

接着剤と高力ボルト摩擦接合の併用接合における見かけのすべり係数に関する解析的検討

大阪市立大学 学生員 ○福辻 菜絵
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 非会員 神野 巧矢
阪神高速道路株式会社 正会員 青木 康素
大阪市立大学大学院 正会員 林 巖

1. 背景および目的

鋼部材の腐食に対する当て板工法では、一般的に高力ボルト摩擦接合が用いられ、当て板と被接合材の密着性を確保するためにエポキシ樹脂（以下、接着剤）等を塗布する場合がある。このような接着剤と高力ボルトを用いた接合方法に対して、既往研究¹⁾ではそれを併用接合とよび、その見かけのすべり係数を評価している。見かけのすべりとは、軸力影響範囲における接着剤の破壊を指し、そのすべり係数を見かけのすべり係数とよんでいる。既往研究¹⁾で求められた簡易計算によるすべり係数はボルトピッチ75mmで0.75、66mmで0.7であった。

本研究では、小型鋼板を用いたすべり試験²⁾により得た面圧－摩擦係数関係を用いた摩擦接合モデルにより、併用接合継手の再現解析を行い、面圧分布に影響する添接板厚およびボルトピッチをパラメータとし、併用接合の見かけのすべり係数（以下、すべり係数）の算出を試みた。

2. 摩擦接合モデルによる併用接合の再現解析

2.1 解析概要

再現解析には、汎用有限要素解析ソフト Abaqus / standard 2018 を用い、弾性有限変位解析を実施した。解析モデルを図-1に示す。既往研究の併用接合継手引張試験の供試体を対象とし、対称性を考慮した1/4モデルを用いた。解析は、ステップ1でボルト軸力を導入し、ステップ2で母板に強制変位1mmを与えた2ステップとした。用いた材料特性を表-1に示す。

本解析では接着剤層をモデル化せず、母板と添接板の接触条件として図-2に示す面圧－摩擦係数関係を導入した。図-2の近似曲線は、小型鋼板を用いたすべり試験結果²⁾をもとに、累乗近似を用いて求めた。低い面圧が作用する範囲が全体のすべり係数に与える影響を確認するため、面圧の下限値をパラメータに0、10、20、30N/mm²と設定した。なお、本研究では、接着剤は文献1)、2)と同様の接着剤を用いることとする。

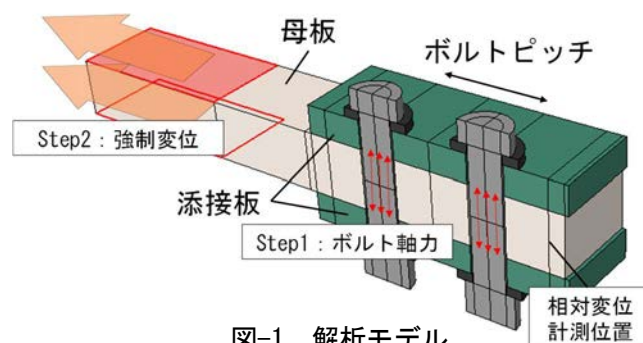


図-1 解析モデル
表-1 材料特性

部位	鋼種	降伏点 (N/mm ²)	ヤング率 (GPa)
添接板	SM490Y	436	200
母板		390	

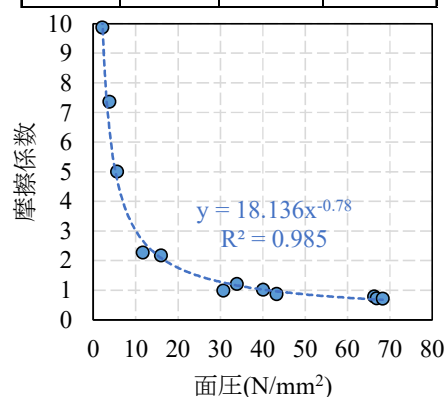


図-2 面圧-摩擦係数関係

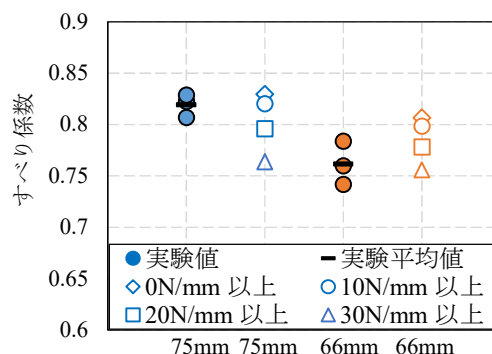


図-3 実験値と解析値の比較

2.2 解析結果および考察

併用接合継手の実験結果¹⁾および解析結果から求めたすべり係数の比較を図-3に、荷重と相対変位の関係を図-4に示す。すべりの定義は、実験値と解析値共に母板と添接板の相対変位0.2mmまでの最大荷重としている。

