

両側に皿頭を有する高強度・高耐久ボルトセットの引張実験

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高強度・高耐久ボルトセット（以下、DSF：Double Spindle Fastener）の開発を進めている¹⁾。本研究では、引張実験により得られるDSFの最大荷重をねじの有効断面積と材料強度の積で計算される設計引張耐力と比較し、既存の設計式でDSFの引張耐荷性能を評価できるかを検討する。また、締付用ソケットの差込口の有無で最大荷重が低下しないか、ねじ抜けが発生しないかを実験的に確認する。

2. 実験概要

図-2に示す载荷治具を用いて試作DSF（図-1）に引張荷重を与えた。パラメータは締付用ソケット差込口の有無とし、各ケースの供試体数は5本である。

DSFの設計耐力を表-1に示す。雄ねじ（皿型ボルト）の有効断面積（設計値） A_{e-m} は、図-3に示す寸法を用いJIS B 1082²⁾記載の式(1)で計算した。雌ねじ（皿型筒ナット）の有効断面積 A_{e-f} は式(2)の通り、軸部の公称断面積 A_n から A_{e-m} を差し引いた。設計降伏耐力 P_{yd-m} と設計引張耐力 P_{td-m} は、皿型ボルトの有効断面積 A_{e-m} にミルシート記載の材料強度を乗じて算出している。

$$A_{e-m} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (1) \quad A_{e-f} = A_n - A_{e-m} \quad (2)$$

ここに、 d_2 ：雄ねじの有効径、 d_3 ：雄ねじの谷径である。

計測項目は試験機荷重 P 、試験機変位 δ 、皿型ボルト頭部の最小主ひずみ ϵ_{p-min} 、皿型筒ナットの軸部ひずみ ϵ_{axi} である。载荷速度は1kN/sとし、DSFが破断するまで载荷した。

3. 実験結果とその考察

実験の結果一覧を表-2に、実験後の供試体の様子を図-4に、荷重 P -試験機変位 δ 関係を図-5にそれぞれ示す。図-5には設計耐力 P_{yd-m} 、 P_{td-m} を直線と点線で示している。

P - δ 関係の応答は全供試体で概ね一致し、最大荷重 P_{max} や破断時点のばらつきも小さい。ケースWHの P_{max}/P_{td-m} の平均値は1.08であり、既存の設計式の考え方で安全側の評価が可能である。実験値が設計値を上回ったのは、図

-4に示すように、破断面がボルト軸に対して傾きを持ち、設計上想定した平行断面にならなかったことが理由であ

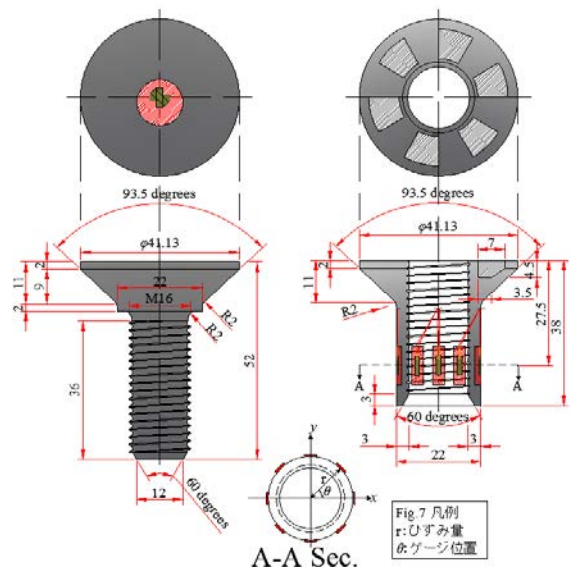


図-1 Double Spindle Fastener (単位：mm)

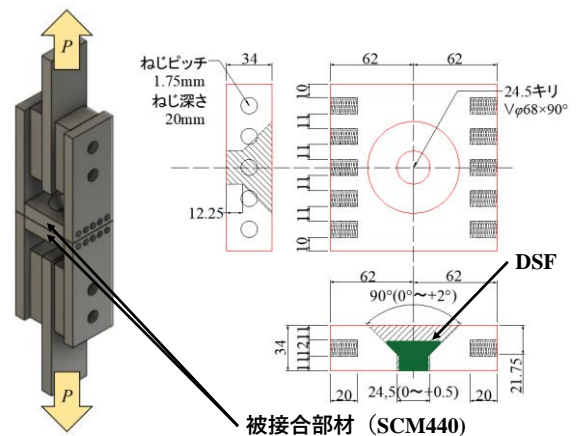


図-2 引張実験の载荷治具(単位：mm)

表-1 DSFの設計耐力

Outer diameter of m.thread	Effective diameter of m.thread	Root diameter of m.thread	Designed effective area of m.thread	Designed effective area of f.thread	0.2% offset y.point	Tensile strength	Yield resistance of male thread	Tensile resistance of male thread
d_0 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	A_{e-m} (mm ²)	A_{e-f} (mm ²)	σ_y (MPa)	σ_t (MPa)	P_{yd-m} (kN)	P_{td-m} (kN)
22	14.66	14.13	162.8	217.4	1,342	1,443	218.4	234.9

キーワード：腐食，メカニカルファスナー，引張実験，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

る。P-δ関係の非線形性は、荷重Pが P_{td-m} に到達した以降に確認された。

DSFの破断位置はケースNH, WHともに皿型ボルトの第一掛かり山であり、ねじ山せん断破壊などのねじ抜けが生じることはなかった。破断伸びは締付用ソケット差込口の有無に関わらず約7%であり、伸び量のほとんどは皿型ボルトにおいて発生した。DSFの供試鋼材の伸びは14%（ミルシート値）であり、実験で得られた伸び変形はそれと比べて小さい。

