

溶射を施した長尺ボルト継手の試験

鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明
鉄道・運輸機構 正会員 筒井康平
鉄道・運輸機構 正会員 横山秀喜
日本ファブテック 正会員 能島隆男

1. はじめに

著者らは、これまでに溶射を施した高力ボルト摩擦接合継手の研究を行い、ボルト締付けは表-1に示すナット回転角^{1),2)}を提案した。ただし、M22の場合、 $L>6.4d$ (L :長さ、 d :径)を超える長尺ボルトを用いたボルト継手のナット回転角は不明であった。本研究では、 $7.0d$ ($L=155\text{mm}$)の長尺ボルトにおける溶射を施したボルト継手のナット回転角を検証するため、ボルト試験を実施した。

2. 試験体

(1) 試験体の形状およびケース 図-1に試験体形状を示す。鋼材はSM490Y、すべり側のボルトは溶融亜鉛めっきボルトのF8T(M22×155)を用いた。試験ケースはナット回転角を4角度(75,90,105,120°)とし、試験体数は各ケースで3体、合わせて12体を試験に供した。

(2) 摩擦面処理と溶射膜厚の測定 試験体は、素地調整(Sa2 1/2)後に、標準(最小)膜厚100μmの擬合金溶射を行った。なお、封孔処理は行わなかった。膜厚測定は、電磁誘導式膜厚計(Pro-1)を用いて

行った。測定位置は、すべての接触面(4面)のすべり側ボルト孔周辺の4箇所とし、試験体一体あたり計48点測定した。測定結果は、T75,T90,T105,T120でそれぞれ125.9、126.9、126.9、125.4μmであった。

(3) ボルトの締付け ボルト締付けは、一次締めを150N・mとし、本締めはナット回転法を用いて75°、90°、105°、120°を目標に専用レンチで締付けた。なお、固定側はF10Tを用い、すべての試験体で回転角120°で締付けた。

3. 試験方法

(1) 導入軸力試験方法 導入軸力とナット回転角との関係を明確にさせるため、すべり側の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。導入軸力試験では、各試験体のNo.1ボルトについては、回転角を30°ごとにボルト軸力を計測した。一方、No.2,3ボルトでは、所定の角度の軸力のみ計測した。

(2) リラクセーション試験方法 導入軸力試験後、続けてリラクセーション試験へと移行した。リラクセーション試験は12試験体、合わせて36本のボルトとし、計測期間は816時間(34日)とした。

(3) すべり耐力試験方法 すべり試験は、リラクセーション試験後(ボルト締付け816時間後)に実施した。載荷試験には載荷能力2,000kNの万能試験機を用い、試験体のすべりが生じるまで引張荷重を徐々に加えた。

4. 試験結果と7.0dのナット回転角の考察

(1) 導入軸力試験結果 すべての試験結果の集計結果を表-2に示し、ナット回転角(目標値でなく実測値)と導入軸力の関係を図-2(a)に示す。図中の実線は、最小二乗法を用いて求めたナット回転角に対する導入軸力の3次の回帰曲線を示している。ここでは、比較のため、著者らが実施し、過去最も長いボルトを用いた、溶射を施したボルト継手の試験結果²⁾も示している。図に示すように、本試験(L155)では角度が90°までは回転角と導入軸力は、ほぼ直線分布にあるが、90°を超えた領域、特に110°を超えた場合には、角度の増加による導入軸力の変化が小さく、これはボルトねじ部が降伏域に達し、塑性変形が生じたからと考えられる。また、回転角90°では1データを除き設計ボルト軸力(100%)を超え、設計比率(設計ボルト軸力(165kN)に対する比率)の平均値で示すとT75,T90,T105,T120でそれぞれ、103.1%,133.5%,141.3%,136.8%とT105が最も高い軸力となった。なお、既往の研究²⁾におけるL140ではほぼ直線分布であり、L155の方が導入軸力は高く、想定とは逆の挙動を示した。

(2) リラクセーション試験結果 リラクセーション試験結果として、図-2(b)に初期ボルト軸力で無次元化した軸力残存率と経過時間との関係を示す。図中の実線は、各3本のボルト計測結果の平均値を示している。図-2(b)に示すように、各試験体とも計測初期での軸力低下が著しく、計測60分後には残存軸力が91.7~93.7%まで減少し、24時間後には88.6~91.6%まで低下した。その後も軸力は低下するが、その傾きは緩やであり、816時間後の軸力残存率は、87.5~89.6%(各試験体の平均値)まで低下した。回転角による明確な違いは見られず、T90が最も軸力低下が大きく、それ以外は大きな違いは見られなかった。

