

「鋼道路橋の防食と基準改定」

(公益財団法人)東京都道路整備保全公社

(一般財団法人)首都高速道路技術センター

高木 千太郎

18122012

鋼道路橋の防食と基準改定の動向

- ◆ 道路橋ストックの現状と課題
- ◆ 鋼道路橋の腐食損傷事例と防食
- ◆ 鋼道路橋防食基準の変遷
- ◆ 基準改定の最新動向

橋梁ストックの現状と課題



橋梁長寿命化技術に関する技術研究交流会

橋梁ストックの分析

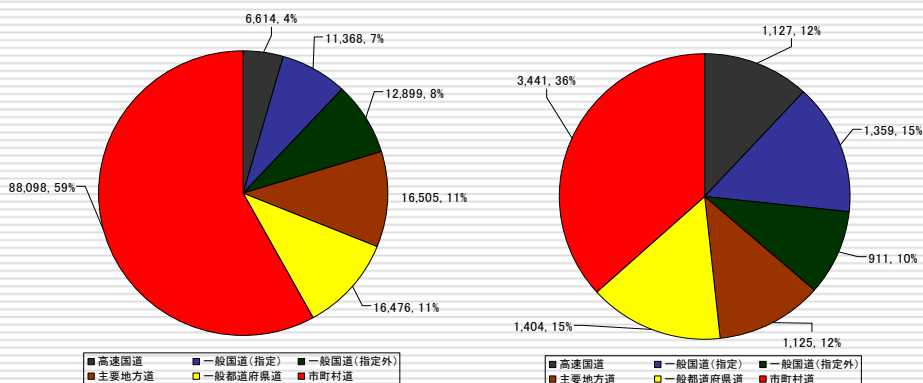
- マネジメントの基本は、正しい分析から
- 橋梁ストックの把握は、箇所数、橋長、橋面積
- 箇所数による分析は、正しい対象把握ですか？
- 鋼道路橋の主たる損傷は、腐食

橋梁ストックの箇所数と延長の割合

橋長:15m以上

橋梁数(151,960箇所)

橋梁延長(9,367km)



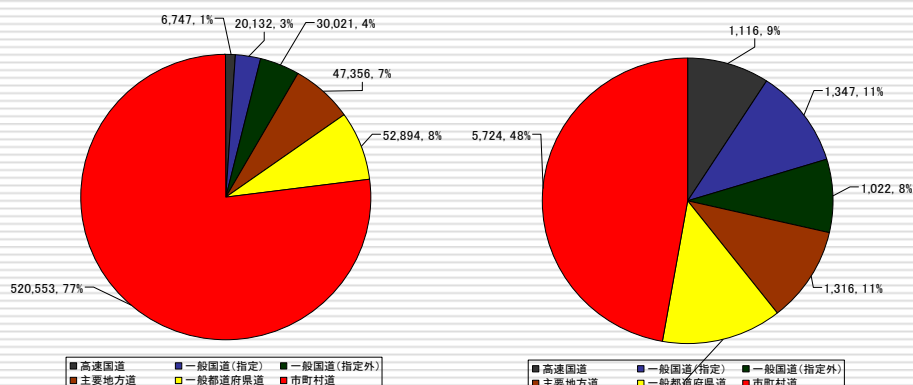
5

橋梁ストックの箇所数と延長の割合

橋長:2m以上

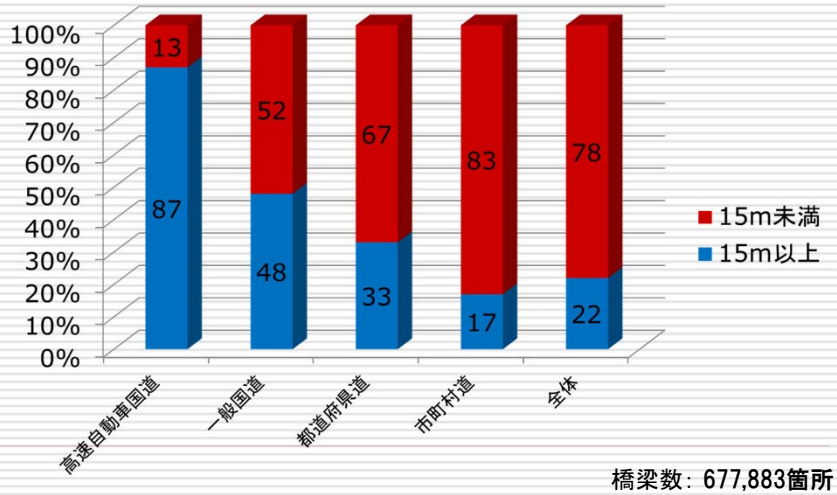
橋梁数(677,883箇所)

橋梁延長(12,132 km)



