

# 錆発生状態を考慮した赤錆面の高力ボルト継手のすべり耐力試験

(株)サクラダ 正会員 ○南 邦明  
法政大学 正会員 森 猛  
法政大学大学院 学生会員 杉谷隆夫

## 1. はじめに

著者らは、昨年、異なる9つの摩擦面を有するすべり耐力試験を実施した<sup>1)</sup>。この中で、ブラスト処理後約7日間曝露し、赤錆面を有する高力ボルト摩擦接合継手は、すべり係数が0.68を有する結果を報告した。しかし、どのような曝露環境あるいは曝露期間であっても高いすべり係数が得られるかは不明である。本研究では、錆発生時の曝露環境および曝露期間が異なる赤錆を有する高力ボルト摩擦接合継手を作成し、すべり耐力試験を実施した。

## 2. 試験体の説明

試験体形状を図-1に示す。試験体寸法は、設計上の $\beta$ 値(すべり/降伏耐力比)が0.8となるように設定した。使用鋼材は、表-1に示すように、母板(22mm)にはSM490YB、連結板(12mm)にはSM490YAを使用し、ボルトはF10T-M22を用いた。試験体の下地処理は、ブラストまたはグラインダー処理後、曝露期間を0(曝露なし)、2、4、6ヶ月間それぞれ海岸部と内陸部に曝露して錆を発生させた。なお、錆面のほこりや浮き錆などは、通常の橋梁部材出荷時と同様、高圧水で洗浄し除去した。試験体は曝露タイプが異なる14タイプとし1タイプで各3体、合わせて42体を製作した。ボルトの締付け作業は、各試験片を曝露した後、トルク法で設計軸力の1割増しの軸力を導入した。

## 3. 赤錆状態および錆の分析

(1)計測項目および方法 錆の発生状況を明確にするため、表面粗さ、錆厚および錆量を計測した。表面粗さ(算術平均粗さ $R_a$ )は、レーザー変位計で測定し1タイプで18箇所計測した。錆厚は、電磁錆厚計を用いて、1タイプで3点計測した。また、錆量はデジタル電子天秤を用いて計測した。次に、錆成分分析を行うため、倍率130倍で錆断面を撮影し、Na, Cl, S, Fe, OをEPMAで分析した。そして、Fe, Oを除く元素で錆の濃化状態を調べた。

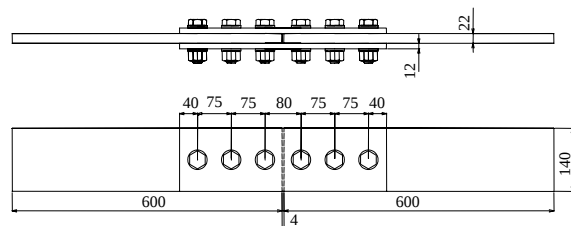


図-1 試験体形状

表-1 使用鋼材の機械的性質および化学成分

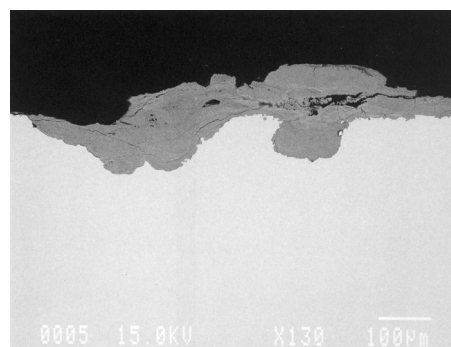
| 種類  | 材質      | 機械的性質                |                      |     | 化学成分(%) |    |     |    |   |  |
|-----|---------|----------------------|----------------------|-----|---------|----|-----|----|---|--|
|     |         | 降伏点                  | 引張強さ                 | 伸び  | C       | Si | Mn  | P  | S |  |
|     |         | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (%) |         |    |     |    |   |  |
| 母板  | SM490YB | 407                  | 546                  | 26  | 15      | 21 | 142 | 16 | 1 |  |
| 連結板 | SM490YA | 404                  | 540                  | 25  | 16      | 20 | 143 | 22 | 2 |  |

