

高力ボルトの軸力低下に着目した当て板補修部の検討

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○小川 和花
 名古屋工業大学大学院 学生会員 飯田 将成
 大阪市立大学大学院 学生会員 藤本 高志

名古屋工業大学大学院 正会員 永田 和寿
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 目的

鋼構造物の腐食損傷部の補修方法の一つとして高力ボルトを用いた当て板補修がある。しかし、当て板補修部の荷重伝達メカニズムについては解明されていない点が多くある。本研究では、当て板補修部に引張および圧縮が生じた時のボルト軸力の変化に着目し、ボルト軸力低下の抑制方法について検討する。

2. 解析手法

本研究では、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。解析対象は、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とする。

解析モデルは対称条件を用いた 1/4 モデルとし、2 面摩擦、ボルト 1 行配置、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。母材の板厚を 24mm、当て板の板厚(一面 6, 9, 12, 15mm)をパラメータとした。また、当て板の板厚 9mm のモデルについて、内側から 3 本目のボルト軸力を 1.2 倍とするモデルも作成した。

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。ボルトピッチ 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。材料特性は道路橋示方書の公称値を用いた。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、設計ボルト軸力を 165kN として導入した。Case(5),(10)の内側から 3 本目のボルトについては 1.2 倍の 198kN を導入した。接触面は相互作用特性のペナルティ法を用いてすべり係数 0.4 (摩擦係数 0.425) とした。

3. 解析結果

Case(2),(7)のボルト軸力-荷重曲線を図-3(a),(b)に示す。図-3 のようにボルト位置別に見ると、(a)の Case(2)

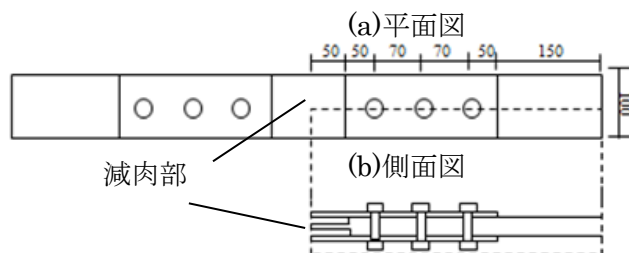


図-1 モデル概略図

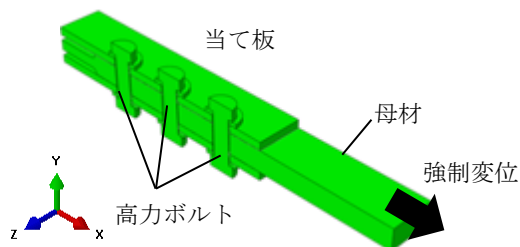


図-2 解析モデル図の一例

表-1 解析モデルのケース

Case	荷重	当て板板厚 (mm)	ボルト軸力 (kN)
(1)	引張	6	165
(2)		9	165
(3)		12	165
(4)		15	165
(5)		9	165/内側から3本目のみ198
(6)	圧縮	6	165
(7)		9	165
(8)		12	165
(9)		15	165
(10)		9	165/内側から3本目のみ198

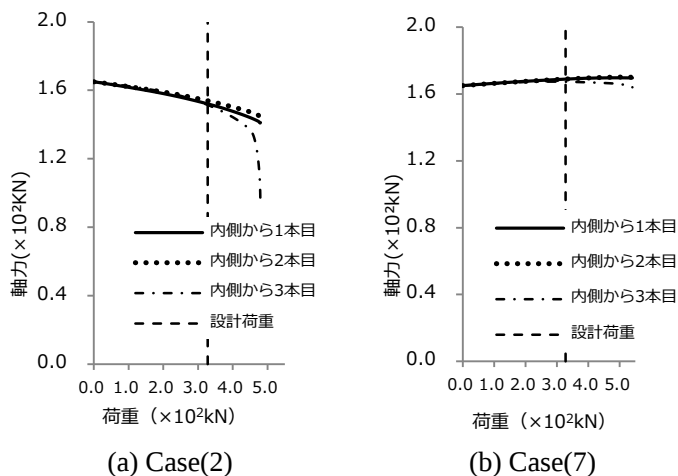


図-3 ボルト軸力-荷重(位置別比較)

キーワード 高力ボルト 当て板補修

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 TEL052(735)5482

では設計荷重時には位置別で大差はないが、最大荷重付近では内側から 3 本目のボルトの低下が著しいことが見られる。これは、母材が最外側ボルト付近で降伏が生じやすく、板厚減少が生じやすいためであると考えられる。(b)の Case(7)では位置別で大差はなく、軸力の増加が見られる。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。

また、当て板板厚のモデルについて、内側から 3 本目のボルトの設計荷重時の軸力低下率を図-4(a),(b)に示す。引張モデルの当て板板厚比較では、板厚の厚い方が軸力低下しにくい結果となっている。これは当て板が厚い場合、母材に対して当て板の断面積率が大きくなるため、当て板の分担する荷重が大きくなり母材の板厚減少が生じにくくなるためである。圧縮モデルの当て板板厚では、引張モデルほど大きな差はない。母材の板厚増加による軸力増加は、一定値以上は生じないことが考えられる。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てやすくなると考えられる。

