

一次締め24時間後の本締め施工における継手形式および板厚の影響

瀧上・日車JV 正会員 天野貴文
 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

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、第3著者は、設計ボルト軸力の15%増し締めで施工すれば、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、S10Tは所定の軸力でピンテールが破断する構造であり、より高い導入軸力での施工は困難である。そこで、一次締めに導入軸力の80%とし、24時間後に本締め（以下、改良締め付け法）を行うことにより、リラクセーションによる軸力低下が改善され、15%増し締めと同等な残存軸力が期待できることを示した³⁾。ただし、継手形式および板厚の影響については明確にしていなかった。本研究では、2面摩擦および1面摩擦の薄板・厚板継手を用いて、改良締め付け法の軸力低下改善効果を確認する試験を行った。

2. 試験体の説明および導入ボルト軸力

(1) **試験体の種類および形状** 表-1に試験体の種類、図-1に試験体形状を示す。試験体は、2面摩擦と1面摩擦の継手形式とし、それぞれSM490Yの薄板と厚板を用いた。試験体数は、各ケースで3体製作し、合わせて24体を試験に供した。表面処理は、素地調整後(Sa2 1/2)、無機ジンクを標準膜厚75 μ m塗布した。塗装膜厚計測結果を表-2に示すが、膜厚の平均値は各試験体で81.5~84.2 μ mであった。

(2) **導入軸力と軸力のひずみ計測** 一次締めは、表-1に示す締め付け軸力（設計ボルト軸力の10%増し）の60%、80%の2ケースで行った。本締めは、その直後および24時間後とし、S10Tの締め付け軸力は通常のピンテール破断、六角ボルト(F10T)では設計ボルト軸力の110%および115%締め付けとした。なお、固定側については、さらに20kN増し締めした。また、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、すべり側のすべてのボルトとした。

3. 一次締め（予備締め）のリラクセーション試験

(1) **試験方法** 一次締めによる軸力低下の大きさおよびその影響を調べるため、試験は24時間後に本締めする試験体を対象とした。

(2) **試験結果** すべての試験結果を表-3に示す。一次締め軸力は、60%締め(C1,C2)は想定より6%高めであったが、それ以外は概ね想定した軸力であった。24時間後には軸力は大きく低下し、塗膜のクリープによる軸力低下の多くが、この期間で発生しているとも考えられる。また、2面摩擦と1面摩擦を比較すれば、前者の方が軸力低下は大きく、両者ともに薄板の方がその傾向は顕著であった。

4. 本締めのリラクセーション試験

(1) **試験方法** 計測期間は、本締めのボルト軸力導入後から、2面摩擦は19日間(456時間)、1面摩擦は14日間(336時間)とした。

(2) **試験結果** 本締めの導入軸力は、S10T(A1,A2)ではばらつきがあった。その他のF10T(B1,B2,C1,C2,D1,D2)では2~3%高めであったが、概ね想定していた軸力であった。2面摩擦において、456時間後の軸力残存率は、S10TとF10Tでの違いはないが、両者ともに薄板(A1,B1)と厚板(A2,B2)ではそれぞれ93%、95%と前者の方が低くなった。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が小さくなったものと考えられる。一方、1面摩擦では、現行の施工法（以下、現行締め付け法）であるC1,C2とD1,D2(改良締め付け法)を比較して大きな違いはなく、改良締め付け法の効果は見られなかった。ただし、1面摩擦の軸力残存率は2面摩擦より大きく、336時間後において約95%であった。

