腐食高力ボルトの残存軸力評価法に関する実験的研究

木更津工業高等専門学校　正会員　○田井政行
琉球大学　下里哲弘，有住康則
四国建設コンサルタント　大城進太郎，金秀鉄工株式会社　長嶺由智

1. はじめに

鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトには，腐食劣化が著しく進行しているものが見られる．その要因として，角部が多いネジ部やナット部は塗装膜厚を確保しづらく，局部的に激しい腐食劣化に至ると考えられている [1)]．腐食した鋼橋の高力ボルト摩擦接合継手に対する耐荷力性能・耐久性能評価を確立するためには，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，実橋にて腐食劣化した摩擦接合継手の高力ボルトを用いて，腐食高力ボルトの残存軸力評価法の検討を行う．

2. ナット部の減肉に着目した腐食劣化度分類

2.1 試験体

試験体には腐食した鋼橋より回収した 4 行 10 列の摩擦接合継手を 4 体，総ボルト本数 160 本を用いた．試験体例を**写真 1** に示す．

写真 1　試験体例

2.2 腐食劣化度分類

外観目視による減肉形状の分類及びノギスとテーパーゲージを用いた計測による減肉量の計測結果を**表 1** に示す．分類は減肉形状を 4 パターン，減肉量を 3 パターンとした．表より腐食減肉量が小さい場合は一様減肉型の腐食減肉形状が多く，中程度では一様減肉型や砂時計型，大きい場合は台形型の腐食減肉形状が最も多い結果となった．

表 1　腐食試験体の劣化度分類

	一様減肉	砂時計	台形	逆台形
平均減肉量の割合 0–25%	7本	該当なし	該当なし	1本
平均減肉量の割合 25–50%	35本	35本	13本	23本
平均減肉量の割合 50–75%	8本	5本	33本	該当なし

3. コア抜きによる残存軸力の計測

高力ボルトの軸力推定法の一つに，ひずみゲージ法がある [1)]．この方法は軸力導入時あるいは解放時にボルト頭部に生じるひずみ値から軸力を求める方法である．しかしながら腐食した高力ボルトはレンチ等で緩めることが困難なため，本研究では，**写真 2** に示すようにナット部からコア抜きを行い，軸力解放時のひずみから残存軸力を求める方法を提案し，実験を行った．

(a) コア抜き前　　(b) コア抜き後

写真 2　コア抜き作業

3.1 導入軸力とボルト頭部のひずみの関係

導入軸力とボルト頭部のひずみの関係を明らかにするために，2 軸のひずみゲージをボルト頭部に取り付けた新材ボルトを軸力計に設置し，導入軸力及び頭部のひずみの測定を行った [2)]．

測定結果を**図 1** に示す．横軸は 2 軸のひずみの平均値 ε，縦軸は導入軸力 N である．図に示すように，軸力と高力ボルト頭部のひずみの関係はほぼ線形であった．この結果を用いて軸力 N とひずみ ε の関係を最小二乗法より求めた回帰直線を**図 1** に併記した．その結果，回帰直線の勾配は 0.174，相関係数 R^2 は 0.984 であった．本研究では，この回帰直線を軸力と高力ボルト頭部のひずみの関係のキャリブレーションカーブとして用いることで，残存軸力の推定を行うこととした．

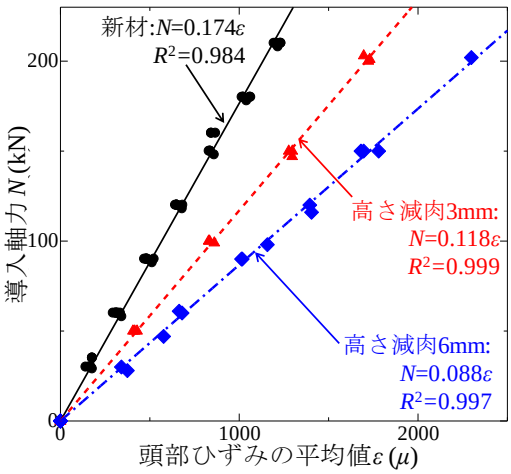

図 1　頭部ひずみと導入軸力の関係

3.2 腐食高力ボルトの残存軸力計測結果

腐食ボルト 53 本を対象に，コア抜きを用いたひずみゲージ法による残存軸力の測定を行った．なお，事前に新材高力ボルトを対象に，コア抜き法による残存軸力測定精度の確認を行い，98%程度の精度で軸力を測定できることを確認している．

残存軸力の測定結果を**図 2** に示す．縦軸は残存軸力割合，横軸はナット部の平均減肉量 δ_N である．なお，残存軸力割合は初期の導入軸力を 225kN と仮定した

キーワード　高力ボルト，残存軸力，腐食，減肉量
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)

場合の推定軸力との割合，平均減肉量は**図 2** に示すように新材状態と腐食減肉後のナット部の幅の差(W-B)を示す．図より，平均減肉量が増加するにつれて残存軸力割合が低下する傾向が見られるものの，計測結果のいくつかのプロットにおいて残存軸力割合が 100%を超えるものもあった．これらのボルトに着目すると，**写真 3** に示すようにボルト頭部の腐食が著しい傾向にあり，この頭部の腐食減肉が軸力の計測に影響を及ぼしたと考えられる．

4. ボルト頭部の腐食が残存軸力に及ぼす影響

4. 1 ボルト頭部高さの減肉が残存軸力に及ぼす影響

ボルト頭部高さの減肉が残存軸力の計測結果に及ぼす影響を検討するために，**写真 4** に示すように頭部高さを人工的に減肉させた新材ボルトを用いて，3. 1 節と同様の実験を行った．パラメータは頭部高さの減肉 3mm 及び 6mm，試験体数は 3 本ずつ行った．

