

高力ボルト接合部の軸方向剛性に関する研究

214-096 西本 尚史

1. はじめに

鉄骨構造は各部材を現場で接合し組み立てを行う構造である。多く利用されている接合方法として高力ボルト接合が挙げられる。本論文では接合方法の中でも摩擦ダンパーなどで利用されている高力ボルト接合に着目し、鋼材の穴の形を長孔とし、高力ボルトを中央と端部で締めつけたときの接合部ボルト軸方向の板剛性の評価を目的としている。具体的には F10T 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、有限要素法を用いた数値解析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。その結果から高力ボルト接合時の軸方向剛性に関する有効幅について検討を行う。

2. 数値解析

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、局部的にその接合部分を取り出したものとする。本論文では長孔におけるボルトの締め付け位置をパラメーターとして中央と端部の 2 種類の解析を行った。それぞれのモデル名を center モデル、side モデルとした。解析時間を短縮するため、対称性を考慮したモデル化を行い、図 1 に示すように center モデルは 1/4 モデルとし、side モデルは 1/2 とした。数値解析では材料を弾性体として扱い、初期張力は設計ボルト張力を用いている。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、動摩擦係数は 0.3 とした。鋼材のヤング係数は 205kN/mm^2 と設定し解析を行った。

3. 被接合部材の設定

軸方向剛性の解析に先立ち、被接合部材の設定を行う。板形状が剛性に与える影響に関して、center モデルを用いて検討した。図 2 に被接合部材形状と剛性の比較結果を示す。孔端からの垂直水平距離を一定とした基準となる被接合部材を typeA として、長孔の長さを伸ばした typeB、孔端から材端までの距離をパラメーターとした typeC、D の計 4 体のモデルを比較している。同図で示すように、被接合部材の形状の変化による剛性の誤差は最大で 5% であり、剛性への影響はほとんど無視できると結論づけた。以上のことを踏まえ、本論文では軸方向剛性検討用の被接合部材を typeA とし、ボルトと板厚をパラメーターとした計 9 体の解析モデルを用いて軸方向剛性の検討を行った。表 1 に解析モデルの各パラメーターを示す。

表 1 解析モデル一覧

ボルト	被接合部材厚さ t (mm)		
M20	10	14	20
M22	10	14	20
M24	10	14	20

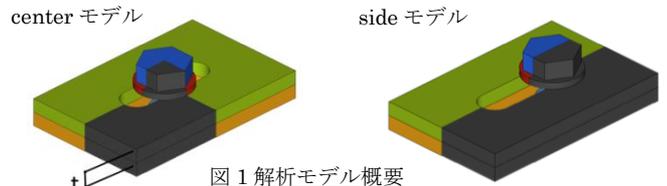


図 1 解析モデル概要

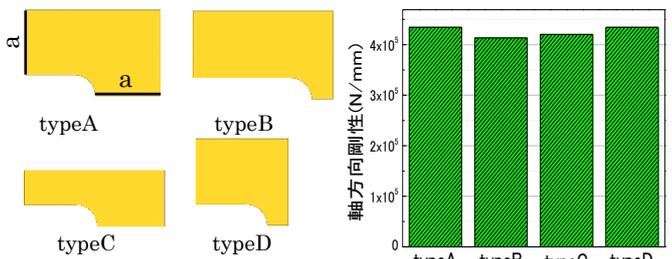


図 2-1 type 別一覧

図 2-2 各 type の軸剛性

4. 解析結果

解析結果から得られる軸方向変位や板厚方向の各層のひずみエネルギーなどから有効体積、有効幅、軸方向剛性を算出し、ボルト位置の違いが被接合部材にどのように影響を与えるのか検討を行った。図 3 は center モデルと side モデルの各層ごとの剛性を比較したものである。side モデルの剛性は、center モデルに比べ約 30% 高くなる。孔の形が単独ボルト孔である丸孔と長孔の剛性の比較を行った場合、図 4 に示すように長孔の剛性が丸孔の剛性に対して最大約 50% 低下する結果が得られた。

