



1

鋼橋の特徴

(1) 鋼橋の長所

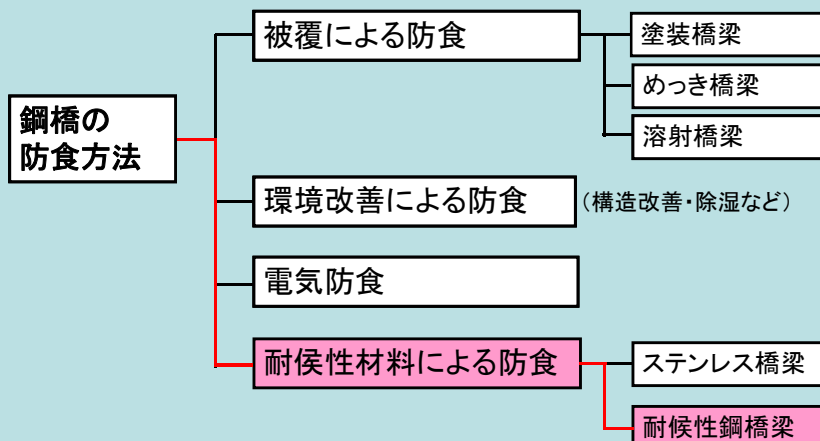
- ①材料と製品の信頼性
- ②高い構造の自由度
- ③軽量構造で優れた耐震性
- ④補修・補強が容易
- ⑤短期施工が可能
- ⑥資源の再利用が可能

(2) 鋼橋の短所

- ①錆びる

2

防錆・防食方法からみた 耐候性鋼橋梁の位置付け



3 1

① 基礎知識(正しい解釈)

耐候性鋼材は**保護性さび**を生成することで、腐食による**板厚減少**速度が工学的に十分に小さくなる鋼材であり、これを使用した鋼橋は**ミニマムメンテナンス**となり得る。ただし、湿潤状態が長く続く環境や飛来塩分の多い環境では**保護性さび**が生成しないため、湿潤状態を避けるために**構造細目に配慮**する、場合によっては**部分塗装**することも必要である。**耐候性鋼用表面処理剤**を行った耐候性鋼橋梁は**無塗装橋梁**に分類される。なお、近年、塩分に強い**ニッケル系高耐候性鋼材**も使用されている。

4

3. 耐候性鋼橋梁の歴史

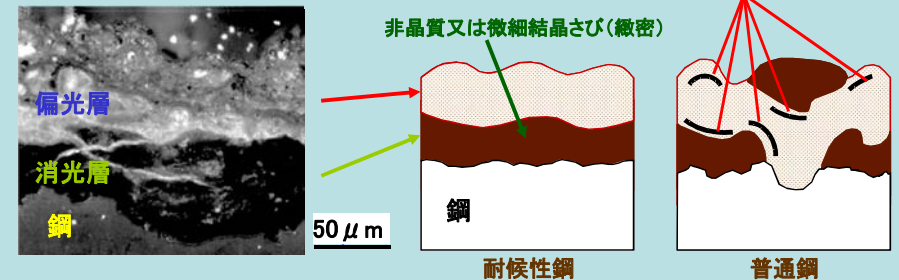
暦年	米国での出来事	暦年	日本での出来事
1933	USSteel社COR-TEN販売開始	1955	耐候性鋼材を開発、販売
1964	橋梁に適用開始	1967	橋梁に適用開始
1970 ～	スパイクタイ使用禁止	1969	JIS制定
1980	腐食損傷が報告され使用禁止 AISIで調査開始	1980	使用実績(0.6%)
1989	FHWAが技術解説書発行	1981	土研、鋼材クラブ、橋建三者共同 研究開始 (飛来塩分等の影響調査)
1990	損傷は凍結防止剤が原因と判 明。技術解説書の発行により 使用禁止令解除	1991	スパイクタイ使用禁止
2000	使用実績(40～50%:15万t)	1993	共研最終報告(≦0.05mdd) (設計・施工要領(改訂案))
		1998	Ni系高耐候性鋼材適用開始
		2010	使用実績(25%:7.4万t)

5

耐候性鋼材のさび断面構造

- ・ 耐候性 : 大気中での腐食に耐える性質を言う
- ・ 耐候性鋼材 : 耐候性に有効な元素 (Cu, Cr, Ni等) が添加された低合金鋼
: JIS規格—G3114 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材
G3125 高耐候性圧延鋼材
G3140 橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS)

