

トルシア形高力ボルト適用拡大に関する課題と対策（その１）

— HTB の品質規格と適用拡大に伴う品質確保について —

(財) SCOPE（前 JRJT）フェロー ○ 保坂鐵矢 鉄道・運輸機構 正 藤原良憲

(財) 鉄道総合技術研究所 正 池田 学 トーニコンサルタント 正 久保武明

(株) 東京鐵骨橋梁 香丸能輝 神鋼ボルト（株） 長崎英二

パシフィックコンサルタンツ 正 松尾 仁

１．はじめに

鋼桁に用いる高力ボルトは摩擦接合用高力六角ボルト（以下、六角ボルト）と摩擦接合用トルシア形高力ボルト（以下、TC ボルト）で、高力ボルトの開発は六角ボルト（表－１に示す一般ボルト）で、昭和 29 年に高山線に始めて用いられ、昭和 39 年開業の根岸線や東海道新幹線の一般環境塗装桁に本格的に用いられた。以降、特殊環境塗装系に防錆処理ボルト、耐候性鋼を用いた無塗装桁に耐候性ボルト（含、Ni 系耐候性ボルト）、耐候性鋼のさび安定化処理桁にさび安定化処理ボルト、溶融亜鉛めっき処理桁にめっきボルトが用いられている。TC ボルトが昭和 59 年には一般環境用（摩擦接合面：プラスチック）として開発され現在に至っている。現在用いている高力ボルトの種類と適用区分³⁾⁵⁾を表－１に示す。

表－１ 摩擦接合用高力ボルトの種類と適用区分³⁾⁵⁾

		耐候性無塗装桁		塗装桁		めっき桁
		耐候性ボルト	さび安定化処理ボルト	一般ボルト	防錆ボルト	めっきボルト
摩擦接合面		厚膜型無機ジンク		厚膜型無機ジンク	厚膜型無機ジンク	めっき処理
高力六角ボルト		○	○	○	○	○
トルシア形高力ボルト	一般孔	×	×		×	—
	拡大孔	×	×		×	—
注）・表中の※印：参考文献 4)の改訂により「新桁の摩擦接合面は厚膜型無機ジンクを塗布」と変更、を示す。 ・△印：「すべり係数および導入軸力の確認試験を行い適用」を示す。 ・×印：「現行では適用外」を示す。						

２．トルシア形高力ボルト仕様に伴う課題と対応

１）ボルト種類と規格

ボルト製品規格は、表－２に示すように六角ボルトのみ JIS 化（JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト、六角ナット、平座金のセット」）されているが、六角ボルトの表面処理ボルト等は各事業体の規格（材料規格もしくは施工管理仕様等）¹⁾により用いている。TC ボルトは六角ボルトと形状や締付けメカニズムが異なることから昭和 59 年に鋼鉄道橋にも鉄道特有の活荷重の載荷状況を考慮した確認試験（表－３参照）を行い

表－２ 各種高力ボルトの規格

	摩擦接合用高力ボルト	鉄 道 ¹⁾	道 路
六角ボルト	摩擦接合用高力六角ボルト	JIS B 1186	
	摩擦接合用防錆処理高力ボルト	鋼鉄道橋規格 SRS23	本四公団規格
	摩擦接合用耐候性高力ボルト	鋼鉄道橋規格 SRS22	JIS B 1186 相当
	摩擦接合用 Ni 系耐候性高力ボルト	鋼鉄道橋規格 SRS22 相当	JIS B 1186 相当
	摩擦接合用さび安定化処理高力ボルト	鋼鉄道橋規格 SRS23 相当	JIS B 1186 相当
	摩擦接合用溶融亜鉛めっき高力ボルト	鋼鉄道橋規格 SRS24	JIS B 1186 相当
トルシア	トルシア型高力ボルト	鋼橋材料仕様 RBSB03A ²⁾	日本道路協会 ¹⁾
	防錆処理高力ボルト	用いていない	塗装・防食便覧 ⁴⁾
	耐候性高力ボルト	用いていない	
表中の※１：鋼鉄道橋規格は鉄道総研仕様 HTB 材料規格を示す。 ２：鋼橋材料仕様 RBS 03A は鉄道運輸機構仕様 HTB 材料規格を示す。			

温度依存性からボルト締付け範囲（0℃～50℃）を設定した施工管理仕様¹⁾を定め現在に至っている。しかし、TC ボルトは六角ボルトと同様、開発された防錆ボルトや耐候性ボルトが製品化・市場化されているにもかかわらず材料規格や適用性の課題を明確にしないまま運用している。

ここで、六角ボルトは現場予備試験で締付け機器の検定や導入軸力の調整を行いトルク値を設定、締付け作業を行うことができるシステムで、かつ、各ボルト種類を事業体として材料規格を設け安定した製品の供給が可能である。

一方、TC ボルトは予備試験でトルク値の設定ができない構造や締付けメカニズムを有するため、ボルト表面処理材である潤滑材の影響が締付け時の温度に依存し導入軸力が変動する。このため、ボルト自体の製品に一層の安定した高い品質が求められるはずであるにもかかわらず、現在、製品化・市場化されている防錆処理ボルトや耐候性ボルト等はボルト機能品質を仕様した材料規格等が制定されていないまま無意識に用いられている例が多々見られる。

２）塗装仕様に伴う適用範囲の課題

TC ボルトの採用に伴う耐力確認は表－３に示す種々の試験を行い評価した。試験内容は潤滑材のみで表面処理したボルトを用い、

キーワード トルシア形高力ボルト、摩擦接合面、厚膜型無機ジンクリッチペイント、温度依存性
連絡先 〒163-0730 新宿区西新宿 2 丁目 7 番 1 号 小田急第一生命ビル TEL 03-3344-0712

