

腐食減肉を伴う高力ボルトの残存軸力評価と実用推定式の提案

長岡技術科学大学 学生会員 ○金田 祐樹
 長岡技術科学大学 正会員 岩崎 英治
 (株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 非会員 岩持 成郁

1. 研究背景と目的

我が国では、高度経済成長期の1960年代以降に多くの社会基盤構造物が建設され、経年劣化に伴う腐食損傷事例が増加している。そのため、今後増加が予想される腐食損傷に対する適切な維持管理が求められている。

鋼橋における腐食事例に関する調査結果¹⁾では、ウェブと上下フランジの腐食による減厚や孔食、高力ボルト継手部の連結板とボルトの腐食減厚について報告されている。このうち、高力ボルト継手部はボルト頭やナットが突出しており、角部を多く有する複雑な形状であることから、防錆対策の塗料が付着しにくく、十分な塗膜被厚を確保することが困難である。さらに、鋼材の腐食要因となる海からの飛来塩分や凍結防止剤、雨水等が滞留しやすい部位であるため、腐食の早期進行が懸念される。継手部に腐食が発生した場合、高力ボルトの締付け軸力および摩擦接合継手耐力の低下が指摘されるが、この腐食に対する高力ボルトの残存軸力に関する明確な評価指標は未だ定められていない。

そこで本研究では、FEM解析により腐食減肉を伴う高力ボルトの残存軸力を評価し、維持管理に有用な実用推定式を提案することを目的とする。

2. 既往研究

高力ボルトの残存軸力評価に関する既往研究では、ナットやボルト頭を機械切削することで人工的に腐食減肉を再現した人工減肉実験^{1),2)}や有限要素法を用いた解析的研究^{3),4)}が行われ、高力ボルトの残存軸力と減肉量の関係について検討された。これにより、二面幅の減肉量が2mm程度までは軸力がほとんど低下せず、その後は徐々に減少する傾向が確認された。また、高力ボルトの軸力低下は、ナットやボルト頭の座金近傍の減肉による影響が支配的であることが確認された。さらに、ナット減肉による軸力低下の要因は、座金近傍のナット部や連結板の局所変形であると推察している。

3. 解析モデル

実橋で腐食した高力ボルトは、ナット外縁から同心円状に腐食が進行する(写真-1)。そのため、図-1に示

キーワード 鋼橋, 腐食, 高力ボルト, 残存軸力
 連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL0258-47-9617



(a) ケレン前 (b) ケレン後

写真-1 腐食が進行した高力ボルト²⁾

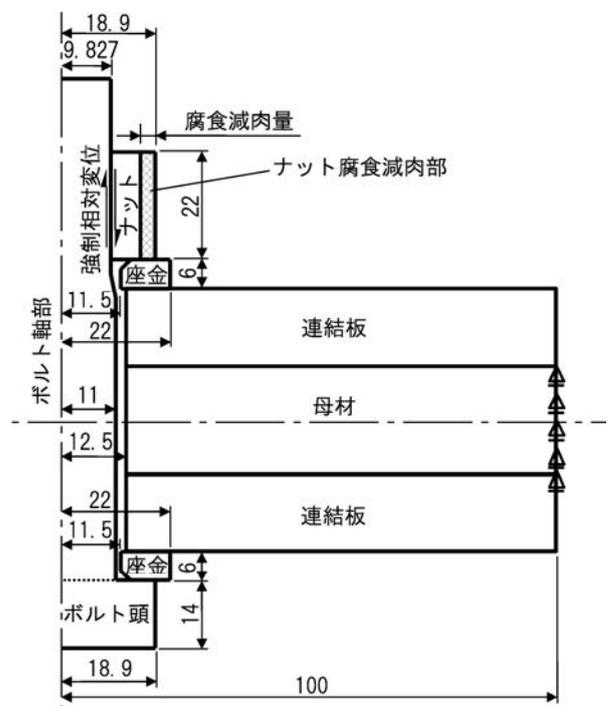


図-1 解析モデルの概要図

すように、解析モデルを軸対称とした。モデル化の対象は、JIS B 1186に規定の高力ボルトセット(F10TM22)、母材および連結板である。各部材の境界を接触面として定義し、接触面間の摩擦は無視して解析を行った。高力ボルトの軸力は、ねじ部に強制相対変位を与えることで導入し、ボルト軸部中心の引張応力を用いて算出した。ボルトの軸力導入後、腐食部位の要素を除去し、応力を再配分することで腐食減肉を再現した。

4. モデル形状の検討

ねじ部の形状は、JIS B 1082に規定のねじの有効断面積を用いて簡易化したが、ねじ山形を正確に再現したモデルと同等の解析結果が得られた。

図-2 にナット 5mm 減肉時の座金面取り有無による塑性ひずみの影響を示す。面取りを考慮した場合、ナットと座金の接触面が小さく、ナット部に局所的に大きい塑性ひずみが生じる。そのため、残存軸力の安全な評価を得るには、座金面取りの考慮が必要である。

