

腐食した高力ボルト摩擦接合継手部の性能照査

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 ○ 橋 吉宏 石川裕一
中日本高速道路 金沢支社 森山 守
長岡技術科学大学 長井正嗣 岩崎英治 宮下 剛

1. はじめに

鋼橋の腐食による損傷部位として、桁端部と高力ボルト連結部が多く報告されているが、この部位は設計上クリティカルであり、凍結防止剤散布量が多い北陸自動車道では、この部位の健全性の評価は非常に重要である。道路法施行規則(省令)のが平成26年に改正され、橋梁では5年に1度の近接目視点検を基本として、健全性の診断をグレード分けにより行うこととしている。NEXCO 中日本・金沢支社では「より科学的・合理的に説明できる保全」をスローガンとした取組みを進めており、その一環として既設構造物の性能照査および維持管理法を規定した IS013822 を参考にした数値化¹⁾によるグレード分けを試みている。本報告は、腐食した鉋桁フランジの高力ボルト摩擦接合部を対象に、グレード分けのしきい値として、信頼性指標 β を利用することを試みた結果を報告するものである。

2. 実橋における高力ボルト摩擦接合部の腐食状況

表-1は、腐食を生じた高力ボルトに対する評価基準の一例である。このような評価基準に対して、図-1は凍結防止剤を散布する北陸自動車道における補修前の高力ボルトの腐食状況であり、腐食形態として以下の傾向があった。

- ① 腐食損傷は下フランジ上面のナットおよび連結板に生じやすい。
- ② 塗装損傷部に凍結防止剤の塩分が浸透して腐食が始まる。
- ③ 排水管からの漏水部および枯葉堆積部などで局部的に腐食損傷が生じる。
- ④ 塗装損傷部と塗装健全部との腐食度の差は顕著であり、連結板はその端部で腐食が生じやすく、ボルトについては腐食度4、5の損傷は目視で判定しやすい。
- ⑤ 摩擦接合面の腐食はみられないが、腐食度5の一部のボルトで軸力の抜けを現場で確認している。

一般に、ナットの減肉量が片側1mm程度以下では軸力の低下はわずかであるが、それを超えると急激に軸力は低下することが知られている。実橋において腐食度5と判定された高力ボルトについて軸力の抜けが確認されており、腐食度5の残存軸力はゼロとみなせば、そのボルトの本数で接合部の性能照査ができると考えた。

3. フランジ連結部を対象とした性能照査

建設時から劣化が進むイメージを図-2に示す。荷重作用分布 $f_s(s)$ と部材抵抗分布 $f_R(r)$ が交わることで破壊を生じ、時間の経過で損傷が進むと破壊確率は高まっていく。性能関数 Z を $Z = f_R(r) - f_s(s)$ で定義すれば、 Z の平均値 μ_Z は $\mu_Z = \mu_R - \mu_S$ で表される。 $f_R(r)$ と $f_s(s)$ はそれぞれ標準偏差 σ_R と σ_S を有し、 $\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$ とすれば、信頼性指標 β は $\beta = \mu_Z / \sigma_Z$ で定義される。

表-1 高力ボルトの評価基準の例

ランク	概要図	健全度評価	判定
腐食度 1		塗膜は健全で腐食も見られず、軸力低下していないと考えられる。	健全
腐食度 2		塗膜はほぼ健全で腐食もほとんど進行しておらず、軸力低下も非常に小さいと考えられる。	健全
腐食度 3		塗膜剥離部にナット表面の軽微な腐食が見られるが、軸力低下が小さいと考えられる。	健全
腐食度 4		ナット表面が腐食し少量の腐食も見られ、若干の軸力低下も考えられる。	注意
腐食度 5		ナット表面が激しく腐食・膨張し多量の減肉も見られ、著しい軸力低下も考えられる。	補修



