

鋼橋点検における非破壊検査技術の適用・開発事例  
— 本州四国高速道路での事例 —

横井 芳輝

本州四国連絡高速道路（株）

# 鋼橋点検における 非破壊検査技術の適用・開発事例 -本州四国連絡高速道路での事例-

本州四国連絡高速道路株式会社

長大橋・技術部 技術革新・アセットマネジメントグループ

(兼) 保全部 橋梁保全課

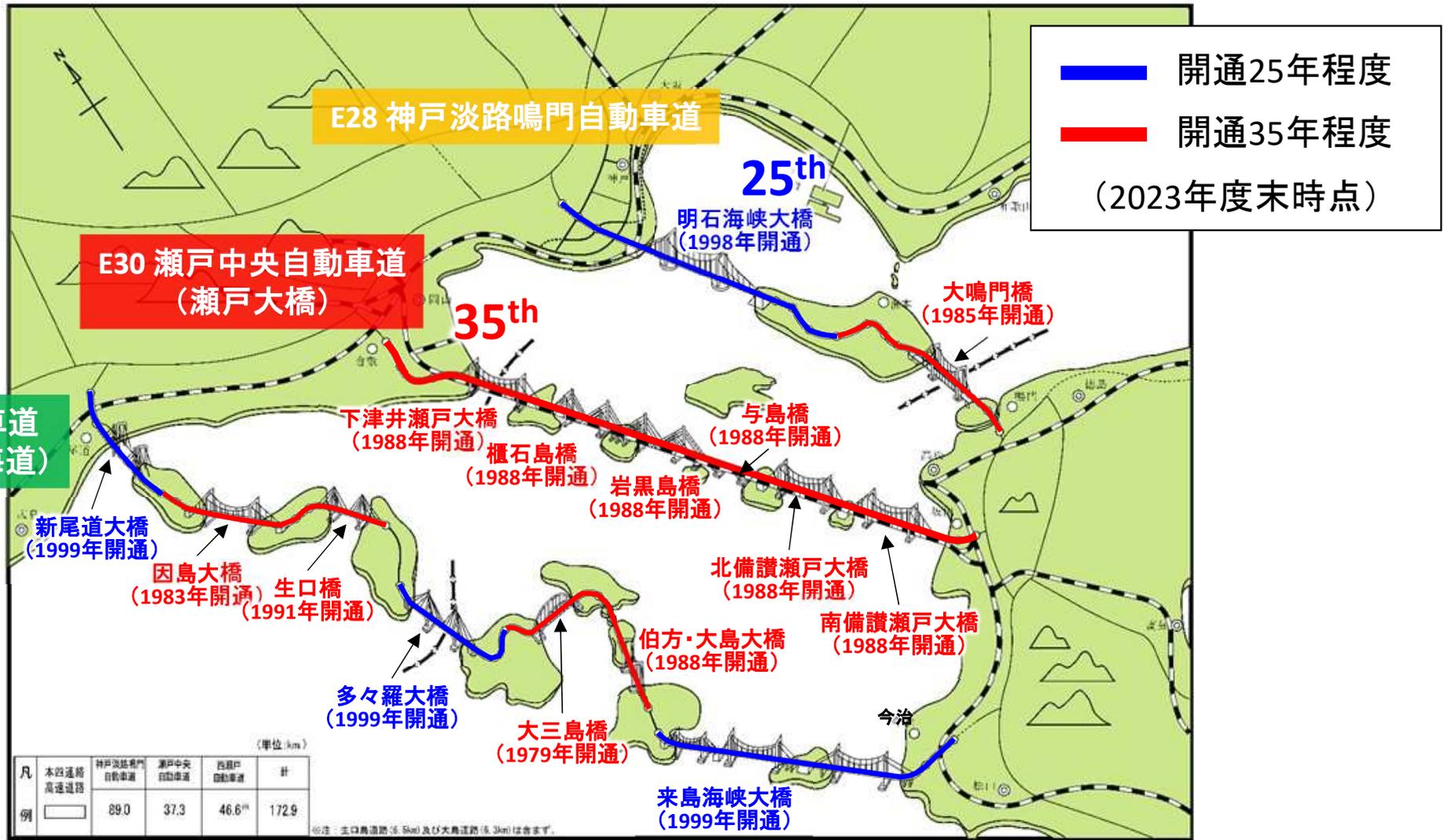
横井 芳輝

1. 本州四国連絡橋の長大橋
2. 長大橋の保全の特徴
3. 本四高速における非破壊検査技術の適用・  
開発事例



# 本州四国連絡橋の長大橋

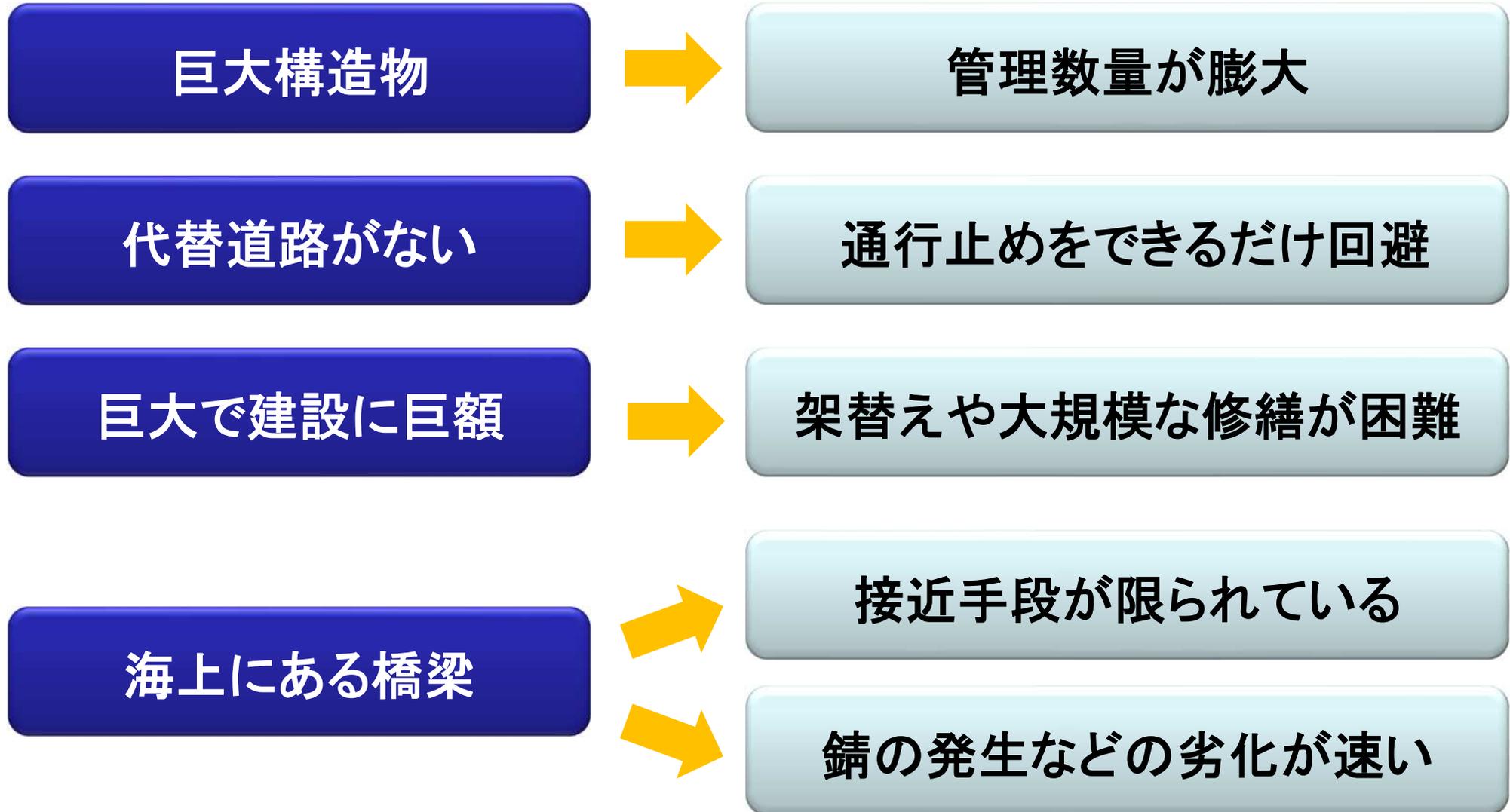
1979年5月 大三島橋、1985年6月 大鳴門橋、1988年4月 瀬戸大橋が開通  
 1998年4月 明石海峡大橋、1999年5月 多々羅大橋、来島海峡大橋が開通



