

第 I 部門 継手板厚を考慮した摩擦支圧併用ワンサイドボルト継手のすべり耐力に関する解析的検討

大阪公立大学大学院 学生員 ○平賀 鴻一

ポップリベットファスナー (株) 非会員 牧野 敬範

大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景と目的

著者らが開発中である摩擦支圧併用ワンサイドボルト (以下、併用ボルト) ¹⁾³⁾ (図-1) は、スリーブをボルト孔壁に接触させる支圧機構を有し、摩擦力と支圧力の併用が可能である。既往研究 ³⁾では、充填型の支圧機構を付与する (図-2) ことで、支圧力による伝達荷重を増加させる検討がされている。一方、充填型に改良した併用ボルト継手の母材と連結板の板厚構成に関する検討は行われておらず、併用ボルト継手の適用性を拡大するためには、被締結部材の板厚構成の違いを考慮したすべり耐力の評価が必要である。

本研究では母材厚をパラメータとした FEM 解析を行い、併用ボルトを適用した継手の母材厚がすべり耐力に与える影響を検討した。

2. 解析概要

解析モデルを図-3 に示す。対称性を考慮した 1/4 継手モデルとし、解析ソルバーには Abaqus/Explicit 2023 を用いた ³⁾。併用ボルト継手の材料構成則を図-4 に示す。構成則は、バルブ・ローススリーブは材料試験結果を反映させたマルチリニア型とし、その他は降伏応力および引張応力に公称値を適用し、加工硬化係数が E/100 のトリリニア型とした ¹⁾。相互作用は接触が想定される部位に

対して、ペナルティ法によるクーロン摩擦を与えた。摩擦係数は継手の接合面には0.45,それ以外の部位には0.10を与えた ³⁾。要素サイズは1辺 0.4mm~10.0mm となるように設定した。解析ステップは Step1 でインナーナットに設計軸力に相当する強制変位を与え、Step2 でインナーナットとアウターナットを結合し、コアピンに軸力を導入した。Step3 で母材に 5mm の強制変位を与えた。

併用ボルトのグリップレンジ (以下、レンジ) は 5mm であるため、本解析では図-5 に示す 2 段階のグリップ番号のスリーブ形状を適用した。グリップ番号は、「レンジの最小値 (mm) -レンジの最大値 (mm)」として示す。

解析ケースを表-1 に示す。解析ケース名は、「G.R. レンジの最小値 (mm) -最小値との差 (mm)」として示す。母材厚・連結板厚は、デザインデータブック ⁴⁾を参考に流通量の多いものを選定した。選定した板厚は 14mm, 16mm, 19mm, 22mm である。縁端距離・ピッチ・板幅は全ケースで一定とし、既往研究 ³⁾を参考に決定した。併用ボルトの設計軸力は式(1)によって算出した。

$$N_d = \alpha \sigma_{y-bolt} A_e \tag{1}$$

ここに、 N_d : 設計軸力, α : 低減係数(=0.75), σ_{y-bolt} : コアピンの降伏応力 (N/mm²), A_e : M18・P1.5・JIS ねじの有効断面積(=216mm²)である。

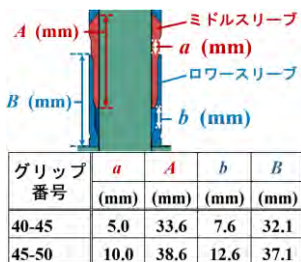
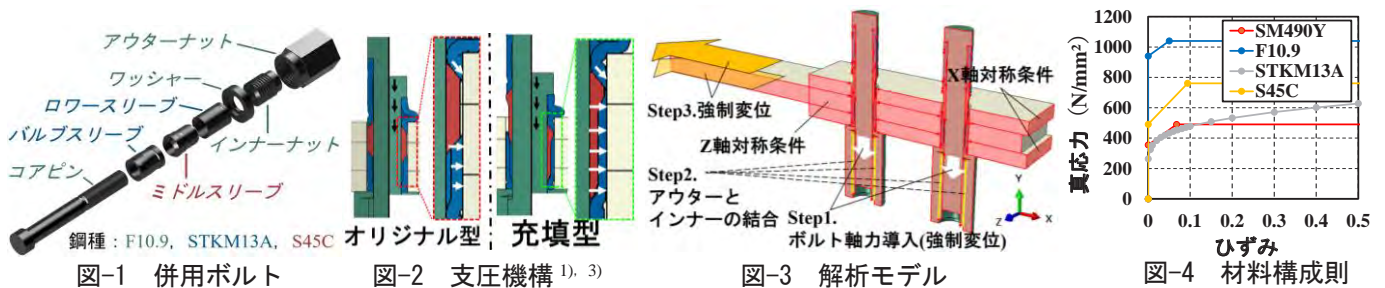


