

I-127

支圧状態にある高力ボルト継手の力学的特性のモデル化とその解析

トビー工業 正会員 三ツ木幸子

1. まえがき

高力ボルト支圧接合は、いくつかの長所があるにもかかわらず我が国ではあまり普及していない。これは、施工性の問題があるばかりでなく、ボルトが支圧状態にある高力ボルト継手の力学的特性が必ずしも明らかにされていないことによるものと考えられる。また、ボルトの支圧状態は、高力ボルト摩擦接合でも、地震などの過荷重や施工精度によって生じることが考えられる。

そこで、本研究では、ボルトが支圧状態にある高力ボルト継手の力学的モデルを作成し、本モデルを用いて解析を行ない、実験値と比較し、その適用性を検討した。

2. 力学的モデルの概要

モデル化にあたって、引張を受ける2面せん断の高力ボルト継手を対象とする。図-1(a)に示す高力ボルト継手を、(b)に示すように主板と添接板のそれぞれの中央面と初期のボルト孔中心との交点に重心を持つ剛体が、(1)主板および添接板の伸び変形を表わす伸びばねと、(2)ボルト部での主板と添接板の相対変位を表わす相対変位ばねによって連結されていると考える。この相対変位は、すべりに基づく相対変位、摩擦によって伝達される力によって生じる板厚方向のせん断変形に基づく相対変位および支圧によって伝達される力によって生じる板およびボルトの変形に基づく相対変位の3つの相対変位で構成される。

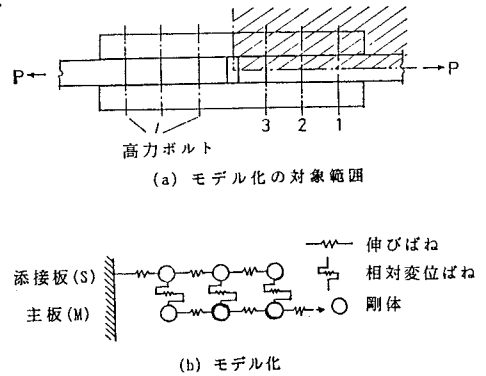


図-1 対象範囲とモデル化

ここで、主すべりを起こすまでは、荷重はすべて摩擦で伝達されるが、主すべりを起こして支圧状態に至った後は、荷重は支圧と摩擦で伝達される。このときの摩擦と支圧によって伝達されるそれぞれの力の分担について、摩擦によって伝達される力 P_f はすべりを生じた後の最大摩擦抵抗に等しく、これを越える分が支圧によって伝達されると仮定する。すべりを生じた後の最大摩擦抵抗は、主すべりによって接触面の状態が変化して摩擦係数が小さくなることを考慮して、すべり荷重 P_{s1p} に対して低減係数を考慮する。ここでは、低減係数を文献1)の実験値より0.8と仮定し、すべりを起こした後の P_f を $P_f = 0.8 P_{s1p}$ で表現する。

3. 伸び変形量

純断面応力が降伏応力度に達するまでは、伸び変形量 δ_t は全て弾性伸び変形量 δ_{te} とする。したがって、ボルト孔間の伸び δ_{te} を、ボルト孔間の長さ L 、純断面応力 σ_o および弾性係数 E を用いて式 $\delta_{te} = (\sigma_o / E) \times L$ で表わす。純断面応力が降伏応力度 σ_y に達すると、純断面部で塑性変形を生じるとして δ_{tp} を求める。塑性伸び変形量 δ_{tp} は、純断面応力 σ_n 、引張強度 σ_b および降伏応力度 σ_y を用いてFisherらが実験値を基に提

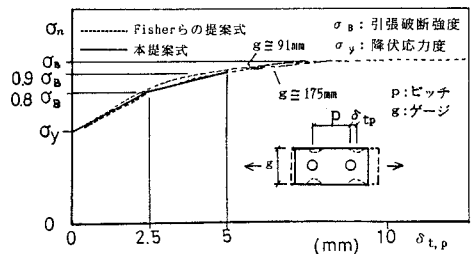


図-2 純断面応力と塑性伸び変形量の関係

案した近似式²⁾を参考に図-2に示すように仮定する。したがって、純断面応力が降伏応力度 σ_y に達した後の伸び変形量 δ_t は、弾性伸び変形量と塑性伸び変形量 δ_{tp} の和として求める。

4. 相対変位量

a) 摩擦伝達力によって生じる相対変位

摩擦伝達力によって生じる板厚方向の板のせん断変形による相対変位量 δ_{rf} は、文献3)で誘導している

関係式において補正係数 ϕ および ψ を0.4および1.0とした式 $\delta_{rf} = P_f \cdot (t_{MP} + 2t_{SP}) / (3.2GA_s)$ によって求める。

b) 支圧伝達力によって生じる相対変位

支圧伝達力 P_b による着目したボルト部での主板と添接板の相対変位量 $\delta_{r,b}$ は、板端部のせん断、板の支圧、ボルトのせん断、ボルトの曲げのそれぞれの変形に基づく相対変位 $\delta_{r,PS}$ 、 $\delta_{r,Pb}$ 、 $\delta_{r,BS}$ 、 $\delta_{r,BB}$ を重ね合わせることによって求める。

