

めっきままの高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験

鉄道・運輸機構 横山秀喜

鉄道・運輸機構 南 邦明

1. はじめに

鋼構造において、めっきを施した部材の高力ボルト摩擦接合継手の設計に用いるすべり係数は、一般に0.4を用いている。これを確保するため、ボルトの摩擦面はブラスト処理あるいはりん酸塩処理を施している。作用応力が小さい二次部材等において、最小ボルト本数で決定された摩擦接合継手の場合、例えば、すべり係数0.2でも継手耐力に至らないこともある¹⁾。このような場合、摩擦面処理を行う必要はないと考えられる。しかし、摩擦面処置を行わない溶融亜鉛めっき（以下、めっきまま）のすべり係数は明確でない。

本報告は、高力ボルト摩擦接合継手において、めっきまま（溶融亜鉛めっきのまま）の摩擦面のすべり係数を明確にすることを目的として、リラクセーション試験およびすべり耐力試験を実施した。

2. 試験体

(1) **試験体の形状** 図-1に試験体の形状と寸法を示す。試験体は、M16を使用するType-1とM20を使用するType-2の2種類とした。試験体の母板および連結板にはSS400を用い、ボルトは、溶融亜鉛めっきボルトのF8T（M16、M20）とした。なお、すべらせない固定側は、六角ボルトF10Tを使用した。

(2) **めっき施工** めっき試験体は、JIS H9124「溶融亜鉛めっき作業指針」に則り、HDZ55にて施工した。なお、めっきままあれば、摩擦面の孔周りにはめっきによるダレが生じる。このため、摩擦面はグラインダーでめっきダレを除去した状態とした（写真-1）。試験体数は、各ボルト径で3体製作し、合わせて6体を試験に供した。

(3) **表面粗さおよび膜厚の計測** 表面粗さおよび膜厚の測定位置は、すべり側のボルト孔周辺とし、母板は両面4ヶ所、連結板は片面8ヶ所で、試験体一体あたり計16点測定した。各試験体の測定結果を表-1に示す。これらの結果は、計測位置8箇所の平均値を示している。

(4) **ボルトの締め付け** ボルトの締め付けは、めっきボルトF8Tについては、ナット回転法で行った。その際、一次締めは、トルクレンチにてM16は100N・m、M20は150 N・mで締め付けた。その後、本締めはナット回転量120°で行った。なお、固定側の六角ボルトF10Tは、トルク法にて設計ボルト軸力の120%で締め付けた。

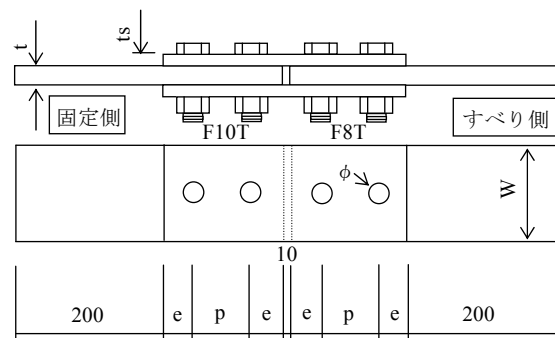
(5) **ボルト軸力のひずみ計測** すべり係数の算出およびリラクセーションの評価を行うため、すべてのめっきボルト軸部にひずみゲージを取り付け、ボルト軸力を計測した。

3. リラクセーション試験

(1) **試験方法** リラクセーションを調べるため、締め付け後のボルト軸力の経時変化を測定した。M16-1およびM20-1は24時間計測し、その他のボルトは720時間(30日)計測した。計測は、1試験体で2本のボルトを計測した。

(2) **試験結果** リラクセーション計測結果を図-2および表-2に示す。図の縦軸は、測定した軸力を初期ボルト軸力で無次元化した残存軸力率である。

M16試験体において、計測初期での軸力低下が著しく、計測30分後には残存軸力が平均値で96.5%、24時間後には92.8%まで低下した。その後は、緩やかに低下し、720時間（18日）後には90.8%まで低下した。一方、M20



Type-1(M16):t=16, ts=9, W=75, e=40, p=60, 孔径φ18.0
Type-2(M20):t=19, ts=12, W=95, e=50, p=70, 孔径φ22.5

図-1 試験体形状（寸法単位：mm）

表-1 表面粗さおよび膜厚計測結果

試験体名			表面粗さ [μm Rzjis]		膜厚 [μm]	
ボルト	タイプ	記号	母材	連結板	母材	連結板
M16 ×60	Type-1	M16-1	20	22	130	134
		M16-2	18	19	125	133
		M16-3	19	19	133	139
M20 ×80	Type-2	M20-1	16	22	126	121
		M20-2	17	18	125	114
		M20-3	19	20	118	116



