

腐食度合いと当て板ボルト補強効果に関する確認実験

構造工学研究室 林田 卓也

1. はじめに

現在、我が国は高度経済成長期に建設された多くの橋梁の劣化が問題になっており、今後は維持管理が重要である。鋼橋の劣化の原因の一つとして腐食が挙げられる。腐食が進行することで耐荷力が低下し、破断が引き起こされる。その補強方法の一つとして、当て板ボルト工法が挙げられる。本研究では、腐食した鋼部材に対する当て板ボルト工法補強効果の確認を目的に、腐食の凹凸により摩擦面の異なる凹凸形状を有する試験体を用いて当て板ボルト工法を模した引張試験を行った。

2. 試験体

試験体に使用した腐食鋼板は、レーザー計測装置を用いて、表面の凹凸を測定し、平均腐食深さとその標準偏差より腐食の分類を行った。図1に示すように腐食グループ1は平均腐食深さの標準偏差が0~0.5未満である。腐食グループ2は平均腐食深さの標準偏差が0.5~1.0未満である。腐食グループ3は平均腐食深さの標準偏差が1.0~1.5未満である。腐食グループ4は平均腐食深さの標準偏差が1.5以上である。

表1に本試験で用いる試験体のパラメータを示し、表2に使用したパテ材の仕様を示す。表中のブラスト及びブラスト+無機ジンの試験片は新材鋼板を用いた。また、SZは金属粉末を融点より低温かつ超音速で衝突させ、圧着させて皮膜層を生成する技術であるCold Spray技術を用いたもので本研究では無機ジンの代わりに適用している。先ずSZパターン①②の試験片は、腐食した橋梁から実腐食鋼板(700mm×100mm)を切り出し、その鋼板の中央から左右へ200mmの範囲にCold Spray技術を用いて亜鉛とアルミナを吹き付けた。

SZパターン①は錆のブラスト効果を期待して、アルミナ：亜鉛=30：70を吹き付けたものである。SZパターン②は錆のブラストに加えて亜鉛の防食の効果を期待して、アルミナ：亜鉛=70：30+アルミナ：亜鉛=50：50を吹き付けたものである。図2に引張試験体の一例を示す。

3. 試験方法

2000kN 万能試験機を用いて、すべり耐力試験を行った。すべり耐力は、主すべりが生じたときの荷重とした。なお、主すべりが生じない場合は、すべり量が0.2mmに対応するときの荷重とした¹⁾。すべり量の計測はクリップ変位計を用いた。図3にクリップ変位計(測定範囲：2~7mm)の設置状況を示す。

