

極厚鋼板高力ボルト摩擦接合継手の15%増し締め施工の適用性

鉄道・運輸機構 正会員 横山秀喜
鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明
鉄 道 総 研 正会員 斉藤雅充
鉄 道 総 研 正会員 濱上洋平

1. はじめに

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、リラクセーションによるボルト軸力低下が大きく、著者の1人は、設計ボルト軸力の15%増し締め施工で行えば、ボルト継手の安全性・信頼性が向上することを示した¹⁾²⁾。ただし、これまで極厚鋼板継手の適用については明確にしていなかった。本研究は、極厚鋼板継手の15%増し締め施工の適用性を明確させることを目的に、リラクセーション試験およびすべり耐力試験を実施し、この継手の適用性を示した。

2. 試験体の説明

(1) 試験体の種類および形状 試験体は、板厚（標準、厚板、極厚）およびフィラープレート（以下、フィラー）の有無をパラメータとする5種類とした。試験体の形状を図-1に示す。試験体数は、1種類3体とし、計15体とした。鋼材は570N/mm²級鋼材、ボルトはF10T-M24を使用した。摩擦面は、ブラスト（ISO Sa2 1/2）後、無機ジンクを標準膜厚75μm塗布した。膜厚計測結果を表-1に示すが、86~95μmで目標より若干厚かった。

(2) ボルトの締め付け すべり側のボルト締め付けは、一次締め後に設計ボルト軸力の115%（274kN）の軸力で締め付けた。固定側については、さらに20kN増し締めした。

(3) ボルト軸力のひずみ計測 リラクセ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行い、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. リラクセーション試験

(1) 試験方法 計測期間は792時間(33日)とした。

(2) 試験結果 締め付け直後の導入軸力、リラクセ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、想定より若干低いボルトが多かった。リラクセーションによる792時間後の残存軸力率は、フィラー無し試験体（T1,T3,T5）において、板厚が大きくなることにより、残存軸力率は大きくなる傾向が示され、T5ではT1と比べ4.6%の違いであった。これは、板厚に関わらずボルト締め付けによる塗装面のクリープ（押しつぶされる量）は同じであるが、ボルト長が長くなればクリープに対する単位ボルト長さ当たりの割合が低くなったことで、ボルト長が長ければ軸力低下値が低くなったものと考えられる。T5では残存軸力率が95.9%と高く、10%増し締めでも問題ないと考えられるが統一性を考慮すれば15%増しが良いと考えられる。次に、フィラーの有無の違いについては、T1とT2では1.2%、T3とT4では1.6%、フィラー有の方が残存軸力率は低くなったが、大きな違いはなく15%増し締め施工で良いものと考えられる。

