

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

熊本大学大学院 正会員 ○森山 仁志

九州工業大学 正会員 高井 俊和

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

道路橋示方書¹⁾が限界状態設計法に移行し、高力ボルト摩擦接合継手のすべり後挙動に関する知見は、終局限界の性能確保の観点から、今後さらに必要となる。すべり後挙動の解明には実験的検討が不可欠ではあるが、継手の多様な構造諸元の影響を解明するためには、再現性の高い数値解析によりデータを補間することが現実的である。しかし、すべりによる荷重低下や塗膜の損耗・剥離による摩擦係数の低下などを再現できる摩擦モデルは存在しておらず、現状ではすべり限界の再現解析が限界である。そこで著者らは、これらの現象のモデル化に必要な接合面の摩擦せん断応力-接触圧の関係を入手できる小型鋼板すべり試験機を試作し、载荷試験を行った。本稿では、その試験結果の一部を報告する。

2. 小型鋼板すべり試験

小型鋼板すべり試験は、母板の降伏や接触圧分布等の影響を除いて、接合面の粗さとすべり係数の関係を評価する方法として文献 2)により提案された。著者らは文献 2)を参考に、接触圧と接触面積の自由度を従来より高めた試験機を試作した。図-1 に試験機の概観、図-2 に試験方法、図-3 には試験片の形状、表-1 に試験ケースをそれぞれ示す。

小型鋼板すべり試験は図-1~3の通り、継手の母板・連結板に相当する内試験片・外試験片を水平ジャッキの軸力により2面で密着させ、その状態のまま万能試験機により鉛直载荷を行い、すべりを発生させる試験である。接合面の接触圧は水平ジャッキの軸力を調整することで変化させ、ロードセルによりその変化を実験中に計測する。試験パラメータは、接合面の種類(ブラストのみ、ブラスト+無機ジンクリッチペイント)と接触圧(60, 120, 180 N/mm²)としている。試験体数は1ケース当たり5体とした。なおBR-180, Z-60, Z-120の1体目は計測不良のため考察からは除いている。鉛直荷重の载荷速度は0.5kN/s、計測速度は250 Hzとした。

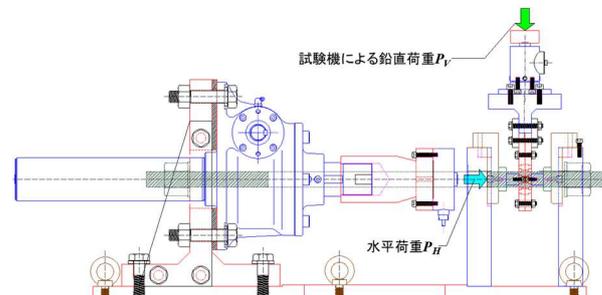


図-1 試験機の概観

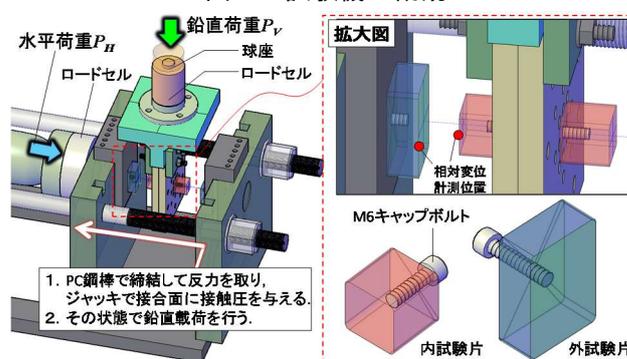


図-2 試験方法

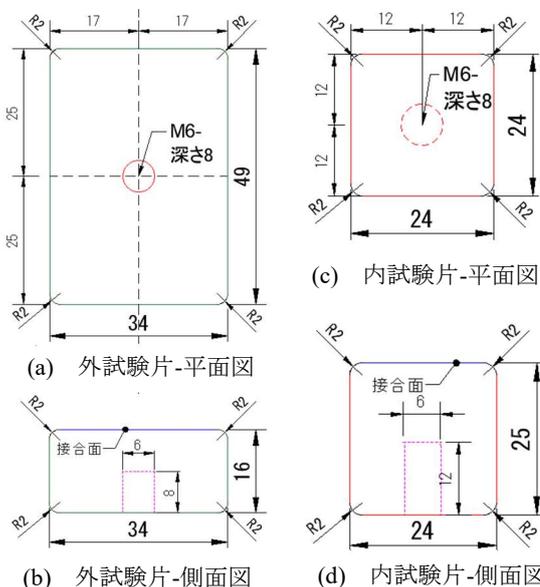


図-3 試験片の形状および寸法(単位: mm)

