

# 高力ボルト摩擦接合継手への さび促進剤の適用に関する検討～現場施工試験～

## STUDY ON APPLICATION OF IMPROVED RUST ACCELERATOR TO FRICTIONAL JOINTS WITH HIGH STRENGTH BOLTS

吉岡 夏樹\* 橘 肇\*\*  
Natsuki Yoshioka Hajime Tachibana

道路橋示方書<sup>1)</sup>には、既設鋼構造物の補修・補強に高力ボルト摩擦接合を用いて部材を取り付ける場合の摩擦接合面の処理方法が明記されていない。既設鋼構造物の防食に塗装が用いられている場合、動力工具等を用いて表面の素地調整処理を行うが、設計で想定されるすべり係数を確保できない可能性がある。より確実な施工のため、既設鋼構造物の現場ブラスト等による素地調整処理の採用も考えられるが、工費、施工時間(工期)および現場周辺への影響(粉塵、騒音等)等が課題となる。そこで本研究では、既設構造物の表面にさび促進剤を塗布し、赤さびを発生させる接合面処理方法の適用を目的とし、改良したさび促進剤を用いて性能確認試験を実施した。鋼道路橋の拡幅工事において、さび促進剤を塗布して接合面を発せいさせた高力ボルト摩擦接合継手の力学性能および維持管理性の検証を行うため、各種施工試験を実施し、その結果を報告する。

キーワード：高力ボルト摩擦接合，さび促進剤，補修・補強，すべり係数

### 1. 研究背景と目的

建築分野の摩擦接合面処理方法は、発せい処理もしくはブラスト処理のいずれかの方法が規定されている<sup>2)</sup>。発せい処理では動力工具等を用いて、鋼板摩擦接合面の黒皮を除去し、自然放置して赤さびを発生させるか、薬剤を塗布して赤さびを発生させる。後者は、特に工程を急ぐ場合に適用され、工場製作段階において、動力工具等を用いて鋼板表面の黒皮を除去した後、さび促進剤を塗布することで赤さびが発生し、すべり係数が確保できる。一方、土木分野での摩擦接合面処理方法は、製鋼工場にて塗布されたプライマーを製作工場でブラスト処理にて粗面とするか、その粗面に無機ジンクリッチペイントを塗装することとなっている。これは工場製作段階の接合面状態を維持すること、現場での浮きさび等の除去作業が困難であること、接合面の塗装が完成後の防食上の弱点になりやすいことから規定されている。

既設鋼構造物の表面は、防食のため塗装がされており、動力工具等を用いて既設部材の塗装を除去した場合、接合面を平滑に仕上げるので、設計で求められているすべり係数を確保できない可能性がある。そこで建築分野と同様に既設部材の接合面にさび促進剤を塗布し、赤さびを発生させる接合面処理方法の採用が考えられる。ただ

し、既設の土木鋼構造物の表面は塗装されているため、建築分野で用いられているさび促進剤を用いて赤さびを発生させる素地調整方法などが確立されておらず、土木分野での適用事例はない。本研究では、さび促進剤を塗布し、赤さびを発生させる接合面処理方法を適用するため、我が社が昨年度までに改良したさび促進剤ヒットロック K(以下、ヒットロック K)を用いて曝露試験、すべり試験および切断試験等を行った。本稿では、鋼道路橋の拡幅工事にて、ヒットロック K を塗布して接合面に発せいさせた高力ボルト摩擦接合継手の力学性能および維持管理性の検証を行うため、次の(1)～(4)の施工試験を実施し、その結果を報告する。

