

## 1はじめに

鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトは、腐食劣化が著しい部位の一つである。腐食減肉した高力ボルトは、軸力の低下を引き起こすため、残存軸力評価は橋梁の安全性を確保するために重要である。腐食減肉が生じた高力ボルトの残存軸力評価については、六角高力ボルトについての検討事例<sup>1)</sup>がいくつかあるが、写真1に示すようなトルシア型高力ボルトに関する検討はほとんど行われていない。

そこで本研究では、腐食減肉が生じたトルシア型高力ボルトの残存軸力評価法を提案することを目的とする。まず、FEM 解析によりナット部との比較を行い、残存軸力低下のメカニズムを明らかにし、トルシア型高力ボルトの頭部、ナット部の減肉に伴う残存軸力低下特性を検討した。

## 2解析モデル

解析モデルを図1に示す。全てソリッド要素を用い、M22のトルシア型高力ボルトとナット、座金、添接板及び母材を、対称性を考慮して1/6モデルの作成を行った。

境界条件は図2に示すように母材及び添接板の側面を鉛直方向に支持し、ボルト軸部中心を半径方向に固定、母材、添接板、座金、ナット、ボルト軸部の対称面を円周方向に固定とした。各部材の境界を接触面として定義し、ボルトの軸力は、ボルト軸部に強制変位を与えることで導入した。添接板と母材のモデル化領域は、ボルト軸部より約30mmまでとしている。弾性係数は206GPa、ポアソン比は0.3とし、降伏応力は高力ボルト、ナット及び座金では900MPa、添接板及び母材は250MPaとし、構成則は完全弾塑性体とした。なお、解析にはMSC.Nastran2012を用いた。

トルシア型高力ボルトの減肉が残存軸力に及ぼす影響の検討するために、ボルト頭部及びナット部の減肉量をパラメータとした。解析パラメータを図3に示す。ボルト頭部の側面減肉量と高さ減肉量をそれぞれ0-8mm、(1mmピッチ)、0-4mm(0.5mmピッチ)、ナット部では側面減肉量を0-8mm、(1mmピッチ)で変化させ、計192ケースのモデルを用いて解析を行った。

## 3.トルシア型高力ボルト頭部及びナット部での減肉による残存軸力低下特性の検討

### 3-1 ボルト頭部及びナット部での減肉量をパラメータとした解析結果

ボルト頭部減肉と残存軸力の割合との関係を図4に示す。横軸を平均減肉量、縦軸を残存軸力とする。ボルト頭部側面減肉と高さ減肉との比較ではボルト頭部高さの方が軸力低下に支配的であり、またナット部での側面減肉による軸力の低下はボルト頭部に比べ大きな



