

## 塗膜剥離のための加熱が高力ボルトの軸力に及ぼす影響に関する実験的検討

|                 |     |     |    |
|-----------------|-----|-----|----|
| 日本橋梁(株)         | 正会員 | ○中原 | 智法 |
| 日本橋梁(株)         | 正会員 | 佐藤  | 寛幸 |
| 大阪大学工学部 地球総合工学科 | 非会員 | 近藤  | 慎介 |
| 大阪大学大学院 工学研究科   | 正会員 | 廣畑  | 幹人 |

## 1. 研究の背景および目的

鋼橋で用いられている防食塗装は、防食性能を維持するために適切な期間で塗替える必要があり、更新時には劣化した旧塗膜の除去が重要である。1965 年頃から普及した高力ボルト継手は、ボルトの形状が複雑であり、従来の動力工具や塗膜剥離剤を使用した方法では、旧塗膜の除去作業に多大な労力を必要としている。これに対し筆者らは、高力ボルト継手に加熱を利用した塗膜剥離技術を適用し、旧塗膜除去作業の効率化を検討している<sup>1)</sup>が、加熱による高力ボルトへの影響は未解明な点が多い。本稿では、熱源として高周波誘導加熱(IH)とセラミックヒーターを用いた加熱方法に対し、加熱が高力ボルト軸力に及ぼす影響を実験的に検討した。

## 2. 実験供試体および実験方法

加熱実験に使用した供試体を図-1 に示す。高さ 205mm×幅 380mm×板厚 9mm の母材を 2 枚の添接板で挟み、8 本の高力六角ボルト(M22×70(10T))を締付け目標軸力 225kN で締め付けた。供試体下部には自立させるためのベースを溶接している。塗装仕様は従来の鋼橋で多用されていた A 塗装系の継手部塗装である。また、高力ボルト軸力の変化を確認するため、1 供試体あたり 3 本の高力ボルト頭に孔加工を施し、ボルト軸の両側に 1 対のひずみゲージを設置している。供試体は、熱源(IH およびヒーター)ごとに 2 体ずつを用意した。

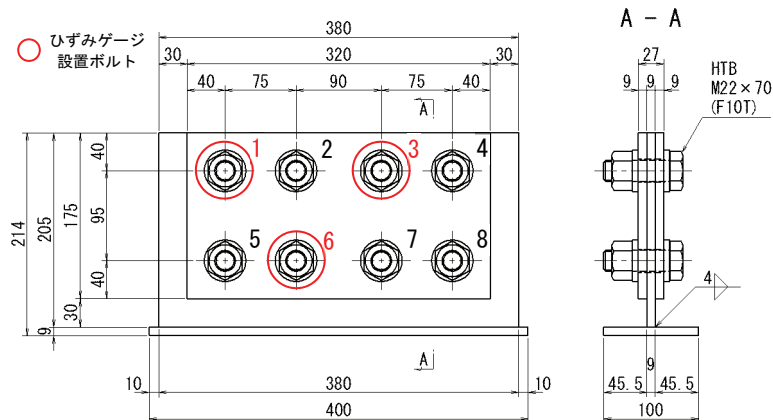


図-1 供試体形状

IH による加熱は、高力六角ボルトのナット側形状に適合するように製作したリング型の誘導加熱ヘッドを使用して、ナット側のみを加熱した(図-2)。目標加熱温度はボルト軸頂部で 200℃とし、加熱時間は供試体ごとにボルト 1 本あたり 1.8 秒および 1.6 秒とした。出力は 32.5kW で統一している。複数のボルトの軸頂部とナット側面、ナット側およびボルト頭側の添接板表面に熱電対を設置して温度を測定した。

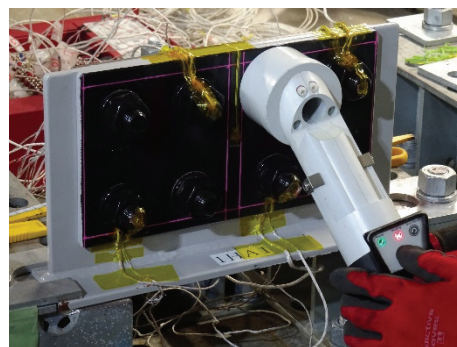


図-2 IH による加熱状況

ヒーターによる加熱は、ナットを 1 つずつ囲むようにセラミック片を組み合わせた環状ヒーターを使用して、ナット側のみを加熱した(図-3)。目標加熱温度は IH と同様にボルト軸頂部で 200℃とし、1700 秒および 1900 秒かけて加熱した。全てのボルトの軸頂部、ナット側およびボルト頭側の添接板表面に熱電対を設置して温度を測定した。