表-1 解析ケース

解析ケース	グリップ番号	連結板厚	母材厚	板幅	孔径	ボルトピッチ	縁端距離	ボルト本数	面数	設計軸力	鋼種
		t_s (mm)	t_m (mm)	w (mm)	d (mm)	p (mm)	e (mm)	n	m	N_d (kN)	
G.R.40-2	40-45	14	14	100	26	90	60	2	2	145	SM490Y
G.R.40-4	40-45		16								
G.R.45-2	45-50		19								
G.R.45-5	45-50		22								

表-2 解析結果

解析ケース	載荷前の軸力(外側)	載荷前の軸力(内側)	載荷前の軸力(平均)	相対変位0.2mm時の荷重(バルブ側)	相対変位0.2mm時の荷重(ナット側)	母材純断面降伏荷重	すべり係数
	N_{1-1} (kN)	N_{1-2} (kN)	N_{1-Ave} (kN)	$P_{0.2-B}$ (kN)	$P_{0.2-N}$ (kN)	P_{MTn} (kN)	μ_{1-a}
G.R.40-2	140.1	138.7	139.4	430.2	424.8	416.4	0.762
G.R.40-4	146.2	144.2	145.2	408.5	419.9	470.0	0.704
G.R.45-2	147.6	149.1	148.4	481.6	496.2	557.1	0.811
G.R.45-5	148.4	151.4	149.9	489.0	501.0	635.8	0.815

