NPO法人 道路の安全性協議会，全国高速道路建設協議会 共催
講演会「道路の長期保全及び更新について」

道路の長期保全のための
補修，補強技術

2014年　3月17日

中日本高速技術マーケティング㈱
上　東　泰

Agenda of today's presentation

★ Introduction

★ NEXCO中日本の現状と維持管理

★ 構造物の耐久性と性能低下の要因

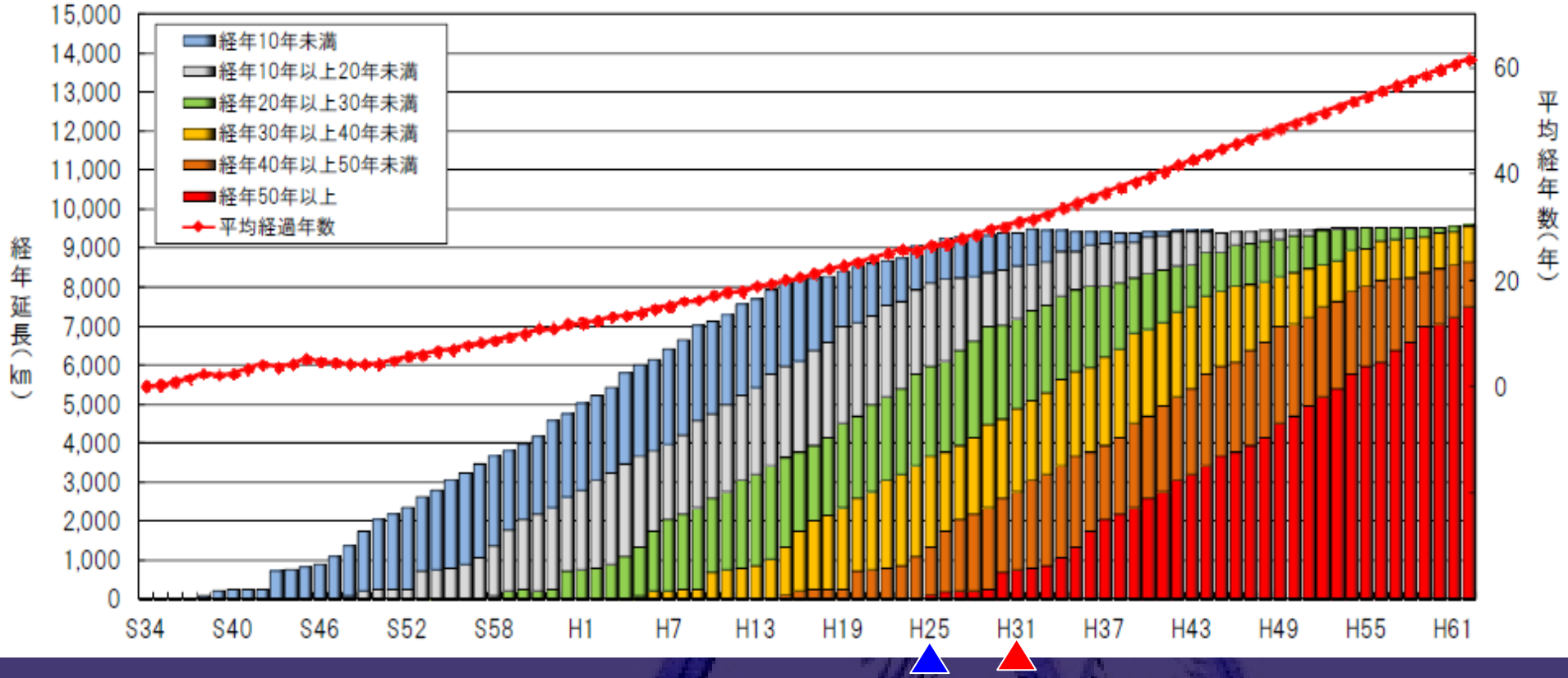
★ 橋梁の補修，更新技術

★ 新技術･新工法

★ Conclusions

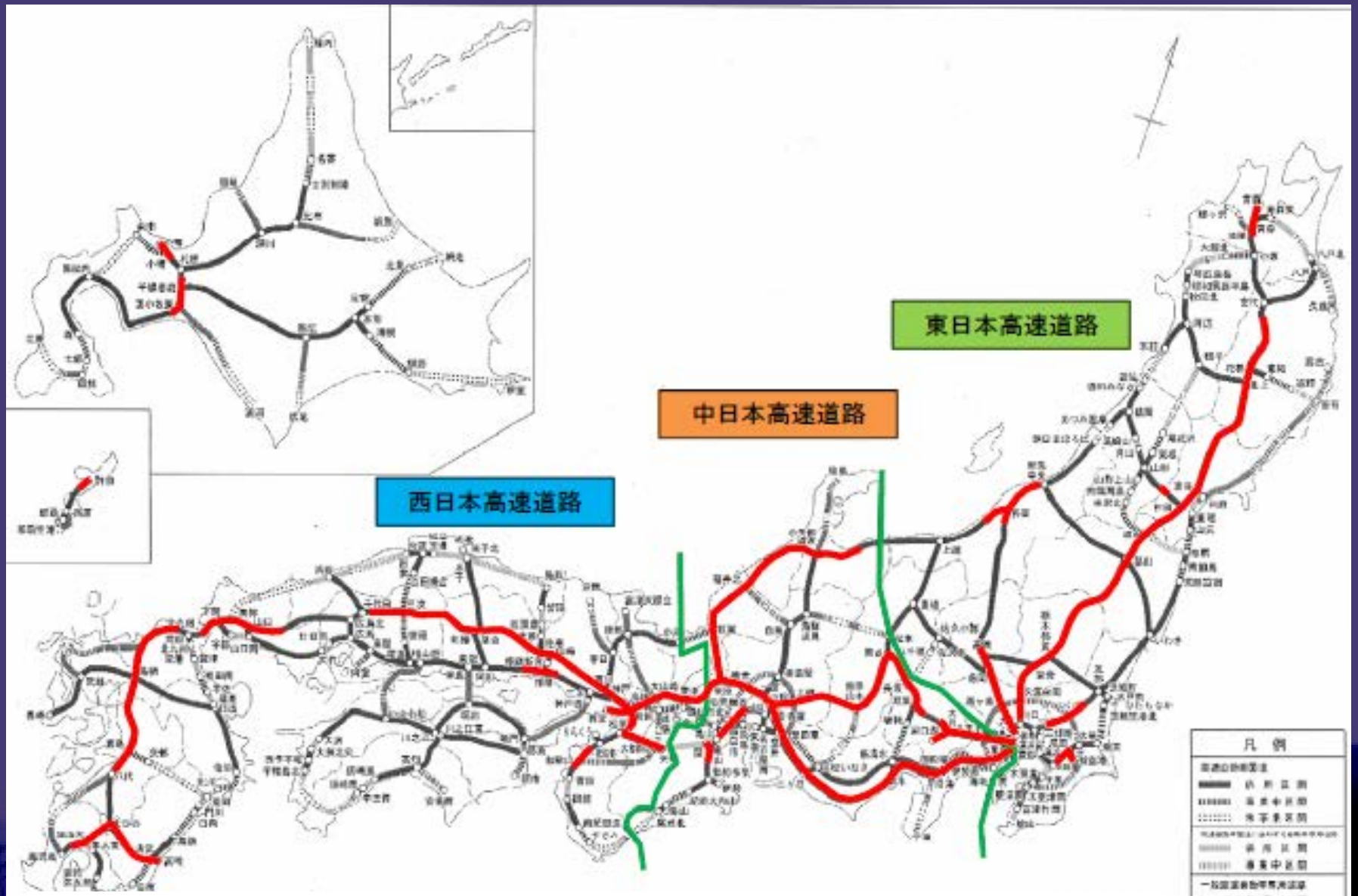
★ Introduction