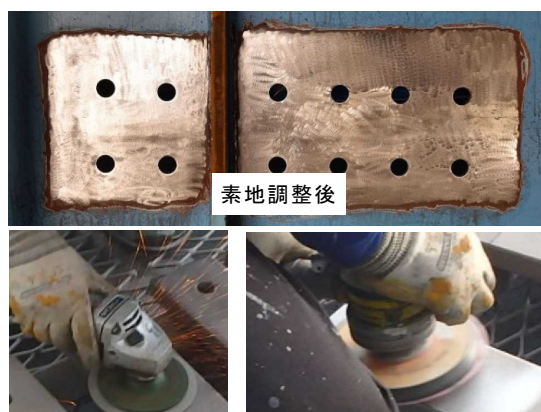
- (1)実橋と同条件で施工した試験体を用いたすべり試験
- (2)既設主桁腹板の新設ガセットを取り付ける高力ボルト摩擦接合継手部でのリラクセーション試験
- (3)高力ボルト締め付け後の接合面内におけるさび量の変化を確認するための小型試験片を用いた暴露試験
- (4)(2)の試験箇所において、ヒットロック K のさびが塗装などに影響を与えないか、目視による経過観察

### 2. 施工方法

2018 年度版建築工事仕様書<sup>2)</sup>では、摩擦面の処理とし

\* 生産技術本部 橋梁設計部 東京設計課

\*\*生産技術本部 技術研究部



左：ディスクグラインダ，右：ダブルアクション  
(別試験体)

- ①ディスクグラインダを使用し，塗膜を除去する。  
②ダブルアクションを使用し，塗膜の除去および研磨をする。



- ③脱脂洗浄剤を使用し，塗布範囲の粉塵，汚れ等を除去する。  
④塗布範囲外を養生テープ等でマスキングする。  
⑤さび促進剤ヒットロック K を刷毛にて塗布する。初期発せ  
いを確認後，もう一度塗布する。(100g/m<sup>2</sup> x 2 回塗布)



- ⑥24時間暴露し完了。

図-1 施工手順

表-1 試験体の構造諸元

| 構造諸元             |                   |            |            |                |                   |                  |
|------------------|-------------------|------------|------------|----------------|-------------------|------------------|
| 母板<br>板厚<br>(mm) | 連結板<br>板厚<br>(mm) | 板幅<br>(mm) | 孔径<br>(mm) | 母板降伏<br>耐力(kN) | すべり<br>耐力<br>(kN) | すべり<br>降伏<br>耐力比 |
| 28               | 16                | 100        | 24.5       | 750            | 328               | 0.437            |

表-3 表面粗さおよびさび厚計測結果

|                        |    | 表面粗さ平均値(μm) |     |       |                                      |      |       |            |      |       | さび厚(μm) |      |      | 計測点数             |    |
|------------------------|----|-------------|-----|-------|--------------------------------------|------|-------|------------|------|-------|---------|------|------|------------------|----|
|                        |    | ①素地調整後      |     |       | ②発せい(24時間)後<br>もしくはブリストル<br>プラスター施工後 |      |       | 増加率<br>②/① |      |       | 平均      | 最大   | 最小   |                  |    |
|                        |    |             |     |       |                                      |      |       |            |      |       |         |      |      |                  |    |
|                        |    | Ra          | Rz  | RzJIS | Ra                                   | Rz   | RzJIS | Ra         | Rz   | RzJIS |         |      |      |                  |    |
| (1)すべり試験               | NZ | 1.1         | 5.7 | 6.6   | -                                    | -    | -     | -          | -    | -     | -       | -    | -    | 96               |    |
|                        | RZ | 0.8         | 4.3 | 3.2   | 2.1                                  | 10.7 | 9.0   | 2.59       | 2.49 | 2.80  | 8.0     | 11.7 | 5.4  | 96               |    |
|                        | BZ | -           | -   | -     | 3.7                                  | 18.6 | 17.3  | -          | -    | -     | -       | -    | -    | 96               |    |
| (2)既設主桁腹板              |    | 1.8         | 8.7 | 17.2  | 2.6                                  | 12.5 | 8.6   | 1.41       | 1.43 | 0.50  | 12.5    | 15.0 | 10.3 | 表面粗さ:10<br>錆厚:25 |    |
| <参考>既往試験 <sup>3)</sup> |    | RZ24        | 1.5 | 10.5  | 7.0                                  | 3.6  | 22.9  | 18.1       | 2.40 | 2.18  | 2.59    | 12.6 | 17.4 | 10.1             | 96 |