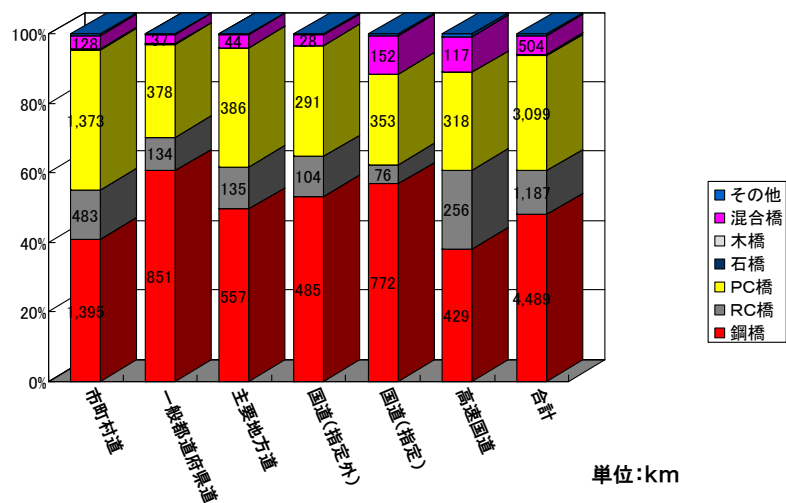
6

橋梁ストックの橋長15m未満の割合



橋梁上部工使用材料別の延長及び比率

橋長: 15m以上

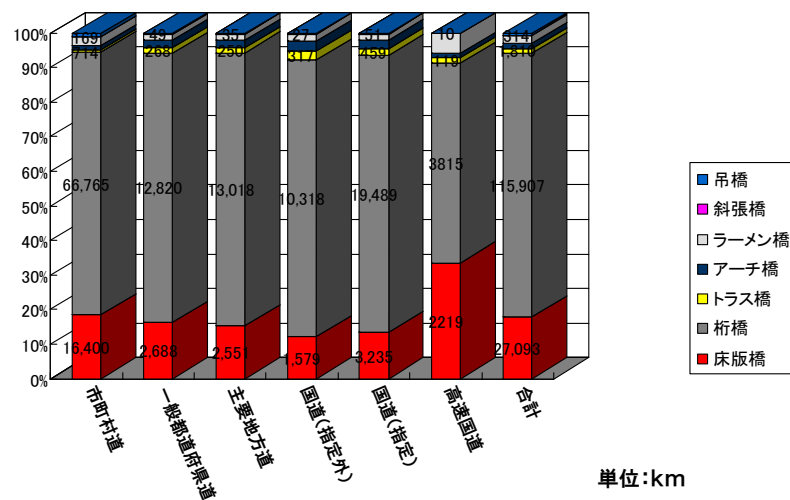


名称	形状
吊り橋	
斜張橋	
アーチ橋	
トラス橋	
ラーメン橋	
けた橋	

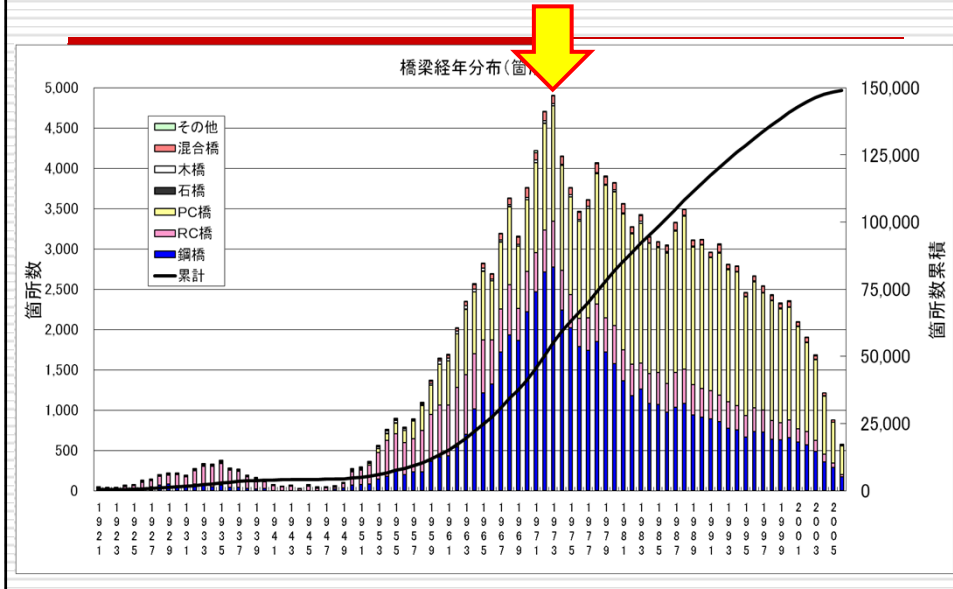
9

橋梁上部工構造形式別の橋数及び比率

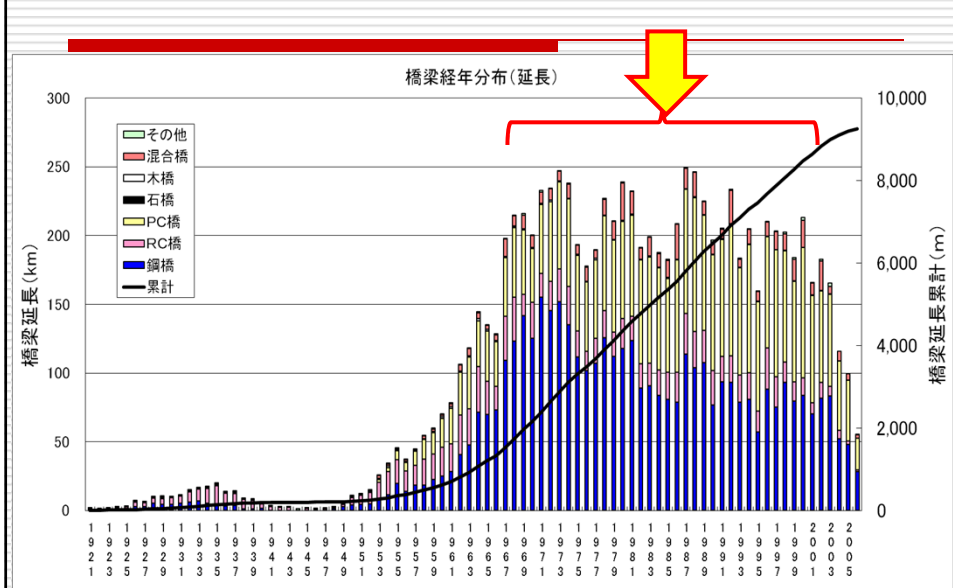
橋長：15m以上



橋梁の建設年次別グラフ(全国・箇所数)

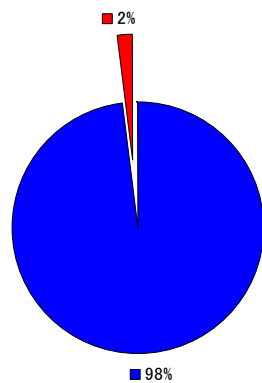


橋梁の建設年次別グラフ(全国・延長)

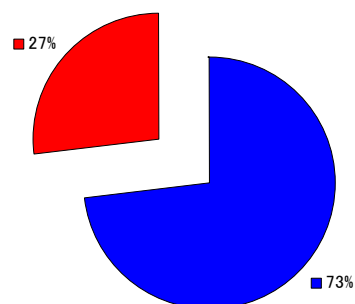


地方公共団体管理橋梁の点検率

都道府県+政令市(全国平均)



市区町村(全国平均)



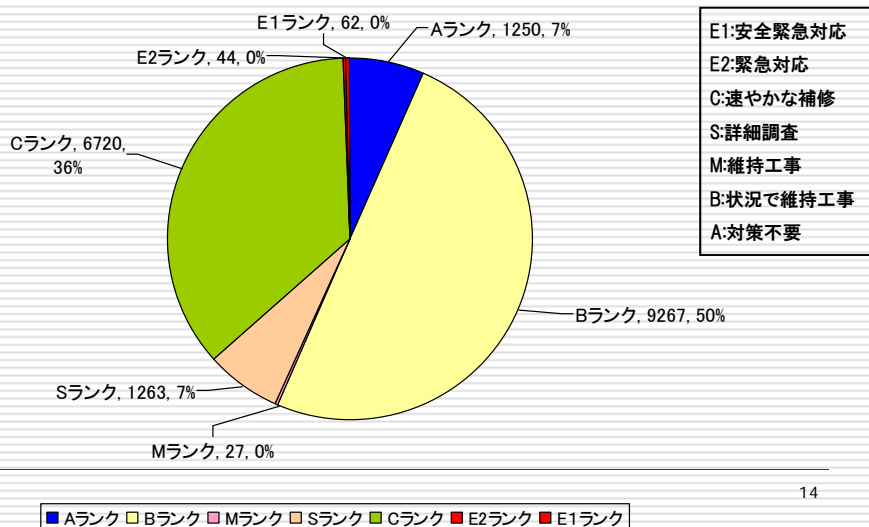
■点検実施 ■点検未実施

■点検実施 ■点検未実施

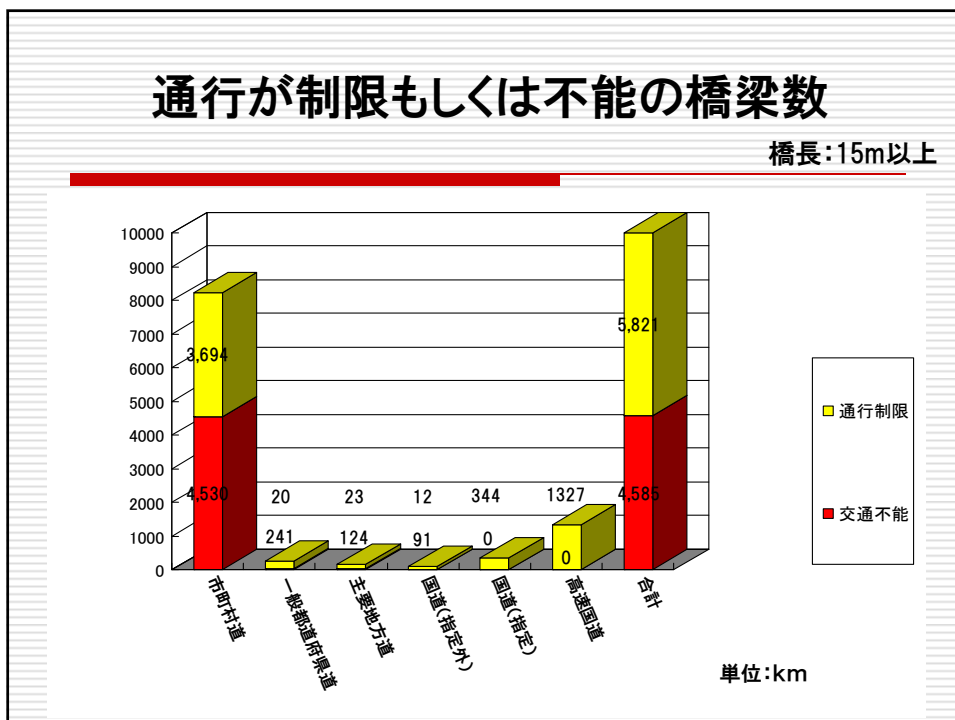
国土交通省調査データより編集

管理橋梁対策区分の判定区分比率

18,633橋

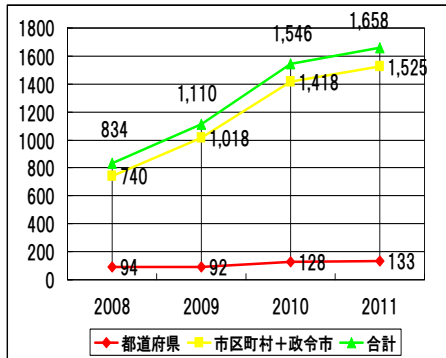


14

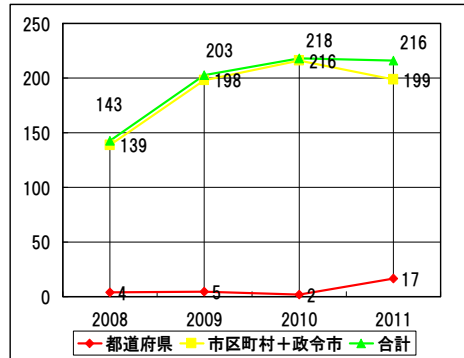


地方公共団体管理橋梁の通行規制状況

通行規制橋梁(橋長2m以上)



