

第 I 部門

新たなワンサイドボルトの開発に向けた基礎的解析

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

1. はじめに

閉断面の腐食・疲労損傷部を補修する場合、片側からの施工が可能な高力ワンサイドボルトを使用した事例が増加している。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する。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、ボルトが三つに分かれて一つになる三つ葉ボルトを提案する。従来の F10T-M22 高力六角ボルトの設計軸力である 205kN を導入し、高力六角ボルトと三つ葉ボルトのボルトの応力分布と板に発生する接触圧を比較した。

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よりも材料費を低下することを試みた。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。締結メカニズムを図 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. 解析方法

本検討では高力六角ボルトとの比較を行うため両方のモデルを同じ寸法とした。図 2 に解析モデルを、図 3 にボルト断面図を示す。母板および添接板に SM490Y、六角ボルトおよび三つ葉ボルトに F10T の材料特性を用いた。表 1 にそれらの材料特性を示す。表内の記号は、 E が弾性係数、 ν がポアソン比、 σ_y が降伏点を表す。接触を考慮した静的弾塑性 FEM 解析を行った。解析プログラムは Abaqus Standard 2017 を使用し、モデル作成は文献 1) を参考にした。ボルト荷重は、Abaqus 上のボルト荷重オプションを使用した。本解析では、図 2 に示す通り、ナットで締結された状態でモデル構築を行い、摩擦はクーロン摩擦とし、摩擦係数は母板と添接板間を 0.5、ボルトとボルト孔間は 0.4、ボルトと添接板間を 0.001 と設定した。三つ葉ボルト間は 0.4 とした。



図 1 締結メカニズム

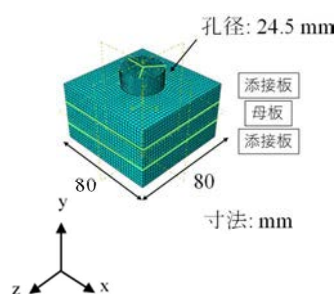


図 2 解析モデル

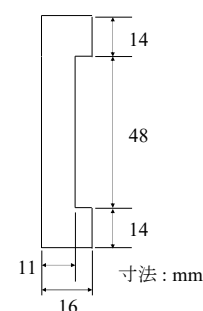


図 3 ボルト断面図

表 1 材料特性

部材	E (GPa)	ν	σ_y (MPa)	構成則
母板	200	0.3	355	E/100 バイリニア
添接板				
高力六角ボルト	200	0.3	900	ひずみ硬化なし バイリニア
三つ葉ボルト				

Shunichi MATSUDA, Kunitomo SUGIURA, Yasuo KITANE and Yoshinao GOI,

matsuda.shunichi.35w@st.kyoto-u.ac.jp

要素は 8 節点低減積分ソリッド要素を用い、メッシュは一辺の長さが母板及び添接板 2mm, ボルトセット 1.5mm となるように分割した。三つ葉ボルトのボルト一つあたりの軸力は F10T-M22 高力六角ボルトの設計軸力である 205kN の 1/3 である 68.3kN を導入した。

4. 解析結果

4. 1 ボルトの挙動

軸力の増加に伴い、三つ葉ボルト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。図 4 はボルトのミーゼス応力コンター図を示す。軸力が 103kN のとき 900MPa の高い応力が軸部外側に発生している。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。さらに軸力を加えていくと軸部内側にも高いミーゼス応力が発生するのが確認できる。一方で高力六角ボルトは軸力が 205kN のとき最大で 600MPa ほどの応力が発生する。図 5 には三つ葉ボルト軸部外面の変形量を示す。同図の縦軸は軸部外面の y 方向の位置を正規化している。軸力が 178kN のとき、三つ葉ボルト軸部外面がボルト孔壁面に接触していることが分かる。

4. 2 母板に発生する接触圧

高力ボルト摩擦接合継手に三つ葉ボルトを採用するためには従来の高力ボルトと同等以上の接触圧が必要である。図 6 には設計ボルト軸力導入時の母板上面の $z=0$ における接触圧分布を示す。ボルト孔中心を $x=0$ とし、グラフ中央で値が存在しない位置はボルト孔にあたる。高力ボルトと比較して三つ葉ボルトでも十分な接触圧を得られている。しかし、図 7 のコンター図に示す通り、母板に発生する接触圧は一様ではないことが分かった。

5. 結論

本解析により三つ葉ボルトでも高力六角ボルトと同等な接触圧を得られることが確認された。しかしそれぞれのボルトに曲げ変形が発生することで、ボルトに発生する応力が高力六角ボルトのものよりも非常に大きな値を示した。加えてボルト間に隙間が発生する。今後はボルト頭高さなど形状を変化させることでボルトに発生する応力を減少させ、隙間を小さくする方法を検討する。

参考文献

1) 田畑晶子, 金治英貞, 黒野佳秀, 山口隆司: 皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手のボルト形状及び継手特性に関する解析的検討, 鋼構造論文集 Vol.20 No.79, 2013.

