

屋外暴露した乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの 長期耐久性に関する検討

STUDY ON THE LONG-TERM DURABILITY OF OUTDOOR EXPOSED OF DRY JOINT TRANSPARENT ANTI-LAST BOLT CAP

○上田 慎也^{*1} 大久保 宣人^{*1} 佐合 大^{*1} 寺坂 剛^{*2} 富山 禎仁^{*3} 杉浦 邦征^{*4}
Shinya Ueda^{*1} Nobuhito Okubo^{*1} Dai Sagou^{*1}
Takeshi Terasaka^{*2} Sadahito Tomiyama^{*3} Kunitomo Sugiura^{*4}

ABSTRACT We have been developing dry-joined transparent Anti-Rast Bolt cap (referred to as bolt cap) with the aim of enhancing the corrosion resistance of high-strength bolted connections, prolonging the lifespan of steel bridges, and reducing life cycle costs. In this report, we present the interim observations after 12 months of outdoor exposure testing of the bolt caps, the results of immersion resistance testing, and the results of accelerated vibration testing.

Keywords:高力ボルト, ボルトキャップ, 屋外暴露試験, ポリカーボネート, EPDM ゴム
High tension bolt, bolt cap, exposure test, polycarbonate, EPDM rubber

1. はじめに

鋼橋の継手部に使用する高力ボルトは、特にナット部およびネジ部の凹凸により防錆塗装時に処理を確実に施しにくく、また塗膜厚を確保しにくいことから、一般部に比べて腐食が進行しやすい傾向にあり、導入軸力の低下等により構造物としての安全性を損なうことが懸念される。そこで、高力ボルト連結部の腐食耐久性を高め、鋼橋の長寿命化並びにライフサイクルコストを低減することを目的として、乾式接合透明ボルトナット防錆キャップ(以下、ボルトキャップという)の開発を進めてきた。耐候性を確認するため、複合サイクル試験[1]、キセノンアークランプ法を用いた促進試験[2]を行っているが、促進試験だけでは実環境における評価が困

難である。そこで本研究では、道路点検要領で定められている定期点検頻度である5年間の耐久性の確保および、促進試験の結果との関係性を確認するためにボルトキャップの屋外暴露試験、防浸性試験、加速振動試験を行い、ボルトキャップの長期耐久性についての評価を行う。

2. ボルトキャップの概要

ボルトキャップの概要を図1に示す。適用箇所の鋼材表面は、一般的に高力ボルト継手部に用いられるF-11が塗装されている状態を想定している。キャップを装着した押しつけ力により、母材に設置したEPDMゴムスポンジとキャップが密着される構造となっている。適用範囲は、新設橋の予防保全及び既設橋の軽微な腐食が見られる塗装橋梁とし、特に伸縮装置からの漏水などが原因で腐食が発生しやすい傾向にある桁端周辺や飛来塩分を受けやすい環境に位置する塗装橋梁の高力ボルト等を対象としている。また、設置後は定期点検時に、目視により、ボルトキャップ脱落の有無、ポリカーボネートの傷、割れ、透明度の確認、EPDMゴムスポンジやゴムパッキンの劣化状態、適用箇所のボルトの腐食状態を定期的に確認することを想定している。

^{*1}第1種正会員

高田機工株式会社 技術本部

(〒556-0011 大阪府大阪市浪速区難波中2-10-70)

^{*2}非会員

共和ゴム株式会社

(〒573-0102 大阪府枚方市長尾家具町3-4-3)

^{*3}非会員 博士(工学)

土木研究所 先端材料資材研究センター

(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

^{*4}第2種正会員 博士(工学)

京都大学 大学院工学研究科 教授

(〒615-8530 京都市西京区京都大学桂)