表-1 試験体の種類

試験体名	継手形式	板厚(mm)		ボルトサイズ	一次締め	本締め	
		t	ts				
A1	2面摩擦	12	9	M22×65(S10T)	80%	ピンテール破断	24時間後
A2		38	22	M22×120(S10T)			
B1		12	9	M22×70(F10T)	締め付け	110%	
B2		38	22	M22×125(F10T)	締め付け	115%	
C1	1面摩擦	16	40	M24×80(F10T)	60%	115%	直後
C2		40		M24×125(F10T)	締め付け	締め付け	
D1		16	40	M24×80(F10T)	80%	110%	24時間後
D2		40		M24×125(F10T)	締め付け	締め付け	
D3							

t: 母板、ts: 添接板

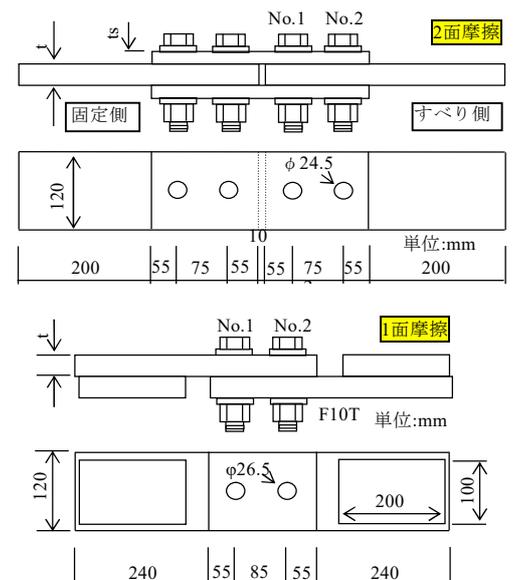


図-1 試験体形状

表-2 膜厚計測結果

試験体名	塗装膜厚 [μ m]			
	-1	-2	-3	平均
A1	82.7	83.0	83.5	83.1
A2	80.8	84.6	85.7	83.7
B1	81.4	83.6	82.4	82.5
B2	83.5	82.4	80.0	82.0
C1	84.7	83.5	84.4	84.2
C2	81.9	74.7	84.4	80.3
D1	81.6	81.3	81.6	81.5
D2	84.1	86.3	82.5	84.3

注) 1 ボルト孔につき各4箇所の計測の平均値

キーワード：高力ボルト，締め付け法，リラクセーション，軸力低下
 連絡先：〒475-0826 愛知県半田市神明町1-1 瀧上工業 TEL 0569-21-4207