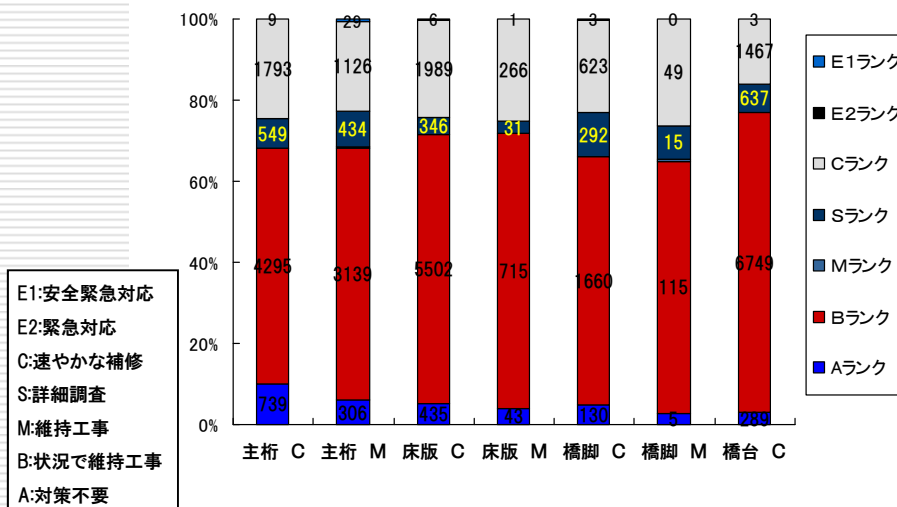
通行止め橋梁(橋長2m以上)



国土交通省調査データより編集

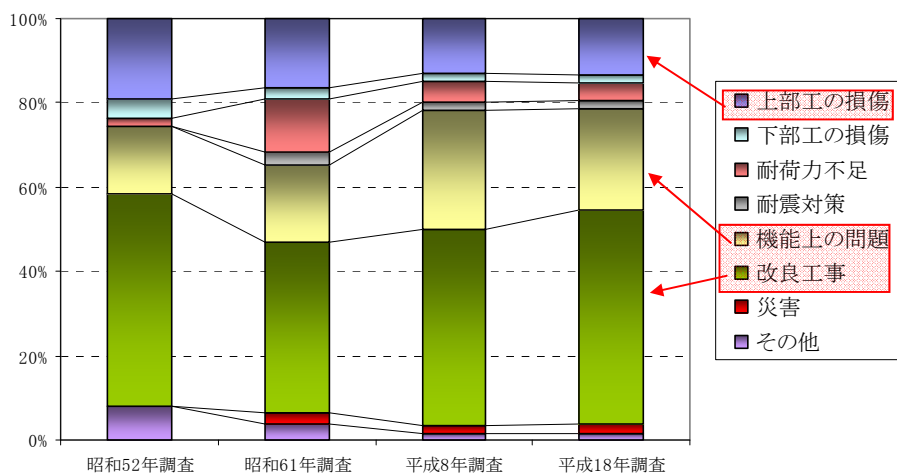
部材別対策ランクの判定区分数と比率

橋長2m以上



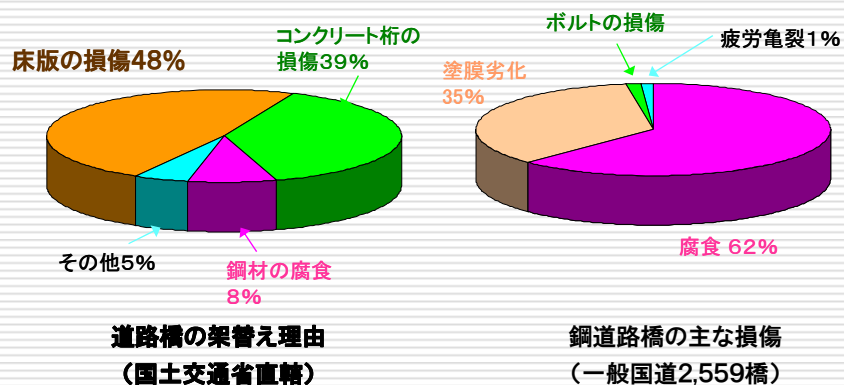
E1:安全緊急対応
 E2:緊急対応
 C:速やかな補修
 S:詳細調査
 M:維持工事
 B:状況で維持工事
 A:対策不要

道路橋の架替え理由構成比



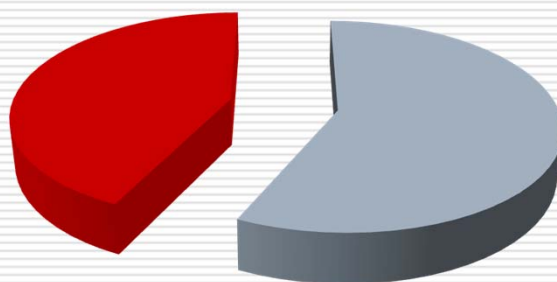
【出典：土木研究所資料・国土技術政策総合研究所資料】

道路橋の架替え理由と主な損傷



道路橋における腐食損傷割合

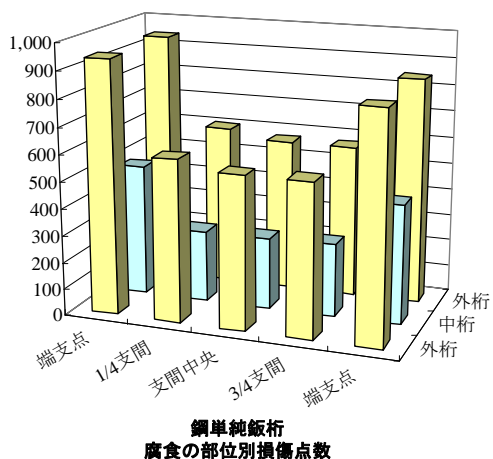
道路橋の損傷



■ 腐食あり ■ 腐食なし

注: 全径間数=17, 337径間

湿気の多い桁端部に集中する腐食



桁端部腐食による断面欠損対策事例



道路橋の腐食損傷事例

橋梁長寿命化技術に関する技術研究交流会

鋼道路橋の塗装劣化、腐食、塗膜の剥離



死に膜、著しい腐食



著しい腐食から断面欠損へ



腐食損傷の要注意箇所(床版接触)



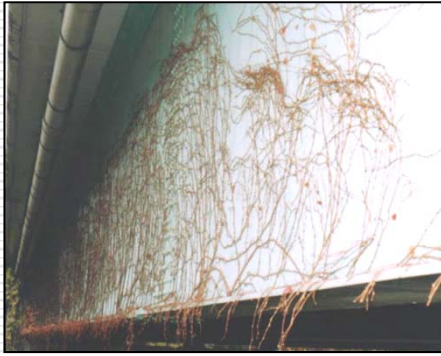
腐食損傷の要注意箇所(桁端部)



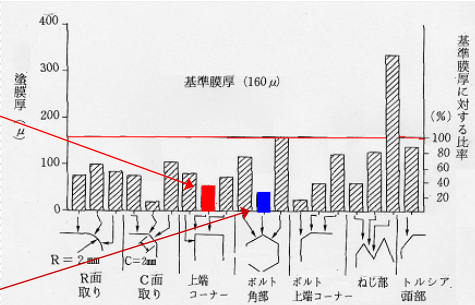
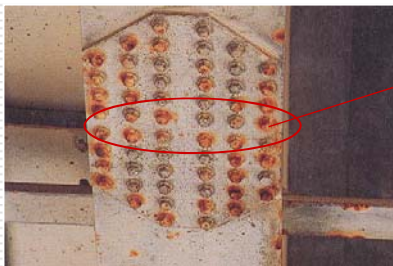
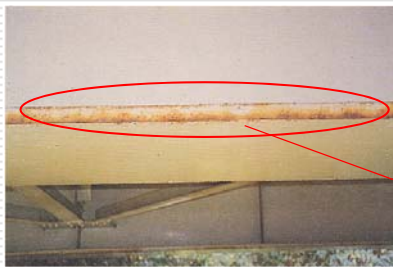
特殊な腐食損傷(鳥等の糞害)



特殊な腐食損傷(埴害、火災)



腐食しやすい鋼材エッジ部



エッジ部は、塗膜厚が確保しにくい
(目標膜厚の20~70%程度)

