

無機ジンクリッチペイント摩擦面における15%増し締めボルト軸力の適用性

鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明

1. はじめに

厚膜型無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンク）を施した高力ボルト摩擦接合継手は、黒皮を除去した粗面状態と比べ、リラクゼーションによるボルト軸力低下が大きく、より高い導入軸力で施工することによりボルト継手の安全性・信頼性が向上する。本報告は、15%増し締めで施工した高力ボルト摩擦接合継手を用いて、リラクゼーション試験、すべり耐力試験を実施し、これらの結果から15%増し締め導入軸力の適用性を検討した。

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。試験体の種類は、摩擦面処理に無機ジンクを施した試験体（試験体AおよびB）と、比較のためにグリッドブラスト（以下、ブラスト）を行った試験体（試験体C）の2種類を使用した。試験体Aと試験体Bは、同じ条件で施工会社の異なる2社で行った。試験体数は、試験体A、Bは各ケースで12体製作し、試験体Cは3体とし、合わせて27体を試験に供した。

試験体A,Bは、ブラスト処理(ISO Sa2.5)後に無機ジンクを標準厚膜75 μ m塗布した（試験体Cはブラスト処理のみ）。

(2) **ボルトの締め付け** すべり側のボルト締め付けは、F10TWでは一次締め後に設計ボルト軸力の115%（237kN）の軸力で締め付けた。なお、S10Tでは、通常の110%の軸力（226kN）とした。固定側（すべらせない側）については、さらに20kN増し締めした。

(3) **ボルト軸力のひずみ計測** リラクゼーションによる軸力低下およびすべり係数の算出を行うため、ボルト軸力を計測した。計測は、すべり側のすべてのボルトであり、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. リラクゼーション試験

(1) **試験方法** 計測期間は432時間(18日)を基本とした。なお、試験体Aではすべり耐力試験まで時間があつたので、522時間まで計測を行い、試験体Bは420時間までしか計測しなかった。

(2) **試験結果** 締め付け直後の導入軸力、リラクゼーションによる残存軸力およびすべり耐力試験の結果を表-2に示す。導入軸力は、無機ジンクおよびブラストともに想定より若干高い結果であった。リラクゼーションによる軸力低下は、432時間（試験体Aは522時間）後には無機ジンクを施した試験体A,Bでは、それぞれ91.8%、92.0%まで低下した。一方、ブラストを施した試験体Cにおいては、432時間後には97.1%に低下した。以上のように、無機ジンクとブラストではリラクゼーションによる軸力低下に5%の違いが見られた。

なお、無機ジンクのリラクゼーションは大きいですが、15%増し締めで行っており、すべり試験直前の設計軸力比率（計測軸力/設計ボルト軸力）は無機ジンクで107.3%、ブラストで108.6%とほぼ同等であった。すなわち、無機ジンクにおいて15%増し締めで行えば、10%増し締めのブラストと同等の残存軸力となった。

4. すべり耐力試験

(1) **試験方法** すべり耐力試験は、リラクゼーション試験後に実施し、1,000kNの万能試験機を用いた。試験は、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) **試験結果** 表-2で示したすべり荷重(P)はすべり発生時であり、その際のすべり状況は、その多くが大きなすべり音が発生し、変位が大きく目視で判断できるすべり状況であった。また、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、参考のため設計ボルト軸力(N_s:205kN)でも算出した。無機ジンクの試験体A,Bにおいて、すべり係数(μ_b)は0.55を超え、その範囲は0.551~0.591であった。平均値で比較すると、試験体Aで0.565、試験体Bでは0.569と施工会社による違いは見られなかった。一方、ブラストの試験体Cは0.396~0.524とばらつきが生じており、0.40を下回る結果も見られた。ただし、

