

# リラクゼーション試験の試験期間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

## 1. はじめに

高力ボルト継手のリラクゼーション試験において、試験期間の設定に詳細な指針等はなく、これまで試験実施者の判断で行われてきた。本研究は、リラクゼーション試験における試験期間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ゼーション試験を行い、その結果から試験期間の設定のあり方を示した。

## 2. 試験体の説明およびリラクゼーション試験方法

(1) **試験体の種類および形状** 試験体の種類は表-1に示すように、AシリーズとBシリーズがあり、製作会社が異なるA社とB社の2つの橋梁製作会社で試験体を作成したものである。試験体形状は図-1に示すように、タイプT1とタイプT2を使用し、試験体数はT1で各ケース1体、T2では各ケース3体製作し、合わせて20体を試験に供した。表面処理は溶射面とし、素地調整後、設計膜厚100 $\mu\text{m}$ の擬合金溶射を施した(A, Bシリーズとも同じ条件)。

(2) **ボルトの締付け** F8Tのめっきボルトの締付けは、トルクレンチで一次締め(M22:150N $\cdot\text{m}$ , M24:200N $\cdot\text{m}$ )を行い、本締めはナット回転法を用いて、回転量は著者ら<sup>1)2)</sup>が提案したボルト径(D)の5倍以下のボルト長(L)に対しては回転角90 $^\circ$ 、5倍を超えた場合は回転角100 $^\circ$ でナット回転法専用レンチを用いて締付けた。なお、T2の固定側のボルトはF10Tを用い、トルク法にて226kN(設計ボルト軸力の110%)を目標にトルクレンチで締付けた。

(3) **ボルト軸力のひずみ計測** リラクゼーション試験におけるボルト軸力の計測は、ボルト軸部に2枚のひずみゲージを取り付け、T2の固定側を除くすべてのボルトで合わせて48本のボルトで実施した。

(4) **リラクゼーション試験方法** リラクゼーション試験は、A, Bシリーズともに試験はボルト製造会社で実施し、計測期間は18日(432時間)とした。その際、軸力導入時(初期値)の定義は、締付け直後30秒後とした。なお、AシリーズとBシリーズは同時には行わなかった(A, B社の作業工程上)。

## 3. リラクゼーション試験結果と試験期間のあり方の考察

(1) **リラクゼーション試験結果** 試験結果を表-2に示す。ここでは測定した軸力を初期ボルト軸力で無次元化した軸力残存率を示している。A, Bシリーズともに、締付け直後の軸力低下が著しく、例えばAシリーズでは導入時から10分後には、平均97.4%に軸力が低下し、1時間後には96.1%、さらに1日後には93.1%まで低下した。1日後~2日後間は、A, Bシリーズともに軸力変動は小さく、締付けから24時間が支配的であることが判る。3日後~7日後間では各ボルトにおいて1%程度軸力残存率は低下し、7日後~14日後間では1%を下回る軸力低下であった。さらに、14日後~18日後間でもAシリーズでは平均値では0.3%低下する程度であり、Bシリーズでは変化がなく、むしろ上昇するケースも見られた。上昇した要因として、温度変化の影響と考えられる。18日後の軸力残存率は、Aシリーズで平均90.5%、Bシリーズでは84.9%となった。

(2) **ボルト長および溶射膜厚の影響** A, Bシリーズの両者の違いは、ボルト長や溶射膜厚の影響と考えられた。そこで、図-2には18日後の軸力残存率とボルト長および溶射膜厚の関係を示す。図-2(a)に示すボルト長との関係では、同じシリーズでみればボルト長が小さくなれば軸力残存率も低くなり、Bシリーズで軸力残存率が低かったB22aはボルト長が70mmと小さく、逆に最も軸力残存率が高かったB24bではボルト長は130mmであった。次に、図-2(b)に示す溶射膜厚との関係では、Bシリーズでは膜厚が大きく、Aシリーズより軸力残存率が低くなったものと考えられる。また、同じシリーズ内であれば、膜厚が大きくなれば軸力残存率も低くなった(例えば、A22cやA24c等)。これらの影響は、主に24時間後までに生じており、それ以降についてはその影響は小さい。これらの影響はどの時期まで生じるのかを調べるため、図-3には表-2で示した各経過日数間での軸力残存率の差(残存率差%pt)を示し、その集計結果を表-3に示している。図-3(a)に示す3日後~7日後では、

