

金属溶射を施した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 正会員 南 邦明
 鉄道・運輸機構 正会員 横山秀喜
 ○鉄道・運輸機構 正会員 斉藤雅充

東京鐵骨橋梁 正会員 能島隆男
 駒井ハルデック 正会員 増永寿彦
 神鋼ボルト 正会員 長崎英二

1. はじめに

鋼橋では、高力ボルト摩擦接合継手の設計に用いるすべり係数は、黒皮を除去した粗面状態および厚膜型無機ジンクリッチペイント(以下、無機ジンク)を塗布した状態を標準として、0.4としている。しかし、溶射を施した摩擦面に関しては明確にされていない。本報告は、高力ボルト摩擦接合継手において、溶射を施した摩擦面を持つ継手や、溶射面と無機ジンク面を持つ継手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報告である。

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、M22を使用するType-1とM24を使用するType-2の2種類とした。試験体の母板には板厚19mm、連結板には12mmのSM490Yを用いた。使用ボルトは、溶射の摩擦面に対しては、熔融亜鉛めっきボルトのF8T(M22, M24)とし、無機ジンクの摩擦面に対しては、トルシア型ボルトS10T(M22)を用いた。

(2) **試験体パラメータ** 試験体のパラメータを表-1に示す。すべり耐力試験に用いる試験体として、溶射試験体、無機ジンク試験体および溶射面と無機ジンク面を持つ混合試験体の3種類を用いた。ここで示す混合試験体とは、例えば、箱桁のように、箱外面は溶射、箱内面は無機ジンクと言ったケースであり、1面は溶射、もう1面は無機ジンクとした試験体である。各試験体ともに標準孔と拡大孔を用いた。次に、リラクセーション試験に用いる試験体(以下、リラク試験体)として、A-2'(溶射)とB-2'(無機ジンク)試験体を作成した。

(3) **摩擦面の表面処理** 溶射試験体は、素地調整および粗面化処理を行なった後に、亜鉛(JIS H 2107)とアルミ(JIS H 2102)による擬合金溶射を行なった。その後、封孔処理剤を塗布した。無機ジンク試験体は、素地調整を行なった後に、厚膜型無機ジンクリッチペイントを標準膜厚75μm塗布した。試験体数は、各パラメータで3体製作し、10パラメータを合わせて30体を試験に供した。

(4) **ボルトの締付け** ボルトの締付けは、めっきボルトを使用する溶射試験体および混合試験体に対しては、ナット回転法を用い、トルシア型ボルトを用いる無機ジンク試験体に対しては、トルク法を用いて締付けた。

(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、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。軸力を計測した試験体は、A-2, A-4, B-2, C-2, A-2', B-2'の6試験体である。これらの試験体のボルト軸部に、ひずみゲージを貼付しボルト軸力を算出した。

2. リラクセーション試験

(1) **試験方法** 溶射を施した摩擦面のリラクセーションを調べるためA-2'試験体(溶射)、および比較のためB-2'試験体(無機ジンク)の各3体の試験体について、締め付け後のボルト軸力の経時変化を測定した。計測したボルト本数は合計6本とし、ボルト軸力の計測期間は432時間(18日)とした。なお、リラクセーション後に、これらの試験体もすべり試験に供した。

(2) **試験結果** リラクセーション計測結果を図-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。図中の数値は、A-2', B-2'試験体の各3本のボルト計測結果の平均値(432時間後)を示している。

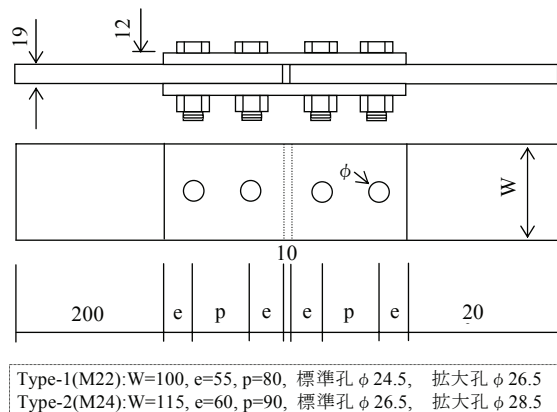


図-1 試験体形状 (寸法単位: mm)

表-1 試験体のパラメータ

試験体名		試験体	ボルトの	ボルト	摩擦面の処理
名称	記号	タイプ	種類	孔径	
溶射試験体	A-1	Type-1	F8T-M22	24.5mm	亜鉛アルミ溶射 設計膜厚100μm
	A-2		(めっきボルト)	26.5mm	
	A-3	Type-2	F8T-M24	26.5mm	
	A-4		(めっきボルト)	28.5mm	
無機ジंक 試験体	B-1	Type-1	S10T-M22	24.5mm	無機ジंकリッチペイント 標準膜厚75μm
	B-2		(トルシア型)	26.5mm	
混合試験体	C-1	Type-1	F8T-M22	24.5mm	亜鉛アルミ溶射 + 無機ジंकリッチペイント
	C-2		(めっきボルト)	26.5mm	
リラク試験体	A-2'	Type-1	F8T-M22	26.5mm	亜鉛アルミ溶射
	B-2'		S10T-M22		