めっき鋼材にさびが発生した事例



耐候性鋼材のさびの状態と断面欠損



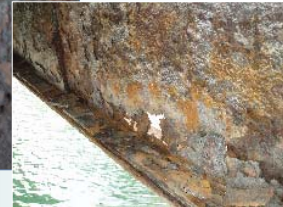
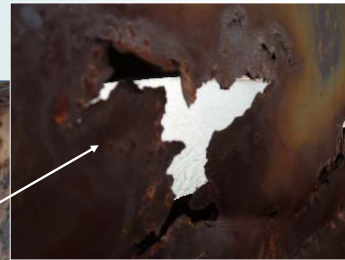
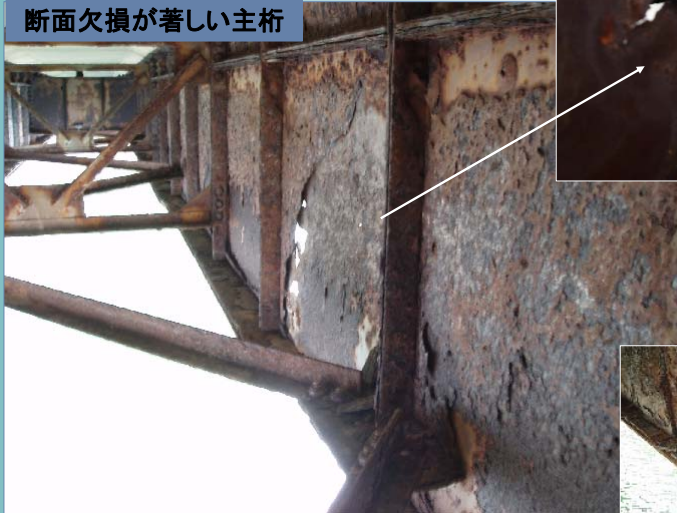
さびが一様でなく、断面欠損を伴わない



さびが一様でなく、断面欠損を伴う

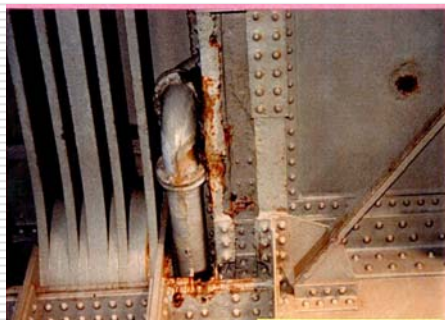
断面欠損から落橋へ

断面欠損が著しい主桁



貫通箇所は数箇所にも及ぶ

当初設計や詳細構造の誤りによる腐食



腐食・断面欠損から疲労亀裂発生



腐食から疲労亀裂に進展

腐食損傷(断面欠損)と実耐荷力

橋梁長寿命化技術に関する技術研究交流会

道路橋の腐食調査結果

竣工：昭和4年1月

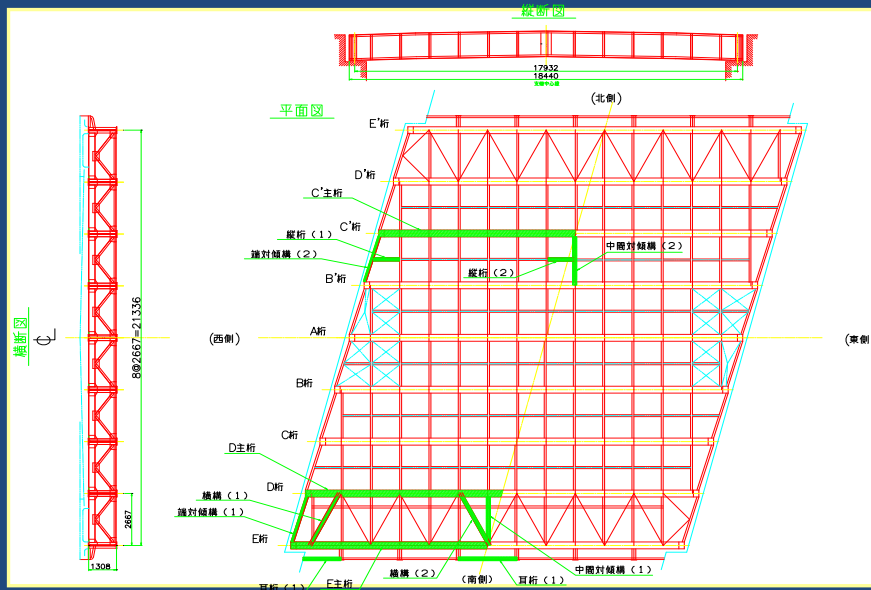
塗装：昭和52年3月
(30年経過)

形式：鋼単純非合成鋼桁橋

橋長：18.5m



腐食詳細調査箇所



外桁上フランジ部分の断面欠損

写真番号	1
部材名位置	E桁上フランジ(南)
損傷の種類	腐食、断面欠損
状況	<p>上フランジ 腐食範囲(桁端~860mm) 断面欠損(桁端~470mm)</p>

垂直補剛材の著しい断面欠損

写真番号	2
部材名位置	E桁垂直補剛材(南)
損傷の種類	腐食、断面欠損
状況	<p>桁端部補剛材断面欠損 (110×125mm)</p>

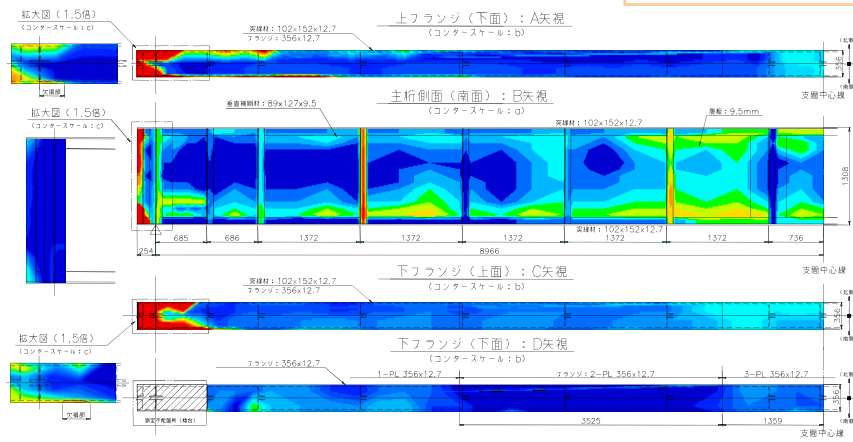
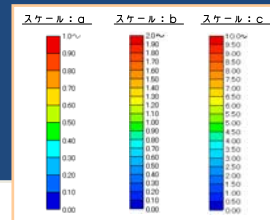
端耐傾構の著しい腐食・断面欠損



写真番号	3
部材名位置	B'-C' 桁間端対傾構(南)
損傷の種類	腐食
状況	上弦材及び仕口が著腐食 (B' 桁ウェブから700mm)

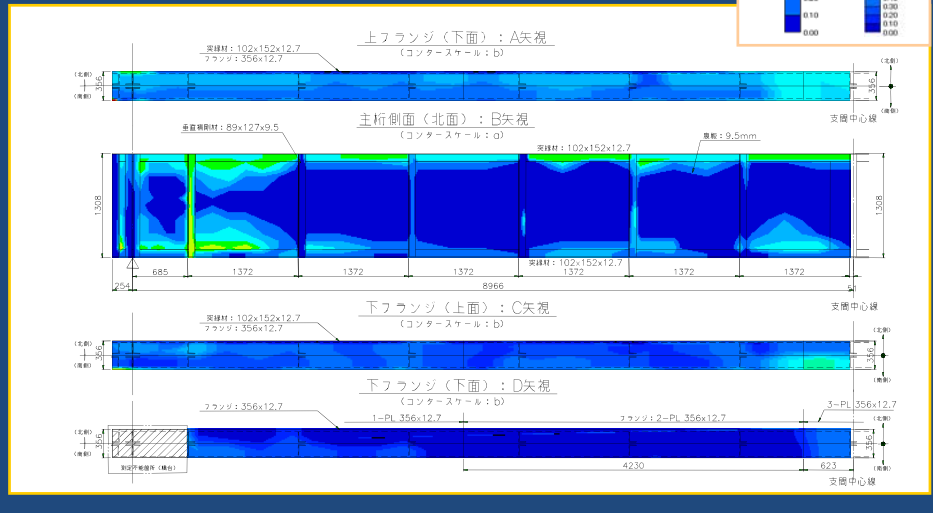
鋼材の腐食量測定結果

E主桁(外桁)



腐食量の測定結果(断面欠損なし)

C主桁(中桁)