# 長大橋の保全の特徴



# 長大橋の保全（海峡部長大橋の保全の課題）



# 維持管理の基本的考え方

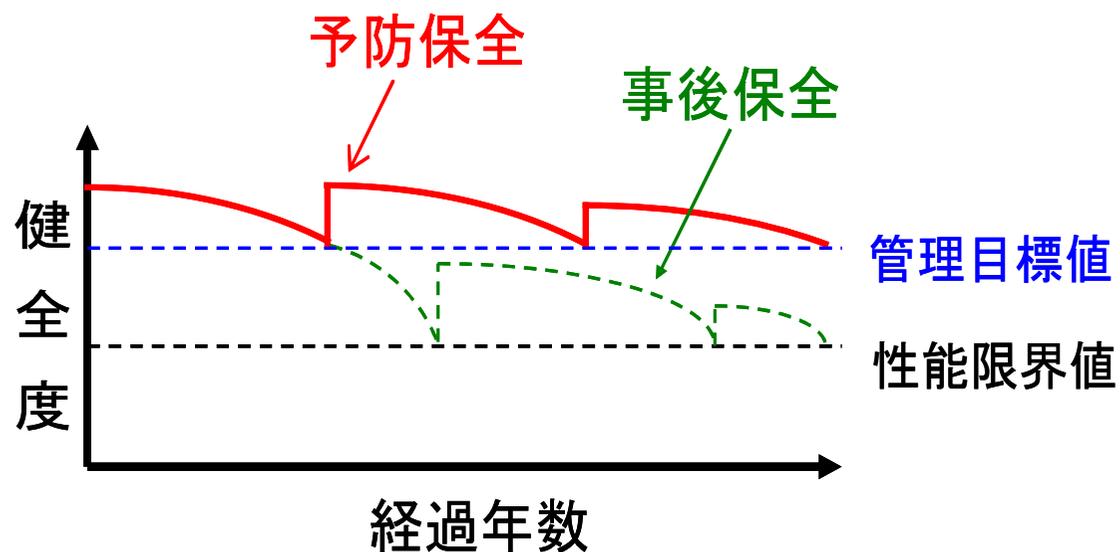
国家的社会資本であり、長期にわたり健全な状態に保全する

- ・ 代替交通機関が少ないことから、長期間の通行止めを避ける
- ・ 厳しい腐食環境下であり、早期に対応する



「**予防保全**」を維持管理の基本方針とする

構造物が機能低下を引き起こす前（損傷や劣化が軽微な段階）に保全を実施



# 予防保全の基本は点検

変状の早期発見、措置判断及び劣化予測のための定量的データの取得



ケーブル上を歩いて行う点検



桁外面作業車を使用した点検



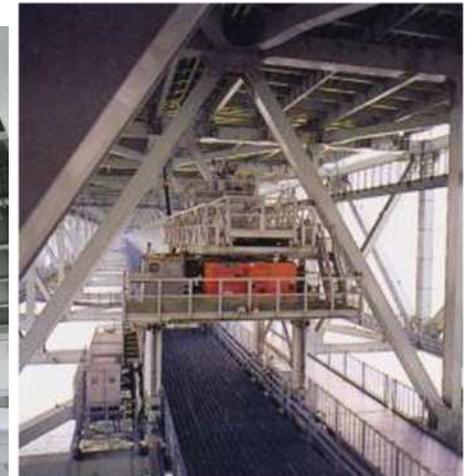
ロープアクセス技術による点検



管理路を歩いて行う巡回点検



桁内面作業車を使用した点検



# 本四連絡橋の点検の種別

種別		内容	頻度
定期 点検	巡回点検	管理路等から目視により点検 お客様及び第三者影響を与える変状に着目	1回/3か月、6か月、 1年 (部材毎に設定)
	基本点検	管理路、点検補修用作業車等による近接目視 必要に応じて触指、打音、非破壊検査を実施 部材の機能、性能低下につながる変状に着目 橋の健全性、補修の要否を判定することを目的	1回/5年
	精密点検	橋全体の形状等について計器による測定を実施 橋全体の健全性評価のためのデータ取得が目的	橋毎に設定
不定期 点検	異常時点検	異常時（地震、豪雨、強風等）に実施 供用性に着目した点検	都度
	臨時点検	必要に応じて実施 診断のための詳細調査（非破壊検査等） 変状の追跡調査（モニタリング等）	都度

# 本四高速における非破壊検査技術の 適用・開発事例

# 非破壊検査適用事例

橋梁の維持管理において非破壊検査は不可欠

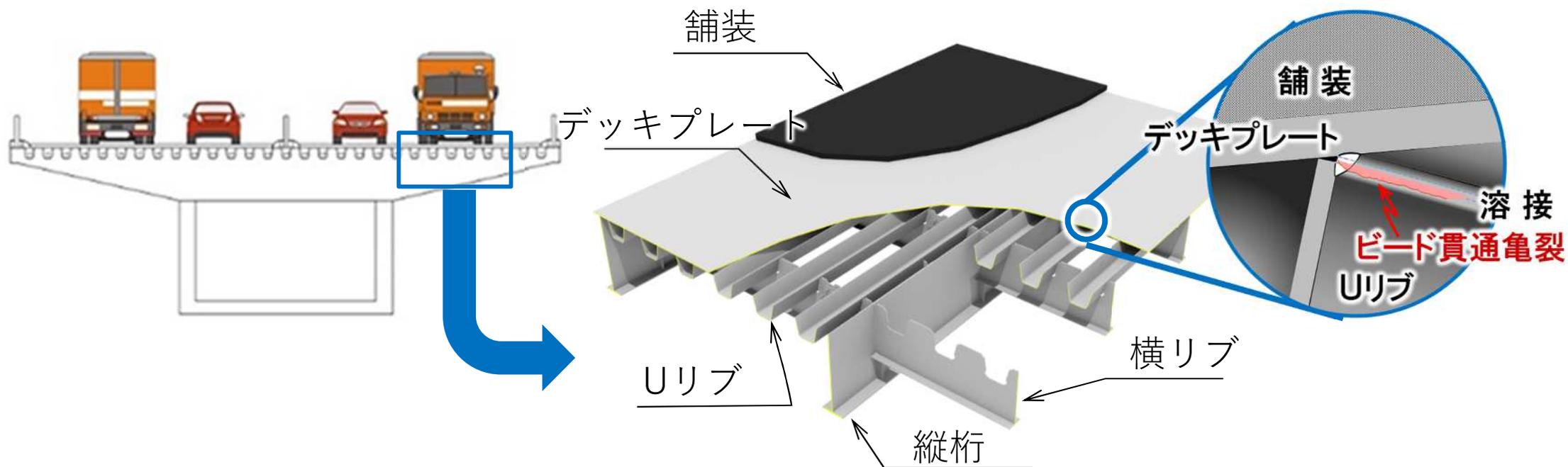
⇒ 定量評価、スクリーニング、目視困難箇所の点検、効率化・高度化に寄与

損傷、調査項目	非破壊検査技術
鋼材の亀裂、割れ 鋼材疲労	浸透探傷試験、磁気探傷試験、超音波探傷試験 赤外線サーモグラフィ、ひずみ計測（応力頻度計測）
非磁性体部材の割れ	浸透探傷試験
鋼材の腐食、断面欠損	超音波板厚計 超音波探傷試験（フェイズドアレイ） 全磁束法、ECT
ケーブルバンドボルト軸力、 ケーブル張力	超音波測長法、測長器 振動法
塗膜の劣化度	電磁式膜厚計、カット式膜厚計、デジタル顕微鏡、 光沢計、付着性試験 近赤外線による塗膜の劣化検出（※開発中）
付着塩分量、腐食環境	塩素イオン検知管法、自然電位測定