曝露地点：海岸(岸壁から1.5mの地点：千葉県市川市)  
内陸(海岸から20kmの地点：千葉県八街市)

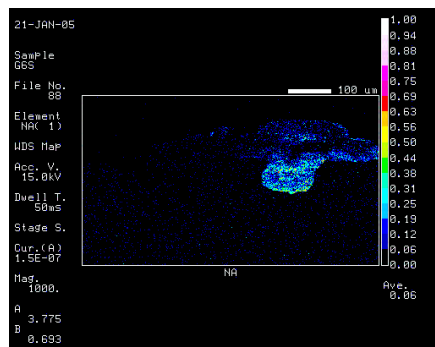
表-2 錆の分析結果

| 下地処理   | 試験体名 | 曝露期間 | 曝露地点 | 粗さ $R_a$ ( $\mu m$ ) | 錆厚 ( $\mu m$ ) | 錆量 ( $g/cm^2$ ) | 錆成分濃化状態(EPMA分析) |    |      |    |      |    |
|--------|------|------|------|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|----|------|----|------|----|
|        |      |      |      |                      |                |                 | Na              |    | Cl   |    | S    |    |
|        |      |      |      |                      |                |                 | 成分              | 濃化 | 成分   | 濃化 | 成分   | 濃化 |
| ブラスト   | B0   | 0ヶ月  |      | 16.4                 |                |                 |                 |    |      |    |      |    |
|        | B2S  | 2ヶ月  | 海岸   | 12.7                 | 58.3           | 0.0210          | 0.07            | □  | 0.02 | ▲  | 0.00 | ×  |
|        | B2I  | 2ヶ月  | 内陸   | 12.3                 | 41.0           | 0.0124          | 0.07            | ×  | 0.02 | ▲  | 0.01 | ×  |
|        | B4S  | 4ヶ月  | 海岸   | 17.4                 | 59.0           | 0.0261          | 0.05            | ×  | 0.00 | ▲  | 0.01 | ×  |
|        | B4I  | 4ヶ月  | 内陸   | 13.0                 | 57.7           | 0.0165          | 0.05            | ×  | 0.00 | ▲  | 0.03 | ×  |
|        | B6S  | 6ヶ月  | 海岸   | 16.6                 | 106.3          | 0.0330          | 0.06            | ×  | 0.04 | ●  | 0.03 | ×  |
| グラインダー | B6I  | 6ヶ月  | 内陸   | 12.8                 | 80.0           | 0.0284          | 0.07            | ×  | 0.02 | ▲  | 0.00 | ×  |
|        | G0   | 0ヶ月  |      | 8.0                  |                |                 |                 |    |      |    |      |    |
|        | G2S  | 2ヶ月  | 海岸   | 12.6                 | 59.3           | 0.0185          | 0.05            | ▲  | 0.06 | ▲  | 0.02 | ×  |
|        | G2I  | 2ヶ月  | 内陸   | 9.5                  | 35.7           | 0.0079          | 0.07            | ×  | 0.01 | ■  | 0.00 | ×  |
|        | G4S  | 4ヶ月  | 海岸   | 10.8                 | 77.3           | 0.0023          | 0.05            | ×  | 0.01 | ■  | 0.01 | ×  |
|        | G4I  | 4ヶ月  | 内陸   | 16.5                 | 41.7           | 0.0146          | 0.06            | ×  | 0.01 | ■  | 0.00 | ×  |
|        | G6S  | 6ヶ月  | 海岸   | 16.2                 | 106.0          | 0.0344          | 0.06            | ▲  | 0.10 | ●  | 0.04 | ×  |
|        | G6I  | 6ヶ月  | 内陸   | 10.2                 | 61.0           | 0.0214          | 0.07            | ▲  | 0.01 | ▲  | 0.00 | ×  |

