

維持管理を学ぶための鋼桁端部モデルの製作 ー岐阜大学インフラミュージアムにおける活用コンセプトー

櫻井 勇太¹⁾ 松村 寿男²⁾

1. はじめに

近年、N²U-BRIDGE¹⁾（名古屋大学）を始めとして、経年劣化などにより損傷した土木構造物を研究機関等のスペースに展示し、インフラ整備及び維持管理を学ぶ教育施設の構築が進められている。

岐阜大学では、平成 28 年 9 月より「使いたくなる SIP 維持管理技術の ME ネットワークによる実装」の一環として、「構造物モデルを用いた SIP 維持管理技術の検証と維持管理技術者の育成」の活動が進められている。社会基盤メンテナンスエキスパート²⁾のように構造物の種別によらず対応できる技術者育成に活用するため、平成 28 年度より岐阜大学の敷地内に「プレストレストコンクリート(PC)橋」、「鋼橋」、「トンネル」、「盛土法面」の設計・施工を学習できる「インフラミュージアム」の構築が進められている。

本稿では、当社が設計及び製作を担当した鋼橋端部モデル「合成・非合成 2 主版桁橋」において、鋼橋の維持管理を学ぶために検討した活用コンセプトについて報告する。

2. 鋼桁端部モデルの概要

鋼桁において維持管理上配慮しなければならない主な損傷である腐食と疲労に着目した鋼桁端部モデルの概要を図-1 に示す。腐食は経年により発生する伸縮装置からの漏水や滞留する湿気により桁端部

で最も発生しやすく、疲労は腐食等に起因した支承機能の低下に伴い、ソールプレート前面の溶接部に損傷が発生しやすいことから、これらを踏まえた対策を鋼桁端部に再現した構造モデルとした。実橋の端対傾構と中間対傾構を理解できるようにモデルの長さを 5m とし、端対傾構と中間対傾構の間に横桁を設けた。

3. 各構造のコンセプト

モデルにはそれぞれ維持管理上の着目点となる部位や調査及び点検の演習が可能となるように、主桁毎に構造の違いを表現している。以下に構造のコンセプトを示す。

3.1 非合成桁と合成桁

設計上のコンセプトとして大きな特徴は、2 主桁のうち G1 主桁は非合成桁、G2 主桁は合成桁で設計した点である。現在補修を要する建設後 50 年を超える鋼橋においては合成桁が多いが、最近まで新しく建設されてきた鋼橋は非合成桁が多いため、合成桁の設計思想を把握できていない若手技術者がいることに配慮した。その中で、近年盛んに進められている床版取替工事では建設当時の設計図書及び記録が残っていない橋梁も多く、施工のステップ検討等において照査断面を見誤ることで落橋等の重大な事故・災害を生じさせないように、図書がない場合においても、ずれ止めの種類や本数から合成桁か非合