※表中には微破壊検査も含む

赤字の項目について説明予定

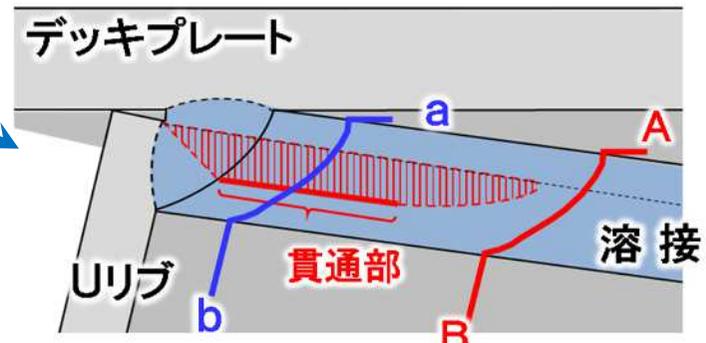
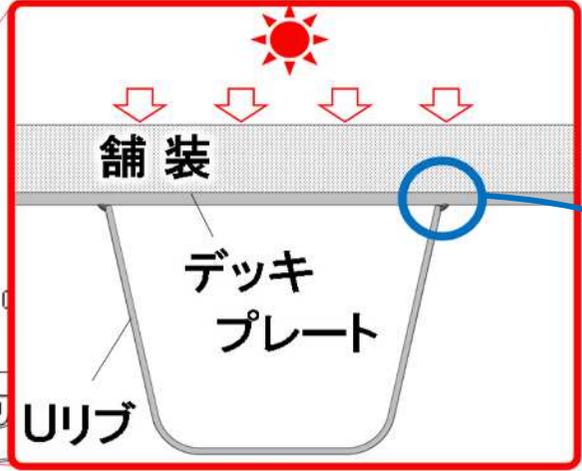
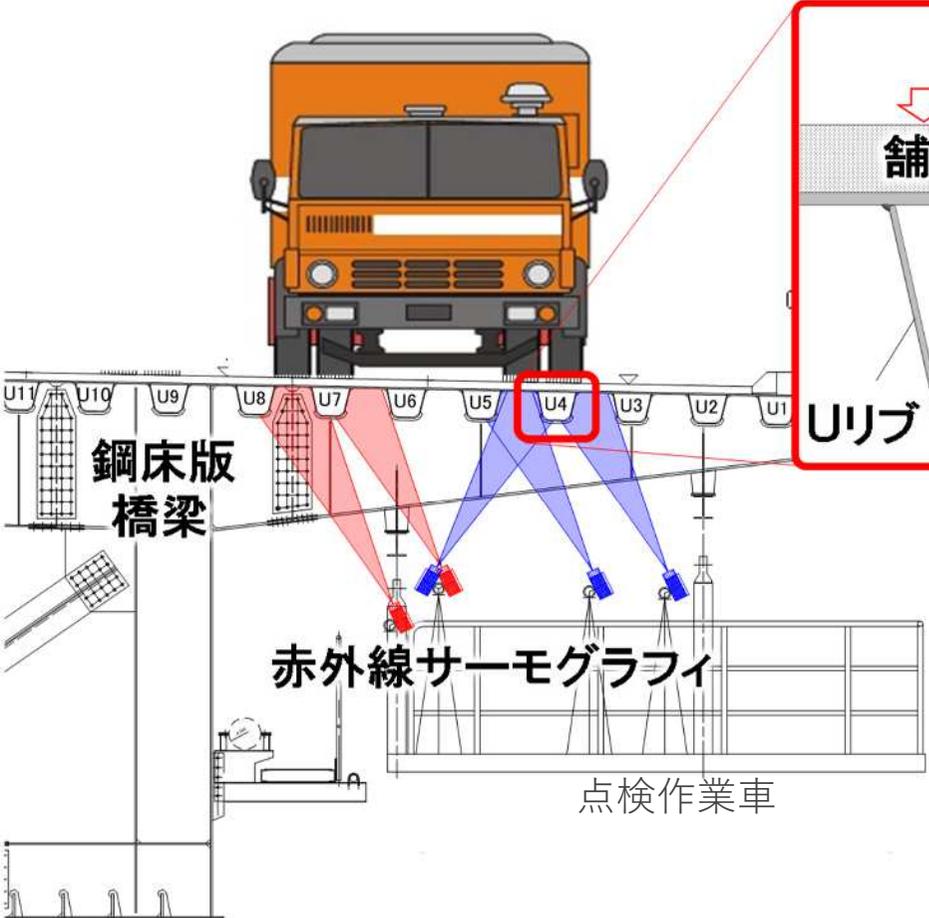
# 鋼床版の疲労亀裂点検



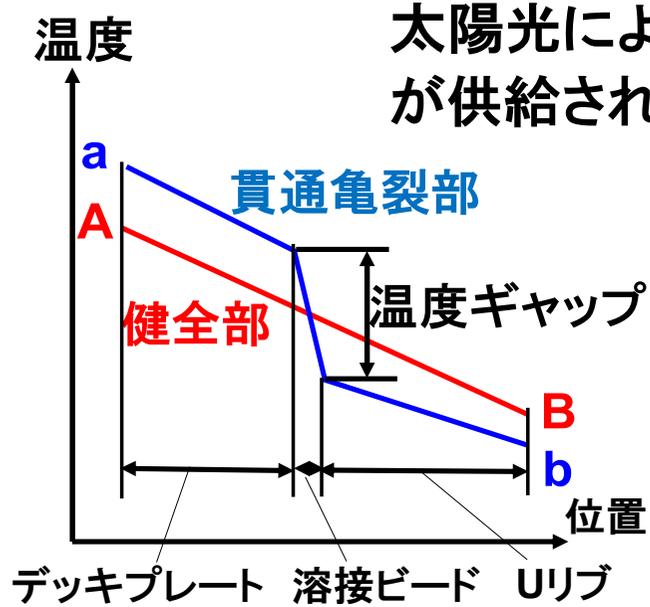
- 鋼床版は、デッキプレートとそれを補剛するUリブ、横リブで構成され、デッキプレートを上フランジとする縦桁で支持される溶接集成構造
- 特徴は、①軽量、②架設工期が短い
  - ⇒ (1)長大橋、(2)地盤の悪い沿岸地域の橋梁、(3)架設の制約が多い都市高速などに多く採用
- 鋼床版は溶接集成構造であり、大型車の輪荷重を直接受け、局部変形が大きい
  - ⇒ 疲労亀裂が発生（本四道路では、**デッキプレート-Uリブ溶接部ビード亀裂**が発生）
  - ⇒ **このタイプの亀裂の早期検出技術を開発**

# 赤外線サーモグラフィによる温度ギャップ法の開発

温度ギャップ法の原理 [神戸大学・滋賀県立大学・JB本四高速で2016.12.特許取得]