- ・ さび層の断面写真の比較



- ・ 地鉄表面にクラックの少ない有効元素が濃縮したさび層を形成

6

保護性さびについて

(1) 過去の誤った認識

「耐候性鋼は“安定さび”の形成により腐食速度がゼロになる」という認識が広く伝わっていました。(現在、“安定さび”という表現は使用しない)

(2) 正しい認識

耐候性鋼の腐食速度は、経時的に低減していきますが、ゼロとはなりません。なお、保護性さびの生成等によって、予想される将来の板厚減少量が十分に小さく、腐食減耗が長期に累積しても耐荷力に問題は生じません。(現在は、“保護性さび”という表現を使用する)

7 2

耐候性鋼の板厚減少予測

板厚減少のモデル化

$$Y = A \cdot X^B$$

Y: 累積片面板厚減少量 (mm)

X: 経過年数 (年)

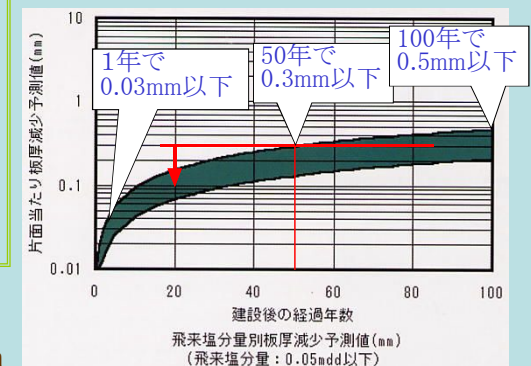
A: 初年1年間の腐食量

B: さびの保護性の上昇に伴う
腐食速度

X=50年でY=0.3mm

→X=100年でY=0.5mm

片面板厚減少量 = 腐食減耗量



8

5. 三者共同研究

- ・ 三者：建設省土木研究所、鋼材倶楽部、日本橋梁建設協会
 - ・ 目的：適用可能地域（環境条件）を明確にする
 - ・ 研究概要
 - （１）暴露試験：環境別
（山間部、田園部、都市部、工業地帯、海岸部）
- 全国 4 1 箇所
- （２）環境条件調査：海塩粒子、亜硫酸ガス（全国266地点）
 - （３）調査期間：1981年～1990年

9

共同研究の主な成果

三者共研による設計関連規定の報告書

- ・ (1983年 JIS改定によりW材の制定)
- ・ 1986年 無塗装耐候性橋梁の設計・施工
要領(案)
- ・ 1991年 無塗装耐候性橋梁の点検
要領(案)
- ・ 1993年 無塗装耐候性橋梁の設計・施工
要領(改訂案)→適用可能地域の規定
(飛来塩分量が支配的)

10

適用可能地域の規定

- ① 所定の計測により飛来塩分量が、0.05mdd以下の地点においては、適用可能。
- ② 下図の範囲においては、飛来塩分の計測を省略して適用可能。



11 3

6. 耐候性鋼橋梁の経済性

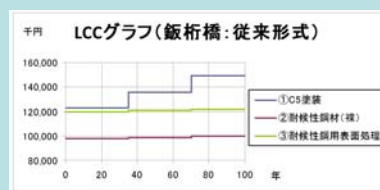
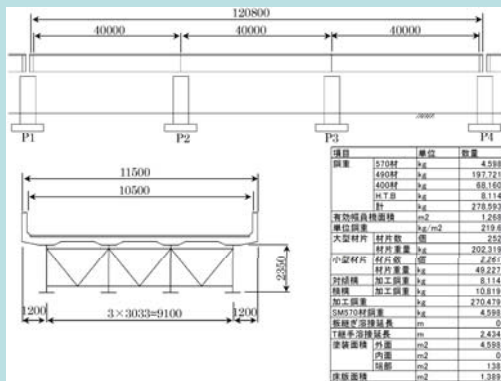
防食LCC積算基本条件

ケース	内容
C系塗装	40年毎塗り替え
耐候性+桁端塗装	桁端30年毎塗り替え
耐候性+部分塗装 (下フランジ+ウェブ下端10cm)	桁端30年毎 下フランジ部40年毎
ニッケル系高耐候性+桁端塗装	桁端30年毎塗り替え

項目	内容
橋梁形式	3径間連続4主鈑桁
径間長	40m+40m+40m=120m
幅員	11.5m
桁高さ	2.35m

12

LCCの比較例1(鈑桁形式)