て，自然発せいおよびブラスト処理に加えて，薬剤発せ  
いが追加された．摩擦面の処理方法はこれに準拠した．

本試験で実施した施工手順を図-1 に示す．

### 3. すべり試験

#### 3.1 試験方法

試験体形状は2面摩擦接合継手の標準試験体とする．

表-1 に試験体の構造諸元，表-2 に試験ケースおよび接合  
面処理方法を示す．ヒットロック K を塗布する試験体以  
外に比較ケースとして，母板の接合面処理を無機ジンク  
リッチペイント 75μm(以下，無機ジンク)，動力工具によ  
る素地調整のみ(以下，素地調整)，ブリストルプラスター  
(以下，ブリストル)とした試験体を作成した．ヒット  
ロック K，素地調整およびブリストルの母板には試験施  
工を行う橋梁の塗装系である A-1 塗装系の下塗り塗装  
(エッチングプライマー)を塗布した．実橋と同条件で試  
験体(12 体)を約 30 日間現場暴露した後，室内実験室にて  
すべり試験を行った．計測項目は，表面粗さ，塗装膜厚，  
ボルト軸力，すべり荷重，母板間および母板連結板間の  
相対変位とした．

#### 3.2 表面粗さおよびさび厚計測

測定項目は表面粗さ(Ra, Rz, Rz/JIS)およびさび厚とし，  
表面粗さの測定には表面粗さ測定機(株)ミットヨ製：  
SJ-210)を，さび厚の測定には電磁式膜厚計(株)サンコウ電  
子研究所製：SWT-8000 II)を用いた．表面粗さ測定の基  
準長さは JIS B 0601-2001 に基づき，2.5mm とした．表面  
粗さおよびさび厚の測定箇所はボルト孔周り 4 点とし，

表-2 試験ケースと接合面処理

| ケース名 | 接合面処理                  |                       | 試験体数 |
|------|------------------------|-----------------------|------|
|      | 母板側                    | 連結板側                  |      |
| RZ   | 素地調整+さび促進剤<br>ヒットロック K | 無機ジンクリッチ<br>ペイント 75μm | 3    |
| NZ   | 素地調整                   | 無機ジンクリッチ<br>ペイント 75μm | 3    |
| ZZ   | 無機ジンクリッチ<br>ペイント 75μm  | 無機ジンクリッチ<br>ペイント 75μm | 3    |
| BZ   | 素地調整+ブリストル<br>プラスター    | 無機ジンクリッチ<br>ペイント 75μm | 3    |

母板は両面、連結板は接合面のみ測定を行った。表面粗さは1点につき1回、さび厚は1点につき5回測定した。

ヒットロック K 塗布前後の表面粗さおよびさび厚の計測結果を表-3 に示す。表には4節のリラクセーション試験計測箇所の結果および既往試験結果<sup>3)</sup>を併記した。

発せい後の表面粗さおよびさび厚は既往試験と比べ微減しているが、表面粗さの増加率は同等であった。

### 3.3 試験結果

すべり試験結果を表-4 に示す。すべり係数は文献 4) に従い、試験前軸力から算出した値を示す。施工から約 30 日経過時点において、ヒットロック K を塗布した試験体の高力ボルト軸力の低下率は平均 7.3%で、その他の試験体も高力ボルト軸力の低下率は 10%以下であった。すべり試験で得られたすべり係数はヒットロック K を塗布した試験体(RZ)の平均 0.56, 最小 0.54 で、既往試験結果<sup>3)</sup>(0.57)と同等となり、またすべり係数 0.4 以上であった。その他の試験体のすべり係数はそれぞれ平均で、無機ジンク(ZZ) : 0.65, 素地調整(NZ) : 0.32, ブリストル(BZ) : 0.56 であった。

