

I-A145 高力ボルト引張接合短締め形式における初期ボルト軸力が剛性及びエネルギー吸収量に及ぼす影響

武蔵工業大学 学生員 川田延也 武蔵工業大学 フェロー 西脇威夫
武蔵工業大学 フェロー 増田陳紀 武蔵工業大学 正会員 白旗弘実

1. はじめに：兵庫県南部地震を契機に耐震設計法が見直されてきたが，各構造要素のエネルギー吸収量，変形量を考慮した構造全体の設計が，耐震化はもとより省力化にも配慮されながらより重要視されているものと考えられる．現在，接合部の設計では，接合部の剛性はほぼ無限大であると見なされており，それが構造全体のエネルギー吸収量や変形量に寄与する効果は，慣習的に無視されていることが多い．しかし，合理的な構造物の設計を目指すときに，それらを構造物の挙動の評価に取り入れることは望ましいことである．引張接合短締め形式による剛性は，主としてフランジ厚，初期ボルト軸力そして接触面の状態によるものと考えられる．そこで，本研究では，フランジ厚および初期ボルト軸力に注目し，接合部のエネルギー吸収量を簡単なモデルを用いて検討した．特に，初期ボルト軸力によるエネルギー量の相違を示し，初期ボルト軸力の大きさが，接合部の強度に大きな影響を与えないことから，初期ボルト軸力の大きさが接合部の設計パラメータの一つになることを示す．

2. 構造要素のモデル：検討する構造要素は，図-1に示すようなはり一柱接合部である．はり部に作用する曲げモーメントを M ，せん断力を S とする．はり部の曲げモーメント M は，はりのフランジのみで負担されるものとする， $M=Th$ が成立する．また，はり部の曲げモーメント M は引張ボルトによって図-1に示す構造によって柱部に伝達されるものとする．このとき，柱部には十分な補剛材などが配置されており，はり部の曲げモーメントに対して剛性は充分大きく，はりの端部には剛体的変形のみが生じるものとする．このような仮定のもとで，はり一柱接合部の変形のうち引張ボルト接合部の変形のみ注目すると，この接合部モデルの $M-\phi$ 関係は，

$$M = kh^2 \cdot \phi \quad k: \text{継手部の剛性}, \phi: \text{接合部の回転角}, h: \text{はりの桁高}$$

と表すことができる．接合部のエネルギー吸収量は，この $M-\phi$ 関係における面積（ $\int_0^\phi M d\phi$ ）とする．

3. 引張接合部の剛性の評価：引張接合部の剛性に影響する要因は上に述べた通りであるが，ここでは初期軸力とフランジ厚の2つに注目し，文献1)で提案された境界非線形弾塑性平面解析システムを用いて，フランジ厚を 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50mm の8通り，初期軸力を 20, 40, 60, 67, 80%の5通りの計40通りについて，数値解析を行った．図-2は，引張荷重とウェブ直下の離間量の関係の一例²⁾である．接合部の剛性 k は載荷引張荷重 T をウェブ直下の離間量 Δ で除すことで定義した．図-2に示される過去の研究から， $T-\Delta$ 関係には3つの状態が存在することがわかっている．そこで，これら3つの状態をそれぞれ3本の直線で近似し，傾きをそれぞれ k_1, k_2, k_3 とした．図-3は，無次元化した剛性と初期軸力の関係である．縦軸は，剛性をそれぞれ $3E/b$ （ボルト中心とウェブとフランジの交点間距離をスパン長とする片持ちばりのたわみ剛性）で無次元化し，剛性 k_1, k_2, k_3 のとりうる範囲を示した． k_1, k_2, k_3 の範囲の幅は，フランジ厚の大きさによるものである．図-4は，継手終局強度と初期軸力の関係³⁾である．縦軸は，接合部の最大載荷荷重をボルトの引張強度で無次元化した．フランジ厚が 36mm で継手強度の減少量が 5%程度と最大になるが，その他の場合はほとんど変化が見られない．このことから，初期軸力の大きさは接合部の強度に大きな影響を与えないことがわかる．

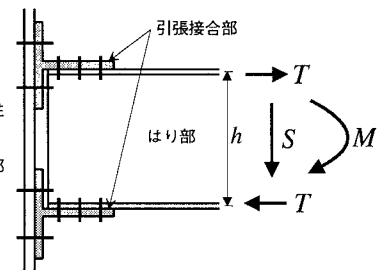


図-1 構造要素のモデル

Key Words : tension-type connection, initial bolt force, stiffness of joints

〒158-0087 世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学土木工学科構造研究室 TEL03(3703)3111 内線 3264

