

## 講義 6 : 維持管理 (鋼橋)

中日本高速道路株式会社

藤原 博

### 1. 鋼道路橋 (防食) の維持管理

- ・日本における腐食コスト
- ・道路橋架替え理由と鋼道路橋の主な損傷
- ・塗膜劣化と欠陥の違い
- ・鋼橋の塗膜劣化 (腐食) の事例と特徴

桁端部およびボルト添接部, 排水管周辺の腐食, 床版構造と腐食, 桁端部の腐食, 伸縮装置と腐食, 下フランジ構造と腐食, 鋼橋の腐食マップ, 塗膜の劣化速度, 平均塗替え周期, 塗膜下腐食, 腐食深さの測定例, 塩素イオンの付着変動, 鋼材の腐食量, 通気差腐食による腐食例, 鋼製支承の腐食, 鋼橋の腐食形態など

### 2. 耐候性鋼橋の維持管理

- ・耐候性鋼のさび安定化阻害要因  
排水管継手部からの漏水, 壁高欄伸縮部から溢水, 鳥糞, 結露, 桁の仮置きなど
- ・耐候性鋼橋の課題  
環境, 構造, 製作・架設, 維持管理, 技術者・作業員教育
- ・大気中で生成される主要なさび成分と耐候性鋼に精生成れるさびの特徴
- ・板厚減少量と経年との関係, 飛来塩分量とさび安定化
- ・さび安定化評価法の問題点

### 3. 鋼橋の防食性評価方法

- ・塗装橋, 耐候性鋼橋, 溶融亜鉛めっき橋
- ・塗膜の目視調査  
劣化標準図との比較, 画像処理など

### 4. 東京湾アクアブリッジの防食

- ・鋼製壁高欄, 鋼桁, 鋼製橋脚, 非常階段, 駐車場など

### 5. 鋼橋防食における L C C の考え方

- ・道路橋の寿命と防食
- ・鋼橋塗装の L C C の考え方  
L C C の算出方法, 100年間の L C C 比較例
- ・塗装の長寿命化に関する誤解

以上

## 第6回基礎講座「防食基礎講座」

### 講義6:維持管理(鋼橋)

藤原 博

## 講座の内容

### 鋼道路橋の腐食損傷事例と対策

1. 塗装橋
2. 耐候性鋼橋
3. 溶融亜鉛めっき橋
4. 橋梁付属物等

### 調査方法と評価

1. 塗膜調査
2. 耐候性鋼さび安定化調査
3. 溶融亜鉛めっきの調査

## 1. 鋼道路橋(防食)の維持管理

## 日本における腐食コスト

腐食コスト(腐食損失費+防食対策費)

1975年 約2兆6千億円 (GNP 148兆円の1.72%)

1997年 約3兆9千億円 ( " 514兆円の0.77%)

(514兆円の内、鋼道路橋の腐食コスト約1700億円)

英国 1969年 14億£ (32億\$) 3.5% of GNP

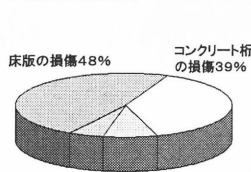
米国 1996年 3000億\$

オーストラリア 1973年 5.5億\$ 1.5% of GNP

平成13年5月 (社)腐食防食協会, (社)防錆技術協会

## 道路橋架替理由と鋼道路橋の主な損傷

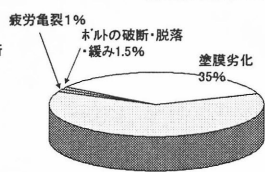
### 道路橋架替理由



国土交通省直轄(1997)

高速道路の場合は  
腐食が理由で架替え  
られた例はない

### 鋼道路橋の主な損傷



橋)

一般国道(橋梁数2559)

高速道路の場合は  
疲労亀裂の割合が大きい  
腐食は少ない

## 塗膜の劣化と欠陥の違い

塗膜劣化: 塗膜固有の寿命を全うする過程の不可避的な品質低下をいう

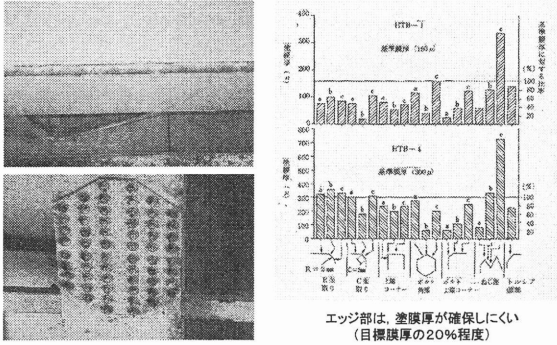
塗膜欠陥: 塗膜に期待される防錆性や耐候性が、期待される期間よりも短い場合をいう

(塗装系選定ミス, 塗料品質不良, 施工不良, 事故等)

