

母板と連結板で接触面仕様が異なる高力ボルト継手の適用性

長大 正会員 ○茂呂 充  
横浜国立大学 正会員 田村 洋  
鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明  
駒井ハルテック 正会員 吉岡 夏樹

1. はじめに

高力ボルト摩擦接合継手においては、継手ごとに統一された接触面仕様とすることが原則となっている。しかしながら、母板と連結板で接触面仕様が異なる異種接合面継手（以下、異種接触型、図1）が適用できれば、橋りょうの補修工事等において連結板（工場製作）と異なる現場施工性の高い仕様が既存の母板接触面に採用することができる。異種接触型の継手の適用性に関する報告はいくつかあるが<sup>1)~5)</sup>、本研究ではボルト締付け後の軸力推移にも着目するとともに種々の条件に対して更なる実験データの取得を行った。そして先行研究の結果も引用して異種接触型の継手の適用性について考察した。

2. 試験体とその製作状況

試験体の形状と寸法を図2に示す。母板と連結板にはSM490Y、高力ボルトにはF10T（M22）を使用し、すべり先行となるよう設計した。試験体は、異種接触型3種類に、接触面仕様が同一（非異種）の継手の4種類を比較用に加えた計7種類（表1）とし、各種類3体ずつを試験に供した。連結板の接触面は工場製作を想定して無機ジンク（無機ジンクリッチペイント）、母板の接触面は現場施工性の高い仕様として、縦回転式（縦回転式動力工具による接触面仕上げ）、有機ジンク（高摩擦型ではなく一般の有機ジンクリッチペイント）、赤さび（薬）（さび促進剤による赤さび）とした。導入ボルト軸力は設計ボルト軸力（205kN）に対して1割増しを目標とした。

3. ボルト軸力推移とすべり係数

各試験体におけるボルト軸力推移とすべり係数を把握するため、リラクセーション試験とすべり耐力試験を実施した。

リラクセーション試験はボルト締付け時点から28日間継続して行った。対象のボルトは試験体すべり側のボルトとし、軸部のひずみによって導入ボルト軸力とその推移を測定した。試験結果として、表2に導入軸力（締付けから約30秒後のボルト軸力）と軸力残存率（導入軸力に対する28日後の残存軸力の比率）を示す。同表の通り、異種接触型の試験体の軸力残存率は、縦回転式や有機ジンク、赤さび（薬）のみの試験体を下回る傾向はあったが、無機ジンクのみ試験体以上の値であった。この傾向はそれ以降も続くかと推測され、異種接触型の継手における軸力低下は無機ジンクのみ継手における軸力低下より小さいものと考えられる。

すべり耐力試験はリラクセーション試験の後に行った。载荷には载荷能力1000kNの万能試験機を用い2kN/s程度の速度で引張荷重を増加させ、サンプリング・レート100Hzですべり耐力を測定した。試験結果を表3に示す。同表の通り、得られたすべり係数（ $\mu_2$ ：ボルト軸力＝試験直前の残存軸力）は、縦回転式または赤さび（薬）を含