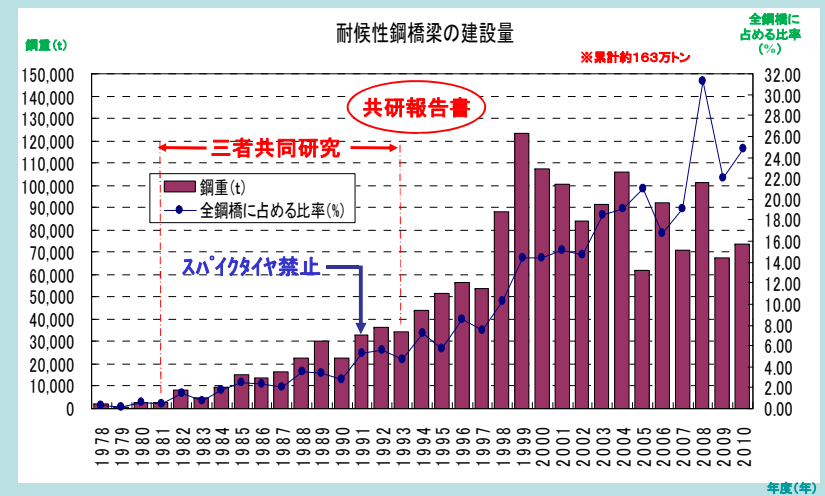


塗装橋と耐候性鋼裸仕様との比較
初期コスト: 約80%
トータルコスト: 約67%

13

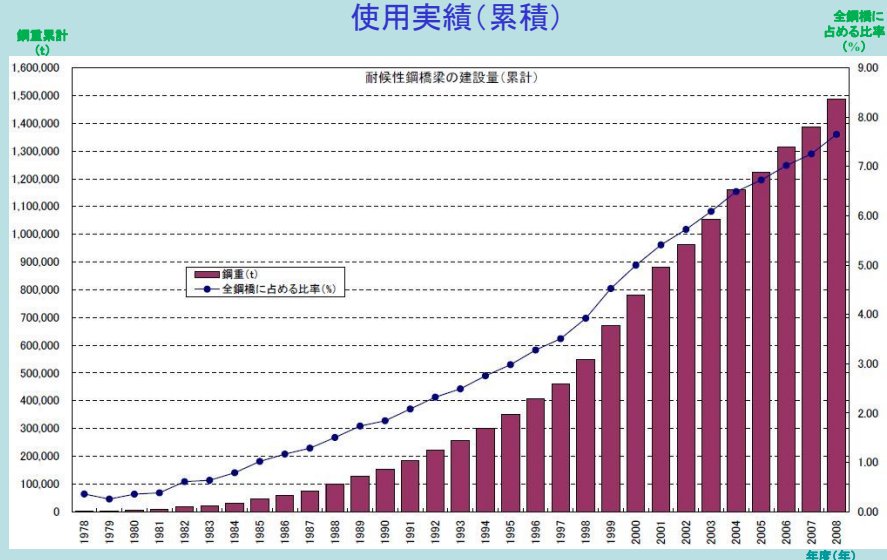
7. 耐候性鋼橋梁の使用実績

(年度毎)



14

使用実績(累積)



15

4

8. 実橋調査

調査目的: 1. 適用地域区分外橋梁の錆発生の実態調査

2. 錆状態からの橋梁細部構造の評価確認

1991年より実橋調査開始(約400橋調査)