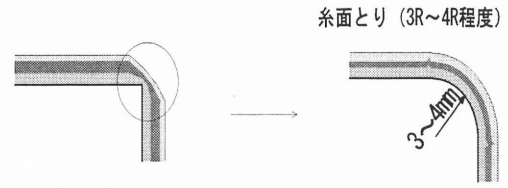
塗防錆期待年数が10年の塗膜が  
1年で発錆した場合は塗膜欠陥か? ➡ 塗膜欠陥

7年で発錆した場合は塗膜欠陥か? ➡ 劣化か欠陥か不明

### 鋼橋の塗膜劣化の特徴

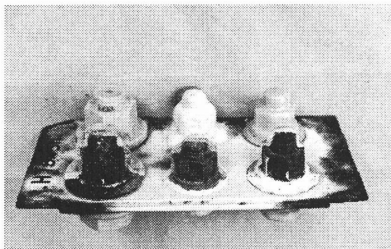


### 部材端部(こぼ面)の対策



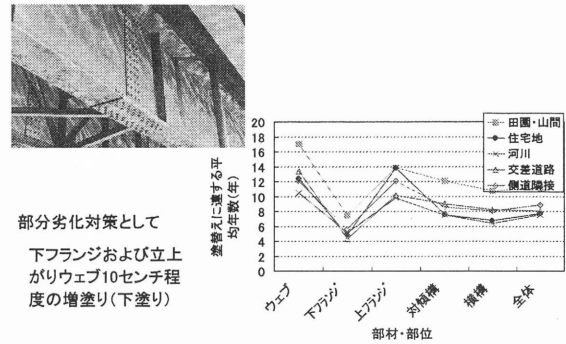
2mmRでは必要塗膜厚の70%程度(旧JH, 新便覧)  
3~4mmRが望ましい

### ボルト添接部の対策

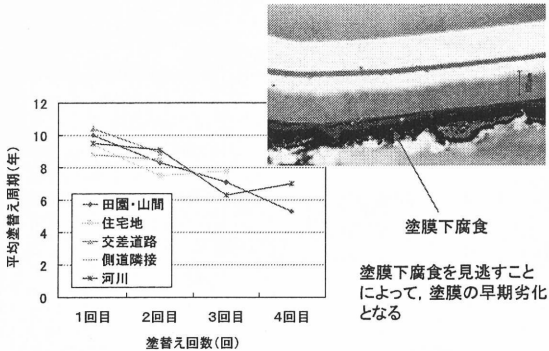


特徴：外観が悪い。  
キャップ内部の異常が分からない。  
品質は施工に依存する。⇒ 防錆ボルト

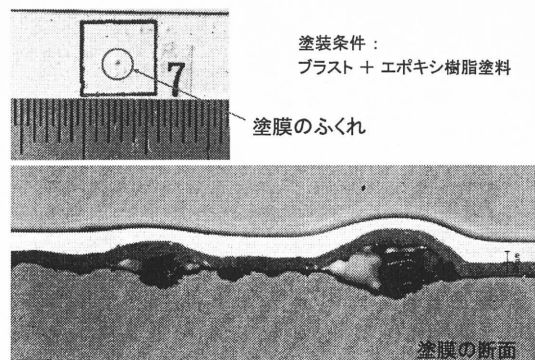
### 塗膜の劣化速度(部材・部位別)



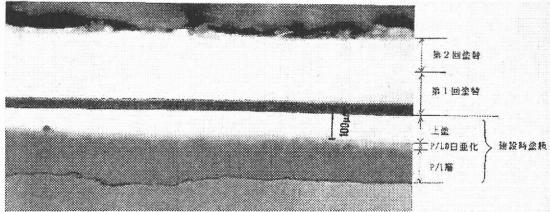
### 平均塗替え周期(A塗装系の場合)



