

耐候性鋼の 橋梁への適用

Application of Weathering Steel in Bridges

一般社団法人 日本鉄鋼連盟

一般社団法人 日本橋梁建設協会

はじめに

鋼橋の腐食を抑制する方法は、主に塗装等による被覆と、耐食性材料の使用の2つに大別できます。
耐食性材料としては、耐候性鋼が主に用いられています。
耐候性鋼は、表面に生成される緻密なさび層により腐食の進行を抑制し、無塗装で優れた耐食性を発揮します。



耐候性鋼適用のメリット

■ ライフサイクルコスト削減

塗り替え塗装が省略できます。

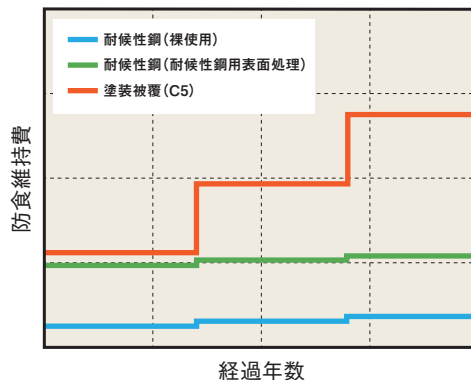
■ 環境負荷低減

塗装無しで使用できます。

■ 環境との調和

生成する保護性さびは、年月の経過と共に自然と調和する重厚な外観を形成します。

ライフサイクルコストのイメージ

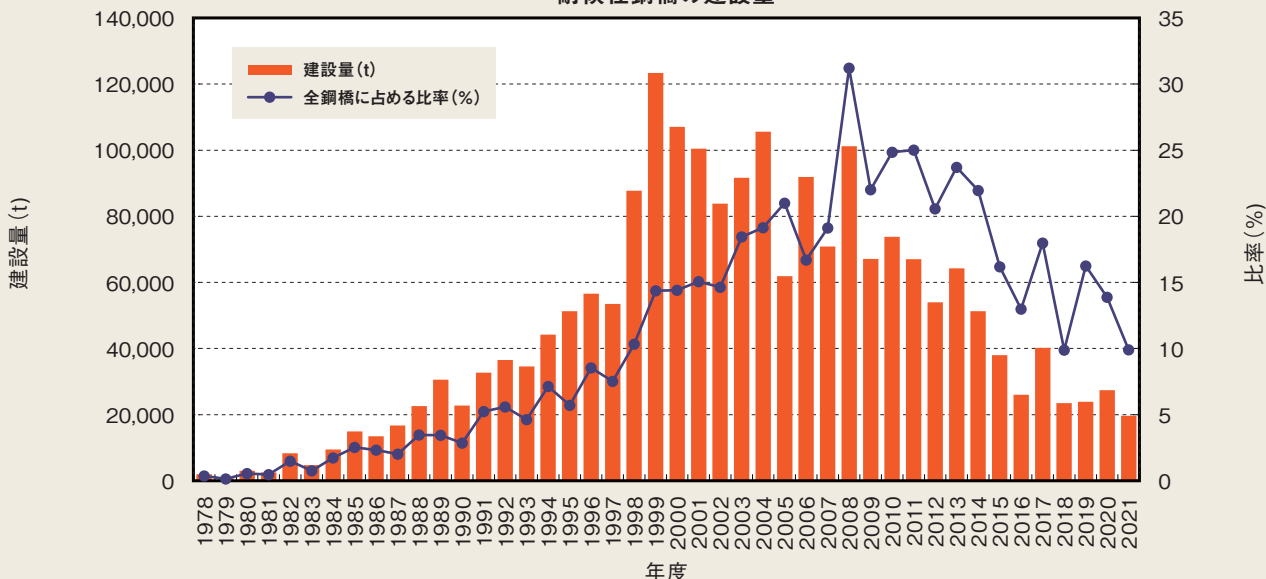


耐候性鋼は、銅 (Cu)、ニッケル (Ni)、クロム (Cr) 等の耐候性の向上に有効とされる合金元素を適量添加しています。これらの合金元素の働きにより、保護性さびが年月の経過と共に形成され、腐食の原因となる酸素や水の透過を低減し、腐食の進行を抑制します。

適用状況

最近では新設鋼橋の10~20%程度が耐候性鋼橋です。

耐候性鋼橋の建設量



※維持管理に関する知見の蓄積により信頼性の向上をはかり、適用比率の維持・向上を目指しています。

(一社)日本橋梁建設協会調べ

適用事例 1

耐候性鋼橋は様々なところで使用されています。

山間部



奈良県 沼田原橋 (SBHS400W, SBHS500W)

都市部



東京都 イーストデッキ

田園部



千葉県 芝第2高架橋 (2主I桁+合成床版)