断面欠損橋梁の耐荷力算定結果

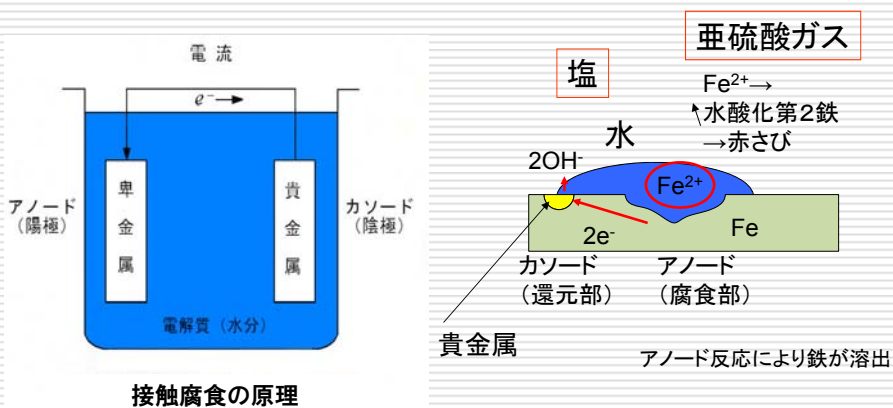
	腐食なし (設計耐力)	外桁E	中桁D	中桁C
残存断面積比	1.0	0.71	0.97	0.99
残存耐力 (kN)	1,666	1,183	1,616	1,649
残存耐力/ 設計耐力	1.7	1.21	1.65	1.68

* 目標安全率: 1.7

腐食のメカニズムと防食

橋梁長寿命化技術に関する技術研究交流会

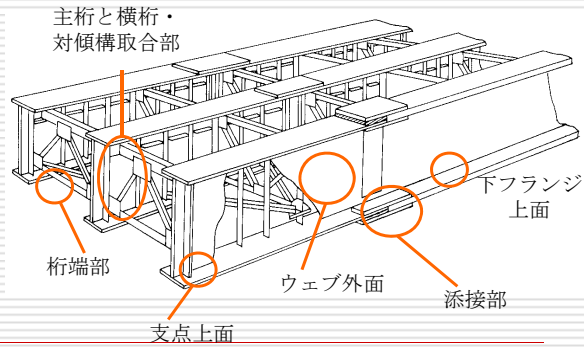
鋼材の腐食反応イメージ



腐食発生の構造的要因

構造的要因

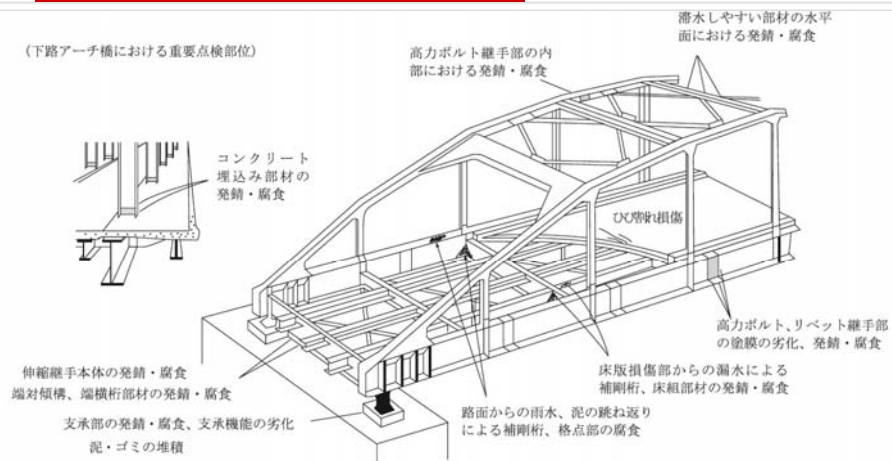
- 伸縮装置の不具合、床版漏水
- 風通し、高湿度
- 塗装劣化
- 素地調整不足



道路橋I桁の腐食損傷の多発箇所

腐食発生の構造的要因

(下路アーチ橋における重要点検部位)



注1: 海岸地域に位置する橋梁に関しては床組部材の発錆・腐食をチェックすること。

腐食環境の分類(便覧)

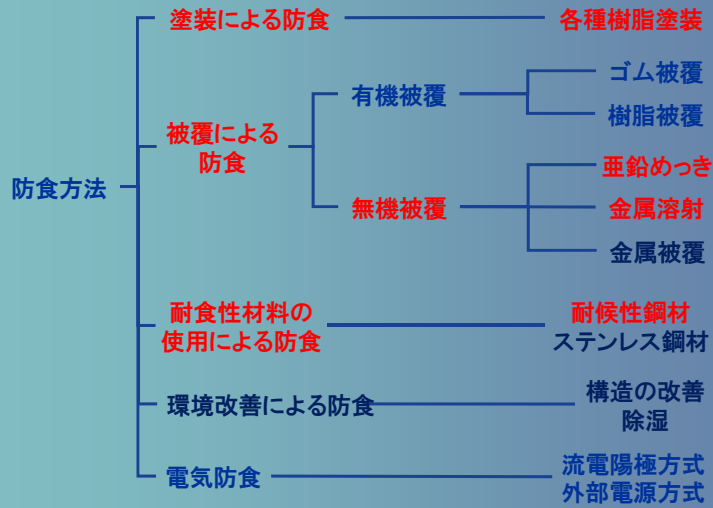
一般環境	やや厳しい環境	厳しい環境
飛来塩分の影響を受けず、かつ、自動車排気ガスや工場ばい煙の影響を強く受けない環境。	飛来塩分の影響を受ける環境、または自動車排気ガスや工場ばい煙の影響を強く受ける環境。	潮風が強く、飛来塩分の影響を強く受ける環境。

防食とは？

防食とは、腐食反応の進行を防止する対策
対策としては、

- 水、酸素の遮断
- 合金成分添加によって耐腐食性を改善
- 電氣的に腐食を阻止
- 腐食環境を改善

防食対策の種類



鋼道路橋塗装便覧、塗装・防食便覧から
鋼道路橋防食便覧＋資料集

鋼道路橋の防食に関する基準の変遷

○ 「鋼道路橋塗装便覧」

- ① 昭和46年12月20日 初 版
 - ② 昭和54年2月 第一回改訂
 - ③ 平成 2年6月 第二回改訂
-

鋼道路橋の防食基準の変遷

鋼道路橋塗装・防食便覧：平成17年12月

鋼道路橋塗装・防食便覧資料集：平成22年9月



◎ 鋼道路橋防食便覧：平成25年4月発刊予定

鋼道路橋に関する防食技術の解説

- 鋼道路橋の各種防食技術を解説
 - 道路橋示方書に示す防食設計の補完
 - 各種橋梁の防食方法選定、防食状態の評価、補修・補強対策の選定等を示唆
-

鋼道路橋の防食及び腐食評価に関する規定

1. 鋼道路橋塗装便覧 :平成2年6月
 2. 塗膜劣化程度標準写真帳 :平成2年6月
 3. 鋼道路橋塗装・防食便覧 :平成17年12月
 4. 鋼道路橋塗装・防食便覧資料集:平成22年9月
-

塗装・防食便覧及び資料集の構成

第Ⅰ編 共通編

第Ⅱ編 塗装編

第Ⅲ編 耐候性鋼材編

第Ⅳ編 溶融亜鉛めっき編

第Ⅴ編 金属溶射編

防食基準における基本的な考え方

- ・鋼道路橋の主たる損傷は、
鋼材の腐食とコンクリート床版の劣化である。
- ・供用橋は、可能な限り**延命化**を図る。
- ・新設橋は、**当初設計で耐久性に優れた橋梁**となるようにする。
- ・**ライフサイクルコストの低減**を図る。

60

防食基準(便覧)適用の範囲と概要

- 道路橋の**鋼製の上部構造及び橋脚構造**に適用
- 個別橋梁の構成部材、部位に対しては、それぞれの環境等の条件において**所要の防食性能を満足する**ことが必要で、今回規定した内容と必ずしも同じである必要はない。
- 鋼道路橋の防食に関する**標準的な考え方や方法を示した**ものである。