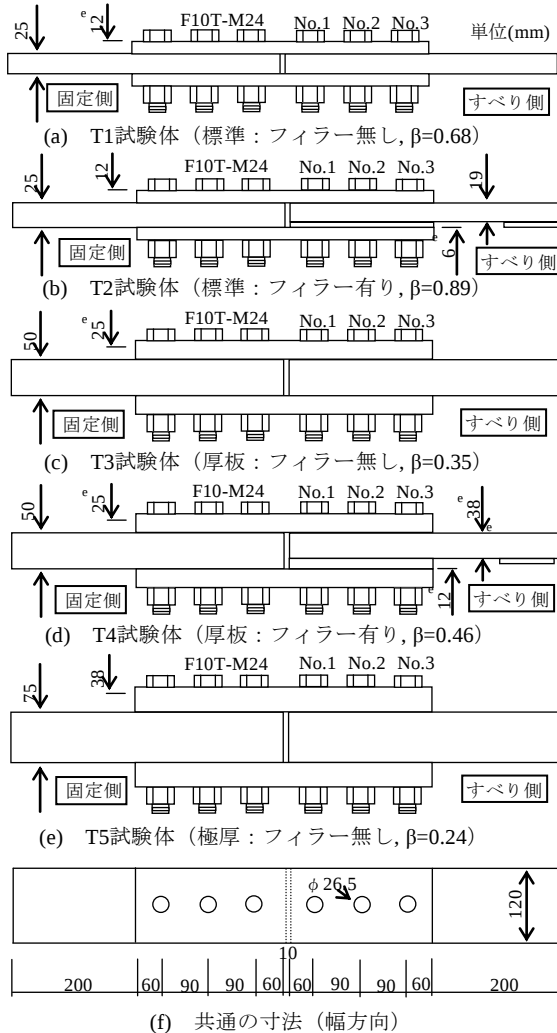


図-1 試験体の種類と形状

表-1 膜厚計測結果

試験体名		塗装膜厚 [μm]			平均
		No.1	No.2	No.3	
T1	-1	83.0	87.6	88.7	86
	-2	86.8	88.5	89.2	88
	-3	88.3	89.0	89.8	89
T2	-1	90.5	93.0	86.9	90
	-2	90.5	92.3	88.8	91
	-3	91.0	91.9	87.9	90
T3	-1	88.1	89.8	87.2	88
	-2	85.7	87.0	86.7	86
	-3	92.8	95.6	96.2	95
T4	-1	95.4	95.0	94.7	95
	-2	93.8	94.9	95.9	95
	-3	91.4	90.3	87.2	90
T5	-1	83.7	85.6	86.3	85
	-2	94.3	92.6	89.0	92
	-3	94.9	92.5	88.4	92

注) 1 ボルト孔につき、母板、添接板各2箇所計測し、フィラー無しは4面、フィラー有りは6面の平均値。

キーワード：高力ボルト， 15%増し締め， 極厚鋼板， フィラープレート
連絡先：〒532-0003 大阪市淀川区宮原三丁目5-36 鉄道・運輸機構 大阪支社 TEL 06-6394-6033

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			リラクゼーション試験												すべり耐力試験							
名 称	母材板厚	フィラー	締付け直後(導入軸力): N_0 [kN]					792時間後の軸力(残存軸力): N_a [kN]					軸力 残存率 [%]		試験時 軸力 N_b [kN]	すべり 荷重 P [kN]	すべり係数					
			ボルトNo.			軸力 平均	設計軸力 比率(%)	ボルトNo.			軸力 平均	設計軸力 比率(%)					試験時軸力		設計軸力			
			No.1	No.2	No.3			No.1	No.2	No.3							μ_b	平均	μ_s	平均		
T1	-1	無し 標準	267.3	268.1	272.8	269.4	113.2	114.5	243.9	245.4	248.6	246.0	103.3	91.3	91.3	250.7	764	0.508	0.508	0.535	0.544	
	-2		271.2	267.7	279.3	272.7	114.6		247.5	243.9	255.2	248.9	104.6		104.5	91.2	253.2	783	0.515	0.512		0.548
	-3		271.3	269.3	284.8	275.1	115.6		249.5	245.2	260.1	251.6	105.7		91.4	255.1	785	0.513		0.550		
T2	-1	有り	279.0	265.6	283.4	276.0	116.0	113.8	252.0	239.5	255.0	248.8	104.6	90.2	90.2	252.3	776	0.512		0.543	0.547	
	-2		269.4	265.7	267.2	267.4	112.4		243.7	238.3	240.3	240.8	101.2		102.6	90.0	242.0	765	0.527	0.528		0.536
	-3		267.2	274.3	265.6	269.0	113.0		239.7	247.4	241.0	242.7	102.0		90.2	245.1	803	0.546		0.562		
T3	-1	無し 厚板	273.2	273.0	272.8	273.0	114.7	114.8	251.6	251.6	251.4	251.5	105.7	92.1	92.1	251.4	987	0.654		0.691	0.683	
	-2		273.7	270.5	271.8	272.0	114.3		253.9	250.7	251.4	252.0	105.9		92.6	254.3	984	0.645	0.640	0.689		
	-3		270.9	279.1	274.3	274.8	115.4		248.1	256.7	252.8	252.5	106.1		91.9	256.4	953	0.619		0.667		
T4	-1	有り	227.9	268.0	268.9	254.9	107.1	112.2	198.0	243.8	245.8	229.2	96.3	89.9	89.9	235.8	1017	0.719		0.712	0.718	
	-2		270.7	272.5	274.5	272.6	114.5		244.8	247.5	247.7	246.7	103.6		101.8	90.5	254.1	1029	0.675	0.685		0.721
	-3		271.1	280.6	269.9	273.9	115.1		250.5	255.6	245.8	250.6	105.3		91.5	259.0	1028	0.662		0.720		
T5	-1	無し 極厚	271.2	269.4	276.7	272.4	114.5	115.4	264.1	227.0	267.1	252.7	106.2	92.8	92.8	253.8	1055	0.693		0.739	0.718	
	-2		277.4	279.5	271.9	276.3	116.1		270.1	275.6	264.5	270.1	113.5		97.8	267.9	1069	0.665	0.653	0.749		
	-3		283.5	267.2	275.7	275.5	115.7		273.1	259.6	269.2	267.3	112.3		97.0	263.7	952	0.602		0.667		