## 4. リラクセーション試験

### 4.1 試験方法

実橋で施工する高力ボルトにひずみゲージを貼り付け、導入軸力の変動を計測した。導入軸力を確認する部位を図-2 に示す。施工箇所は端支点上の横構仕口部である。

### 4.2 表面粗さおよびさび厚計測

既往試験結果<sup>3)</sup>と比べ、発せい後の表面粗さおよびその増加率ともに微減し、さび厚は同等であった。

また、該当部のすべり係数は表面粗さおよびさび厚が

表-4 ボルト軸力およびすべり試験の結果一覧

| 試験体 | ボルト  | 導入<br>ボルト<br>軸力 | 試験前<br>ボルト<br>軸力 | 試験前<br>ボルト軸力<br>(平均) | 軸力<br>減少率 | 軸力<br>減少率<br>(平均) | すべり<br>荷重 | すべり係数 |      |
|-----|------|-----------------|------------------|----------------------|-----------|-------------------|-----------|-------|------|
|     |      | kN              | kN               | kN                   | %         | %                 | kN        | μ     | 平均   |
| RZ  | 1 内側 | 206.3           | 191.5            | 191.1                | 7.2       | 7.3               | 430.7     | 0.56  | 0.56 |
|     | 1 外側 | 207.2           | 190.8            |                      | 7.9       |                   |           |       |      |
|     | 2 内側 | 216.2           | 199.4            | 203.2                | 7.8       |                   | 455.3     | 0.56  |      |
|     | 2 外側 | 222.2           | 207.0            |                      | 6.8       |                   |           |       |      |
|     | 3 内側 | 228.4           | 212.6            | 212.6                | 6.9       |                   | 462.3     | 0.54  |      |
|     | 3 外側 | 203.3           | -                |                      | -         |                   |           |       |      |
| NZ  | 1 内側 | 211.4           | 195.9            | 198.2                | 7.4       | 7.5               | 249.0     | 0.31  | 0.32 |
|     | 1 外側 | 217.7           | 200.5            |                      | 7.9       |                   |           |       |      |
|     | 2 内側 | 203.7           | 185.5            | 187.6                | 8.9       |                   | 257.4     | 0.34  |      |
|     | 2 外側 | 203.7           | 189.6            |                      | 6.9       |                   |           |       |      |
|     | 3 内側 | 203.9           | 190.5            | 199.3                | 6.6       |                   | 252.2     | 0.32  |      |
|     | 3 外側 | 224.4           | 208.2            |                      | 7.2       |                   |           |       |      |
| ZZ  | 1 内側 | 213.6           | 193.5            | 191.1                | 9.4       | 9.9               | 508.1     | 0.66  | 0.65 |
|     | 1 外側 | 210.6           | 188.6            |                      | 10.4      |                   |           |       |      |
|     | 2 内側 | 218.0           | 198.5            | 196.0                | 9.0       |                   | 510.3     | 0.65  |      |
|     | 2 外側 | 217.1           | 193.5            |                      | 10.9      |                   |           |       |      |
|     | 3 内側 | 217.0           | 195.1            | 189.0                | 15.6      |                   | 481.9     | 0.64  |      |
|     | 3 外側 | 202.9           | 183.0            |                      | 3.9       |                   |           |       |      |
| BZ  | 1 内側 | 228.6           | 205.9            | 209.6                | 9.9       | 8.2               | 463.3     | 0.55  | 0.56 |
|     | 1 外側 | 231.4           | 213.4            |                      | 7.8       |                   |           |       |      |
|     | 2 内側 | 225.4           | 209.2            | 209.5                | 7.2       |                   | 416.4     | 0.50  |      |
|     | 2 外側 | 226.1           | 209.9            |                      | 7.2       |                   |           |       |      |
|     | 3 内側 | 218.1           | 199.4            | 193.7                | 8.6       |                   | 486.8     | 0.63  |      |
|     | 3 外側 | 205.6           | 187.9            |                      | 8.6       |                   |           |       |      |