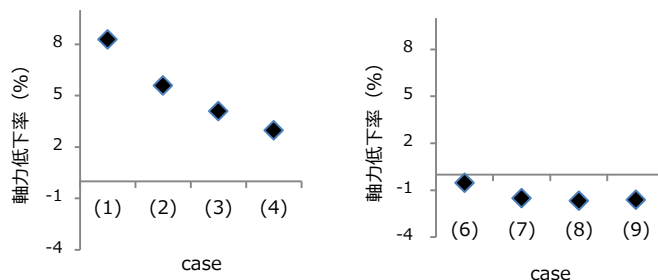
次に、最大荷重とボルト軸力の関係について考察する。本研究のようなボルトによる摩擦接合のメカニズムは、高力ボルトで接合材を締付けた際に生じる大きな材間圧縮力によって得られる接合材間の摩擦抵抗で応力を伝達する接合法である。よってボルト軸力の低下が、引張と圧縮の最大荷重が異なる結果となる原因と密接な関係にあると考えたため Case(2),(7)を比較する。比較する数値は、それぞれの最大荷重に軸力低下分にすべり係数乗じた摩擦力を補った荷重とする。以下の式にて算出する。

$$P_t = P_{tmax} + m\mu \sum Ni \quad (1)$$

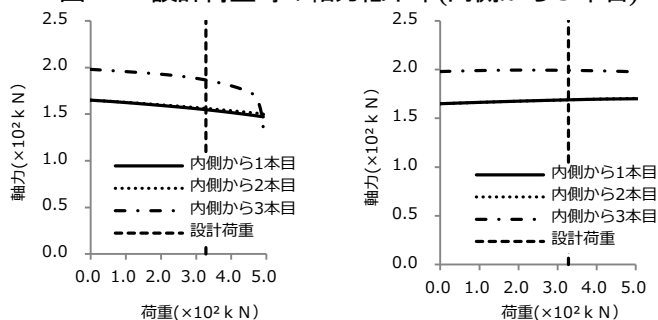
$$P_c = P_{cmax} + m\mu \sum Ni \quad (2)$$

ここに、 P_t : Case(2)の軸力低下分の摩擦力を補った荷重(kN), P_c : Case(7)の軸力低下分の摩擦力を補った荷重(kN), P_{tmax} : Case(2)の最大荷重, P_{cmax} : Case(7)の最大荷重, μ : すべり係数 0.4, m : 面数 2, Ni : 低下したボルト軸力(kN)とする。この結果から、 $P_t=5.6 \times 10^2$ kN, $P_c=5.4 \times 10^2$ kN となる。これらの値は非常に近い数値となり、軸力低下分の摩擦力を補えば、引張と圧縮の最大荷重の差が埋められることがわかった。軸力低下と最大荷重の関係は非常に大きいといえる。

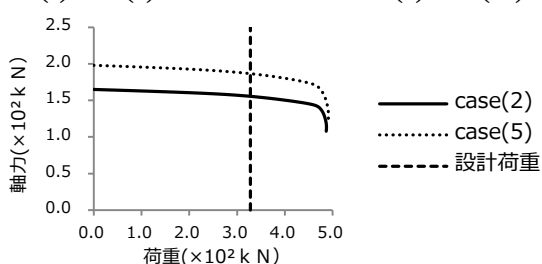
これまでの結果より、最外側のボルト軸力が最も低下



(a)引張モデル (b)圧縮モデル
図-4 設計荷重時の軸力低下率(内側から 3 本目)



(a) Case(5) (b) Case(10)



(c)通常軸力モデルとの比較(内側から 3 本目)

図-5 ボルト軸力-荷重

しやすいと考えられるため、内側から 3 本目のボルト軸力を高くすることで、通常的设计ボルト軸力を導入した場合との挙動の違いを考察する。Case(5),(10)のボルト軸力-荷重曲線を図-5(a),(b)に示す。Case(2),(5)の内側から 3 本目のボルト軸力-荷重曲線を図-5(c)に示す。圧縮モデルは端部のボルト軸力が高い方が最大荷重は高くなっている。一方、引張モデルは設計荷重時には、軸力が 1.2 倍のモデルは通常軸力のモデルと比較し高い軸力を保っている。しかし、最大荷重付近では通常軸力のモデルと同様に軸力が急落している。

4. 結論

引張モデルでは、板厚減少により最外側ボルトで軸力の低下が著しく、当て板の板厚が小さくなるほど軸力が低下しやすくなる。圧縮モデルでは、板厚増加により軸力の増加が起こる。引張モデルの最外側ボルトに 1.2 倍の軸力を導入した場合、設計荷重時まではその効果が期待できるが、それ以上の荷重が加わった場合には急激な軸力低下が起こることがある。