表-1 溶射におけるナット回転角(θ)

$L \leq 5d$	$5d < L \leq 6.3d$ (M22は6.4d)	$L > 6.3d$ (M22は6.4d)
90°	100°	試験により決定

L: ボルト長さ, d: ボルト径

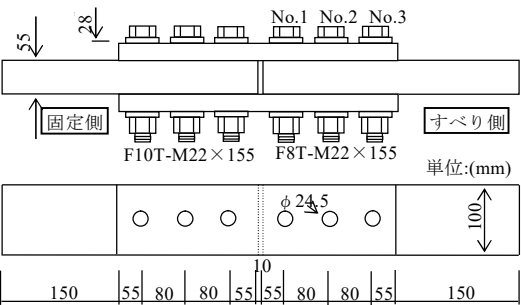


図-1 試験体の種類と形状

キーワード: 長尺ボルト継手, 溶射, ナット回転法, リラクセーション

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

表-2 試験結果の集計結果

試験体 名	回転量 (°)	初期導入軸力 (kN)										816時間後の残存軸力 (kN)				816時間後の軸力残存率 (%)				すべり耐力試験			
		No.1ボルト (N-0)						No.2 ボルト	No.3 ボルト	設計比 率(%)	No.1 ボルト	No.2 ボルト	No.3 ボルト	設計比 率(%)	No.1 ボルト	No.2 ボルト	No.3 ボルト	平均 値(%)	試験時 軸力 (kN)	すべり 荷重(kN)	すべり 係数		
		0°	30°	60°	75°	90°	105°															120°	
T75-1	75	40.0	111.0	168.1	192.6	-	-	-	155.3	158.0	103.1	173.6	138.0	139.4	91.7	90.1	88.9	88.2	88.9	150.3	1003.4	1.112	1.147
T75-2		39.4	100.3	151.0	179.2	-	-	-	174.0	168.9		162.9	153.8	151.9		90.9	88.4	89.9		156.2	1085.0	1.158	
T75-3		37.2	100.9	148.0	174.9	-	-	-	165.2	163.4		156.6	143.0	143.2		89.5	86.6	87.6		147.6	1035.8	1.170	
T90-1	90	39.8	116.1	179.0	-	224.7	-	-	203.8	223.8	133.5	195.6	174.8	195.5	116.8	87.0	85.8	87.4	87.5	188.6	1364.7	1.206	1.158
T90-2		43.4	124.6	190.8	-	242.9	-	-	254.9	211.7		218.2	212.5	189.8		89.8	83.4	89.7		206.8	1383.2	1.115	
T90-3		35.9	105.6	165.2	-	212.9	-	-	202.7	205.6		190.2	178.5	179.9		89.3	88.1	87.5		182.9	1266.2	1.154	
T105-1	105	35.3	103.0	161.6	-	227.1	254.5	-	222.9	234.4	140.4	234.7	197.5	207.0	125.9	92.2	88.6	88.3	89.6	213.1	1345.2	1.052	1.115
T105-2		40.6	108.2	163.9	-	210.0	228.1	-	221.5	228.9		209.5	196.5	205.1		91.8	88.7	89.6		203.7	1385.4	1.134	
T105-3		37.0	114.8	176.8	-	221.1	236.0	-	241.0	217.1		210.8	215.5	192.7		89.3	89.4	88.8		206.3	1434.4	1.159	
T120-1	120	40.1	110.1	168.0	-	210.9	-	228.8	226.9	235.7	136.6	206.6	202.1	211.5	122.3	90.3	89.1	89.7	89.6	206.7	1308.8	1.055	1.099
T120-2		46.4	119.6	173.6	-	214.3	-	234.3	221.4	249.3		209.2	196.2	224.4		89.3	88.6	90.0		209.9	1424.6	1.131	
T120-3		35.5	104.2	159.4	-	200.6	-	219.4	205.6	206.8		197.6	183.1	186.1		90.1	89.1	90.0		188.9	1260.6	1.112	

