

## 2. 4 鉄道橋の取組み

坂本 達朗

(公財) 鉄道総合技術研究所

# 塗替塗装の要領と最適化への取り組み ～鉄道橋の取り組み～

(公財)鉄道総合技術研究所 坂本 達朗



*Railway Technical Research Institute*

- ・ **鉄道橋の塗替塗装要領について**

- ・ 塗替え判定
- ・ 塗替え塗装系の選定
- ・ 素地調整
- ・ (塗装)

- ・ 鉄道橋の塗替えに関する課題

- ・ さびに関する課題と対策方法
- ・ 旧塗膜に関する課題と対策方法

- ・ まとめ

# 鉄道橋の塗替塗装要領について

JR各社、一部民鉄が参考している防食設計の技術マニュアルである  
鋼構造物塗装設計施工指針（塗装指針）について解説

## 第Ⅰ編：塗装一般

鋼構造物の防食設計の基本

## 第Ⅱ編：新設鋼構造物

新設鋼構造物の防食設計

## 第Ⅲ編：既設鋼構造物

既設鋼構造物の防食設計

## 第Ⅳ編：無塗装鋼構造物

耐候性鋼、溶融亜鉛めっき鋼を  
用いた鋼構造物の防食設計

201

鋼構造物塗装設計施工指針

2013年12月

公益財団法人鉄道総合技術研究所



# 塗替え判定 判定法P、判定法Qの概要

## ・判定法 P

- ・塗膜が全面的に劣化して**腐食が広範囲に及ぶ場合**に適用
- ・**構造物全体としての塗膜の劣化程度**から塗替え時期を判定
- ・**全面塗替え**であること、**鋼材を腐食させない**ことが基本

## ・判定法 Q

- ・塗膜が局部的に劣化して**板厚方向への腐食が生じる場合**に適用
- ・**個々の腐食個所の状態**から塗替え時期を判定
- ・**部分塗替え**であること、**腐食した鋼材の塗替え判定**であることが基本
- ・判定法Pとの併用も可能



判定法Pの適用対象例



判定法Qの適用対象例

Railway Technical Research Institute



# 塗替え判定 判定法Pの実施フロー

構造形式から検査対象部材を確認



各部材毎の塗膜劣化状態を確認 (0~5点で評点付け)



構造物全体の評点を算出 (40点満点となるように換算)



構造物全体の評点(塗膜劣化度)から塗替え時期を判定

## 塗膜劣化状態の評価とその評点

評価記号	塗膜劣化状態の評価	評点
劣5	さび, 剥がれ, 割れが単独または混在して発生している状態で, その状態は極めて多い。	5
劣4	さび, 剥がれ, 割れが単独または混在して発生している状態で, その状態はかなり多い。	4
劣3	さび, 剥がれ, 割れが単独または混在して発生している状態で, その状態はやや多い。	3
変2	さび, 剥がれ, 割れが単独または混在して発生している状態で, その状態はわずかである。	2
変1	さび発生はほとんどないが, 著しい白亜化, 塗膜表層の剥がれ, 割れがかなり認められる状態。あるいは上塗り塗膜消耗がかなり進行している状態。	1
健全	異常なし	0





評価記号 (評点)	さび、白亜化、層間剥離	剥がれ	割れ
劣5 (5)			
劣4 (4)			
劣3 (3)			
変2 (2)			
変1 (1)	 白亜化		
変1 (1)	 層間剥離	<p>剥がれ、割れ...2013年改訂時に追加 →旧塗膜からの変状に対応</p>	

# 塗替え判定 判定法Pによる塗替え判定

## 塗膜劣化度の分類

塗膜劣化度	P-I	P-II	P-III	P-IV
構造物の評点	32以上	24以上32未満	16以上24未満	16未満

## 塗膜劣化度判定後の塗替え時期の概要

劣化度	各劣化度に対応する塗替え時期の概要	素地調整時の鋼材露出面積
P-II	塗替え適正時期を経過し、早急な塗替えが必要な時期	30～50%
<b>P-III</b>	<b>塗替え適正時期</b>	<b>15～25%</b>
P-IV	必要な場合のみ	5%

## 塗替え時期を逸した塗膜の劣化状態の概要

劣化度	劣化状態の概要	素地調整時の鋼材露出面積
P-I	塗膜変状や腐食の進行が多くの部分で確認される状態	70～90%
	<b>塗膜変状や腐食の進行がほぼ全面で確認される状態</b>	<b>95%以上</b>