高速道路（NEXCO3社）の経過年数の推移



※高速道路会社は，高速道路株式会社法で平成62年8月29日迄の料金徴収が認められており，その範囲内で償還するため平成32年度を期限に新設工事を実施中。

経過年数30年以上の路線（NEXCO3社・H23年度末）



出展：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料

高速道路橋の主な劣化要因（NEXCO3社・H23年度末）

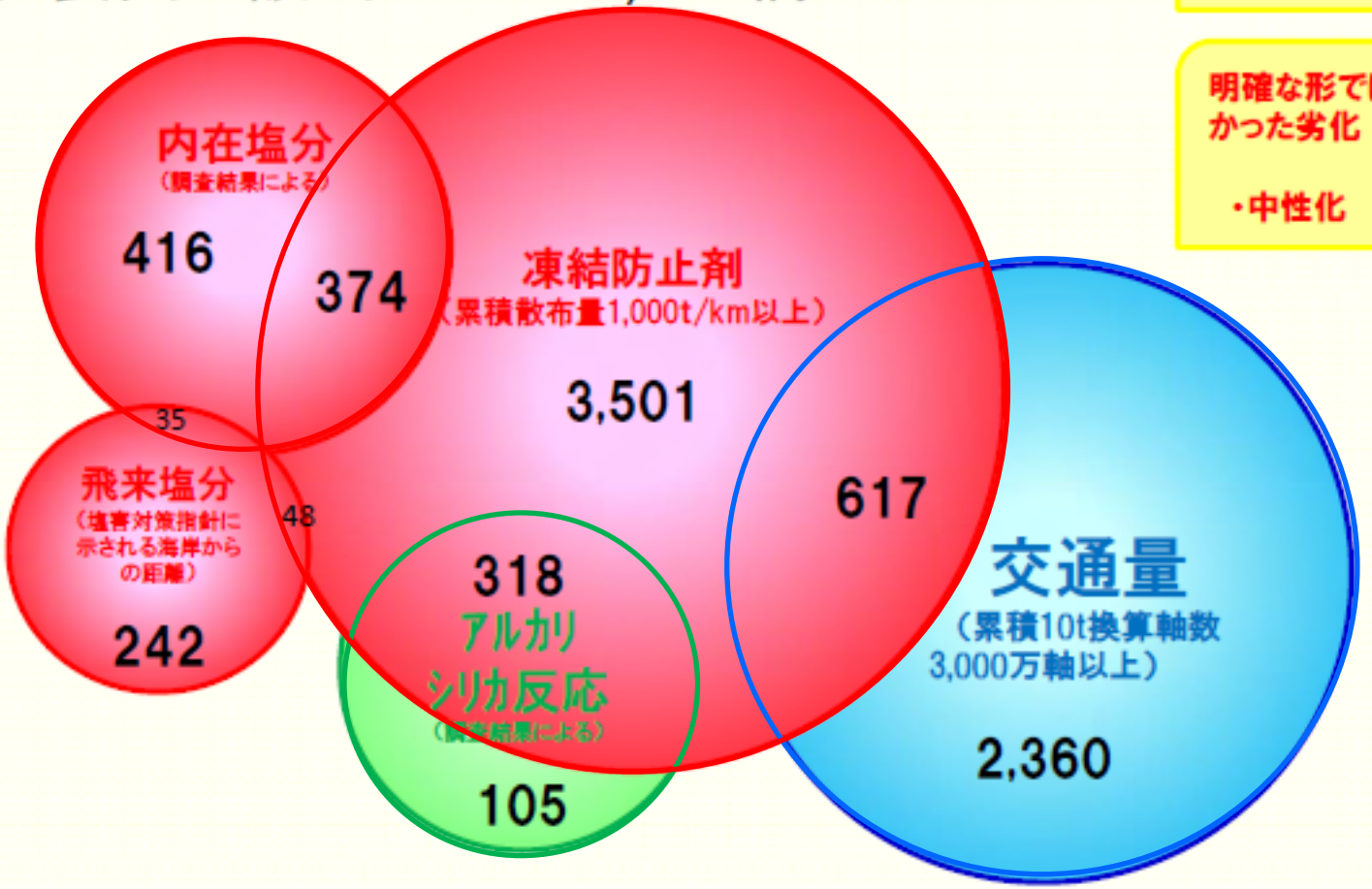
全橋梁数　：　18,306橋
下記の劣化要因に該当せず：10,230橋
下記の劣化要因に該当　：　8,076橋