### 塗膜下腐食

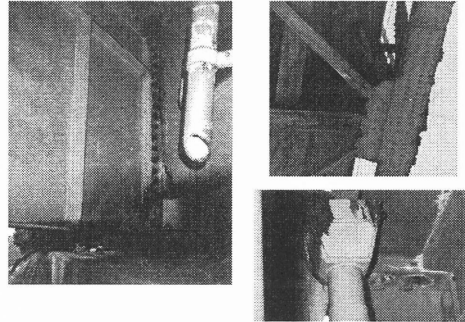


### 塗膜下腐食と塗膜劣化(良好な塗替え例)

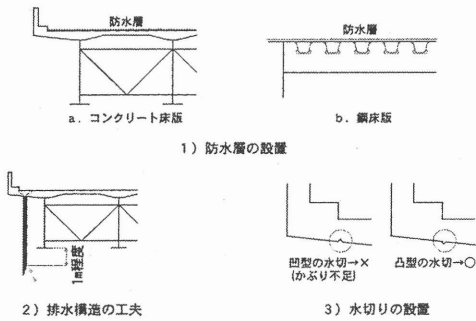


塗装歴: 建設時+2回の塗替え

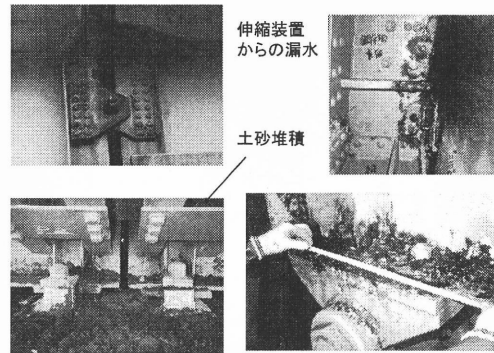
### 排水管周辺の腐食(設計ミス)



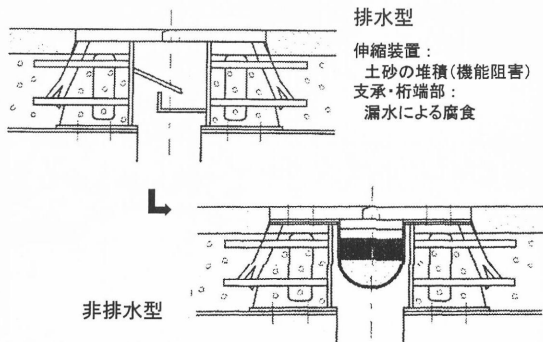
### 床版構造の腐食対策



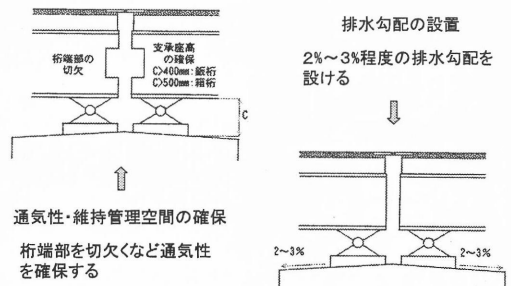
### 桁端部の腐食(管理ミス)