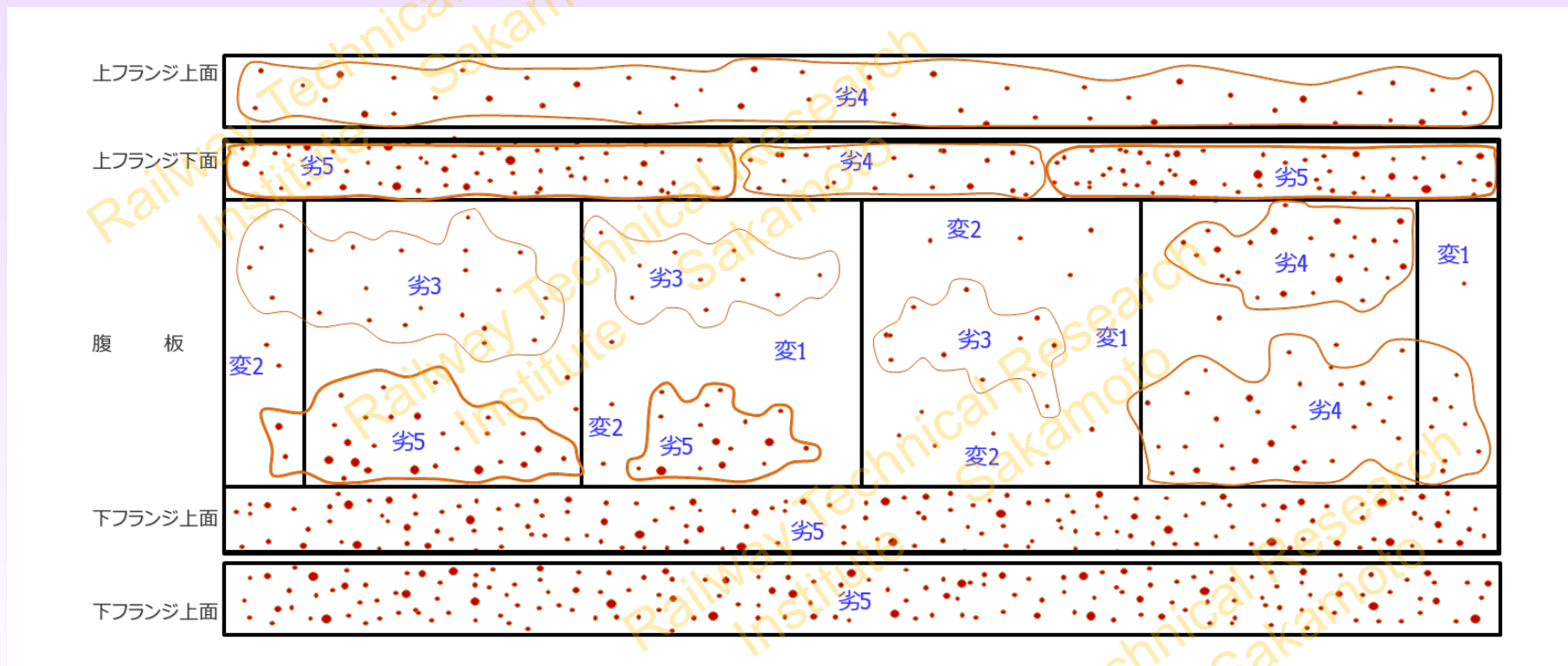


検査対象部位の殆どが劣4～5の場合で、ほぼ全面の鋼材露出





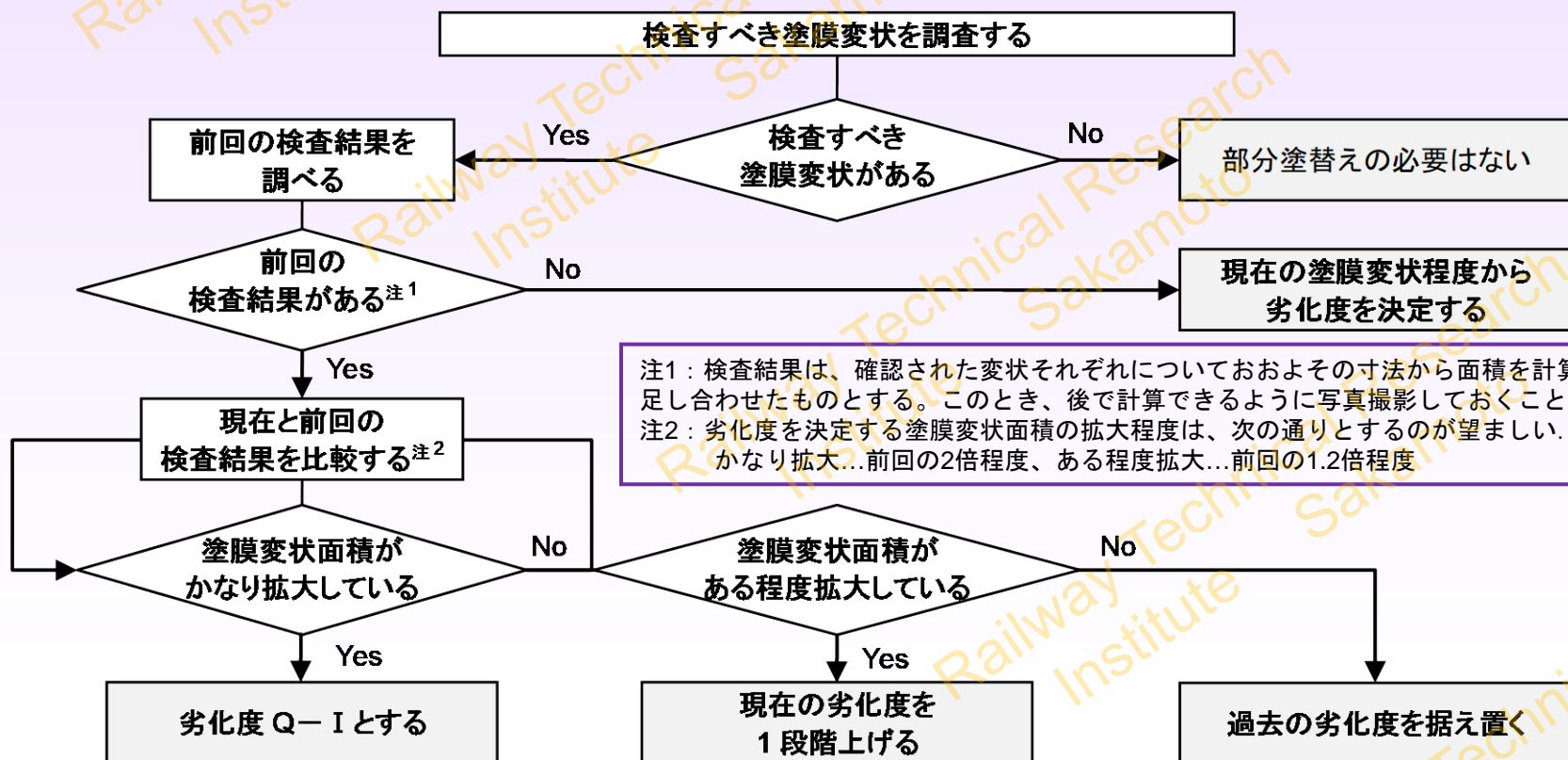
# 塗替え判定 判定法Pによる判定例














劣化度P- I (70%以上の劣化塗膜、さび除去)

# 塗替え判定 判定法Qによる塗替え判定

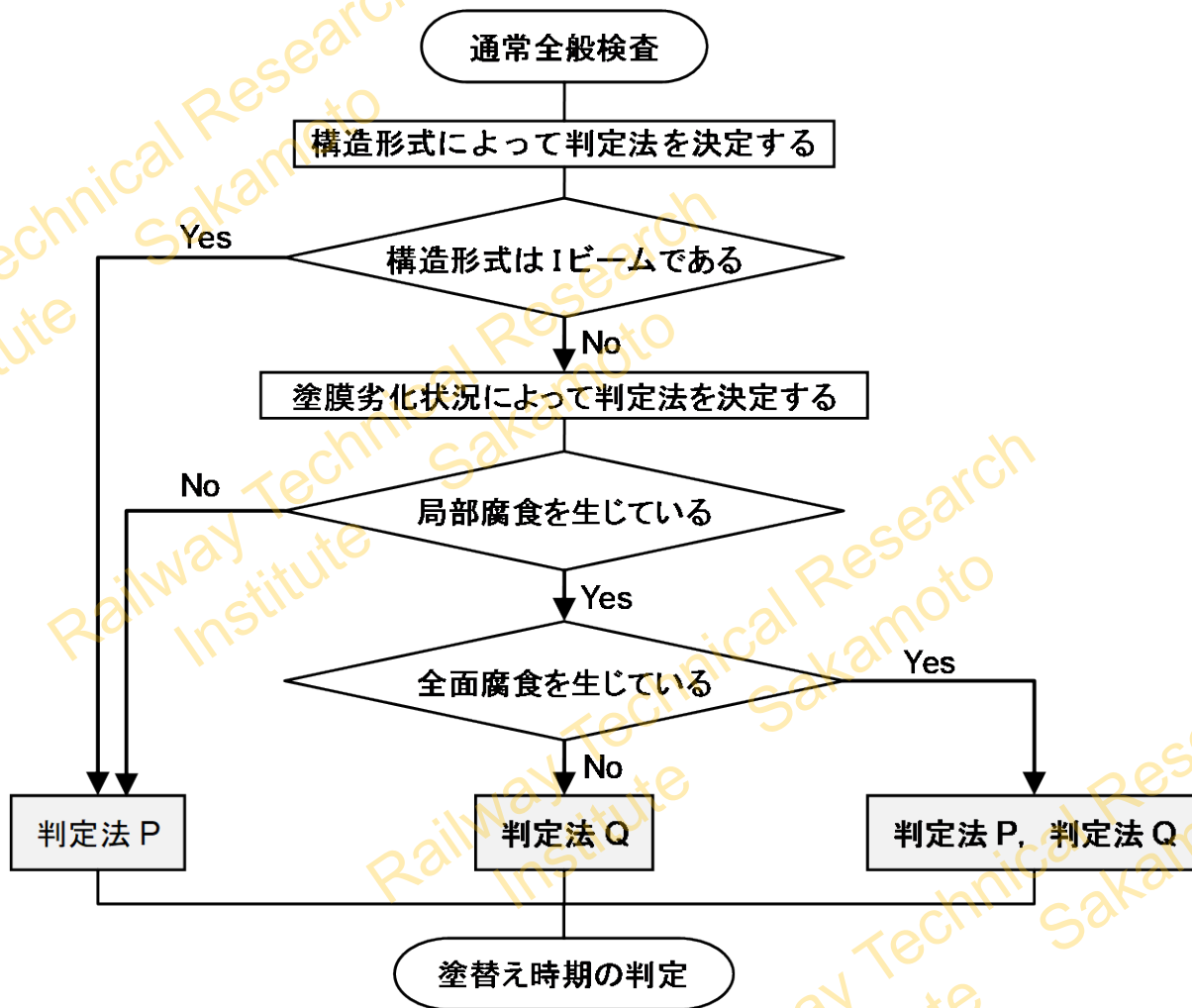
腐食状態および塗膜の劣化状態	劣化度	塗替え時期の概要
部分的にさびおよび膨れがかなり発生している、または進行している場合	Q-I	塗替え適正時期を超過し、ただちに塗替えを要する時期
部分的にさびおよび膨れがある程度発生している、または進行しつつある場合	Q-II	塗替え適正時期を超過し、早急に塗替えを要する時期
部分的にさびおよび膨れが少し発生している場合	Q-III	塗替え適正時期