初期欠陥

- PCグラウト空隙有
- かぶり不足
- 豆板等

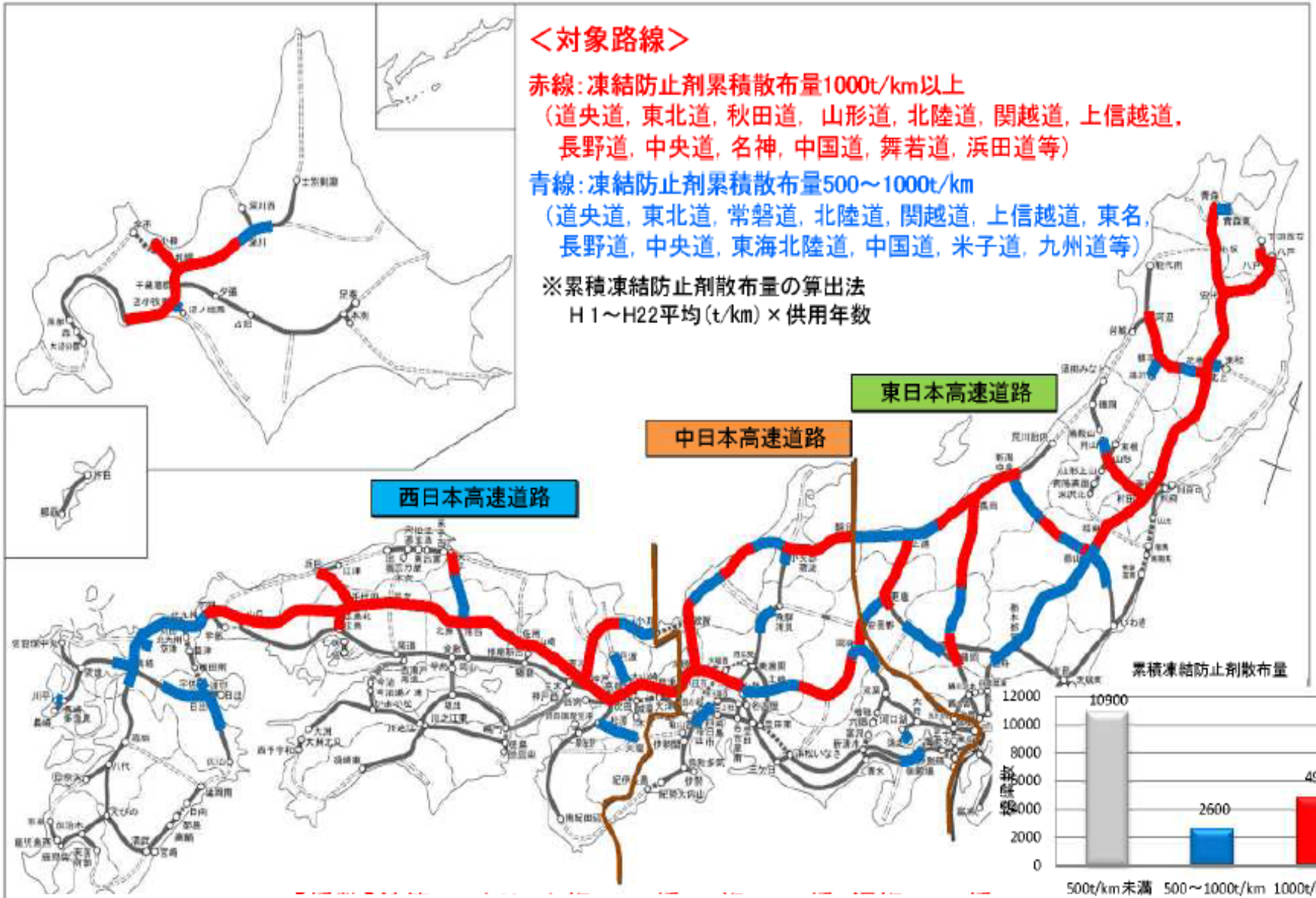
明確な形では考慮しなかった劣化

- 中性化