○ 海岸部に架けられた橋梁の調査

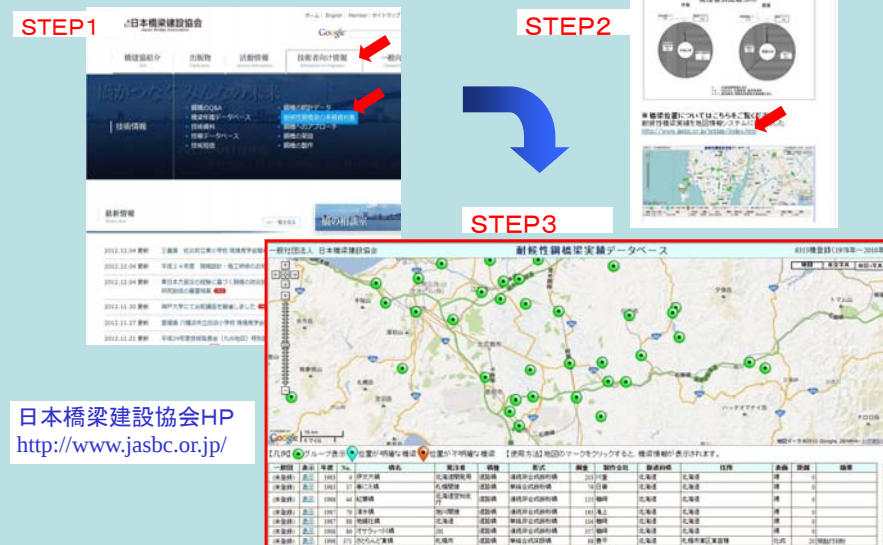
○ 箱桁内面に着目した調査

○ 凍結防止剤の橋梁への影響調査

○ 細部構造に着目した調査

16

耐候性橋梁実績データベース



17

調査項目

①構造物調査(外観観察)

主として外観調査であり、構造物の環境条件、上下部を考えた構造詳細の適否等を判断する調査である。

②板厚計測

橋脚・橋台上の板厚を、マイクロメーターと超音波計で測定を行い、板厚減少量を算出して、板厚から見た構造物の安全性を評価する。

③さび厚計測

さびの進行程度を判断する目的で行う。一般に、さび層厚が小さい場合(400 μ 未満)は“良好”、大きい場合(400 μ 以上)は“不良”と考えられる。

④さび粒子調査(セロテープ試験、接写写真、ビデオ撮影)

浮きさびの量や大きさ、および色・均一性・凹凸を見る目的で行う。

⑤付着塩分計測

鋼材表面に付着している塩分量を計測する。塩分は、悪性さびを助長することが知られており、付着塩分量がひとつの指標となる。

計測方法(1)



さび厚計測
(電磁膜厚計)



付着塩分計測 (伝導度法)

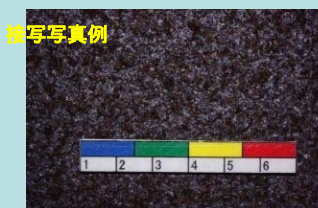


板厚計測
(超音波)

19 5

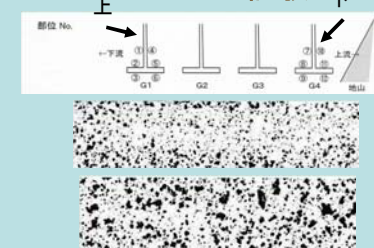
計測方法(2)

さびの接写写真



接写写真例

セロテープ試験



ビデオ撮影

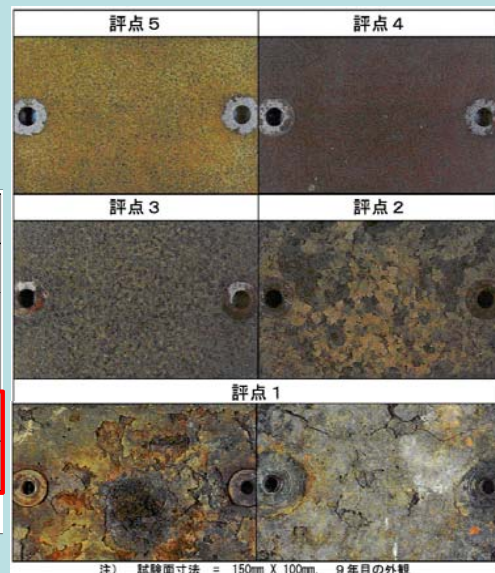


20

評価(1) -さび外観-

状態	評点	目視外観	さび厚
正常	5	腐食が進まず、さびも薄い	200 μ m程度未満
	4	平均外観粒径1mm程度以下で均一なさび	400 μ m程度未満 損傷あり
	3	平均外観粒径1~5mm程度のさび	
要観察	2	外観粒径5~25mm程度のうろこ状剥離があるさび	400 μ m程度以上 800 μ m程度未満
異常	1	層状剥離がおきているさび	800 μ m程度以上