跨線橋・跨道橋



東京都 札ノ辻橋

高飛来塩分環境



新潟県 北陸道架道橋 (ニッケル系高耐候性鋼)

長期供用



愛知県 知多2号橋 (1967年)

耐候性鋼の適用性判定方法 (文献4)

1 防食に対する要求性能

2 離岸距離規定

3 飛来塩分量の測定方法

4 架設地点・経年と腐食減耗量の関係

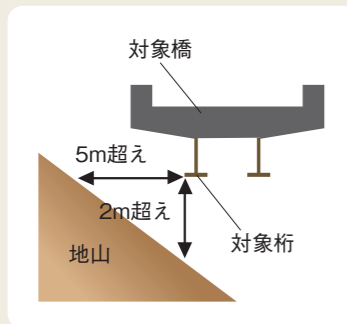
5 曝露試験

6 各種耐候性鋼の腐食減耗量予測

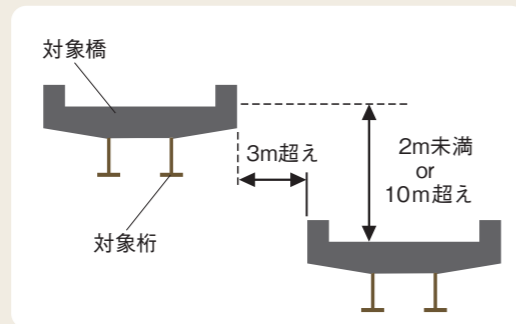
1～6の詳細は、5頁・6頁を参照して下さい。

B 凍結防止剤散布地域の工夫

路面からの飛散の影響を受けないと見なせる範囲 (文献7)



地山と鋼桁の距離



並列橋との距離

C 耐候性鋼用表面処理 [さび安定化補助処理] (1967年より適用開始)

基本機能

- 初期の流れさび発生を抑制し、周囲の着色を防いで景観性を調整する(基本機能)。
- 耐候性鋼の腐食の進行を制御する(付加機能)。

基本適用範囲

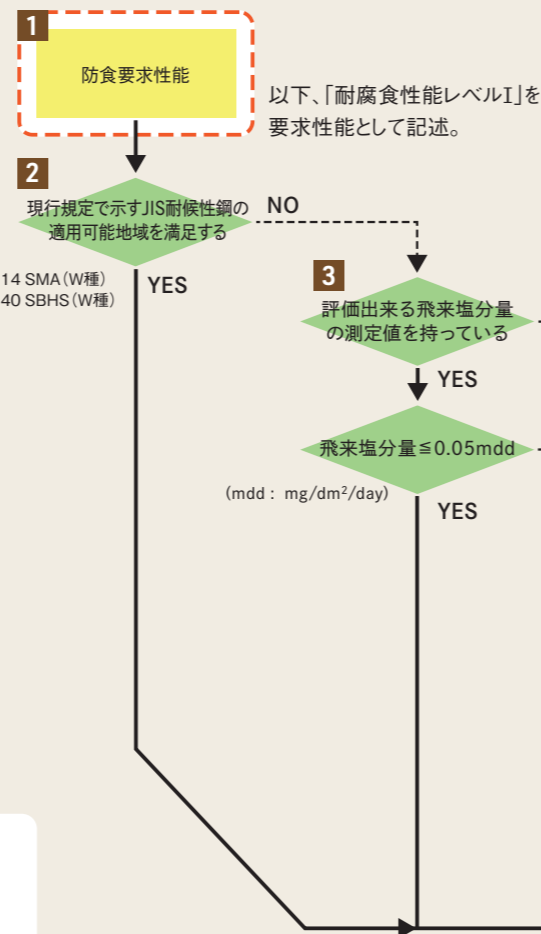
- 母材となる耐候性鋼の適用可能な環境条件で適用することが原則。(注3)
- 風化、消失過程における部材表面外観は初期に対して不均一な変色やさび発生が起こりえるので、それを問題としない場合に適用が可能。

注3：原則を満たさない場合には、耐候性鋼の裸仕様での腐食減耗予測を行い、100年でおおむね1.0mm以下となる環境下で、耐候性鋼用表面処理剤を用いた耐候性鋼部材を適用することが提案されています。

耐候性鋼用表面処理の適用事例



山梨県 小形山架道橋(山梨リニア実験線)



A ニッケル系高耐候性鋼 (1998年より適用開始) (文献5)

ν値が高いほど耐候性能が優れる

種類の記号	化学成分	引張試験、シャルピー衝撃試験
SMA400W-MOD	3%Ni-Cu系 2.7%Ni-Cu-Ti系	JIS耐候性鋼と同一
SMA490W-MOD	2.5%Ni-極低炭素-Cu系 1.5%Ni-Mo系	
SMA570W-MOD	1%Ni-Cu系 1.0%Ni-Cu-Ti系	