表-1 試験ケース

試験ケース	N数	鋼種	内試験片 辺長 a mm	接合面 断面積 A mm ²	接合面 処理	初期 接触圧 p _d N/mm ²	水平荷重 (初期軸力) P _{10d} kN
BR-60	5	SS 400	20	400	ショットブラスト	60	24
BR-120						120	48
BR-180						180	72
Z-60					ブラスト +無機ジンクリッ チペイント	60	24
Z-120						120	48
Z-180						180	72

キーワード：高力ボルト摩擦接合継手，すべり挙動，すべり係数，接触圧

連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1 熊本大学 大学院先端科学研究部 TEL: 096-342-3532 FAX: 096-342-3507

3. 試験結果

試験前の水平荷重 P_{Hi} で評価したすべり係数 μ_1 と初期接触圧 p_i の関係を図-4, すべり時の水平荷重 P_{Hslip} で評価した摩擦係数 μ_2 とすべり時接触圧 p_{slip} の関係を図-5, すべり時のせん断強度 τ_{slip} と p_i の関係を図-6, τ_{slip} と p_{slip} の関係を図-7 にそれぞれ示す. これらの値は以下の式より計算した.

$$\mu_1 = \frac{P_{Vslip}}{n \times P_{Hi}} \quad (1), \quad \mu_2 = \frac{P_{Vslip}}{n \times P_{Hslip}} \quad (2), \quad p_i = \frac{P_{Hi}}{A} \quad (3)$$

$$p_{slip} = \frac{P_{Hslip}}{A} \quad (4), \quad \tau_{slip} = \frac{P_{Vslip}}{A} \quad (5)$$

ここに, P_{Vslip} : すべり時の鉛直荷重, $n (=2)$: 接合面数, A : 形状計測に基づいた公称接触面積である.

図-5 には, 文献3)のアルミ溶射(アーク溶射, 気孔あり)で水平荷重 P_H が一定の条件で導出された摩擦係数と接触圧の関係(式(6))を参考として示している. P_H が一定のため, 接触圧はすべり時の接触圧 p_{slip} とした.

$$\mu_2 = f_1(p_{slip}) = 4.54 \times 10^{-6} p_{slip}^2 - 3.38 \times 10^{-3} p_{slip} + 1.16 \quad (6)$$

文献4)では, すべり試験とその再現解析のすべり係数を比較することで, 無機ジンクリッチペイントを施した場合の式(6)の定数を逆解析的に調べ, 式(7)の関係を導出している. 図-5 には式(7)も参考として示している.

$$\mu_2 = f_2(p_{slip}) = f_1(p_{slip}) / 1.7 \quad (7)$$

図-4 と図-5 に示すように, すべり係数 μ_1 と摩擦係数 μ_2 はいずれも, ブラスト(BR)の場合は接触圧の影響が小さい一方, 無機ジンクリッチペイント(Z)の場合は大きく, その影響を無視できない. 図-5 の $\mu_2 - p_{slip}$ 関係は, 式(6), (7)と同様に二次関数で近似することができ, その場合の決定係数 R^2 は 0.90 と大きい.

式(7)と実験結果プロット(Z)は, $90 \text{ N/mm}^2 \leq p_{slip} \leq 180 \text{ N/mm}^2$ の範囲では概ね一致している. $p_{slip} \leq 90 \text{ N/mm}^2$, $180 \text{ N/mm}^2 \leq p_{slip}$ の範囲については, 実験結果を増やして更に傾向を確認する必要がある, 今後の課題とする.