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

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

表-1 試験体種類と使用材料

試験体		ボルト		板厚(mm)	
摩擦面	試験体名	種別	径, 長さ	t	ts
無機ジンク	試験体A	F10TW	M22 × 90	22	12
	試験体B		M22 × 90		
ブラスト	試験体C	S10T	M22 × 80	19	

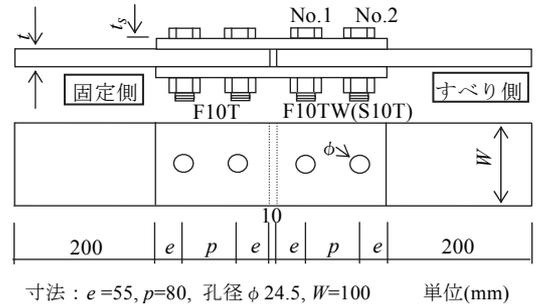


図-1 試験体形状

表-2 リラクゼーション試験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 [%]	すべり荷重 P [kN]	すべり係数			
	締付け直後 Na [kN]					すべり試験直前 Nb [kN]										
	ボルトNo.		平均	設計軸力比率 (%)	ボルトNo.		平均	設計軸力比率 (%)								
	No.1	No.2			No.1	No.2			μ_s	μ_b						
無機ジンク	A1	241.2	234.5	237.9	116.0	218.4	216.5	217.5	106.1	91.4	91.8	495	0.604	0.608	0.565	
	A2	241.1	241.6	241.4	117.7	221.5	222.8	222.2	108.4	92.0		490	0.598			0.551
	A3	241.4	240.0	240.7	117.4	222.1	219.8	221.0	107.8	91.8		501	0.611			0.567
	A4	243.3	239.7	241.5	117.8	222.7	218.4	220.6	107.6	91.3		488	0.595			0.553
	A5	242.7	242.3	242.5	118.3	219.6	219.5	219.6	107.1	90.5		520	0.634			0.592
	A6	243.5	244.3	243.9	119.0	221.3	223.3	222.3	108.4	91.1		494	0.602			0.556
	A7	240.5	236.0	238.3	116.2	221.4	215.6	218.5	106.6	91.7		505	0.616			0.578
	A8	241.5	244.1	242.8	118.4	221.5	225.7	223.6	109.1	92.1		505	0.616			0.565
	A9	240.2	239.8	240.0	117.1	217.5	220.2	218.9	106.8	91.2		506	0.617			0.578
	A10	235.3	241.2	238.3	116.2	216.5	221.6	219.1	106.9	91.9		478	0.583			0.546
	A11	240.9	234.3	237.6	115.9	223.1	216.3	219.7	107.2	92.5		485	0.591			0.552
	A12	235.2	241.1	238.2	116.2	218.6	226.4	222.5	108.5	93.4		515	0.628			0.579
	B1	242.6	237.7	240.2	117.1	222.9	220.2	221.6	108.1	92.3	508	0.620	0.573			
	B2	238.2	240.5	239.4	116.8	218.7	221.6	220.2	107.4	92.0	507	0.618	0.576			
	B3	235.2	238.8	237.0	115.6	217.2	219.8	218.5	106.6	92.2	505	0.616	0.578			
	B4	247.7	248.7	248.2	121.1	228.1	225.7	226.9	110.7	91.4	512	0.624	0.564			
	B5	235.5	238.2	236.9	115.5	216.1	218.8	217.5	106.1	91.8	501	0.611	0.576			
	B6	234.6	245.7	240.2	117.1	216.9	227.2	222.1	108.3	92.5	494	0.602	0.556			
	B7	237.5	234.9	236.2	115.2	218.6	216.7	217.7	106.2	92.1	495	0.604	0.569			
	B8	237.9	239.9	238.9	116.5	219.3	219.8	219.6	107.1	91.9	498	0.607	0.567			
	B9	235.9	241.3	238.6	116.4	217.3	222.4	219.9	107.2	92.1	497	0.606	0.565			
	B10	227.9	241.2	234.6	114.4	207.4	220.5	214.0	104.4	91.2	506	0.617	0.591			
	B11	238.4	233.2	235.8	115.0	218.9	216.7	217.8	106.2	92.4	488	0.595	0.560			
	B12	232.4	242.3	237.4	115.8	213.7	224.6	219.2	106.9	92.3	486	0.593	0.554			
ブラスト	C1	226.0	240.8	233.4	113.9	219.8	233.5	226.7	110.6	97.1	97.1	359	0.438	0.478	0.440	
	C2	222.7	226.7	224.7	109.6	215.8	218.7	217.3	106.0	96.7		348	0.424			0.400
	C3	224.5	233.7	229.1	111.8	219.4	228.0	223.7	109.1	97.6		469	0.572			0.524

