

リラクセーション試験の初期値の設定方法が試験結果に及ぼす影響

鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明
 横浜国立大学 正会員 田村 洋
 法政大学 正会員 内田大介
 ○ 東京都市大学 正会員 白旗弘実
 駒井ハルテック 正会員 吉岡夏樹
 鉄道・運輸機構 正会員 筒井康平
 川田工業 正会員 藤野大地

1. はじめに

高力ボルト継手のリラクセーション試験において、試験開始時を締付け直後とする場合や、締付け直後から30秒後とする場合など、初期値の定義は明確でなかった。本研究は、リラクセーション試験における初期値の設定方法が試験結果に及ぼす影響を明確にすることを目的にリラクセーション試験を行い、締付け直後から30秒間のボルト軸力低下を明確にした上で、リラクセーション試験における初期値のあり方を示した。

2. 試験体の説明およびリラクセーション試験方法

(1) **試験ケースおよび試験体形状** 本研究では、無機ジンクを施し導入軸力を変えた4ケース(N1~N4:試験I)、無機ジンクの膜厚を変えた2ケース(P1,P2:試験II)および摩擦面を変えた4ケース(無機ジンクP, 赤錆(自然錆)R, ブラストB, グラインダーG:試験III)で合わせて10ケースで試験を行った。図-1に試験体形状を示す。試験体はT1,T2,T3の3種類とし、試験体数は各ケースで3体とし、合わせて30体を試験に供した。表面処理は、素地調整後、Nは無機ジンクを標準膜厚75 μ m, P1は厚膜100 μ m, P2,Pは薄膜50 μ mとした。

(2) **ボルトの締付け** T1では、一次締めは150N・mで締付け、本締めはナット回転法を用いて、回転角をN1,N2,N3,N4でそれぞれ90°,75°,70°,60°で締付けた。T2, T3では、一次締めは設計ボルト軸力の60%, 本締めは設計ボルト軸力の110%を目標に締付けた。

(3) **ボルト軸力のひずみ計測** 計測はボルト軸部にひずみゲージを取り付け、すべり側のすべてのボルトで合わせて60本行った。

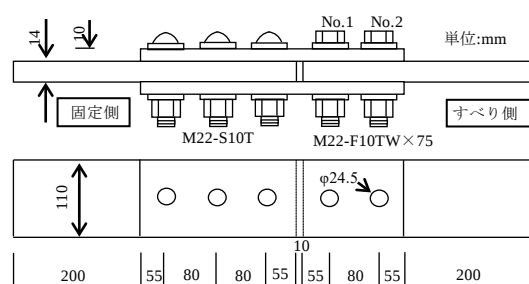
(4) **リラクセーション試験方法** 試験Iは、計測期間を558時間とし、軸力導入時(初期値)の定義は、締付け3秒後とした。試験IIおよび試験IIIは、計測期間は672時間とした。ここでは、10秒ごとに自動計測できるようデータロガーにセットし、軸力導入時の定義は、軸力導入後に出力されるひずみの最大値とした。なお、試験I, II, IIIともに、軸力導入時とした時点から30秒経過した時でも計測を行った。次に、試験IIでは、P1-1, P2-1の固定側のボルト4本において、動ひずみ計を用い、1秒毎に締付け直後(0秒後)から120秒間の軸力を計測し、0秒~120秒間の軸力変動を詳細に調べた。

(3) **リラクセーション試験結果と初期値のあり方の考察**

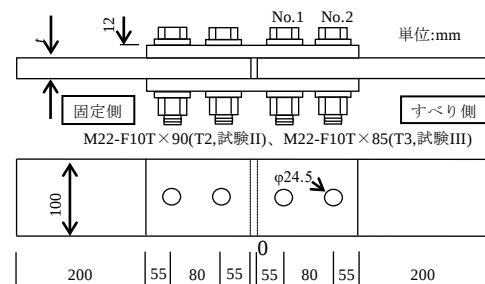
3. リラクセーション試験結果と初期値のあり方の考察

(1) **軸力導入初期(30 秒間)の軸力低下の結果** 図-2 に軸力導入時から 30 秒間の軸力低下値を示し、表-2 にはこれらの集計結果を示す。ここでは、試験 I~III の結果の他に、著者らが以前に実施した試験結果^{1),2),3)}も加え、集計している。図に示すように、多くの摩擦面で回帰直線の傾きは右肩上がりであった。無機ジンクの軸力低下の平均値は 3.5kN であり、道路橋示方書や鉄道構造物等設計標準で示されている粗面状態(赤錆, ブラスト)や無機ジンクでは、軸力低下値は 3.1~3.7kN の範囲にあり、摩擦面による軸力低下に大きな違いは生じなかった。

