

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04081

研究課題名(和文) 土木・建築分野における高力ボルト摩擦接合部の高耐力化に資する研究

研究課題名(英文) Study for increasing the slip resistance of high strength bolted friction joints in the field of civil and architectural engineering

研究代表者

桑原 進 (Kawahara, Susumu)

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：10243172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,500,000円

研究成果の概要(和文)：新しい高力ボルトの締付け施工法などにより従来よりも高耐力な高力ボルト摩擦接合部を可能にすることが、本研究の目的である。新耐力点法による1800本の高力ボルト締付け試験を行った。実験変数は、新耐力点法用レンチの締付け制御変数、ボルトセットのトルク係数値、予備締め軸力、ボルト長さ、被締付け材の剛性、ボルトメーカーの相違、遊びねじ長さ、ボルト種である。いずれの変数にも大きな影響を受けず、安定したボルト軸力を導入でき、従来の1.35倍の設計ボルト軸力を設定することが可能である。また、締付け軸力、座金、摩擦面処理を実験変数としたリラクセーション試験を行い、従来と変わらない軸力を保持することを示した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to provide a high strength bolted friction joint with higher tolerance than ever by the new tightening method of high strength bolts. High strength bolt tightening tests of 1,800 bolts by the new yield point method was conducted. The test parameters are the tightening control variable of the wrench for the new yield point method, the torque coefficient value of the bolt set, the pre-tightening axial force, the bolt length, the rigidity of the fastened material, the difference of the bolt manufacturer, the idler screw length, and the bolt type. It is possible to introduce a stable bolt axial force without being greatly affected by any variable and it is possible to set the design bolt axial force of 1.35 times the conventional one. We also performed a relaxation test with clamping axial force, washer, and friction surface treatment as experimental variables, and showed that it maintains the same axial force as before.

研究分野：建築鋼構造学

キーワード：高力ボルト 締付け施工法 新耐力点法 設計ボルト張力 高すべり耐力

1. 研究開始当初の背景

現在、日本で土木・建築の構造物に使用されている高力ボルトの締付けは、トルシア形高力ボルトを用いたトルクコントロール法によるものが主流となっている。トルシア形高力ボルトによる締付けは、施工の容易さやピンテールの破断で締付け完了が確認できるなどのメリットがある一方、締付け時の温度や保管・施工環境などによりトルク係数値が変化すると導入ボルト軸力に差が生じる場合がある。一方、建築分野での使用実績はほぼないが、土木分野では本四架橋等で数多くの使用実績がある耐力点法と呼ばれる締付け施工法がある。電動レンチが検出するモーターの負荷電流とナット回転角の関係からボルトの塑性化を自動的に判断して締付け停止を制御する施工法である。耐力点法ではボルトの耐力点付近まで締め付けるため、トルシア形高力ボルトによる締付けよりも大きな軸力を導入することができる。また、ボルト強度で制御をするため、トルク係数値や本締め時の剛性（被締付け材厚やボルト首下長さ）の影響をほとんど受けない安定した軸力導入が期待できる。

2. 研究の目的

ここでは、従来の耐力点法の施工性を改良した「新耐力点法」を紹介する。従来の耐力点法では締付け時に隣接ボルトで締付け反力をとる外反力型レンチを使用するが、新耐力点法では反力座金を使用し、反力座金で締付け反力をとる方法を採用する（図1参照）。これにより隣接ボルトに余計な力がかからず、ボルト配置に関係なく締付けが行える。反力機構としてもボルト中心で反力を受ける方が合理的である。ボルト種（溶融亜鉛めっき、塗装ボルトなど）によらず、締付け施工法を統一できることも本施工法の大きなメリットである。ボルト形状も従来の高力六角ボルトからトルシア形高力ボルトのようにボルトの頭形状を丸形にし、頭側座金を省略することも可能である。頭側座金の省略による省材料、ピンテールをなくすことによる締付けの際の省廃棄物が可能となる。

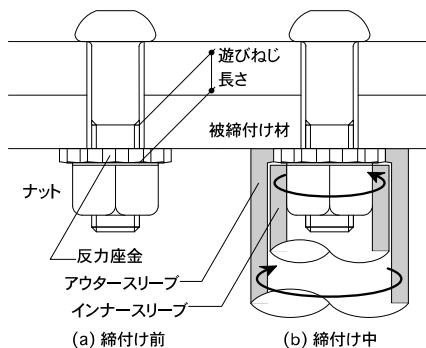


図1 新耐力点法締付け概略

本工法の採用により安定した高いボルト

軸力を導入できれば、現状よりも高い設計用すべり耐力を設定することも可能となる。以下では、新耐力点法の実用化に向けて行った実験について紹介する。

3. 研究の方法

(1) 新耐力点法による導入ボルト張力

本実験では新耐力点法用の電動レンチを使用し、主に電気式軸力計で導入ボルト軸力を測定する。なお、電気式軸力計では測定できない短いボルトはボルトゲージを用いて実際の鋼板に締め付ける。対象ボルトは10T、M22とし、高力六角ボルト、ナット、反力座金を組み合わせて使用する。ボルトの締付けは実際の施工と同様に「1次（予備）締め マーキング 本締め」の順に行う。

