

両端に皿頭を有する高強度・高耐久ボルトセットの締付実験

徳島大学理工学部	学生会員	○高山	昌士
大阪市立大学大学院	学生会員	橋本	達也
大阪公立大学大学院	正会員	林	巖

徳島大学大学院	正会員	森山 仁志
大阪公立大学大学院	正会員	山口 隆司
日鉄ボルテン株式会社	正会員	吉見 正頼

1. 研究背景および研究目的

鋼橋の現場接合部に使用される高力ボルトの角部は塗膜厚が薄く、突出しているため雨水が滞留し腐食の起点となる．そこで著者らは、図-1 に示す塗膜厚を確保できる両端に皿頭を有したメカニカルファスナー

(以下、DSF : Double Spindle Fastener) の開発を進めている¹⁾。本稿では、締付実験により DSF と高力六角ボルトのトルク係数の差異を解明し、DSF がトルク効率に優れ安定した軸力導入ができるファスナーであるかを調査し、それを実現する製作・締付条件を解明する。

2. 実験概要

図-2 に示す実験装置を用いて試作 DSF (図-3) の締付けを行った。パラメータはボルト種類 (F10T-M22 高力六角ボルト・DSF), 潤滑処理 (潤滑剤 α, β , Rem. β (β 塗布後に筒ナット皿頭表面のみ脱脂), DSF および連結板の繰返し使用回数とした。DSF は 1,400MPa 級材料 (0.2%オフセット耐力 $\sigma_{y,0.2}$: 1,342MPa, 引張強度 σ_t : 1,443MPa) より製作した。締付けは軸力のピークが確認されるまで行い, ピーク後は回転角度を更に 30° 与えて終了した。

3. 実験結果

各パラメータに関するケースの締付挙動を図-4 に一例として示す。図中の凡例は「DSF と連結板の新品/繰返し使用_潤滑剤の種類」である。図-4(b)ではスナッグタイト状態(=150N・m)を起点とし、それまでの導入軸力をオフセットしている。締付時の挙動は高力ボルトを対象とする、軸力管理方法（トルク法，回転角法）を参考に，以下の2式で評価した。また，図-4(a)には式(1)を黒線で示している。

$$T = k_T dN \quad (1), \quad \theta = k_\theta dN \quad (2)$$

ここに、 T : 導入トルク、 k_T : トルク係数、 d (= 16mm): ねじ部の呼び径、 N : 導入軸力、 θ : 回転角、 k_θ : 回転係数である。

潤滑剤 β を塗布した新品 DSF と高力六角ボルトのトルク係数 k_T を比較すると、それぞれ 0.209, 0.137 であり 1.5 倍の差がある。DSF のケース同士で比較すると、潤滑処理、DSF および連結板の繰返し使用回数により k_T が変化していることが

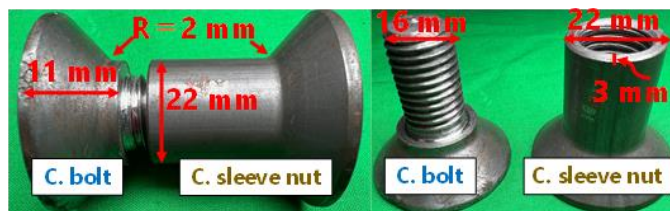


图-1 Double Spindle Fastener

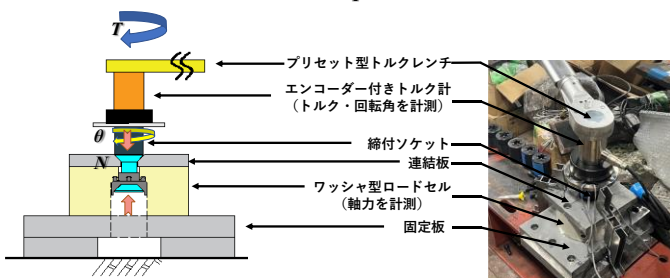


図-2 実験装置の組立図

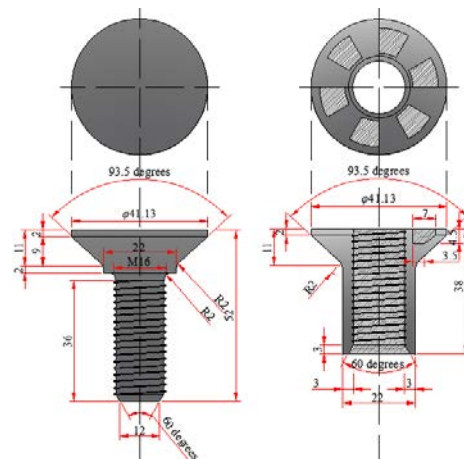


図-3 DSF の形状寸法 (単位: mm)