注) 異常とは、耐候性構造物として期待された状態ではないことを表す。
注) 正常の判定は、層状剥離の痕跡が無いことを前提に、9年目以降において可能。

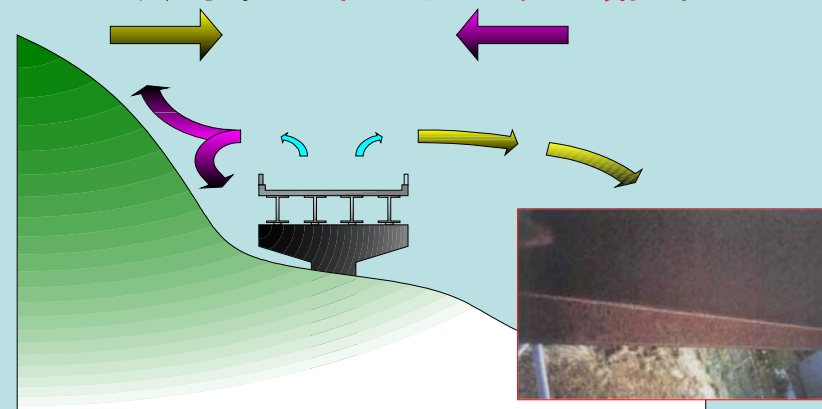


注) 試験面寸法 = 150mm X 100mm, 9年目の外観

21

凍結防止剤散布の影響

漏水、地形等の要因による凍結防止剤の飛散により、局部的に粗いさびやうろこ錆が発生



22

凍結防止剤の影響を受ける実例



地山接近

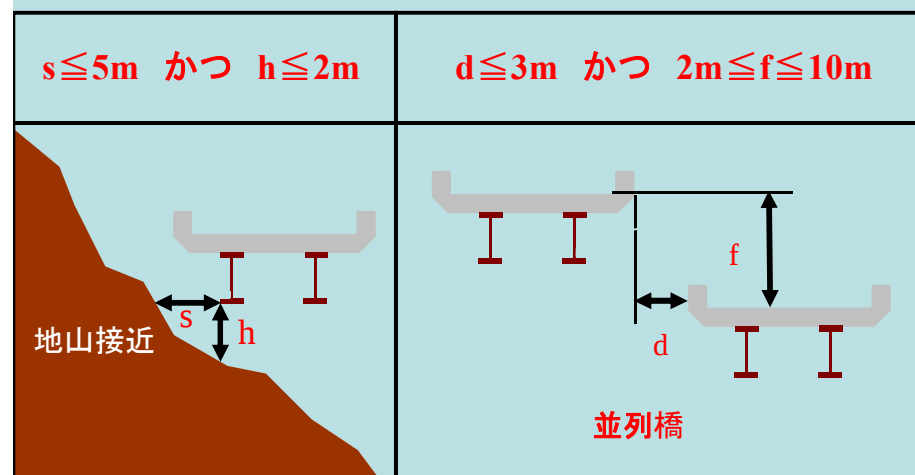


並列橋



23 6

凍結防止剤散布高速道路で 粗いうろこ状のさびが発生するケース →凍結防止剤を多量に散布する場合



24

例1: 地山側の側縦桁の下フランジ外観



地山との距離が主桁より小さくなり
影響が顕著に現れる可能性がある

25

例2: 並列橋の影響と予想される腐食状況



26

耐候性鋼橋梁の計画上の留意点(1)

(a) 望ましい環境

- ・適度に乾湿が繰り返されること
- ・雨水が直接降りかかり、かつ水切りが良好
- ・風通しの良い内側の垂直面、水切れの良い水平面
- ・風通しの良い場所に置かれた水平材片
- ・塩分の影響を受けない

(b) 望ましくない環境

- ・泥や塵埃が堆積しやすい構造
- ・通気性が悪く湿潤状態になりやすい部位
- ・桁下空間がきわめて近接している部位
- ・床版、伸縮装置、排水管の破損による漏水

27 7

飛来塩分の測定方法

飛来塩分の測定方法

・ガーゼ法



・土研式タンク法



土研式タンクの支柱設置例



土研式タンクの高欄設置例

28

橋梁模型・小型試験片

・橋梁模型

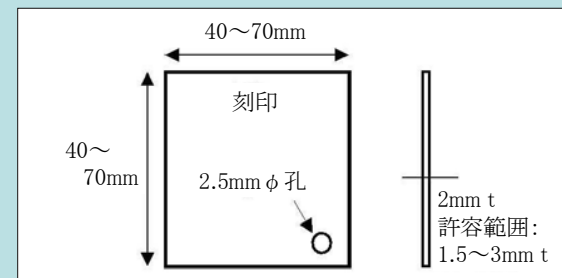


・小型試験片



29

ワッペン式曝露試験



既設橋梁型ワッペン試験の例



小型百葉箱のワッペン試験の例

30

耐候性鋼橋梁の適用判定

評価方法の分類		評価指標	所要期間	期待される精度
飛来塩分量測定		飛来塩分量	≥1年 (1ヶ月毎)	△
従来の曝露試験	橋梁模型	腐食減耗量	≥3年	△
	小型試験片	腐食減耗量	≥3年	○
新しい曝露試験	ワッペン式	局部環境腐食性指標	≥1年	○

