

超高力ボルトの橋梁分野への適用に向けた各要因の影響

玉越隆史* 石尾真理** 大久保雅憲*** 加藤浩一**** 氏本 敦*****

1. はじめに

鋼道路橋の主桁や横桁などの各部材は、工場で製作され、架橋位置まで運搬されて組立てられる場合が多く、組立てには高力ボルトが多用されている(写真-1)。

従来の道路橋で用いられる高力ボルトよりも高い強度を有するボルト(以下「**超高力ボルト**」*)という。)を、高力ボルトに替えて使用することができれば、継手部の小型化や施工量の削減によるコスト縮減、品質確保が困難な条件での厚板溶接を回避できるなど、道路橋の建設コスト縮減と品質向上に資するとされている。

建築分野では1990年頃から超高力ボルトの開発研究が始まり、1999年超高力ボルトS14Tの建設大臣一般認定¹⁾が取得され、鉄骨高層ビルの接合に採用されてきている。しかし、土木分野では主に次に示す2点で建築分野とは異なることから、土木分野における適用条件に対して、現在使用されている高力ボルトと同等の性能を有することを確認する必要がある。



写真-1 主桁継手部

1点目は、長期間屋外で直接自然環境に曝され、腐食環境が厳しいことである。超高力ボルトは、過去の一時期、土木分野でも使用されていた。しかし、実橋において遅れ破壊(高強度の鋼材が高応力状態で、ある時間の経過後に突然脆性的に破壊する現象)が生じたため、現在は道路橋示方書²⁾(以下「示方書」という。)では使用を制限されている。

2点目は、使用される条件(寸法、材質等)、施工条件(肌隙の影響等)及び荷重条件(活荷重等)が異なることなどである。

本稿では、2点目の橋梁における使用条件及び施工条件を対象に、示方書における高力ボルト(F10T, S10T)の規定や制限と、超高力ボルト(S14T)を対比し、適用可能性について検討した。

ここで、高力ボルトの接合方法は、荷重の伝達機構から、(1)摩擦接合(2)支圧接合(3)引張接合の3種類に分類される。(1)摩擦接合では、接合部材を高力ボルトで締付けることで発生する部材間の摩擦抵抗力により荷重の伝達を行う。(2)支圧接合では、摩擦接合と同様の高力ボルトの締付けによる部材間の摩擦抵抗とボルト軸部のせん断抵抗力により荷重の伝達を行う。(3)引張接合は、作用外力に対して高力ボルトによる締付け力で抵抗する機構である。図-1に、使用される頻度の高い摩擦接合と支圧接合の荷重伝達概要を示す。

また、高力ボルト等級は、ボルト形状や引張強さおよびボルト径で規格化されており、要求される条件に応じて選定され、引張強さが1000N/mm²の場合10Tと表示される。ボルト形状には、高力六角ボルトとトルシア形ボルトがあり、それぞれ、F、Sと表示される。ボルト径は22mmと24mmが一般的であり、それぞれ、M22、M24と表示される。例えば、S14T-M22は、トルシア形高力ボルトで引張強さ1400N/mm²、ボルト径22mmを示している。

ここでは、採用実績が最も多い摩擦接合を対象とした標準すべり試験の結果について報告する。

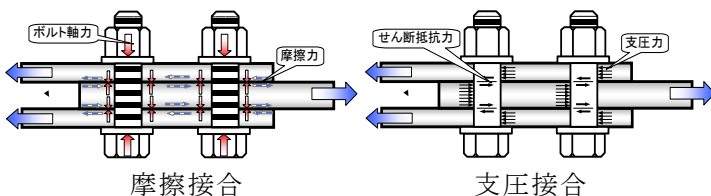


図-1 摩擦接合と支圧接合の荷重伝達概要

Verification of the effect of each factor for use of Super-high-strength Bolts to the bridges

*土木用語解説: 超高圧ボルト、塗膜厚とすべり耐力の関係

2. 試験概要

摩擦接合力に影響を及ぼすと考えられる要因に着目し、ボルト等級と径、母材の板厚、母材の板厚差、肌隙、接合面の処理をパラメータとした。試験は、一般的な構造条件での基礎データの収集を目的とし、「高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案）」³⁾に準じた試験とした。図-2に示す2000kN万能試験機により、すべりが発生するまで引張力を漸増させる。