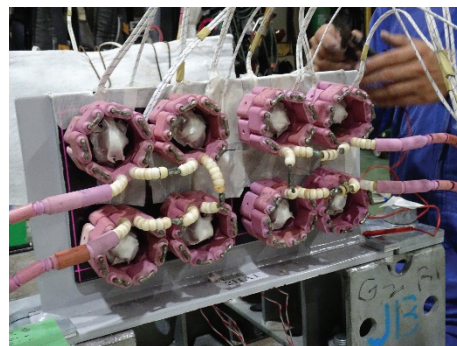


図-3 ヒーターによる加熱状況

加熱の完了した供試体は、速やかにナット周辺や添接板表面の塗膜をスクレーパーや紙かき型ケレン棒等で除去して塗膜剥離性を確認した。また、翌日まで自然冷却して、加熱前と加熱後のボルト軸ひずみを測定し、軸力の変化を推定した。

キーワード 高力ボルト, 軸力, 塗膜剥離, 高周波誘導加熱, セラミックヒーター

連絡先 〒650-0023 兵庫県神戸市中央区栄町通 1-2-7 日本橋梁(株)神戸事業所 TEL 078-771-5266

3. 加熱温度の分布と塗膜剥離状況

IH により加熱した供試体の温度履歴例を図-4 に示す. 同じ供試体の高力ボルトごとの温度履歴は概ね一致しており, 1.6 秒加熱した供試体は, 1.8 秒と比べて 10%程度温度が低かった. ナット側面の最高温度は高力ボルト軸頂部と比べて 100℃程度高く, 軸頂部はナット側面よりも約 2 秒遅れて最高温度に達している. これは, 加熱終了後にナット部の熱が軸部に伝導したためと考えられる. 塗膜除去では, 温度上昇の小さかった添接板を除き, ナット部や軸部は良好な剥離状態が得られた.

ヒーターの場合の温度履歴例を図-5 に示す. 上側のボルトに比べて下側のボルトの温度が低い原因は, ベースからの漏熱と推察される. 塗膜除去では, 添接板を含めて良好な剥離状態が得られた.

4. 高力ボルト軸力の変化

IH により加熱した高力ボルト軸のひずみ履歴例を図-6 に示す. 加熱前のひずみを零とすると, 加熱している間はひずみが増大し, 加熱終了後は減少して負の値で収束している. これは, 加熱によりナット周辺が熱膨張した際に, 添接板やボルト軸の拘束で自由な熱膨張が妨げられ, 塑性変形を生じたためと推察される. 別途求めた係数  $7.517 \times 10^4$  kN を乗じて推定したボルト軸力を表-2 に示す. 加熱前の軸力は, 締付け直後の軸力からリラクセーションによる低下 4%を加味している. 加熱による低下量を加熱前の軸力で除した軸力低下率は, 1.8 秒加熱が 7.5%程度, 1.6 秒加熱が 5.7%程度で, 平均すると 6.6%であった.

ヒーターの場合のひずみ履歴例を図-7 に示す. 加熱中のひずみの増加は IH と比べて小さい. これは, 添接板の温度も上昇したため, ボルト孔周辺が塑性変形してボルトの変形を緩和したためと考えられる. ボルト軸力を表-3 に示すが, 軸力低下率の平均値は 2.7%であった.

5. まとめ

本研究では, 塗膜剥離のための加熱が高力ボルト軸力に及ぼす影響を実験的に検討し, 以下の知見を得た.

- (1) A 塗装系の高力ボルト継手供試体を IH では 1.6~1.8 秒/本, ヒーターでは 1700~1900 秒で目標温度 200℃に加熱し, いずれの場合も高力ボルトの塗膜を剥離することができた.
- (2) IH およびヒーターの両方の加熱で, 軸力の低下が確認された. 主要因は, IH はボルトの熱膨張と塑性変形, ヒーターはそれに加えて添接板ボルト孔周辺の塑性変形と推察した.
- (3) 加熱による軸力低下率は, IH が 6.6%, ヒーターが 2.7%であった. IH の軸力低下率が大きい原因は, ナットが目標温度 200℃を大きく超えて加熱されたためと考えられる.

