

大阪大学工学部 正会員 西村宜男 大阪大学工学部 正会員○亀井義典
大阪大学大学院 学生員 池端文哉 駒井鉄工(株) 正会員 秋山寿行

1. まえがき 高力ボルト摩擦接合引張継手については、現在まで多くの実験的研究が行われている。既往の実験的研究では、摩擦面においてすべりが生じると変位の連続性が失われるため、すべりを終局状態としている。しかし、母材の降伏が主すべりより先行する継手形式の場合、母材の降伏により板厚の減少が助長されボルトの軸力抜けが進む。母材の降伏が主すべりより極端に先行する場合、ボルトの軸力抜けにともない部分すべりが生じ、主すべりが発生することなく母材の降伏により限界状態に達する。従って、母材降伏先行型の継手に対しては、母材、添接板の形状変形とそれに伴う部分すべり現象の発生機構を明らかにし、限界状態に対して明確な規定を与えなければならない。今回の報告では、部分すべりを考慮しう、アイソパラメトリック要素を用いた弾塑性有限変位解析によって、母材の降伏が主すべりより先行する継手を対象にパラメトリック解析を行った。

2. 解析モデル 表-1は各解析モデルの諸元である。摩擦接合引張継手を設計する際、母材の耐荷力に対するパラメータとして純断面降伏強度 N_{Ym} 、主すべりに対するパラメータとして、すべり強度 N_{SL} が挙げられる。このすべり強度・母材降伏強度比 $\beta = N_{SL}/N_{Ym}$ の値は、B1タイプで2.37であり、母材降伏先行型の典型的な継手である。本解析ではB1タイプを基本とし、母材の板厚を変化させることにより、 β を変化させた解析モデルB2, B4, B6, B8を考えた。母材の板厚を除く諸元は全タイプで等しい。

図-1は解析モデルと要素分割図である。支持条件として、各断面の中央面で垂直な方向の変位を拘束し1/8モデルとした。外力は継手端部に軸引張が生じるように強制変位として与えた。ジョイント要素は母材と添接板間、添接板と座金間の全接触面に導入し、接触面の力学状態に応じて剛性を変化させることにより、固着、すべり及び剥離状態を表現している。

3. 解析結果と考察 摩擦接合引張継手の限界状態は、すべり強度・母材降伏強度比 β の値に依存する。本解析における β は全タイプ 1.00 以上、すなわち、母材の降伏強度に比べすべり強度が大きい。一般に、このような継手ではすべり強度に達する前に、母材の降伏によって使用限界に達するが、 β の値によって、部分すべりの発生状態、ボルトの軸力抜け等、終局限界に至る挙動は異なる。

図-2は各タイプの荷重-全伸び関係である。縦軸は載荷荷重 P を母材純断面降伏荷重 N_{Ym} により無次元化した値。横軸は全伸びを継手全長により無次元化した値を表す。図中の破線は、母材全断面を断面に持つ

表-1 解析モデルの諸元

Parameter	Type	B1	B2	B4	B6	B8
材質		SS400	SS400	SS400	SS400	SS400
σ_y (kgf/cm ²)		2848	2848	2848	2848	2848
板厚 t_1 (mm)		9.00	11.00	13.00	15.00	17.00
全幅	(mm)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
純断面積	(cm ²)	4.28	5.23	6.18	7.13	8.08
N_{Ym} (tf)		12.18	14.88	17.59	20.29	23.00
添接板						
材質		SS400	SS400	SS400	SS400	SS400
板厚 t_2 (×2) (mm)		9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
H.T.B						
導入軸力 (tf)		18.05	18.05	18.05	18.05	18.05
N_{SL} (tf)		28.88	28.88	28.88	28.88	28.88
$\beta = N_{SL}/N_{Ym}$		2.37	1.94	1.64	1.42	1.25