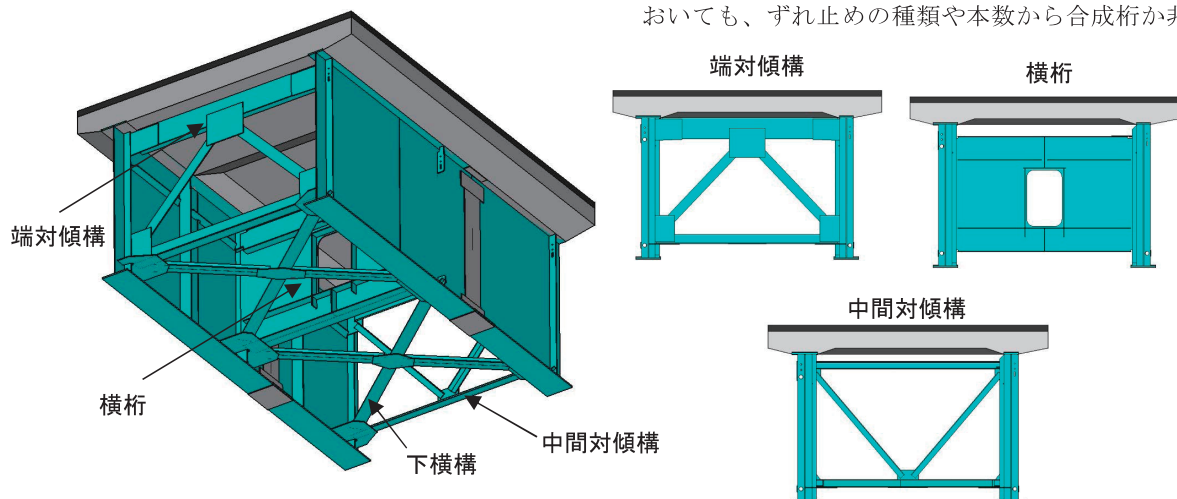
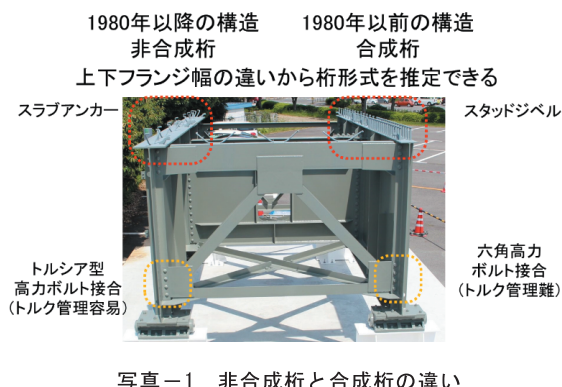


図-1 鋼桁端部モデルの概要図

1) 技術開発グループ 技術開発チーム 主任 2) 技術開発グループ 部長

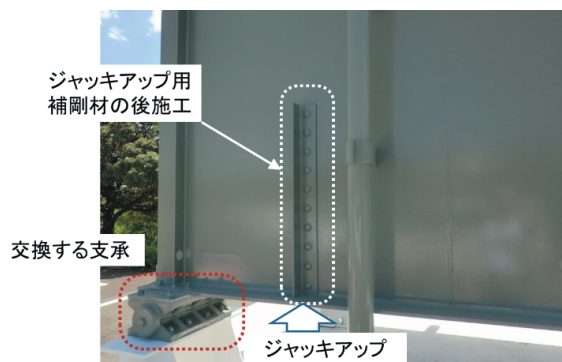
成桁かを判断する構造を採用した。写真－1 に示すモデル構築においては、床版を部分的に撤去することは困難であることから、構造を見て上下フランジ幅の違い等から設計思想を予測する感覚を養い、補修計画にフィードバックできるように配慮した。



写真－1 非合成桁と合成桁の違い

3.2 支承の交換構造

支承の取替え工事においては、支承の撤去と新しい支承を設置する作業スペースを確保することが重要となる。これは、橋面を一般車両が通行する中で桁をジャッキアップする工法を用いる場合が多いことが理由として挙げられる。しかし、橋台及び橋脚上のジャッキアップ箇所に、必ずしも補剛材や補強リブが位置していないことがあり、対策をしないでジャッキアップすると、主桁下フランジやウェブ座屈が懸念される。実工事では、写真－2 に示すように現場にて電動孔あけツール「アトラー」を用いてφ26.5程度の削孔を行い、L形鋼をM22程度の高力ボルトで取付け、ジャッキアップ用補剛材として使用する事例がある。このような緊急時の対応構造をモデル化した。