実験結果を**図 1** に示す．図よりボルト頭部高さの減肉に伴い，導入軸力と頭部ひずみの関係の勾配が低下しているといえる．この結果を用いて求めた，ボルト頭部の減肉を考慮した補正軸力算出式を式(1)に示す．

$$N=(0.0014H^2-0.023H+0.174)\varepsilon \qquad (1)$$

ここで N は残存軸力(kN)，H はボルト頭部高さの減肉量(mm)，ε は頭部ひずみ(μ)を示す．

図 2 の結果を式(1)を用いて補正した結果を**図 3** に示す．補正式を用いることで，ほぼ全ての結果が 100%を下回ったが，計測結果のばらつきが大きい結果となった．ボルト頭部は腐食によって高さだけでなく側面の減肉も生じており，このボルト頭部の側面の減肉を考慮して残存軸力を評価する必要があると考えられる．

4. 2 ボルト頭部側面の減肉を考慮した残存軸力評価

ボルト頭部の減肉量が残存軸力に及ぼす影響を検討するために，ボルト頭部の減肉量の計測をナット部と同様の方法で行った．本研究ではボルト頭部とナット部の減肉量が残存軸力に及ぼす影響の比率を 1：1 と仮定し，それぞれの減肉量の合計を腐食減肉パラメータとして定義し，評価を行った．**図 4** に再評価した結果を示す．縦軸は式(1)を用いて算出した残存軸力割合，横軸はナット部とボルト頭部の減肉量の合計である．図より，ナット部のみの減肉量を用いた場合と比較して，減肉量と残存軸力割合の関係の相関性が向上しているといえる．また最小二乗法より求めた下限線を用いることで，残存軸力を概ね安全側に推定できるといえる．

5. 結論

(1) コア抜きを用いたひずみゲージ法による高力ボルト残存軸力推定法を提案した．

(2) ひずみゲージ法を用いて残存軸力を推定する場合，ボルト頭部高さの減肉を考慮する必要がある．

(3) ナット部及びボルト頭部の減肉量より，腐食劣化した高力ボルトの残存軸力を概ね推定することが可能である．

今後は FEM 解析等を用いて，ナット部とボルト頭部の減肉が残存軸力に及ぼす影響の比率の検討を行う必要があるといえる．

参考文献

1) 土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2007.

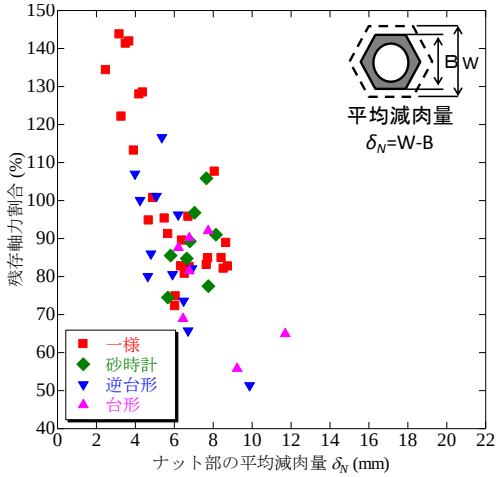

図 2　残存軸力割合とナットの平均減肉量の関係

写真 3　ボルト頭部の腐食例

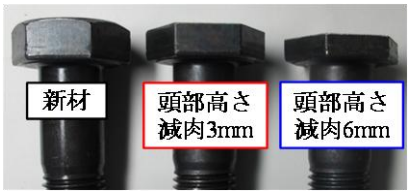

写真 4 人工減肉したボルト

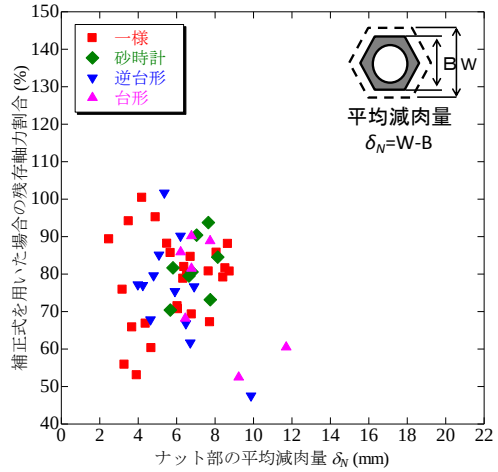

図 3　補正式を用いた残存軸力割合とナットの平均減肉量の関係

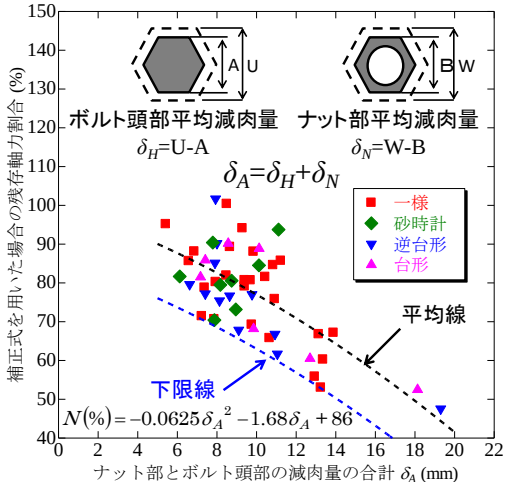

図 4　補正式を用いた残存軸力割合とナット部とボルト頭部の平均減肉量の合計の関係

2) 下里，田井ほか：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.