

遅れ破壊が進むランガー橋の診断

1. はじめに

架設後約40年が経過した鋼アーチ橋の三島大橋（福島県三島町，トラスランガー橋，橋長131m）（写真-1，図-1）では、近年高力ボルトの破断が増加し、遅れ破壊の可能性が疑われていました。累積でも破断ボルト数は総ボルト数の1%程度に過ぎませんでしたが、遅れ破壊によるボルトの破断が進行すると、全ボルトの交換が必要となるおそれがありました。ボルトの交換には多額の費用を要することから、安全性及び経済性の観点から効率的な修繕方法を見いだすことが急務となっていました。



写真-1 全景

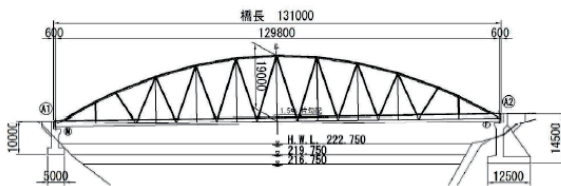


図-1 三島大橋

2. 原因の特定

道路橋で過去の一時期に導入されていた高強度の高力ボルト（F11T）は遅れ破壊が生じやすく、昭和55年の設計基準から使用が禁止されました。本橋ではF11Tボルトが使われており、ボルト破断の原因には遅れ破壊が強く疑われる状況でした。もし原因が遅れ破壊のみであればボルトの製造ロットや施工条件、架橋環境等から優先順位や対象範囲を決めて順次ボルトの交換を進めることとなります。しかし、疲労の影響や特異な応力状態など他の要因も深く関わっていると、交換したボルトが再破断したり、交換手順や範囲も不適切なものとなることも考えられます。そこで本橋では、遅れ破壊であることの裏付け調査に加えて、他の要因の有無についても慎重に調査を行いました。

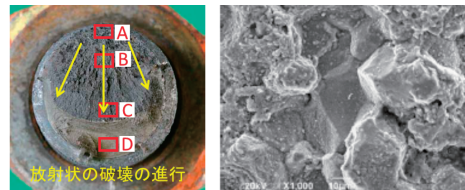
調査の結果、破断ボルトのほぼ全てが首下などの応力集中しやすい位置で絞りのほとんどない脆性

的な破壊（写真-2）をしており、SEM（走査型顕微鏡）の観察では破面に遅れ破壊で見られる特徴も確認（写真-3）されました。一方でボルトの引張強度や硬さ、金属成分は未破断のボルトと有意差はなく規格値も満足しており、遅れ破壊以外の要因の可能性は極めて低いと判断されました。

以上のように本橋では、幸いボルトの破断原因は遅れ破壊のみと確認されましたが、多様な損傷や劣化が進行している橋の診断では、可能性の高い原因が見つかって、原因をそれだけと安易に決めつけずに、可能性のある全ての要因との直接・間接の関わりを慎重に評価することが重要です。



写真-2 不完全ねじ部での破断



(a)観察位置 (b)脆性破壊（粒界割れ(A部)）

写真-3 SEMによる破面観察例

3. 対策時期や手順の検討

個々のボルトの遅れ破壊による破断時期の正確な予測は困難であり、破断可能性のあるボルト本数が多いと交換手順や工事完了期間の設定によっては、工事中の橋の安全性を一定に保てなかったり、破断の増加に交換が追いつかず不安定にさせる可能性があります。過去に例があるように道路橋では一箇所の継手破壊でも落橋など致命的な状態に至ることがあります（写真-4）。



写真-4 米国I-35W橋（ガセットの破壊から崩落）

また、供用中に既に応力を分担しているボルト

を解放すると、それらが負担していた負荷が他の部材やボルトに移行して耐荷力機構が変化したり、様々な部位の応力にも影響するため、不適切な手順や方法で交換を行うと最終的に所要の耐荷性能が満足できなくなる可能性もあります。そこで、本橋では、継手部毎にボルトの破断順序や破断位置、連鎖した可能性の有無について、架設時の継手の施工手順やそれに伴う各継手部の応力変化及び各継手部の供用後の環境条件、過去の破断経緯なども照合して、破断がどのように進行しやすいのかについて整理を行いました。

