

両端に皿頭を有する高強度・高耐久ボルトセットを用いた摩擦接合継手のすべり挙動

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

1. 研究背景および研究目的

著者らは、両端に皿頭を有した砂時計状の高力ボルトセット（以下、DSF: Double Spindle Fastener (図-1)）を開発し、突出が一切なく防食性に優れた高力ボルト接合部の実現に向けた検討を進めている¹⁾²⁾。ここでは、DSFを用いた摩擦接合継手のすべり挙動を解析的に調査し、高力六角ボルト・皿型高力ボルト継手との差異を解明する。

2. 解析概要

解析ソルバーには、Abaqus/CAE2020を用いた、FEモデル（図-2）は板幅方向・板厚方向の対称性を考慮した1/4モデルとし、継手区間の母板・連結板・高力ボルト・ナットは8節点6面体低減積分要素で構成した。皿型ボルトおよびDSFの首下R部や連結板との接触面、連結板の皿型加工部には、20節点6面体低減積分要素を用いた。

母板と連結板の構成則はマルチリニア型、ボルトセットの構成則はバイリニア型とした³⁾。機械的性質はいずれも規格下限値を参考とし、鋼材はSM490A、高力六角ボルト（HEX）と皿型高力ボルト（CSK）はF10T級、DSFはSHTBを想定した。FEAに用いた公称応力 σ_{nom} -公称ひずみ ε_{nom} 関係は図-3に示す通りである。

想定される全接触面には、固着・すべり・離間を考慮できる接触特性を与えた。接触面接線方向にはクーロン摩擦モデルを与え、法線方向には剛接触モデルを与えた。座金・ナット間はすべりが生じないものとし、一体挙動するようにそれぞれの隣接節点の自由度を共有させた。

母板と連結板の接合面処理は無機ジンクリッチペイント塗装を想定し、接合面の摩擦係数を0.50とした。皿型加工部（ざぐり面）や連結板表面は摩擦抵抗を期待せず、それらの摩擦係数は0.10とした。

数値解析では、はじめに高力六角ボルト・皿型高力ボルト・DSFの軸力導入を行い、次にすべり試験における母板の掴み範囲に対して一様強制変位 u を与えている。初期導入軸力は設計軸力 N_d として、表-1の値を導入した。

3. 解析結果

ボルト頭部側接合面の接触圧コンターを図-4に、すべ

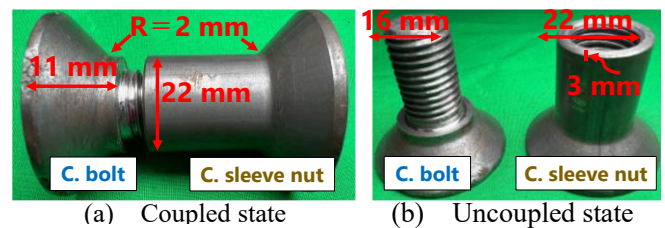


図-1 Double Spindle Fastener(DSF)