# 塗替え判定 判定法Qの変状見本写真

劣化度 Q-I			
			
上フランジ下面のさび	支承部エッジからさび進行	桁端部の腐食	
劣化度 Q-II			
			
上フランジ下面のさび	下フランジエッジからの腐食進行	リベット頭, 下フランジエッジのさび	ボルトエッジのさび
劣化度 Q-III			
			
上フランジ下面のさび		部材接合部近傍のさび	





長期耐久型塗装系の適用による局所的な腐食箇所増加や、塗替え施工費用の削減等の観点から、判定法Qによる部分塗替えの重要性は高い



## 塗装系に要求される耐久性の性能範囲

性能範囲		備考
MR	15年未満の中期使用目的の構造物, または定期的塗替えの構造物に適用でき, 環境にやさしく, 一般環境での15年間の使用に耐える。	中期使用の工事桁などや定期的塗替え桁などの中期仕様
HR	15年以上の長期使用の構造物に適用でき, 環境にやさしく, 一般環境での15年間以上の使用に耐える。	長期仕様

## 塗装系の耐久性のイメージ

腐食性 カテゴリ	性能範囲別耐久年		
	LR	MR	HR
C2	7~	20~	30~
C3	5~7	15~20	25~35
C4	3~5	7~15	15~25
C5, CX	~3	~10	~18

- ・C2では塗膜自身の劣化の寄与が増え、イメージとは異なる可能性が大きい。
- ・C5、CXでは非常に腐食性の高い環境となり、耐久年の予測が困難なために下限値を設けていない。

# 塗替え塗装系の概要

記号	概要	記号	概要
BMU1	性能範囲MR相当	L	性能範囲HR相当 ジンクを用いた部分塗替え仕様
BMU2	性能範囲MR相当	J	性能範囲HR相当 ジンクを用いた部分塗替え仕様
ECO1	性能範囲HR相当 水系塗料を用いた環境負荷低減型仕様	W	箱桁内面仕様
ECO2	性能範囲HR相当 水系塗料を用いた環境負荷低減型仕様	S	まくらぎ下仕様
G	性能範囲HR相当 上塗り:エポキシ樹脂塗料	ZP	劣化亜鉛面用仕様
T	性能範囲HR相当 上塗り:ポリウレタン樹脂塗料	WS	劣化耐候性鋼板仕様





# 鉄道橋の塗替え塗装系の特徴

- ・溶剤形塗料の場合、溶剤種の規定は設けていない  
→基本は強溶剤(第2種有機溶剤を主成分とした溶剤)を使用
- ・全面塗替え塗装系にはジंकリッチ系塗料を用いていない  
→主に動力工具による素地調整作業が行われるため
- ・主にポリウレタン樹脂塗料を上塗り塗料として採用している  
→鉄道特有の汚染源が存在し、美観性を重視した構造物が少ないため  
→主に、上塗り塗膜の減耗に起因しない塗膜変状や腐食により塗替え時期が決定される傾向にあるため  
※塗膜の防食性は素地調整程度、部材形状などに大きく影響

# 素地調整 腐食箇所の素地調整

- ・除錆度...さびを落とす程度
- ・塗装指針で規定する塗替え時の除錆度...替ケレン種別に関わらない
  - 手工具・動力工具の場合...除錆度-3以上
  - ブラストの場合...除錆度-2以上  
(腐食性の高い環境では除錆度-1以上)

さびを残さないことが原則



手工具を使用した場合  
(除錆度-3)



動力工具を使用した場合  
(除錆度-3)



ブラストを使用した場合  
(除錆度-2)

# 素地調整 塗膜劣化箇所の素地調整

・判定法P適用時(全面塗替え)の場合

残す塗膜表面は清掃、面あらし

種別	劣化度	施工法	塗膜の素地調整の程度	さび部の素地調整の程度
替ケレン-1	P-I	スクレーパ、細のみ、鋳かきなどの手工具とディスクサンダ等の動力工具との併用、またはブラストを併用する	活膜は殆ど残らず、鋼素地が全面に露出した状態になる。活膜と判断した場合でも、素地に達する塗膜割れ部では鋼素地を露出すること。	除錆度-3以上  ブラストを適用する場合、一般環境では除錆度-2以上、腐食性環境では除錆度-1以上
替ケレン-2 替ケレン-3	P-II P-III	スクレーパ、細のみ、鋳かきなどの手工具とディスクサンダ等の動力工具との併用、または部分ブラストを併用する。	活膜を残す。 素地に達する塗膜割れ部では鋼素地を露出すること。 素地に達しない割れ、剥がれ、膨れ部では、異状を生じた塗膜部分を除去すること。	除錆度-1以上
替ケレン-4	P-IV	ワイヤーブラシおよび研磨紙等を使用する。必要により動力・手工具を用いる。	粉化物、汚れを除去する。 わずかに生じている素地に達する塗膜割れ部では鋼素地を露出すること。 素地に達しない割れ、剥がれ、膨れ部では異状を生じた塗膜部分を除去すること。	除錆度-3以上 (さび部はほとんど無い)