張出し床版における点検例



温度プロファイル

太陽光によって舗装から鋼床版へ熱が供給され温度勾配が発生

亀裂部分での断熱により温度差が発生

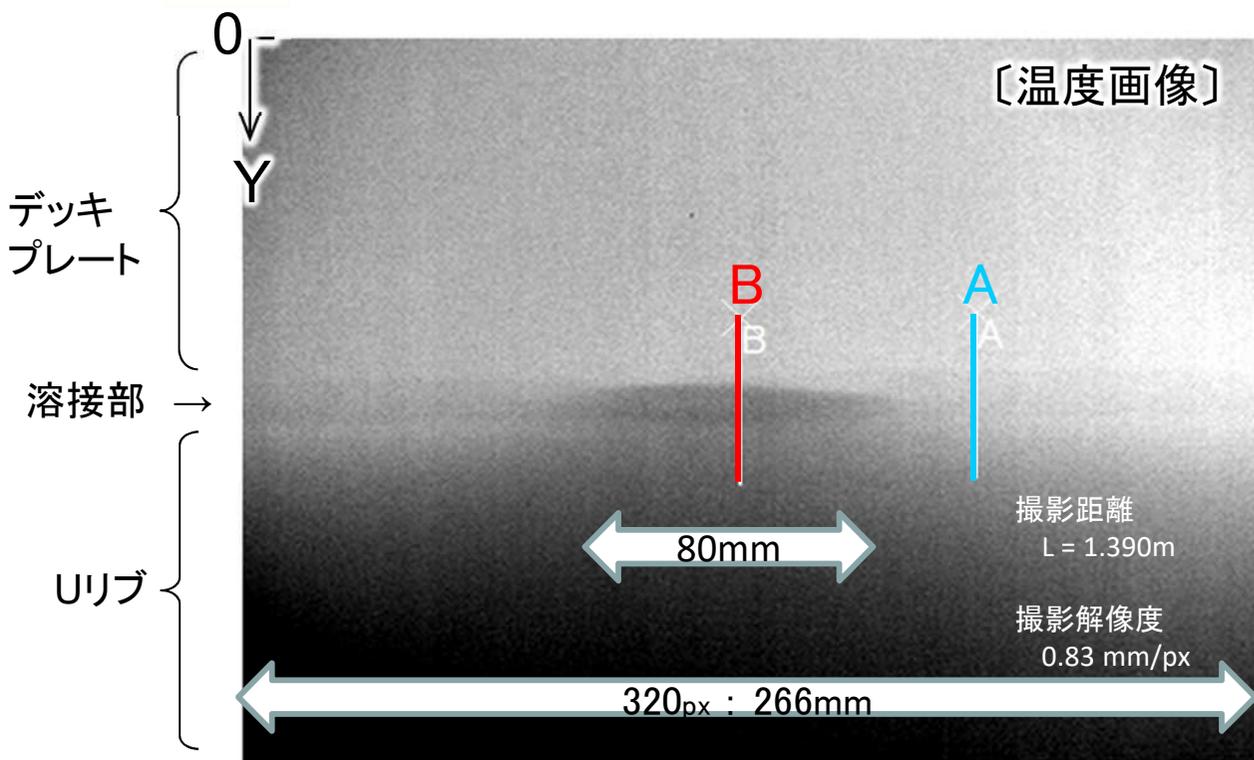
温度差を赤外線サーモグラフィで検出

亀裂の有無を判定

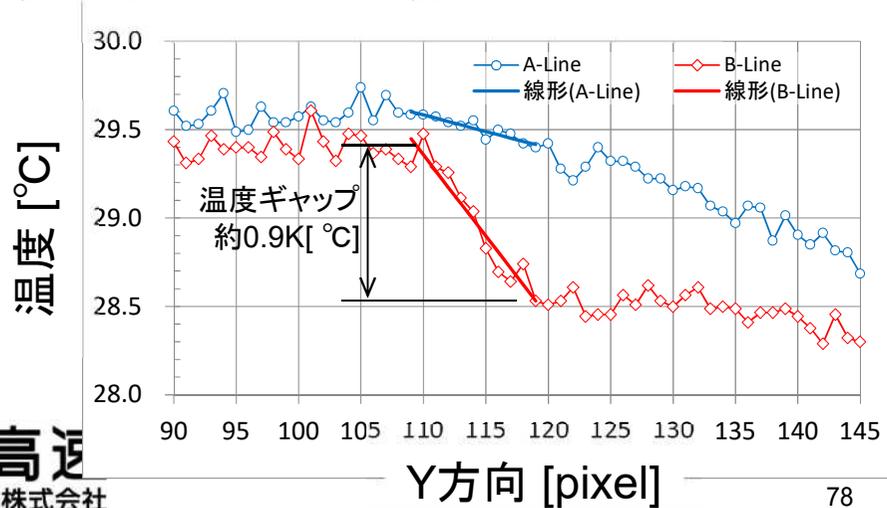
# 実橋における点検状況



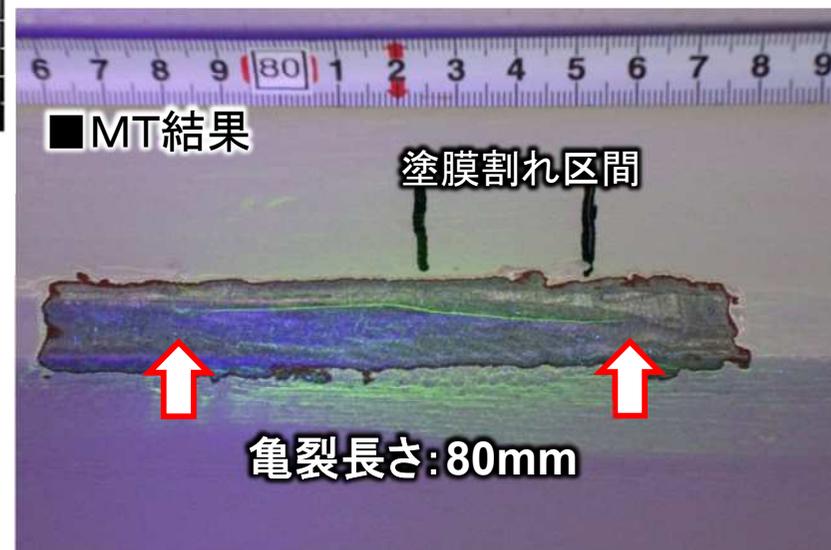
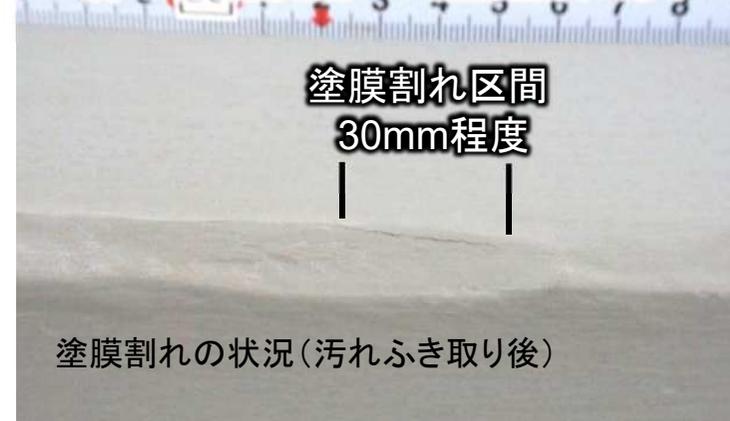
# き裂検出結果事例