すべり試験体のそれらよりも高い値を示しており、3 節のすべり試験結果と同等以上のすべり係数を有すると推定される。

### 4.3 リラクセーション試験結果

施工から約 300 日間のリラクセーション計測結果を図-3 に示す。計測番号①④の高力ボルトは締め付け時にひずみゲージが破断したため、②は約 240 日経過時でひずみゲージの劣化により計測不能となった。

ボルト軸力は初期に大きく低下し、その後は安定しており、さびによるリラクセーション挙動への影響は確認できない。軸力低下率は約 30 日経過時で約 13%, 約 300 日経過時で約 16%とすべり試験体に比べ、高くなった。ただし、これは締め付け板厚とねじ切長の比の違いによると推定される。

## 5. 暴露試験

### 5.1 試験方法

施工現場と同じ環境で接合面内におけるさびの進行状況を観察するため、図-4 に示す小型試験片を製作および現場暴露した。小型試験片を定期的に回収し、接合面の観察および接合面内のさび量を計測した。試験体は1面摩擦接合とし、高力ボルトを1本配置する。パラメータは暴露時間、試験体は1ケース3体とし、さび量は試験体1個当たりのさび重量を m<sup>2</sup> 当たりのさび重量に換算している。

### 5.2 さび量計測結果

施工から約 300 日間の計測結果を図-5 に示す。施工当

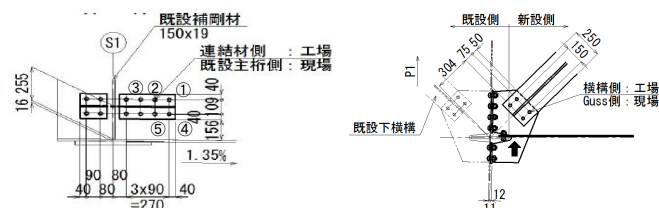


図-2 導入軸力を確認する部位（横構ガセット部）

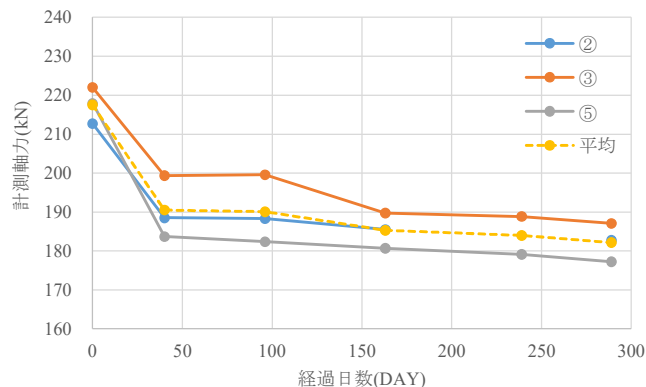


図-3 軸力と経過日数の関係

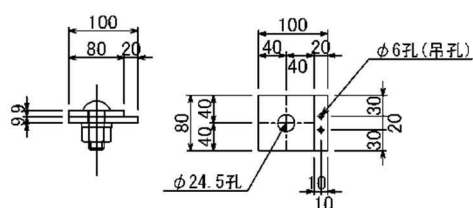


図-4 小型試験片形状

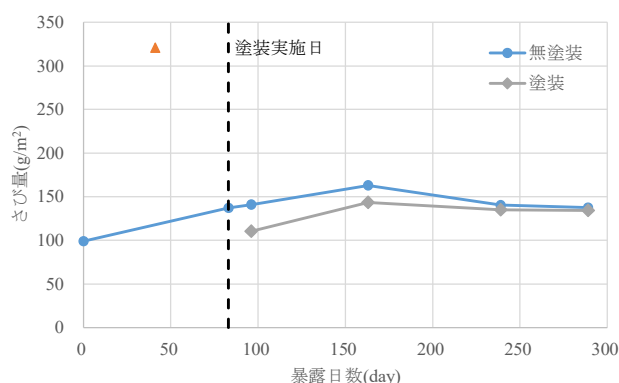


図-5 暴露日数とさび量の関係

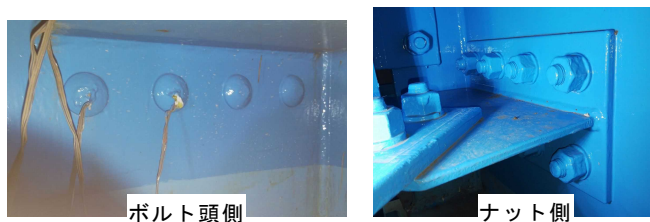


図-6 施工から約300日経過時の施工箇所

初と約30日後(図-5内▲印)の接触面のさび量を比較すると、大きく増加傾向にあった。これは試験片の外側が塗装されておらず、接合面のわずかな隙間から水分や酸素が侵入しさびを促進させたことが考えられるため、約半数の試験片を暴露83日後から塗装し計測を行った。

施工から約30日経過時の計測値を除いて、さび量の変化は暴露開始時と比べ増加率が漸減し、接合面内のヒットロックKによる反応が収束する傾向を呈している。