表-3 試験結果（軸力計測，リラクゼーション試験，すべり耐力試験および変位計測結果）

試験体	一次縮め								本縮め								試験直前平均軸力 N_c [kN]	すべり荷重 P [kN]	すべり係数 μ_c (N_c で算出)								
	一次縮め軸力 N_1 [kN]				本縮め直前 N_2 [kN]				軸力残存率 24時間後 [%]				本縮め直後 N_3 [kN]							14日後 or 19日後 N_4 [kN]				軸力残存率 14or19日後 [%]			
	ボルトNo.		軸力比 (%)	ボルトNo.		軸力比 (%)	ボルトNo.		平均	ボルトNo.		設計比 (%)	ボルトNo.		設計比 (%)	ボルトNo.				平均							
	No.1	No.2		No.1	No.2		No.1	No.2		No.1	No.2		No.1	No.2		No.1					No.2	No.1	No.2				
A1-1	175.8	181.0	80.1	163.2	168.5	75.8	92.8	93.1	94.6	227.0	199.3	108.8	208.3	184.7	100.7	91.8	92.7	92.6	196.5	424.0	0.539	0.530					
A1-2	174.5	185.0		168.7	177.0		96.7	95.7		239.5	232.8		224.2	214.0		93.6	91.9		219.1	449.7	0.513						
A1-3	187.7	182.8		178.3	172.5		95.0	94.4		216.3	222.7		200.2	207.4		92.5	93.1		203.8	437.0	0.536						
A2-1	195.9	184.4	83.4	188.9	177.4	80.0	96.4	96.2	96.0	240.6	246.3	115.8	228.5	233.0	109.8	95.0	94.6	94.8	230.8	579.8	0.628	0.626					
A2-2	191.7	190.8		183.8	182.0		95.9	95.4		240.7	230.3		228.1	217.8		94.8	94.5		222.9	556.6	0.624						
A2-3	177.0	190.5		170.3	182.6		96.2	95.8		237.3	229.4		224.3	218.5		94.5	95.3		221.4	553.4	0.625						
B1-1	190.6	180.6	80.8	177.6	167.7	74.4	93.1	92.9	92.1	231.9	233.8	112.5	216.6	215.5	104.1	93.4	92.2	92.5	216.0	422.4	0.489	0.482					
B1-2	181.1	182.3		165.9	167.4		91.6	91.8		232.3	225.7		215.6	209.0		92.8	92.6		212.3	408.9	0.482						
B1-3	174.5	185.8		160.9	169.1		92.2	91.0		228.8	231.5		210.5	213.2		92.0	92.1		211.9	402.2	0.475						
B2-1	185.7	193.2	83.8	176.4	184.0	79.9	95.0	95.2	95.4	229.3	228.6	113.0	218.1	218.4	107.6	95.1	95.6	95.3	218.3	543.8	0.623	0.606					
B2-2	195.0	192.1		185.8	182.2		95.3	94.9		234.3	231.3		223.2	219.6		95.2	95.0		221.4	536.2	0.606						
B2-3	187.4	183.4		179.9	175.8		96.0	95.9		234.0	231.8		223.7	220.6		95.6	95.2		222.2	525.3	0.591						
C1-1	176.0	167.3	66.5							277.8	281.0	117.4	264.0	268.2	111.5	95.0	95.4	94.9	266.1	279.6	0.525	0.527					
C1-2	180.3	165.9								278.1	283.3		263.6	268.2		94.8	94.7		265.9	280.0	0.527						
C1-3	175.7	179.4								278.3	278.4		264.7	263.7		95.1	94.7		264.2	279.9	0.530						
C2-1	177.2	179.5	66.4							273.6	276.8	116.2	262.8	266.9	111.7	96.0	96.4	96.2	264.8	252.4	0.477	0.493					
C2-2	170.2	173.8								275.9	282.4		265.9	270.8		96.4	95.9		268.4	273.8	0.510						
C2-3	167.8	176.2								275.8	274.8		266.5	262.8		96.6	95.6		264.6	261.0	0.493						
D1-1	222.1	206.3	82.0	212.2	196.5	78.3	95.5	95.2	95.5	269.0	268.3	113.3	255.0	254.0	107.3	94.8	94.7	94.7	256.2	277.1	0.541	0.537					
D1-2	219.3	206.1		210.7	197.7		96.1	95.9		278.4	265.7		264.8	251.9		95.1	94.8		260.0	275.2	0.529						
D1-3	220.7	214.5		210.1	203.5		95.2	94.9		265.4	270.9		250.5	255.3		94.4	94.2		254.9	276.2	0.542						
D2-1	205.1	205.3	78.6	198.8	199.0	76.3	96.9	96.9	97.0	263.0	262.5	112.2	250.7	250.7	107.1	95.3	95.5	95.5	252.6	257.2	0.509	0.528					
D2-2	202.6	209.6		196.4	203.0		97.0	96.8		276.2	264.7		265.1	251.9		96.0	95.2		260.8	275.6	0.528						
D2-3	204.3	209.5		198.8	203.8		97.3	97.3		267.9	267.3		255.0	255.7		95.2	95.6		257.3	280.7	0.545						

注) 軸力比: 導入軸力に対する比率, 設計比: 設計ボルト軸力に対する比率, 2面摩擦(A1,A2,B1,B2)は19日間, 1面摩擦(C1,C2,D1,D2)は14日間計測。

