

高力ボルト継手の無機ジンクを塗布した 接触面における摩擦係数に関する基礎的研究

法政大学大学院 学生会員 ○関根英人 正会員 内田大介
(株)三井 E&S 鉄構エンジニアリング 正会員 濱 達矢 正会員 河津英幸

1. 研究の目的・背景

接触面に厚膜形無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンク）を塗布した高力ボルト摩擦接合継手の解析では、母板一連結板間の摩擦係数を一定とせず、接触圧と関連づけることでボルト軸力の低下によるすべり係数の増加が再現でき¹⁾、長孔・拡大孔を有する継手においても実験と解析が概ね一致するとの報告がある²⁾。これらの解析における接触圧と摩擦係数の関係式は、[文献 3]の接触面をアルミ溶射とブラスト面における接触圧と摩擦係数を基に、実験結果と同定することにより構築されている。しかし、表面形状や気孔率の違いを考えると、アルミ溶射と無機ジンクでは実挙動が異なる可能性がある。

本研究は接触面に無機ジンクを塗布した高力ボルト継手の解析方法確立を目的としている。ここでは第一段階として実施した、2軸載荷試験機を用いたすべり試験により得られた接触圧と摩擦係数の関係について報告する。

2. 実験概要

図1に試験体形状・寸法を示す。試験体は直方体の母板、凸形状の試験片(凸板①,②)とする。凸板の突起上面および母板の側面を接触面とし、静止摩擦係数を測定する。使用鋼材はSM490Yであり、母板および凸板の接触面はブラスト処理後、無機ジンクを塗布している。膜厚は標準膜厚である75 μm を目標とした結果、凸板接触面と母板側面の1320箇所を測定した塗膜厚は平均膜厚81.25 μm 、標準偏差は8 μm であった。

図2に実験概要を示す。実験には動的能力200kNの2軸の載荷試験装置を用いた。実験では、Aの箇所をボルトで固定し、Bの箇所を仮固定の状態で西側ジャッキより凸板部が目標の接触圧となる荷重を与えた後に、Bの箇所をボルトで固定する。この際、西側ジャッキの可動変位はBの箇所に設けた長孔で吸収している。試験体設置後は、北側ジャッキより荷重速度1/60(mm/sec)で引き抜き、着目部にすべりを生じさせた。なお、Bの箇所の固定時には凸板の接触圧が低下してしまうものもあった。すべり試験では、北側のジャッキの変位と図1中に示した12枚のひずみゲージ(ゲージ長1mm)のひずみを、サンプリング周波数を20Hzとして動的に計測した。接触圧は左右の凸板先端の4側面に添付した合計8枚のひずみゲージの平均値に鋼材のヤング係数200000(N/mm²)乗じて求めた。また、引張荷重については試験機の構造上、ロードセルが機能しないため、母板に添付した4枚のひずみゲージの値から算出した。実験パラメータとする接触圧は、50,100,150,200,250,300,350(N/mm²)を目標とし、各ケース3体と予備試験体3体の合計30体分を供した。また、摩擦係数について、母板引張時からすべり時まで与えた引張荷重P(kN)対して、引張