除錆度…さび部の素地調整程度  
替ケレン種別…塗膜の素地調整の程度





# 素地調整 塗膜劣化箇所の素地調整

・判定法P適用時(全面塗替え)の場合

ケレン種別	対応する 塗膜劣化度	鋼素地が露出する 面積(目安)	作業量比の目安	
			一般環境	腐食環境
替ケレン-1	P-I	70%~	8	12
替ケレン-2	P-II	30~50%	4	6
替ケレン-3	P-III	15~25%	2	2.5
替ケレン-4	P-IV	5%	1	1



作業性やコストなどの観点から、健全な旧塗膜は防食に寄与させるケースが多い

# 素地調整 塗膜劣化箇所の素地調整

・判定法Q適用時(部分塗替え)の場合

種別	劣化度	施工法	塗膜の素地調整の程度	さび部の素地調整の程度
部分ケレン	Q-I	ブラストの使用を原則とする。ブラストできない場合は、動力工具および手工具の併用により、ブラストと同程度の除錆度を確保する。	素地に達する塗膜割れ部は鋼素地を露出すること。 素地に達しない割れ、剥がれ、膨れ部は、異状を生じた塗膜部分を除去すること。	除錆度-2 以上



ブラスト前



ケレン不十分



仕上がり状態

腐食箇所をブラストした場合のケレン状態見本



- ・鉄道橋の塗替塗装要領について

- ・塗替え判定
- ・塗替え塗装系の選定
- ・素地調整
- ・(塗装)

- ・**鉄道橋の塗替えに関する課題**

- ・**さびに関する課題と対策方法**
- ・**旧塗膜に関する課題と対策方法**

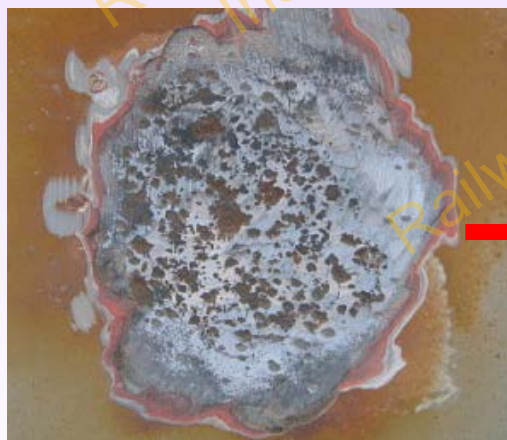
- ・まとめ



・腐食性の高い環境で起きやすい課題:

**さびの残存による、塗膜下での早期の再腐食**

→繰返しの腐食に伴う孔食状腐食箇所や  
複雑形状箇所の存在  
(動力工具での素地調整が困難)



孔食状の腐食例



塗膜下での再腐食例



素地調整困難箇所  
での腐食例

耐久性の高い塗装系の適用による効果は小さいことが多い  
→素地調整の高品質化が重要

・腐食性の高い環境で起きやすい課題:

## 塗膜下での早期の再腐食

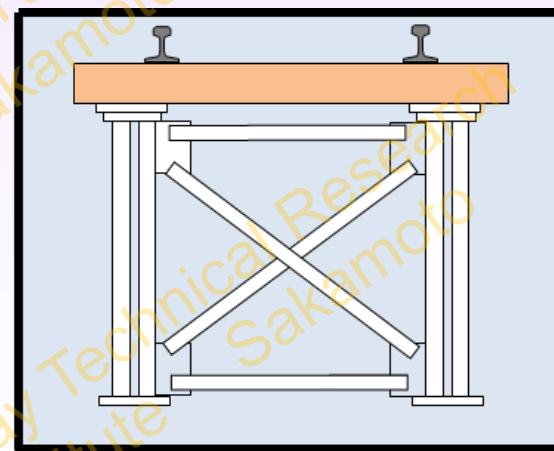
→繰返しの腐食に伴う孔食状腐食箇所や  
複雑形状箇所の存在

(動力工具での素地調整が困難)

→**ブラストの適用が望ましいが、適用困難な構造物構造が存在**



開床式構造の例



養生例(非現実的)