### 排水型と非排水型の伸縮装置

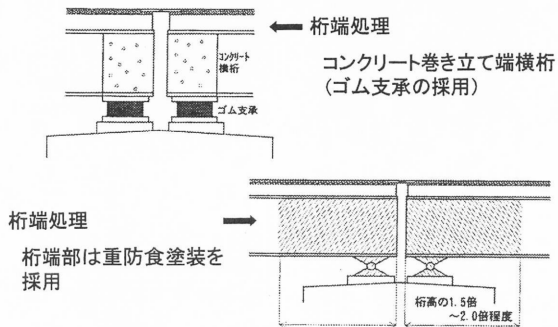


### 桁端部の腐食対策①

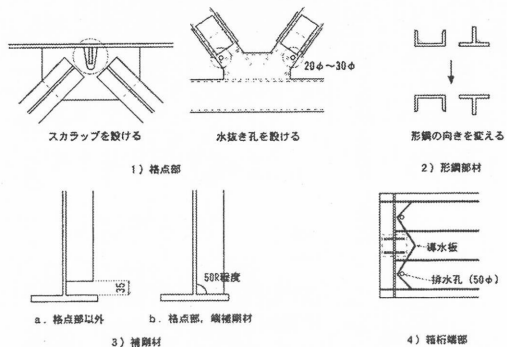




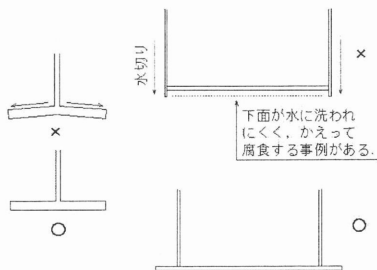
### 桁端部の腐食対策 ②



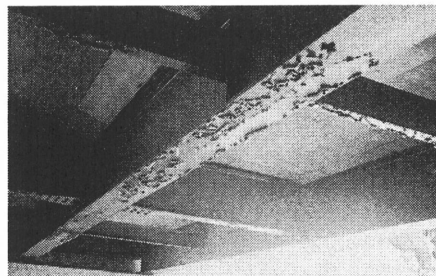
### 桁端部の腐食対策 ③



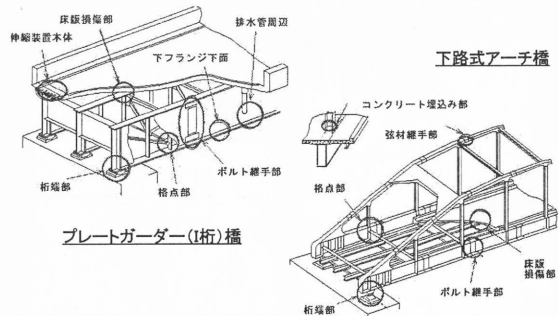
### 誤解されている下フランジ構造



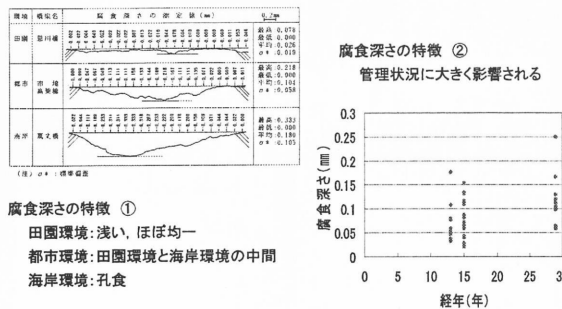
### 塗膜のはく離(施工ミス: 結露面への塗装)



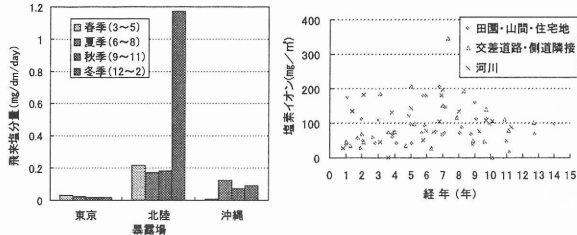
### 鋼橋の腐食マップ



### 腐食深さの測定例(環境別)

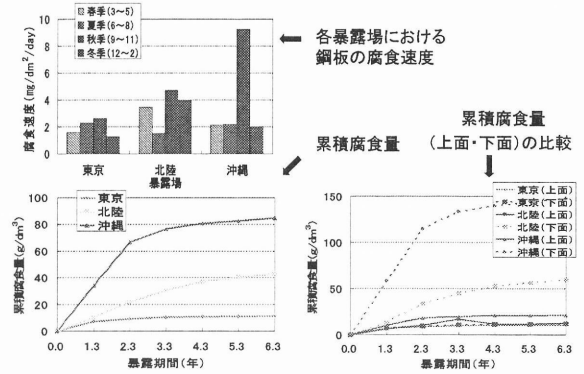


### 塩素イオンの変動(季節別・環境別)



飛来塩分の付着量は経年とは無関係であり、測定時の付着量を示している。  
→ 水洗いが効果的

### 無塗装鋼板の腐食量

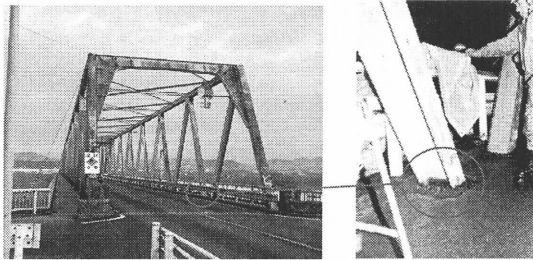


各暴露場における鋼板の腐食速度

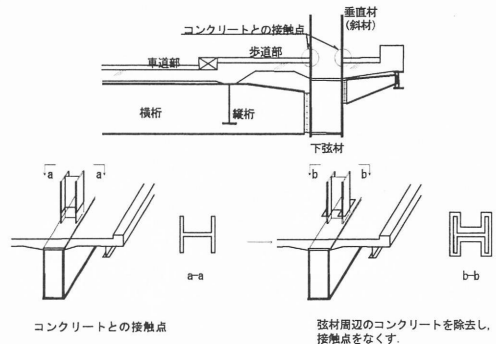
累積腐食量 (上面・下面)の比較

### 愛岐大橋

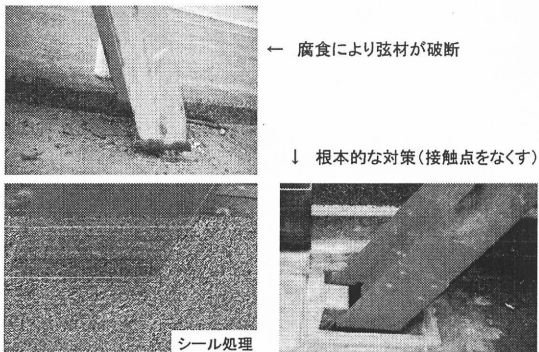
コンクリートと鋼材の接触による腐食損傷  
(トラス斜材が、歩道床版部を貫通する構造)



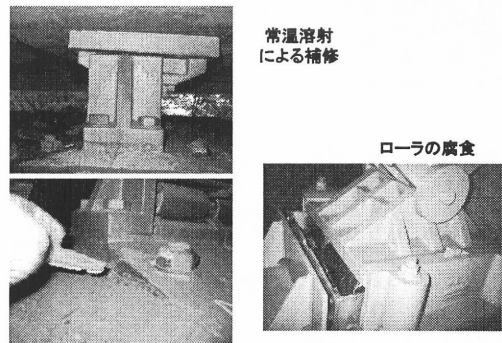
### コンクリートとの接触部の腐食対策



### コンクリートとの接触部の腐食対策



### 鋼製支承の腐食



## 鋼橋の腐食形態

均一腐食(全面腐食) 例：鋼桁

すきま腐食・孔食 例：塗膜層間, ガードレール支柱

水素脆性 例：高力ボルト(遅れ破壊)

