

大阪大学大学院 学生員○池端文哉 大阪大学工学部 正会員 亀井義典
大阪大学工学部 正会員 西村宣男

1. まえがき

現在、我国の土木分野における鋼構造設計法の書式が許容力度設計法から限界状態設計法へと移行しようとしている。設計法の移行に際し、高力ボルト摩擦接合継手に関しても我国の技術水準を考慮した、各種限界状態の系統的な見直しが必要である。本研究では、高力ボルト摩擦接合継手を対象に開発した弾塑性有限変位解析により、母材および添接板の降伏強度、母材・添接板間のすべり強度をパラメータとして解析を行った。そしてこれらの諸元が継手の挙動に対して与える影響について考察を行い、継手の限界状態をすべり限界、降伏限界に着目し、体系的に評価した。

2. 解析手法と解析モデル

高力ボルト摩擦接合継手の限界状態はすべり強度と母材降伏強度の比により大きく影響されることが知られている。また、添接板と母材の降伏強度の比は継手の剛性および破壊形態に影響を与えることが考えられる。そこで、解析モデルに対するパラメータとして、すべり強度・母材降伏強度比 $\beta (=N_{SL}/N_{FTn})$ および添接板・母材降伏強度比 $\gamma (=N_{SLn}/N_{FTn})$ を用いる。ここに、 N_{SL} はすべり強度、 N_{FTn} は母材純断面降伏強度、 N_{SLn} は添接板純断面降伏強度各々の公称値である。図-1に、鋼I形断面主桁摩擦接合継手部フランジの実績調査から算出した β および γ の分布を示す。解析モデルとしては、実績調査の分布を反映して、 β の値を0.6~2.0の範囲、 γ の値を0.8~2.0の範囲とする。 $\gamma=2.0$ のモデルをSシリーズとして γ を0.2間隔で変化させ、順にT, U, V, W, X, Yシリーズとし、各シリーズで β を0.2間隔で変化させた合計56モデルを解析する。図-2に解析モデルの概要を示す。解析モデルとしては極力簡易なモデルを考え、高力ボルト片側1行2列の2面せん断継手で統一し、板幅を一定に母材および添接板の板厚を変化させることにより解析パラメータ β 、 γ の値を設定した。図-3に要素分割図を示す。解析対象は、継手の対称性を利用し、継手全体の1/8モデルとし、継手端部に強制変位を与える。鋼板の接触面にはジョイント要素²⁾を用い、母材と添接板、添接板と座金の全接触面に導入する。

3. 解析結果

図-4に(a)Sシリーズおよび(b)Wシリーズの荷重-全伸び関係を示す。図中のマークは、それぞれの荷重-全伸び関係に対応した主すべり発生時および母材純断面での降伏時を表す。以下、主すべり発生時の荷重をすべり限界として P_{SL} 、母材および添接板純断面での降伏荷重を降伏限界として各々 P_{FTn} 、 P_{FTn} で表し、これらの強度を強度限界と称する。 β が0.6と小さい継手では、母材が弾性範囲内の健全な状態で主すべりが発生する。このような継手に対しては、すべり限界 P_{SL} を強度限界とする。一方、 β が2.0と大きい継手では、降伏強度 N_{FTn} に比べて、すべり強度 N_{SL} に余裕があるため、すべり強度 N_{SL} に達する以前に最外ボルト列の純断面において全断面降伏に達する降伏先行型の継手となる。降伏において母材が支配的な場合、挙動的には部材一般部と同様な傾向を示す。このような継手に対しては、母材の降伏限界 P_{FTn} を強度限界とする。 β が0.6から2.0へと変化していくにつれて、すべり先行型の継手から、降伏先行型の継手へと変化するが、これらの遷移的な領域に

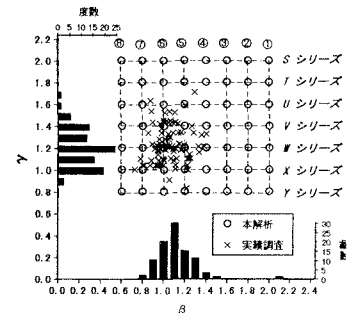


図-1 鋼I桁フランジの実績調査と解析モデルの β 、 γ の分布

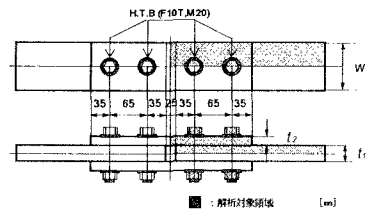


図-2 解析モデル

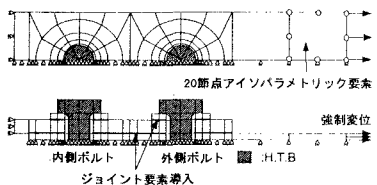


図-3 要素分割図

属する継手では、降伏と部分すべりが連成する。母材の外側ボルト列および添接板の内側ボルト列の純断面における初期降伏に伴い、その周辺で部分すべりが顕著となり、徐々に接触面における伝達力の分担は最外ボルト列付近から両ボルト列間に移行し、やがて主すべりが発生する。 γ の値により、母材と添接板の降伏の程度は異なるが、モデルS5($\beta=1.2$, $\gamma=1.2$)では、母材が外側ボルト列の純断面で降伏に達した後主すべりが発生しており、上述した継手の特徴を表している。

