

# 広島県域における耐候性鋼橋梁の実態調査と錆状況評価

西松建設株式会社 正会員 北村 公聖  
 福山大学大学院 正会員 上野谷 実

広島大学大学院 正会員 藤井 堅  
 山口大学大学院 正会員 麻生 稔彦

## 1. はじめに

近年 LCC 縮減が期待できる耐候性鋼橋梁が建設増加傾向にある。耐候性鋼材の特性は“さびでさびを防ぐ”である。耐候性鋼材はその表面に緻密なさび層(保護性さび)を形成し、この保護性さびが腐食を次第に抑制する特性を持つ。腐食進行が完全に停止するわけではないが、特別な維持管理を要さない程度に腐食速度を十分に低減できる。したがって、耐候性鋼材は無塗装で橋梁に適用可能であり、LCC 縮減を実現可能としている。

しかし、耐候性鋼材はどのような環境下でもその防食性能を発揮できるわけではない。飛来塩分の多い地域では海塩粒子の付着により保護性さびが形成できない。また、湿潤状態が長く続く環境や凍結防止剤の散布環境などでも保護性さびの形成が妨げられる。したがって、保護性さびを安定的に形成するために耐候性鋼橋梁には適用基準が定められている。既往の研究より耐候性鋼材に層状剥離さびが見られず、50 年後の腐食減耗量が概ね 0.3mm (100 年では 0.5mm) を越えない値とされる塩分量許容値を 0.05mdd (NaCl:mg/dm<sup>2</sup>/day) と定めた。また、飛来塩分量の分布特性等に基づき、飛来塩分量の測定を省略して耐候性鋼橋梁を無塗装で使用してよい地域を図-1 に示すように国内 5 区分にわけ、区分ごとに汀線からの距離で定めた(今後、離岸距離規定と呼ぶ)。

しかし、離岸距離規定を満たしても湿潤状態や凍結防止剤散布環境など飛来塩分以外の因子を考慮していないため、全ての耐候性鋼橋梁が本来の防食性能を発揮しているわけではない。そのため、耐候性鋼橋梁を適切な環境に使用し、適切な維持管理を行う上で、これらの因子とさび状態の関係を正確に把握することは重要である。現在、全国規模で既設耐候性鋼橋梁の実態調査が行われているが広島県ではまだ調査されていない。また、表-1 および図-2 に示すさび外観の評価基準が曝露試験片の外観に基づいたものであり明確でないことや、評価

方法がもっぱら目視に頼った状態であり、熟練技術者でないと判断が難しいという問題がある。そのため、熟練技術者のみならず誰もが容易に判断できる定量的なさび状態評価法の確立が求められている。そこで、本研究ではまだ行われていない広島県域における既設耐候性鋼橋梁の実態調査とさび状態の定量的評価法確立の試みを行う。

## 2. 耐候性鋼橋梁実態調査

### 2.1 調査対象、調査項目および調査方法

本研究の実態調査は日本工業規格 JIS G 3114 の溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 (SMA 材) を主構に使用した橋梁が対象である。耐候性鋼橋梁は無塗装で使用する裸仕様と表面に安定化補助処理剤を施した表面処理仕様に分類される。調査項目はさび状態に影響を与えると考えられる因子を選択する。項目は表-2 に示すように分類される。調査方法は可能な限り桁端部にアプローチして行う。桁端部ではさび状況を目視・さび厚計測・セロハンテープ試験で外観評価を定める。桁端部にアプローチできない場合、遠方から桁中央部のさび外観評価を目視のみで定める。桁端部におけるさび外観評価は局所環境評価とし、桁中央部のさび外観評価は地域環境・地形環境評価とし、区別する。



図-1 耐候性鋼橋梁適用区分

表-1 さび外観評価基準

| 外観評点 | 外観評価区分                              | 処置の目安 |
|------|-------------------------------------|-------|
| 5    | さびは少なく、比較的明るい色調を呈する。(約200 μm未満)     | 不要    |
| 4    | さびの大きさは1mm程度以下で細かく均一である。(約400 μm未満) | 不要    |
| 3    | さびの大きさは1～5mm程度で細かく均一である。(約400 μm未満) | 不要    |
| 2    | さびの大きさは5～25mmのうろこ状である。(約800 μm未満)   | 経過観察要 |
| 1    | さびは層状の剥離である。(約800 μm以上)             | 板厚測定  |