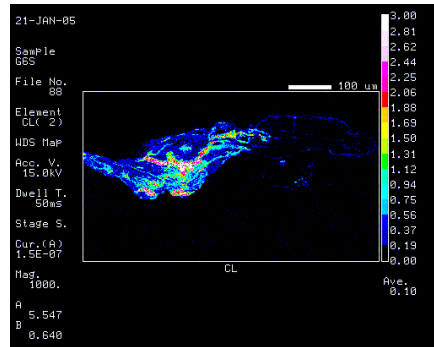
●：錆層表面または地鉄境界面で連続的な高濃化。  
▲：錆層表面または地鉄境界面で連続的な濃化。  
■：錆層表面または地鉄境界面で局所的な濃化。  
□：錆層表面で局所的な濃化。  
×：濃化は認められない。



(a) マクロ写真



(b) NaのEPMA分析写真



(c) ClのEPMA分析写真

図-2 錆分析の一例(G6S)

キーワード：高力ボルト摩擦継手、赤錆、すべり耐力試験、すべり係数

連絡先：〒272-0002 千葉県市川市二俣新町21 TEL 047-328-3148 FAX 047-328-3156

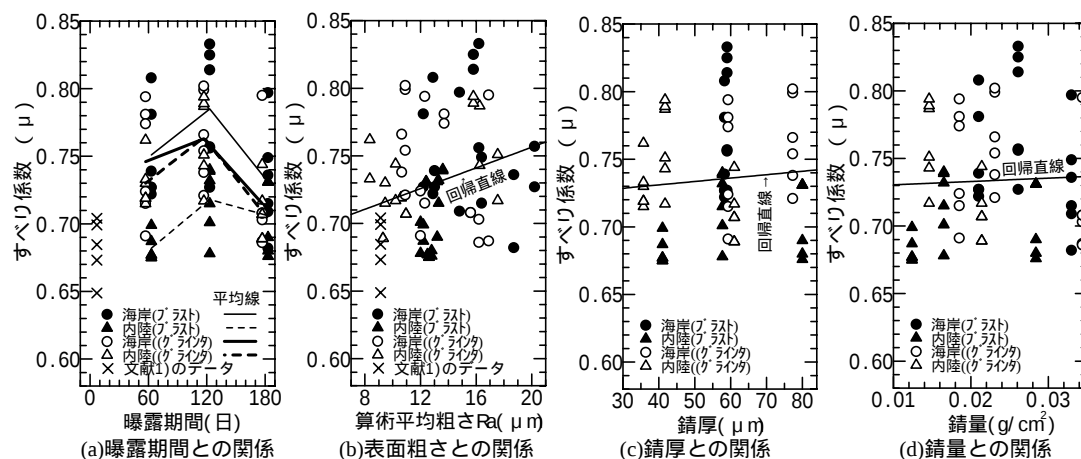


図-3 引張試験結果(すべり係数)

表-3 すべり係数算出

| 試験体名 | すべり係数         |       |
|------|---------------|-------|
|      | 範囲            | 平均値   |
| B0   | 0.450 ~ 0.471 | 0.459 |
| B2S  | 0.722 ~ 0.808 | 0.751 |
| B2I  | 0.675 ~ 0.699 | 0.682 |
| B4S  | 0.727 ~ 0.833 | 0.785 |
| B4I  | 0.701 ~ 0.740 | 0.718 |
| B6S  | 0.682 ~ 0.749 | 0.731 |
| B6I  | 0.676 ~ 0.731 | 0.706 |
| G0   | 0.240 ~ 0.318 | 0.278 |
| G2S  | 0.715 ~ 0.794 | 0.746 |
| G2I  | 0.715 ~ 0.762 | 0.730 |
| G4S  | 0.721 ~ 0.802 | 0.763 |
| G4I  | 0.717 ~ 0.794 | 0.764 |
| G6S  | 0.687 ~ 0.795 | 0.715 |
| G6I  | 0.689 ~ 0.744 | 0.709 |
| 文献1) | 0.649 ~ 0.704 | 0.682 |

