

摩擦処理面に応じた変位量によるすべり判定値の提案

鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明
 横浜国立大学 正会員 田村 洋
 東京都市大学 正会員 白旗弘実
 法政大学 正会員 内田大介
 駒井ハルテック 正会員 吉岡夏樹
 三井E&S鉄構エンジニアリング 正会員 濱 達矢

1. はじめに

ボルト継手のすべり耐力試験において、すべりの判定は、すべった時に荷重が下がり変位が大きくなった時としているが、荷重の低下がほとんどなく変位が大きくなるケースでは、近年、変位量 0.2mm^1 に達した時の荷重値をすべりと判定する場合もある。ただし、これまで摩擦面の違いによるすべり時の変位量については明確にされていなかった。本研究は、摩擦面に応じた変位量によるすべり判定値を提案することを目的の一つとし、異なる5タイプの摩擦面を有するボルト継手試験体を用いてすべり耐力試験を実施し、すべり時の変位量を計測した。

2. 試験体の説明およびすべり耐力試験方法

(1) **試験体の種類および形状** 図-1に試験体形状²⁾を示す。試験体は、摩擦面を変えた5種類〔無機ジンク(A)、ブラスト(B)、赤錆(C)、有機ジンク(D)、薬品錆(E)〕とし、鋼材はSM490Y、ボルトはF10T-M22を用いた。試験体数は各ケースで3体製作し、合わせて15体を試験に供した。

(2) **摩擦面の表面処理** 素地調整後、試験体A、Dは、それぞれ無機ジンクおよび有機ジンクを標準膜厚 $75\mu\text{m}$ 塗布した。試験体Cは、自然錆を発生させるため、約2ヶ月間屋外で曝露した。E試験体は、建築鉄骨で一般に使用する錆促進剤を2回塗り、その後、2日間室内で乾燥させた。

(3) **ボルトの締付け** ボルト締付けにおいて、一次締めは設計ボルト軸力の60%、本締めは設計ボルト軸力の10%増しで締付けた。固定側のボルトについては、+20kN増し締めした。

(4) **ボルト軸力のひずみ計測** 導入軸力およびすべり係数の算出を行うため、ボルト軸部にひずみゲージを取り付け、ボルト軸力を計測した。計測は、すべり側の全ボルトとした。

(5) **すべり耐力試験方法** 試験は、ボルト締付け後、672時間(28日)経過後に実施した。試験には載荷能力 1000kN の万能試験機を用い、引張荷重を 2kN/s 程度の速度で主すべりが生じるまで与えた。試験時には、写真-1に示すように、No.1ボルト(内側ボルト部)における母板と添接板間の相対変位および母板間の変位を測定するため、クリップゲージを設置して測定した。計測には動ひずみアンプ(DPM-911B)を用い、 0.01 秒毎に荷重と変位量を測定した。

3. 試験結果

(1) **ボルト軸力計測結果** すべての試験結果を表-1に示す。締付け軸力は、各試験体の平均値において、設計ボルト軸力の $110\sim 113\%$ であり、概ね想定通りの軸力が導入されていた。すべり試験直前(672時間後)においては、各試験体の平均値は設計ボルト軸力の $100\%\sim 110\%$ 、軸力残存率は $90.0\sim 96.9\%$ と表面処理により大きく異なった。

(2) **すべり係数算出結果** すべり係数は式(1)を用いて算出した。すべり係数 μ_b は、摩擦面により違いが生じているが、無機ジンクとブラストはほぼ同じで 0.60 と高く、さらに、赤錆と薬品錆では 0.75 のすべり係数を有していた。なお、有機ジンクのすべり係数は無機ジンクの約 $1/2$ と低かった。

(3) **すべり時の変位量計測結果** 表-1に示す変位量は、最大荷重(すべり耐力)から荷重が低下した時の変位量を示している。変位量は表面処理により大きく異なっており、有機ジンク<無機ジンク<薬品錆<ブラスト<赤錆の順となり、塗装系は変位量が小さいことが判る。また、錆でも薬品錆と赤錆では大きく異なった。さらに、計測位置によっても異なっており、No.1ボルト位置に対し母板間では約 $2.5\sim 3.0$ 倍、母板間の方が大きかった。

4. すべり時の変位量の考察と判定値の提案

(1) **No.1ボルト位置での変位量** 図-2に本試験結果および既往データ³⁾⁻⁸⁾を含めたNo.1ボルト位置での変位量を示し、横軸にすべり係数 μ_b およびすべり降伏耐力比 β (以下 β 、式(2))を示す。道示や鉄道標準では、ブラストと赤錆の両者を粗面状態として扱っており、図-2,3の回帰直線はこれ従って整理した。なお、既往データにおいて、変位に影響したフィラー付き継手および封孔処理あり溶射継手は図-2では削除し、提案(表-2)の対象外とした。