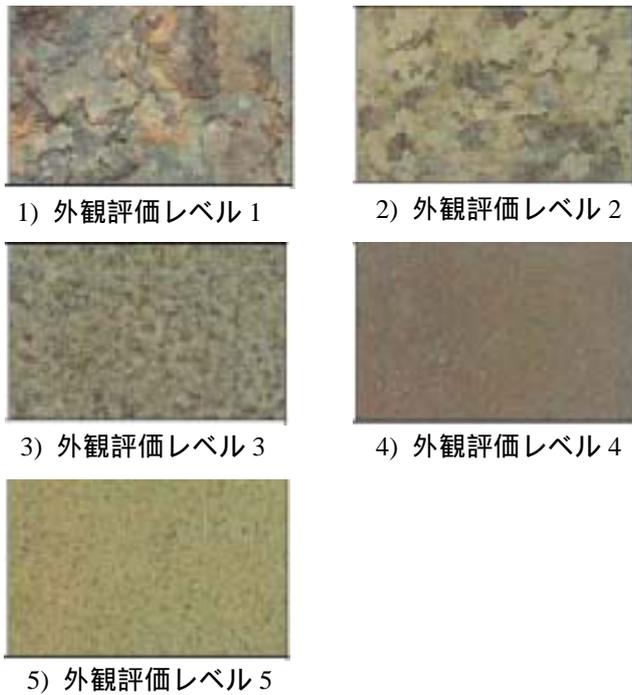


図-2 評価レベル別さび外観

## 2.2 調査結果

広島県域において調査した 40 橋の調査結果を示す。図-3 に表面処理仕様別橋梁数、図-4 に橋梁周辺環境 - さび外観レベル関係 (裸仕様)、図-5 に橋梁周辺環境 - さび外観レベル関係 (表面処理仕様) を示す。広島県域における耐候性鋼橋梁は大半が裸仕様橋梁であり、桁端部に防食工を施していない橋梁であることがわかる。また、表面処理仕様と裸仕様を併用している橋梁も存在することが明らかになった。裸仕様橋梁の約 80% は山林や農地などの人目につかない地域に多く建設される傾向であるのに対し、表面処理橋梁のほとんどは住宅地や工業地など人目につきやすい場所に建設されている。美観への配慮から、表面処理の採用によりさび汁を抑制し、橋台や桁下の汚れを防ぐことを期待した結果と推測される。しかし、裸仕様橋梁の約 20% が住宅地に建設されていることから、人目につく場所でも受け入れられているのではないかと推測できる。

図-6 にさび外観レベル別橋梁数、図-7 に経過年数 - さび外観レベル関係、図-8 に離岸距離 - さび外観レベル関係を示す。さび状態に関して、ほとんどの橋梁で健全であったと言える。処置が必要とされる外観評価レベル 2 以下の橋梁が 4 橋確認された。しかし、これらの橋梁は離岸距離規定を十分に満たしていることから、飛来塩分以外の因子によりさび状態が悪化したのではないかと推察できる。図-9 および図-10 に評価レベル 2 と判断した橋梁の G1 および G2 下フランジ下面におけるセロハンテープ試験結果を示す。図-9 は端桁内側の下フランジ下面であり外観レベル 4 と評価できる。図-10 は図-

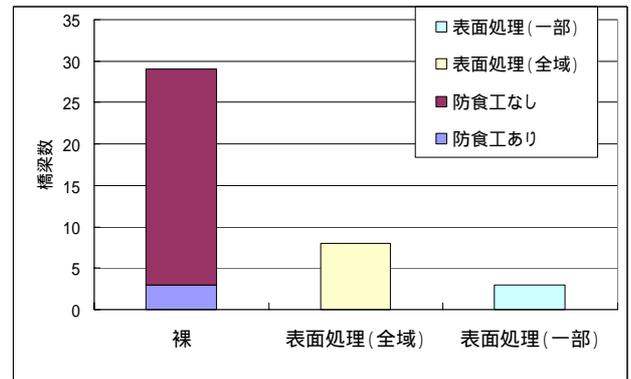


図-3 表面仕様別橋梁数

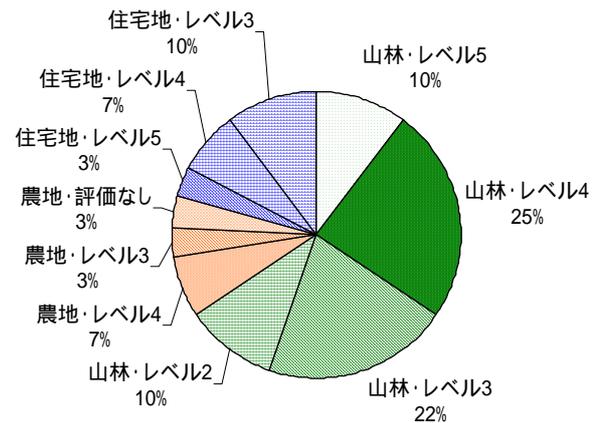


図-4 橋梁周辺環境 - さび外観レベル関係 (裸仕様)