(3) 継手形式および板厚の影響の考察 図-2は既往のデータ^{1)~5)}も含め、軸力残存率に及ぼす板厚の影響を調べるため、ここでは横軸をボルト長で示す。なお、既往のデータは計測期間(18~33日)が様々であり比較のため、文献5)で示した2面摩擦および1面摩擦の経過時間に対する軸力残存率の回帰直線式を用いて、本試験データ(C1,C2,D1,D2)も含めすべて19日(456時間)後に換算している。また、標準試験片を用いればボルト長は90mmとなり、そこに多くのデータが集中している。そこで、わかりやすくするため、文献1)データは92mm、文献2)では88mmのボルト長で示している。なお、回帰直線は正規のボルト長で算定している。図-2(a)に示すように2面摩擦では、ボルト長(板厚)に依らず改良縮付け法で行えば、軸力残存率は高くなるのが判り、回帰直線で判断すれば現行縮付け法より約3%軸力低下が改善された。ただし、文献3)ほど改善効果は大きくなく、本試験データの多くは回帰直線の下側にあった。一方、図-2(b)に示す1面摩擦では、改良施工法による効果は見られなかった。ただし、軸力残存率は現行縮付け法においても高く、1面摩擦では、現行縮付け法でも十分な安全性や信頼性が確保できると考えられる。

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \dots (1)$$

μ : すべり係数, P : すべり荷重
 m : 摩擦面数, n : ボルト本数
 N : ボルト軸力(N_c)

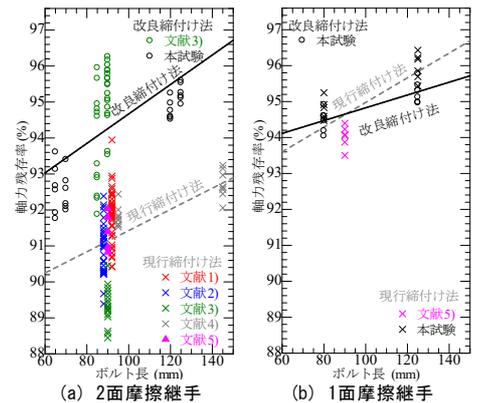


図-2 456時間後の軸力残存率

5. すべり耐力試験

(1) 試験方法 すべり試験は、リラクゼーション試験後に実施した。載荷試験には載荷能力4,000kNの万能試験機を用い、試験体にすべりが生じるまで引張荷重を徐々に加えた。

(2) 試験結果 表-3で示したすべり荷重(P)は最大耐力(すべり発生直前)であり、すべり係数は式(1)を用いて、ボルト軸力(N)をすべり試験直前の軸力(N_c)で算出した。2面摩擦において、S10T(A1,A2)およびF10T(B1,B2)ともに厚板の方が薄板よりすべり係数が高く、約0.1の違いが生じていた。ただし、最もすべり係数が低いB1でもすべり係数(μ_c)は0.482であった。一方、1面摩擦では、板厚の影響はほとんど見られず、逆に若干であるが厚板の方がすべり係数が低くなる結果であった。その明確な理由は不明であるが、板曲げの影響が生じた可能性も考えられる。ただし、すべり係数は各試験体の平均値で0.493~0.537と十分なすべり耐力を有していた。

6. まとめ 2面摩擦では、板厚に依らず改良縮付け法で行えば現行縮付け法より軸力残存率は高くなり、約3%軸力低下が改善された。一方、1面摩擦では、改良縮付け法による効果は見られなかったが、軸力残存率は約95%と現行縮付け法においても高く、現行でも十分な安全性や信頼性が確保できていると考えられる。

【参考文献】

- 1)南: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: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
- 3)南, 横山, 斉藤, 濱上: リラクゼーションによる軸力低下を抑えるボルト継手の施工, 第73回年次講演会 I-181, 2018.8.
- 4)横山, 南, 斉藤, 濱上: 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, 第73回年次講演会 I-185, 2018.8.
- 5)南, 田村, 吉岡, 内田, 茂呂, 安藤: 高力ボルト継手のける摩擦面の数に応じた導入ボルト軸力に関する検討, 土木学会論文集 A1, Vol.75, No.1, pp.46-57, 2019