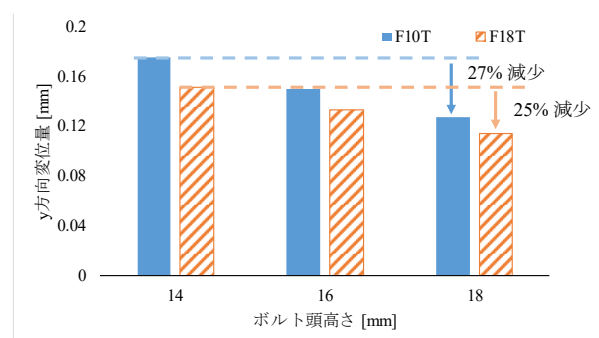


図5 ボルト頭上部の負のy方向変位

## 5. 結論

本解析により、三つ葉ボルトの材料特性がボルト軸力導入時の変形挙動に大きく関わることが分かった。降伏点が高い材料の使用ならびにボルト頭を高くすることで、ボルト全体の変位を抑えることができる。今後はパラメータの種類を増やし、三つ葉ボルトの最適な寸法の検討を進めていく。

## 参考文献

- 1) 山口隆司, 北田俊行, 池田敬之, 吉岡夏樹: 圧縮力を受ける F18T 級超高力ボルト摩擦接合継手の力学的挙動に関する解析的研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.55A, pp.1005-1013, 2009.3