

厚板鋼板に用いた超高力ボルト摩擦接合継手の力学的挙動に関する解析的研究

東京都市大学大学院 学生会員 ○臼倉 和也
元東京都市大学大学院 吉池 主
東京都市大学教授 フェロー会員 増田 陳紀

1. はじめに

鋼構造物の接合法において、高力ボルト摩擦接合は、応力の流れが円滑で継手の剛性が高く疲労に強い優れた接合であり、これまで数多くの鋼構造物に用いられてきた。近年、鋼橋の設計、および維持管理の様々な点に対して信頼性の向上やコスト縮減を目的とした合理化が求められている。この手段として、高力ボルトをさらに高強度化し、ボルト本数の低減を図った超高力ボルト摩擦接合継手の採用¹⁾が考えられている。

そこで、本研究では現在、鋼構造物への採用が強く望まれている超高力ボルト摩擦接合継手に着目し、これを採用することで合理化が図れるとされている厚板を対象とする。超高力ボルトに導入される高軸力、ボルト孔周辺の応力分布、降伏進展状況、接触圧などが継手強度にどのような影響を与えるのか、厚板鋼材での力学的挙動をFEM解析により把握することを目的とする。なお、摩擦接合継手がすべり限界を超えて载荷されると支圧状態に移行し、摩擦接合とは異なる荷重伝達メカニズムとなるため、本研究では、【すべり発生までの継手挙動】を対象としている。

2. 構造詳細・規定

摩擦接合継手の設計に用いる式や、限界区分について、「高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案）²⁾」（以下、指針とする）に準拠し、本研究で用いる諸量を述べる。本研究ではJIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」を用いている。呼び径+2.5mmが標準ボルト孔径であると規定されており、ボルト径M22を用いるため、ボルト孔径は24.5mmとした。ボルトの標準最小中心間隔は、M22で75mmとされており、本研究でもこの値を用いた。本研究では、指針にある標準試験片や既往の文献を参考に、縁端距離は55mmとした。

摩擦接合用高力ボルトの設計ボルト軸力は式（2）により算出する。表-1に本研究で使用するF10T高力ボ

ルトおよびF14T、F18T超高力ボルトの設計ボルト軸力を示す。なおF14Tは大臣認可を受けたSHTBとし、F18Tは既往の文献を参考にF10Tとの強度比に基づき、標準値とした。すべり/降伏耐力比 β は、継手のすべり耐力を純断面積で算出した母材公称降伏耐力で除した値である。継手形状を決定する重要な値となる。解析手法の妥当性検討モデルに対し、 $\beta=1.01$ 、本解析モデルに対し、 $\beta=0.64$ 、 $\beta=0.58$ 、 $\beta=0.43$ 、 $\beta=0.38$ 、となるように継手形状を設計した。連結板の特性もすべり強度に大きく影響することから、連結板の降伏強度の公称値と母材の降伏強度の公称値との比 γ がほぼ一定となるように、連結板の板厚を調整して設定している。

$$N = \alpha \cdot \sigma_y \cdot A_{be} \tag{2}$$

N : 設計ボルト軸力[kN]
 α : 降伏点に対する比率 F10T: 0.75
 σ_y : ボルトの降伏耐力[N/mm²]
 A_{be} : ねじ部の有効断面積[mm²]

表-1 高力ボルトの設計ボルト軸力の標準値

セット	ねじの呼び	α	σ_y (N/mm ²)	A_{be} (mm ²)	N(KN)
F8T	M22	0.85	640	303	165
F10T	M22	0.75	900	303	205
F14T	M22	0.75	1260	316	299
F18T	M22	0.75	1620	303	367

3. 解析モデル

解析モデルの妥当性検討のため、文献³⁾を参考としモデル化を実施した。

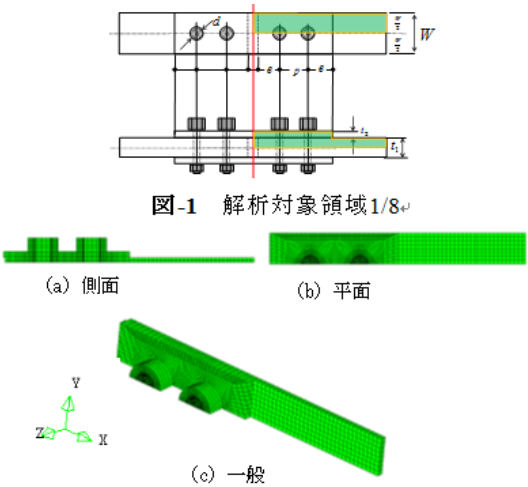


図-2 解析モデル概要

キーワード：超高力ボルト 摩擦接合継手 FEM解析 厚板鋼板
連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL：03-5707-0104