● 耐候性合金指標 (ν値) [JIS G 3140 附属書B]

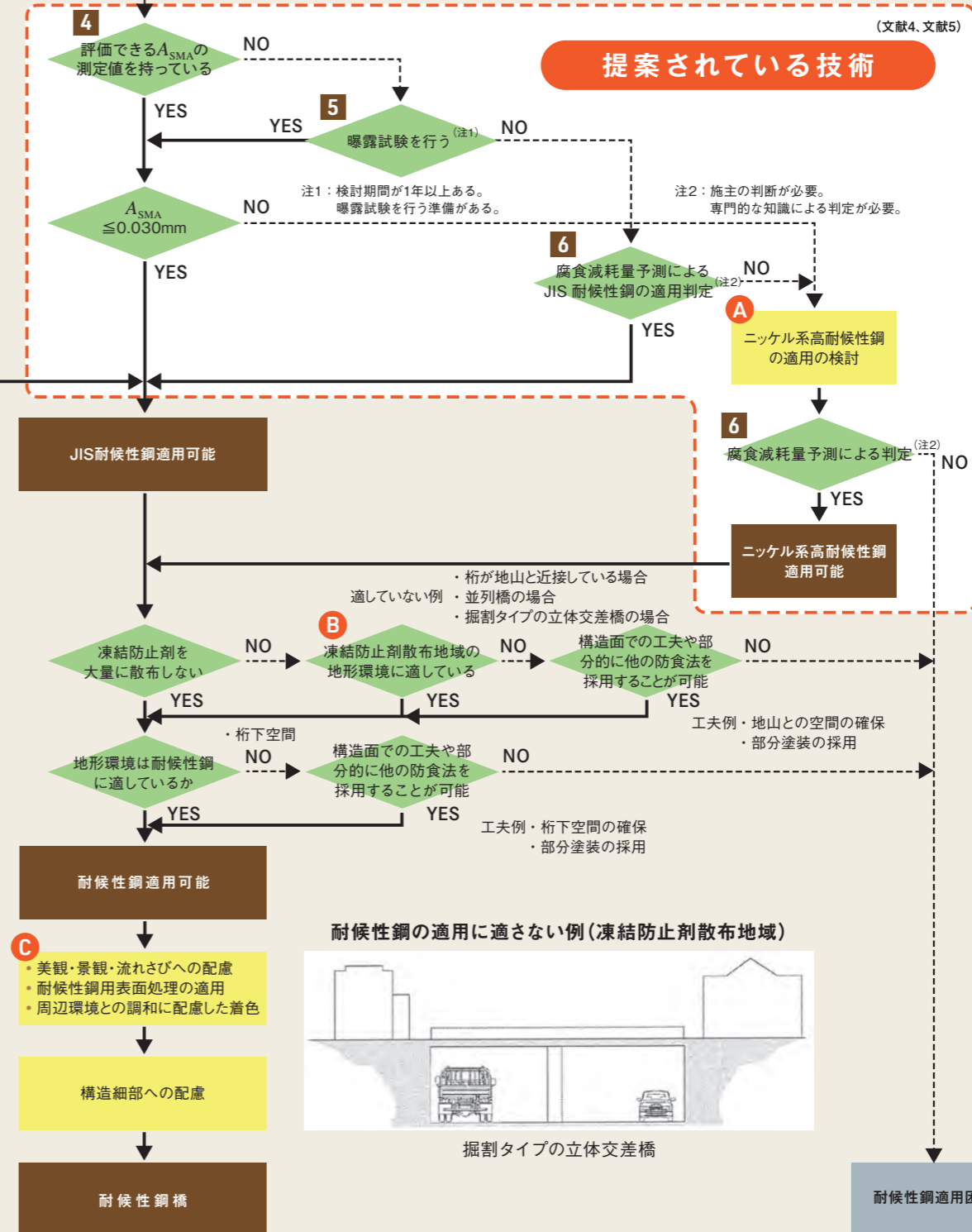
$$\nu = 1 / \left[(1.0 - 0.16C) \times (1.05 - 0.05Si) \times (1.04 - 0.016Mn) \times (1.0 - 0.5P) \times (1.0 + 1.9S) \right. \\ \left. \times (1.0 - 0.10Cu) \times (1.0 - 0.12Ni) \times (1.0 - 0.3Mo) \times (1.0 - 1.7Ti) \right]$$

ただし、 $0.9 \leq \nu \leq 2.5$

ニッケル系高耐候性鋼の適用事例



長崎県 瀬戸中央橋



掘割タイプの立体交差橋

1 防食に対する要求性能

一般には耐腐食性能レベル=Iが目標です。

あらかじめ想定する腐食減耗量(片面)の範囲として、表に示す耐腐食性能レベルが考えられます。

橋梁の構造計画、設計、施工および維持管理の各段階では、レベルに応じた適切な措置や配慮を行う必要があります。

耐候性鋼橋の耐腐食性能レベル (文献4)