図-1 補修前の高力ボルトの腐食状況例

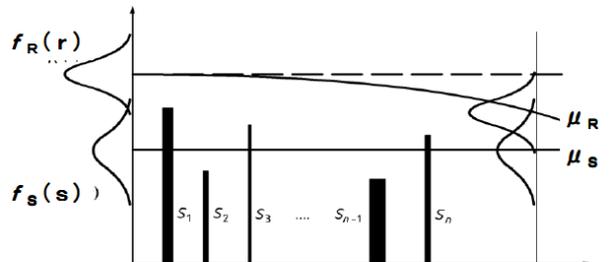


図-2 劣化進行のイメージ

キーワード 維持管理, 性能照査, 高力ボルト, 腐食, 鋼橋

連絡先 〒920-0025 石川県金沢市駅西本町3-7-1 TEL 076-264-7872

β が小さいほど破壊確率は大きくなり、ISO13822 では目標とする $\beta = 3.8$ を保持するように推奨している。フランジ連結部の摩擦接合におけるボルトは、設計ではフランジの作用応力に応じて必要な本数が決定される、あるいは、全強の 75% の強度を持つように本数が決定される。一般に、交番部以外では前者によって本数が決定される場合がほとんどであり、ボルト本数には設計断面力に対して余裕が少ない。ここでは、フランジ連結部を対象に、 $\beta = 3.8$ を保持できる腐食度 5 のボルト本数の割合について試算を行った。ここで β の算定にあたり、性能関数の平均値 $\mu_z = \rho N - (D+L)$ とした。ここに、 ρ はボルト 1 本あたりの耐力、 N は腐食度 4 以下のボルト本数、 D は死荷重によるフランジ軸力分、 L は活荷重によるフランジ軸力分である。

4. β 算定にあたっての不確定要因 設計計算時の上記 D 、 L については、北陸自動車道における実橋を参考に $D : L = 0.45 : 0.55$ とした。また、高力ボルトは M22 を対象とした。

1) 荷重側不確定要因 死荷重のばらつきについては、文献 1) と同様とした。活荷重については、まずは対象路線における L の最大値を予測する必要がある。著者らは文献 2) で北陸自動車道の立山 IC から滑川 IC の区間に位置する鋼単純鋼桁橋を対象に実態調査を行った結果を報告しており、性能照査を行うにあたり設計

表-2 不確定要因の平均値と標準偏差

不確定要因		基準値	平均値/基準値	標準偏差	備考
荷重側	死荷重	床版 2.50t/m ³	1.050	0.0138	荷重の割合が大きい床版のデータを使用した
		鋼重 7.85t/m ³	1.002	0.0121	
		舗装 2.30t/m ³	1.030	0.0500	
	活荷重	TL20 TT43	0.65~1.30	0.0560	変化させて試算
抵抗側	すべり係数	0.40	1.480	0.0670	文献3)による
	軸力	202kN	0.956	0.0190	文献4)による
	多列配置	-	-	-	耐力10%低下

時の L の 0.65 倍以上で照査する必要のあることを示した。そこで、ここでは文献 1) も参考にして、活荷重に対し設計活荷重の 0.65 倍~1.3 倍について β の算定を行うこととし、標準偏差は 0.056 L を用いた。

2) 抵抗側不確定要因 高力ボルト摩擦接合の不確定要因は、既往の研究^{3), 4)}を参考にした。すべり係数については、西村らの研究における無塗装の場合のそれを用いた。軸力のばらつきについては、土木研究所と大阪市立大学の共同研究を参考とした。また、多列配置における耐力低下として 10% 低下を考慮した。

5. 算定結果

β の算定にあたり、AFOSM (Advanced First Order and Second-Moment) 法を用いた。表-3 に、設計時の L の 0.65 倍、0.8 倍、1.0 倍、1.3 倍の場合について、 $\beta = 3.8$ を保持できる腐食度 5 のボルト本数の割合を示した。設計活荷重で 25% の余裕のある算定結果であるが、これは道路橋示方書の許容応力度設計法と信頼性理論に基づく限界状態設計法をベースとする ISO13822 の差と考えられる。 L の 0.65 倍は北陸自動車道での実態調査に基づいた照査結果であり、腐食度 5 の本数が 40% まで許容しても $\beta = 3.8$ を保持できる結果であった。

表-3 $\beta = 3.8$ を保持できる腐食度 5 のボルト本数割合

活荷重評価	L × 0.65 (実態調査時)	L × 0.80	L × 1.00 (設計時)	L × 1.30
腐食度5のボルト本数割合	40%	33%	25%	13%
変状グレード対応	深刻な変状		変状が著しい	

L: 活荷重によるフランジ軸力分

6. まとめ 変状グレードとして表-3 に示したように、実態活荷重による断面力の最大値に対して目標とする β が確保できない場合は「深刻な変状」、設計活荷重に対して確保できない場合は「変状が著しい」とするなどが考えられる。一方で腐食の場合には、次の点検までに進む腐食損傷状態を予測して、しきい値を設定する必要があり、文献 2) で指摘した実態活荷重のデータの蓄積を含めて今後の課題である。最後に、本報告をまとめるにあたり、金沢大学大学院生の渡邊洋輔氏に多大なる協力をいただいたことに感謝する。

【参考文献】

1) 橋ら：性能照査型維持管理法と既設構造物への信頼性指標 β 算定の試み、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集 (2014.9) 2) 石川ら：性能照査型維持管理法の導入に伴う北陸自動車道の活荷重に関する一検討、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集 (2015.9) 3) 西村ら：高力ボルト摩擦接合継手における最近の動向、土木学会論文集 No.675/ I -55 (2001.4) 4) 土木研究所、大阪市立大学：高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書 (2012.1)