写真1 トルシアボルトの減肉例

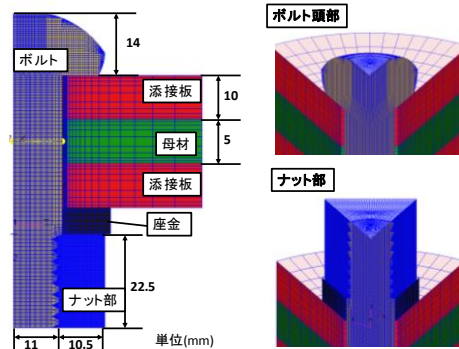


図1 解析モデル

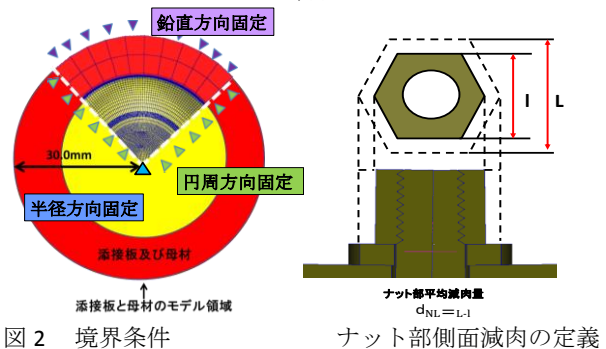


図2 境界条件

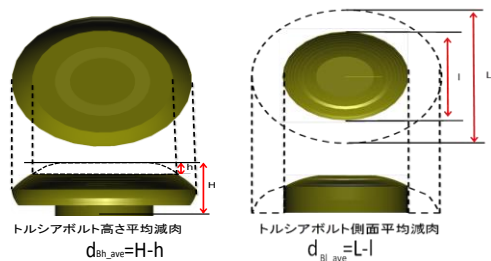


図3 減肉量の定義

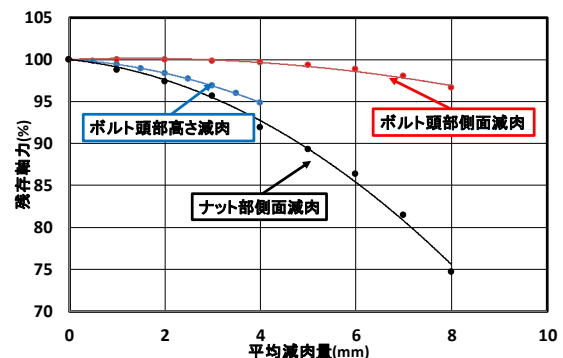


図4 ボルト頭部減肉量をパラメータとした解析結果

る傾向が見られた。次節にてそれぞれの減肉に伴う軸力低下メカニズムの検討を行う。

### 3-2 ボルト頭部及びナット部の減肉による残存軸力低下メカニズム

ボルト頭部及びナット部の減肉に伴う残存軸力の低下メカニズムを検討するために、減肉に伴うボルト頭部及びナット部での変形挙動図を用いて検討を行なった。図 5-a よりボルト側面減肉により添接板に局所変形が生じていることがわかる。これは減肉に伴い座金での接触面積が減少したため、座金近傍のナットで力の伝達が増加したためであると考えられ、図 5-b よりボルト頭部高さが減肉した場合、ボルト頭部において変形が増大する。これは減肉によるボルト頭部の剛性が低下したためである。またナット部に減肉が生じた場合、図 5-c に示すように減肉に伴い、ボルト頭部と同様に添接板の局所変形に加えて、座金が回転変形する挙動が生じるため、ナット部での軸力低下が大きくなったといえる。

### 3-3 トルシア型ボルトの残存軸力評価法の提案

図 6 に残存軸力の評価法算出の過程を示す。図 4 よりボルト頭部及びナット部での減肉と軸力の関係は 2 次関数の曲線に酷似しており、2 乗値で整理を行なうことにより直線で表現することが出来る。これにより、ナット部での減肉時の軸力低下の傾きを基準にボルト頭部の高さ、側面減肉時の軸力低下の傾きから補正を行うことで減肉量の 2 乗平均として(1)式が算出される。

$$X = \sqrt{d_{NL}^2 + 0.111d_{BL}^2 + 0.922d_{BH}^2} \quad (1)$$

補正を行なったボルト頭部及びナット部での平均減肉量の 2 乗平均を横軸、残存軸力の割合を縦軸としたグラフを図 7 に示す。図中には、回帰曲線より±5%とした曲線を併記した。この回帰曲線より相関係数は 0.9813 となり、ボルト頭部とナット部での平均減肉量の 2 乗平均を用いることによって、腐食減肉したトルシア型高力ボルトの残存軸力の評価が可能であると考えられる。

### 4.まとめ

- 1)トルシア型高力ボルトにおいて、ナット部と比較してボルト頭部が減肉した場合、残存軸力の低下に及ぼす影響は小さい。
- 2)ボルト頭部側面が減肉した場合、添接板に局所変形が生じ、残存軸力が低下する。頭部高さが減少した場合、頭部の剛性低下により残存軸力が低下する。一方、ナット部側面が減肉した場合、ボルト頭部と同様に添接板での局所変形に加えて、座金部で回転変形が生じることで軸力低下が生じる。
- 3)トルシア型高力ボルトの腐食減肉における残存軸力の評価法として、ボルト頭部及びナット部での平均減肉量の 2 乗平均により、±5%程度の精度で残存軸力が評価可能であることを解析的に示した。

