

高強度ねじ付きスタッド薄鋼板摩擦接合継手の高すべり係数化に関する解析的検討

大阪公立大学大学院 学生会員 ○木山 大聖
川田工業株式会社 正会員 奥原 大貴
川田工業株式会社 正会員 吉田 賢二

川田工業株式会社 正会員 岡本 真樹
川田工業株式会社 正会員 石川 誠
大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司
大阪公立大学大学院 正会員 林 厳

1. 研究背景および目的

著者らは、合成床版底鋼板のような薄鋼板の継手部に、高強度ねじ付きスタッド（以下、スタッドボルト）摩擦接合継手を適用することを提案している（図-1）。既往研究では、そのすべり係数が0.45以下と低くなることが報告されている。本研究では、このようなスタッドボルト摩擦接合継手のすべり係数が低下するメカニズムの解明と高すべり係数化を目的として FEM 解析を行った。

2. すべり係数低下のメカニズム

2-1. 解析概要

解析モデルを図-2 に示す。解析モデルの諸元は、文献 1)の試験体と同様とした。解析時の導入軸力には、文献 1)の試験前軸力を用いた。なお文献 1)において、スタッドボルトの導入軸力は、ボルト鋼種の HT570 材の材料特性から、線形限界の 0.9 倍と 1.2 倍の 2 種類とされている。解析ソルバーには Abaqus/Standard2022²⁾を用い、境界非線形を考慮した静的弾塑性有限変位解析を行った。要素には 8 節点低減積分ソリッド要素を用いた。解析では、はじめにボルト軸力を導入し、次に引張力として強制変位を与える手順で実行した。境界条件について、母板-添接板間には図-3 に示す、すべり時の平均接触圧 σ_{slip} と摩擦係数 μ_{slip} の関係を導入した。図-3 は文献 3)および大阪公立大学橋梁工学研究室の小型鋼板（接合面処理：ブラスト処理後、無機ジンクリッチペイント 75 μ m 塗布）を用いたすべり試験より求めたものである。図-3 より、平均接触圧（=軸力/接触面積）が大きくなるほどすべり係数は小さくなっていることが確認できる。

2-2. 解析結果

得られた軸力導入時の母板と添接板の変形状を図-4 に示す。スタッドボルトは母板に直接溶接されているため、軸力導入時に母板はボルト軸部を中心に反り上がるように変形する。このとき、添接板は母板の変形に追随しきれず、母板-添接板間に離間が生じる。これは、添接板が母板と同様に変形するのを、座金が拘束するため



(a) スタッドボルト (b) 継手
図-1 高強度ねじ付きスタッド摩擦接合継手

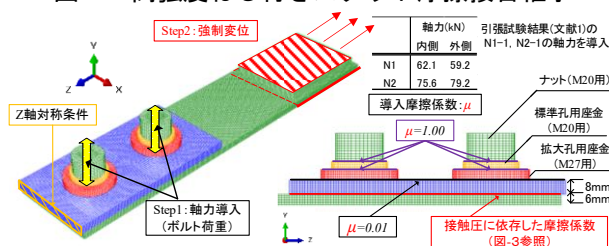


図-2 解析モデル

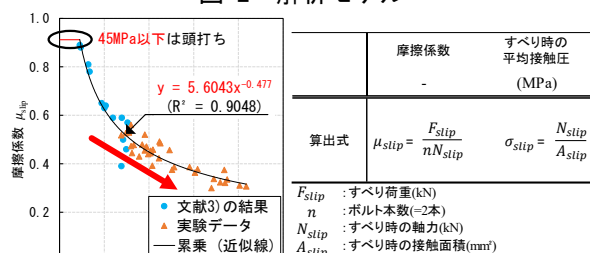
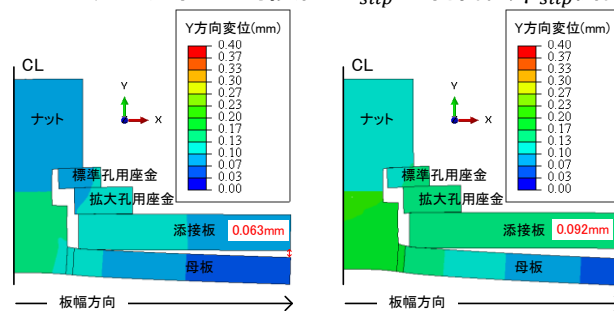