## 素地調整の省力化技術の検討(腐食ボルト・ナット部に対する防食工法)

従来...対象物全体のさび除去

提案...防錆キャップ + 接着部のみ鋼面露出



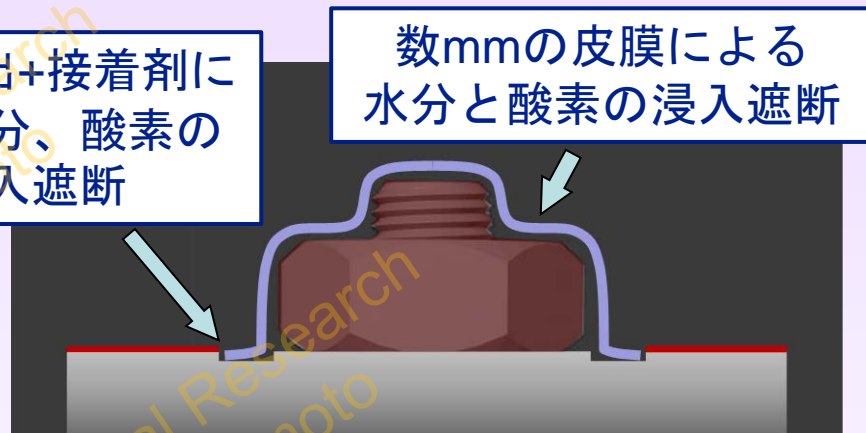
開発工具



防錆キャップ

鋼材露出+接着剤による水分、酸素の浸入遮断

数mmの皮膜による水分と酸素の浸入遮断



## 水蒸気透過測定による検証

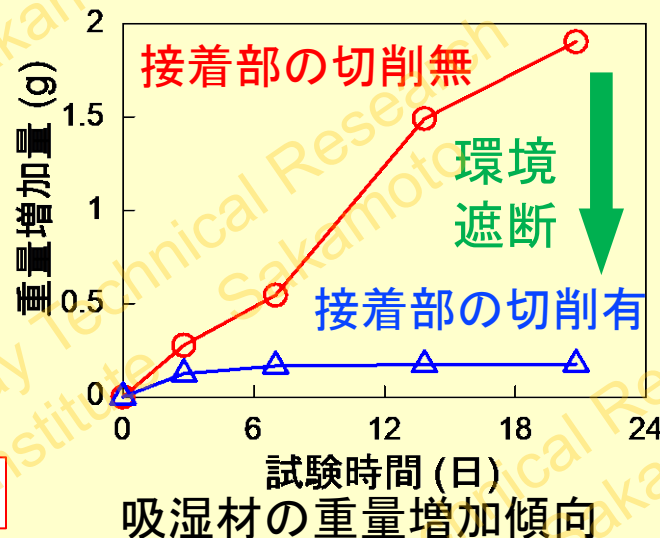
接着部の鋼面露出により  
模擬材内部を環境遮断



ガラス容器

吸湿材

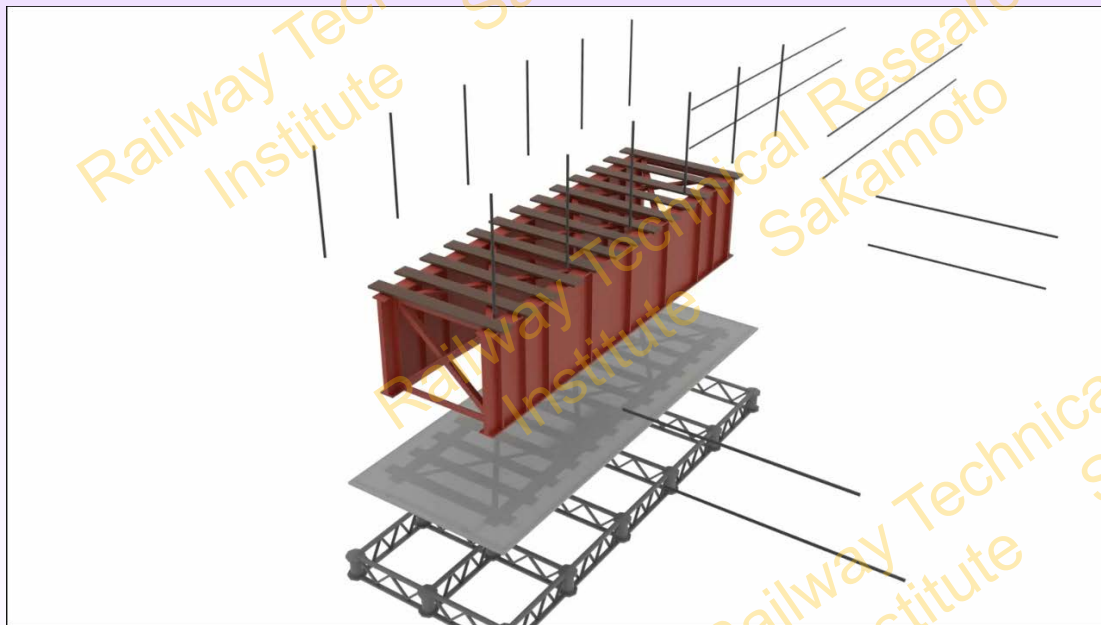
接着部





## ・開床式構造に対する新規の養生方法の検討(熱収縮シート)

- ・従来...板張り+防災シート → 隙間発生
- ・新規...熱収縮シート → 熱溶着で隙間抑制



熱収縮シートの融着作業

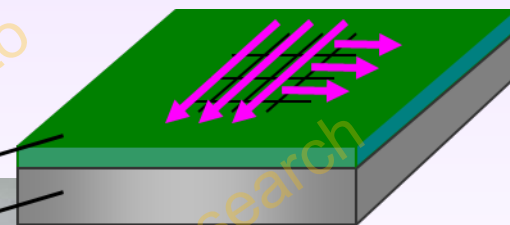
実桁切出し部材を用いた養生施工試験の実施状況

熱収縮シートによる養生の方が粉塵を漏出しにくい  
構造であることを確認

・腐食性の低い環境で起きやすい課題：  
旧塗膜からの割れ・剥がれが塗替え後の  
早期に発生

→旧塗膜の高齢化に伴う脆化・劣化の進行  
(目視での確認困難)