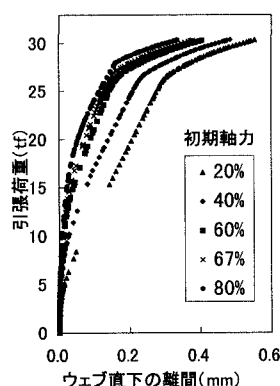


図-2 引張荷重－離間量の関係

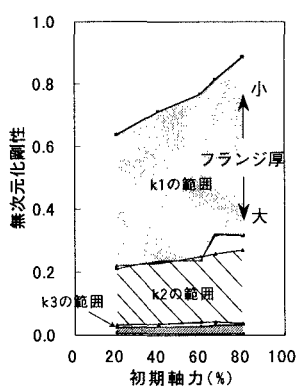


図-3 剛性－初期軸力の関係

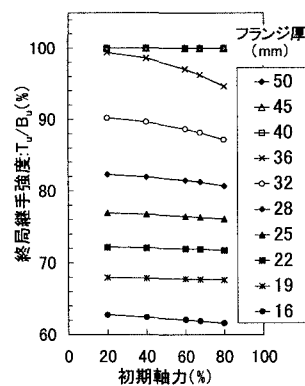


図-4 継手強度－初期軸力の関係

4. 接合部のエネルギー吸収量：接合部の吸収量は、2.で述べた $M-\phi$ 関係の面積で与えられ、引張接合部の剛性が図-2で示される場合、エネルギー吸収量 W は次式で定義される。

$$W = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right) T_1^2 + \left(\frac{1}{k_2} - \frac{1}{k_3} \right) T_2^2 + \frac{1}{k_3} T_{\max}^2 \right\}$$

k_1, k_2, k_3 : 引張接合部の剛性

$T_1, T_2, T_{\max}$: 剛性の状態が変化するところの引張荷重。

エネルギー吸収量と初期軸力の関係を図-5に、エネルギー吸収量とフランジ厚の関係を図-6に示す。フランジ厚の大小にかかわらず、初期軸力が減少するとエネルギー吸収量は増加する。どのフランジ厚においても、初期軸力が小さいとエネルギー吸収量が大きく、初期軸力が大きいとエネルギー吸収量は小さくなる。たとえば、フランジ厚 36mm の場合には、ボルトの初期軸力が引張強度の 80% の吸収量に対し、20% の場合では表-1に示すように吸収量は 73% 増加する。また、初期軸力が同じ場合、フランジ厚が 36mm の付近で上に凸のグラフとなり、どの初期軸力においてもエネルギー吸収量が最大となる傾向が見られる。フランジ厚を 22～50mm に変えても、エネルギー吸収量は 30～40% 程度の変化である。以上のことから、初期軸力を変えても、強度を大きく変化させることなくエネルギー吸収量を制御することができる。

5. おわりに：初期軸力の大きさを選択することにより、フランジ厚の変更よりもより接合部のエネルギー吸収量もしくは剛性を制御することができる。接合部の剛性は、エネルギー吸収量に大きな影響を及ぼすとともに、構造全体の挙動に大きく影響する⁴⁾ことから、より合理的なモデルによる検討が必要である。今後の課題は、①フランジの変形、接触圧の変化を反映させることができる簡易なモデルの開発、②初期軸力の相違による接合部の挙動の相違、③被接合部の剛性を考慮した接合部全体のエネルギー吸収量の評価などである。

【参考文献】1) 黒田充紀：土木鋼構造物における高力ボルト引張接合に関する研究，武蔵工業大学博士論文，1991.12。

2) 墨正則，井上淳市：高力ボルト引張接合・短締め形式の継手挙動に関する一考察，武蔵工業大学卒業論文，1997.3。

3) 前野慎介：高力ボルト引張接合－短締め形式の挙動に及ぼす軸力の影響，武蔵工業大学修士論文，1995.1。

4) Yoshiaki Goto, Satsuki Suzuki, Wai-Fah Chen : Bifurcation and Limit-Load Instability of Flexibly Jointed Frames, BSC, 1989.5。

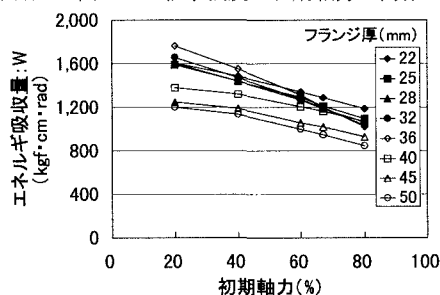


図-5 エネルギー吸収量と初期軸力の関係

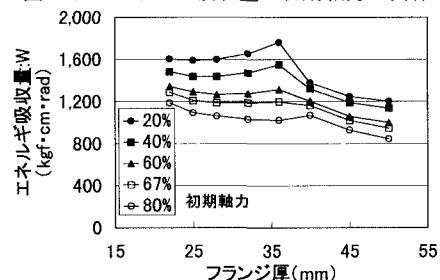


図-6 エネルギー吸収量とフランジ厚の関係

表-1 エネルギー吸収量

フランジ厚 (mm)	初期導入軸力 (%)					増加率
	20%	40%	60%	67%	80%	
22	1,603	1,484	1,341	1,286	1,186	35%
25	1,588	1,436	1,291	1,209	1,093	45%
28	1,598	1,436	1,265	1,186	1,061	51%
32	1,654	1,470	1,275	1,187	1,031	60%
36	1,762	1,550	1,313	1,196	1,021	73%
40	1,378	1,320	1,203	1,161	1,068	29%
45	1,245	1,189	1,057	1,018	927	34%
50	1,200	1,135	998	946	844	42%
増加率	34%	31%	34%	36%	41%	