図1 ボルトキャップの概要

3. 試験方法

3.1. 屋外暴露試験

実環境における屋外暴露時の耐候性やボルトキャップの材料特性の変化を確認するため、沖縄県大宜味村の土木研究所の屋外暴露試験場にて屋外暴露試験を行った。試験体は図2に示す形状で全4ケース用意し、ボルト2本のうち片方のみボルトキャップを取り付けて、暴露試験所内の架台に設置した。試験体の種類を表1に示す。ケース1はF-11塗装されたボルトに対して、実橋梁での部分的な腐食を想定し、人為的にボルト軸部やナット部を研磨して錆を発生させたものである。ケース2は塗装作業の軽減を図るための方法としてボルトにF-11の上塗り1層のみを施したケースである。ケース3, 4はEPDM ゴムスポンジの気密性及び水密性を検証するため、無塗装ボルトに対して、EPDM ゴムスポンジの有無で比較を行った。長期暴露期間を設け、定期的にキャップ内のボルトの状態を目視で点検した。設置時の気温は24.5℃で湿度は92%であった。

3.2. 防浸性試験

本試験ではキャップ装着時の防浸性を確認するため、JIS C 0920 (IEC 60529) に規定された、電気機械器具の外郭による保護等級の中でも、防浸系の等級を表す、IPX7 基準に準拠した試験を行った。図3に示す試験機に図2と同様のボルト継手を模した試験体にボルトキャップを装着したものを設置し、0.01MPaの水圧で30分間没した。そ

の後、ボルトキャップ内の浸水の有無を確認した。

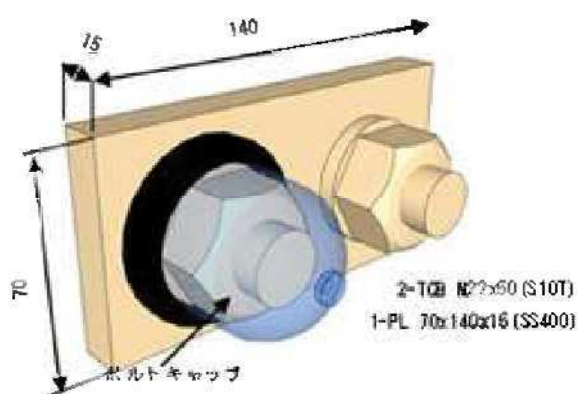


図2 試験体モデル



図3 防浸性試験状況

3.3. 加速振動試験

本試験ではボルトの振動によるキャップの脱落の有無を検証するためボルトのゆりみを評価するために一般的に用いられる米国航空規格NAS3350に準拠した加速振動試験を行い、ボルトキャップの緩みや脱落の有無を確認した。試験状況を図4に示す。試験体を複合サイクル試験の有無等で7ケース用意し、それぞれについて振動試験を実施した。複合サイクル試験を実施した試験体については、1000時間、1500時間、2000時間、2500時間、3000時間経過後のものをそれぞれ使用した。



図4 加速振動試験状況全景

表 1 試験体の種類

ケース名	ボルト部の仕様	ボルトキャップ	ゴムスポンジ
ケース1	F-11塗装, きず付	あり, なし	あり
ケース2	F-11塗装(上塗り1層)	あり, なし	あり
ケース3	無塗装	あり, なし	あり
ケース4	無塗装	あり, なし	なし

4. 試験結果

4.1 屋外暴露試験

試験体設置時と1年経過時点の暴露試験状況の比較を図5、図6に示す。1年経過時点で、いずれのケースにおいてもキャップなしのボルトについては相当の錆が発生していた。ケース1については、キャップ無しのボルトは、研磨して塗装を剥離した箇所に錆が発生しているのに対して、キャップありのボルトについては特に変化が見られなかった。ケース2については、キャップ無しのボルトについては、ボルト全体に浮き錆が発生し、一部塗膜が剥離している箇所が見られたのに対して、キャップ有りのボルトについては特に変化が見られなかった。ケース3,4については、キャップ無しのボルトについては相当の錆が発生しているのに対して、ケース3のキャップ有りのボルトは変化が見られず、ケース4についてはキャップ内に結露が発生していることが確認できた。また、多少の浮き錆が生じていた。このケースはゴムスポンジが無いケースであることから、ボルト部の防錆にゴムスポンジが寄与していることが確認できた。以上の結果より、実環境下においても、ボルトキャップとゴムスポンジを設置することで1年以上は錆の進行および発生を防止できることが分かった。なお、材料特性の初期値については、ゴムスポンジの引張強さは0.3MPaで、ゴムパッキンは12.0MPaであった。1年経過後の材料特性は、ゴムスポンジの引張強さは0.2MPaで、ゴムパッキンは12.0MPaであった。この結果はキセノンアークランプ法を用いた促進試験で用いたゴムスポンジ、ゴムパッキン材料の初期値と同値である。今後も屋外暴露試験を継続し、1年ごとに目視確認と材料特性の変化を確認する予定である。