キーワード: 高力ボルト, すべり係数, 金属溶射

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

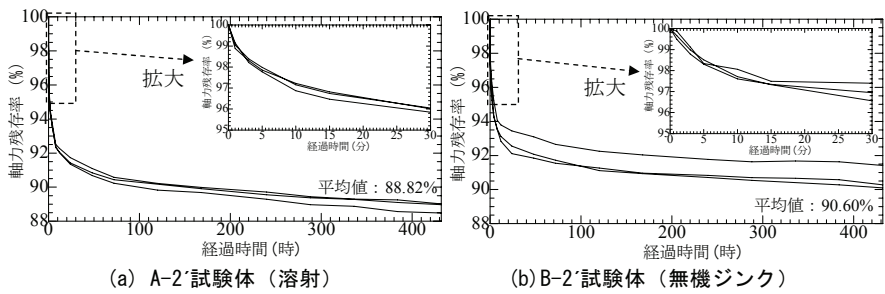


図-2 リラクセーション試験結果

溶射を施したA-2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96.0%、24時間後には91.5%まで低下した。その後は、緩やかに低下し、432時間（18日）後には88.2%まで低下した。一方、無機ジンクを施したB-2試験体も傾向は同じで、30分後に97.0%、24時間後には92.6%、最終的に432時間後には90.6%となった。両者比較すると、30分後の段階ですでに1%の低下率の差が生じ、最終的な軸力低下率は溶射の方が2.4%大きくなった。

4. すべり耐力試験

(1) 試験方法 すべり試験は、ボルト締付け24時間後（リラク試験体を除く）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-2に示す。トルク法で締付けたB-2試験体の締付け軸力は、ほぼ目標値であり、試験直前の軸力も設計ボルト軸力の105%程度であった。一方、ナット回転法で締付けたA-2、A-4、C-2試験体の締付け軸力は、設計ボルト軸力の135%～140%と非常に高い値であった。試験直前においても、設計ボルト軸力の123%～126%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 で試験結果を用いて考察することとした。なお、A-1、A-3、B-1、C-1試験体はボルトの軸力を計測していないので、それぞれA-2、A-4、B-2、C-2試験体の計測データの平均値を用いてすべり係数を算出した。

(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。

溶射試験体においては、標準孔を用いたM22(A-1試験体)およびM24(A-3試験体)ともに、すべり係数(μ_b)は約0.5でボルト径による差異は見られなかった。拡大孔を用いたM22(A-2試験体)およびM24(A-4試験体)ともに、すべり係数は約0.47であり、両者ともに標準孔より5%程度すべり係数が低くなった。無機ジンク試験体においては、標準孔で0.66、拡大孔で0.68と高いすべり係数(μ_b)となった。混合試験体では、ほぼ溶射試験体と一致したすべり係数であり、すべり係数が相対的に低い溶射面と同程度となった。リラク試験体を用いた結果も先に述べた結果と大きな違いはないが、若干であるがすべり係数が高かった。考えられる理由として、締付け後日数が経過したことにより、皮膜の固着効果が生じたことが挙げられる。

4. まとめ

本実験から得られた、溶射を施した高力ボルト摩擦接合継手の特性は、以下の通りである。

- (1) 溶射のリラクセーションは、残存軸力が88.8%(432時間後)であり、無機ジンクより2.4%低下率が大きい。
- (2) 溶射のすべり係数は、ボルト径に関わらず、標準孔を用いれば0.50である。ただし、拡大孔を用いた場合、標準孔より約5%すべり耐力が低下する。
- (3) 片面溶射、片面無機ジンクの摩擦面を持つ継手は、溶射を施した継手と同様に扱うのが妥当と考えられる。
- (4) 本実験結果から判断すると、溶射を施した摩擦面の設計すべり係数は、0.4が妥当と考えられる。

表-2 すべり耐力試験結果

試験体名		項目 No.	ボルト軸力		すべり 荷重 P [kN]	すべり 係数 μ _b
名称	記号		締付け 直後 N _a [kN]	試験 直前 N _b [kN]		
溶射 試験体	A-1	1	221.7	203.4	401	0.493
		2	221.7	203.4	393	0.483
		3	221.7	203.4	423	0.520
		平均	221.7	203.4	406	0.499
	A-2	1	221.9	202.5	392	0.484
		2	221.1	204.6	366	0.447
		3	222.1	203.0	392	0.483
		平均	221.7	203.4	383	0.471
	A-3	1	261.9	243.5	465	0.477
		2	261.9	243.5	462	0.474
		3	261.9	243.5	519	0.533
		平均	261.9	243.5	482	0.495
	A-4	1	261.4	243.4	435	0.447
		2	260.9	242.8	428	0.441
		3	263.5	244.2	494	0.506
		平均	261.9	243.5	452	0.464
無機 ジンク 試験体	B-1	1	229.7	213.9	574	0.671
		2	229.7	213.9	574	0.671
		3	229.7	213.9	545	0.637
		平均	229.7	213.9	564	0.660
	B-2	1	227.4	210.5	582	0.691
		2	232.5	217.8	592	0.680
		3	229.2	213.5	583	0.683
		平均	229.7	213.9	586	0.684
混合 試験体	C-1	1	225.9	207.3	408	0.492
		2	225.9	207.3	419	0.505
		3	225.9	207.3	410	0.494
		平均	225.9	207.3	412	0.497
	C-2	1	223.5	204.9	381	0.465
		2	224.7	205.9	393	0.477
		3	229.4	211.1	395	0.468
		平均	225.9	207.3	390	0.470
リラク 試験体	A-2' 溶射	1	223.9	199.2	396	0.497
		2	217.7	193.8	405	0.522
		3	223.1	197.4	421	0.533
		平均	221.6	196.8	407	0.517
	B-2' 無機 ジンク	1	229.4	206.7	587	0.710
		2	227.1	207.6	592	0.713
		3	235.6	212.7	596	0.701
		平均	230.7	209.0	592	0.708

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

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