

新耐力点法によるボルト軸力導入試験 (トルク係数値, 予備締めの影響)

神戸大学大学院 正会員 ○橋本国太郎 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
 日鉄住金ボルテック(株) 正会員 吉見 正頼 TONE(株) 正会員 平尾 元宏
 京都大学大学院 正会員 鈴木 康夫

1. 序

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め付けは, 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め付けは, 施工の容易さやピンテールの破断で締め付け完了が確認できるなどのメリットがあるが, トルク係数値が導入ボルト軸力に影響するため, 締め付け時の温度や保管状況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可能性がある。一方, 建築分野での使用実績はないが, 土木分野では本四架橋で数多くの実績がある耐力点法¹⁾と呼ばれる締め付け法がある。これは, ボルト軸力が弾性域内ではナット回転角と比例関係にあり, 弾性域を越えるとその比が変化するため, その変化を電動レンチのモーター負荷電流から検知して導入軸力を制御する施工法である。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め付けよりも, より大きな軸力を導入することができ, かつトルク係数値の影響をほとんど受けないので安定した軸力導入が期待できる。

本報では, 耐力点法を適用するにあたり, 従来の耐力点法の施工性を改良した「新耐力点法」を検討する。従来の耐力点法では締め付け時に隣接ボルトで締め付け反力をとる外反力型のレンチを使用して締め付けを行うが, 新耐力点法では反力座金を使用し, 座金で締め付け反力をとる(図1参照)。こうすることで隣接ボルトに余計な力がかからず, ボルト配置にも関係なく締め付けることができる。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。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することで頭側座金を省略し, 頭側座面には共回りを防止する機構を導入する。現在は締め付け完了の確認や締め忘れ防止のためにマーキングを行っているが, マーキングに代わる方法も現在検討中である。頭側座金の省略とナットの形状を変更することによる省材料, ピンテールをなくすことによる締め付けの際の省廃棄物, また, ボルト種(溶融亜鉛めっき, 塗装ボルトなど)によらず, 締め方を統一できることも本施工法の大きなメリットである。以上をまとめて表1に示す。

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, 現状よりも高耐力な摩擦接合部の設計も可能となる。

2. 実験方法

新耐力点法用電動レンチを用い, 電気軸力計に表2に示すボルトセットを締め付ける。本実験では電気軸力計の仕様上, 高力六角ボルトを使用する。ボルト軸力は電気軸力計, トルクとナット回転角はレンチより出力し記録する。回転角は予備締め終了後マーキングを行い, 締め付け終了後のナット回転角(表3: 読取角度)を記録する。表3に試験体一覧を示す。実験変数は, ボルトセットのトルク係数値, 予備締めの2種, 計4種の試験体を10本ずつ測定する。トルク係数値はナットの潤滑剤の有無で制御し, 各5本の事前のトルク試験により平均トルク係数値は「低」トルク係数値:0.128, 「高」トルク係数値:0.171

表2 使用ボルトセット

高力ボルト	F10T, M22, 首下長さ 80mm
ナット	F10, M22
座金	反力座金 F35, 22

表1 ボルト締め付け法比較一覧

	トルシア形	ナット回転法	耐力点法	新耐力点法
締め付け軸力	ボルト弾性域	ボルト塑性域(大)	ボルト塑性域(小)	
締め付け軸力への影響	トルク係数値の影響:大	予備締めの影響:大 締め付け長さの影響:大	トルク係数値の影響:小 予備締めの影響:小 締め付け長さの影響:小	
施工機具	ボルトピンテールで締め付け反力をとるシアレレンチ	トルクレンチ	隣接ボルトによる外反力形耐力点法レンチ	反力座金で締め付け反力をとる耐力点法レンチ
締め付け完了確認・管理	マーキング ピンテールの破断	マーキング	マーキング	マーキング
使用ボルトセット	トルシア形高力ボルトセット	JIS 高力ボルトセット, 溶融亜鉛めっき高力ボルトセット	JIS 高力ボルトセット	反力座金を使用したボルトセット(ボルト種は問わない)
省資源	ピンテールは廃棄	ピンテール不要	ピンテール不要	ピンテール不要

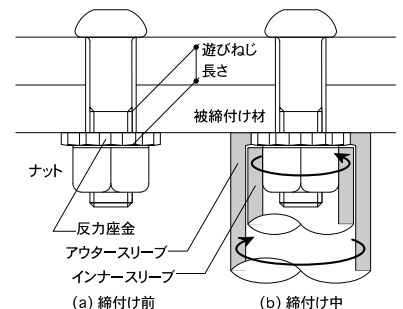


図1 新耐力点法締め付け概要

キーワード 高力ボルト, 締め付け施工法, ボルト軸力, 新耐力点法, トルク係数値, 予備締め

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL078-803-6011

表 3 試験体一覧と実験結果

トルク係数値	予備締め (kN)	オフセット値(%)	Δθ (°)	N (本)	締付け軸力 (kN)			トルク (N・m)			ナット回転角 (°)		
					平均	σ	CV	平均	σ	CV	平均	σ	CV
低 (0.128)	F.T.	1.0	24	10	307	3.9	1.3%	813	20.2	2.5%	*211	14.5	6.9%
	140	1.0	24	10	303	5.0	1.6%	795	27.8	3.5%	89	2.3	2.6%
高 (0.171)	F.T.	1.0	24	10	297	5.2	1.8%	1001	31.3	3.1%	*201	9.6	4.8%
	140	1.0	24	10	289	2.0	0.7%	983	29.1	3.0%	79	2.3	2.9%

σ : 標準偏差
 CV : 変動係数
 N : ボルト本数
 F.T. : 指締め
 *は参考値.