61

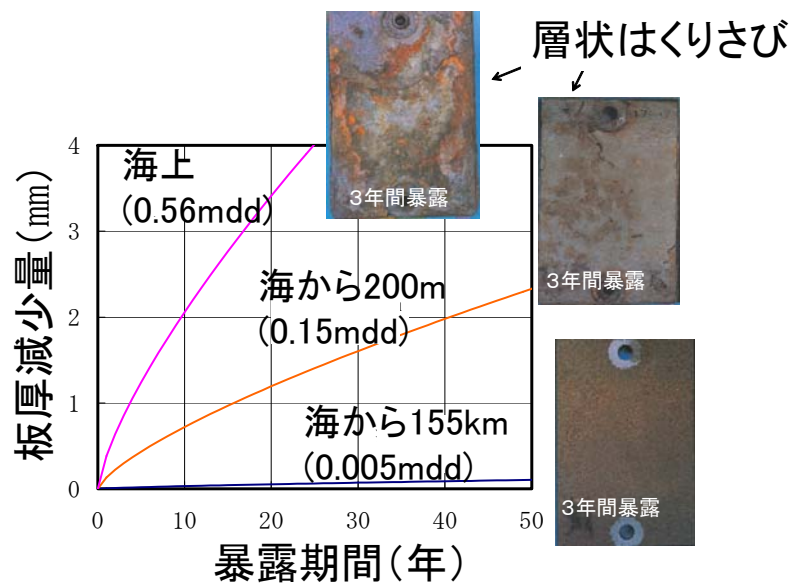
鋼材の腐食因子と要因

腐食因子	水、酸素
腐食促進因子	日照、気温、 塩分 自動車の排気ガス、工場からの排出物、 火山性ガス ……局地的 酸性雨 ……近年影響が懸念

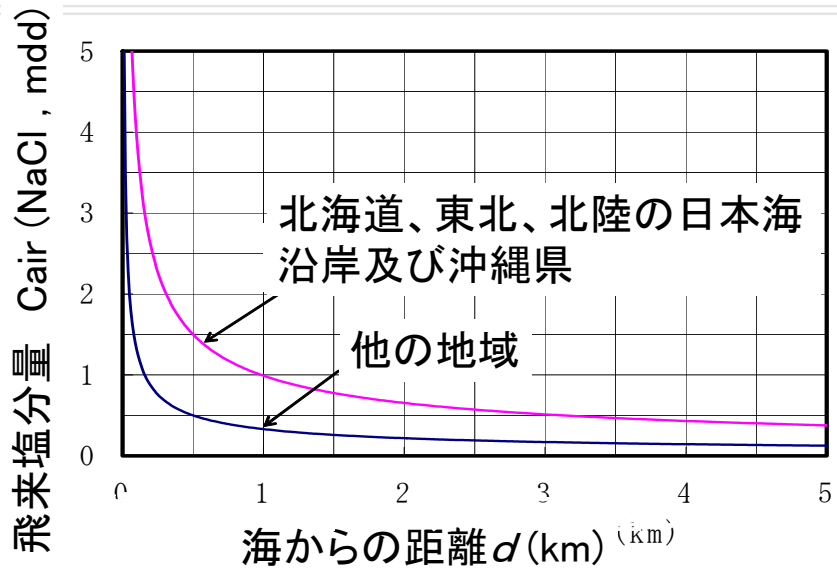
塩化物が腐食反応を促進する理由

- 大気中の水分を取り込み、電気伝導度の高い水溶液になる(潮解性)
- 水に溶解した塩化物イオンがさび層に侵入し、鋼材表面に吸着されて鉄イオンが溶出しやすい環境を形成するため。

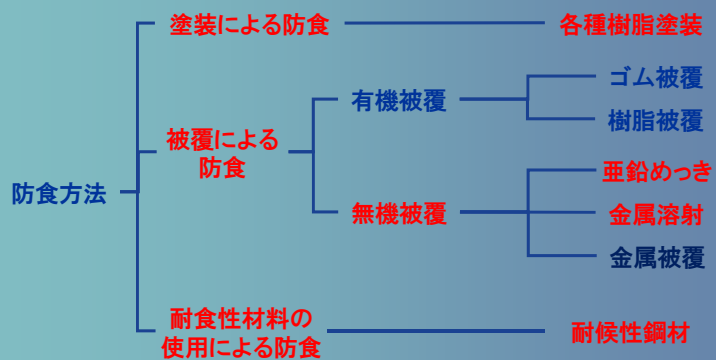
付着塩分量による鋼材の腐食程度



海岸線からの距離と飛来塩分量の関係



防食対策の種類



防食法	塗装		耐候性鋼材	熔融亜鉛めっき	金属溶射
	一般塗装	重防食塗装			
防食原理	塗膜による環境遮断	塗膜による環境遮断とジンクリッチペイントによる防食	ちみつなさび層による腐食速度の低下	亜鉛皮膜による環境遮断と亜鉛による防食	溶射皮膜による環境遮断と亜鉛による防食
防食材料	塗料	塗料	腐食速度を低下する合金元素の添加	亜鉛	亜鉛、アルミニウム、亜鉛・アルミニウム
構造,施工上の制限	温度,湿度等施工環境条件の制約	温度,湿度等施工環境条件の制約	滞水,湿気対策	めっき処理槽による寸法制限と熱ひずみ対策	溶射ガン運行上の制限
外観(色彩)	色彩は自由	色彩は自由	色彩は限定(茶褐色)	色彩は限定(灰白色)	色彩は限定(梨地状の銀白色)
複合防食				塗装との併用	塗装との併用

防食法の選定

防食法選定の基本

各防食法の特性を十分把握し、使用環境条件や周辺環境との調和、経済性（ライフサイクルコスト）、維持管理の条件等の防食の要求性能を考慮して選定する。

***防食法の使用環境条件**

***周辺環境との調和**

色彩や光沢などの持続性や汚れやすさ等を考慮

***経済性**

初期投資を抑制するだけでなく、長期的な視点にたつてライフサイクルコストの縮小を図る。

68

防食法の選定における留意事項

1. 防食性能の信頼性

防食原理や耐久性などの防食性能が明らかなものを採用

2. 維持管理性

防食法の劣化や損傷状態の判定方法が明らかで部分補修や全面補修が可能な方法であること

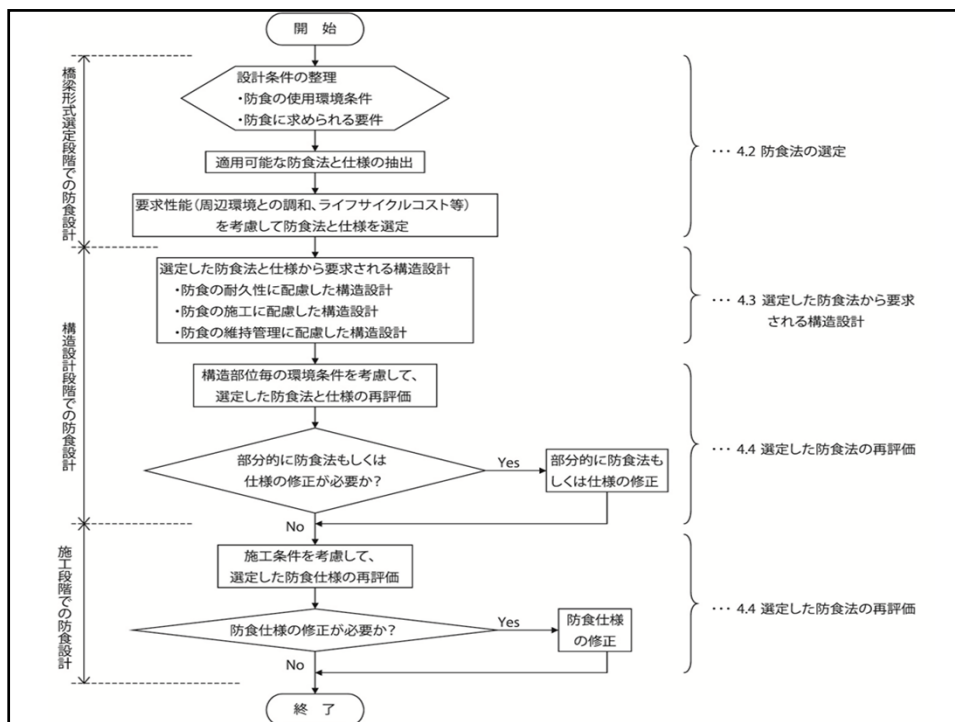
3. その他

人の健康や環境へ悪影響のないこと

69

鋼道路橋の代表的な防食法の適用環境比較

防食法	劣化因子/劣化促進因子	環 境	
		飛来塩分量が少ない環境	飛来塩分量が多い環境
塗装	一般塗装 紫外線、水、酸素/ 塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲	
	重防食塗装 紫外線、水、酸素/ 塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲	
耐候性鋼材	水、酸素/塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲	
溶融亜鉛めっき	水、酸素/塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲	
金属溶射	封孔処理 水、酸素/塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲	
	重防食塗装 紫外線、水、酸素/ 塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲	