板端部のせん断変形に基づく相対変位 $\delta_{r,PS}$ ： 端ボルト部での板のせん断変形に基づく相対変位量 $\delta_{r,PS}$ は、図-3に示す端部の有効せん断面積 A_{SE} から計算されるせん断応力 $\tau (=P_b/2te)$ の関数として、図-4のように仮定する。

板の支圧変形に基づく相対変位 $\delta_{r,Pb}$ ： 支圧変形に基づく相対変位が卓越すると考えられる1本ボルトの試験体を用いた文献4)の圧縮荷重試験結果を用いて、支圧変形に基づく相対変位 $\delta_{r,Pb}$ を、支圧応力 σ_b の関数として図-5のように仮定する。

ボルトのせん断変形に基づく相対変位 $\delta_{r,BS}$ ： ボルトのせん断変形に基づく相対変位量 $\delta_{r,BS}$ は、ボルトのせん断応力度 τ を用いて表現する。 $\delta_{r,BS}$ とボルトのせん断応力度 τ の関係は、文献5)の1本ボルト継手を用いたボルトのせん断変形に基づく相対変位量 $\delta_{r,BS}$ が卓越すると考えられる静的荷重試験から得られる荷重-変位の関係を用いて図-6のように仮定する。

ボルトの曲げ変形に基づく相対変位 $\delta_{r,BB}$ ： ボルトの曲げ変形による相対変位量 $\delta_{r,BB}$ は、ボルトを片持ち梁でモデル化し、荷重 P_b 、添接板の厚さの1/2に主板の板厚の1/4を加えた長さ L_t およびボルト軸の断面二次モーメント I の関数として式 $\delta_{r,BB} = P_b L_t^3 / 3EI$ によって求まるものと仮定する。

5. 解析と実験値による検討

ここでは、文献1)の実験に用いられた孔の位置のずれを有する3タイプの2本ボルトの高力ボルト継手に対して荷重-変位曲線を求めて、本モデルを検証する。解析では、本モデル化で得られた関係式を用いて、力の釣り合いと変形の適合条件から、ボルトが支圧状態になった場合の高力ボルト継手の変形を求める。

LS, LI, LOタイプの各継手に対し、荷重前に、ボルトを支圧状態にして荷重した場合に対する荷重-変形曲線について、実験結果と計算結果を図-7(a)~(b)に示す。実験結果と計算結果は比較的よく合っていた。したがって、本モデルは、製作誤差を考慮した支圧状態の把握に使用することができるものと考えられる。

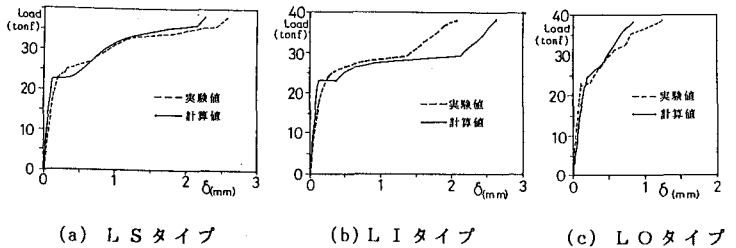


図-7 荷重-変位曲線

謝辞：本研究にあたり、名古屋大学土木工学科 山田健太郎教授から御指導を頂いた。ここに深く謝意を表します。

- 参考文献：1) 三ツ木幸子・近藤明雅・山田健太郎：軸力を低減した高力ボルト継手の挙動，構造工学論文集，Vol.34A, pp.431~438, 1988.3. 2) Fisher, J.W. and Ruoff, J.L.: Analyses of Bolted Butt Joints, Proc. of ASCE, Vol.91, No. ST5, pp.181~203, 1965.10. 3) 長橋文雄・伊藤文人：剛体-ばねモデルを用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動解析，土木学会論文集，第350号/1-2, pp.341~350, 1984.10. 4) 三ツ木幸子：接触式高力ボルト支圧接合に関する実験的研究，北海道大学工学部修士論文，1983.3. 5) Wallaert, J.J. and Fisher, J.W.: Shear Strength of High-Strength Bolts, Proc. of ASCE, Vol.91, No. ST3, pp.99~125, 1965.6.

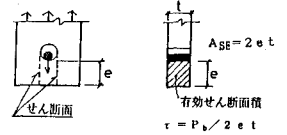


図-3 端部のせん断面積とせん断応力

τ_b : せん断破断強度 σ_b : 引張破断強度
 τ_y : せん断降伏強度 σ_y : 降伏応力度

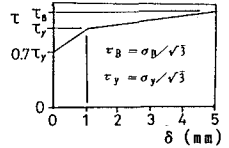


図-4 縁端のせん断応力と変位の関係

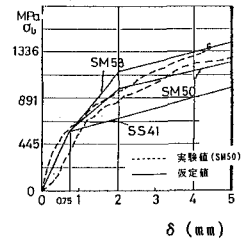


図-5 支圧応力と変位の関係

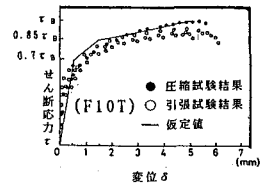


図-6 ボルトのせん断応力度と変位の関係