

高力ボルト摩擦接合継手無機ジンク接合面における接触圧と摩擦係数の関係に関する実験的検討

大阪公立大学工学部 学生員 ○高木 夢菜
大阪公立大学大学院 学生員 堀井 いずみ

大阪公立大学大学院 学会員 佐倉 亮
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. はじめに

高力ボルト摩擦接合継手は、橋梁形式や現場の状況に応じて構造諸元が多様であり、合理的な接合部設計を実現するためには、今後、それらの構造諸元に対応したすべり耐力を明らかにする必要がある。

高力ボルト摩擦接合における摩擦係数は接触圧の増大に伴い、低下する傾向にあることが報告されており、東ら¹⁾は、アルミ溶射を施した接合面における接触圧と摩擦係数の関係を、試験結果をもとに式(1)を導出している。

$$\mu = 4.54 \times 10^{-6} \sigma^2 - 3.38 \times 10^{-3} \sigma + 1.16 \quad (1)$$

ここに、 μ ：摩擦係数、 σ ：接触圧(N/mm²)である。

一方、接合面処理として土木構造物で多く用いられている無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンク）を対象とした場合のそれは明らかとなっていない。文献²⁾は接合面処理を無機ジンクおよびブラストとした試験体で小型鋼板すべり試験を実施し、接触圧 60~180N/mm²の範囲において、無機ジンクの場合においては接触圧と摩擦係数に負の相関関係があることを報告している。

本研究では、摩擦接合継手において、作用範囲が大きい低面圧領域とスロット孔や拡大孔などの場合に大きくなる最大接触圧を評価するための高面圧領域を対象に、接触圧と摩擦係数の関係を取得するため小型鋼板すべり試験を実施した。

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、接触圧と摩擦係数の関係を評価できる試験である。著者らは、図-1 に示す試験機²⁾に、図-2 に示す試験片を設置し、載荷を実施した。表-1 に試験ケースを示す。試験体[1]は、すべり後も接触面積を一定に保つために、外試験片が内試験片よりも大きい形状とした。試験パラメータは接合面処理と接触圧とした。接合面処理はブラスト処理のみ、およびブラスト処理後に無機ジンクを塗布した2 ケースとした。設定した接触圧は、低面圧領域(60N/mm² 以下)と高面圧領域(180N/mm² 以上)である。小型鋼板すべり試験では、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