→除去すべき旧塗膜(劣化塗膜)と  
残してもよい旧塗膜(健全塗膜)を  
分類するための手法が未整備



鋼材側



表面側



人力のため  
ばらつきが発生

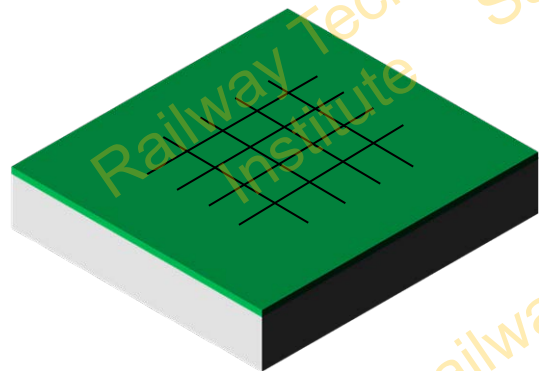
架設後72年

適量的な旧塗膜の健全性評価手法の構築が必要

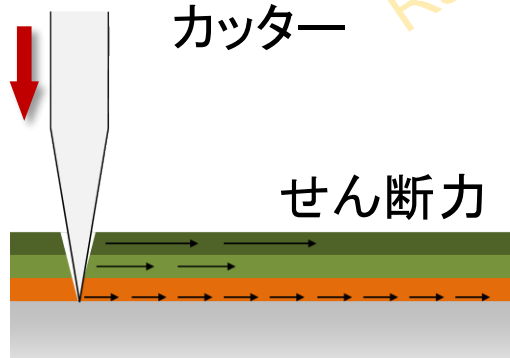


## くさび状治具を用いたせん断力評価方法の検討

### 従来の評価法

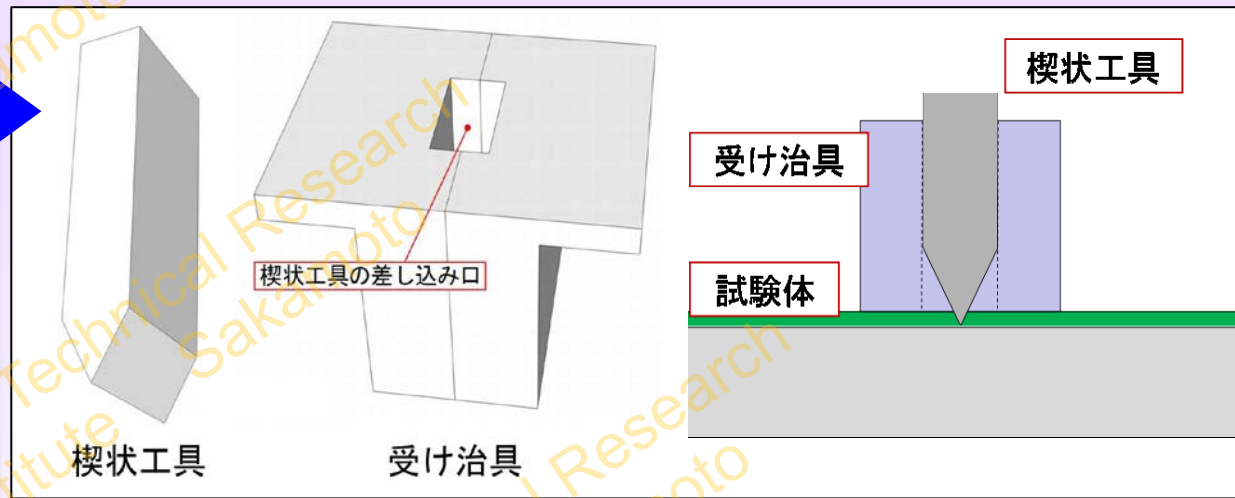


カッター



せん断力

碁盤目試験の原理



楔状工具

受け治具

受け治具

試験体

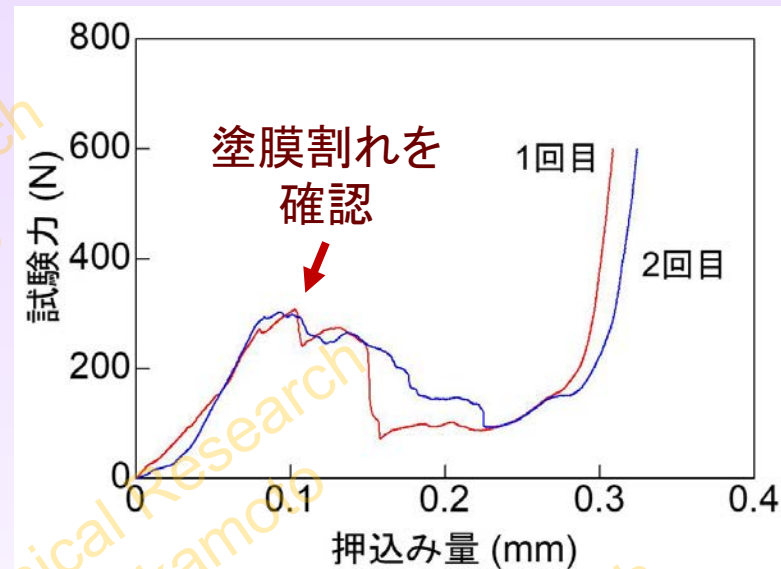
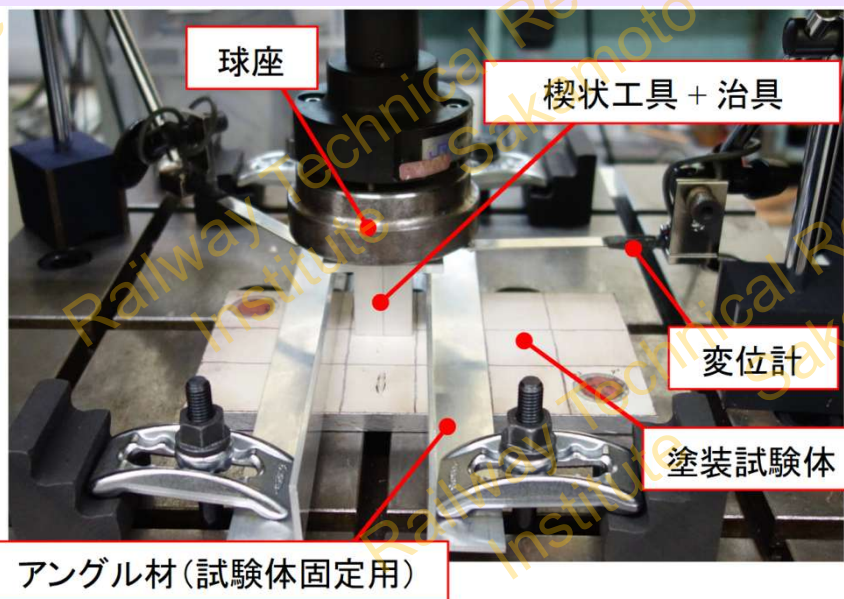
楔状工具

碁盤目試験と類似のせん断力を  
定量的に作用

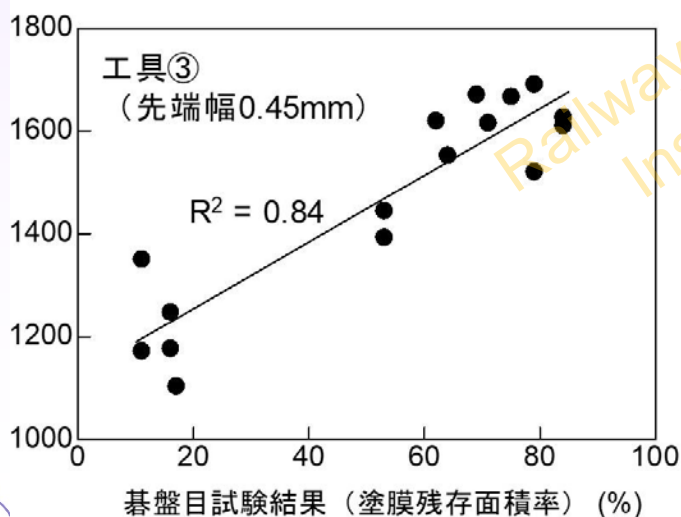




## くさび状治具を用いたせん断力評価方法の検討



押し込み量に対する荷重の関係  
(先端幅0.01mm)



基盤目試験結果と強い相関

塗膜の付着性を定量的に評価可能

- ・鉄道橋の塗替塗装要領について

- ・塗替え判定
- ・塗替え塗装系の選定
- ・素地調整
- ・塗装

- ・鉄道橋の塗替えに関する課題

- ・さびに関する課題と対策方法
- ・旧塗膜に関する課題と対策方法

- ・まとめ

