

片面施工摩擦支圧併用ボルトの接触力と支圧力の伝達特性に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生会員 ○中本 勇

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
ポップリベット・ファスナー (株) 彭 瑤

1. はじめに

片側から施工・締付けが可能な高力ワンサイドボルトは、図-1 に示すように、軸部がコアピンとバルブスリーブの二重構造となっているため、下孔径に対して導入できる軸力が小さい。このような背景の中、著者らは片面施工ボルトの1本あたりの伝達荷重の増加と継手の荷重伝達メカニズムの改善を目的に、摩擦接合と支圧接合の併用が可能な片面施工ボルト¹⁾(以下、併用ボルト)を開発中である。

併用ボルトはテーパースリーブの寸法を5mm スパンで設定しており、同じボルトセット寸法による最適な締付け厚さの範囲が5mm となる。そのため、併用ボルトは締付け厚さによってバルブスリーブと母板の接触位置が変わり、伝達する摩擦力と支圧力が変わると考えられるため、本研究によりその影響を明らかにする。

2. 解析条件

解析ソルバーは Abaqus/standard2020 を用いた。境界条件、静止摩擦係数および材料特性は、文献2)を参考に図-2 のように設定した。図-2 (a) に示すようにボルトセットを対象に、軸力と接合面の接触力の関係を明らかにする。また、1行2列の併用ボルトおよび高力六角ボルト(M22F8T)を用いた継手の引張解析を行う。

ボルトセットの使用要素は、バルブスリーブは4節点完全積分シェル要素、その他部材は4節点低減積分シェル要素として、継手は、4節点低減積分ソリッド要素を用いた。メッシュ分割は、母板と連結板は板厚方向に6分割以上、バルブスリーブおよびテーパースリーブは筒厚方向に4分割以上になるように調整した。コアピンと高力ボルトのメッシュは最大1.5mm とし、解析が収束しないケースについては最低1.0mm まで小さくした。応力-ひずみ関係は、バルブスリーブはマルチリニア型、それ以外は加工硬化係数が $E/100$ のバイリニア型とした²⁾。

3. 解析ケース

解析ケースの内訳を表-1 に示す。パラメータは母板

と連結板の板厚とした。ケース名はFB:併用ボルト、F:高力六角ボルトとし、ハイフンに続く記号は、M(母板厚[mm])、S(連結板厚[mm])とした。解析モデルは、FB-M12S14 と FB-M14S16 の比較によりボルト差込み時のボルト突出量(母板上部-コアピン上部距離)の影響を、FB-M12S14 と FB-M19S22 の比較により締付け厚さの影響を検討した。

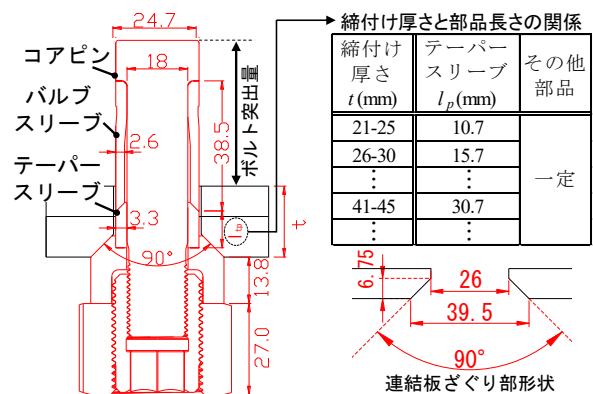


図-1 部材形状(単位: mm)

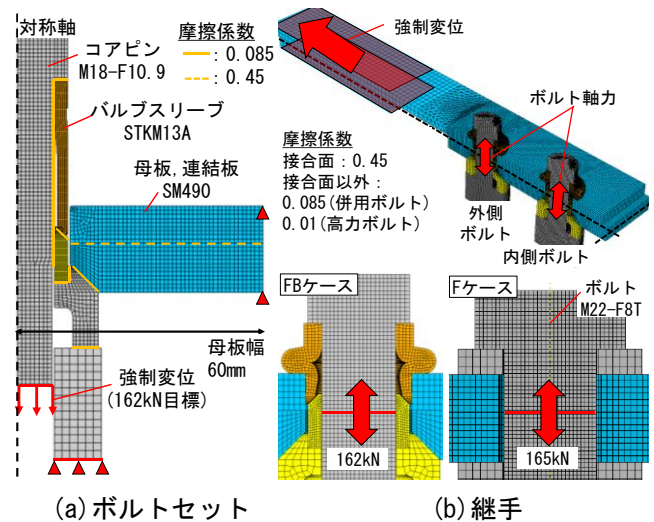


図-2 解析モデル

表-1 解析ケースの内訳

解析ケース	ボルト種別	母板厚 t_m (mm)	連結板厚 t_{spl} (mm)	締付け厚さ t (mm)	すべり耐力 P_{sd} (kN)	純断面降伏耐力 P_{yn-m} (kN)
FB-M12S14	併用ボルト	12	14	26	146	280
FB-M14S16		14	16	30	146	326
FB-M19S22		19	22	41	146	443
F-M12S14	高力ボルト	12	14	26	149	285
F-M14S16		14	16	30	149	333
F-M19S22		19	22	41	149	452

