

実腐食減肉形状を考慮した高力ボルトの残存軸力評価法に関する研究

三井住友建設 ○鶴田 滉, 琉球大学 田井 政行, 下里 哲弘
金秀鉄工 長嶺 由智, 琉球大学 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。

高力ボルトの残存軸力計測法として、著者らはコア抜きを用いたひずみゲージ法を提案している¹⁾。そこでは、ひずみ計測を行うボルト頭部の高さ方向の減肉量を考慮して軸力推定を行っているが、写真1に示すようにボルト頭部は高さ方向だけでなく、幅方向にも減肉が生じており、軸力の計測精度を高めるためにも、側面の減肉量の影響も考慮すべきであるといえる。また、評価法の検討として、減肉形状を模擬した解析モデルを用いた検討がなされているが、実腐食形状に対する有効性は十分に明らかとなっていない。

そこで本研究では、軸力計測値に及ぼすボルト側面減肉量の影響を明らかにすると共に、実腐食減肉形状を再現したFE解析を実施し、軸力評価手法を提案することを目的としている。

2. 側面減肉量を考慮した軸力補正の提案

本研究での減肉量の定義を図1に示す。F10TM22の高力ボルトに対してボルト頭部両面から幅方向に0,3,6mm(側面減肉量 ΔH_s)、高さ方向に0,3,6mm(高さ減肉量 ΔH_h)減肉させた9ケースについて、図2に示すような頭部ひずみと軸力の関係について検討を行った。

試験結果を図3に示す。図の縦軸は軸力150kN時の減肉なし($\Delta H_s = 0, \Delta H_h = 0$)ケースに頭部ひずみに対する各ケースのひずみ値の比、横軸は高さ減肉量である。側面減肉量の増加に伴い、頭部ひずみは側面減肉量0mmと比較して、1.5mmで3%程度、3mmで10%程度低下する傾向が得られた。

図3の回帰直線を算出し、その勾配 S_{Hs} と側面減肉量の関係を図4に示す。図より、側面減肉量が大きくなるほど勾配が低下する傾向が得られ、この勾配 S_{Hs} をボルト頭部側面減肉量 ΔH_s により表すと下式が得られる。

$$S_{Hs} = -0.0013\Delta H_s^2 - 0.0042\Delta H_s + 1$$

既往研究において高さ減肉量の補正を行った推定式¹⁾に、上記を頭部側面の減肉量に対する補正式を加えた下式を新たな軸力推定式として提案し、残存軸力評価を行った。

$$N = S_{Hh}S_{Hs}\varepsilon$$

$$(S_{Hh} = -0.0018\Delta H_h^2 - 0.025\Delta H_h + 0.174)$$

ここで、 S_{Hh} :高さ減肉量の補正、 ε :頭部ひずみ値

提案式による残存軸力の再評価結果の一例を図5に示す。図には高さ減肉量のみを考慮した結果も併せて示す。図より、側面減肉量を考慮することで、残存軸力の推定値は低くなるとはいえ、減肉が著しいボルトでは、約4%程度残存軸力が低下する傾向が得られた。すなわち、既往研究と比較して提案手法による残存軸力の推定値は安全側に評価されるといえる。



写真1 ボルト頭部の減肉例とひずみゲージ法

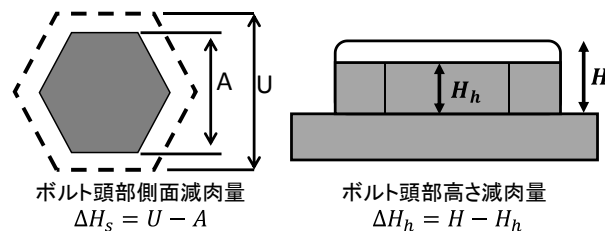


図1 減肉量の定義

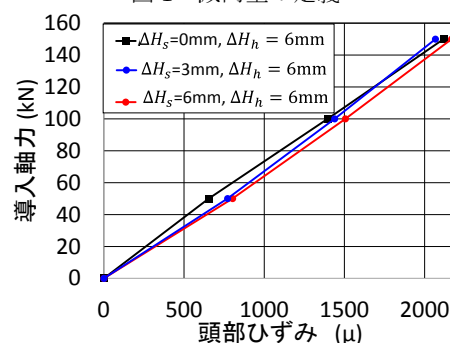


図2 頭部ひずみと導入軸力の関係例 ($\Delta H_h = 6\text{mm}$)