## ・鉄道橋の塗替塗装要領の紹介

- ・全面的な変状と局所的な変状に対する塗替え判定法
- ・長期耐久性を念頭においた塗替え塗装系
- ・さびの残存を許容せず健全な塗膜を防食に寄与させる素地調整

## ・鉄道橋の腐食に関する課題と対策

- ・素地調整時のさび残存に伴う早期の塗膜劣化、塗膜下腐食
  - 素地調整の省力化技術に関する検討
  - 鉄道橋特有の構造に対する養生方法の検討

## ・鉄道橋の旧塗膜に関する課題と対策

- ・旧塗膜の健全性評価手法の未整備に伴う塗膜の割れ、剥がれ
  - 旧塗膜の定量的な健全性評価手法の検討

## ・今後の展望

- ・塗膜の長期耐久化、塗替え長周期化に伴う局所的な腐食箇所が増加
- ・塗替塗装の省力化・省コスト化
  - 部分塗替えへの誘導、効率的・効果的な素地調整手法の開発

Technical Res  
Institute Sakamoto

Railway Technical Research  
Institute Sakamoto

Railway Technical Research  
Institute Sakamoto

Railway Technical Research  
Institute Sakamoto

Railway Technical Research  
Institute Sakamoto

Railway Technical Res  
Institute Sakam



### 3. 橋梁等の鋼構造物における旧塗膜除去有害物質調査と対応

岩田 直樹

(株) 島津テクノリサーチ