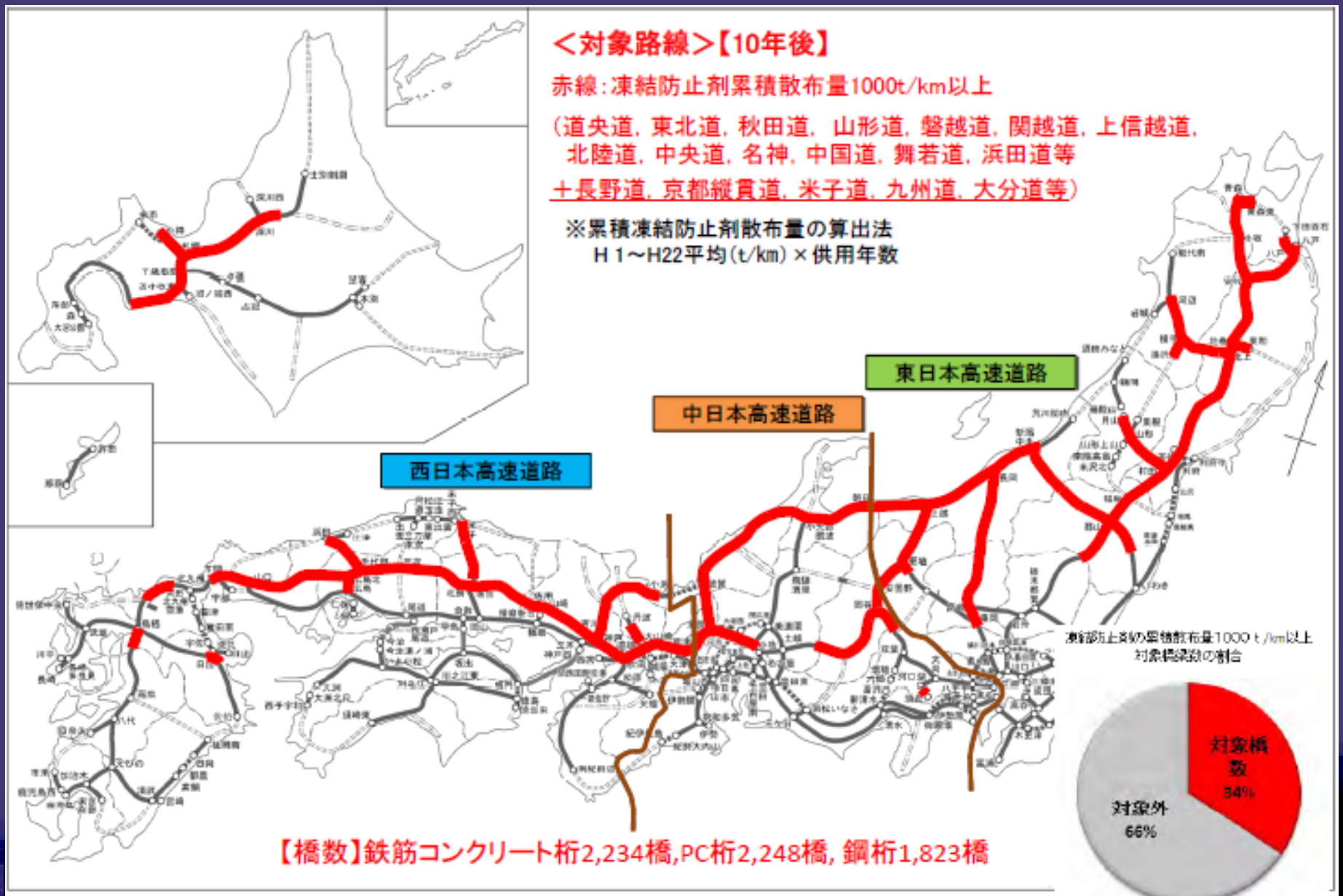
出展：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料