キーワード 片面施工ボルト, 併用接合, 接触力

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 Tel&Fax 06-6605-2765

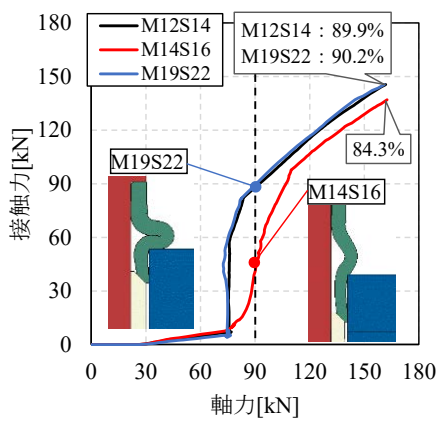


図-3 軸力と接触力の関係

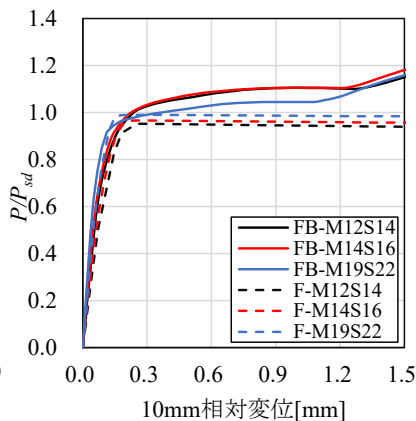
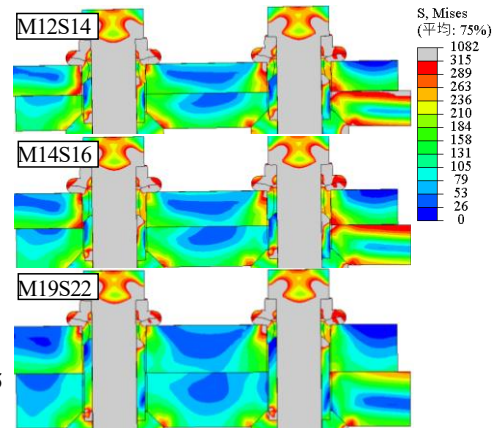
図-4 P/P_{sd} と相対変位の関係

図-5 相対変位 0.2mm 時 Mises 応力

4. 解析結果

軸力と接合面の接触力の関係を図-3に示す。図-3には162kN時の接触力/軸力割合と、軸力90kN時のバルブスリーブ形状も示す。

併用ボルトは軸力の一部がテーパースリーブにも分配されるため、接触力/軸力割合は100%にならない。また、FB-M12S14とFB-M19S22は軸力75kN付近で接触力が急激に増加したのに対し、FB-M14S16は接触力が緩やかに増加し、軸力162kN時の接触力/軸力割合も他の2ケースより6%程度低くなった。これは、FB-M14S16はボルト突出量が他のケースより4mm小さく、バルブスリーブの有効座屈長が短くなり塑性変形しにくいためと考えられる。

FBケースおよびFケースの、すべり荷重の設計値による無次元化荷重 P/P_{sd} と母板縁端10mm位置の相対変位の関係を図-4に示す。いずれのケースも相対変位0.2mm付近で P/P_{sd} と相対変位の勾配が低下し、接合面のすべりが生じた。Fケースのすべり時の P/P_{sd} は母板厚さに比例して大きくなった。FBケースは接合面のすべり後もバルブスリーブによる支圧力の影響で P/P_{sd} が相対変位とともに増加した。

FBケースのすべり時のMises応力分布を図-5、FBケースのすべり係数をFケースのすべり係数で除した μ_{FB}/μ_F と、FBケースの引張荷重に対する支圧力の割合を図-6に示す。ここでは、母板縁端から10mm位置の相対変位が0.2mmに到達したときをすべり荷重とし、すべり係数は、その荷重と締付け軸力により計算した。

μ_{FB}/μ_F はFB-M12S14が最も大きく、FB-M14S16のそれはFB-M12S14より0.02小さい。これは、FB-M14S16は母板厚がFB-M12S14より2mm大きく、すべり時の

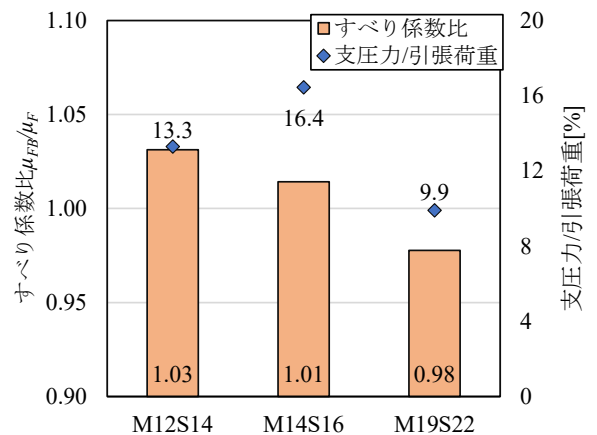


図-6 最大耐力比

母板の塑性変形も小さいが、接触力/軸力割合が6%小さく、伝達する摩擦力が小さかったためと考えられる。FB-M19S22は、接触力/軸力割合がFB-M12S14と同程度であり、すべり時の母板の局所的な塑性変形も他のケースより小さいものの、その μ_{FB}/μ_F は最も小さかった。これは、FB-M19S22はバルブスリーブとボルト孔壁の接触面積が母板厚に対して小さく、バルブスリーブによる支圧力の作用位置の偏心が生じ、支圧力が伝達されにくいためと考えられる。

5. まとめ

- 1) 片面施工摩擦支圧併用ボルトはボルト差込み時のボルト突出量が小さいほど接合面の接触力が低い。
- 2) 片面施工摩擦支圧併用ボルト継手は締付け厚さが大きいほどバルブスリーブによる支圧力の作用位置が偏心し、支圧力が小さくなる。
- 3) 片面施工摩擦支圧併用ボルトのすべり係数は同程度の設計軸力を有するM22F8Tと同程度となる。

<参考文献>

中本勇, 山口隆司, 彭瑤: 片面施工摩擦支圧併用継手の荷重伝達メカニズムに関する解析的検討, 構造工学論文集, Vol.68A, pp.399-409, 2022