31 8

新しい耐候性鋼(Ni系)橋梁のねらい

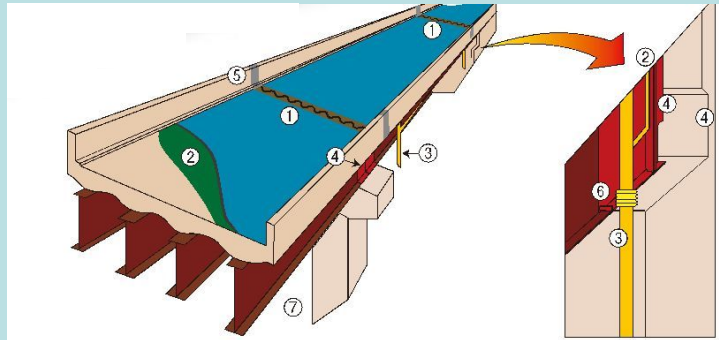
今までより飛来塩分量が厳しい地域への適用拡大をめざしています。



飛来塩分量のみの適用評価ではなく気温・湿度・風速などを含めた環境評価を行うことによりNi系橋梁を含め一般の耐候性鋼橋梁についての適用拡大もめざし試験・調査・研究をしています。

32

耐候性鋼橋梁に推奨される構造詳細

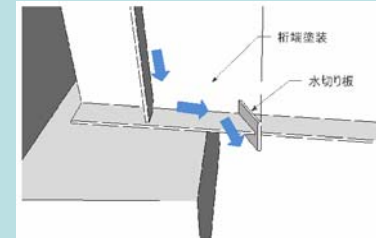


- ①非排水式伸縮継手
- ②床版防水及び排水
- ③適切な排水装置
- ④桁端塗装（外面含む）・桁端切欠き（通気性確保）
- ⑤壁高欄止水
- ⑥水切り板
- ⑦多湿排除・通気性確保

