

T継手の塑性崩壊に対する初期ボルト軸力の影響

(株) 平設計 正会員 岩崎充 正会員 山田稔¹
 武蔵工業大学名誉教授 フェロー会員 西脇威夫²

1. まえがき

日本鋼構造協会は橋梁用高力ボルト引張接合設計指針の改訂を2004年に行った。その改訂は日本道路協会の道路橋示方書・同解説の定めるところに従って、初期ボルト軸力の大きさを、降伏ボルト軸力の75%とし、その軸力値の導入は、高力ボルト摩擦接合における設計ボルト軸力値とし、施工に当たっての軸力管理も高力ボルト摩擦接合の場合に準じて定められた。一方、欧米における引張接合に対する規定などでは、摩擦接合に準じる軸力値導入ならびにその管理を厳しく規定していないものも存在する。本論においては、塑性設計の観点から、初期ボルト軸力の大きさが崩壊荷重にどのように影響するかについて検討を行い、初期ボルト軸力値とその導入に当たって注意すべき点を述べる。

2. T継手の塑性崩壊モードと崩壊荷重

図-1に示すような形状はT継手を採用する場合の基本形状であることから、本論においては図-1に示す対称T継手について検討する。T継手においては一般的に初期ボルト軸力が導入される。従って、継手に荷重が載荷されていない状態においても接合面には初期ボルト軸力と釣合う圧縮接触力がボルト孔の周りに近似的にボルト軸に対称に存在する。載荷されると荷重はこの圧縮接触力と釣合い、荷重の増加は圧縮接触力の減少となる。従って、理論的には荷重の大きさが初期ボルト軸力と等しくなるとボルト近傍の接触力はなくなり、フランジの厚さにもよるが、接触力はフランジの先端付近に集中して存在する状態を構成する。フランジが厚い場合には、接合面は離間し、接合面での荷重の伝達は行われなくなる場合もある。塑性崩壊は継手の形状寸法によってそれらの状態のいずれかで起り、塑性崩壊がおこる荷重の大きさは継手の形状寸法などにより異なる。そのような崩壊挙動を示す継手の塑性崩壊モードは形式的には6モード存在し、それらは図-2¹⁾に示すようになる。

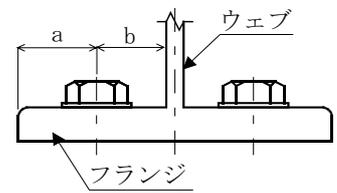


図-1 対称T継手

夫々のモードにおける内力と荷重との釣合いから6モードに対する崩壊荷重は容易に算出でき、それらを式(1)から式(6)¹⁾に示す。6個の崩壊荷重のうちの最小値が継手の崩壊荷重となる。それらの式の中で、 β は初期ボルト軸力と降伏ボルト軸力の比を示す。

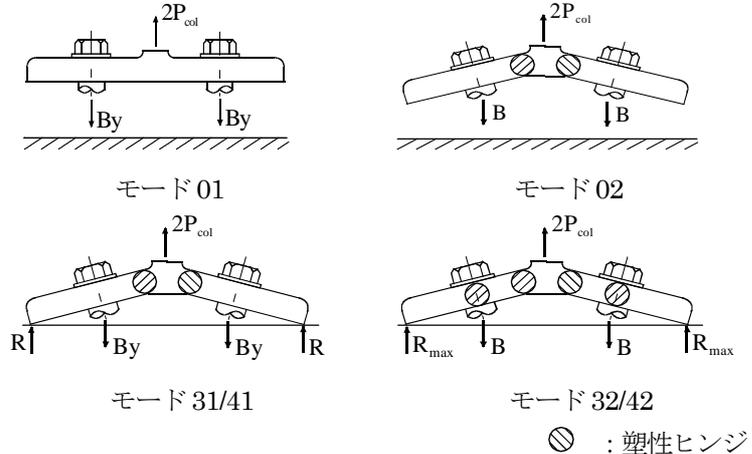


図-2 塑性崩壊モード

3. 初期ボルト軸力と崩壊荷重

式(1)から式(6)によると、崩壊荷重が初期ボルト軸力の影響(β)を受ける場合は、崩壊モード41と42の場合のみであり、他の場合にはその影響を受けないことは明白である。

$$P_{col01} = B_y \quad (1) \quad P_{col02} = \frac{M_p}{b} \quad (2) \quad P_{col31} = \frac{aB_y + M_p}{a+b} \quad (3)$$

$$P_{col32} = \frac{1 - \frac{r_b}{2} + \frac{w_n}{w}}{1 - \frac{r_b}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)} \frac{M_p}{b} \quad (4) \quad P_{col41} = \frac{a(1-\beta)B_y + M_p}{b} \quad (5) \quad P_{col42} = \frac{\left(1 - \frac{r_b}{2a} + \frac{w_n}{w} \right) \frac{M_p}{b} - \beta \frac{r_{con} - r_b}{2b} B_y}{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r_b}{a} + \frac{r_{con}}{b} \right)} \quad (6)$$

キーワード：高力ボルト引張接合, T継手, 塑性設計, 初期ボルト軸力

¹ 〒110-0005 東京都台東区上野3丁目17-11 コーワビル2 (株) 平設計 Tel 03-3836-3246 Fax 03-3833-7467

² 〒176-0004 東京都練馬区小竹町2丁目81-11 Tel 03-3955-7816

崩壊モードによって崩壊荷重は異なる。初期ボルト軸力が継手の崩壊荷重に及ぼす影響を見るために、初期ボルト軸力の大きさを変えながら崩壊荷重を算出した。数値計算は、フランジ厚が比較的薄い場合と厚い場合に対し、フランジ材の降伏点 σ_y が 235N/mm^2 、 450N/mm^2 の場合について行なった。薄いフランジ厚としては 18mm 、厚いフランジ厚としては、式(7)によるフランジ厚の近傍とした。継手形状としては $a=b=50\text{mm}$ 、 $w=100\text{mm}$ 、 $d=22\text{mm}$ とした。フランジ材の降伏点が 235N/mm^2 、 450N/mm^2 の場合には、式(7)から得られるフランジ厚は夫々 48.2mm 、 34.8mm である。

