

高力ボルト継手すべり係数に及ぼす摩擦面数の影響

東京工業大学
鉄道・運輸機構
駒井ハルテック
三井造船鉄構エンジニアリング

正会員 ○田村 洋
正会員 南 邦明
正会員 吉岡 夏樹
正会員 内田 大介

1. はじめに

鋼構造物の高力ボルト摩擦接合継手（以下、継手）では、板厚の異なる母板を 2 面摩擦継手により接合する際に、板厚の小さい母板と連結板の間にフィラーが挿入される。フィラーが挿入された 2 面摩擦継手においては実質的な摩擦面数（以下、摩擦面数）がフィラー枚数に応じて増加するため、ボルト軸力の経時変化の違いなどによりすべり係数に差異が生じている可能性がある。2 次部材等で採用されることの多い 1 面摩擦継手においても、2 面摩擦継手と異なるすべり係数となっている可能性がある。本研究では、摩擦面数をパラメータとした試験体を対象にすべり耐力試験を行い、すべり係数に及ぼす摩擦面数の影響を評価した。

2. 試験体とその製作状況

試験体は、摩擦面数の他に摩擦面処理、導入ボルト軸力の設計値に対する増し締め割合（以下、増し締めの割合）もパラメータとし、表 1 に示す 12 種類（試験体総数：12 種類×3 体＝36 体）を用意した。ブラストの摩擦面は、黒皮を除去した粗面を想定しており、Rzjis が 75μm 以下となるよう素地調整した。厚膜型無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンク）の摩擦面については、この素地調整の後に標準膜厚 75μm を目標として無機ジンク塗布を行った。摩擦面のボルト孔周辺に対して行った表面粗さと膜厚の計測結果を表 2 に示す。継手形式については、摩擦面数の異なる 4 つの形式を対象とした。各継手形式の試験体形状は図 1 に示す通りである。母板と連結板には SM490Y を、フィラーには SS400 を使用し、試験体降伏に対して主すべり発生が先行するよう（すべり先行型）設計した。ボルトは F10T（M22）とした。ボルトの締付けはトルク法で行うものとし、ブラストの試験体では設計基準¹⁾、²⁾に則り増し締めの割合 10%を目標に軸力を導入した。無機ジンクの試験体では、第 2 筆者が示した軸力低下³⁾を考慮し、増し締めの割合として 15%を基本とした。摩擦面数の多い試験体についてはさらに 5%高いケースも設定した。

3. すべり耐力試験

すべり試験は、いずれの試験体についてもボルト締付けから 1 か月以上 2 か月未満のうちにを行った。試験時の残存ボルト軸力を把握するため、すべり側の No. 1, No. 2 ボルト（図 1 参照）のボルト軸部にひずみゲージを取り付け試験直前に軸力計測を行った。载荷には、载荷能力 1000kN の万能試験機を用い、試験体に 2kN/s 程度の载荷速度で引張荷重を与え主すべり発生までの荷重、連結板-母板間のすべり等を 10Hz で動的に計測した。試験結果を表 3 に示す。すべり係数 μ_s は軸力を設計軸力の 205kN として評価したすべり係数であり、すべり係数 μ_b は前

表 1 試験体の種類とパラメータ

試験体名	摩擦面処理	継手形式	増し締めの割合の目標値
B1-10	ブラスト	継手形式1 (1面摩擦:摩擦面数1)	10%
B2-10		継手形式2 (2面摩擦:摩擦面数2)	10%
B3-10		継手形式3 (2面摩擦, フィラー1枚: 摩擦面数3)	10%
B3-15			15%
B4-10		継手形式4 (2面摩擦, フィラー2枚: 摩擦面数4)	10%
B4-15			15%
P1-15	無機ジンク	継手形式1 (1面摩擦:摩擦面数1)	15%
P2-15		継手形式2 (2面摩擦:摩擦面数2)	15%
P3-15		継手形式3 (2面摩擦, フィラー1枚: 摩擦面数3)	15%
P3-20			20%
P4-15		継手形式4 (2面摩擦, フィラー2枚: 摩擦面数4)	15%
P4-20			20%

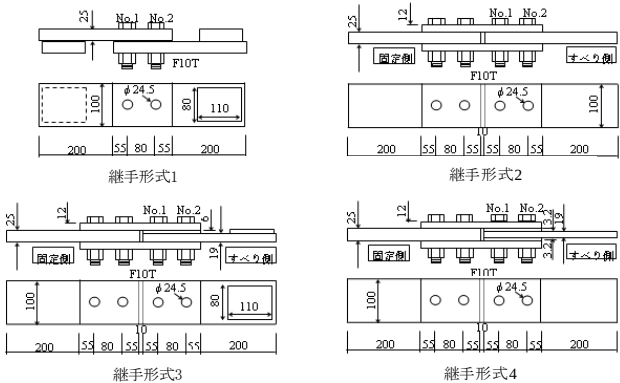


図 1 試験体の継手形式

表 2 試験体における表面粗さと膜厚の計測結果

摩擦面処理	Rzjis			膜厚		
	データ数	最大値	平均値	データ数	最大値	平均値
無機ジンク	48	30.91	18.83	552	160μm	83.02μm
ブラスト	48	61.17	37.09			

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, すべり耐力試験, すべり係数, 摩擦面数, ボルト軸力低下
連絡先〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-23 東京工業大学佐々木栄一研究室 TEL03-5734-3478

