

# 高耐久性鋼材を活用した鋼道路橋の長寿命化に資する措置技術の開発と社会実装に向けた取組み

大西達也・澤田 守

## 1. はじめに

鋼道路橋では、鋼部材の腐食を防ぐために種々の防食が施される。防食法として用いられることの多い塗装は、一般的な環境での耐久性は十分あるものの海岸付近等の厳しい塩分環境では塗膜劣化が早く、定期的な塗替塗装が必要となる。また、狭隘部等の部材は、素地調整による塩分及び錆の除去や塗替塗装自体が困難な場合がある。このような課題に対して、例えば無塗装でも高い耐食性を有する高耐久性鋼材のような新材料の活用が極めて有効である。

一方で、我が国の道路橋の技術基準である道路橋示方書<sup>1)</sup>は、平成13年に性能規定の概念が導入されたものの、個々の要求性能に対して定量的あるいは具体的な評価方法が示されていないものも多く、新材料や新技術の評価において課題が残っていた。しかし、平成29年の改定によって性能規定が一層推進され、新材料や新工法の導入に際して具体的に性能検証が可能な体系が確立された。例えば、橋に求める性能が耐荷性能、耐久性能、その他の性能の3つの性能に区分され、それぞれ独立した要求性能に対して評価を行うことが規定されたことで、橋の性能が明確化され、多様な構造や材料等の条件毎に性能を検証することが可能となった。

以上の背景から、高耐久性鋼材の1つであるステンレス鋼\*（以下「SUS鋼」という。）を対象に、技術基準に適合する導入方法の開発に着手している。本研究は、まずライフサイクルコストを考慮して、SUS鋼のメリットの大きい部位や部材としての活用を目指して研究を進めており、これまで土木技術資料の報文<sup>2,3)</sup>等で報告してきた。本稿では、2章でこれまでの検討概要を示した上で、3章及び4章で社会実装に向けて特に道路管理者と連携した取組みを報告する。

## 2. SUS鋼の鋼道路橋への適用に向けた研究概要

橋梁は多様な部材から構成される構造物であり、部材毎に役割は様々であるため、多様な条件に対して自由にSUS鋼を使用可能とする技術の確立は困難である。また、SUS鋼は溶接構造用圧延鋼材等の炭素鋼（以下「普通鋼」という。）と比べて高価であるため、適材適所で使用することが有効である。そこで、本研究は、SUS鋼の道路橋への適用の第一ステップとして、腐食による損傷が多く報告されかつ部材単体で交換可能な対傾構および横構への適用を目標とし、耐荷性能及び耐久性能それぞれの観点から技術基準との適合性の検証を行っている。本研究における検討フローを図-1に示し、主要な検討項目の内容を以下に記す。

### ① 適用箇所・鋼種の選定

鋼種は、対傾構・横構に一般に適用されるSS400の引張強度と同等の強度特性を有するSUS304及びSUS316を選定した。

### ② 鋼材の機械的性質の確認

引張試験、シャルピー試験等を実施し、耐荷性能の前提条件となるSUS鋼の基本的な機械的性質を確認した。

### ③ 絶縁仕様の選定

SUS鋼と普通鋼といった異なる鋼材を組み合わせ

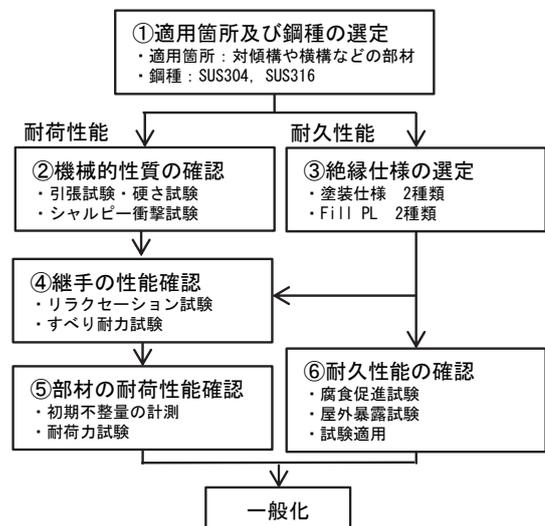


図-1 研究フロー

わせて使用する場合、接合部において両鋼材の電位差により異種金属接触腐食が生じる懸念がある。その為、SUS鋼と普通鋼の接合部は、接触面に絶縁材を設け異種金属接触腐食を防止する絶縁仕様を検討した。絶縁材は既往の文献等<sup>4)</sup>を参考に塗装型2種、フィラープレート型2種を選定した。