防食設計時の留意点

腐食に注意すべき環境及び部位について

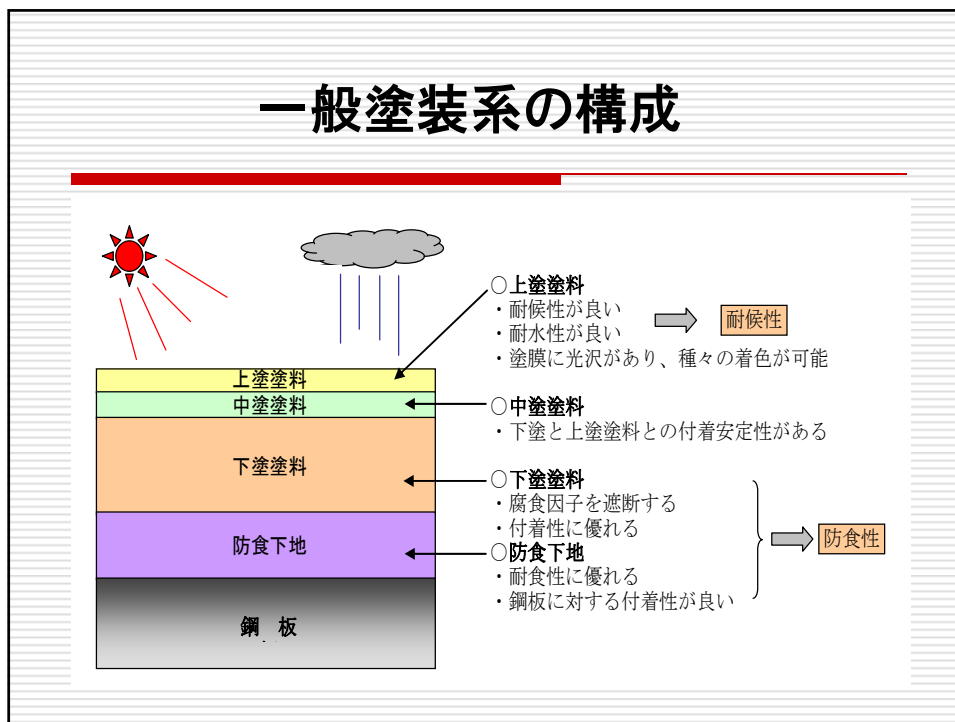
(地理的・地形的要因による腐食環境の違い)

- ・飛来塩分(潮風)の影響

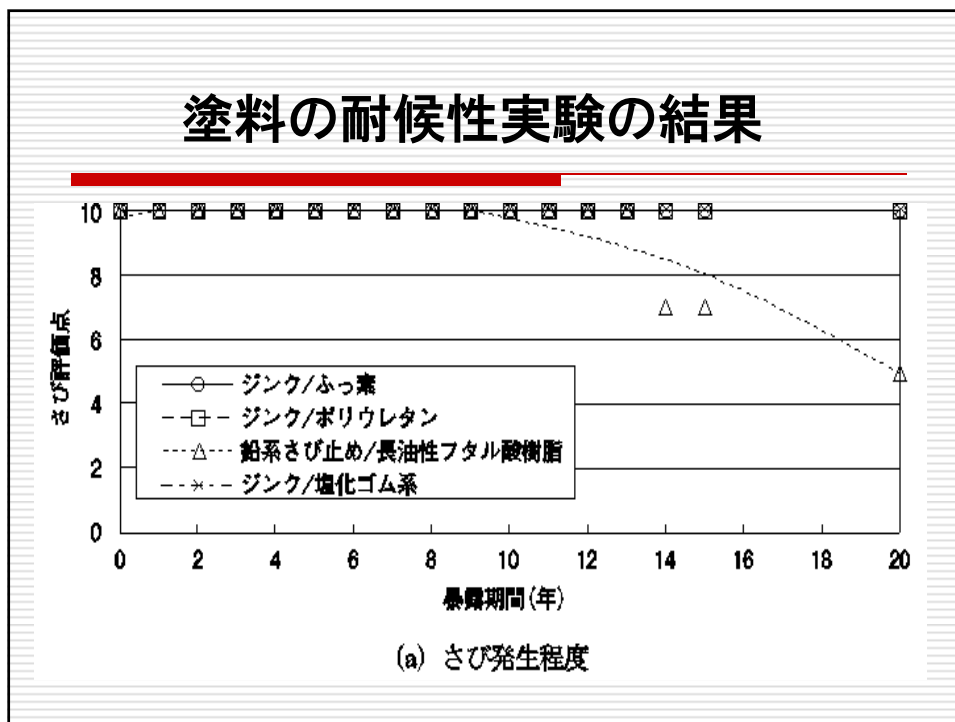
(構造部位による腐食環境の違い)

- ・漏水・滞水の影響
- ・凍結防止剤の影響
- ・降雨による洗浄作用の影響
- ・日照の影響

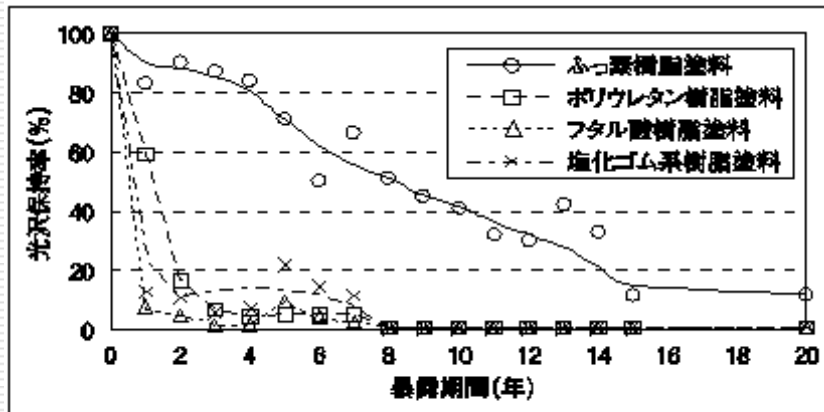
一般塗装系の構成



塗料の耐候性実験の結果

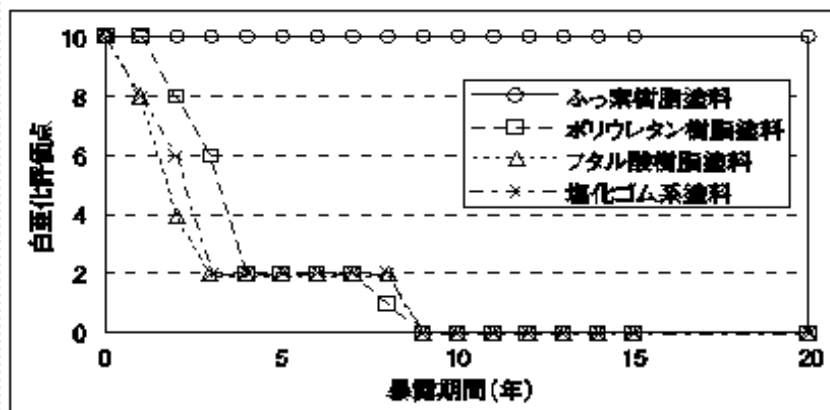


塗料の耐候性実験の結果



(b) 光沢保持率

塗料の耐候性実験の結果



(c) 白亜化

耐久性に優れる重防食塗装系の採用

工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
＜製鋼工場＞				
素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2・1/2			4時間以内
プライマー	無機ジंकリッチプライマー	200→160	(15)	
＜橋梁製作工場＞				
二次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2・1/2			6ヶ月以内
防食下地	無機ジंकリッチペイント	700→600	75	4時間以内
ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—	2日～10日
下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗	2x300→540	2x60→120	1日～10日
中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1日～10日
上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1日～10日

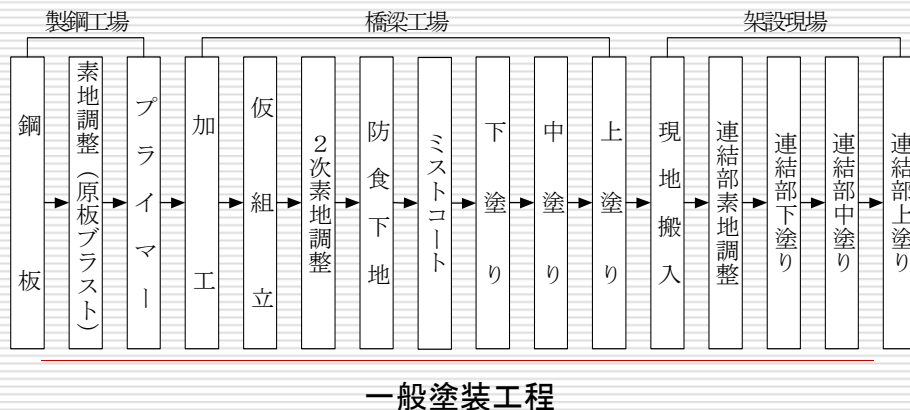
重防食塗装系(外面C-5)の特長

現状の基準では、LCC低減の観点から、腐食因子を遮断する性能に優れ、厳しい腐食環境下でも長期間の防食性が期待できる**防食下地のある重防食塗装系**の採用を基本としている。

- ・上塗り : 耐候性に優れるふっ素樹脂塗料
- ・下塗り : 腐食因子の浸透を防ぐエポキシ樹脂塗料
- ・防食下地 : 耐食性に優れるジंकリッチペイント

塗装作業と留意点

- ・ 上塗りまで橋梁製作工場での施工を基本とする。
- ・ 架設現場では連結部の塗装のみ(ただし、輸送や架設時に塗膜が損傷した場合は、補修を行う)