図-3 すべり時の平均接触圧 σ_{slip} - 摩擦係数 μ_{slip} 関係



(a) ケース N1 (b) ケース N2

図-4 軸力導入時の変形状 (変形倍率: 25 倍)

と考えられる。また、軸力が大きい場合、母板の変形が大きくなるため、N2 は N1 に比べて、添接板縁端における離間量が最大で約 46% 大きくなる。図-5 に母板上面の接触圧コンターを示す。N2 の最大接触圧は N1 に比べて約 7.8% 大きい。これより、軸力が大きい場合、平均接触圧が大きくなり、すべり係数が低下したと考えられる。

キーワード 高強度ねじ付きスタッド, 薄鋼板摩擦接合継手, 高すべり係数化, 接触圧

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪公立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL06-6605-2765

3. 高すべり係数化の検討

3-1. 解析概要

軸力導入時に、添接板が母板の変形に追随し、接触面積を確保できるように添接板の形状を変化させた。添接板には、図-6 に示すように添接板上面の孔周りに切欠きを設けた。パラメータは導入軸力と切欠き形状とした。解析ケースを表-1 に示す。切欠き形状は、製作性を考慮し、添接板上面の孔縁端から板厚方向および板厚直角方向に 2mm, 4mm, 8mm の三角形状とした。なお、導入軸力や境界条件、荷重条件等は第 2 章の解析モデルと同様である。

3-2. 解析結果

得られたすべり係数 μ_0 とすべり荷重 P_s を図-7 に示す。 P_s は母板と添接板の相対変位量が 0.2mm に達した時の荷重とした。 μ_0 は、 P_s を解析の導入軸力 N_0 とボルト本数で除して算出した。 μ_0 に着目すると、点線で示す切欠きなしと比較して切欠き形状が大きくなるほど高くなる。8C の時に切欠きなしと比べて増加率が最大となり、 μ_0 は N1 で 51%、N2 で 45% 増加する。 P_s についても、 μ_0 と同様に、N1、N2 どちらのケースにおいても切欠き形状が大きくなるほど高くなる。

ケース N1-8C の軸力導入時の変形図を図-8 に一例として示す。これより、母板の変形に添接板が追随し、切欠きがない場合よりも接触面積が大きくなっている。添接板縁端の離間量は 8C の時に最小となり、N1 で 0.008 mm、N2 で 0.013mm であった。接触圧分布を図-9 に示す。これより、切り欠き形状が大きくなるほど、接触面積が大きくなっており、平均接触圧が小さくなるのがわかる。以上より、切欠き形状が大きくなるほど μ_0 および P_s が向上したと考えられる。

4. 結論

- 1) M20 スタッドボルト摩擦接合継手では、軸力導入時の母板の変形に対して、座金の拘束により添接板が追随できない。そのため、接触面積が小さくなり、すべり係数が低くなると考えられる。
- 2) 添接板上面側の孔周りに切欠きを設けることは、すべり係数、すべり荷重の向上に有効であった。これらは 8C の時に増加率が最大となり、N1 で 51%、N2 で 45% 程度向上することが確認できた。

<参考文献>

- 1) 岡本真樹, 山口隆司, 吉田賢二, 石川誠, 奥原大樹: 高強度ねじ付きスタッドを用いた摩擦接合継手の軸力提案と力学的挙動に関する実験的検討, 土木学会第 77 回年次学術講演会, 2022
- 2) SIMULIA: Abaqus Analysis User's Manual Ver 2022
- 3) 森山仁志, 高井俊和, 山口隆司: 小型鋼板すべり試験による高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に対する接触圧の影響の検討, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020