N_{Ym} : 母材純断面降伏強度, N_{SL} : すべり強度

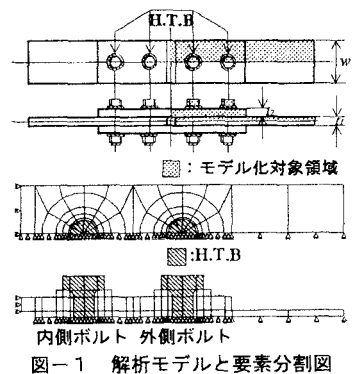


図-1 解析モデルと要素分割図

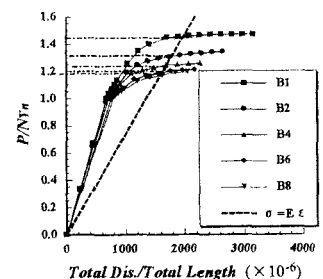


図-2 荷重-全伸び関係

鋼板の荷重-変位関係であり、継手の荷重-全伸び関係との交点における荷重により、継手の線形限界を評価する。

全タイプで、荷重-全伸び関係は母材純断面降伏荷重以降、非線形性が増すが、 β の相違により傾向は異なる。線形限界における荷重に着目すると、 β が1に近づくほど母材純断面降伏荷重 N_{yn} に近づき、逆に β が大きくなるほど N_{yn} に対し高い値となる。B8, B6およびB4を比較すると、 N_{yn} に対してB8で18%, B6で19%, B4で22%程度上まる値となり、線形限界における強度にあまり差が確認されない。B4, B2およびB1を比較すると β が大きくなるにしたがい線形限界における強度に差が生じ、 N_{yn} に対してB4で22%, B2で30%, B1で45%程度上まわる。B4, B2間の強度差は著しく、 $\beta=1.6$ 付近以降、母材の塑性変形の影響が顕著となる。

図-3にB1, B4およびB8の線形限界における母材および添接板の相当応力分布を示す。

一般に、摩擦接合継手では母材は引張荷重載荷側の外側ボルト孔周辺から、添接板は継手中心側の内側ボルト孔周辺から塑性化する。本解析では添接板厚を一定とし、母材板厚の変化により β を変化させたため、 β が変化すると母材-添接板の強度比が変化し、塑性化の様子は異なる。B1のように β が2.37と大きな領域では、母材の外側ボルト孔周辺における塑性化が顕著に現れる。一方B8のように β が1に近づくとき、母材の外側ボルト孔周辺と添接板の内側ボルト孔周辺の塑性化は同程度となる。

図-4に線形限界 N_{PL} における、初期導入ボルト軸力を100%とした場合の軸力の低下率を示す。

B1, B2では、母材の外側ボルト孔周辺における塑性化が顕著となるため、内側に比べ外側ボルトの軸力低下が著しい。 β が1.25のB8では、外側ボルト孔周辺と内側ボルト孔周辺の塑性化は同程度となるため、外側ボルトと内側ボルトの軸力抜けの差が少なくなる。部分すべり現象は、鋼板のボルト孔周辺における局所的な降伏により、ボルト軸力の低下が生じ、部分的にすべり抵抗が減少するために発生する。従って、外側ボルトの軸力抜けが顕著なB1, B2では外側ボルト孔周辺で部分すべりが発生するのみで、母材純断面降伏荷重 N_{yn} 以降も荷重が増加する。B4, B6, B8と β が1に近づくとき、すべり強度 N_{SL} が N_{yn} に近づき、部分すべりが広域にわたり生じるため、主すべり崩壊型の継手に近づく。そのため線形限界以降、荷重増加が見られない。

4.まとめ 母材板厚をパラメータとし、すべり強度・母材降伏強度比 β を変化させた場合、

- ① β が2.37と大きいB1タイプでは、母材の外側ボルト孔周辺における塑性化が著しく、外側ボルト列においてのみボルト軸力抜けが進行するため、部分すべりは局所的となる。
- ② β が1.25と1に近いB8タイプでは、添接板の内側ボルト孔周辺と、母材の外側ボルト孔周辺において、同時に塑性化が進行するため部分すべりは広域に広がり、主すべりを誘発する原因となる。
- ③前者の継手は母材破断型、後者は主すべりで終局限界に達すると考えられる。本解析においては両破壊形式の境界は $\beta=1.6$ であった。

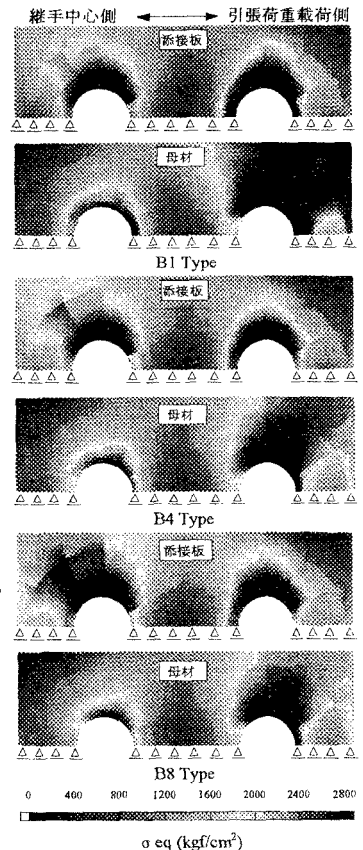


図-3 線形限界における相当応力の分布

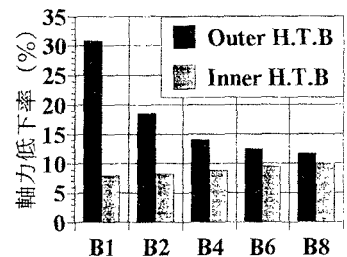


図-4 線形限界におけるH.T.B 軸力低下率