(2)表面粗さ、鍍厚および鍍量の計測結果 表-2に鍍分析結果を示す．表面粗さは、内陸部より海岸部の方が若干大きくなったが、下地処理による違いはみられなかった．次に、鍍厚は、内陸部より海岸部の方が厚く、また、グラインダー処理面よりブラスト処理面の方が厚くなるケースが多く、さらに曝露期間が長い方が鍍は厚くなった．また、単位面積当たりの鍍量発生量も鍍厚と同様の傾向が示された．

(3)EPMA分析の結果 表-2および図-2にEPMA分析結果を示す．これらの結果が示すように、鍍の成分は、Feが最も多く、次いでOであった．鍍の濃化状態は、いずれの試験体においてもClが主体であり、Naは一部の試験体で、Sでは全ての試験体において濃化は認められなかった．また、Clによる濃化は、内陸部より海岸部での曝露の方が、また、曝露期間が長い方が顕著に見られた．

#### 4. すべり耐力試験

(1)試験方法 すべり耐力試験は、荷重能力2000kNの万能試験機UH-200Aを用いた．引張荷重は、試験体のすべりと全断面降伏の双方が生じるまで徐々に载荷した．

(2)すべり係数算出条件 すべり係数の算出にあたり、ボルト軸力は、締め付け時でのボルト軸力の割り増しやリラクセーションによるボルト軸力低下は考慮せず、設計ボルト軸力の基準値を用いて計算することとした．

(3)試験結果 文献1)のデータも考慮し、表-3にはすべり係数集計結果を示した．また、図-3には鍍を発生させた試験体におけるすべり係数と曝露期間、表面粗さ、鍍厚および鍍量との関係を示した．本試験結果では、鍍を発生させていないブラスト処理面(B0)でのすべり係数は0.459、グラインダー処理面(G0)では0.278であったが、鍍を発生させることにより、最小値で0.675、最大値で0.833、平均値として0.734を有する結果となった．

(4)すべり係数と曝露期間、曝露地点との関係 図-3(a)に示すように、曝露期間が長くなるに従いすべり係数も大きくなり、120日がピークで180日では若干すべり係数は小さくなるように見受けられた．また、下地処理にブラストを行った試験体では、海岸曝露の方がすべり係数は高くなるようにも見受けられた．しかし、その差は小さく、試験によるばらつきを考えれば、曝露期間、下地処理および曝露地点によるすべり係数の差はほとんど生じないものと考えられる．

(5)すべり係数と表面粗さとの関係 図-3(b)に示すように、多少のばらつきはあるものの、表面粗さが大きくなれば、すべり係数が高くなる結果が示された．特に、ブラスト処理した試験体で海岸部と内陸部を比較すると、前者の方が表面粗さは大きく、これに伴いすべり係数が高くなる結果が示された．

(6)すべり係数と鍍厚、鍍量との関係 表-2で示したように、鍍厚や鍍量は曝露期間の増加とともに大きくなったが、図-3(c),(d)に示すように、すべり係数と鍍厚や鍍量との相関関係は見られなかった．すなわち、鍍厚が0.35 ~ 0.80 $\mu\text{m}$ の範囲では、鍍厚はすべり耐力に影響しないと判断できる．また、図-2で示したG6S試験体では、鍍の濃化状態が著しかったが、その影響もなく十分なすべり係数が得られた．これは、鍍の成分によってすべり係数へに影響を生じないことを示している．

#### 5. まとめ

本試験結果において、赤鍍を発生させた場合、すべり係数は下地処理、曝露期間および曝露地点による大きな違いはなく、曝露条件に関わらず高いすべり係数が得られ、最小値で0.675、平均値で0.734のすべり係数が得られた．本試験結果と文献1)のデータを考慮して、赤鍍を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数は0.65を適用してもよいものと考えられる．なお、本研究は鋼橋技術研究会施工部会の活動の一環として行ったものである．

#### [参考文献]

- 1)南 邦明, 森 猛, 杉谷隆夫: 摩擦面の状態が高力ボルト継手のすべり耐力に及ぼす影響, 土木学会第59回年次学術講演会 -587, pp1171-1172, 2004.9.