(a) 暴露開始時



(b) 1年経過時

図5 暴露試験体全景



(a) ケース 1 暴露開始時



(b) ケース 1 1 年経過時



(c) ケース 2 暴露開始時



(d) ケース 2 1 年経過時



(e) ケース 3 暴露開始時



(f) ケース 3 1 年経過時



(g) ケース 4 暴露開始時



(h) ケース 4 1 年経過時

図 6 各ケースの暴露試験状況

4.2 防浸性試験

防浸性試験の結果、いずれの試験体ケースについても、ボルトキャップ内への水分の侵入は見られなかった。図7に試験後の試験体の状況を示す。新設橋への設置時を再現するために塗装ボルト・鋼板、既設橋への設置時を再現するために腐食鋼板・無塗装ボルトで試験を行った。EPDM ゴムスポンジを設置した試験体に関しては、いずれのケースもキャップ内の水分の侵入は見られなかったがEPDM ゴムスポンジを設置しないケースについては若干の水分の侵入が見られた。このことから、EPDM ゴムスポンジが防浸性の確保に寄与していることが分かった。



(a) 塗装鋼板(塗装ボルト)



(b) 腐食鋼板(無塗装ボルト)

図7 防浸性試験後の試験体

4.3 加速振動試験

試験状況を図8に示す。試験は、振動数 30Hz、振動回数 30,000 回(約 17 分)、振動幅 11.4±0.4mm-p で行った。これはねじの緩みを評価する際に一般的に用いられる NAS 振動試験に準拠したものである。高力ボルトに通常のボルトキャップを設置した試験体については、ナット側・頭側ともにキャップのゆるみや脱落は見られなかった。また、促進試験後のボルトキャップを設置した試験体についても同様に、キャップのゆるみや脱落は見られなかった。このことから、ボルトキャップに振動が作用しても、本来の性能を確保できることを確認できた。また、紫外線の影響により、劣化したボルトキャップ・ゴムスポンジについても振動に対して抵抗できることを確認できた。



(a) 試験体全景



(b) カウンター

図8 加速振動試験状況

5. 結論

本研究ではボルトキャップの長期耐久性の評価を目的として屋外暴露試験，防浸性試験，加速振動試験を実施した．試験結果および既往研究の促進試験の結果より，高力ボルト部にボルトキャップとゴムパッキンを設置することで錆の進行を防止できることが分かった．また，ゴムスポンジなしのケースでは母材の凹凸によりゴムパッキンとの接触面に隙間が生じ，空気等の出入りが生じていると考えられることから，ゴムスポンジが気密性及び水密性の確保に寄与していることが分かった．今後も引き続き暴露試験を継続するとともに，1年ごとに透明ポリカーボネートの変色及びEPDMゴムパッキン，EPDM ゴムスポンジの引張試験を行い，材料特性の変化を確認していく予定である．現在，腐食因子が多い寒冷地での屋外暴露試験も行っており，別の機会に報告する予定である．

参考文献

- [1] 壽系亘平ら：乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの腐食促進に関する研究，第 78 回年次学術講演会概要集, I-269, 2023
- [2] 大久保宣人ら：乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの耐候性に関する研究，第 78 回年次学術講演会概要集, I-270, 2023