耐候性鋼材の適用可能な環境

原則として所定の方法で計測した飛来塩分量が0.05mddを超えない地域、あるいは下図に示す地域においては一般に無塗装で用いることができる。

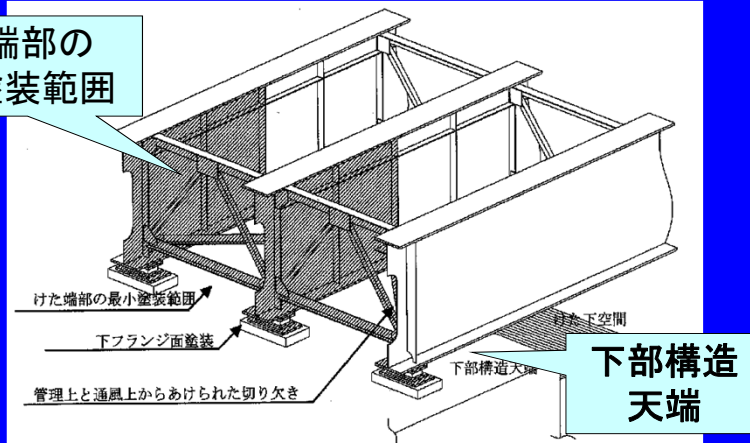
地域区分		飛来塩分量の測定を省略してよい地域
日本海沿岸部	I	海岸線から20kmを越える地域
	II	海岸線から10kmを越える地域
太平洋沿岸部		海岸線から2kmを越える地域
瀬戸内海沿岸部		海岸線から1kmを越える地域
沖縄		なし

耐候性鋼材を無塗装で使用する場合の適用地域

耐候性鋼材の部分塗装

腐食しやすいけた端部は、部分塗装を行う。

けた端部の
最小塗装範囲



下部構造上の塗装範囲の例

81

金属溶射における金属の採用事例の傾向と特徴

工法	溶射金属種別	
ブラスト法	亜鉛溶射	
	アルミニウム溶射	
	亜鉛アルミ系	亜鉛・アルミニウム 合金溶射
粗面形成 材法		亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射

82

各溶射金属の採用事例の傾向と特徴

亜鉛溶射（ブラスト法）

- ・ 塩分量の多い環境下では溶解速度が大きく皮膜の消耗が早くなる。
- ・ 最小皮膜厚さは100 μ m以上
- ・ 無機ジンクリッチペイントが普及する以前に防食下地として用いられた実績がある。

（関門橋等）

83

各溶射金属の採用事例の傾向と特徴

アルミニウム溶射(ブラスト法)

- 表面に形成される酸化物により塩分量の多い地域でも溶解速度は遅く、比較的安定した耐久性が得られる。
- 素地調整グレードはISO 8501-1のSa3
- 最小皮膜厚さは150 μ m以上

84

各溶射金属の採用事例の傾向と特徴

亜鉛・アルミニウム合金溶射(ブラスト法)

- ・亜鉛単独皮膜,アルミニウム単独皮膜の中間の挙動を示す。
- ・素地調整グレードは、ISO 8501-1 Sa2 1/2
- ・最小皮膜厚さは、100 μ m以上

85

各溶射金属の採用事例の傾向と特徴

亜鉛・アルミニウム擬合金溶射(粗面形成材法)

- ・溶射皮膜の特性は、亜鉛・アルミニウム合金溶射と同等。
- ・粗面形成材法では、清浄化工程をブラストまたは動力工具処理で行う。
- ・粗面化工程に粗面形成材を用いる。

86

初期点検

初期点検(初回の定期点検)

・初期点検の目的:

防食機能や耐久性の低下を早める初期欠陥を早期に発見し、早めの処置を行う。

・初期点検の時期: 供用後2年以内

参考: 橋梁定期点検要領(案)、橋梁損傷事例写真集

87

代表的な初期欠陥

・施工上の品質に起因

塗装のはがれやふくれ

排水不良(排水勾配不足)

・設計上の配慮不足や環境との不整合に起因

異種金属接触による異常腐食

耐候性鋼材の異常腐食

排水不良(排水管長不足)

88

各防食法劣化の概要：塗装

- ・代表的な塗膜の劣化経過
 - 退色や変色、微細なクラック、ふくれや割れなど
 - 下塗り塗膜が劣化→鋼材の腐食が始まる
 - ・下塗り塗膜が劣化する前に予防措置の実施が重要
 - ・湿気が多い箇所等は、他の部位より塗膜劣化が急激に進行しやすいので要注意
-

100

各防食法劣化の概要：耐候性鋼材

当初想定したちみつなさびが形成されない

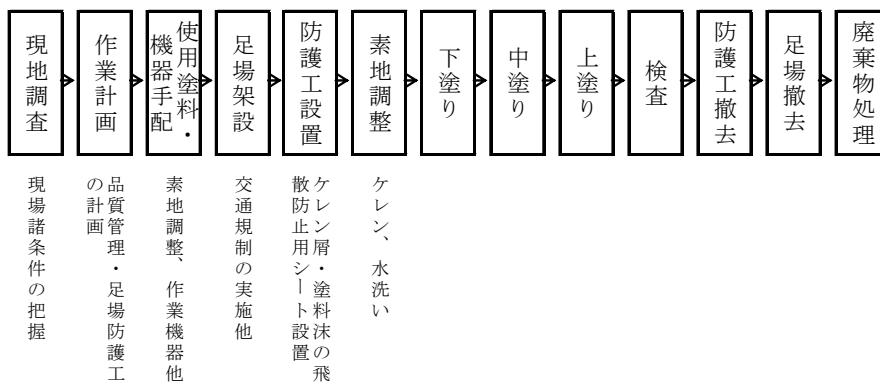
- ・想定より厳しい環境にさらされる場合
 - ・漏水などで局部的に環境悪化が生じた場合
 - 異常腐食の発生する部位があるので注意を要する。
-

100

各防食法劣化の概要：めっきと溶射

- 溶融亜鉛めっき
 - ・白さびが著しく厚く付着している場合
 - 塩分など亜鉛を腐食させる物質が付着
 - ・めっき槽に浸ける工程で入った部材の端部 等にき裂
 - 早い段階から異常が見られる
- 金属溶射
 - ・白さびの発生(亜鉛を含む金属溶射)
 - 粒状になって落下は、溶射皮膜の保護性を消失

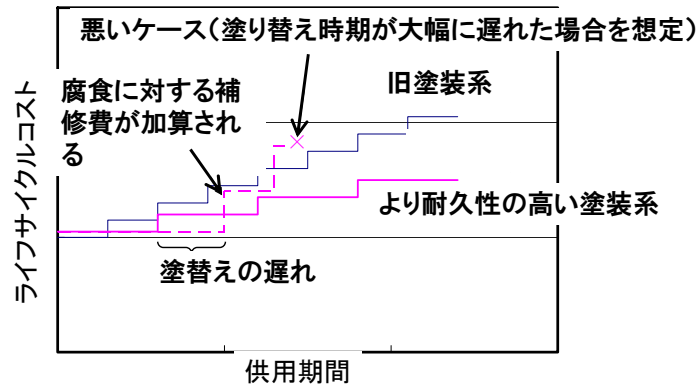
塗り替え塗装作業と留意点



塗り替え塗装の作業工程の例

防食の修繕計画策定における配慮する事項

- ・塗替えに腐食環境による腐食速度の違いを考慮
- ・塗替え時にさびは完全に除去
(濃縮した塩化物イオンを含む)



厳しい腐食環境における塗替えの遅れの影響(概念図)

さびを完全に除去しなかった場合の塗膜劣化

グリッドブラスト処理
(さびは完全に除去)



グラインダで処理
(さびが残る)



早期変状なし



ふくれ

1年7ヶ月曝露

橋梁塗装の塗替え方式

全面 塗替え	<ul style="list-style-type: none">・部分的には著しい塗膜劣化を許容・全面を一度に塗り替える
部分 塗替え	<ul style="list-style-type: none">・著しい塗膜劣化を生じさせない・塗膜が劣化した部位を部分的に塗り替える・塗替えにより色むらが生じる
局部 補修	<ul style="list-style-type: none">・防食下地にジンクリッチペイントを使用した塗装系に適用・部材角部, ボルト継手部等の点さびの補修

鋼道路橋塗装便覧の出版に向けて

- 鋼道路橋塗装便覧のエキスを抽出
- 最新の知見と事例を参照
- 経済的で耐久性の高い防食法を示唆
- 理解しやすい防食基準を目指す

橋梁長寿命化技術に関する技術研究交流会