温度画像ライン上の温度プロファイル



■ MT前の目視調査 ⇒ 塗膜割れあり



塗装の下に隠れた亀裂も、温度ギャップ法により検出可能

# 点検補修用作業車の割れ検査

海上や高所への接近手段として多くの管理用通路や点検作業車を設置



# 浸透探傷試験（点検補修用作業車の割れ検査）

- 点検補修用作業車は軽量化等を考慮し、アルミニウム合金製（非磁性体）
- 構造部材については定期的にPT（浸透探傷試験）による点検を実施

①浸透処理



②除去処理



③現像剤塗布



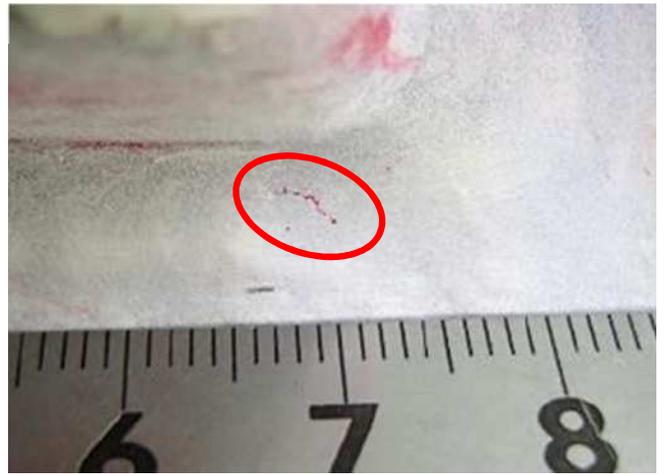
⑤現像処理



⑥観察

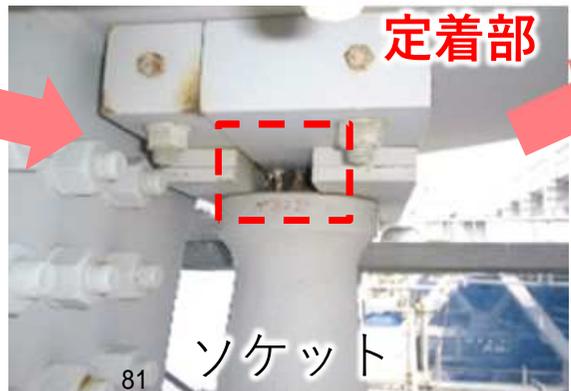
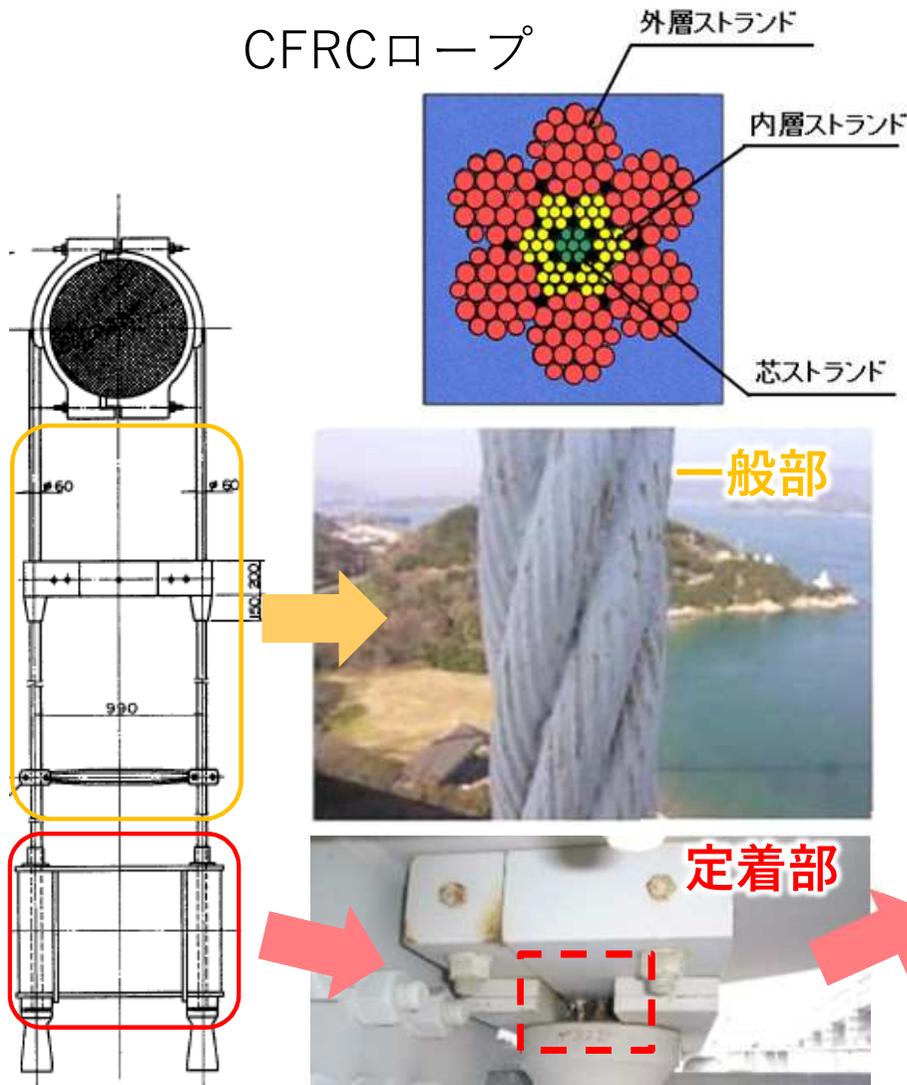


きず指示模様の例



# ハンガーロープの内部腐食調査

## ハンガーロープの構造と腐食状況



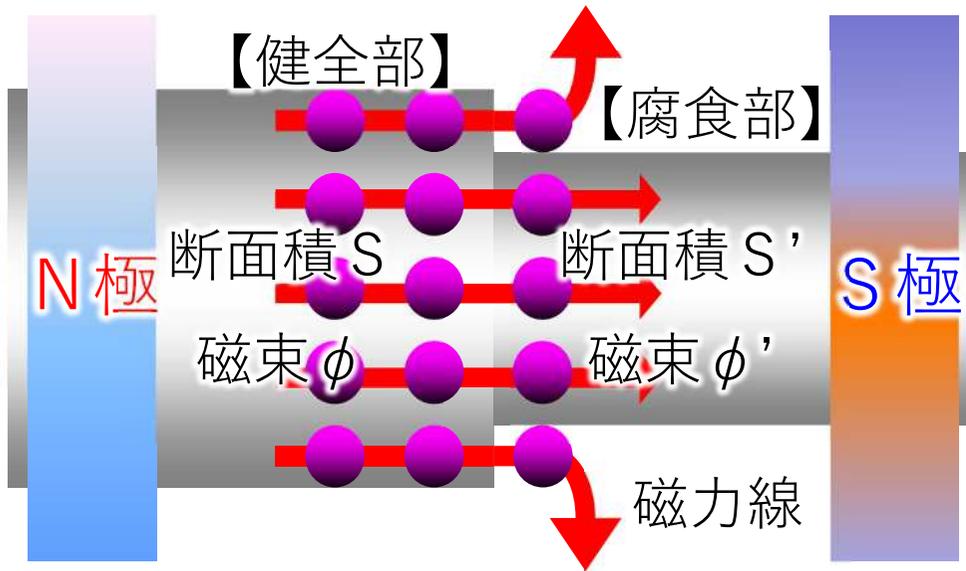
ソケット近傍に錆が発生

# 全磁束法（ケーブル類の断面減少量評価）

外観目視によるロープ内部の腐食把握は困難



非破壊検査方法を開発



## 全磁束法：

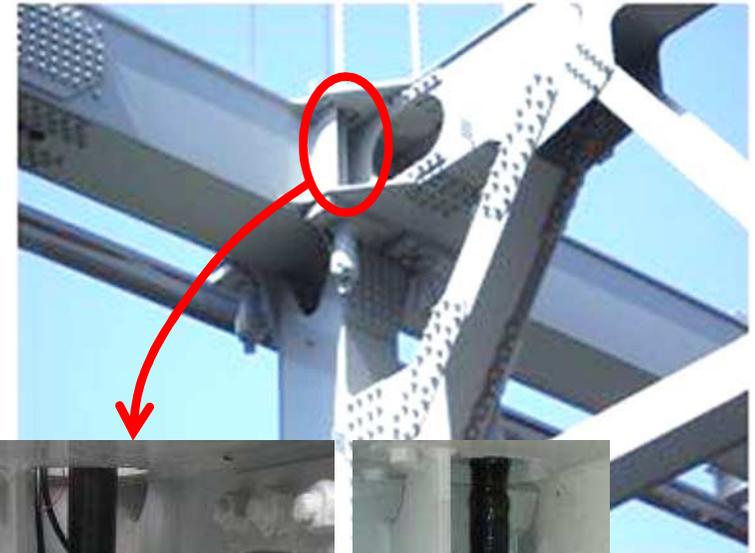
強磁性体であるハンガーロープを強く磁化し、ハンガーロープ内部に流れる磁束の量を測定し、磁束と断面積の比例関係から、腐食による断面減少を評価する検査法

# ハンガーロープの補修

腐食によるロープの断面減少量に応じた補修方法を選定

断面減少量大 ⇒ ハンガーロープ取替え

断面減少量小 ⇒ 内部充填工法



防錆剤の充填

補修後

# ハンガーロープ点検システムの開発 (高精細画像撮影装置)

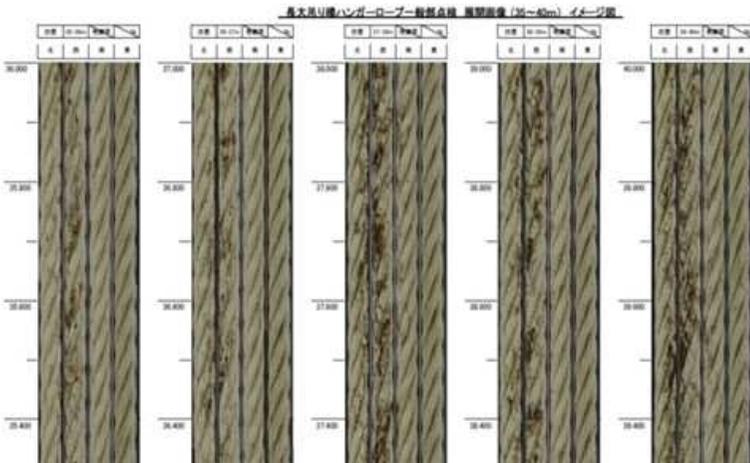


カメラ点検装置内部

## 画像処理技術の開発

(東京電設サービス(株)共同開発)

### 展開画像の作成



### AIによる変状検出



# ハンガーロープ点検システムの開発（簡易非破壊検査手法の組み込み）

E C T：亜鉛めっき消耗量に着目した評価手法

可搬型全磁束：ロープ内部含む断面減少（腐食）の評価手法

E C T



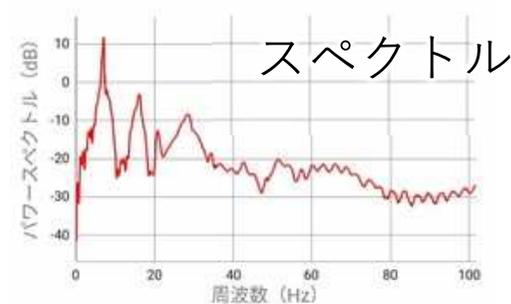
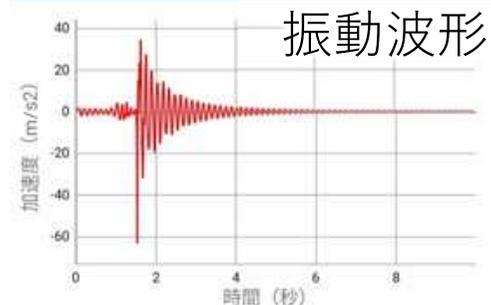
可搬型全磁束