注) 設計軸力比率: 計測ボルト軸力/設計ボルト軸力, μ_b : 試験時の軸力(N_b)で計算, μ_s : 設計ボルト軸力($N_s=238\text{kN}$)で計算

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, 2,000kN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すべり音が発生することはなかったが, 変位は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($N_s=238\text{kN}$)でも算出した. 表-2に示すように, 15%増し締め施工した極厚継手およびフィラーを有する継手, 何れにおいてすべり係数(μ_b)は0.5を下回ることはなく, 高いすべり耐力を有していた. フィラー無し試験体(T1,T3,T5)において, 板厚が大きくなることによりすべり係数(μ_b)は大きくなる傾向が示され, 特に, T1とT3で大きな違いが見られた. これは写真-1に示すように, 添接板の板厚が大きくなればボルト締付けによるすべりに対する影響範囲が大きくなった効果と考えられる. ただし, T3とT5では影響範囲に違いは少なく, μ_b も大きな違いは見られなかった. 次に, フィラーの有無による違いについては, T1とT2(標準)およびT3とT4(厚板)両者ともに, フィラー有りの方が若干 μ_b は大きかった. すべり降伏耐力比 β はフィラー有りの方が大きく, また, 曲げの影響もあり, なぜ, このような結果になったのは現在のところ不明である.

5. まとめ

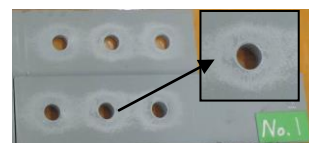
15%増し締めしたボルト継手において, 板厚が大きくなればリラクゼーションによる軸力低下は小さく, また, すべり係数(μ_b)は大きくなった. フィラーを有する場合, フィラー無しに比べ, 軸力低下は1.6%(T2とT4の差)大きくなったがその程度は小さく, すべり係数(μ_b)は同等, むしろ若干大きくなった. 以上の結果から判断すると, 極厚継手およびフィラーを有する継手においても, 15%増し締め施工を適用しても問題ないと考えられる.

【参考文献】

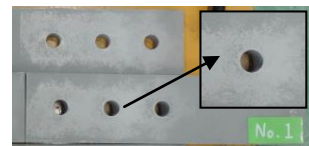
- 1) 南 邦明: 厚膜型無機ジンクリッチペイントを施した摩擦面で 15%増し締めした高力ボルト試験, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.1, pp.32-39, 2017.
- 2) 南 邦明: 厚膜型無機ジンクリッチペイントを施した高力ボルト継手における導入軸力の影響の考察, 土木学会論文集 A1, Vol.74, No.1, pp.58-63, 2018.

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

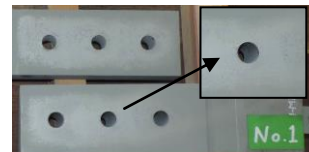
μ_b : すべり係数, P : すべり荷重,
 m : 接触面数, n : ボルト本数,
 N_b : 直前のボルト軸力



(a) T1の添接板の接触面の一例



(b) T3の添接板の接触面の一例



(c) T5の添接板の接触面の一例

写真-1 試験後のすべり面