

## 高力ボルト鋼板当て板補修部の荷重伝達機構に関する解析的研究

名古屋工業大学大学院 正会員 ○永田 和寿  
名古屋工業大学 学生会員 藤本 高志

名古屋工業大学大学院 学生会員 小川 麻実  
大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

## 1. はじめに

本研究では、設計者に当て板補修の設計方針の提案や留意点をフィードバックするための基礎資料を得るため、母材と当て板の荷重伝達機構について解明することを研究目的とし、当て板補修部の引張を受ける鋼板と圧縮を受ける鋼板について FEM 解析による比較検討を行った。

## 2. 解析手法

本研究で解析対象としたのは、腐食損傷により減肉した鋼材の性能回復を目的とする高力ボルト接合による当て板補修を想定したモデルである。

数値解析には、荷重伝達を精度良く表現できるようにソリッド要素を用いた汎用有限要素解析コード ABAQUS による弾塑性有限変位解析を実施した。

解析モデルは対象条件を用いた 1/4 モデルとし、2 面摩擦ボルト 1 行配置とした。片側あたりボルト 3 本のモデルの概略図と解析モデルの一例をそれぞれ図 1、図 2 に示す。また、本解析における解析モデルケースを表 1 に示す。本解析では設計荷重時の荷重分担率や、降伏とすべりに関する検討を行うため、当て板の板厚(一面 6, 9, 12, 15mm)をパラメータとした解析モデルを構築した。当て板がないモデルは腐食前の健全モデルと腐食後補修前の腐食モデルである。

解析モデルの設計条件は、減肉部(長さ方向 100mm、幅方向 100mm の範囲)に、両側からそれぞれ 25%ずつ(合計 50%)一様な減肉が生じているとし、角部の R は減肉深さと同じとした。ボルトピッチは 70mm、高力ボルトの等級は F10T、サイズは M20(孔径 22.5mm)とし、母材と当て板の鋼種は SS400 とした。設計荷重は母材純断面の降伏強度の 75%とした。引張荷重と圧縮荷重は母材端部に強制変位として与え、ボルト軸力はボルト荷重機能を用いて与え、設計ボルト軸力を 165kN とした。接触面は相互作用特性にペナルティ機

能によりすべり係数 0.36(摩擦係数 0.4)とした。材料特性は SS400 と F10T の公称値をそれぞれ用いており、板材とボルトはいずれも応力ひずみ関係は完全弾塑性とし、表 2 に材料特性を示す。分割数は要素の大きさは一辺 2mm 程度とした。

## 3. 解析結果および考察

表 1 に示したモデルの荷重と変位関係を図 3(a),(b) に引張モデルと圧縮モデルの結果をそれぞれ示す。これらの図の変位は解析上の強制変位の値である。

これらの図から腐食モデルに減肉深さ以上の板厚の当て板を接合しても、健全モデルよりも耐力が低い。これは、当て板モデルの降伏かすべりのいずれかが生じていることが要因であると考えられる。また、引張モデルの方が圧縮モデルよりも最大耐力が小さいことがわかる。

ボルト軸力について考察するため、内側から 3 本目

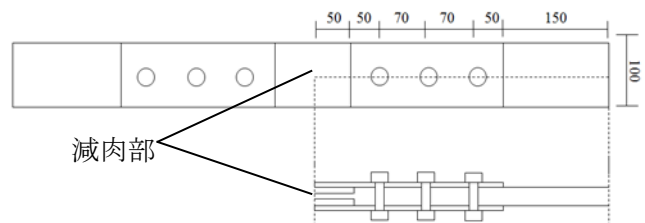


図 1 片側あたりボルト 3 本のモデル概略図

(単位:mm)

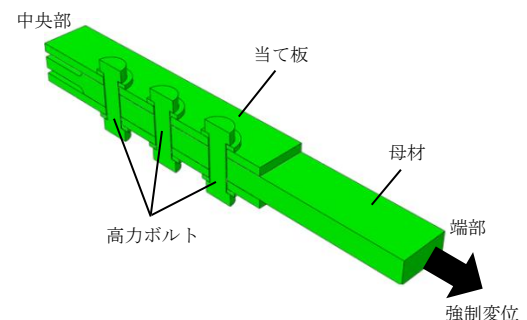


図 2 解析モデル図の一例

キーワード 当て板補修, 高力ボルト接合, 荷重伝達  
連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052-735-5482

表 1 解析モデルケース(当て板の効果比較)

| case       | 荷重 | 腐食深さ<br>(%) | 当て板板厚<br>(mm) | 母材板厚<br>(mm) | ボルト本数<br>(片側本) |
|------------|----|-------------|---------------|--------------|----------------|
| t-0-24-0-0 | 引張 | 50          | /             | 12           | 3              |
| t-0-24-0-1 |    |             | /             |              |                |
| t-3-24-6   |    |             | 6             |              |                |
| t-3-24-9   |    |             | 9             |              |                |
| t-3-24-12  |    |             | 12            |              |                |
| t-3-24-15  |    |             | 15            |              |                |
| c-0-24-0-0 | 圧縮 | 50          | /             | 12           | 3              |
| c-0-24-0-1 |    |             | /             |              |                |
| c-3-24-6   |    |             | 6             |              |                |
| c-3-24-9   |    |             | 9             |              |                |
| c-3-24-12  |    |             | 12            |              |                |
| c-3-24-15  |    |             | 15            |              |                |