キーワード：高力ボルト、摩擦接触、摩擦係数、接触圧、無機ジンクリッチペイント

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL 042-387-6279

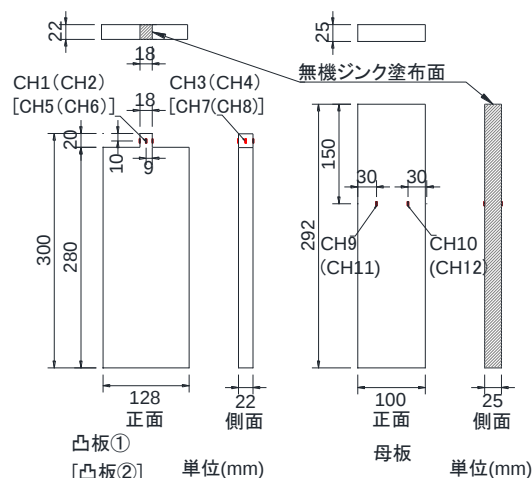
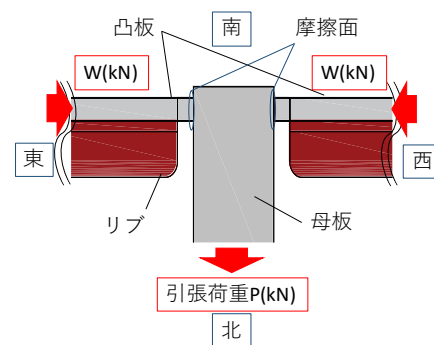
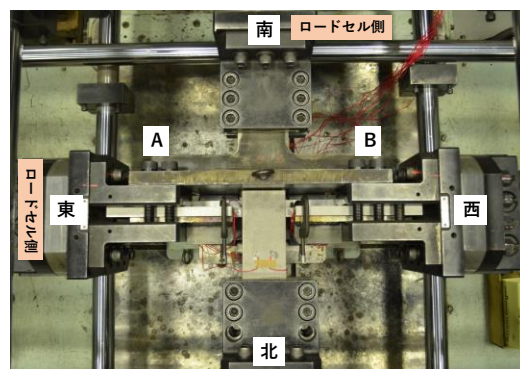


図1 試験体形状・寸法



a) 試験概要



A: 東-南ボルト固定部 B: 西-南ボルト固定部

b) 試験体設置状況

図2 実験概要

開始時での凸板①②の平均接触荷重 $W_{ave}(kN)$ との比($\mu_1=P/W_{ave}$), すべり時の凸板①②の平均接触荷重 $W_{2ave}(kN)$ との比($\mu_2=P/W_{2ave}$)の2種類を算出した. 本実験におけるすべり荷重は, 引張荷重が最大になる荷重と定義した. 図3に引張荷重と試験機の変位の関係の一例を示す.

3. 実験結果と考察

3.1 試験後の接触面の観察

凸板のひずみ計測から, 東西に設置された凸板の接触圧に差が生じることがわかった. そこで, 試験後の凸板接触面を観察したところ, 一部で接触面が均一に接していない試験体が見られた(写真1a)). 試験体の接触部は0.1mmの精度で機械加工していたが, 試験体を設置する過程において, ずれが生じたと考えられる.

凸部接触面が良好な接触面については, 無機ジンクの付着はほとんど見られず, 鋼材表面の光沢が観察できた(写真1b)). なお, 本試験において, すべり後も引抜変位を3mmまで与えており, すべり時に接触面を観察することが困難であったため, すべり時の接触面が無機ジンクと鋼材間の界面破壊または, ジンクの凝集的な破壊の特定までには至らなかった.

3.2 接触圧と摩擦係数の関係

すべり試験によって得られた $\mu_1 \cdot \mu_2$ の関係について図4・図5に示す. 図中には[文献1]の関係式も示している. 両グラフの有効データ数は20であり, そのうち, 凸板①, ②の接触圧が両者に接触圧の平均から20%以上誤差が生じた試験体のデータについては緑色でプロットしている. また, 以下のデータについて, すべり試験結果から除いている.

- 1) ひずみゲージの不良および, 接触荷重導入時に偏載などによって凸板の接触圧が鋼材引張強度 $524(N/mm^2)$ を超えた試験体.
- 2) 母板引張時に, 図3の変位—荷重曲線において, 引張荷重が極端に小さくすべり現象が確認できなかった試験体.

μ_1 を μ_2 と比較して摩擦係数を若干高くなる傾向を示した. 図中には線形近似および, 多項式近似を行っているが, μ_1, μ_2 両者について[文献1]の関係式と比較すると, 接触圧が高くなるにつれ, 摩擦係数が減少する傾向は一致するものの, 概ね摩擦係数を高く示している.

