

1. はじめに

鉄骨構造は設計に基づき材料を決定し、工場で各部材を生産し現場で組み立てを行う構造である。そのためその接合部は建物の構造性能を考えるうえで重要な役割を担っており、構造設計において複雑な挙動を呈すると言える。本論文では接合方法の中でも高力ボルトを利用した接合に着目し、高力ボルト接合時の軸方向の剛性評価を目的としている。具体的には F10T の六角高力ボルトを用いて接合された鋼板の数値解析モデルを作成し、数値解析シミュレーションから初期張力導入時のひずみエネルギーの分布を分析した。その結果から既存の代表的な剛性評価式との比較をし、高力ボルト接合時の被接合体の剛性の有効幅について検討を行う。

2. 既存の評価方法

高力ボルト接合時のボルト軸方向の剛性については従来、明確な評価式は存在しない。しかしながら、便宜的なものとしていくつかの提案¹⁾が行われている。代表的なものとして Rotscher による剛性評価方法²⁾を挙げられる。この剛性評価方法ではボルト頭下部の段差部分から板厚方向へ 45 度の直線をひき、その直線で囲まれた部分を接合板の有効体積とみなし、剛性評価式を導き出している。

$$\frac{1}{K_p} = 2 \int_0^{t_p+t_{wh}} \frac{1}{EA(z)} dz$$

$$= \frac{2}{E\pi d_b} \left[\ln \frac{z + d_h/2 - d_b/2}{z + d_h/2 + d_b/2} \right]_0^{t_p+t_{wh}} \quad (1)$$

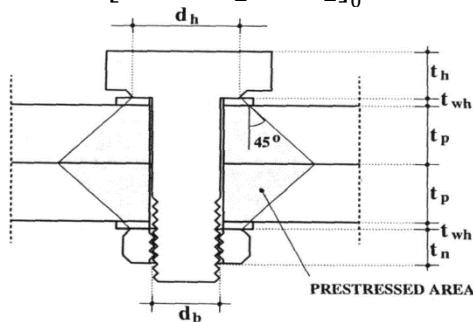


図1 ボルトから接合板に広がる有効体積の線

3. 数値解析

3.1 解析の概要

汎用プリポストシステム HyperMesh を用いて解析モデルを作成し、汎用構造解析ソフト ABAQUS を用いて数値解析を行った。解析モデルは図1のような高力ボルトに2つの鋼板が締め付けられていると想定して、局部的にその接合部分を取り出したものとして、初期張力導入時の解析を行った。円形状に切り出しているのは、初期張力導入時のボ

ルトから鋼板に伝わる力がボルト軸を中心に放射状に伝わるという仮定に基づくものである。また、モデルの対称性から実際に解析を行う部分を全体の 1/4 とした。解析モデルの詳細について図2と表1に示す。数値解析では各部材の材料を弾性体として扱い、初期張力について全体の 1/4 モデルで解析を行うので設計ボルト張力を用いて M20 では 41.25kN、M22 では 51.25kN、M24 では 59.5kN とした。解析モデルのそれぞれの接触面の摩擦については静摩擦係数を 0.45 とし、鋼材のヤング係数は 205kN/mm² と設定し解析を行った。

表1 解析モデル一覽

ボルト	接合板厚t					
	10	12	14	16	18	20
M20	10	12	14	16	18	20
M22	10	12	14	16	18	20
M24	10	12	14	16	18	20

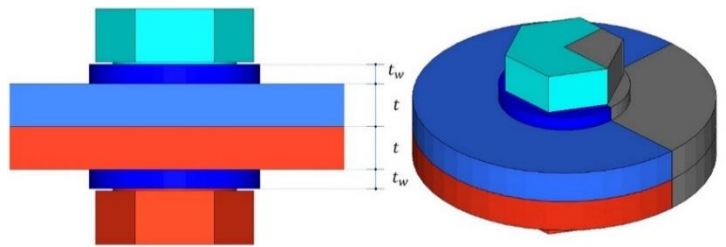


図2 解析モデル寸法の概要

3.2 解析結果

3.2.1 既存の剛性評価式との比較

解析結果から得られる各節点のひずみを用いて各要素のひずみエネルギーを算出してから全体のひずみエネルギーや各層の有効面積や有効幅の検討を行った。図3は M20-20 モデルの解析から求めた有効幅と Rotscher による剛性評価式の有効幅の比較である。図のように解析から求められた有効幅は Rotscher による有効幅と比べて、一般的には小さいものとなっている。このような結果は M20-20 モデルに限らず、後述するすべての解析モデルにおいて同様の傾向が見られた。M20 モデルの接合板の有効幅を図4に示す。図4の横軸はボルト頭部から板厚方向の距離を示している。