通常、摩擦接合継手の母材の降伏は、継手部よりも高い安全率で設計されているが、標準すべり試験の供試体においては、すべりの影響を確認するために、母材の降伏に先行してすべりが発生する設計（板幅の設定）とした。

図-3に、試験供試体と計測項目を示す。ボルト列数は2列であり、供試体数はばらつきを考慮して各ケースにつき5体ずつである。計測は、供試体の可動側ボルトにボルトゲージを設置してボルト軸力の変化を、母材にひずみゲージを設置して応力状態（降伏の有無など）を、固定側と可動側の母材間にパイ型変位計を設置して母材同士の変位量を、固定側にクリップ型変位計を設置して固定側部材にすべりが発生していないことを確認するため、それぞれ計測した。



図-2 2000kN万能試験機

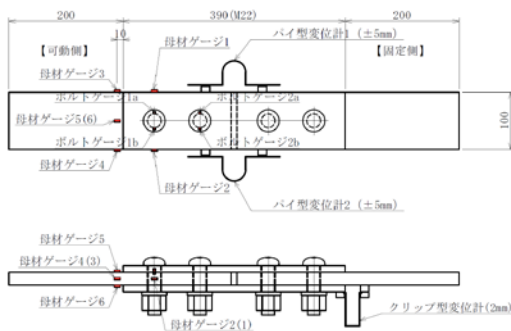


図-3 標準すべり試験供試体と計測項目

3. 試験結果

パラメータごとの標準すべり試験結果を、図-4から図-8に示す。なお、グラフ中のすべり係数 μ_1 は、試験により計測されたすべり荷重を設計ボルト軸力で除した値である。すべり係数 μ_1 は、物体の摩擦面に作用する摩擦力を垂直抗力で除した静止摩擦係数と意味は同じであるものの、すべり発生時のボルト軸力ではなく、設計ボルト軸力を用いて算出している。示方書で規定されているすべり係数は0.45（平成24年の改訂以前⁴⁾は、0.4）であり、試験で0.45以上のすべり係数が確保できていれば、示方書と同等以上のすべり性能が確保できていると考えられる。

なお、試験結果を詳細に分析するためには、設計軸力ではなく、ボルトゲージから求めた試験時のボルト軸力を用いる方が適切であり、現在これらを検討中である。本稿では、示方書との適合性の観点を重視し、設計軸力での結果を報告するものである。

3.1 ボルト等級と径および接合面の処理の影響

ボルト軸力による部材間の摩擦力の違いおよび接合面の処理に着目した標準すべり試験では、ボルト等級を、超高力ボルトはS14T、高力ボルトはS10Tとし、ボルト径をM22、M24、接合面の処理を、示方書で規定されており一般的に用いられている「無機ジंकリッチペイント」および「粗面」とした。なお、示方書では規定されていないものの、作業性に優れる「有機ジंकリッチペイント」を、参考までに加えた。無機ジंकリッチペイントおよび有機ジंकリッチペイントの塗装厚は $65\mu\text{m}$ 以上、粗面はブラスト処理を行い $5\mu\text{m} < \text{塗装厚} < 10\mu\text{m}$ とした。

標準すべり試験結果を、図-4に示す。横軸はボルト等級とボルト径、縦軸はすべり係数 μ_1 であり、接合面の種類でプロットを区分している。

S14TとS10Tでは、ほぼ同等のすべり係数を示しており、ボルト等級による影響はないと考えられる。また、S14TにおけるM22とM24を比較すると、ほぼ同等のすべり係数を示しており、ボルト径による影響はないと考えられる。

接合面の処理については、S14Tの塗装面に無機ジंकリッチペイントを使用した場合、ボルト径M22およびM24のいずれにおいても、すべり

係数は0.5以上を示しており、示方書の0.45よりも大きな値である。これは、S10Tにおいても同様の傾向が表れている。また、接合面に塗装を施さない粗面においても、示方書よりも大きな値を示していることが確認できる。