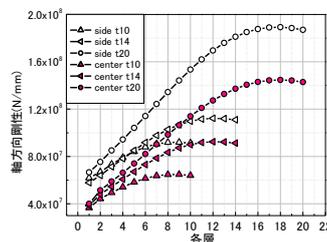


図 3 剛性比較(M22)

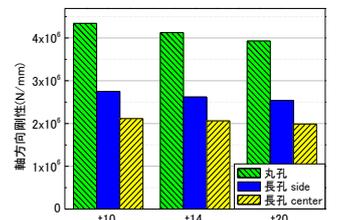


図 4 丸孔と長孔の剛性比較(M22)

5. 剛性評価式の提案

本論文では、被接合部材の中にワッシャーも含めた有効幅の考え方にに基づき剛性評価を行う。図 5 及び図 6 は M22 モデルの解析結果を示す。図 5-1、図 6-1 は各層の有効幅のグラフを示す。center モデル、side モデル共に有効幅の増加量は被接合部材の厚さの 75% までが一定の増加率となり、その後は変化しないことが分かる。これは前報の文献¹⁾と同様の結果である。図 5-2 及び図 6-2 はボルトが被接合部材に接触している範囲で力がどのよ

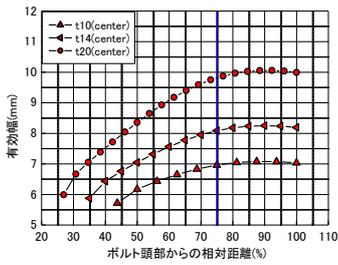


図 5-1 有効幅(center)

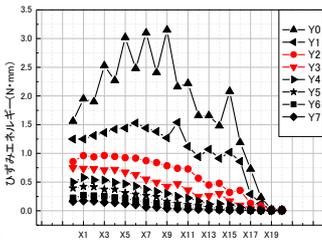


図 5-2 エネルギー分布(center)

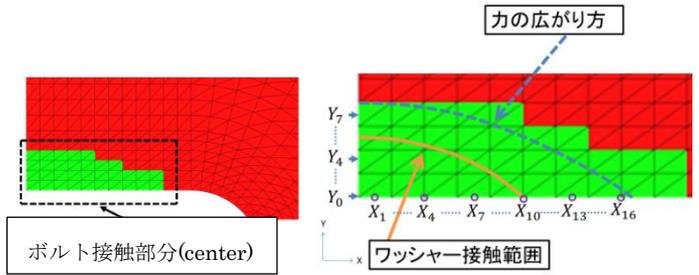


図 5-3 有効断面範囲

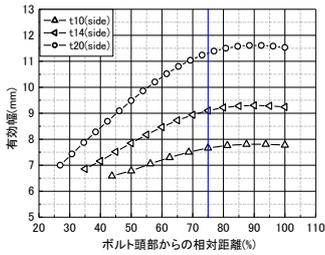


図 6-1 有効幅(side)

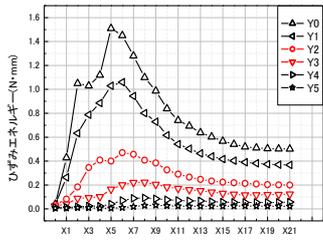


図 6-2 エネルギー分布(side)

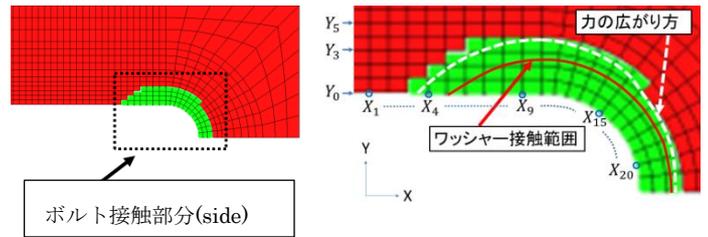


図 6-3 有効断面範囲

うに伝達されているのかをグラフに示している。図 5-3、図 6-3 には同図から得られた力の伝達範囲を示す。上記の結果を踏まえ、有効断面積を仮定し、解析から得られた有効断面積との比較から提案式の検討を行った。