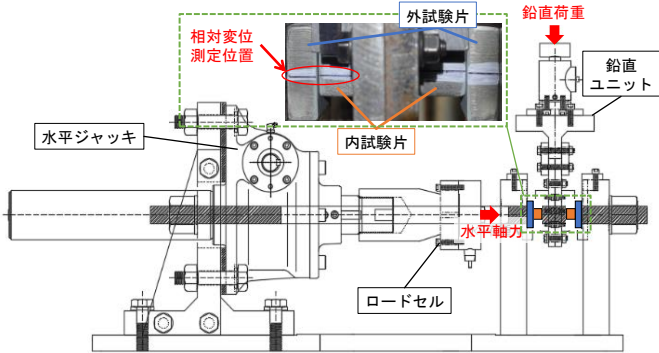


図-1 試験機の概観

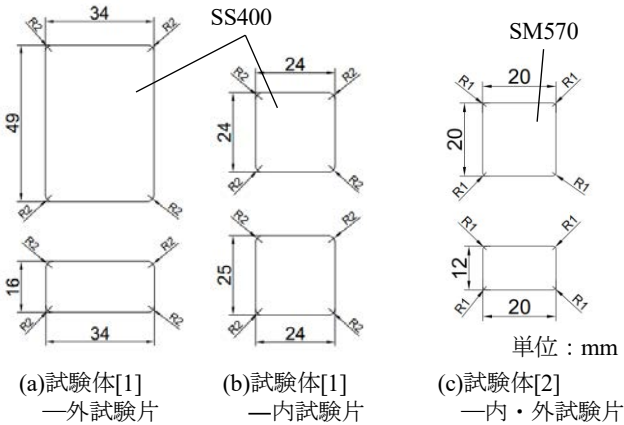


図-2 試験片形状

表-1 試験ケース

接合面 処理	試験体 の種類	鋼種	平均 接触圧 (N/mm ²)	公称 接触面積 (mm ²)	導入 軸力 (kN)	試験 体数
ブラスト処理			150		79	3
			200		106	3
			250		132	3
ブラスト処理 + 無機ジンク (目標塗膜厚 75μm)	試験体 [1]	SS400	15	480	8	3
			133		70	3
			150		79	3
			170		90	4
			180		95	5
			208		110	3
			200		83	3
			250		104	3
	試験体 [2]	SM570	300	400	123	3
			350		144	3
			400		163	3
			450		183	3

り密着させ、その状態のまま万能試験機により鉛直ユニットに載荷し、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し、鉛直荷重の載

キーワード 高力ボルト摩擦接合、接触圧、摩擦係数、無機ジンクリッチペイント
連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 工学研究科 都市系専攻 TEL06-6605-2765

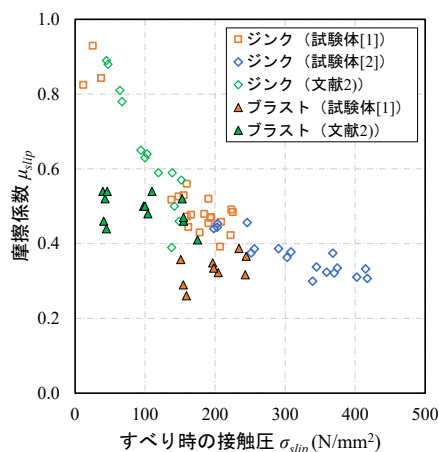
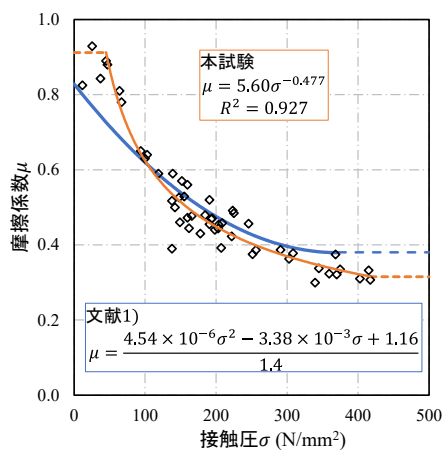
図-3 $\sigma_{slip}-\mu_{slip}$ 関係

図-4 接触圧と摩擦係数の関係式

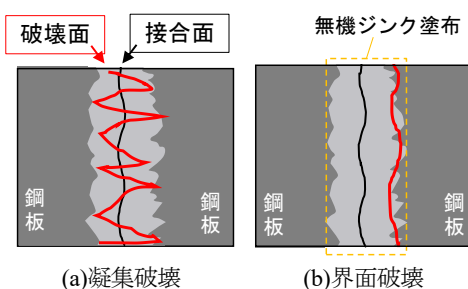
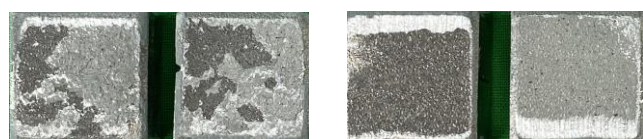


図-6 破壊モードの種類

表-2 ブラストの表面粗さ

	本試験	文献2)
平均粗さ Ra (μm)	7.0	12.2



(a) 接触圧 200 N/mm² (b) 接触圧 450 N/mm²

図-5 試験後の試験体

荷速度は 0.5kN/s, 計測間隔は 10Hz とした. 試験体数は 3 体を基本とし, 計測項目は, 水平軸力, 鉛直荷重, 試験片間の相対変位である.