荷重P - 皿型ボルト頭部の最小主ひずみ ϵ_{p-min} 関係を図-6に、皿型筒ナットの軸方向ひずみの分布を図-7にそれぞれ示す。軸ひずみ分布は筒中央を中心とした極座標系で表し、 $0.2P_{max}$ ごとに整理した。P- ϵ_{p-min} 関係は、供試体ごとのばらつきはあるものの、ケースNH, WHはいずれも同様の挙動し線形性を有していた。したがって、引張実験によりP- ϵ_{p-min} 関係を事前に確認すれば、DSFの締付軸力を頭部ひずみにより管理することができる。

軸ひずみ分布は、図-7に示すように真円状ではないものの、円形状となった。荷重に対するひずみ増分も、計測位置やソケット差込口の有無によらず同程度である。軸ひずみ分布が真円状でないのは、被接合部材の皿型加工部とDSFの接触箇所、DSFの孔中心に対する相対位置、被接合部材の曲げ変形が関係していると予想される。これについては、今後、数値解析によりその影響度を評価する。

4. まとめ

本研究は、引張実験により試作DSFの最大荷重を既存の設計式で評価できるかを検討した。また、締付用ソケット差込口の有無が最大荷重や伸び、破壊形態、破断に至るまでの変形挙動に及ぼす影響を確認した。

荷重P - 試験機変位δ関係はソケット差込口の有無に影響されず、DSFは皿型ボルトの第一掛かり山で破断した。差込口を有するケースWHの最大荷重 P_{max} とその設計引張耐力 P_{td-m} の比率は5体平均で1.08と、安全側の評価が可能であった。また、皿型ボルトの頭部や皿型筒ナットの軸部のひずみ応答についても、ソケット差込口の影響は小さかった。

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.
- 2) 日本規格協会：ねじの有効断面積及び座面の負荷面積，JIS B 1082, 2009.

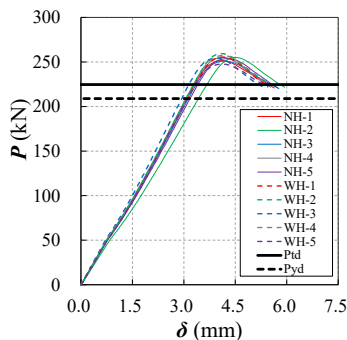


図-5 P-δ関係

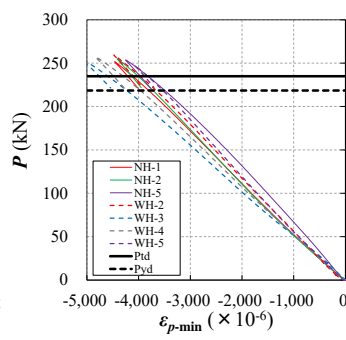


図-6 P-εp-min関係

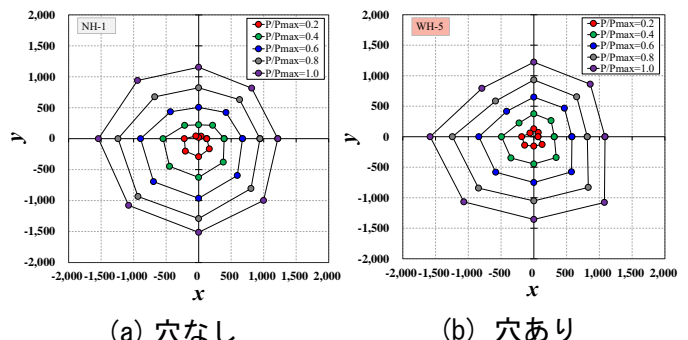


図-7 極座標表示した皿型筒ナットの軸ひずみ分布

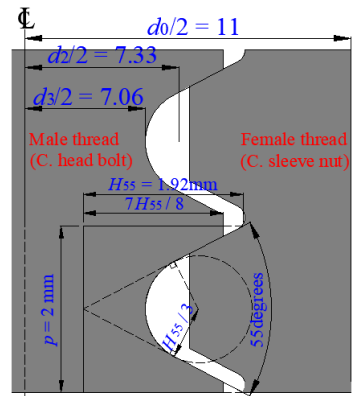


図-3 雄ねじの寸法図(mm)

表-2 実験の結果一覧

Case name	Specimen No.	MAX load P_{max} (kN)	P_{max}/P_{td}	P_{max}/P_{td}	C. head bolt's elongation (%)	C. sleeve nut's elongation (%)	Failure mode
No hole (NH)	1	251.6	1.15	1.07	7.23	0.11	Tensile failure of c. head bolt at the unengaged thread part
	2	255.0	1.17	1.09	5.90	0.03	
	3	250.9	1.15	1.07	8.29	0.19	
	4	255.3	1.17	1.09	7.26	0.19	
	5	253.7	1.16	1.08	6.21	1.02	
	AVG.	253.3	1.16	1.08	6.98	0.31	
With hole (WH)	1	255.5	1.17	1.09	6.91	0.14	Tensile failure of c. head bolt at the unengaged thread part
	2	259.4	1.19	1.10	7.77	0.31	
	3	254.3	1.16	1.08	5.99	0.08	
	4	257.2	1.18	1.10	7.31	0.05	
	5	247.6	1.13	1.05	7.53	0.08	
	AVG.	254.8	1.17	1.08	7.10	0.13	



図-4 実験後の供試体の様子