図-6 と図-7 に示すように, すべり時のせん断強度 τ_{slip} は, 初期接触圧 p_i とすべり時接触圧 p_{slip} のいずれに対しても, ブラスト(BR)の場合は線形関係にあり, 無機ジンクリッチペイント(Z)の場合は二次関係にある. 特に, ブラストの場合の $\tau_{slip} - p_{slip}$ 関係(図-7)の近似曲線の R^2 は 0.96 と大きく, 相関がある.

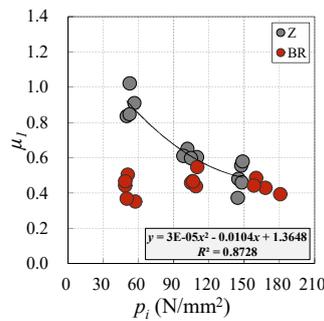


図-4 $\mu_1 - p_i$ の関係

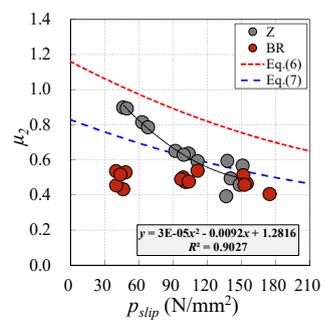


図-5 $\mu_2 - p_{slip}$ の関係

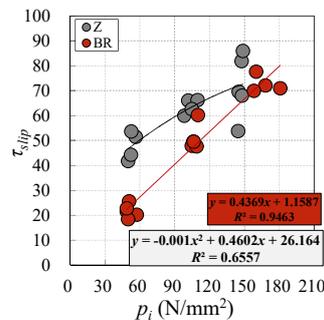


図-6 $\tau_{slip} - p_i$ の関係

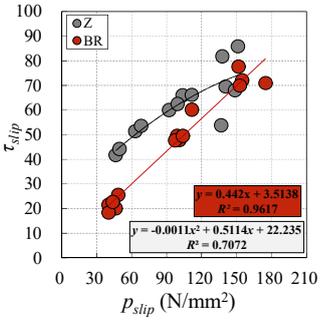


図-7 $\tau_{slip} - p_{slip}$ の関係

4. まとめ

本研究は, 高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動の数値解析モデルの提案を目標とし, モデル化に必要な接合面の摩擦せん断応力-接触圧の関係を入手できる小型鋼板すべり試験を試作し, パイロット試験を行った. 以下に, 得られた結果をまとめる.

- 1) すべり係数 μ_1 と摩擦係数 μ_2 はいずれも, ブラストの場合は接触圧の影響が小さい一方, 無機ジンクリッチペイントの場合はその影響を受ける. $\mu_2 - p_{slip}$ 関係を二次近似した場合の決定係数 R^2 は 0.90 と大きい.
- 2) すべりせん断強度 τ_{slip} は, 初期接触圧 p_i とすべり時接触圧 p_{slip} のいずれに対しても, ブラスト場合は線形関係にあり, 無機ジンクリッチペイントの場合は二次関係にあった.

今後は, 接合面の種類, 接触面積と接触圧の組合せを増やして検討を進める予定である. また, 加速度計を供試体に取り付け, 摩擦せん断応力-すべり速度-接触圧の関係についても明らかにしていきたい.

謝辞

本研究は, JSPS 科研費 JP16H04401 の助成を受けて実施しました. 実験の実施は元大阪市立大学 大学院生 奥原大貴氏, 藤本高志氏, 山本佑大氏にご協力頂きました. ここに記して感謝の意を表します.

参考文献

1. 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2017.
2. 来田成弘, 桑原進: 高力ボルト摩擦接合部における表面粗さと初期面圧が摩擦係数に及ぼす影響, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 377-380, 2009.
3. 東清三郎, 熊井隆: 添板摩擦面にアルミ溶射を施した高力ボルト摩擦接合部の平均接触圧と摩擦係数に関する研究, 鋼構造論文集, Vol. 23, No. 90, pp. 117-131, 2016.
4. 森猛, 網谷岳夫, 内田大介: 高力ボルト摩擦接合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, Vol. 75, No. 1, pp. 58-66, 2019.