表-1 試験体の種類、使用材料および膜厚

| 試験体名称 |      | 鋼種     | 板厚(mm) |    | 径・長さ(F8T)               |  | 膜厚平均( $\mu\text{m}$ ) |
|-------|------|--------|--------|----|-------------------------|--|-----------------------|
| Type  |      |        | t      | ts |                         |  |                       |
| Aシリーズ | A22a | SM490Y | 32     | 19 | M22 $\times$ 110 (5.0D) |  | 160                   |
|       | A22b |        | 35     | 19 | M22 $\times$ 115 (5.2D) |  | 122                   |
|       | A24a |        | 35     | 19 | M24 $\times$ 120 (5.0D) |  | 112                   |
|       | A24b |        | 35     | 22 | M24 $\times$ 125 (5.2D) |  | 118                   |
|       | A22c |        | 19     | 12 | M22 $\times$ 85 (3.9D)  |  | 149                   |
|       | A24c |        | 22     | 12 | M24 $\times$ 90 (3.8D)  |  | 140                   |
| Bシリーズ | B22a | SM490  | 10     | 9  | M24 $\times$ 70 (3.2D)  |  | 202                   |
|       | B22b |        | 40     | 22 | M24 $\times$ 125 (5.7D) |  | 188                   |
|       | B24a |        | 10     | 9  | M24 $\times$ 75 (3.1D)  |  | 202                   |
|       | B24b |        | 40     | 22 | M24 $\times$ 130 (5.4D) |  | 200                   |
|       | B22c |        | 22     | 12 | M22 $\times$ 85 (3.9D)  |  | 170                   |
|       | B24c |        | 25     | 16 | M24 $\times$ 100 (4.1D) |  | 171                   |

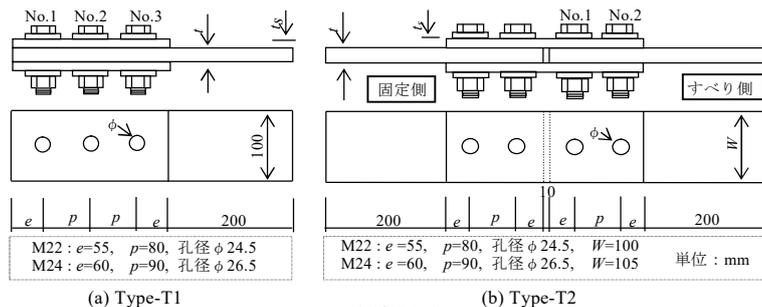


図-1 試験体形状

キーワード：高力ボルト継手、リラクゼーション試験、試験期間、軸力低下

連絡先：〒060-0002 札幌市中央区北2条西1-1 鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局 TEL 011-231-3499

表-2 リラクセーション試験結果

| 試験体名称  | 軸力残存率(%) |      |      |      |      |      |      |      |      | 試験体名称  | 軸力残存率(%) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 1分       | 10分  | 1時間  | 12時  | 1日   | 3日   | 7日   | 14日  | 18日  |        | 1分       | 10分  | 1時間  | 12時  | 1日   | 3日   | 7日   | 14日  | 18日  |
| A22a*  | 99.2     | 97.5 | 96.3 | 93.8 | 93.3 | 92.9 | 91.6 | 90.8 | 90.6 | B22a*  | 98.6     | 95.0 | 90.7 | 86.6 | 86.1 | 84.6 | 83.6 | 82.8 | 82.8 |
| A22b*  | 99.6     | 98.2 | 96.8 | 94.7 | 94.2 | 93.9 | 92.9 | 92.1 | 92.1 | B22b*  | 98.9     | 96.6 | 93.3 | 89.4 | 89.0 | 88.0 | 87.3 | 86.5 | 86.5 |
| A24a*  | 99.2     | 97.3 | 96.0 | 93.4 | 92.9 | 92.5 | 91.4 | 90.5 | 90.2 | B24a*  | 98.6     | 95.3 | 90.5 | 87.8 | 86.3 | 84.6 | 83.8 | 83.1 | 84.0 |
| A24b*  | 99.2     | 97.9 | 97.1 | 95.2 | 94.8 | 94.7 | 93.6 | 93.1 | 93.0 | B24b*  | 99.0     | 96.8 | 92.9 | 90.5 | 89.3 | 87.8 | 87.4 | 86.8 | 87.0 |
| A22c** | 99.5     | 96.7 | 95.3 | 92.3 | 91.8 | 91.4 | 89.9 | 89.0 | 88.6 | B22c** | 98.4     | 95.9 | 90.8 | 88.8 | 86.4 | 84.7 | 84.3 | 83.7 | 83.7 |
| A24c** | 98.7     | 97.4 | 96.1 | 93.6 | 93.0 | 92.7 | 91.5 | 90.8 | 90.6 | B24c** | 99.3     | -    | 91.9 | 90.2 | 87.8 | 86.1 | 85.6 | 85.0 | 85.7 |
| 平均値    | 99.2     | 97.4 | 96.1 | 93.6 | 93.1 | 92.8 | 91.5 | 90.8 | 90.5 | 平均値    | 98.8     | 95.9 | 91.6 | 89.0 | 87.4 | 85.8 | 85.2 | 84.6 | 84.9 |