凍結防止剤累積散布状況（H23年度末）



出展：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料

凍結防止剤累積散布状況（H33年度末）

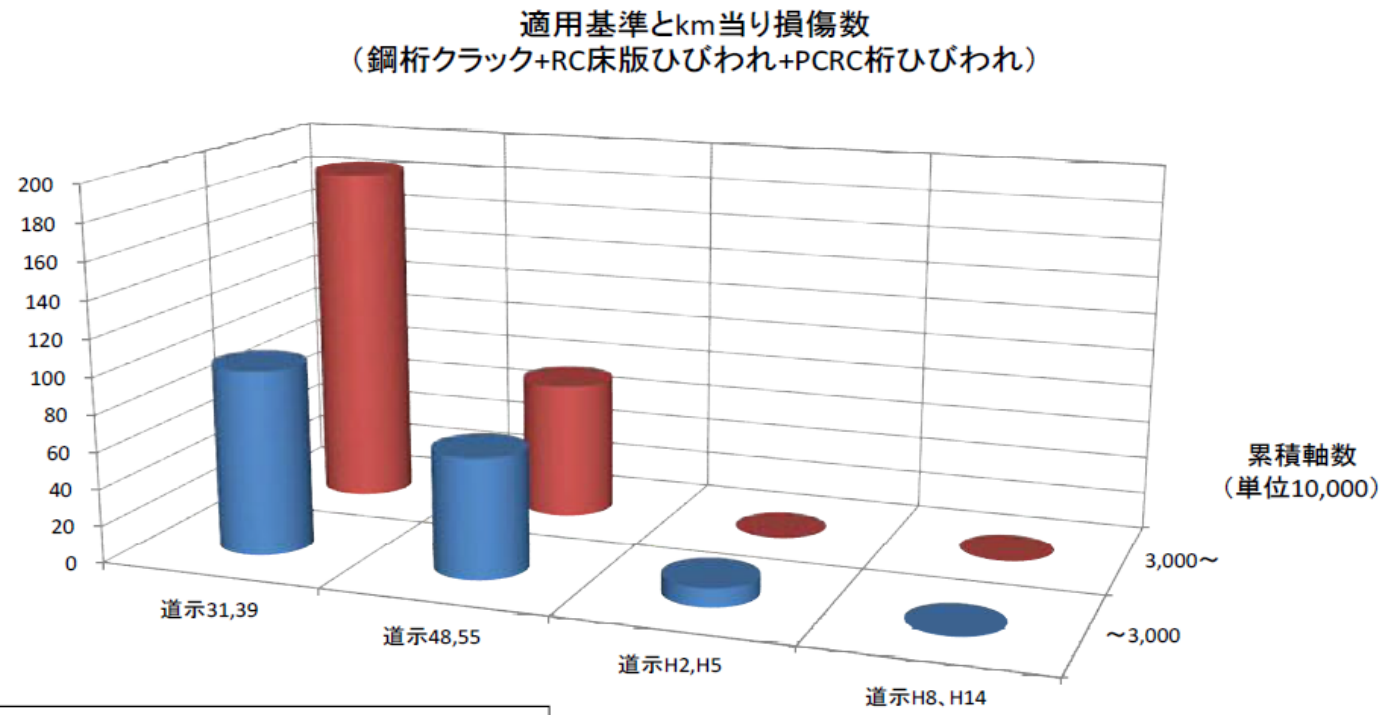


出展：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料

高速道路の変状発生に関連する要因（大型車交通量）