図-2に示すように、粗面状態ではすべり時の変位は $0.12\sim 0.23\text{mm}$ であり、建築分野¹⁾では 0.2mm をすべりの判

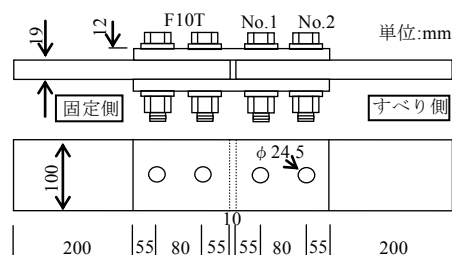


図-1 試験体形状

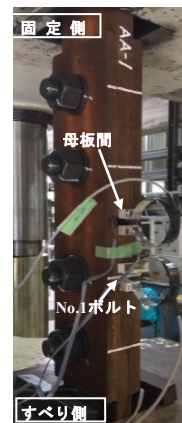


写真-1 変位計測

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \cdots (1)$$

μ : すべり係数, P : すべり荷重
 m : 摩擦面数, n : ボルト本数,
 N : ボルト軸力

キーワード: 高力ボルト, すべり, 変位, 摩擦面

連絡先: 〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1 鉄道・運輸機構 TEL 045-222-9082

表-1 ボルト軸力計測およびすべり耐力試験の結果

試験体		ボルト軸力 [kN]				軸力残存率 672 時間後 [%]		すべり 荷重P [kN]		すべり係数				すべり時の変位量[mm]			
		締付け後N _a		試験直前N _b													
分類	名称	ボルトNo.		ボルトNo.						μ _s		μ _b		No.1ボルト		母板間	
		No.1	No.2	No.1	No.2												
無機 ジंक	A1	227.2	224.8	204.7	201.8	89.9		464	0.566		0.571		0.057		0.202		
	A2	222.5	227.3	201.2	205.7	90.5	89.9	508	0.619	0.597	0.624	0.599	0.116	0.088	0.271	0.249	
	A3	224.6	235.4	201.5	209.4	89.3		496	0.605		0.604		0.090		0.275		
ブラ スト	B1	226.3	229.0	209.7	223.1	95.0		515	0.628		0.595		0.123		0.366		
	B2	241.5	229.3	232.8	*	98.9	96.9	522	0.637	0.655	0.560	0.597	0.163	0.143	0.378	0.372	
	B3	239.0	228.1	229.9	222.2	96.8		575	0.702		0.636		*		*		
赤錆	C1	230.9	236.2	216.6	219.9	93.4		642	0.783		0.736		*		*		
	C2	221.2	227.4	206.1	212.5	93.3	93.0	633	0.771	0.780	0.756	0.745	0.227	0.201	0.522	0.529	
	C3	239.0	231.7	217.2	216.2	92.1		644	0.786		0.743		0.174		0.535		
有機 ジंक	D1	225.0	220.8	207.2	207.8	93.1		263	0.321		0.317		0.051		0.167		
	D2	223.4	219.9	211.7	209.4	95.0	94.4	262	0.320	0.311	0.311	0.298	0.056	0.054	0.154	0.161	
	D3	237.6	238.1	227.7	225.0	95.2		241	0.294		0.266		*		*		
薬品錆	E1	233.3	225.2	224.5	216.9	96.3		653	0.796		0.740		0.111		0.321		
	E2	223.2	219.4	214.0	212.2	96.3	96.3	648	0.790	0.790	0.760	0.745	0.110	0.092	0.375	0.341	
	E3	230.7	222.2	223.0	214.0	96.5		643	0.784		0.736		0.055		0.327		

備考) μ_sは設計ボルト軸力で算出, μ_bは試験直前の軸力で算出, *は計測不能(固定側からすべり)

断基準としているが、これは赤錆を前提としていることを考えると、分布の上限側である0.2mmをすべり判定値とするのは妥当と考えられる。一方、無機ジंकでは、変位は0.05～0.12mmにあり、粗面状態と同様、上限側をすべりの判断目安と考えれば0.1mmをすべり判定値とするがよいと考えられる。同様に、有機ジंक、溶射および薬品錆についても、0.1mmがよいと考えられる。すべり係数μ_bとの関係(図-2(a))については、いずれの摩擦面においても、μ_bが大きくなれば変位も大きくなる傾向が示されている。βでも同様の関係があり(図-2(b))、相関係数は0.299～0.539と弱い相関(>0.2)もしくは相関あり(>0.4)と判断できる。また、無機ジंकと粗面状態では約0.09mm幅で平行な回帰直線が示されており、粗面状態のすべり判定値が0.2mmとすれば、無機ジंकのすべり判定値を0.1mmとするのがよいことは、これらの結果からもわかる。なお、何れも回帰直線の傾きは小さく、No.1ボルト位置での変位はβの影響は小さく、試験体形状による変位量の影響が小さいと考えられる。