実験変数を表1に示す。被締付け材、ボルト首下長さ（被締付け材厚さ）は被締付け材の剛性による影響を検証する変数である。オフセット値は電動レンチで設定する制御変数である。ここでは遊びねじ長さ 17mm の場合の遊びねじ部の塑性歪計算値を表し、従来の耐力点法で慣用されている 1.0% を標準とする。1次（予備）締め軸力は建築分野を想定した 50kN、土木分野を想定した 140kN および指締めの3種とする。トルク係数値は標準のものと同潤滑ナットを使用したトルク係数値の高いものの2種とする。遊びねじ長さは、被締付け材厚さに対するボルト首下長さの選択、ボルト首下長さ・ねじ部長さ・座金厚の許容差を考慮して選択した4種とする。これにより実施工時にオフセット値を固定した電動レンチで遊びねじ長さの異なるボルトを締付けた場合の影響を把握する。ボルトメーカーやボルト首下長さでは、製造ロットの違いによるボルト耐力の相違を考慮している。

以上の実験変数の組み合わせで 63 種類、各 30 本（ボルトゲージを使用する 6 種類は各 10 本）、合計 1800 本の締付けを行う。

表1 締付け実験変数一覧

被締付け材	電気式軸力計，鋼板
ボルト首下長さ	55mm, 85mm, 110mm, 130mm
オフセット値	0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.2%
トルク係数値	標準（平均 0.125）、高い（平均 0.162）
1次（予備）締め軸力	50kN, 140kN, 指締め
遊びねじ長さ	8mm, 12.5mm, 17mm, 20mm
ボルトメーカー	A社, B社, C社, D社, E社

(2) リラクセーション

新耐力点法による高ボルト軸力の導入、反力座金の採用がリラクセーションに及ぼす影響を把握するための試験を行う。対象ボルトは 10T、M22 とする。実験変数を表3に示す。これらの実験変数の組み合わせで 16 種類、各 5 本の導入ボルト軸力の推移を計測する。

表3 リラクゼーション実験変数一覧

導入軸力	226kN (標準ボルト軸力), 300kN (新耐力点法相当)
座金形状	平座金, 反力座金
摩擦面処理法	グリットブラスト, 無機ジンクリッチペイント
ボルト首下長さ	85mm, 130mm

4. 研究成果

(1)新耐力点法による導入ボルト張力

ボルト軸力とナット回転角関係に新耐力点法用電動レンチにより制御された導入ボルト軸力とナット回転角をプロットした一例を図2に示す。精度よく制御されていることがわかる。なお、図2の例は電気式軸力系に締め付けた場合であり、鋼板を締め付けた場合（オフセット値 1.0%、ボルト首下長さ 85mm）のナット回転角の平均値は 114°であり、ナット回転法の目標値である 120°よりも小さくなる。

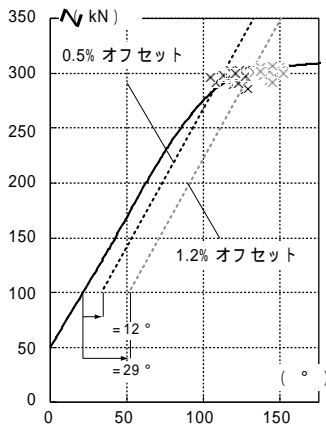


図2 ボルト軸力N-ナット回転角 関係と締め付け結果例（点線：オフセット直線，×：締め付け完了点）

実験変数の影響の一部を図3に示す。被締め付け材厚さ、ボルト首下長さ、オフセット値、トルク径数値による締め付け軸力への影響は小さく、300kN 程度の軸力となる。一次締め軸力、遊びねじ長さも同様である。その他の変数と比較して影響が大きいボルトメーカー（ボルト耐力）の場合でも平均値で最大6%の差にとどまる。無潤滑ナットを使用したトルク係数値が高い場合は、締め付け時にボルトに作用するトルクにより、標準的なトルク係数値の場合と比較して早期に剛性が低下する。このため、導入軸力も4%低下する。

締め付け実験で取り扱った変数のうち無潤滑ナットをした試験体を除いた、実際の施工で使用が想定される範囲の変数の試験体（計1700本）を標本とした頻度分布を図4に示す。平均値は301.1kN、標準偏差は7.6kN、平均値-3（：3信頼軸力）は278.3kNとなる。現行の設計ボルト軸力（F10T, M22）は205kNであり、新耐力点法では平均値で1.46倍、3信頼軸力で1.35倍以上のボルト軸力