I	<ul style="list-style-type: none"> ● 設計供用期間中の腐食減耗量が、設計上耐荷力性能に影響がない範囲に留まる性能レベル。 ● 片面あたり平均0.5mm/100年以下を目標。 ● さび外観評点3~5に保持。
II	<ul style="list-style-type: none"> ● 予め設計上腐食代を見込むことにより、設計上耐荷性能に影響がない範囲となるレベル。 ● 片面あたり平均1.0mm/100年以下を目標。 ● さび外観評点2の軽度な部類に保持。
III	<ul style="list-style-type: none"> ● 一般に取替えを前提とする部材に適用する。 ● さび外観評点1でも許容。

2 離岸距離規定

海岸線から一定距離以上離れていれば、適用可能です。

道路橋では以下に示す地域に対して、一般に無塗装でJIS耐候性鋼を用いることが可能となっています。

地域区分	飛来塩分量の測定を省略してよい地域	
日本海沿岸部	I	海岸線から20kmを超える地域
	II	海岸線から5kmを超える地域
太平洋沿岸部	海岸線から2kmを超える地域	
瀬戸内海沿岸部	海岸線から1kmを超える地域	
沖縄	なし	

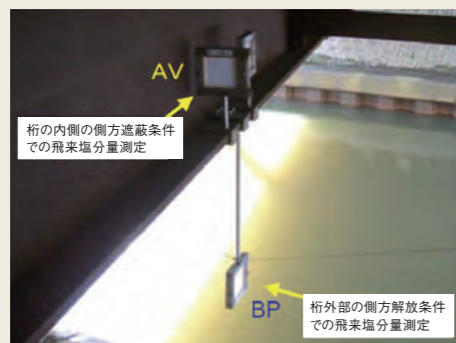


JIS耐候性鋼を無塗装で使用する場合の適用可能地域 (文献6)

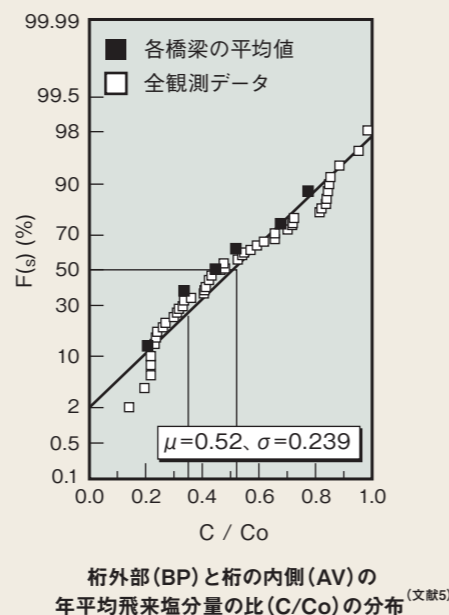
3 飛来塩分量の測定方法

桁の内側で測定することが基本です。

飛来塩分量を測定し、0.05mdd以下となる地域で適用可能です。風通しの良い場所(下図のBP)で測定した年平均飛来塩分量(C₀)から桁の内側(下図のAV)の年平均飛来塩分量(C)への換算は、 $C/C_0 \approx 0.5$ [$\sigma \approx 0.24$]が目安です。



飛来塩分量の測定位置 (文献5)



4 架設地点・経年と腐食減耗量の関係

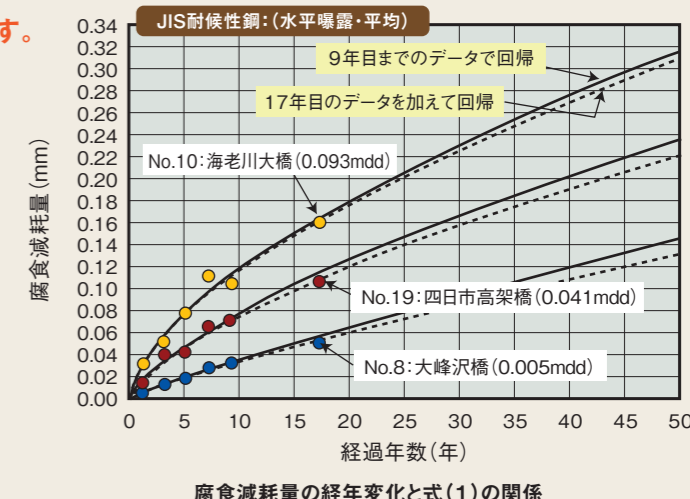
耐候性鋼の腐食減耗量は、式(1)によって予測可能です。

$$Y = A_{SMA} X^{B_{SMA}} \quad \text{式(1)} \quad \text{(文献5)}$$

Y : X年後の腐食減耗量 (mm)
 X : 経過年数 (年)
 A_{SMA} : 初年度の腐食減耗量 (mm)
 B_{SMA} : 保護性さび形成効果の逆数