4. 限界状態区分

図-5において本解析モデルの範囲に対して限界状態の区分を行った。図中の実線は解析結果が遷移領域に属したモデルを結ぶものであり、破線はすべり先行領域と遷移領域、遷移領域と母材降伏先行領域の境界を模式的に表したものである。

β の値によりすべり先行領域、遷移領域、母材降伏先行領域を区分すると、すべり先行領域は $\beta=1.4$ 以下の範囲、母材降伏先行領域は $\beta=1.4$ 以上の範囲、またその間の遷移領域は $\beta=1.4$ を境に ± 0.2 の範囲で分布し、 $\gamma=2.0$ の付近では $\beta=1.2$ 寄りの値、 $\gamma=0.8$ 付近では $\beta=1.6$ 寄りの値になると推定される。

図-6では本解析モデルの範囲において強度限界の評価を行った。縦軸は強度限界 P_{SL} または P_{FTn} を純断面降伏強度 N_{FTn} で無次元化した値、横軸は β である。図中の曲線は解析による強度限界を γ の値により分類し評価したものであり上から順に $\gamma=2.0 \sim 1.0$ である。図中の直線はすべり強度の公称値 N_{SL} を N_{FTn} で無次元化した値であり、これにより強度限界とすべり強度の比較を行う。また図中には著者ら³⁾、建設省土木研究所⁴⁾、および辻岡・脇山⁵⁾による実験結果を加えてプロットした。 $\beta=1.4$ 以下のすべり先行および遷移領域の継手に対しては、現行の設計規準値であるすべり強度の公称値 N_{SL} に対して強度限界を P_{SL} で評価する。 $\gamma=2.0$ と添接板の降伏強度が母材に比べて大きく添接板の補剛効果が期待できる継手では、 P_{SL} は公称値 N_{SL} に比べ5割以上大きく、現行の規準値に対し余剰耐力を有する。しかし、 γ の値が1.8, 1.6と小さくなるにつれ P_{SL}/N_{FTn} は N_{SL}/N_{FTn} を表す直線に近づく値となり、 $\gamma=1.2$ で P_{SL}/N_{FTn} は N_{SL}/N_{FTn} にほぼ一致する。 $\beta=1.4$ 以上の母材降伏先行領域および遷移領域の継手に対しては、母材の降伏強度 N_{FTn} に対して強度限界を P_{FTn} で評価する。 $\gamma=2.0 \sim 1.6$ と添接板の降伏強度が母材に比べて大きく添接板による補剛効果が大きい継手では、 β の値に関わらず P_{FTn}/N_{FTn} は N_{FTn}/N_{FTn} に対し5割以上上回る値となり、母材の降伏強度に対して大きく余剰耐力を有する。 $\beta=1.6 \sim 1.4$ の範囲では γ が小さくなるに連れ、 P_{FTn} は低下するものの、 $\gamma=1.0$ のモデルにおいても P_{FTn} は N_{FTn} に対し3割以上の余剰耐力を有する。

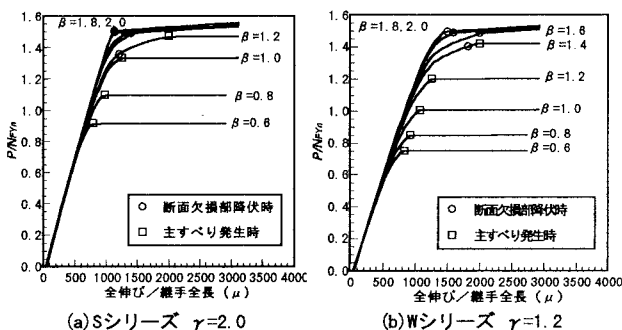


図-4 荷重-全伸び関係

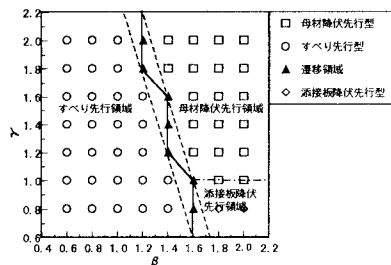


図-5 限界状態区分

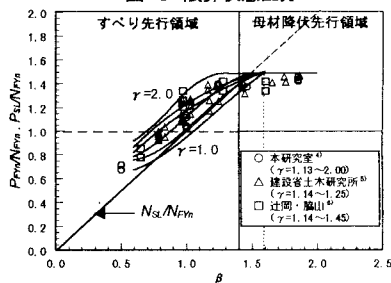


図-6 強度限界の評価

参考文献

- 1) 亀井義典・池端文哉・西村宣男：高力ボルト摩擦接合継手の限界状態区分に関する解析的研究，土木学会論文集（投稿中）
- 2) Nishimura, N., Kamei, Y., and Ikehata, B.: Analysis of HSFG Bolted Joints Considering Local Slip, TECHNOLOGY REPORTS OF THE OSAKA UNIVERSITY, Vol. 46, No. 2257 pp. 227~236, 1996. 10.
- 3) 建設省土木研究所：高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査，土木研究所資料第1871号，1982. 9.
- 4) 駒井鉄工（株），大阪大学土木構造研究室：高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態に関する実験報告書，1994. 2.
- 5) 辻岡静雄ほか：多列高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 40B, pp. 495~500, 1994. 3.