④ ボルト継手の性能確認

絶縁仕様を施したSUS鋼と普通鋼の異材摩擦接合継手の性能を確認するため、リラクゼーション試験およびすべり耐力試験を実施した<sup>2)</sup>。その結果、アルミナ溶射とエポキシ樹脂板を、橋梁の継手部の絶縁仕様候補とした。

⑤ 部材の耐荷性能の確認

対傾構及び横構を想定した長柱試験体において、軸方向の繰り返し載荷試験を行い、座屈耐力や塑性化後の挙動について把握した。試験体は、長柱部分にSUS鋼、長柱端部のガセットプレートに普通鋼を使用した。接合部は絶縁材を設置し、高力ボルト摩擦接合で接合した。

⑥ 絶縁仕様を施した接合部の耐久性能の確認

④で選定した絶縁材に対して異種金属腐食の防止の観点から具体的な絶縁仕様を設定し、継手部の要素試験体を用いて腐食促進試験及び屋外暴露試験を実施し、絶縁仕様を施した継手部の耐久性能を把握した<sup>3)</sup>。

これまでの検討において、耐荷性能の観点では材料等の基本的な性質を確認し、SUS鋼を使用した際の部材単体や接合部の耐荷力特性を把握した。耐久性能の観点では、腐食促進試験及び屋外暴露試験により接合部の絶縁仕様の妥当性の検証等を行ってきた。しかし、実橋の環境条件は様々であり、実橋環境条件下での耐久性能の検証データの蓄積が課題の1つとして挙げられる。また、設計だけでなく施工上の留意点等も含めて、標準的な設計施工法の確立に向けて成果をまとめていく必要がある。そこで、これらの課題に対する取り組みとして、道路管理者と連携し部材更新が必要となった実橋梁（道路橋および歩道橋の2橋梁）を対象に試験的にSUS鋼での部材更新を実施した。研究開発段階から道路管理者と連携し、具体的な現場のニーズを反映するとともに、部分的であっても実橋での適用実績を積み重ねることで研究成果の信頼性を確保し、より成果の普及にもつながるものと考えられる。

3. 道路橋におけるSUS鋼の試験適用

3.1 対象橋梁

対象橋梁の概況を写真-1に示す。本橋は、千葉県鴨川市の海岸部に位置する道路橋（千葉県管轄）で供用後約43年が経過している。厳しい腐食環境下に置かれ、飛来塩分の影響により橋梁全体に腐食が発生している。その中でも、特に横構の腐食が進行しており、横構はすべて部材更新を行うとともに、その他の部位は全面的に塗装塗替えの補修計画がされた。本橋に隣接する暴露試験場において、SUS鋼と普通鋼の接合部を模擬した試験体の暴露試験を実施していたところ、当該橋が平成10年に全面塗替えが実施され、その後塗装の試験施工フィールドとして活用<sup>5)</sup>されてきたことを知り、その後、道路管理者とコミュニケーションを図る中で本研究の趣旨について理解を頂いた。このような経緯から横構の部材更新計画の一部に試験的にSUS鋼を使用する機会を得ることができた。

3.2 試験適用概要

本試験適用は、絶縁仕様を施した継手部の実環境下における耐久性能の評価や製作から現場施工の一連の中での留意点等の蓄積を目的として実施した。対象橋におけるSUS鋼の試験適用箇所を図-2に示す。普通鋼での部材更新と比較できるように、横構24本中8本をSUS鋼で更新し、残りを普通鋼で更新した。海岸に近いので全体的に塩分の影響を受けるものの、部位毎に付着塩分量は異