■ 変状数と,累積軸数,適用した設計基準の関係

昭和48 年道路橋示方書以前の示方書適用路線の変状が多く，特に累積軸数が3,000 万軸数超の場合,その傾向が顕著。（平成13～22 年度データ）



○昭和48年設計基準（道路橋示方書）
- ◆活荷重の変更（8t→9.6t）
- ◆鋼桁たわみ制限の強化

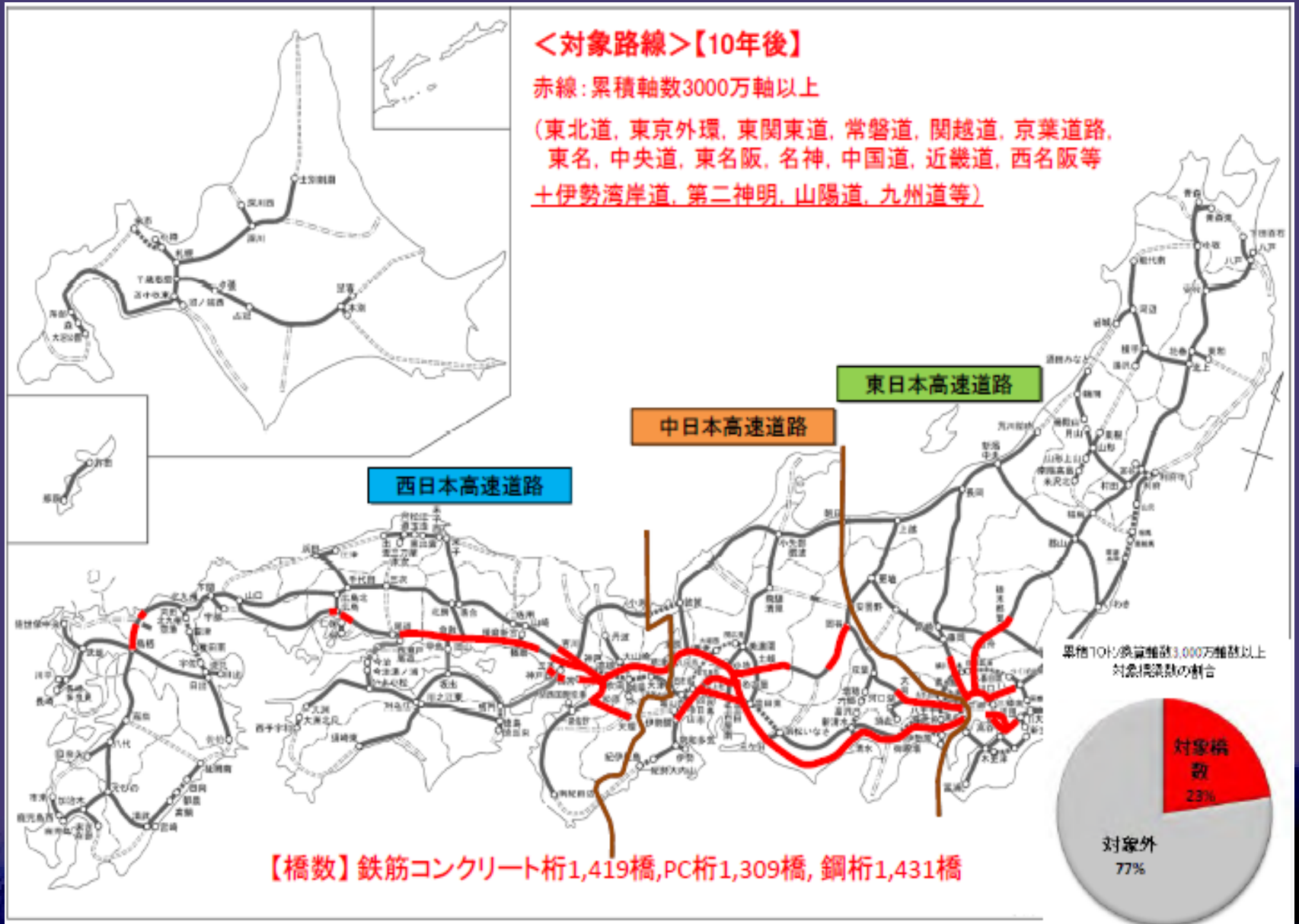
図 3.1.2　累積軸数とkmあたり損傷数の関係（昭和 48 年設計基準適用前後）

