

腐食劣化した高力ボルトの減肉量に基づく残存軸力評価法の解析的検討

木更津工業高等専門学校 ○田井政行, 東日本旅客鉄道株式会社 小間貴紀

琉球大学 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉

1. はじめに

鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトには、写真 1 に示すように腐食劣化が著しく進行しているものが見られる。著者らは、これまでの研究によって腐食減肉形状によって高力ボルトの残存軸力が低下することを示してきた^{1),2)}。橋梁の適切な維持管理を行うためにも、腐食レベルに応じた高力ボルトの残存軸力の評価が急務である。そこで本研究では、FE 解析を用いて、腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価法の検討を行う。

2. 解析モデルの概要

解析モデルを図 1 に示す。対象は M22 の高力ボルトとナット、座金、添接板及び母材とし、全てソリッド要素を用い、対称性を考慮して 1/6 モデルとした。ただし、添接板と母材のモデル化領域は、ボルト軸部より約 40mm までとし、5mm 程度の要素サイズでモデル化した。ナットとボルト軸部の間には、輪状の簡易なネジ部を設けた。弾性係数は 210GPa、ポアソン比は 0.3 とした。降伏応力は、高力ボルト、ナット及び座金は 900MPa、添接板及び母材は 245MPa 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。

境界条件を図 2 に示す。母材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。本解析モデルを用いることで、減肉に伴う残存軸力の変化を概ね評価できることは予備解析により確認している。

3. ナット部とボルト頭部の両側が減肉した場合の残存軸力評価法の検討

写真 1 に示すように、高力ボルトの腐食減肉は、ナット部だけでなくボルト頭部でも生じている。腐食損傷を受けた高力ボルトの残存軸力を評価するパラメータとして、ナット部の減肉量に加えてボルト頭部の減肉量を考慮した評価パラメータを検討するために FEM 解析を行った。解析パラメータには、ナット部及びボルト頭部の側面の減肉量とした。それぞれの平均減肉量を 0-10mm まで 1mm ピッチで変化させて解析を行っており、総解析ケース数は 100 である。減肉量の定義を図 3 に示す。

3.1 ナット部とボルト頭部の減肉量の合計を用いて評価を行った場合

100 ケースの解析より得られた残存軸力を評価するパラメータとして、ナット部とボルト頭部の平均減肉量の合計 δ_{sum} を用いて評価を行った。

評価結果を図 4 に示す。縦軸は残存軸力の割合、横軸はナット部とボルト頭部の平均減肉量の合計 δ_{sum} ($=\delta_{N,ave.}+\delta_{H,ave.}$) である。図より、ナット部とボルト頭部の減肉量の合計を用いた場合、減肉量の合計が等しくとも残存軸