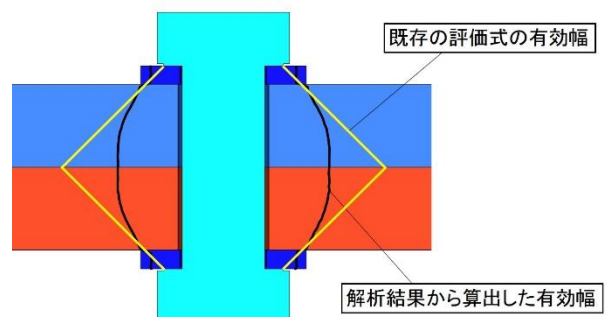


図3 数値解析から得られた有効幅の1例

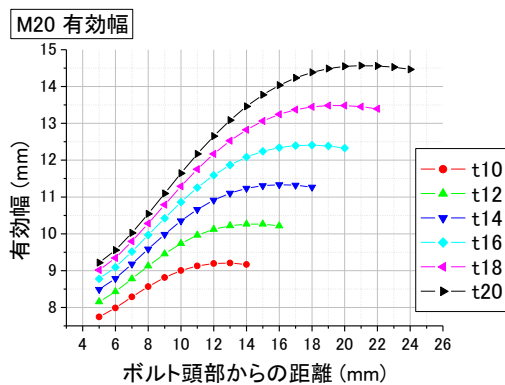


図4 M20 モデルの有効幅

3.3 剛性評価式の提案

本論文では、被接合体の中にワッシャーも含めた有効幅の考え方に基づき剛性評価を行う。図4から分かるように、解析結果から得られた有効幅は既存の評価式とは異なる傾向を示した。解析結果から考えると既存の評価式では有効幅が大きく、解析結果よりも軸方向の接合剛性が過大に評価されることになる。そこで改めて解析結果をもとに有効幅の評価式の提案を行う。図4で示すようにボルト頭からの板厚方向距離が長くなるほど有効幅の増加率が小さくなる。特に板厚方向の中心付近ではその傾向が顕著である。板の厚さによる有効幅の変動傾向を確認するため、被接合体の厚さの割合から見た有効幅を算出した。その結果を図5に示す。横軸は相対距離で、ボルトの頭部からの板厚方向距離が被接合体の厚さに占める割合を示している。

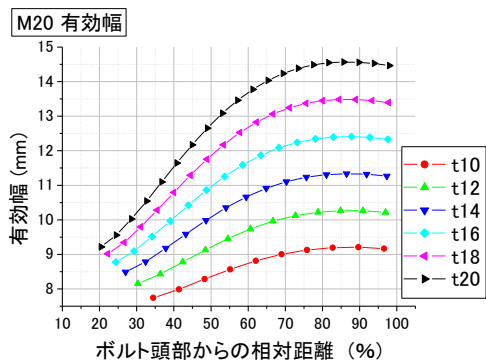


図5 有効幅と相対距離との関係

図5の結果から分かるように有効幅は被接合体の厚さの75%程度の所から大きな変動が見られなくなる。そこで有効幅の提案式について、ボルト頭からワッシャーを含む被接合体の厚さの75%まで一定の増加率とし、そこから先は有効幅が変化しないものと考え、剛性評価式の提案を行う。有効幅の計算式の概要を図6に示す。

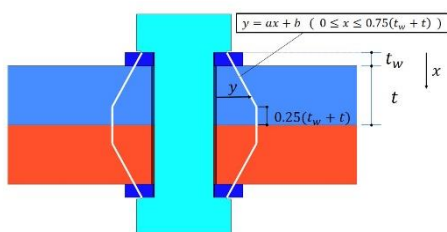


図6 有効幅に対する提案

有効幅に対する評価方法は次の通りである。まず、解析結果から得られた各有効幅から近似直線を求める。次にその傾きや切片について接合板厚による違い、ボルト径による違いを検討し、接合板の厚さやボルト径に対する補正を行うことによって、軸方向の剛性評価式を提案する。提案式の詳細は次に示す。

$$y = ax + b \quad (0 \leq 0.75(t_w + t)) \quad (2)$$

$$a = \alpha_1 t^2 + \alpha_2 t + \alpha_3, \quad b = \beta_1 t + \beta_2 \quad (3-4)$$

$$\alpha_1 = 1.17 \times 10^{-4} d - 0.00337$$

$$\alpha_2 = 2.85 \times 10^{-4} d^2 - 0.0166d + 0.266$$

$$\alpha_3 = 0.0169d - 0.351$$

$$\beta_1 = 0.00675d - 0.0923, \quad \beta_2 = 0.524d - 5.33$$

4. 提案式と解析結果の比較

前章で提案した有効幅の提案式から算出したひずみエネルギーと解析結果から求めたひずみエネルギーの比較を行った。図7はM22モデルの全体のひずみエネルギーの解析値と提案式との比較である。解析値と提案式の誤差は最大で3%程度であり、特定の厚さやボルト径に対して極端に大きな値が表れることはなく、数値解析の結果を精度よく評価できる提案式であると言える。

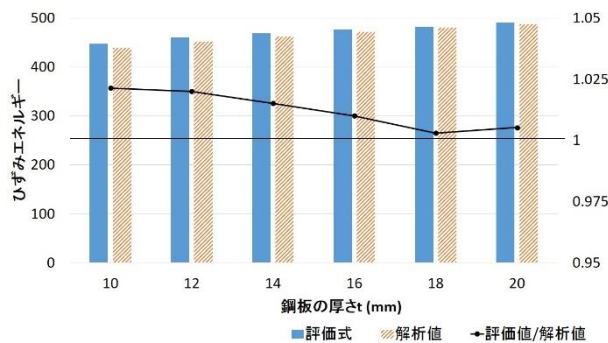


図7 提案式と数値解析結果との比較

5. まとめ

本論文では、高力ボルト接合部の数値解析を通して接合板の軸方向のひずみエネルギーの分布を検討した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 既存の被接合板の剛性評価式との比較を行った結果、被接合板の有効幅は解析から得られた有効幅よりも大幅に大きく、数値解析結果に対して剛性の過大評価となることが分かった。
- (2) 数値解析結果に基づく被接合体の有効幅の評価式を提案した。提案式から求めたひずみエネルギーと解析結果から得られたひずみエネルギーとの比較結果では、概ね良い精度の評価式であると言える。
- (3) 今後の検討課題としては、評価式の簡略化や複数ボルト接合時や上下の被接合板の厚さが異なる場合の評価方法などが挙げられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：高力ボルト接合設計施工ガイドブック，2016
- 2) C faella, V.Piluso, G.Rizzano：STRUCTURAL STEEL SEMIRIGID CONNECTION：CRC Press, 1999