一方、接合面に有機ジンクリッチペイントを使用した場合、M22およびM24のいずれも示方書の値を下回ることが確認された。

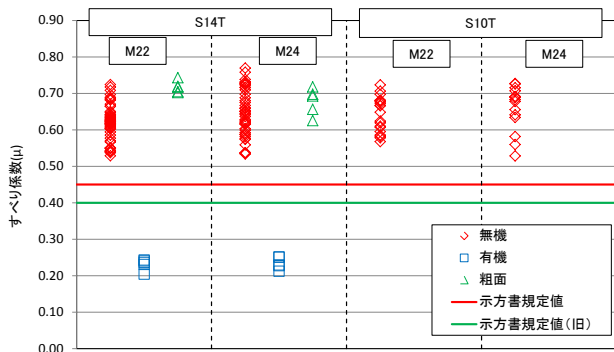


図-4 ボルト等級とボルト径とすべり係数

3.2 母材の材質の影響

鋼板の材質の影響に着目した標準すべり試験では、材質を、SS400、SM490、SM490Y、SM520C-H、SM570とした。なお、接合面の処理は、すべて無機ジンクリッチペイントである。

標準すべり試験結果を、図-5に示す。横軸は母材材質、縦軸はすべり係数 μ 1であり、ボルト等級とボルト径でプロットを区分している。

いずれの材質でも、示方書の値を上回ることが確認された。

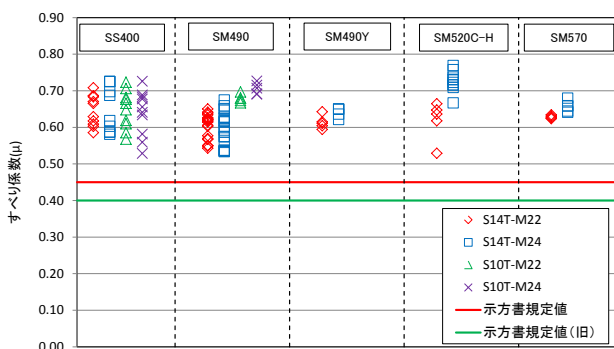


図-5 母材の材質とすべり係数

3.3 母材の板厚の影響

母材の板厚が厚い場合、ボルト軸力による添接部材の締付け効果に影響が生じる可能性、また、初期不整が生じている場合、母材が厚くなることによる剛性の増加によりその影響が無視できなくなる可能性がある。これら、板厚によるすべり係

数の影響に着目した標準すべり試験では、板厚を、25mm、28mm、32mm、36mm、40mm、45mm、50mm、75mmとした。なお、接合面の処理は全て無機ジンクリッチペイントである。

標準すべり試験結果を、図-6に示す。横軸は母材の板厚、縦軸はすべり係数 μ 1であり、ボルト等級とボルト径でプロットを区分している。

設定した板厚25mmから75mmの範囲においては、いずれの板厚でも示方書の値を上回ることが確認された。

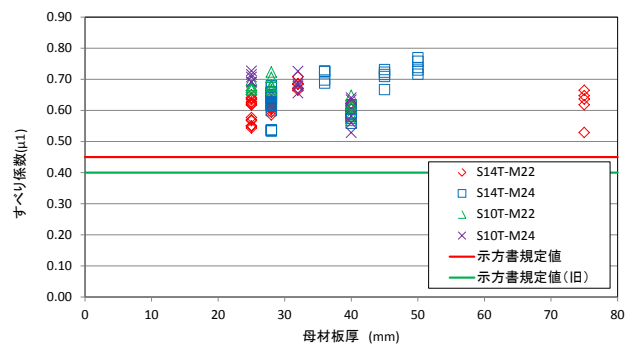


図-6 母材の板厚とすべり係数

3.4 母材の板厚差の影響

板厚が異なる部材を添接する場合、薄板側にフィラープレート挿入して、厚板と同厚にする処理がとられる。このとき、板厚差が大きいと荷重伝達に影響が生じる可能性があるため、母材の板厚差に着目した標準すべり試験では、母材の板厚、板厚差および母材の変化率を、S14T (M22) について50mm-25mm-50%、75mm-15mm-20%、75mm-25mm-33%、75mm-37mm-49%とした。なお、接合面の処理は、すべて無機ジンクリッチペイントである。