解析モデルは対称性を考慮した 1/8 モデルで座金については省略し、ボルトヘッドの直径を座金の直径 44mm と同じものとしてモデル化した。用いた要素は、母材と連結板に対して、8 節点 Solid 要素、高力ボルト部分は 8 節点 Solid 要素および円中心部分に 6 節点 Solid 要素を使用した。母材と連結板との接触面には、境界非線形性を考慮するために Interface 要素を挿入した。

4. 解析条件

荷重条件および解析方法は、Step 1 でボルト下端面に対し、ボルト軸力が初期ボルト軸力になるように強制変位を与え、Step 2 で母材端部に強制変位制御による引張力を与えた。

解析モデルを12ケース(図-3の10t-19~18t-75)作成し、初期ボルト軸力導入時の母材および連結板の状況や接触圧について検討を行った。連結板と母材に用いた SM490Y に関しては、全12ケースで板厚および板幅を変化させて設計を行ったため、板厚に応じた鋼材の公称降伏点の最小値を設定している。

5. 解析結果—主すべり発生時の相当応力

主すべり発生時における母材の上面および母材および連結板の幅方向中央断面の相当応力分布状態を、ケースごとに上下に並べて図-3に示す。(各鋼材の板厚に応じた公称降伏耐力を100%として表示) ケース名は「使用ボルト - 母材厚」を表わしている。ボルト孔周辺に降伏領域がみられるケースは、Case14t-50, Case14t-75, Case18t-50, Case18t-75と厚板かつ超高力ボルトであることがわかる。したがって、厚板であることで接触圧が分散され、かつ高軸力がボルトにかかりボルト孔周辺で局所降伏が発生し、ボルト軸力が低下することで主すべりが発生したと考えられる。50mm以上の厚板のケースは、すべり耐力に対して母材および連結板の降伏強度が余裕のある設計となっているため、比較的荷重を受け持つ割合が大きいと考えられる母材の外側ボルト列および連結板の内側ボルト列においても、母材の局所的な降伏が発生せず、母材が健全な状態で主すべりが発生している。高軸力のケースほど板厚が増加しているが、それほどの影響はなく、高応力領域が広がっている。しかし、 β 値がすべり先行型の値であることから特に母材に降伏領域はみられず、主すべりが発生している。

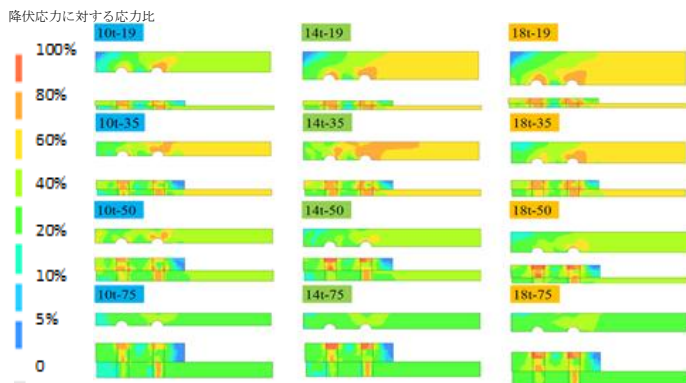


図-3 主すべり発生時の相当応力コンター図

6. 考察とまとめ

a) 母材板厚による影響

- ・板厚増加とともに面方向の相当応力分布が平滑化し、ボルト孔周辺での母材の応力は減少する。

- ・厚板ほど、 β 値が減少するため、母材の局所降伏が発生せず、母材が健全な状態で主すべりが発生する。そのため、主すべり発生後も大きな余剰耐力をもったまま支圧状態に移行する。

- ・板厚増加とともにすべり荷重が減少する傾向がみられ、50mm以上では、すべり耐力に対して母材および連結板の降伏強度に余裕があるため、減少が顕著となる。

b) ボルト軸力による影響

- ・応力分布の重なり合いは、F10Tでは独立しているが、F14Tでは50mm以上、F18Tでは19mm以上で重なり合う。その結果、厚板の場合でも同じボルト本数でより強力な摩擦抗力を有する摩擦面をもつ継手として機能する。

- ・薄板に超高力ボルトF18Tを用いると、ボルト孔周辺の局所降伏が影響し、主すべり時のボルト軸力残存率は大幅に低下する。

- ・高軸力ほど、すべり係数が低下していく。

c) まとめ

超高力ボルトを厚板に使用することで少ない本数でも高い継手強度が得られることを確認できた。なお、連結板の板厚によっては初期軸力導入時に降伏領域が発生することから連結板の板厚にも留意した設計が必要であることは当然である。

参考文献

- 1) 木村勇次, 秋山英二, 津崎兼彰: 超高力ボルトの創製と機械的特性, 鋼構造論文集第14巻第54号, pp.121-127, 2007.6.
- 2) 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 鋼構造シリーズ 15, 丸善, pp.1-80, 2006.12.
- 3) 山口隆司, 森猛, 橋本国太郎: 高力ボルト摩擦接合継手のすべり強度/降伏強度比とすべり係数に関する検討, 構造工学論文集 Vol.51A, pp.1737-1748, 2005.3.