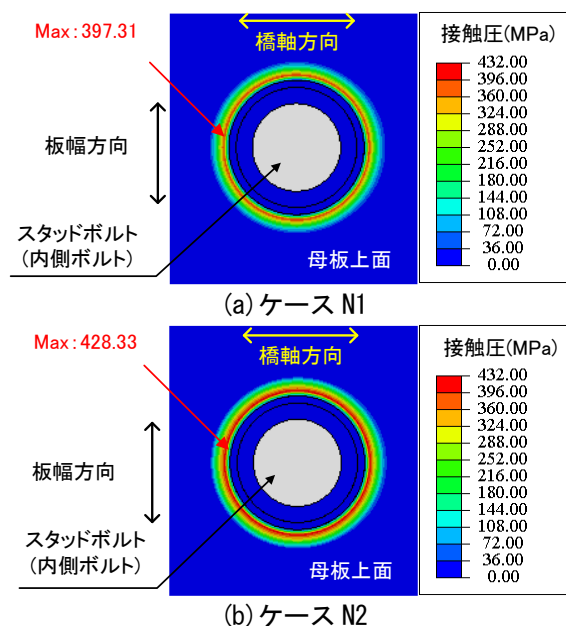


図-5 軸力導入時の接触圧（内側ボルト，母板上面）

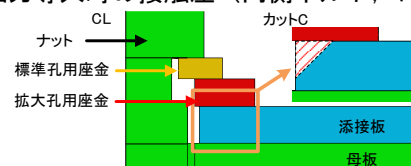


図-6 添接板に設ける切欠き

表-1 解析ケース

ケース	切欠き形状			
	0C	2C	4C	8C
N1	切欠きなし	カットC 2mm × 2mm	カットC 4mm × 4mm	カットC 8mm × 8mm
N2	切欠きなし	カットC 2mm × 2mm	カットC 4mm × 4mm	カットC 8mm × 8mm

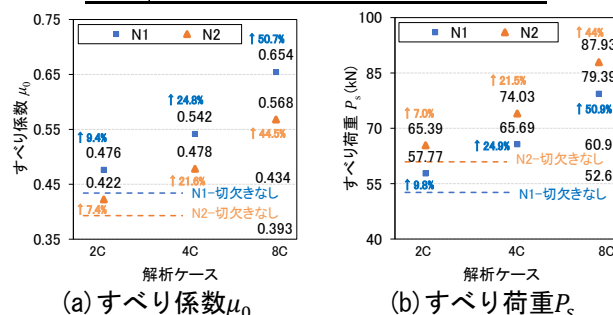


図-7 解析結果

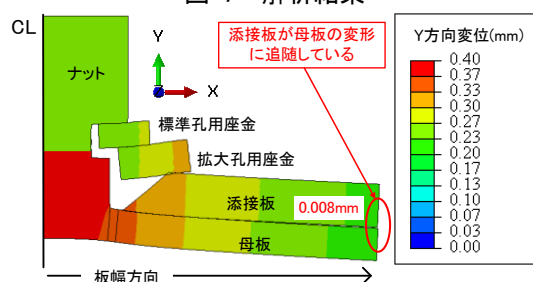


図-8 軸力導入時の変形図(N1-4C, 変形倍率:25 倍)

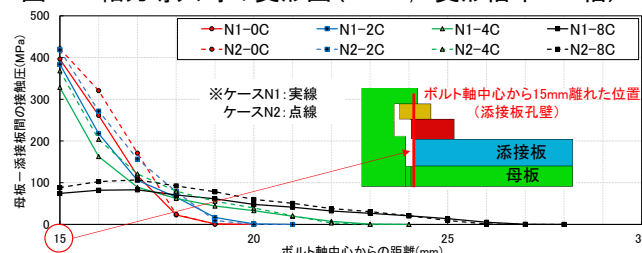


図-9 母板－添接板間の接触圧分布