注) 設計軸力比率: 計測ボルト軸力/設計ボルト軸力, μ_s : 設計ボルト軸力($N_s=205kN$)で計算, μ_b : 試験直前の軸力(N_b)で計算

設計ボルト軸力で評価したすべり係数(μ_s)では0.40を上回っている。

以上のように、導入軸力が高くなることによる継手性能（リラクゼーションおよびすべり耐力）への影響はないと考えられ、15%増し締めボルト継手を適用しても実用上問題ないと考えられる。

5. 安全性・信頼性を向上させる導入軸力の考察

道路橋示方書（以下、道示）や鉄道構造物等設計標準（以下、鉄道標準）において、現在は無機ジンクも適用可能であるが、道示ではH2年、鉄道標準ではH4年以前は黒皮を除去した粗面状態を基本としていた。また、両基準ともに、ボルト締付けは、設計ボルト軸力の10%増しを規定している。これは、トルク係数値やすべり係数のばらつき、クリープやリラクゼーションなどの影響を考慮したものである。この締付け規定は、これまで改訂されることはなく、言い換えると粗面状態を前提に規定されていると言える。

粗面状態とはブラスト面（赤錆面も含む）であり、この表面処理では、無機ジンクより5%程度軸力残存率は高く、また、設計ボルト軸力を下回ることではなく、10%増しの導入軸力であれば、リラクゼーションの他の影響にも対応できる軸力であると言える。一方、無機ジンクでは432時間後においても軸力低下が約8%で、1年後には10%を上回ることも予想される。これは、10%増しではリラクゼーションの他の影響をカバー仕切れない場合があることを意味している。これらの影響をカバーさせるには、より高い軸力を導入するのが良いものと考えられる。無機ジンクと粗面状態では5%の軸力低下率が異なることを考慮すると15%増しの軸力が無機ジンクでは良いものと考えられる。これであれば、ボルト軸力でトルク係数値やすべり係数値のばらつき、クリープおよびリラクゼーションの影響をカバーでき、安全性・信頼性が向上するものと考えられる。

6. まとめ

- (1) すべり係数（試験直前の軸力(N_b)で算出した μ_b) は無機ジンクで 0.57, ブラストでは 0.44 であった。
- (2) リラクゼーションによる 432 時間後の軸力低下率は、無機ジンクで約 8%, ブラストでは約 3%であった。
- (3) 無機ジンクにおいて、15%増し締めで行えば、ブラストでの 10%増し締めと同等の残存軸力となった。
- (4) 無機ジンクにおいて、導入軸力が高くなることによる残存軸力およびすべり耐力への影響は見られず、15%増し締めボルト継手を適用しても実用上問題ないと考えられる。
- (5) 無機ジンクを施したボルト継手において、1年後の軸力低下は 10%を上回ることも予想される。これは、10%増し締めでは、ボルト軸力でリラクゼーションの他の影響をカバー仕切れないことを意味している。15%増しの導入軸力であれば、ボルト軸力でトルク係数値やすべり係数値のばらつき、クリープおよびリラクゼーションの影響をカバーでき、安全性・信頼性が向上するものと考えられる。