写真-1 試験施工対象道路橋（千葉県）

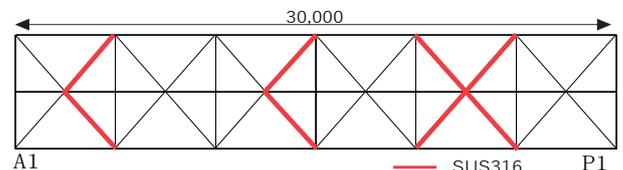


図-2 SUS鋼試験適用位置

なることが想定される。そのため、橋梁の複数個所で比較検証ができるようにSUS鋼を配置した。

SUS鋼は、腐食環境が厳しいことから耐久性に優れるSUS316を使用し、断面形状・寸法は既設部材（T-118×178×10×8×約3300）と同様とした。ガセットプレートは、腐食による断面減少が限定的であったことから既設（SS400）をそのまま使用した。横構とガセットプレートの接合部の絶縁仕様を図-3に示す。接合はSUS製高力ボルト（10T-SUS：SUS630）を使用し、絶縁材は厚さ1mmのエポキシ樹脂板を使用した。エポキシ樹脂板は、SUS鋼と普通鋼の接合面よりやや広く設置することで、電気的な短絡を防ぎ絶縁の効果が高まることが確認されている<sup>2)</sup>。そのため、接合面から5mm程度はみ出すように設置した。また、ボルトの軸部には、テフロンチューブを設置し普通鋼との絶縁を行った。接合部の塗装は、既往の文献<sup>6)</sup>を参考に、ガセットプレート端部から100mm程度SUS鋼に塗り重ねた。

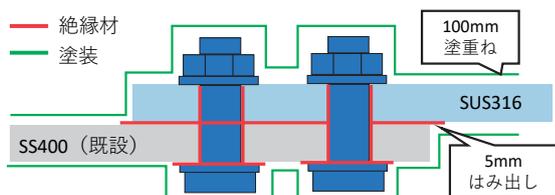


図-3 接合部の絶縁仕様

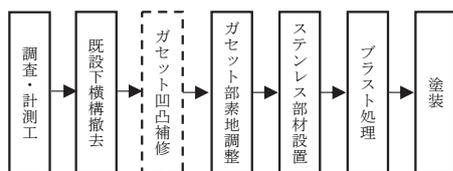


図-4 施工フロー



写真-2 部材更新状況



写真-3 プラスト時の養生

### 3.3 部材更新施工状況

部材更新の施工フローを図-4に示し、更新状況を写真-2に示す。基本的な施工の流れは普通鋼と同様である。

腐食によりSUS鋼接合面に隙間が生じてしまう場合は、隙間腐食を防止するためパテ材等で凹凸を補修することが望ましいものの、本現場では接合面に凹凸はほとんどなく、素地調整を実施した程度である。絶縁材にエポキシ板を設置した場合、通常よりややリラクセーションが大きい<sup>2)</sup>ためボルトの締付は設計軸力の20%増しで実施した。部材設置後、橋梁全面にプラストを実施するが、プラスト材が白銹などの鉄系素材の場合、ステンレスにプラスト材が当たり食い込むことでもらい錆が生じる懸念がある。その為、写真-3に示すように、SUS部材及びSUS製高力ボルトをシートまたはボルトキャップで養生したうえでプラストを行った。

## 4. 歩道橋におけるSUS鋼の試験適用

### 4.1 対象橋梁

歩道橋は、全国で約1万件以上設置されており、大部分が自動車の急増に伴う事故増加に伴い1960～70年代に安全対策の一環として整備されている。構造形式は様々なものの、鋼部材を使用した橋の割合が高く、道路橋に比べ狭隘部も多いことから腐食の問題が顕著化している。

試験適用の対象となる歩道橋の概要及び損傷状況を図-5に示す。対象橋梁は、関東圏内の内陸部に位置する歩道橋（関東地方整備局管轄）で供用後約56年が経過している。床版や排水装置の劣化による漏水等の影響で広範囲で鋼部材の腐食が発生、進行している。