・ center モデル

$$A_c = \frac{\pi r^2}{4 \tan \theta}$$

$$r = \left(\frac{B}{2} - \frac{d}{2} \right) + (t_w + 0.75t) \tan \theta_c \quad (1)$$

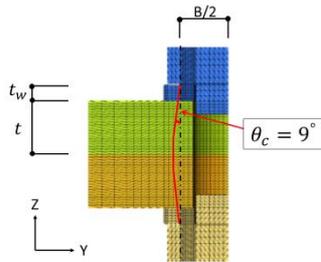


図 7-1 有効幅の増加傾向(center モデル)

B: 二面幅
d: 内径
t_w: ワッシャー厚さ
t: 鋼板厚さ

・ side モデル

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left\{ \frac{r^2}{\tan \theta} + \left(0.7r + \frac{d}{2} \right) \left(r + \frac{d}{2} \right) - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right\}$$

$$r = \left(\frac{B}{2} - \frac{d}{2} \right) + (t_w + 0.75t) \tan \theta_s \quad (2)$$

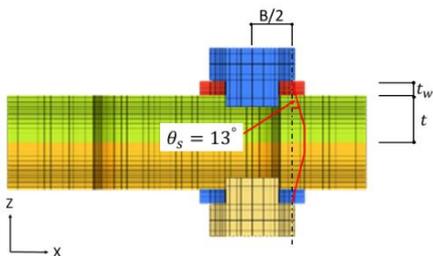


図 7-2 有効幅の増加傾向(side モデル)

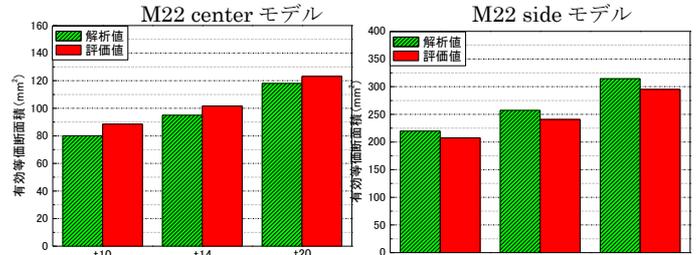


図 8 提案式と解析値の比較(M22 center と side モデル)

解析結果よりボルト頭部から被接合部材の厚さ方向の有効幅の増加率は center モデルでは $\theta = 9$ 度、side モデルでは $\theta = 13$ 度という結果が得られた。例として M22 の有効幅の増加量を左記の提案式にしたがって図 7 に示す。これらの角度は解析したモデルの有効幅の増加率の平均から導いたものである。図 8 から分かるように解析値と提案式の誤差は最大で 1 割程度であった。

6.まとめ

- (1) 孔の形を長孔として、ボルトを中央と端部で締めた場合の軸方向剛性について解析を行った。いずれの解析結果でも端部の場合の剛性が中央部より 3 割程度大きい。丸孔と長孔の剛性を比較すると、長孔の剛性が単独丸孔の剛性に対して最大約 55% 低下する。
- (2) 解析結果を用いて軸方向剛性の評価式を提案した。単独ボルト孔の場合に比べボルトが被接合部材に与える有効な範囲は狭くなることが分かった。提案式の誤差は 1 割程度におさまっている。

参考文献

- 1) 箭内寛大、林暁光：高力ボルト接合部の軸方向剛性に関する研究 日本建築学会近畿支部研究報告集 平成 28 年度
- 2) 日本鋼構造協会：鋼構造接合資料集 1977.3
- 3) 日本建築学会：高力ボルト接合設計施工ガイドブック 2016

(林研究室)