を安定して導入できることが確認できる。

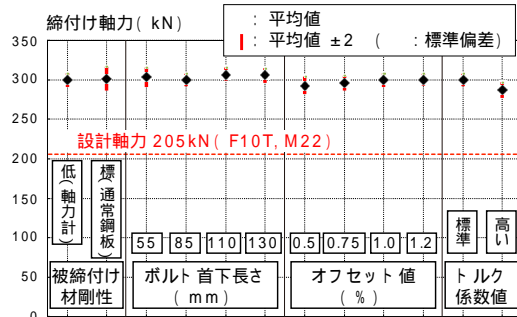


図3 実験変数の影響

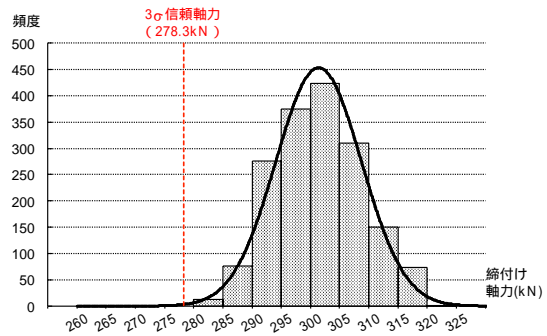


図4 新耐力点法による締め付けボルト軸力の頻度分布（1700本）

(2)リラクゼーション

軸力導入から2ヶ月間の実験結果の一例を図5に示す。導入軸力および座金形状による影響はほとんどみられず、新耐力点法によるリラクゼーションは他の締め付け法とほぼ同等であるといえる。初期導入ボルト軸力（締め付け完了後30秒後のボルト軸力）に対するボルト軸力減少率はグリットブラストで3%程度、無機ジンクリッチペイントで8~12%程度である。

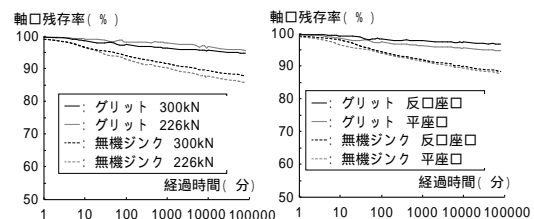


図5 リラクゼーション試験結果の一例（85mm）

(3)まとめ

新耐力点法による締め付けにより高く安定したボルト軸力を導入することで、従来よりも高い設計ボルト軸力を採用できる可能性を示した。一方で、高張力を導入することから遅れ破壊に対する検証、ピンテールやマーキングに代わる締め付け確認法の提案など検討課題も残っている。今後、検討を進め、普及につなげたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計7件)

道上拓哉, 桑原進, 森本秀雄, 武田周悟, 平尾元宏, 吉見正頼, 松尾真太郎: 新耐力点法による高力ボルト初期導入軸力に及ぼす諸変数の影響(その3 実施工を想定した場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 641-642, 2017.9

武田周悟, 桑原進, 森本秀雄, 道上拓哉, 平尾元宏, 吉見正頼, 松尾真太郎: 新耐力点法による高力ボルト初期導入軸力に及ぼす諸変数の影響(その4 リラクゼーション試験と統計処理), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 643-644, 2017.9

森本秀雄, 桑原進, 武田周悟, 道上拓哉, 平尾元宏, 吉見正頼, 松尾真太郎: 新耐力点法による高力ボルト初期導入軸力に及ぼす諸変数の影響(実施工を想定した場合およびリラクゼーション試験と統計処理), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 構造系, pp. 109-112, 2017.9

道上拓哉, 桑原進, 森岡宙光, 森本秀雄, 平尾元宏, 吉見正頼, 松尾真太郎: 新耐力点法による高力ボルト初期導入軸力に及ぼす諸変数の影響(その1 実験計画: 10T, M22 の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 1125-1126, 2016.8

森本秀雄, 桑原進, 森岡宙光, 道上拓哉, 平尾元宏, 吉見正頼, 松尾真太郎: 新耐力点法による高力ボルト初期導入軸力に及ぼす諸変数の影響(その2 実験結果: 10T, M22 の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 1127-1128, 2016.8

道上拓哉, 桑原進, 森岡宙光, 森本秀雄, 平尾元宏, 吉見正頼, 松尾真太郎: 新耐力点法による高力ボルト初期導入軸力に及ぼす諸変数の影響(10T, M22 の場合), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 構造系, pp. 409-412, 2016.6

桑原進, 平尾元宏, 吉見正頼, 佐藤篤司, 松尾真太郎: 新耐力点法によるボルト軸力導入試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp.1033-1034, 2015.9

6. 研究組織

(1)研究代表者

桑原 進 (KUWAHARA Susumu)
大阪大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 1 0 2 4 3 1 7 2

(2)研究分担者

松尾 真太郎 (MATSUO Shintaro)
九州大学・人間環境学研究院・准教授
研究者番号: 4 0 5 8 3 1 5 9