キーワード 併用接合、接合面圧、見かけのすべり係数、接着剤

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 06-6605-2765

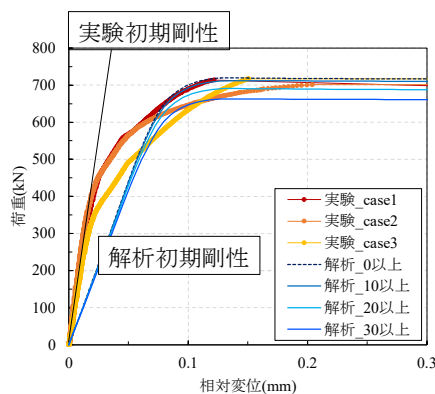


図-4 荷重-相対変位関係

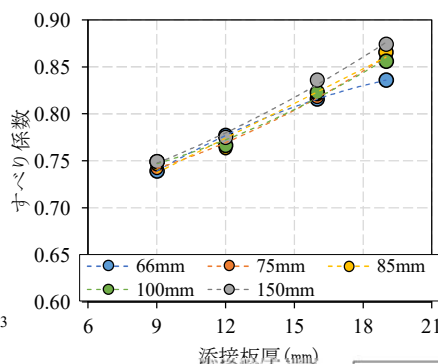
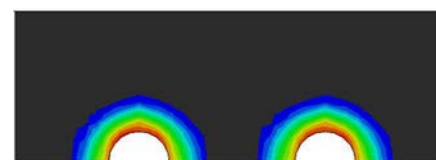


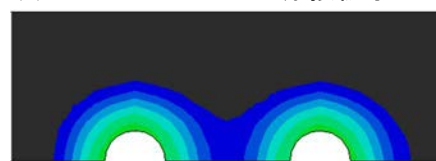
図-5 すべり係数比較

表-2 解析ケース

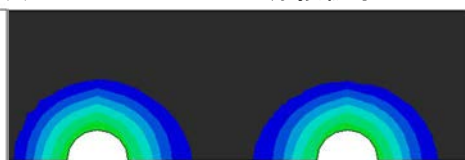
板幅 (mm)	母板厚 (mm)	添接板厚 (mm)	ボルトピッチ (mm)	導入軸力 (kN)
120	40	9,12,16,19	66,75,85,100,150	205



(a) ボルトピッチ 75mm 添接板厚 9mm



(b) ボルトピッチ 75mm 添接板厚 19mm



(c) ボルトピッチ 100mm 添接板厚 19mm

図-6 面圧分布

図-3 より、面圧 0N/mm^2 以上の面圧-摩擦係数関係を導入した解析結果と実験結果のすべり係数が誤差 5%以内におさまっており、すべり係数は実験結果を概ね再現することができた。一方、図-4 の荷重と相対変位関係の初期剛性は異なっている。これは、併用接合は軸力影響範囲外の接着剤がはく離するまで高い剛性を有するが、本解析の摩擦接合モデルではそれを再現できていないためと考えられる。さらに、図-3 より面圧の下限値を 0, 10N/mm^2 とした場合のすべり係数を比較すると、大きな差が見られなかったことから、本解析ケースにおいて面圧 10N/mm^2 以下の範囲がすべり係数に与える影響は小さく、無視できると考えられる。

3. パラメトリック解析

3.1 解析ケースとパラメータ

再現解析の結果をもとに、面圧 10N/mm^2 以上の面圧-摩擦係数関係を用い、添接板厚およびボルトピッチをパラメータとした解析を実施した。解析ケースを表-2 に示す。ここで、ボルトピッチおよび添接板厚は文献 3) を参考にそれぞれの最小値、最大値を決定した。

3.2 解析結果および考察

添接板厚を横軸としたすべり係数の比較を図-5 に示す。添接板厚が約 2 倍増加すると、すべり係数は約 15% 増加した。また、同じ添接板厚ではボルトピッチの影響は見られず、ほぼ同じすべり係数となった。一方、添接板厚が大きくなると、ボルトピッチの影響が見られた。併用接合は、摩擦接合よりもすべり耐力が高いこと、面圧が約 65N/mm^2 より大きくなると併用接合のせん断強度は摩擦接合のそれと同程度となることが確認されている⁴⁾。図-6 に面圧分布の比較を示す。図-6(a) (b) より、添接板厚が

小さい 9mm では接合面に高い面圧が作用する。また、図-6(b) (c) より、ボルトピッチ 100mm では軸力影響範囲が重なっていないが、75mm では重なっており、高い面圧が作用する。以上より、本解析ケースでは、併用接合による高いすべり係数を得るためには、添接板厚は大きいものを用い、ボルトピッチ 100mm 以上とすることが望ましいと考えられる。

4. 結論

本研究では、摩擦接合モデルを用いた併用接合継手の解析を実施し、見かけのすべり係数について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 小型鋼板のすべり試験結果より得られる、面圧 10N/mm^2 以上の面圧依存の摩擦係数を接合面に導入することで併用接合のすべり荷重を概ね再現することができる。
- (2) 本解析のケースにおいて、併用接合の見かけのすべり係数の下限値は 0.7 であり、添接板厚が約 2 倍となると見かけのすべり係数は約 15% 増加した。
- (3) 本研究で用いた面圧-摩擦係数の関係は特定の接着剤から得られたものであり、これを一般的するために、今後は接着剤の種類を変えた検討を行う予定である。

<参考文献>

- 1) 藤本高志：接着剤と高力ボルトを併用接合した部材接合の力学的挙動とその設計法に関する基礎的研究，大阪市立大学大学院都市系専攻修士論文，2019.3
- 2) 神野巧矢，藤本高志，山口隆司，青木康素，赤松伸祐：無機ジンクリッチペイント面を介した接着接合のせん断強度と接合面圧の関係，第 75 回年次学術講演会講演概要集，1-44，2020.9
- 3) 土木学会 鋼構造委員会 高力ボルト摩擦接合継手の設計法に関する調査検討小委員会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案），2016.12
- 4) 福辻菜絵，神野巧矢，山口隆司，青木康素，堀井久一，林徹：無機ジンクリッチペイント面に接着剤を塗布した接合面のせん断強度と接合面圧の関係，令和 3 年度土木学会関西支部（投稿中）