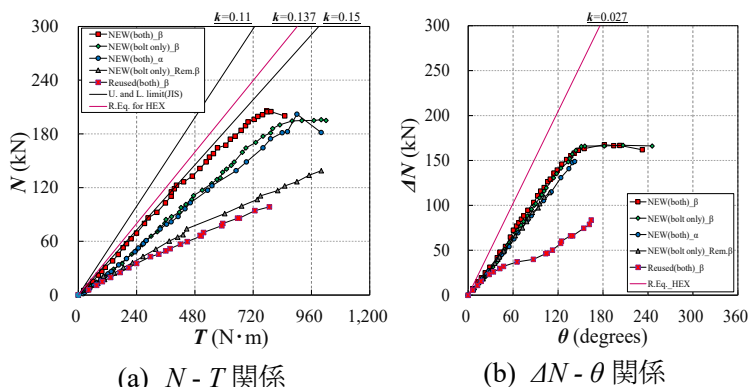


図-4 実験パラメータが締付挙動に及ぼす影響

キーワード：腐食，メカニカルファスナー，締付実験，高力ボルトセット

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町2丁目1番地 徳島大学 理工学部 理工学科 社会基盤デザインコース

わかる。一方、 $\Delta N - \theta$ 関係の傾き k_θ については、DSF を繰返し使用した場合を除き、概ね一致している。DSF を繰返し使用した場合だけ挙動が異なるのは、DSF の塑性化が原因である。 k_T の変動要因を表-1のように、DSF と連結板の繰返し使用の組み合わせで整理した。

トルク係数 k_T と連結板の導入トルクの合計値 $\Sigma T_{\max-s}$ の関係を図-5に示す。 k_T は連結板の繰返し使用による皿型加工部の塑性変形により潤滑剤 β では約 1.26 倍、潤滑剤 α では約 1.30 倍増加している。これは塑性化により DSF と皿型加工部の接触条件が面接触から点接触に変化し、トルク効率が低下したためである。そこで、連結板の1回目使用時の k_{T-1} に対する使用回数ごとのトルク係数の変化率 k_{T-i}/k_{T-1} と $\Sigma T_{\max-s}$ の関係を図-6に整理した。図-6より、複数回使用による k_T の変化率は小さく、1回目締付時の塑性化が支配的であることがわかった。

潤滑処理それ自体の影響については図-5より、潤滑剤 α , Rem. β の k_T が潤滑剤 β のそれに対し約 1.38 倍、1.70 倍となった。Rem. β の増加率が最も大きいことから、潤滑剤の乾燥が k_T に影響すると予想し、82.5kN ($=0.5N_{int}$, N_{int} : 締付軸力)の範囲で DSF を 5 回繰返して締付け・取外しを行い、6 回目で軸力のピークまで締付けしたケースを追加した。1 回目締付け時からの k_{T-i}/k_{T-1} の増加率は図-7に示す通りであり、6 回目時点での k_T の増加率は約 1.31 倍であった。本実験では 6 回の締付けで終了しているが、更に繰返して締付けを実施すると、潤滑処理の影響だけを評価した場合の Rem. β の潤滑剤 β に対する比率 1.70 倍に収束すると予想される。

4. まとめ

試作 DSF の締付実験により DSF と高力六角ボルトのトルク係数の差異を明らかにし、DSF がトルク効率に優れ安定した軸力導入ができるファスナーとなるための製作・締付条件を明らかにした。以下、得られた結果をまとめる。

