

実橋における腐食高力ボルトの残存軸力計測

木更津工業高等専門学校 正会員 ○田井政行
川田工業株式会社 長坂康史, MK エンジニアリング株式会社 竹渕敏郎
琉球大学 下里哲弘, 有住康則

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。腐食した高力ボルトは、減肉によって残存軸力が低下することが懸念されており、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。

本稿では沖縄県北部の普久川ダムに位置する架設から 30 年以上経過した耐候性鋼橋に用いられた腐食高力ボルトの残存軸力計測結果について報告を行う。

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は沖縄県北部に位置する普久川ダムに架かる耐候性鋼材を用いた鋼プレートガーダー橋である。離岸距離約 2.7km に位置しており、これより上流の橋梁(離岸距離約 3.2km)での腐食速度及び飛来塩分量は、0.022mm/year 及び 0.160mdd と比較的厳しい腐食環境であった。したがって対象橋梁においてもほぼ同程度かそれ以上の腐食環境下において、架設から既に 30 年間以上暴露されているといえる。

3. 高力ボルトの腐食減肉量の計測

対象橋梁の桁端部内面において、横構と外桁ガセットプレートとの摩擦接合継手に使われている F10TM20 の高力ボルト A 及び B を写真-1 に示す。写真に示すように、桁端部内面の高力ボルトでは、著しい腐食損傷が生じており、とりわけ、ガセット上面の高力ボルトでは、ナット角部を明確に確認できないほど、顕著な減肉が生じていた。

この高力ボルトを対象に、腐食減肉量の計測を行った。計測にはノギスを用いて、対面間の残存肉厚を計測した。ナット部での計測位置は図-1 に示すように座金から 0, 4, 8, 12, 16, 20mm とした。なお、ボルト頭部では腐食減肉がほとんど見られなかったため、減肉量をゼロとした。

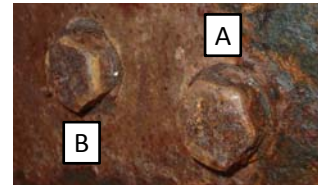
計測結果より算出した減肉量の結果を表-1 に示す。減肉量は健全時の M20 の高力ボルトの肉厚(32mm)から減肉後の肉厚を差し引いた値とした。新材時の肉厚 32mm よりボルト軸径 20mm を差し引いたナット部の肉厚 12mm と減肉量を比較すると、ナット部の 7 割程度が減肉により失われるほど激しい減肉が生じていたといえる。

4. 残存軸力計測

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、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



(a) 桁端部内面ナット部側（ガセット上面）



(b) 桁端部内面ボルト頭部側（ガセット下面）
写真-1 対象橋梁の高力ボルトの腐食損傷例

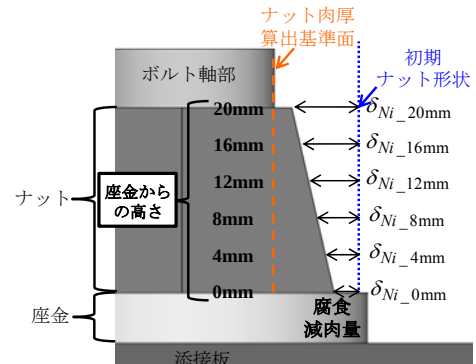


図-1 ボルト減肉量計測位置



写真-2 コア抜きによる軸力計測

表-1 ナット部の減肉量の計測結果

ボルト名	面番号	ナット部の減肉量(mm)								
		座金からの高さ						各面の 平均減肉量	各面の座金 近傍減肉量	ナット部全体の 座金近傍減肉量
		0mm	4mm	8mm	12mm	16mm	20mm			
A	1-4 面	4.0	5.9	8.0	9.3	11.0	12.2	8.4	6.8	6.8
	2-5 面	3.2	5.6	8.0	9.4	10.7	12.6	8.3	6.6	
	3-6 面	3.7	6.3	8.2	9.6	11.0	12.9	8.6	7.0	
B	1-4 面	3.2	5.2	7.5	9.6	12.5	14.9	8.8	6.4	6.1
	2-5 面	2.6	5.0	7.9	9.7	11.7	15.1	8.7	6.3	
	3-6 面	2.4	4.2	6.8	9.4	11.9	12.2	7.8	5.7	

める方法を用いて実験を行った。

4.1 コア抜き時のボルト頭部のひずみ計測

高力ボルトの軸力を計測するために、コア抜きを用いて軸力を解放し、その際のボルト頭部のひずみ値の計測を行った。計測の様子を写真-2に示す。

コア抜き時に得られたボルト頭部に貼り付けた2軸のひずみゲージの平均値を表-2に示す。計測結果は両ボルトとも1000 μ 前後であり、これを用いて4.3節で残存軸力の推定を行う。

4.2 導入軸力とボルト頭部のひずみの関係

前節で計測したひずみ値より残存軸力を推定するために、FEM解析を用いて導入軸力とボルト頭部のひずみの関係の検討を行った。解析モデルを図-2に示す。モデル化の対象はM20の高力ボルトとその頭部、座金、添接板及び母材とし、全てソリッド要素でモデル化し、対称性を考慮して1/4モデルとした。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、応力ひずみ関係は完全弾塑性体とした。境界条件は、各対称面に加え、母材底面を固定し、ボルト軸部に強制変位を与えて、軸力の導入を行った。