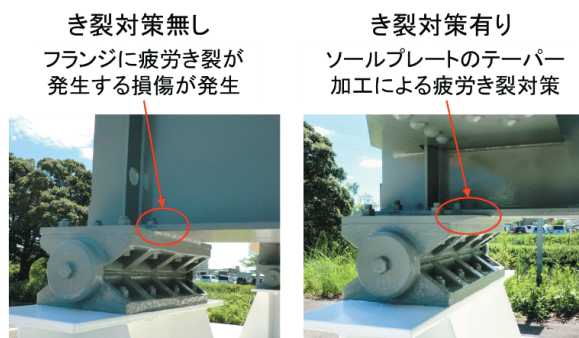


写真－2 ジャッキアップ用補剛材のモデル

3.3 支承のソールプレート構造（き裂対策）

鋼橋の損傷のうち、桁端部に発生する事例の一つにソールプレートと下フランジの境界の溶接部から

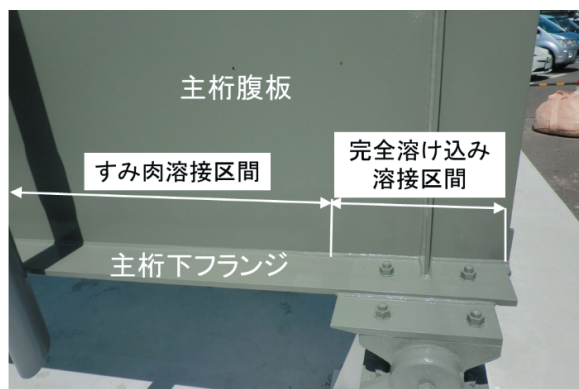
の疲労き裂がある。ソールプレートのすみ肉溶接部は断面寸法の急変部位であり、活荷重による衝撃や構造物全体の荷重を下部工に伝達する応力が集中した結果、き裂が発生していると考えられている。このような背景から写真－3 に示すように、疲労き裂が発生しやすい部位の一つであることを示す「き裂対策無し」モデルと疲労耐久性を増すための応力の流れを滑らかにするテーパ加工と溶接部仕上げを施した「き裂対策有り」モデルの2種類を採用した。



写真－3 疲労耐久性を考慮したソールプレート構造

3.4 主桁ウェブと下フランジ溶接部の構造

3.3 節に記述した疲労き裂発生部位であるソールプレート上部の接合構造に、支点部の主桁ウェブと下フランジの溶接部がある。当該部位においてもソールプレートからの応力集中により、接合部であるすみ肉溶接から疲労き裂の発生事例がある。このことから、ソールプレート上及びその50mm外側範囲の主桁ウェブと下フランジの溶接部は、部分的に完全溶込み溶接とする対策構造を学べるよう配慮した。具体的には、写真－4 に示すすみ肉溶接の違いを配慮したモデルを採用した。



写真－4 支点上溶接構造の違い

3.5 主桁ウェブの突合せ溶接部の違い

近年では、製作工数削減のため同一ブロックは同断面、同板厚を採用し、板継ぎ構造を採用しないこ

とが多いが、過去においては、断面の経済設計により多くの橋梁において板継ぎ構造(完全溶込み溶接)が採用されている。橋梁点検において、板継ぎ溶接部の知見が必要と判断し、その理解のために完全溶込み溶接部における非破壊検査で不具合を検出できること、ならびに溶接部の外観の違いを理解できる構造をモデルに採用した。

具体的には、写真-5(左)に示すように主桁ウェブに板継ぎ溶接を再現し、上半分は適切に裏はつりを実施した「完全溶込み溶接」で超音波探傷試験及び放射線透過試験などの非破壊検査において溶接きずが検出されない構造を採用した。一方、下半分は板厚の先端部を2mm残した構造で裏はつりを実施しない部分溶込み溶接を採用し、溶接きずの非破壊検査で未溶着部が検出できるモデルを構築した。これにより、完全溶込み溶接部の内部きずの非破壊検査方法を学ぶ際に、業務として非破壊検査に携わったことが無い技術者を対象に、どのようにきずが反応するか体験学習できるメリットがある。最近では、塗膜を除去することなくき裂の位置を探索できる過流探傷試験などの技術もあるため、塗膜は剥がさないままとした。

また、写真-5(右)に溶接部の外観の違いを理解できるように、上半分は「グラインダー仕上げ有り」の構造を採用し、下半分は「グラインダー仕上げ無し」の構造を採用した。これにより、外観上、突合せ溶接がない箇所においても非破壊検査で検知できるような学習、ならびに突合せ溶接の有無の違いを視覚的に学べる効果を期待している。

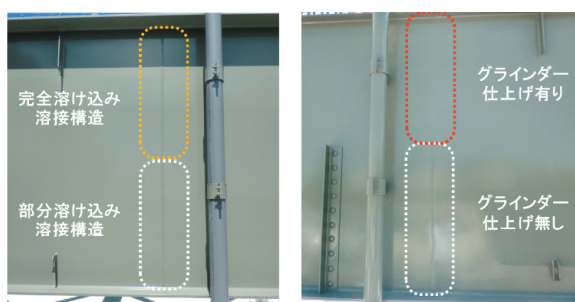


写真-5 突合せ溶接構造の違い

((左)は溶接構造、(右)は外観構造に着目)