である。予備締めは指締め(表中 F.T.)と予備締め相当であるボルト軸力 140kN の 2 種としている。図 2 に低トルク係数値, 高トルク係数値各 3 本の事前締付け試験より得られた平均的なボルト軸力 N とナット回転角 θ との関係を示す。(1)式の Δθ から得られるオフセット軸力をボルトの制御軸力とする。本試験では従来の耐力点法で慣用されているオフセット値 1.0%を採用する。

$$\Delta\theta(^{\circ}) = \frac{\text{遊びねじ長さ(mm)} \times \text{オフセット値(\%)}}{\text{ねじピッチ(mm)} \times 100} \times 360(^{\circ}) \quad (1)$$

低トルク係数値の場合の平均オフセット軸力(303kN)と高トルク係数値の場合(297kN)に 2%程度の差異が見られるが, これはボルトに作用するねじりモーメントが原因である。電動レンチは制御軸力を導入出来るよう, 低トルク係数値のボルトセット, 予備締め 50kN の条件で予め調整を行い, いずれの実験変数に対しても同じ調整をした電動レンチで実験を行う。

3. 実験結果と考察

ボルト締付け完了時の締付け軸力, トルク, ナット回転角について実験変数毎に 10 本の平均値, 標準偏差 σ, 変動係数 CV を表 3 に付記する。また, 図 3 には実験変数毎の最大軸力値の平均値と ±1.63σ の範囲を示す。図中「ト」の横棒が平均値を縦棒が ±1.63σ の範囲を, 赤線が設計ボルト軸力のレベルを示す。

締付け軸力の平均値はいずれの場合も想定した制御軸力(図 2 参照) 近傍の値 289~307kN を示す。標準偏差は 1.9~5.2kN である。既報³⁾のトルシア形高力ボルトのすべり実験(第 2 期)で測定された初期導入ボルト軸力 480 本分の値を参考値として以下に示す。

平均値 : 229.8kN (図 2 中●)
 標準偏差 : 12.8kN

ただし, 高力ボルトは S10T, M22, 首下長さ 95mm, 締付長さ 60mm である。また, ボルト軸部に貼付したひずみゲージにより締付け完了 30 秒後に測定されたボルト軸力を初期導入ボルト軸力としている。トルシア形ではボルト弾性域でトルク値によりボルト軸力を制御するため, トルク係数値の変化が直接導入軸力に影響をおよぼすが, トルク係数値の異なる新耐力点法(予備締め 140kN)による締付け軸力の差はトルク係数値が 20%程度も異なるのに

対し, 最大で 5%, 標準偏差もトルシア形の半分以下となっている。予備締めによる最大軸力値の差も最大で 5%であり, トルク係数値, 予備締めによらず安定したボルト軸力を導入できていることが確認できる。予備締めを行った試験では締付け完了時のナット回転角は 80~90°程度であり, 図 2 から予想される角度とほぼ同等である。

4. 結

本報では, 新耐力点法による高力ボルト締付けについて紹介し, 予備締めの軸力, ボルトセットのトルク係数値によらず高く安定した軸力導入ができることを示した。今後は新耐力点法の実現に向けてより広範な変数に対する検討を進める予定である。

謝辞

(一社)日本鋼構造協会メカニカルファスニング技術小委員会 委員各位に実験協力ならびに助言を賜った。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 社団法人日本橋梁建設協会: 耐力点法施工マニュアル, 1999.3
- 2) 一般社団法人日本鋼構造協会高力ボルト接合技術小委員会: JSSC テクニカルレポート 高力ボルト接合技術の現状と課題, 2013.3
- 3) 河井翔太郎, 桑原進, 聲高裕治, 山口隆司, 平井敬二, 亀井義典: 表面処理・締付け施工法を変数とした高力ボルト摩擦接合部のすべり実験: その 1 実験概要と締付け施工法による影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp.655-656, 2010.7

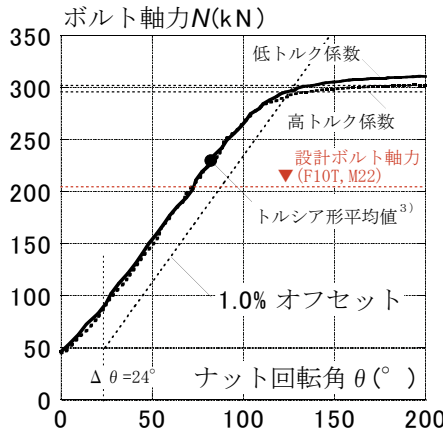


図 2 N-θ関係の一例

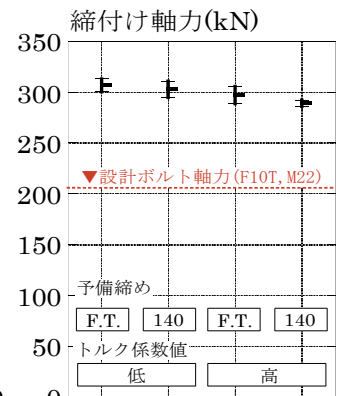


図 3 締付け軸力