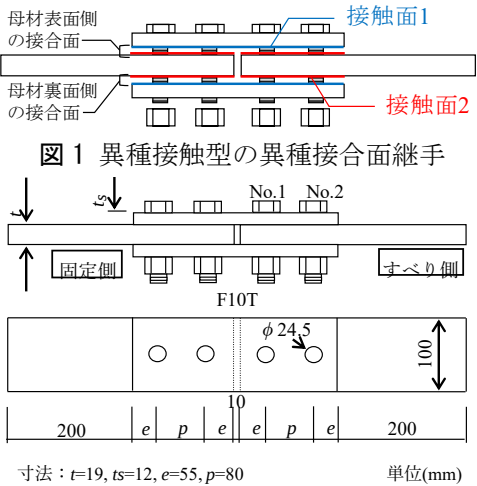


図2 試験体の形状と寸法

表1 試験体と接触面

| 試験体   | 接触面       |         |       |
|-------|-----------|---------|-------|
|       | 項目        | 母板      | 連結板   |
| C-v-1 | 仕様        | 縦回転式    | 無機ジンク |
| C-v-2 | 表面粗さ (Ra) | 5.72    | 5.82  |
| C-v-3 | 塗膜厚またはさび厚 | -       | 83.3  |
| C-o-1 | 仕様        | 有機ジンク   | 無機ジンク |
| C-o-2 | 表面粗さ (Ra) | 1.91    | 5.77  |
| C-o-3 | 塗膜厚またはさび厚 | 101     | 83.6  |
| C-a-1 | 仕様        | 赤さび (薬) | 無機ジンク |
| C-a-2 | 表面粗さ (Ra) | 3.93    | 5.91  |
| C-a-3 | 塗膜厚またはさび厚 | 19.5    | 77.4  |
| H-v-1 | 仕様        | 縦回転式    |       |
| H-v-2 | 表面粗さ (Ra) | 3.20    |       |
| H-v-3 | 塗膜厚またはさび厚 | -       |       |
| H-i-1 | 仕様        | 無機ジンク   |       |
| H-i-2 | 表面粗さ (Ra) | 5.40    |       |
| H-i-3 | 塗膜厚またはさび厚 | 81.8    |       |
| H-o-1 | 仕様        | 有機ジンク   |       |
| H-o-2 | 表面粗さ (Ra) | 2.05    |       |
| H-o-3 | 塗膜厚またはさび厚 | 87.0    |       |
| H-a-1 | 仕様        | 赤さび (薬) |       |
| H-a-2 | 表面粗さ (Ra) | 3.59    |       |
| H-a-3 | 塗膜厚またはさび厚 | 19.8    |       |

表面粗さ、塗膜厚、さび厚はいずれもボルト孔周りの平均値[μm]

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手、異種接合面継手、接触面、軸力低下、すべり係数  
連絡先 〒111-0041 東京都台東区元浅草 2-6-6 長大 構造事業本部 第一構造事業部 TEL 03-6860-5976

む異種接触型の試験体においては 0.50 以上の高い値であった。有機ジンクを含む場合は 0.40 程度の低いすべり係数であった。

4. 異種接触型の異種接合面継手の適用性

図 3 では、文献<sup>1)5)</sup>の結果と併せて、異種接触型の試験体のすべり係数と、それと同じ接触面仕様で施工された非異種の試験体におけるすべり係数（以下、基準すべり係数）を示している。

異種接触型のすべり係数を基準すべり係数（無機ジンク）と平均値で比較すると、縦回転式を含む場合では、本試験結果が 0.05 未満の差、丹波らの結果<sup>2)</sup>が 0.10 未満の差となっている。赤さび（薬）を含む場合では、本多らの結果<sup>4)</sup>においては平均値が基準すべり係数（無機ジンク）より 0.15 以上低い値ではあるが 0.57 以上の値となっている。これら 2 種類の異種接触型ではボルト軸力の低下が無機ジンクのみの継手より小さいと考えられること、道路橋示方書では無機ジンクの設計すべり係数が 0.45 と規定されていることも踏まえると、縦回転式または赤さび（薬）を含む異種接触型は 0.40 程度の設計すべり係数の下で適用してもよいと考えられる。

ブラストを含む場合では、橋本らの結果<sup>3)</sup>において平均値が基準すべり係数（無機ジンク）より 0.20 以上低い値であるが、母板が耐候性鋼材であり基準すべり係数（ブラスト）も 0.43 と低いことからブラスト前の発せい状況が影響した可能性がある。ブラストを含む異種接触型も 0.40 程度の設計すべり係数の下で適用できる可能性はあると考えられるが、上述の発せい状況が影響した可能性やボルト軸力の低下が無機ジンクのみの継手より小さいことを確認しておくのが望ましいと考えられる。

有機ジンクを含む場合については得られたすべり係数が小さかったため、今後は高摩擦型の塗料で検討するのが妥当と考えられる。

5. おわりに

本研究では、異種接触型の異種接合面継手を対象とした試験結果からその適用性を検討した。その結果から、縦回転式または赤さび（薬）を含む継手は 0.40 程度の設計すべり係数の下で適用してもよいと考えられること、ブラストを含む継手も 0.40 程度の設計すべり係数の下で適用できる可能性があることを述べた。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）」の活動の一環で実施されたものである。また、試験の実施にあたっては東京工業大学（学生）の平尾賢生氏の協力を賜りました。ここに記して各位に謝意を表します。

参考文献

1) 丹波寛夫ほか、無機ジンクリッチペイント面とそれと異なる接合面処理された高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験、構造工学論文集, Vol. 58A, pp. 803-813, 2012.  
2) 丹波寛夫ほか、接合面が鋼材粗面と無機ジンクリッチペイント面の高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の提案、土木学会論文集 A1, Vol. 70, No. 1, pp. 137-149, 2014.  
3) 橋本国太郎ほか、経年無塗装耐候性鋼材を用いた異種接合面を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数に関する実験的研究、構造工学論文集, Vol. 60A, pp. 632-641, 2014.  
4) 本多克行ほか、既設構造物の高力ボルト摩擦接合継手接合面への改良した錆促進剤の適用に関する検討、構造工学論文集, Vol. 64A, pp. 491-502, 2018.  
5) 吉岡夏樹ほか、錆促進剤塗布後の曝露期間に着目した高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験、駒井ハルテック技報, Vol. 8, pp. 39-46, 2019.

