

過大孔を考慮した高力ボルト接合部のはしあき破断耐力に関する研究

214-047 小櫻 吉裕

1. はじめに

高力ボルト接合形式ができて以来、多くの建設現場で採用されている。高力ボルト接合は現場の環境条件に左右されずに施工でき、高い品質が保持できる。しかし高力ボルト接合を用いた場合、その接合部に対する耐力計算が煩雑になる。本論文ではボルト接合部の数種類の破断形式のうち、はしあき破断についての検討を行う。過大孔を有するケースを含め、接合部の最大耐力を検討するため数値解析を行い、既存の評価式との比較を行い評価式で仮定した破断モードなどについて検討する。

2. 既存の評価式

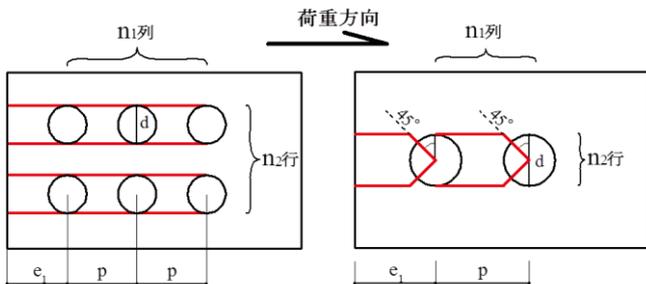
「鋼構造接合部設計指針」による評価式を式(1)、「建築構造理論と設計」による評価式を式(2)とし、それぞれのはしあき破断機構を図1に示す。どちらの式も n_1 行 n_2 列高力ボルト接合モデルである。 A_{nt} は引張応力が作用する有効断面積で、はしあき破断の場合は0となる。 A_{ns} はボルト孔欠損を無視したせん断有効断面積、 A_{se} はボルト孔欠損部分を考慮した等価せん断断面積である。

$$P_{u1} = (A_{nt} + 0.5A_{ns})F_u \quad (1)$$

$$P_{u2} = (A_{nt} + A_{se}/\sqrt{3})F_u \quad (2)$$

$$A_{ns} = 2n_2\{(n_1 - 1)p + e_1\}t$$

$$A_{se} = 2n_2[(n_1 - 1)\{p - (\sqrt{2} - 1)d\} + (e_1 - (\sqrt{2} - 1)/2d)]t$$



式(1)の破断モード

式(2)の破断モード

F_u : 引張強度 p : 応力方向のボルトピッチ

e_1 : はしあき距離 t : 被接合材の板厚

d : ボルト孔径

図1 接合部のはしあき破断機構

3. 解析概要

汎用解析ソフト Abaqus を用いて数値解析を行った。解析モデルについては図2のような高力ボルト2面せん断型摩擦接合形式の単純引張モデルを作成し、解析を行った。モデルは2行2列の高力ボルト接合部である。また解析時間短縮などの目的で、対称性を考慮して解析モデルを図示の対称軸に対して半分にした。被接合材の母材はSS400材の真応力-真ひずみを使用した弾塑性体と

し、添え板は弾性体とした。板厚に関しては母材を15mm、添え板を9mmとした。高力ボルトに関しては、F10TのM16を用いて弾性体と設定した。また最大耐力時のボルト接合部の残留摩擦力の影響を除去するため、高力ボルトには初期張力を導入していない。解析モデルの拘束条件については、図示モデルの添え板端部を固定端とし、下端部に対称条件に対応する境界条件を付け母材の右側端部に対して引張荷重を加えた。解析に使用した接触面の静摩擦係数は0.45、鋼材のヤング係数は205kN/mm²とした。ボルトピッチとはしあき距離は40mmで固定値とし、ボルト孔径を変数として18~22mmに設定し過大孔を考慮した計5モデルを作成して解析を行った。