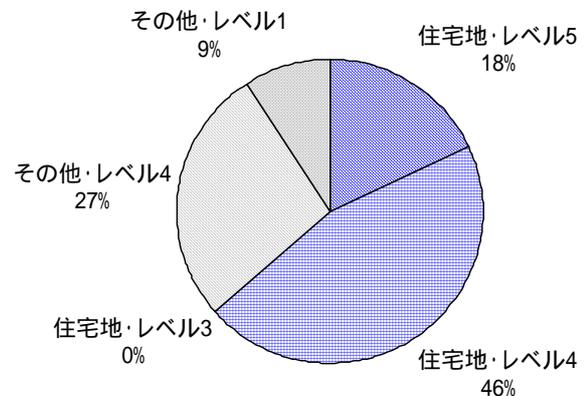


図-5 橋梁周辺環境 - さび外観レベル関係 (表面処理仕様)

表-2 調査項目

| 環境    | 構造     | 付属物  | 橋梁の現状  |
|-------|--------|------|--------|
| 離岸距離  | 竣工年月日  | 伸縮装置 | さび状態   |
| 周辺地形  | 構造緒言   | 排水方式 | 水みち・滞水 |
| 桁下空間  | 表面仕様   | 支承   | 付着堆積物  |
| 降雪雨   | SPL分割  |      | さび汁    |
| 凍結防止剤 | ウェブ切欠き |      |        |
|       | 遊間距離   |      |        |
|       | スカルップ  |      |        |
|       | 重防食    |      |        |
|       | 床版     |      |        |

11 に示すようにさび状態が悪化した G2 下フランジ下面の結果であり外観レベル 2 と評価できる。付着した浮きさびの総面積とさび粒径に大きな差が現れていることがわかる。健全なさびは粒径が細かくほぼ均一で粘着性があるため付着しにくい。一方、異常さびは粒径が粗く粘着性のない浮きさびが多いことから付着しやすい。この時、さび厚の測定結果は表-3 に示すようになる。外観レベル 4 と評価する場合、さび厚は 400 μm 未満の値を示すとされているが、さびの粒径・色調などを考慮すると G1 下フランジ下面におけるさび状態は評価レベル 4 に相当すると判断した。一方、G2 下フランジ外側におけるさび厚は測定不可であり、さび状態を考慮しても評価レベル 2 が妥当であると考えられる。

また、経過年数が 5 年以内と若い橋梁はさびが出ておらず評価レベル 5 となる橋梁が多いが、一部、既にさび状態が若干悪いと思われる橋梁も 3 橋確認された。レベル 5 と評価される橋梁のセロハンテープ試験結果とさび厚計測結果を表-4 および図-12 に示す。さび粒径は細かく均一であるが、粘着性のある保護性さびが形成できていないため、一面にさびが付着する。また、さび厚は 200 μm 以下となっている。離岸距離規定に関して、1km 未満の橋梁が 4 橋確認されたが、さび状態は健全であった。

### 3. さび定量的評価法の検討

耐候性鋼材は穏やかな環境下で一様に腐食減耗するとされている。一方、異常さびである層状剥離さびやうろこ状さびは局部的に著しい腐食を伴う。そのため、本来の防食性能を発揮している耐候性鋼材は腐食深が浅い表面形状を有し、異常さびが生じた耐候性鋼材は局部的に腐食深が深い表面形状となる。しかし、腐食深を求めるためには初期板厚が必要であるが、実測されていないことから、本研究では鋼材表面の凹凸状態を測定し、スペクトル解析等を行い、定量的評価基準の設定を試みる。