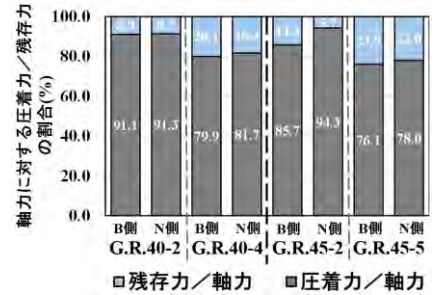


図-6 載荷直前の圧着力/軸力

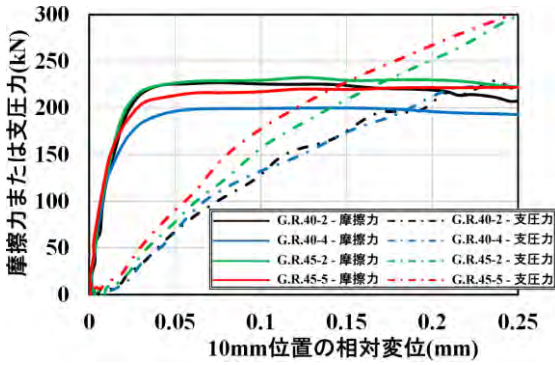


図-7 摩擦力・支圧力-相対変位関係

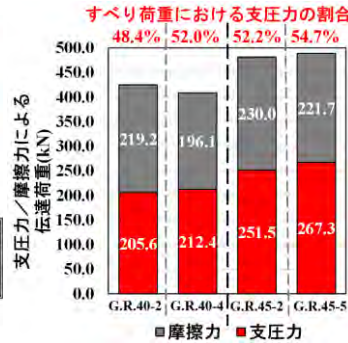


図-8 すべり時の荷重分担

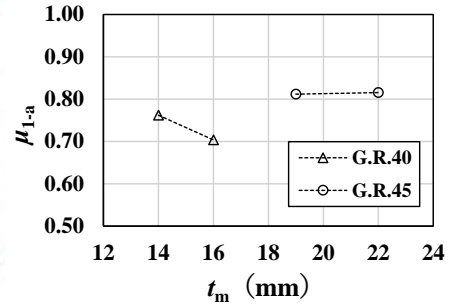


図-9 母材厚とすべり係数

3. 解析結果およびその考察

表-2 に載荷前のボルト軸力, すべり荷重, すべり係数, 母材純断面降伏荷重を示す. 本解析では, 強制変位による正確な設計軸力の導入が困難であり, 載荷前の軸力(平均)が設計値の $\pm 5.0\text{kN}$ の範囲でばらついたが, すべり耐力に及ぼす影響は小さいと判断した. 本研究ではすべり荷重を, 母材縁端 10mm 位置における相対変位が 0.2mm に達した時点の荷重として定義した. すべり荷重はバルブ側 ($P_{0.2-B}$)・ナット側 ($P_{0.2-N}$) をそれぞれ示している. すべり係数は式(2)によって算出した.

$$\mu_{1-a} = \frac{P_{0.2}}{nmN_{1-Ave}} = \frac{\min(P_{0.2-B}, P_{0.2-N})}{nmN_{1-Ave}} \quad (2)$$

母材降伏荷重は, 解析においてボルト孔壁からコバ面にかけて要素の積分点が, 降伏点に達した時点の荷重とした. 降伏点は Mises 応力で判定した.

図-6 に軸力に対するバルブ側・ナット側接合面の圧着力の割合を示す. 締結厚がレンジの最小値に対して大きい G.R.40-4 と G.R.45-5 で, 圧着力/軸力が小さくなった. 文献²⁾では, 締結厚がレンジの最小値に対して大きい場合, バルブの有効座屈長が短くなることで, 接合面の圧着力/軸力が小さくなることを明らかにしており, 本解析でも同様の挙動が確認された.

図-7 に摩擦力・支圧力-相対変位関係, 図-8 にすべり時の伝達荷重の内訳および支圧力の割合を示す. 図-7 より, 摩擦力の初期剛性は母材厚に影響しないのに対して, 支圧力は母材厚が増加するほど, 剛性が増加した. また図-

8 より, すべり時の支圧力および摩擦力について, G.R.40-2 を基準とすると G.R.40-4 は支圧力が 103.3%, 摩擦力が 89.5%, G.R.45-2 を基準とすると G.R.45-5 は支圧力が 106.3%, 摩擦力が 96.4% となり, それぞれ同グリッブ番号において母材厚が大きいほど, 支圧力がわずかに増加し, 摩擦力が減少した. これは, 母材厚が大きいほど支圧面積が増加するのに対し, 接合面に導入される圧着力/軸力は減少するためと考えられる(図-6).

図-9 に母材厚とすべり係数の関係を示す. G.R.40 は母材厚が増加することですべり係数が 7.6% 低下しており, 摩擦力の低下がすべり耐力に影響する結果となった. 一方, グリッブ番号が大きい G.R.45 は, 支圧力による伝達荷重が大きいので, 母材厚の影響で摩擦力が低下しつつもすべり係数は 0.5% 増加とほとんど変化しなかった.

4. まとめ

本研究では, 母材厚をパラメータとした FEM 解析を行い, 併用ボルト継手のすべり耐力について検討した. 本解析のケースにおいては, 併用ボルト継手は, 同グリッブ番号において母材厚が増加すると, すべり時における支圧力が最大 6.3% 増加し, 摩擦力は最大 10.5% 減少した. また母材厚の増加により, グリッブ番号が小さい場合ではすべり係数が 7.6% 低下したのに対し, グリッブ番号が大きい場合では, その影響はほとんどなかった.

参考文献

- 1) 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, pp399-409, 2022.3.
- 2) 中本勇, 山口隆司, 彭瑤: 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, 土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, I-110, 2022.
- 3) 小村政孝, 山口隆司, 篠田佳典: 新開発の摩擦支圧併用片面施工高力ボルトの継手性能に関する解析的検討, 土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会, I-189, 2024.
- 4) 日本橋梁建設協会: デザインデータブック, 2021
- 5) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2013