A_{SMA}は、架設地点情報(気象データ、離岸距離)や曝露試験によって求めることができます。

B_{SMA}はA_{SMA}から推定可能です。評価時と架設後に大きな環境変動がない場合には、式(1)によって、腐食減耗量の予測が可能です。



5 曝露試験

A_{SMA}は、架設地点のワッペン式曝露試験によって高精度に求めることが可能です。

曝露試験に基づくA_{SMA}は、架設地点のあらゆる腐食因子の影響を含むので、飛来塩分量よりも原理的に高精度な指標です。現地作業は、設置と、1年後の回収だけで済むので、毎月、設置・回収を行う飛来塩分量測定と比較して、簡便です。



6 各種耐候性鋼の腐食減耗量予測

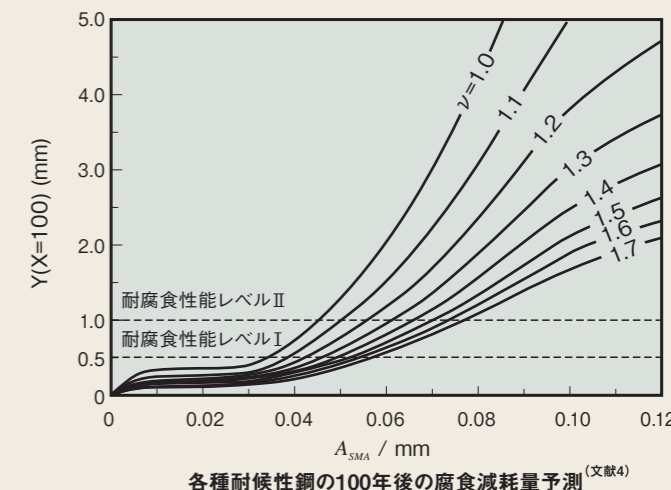
腐食減耗量は図より予測可能です。

A_{SMA}とν値(耐候性合金指標)を用いて、各種耐候性鋼の100年後の腐食減耗量を予測することができます。

● 耐候性合金指標(ν値) [JIS G 3140 附属書B]

$$\nu = 1 / \left[(1.0 - 0.16C) \times (1.05 - 0.05Si) \times (1.04 - 0.016Mn) \times (1.0 - 0.5P) \times (1.0 + 1.9S) \right. \\ \left. \times (1.0 - 0.10Cu) \times (1.0 - 0.12Ni) \times (1.0 - 0.3Mo) \times (1.0 - 1.7Ti) \right]$$

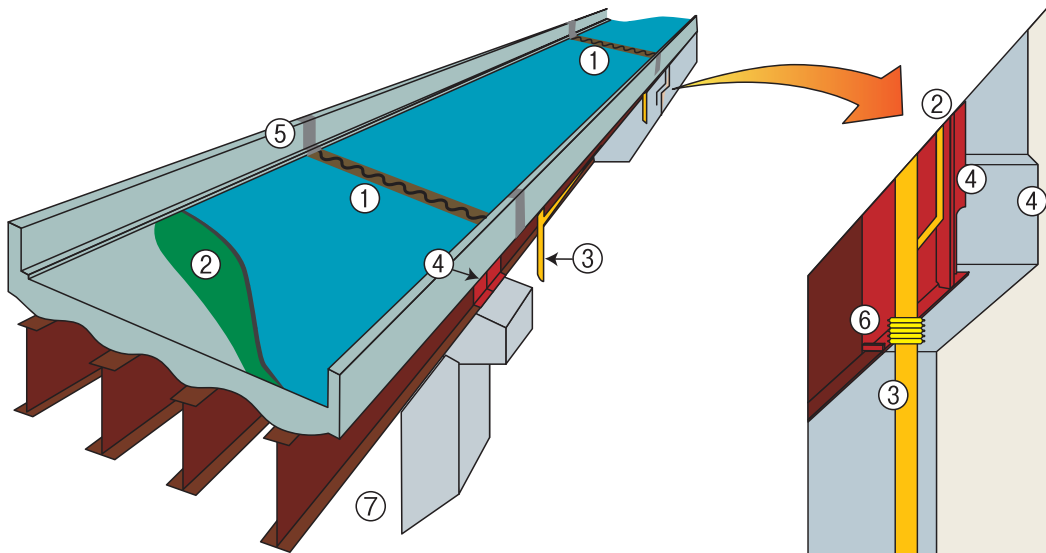
ただし、 $0.9 \leq \nu \leq 2.5$



設計・施工にあたって

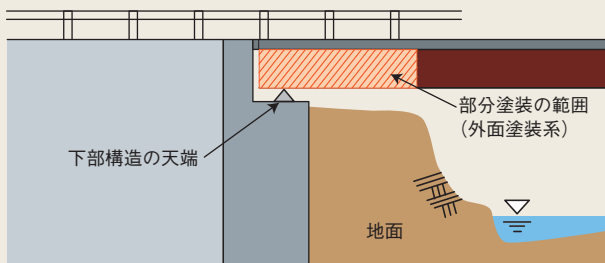
耐候性鋼橋に適切な環境であっても、下図のように漏水や湿気への対策を施すことが必要です。

