

# りん酸塩処理しためっき面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 正会員 南 邦明  
 鉄道・運輸機構 正会員 吉原伸行  
 鉄道・運輸機構 正会員 徳富恭彦  
 神鋼ボルト 非会員 鈴木茂弘

## 1. はじめに

溶融亜鉛めっき部材の高力ボルト摩擦接合継手において、りん酸塩処理した摩擦面を適用する場合もある。その際、溶融亜鉛めっきボルトの締付けはナット回転法を用い、回転量を120°を基本としている。しかし、著者らは溶射面において、ナット回転量90°が適切な軸力が導入されることを示した<sup>1)</sup>。ただし、りん酸処理面においても、これが適用できるか不明である。本報告は、上記課題を検討するため、ナット回転量90°でボルト締付したりん酸塩処理を施した高力ボルト摩擦接合継手の試験体を作成し、すべり耐力試験を実施した。

## 2. 試験体の説明

(1) **試験体の種類および形状** 表-1に試験体の種類、図-1に試験体の形状と寸法を示す。使用ボルト（すべり側）は、溶融亜鉛めっきボルトのF8TのM16,M20,M22,M24の4種類を用いた。試験体は、使用ボルトにより、Type-1S~Type-4Sの4種類を適用し、試験体の母板および連結板にはSM400Aを用いた。試験体数は、各種類で3体製作し、合わせて12体を試験に供した。

(2) **摩擦面の表面処理** めっき種別は、JIS H8641のHDZ55とし、めっき後、ボルト孔周辺のめっきダレ等をグラインダーで除去した後に、標準塗布面積10m<sup>2</sup>/kgでりん酸塩を塗布した。

(3) **表面粗さおよびめっき膜厚の計測** 測定位置は、ボルト孔周辺とし、測定数は1つのボルト孔に対し、母板および連結板の片面各2ヶ所とし、両面合わせて試験体一体あたり計24点測定した。測定時期は、りん酸塩処理後とした。各試験体の測定結果を表-2に示す。これらの結果は、各試験体の平均値を示している。黒皮状態での表面粗さの基準は50μm Rzjis以上としているが、りん酸塩処理における平均値では、22~30μmと小さい値であった。次に、HDZ55の基準めっき付着量から膜厚に換算すると77μm以上が要求される。本試験のめっきの付着量は、155~210μmで換算値の約2倍程度以上であった。

(4) **ボルトの締付け** すべり側のボルト締付けは、表-1に示すように、1次締め後、ナット回転法を用い、ナット回転量90°で行った。なお、固定側(すべらせない側)のボルトについては、120°で締付けた。

(5) **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、すべり側のめっきボルト全数であり、これらのボルト軸部に、ひずみゲージを貼付しボルト軸力を算出した。

## 3. すべり耐力試験

(1) **試験方法** すべり試験は、ボルト締付け432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。締付け軸力は、各試験体の平均値で設計ボルト軸力の131%~139%となった。ただし、試験直前(432時間後)においては、設計ボルト

表-1 試験体の種類

試験体名	板厚(mm)		試験体タイプ	ボルトサイズ	ボルト締付け	
	母板(t)	連結板(ts)			1次締め	本締め
AS	16	9	Type-1S	M16×65	100N・m	90°
BS	19	12	Type-2S	M20×80	150N・m	90°
CS	22	12	Type-3S	M22×90	150N・m	90°
DS	22	16	Type-4S	M24×100	200N・m	90°

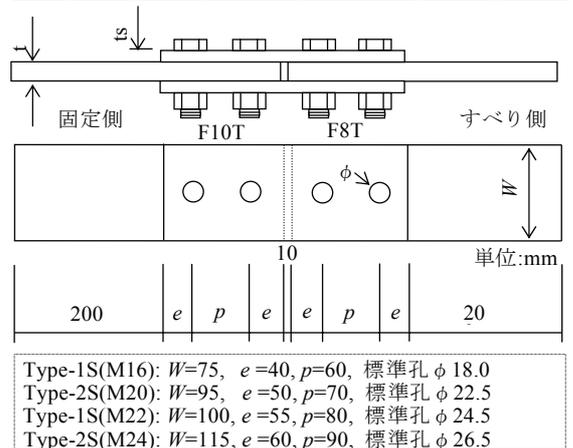


図-1 試験体形状

表-2 表面粗さおよび膜厚計測結果

試験体名	表面粗さ[μm Rzjis]			めっき膜厚 [μm]		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
AS	27	27	24	183	190	185
BS	22	26	23	187	195	210
CS	27	26	27	199	192	189
DS	26	30	30	155	176	194