※モデルケース名：(引張 t, 圧縮 c)-(ボルト本数)-(母材板厚)-(当て板板厚)

のボルトの設計荷重時の軸力低下率を図 4(a),(b)に示す. 引張モデルで軸力低下が大きいのは母材が受ける引張荷重により母材の板厚が小さくなるためであると考えられる. 板厚比較では薄い方が剛性が小さく, 板厚減少しやすいため, 板厚が薄い方が軸力低下しやすい結果になっている. 反対に, 圧縮モデルは, ボルト軸力は大きくなっている. これは母材が圧縮されることで板厚が増加したためと考えられる. これらの結果から, 軸力が低下しやすい引張モデルの方が母材と当て板間の材間圧縮力が低下し, 摩擦力が低下することですべりやすくなると考えられる. また, 内側から 1, 2 本目のボルトでも同様の挙動になっている.

当て板の板厚 6mm と 15mm の引張モデルと圧縮モデルの強制変位 0.6mm 時の母材の Mises コンター図を図 5(a),(b), 図 6(a),(b)にそれぞれ示す. 図 5(a), 図 6(a)の当て板の板厚が薄いモデルは, 純断面と減肉部がともに降伏しているが, 図 5(b), 図 6(b)の当て板の板厚が厚いモデルでは減肉部の応力が低減されており, 純断面のみで降伏が生じている. よって当て板の板厚を厚くすると中央部からの降伏を防ぐことができるが, 端部の純断面降伏先行となることがわかる.

#### 4. まとめ

本研究では, 高力ボルト接合当て板補修部に関して弾塑性有限変位解析を行い, 引張を受ける場合と圧縮を受ける場合の違いを明らかにした. 実際の腐食した鋼材は腐食形状が複雑なものになっているため, 一様に 50%腐食しているとは限らない. 今後は腐食形状や腐食幅をパラメータとした検討が必要である.

表 2 材料特性

| 部材  | ヤング率<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|------------------------------|-------|------------------------------|
| 母材  | $2.00 \times 10^5$           | 0.3   | 235                          |
| 当て板 |                              |       | 900                          |
| ボルト |                              |       |                              |
| 座金  |                              |       |                              |

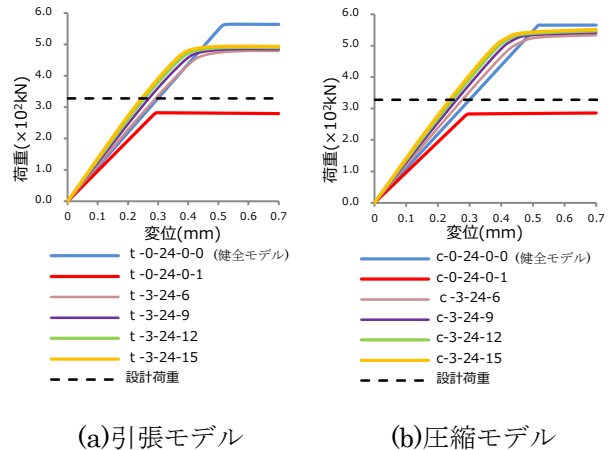


図 3 荷重と変位関係

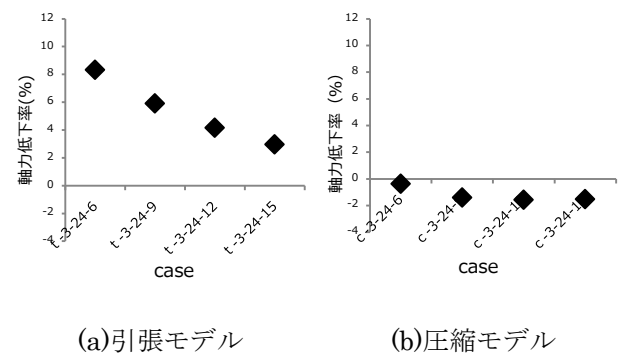


図 4 設計荷重時の軸力低下率(内側から 3 本目)

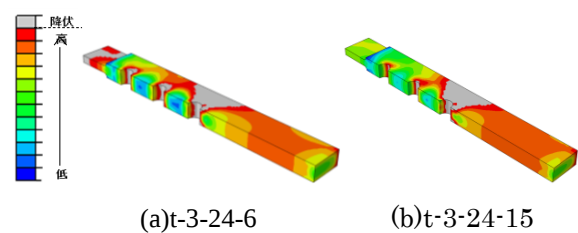


図 5 母材 Mises コンター図(引張モデル)

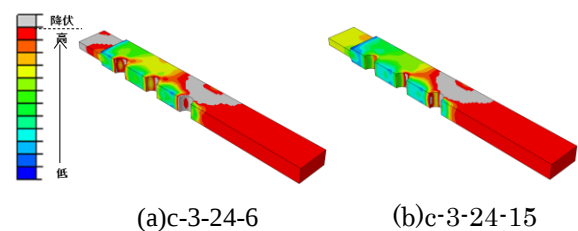


図 6 母材 Mises コンター図(圧縮モデル)