

旧余部橋りょうに学ぶ鋼橋の長寿命化のための維持管理 技術に関する調査研究

徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 海田 辰将

1. 調査研究の目的・概要

本調査研究では、平成 22 年 7 月に撤去された旧余部橋りょう主桁の腐食損傷状況を詳細に調査・計測し、その結果を橋歴・補修歴等と照らし合わせるとともに、厳しい腐食環境に 98 年もの長期間耐え抜いた事実から腐食に対する維持管理のポイントを探り、我が国の土木鋼構造物が直面している老朽化と長寿命化問題に対する補修補強などの維持管理に対する有益な知見を得る。

本研究の具体的な内容としては旧余部橋りょう主桁 4 スパン分における (1) 腐食損傷状況の調査および腐食要因の考察 (2) 鋼材の材料特性・化学成分分析 (3) その他 (塗膜除去試験等) である。

2. 実施体制

調査研究代表者：海田 辰将 (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 助教)
 共同研究者：藤井 堅 (広島大学大学院 工学研究院 教授)
 補助学生：西岡 祐希 (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 5 年生※)
 蔵本 直弥 (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 5 年生※)
 田中 幹基 (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 5 年生※)
 栢 直裕 (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 5 年生※)
 杉山 泰基 (徳山工業高等専門学校専攻科 環境建設工学専攻 1 年生※)
 中塚 萌 (徳山工業高等専門学校専攻科 環境建設工学専攻 1 年生※)

※ 調査開始時点での学年

3. 調査研究の内容と成果

(1) 腐食損傷状況の調査および腐食要因の考察

本調査研究では、共同研究者である広島大学藤井堅教授の協力を得て、調査対象である旧余部橋りょう 4 スパン分の主桁における mm 単位での詳細な寸法測定を、過去に作成された図面と照らし合わせながら実施し、正確な CAD 図面に起こす作業から始めた。その後、作成した CAD 図面上に①腐食の発生場所②腐食の程度③腐食形態などの情報をプロットすることで腐食マップが完成した。なお、調査の際にはハンマー等で簡単な打音検査を行っており、これによって判明した塗膜下の腐食についても記録している。図-1 に作成した腐食マップの一例を示す。

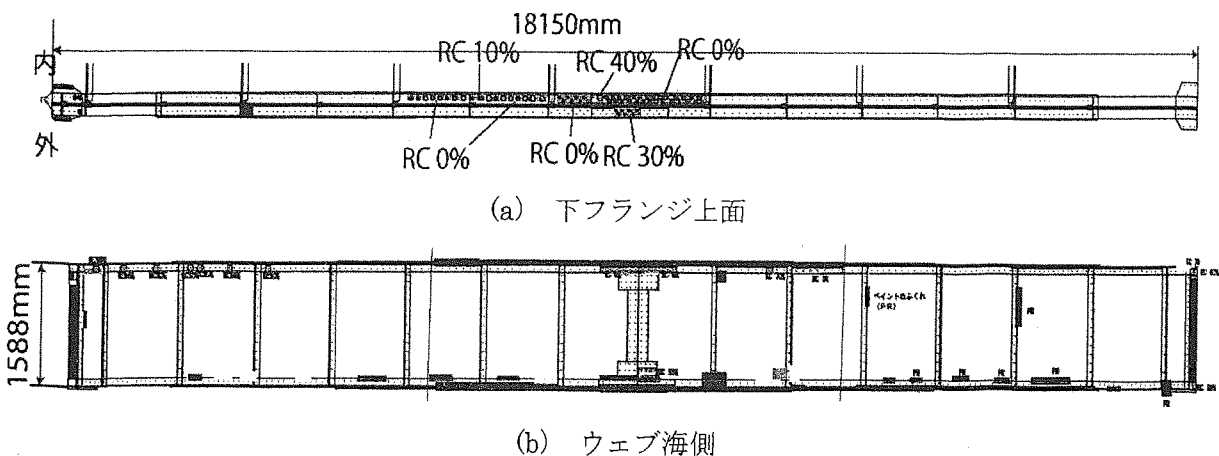


図-1 腐食マップの一例 (主桁 No.3)

腐食損傷の度合いは感覚的に理解できるように、損傷の軽微なものから順に青→緑→黄色→赤の4種類で色分けした。それぞれの損傷評価基準は、橋梁定期点検要領（案）等の文献を参考に、本主桁の全体的な発錆状況を勘案して決定した。本腐食マップから得られる情報に橋梁周辺の環境条件を勘案することにより得られた、旧余部橋りょう主桁の腐食にみられる主な特徴の一例を、以下に示す。