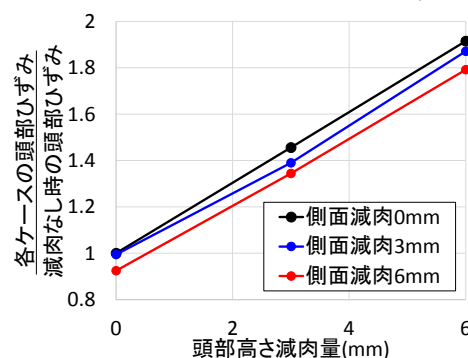


図3 測定結果

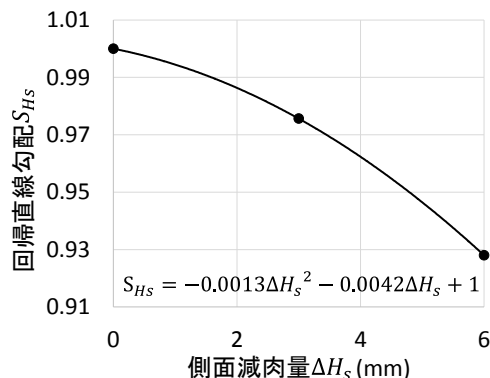


図4 頭部側面減肉量に対する補正式の検討

キーワード 高力ボルト、残存軸力、実腐食減肉形状、3D スキャナ

連絡先 三井住友建設株式会社 東北支店 (〒980-8608 宮城県仙台市青葉区花京院2-1-14)

3. 腐食減肉形状を考慮した評価法の検討

既往研究より高力ボルトの減肉形状が残存軸力に影響を及ぼすことが示されている。ここでは、実腐食減肉形状を再現した解析モデルを作成し、減肉形状を考慮可能なパラメータの検討を行った。そして、検証したパラメータと前章の提案式による残存軸力評価結果より、腐食減肉量による残存軸力評価法を提案した。

3.1 減肉形状計測と評価パラメータの検討

減肉形状を詳細に再現するために、4体の実腐食高力ボルトの減肉形状を写真2に示すように3D スキャナを用いて計測を行った。なお、計測精度は30 μ mである。

計測結果より作成したモデル例を図6に示す。解析モデルは、高力ボルト、座金、添接板、母材をそれぞれモデル化した。弾性係数は200GPa、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。母材底面を鉛直方向に支持し、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。

解析結果を図7に示す。図の縦軸は健全モデル（減肉無）の軸力に対するそれぞれのモデルの軸力の割合、横軸はある高さまでの側面減肉量を示している。図中には既往研究で行ったボルト側面を一樣に減肉させた結果も併せて示す。図より座金から高さ8mmまでの減肉量を用いることで、各実腐食高力ボルトモデルの残存軸力を一樣減肉と同様に評価できると考えられる。それゆえ、次節にて高さ8mmまでの平均減肉量を用いて、実腐食高力ボルトの残存軸力の評価を行った。

3.2 腐食減肉量と残存軸力の関係

実腐食高力ボルトの残存軸力を、前章で提案した推定式を用いてひずみゲージ法により計測した結果と腐食減肉量の関係を図8に示す。なお、横軸はボルト頭部とナット部の高さ8mmまでのそれぞれの減肉量から算出した2乗平均減肉量 δ_{RMSW} である。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 $\pm 20\%$ とした曲線も併せて示す。図より、評価結果には、バラつきが見られるものの、ほとんどのプロットが本評価パラメータを用いることで概ね $\pm 20\%$ 程度の範囲で推定できるといえ考えられる。