今後は実腐食ボルトの残存軸力と減肉量の計測を行い、提案手法の適用性について検討が必要である。

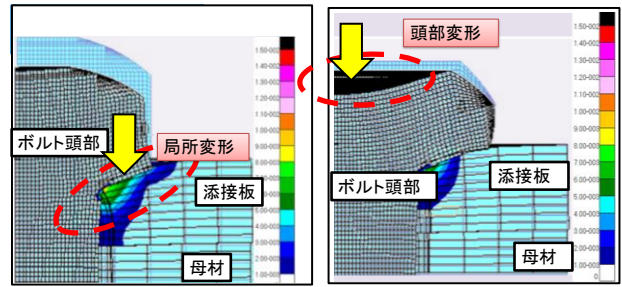


図 5-a 側面減肉変形挙動図

図 5-b 高さ減肉変形挙動図

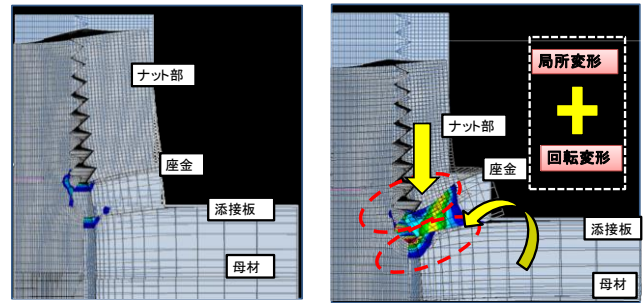


図 5-c ナット部側面減肉変形挙動図

図 5 ボルト頭部及びナット部における変形挙動図

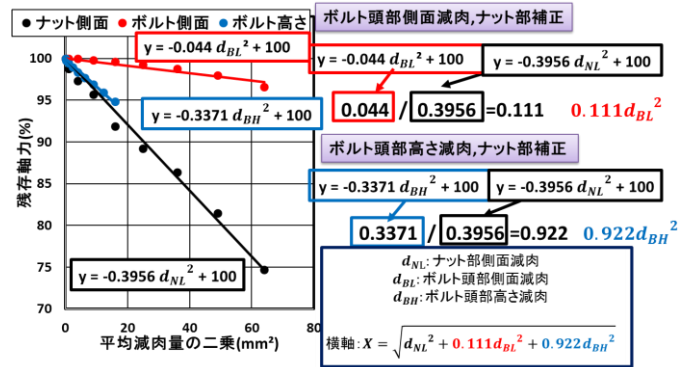


図 6 評価法に関する横軸の設定過程

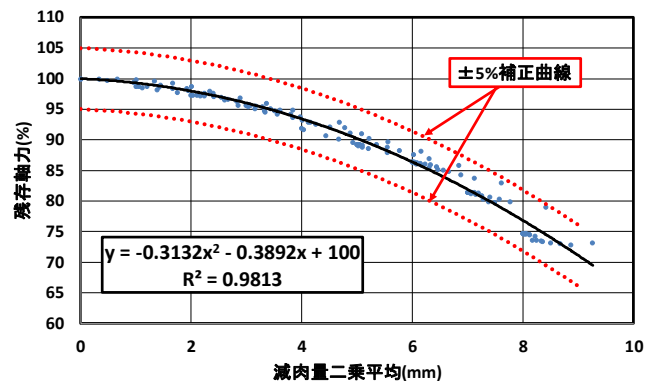


図 7 残存軸力の割合と平均減肉量の 2 乗値の合計の関係

### 参考文献

- 1) 下里哲弘, 田井政行, 有住康則, 矢吹哲哉, 長嶺由智: 腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.725-735, 2013.