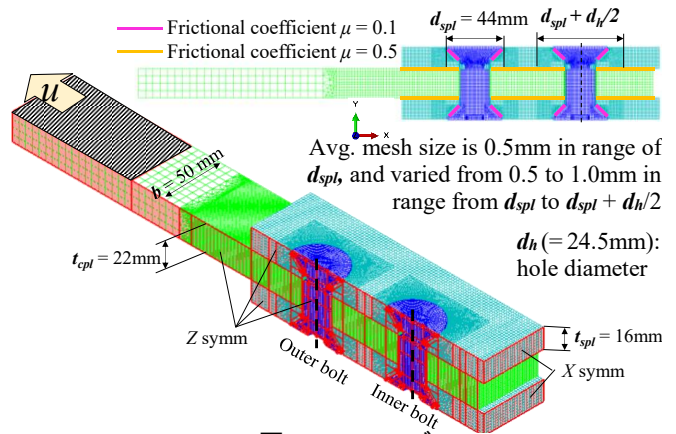


図-2 FE モデル

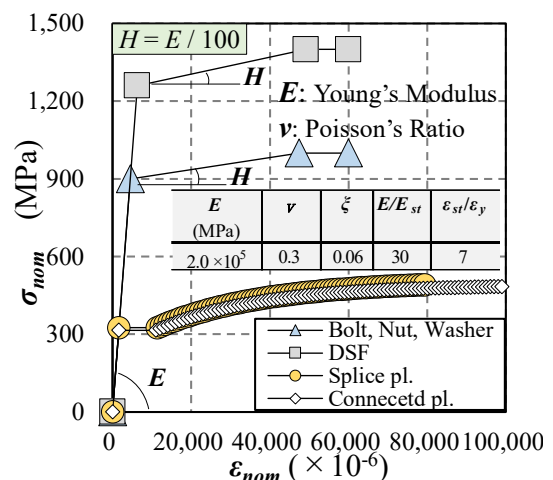


図-3 FEAに用いた公称応力 - 公称ひずみ関係

表-1 各ケースの設計耐力

	Bolt tension	Slip resis.	Net cross-section Y. resis. of connected pl.	Net cross-section Y. resis. of splices	Slip/yield resis. ratio	Splices / connected pl. Y. resis. ratio
Nume- rical cases	N_d (kN)	P_{sd} (kN)	$P_{ynd-cpl}$ (kN)	$P_{ynd-spl}$ (kN)	$\beta_d = P_{sd} / P_{ynd-cpl}$	$\gamma_d = P_{ynd-spl} / P_{ynd-cpl}$
HEX	205	369.0	523.2	785.2	0.71	1.50
CSK				723.4	0.71	1.38
DSF	150	270.0	523.2	661.6	0.52	1.26

キーワード：皿型高力ボルト，メカニカルファスナー，FE解析，腐食，高力ボルト接合

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 橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

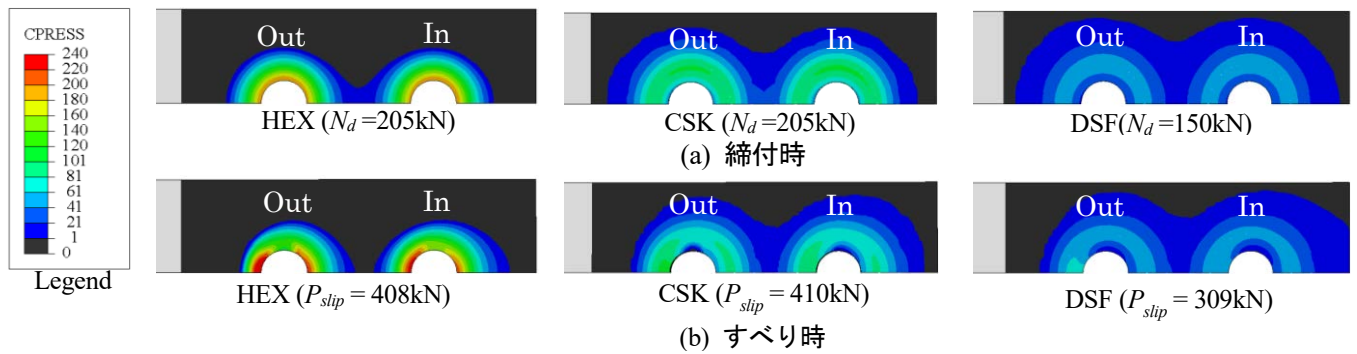


図-4 ボルト頭部側接合面の接触圧コンター(単位: MPa)

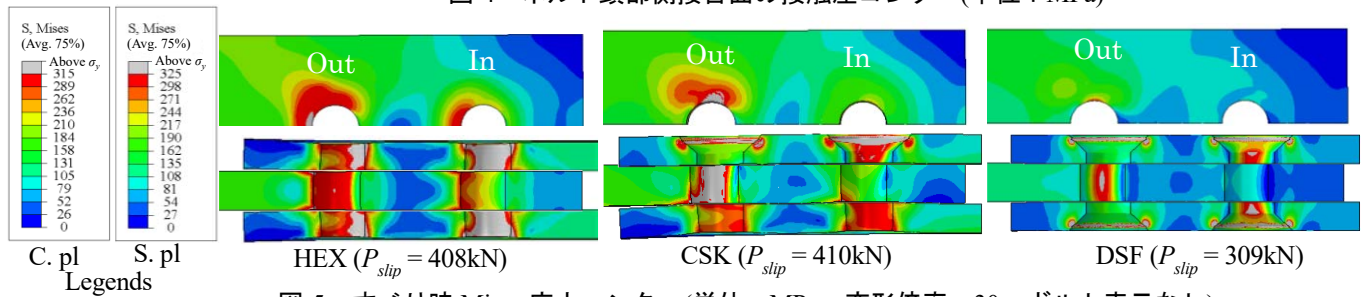


図-5 すべり時 Mises 応力コンター(単位: MPa, 変形倍率: 30, ボルト表示なし)