注) \*は3本の平均値。 \*\*は6本の平均値。

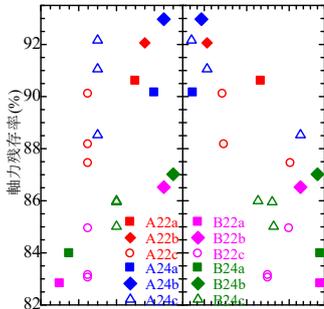


図-2 18日後の軸力残存率

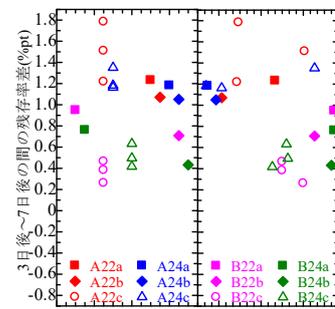


図-3(a) 3日後～7日後(4日間)の残存率差

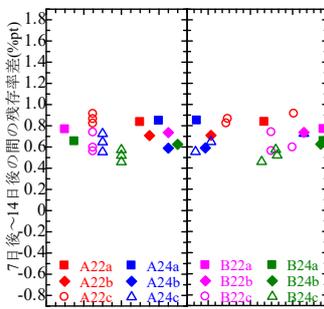


図-3(b) 7日後～14日後(7日間)の残存率差

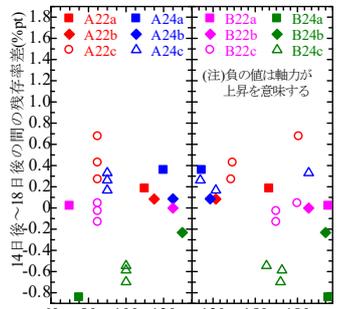


図-3(c) 14日後～18日後(4日間)の残存率差

図-3 各経過時間の間での軸力残存率の差(残存率差)(%pt)

同じシリーズ内であれば、ボルト長が短くなれば、また膜厚が厚くなれば、残存率差は若干ではあるが大きくなった。しかしながら、図-3(b)に示す7日後～14日後ではボルト長や膜厚の影響は見られず、この間の残存率差の平均値は、Aシリーズで0.75%pt、Bシリーズでは0.63%ptであった。図-3(c)に示すように、14日を超えれば残存率差はさらに小さく、Aシリーズで0.27%pt、Bシリーズでは-0.29%ptとむしろ負の残存率差(軸力が上昇)であった。

(3) 文献データとの比較 1週間以降の軸力低下の詳細を調べるため、著者が過去に実施した溶射の試験データ<sup>1),2),3)</sup>も含め、試験期間の影響を考察することとした。文献データの集計結果を表-4に示す。本試験データと文献データを比較すると、7日後～14日後の残存率差の平均値は、本試験のA、Bシリーズでそれぞれ0.75%pt、0.63%pt、文献データでは0.71%ptであり、ほとんど違いは見られなかった。14日後～18日後の残存率差では、本試験のBシリーズは温度変化の影響等が生じたのでAシリーズでのみ比較すると、本試験では0.27%pt、文献データでは0.28%ptとほぼ一致した。また、本試験では実施しなかった18日後～30日後の文献データにおける残存率差は0.32%ptであり、この12日間と14日後～18日後の4日間での軸力低下率はほぼ同じであった。