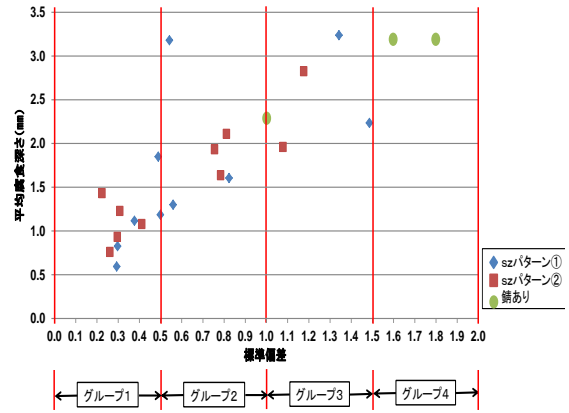


図1 鋼板の腐食グループ分類

表1 試験体パラメータ

| 試験体名 | 腐食グループ | 摩擦面状態 | 平均腐食深さ (mm) | 算術平均粗さ (μm) | 膜厚 (μm) |
|------------------------|---------|---------|-------------|--------------------------|----------------------|
| Co0/BR-Zn | 健全 | ブラスト | 0.0 | 15.04 | — |
| Co0/Zn-Zn | | 無機ジンク | 0.0 | 7.93 | 124.66 |
| Co1/SZ-P1-Zn①(No.17-1) | 腐食グループ1 | SZパターン① | 0.4 | 11.55 | 110.71 |
| Co1/SZ-P1-Zn②(No.17-2) | | SZパターン① | 1.4 | 14.00 | 145.08 |
| Co1/SZ-P2-Zn①(No.24-1) | | SZパターン② | 0.9 | 10.09 | 88.96 |
| Co1/MP-Zn①(No.24-1) | | 金属パテ | 1.2 | 5.99 | — |
| Co1/PP-Zn②(No.14-1) | 腐食グループ2 | ポリウレアパテ | 2.1 | 1.22 | — |
| Co2/SZ-P1-Zn①(No.14-1) | | SZパターン① | 1.0 | 11.01 | 102.83 |
| Co2/SZ-P1-Zn②(No.14-2) | | SZパターン① | 0.7 | 12.64 | 99.20 |
| Co2/SZ-P2-Zn①(No.46-1) | | SZパターン② | 1.6 | 8.49 | 203.13 |
| Co2/MP-Zn②(No.46-1) | 腐食グループ3 | 金属パテ | 1.6 | 5.14 | — |
| Co1/PP-Zn③(No.17-1) | | ポリウレアパテ | 1.7 | 2.75 | — |
| Co3/SZ-P1-Zn①(No.6-1) | | SZパターン① | 3.0 | 12.72 | 158.20 |
| Co3/SZ-P1-Zn②(No.6-2) | 腐食グループ4 | SZパターン① | 2.4 | 12.19 | 88.44 |
| Co3/SZ-P2-Zn(No.47-1) | | SZパターン② | 2.6 | 10.08 | 294.68 |
| Co4-ZN①(No.63-1) | 腐食グループ4 | 錆有り | 1.4 | 13.00 | 276.16 |
| Co4-ZN③(No.76-1) | | 錆有り | 1.2 | 9.29 | 251.76 |
| Co3-ZN②(No.86-1) | | 錆有り | 2.7 | 9.91 | 345.92 |

表2 使用したパテ材の仕様

| 項目 | 金属パテ材 | ポリウレアパテ材 |
|--------------------------|-------|----------|
| 弾性係数(N/mm ²) | 22~23 | 68 |
| 引張強度(N/mm ²) | 5.83 | 11 |



図2 試験体一例

高力ボルトは、F10T、首下長さ 65mm、M22 を使用し、ボルトの導入軸力は標準軸力 226kN とした。軸力は高力ボルト頭部のひずみを計測しながら導入した²⁾。また、高力ボルトは軸力導入からすべり試験開始までリラクゼーションの計測を行った。

4. 試験結果

4.1 ボルトリラクゼーション

ボルトリラクゼーションの計測は、高力ボルト軸力導入からすべり試験開始まで計測し、その結果の一例を図4に示す。健全の試験体のひずみ値は軸力導入時より、2.2%低下し、試験体で最も減少率が小さい結果であった。腐食グループ1、腐食グループ2、腐食グループ3、腐食グループ4においてもリラクゼーションを確認でき、それぞれの試験体において20%以内の低下であり、腐食した鋼板の試験体が、新材の試験体よりリラクゼーションが大きい結果になった。これは、試験体の摩擦面の腐食の凹凸で摩擦面同士の密着の仕方が変化するのではないかと考察する。

4.2 引張試験

図5に荷重-ずれ量のグラフの一例、表3に引張試験の結果を示す。図6に健全のすべり耐力に対する減少率と平均腐食深さの関係を示す。図表より健全のすべり耐力に対する減少率と平均腐食深さの関係の相関係数は0.1程度であり、弱い相関を示した。

5. まとめ

本試験でのまとめを以下に示す。

- 1) 腐食鋼板試験体の方が、新材鋼板を用いた試験体より、高力ボルトのリラクゼーションの減少率が大きい傾向を示した。
- 2) 本研究でグループ分けした腐食グループの鋼板を有する試験体のすべり耐力は、全てにおいて新材鋼板を用いた試験体のすべり耐力を下回った。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針 2001
- 2) 土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案）2007