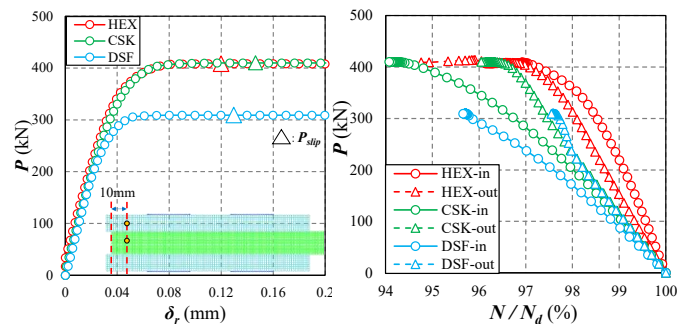
り時の Mises 応力コンターを図-5に, 荷重 P と縁端 10mm の母板 - 連結板の相対変位 δ_r の関係を図-6に, 荷重 P と軸力残存率 N/N_d の関係を図-7にそれぞれ示す. まず初めに, 締付時点の接触分布は DSF の場合に最も広範となる. CSK の接触面積が DSF のそれより小さいのは, 締付による母板の面外変形が板厚方向で対称とならず, 母板が頭部側連結板の方向に上反りしたことが原因であった. すべり時の接触圧分布は締付時と同様の傾向にあった. その結果, 図-5に示すように, 継手端部の母板と連結板の離間は, 皿孔加工部を両側に有する DSF が最も小さい.

$P - \delta_r$ 関係 (図-6) はボルト種類によらず同様であったが, すべり荷重 P_{slip} には差異がある. $P - N/N_d$ 関係 (図-7) については, CSK と DSF は HEX とは異なり, 内側ボルトが外側ボルトよりも軸力が低下している. DSF は両側連結板に皿孔加工部を有するため, CSK よりもこの傾向が強い. 外側ボルトの軸力低下が CSK のそれより小さいのは, 継手端部の離間が抑制されたことが理由である.

初期導入軸力で評価したすべり係数 μ_1 は, HEX, CSK, DSF の順にそれぞれ 0.498, 0.500, 0.514 であった. すべり時軸力で評価した場合のすべり係数 μ_2 はそれぞれ 0.514, 0.525, 0.533 であった. この結果は, すべり荷重 P_{slip} の違いに伴うボルト孔周辺の塑性化の影響を含むが, DSF のすべり係数 μ_1, μ_2 が前述のすべり挙動を背景に, HEX や CSK よりも大きく低下しないことを示唆している.

4. まとめ

DSF を用いた摩擦接合継手のすべり挙動を調査し, 高

図-6 $P - \delta_r$ 関係図-7 $P - N/N_d$ 関係

力六角ボルト・皿型高力ボルト継手との差異を解明した.

DSF を用いた摩擦接合継手は, ざぐり面から締付軸力が伝達されるため接合面の接触圧分布が広範となり, それが両側の接合面で生じることから, 継手端部での母板と連結板の離間が生じないという特徴を有する. その結果, すべり係数は高力六角ボルト・皿型高力ボルト継手よりも低下しない可能性が確認された. すべりに至るまでの挙動は, 皿型高力ボルト継手のそれと同様であった.

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, G. HAYASHI, T. YAMAGUCHI and H. MORIYAMA: Prototype of No-projected and Sandglass-shaped Bolt with High-Strength and Durability for Efficient Steel Structures Maintenance, the IABSE Symposium Prague2022 Reports, pp.602-609, Prague, Czech Republic, 2022.
- 2) 橋本達也, 森山仁志, 林徹, 山口隆司: 両側に皿頭を有する高耐久・高強度ボルトセット(ダブルスピンドルファスナー)の締付穴形状の提案, 第 77 回年次学術講演会講演概要集, I-94, 京都大学, 2022.9.
- 3) 土木学会鋼構造委員会: 鋼・合成構造標準設計方書耐震設計編, 2018.