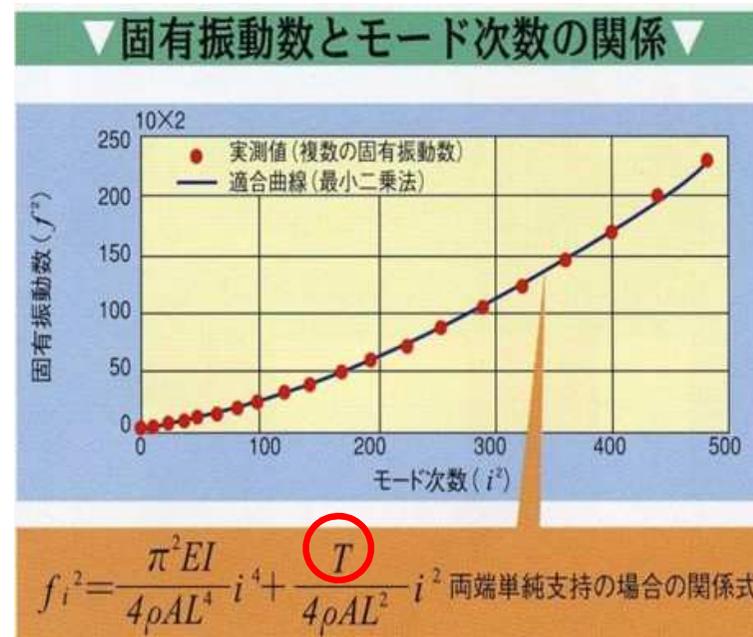
# ケーブル張力測定（振動法）

スマートフォンを使用したケーブル張力の測定

大がかりな測定装置を用いることなく、スマホの加速度センサーを利用してケーブルの振動データを取得するアプリを開発



張力計算



# 斜張橋ケーブル点検システムの開発

斜張橋ケーブルは全長にわたっての近接が困難かつPE被覆されている

- ケーブル表面の画像データの取得をするとともに、ECT等の非破壊検査装置を搭載し、内部鋼線の健全性評価も行う自走式点検装置を開発中



点検装置



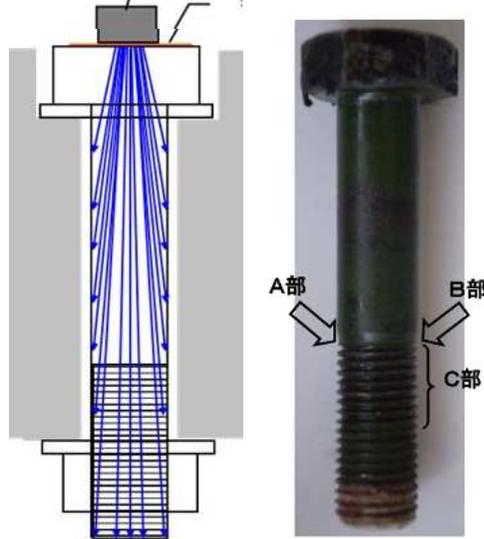
点検（走行）状況



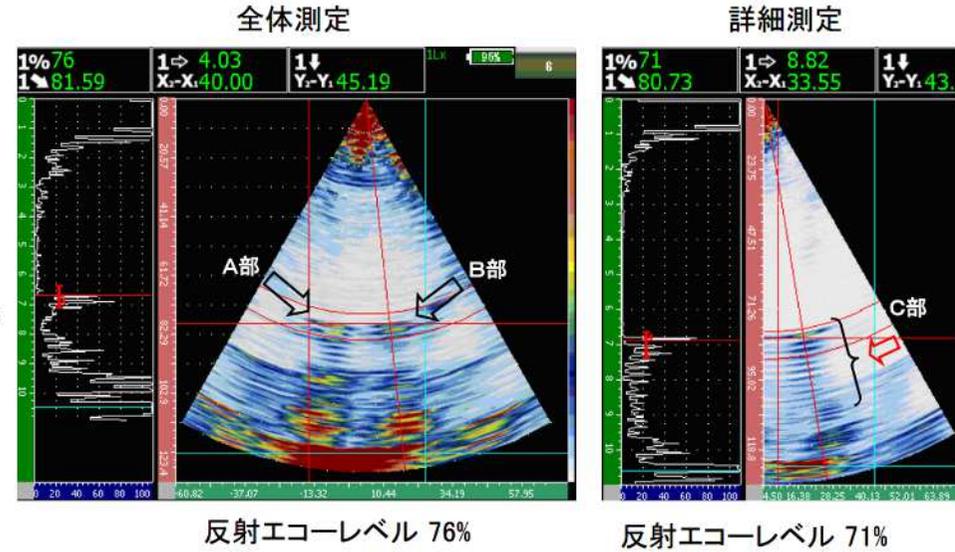
# 伸縮装置取付けボルト腐食診断



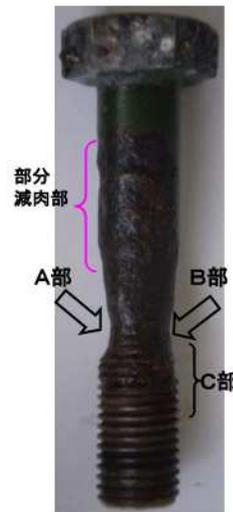
超音波探傷試験  
(フェイズドアレイ)



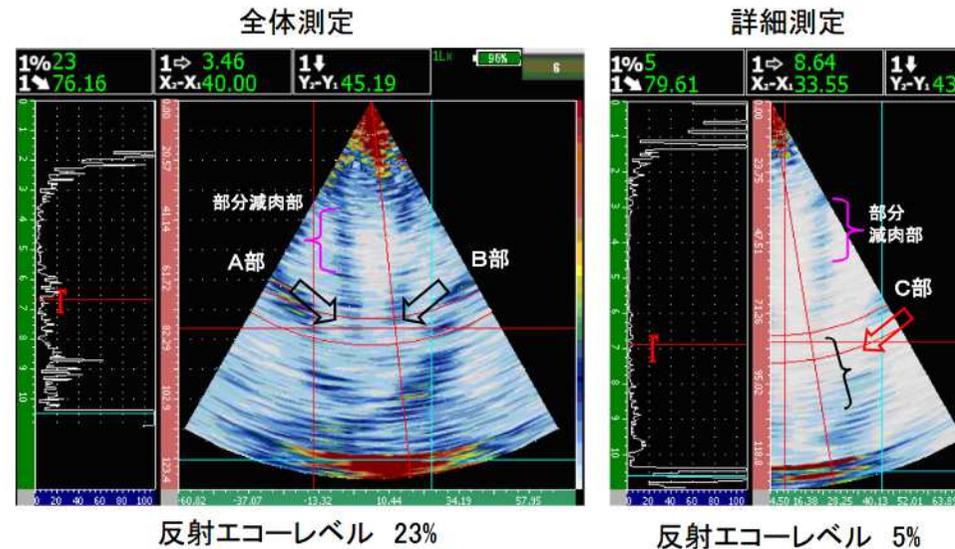
## 健全部



## 伸縮装置取付けボルト腐食



## 腐食部



# ケーブルバンドボルト軸力管理

時間の経過とともに低下するバンドボルト軸力は定期的な計測が必要

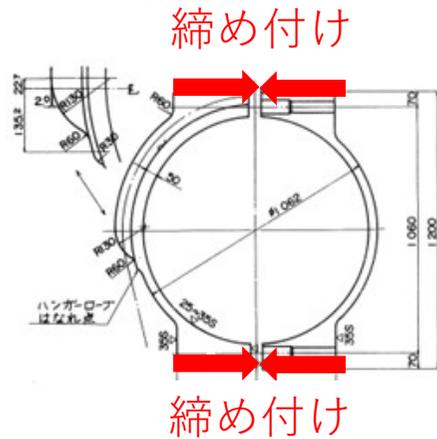
- ケーブルバンドは、橋桁にかかる荷重をハンガーロープを介して主ケーブルに伝達
- バンドボルトの締め付けで生じる摩擦により位置を保持
- バンドのすべり安全性等の確保のため、ボルト軸力を管理