現場で 3 次元座標計測を行う場合、測定器設置のスペースや電源の確保が難しいなどの問題があるため、図-13 に示す耐候性鋼材の表面形状を型取ったレプリカを用いる。レプリカのサイズは約 50mm × 50mm であり、印象材を使用している。作成方法は、耐候性鋼材表面の浮きさびをワイヤーブラシやグラインダーで除去し、地金の凹凸形状を印象材で型取る。レプリカの測定は図-14 に示す 3 次元座標計測装置を用いて行う。計測器の精度は x 軸が 0.015mm, y 軸が 0.025mm, z 軸が 0.2 μm となっている。レプリカは高知自動車道において凍結防止剤の影響を受けてさび状態が悪化したとされる橋梁の下フランジ上面における地金凹凸状態を型取っている。測定方法は x 軸方向に 0.04mm 間隔で測定する。これを 5mm 間隔で行い、1 レプリカ 9 本または 10 本の計測を行う。図-15

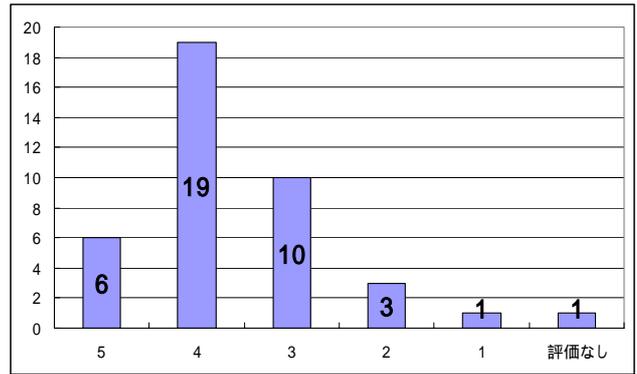


図-6 さび外観レベル別橋梁数

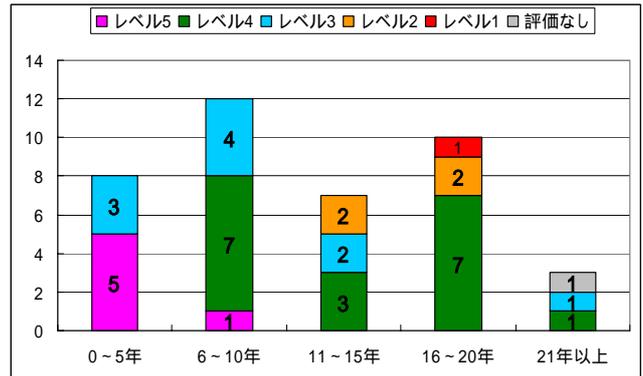


図-7 経過年数 - さび外観レベル関係

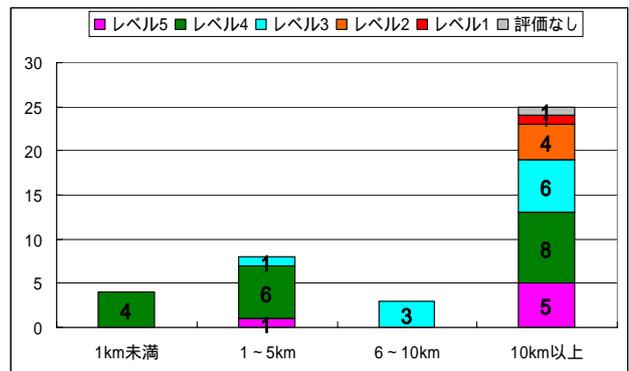


図-8 離岸距離 - さび外観レベル関係

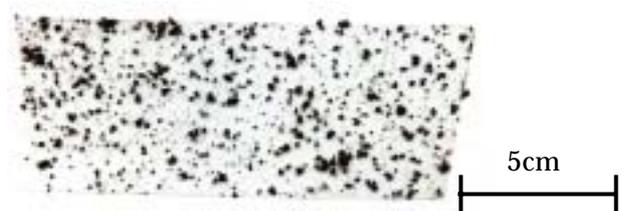


図-9 G1 下フランジ下面 評価レベル 4



図-10 G2 下フランジ下面 評価レベル 2

に外観レベル 2<sup>+</sup>, 3<sup>-</sup>, 3 ごとの標準偏差 - 度数の関係を示す。外観評価レベルはレプリカを採取した熟練技術者が行ったものである。5 段階評価を基本としながら、同一レベルの中でさらに細分化している。結果より外観評価レベル 3 の標準偏差は 0.07 以下を示す傾向にあり、外観評価レベル 2 の標準偏差は 0.08 以上の値を示す傾向にあることがわかる。それゆえ、外観レベルの評価基準は外観レベル 2<sup>+</sup>および 3<sup>-</sup>の標準偏差が主に 0.07 から 0.08 の間で推移していることを考慮すると、レベル 2 とレベル 3 の境界値を 0.075 と定めた。