- 1) 海側外桁の上フランジ下面において潮風の巻き上げによるとみられる重度の腐食が確認された。
- 2) フランジ上面での枕木敷設にともなう隙間腐食が顕著であり、枕木の位置が何度も変えられた痕跡があり、隙間腐食による断面欠損は、上フランジ上面の広範囲にわたる。
- 3) スパンの長い奇数番号の主桁には、断面を増すためにカバープレートが設けられており、その境界において隙間腐食がかなり進展している。とくに、板厚膨張と断面欠損が広い範囲で確認された。
- 4) 桁の側面については、内面よりも外面の方が激しい腐食が広がっており、沿岸部の道路橋等に見られる腐食とは明らかに傾向が異なる。その主原因の1つに、開床構造であることが挙げられる。
- 5) 桁どうしの連結部においてリベット頭部が全失するほどの著しい腐食損傷が認められる。リベットや補修に用いたボルト等による凹凸が多く、塗膜の劣化が早いことに加え、構造的に塩分や湿気が溜りやすく、雨水で洗い流されにくいことによる。

(2) 鋼材の材料特性・化学成分分析

当時の鋼材の材料特性を知っておくことで、同年代前後に架橋された現存する多くの橋梁および歴史遺産等の維持管理に対して、具体的な補修法（たとえば溶接性の判断など）について有益な情報が得られる。そこで、本主桁の下フランジ、ウェブ、対傾構から各2体ずつ切り出して作成したJIS5号試験片6体について、その基本的な材料特性を調べるため、引張試験を行った。また、各部材から鋼材のサンプルを採取して、鋼材を構成する化学成分分析を実施した。

試験片	弾性係数 [GPa]	ポアソン比	降伏応力 [MPa]	引張強度 [MPa]	一様伸び [%]	破断伸び [%]
フランジ1	194.60	0.286	230.50	372.46	-	34.60
フランジ2	193.90	0.280	230.02	389.21	15.30	29.11
平均	194.25	0.283	230.26	380.84	15.30	31.86
ウェブ1	199.10	0.279	268.19	429.04	-	36.70
ウェブ2	200.50	0.290	273.42	434.09	23.20	39.20
平均	199.80	0.285	270.81	431.57	23.20	37.95
対傾構1	214.00	0.290	230.98	421.33	25.80	45.21
対傾構2	201.30	0.260	242.23	417.80	22.90	41.86
平均	207.65	0.275	236.61	419.57	24.35	43.54

表-1 余部橋りょう鋼材の材料特性

分析 元素	SM400B JIS規格値	フランジ	ウェブ	対傾構部
C	0.20以下	0.06	0.17	0.19
Si	0.35以下	0.01	0.01	0.01
Mn	0.60~1.50	0.47	0.68	0.63
P	0.035以下	0.075	0.024	0.03
S	0.035以下	0.068	0.041	0.057
Cu	-	0.04	0.09	0.07
Ni	-	0.04	0.05	0.05
Cr	-	0.05	0.02	0.02
Mo	-	0.01	0.01	0.01
V	-	0.01	0.01	0.01

表-2 化学成分分析結果

表-1 および表-2 に材料特性試験と化学成分分析の結果一覧を示す。本試験結果より、当時の鋼材自身が有する特徴として、以下の知見が得られた。

- 1) フランジ鋼材は、降伏強度、引張強度、伸びなどの点でウェブや対傾構部材に比べて構造材料としての性能が劣っている。言い換えれば、当時の製鋼技術におけるロッドや製造業者等の違いにより、同じ桁の中でも材料特性に大きなばらつきが認められる。
- 2) 1)に示すように、部材や部位によって性能の大小に多少ばらつきが認められるものの、全体的な鋼材の性能としては、現行のSS400鋼材に近い性能を有しており、その品質は高い。
- 3) C, Mn, P, Sの含有傾向が大きく異なっており、特にPやSの含有量が現行材よりも多い。
- 4) 鋼材表面のマイクロ組織観察より、表面組織は不均一であり、パーライトが場所的に偏って存在している。また、硫黄分などの介在物が断面に多く存在しており、先端が鋭角になっている。
- 5) サルファープリント試験結果より、硫黄の線状偏析が多数認められる。
- 6) 3)~6)より、高温割れや凝固割れ判定基準を満たしておらず、溶接による高温割れが発生する可能性が高いため、構造重要部分における溶接補修は避けた方が良い。

(3) その他(塗膜除去試験など)