標準すべり試験の結果を、図-7に示す。横軸は母材の板厚の変化率、縦軸はすべり係数 μ 1である。

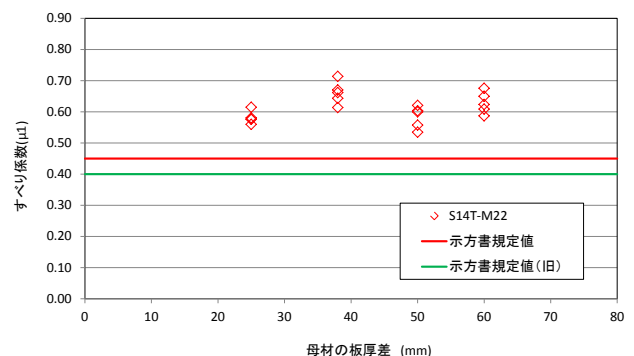


図-7 母材の板厚差とすべり係数

示方書では、最大変化率は50%と規定されており、超高力ボルトにおいても変化率50%以下であれば、示方書の値以上のすべり係数が確保されていることが確認できる。

3.5 肌隙の影響

母材に板厚差がある場合に挿入するフィラープレートには、製作および施工誤差により不陸が生じ、母材とフィラー間に肌隙が生じる可能性がある。この肌隙量の影響に着目した標準すべり試験では、ボルト等級、ボルト径、母材厚の組合せ、S14T-M22-50mm、S14T-M22-75mm、S14T-M24-50mm、S10T-M22-50mmにおいて、フィラー板厚を4.5mmと4mmとした。この時の肌隙は、それぞれ0.5mm、1mmである。なお、接合面の処理は、すべて無機ジンクリッチペイントである。

標準すべり試験結果を、図-8に示す。縦軸はすべり係数 μ 1、横軸は肌隙の値であり、母材板厚でプロットを区分している。

示方書では、1mmでも肌隙があるとすべり耐力が低下するため、肌隙を生じないようにすることが規定されている。母材の板厚75mmの肌隙0.5mmのケースを除き、肌隙が大きくなるにしたがって、すべり係数が低下することが確認できる。

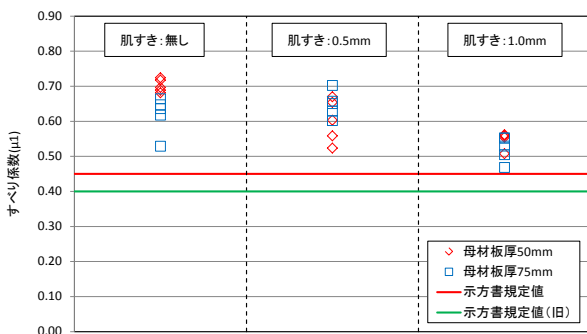


図-8 肌隙とすべり係数

4. まとめ

超高力ボルトS14Tを土木分野において使用することについて、高力ボルトS10Tとの相違点や留意点を確認するために、ボルト等級、接合面処理など各種パラメータがすべり係数に与える影響について確認した。その結果、塗装面に有機ジンクリッチペイントを用いた場合以外は、示方書で規定されているすべり係数0.45以上の値を示した。また、各条件の供試体の5体間で大きなばらつきは生じておらず、再現性は高いと考えられた。

以上のことから、示方書において高力ボルトで規定されている条件を用いることで、超高力ボルトを使用することができる可能性があることが確認できた。

5. おわりに

今後は、本稿では触れていない、ボルト配置や孔径など道路橋部材に用いた場合の応力状態と継手性能の関係について、引き続き標準すべり試験や桁曲げ試験等を行っていく。また、厳しい腐食環境における耐遅れ破壊特性などについても、検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) MBLT-9038、国土交通大臣認定、平成14年5月
- 2) 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編、社団法人 日本道路協会、平成24年3月
- 3) 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針 (案)、公益社団法人 土木学会、平成18年12月
- 4) 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編、社団法人 日本道路協会、平成14年3月

玉越隆史*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
Takashi TAMAKOSHI

石尾真理**



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室 研究官
Mari ISHIO

大久保雅憲***



中国地方整備局道路部保全企画官(前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室主任研究官)
Masanori OKUBO

加藤浩一****



新日本技研株式会社東京支社設計部(前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室交流研究員)
Koichi KATO

氏本 敦*****



新日本技研株式会社西部支社設計部(前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室交流研究員)
Atsushi UJIMOTO