異種金属接触腐食 例：ボルト添接部, 高欄, フェンス,  
ステンレス鉄筋

イオン化傾向

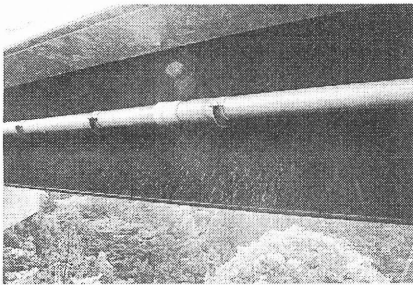
K, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, (H), Cu, Hg, Ag, Pt, Au

二つの金属が接触した場合左側にある方が腐食する

## 2. 耐候性鋼橋の維持管理

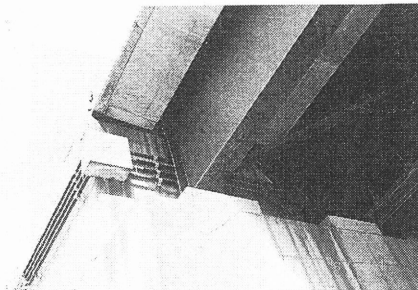
耐候性鋼のさび安定化阻害原因①

### 排水管継手部からの漏水



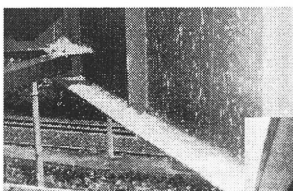
耐候性鋼のさび安定化阻害原因②

### 壁高欄伸縮部からの溢水



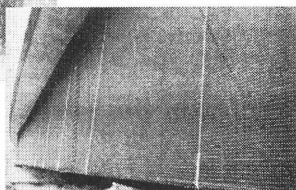
耐候性鋼のさび安定化阻害原因③

### 鳥糞による影響



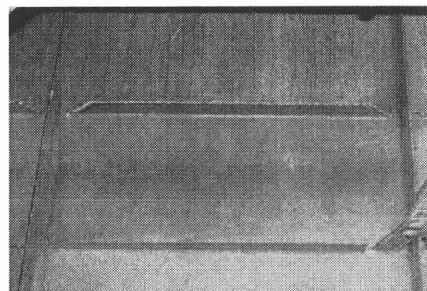
← 対策前

対策後 ⇒



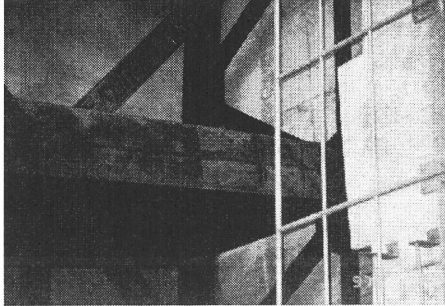
耐候性鋼のさび安定化阻害原因④

### 結露による影響 (外桁の内側)



耐候性鋼のさび安定化阻害原因⑤

### 仮置き材跡 (桁下フランジ)



### 耐候性鋼橋の課題

- ① 環境上の課題
  - ・地形、海塩粒子、融雪塩、温度、湿度、降雨
- ② 構造上の課題
  - ・床版・伸縮装置・排水管等からの漏水、結露
- ③ 製作・架設上の課題
  - ・仮置き、運搬・架設方法
- ④ 維持管理上の課題
  - ・じん埃、鳥糞対策 → 水洗い
- ⑤ 技術者・作業員の教育

### 大気中で生成される主要なさび成分

大気中で生成する主要なさび成分の特徴

- $\alpha$ -FeOOH
- $\beta$ -FeOOH      オキシ水酸化鉄(赤さび)
- $\gamma$ -FeOOH
- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>          酸化鉄(黒さび)

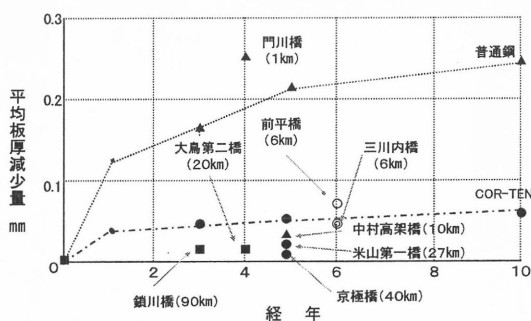
塩化物環境下では黒さびは減少し、赤さび( $\alpha$ ,  $\beta$ )が増加する  
SO<sub>2</sub>濃度の高い環境下では黒さびは極端に少ない

