

I-A 348

母材降伏先行型の高力ボルト摩擦接合引張継手の強度特性

大阪大学大学院 学生員 池端文哉 大阪大学工学部 正会員 西村宣男
大阪大学工学部 正会員 亀井義典 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関する既往の研究では、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、局所的なボルトの軸力抜けに伴い部分すべりが発生する。極端なケースでは、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する必要がある。今回の報告では、部分すべりを考慮しうる、アイソパラメトリック要素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に解析を行い、継手の強度特性に関する考察を行った。

2. 解析モデル 図-1は継手の解析モデルである。支持条件として、各断面の中央で垂直な方向の変位を拘束し1/8モデルとした。外力はボルト軸力導入後、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。

摩擦接合引張継手の耐力には、母材純断面降伏強度 N_{ym} 、すべり強度 N_{sl} 、添接板純断面降伏強度 N_{sn} が大きく関与すると考えられる。本解析では無次元パラメータとして、すべり強度・母材降伏強度比 $\beta (=N_{sl}/N_{ym})$ と、添接板・母材降伏強度比 $\gamma (=N_{sn}/N_{ym})$ を考えた。表-1に各モデルに対する β 及び γ の値を示す。図-2は表-1を図化したものであり、図中の数値は各モデルの線形限界荷重の N_{ym} に対する増加率を表す。全タイプで母材板厚、添接板厚を除く諸元は等しい。

3. 解析結果と考察 図-3は継手の荷重-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。図中の細線は、母材全断面を断面に持つ鋼板の荷重-変位関係であり、継手の荷重-全伸び関係との交点により、継手の線形限界荷重を評価する。 γ が1.63のA2, B2, C2に対する β の値はそれぞれ2.37, 1.94, 1.64である。荷重載荷開始から N_{ym} 付近まで継手の剛性に違いは見られない。 N_{ym} 以降、各タイプの荷重-全伸び関係は β の値により傾向が異なる。線形限界荷重に着目すると、 N_{ym} に対しC2で24%、B2で31%、A2で42%上回り、 β が大きい程強度が増す傾向がある。しかし、 γ が1.20のC4, D4, E4では、線形限界荷重の増加率は21%、17%、15%と前者に比べ線形限界における強度差は少ない。

図-4に線形限界における相当応力の分布を示す。 γ が1.63のA2, B2, C2においては添接板の降伏強度 N_{sn} は N_{ym} に比べ大きいモデルであるため、添接板の塑性域は β の値によりあまり差が

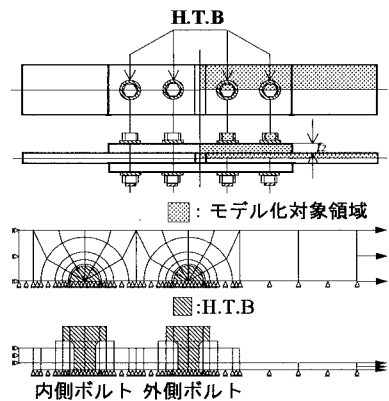
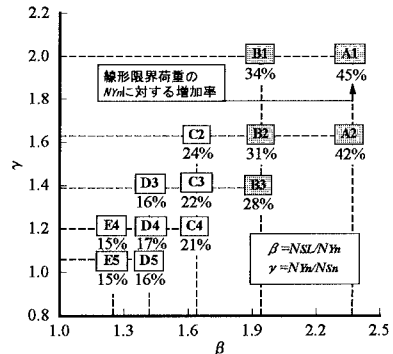


図-1 解析モデル

表-1 各モデルに対する β 及び γ

	A1	A2	B1	B2	B3	C2	C3
β	2.37	2.37	1.94	1.94	1.94	1.64	1.64
γ	2.00	1.63	2.00	1.63	1.39	1.63	1.39
	C4	D3	D4	D5	E4	E5	
β	1.64	1.42	1.42	1.42	1.25	1.25	
γ	1.20	1.39	1.20	1.06	1.20	1.06	

図-2 各モデルに対する β 及び γ

確認されない。母材の外側ボルト孔周辺における塑性化は β が大きくなるに従い顕著となり、 β が2.37のA2では外側ボルト孔周辺において、全断面塑性化にしている。一方、C2のように β が1.00に近づくと母材の外側ボルト孔周辺の塑性化は緩和され、内外列ボルト孔周辺の塑性域は同様となる。