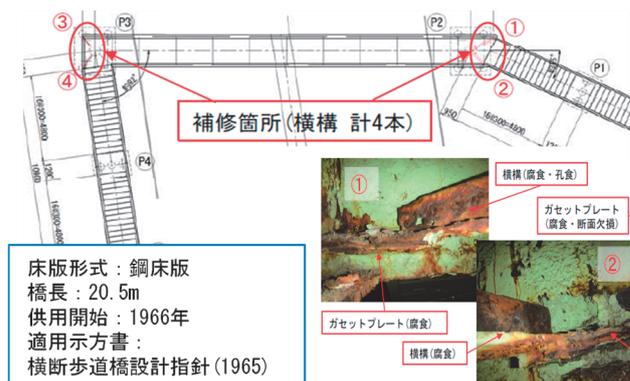


図-5 試験施工対象歩道橋（関東圏内）

## 4.2 SUS鋼での部材更新概要

鋼部材の大部分で腐食が発生しており、特に主桁に接合されたガセット及び横構の腐食が進行していることから、道路管理者との協力の下、横構4本の部材更新において一部にSUS鋼の適用が行われた。SUS鋼の設置概要及び設置状況を図-6、写真-4に示す。SUS鋼は、SUS304を使用し、接合部の絶縁仕様は道路橋での試験適用と同様（図-3）とした。また、腐食の進行したガセットプレートも一部SUS鋼で更新した。基本的に施工の流れは道路橋と同様であるが、既設部材に腐食による凹凸が生じている箇所については、樹脂板との間に隙間が生じないように、パテ材を充填した上で樹脂版を設置した。

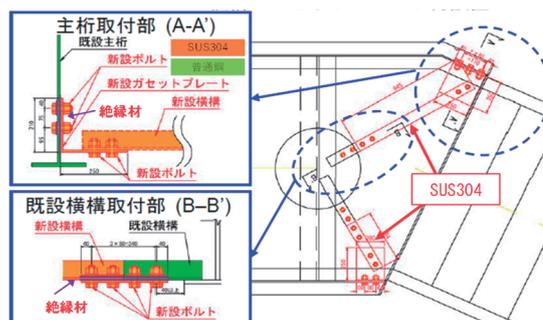


図-6 SUS鋼設置概要



写真-4 SUS鋼設置状況

## 5. まとめ

高耐久性鋼材であるSUS鋼の鋼道路橋での適用を目的に、各種の課題に対して技術開発を進めている。その中で、技術開発の情報発信に努めた結果、道路管理者のニーズと適合し、劣化が生じている実橋梁へSUS鋼による部材更新を試験的に行うことができた。今後は、試験適用箇所の状態を継続的に監視するとともに環境測定を実施し、実環境における耐久性の評価を行い、橋梁分野でのSUS鋼の標準的な設計施工法の確立に向けて検討を進めていく予定である。また、研究成果は、SUS鋼以外の材料を用いた部材更新技術が検討される際に、性能を適切に検証する観点から参考となるよう取りまとめて発信していきたい。

## 謝 辞

本研究は土木研究所、(一社)日本鋼構造協会、(一社)日本橋梁建設協会、長岡技術科学大学、長岡工業高等専門学校、早稲田大学、本州四国連絡高速道路(株)による「耐久性向上のための高機能鋼材の道路橋への適用に関する共同研究」の一環として実施した。また、千葉県及び国土交通省関東地方整備局よりフィールド提供いただき試験適用を実施した。ここに記して関係各位に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、2017.11.
- 2) 大西孝典、村井啓太、澁谷敦、上仙靖、玉越隆史：異種金属間に絶縁材を配置した摩擦接合継手のすべり耐力、土木技術資料、第61巻、第12号、pp.52~55、2019
- 3) 大西孝典、宮崎靖大、澤田守、上仙靖：鋼道路橋の異種金属接合部における絶縁方法の違いが耐腐食性に及ぼす影響、土木技術資料、第63巻、第11号、pp.34~37、2021
- 4) 市川篤司、長嶋文雄、山田稔、羽田政浩：絶縁性能を付与した摩擦接合継手の静的強度および疲労強度試験、土木学会論文集、549号、pp.65~76、1996
- 5) 片脇清士、中野正則、安波博道、落合盛人、中島和俊：鴨川暴露試験場の開設～鋼橋塗替えにおける防食技術や施工技術の確立に向けて～、土木技術資料、第57巻、第1号、pp.60~63、2015
- 6) 一般財団法人ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「基準解説編・マニュアル編」、2016.3

大西達也



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 研究員  
ONISHI Tatsuya

澤田 守



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  
SAWADA Mamoru