キーワード：高力ボルト，すべり係数，溶融亜鉛めっき，りん酸塩処理

連絡先：〒060-0002 札幌市中央区北2条西1 鉄道・運輸機構 TEL 011-231-3491

表-3 軸力計測およびすべり耐力試験結果

試験体	ボルト軸力										軸力残存率 432時間後 [%]	すべり 荷重P [kN]	すべり 音	すべり係数						
	締付け直後 Na [kN]					すべり試験直前(432時間後) Nb [kN]								$\mu_a$		$\mu_b$				
	ボルトNo.		平均	設計値比率(%)	ボルトNo.		平均	設計値比率(%)												
	No.1	No.2			No.1	No.2														
AS	1	115.3	112.4	113.9	133.6	131.4	103.4	100.0	101.7	119.4	116.4	89.33	88.58	234	あり	0.514	0.575	0.499	0.565	0.563
	2	112.6	112.2	112.4	131.9		100.6	98.6	99.6	116.9		88.61		225		0.500	0.565			
	3	107.7	111.4	109.6	128.6		93.4	99.0	96.2	112.9		87.81		211		0.482	0.548			
BS	1	188.0	180.5	184.3	138.5	138.7	170.8	164.0	167.4	125.9	125.3	90.85	90.33	383	なし	0.520	0.572	0.524	0.575	0.580
	2	187.6	186.3	187.0	140.6		169.5	167.8	168.7	126.8		90.21		388		0.519	0.575			
	3	179.7	185.0	182.4	137.1		161.8	166.2	164.0	123.3		89.94		389		0.533	0.593			
CS	1	215.6	222.3	219.0	132.7	135.8	196.5	203.0	199.8	121.1	123.5	91.23	90.95	443	あり	0.506	0.554	0.499	0.527	0.549
	2	224.9	229.5	227.2	137.7		205.9	209.8	207.9	126.0		91.48		438		0.482	0.527			
	3	222.2	230.2	226.2	137.1		198.5	209.3	203.9	123.6		90.14		462		0.511	0.566			
DS	1	261.7	249.3	255.5	133.1	134.4	240.0	230.0	235.0	122.4	123.2	91.98	91.63	526	あり	0.515	0.560	0.507	0.541	0.554
	2	253.7	260.9	257.3	134.0		234.0	231.3	232.7	121.2		90.42		503		0.489	0.541			
	3	256.1	266.7	261.4	136.1		237.3	246.2	241.8	125.9		92.48		542		0.518	0.560			

注)  $\mu_a$ : 締付け直後の軸力( $N_a$ )で計算  $\mu_b$ : 試験直前の軸力( $N_b$ )で計算

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

$\mu_b$ : 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

ト軸力の116%~125%であり、文献1)で示した溶射面より高い残存軸力であった。残存軸力率は88.6~91.6%となり、また、ボルト径が大きくなれば、残存軸力率も高くなる傾向が示された。

**(3) すべり試験結果** すべり係数は、式(1)を用いて算出した。なお、ボルト軸力( $N$ )は、すべり試験直前の軸力( $N_b$ )で算出し、参考のため締付け直後の軸力( $N_a$ )でも算出した。いずれの試験体においても、すべり係数( $\mu_b$ )は0.50を超え、その範囲は0.53~0.59であった。平均値で比較すると、M22、M24は0.55、M16で0.56、M20では0.58となったが、ボルト径の違いによるすべり係数の大きな差異は見られなかった。

なお、M20はすべり係数が若干高かったが、表-2で示した表面粗さや膜厚はその他の試験体と比較しても違いはなく、これらの影響ではないと判断できる。また、DS-1とDS-3は、膜厚差は大きいですが、すべり係数は同じであり、めっき膜厚はすべり係数に影響しなかった。写真-1に試験後のすべり面を示す。これらの写真に示すように、ボルト孔周辺のすべったと思われる部位の形状は様々であり、これはめっき面が必ずしも平坦でなく、接触面に若干の違いが生じたからと考えられる。先に述べたように、めっき後めっきダレ等を除くため、グラインダーで平坦に仕上げているが、それでも黒皮状態のような平坦度ではないものと考えられる。また、写真では、すべった方向のきずより、むしろグラインダーで仕上げ跡の方が鮮明に見られている。表-2で示したように、りん酸塩の表面粗さは、いずれの試験体も25 $\mu$ m程度と黒皮状態にブラストを行った場合(50 $\mu$ m以上が施工基準値)より1/2以上低い値と考えられるが、すべり係数はいずれも0.50を超える高い値となった。また、膜厚も150 $\mu$ mを超えているのも関わらず高いすべり係数が得られた。

**4. まとめ**

本実験から得られた、りん酸塩処理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) ナット回転量 90°で締め付けた場合の導入軸力は、設計ボルト軸力の 131%~139%であり、432 時間後の残存軸力も、設計ボルト軸力の 116%~125%であり、高いボルト軸力が得られる。
- (2) ナット回転量 90°で締め付け場合のすべり係数は、ボルト径に関わらず平均値で 0.55 以上確保でき、高いすべり耐力を有する継手である。
- (3) 以上の結果から、りん酸塩処理を施した高力ボルト摩擦接合継手において、ナット回転量90°でボルトを締め付けても問題ないと考えられる。

**【参考文献】**

1) 南 邦明, 斉藤雅充, 横山秀喜, 杉本一朗, 能島隆男, 増永寿彦, 長崎英二: 亜鉛アルミ擬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.68.No.2, pp.427-439, 2012.6.

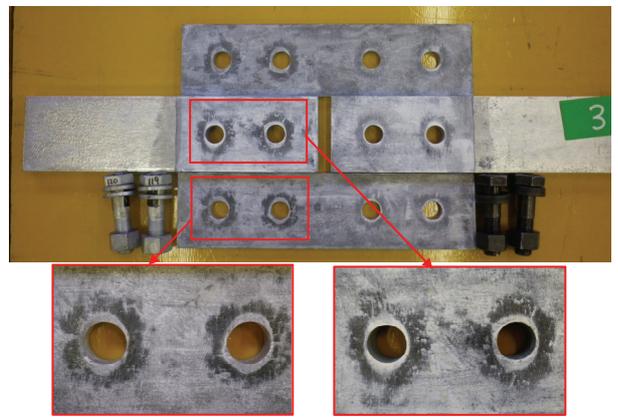


写真-1 試験後の接触面の状況1 (CS-3)