研究対象とした高力ボルトは、写真-3に示すように、ボルト頭部に貼り付けたひずみゲージが頭部の中心から離れた位置に貼り付けられていた。それゆえ、ボルトA、Bそれぞれのゲージ貼り付け位置について、頭部ひずみ値と導入軸力の関係を求めた。

解析より得られたボルト頭部のひずみ値と導入軸力の関係及びその回帰直線を図-3に示す。これより中心位置から離れた位置にゲージを張り付けることで、回帰直線の勾配が大きくなるといえる。本研究ではこれらの回帰直線を用いて実腐食高力ボルトの残存軸力の推定を行うこととした。

4.3 残存軸力と腐食減肉量の関係

ボルト頭部のひずみ計測結果と前節の回帰直線を用いて残存軸力の推定を行った。推定結果を図-4に示す。図の縦軸は残存軸力、横軸は座金近傍減肉量である。なお、座金近傍減肉量は、座金からの高さが0-12mmまでの間の平均減肉量である³⁾。図には、初期導入軸力を165kNとしてFEM解析より得られた導入軸力と減肉量の関係を併せて示す。

図より研究対象とした高力ボルトの軸力は120kN以上を示しており、設計軸力と比較して70%以上と、比較的健全な状態であるといえる。また、解析結果より作成した残存軸力の推定曲線は計測値と良い一致を示しており、座金近傍減肉量を用いることで、腐食高力ボルトの残存軸力を概ね推定できるといえる。

5. まとめ

- (1) コア抜きを用いたひずみゲージ法による残存軸力計測は、実橋においても適用可能である。
- (2) 対象高力ボルトの残存軸力は設計軸力の70%以上を有しており、比較的健全であると考えられる。
- (3) FEMを用いた残存軸力推定は有効であり、腐食減肉量より残存軸力の推定が概ね可能である。

今後は、摩擦面の状態や他の部位の腐食が摩擦接合継手の耐荷力に及ぼす影響の検討を行い、摩擦接合継

手の実用的な評価法の提案に繋げていく予定である。

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.
- 2) 田井, 下里ほか：腐食高力ボルトの残存軸力評価法の実験的研究, 第68回土木学会年次学術講演会, 2013.
- 3) 田井, 小間ほか：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, 第69回土木学会年次学術講演会, 2014.

表-2 ボルト頭部のひずみ計測結果

ボルト名	ボルト頭部の平均ひずみ $\epsilon(\mu)$
A	938
B	1001

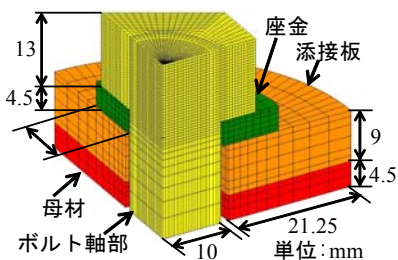


図-2 解析モデル

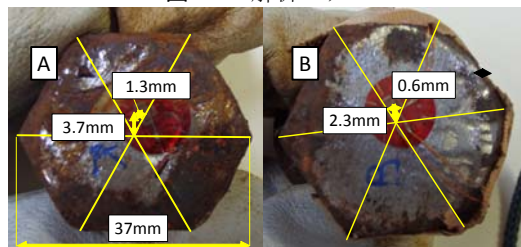


写真-3 ボルト頭部のゲージ位置のずれ

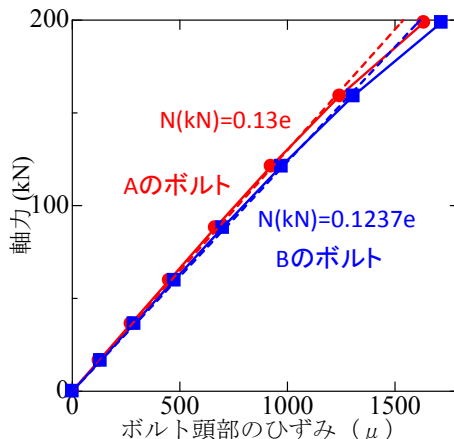


図-3 ボルト頭部のひずみと軸力の関係(FEM)

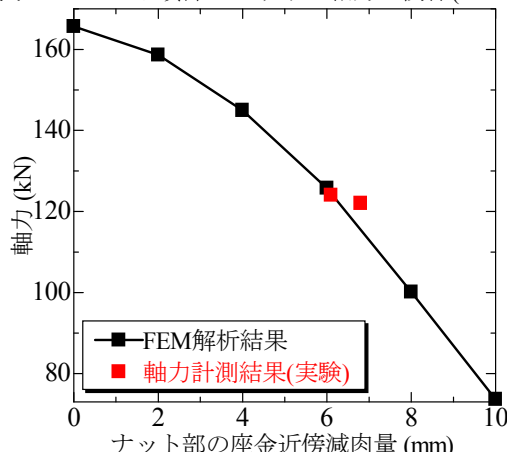


図-4 座金近傍減肉量と残存軸力の関係