参考: Tiは $\beta$ -FeOOH粒子を微細化する ⇒ 防錆性を高める

### 耐候性鋼に生成されるさびの特徴

- ① マイルド環境下では、緻密でさび層の密着性が高い。  
緻密なさび:  $\alpha$ -FeOOH(ゲート)が主体
- ② 塩化物環境下では、さび層が剥離しやすく非常に厚い。  
さび層中には無数のクラックが存在する
- ③ 日向面より日陰面のほうが、さびの粒径は大きい。  
安定化したさび層中には、PやCuはほとんど存在しないが、Crが濃縮し、Sは全体に分布している。

### 試験片の板厚減少量と経年との関係



### 各橋梁の飛来塩分比とさび安定化状態 (0.05mddを基準として)

橋梁名	飛来塩分比	安定さび形成	海岸からの距離
京極橋 (道央道)	0.4	1.9(10年)	40km
幌内二の沢橋( " )	0.4	2.2(7年)	40km
大鳥第二橋 (八戸道)	0.2	2.0(4年)	20km
鎮川橋 (長野道)	1.0	1.9(6年)	90km
米山第一橋 (中国道)	0.3	1.7(5年)	27km
中村高架橋 (山陽道)	1.0	1.7(5年)	10km
三川内橋 (西九州道)	1.3	1.8(6年)	6km
前平橋 ( " )	1.3	2.0(6年)	6km
門川橋 (延岡南道路)	8.0	1.6(4年)	1km

飛来塩分比=測定値/0.05mdd、安定さび形成:4段階R.Nの橋梁平均値

### さび安定化評価法の問題点

- ① セロテープ剥離試験
  - ・JIS H8617「電気めっきピンホール試験」を用いた評価
  - ・温度や含水量によって付着力に差がでる
- ② フェロキシル試験
  - ・JIS H8617「電気めっきピンホール試験」を用いた評価
  - ・試験紙の貼付け時間は5分（30分まではリニアに増加）
  - ・厚いさび層では斑点が少ない（安定化しているように）
- ③ 小型試験片による評価
  - ・実橋とのパフォーマンスに違い

↓  
熟練技術者による外観目視が最適

### 耐候性鋼のさび安定化評価(20段階)

評点	さびの状態	a	b	c	d
5	黒褐色、細かいさびが均一 色むらはほとんどない 最も安定化している				
4	黒褐色と褐色の混合 さび粒子は細かく均一 粒状の斑点がある 安定化が進んでいる				
3	褐色が主体で黒褐色が混在 さび粒子は密だが粗い 色むらは少ない 安定化はやや進行中				
2	オレンジ色と黒褐色が混在 さびは柔らかく粗雑 色むらは多い 安定化は遅れている				
1	ほとんどが鱗状の層状さび 粗雑で触れると剥脱する 特殊な色と斑点 安定化は難しい				

### 3. 鋼橋の防食性評価方法

### 鋼橋の防食性評価方法

#### 塗装橋

- ◎ 目視観察 標準図との比較  
目視結果+CP処理による寿命予測  
画像処理による評価と寿命予測
- △ 非破壊試験 インピーダンス測定など
- × 破壊試験 基盤目付着試験、クロスカット試験

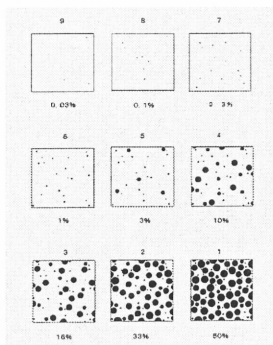
#### 耐候性鋼橋

- ◎ 目視観察 標準写真との比較(5段階法, 25段階法)
- △ 非破壊試験 小型試験板, セロテープ剥離試験, フェロキシル試験
- △ 破壊試験 さび厚測定

