

双皿型高耐久性ボルトセット(ダブルスピンドルファスナー)のナット形状に関する解析的検討

大阪市立大学大学院

学 生 員 ○橋本 達也

大阪市立大学大学院

正 会 員 山口 隆司

大阪市立大学大学院

正 会 員 林 厳

熊本大学大学院

正 会 員 森山 仁志

1. 目的

腐食損傷するボルト接合部への対策として、皿型高力ボルト¹⁾(以下、皿型ボルト)の使用が考えられるが、六角ナットにより締結されることから、開断面部材では依然として耐腐食性に劣る。そこで、著者らは新たに図-1に示すダブルスピンドル形状のファスナー(DSF)を考案し、F8T-M22の締結能力を確保するためのねじ形状を検討している。検討課程において、現在のDSFのナットはねじのかかり終わりが皿頭首下部に位置するため、遅れ破壊耐性に関わるねじ山の応力が大きいことが確認された。本研究では、単純引張試験を模擬したDSFの軸対称解析を行い、端部ねじ山の応力を低減できるナット形状について検討した。

2. 解析概要

解析ソルバーはAbaqus/Standardを用いた。使用要素と境界条件を図-2に示す。ねじの嵌合、皿頭と連結板ざぐり部の接触には、文献1)、2)での検討実績を踏まえてクーロン摩擦則を適用し、接触面の摩擦係数は0.1とした。DSFの応力-ひずみ関係は、弾性係数 E を 2.0×10^5 N/mm²、ポアソン比 ν を0.3、加工硬化係数 $H=E/100$ のバイリニア型とした。载荷治具は $E=2.0 \times 10^8$ N/mm²、 $\nu=0.3$ とする剛な弾性体とした。DSFの材料強度はSHTB(S14T)と同等であると考え、降伏点 σ_y と引張強度 σ_t の公称値をそれぞれ1,260 N/mm²、1,400 N/mm²とした。

DSFの締付けは、図-3に示すように、締付レンチのソケットを差込み行うことを想定している。また、DSFのねじ形状は、図-4のとおり、応力集中の緩和を目的として、JISねじ形状から図-4(b)のねじ形状に変更している。本解析では、差込口形状とねじ形状、端部ねじ山と皿頭首下部の相対位置関係が端部ねじ山の応力に与える影響を分析するべく、図-5に示すケースを用意した。端部ねじ山と皿頭首下部の相対位置関係はナット全長 h_t を調整することで表現しており、ねじの噛み合わせ数(12山)、ナットの皿頭高さ h_c (=11mm)、ナットの下穴深さ h_d (=26mm)は全ケース統一している。



図-1 DSFの試作品

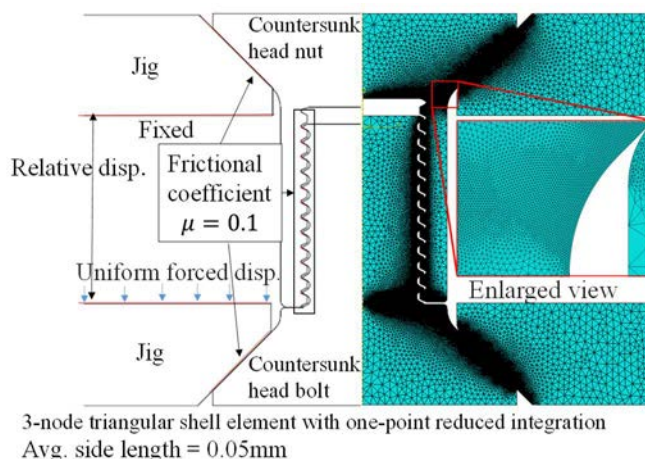


図-2 FEモデルとその境界条件

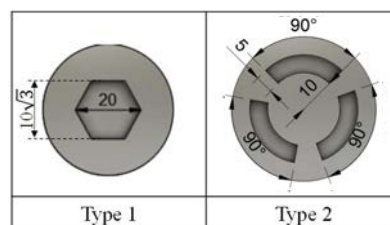


図-3 締結用ソケットの差込口の形状

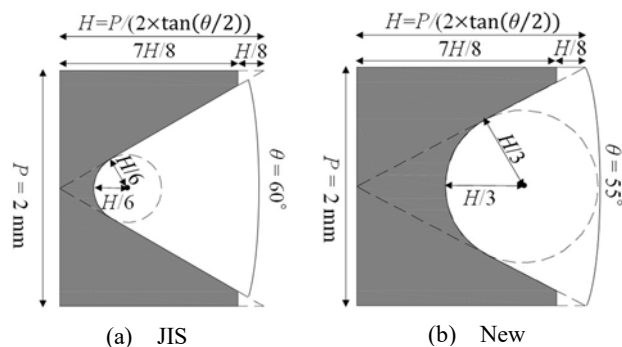


図-4 ねじ形状

3. 解析結果

荷重 P (治具反力)と治具間の相対変位 δ_r の関係を図-6に示す。図中に、F8T-M22の設計ボルト軸力 N_d (=165kN)を直線、公称降伏軸力 N_y (=204kN)を点線で示す。

キーワード 双皿型ボルトセット、皿型ナット、FEM解析、ねじ形状

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻, Tel., Fax.: 06-6605-2735

図-7には $P = N_d$ 時点を対象に、雌ねじ谷底を構成する要素群の最大主応力 σ_{mp} の極大値をねじ番号ごとに整理している。また、図-8には $P = N_y$ 時点のMises応力コンターを示している。