出展：首都高速道路構造物の大規模更新のあり方に関する調査研究委員会資料

累積10t換算軸数3,000万軸以上の路線（H23年度末）

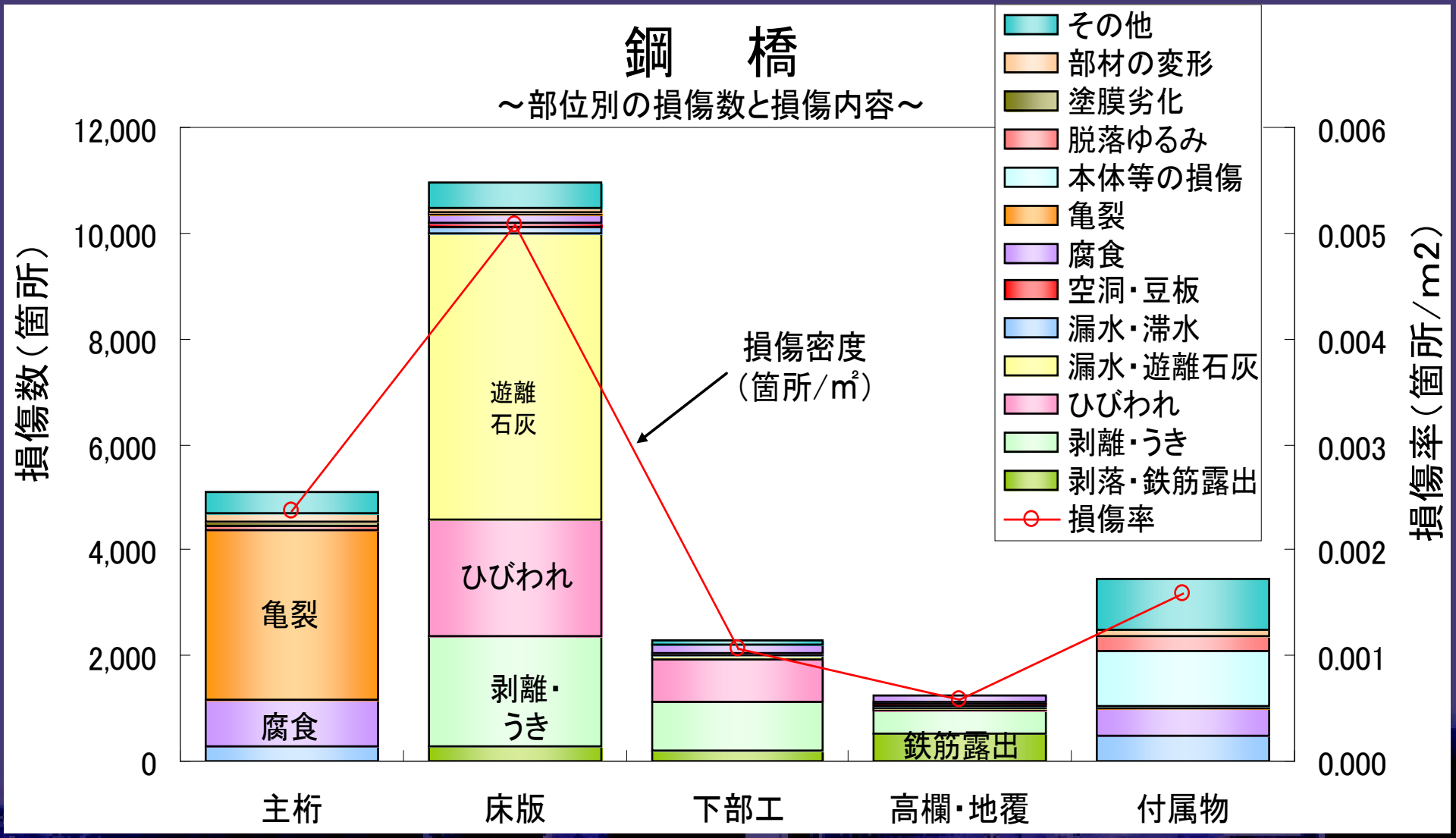
出展：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料