超音波軸力計



測長器



ボルト軸力調査状況  
(ボルト長さを計測し、軸力を算出)

締め付け ⇒ 摩擦抵抗 ↑

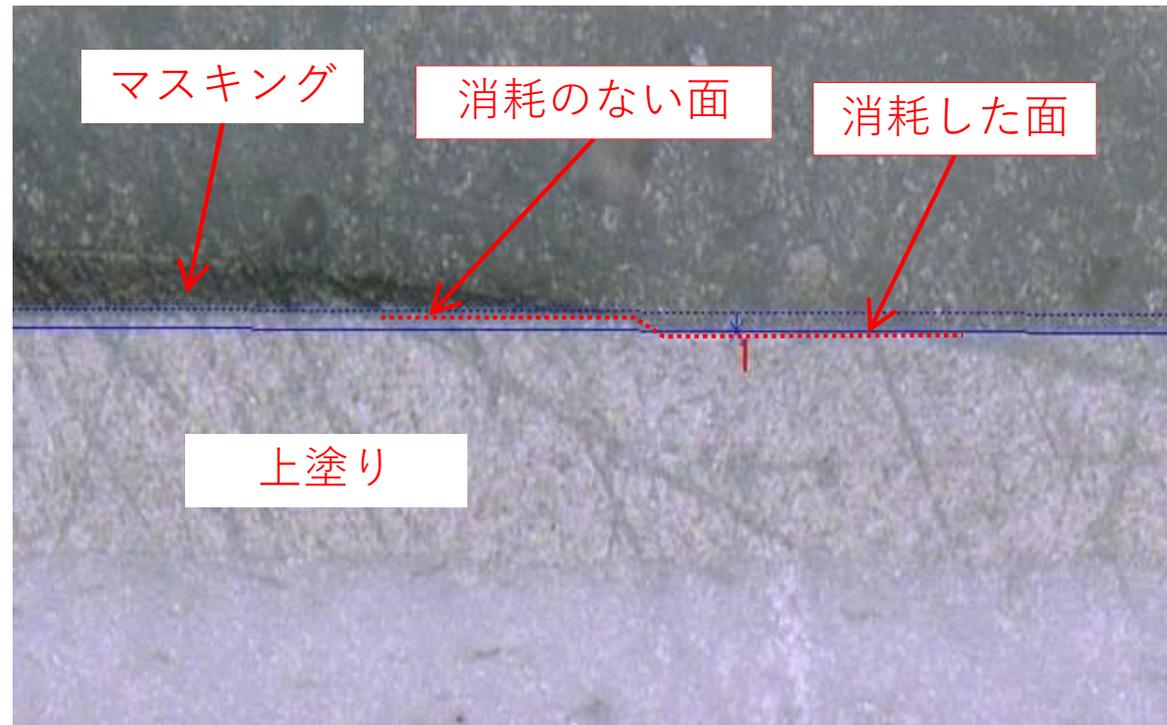
# 塗膜消耗量計測（顕微鏡観察）

- ・ 塗膜表面の消耗量を調べるための定点（マスキング）を設置
- ・ マスキング部の塗膜を採取、その断面を顕微鏡で観察
- ・ 消耗速度は消耗量を経過年数で除して算出

塗膜調査用定点



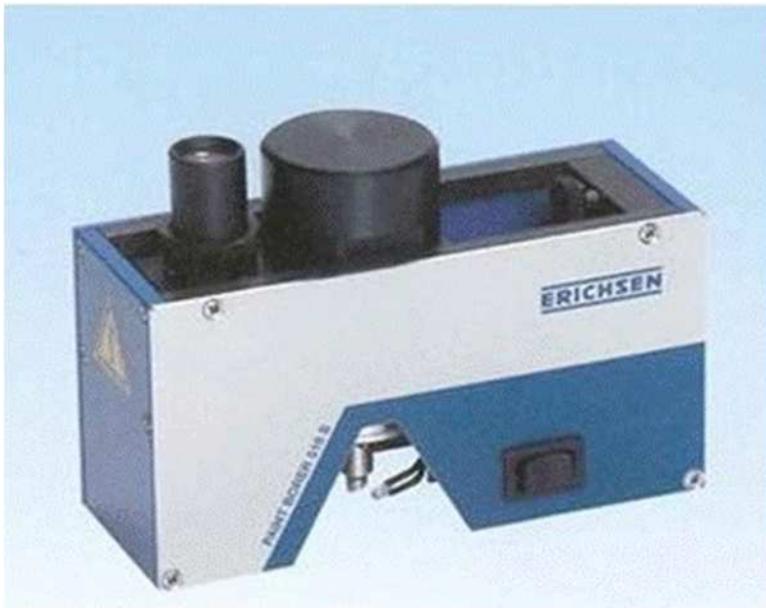
塗膜採取



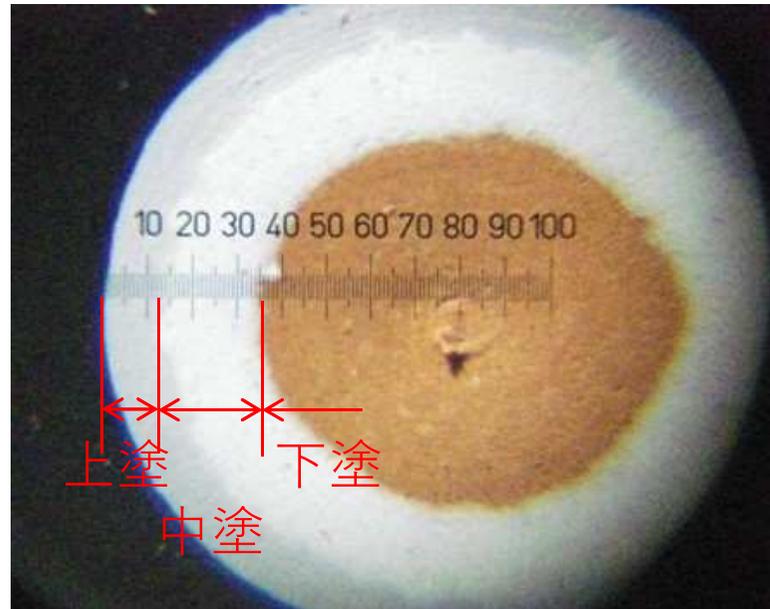
顕微鏡写真による消耗量計測

# 残存塗膜厚計測（カット式膜厚計）

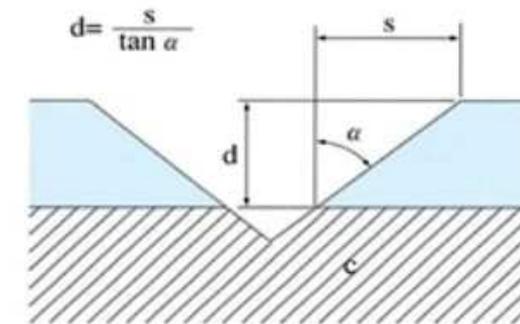
- ・ 刃先の角度が既知のドリルを内臓
- ・ ドリルで塗膜を削孔して各層の切削幅を読み取り、膜厚に換算