表 2 リラクゼーション試験結果

| 試験体   | 導入軸力[kN] |          | 28日後の軸力残存率[%] |          |      |
|-------|----------|----------|---------------|----------|------|
|       | No. 1ボルト | No. 2ボルト | No. 1ボルト      | No. 2ボルト | 3体平均 |
| C-v-1 | 220      | 231      | 92.3          | 92.7     | 92.4 |
| C-v-2 | 223      | 227      | 92.6          | 92.0     |      |
| C-v-3 | 218      | 230      | 92.4          | ×        |      |
| C-o-1 | 232      | 225      | 91.2          | 92.0     | 91.5 |
| C-o-2 | 234      | 223      | 92.2          | 92.0     |      |
| C-o-3 | 222      | 247      | 90.8          | ×        |      |
| C-a-1 | 229      | 216      | ×             | 91.7     | 92.2 |
| C-a-2 | 231      | 235      | 92.9          | 92.5     |      |
| C-a-3 | 231      | 226      | 92.0          | 92.7     |      |
| H-v-1 | 218      | 230      | 97.6          | 97.2     | 97.4 |
| H-v-2 | 241      | 227      | 97.4          | ×        |      |
| H-v-3 | 225      | 229      | 97.4          | 97.4     |      |
| H-i-1 | 227      | 225      | 90.6          | 90.3     | 90.4 |
| H-i-2 | 223      | 227      | 91.0          | ×        |      |
| H-i-3 | 225      | 235      | 90.2          | 89.2     |      |
| H-o-1 | 225      | 221      | 93.0          | 94.9     | 94.5 |
| H-o-2 | 223      | 220      | 94.6          | 95.2     |      |
| H-o-3 | 238      | 238      | ×             | 94.6     |      |
| H-a-1 | 233      | 225      | 96.1          | 96.2     | 96.3 |
| H-a-2 | 223      | 219      | 95.9          | 96.6     |      |
| H-a-3 | 231      | 222      | 96.8          | 96.4     |      |

×は計測上の不具合につき評価できなかった値であることを示す

表 3 すべり耐力試験結果

| 試験体   | すべり耐力[kN] | すべり係数 $\mu_2$ |      |
|-------|-----------|---------------|------|
|       |           | 試験体ごと         | 3体平均 |
| C-v-1 | 466       | 0.56          | 0.54 |
| C-v-2 | 426       | 0.51          |      |
| C-v-3 | 451       | 0.56          |      |
| C-o-1 | 333       | 0.40          | 0.40 |
| C-o-2 | 331       | 0.40          |      |
| C-o-3 | 323       | 0.40          |      |
| C-a-1 | 487       | 0.62          | 0.59 |
| C-a-2 | 489       | 0.57          |      |
| C-a-3 | 484       | 0.57          |      |
| H-v-1 | 415       | 0.48          | 0.46 |
| H-v-2 | 335       | 0.37          |      |
| H-v-3 | 457       | 0.52          |      |
| H-i-1 | 464       | 0.57          | 0.60 |
| H-i-2 | 508       | 0.63          |      |
| H-i-3 | 496       | 0.60          |      |
| H-o-1 | 263       | 0.32          | 0.30 |
| H-o-2 | 262       | 0.31          |      |
| H-o-3 | 241       | 0.27          |      |
| H-a-1 | 653       | 0.74          | 0.75 |
| H-a-2 | 648       | 0.76          |      |
| H-a-3 | 643       | 0.74          |      |

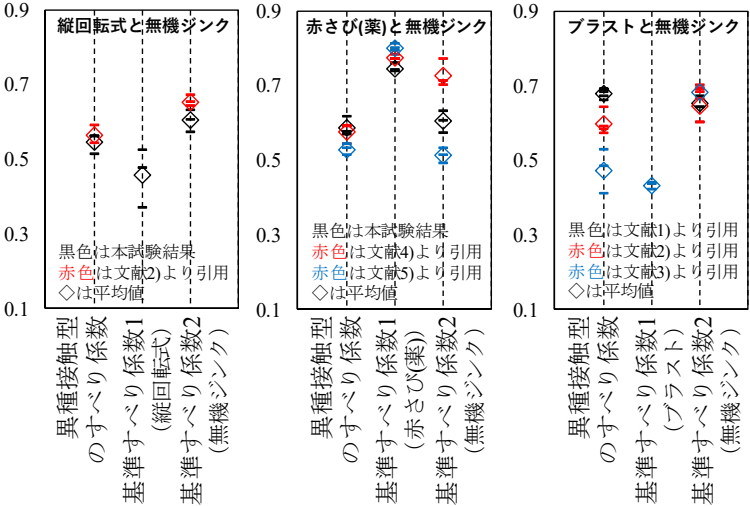


図 3 すべり係数 $\mu_2$ の比較