

高力ボルト摩擦接合継手のすべり以後の支圧変形量と残存摩擦力の定量的評価

JIPテクノサイエンス株式会社 正会員 ○戸田 圭彦

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀

株式会社駒井ハルテック 正会員 直江 康司

株式会社駒井ハルテック 正会員 岑山 友紀

1. まえがき

我が国では鋼道路橋の高力ボルト摩擦接合部は、道路橋示方書¹⁾に従って、主すべりと部材降伏に対して安全となるように設計が行われている。他方、海外の設計基準^{2,3)}では、摩擦接合継手を使用限界状態ではすべり抵抗に対して、終局限界状態では支圧抵抗あるいはボルトのせん断抵抗に対して設計することが可能となっている。したがって、限界状態設計法への移行が検討されている我が国でも、そのような限界状態に対しても設計が可能であることが望ましい。しかし、現行の我が国の高力ボルト支圧接合の許容支圧応力度の値に安全率を考慮してそのまま支圧抵抗に反映させた場合、我が国の許容支圧応力度が諸外国のそれに比べ、安全側に設定されているために、すべり後耐力を大きくとることができない。また、これまで高力ボルトの残存軸力が支圧耐力を上昇させることは知られているが、その定量的な評価は行われていない。

そこで本稿では、1行1列高力ボルト摩擦接合継手の支圧変形測定試験を行い、その支圧耐力について、ボルト孔変形の視点から議論している。

2. 支圧変形測定試験

図-1に示す1行1列摩擦接合継手の実験供試体に対

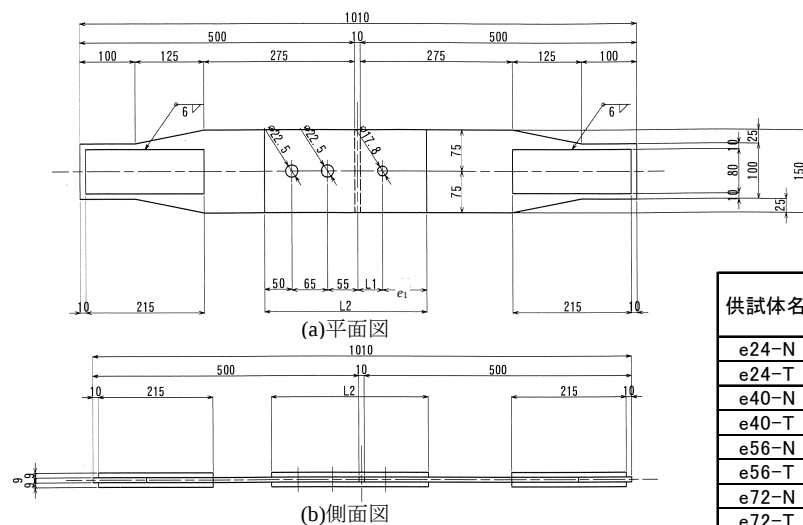


図-1 実験供試体 (単位: mm)

して引張試験を行い、その支圧変形を測定した。高力ボルトは M16(F10T)を使用し、母板、連結板ともに SM400A 材を用いた。材料試験から得られたそれらの機械的性質を表-1に示す。供試体では縁端距離 e_1 と初期軸力を表-2に示す通り変化させている。Tタイプでは、初期軸力を設計軸力 105kN とし、ひずみゲージにより管理した。Nタイプは手締めとしている。

表-2に実験より得られたすべり荷重と最大荷重を示す。最大荷重は $e_1/d=1.5$ である e24 シリーズの場合に Tタイプが Nタイプの 1.1 倍となっている他は、初期軸力による顕著な耐力の上昇は認められない。

3. 各国の設計基準との比較

図-2および図-3に設計基準に着目した支圧応力-縁端距離関係を示す。支圧応力と縁端距離はそれぞれ支圧を受ける接合部材の降伏応力とボルト軸径によって無次元化している。参照した設計基準は、道路橋示方書、鉄道標準⁴⁾、日本建築学会⁵⁾、AASHTO, Eurocode, さらに AISC が参考にしている Kulak ら⁶⁾の研究成果である。また、支圧変形が軸径に対して X%変形した時点での公称支圧応力を X%変形支圧応力 σ_X と定義し、 σ_{10} , σ_{30} , σ_{50} をプロットした。

AASHTO, Eurocode の支圧耐力を満たしていれば、支

表-1 鋼材の機械的性質

鋼種	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
SM400A	212589	0.3	302	468

表-2 実験供試体の内訳と結果のまとめ

供試体名	初期軸力 (kN)	e_1 (mm)	d (mm)	e_1/d	すべり荷重 (kN)	最大荷重 (kN)
e24-N	0	24	16	1.5	0	111
e24-T	105	24	16	1.5	123	129
e40-N	0	40	16	2.5	0	187
e40-T	105	40	16	2.5	133	192
e56-N	0	56	16	3.5	0	239
e56-T	105	56	16	3.5	133	236
e72-N	0	72	16	4.5	0	239
e72-T	105	72	16	4.5	142	249

e_1 : 縁端距離, d : 公称ボルト軸径

キーワード 高力ボルト, 摩擦接合, 支圧限界

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系 橋梁工学分野 TEL06-6605-2765

圧変形量はおよそ軸径の30%程度に抑えられる。一方、道路橋示方書の許容支圧応力度は、支圧変形量を軸径の10%も許容していない。

軸力を導入した摩擦接合では、さらに変形は抑えられている。図-4に例として $e_1/d=3.5$ の荷重-支圧変形関係を示す。Tタイプの支圧変形量は主すべりによるすべり変位を除去している。同じ支圧変形時のNシリーズとTシリーズには荷重の差が見て取れ、その差は主に作用している摩擦力の差であると考えられる。図-5に摩擦力の差と縁端距離との関係をまとめた。これによると、主すべり後、支圧状態となった時点では最大で40%以上の荷重を摩擦力が保持しているが、支圧変形が増えると、次第に摩擦力は減少していく。これは、ボルト孔の広がりなどによる軸力抜けと、摩擦面が削れてすべり係数が低下することが原因であると考えられる。さらに、初期軸力がないNタイプでも、支圧変形により板厚が増加するに従って軸力が導入されるため、結果として両者の差は小さくなると考えられる。実験結果によると、支圧変形が軸径の30%に達した時点では、初期軸力を導入した場合にいずれの縁端距離でもその耐力は1.1倍に上昇している。