カット式膜厚計



膜厚の読み取り

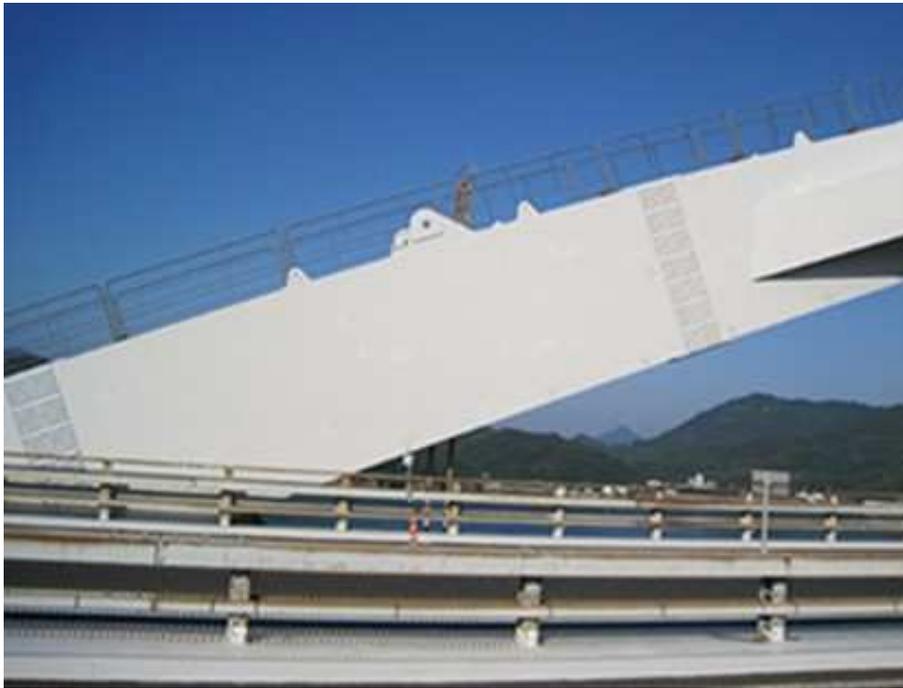


膜厚の換算

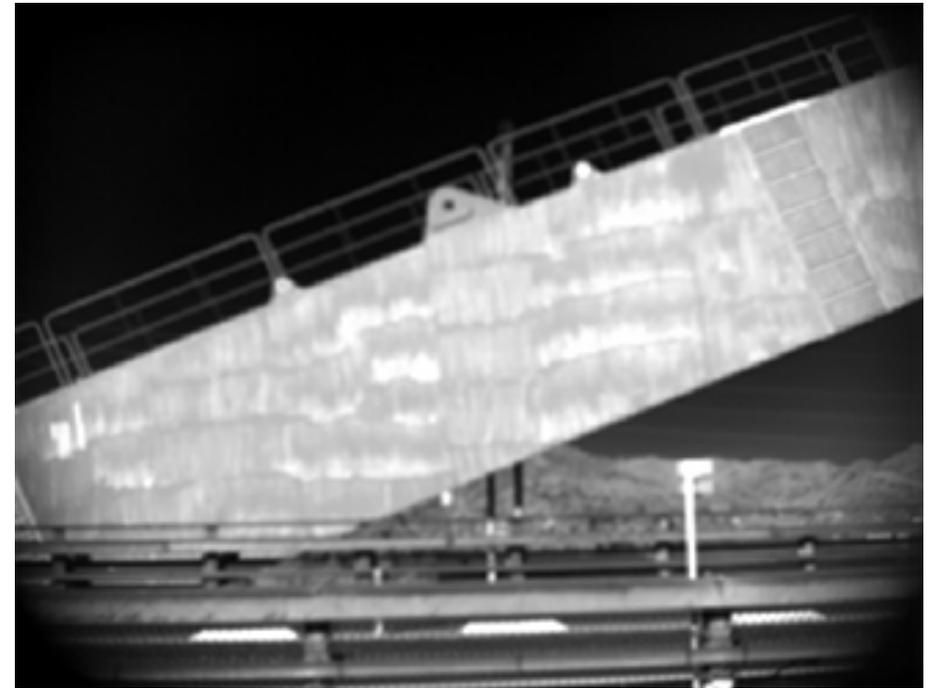
# 遠隔・非破壊による塗膜の点検・診断手法の開発

近赤外線を用いた塗膜評価（神戸大学と共同研究）

上塗塗料と中塗塗料の近赤外線領域における分光特性の違いに着目  
⇒中塗りの露出を検出可能



実際の可視画像

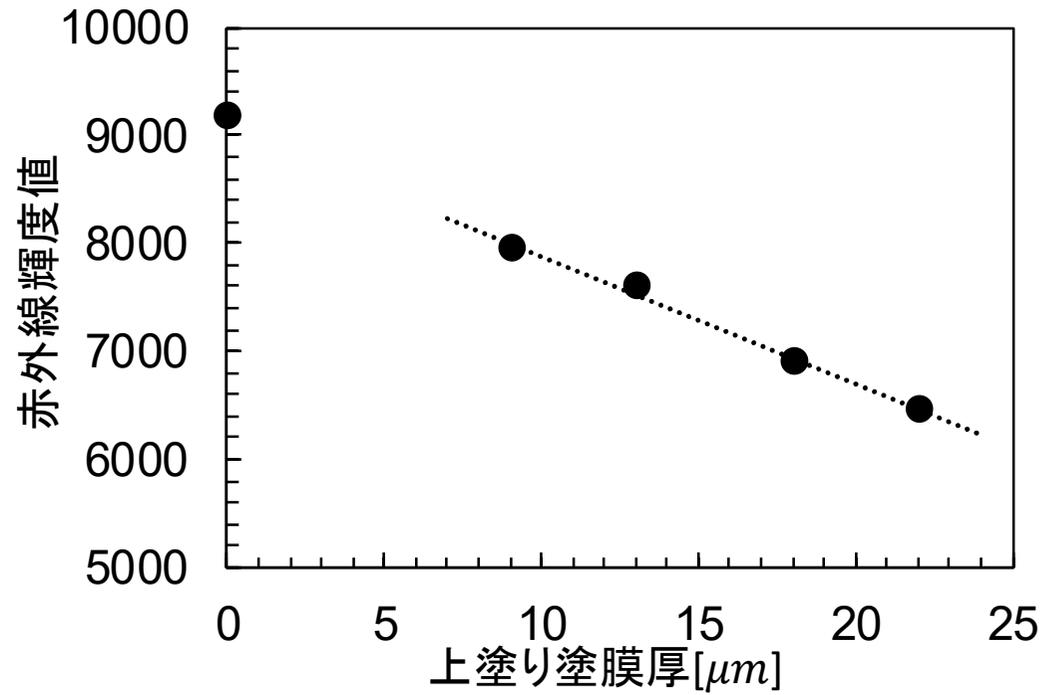
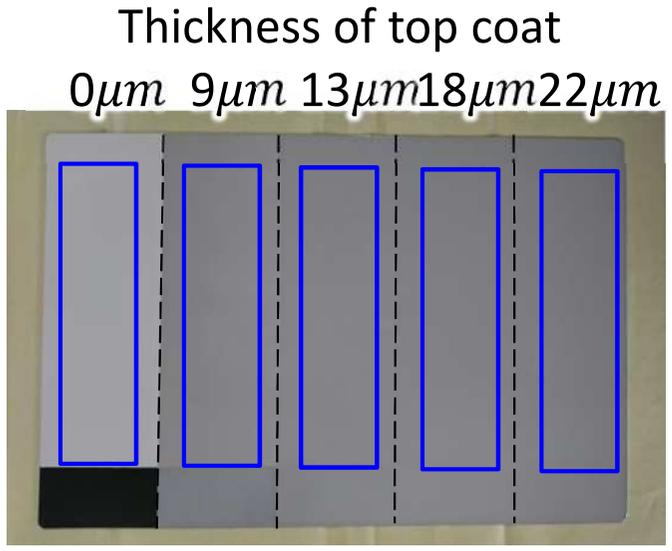


近赤外線画像

# 遠隔・非破壊による塗膜の点検・診断手法の開発

近赤外線を用いた塗膜評価（神戸大学と共同研究）

上塗りの近赤外線反射エネルギーから上塗り膜厚を評価



- ✓ 分光特性は、日射の影響や塗料の含有成分（メーカーや年代）等により異なる
- ✓ 条件の異なる塗装においても共通的に適用できる計測システムの開発を実施中



# 非破壊検査技術の橋梁点検への実装に向けて

目視困難箇所の点検、定量化、効率化のためさらなる非破壊検査の活用が必要

既存の適用技術についても課題あり（適用条件拡大、自動化、小型化、低コスト化に期待）

## 点検の主な目的

- ① 構造物の状態を把握し、次回点検までの措置の必要性を判断するための技術的所見を得る
- ② アセットマネジメントのためのデータ取得（劣化予測、補修・補強の最適化）

《道路管理者（ニーズ側）》 目的に応じて手段として非破壊検査手法を選定

どういう目的で、どこの何を、どの程度の精度で知る必要があるのかを明らかにする  
（目的の例）スクリーニング、補修要否・方法の判断根拠、劣化予測のためのデータ取得等

《非破壊検査技術（シーズ側）》現場のニーズに合わせた技術の提案

どういった原理、制約条件、ニーズに合った仕様選定、結果解釈に必要な能力、精度、誤差、機器の大きさ、効率、時間等について明示

**現場実装にはシーズとニーズの一致が不可欠**