図-6の $P - \delta_r$ 関係より、DSF全体の軸剛性は、 N_y 時点までは差込口形状やねじ形状によらず一致していた。したがって、遅れ破壊耐性やリラクゼーション特性などを除くファスナーとしての基本的な締結能力はF8T-M22のそれを確保できているといえる。一方、遅れ破壊耐性に関わるねじ部の応力集中は、図-7より、ねじ形状、端部ねじ山と首下部の相対位置関係に影響を受けていた。前者の影響はケースA1, A2の比較から、後者の影響はケースA2, Bの比較から確認できる。A2はA1に対して12番ねじの σ_{mp} が、BはA2に対して11番ねじの σ_{mp} が12%程度それぞれ低下している。

差込口形状の影響は、11番ねじ以降の σ_{mp} の差異として表れ、その形状に応じた皿頭の変形が関連していた。特に、雄ねじと掛かりがない13番ねじでその傾向が強く、ケースB~Dと比較すると、Dの σ_{mp} が最も大きい。これは、差込口が連結板の皿状ざくり部に付近位置することで、ざくり角部との支圧抵抗領域が減少し、また皿頭の反りにより引張応力が増加したことが理由と考えられる。一方、Cの場合は、角部より生じる塑性域が13番ねじの方向に進展するものの、肉厚のない差込口部分が撓むことで、13番ねじの引張応力が緩和された。

最大荷重 P_{max} については、図-6のとおり、Newねじ形状を採用したA2, B~Dは、雄ねじ谷径が増加したことで、A1よりも4%程度増加した。

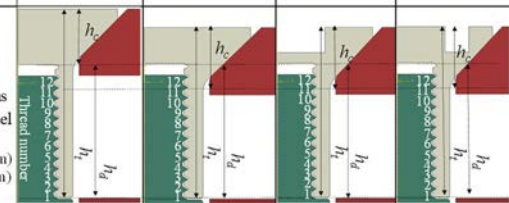
4. まとめ

以下に得られた結果をまとめる。

- 1) 開発中の双皿型高耐久性ボルトセット(DSF)の締結能力は、F8T-M22のそれと同程度である。
- 2) DSF用皿型ナットの端部ねじ山の最大主応力 σ_{mp} は、差込口形状とねじ形状、端部ねじ山と皿頭首下部の相対位置関係のいずれにも影響される。
- 3) 差込口形状は雄ねじと掛かりがない13番ねじの σ_{mp} に強く影響する。その原因は、形状に起因した皿頭の反り・撓み変形による引張応力の変化、連結板ざくり角部との支圧抵抗領域の変化であった。

【参考文献】

- 1) 田畑晶子，金治英貞，黒野佳秀，山口隆司：皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手のボルト形状及び継手特性に関する解析的検討，鋼構造論文集，Vol. 20，No. 79，pp. 808-819，2013。

Analytical case	A1	A2	B	C	D
Nut type	-	-	-	Type 1	Type 2
Total height of nut h_t (mm)	35	31	31	31	31
Dimensions of FE model					
Thread form	JIS	New	New	New	New

h_c : Height of countersunk head, h_d : Height of drilled hole

図-5 解析ケース

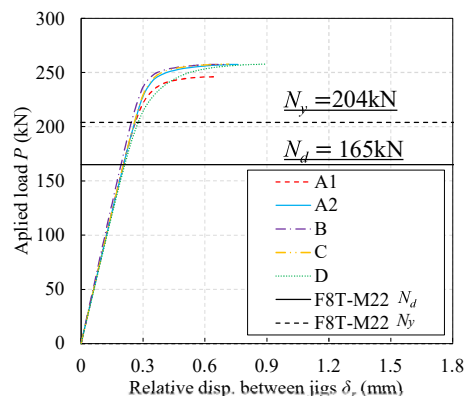


図-6 荷重-相対変位関係

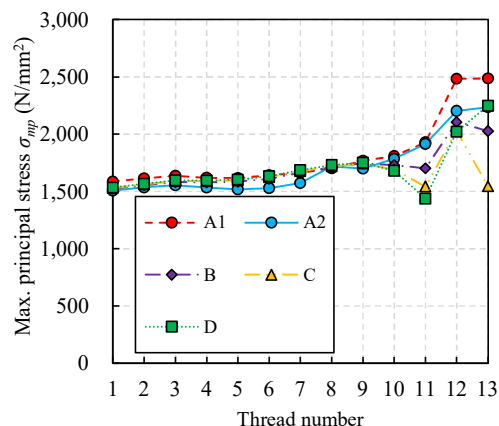


図-7 N_d 時雌ねじ最大主応力 (単位: N/mm^2)

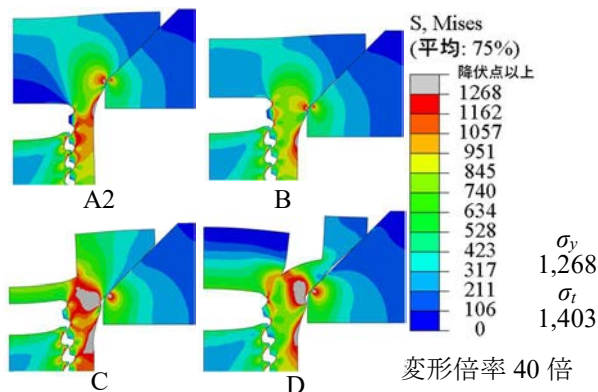


図-8 N_y 時 Mises 応力コンター (単位: N/mm^2)

- 2) 山口隆司，長崎英二，潘超，木村勇次：1,800 N/mm^2 級超高力ボルトに使用するねじ形状の開発及び性能確認試験，土木学会論文集 A1，Vol. 70，No. 3，pp. 409-417，2018。