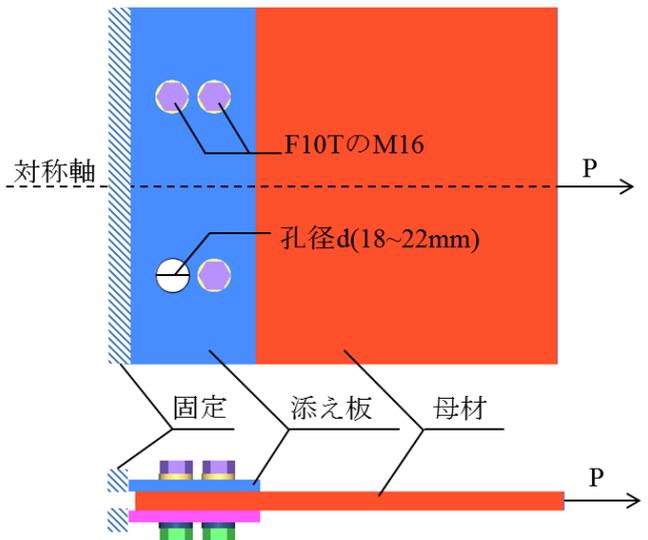


図2 解析モデル

表1 各モデルのボルト孔径及び最大耐力

モデル名	孔径 d[mm]	P_{u1} [kN]	P_{u2} [kN]	P_u [kN]
D18	18	530.8	527.2	539.9
D19	19	530.8	522.4	529.8
D20	20	530.8	517.8	523.0
D21	21	530.8	512.9	507.0
D22	22	530.8	508.2	500.5

4. はしあき破断耐力の評価

既存の評価式(1)と(2)より得られた最大耐力 P_{u1} 、 P_{u2} 及び、数値解析により得られた最大耐力 P_u を表1に示す。数値解析で得られた荷重-変位グラフは図3に示した。表1の値 P_u は図3のグラフから読み取った最大荷重の値である。また今回の解析モデルでは高力ボルトを安定させるため、載荷初期から荷重方向の接触が成立し易いように母材と添え板2枚を交互にずらしてクリアランスを吸収するようにした。図3に示すように5モデルともグ

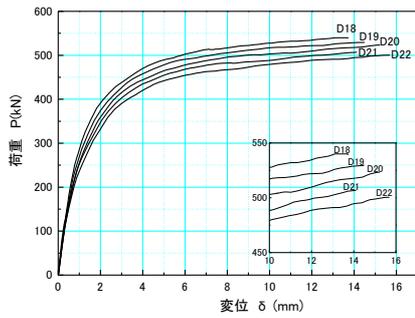


図3 荷重-変位グラフ

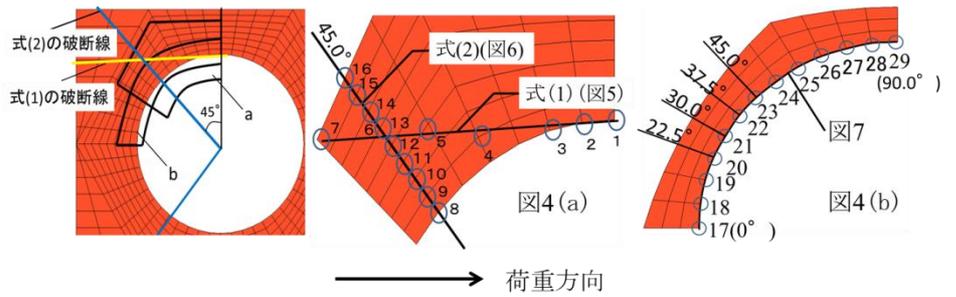


図4 母材の周辺要素と要素拡大図(a,b)