その結果、橋全体では、橋面から上の常時風雨にさらされる位置にあるアーチリブ、斜材、橋門構が相対的に破断を生じやすい傾向にあり、また、縦断勾配の低い側のボルト群の下段にあるボルト及び母材接合面に近いボルトが先行して破断しやすいこと、さらにボルト列方向にその隣接したボルトも破断しやすい傾向（図-2）があることが分かりました。

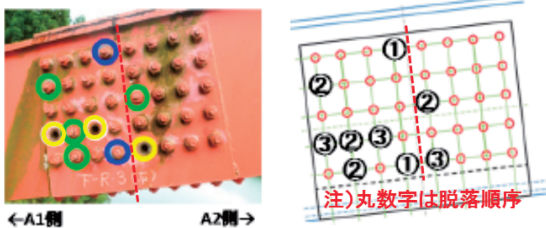


図-2 同じ継手内でのボルト脱落順序の推定例

さらに主に点検時に認識されてきた過去のボルト破断の発生数から破断の時系列を推定し、今後の脱落本数についての試算（図-3）を行いました。

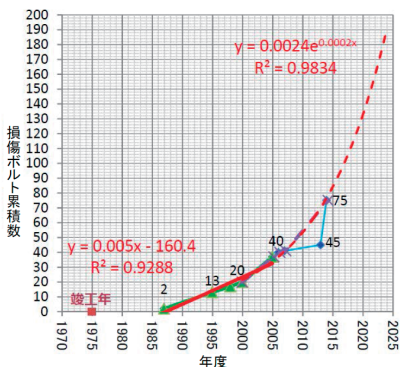


図-3 脱落ボルト累積数と今後の予測（アーチリブ上流側）

その結果、平成19年（2007年）以降に破断した本数が、それまでの20年間の破断本数と同程度となっているなど、今後は急速に破断本数が増加して今後5年以内に設計計算上の応力を超過する危険性のあることがわかりました。もし、このような詳細な将来予測や破断による影響評価を行わず対症療法的な対策を続けた場合、本橋では加速度的にボルトの破断本数が増えることで、供用しながらの安全かつ経済的なボルトの更新作業は困難となった可能性があります。このように、進行性のある変状に対しては、現状評価にとどまらず、過去の損傷経緯を出来るだけ詳細に考慮した将来予測を行って、適切な対策方法や時期を早期に見極めることが重要といえます。このとき予防保全を実現するためには過去の劣化速度が将来も維持されるとは限らないことを十分に念頭において検討を進めることが必要です。

本橋では上記の観点を踏まえて、ボルト交換の施工手順を反映した耐荷力余裕の試算を行って、全橋のボルト更新計画を検討しました。その結果、更新は定めた順序で継手単位に進め、一つの部材で同時に2箇所以上の継手更新はしない、継手内でも同時に2本以上ボルトが解放された状態にはしないなどの詳細な手順を決め、また、ボルト締め順番が正規にならないことから、最後に増し締めとボルト軸力の確認を実施することとしました。

4. おわりに

変状の生じた橋の診断では、根拠が希薄なままでは原因を安易に絞り込まず、根拠をもって排除できない可能性は残したままそれらもカバーできる対応を行うことが重要です。また過去の経緯を反映した将来予測の結果も踏まえて、対策完了まで確実に安全が確保出来る対策時期と方法を見いださなければなりません。なお本橋では平成27年度から国による修繕代行として東北地方整備局郡山国道事務所がボルトの全数交換を進めています。

参考文献

- 1) 玉越隆史、白戸真大、横井芳輝、山崎健次郎、水口知樹：鋼道路橋への適用に向けた超高力ボルトを用いた摩擦接合継手強度に関する研究、国総研資料第827号、2015.2
- 2) 一般社団法人日本鋼構造協会：JSSCテクニカルレポート96 高力ボルトの現状と課題、2013.3
- 3) 米国ミネアポリス橋梁崩壊事故に関する技術調査団：米国ミネアポリス橋梁崩壊事故に関する技術調査報告、2007.10

研究当時 国土交通省 国土技術政策総合研究所道路構造物研究部 橋梁研究室長、現 土木研究所構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ 上席研究員 玉越隆史
 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部橋梁研究室 主任研究官 松川武彦
 研究当時 国土交通省東北地方整備局道路部道路保全企画官、現 東北地方整備局郡山国道事務所長 大村 敦
 研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員、現 公立大学法人首都大学東京 都市環境学部、教授 村越 潤