(2) **初期値の違いによる 672 時間後の軸力残存率の差** 図-3 に初期値の違いによる 672 時間後の軸力残存率の差異を示す。ここでは、軸力導入時を初期値とした Case1 と 30 秒後を初期値とした Case2 の軸力残存率の差(以下、残存率差)を縦軸に示している。なお、試験 I では 558 時間までの計測を実施したが、試験 II,III との整合性をとるため、試験結果の回帰直線を用いて 672 時間後の軸力残存率に補正した値で比較している(文献データも同様)。また、表-2 にはこれらの集計結果を示す。図-3 に示すように、縦軸は図-2 と異なるものの、各データの分布状態や回帰直線はこれとほぼ同じであり、初期(30 秒間)の軸力低下値の影響が 672 時間後の残存率差に表れることが判る。表-2 で示す残存率差の平均値は、グラインダーでは 0.66%pt と小さく、逆に溶射では 4.41%pt と大きく、これらを除けば 1.05~1.49%pt の範囲にあり、摩擦面による残存率差に大きな違いは見られなかった。



(a) T1試験体 (試験I)



(b) T2(t=25:試験II), T3(t=19:試験III)試験体

図-1 試験体形状

キーワード：高力ボルト継手、リラクセーション試験、初期値、軸力低下

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

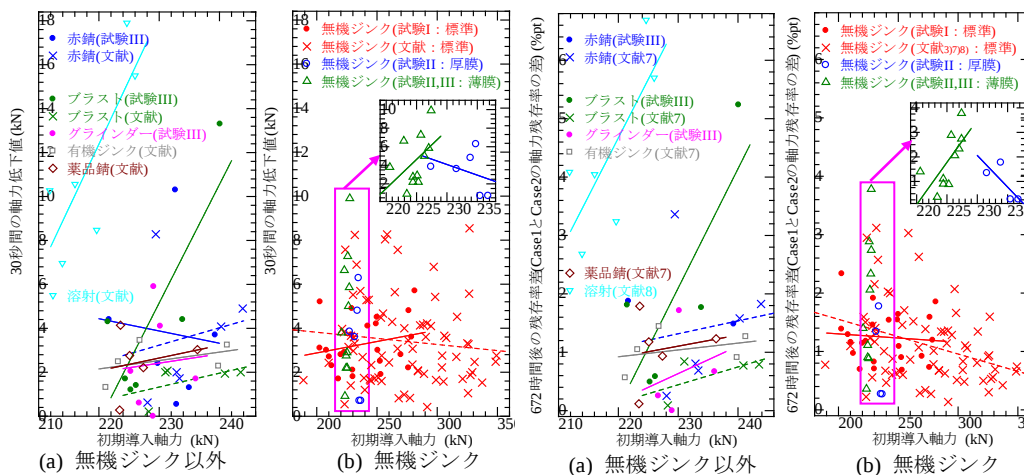


図-2 軸力導入時から30秒間での軸力低下値

図-3 672時間後の残存率差

表-1 軸力導入時から30秒間の影響

摩擦面	数量	軸力低下値(kN)		軸力残存率(%)	
		標準 偏差	平均値	標準 偏差	平均値
赤錆	12	3.02	3.7	1.30	98.4
ブラスト	11	3.59	3.1	1.49	98.7
グラインダー	6	2.23	2.4	0.97	99.0
有機ジンク	5	0.85	2.6	0.36	98.9
薬品錆	5	1.42	2.5	0.63	98.9
溶射	6	4.22	11.6	1.80	94.7
無機ジンク	115	1.96	3.5	0.82	98.6

表-2 残存率差と影響度

摩擦面	数量	残存率差(%)		Case2	影響度 (%)
		標準偏差	平均値	軸力残存率(%)	
赤錆	8	0.96	1.48	93.5	22.9
ブラスト	9	1.55	1.38	95.1	27.9
グラインダー	4	0.76	0.66	95.5	14.6
有機ジंक	5	0.34	1.05	94.4	18.8
薬品錆	5	0.61	1.05	96.3	28.2
溶射	6	1.51	4.41	83.5	26.6
無機ジंक	105	0.72	1.21	91.0	13.4