注) 設計比率とは設計ボルト軸力(165kN)に対する比率

(3) 7.0d(L155)のナット回転量の考察 816時間後の残存軸力とナット回転角の関係を図-2(c)に示す。図に示すように、既往のデータ²⁾では直線分布であったが、本試験結果は導入軸力(図-2(a))と同様、曲線分布であり残存軸力も高いことが判る。本試験結果で判断すれば、長尺ボルト継手(7.0d)では、リラクセーションを考慮しても回転角 90°で設計ボルト軸力は満足しており、5.0d 以下と同じ 90°の適用も可能と考えられる。ただし、6.3d ボルト(L140)より低い締付け(+10°としない)とできる明確な理由はなく、7.0d ボルト(L155)においても回転角は100°とするのがよいと考えられる。

(4) すべり耐力試験結果 表-2 で示すすべり係数は、载荷試験で得られたすべり荷重(すべり直前の最大荷重)から式(1)を用いて試験時(試験直前)の軸力で算出している。図-2(d)にすべり係数と試験時軸力との関係を示す。既往のデータとして、文献2)は、L85の一般のボルト継手であるが比較のため示している。なお、文献3)はL140の長尺ボルト継手ではあるがフィラーを有する継手である。これらの結果に示すように、溶射(封孔処理なし)を施した継手では、すべり係数(μ)は0.8を下回ることはなく、高いすべり耐力を有していた。さらに、長尺ボルト継手では、すべり係数は1.0を超えるすべり耐力を有していた。また、図-2(d)に示すように、回帰直線は右肩下りで軸力が大きくなれば μ は小さくなる傾向が伺え、これは接触圧の影響が生じたものと考えられる⁴⁾。

5. まとめ

本研究から得られた溶射(封孔処理なし)を施した長尺ボルト継手(7.0d)の特性は、以下の通りである。

- (1) 長尺ボルト継手(7.0d)の 816 時間後のリラクセーションによる軸力残存率は、87.5～89.6%であった。
- (2) 長尺ボルト継手(7.0d)の締付けは、一次締めを 150N・m とし、ナット回転角は 100°とするのがよいと考えられる。
- (3) 長尺ボルト継手(7.0d)のすべり係数(μ)は、1.0 を下回ることはなく、高いすべり耐力を有していた。また、ボルト軸力が高くなると、若干すべり係数が低くなる傾向が示された。

【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.
- 2) 南 邦明, 横山秀喜, 徳富恭彦, 森井茂幸: 亜鉛アルミ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.74.No.3, pp.385-398, 2018.10.
- 3) 南 邦明, 横山秀喜, 斉藤雅充, 村上貴紀: 金属溶射を施したフィラープレートに有する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.75.No.3, pp.320-331, 2019.10.
- 4) 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, 2018.1

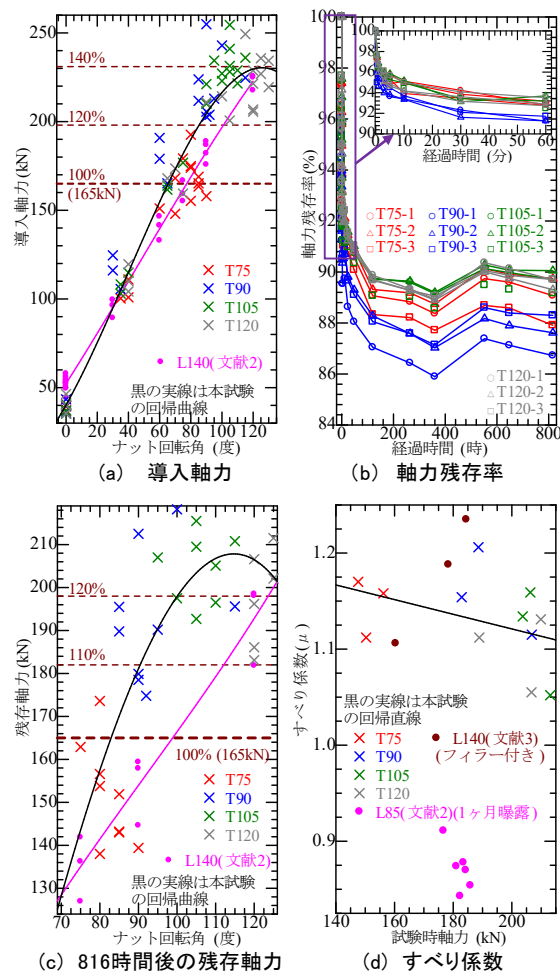


図-2 試験結果の一覧

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \quad (1) \quad \begin{array}{l} \mu: \text{すべり係数}, P: \text{すべり荷重}, \\ m: \text{接触面数}, n: \text{ボルト本数}, \\ N: \text{ボルト軸力(816時間後の軸力)} \end{array}$$