特に桁端部は、塗装橋同様に防食上の環境条件が厳しいため、設計・施工にあたっては架橋条件に配慮した適切な対策を施すことが大切です。



- ① 伸縮継手：非排水型を採用する。
- ② 床版：信頼性の高い防水層を設置する。
スラブドレーンを設置し、確実に桁下まで導水する。
- ③ 排水装置：排水管先端位置を桁下まで十分伸ばす。もしくは下部工排水装置に導水する。
- ④ 桁端部：桁端部を塗装する。桁ウェブやバラベットに切欠きを設ける。
(漏水および湿気対策と維持管理性の向上)
- ⑤ 壁高欄：継目へ止水工を設置する。
- ⑥ 構造詳細：水切り板等を設置する。
- ⑦ 風通し：植生に覆われる等、常に湿度が高くなるような環境は改善する。

設計・施工対策例



地面が迫った地形での部分塗装推奨範囲 (文献7)



対策事例(左:水切り板、右:バラベット切欠き)

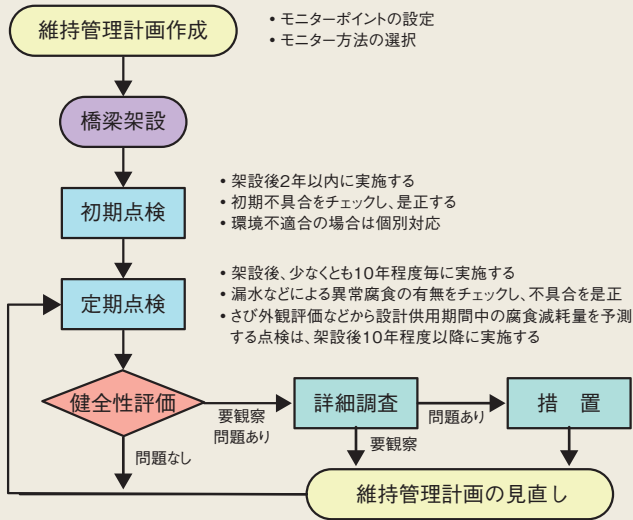
凍結防止剤を大量に散布する地域における特定の条件の橋梁については、走行車両による路面水の巻上げの影響や湿潤環境への配慮が必要です。

- 桁が地山と近接している場合
- 並列橋の場合
- 掘割タイプの立体交差橋の場合 など

維持管理

耐候性鋼橋の点検・調査フロー

良好なさび状態を維持するためには、定期的な点検と健全性を評価することが必要です。

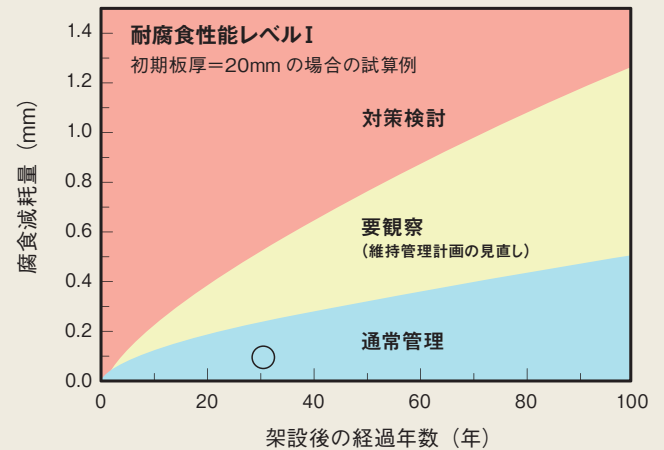


耐候性鋼橋の点検・調査フロー (文献5)