余部橋りょうは、その厳しい腐食環境条件により建設当初から腐食することが予想されていたため、塗装には相当気を配られており、その塗装歴の大部分が記録によって判明している。最も古い塗装は開通前の明治44年8月であり、部材到着後に古い塗装や錆を落とした後、下塗りと上塗りに分けられ、組み立て前に2層、組み立て後に1層の重ね塗りが行われている。その後も橋守によって繕いケレンと呼ばれる、錆落とし→下塗り→上塗りといった一連の作業が続けられてきた経緯を有する。橋守がその役目を終えた昭和30年代から昭和60年代にかけては、ほぼ5年に1回という短い周期で塗装塗り替えが行われている。その後、平成に入ってから塗膜の性能が向上し、約10年の塗装塗り替え周期となった。この間、鉛丹・フタル酸・塩化ゴム系・エポキシ系といった様々な種類の塗装が用いられており、多くの重ね塗りが行われ、膜厚は相当厚いものと考えられる。そこで、No.2桁のウェブをサンドペーパーで地金が露出するまで研磨し、塗膜層数を確認した。その結果、少なくとも16層の厚い塗膜が確認された。これらの塗膜は場所によって厚さが異なっており、300~2000 μm であることを確認した。

現在の橋梁における維持管理では、塗装塗り替えを実施する際、古い塗膜を除去してから新しい塗装を施工することになっている。本調査研究では、このような種類の全く異なる複数の塗膜から構成され、かつ活膜を活かして重ね塗りされた腐食部材の凹凸表面に施された塗膜を効率的かつ地金を傷つけずに除去することに主眼を置き、グラインダによる機械的方法、塗膜剥離剤、超高压水吹付工法の3種類の方法を用いて実際に塗膜除去を試みた。その結果から得られた主な知見を以下に示す。

- 1) グラインダによる塗膜除去は、腐食の少ない鋼表面には非常に有利であるが、孔食内部に入り込んだ塗膜の除去は困難である。また、グラインダの出力を上げると地金の凹凸表面までも切削する。
- 2) 環境対応型の塗膜剥離剤による塗膜除去率は88% (施工回数2回)であった。本溶剤は孔食内部まで薬剤が浸透するため、腐食による凹凸表面においてもある程度の塗膜除去が可能と考えられる。しかし、塗膜の種類に対応した薬剤の選定、施工条件および施工回数と費用のバランス等において課題が残る。
- 3) 約200MPaの超高压水を鋼材表面に吹き付けることで、孔食内部の錆や塗膜のみならず、接合部の隙間に入り込んだ塗膜なども除去可能であり、ほぼ完全に地金を露出させることが可能である。しかし、塗膜が施工時に飛散するため、本橋梁のように、塗料に鉛丹等の有害物質を含む場合は排水処理の問題が生じるため、費用とのバランスおよび施工場所が重要になる。
- 4) 1)~3)より、本橋のような厚膜塗装には、現場ブラストも視野に入れて幾つかの工法を併用して対処すべきと考える。

4. 成果の発表等

本調査研究成果の一部については、下記 1)~3)に挙げる学会および研究会、講習会で発表している。

- 1) 西岡裕希, 海田辰将, 藤井堅: 旧余部橋梁主桁における腐食状況と鋼材の性質に関する特徴, 第64回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, I-10, 2012.6.
- 2) 旧余部橋梁に学ぶ鋼構造物長寿命化ワークショップ, 構造物の維持補修技術研究会 (RAMS), 2012.8.10.
- 3) 平成24年度「橋梁の維持・管理・補修・補強」講習会[中級編], 橋の老朽化対策研究会, 高知工業高等専門学校, 2012.10.19-20.

5. おわりに

本調査研究を通じて旧余部橋りょうの維持管理の歴史を紐解き、学ぶにつれて「腐食」という鋼材によって不可避な化学現象に真っ向から立ち向かった先人たちの知恵と努力に感銘を受けることとなりました。多くの人々の手がかかって98年もの長期間愛され、供用されてきた橋ですが、今回の調査研究で実施した材料試験によると、当時の鋼材そのものが有する性能が、材料的に優れていたことは間違いありません。つまり、良いものを造ってきちんと維持管理すれば100年以上供用し続けることが十分可能であることを実証しています。また、本調査研究に関わった学生をはじめ、余部橋りょうを知らない若い世代の学生たちにも今後の維持管理の重要性や歴史的橋梁の魅力に気づいてもらえたのではないかと思います。最後に、本調査研究をご支援頂きました一般財団法人新技術振興渡辺記念会の皆様に、心より感謝申し上げます。