#### 溶融亜鉛めっき橋

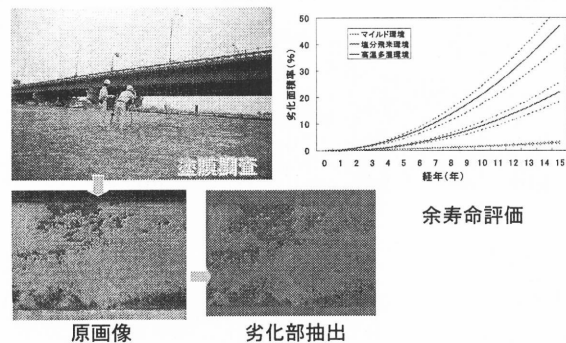
- ◎ 目視観察
- △ 非破壊試験 電磁膜厚計による膜厚測定

### 塗膜の目視調査(劣化標準図との比較)

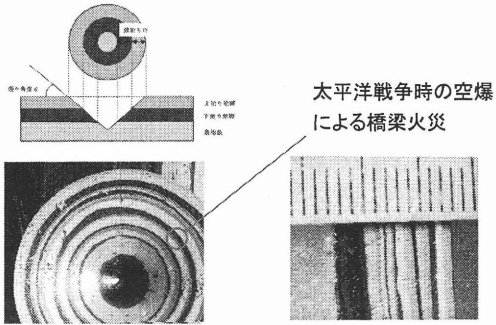


### 塗装橋の塗膜調査(画像処理)

Paint View (塗膜劣化度診断システム)の例



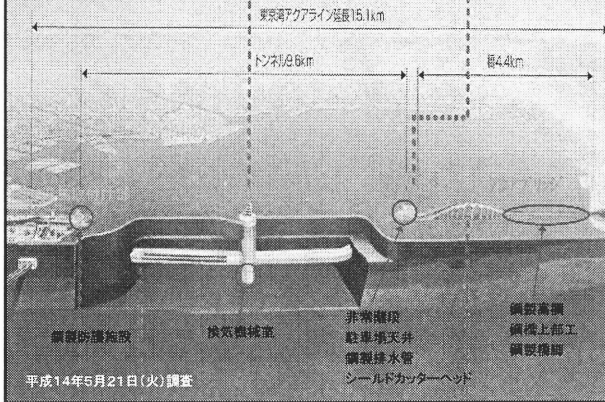
### ペイントポーラーによる膜厚調査



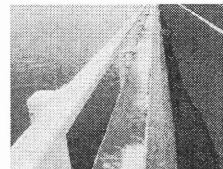
太平洋戦争時の空爆  
による橋梁火災

### 4. 東京湾アクアブリッジの防食

### 東京湾アクアライン



### アクアブリッジ鋼製高欄

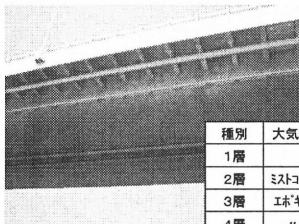


アクアブリッジ

- 全長 4,384.4m
- 全幅 22.9m (将来施工29.3m)
- 車線数 4車線 (将来施工6車線)
- 径間長 80m~240m
- 橋脚数 42脚
- 路面高 海面から約40m

工程・塗料	アクアブリッジの鋼製高欄	一般的な垂鉛めっき面塗装
溶融亜鉛めっき	○ (550g/m <sup>2</sup> )	○ (550g/m <sup>2</sup> )
前処理用エポキシ樹脂プライマー	○ (20 μm)	○ (20 μm)
変性エポキシ樹脂塗料下塗	○ (80 μm)	○ (60 μm×2回)
ふっ素樹脂塗料中・上塗	—	○ (30+25 μm)
合計膜厚	100 μm	195 μm

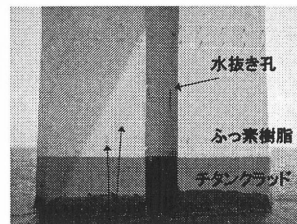
### アクアブリッジの防食仕様



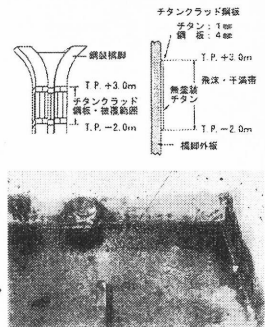
下フランジ下面

種別	大気部	飛沫・干渉部	海中部
1層		厚膜形無機シリケートハイコート	
2層	ミストコート	有機シリケートプライマー	ミストコート
3層	エポキシ	エポキシ樹脂ライニング	タールエポキシ
4層	〃	ふっ素	タールエポキシ
5層	ふっ素	ふっ素	—
6層	ふっ素	—	—
備考	—	チタンラッド (チタン1mm+鋼板4mm)	電気防食

### 鋼製橋脚のチタンラッド鋼による防食

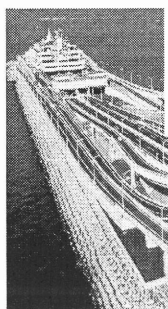


足場取付け跡 鋼製橋脚 内部底面





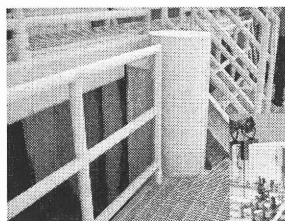
## 海ほたる(Sea Firefly)の防食仕様



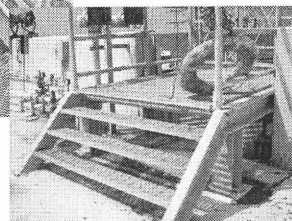
名称 木更津人工島  
 位置 木更津の沖合約5kmの海上  
 大きさ 長さ650m, 幅100m, 5階建  
 (1~3階は駐車場, 4~5階は営業施設)  
 駐車台数 大型車93台, 小型車391台  
 イメージ 豪華客船(タイタニック号の約2.5倍)