4. まとめ

- 1) ひずみゲージ法による残存軸力推定法として、ボルト頭部側面の減肉に対する補正式を提案した。
- 2) 高さ8mmまでの減肉量を用いることで、減肉形状の影響を考慮して評価できることが示唆された。
- 3) 提案した評価パラメータを用いることで、腐食劣化した高力ボルトの残存軸力を概ね $\pm 20\%$ 程度の精度で評価できることを示した。

謝辞：本研究は、日本鋼構造協会の助成を受けて行った。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, 長嶺由智, 有住康則, 矢吹哲哉: 実腐食減肉形状を有する摩擦接合用高力六角ボルトの残存軸力特性, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.503-513, 2016.
- 2) 田井政行, 小間貴紀, 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉: 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, 土木学会第69回年次学術講演会, I-608, 2014.

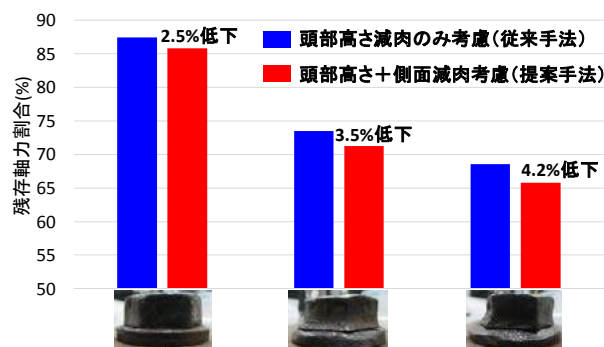


図5 従来手法と提案手法による残存軸力評価の比較



写真2 3D スキャナによる減肉形状計測状況

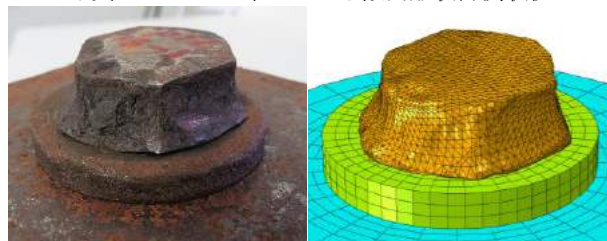


図6 3D スキャン結果より作成した解析モデル例

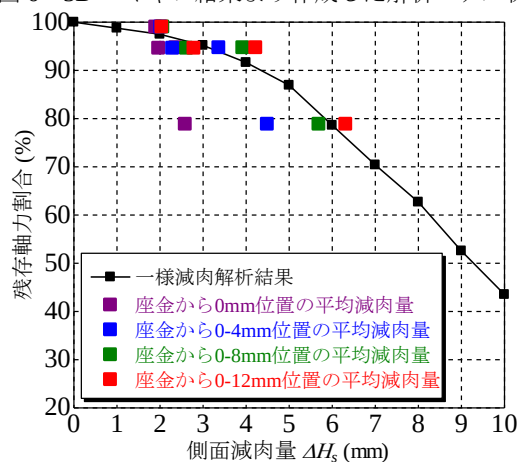


図7 解析結果

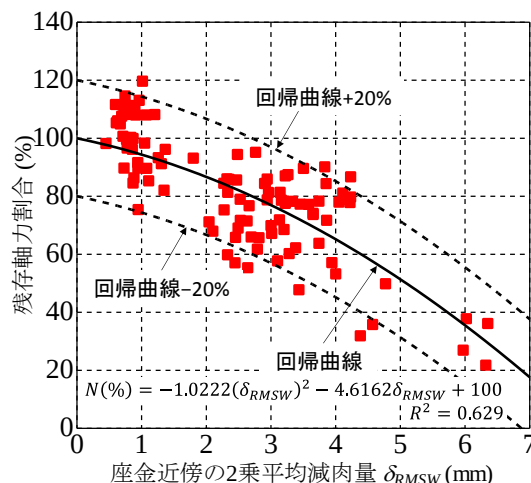


図8 実腐食高力ボルトの残存軸力評価結果