述の試験時のボルト残存軸力で評価したすべり係数である。次節ではこの試験結果に基づいて、摩擦面数がすべり係数に及ぼす影響を評価する。

4. 摩擦面数がすべり係数に及ぼす影響

試験で得られた μ_s と残存ボルト軸力の関係を図2に示す。ボルト残存軸力はNo. 1, No. 2ボルトの平均値である。図中には試験体数の多い継手形式3と4に関して回帰直線も示している。残存ボルト軸力が大きいほど μ_s は実軸力を過小評価して得られているため高い値を示す傾向があるが、そのことが図2の無機ジンクの試験体においても示されており、回帰直線の傾きが正となっている。ブラストの試験体では、 μ_s のばらつきが大きく無機ジンクの試験体の倍程度の標準誤差が示されているため、回帰直線の適合度は低いと考えられる。

図3には、 μ_b と残存ボルト軸力の関係を示す。無機ジンクの試験体においては、 μ_b が残存ボルト軸力とほぼ無相関であることが示されている。継手形式による差は有意とはいえ、 μ_b に及ぼす摩擦面数の影響は小さいと判断される。ブラストの試験体においては、B3-15-2とB3-15-3で他より低い μ_b が示されているが、ばらつき等の影響とも考えられ、摩擦面数や残存ボルト軸力の影響とは断定し難い。

図2と図3の結果を同じ摩擦面で比較すると、無機ジンクで残存軸力が小さい試験体(特にP4-15-3)では μ_s が μ_b と同等の値を示している。このことは、その試験体で増締め効果が締付け後の軸力低下によってほぼ失われていることを意味している。無機ジンクの継手においては軸力低下が顕著であるため³⁾、その適切な予測が継手の安全性・信頼性向上に寄与するものと考えられる。

5. まとめ

摩擦面数が1面から4面までの試験体を対象にすべり耐力試験を行った結果から、摩擦面が無機ジンクの継手では、すべり係数 μ_s 、 μ_b に対する摩擦面数の影響は小さいと考えられる。摩擦面がブラストの場合も摩擦面数の影響は小さい可能性がある。

本研究は、鋼橋技術研究会「高力ボルト継手施工部会(会長:南 邦明)」の活動の一環で行ったものである。

謝辞

すべり耐力試験においては、当時東京工業大学の学生であった安藤光希氏の支援を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説-II 鋼橋・鋼部材編, 2017.
- 2) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物), 2009.
- 3) 南 邦明: 厚膜型無機ジンクリッチペイントを施した高力ボルト継手における導入軸力の影響の考察, 土木学会論文集 A1, Vol. 74, No. 1, pp. 58-63, 2018.

表3 すべり耐力試験の結果

試験体	残存ボルト軸力 [kN]	すべり係数		試験体	残存ボルト軸力 [kN]	すべり係数	
		μ_s	μ_b			μ_s	μ_b
B1-10	-1	220	0.766	P1-15	-1	228	0.625
	-2	227	0.660		-2	235	0.575
	-3	227	0.735		-3	224	0.587
B2-10	-1	224	0.700	P2-15	-1	216	0.562
	-2	223	0.635		-2	210	0.525
	-3	221	0.630		-3	224	0.549
B3-10	-1	212	0.626	P3-15	-1	219	0.524
	-2	223	0.643		-2	218	0.537
	-3	218	0.611		-3	213	0.514
B3-15	-1	235	0.664	P3-20	-1	226	0.537
	-2	233	0.560		-2	221	0.524
	-3	225	0.584		-3	219	0.497
B4-10	-1	219	0.665	P4-15	-1	×	×
	-2	227	0.641		-2	210	0.527
	-3	234	0.725		-3	207	0.512
B4-15	-1	249	0.760	P4-20	-1	227	0.565
	-2	236	0.722		-2	225	0.536
	-3	251	0.731		-3	225	0.568

- ・ 残存ボルト軸力はNo.1, No.2ボルトの平均値を表す
- ・ ×は計測上の不具合等で評価できなかった値であることを示す

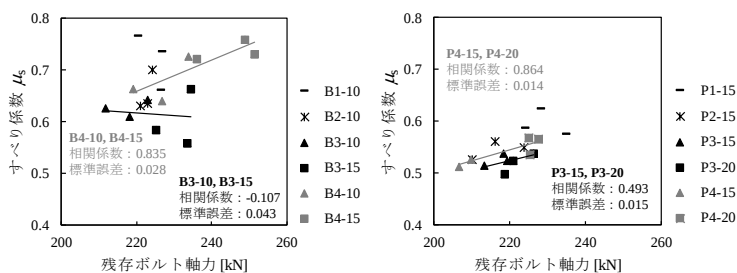


図2 すべり係数 μ_s の評価結果

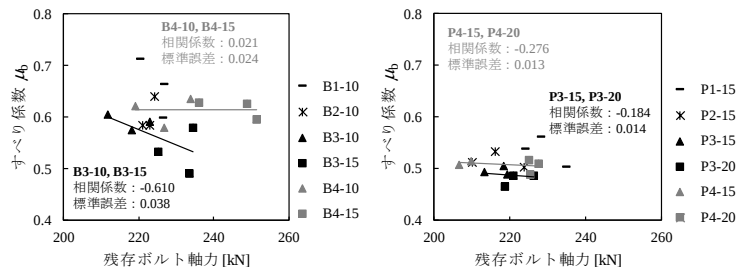


図3 すべり係数 μ_b の評価結果