3.6 端対傾構、中間対傾構、分配横桁の構造詳細

主桁間は、一定の間隔毎に格点を結ぶ対傾構及び横桁が設けられる。これらは主桁形状を保持するための部材であるが、取り付けの位置や構造により役割に違いがあることは周知の通りである。写真-6に示すように本モデルでは、これらの構造が学習で

きるよう配置した。以下に概略を説明する。まず、桁端部の支点上に設けられる端対傾構は床版の荷重を受けるが、中間対傾構は風荷重や地震荷重に対して設計されるため、形鋼やサイズの違いが分かるように配置した。端対傾構の上弦材は主桁と斜材の取り付け位置の距離を支間とする単純梁として計算し、曲げモーメントとせん断力にて設計した。下弦材及び斜材は、死荷重・活荷重・水平力(風荷重・地震荷重)に抵抗できるよう設計した。横桁構造には、活荷重による複数の主桁のたわみ差を減ずる目的で分配横桁を設けた。分配横桁は、隣り合う主桁を橋軸直角方向に連結することで、各種桁の活荷重たわみ量を一様にし、作用する荷重を共に負担し合う構造をイメージできるよう2主桁配置にしている。

これらの設計思想を知ること、床版取替えの要否や補強思想、取替え時の仮設補強材の形状等を適切に検討するイメージが湧くように配慮するとともに、分配横桁にマンホール用の孔を空け、維持管理における点検作業をイメージできるよう配慮した。

端対傾構・分配横桁(補剛材面) 中間対傾構・分配横桁(無補剛面)

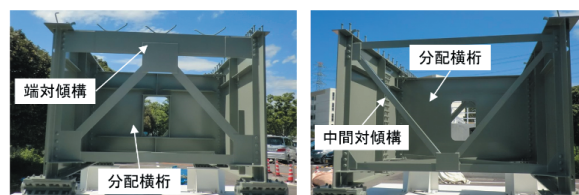


写真-6 端対傾構、中間対傾構、分配横桁モデル

3.7 下横構の交差部接合方法

水平力に抵抗するため、写真-7に示す下横構を採用した。下横構の交差部は、ボルト接合が主であるが、過去に建設された鋼橋ではガセットプレートと下横構の部材を溶接で接合されているものがある。ボルト接合の場合、現場の調整が容易な点があり、ガセットプレートを一部溶接する場合には、現場の接合部材数を削減できる点など長所がある。これらの実績のある接合構造について、架設方法はどのようにしたか想像して学べるよう配慮した。

交差部ガセットプレートプレート ボルト構造のみ 交差部ガセットプレートプレート 溶接構造の併用

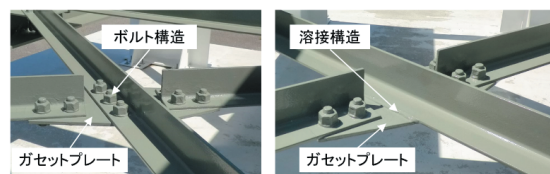


写真-7 下横構の交差部接合方法

((左)はボルト構造、(右)は一部溶接構造)

3.8 排水管の構造

橋梁では、橋面上を流れる水を排水するため、一定の間隔で排水管が設けられる。主な排水管の素材は、VP 管や SGP 管である。一般的には排水管に VP 管が採用される事例が多いが、寒冷地においては VP 管の靱性低下により損傷が懸念されるため、メッキ処理を施した SGP 管が使用されている。また、排水管の突出端が風により飛沫が巻き上げられ、近くの主桁に付着することで腐食環境となるため、下フランジからの突出量を確保する思想を踏まえ写真-8 に示す構造を採用している。

VP管構造(鋼材腐食:小) SGP管構造(景観性良好)