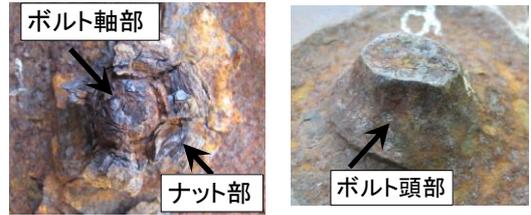


写真 1 摩擦接合継手の高力ボルトの腐食減肉例

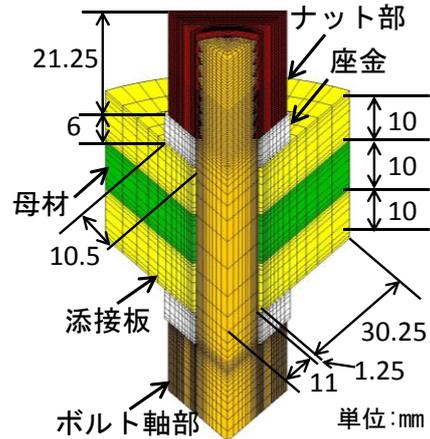


図 1 解析モデル

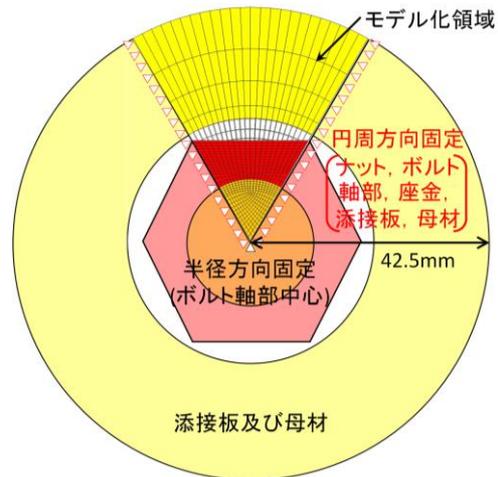


図 2 対称性を考慮した境界条件

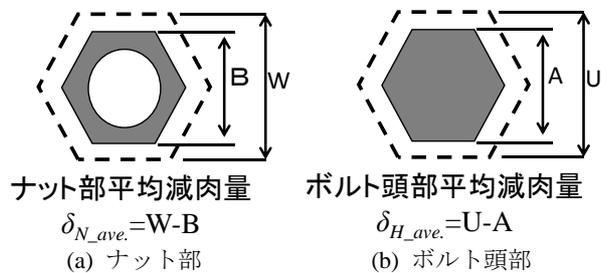


図 3 平均減肉量の定義

力の割合に差異が生じていることがわかる。つまり、両者の平均減肉量の合計 δ_{sum} を残存軸力評価パラメータとして用いることは、適切とはいえないことがわかる。

キーワード 腐食減肉, 高力ボルト, 残存軸力, 弾塑性 FEM 解析

連絡先 木更津工業高等専門学校環境都市工学科 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1)

3.2 ナット部とボルト頭部の2乗平均減肉量を用いて評価を行った場合

既往の研究^{1),2)}より残存軸力の割合は減肉量の2乗に比例して変化していると考えられる。これより、ナット部及びボルト頭部の両側に減肉が生じた場合の評価パラメータとして、式(1)に示す2乗平均減肉量を用いて評価を行った。

2乗平均減肉量 δ_{sqr}

$$\delta_{sqr} = \frac{\sqrt{(\delta_{N_ave.})^2 + (\delta_{H_ave.})^2}}{2} \quad (1)$$

図4の解析結果について、2乗平均減肉量 δ_{sqr} を用いて再評価を行った結果を図5に示す。図中には2次関数を用いて最小二乗法より算出した回帰曲線とその回帰曲線より±10%とした曲線も併せて示す。この回帰曲線の相関係数は0.88程度であり、高い相関性を示しており、ほとんどのプロットが±10%の範囲内に入っていることがわかる。これより、本節で提案した2乗平均減肉量を用いることで、ナット部及びボルト頭部の両側が減肉した場合の残存軸力の割合を、±10%程度の範囲で評価できると考えられる。

4. 実腐食高力ボルトの残存軸力に対する2乗平均減肉量の適用性の検討

前章で提案した2乗平均減肉量の適用性を検討するために、著者らがこれまでに行った、実橋において腐食減肉が生じた高力ボルトの残存軸力の計測結果²⁾と比較検討を行った。

2乗平均減肉量を用いて実腐食高力ボルトの残存軸力割合の評価結果を図6に示す。図中には最小二乗法を用いて算出した回帰曲線とその回帰曲線より±10%とした曲線も併せて示す。図より、2乗平均減肉量の値が増加するに従い、残存軸力割合も低下していることがわかる。また、評価結果には、バラつきが見られ、この要因としては、添接板や座金といったナット部やボルト頭部以外の腐食減肉の影響やナット部やボルト頭部の腐食減肉形状の影響であると考えられる。しかしながら、多くのプロットが回帰曲線の±10%の範囲内に入っているため、2乗平均減肉量を用いることで、減肉に伴う残存軸力を概ね±10%程度の範囲で推定できるといえる。今後は減肉形状や他の部位の腐食減肉の影響を考慮できる評価パラメータを検討し、推定精度を高める必要があるといえる。

5. 結論

- 1) ナット部及びボルト頭部の両側で減肉が生じる場合、両者の減肉量の合計を用いて残存軸力割合を推定することは適切とはいえない。
- 2) 2乗平均減肉量を算出することで、腐食劣化した高力ボルトの残存軸力を概ね±10%程度の精度で評価できることを示した。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 25820211 の補助を受けて行った。ここに記して深謝いたします。