4. まとめ・今後の課題

接触面が無機ジンクでの摩擦実験を行い, 接触圧と摩擦係数の関係式を確認した. その結果, 接触圧と摩擦係数の関係式は[文献1]の関係式と比較して摩擦係数を高く傾向を示した. 課題として, 得られたデータのばらつきを調査し, 関係式の近似式を求める. さらに, 解析における, 要素サイズ・解析ステップ間隔等, より詳細な検証を行い, 実験結果が再現できる解析モデルを構築していく所存である.

5. 参考文献

- 1) 森猛, 網谷兵夫, 内田大介 高力ボルト摩擦接触継手のすべり係数に対するボルト軸力の影響, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 75, No. 1, 58-66, 2019
- 2) 東清三郎, 松尾真太郎, 井上一朗 アルミ溶射接触面の力学特性に関する基礎的研究, 鋼構造論文集, 第21巻第83号, 2014, 9
- 3) 内田大介, 森猛, 加藤宏隆, 濱達矢 母板に拡大孔・長孔を有する高力ボルト摩擦接触継手に関する解析的検討 土木学会第73回年次学術講演会, I-192, 383-384, 2018

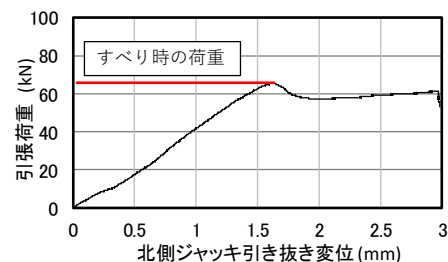
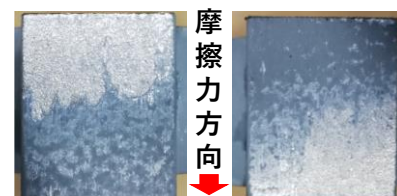
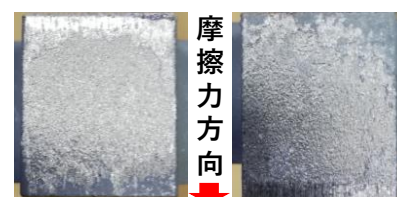


図3 変位—荷重曲線とすべり荷重の定義



a) 片当たりの接触面 (接触圧 42.5MPa)



b) 接触が良好な接触面 (接触圧 350MPa)

写真1 凸板先端の接触面 (左:凸板①, 右:凸板②)

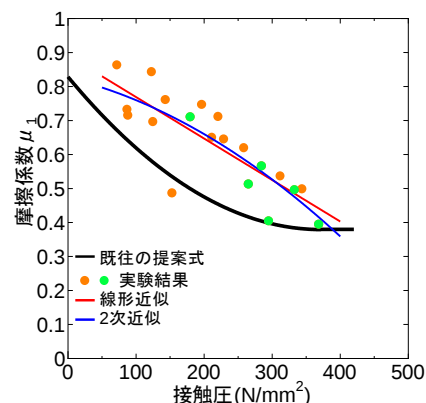


図4 接触圧と摩擦係数 μ_1 の関係

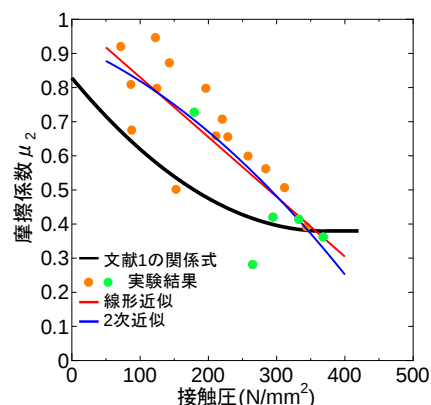


図5 接触圧と摩擦係数 μ_2 の関係