図-3 と図-4 は計算結果を示す。同図から明らかなように、上記のフランジ厚より僅かに大きい場合は、継手は完全に離間し降伏ボルト軸力が継手の強度となる。フランジ材の降伏点が 235N/mm^2 の場合には、フランジ厚が $18\sim 25\text{mm}$ の範囲ではモード 32,42,41。 $26,27\text{mm}$ ではモード 32,41。 $28\sim 48\text{mm}$ ではモード 31,41 で崩壊する。 450N/mm^2 の場合には、 $18,19\text{mm}$ ではモード 32,42,41。 $20\sim 34\text{mm}$ ではモード 31,41 で崩壊する。いずれの場合にもモード 41 で崩壊するフランジ厚が存在する。モード 41 は初期ボルト軸力言い換えれば β が大きいときに発生し、 β の 10%増加に対し崩壊荷重は 20%程度減少する。モードが 41 となるフランジ厚は σ_y が 235N/mm^2 の場合には $26\sim 30\text{mm}$ 、 450N/mm^2 では $19\sim 22\text{mm}$ である。モード 42 はフランジ厚が小さい場合に生じ、 σ_y が 235N/mm^2 の場合には 25mm まで、 450N/mm^2 では 19mm までである。この場合には β の増加とともに崩壊荷重は僅かに増加するがその大きさは 1kN 以内である。それ以外ではモードは 31 または 32 であり、この領域では崩壊荷重は β の変化に関係しない。すなわち、モード 41 で崩壊する場合には、不用意に大きめの初期ボルト軸力を導入することは、継手を危険側に構成することになる。以上のような挙動のみを見る限りでは、高力ボルト引張接合では、初期ボルト軸力には $0.7B_y$ 程度のほうが施工管理は容易であるかもしれない。それ以上の初期ボルト軸力を導入することは継手強度からは無意味であろう。本論では継手の剛性に論及していないが、初期ボルト軸力が小さい場合には剛性は小さいことは明らかであり、初期ボルト軸力が接合部の剛性を確保することを忘れてはならない。このような点を見る限り、欧米の引張接合における初期ボルト軸力に対する定め方がやや曖昧のようにもみられるが、妥当であるかもしれない。

4. まとめ

- 1) 初期ボルト軸力の導入は、継手の剛性を保持するために重要である。
- 2) 大部分の継手形状に対し、初期ボルト軸力の導入は塑性崩壊荷重の増大のための役割は小さい。
- 3) 初期ボルト軸力の大きさは、降伏ボルト軸力の 70%程度かそれ以下が好ましい。
- 4) ボルトの締め付けに当っては、初期ボルト軸力を降伏ボルト軸力の 70%以上にすることは、継手の塑性崩壊荷重の低下を招く場合がある。
- 5) σ_y が 235N/mm^2 の場合に 48mm 、 450N/mm^2 の場合に 35mm 以上のフランジ厚を用いても崩壊荷重は増加しない。
- 6) ボルトの締め付けに当っては、摩擦接合と引張接合の挙動の違いを認識しておくことが重要である。
- 7) 接合部の終局状態における強度及び剛性に対する実験的研究成果の積み上げはきわめて重要である。

参考文献

- 1) T 継手の崩壊挙動と設計 西脇威夫 (土木学会論文集投稿中)

$$t_{sep\ 31} = d_n \sqrt{\pi \frac{\sigma_{by}}{\sigma_y} \frac{b}{w}} \quad (7)$$

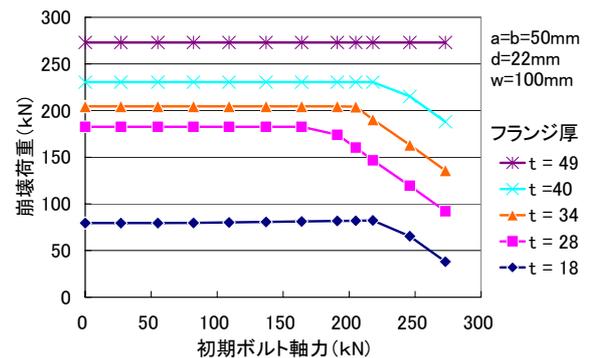


図-3 崩壊荷重と初期ボルト軸力
($\sigma_y=245\text{N/mm}^2$)

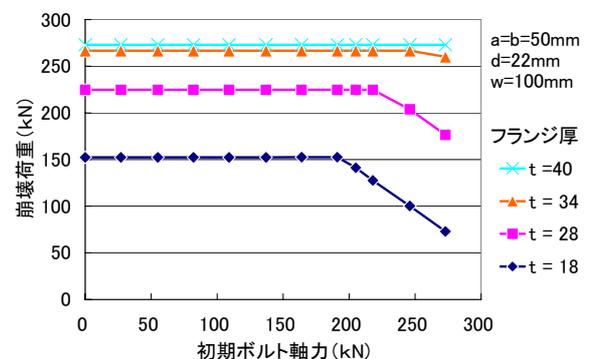


図-4 崩壊荷重と初期ボルト軸力
($\sigma_y=450\text{N/mm}^2$)