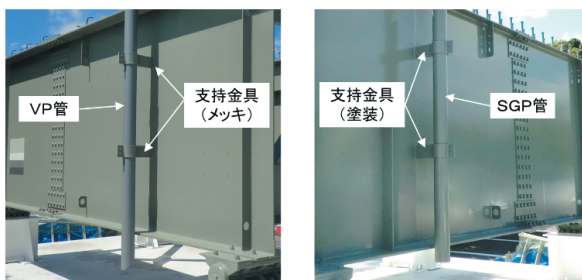


写真-8 排水管の構造 ((左)はVP管、(右)はSGP管)

3.9 一般外面塗装 (C-5 仕様) の可視化

鋼橋においては耐久性を確保するため、酸素や水及び塩化物イオン等を遮断する塗装が施される。耐久性を確保するためには、現在、鋼道路防食便覧で規定されている一般外面塗装 (C-5 仕様) が採用される場合が多い。一般外面塗装は、下地処理から上塗りの各層に下記に示す役割があるため、写真-9 に示す塗装各層の可視化モデルを採用した。

- ・塗装前の下地処理との付着力を確保するとともに、製作段階での浮き錆や付着物を除去する「ブラスト処理」(原板)。
- ・「下地処理」には亜鉛末を主成分としたジンクリッチペイントで、犠牲防食作用により鋼材の腐食を防ぐとともに下塗り塗装との密着性を確保。
- ・下地や旧塗膜との付着性に優れた変性エポキシ樹脂塗料等による「下塗り」で水分や塩化物等の腐食性物質の浸透を防ぐ。
- ・「中塗り」で下塗り塗料と上塗り塗料を一体化させる。(上塗り塗料の色相よりもやや淡彩とする)
- ・「上塗り」にて、耐候性(日光に含まれる紫外線による塗膜劣化に対する耐久性)および周囲の景観に溶け込む色相や光沢を長期間保つ。

これらの各層の外観を可視化した部分を設けた。本モデルを製作した当初は綺麗な状態が保持されて

いるが、経年劣化により塗膜の劣化が進行することを想定し、劣化度合いを比較することで各層の防食性能の差異や耐久性を学習ことができるように配慮している。

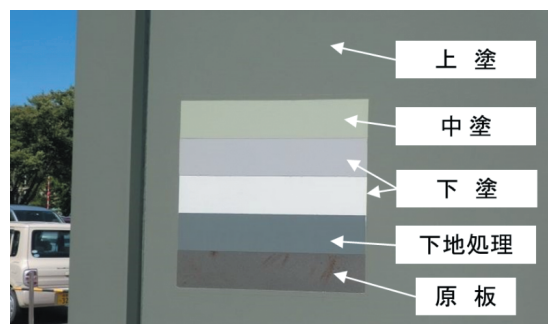


写真-9 塗装各層の可視化モデル

4. 活用方法

本稿にて述べたモデルを用いて、鋼橋の構造の理解に加え、製作時に内在する溶接欠陥の非破壊調査・点検への教材として役立つことが期待されている。さらに、構造ディテールの技術資料を提示することで、岐阜大学での鋼橋の講義での活用ならびに平成29年度4月より開始したインフラマネジメントリーダー育成プログラムにおいて活用されることが期待されている。

5. おわりに

本モデルの設計・製作を通して、いわゆる「若手技術者」と呼ばれる筆者が、古い橋梁の補修と現在の橋梁の設計思想に触れることができた。また、技術者として必要な着目点の知識を得ることができた。岐阜大学インフラミュージアムの実装プロジェクトにより、産・官・学それぞれの立場の若手を含む技術者が土木構造物の将来のために、インフラ整備や維持管理における新しい知見を学び、身につけることに寄与できれば幸いである。

謝辞：本モデルのコンセプトを監修頂いた岐阜大学 木下幸治准教授、SIP 実装プロジェクト 羽田野英明氏にご指導頂きました。また、製作にあたり、岐阜大学 六郷恵哲名誉教授に貴重なご助言を頂きました。ここに深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) N2U-BRIDGE, 橋梁長寿命化推進室,
<http://concrete-lab.civil.nagoya-u.ac.jp/n2u-bridge/index.html>
- 2) 社会基盤メンテナンスエキスパート (ME) 養成講座, <http://ciam.xsrv.jp/>