今後の課題として, 解析的手法による軸力低下メカニズムの解明, および IH を用いた加熱に対して軸力の低下を低減できる温度制御方法の検討を実施する予定である.

**参考文献** 1) 中原智法, 廣畑幹人, 豊嶋大輝, 小西日出幸: 鋼橋高力ボルト継手部の塗膜剥離における加熱装置の適用性検証, 鋼構造年次論文報告集, Vol.28, pp.220-230, 2020.11

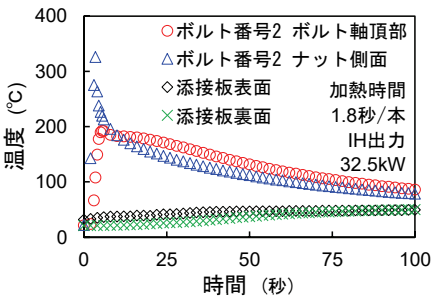


図-4 IH による加熱の温度履歴例

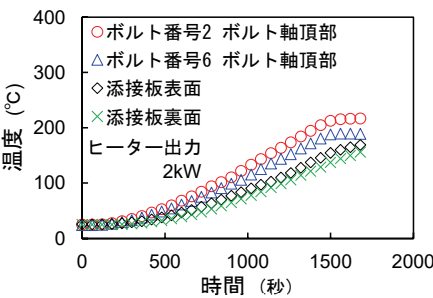


図-5 ヒーターによる加熱の温度履歴例

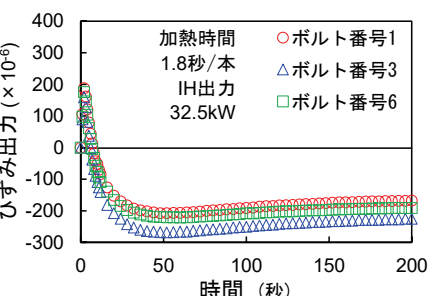


図-6 IH による加熱のひずみ履歴例

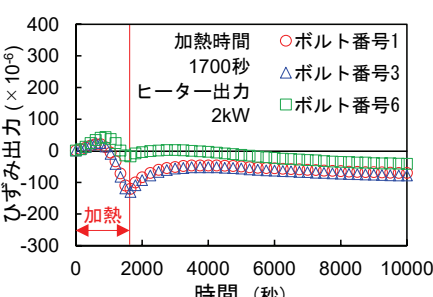


図-7 ヒーターによる加熱のひずみ履歴例

表-2 IH による加熱のボルト軸力変化

|            | 供試体番号 | 1 (1.8 秒加熱) |       |       | 2 (1.6 秒加熱) |       |       |
|------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|            | ボルト番号 | 1           | 3     | 6     | 1           | 3     | 6     |
| 軸力<br>(kN) | 締付け直後 | 211         | 261   | 241   | 226         | 234   | 205   |
|            | 加熱前   | 202.6       | 250.6 | 231.4 | 217.0       | 224.6 | 196.8 |
|            | 低下量   | 15.0        | 18.7  | 17.8  | 13.5        | 12.9  | 10.4  |
|            | 加熱後   | 187.6       | 231.9 | 213.6 | 203.5       | 211.7 | 186.4 |
| 軸力低下率 (%)  |       | 7.4         | 7.5   | 7.7   | 6.2         | 5.7   | 5.3   |

表-3 ヒーターによる加熱のボルト軸力変化

|            |       | 1（1700 秒加熱） |       |       | 2（1900 秒加熱） |       |       |
|------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|            |       |             |       |       |             |       |       |
|            |       | 1           | 3     | 6     | 1           | 3     | 6     |
| 軸力<br>(kN) | 締付け直後 | 241         | 232   | 221   | 217         | 234   | 243   |
|            | 加熱前   | 231.4       | 222.7 | 212.2 | 208.3       | 224.6 | 233.3 |
|            | 低下量   | 5.6         | 5.7   | 3.2   | 8.0         | 9.2   | 4.7   |
|            | 加熱後   | 225.8       | 217.0 | 209.0 | 200.3       | 215.4 | 228.6 |
| 軸力低下率（%）   |       | 2.4         | 2.6   | 1.5   | 3.8         | 4.1   | 2.0   |