※点検は各橋梁管理者が定める各種点検要領に準拠することを基本とし、上記に留意するものとします。

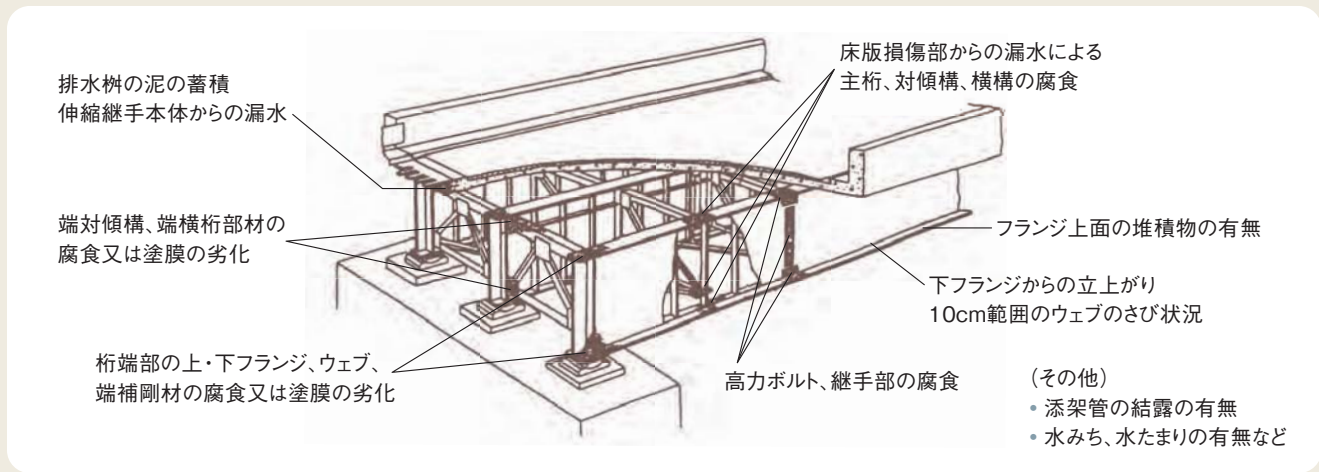
健全性評価

健全性の評価にあたっては、あらかじめモニタリングポイントを設定して鋼材の腐食減耗量を測定することにより適切な診断をする方法が提案されています。



定平板厚測定を用いた管理境界領域計算例を用いた評価例 (文献4)

重点点検箇所



重点点検箇所 (文献8)

点検結果の処置

● 滞水・漏水発見時の処置

滞水・漏水を発見した場合には、早急の原因を突き止め、防止対策を施す必要があります。

また、その防止対策により原因が排除できない場合は塗装などによる防食を検討することを推奨します。

● 堆積物発見時の処置

土砂、塵埃、鳥の糞などが堆積している場合には、堆積物が水分を含み桁を長時間濡らす原因となるため、水洗等の適切な方法で除去することを推奨します。



桁洗浄事例

さびの外観評価と処置の目安

耐候性鋼のさび外観評点、ならびに今後の処置の目安を示します。

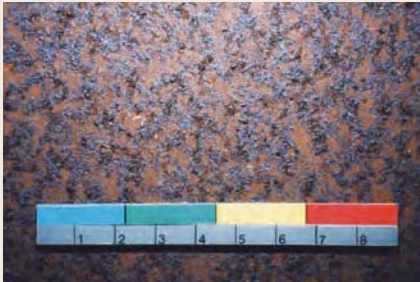
外観評点3～5：良好であり、そのまま引き続き使用できます。

外観評点2：さび外観の変化を継続観察する必要があります。

外観評点1：板厚測定し板厚減少量が大きく設計応力に近い将来に問題になると予測される場合は補修が必要です。

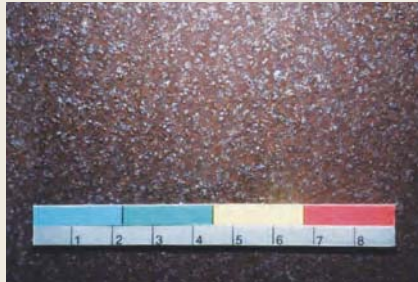
各評点の代表的なさび外観(架設後10年以上経過した橋梁での事例)^(文献4)

外観評点5



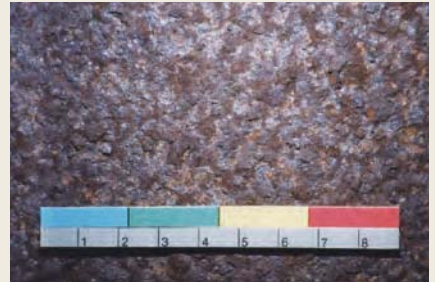
さびの量は少なく、比較的明るい色調を呈する。
[今後の処置の目安: 不要] (約200 μ m未満)

外観評点4



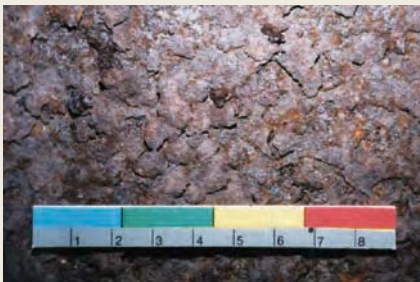
さびの大きさは1mm程度以下で細かく均一である。
[今後の処置の目安: 不要] (約400 μ m未満)