## 6. 目視による外面観察

実橋においてヒットロックKによるさびが塗装などに悪影響を与え、維持管理上問題にならないか高力ボルト摩擦接合継手部を経過観察した。図-6に締め付けから約300日経過時の施工箇所の状況を示す。高力ボルト摩擦接合継手部との境界部等に変状はなく、さびによる塗装への影響は確認できない。

## 7. まとめ

実橋にて実施した各試験施工より、以下の結果を得た。

- (1)今回、実橋施工した継手では、ヒットロックK塗布24時間後に一様な赤さび面を形成した。
- (2)施工から約30日経過時において、ヒットロックKを塗布した試験体の高力ボルト軸力の低下率は平均7.3%で、その他の試験体も高力ボルト軸力の低下率は10%以下であった。
- (3)すべり試験で得られたすべり係数はヒットロックKを塗布した試験体で平均0.56、最小0.54となり、すべり係数0.4以上であり、基準値を満足していた。(その他の試験体のすべり係数は平均で、無機ジンク:0.65, 素地調整:0.32, ブリストル:0.56)
- (4)横構ガセットを既設橋に取り付けるための高力ボルトの軸力低下率は施工から約30日経過時で平均13%、約300日経過時で平均16%であった。すべり試験との軸力低下率の差異は、締め付け板厚とねじ切長の比の違いによると推定される。
- (5)施工から約300日経過時において接合面内のさび量の変化は暴露開始時と比べ、その増加率が漸減し、接合面内のヒットロックKによる反応が収束する傾向を呈していた。
- (6)施工から約300日経過時に、横構仕口部の高力ボルト摩擦接合継手部との境界部にはさびによる塗装への影響は確認できない。

## 8. 謝辞

本研究は大阪市立大学、株式会社イチネンケミカルズ、株式会社IHIインフラシステムおよび株式会社IHIインフラ建設との共同研究として実施した。施工試験では西日本高速道路株式会社殿にフィールドをご提供いただいた。計測については、足立淳一氏はじめとする大阪市立大学橋梁工学研究室学生諸氏にご協力いただいた。ここに協力いただいた上記の方々と関係各位へ厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編，2017.11.
- 2) 社団法人日本建築学会：建築工事標準仕様書，2018.1.
- 3) 本多克行，山口隆司，橘肇，吉岡夏樹，齊藤史朗，中村定明：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，2018.4.
- 4) 社団法人土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指標（案），2006.12.