この基準を用いるとレプリカの外観評価が変化することも現れるが、評価者による誤差範囲に含まれると考えてよいと思われる。

#### 4. 結論

本研究で広島地域の既設耐候性鋼橋梁 40 橋の実態調査と耐候性鋼材の表面形状を型取ったサンプルを用いてさび状態の評価法を検討した。

本研究で得られた結論を以下に示す。

##### 1)実態調査

- ・ さび状態は一部、状態が悪い橋梁が確認されたが、全体的に良好であると言える。異常さびの発生原因は長時間継続する湿潤状態が作り出されたためであり、飛来塩分および凍結防止剤の影響を強く受けた橋梁は存在しないと言える。
- ・ 構造ディテールに関して、狭い遊間距離や橋台に設けられた囲い、橋梁に近接している地山など望ましくない事例が多く確認された。しかし、これらの事例は主に 10 年以上経過した橋梁に多く見受けられ、近年建設された、または建設中の耐候性橋梁はこれらに配慮した構造ディテールを有したものが多い。

##### 2)さび状態の評価法

- ・ 耐候性鋼材表面を型取ったサンプルを用いて表面形状計測、スペクトル解析を行った。結果を用い、さび外観の定量的評価基準を設けた。
- ・ サンプルを用いた表面形状計測はさび状態の新しい定量的評価法として有用である。



図-13 耐候性鋼材サンプル



図-14 3次元座標計測装置



図-11 セロハンテープ測定箇所

表-3 さび厚測定結果

|    |       |          |     |     |     |     |     | ave     |
|----|-------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| G1 | 下フランジ | 上面-ウェブ付近 | 435 | 569 | 448 | 424 | 394 | 454     |
|    |       | 上面-外端    | 738 | 553 | 418 | 430 | 480 | 523.8   |
|    |       | 下面-ウェブ付近 | 417 | 680 | 537 | 494 | 447 | 515     |
|    |       | 下面-外端    | 528 | 656 | 611 | 683 | 551 | 605.8   |
| G2 | 下フランジ | 上面-ウェブ付近 | 264 | 282 | 465 | 326 | 465 | 360.4   |
|    |       | 上面-外端    | 412 | 549 | 513 | 833 | 590 | 579.4   |
|    |       | 下面-ウェブ付近 | 624 | 636 | 591 | 655 | 589 | 619     |
|    |       | 下面-外端    | *   |     |     |     |     | #VALUE! |

(\* )うるこ状で測定できず

表-4 レベル 5 橋梁さび厚測定結果

|       |       |          |     |      |      |      |      | ave    |
|-------|-------|----------|-----|------|------|------|------|--------|
| 下フランジ | 下フランジ | 上面-ウェブ付近 | 126 | 116  | 115  | 240  | 175  | 154.4  |
|       |       | 上面-外端    | 112 | 208  | 158  | 61.7 | 127  | 133.34 |
|       |       | 下面-ウェブ付近 | 112 | 104  | 112  | 107  | 100  | 107    |
|       |       | 下面-外端    | 193 | 145  | 134  | 109  | 118  | 139.8  |
| 下フランジ | 下フランジ | 上面-ウェブ付近 | 155 | 148  | 145  | 174  | 193  | 163    |
|       |       | 上面-外端    | 181 | 71.2 | 60.2 | 93.4 | 65.6 | 94.28  |
|       |       | 下面-ウェブ付近 | 213 | 115  | 104  | 104  | 102  | 127.6  |
|       |       | 下面-外端    | 136 | 196  | 192  | 139  | 163  | 165.2  |



表-12 レベル 5 橋梁セロハンテープ試験結果

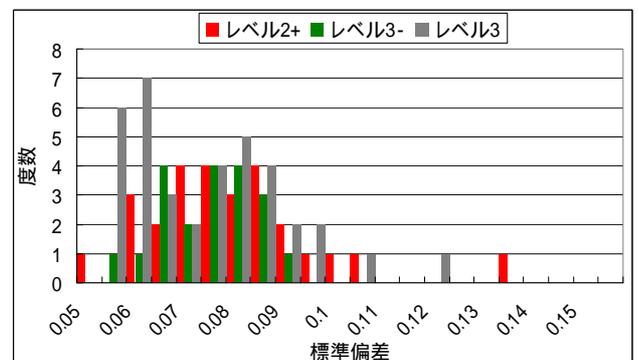


図-15 サンプル標準偏差 - 度数関係