外観評点3



さびの大きさは1～5mm程度で粗い。
[今後の処置の目安: 不要] (約400 μ m未満)

外観評点2



さびの大きさは5～25mm程度のうろこ状である。
[今後の処置の目安: 経過観察要] (約800 μ m未満)

外観評点1



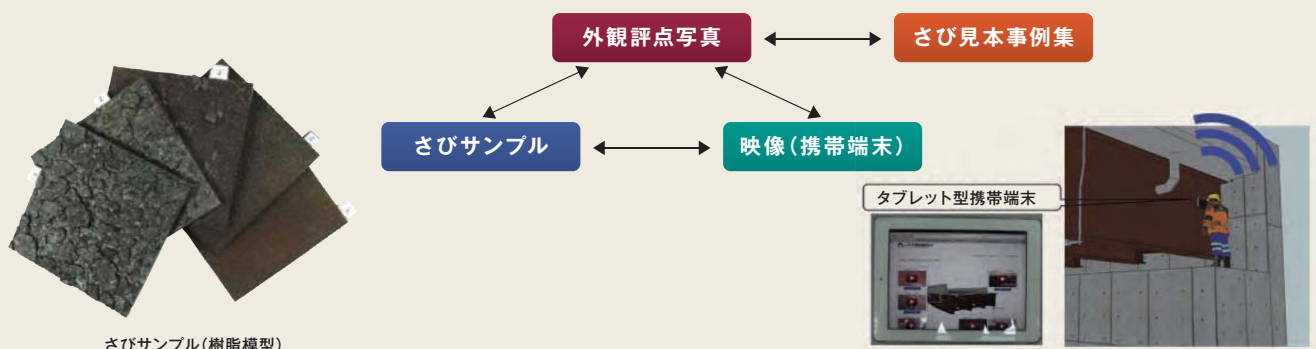
さびは層状の剥離がある。
[今後の処置の目安: 板厚測定] (約800 μ m超)

()内数値は外観評価の補助手段として測定したさび厚さの目安を示す。

さび外観評価補助システム

耐候性鋼の防食機能の評価を補助するツールの充実をはかっています。

- ・ 動画データ、さびサンプル、さび評点の目安
日本橋梁建設協会HP「耐候性鋼橋のさび外観評価補助システム」<https://www.jasbc.or.jp/sabi/>
- ・ 立体写真(アナグリフ)、セロファンテープ試験などのデータ集
JSSCテクニカルレポート No.107「耐候性鋼橋梁のさび見本事例集」^(文献3)



経年変化事例

建設当初の時点ではさびムラが見られますが、年月の経過とともに均一な暗褐色へと変化します。

裸使用の例



阪神高速4号湾岸線 三宝入路橋

適用事例 2

維持管理に配慮した構造形式(延長床版)



伸縮継手を後方に移動し、桁端への漏水を防いでいる。

維持管理に配慮した構造形式(インテグラルアバット)



桁端部を橋台と一体化し、雨水等の桁端浸入を防いでいる。

歩道橋



耐候性鋼用表面処理、経年37年。

東京都 浜松町跨線人道橋

鋼床版(バルブプレート)



神奈川県 河原橋



■参考文献

1. (一社)日本鋼構造協会:テクニカルレポートNo.121 鋼橋の腐食耐久性・維持管理技術の高度化 2020.10
2. (一社)日本鋼構造協会:テクニカルレポートNo.116 鋼橋の腐食耐久性・維持管理性向上技術 2018.8
3. (一社)日本鋼構造協会:テクニカルレポートNo.107 耐候性鋼橋梁の維持管理技術 2015.11
4. (社)日本鋼構造協会:テクニカルレポートNo.86 耐候性鋼橋梁の適用性評価と防食予防保全 2009.9
5. (社)日本鋼構造協会:テクニカルレポートNo.73 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術 2006.10
6. (公社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 2017.11
7. (公社)日本道路協会:鋼道路橋防食便覧 2014.3
8. (社)土木学会:鋼構造シリーズ⑦鋼橋における劣化現象と損傷の評価 1996.10

■写真説明

- 表紙:奥裾花大橋 長野県 2003年
裏表紙:宇都架道橋 長崎県 2016年(左)
持山橋 三重県 2004年(左)
信濃川橋梁 新潟県 1985年(右)

一般社団法人 日本鉄鋼連盟
橋梁用鋼材研究会

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10
TEL. 03-3669-4815 FAX. 03-3667-0245
<https://www.jisf.or.jp/>

一般社団法人 日本橋梁建設協会
製作小委員会 耐候性鋼橋部会

〒105-0003 東京都港区西新橋1-6-11 西新橋光和ビル9階
TEL. 03-3507-5225 FAX. 03-3507-5235
<https://www.jasbc.or.jp/>