(4) 試験期間のあり方の考察 リラクセーションによる軸力の低下は、ボルト締付け後24時間までが支配的であるが、1週間後までは徐々に軸力の低下は認められ、また、ボルト長や膜厚の影響も受ける。このため、少なくとも1週間は試験を行う必要があると考えられる。1週間を超えれば軸力低下は小さく、また、ボルト長や膜厚の影響はほとんど生じないが、表-4で示したように7日後～14日後間では平均0.71%pt(残存率差)の軸力が低下する。ただし、14日を超えれば軸力低下は非常に小さく、むしろ温度変化等の影響が大きく生じる場合もある。以上を踏まえ、リラクセーション試験は2週間行っておけばよいと考えられる。

4. まとめ

ボルト継手のリラクセーション特性は、試験期間1週間程度で概ね把握することができるが、その後も微量であるが軸力は低下する。ただし、14日を超えれば軸力低下は非常に小さい。以上を踏まえ、リラクセーション試験は2週間、あるいはそれ以上行うことを推奨する。

【参考文献】

- 1) 南 邦明, 齊藤雅充, 横山秀喜, 杉本一朗, 能島隆男, 増永寿彦, 長崎英二: 亜鉛アルミ擬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, 齊藤雅充, 村上貴紀: 金属溶射を施したフィラープレートを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, 2019.11

表-3 各計測期間の残存率差(%pt)

| 試験体名称 | 残存率差(%pt) |        |         | 試験体名称 | 残存率差(%pt) |        |         |
|-------|-----------|--------|---------|-------|-----------|--------|---------|
|       | 3～7日後     | 7～14日後 | 14～18日後 |       | 3～7日後     | 7～14日後 | 14～18日後 |
| A22a  | 1.23      | 0.84   | 0.18    | B22a  | 0.95      | 0.77   | 0.02    |
| A22b  | 1.07      | 0.71   | 0.08    | B22b  | 0.71      | 0.74   | 0.00    |
| A24a  | 1.18      | 0.85   | 0.36    | B24a  | 0.76      | 0.65   | -0.84   |
| A24b  | 1.05      | 0.59   | 0.09    | B24b  | 0.43      | 0.62   | -0.23   |
| A22c  | 1.50      | 0.87   | 0.46    | B22c  | 0.37      | 0.63   | -0.04   |
| A24c  | 1.23      | 0.64   | 0.25    | B24c  | 0.52      | 0.52   | -0.61   |
| 平均値   | 1.25      | 0.75   | 0.27    | 平均値   | 0.58      | 0.63   | -0.29   |

注) 残存率差とは各期間の軸力残存率の差

表-4 文献データの残存率差(%pt)

| 文献番号    | 計測期間 | ボルト種別 |        | 数量 | 18日後軸力残存率(%) | 各期間の残存率差 |         |         |
|---------|------|-------|--------|----|--------------|----------|---------|---------|
|         |      | 径     | 長さ(mm) |    |              | 7～14日後   | 14～18日後 | 18～30日後 |
| 文献1)    | 30日  | M22   | 70     | 6  | 86.0         | 0.54     | 0.12    | -0.07   |
|         |      |       | 105    | 6  | 88.5         | 0.43     | -0.03   | 0.14    |
|         |      |       | 140    | 6  | 89.9         | 0.54     | 0.29    | 0.01    |
|         |      | M24   | 75     | 6  | 87.6         | 0.45     | 0.07    | 0.14    |
|         |      |       | 110    | 6  | 87.8         | 0.69     | 0.24    | 0.10    |
| 文献2)    | 30日  | M22   | 85     | 36 | 86.6         | 1.11     | 0.23    | 0.76    |
|         |      |       | 110    | 9  | 86.4         | 0.72     | 0.22    | -0.62   |
|         |      |       | 120    | 9  | 88.4         | 0.59     | 0.29    | -0.55   |
|         |      | M24   | 150    | 9  | 87.8         | 0.65     | 0.23    | -0.76   |
|         |      |       | 90     | 15 | 83.3         | 0.76     | 0.38    | 0.56    |
| 文献3)    | 28日  | M22   | 110    | 15 | 84.4         | 0.69     | 0.33    | 0.58    |
|         |      |       | 140    | 15 | 86.1         | 0.62     | 0.24    | 0.46    |
|         |      |       | 95     | 15 | 84.8         | 0.63     | 0.34    | 0.54    |
|         |      | M24   | 120    | 15 | 85.2         | 0.59     | 0.43    | 0.53    |
|         |      |       | 150    | 15 | 86.4         | 0.50     | 0.40    | 0.60    |
| 平均値(溶射) |      |       |        |    | 86.3         | 0.71     | 0.28    | 0.32    |