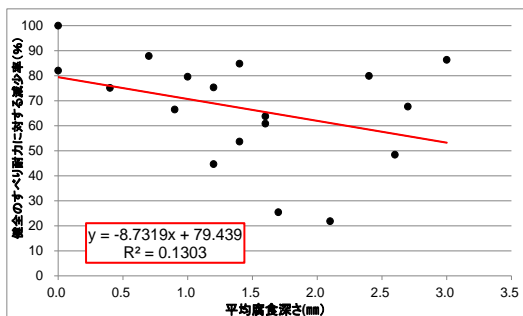


図5 健全のすべり耐力に対する減少率と平均腐食深さの関係

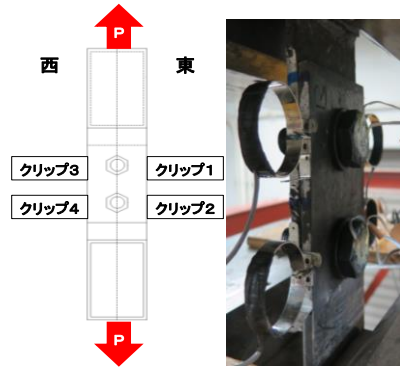


図3 クリップ変位計設置状況

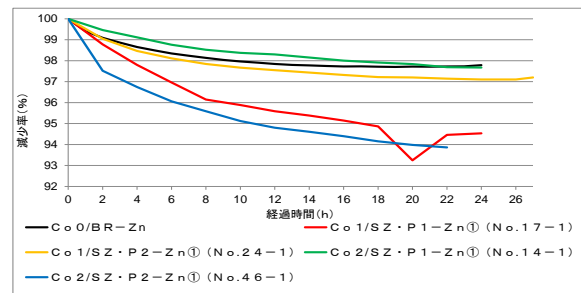


図4 ボルトリラクゼーション一例

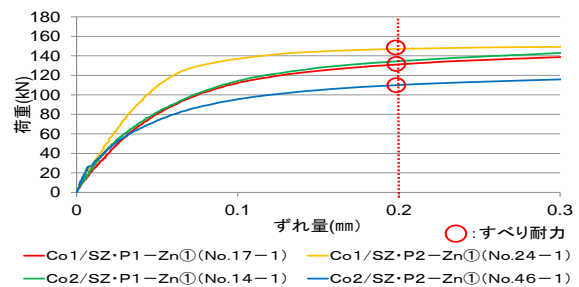


図5 荷重 - ずれ量グラフ一例

表3 引張試験結果

| 試験体名 | 腐食グループ | 摩擦面状態 | 平均腐食深さ (mm) | すべり耐力 (kN) | 健全のすべり耐力に対する減少率 (%) |
|-------------------------|---------|---------|-------------|------------|---------------------|
| Co0/BR-Zn | 健全 | プラスト | 0.0 | 164.50 | 100.0 |
| Co0/Zn-Zn | | 無機ジンク | 0.0 | 134.93 | 82.0 |
| Co1/SZ-P1-Zn① (No.17-1) | 腐食グループ1 | SZパターン① | 0.4 | 123.58 | 75.1 |
| Co1/SZ-P1-Zn② (No.17-2) | | SZパターン① | 1.4 | 139.53 | 84.8 |
| Co1/SZ-P2-Zn① (No.24-1) | | SZパターン② | 0.9 | 109.38 | 66.5 |
| Co1/MP-Zn① (No.24-1) | | 金属パテ | 1.2 | 123.90 | 75.3 |
| Co1/PP-Zn② (No.14-1) | ポリウレアパテ | 2.1 | 35.93 | 21.8 | |
| Co2/SZ-P1-Zn① (No.14-1) | 腐食グループ2 | SZパターン① | 1.0 | 130.90 | 79.6 |
| Co2/SZ-P1-Zn② (No.14-2) | | SZパターン① | 0.7 | 144.54 | 87.9 |
| Co2/SZ-P2-Zn① (No.46-1) | | SZパターン② | 1.6 | 104.89 | 63.8 |
| Co2/MP-Zn② (No.46-1) | | 金属パテ | 1.6 | 100.07 | 60.8 |
| Co1/PP-Zn① (No.17-1) | ポリウレアパテ | 1.7 | 41.84 | 25.4 | |
| Co3/SZ-P1-ZN① (No.6-1) | 腐食グループ3 | SZパターン① | 3.0 | 142.00 | 86.3 |
| Co3/SZ-P1-ZN② (No.6-2) | | SZパターン① | 2.4 | 131.45 | 79.9 |
| Co3/SZ-P2-ZN (No.47-1) | | SZパターン② | 2.6 | 79.63 | 48.4 |
| Co3-ZN① (No.63-1) | | 錆有り | 1.4 | 88.29 | 53.7 |
| Co4-ZN③ (No.76-1) | 腐食グループ4 | 錆有り | 1.2 | 73.49 | 44.7 |
| Co3-ZN② (No.86-1) | | 錆有り | 2.7 | 111.28 | 67.6 |