図-5に、線形限界における、初期導入ボルト軸力を基準としたボルト軸力の低下率を示す。 γ が1.63のA2, B2, C2では、鋼板の応力状態を反映して外側ボルト列の軸力低下が顕著となる。そのため、部分すべりはボルトの軸力低下の大きい外側ボルト列で局所的に発生したといえる。 β の値に着目すると、 β が2.37のA2では外側ボルト列の軸力低下が65%、内列が11%、 β が1.94のB2では22%, 10%、 β が1.64のC2では12%, 9%となる。 β が大きいほど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、内外ボルト列でボルト軸力の低下に差が生じ、上述の傾向はさらに助長される。逆に β が1.00に近づくとその傾向は緩和される。 γ が1.20のC4, D4, E4では、添接板の降伏強度 N_{Sn} が N_{Yn} に近づくため、 β の値の大小に関わらず母材の外側ボルト孔周辺および添接板の内側ボルト孔周辺の塑性化は同程度となる。ボルト軸力の低下も内外列で差は僅少となり、C4で内外列それぞれ15%, 12%、D4で11%, 10%、E4で8%, 7%となる。そのため γ が1.20の継手では、内外列ボルト孔周辺双方において同様に部分すべりが発生し、 γ が1.64の継手に比べ部分すべり発生領域が広く主すべり崩壊型の継手に近づくといえる。

添接板による補強効果に着目すると、図-3において β が1.94のB1, B2, B3と β が1.42のD3, D4, D5に対して、いずれの場合も初期勾配に差が確認される。継手の初期剛性は β の値に関わらず γ が大きいほど高くなり、添接板による補強効果が期待できる。

4.まとめ 母材降伏先行型の継手を対象に解析した結果、① γ が1.63と大きい場合、母材の外側ボルト孔周辺における塑性化が顕著となり、外側ボルトの軸力低下が大きい。部分すべりは外側ボルト孔周辺でのみ発生し、線形限界荷重は N_{Yn} に対し余裕のある値となる。また、 β が大きいほど母材の塑性化が顕著となり、上述の傾向はさらに助長される。一方、 γ が

1.20と1.00に近い場合、内外ボルト孔周辺の塑性域は同程度となり、ボルト軸力は内外列で同様に低下する。そのため部分すべりは広域に広がり、 β の値に関わらず線形限界荷重の N_{Yn} に対する増加率は小さい。② γ の値が大きいほど初期剛性は高くなり、添接板による補強効果が期待できる。③本解析では、図-2における網掛けされた継手モデルに対して、ボルトの軸力低下は内外列で著しく差が確認された。この領域における継手は、外側ボルト孔周辺における母材の降伏により終局状態に至ると推定される。

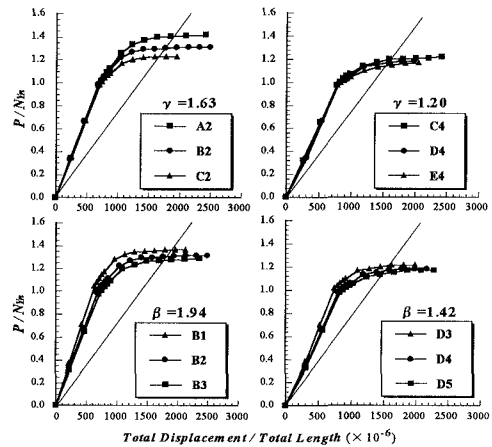


図-3 荷重-全伸び関係

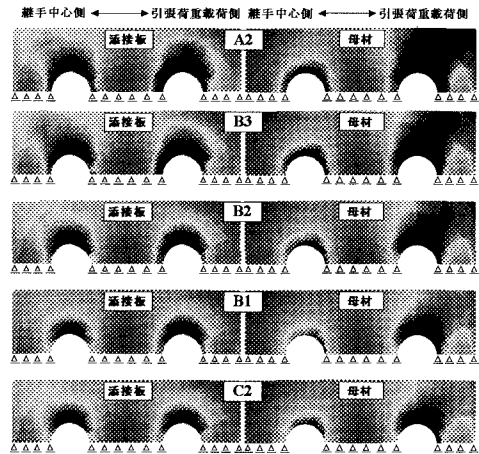


図-4 線形限界における相当応力の分布

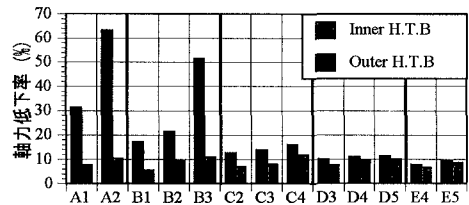


図-5 線形限界におけるボルトの軸力低下率