(2) 母板間(すべり側と固定側の母板)での変位量 図-3に母板間の変位量を示す。文献データはボルト軸力を計測していないケースが多く、ここでは、本試験データも含め設計ボルト軸力で評価したμ_sで示す。なお、対象外とした継手は、多列継手である。母板間はNo.1ボルト位置より変位は大きく、また、変位の分布幅も広く、無機ジंकや粗面状態では0.13～0.65mmの範囲にあった。これらのばらつきの影響もあり、建築分野¹⁾ではNo.1ボルト付近を計測位置としているものと考えられる。μ_sが大きくなればすべてのデータで変位量も大きくなる傾向が認められた。βでも同様で、回帰直線の傾きや相関係数は大きく、強い相関が認められた。これは、母板間ではβの影響を大きく受けるため、すべり判定値を検討する場合、βを考慮する必要があることを意味している。回帰直線に用いたデータのβ平均値は、例えば、無機ジंकでは0.861であり、この値に回帰直線式(無機ジंकはy=0.4603x-0.0836)に代入すると、変位量は0.313mmとなる。同様な手順で算出すれば、粗面状態0.361mm、有機ジंकでは0.263mm、薬品錆では0.271mmとなる。これらは各摩擦面におけるすべり時の平均変位推定値を示しているが、先と同様、上限値付近(平均変位推定値より高め)をすべりの目安値と考えれば、道示および鉄道標準に示されている無機ジंकおよび粗面状態における母板間でのすべり判定値は、それぞれ0.35mm、0.4mmがよいと考えられる。その他の摩擦面として、薬品錆および有機ジंकでは0.3mmと考えられる。これら母板間でのすべり判定値はβの影響(試験体形状)を受けるため、その適用は標準試験片²⁾を用いるが前提と考えられる。

5. まとめ

すべり時の変位量は摩擦面や測定位置により異なり、基本的な摩擦面のすべり判定の提案値を表-2に示す。なお、本研究は鋼橋技術研究会「高力ボルト継手施工部会(部会長：南 邦明)」の活動の一環で行ったものである。

【参考文献】

1) 日本建築学会:鋼構造接合部設計指針, 2012.
2) 土木学会:高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006.
3) 田村, 南, 吉岡, 内田:高力ボルト継手すべり係数に及ぼす摩擦面数の影響, 第73回年次講演会I-186, 2018.
4) 吉岡, 本多, 山口, 齊藤, 森本, 佐々木:錆促進剤塗布後の曝露期間に着目した摩擦接合継手のすべり試験, 第73回年次学術講演会, I-180, 2018.
5) 南, 横山, 徳富, 森井:亜鉛アルミ合金溶射を施した高力ボルト摩擦接合継手に関する研究, 土木学会論文集A1, Vol.74.No.3, pp.385-398, 2018.10.
6) 森, 南, 井口, 山口:接合面処理方法と品質を考慮した高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の提案, 土木学会論文集A, Vol.64.No.1, pp.48-59, 2008.
7) 南, 森, 堀川:50mm厚鋼板を用いた太径ボルト(M36)のすべり耐力試験, 土木学会論文集A, Vol.62.No.2, pp.267-278, 2006.
8) 井上, 内田, 浅野, 貝沼, 増本:耐候性鋼材を用いた高力ボルト摩擦接合面の表面性状とすべり係数, 鋼構造年次論文報告集, Vol.25, pp48-54, 2017.

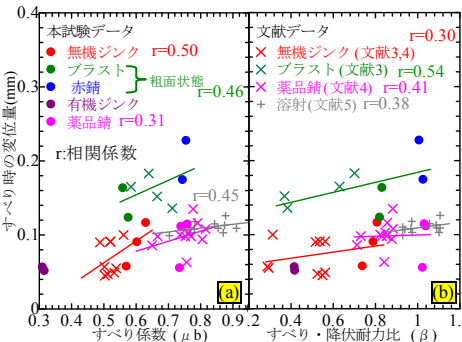


図-2 No.1ボルト位置でのすべり時の変位量

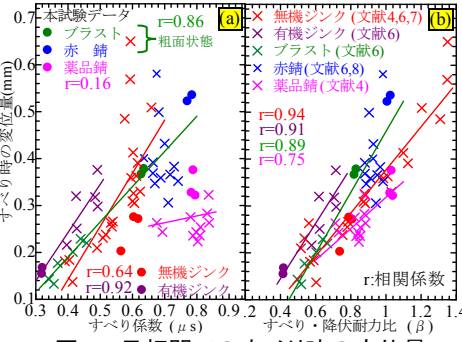


図-3 母板間でのすべり時の変位量

$$\beta = \frac{P}{(W-d) \cdot t \cdot \sigma} \cdots (2)$$

β:すべり降伏耐力比,
P:すべり荷重,σ:降伏強度
W:幅,t:板厚,d:孔径,

表-2 すべり判定値の提案

摩擦面	変位計測位置	
	No.1ボルト (内側ボルト)	母板間
無機ジंक	0.10mm	0.35mm
粗面状態(ブラスト, 赤錆)	0.20mm	0.40mm

注) 母板間では、標準試験片²⁾を使用することが前提。