写真-1 めっきダレの削除

キーワード：高力ボルト、すべり係数、溶融亜鉛めっき

連絡先：〒930-0856 富山市牛島新町5-5 鉄道・運輸機構 TEL 076-433-8958

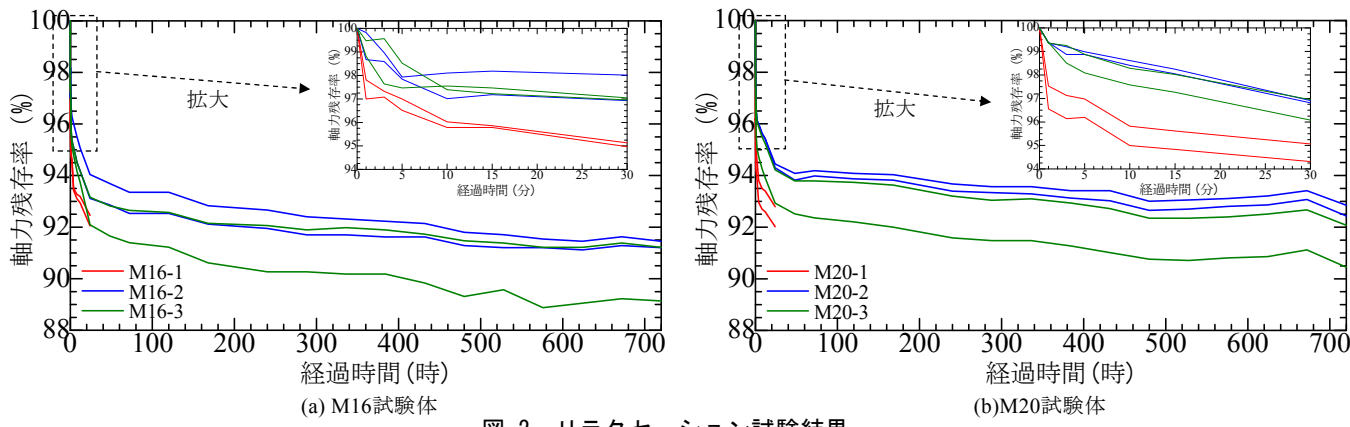


図-2 リラクゼーション試験結果

試験体も傾向は同じで、30分後に96.5%、24時間後には92.4%、最終的に720時間後には91.9%となった。両者比較しても、最終的な軸力低下率に大きな違いは見られなかった。めっき後にブラスト等を行うと80%程度¹⁾になることもあるが、めっきままはリラクゼーションは小さい結果となった。

4. すべり耐力試験

(1) 試験方法 すべり試験は、M16-1およびM20-1ではボルト締付け24時間後、その他の試験体は720時間後に実施した。試験には載荷能力2,000kNの万能試験機を用いた。試験では、試験体のすべりが生じるまで引張荷重を徐々に加えた。試験時には、母板間の相対変位を測定するため、継手上下の母材間にクリップゲージを設置して測定した。すべり耐力は、継手部がすべった時に大きな音が発生し荷重が下がるか、または音が発生しなくても、荷重が急激に下がり開口変位が大きくなったときのピーク荷重とした。

(2) ボルト軸力計測結果 ボルト軸力計測結果およびすべり耐力試験結果を表-3に示す。ナット回転法で締付けた場合、従来から言われているように、締付け軸力は、M16試験体で設計ボルト軸力の138%~145%、M20試験体では143%~147%と非常に高い値であった。720時間後の試験直前においても、設計ボルト軸力の124%~133%と高い値であった。

以上のように、ナット回転法で締付けためっきボルトは、ボルト軸力が高く、すべり係数を設計ボルト軸力で評価した場合過大評価となる。次節では、すべり試験直前のボルト軸力(N_b)で算出したすべり係数 μ_b を用いて試験結果を考察することとした。

(3) すべり試験結果 すべり係数は、式(1)を用いて、すべり荷重(P)とすべり試験直前の軸力(N_b)で算出した。M16試験体においては、導入軸力が最も高い24時間後に実施したM16-1が最もすべり係数が低く、すべり係数は0.297~0.401の範囲にあり、ばらつきが大きかった。平均すれば、M16のすべり係数は0.366であった。一方、M20試験体では、導入軸力が最も高い24時間後に実施したM16-1が最もすべり係数が高く、すべり係数は0.338~0.428とM16同様にばらつきが生じていた。平均すれば、M20ではすべり係数は0.396であった。

5. まとめ

- 本実験から得られた、めっきままの溶融亜鉛めっきの高力ボルト摩擦接合継手の特性は、以下の通りである。
- (1) めっきままのリラクゼーションは、M16 および M20 でそれぞれ 91%、92%の残存軸力(720 時間後)であった。
 - (2) めっきままのすべり係数は、M16 で 0.297~0.401、M20 で 0.338~0.428 とばらつきが生じていた。平均すれば、M16 で 0.366、M20 で 0.396 のすべり係数であった。
 - (3) めっきままをナット回転法でボルト締付けを行うと、導入軸力は高く、M16で設計ボルト軸力の138%~145%、M20では143%~147%であった。また、720時間後の試験直前においても、設計ボルト軸力の124%~133%と高い値であった。

(参考文献)

1) 日本溶融亜鉛鍍金協会ホームページ：溶融亜鉛めっきFAQ,(2)リラクゼーション

表-2 リラクゼーション試験結果

試験体名	残存軸力率(%)			
	24時間後		720時間後	
M16-1	92.0	92.5		
M16-2	93.1	94.0	91.2	91.5
M16-3	92.1	93.1	89.2	91.2
平均	92.8		90.8	
M20-1	92.7	92.0		
M20-2	94.4	94.3	92.8	92.4
M20-3	92.9	94.2	90.4	92.1
平均	92.4		91.9	

表-3 ボルト軸力計測およびすべり耐力試験結果

試験 体名	ボルト軸力				すべり 荷重 P [kN]	すべり 係数 μb
	設計 ボルト 軸力 N [kN]	締付け 直後 Na [kN]	試験 直前 24h Nb [kN]	試験 直前 720h Nb [kN]		
M16-1	85	123.3	113.5		135	0.297
M16-2		118.2		107.9	173	0.401
M16-3		116.7		105.3	160	0.380
平均		119.4		106.6	156	0.366
M20-1	133	195.1	180.3		309	0.428
M20-2		191.0		177.0	290	0.410
M20-3		190.2		173.6	235	0.338
平均		192.1		175.3	278	0.396

$$\mu_b = \frac{P}{m \cdot n \cdot N_b} \dots\dots (1)$$

μ_b : すべり係数、 P : すべり荷重、
 m : 接触面数、 n : ボルト本数、 N_b : 直前のボルト軸力