3. 試験結果

すべり時の接触圧 σ_{slip} と摩擦係数 μ_{slip} の関係を図-3 に示す. なお, 図-3 には文献 2) の結果も併せて示す. 摩擦係数およびすべり時の接触圧は式(2), (3)により算出した. すべり時の接触圧はすべり時の軸力を公称接触面積で除して算出した. すべりは, 荷重低下時あるいは荷重が増加せず両側ともに相対変位が急増した時点とし, 相対変位の測定位置を図-1 に示す. 公称接触面積 A は, 形状計測により算出した接触面の面積とした.

$$\mu_{slip} = \frac{F_{slip}}{mN_{slip}} \quad (2), \quad \sigma_{slip} = \frac{N_{slip}}{A} \quad (3)$$

ここに, μ_{slip} : 摩擦係数, F_{slip} : すべり時の鉛直荷重(N), m : 接合面数(=2), N_{slip} : すべり時の軸力(N), σ_{slip} : すべり時の接触圧(N/mm²), A : 公称接触面積(mm²)である.

図-3 より, 無機ジンクの場合, $\sigma_{slip}=45 \sim 450$ N/mm² の範囲で接触圧と摩擦係数は負の相関関係にある.

接触圧 200 N/mm² および 450 N/mm² の試験後の接合面の状態を図-5 に示す. 図-5 (a) では凝集破壊 (図-6 (a)), (b) では界面破壊 (図-6 (b)) が発生し, 接触圧 350 N/mm² 付近を境に破壊モードが変化する傾向が見られた.

図-4 に示すように累乗近似を用いて算定した無機ジンクの接触圧と摩擦係数の関係式を式(4)に示す. 接触圧 45 N/mm² 以下の範囲では摩擦係数が増加する傾向が見られなかったため, 0~45 N/mm² の範囲では 45 N/mm² の

ときの摩擦係数 0.912 で一定とした. 同様に, 接触圧 400 N/mm² 以上については, 摩擦係数の変化がほとんどないことから, 試験を実施していない 417 N/mm² 以上の範囲を 417 N/mm² のときの摩擦係数 0.315 で一定とした. 45~417 N/mm² の範囲での近似曲線の決定係数 R^2 は 0.927 であった.

$$\begin{aligned} \sigma \leq 45 & \quad \mu = 0.912 \\ 45 < \sigma < 417 & \quad \mu = 5.604 \times \sigma^{-0.477} \\ 417 \leq \sigma & \quad \mu = 0.315 \end{aligned} \quad (4)$$

一方, ブラストの場合, 試験ごとの摩擦係数の違いは見られるが, 同一試験内では接触圧によらず摩擦係数はほぼ一定である. また, 試験ごとの摩擦係数の違いは, 表-2 に示すように, 文献 2) の方が本試験よりもブラストの表面の平均粗さが約 42% 大きいと考えられる.

4. まとめ

本研究では, 高力ボルト摩擦接合継手において, 無機ジンクを塗布した接合面の接触圧と摩擦係数の関係について検討することを目的とし, 小型鋼板すべり試験を実施した. 以下に得られた結果を示す.

- 1) $\sigma_{slip}-\mu_{slip}$ 関係において, ブラストの場合では接触圧が摩擦係数に与える影響はほとんど見られなかったのに対し, 無機ジンクの場合では 45~450 N/mm² の範囲で負の相関関係が確認できた.
- 2) 無機ジンクの $\sigma-\mu$ 関係を 3 区間に分類し, 式(4)に示す決定係数 $R^2=0.927$ の累乗近似式により $\sigma-\mu$ 関係式を提案した.

謝辞

本研究は, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2139 の支援を受けたものです.

参考文献

- 1) 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, vol23, No.90, pp.117-131, 2016.
- 2) 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, 土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, Vol75, 1-79, 2020.