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.
- 2) 田井政行, 下里哲弘, 有住康則, 大城進太郎, 長嶺由智：

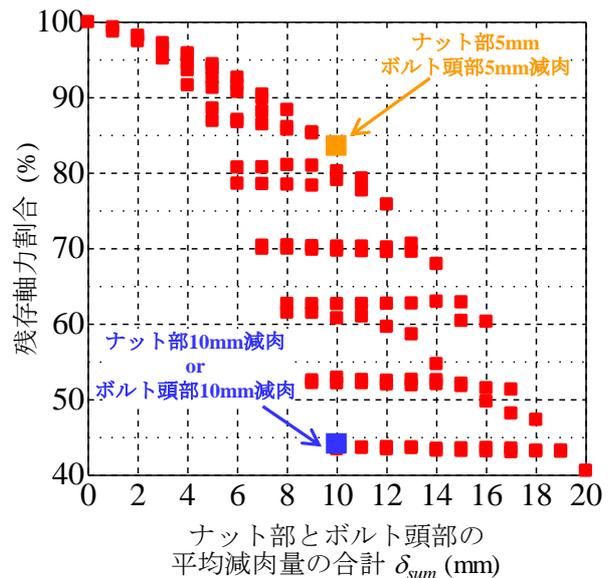


図4 平均減肉量の合計を用いた解析結果の評価

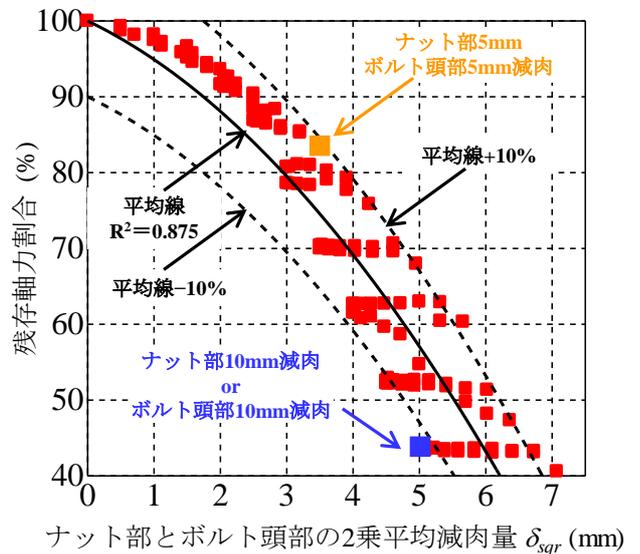


図5 2乗平均減肉量の合計を用いた解析結果の評価

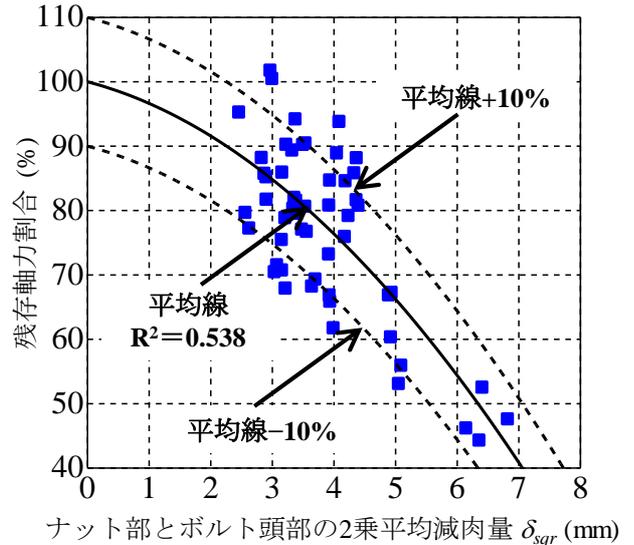


図6 2乗平均減肉量を用いた実腐食高力ボルトの残存軸力評価結果(実験)

腐食高力ボルトの残存軸力評価法に関する実験的研究, 土木学会第68回年次学術講演会, I-360, 2013.