5. JIS 規格寸法許容差の検討

JIS 規格には、高力ボルトセットの基準寸法に対する許容差が規定されている。このうち、ボルト軸径、座金外径およびボルト頭二面幅の許容差は、軸力低下に影響を及ぼさなかった。一方、座金内径およびナット二面幅を変更した場合、減肉量に対する軸力低下が大きい結果が得られた。ただし、ナット二面幅については、残存軸力を残存二面幅で評価することにより、基準寸法の解析結果との差が 1.5%以下とわずかであった。

6. 各種条件における軸力低下の挙動

図-3 に鋼種 SS400 における解析結果と実験結果をあわせて示す。解析結果は実験結果と同じ傾向を示し、ナットの一様切削と下部 5mm 切削で同じ結果が得られた。また、締付け厚さの違いによる軸力低下に差はなく、鋼種の違いによる結果は SS400 のみ傾向が異なった。

7. 実用推定式の検討

推定式の検討では、高力ボルトの初期導入軸力を 205kN、締付け厚さを 30mm とし、SS400 および SM490 の解析結果を用いた。ナット減肉時の軸力低下は、連結板の塑性化による傾向と、ナットおよび座金の塑性化による傾向で異なる。そのため、塑性化傾向が異なる残存二面幅 29mm 前後の解析結果をそれぞれ多項式近似し、以下の式を残存軸力割合の推定式として提案する。なお、表-1 に各係数値を示す。

残存二面幅が 29mm 以上の場合、

$$N_1(x) = A_1(36 - X)^2 + B_1(36 - X) + 100$$

残存二面幅が 29mm 未満の場合、

$$N_2(x) = A_2(29 - X)^2 + B_2(29 - X) + N_1(x=29)$$

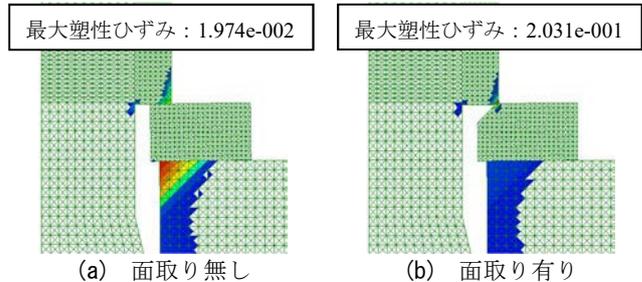
ここで、 N ：残存軸力割合 (%)

X ：残存二面幅 (mm)

8. まとめ

本研究では、腐食減肉を伴う高力ボルトの残存軸力を評価し、残存軸力の実用推定式を検討した。本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) ねじ部のモデル化は、有効断面積を用いて簡易化できる。また、残存軸力の安全な評価を得るには、座金の面取りの考慮が必要である。
- 2) 腐食した高力ボルトの残存軸力は、残存二面幅を用いることで推定が可能である。



(a) 面取り無し (b) 面取り有り

図-2 座金面取り有無による塑性ひずみの影響

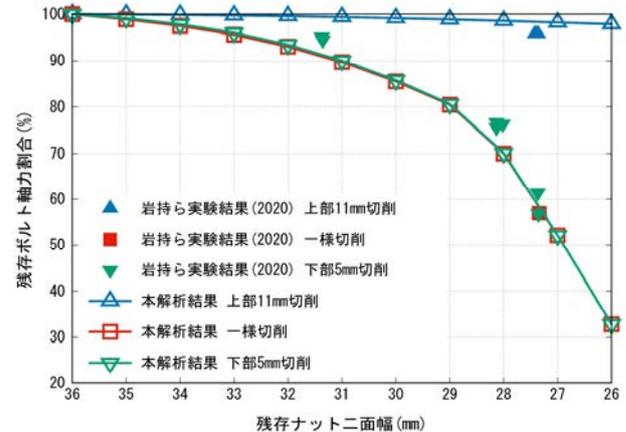


図-3 切削部位による軸力低下の影響

表-1 残存軸力割合の推定式の係数値

| 残存二面幅 (mm) | | ナットの腐食 | | ボルト頭の腐食 | |
|------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| | | SS400 | SM490 | SS400 | SM490 |
| 29 以上 | A_1 | -0.3473 | -0.2504 | -0.3510 | -0.2561 |
| | B_1 | -0.4241 | -0.2422 | -0.2336 | 0.0007 |
| 29 未満 | A_2 | -3.0627 | -2.0713 | -2.9354 | -1.8049 |
| | B_2 | -7.3379 | -12.080 | -8.1406 | -13.323 |

- 3) 高力ボルトの軸力低下は、座金近傍の減肉による影響が支配的である。また、板厚の違いによる軸力低下に差はなく、鋼種の違いによる軸力低下は SS400 のみ傾向が異なる。
- 4) 多項式近似により、ナットおよびボルト頭の腐食に対する残存軸力割合の推定式を提案した。

参考文献

- 1) 名取暢, 西川和廣, 村越潤, 大野崇: 鋼橋の腐食事例調査とその分析, 土木学会論文集, No. 668/I-54, pp. 299-311, 2001. 1.
- 2) 岩持成郁, 岩崎英治, 結城洋一: 減肉の生じた高力ボルトの残存軸力に関する基礎的研究, 土木学会関東支部新潟会第 38 回研究調査発表会発表論文集, No. I-313, 2020. 11.
- 3) 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. 3.
- 4) 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. 3.