- 1) DSF のトルク係数 k_T と回転係数 k_θ は高力六角ボルトのそれらと比べて大きい。トルク効率の向上には潤滑剤を β とすることが望ましい。また、DSF や連結板の繰返し使用が現場施工で要求される場合には k_T , k_θ が変化することに注意する必要がある。
- 2) DSF はトルク係数よりも回転係数が安定していたことから回転角法での軸力管理が推奨される。

謝辞：

本研究は JSPS 科研費 JP20H02235 「超高耐久性メカニカルファスナーによる鋼構造物メンテナンスの改善」の助成を受けたものです。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) T. HASHIMOTO et al.: Prototype of no-projected and Sandglass-shaped Bolt with High-Strength and Durability for Efficient Steel Structures Maintenance, the IABSE Symposium Prague 2022 Reports, pp.602-609, Prague, Czech Republic, May 2022.

表-1 トルク係数に影響する要因の分類表

一定とした実験条件 ・ボルト頭部の開き角度 $\theta=92.5^\circ$ ・ナット頭部の開き角度 $\theta=89.5^\circ$ ・皿型加工部の開き角度 $\theta=90^\circ$	同じボルトの繰返し使用 (ボルトの塑性化)	
	Yes	No
同じ連結板の繰返し使用 (皿型加工部の塑性化)	Y e s ・潤滑剤の乾燥 ・ボルトの塑性変形 ・皿型加工部の塑性変形	No ・潤滑剤の種類 [α , β , Rem. β] ・皿型加工部の塑性変形
	N o ・潤滑剤の乾燥 (連結板の1回目使用→皿型加工部の塑性変形を含む)	No ・潤滑剤の種類 [α , β]

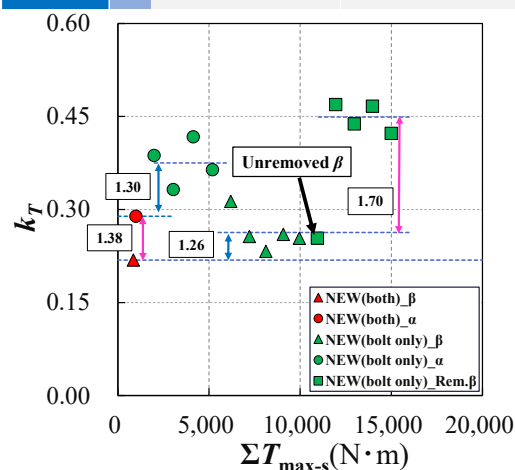


図-5 潤滑処理に着目した $k_T - \Sigma T_{\max-s}$ 関係

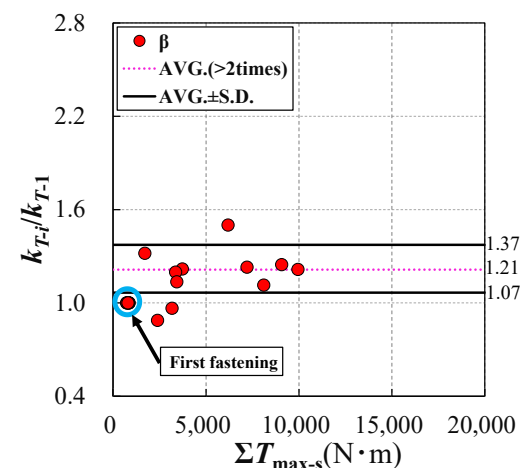


図-6 連結板繰返し使用による k_T の変化率

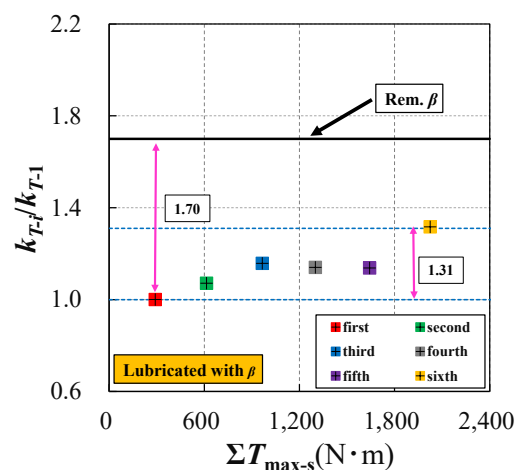


図-7 潤滑剤の乾燥に伴う k_T の増加率