海ほたる  
(上り川崎方向)

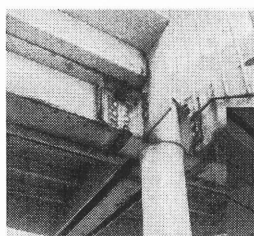
## 溶融亜鉛めっきの腐食



海ほたる(非常階段)



## 塗膜のはく離



海ほたる(駐車場)

海ほたる(非常階段)



## 5. 鋼橋防食におけるLCCの考え方

### 寿命の種類 (道路橋)

#### 物理的寿命 (物理的耐用年数)

保有性能 [ 耐荷性能(力)の低下 : 疲労損傷, 震害, 衝突  
 の低下 [ 耐久性能(性)の低下 : 腐食(鋼部材, RCの鉄筋)

物理的寿命はメンテナンスによって延命化が可能  
 メンテナンス次第では物理的寿命(主に腐食?)による架け替えもある

#### 機能的寿命 (社会的耐用年数)

使用性・耐用性の陳腐化 : 交通量や活荷重条件の変更  
 河川改修, 景観, 縦横断線形の変更  
 橋梁の更新は, ほとんどが機能的寿命 → 車線数増(拡幅), 架け替え

#### 経済的寿命 (経済的耐用年数)

減価償却(大蔵省令50年), 建設費の償還  
 LCC(Life Cycle Cost), AM(Asset Management)によって決定する

### ライフサイクルコストの算定

$$LCC = I + \Sigma M + \Sigma R$$

(+ リサイクル・廃棄費用 + 災害リスク費用)

I : 初期建設費用  
 ΣM : 維持管理費用の総和 (補修・補強・点検費用)  
 ΣR : 更新費用の総和 (迂回路, 交通規制の費用を含む)  
 交通渋滞などに関連する社会的な損失はここでは考えに入れない

## 鋼橋塗装のLCCの考え方

道路橋の設計耐用期間の目標が100年とされた(道示)  
 (100年間のLCCを最小とする考え方が導入された)  
 (100年間における要求性能の設定と評価が可能となった)

鋼橋が保有すべき要求性能を維持することができるよう、  
 計画・設計時から検討しておかなければならない。

ただし、

- ① 設計耐用年数とは、あくまで目標とする供用年数であり、  
 構造物の寿命が尽きるということではない。
- ② 塗膜劣化はばらつきの大きい後天的な現象であり、LCC  
 の算定や維持管理もこのことを十分に理解して行う必要  
 がある。

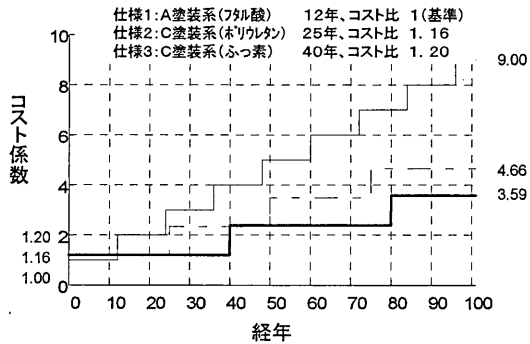
## 100年間のLCC比較例 (試算条件)

各塗装系の耐久年数の設定

初期仕様	A-1	B-1	C-2	C-4	I
塗替え仕様	a-1	b-1	C-1	C-3	C-1
一般環境 (初期)	15年	20年	40年	60年	30年
(塗替え)	15年	20年	40年	60年	40年
やや厳しい環境 (初期)	10年	15年	30年	45年	20年
(塗替え)	10年	15年	30年	45年	30年
厳しい環境 (初期)	-	10年	20年	30年	-
(塗替え)	-	10年	20年	30年	-

(社)日本橋梁建設協会「鋼橋のライフサイクルコスト」より

## LCC試算例 (鋼橋塗装の場合)



## 塗装の長寿命化に関する誤解

### 1. 鋼橋塗装の長寿命化にはお金がかかる？(管理者)

	鋼橋	RC橋・PC橋
防食	定期的な塗替え	コンクリート塗装, 鉄筋防食
腐食した場合	部分的な部材取替えが可能	大がかりな補修, 架替え
材料	均一な材質, 品質保証	施工性に左右される

(言い換えれば) 塗装橋は、塗替え(防食)さえしていれば長寿命化が可能

### 2. 長寿命化になると仕事が少なくなる？(業界)

橋梁の架替えのほとんどは機能的理由による

長寿命になると、環境改善、塗料・  
 塗装技術の高級化・高度化が必要 → 新たな分野の需要

ご静聴ありがとうございました