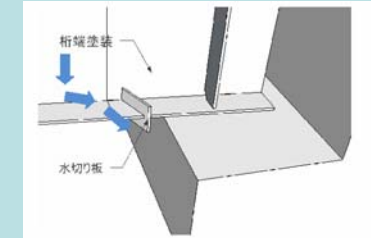
33

下フランジ水切り板の設置例

縦断勾配の高い側



縦断勾配の低い側

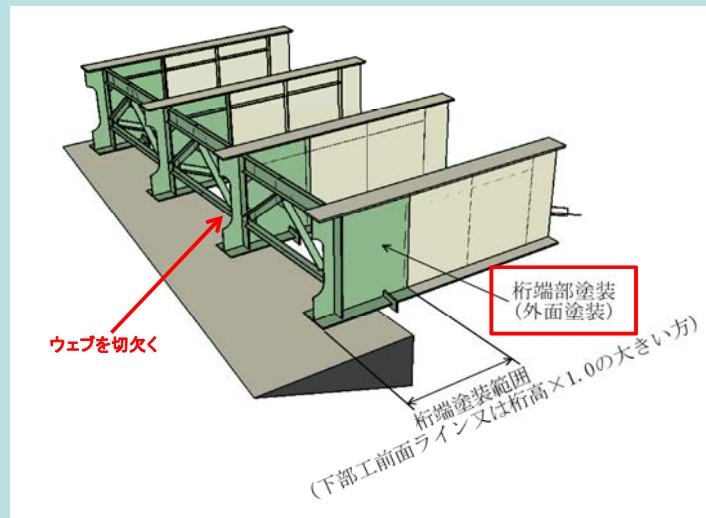


水切り板設置例



34

桁端部の構造詳細



35 9

桁端部の推奨構造詳細例



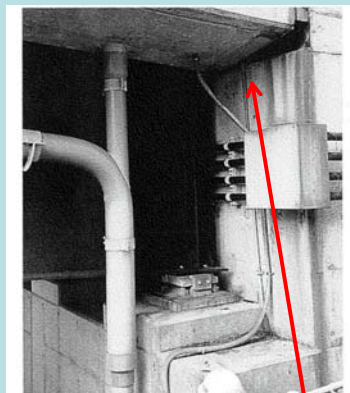
点検時の作業性、通気性を考慮してウェブを可能な限り切欠く

桁外側も塗装する。



36

排水の流末処理



伸縮装置の非排水構造から導水し、
桁端まで流末を延ばす



主桁下フランジより十分長さをとる。

37

初期の色ムラとさび汁



外観は時間とともに落ち着いたものとなるが、
それまでに数年かかる。

38

さび外観経年変化(色ムラとさび汁)



39 10

流れさびによる汚れ

桁の損傷ではないが、周辺への配慮が必要



下部工の汚れ



高欄・舗装面の汚れ
下路アーチなど

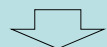
40

耐候性鋼用表面処理剤

◎耐候性鋼用表面処理剤の採用

初期さび汁の流出防止

外観の改善



都市部での採用が多い



41

実橋の外観(その2)

耐候性鋼用表面処理剤の風化・消失過程における色むら



促進処理 (トップコートなし)
⇒トップコート塗布により改善



熟成処理

42

実橋の外観(その3)

外面: 景観仕様



43 11

耐候性鋼橋梁としての点検上の留意点

- 点検では、特に漏水、滞水による鋼材の湿潤状態に注目する
- 第1回目の定期点検は、架設後2年目が望ましい
- 以降5年毎の点検において、さび外観評点が3～5であれば耐候性鋼材の適用環境として適当であると考えられる

44

損傷原因と補修方法の考え方

損傷原因		特 徴	補修方法の考え方
作用	環境・地形的要因	原因排除が困難な場合が多い (例) ・飛来塩分 ・地山近接、並列橋 条件での凍結防止剤	・原因排除が可能であれば排除する ・他の防食法による補修が一般的 (主に補修塗装)
			(共通事項) ・必要な耐荷力を満足していない場合は別途対策が必要
構造	設計・施工的要因	原因排除が可能な場合が多い (例) ・排水処理の不備 ・伸縮装置からの漏水	・桁端部において異常さびが発見された場合は、原因排除の可否に関わらず塗装することが望ましい
			・原因排除が最優先 ・原因排除後、損傷状況や原因に応じて水洗い処理やケレン(固着さびの除去)などを実施する ・原因が排除できない場合は補修塗装を検討

45

剥離さび発生原因と処置(例)

- ① 架設地域の環境が、橋梁全体にとって相応しくない
- ② 架設地点の特異的環境が、橋梁全体にとって相応しくない

計画段階での防食法選択の間違い

架設地点の環境把握が不十分

他の防食法へ切り替え

46

剥離さび発生原因と処置(例)

- ③ 橋梁の線形や周囲の地形により、部分的に耐候性鋼材にとって相応しくない環境にある
- ④ 細部構造設計、施工での配慮不足や部材の経年変化などによる漏水や滞水、堆積物などが原因で局部的に耐候性鋼材にとって相応しくない環境にある

何らかの方法で原因の除去が可能

原因排除

定期的に経過観察(場合により補修塗装)

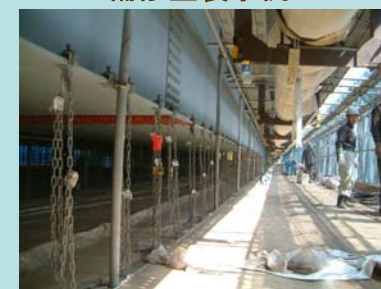
47 12

損傷事例と補修方法(1)

飛来塩分による損傷



補修塗装事例



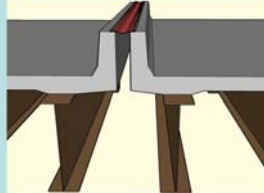
48

損傷事例と補修方法(2)

損傷しやすい条件
凍結防止剤散布路線の並列橋



補修方法
ゴム板による止水



水洗い例



49

損傷事例と補修方法(3)

損傷事例
伸縮装置からの漏水による腐食



補修方法
補修塗装事例1



補修塗装事例2



50

損傷事例と補修方法(4)

損傷事例
床版からの漏水による腐食



補修方法
床版漏水の補修事例



51 13

損傷事例と補修方法(5)