継手試験体は摩擦接合面をブラスト処理状態でボルト軸部に設けたひずみゲージで導入軸力を、そしてすべり係数の計測を行った。これは開発当時の TC ボルトは継手摩擦接合面がブラスト肌である一般環境塗装桁のみの適用が前提で、摩擦接合面に厚膜型無機ジンクを塗布する一般環境区間の無塗装桁や特殊環境塗装桁への適用は六角ボルトの耐候性ボルトや防錆処理ボルトを用いたためである。

最近、防食便覧や塗装指針等⁴⁾で新桁の塗装系は従来の特殊環境塗装系と同系統となり摩擦接合面に厚膜型無機ジンク塗布が指定された。このような塗装仕様の変更に対して、ボルト耐久性：温度依存性についてボルト機能品質確認試験も行われ無く採用されているのが現状である。

TC ボルトの開発当時のクリティカルな温度依存性は高温域(40℃～60℃)で、60℃近傍の導入軸力の許容値を超える製品が生じたことから、鉄道橋仕様では安全性を考慮し上限値を50℃とし現在に到っている。・・・という経過を鑑みると温度依存性による導入軸力の品質管理上、常温域(10℃～30℃)以外の区間に於ける品質確認をなおざりにして安易にTCボルトの耐候性ボルトや錆安定化処理ボルトのみならず摩擦接合面に厚膜型無機ジンク処理した継手を用いることは好ましくない課題である。なお、鉄道仕様¹⁾では「厚膜型無機ジンクを塗布する摩擦接合面を有する継手に用いる場合はボルト耐力試験等で確認する必要がある。」とあることから適用条件として確認試験を行った上で用いる(表-1の△印で表示)こととしている。

3) その他：

(1) 例えば、ボルト品質におけるすべり係数

HTBの品質は事前にトルク係数値、ボルト軸力、すべり係数の範囲や変動等の規制が仕様されている。

ここで、課題はボルト導入軸力である。例えば、すべり係数は、例えば学会指針²⁾によると「接合面処理としての実績の少ない表面処理を行った高力ボルトを採用する場合、標準すべり試験によりすべり係数を確認する。」とある。

この仕様のすべり係数 η は次の式で算定してよいとある。
$$\eta = P / (m \cdot n \cdot N)$$

ここで、 η ：すべり係数、 P ：すべり試験で測定されたすべり荷重、 m ：接合面数、 n ：ボルト本数、 N ：設計ボルト軸力。

この条項の試験は温度依存性やボルト本体の表面処理や摩擦接合面の処理等の明記がなく、標準すべり試験における N (導入軸力)は設計軸力とあるが、すべり係数の評価上一概にオールマイティーなのか否か、議論すべき課題である。筆者らの経験では、実績のある六角ボルトでも大口径ボルトや首下の長いボルト、拡大孔、摩擦接合面の厚膜型無機ジンク処理、防錆ボルト、耐候性ボルト等の標準ボルト仕様以外の適用に伴う確認試験等の場合はボルト軸部の設けたひずみゲージによる読み値(実測値)を導入軸力としすべり係数を評価している。なお、すべり耐力はボルト本数算定時の設計軸力(例えば、M22は20.5t/本)を用いるが、ボルト品質確認試験等に用いるすべり試験等には用いていないのが一般的である。特に、材料・製品規格や実績のないTCボルト系に於いては・・・である。ちなみに、筆者らの調査では昭和59年以降TCボルトの適用拡大に伴う温度依存性の試験等の明確な信頼できる研究や知見が見当たらなかった。

(2) 例えば、最近、多く用いられている現場溶接との併用継手

併用継手は溶収縮による影響がボルト継手に生じることから安易に施工すると継手耐力を侵うばかりか橋桁本体の耐久性を侵う恐れがある。例えば、溶収縮に影響が少ない範囲をボルト本締めする手法(全断面溶接への適用は困難)、溶接施工に設けた形状保持材やエンドタブなどで溶収縮の応力解放後ボルト本締めを行う手法⁶⁾(総ベント架設等に適する)、摩擦接合面に犠牲鋼板を用いた健全な摩擦接合面の品質確保する手法⁷⁾等々、情報発信や実用化されている。いずれも夫々の提案手法は過渡期であり、HTBの機能と現場施行状況を鑑みた合理的な手法の標準化が求められる。ちなみに、海外の鋼橋梁に併用継手は用いられていない。

3. あとがき

最近ではTCボルトが六角ボルトを凌駕して用いられているが、多様化した橋梁機能に対して安易に施工性のみ追求したボルトの適用や施工手法は橋梁耐久性を侵う恐れがある。上記に報告した課題と報告は一例であり参考になれば幸いである。なお、当該報告における資料検討は「RSC研究会」の関係者および試験に協力頂いた神鋼ボルト(連名者：長崎氏等)の情報を参考にしています。

<参考文献>1)例えば、日本道路協会、高力ボルトに関する要領・規格(S59.9)、鉄道総研、鋼鉄道橋規格(SRS)、鉄道・運輸機構、トルシア形高力ボルト施工管理の手引(S59.9、改定H元.9)や鋼橋材料仕様(RBS)、2)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)、3)鉄道公団、設計だより No.105「高力ボルト摩擦接合の耐力」(H7.6)、4)例えば、日本道路協会、鋼道路橋塗装防食・便覧(H17.12)、鉄道総研、鋼構造物塗装設計施工指針(H17.5)、5)第63回年講：鋼鉄道橋における高力ボルト適用区分の現状と課題、2008.9、6)鉄道・運輸機構、鋼鉄道橋現場溶接施工の手引き(H16.6)、7)第63回年講：鉄道橋における併用継手の現状と課題、2008.9

表-3 鉄道・トルシア形高力ボルト品質確認試験フロー