4. まとめ

本稿では、1行1列高力ボルト摩擦接合継手の支圧変形測定試験を行うことで、限られた条件ではあるものの、すべり後の残存摩擦力を定量的に評価することを試みた。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) AASHTO, Eurocode で規定されている支圧耐力は、支圧変形量はおよそ軸径の30%程度に抑えられる。一方、道路橋示方書で規定されている許容支圧応力度では、支圧変形量は10%以下となる。
- 2) 初期軸力がある場合、支圧へ移行した時点では最大で40%以上の荷重を摩擦力が保持しているが、支圧変形が増大すると、次第に初期軸力のない供試体との差は小さくなり最終的にはほぼ0となる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編 II 鋼橋編，2002。
- 2) AASHTO：LRFD Bridge design specifications, -2005interim revisions, Washington,D.C., 2005。
- 3) European Committee for Standardization (CEN)：Eurocode 3, Design of steel structures, Part1.8, Design of joints, EN 1993-1-8, 2005。
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説-鋼・合成構造物，丸善，2009。
- 5) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2006。
- 6) G. L. Kulak, J. W. Fisher, J. H. A. Struik：Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints Second Edition, AISC, 1987。

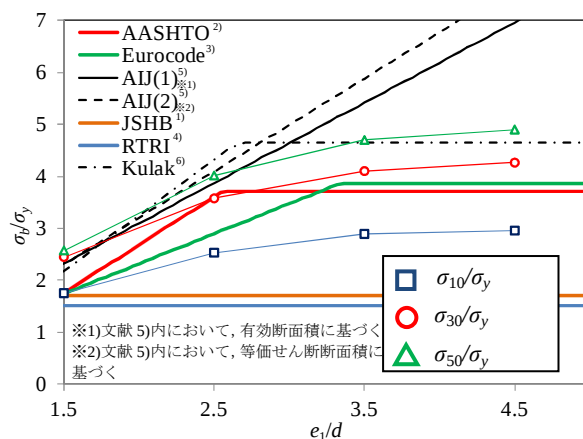


図-2 孔変形に着目した限界支圧応力と設計基準の比較 (Nタイプ、軸力なし)

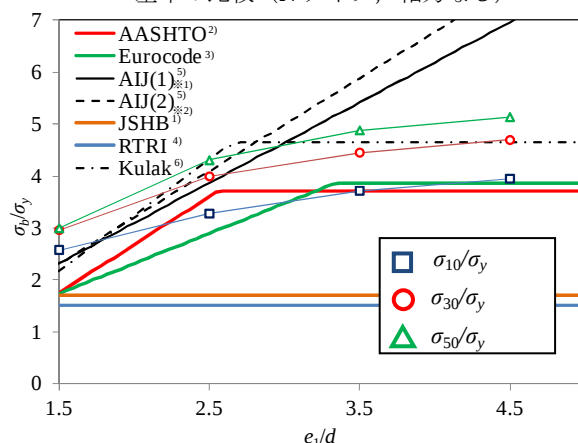


図-3 孔変形に着目した限界支圧応力と設計基準の比較 (Tタイプ、軸力あり)

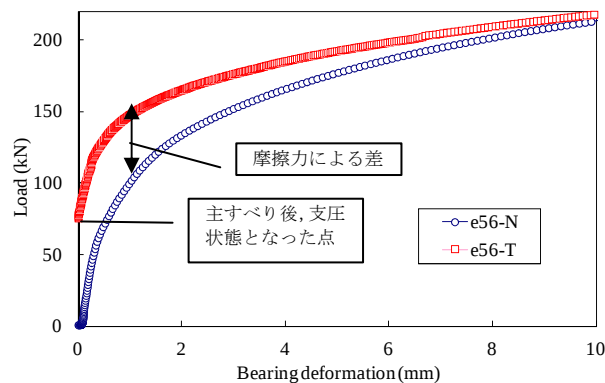


図-4 e56-Nおよびe56-Tの荷重-支圧変形関係

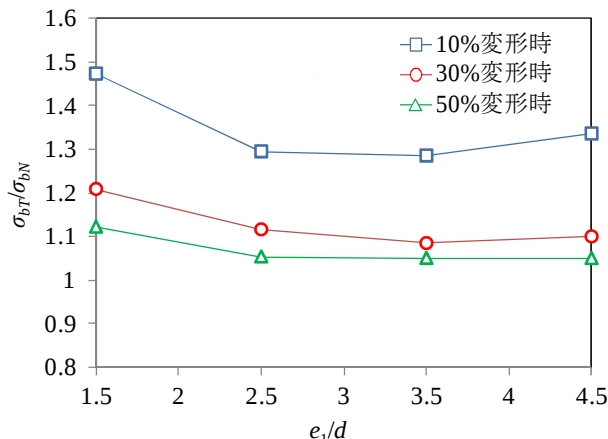


図-5 初期軸力の導入による限界支圧耐力の上昇割合と縁端距離の関係