損傷事例
排水流末からの飛散による腐食



補修方法
排水流末を桁下まで十分伸ばした例



52

損傷事例と補修方法(6)

損傷事例

床版水抜き管の排水で腐食した例



補修方法

床版水抜き管を排水管へ導水



53

損傷事例と補修方法(7)

損傷事例

支点上滞水事例



補修方法

支点上補剛材スカーラップ設置例



水切り板設置例



54

損傷事例と補修方法(8)

部材交換事例



トラス端柱：交換前



トラス端柱：交換中

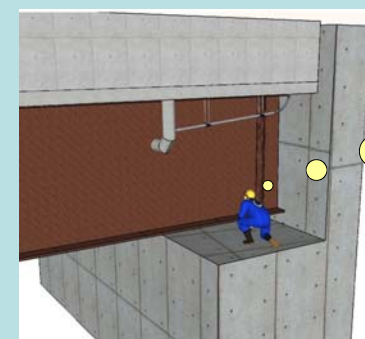


下弦材部HTB状況

55 14

点検・評価における課題

耐候性鋼材の評価指標が判りにくく、点検者の経験等
によって評価がバラつきやすい

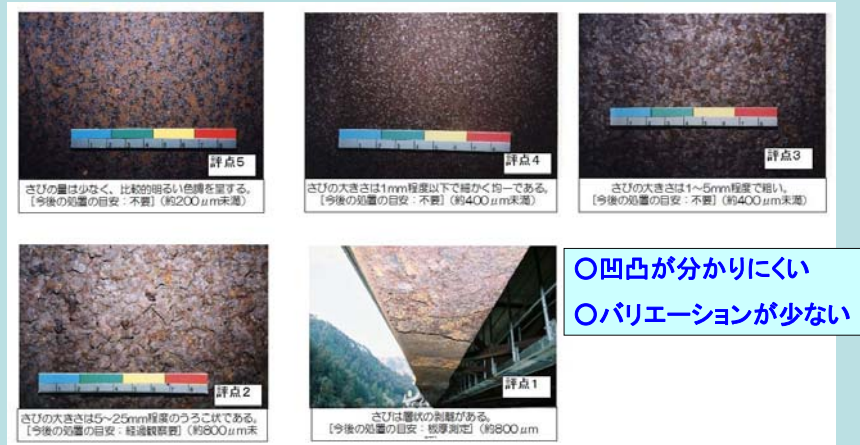


このさびの状態
はどう評価したら
良いのか...

56

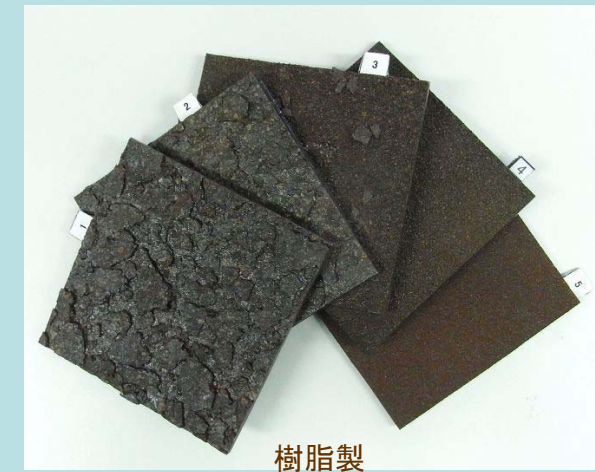
従来技術 外観評点写真(写真見本)

写真見本



57

提案技術① さびサンプル



58

提案技術② 動画によるさび評価



59 15

提案技術② 動画によるさび評価



60

各評価技術の位置づけ



61

橋建協の取組んでいるテーマ

1. 細部構造
2. さびの評価方法
3. 維持・点検要領
4. 補修方法
5. 現橋・曝露試験調査
6. 凍結防止剤散布の影響
7. 適用範囲の拡大

62

おわりに

数ある防錆・防食法のうち、耐候性鋼の使用は、表面処理そのものにほとんどコストがかからない優れた方法であり、塗装部位も少ないことから、鋼橋のLCC低減への対応が可能になるだけでなく、CO2排出量の削減に寄与するため、地球環境にもやさしい方法です。

無塗装部会では、毎年実橋調査を行っており耐候性鋼橋梁の実態把握につとめています。これからもユーザーの立場からの情報提供をしていきたいと思っています。

63 16



64