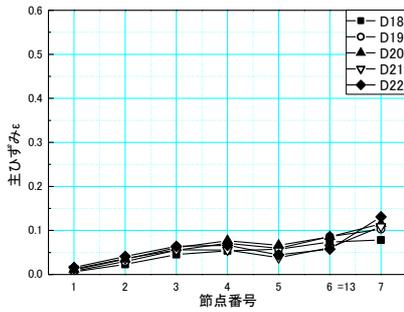


図5 式(1)の主ひずみ分布

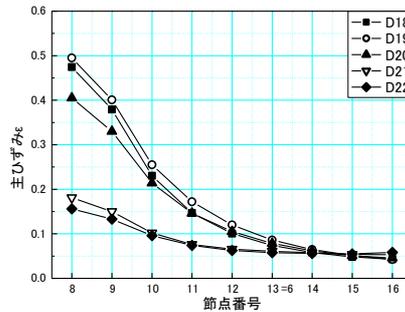


図6 式(2)の主ひずみ分布

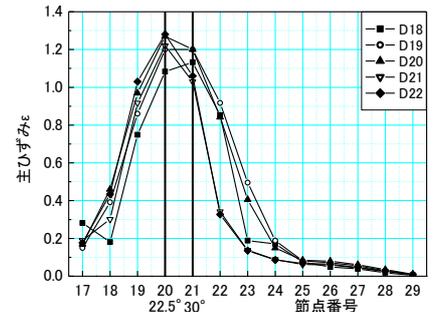


図7 0度~90度の主ひずみ分布

ラフは明確な弾塑性性状を示しており、大きな変形を経てから最大耐力に至った。まず既存の評価式(1)と評価式(2)の比較を行うと、式(1)は式(2)より最大耐力を大きく算出している。その差は約1%~5%程度になっている。標準孔径のケースでは両者がほぼ同様の耐力評価値となるが、過大孔の場合では孔径が大きくなれば評価方法による差が大きくなる傾向が見られた。評価式(1)に対して数値解析の結果と比較すると、標準孔に対して安全側の評価になっているが、孔径が過大になると過大評価へ変化していく傾向がみられた。一方、ボルト孔45度破断線に基づく評価式(2)の評価値については、ボルト孔径の小さいケースでは良い精度を示しているが、過大孔の場合では危険側の評価へ変化する傾向が見られた。

5. ボルト孔近傍の45度破断線に対する検討

はしあき破断耐力を算出する評価式(2)は、はしあき破断線がボルト孔中心から45度の角度で広がっていくと仮定している。その45度の破断線がどの程度明確に確認できるかについて、ひずみの分布のデータによる検討を行った。過大孔の場合ではボルトによる支圧力によって破断場所の変化が生じると考えられ、図4に示すボルト孔近傍の要素のひずみに対して解析値で検討する。図中の節点番号は板厚方向1層~3層をまとめたもので、主ひずみ値はその3層分の平均値として扱っている。図4(a)で示すように式(1)と式(2)の破断線近傍の節点を数点とれるように細かい要素分割としている。図4(b)では0度の節点17から90度先の節点29までとして、それらのひずみ分布を図5~図7に示す。図5と図6を比較すると、式(2)の節点のほうが式(1)の節点より全体的に大きい値となり、式(1)の有効せん断面積が実際の破断モードと対

応しておらず、計算値は等価や有効の考え方によって得られた経験値と言える。図6ではボルト孔径が大きくなるにつれて値が低下しており、特にD21、D22モデルがD18~D20モデルに比べひずみレベルの低下が著しく、式(2)の設定した破断ラインからずれていくことが考えられる。このことは図7でも同じ傾向が見られる。図7ではボルト孔径が大きくなるほど、ひずみの最大値が若干大きくなる傾向が見られた。節点20(22.5度)と節点21(30度)で比べるとD18~D19では節点21の方が大きく、D20~D22では節点20の方が大きかった。つまりボルト過大孔では破断する角度が小さくなる傾向が見られた。

6. まとめ

本論文では高力ボルト摩擦接合部のはしあき破断について数値解析を行い、ボルト孔径の設定を過大にしたときの既存評価式の精度や45度破断線やはしあき破断モードがどの程度確認できるのかを検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- 1)式(1)ではボルト過大孔の影響を考慮していないため、最大耐力の評価誤差は過大孔のケースに対してすべて顕著である。式(2)では精度良く評価できており、ボルト孔径が大きくなると耐力の過大評価になることが分かった。
- 2)ボルト孔径が小さい場合では45度に近い角度で破断が生じることが分かった。過大孔のD21、D22モデルで破断線がより小さい角度になる傾向が見られ、耐力の過大評価の一因になっていると考えられる。

参考文献

- 1)井上一郎:建築鋼構造の理論と設計、京都大学学術出版2003.8
- 2)一般社団法人日本建築学会:鋼構造接合部設計指針2012.3 (林研究室)