注) 影響度はCase2の軸力低下率に対する残存率差の割合

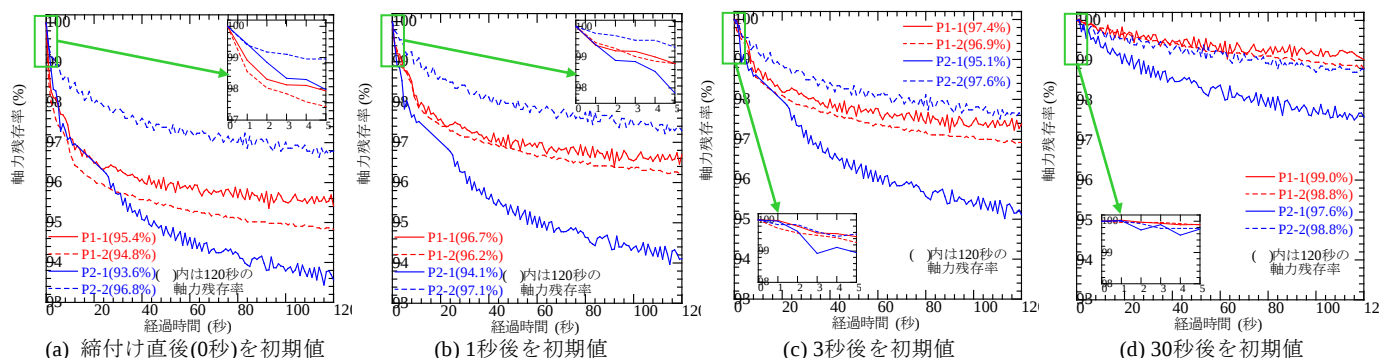


図-4 初期値の設定の違い(0, 1, 3, 30秒後)による120秒後の軸力残存率

(3) 摩擦面の違いによる残存率差が及ぼす影響度 残存率差(表-2)は、赤錆、ブラスト、無機ジンクで、それぞれ 1.48%pt, 1.38%pt, 1.21%pt であり大きな違いは見られなかった。表-2 には Case2 の 672 時間後の軸力残存率およびその影響度(率)を示している。ここで示す影響度は、Case2 の軸力低下率(100-軸力残存率)に対する残存率差の割合である。これらの結果に示すように、赤錆やブラストでは軸力残存率は無機ジンクより高く、残存率差の違いが少なくても影響度が大きいことが判る。赤錆、ブラストおよび無機ジンクの影響度はそれぞれ、22.9%, 27.9%, 13.4%であり、言い換えると、初期値を軸力導入時とするのか、あるいは 30 秒後とするのかにより、リラクセーション試験結果が、例えばブラストでは 27.9%の違いが生じることとなる。

(4) 初期値の設定が試験結果に及ぼす影響の考察 図-4 に試験 II で実施した動ひずみ計測による初期値から 120 秒間の軸力残存率を示す。図-4(a)は締付け直後(0 秒)を初期値とし、同様に、図-4(b)(c)(d)はそれぞれ 1 秒後、3 秒後、30 秒後を初期値とした軸力残存率を示している。図-4(a)に示すように、締付け直後を初期値とした場合、締付けから 3 秒までの軸力低下が大きく、特に 1 秒までが顕著であった。図-4(b)(c)(d)の順に軸力変動のばらつきや 120 秒後の軸力残存率も小さくなっていることが判り、特に図-4(c)の 3 秒後以降は顕著であった。図-4(d)は 30 秒後を初期値とした結果であるが、締付け直後(0 秒)である図-4(a)とは分布状態が大きく異なっている。ただ、軸力の安定性等を考慮し、多くの試験でこの 30 秒後を初期値とした場合で評価されているのが現状である。

(5) リラクセーション試験の初期値のあり方の考察 締付け直後の軸力低下の影響および試験結果のばらつきを抑えることに配慮し、リラクセーション試験の初期値は締付け 3 秒後とすることを推奨する。なお、30 秒後を初期値とする場合には、表-1 で示した初期の軸力低下を考慮した上で試験を実施する必要があると考えられる。また、今後、リラクセーション試験結果を報告する際、初期値の設定方法を示すことが重要であると考えられる。

4. まとめ

初期値を軸力導入時とする場合と 30 秒後とする場合では、リラクセーション試験結果はブラストで 27.9%、無機ジンクでは 13.4%の違いが生じる。本試験結果から判断し、初期値は締付け 3 秒後とすることを推奨する。なお、本研究は鋼橋技術研究会「高力ボルト継手施工部会(部会長：南 邦明)」の活動の一環で行ったものである。

【参考文献】

- 1) 白旗弘実, 南 邦明, 藤野大地, 宮井大輔, 矢野将太, 横田 渉: F10Tを用いた高力ボルト摩擦接合継手におけるナット回転角法の適用の検討, 土木学会論文集A1, Vol. 76, No. 1, pp. 1-14, 2020.1.
- 2) 南 邦明, 田村 洋, 白旗弘実, 内田大介, 吉岡夏樹, 濱 達矢: 高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験におけるすべり発生時の変位量, 土木学会論文集A1, Vol. 75, No. 2, pp. 249-256, 2019.8.
- 3) 天野貴文, 筒井康平, 南 邦明, 横山秀喜, 田村 洋: 仕様が異なる摩擦面を有する高力ボルト継手のすべり挙動, 土木学会第75回年次講演会, 2020.9.