累積10t換算軸数3,000万軸以上の路線（H33年度末）

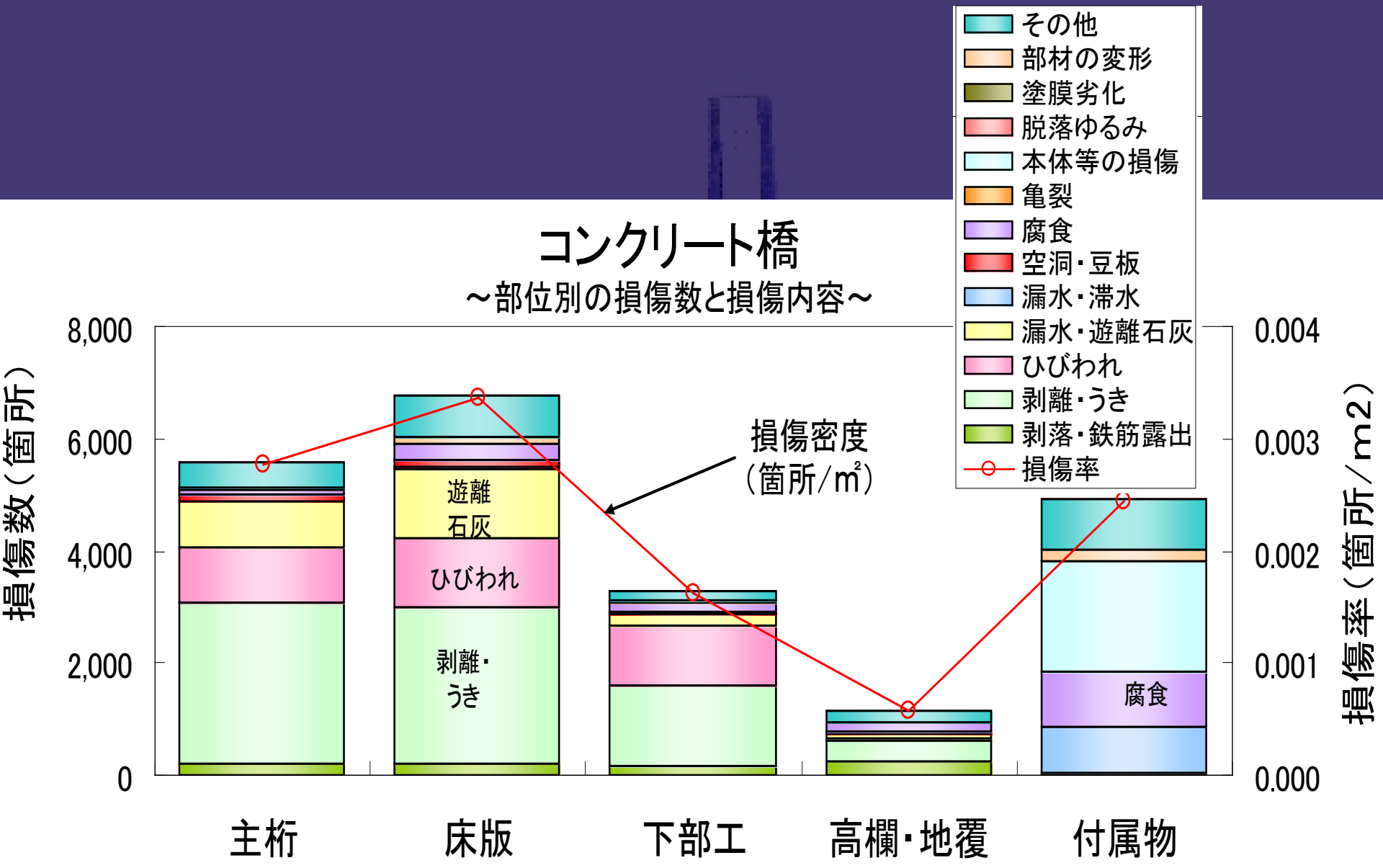


出展：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料

高速道路橋の部位別損傷（鋼橋）



高速道路橋の部位別損傷（コンクリート橋）



★ NEXCO中日本の現状と維持管理

NEXCO中日本の事業費(H24年度)

維持管理費

		単位:億円
清掃作業		56
植栽作業		62
光熱水費		44
雪氷対策作業		64
保全点検		80
土木構造物修繕	橋　梁	35
	トンネル	24
	舗　装	91
	その他	25
施設設備修繕	電気設備等	49
車両維持費		16
その他		73
合　計		619 (444+α)

改築・修繕費　330億円

新設工事費　1兆1,437億円

（新東名静岡区間:1兆258億円）

道路管理に係る費用
（修繕等）

505億円

（619-444）+330

管理延長当り:　505億円/1,954km=　28百万円/km

NEXCO中日本の取組み（安全性向上3カ年計画）

修繕に係る従前の計画額（2013～2015）
約1,700億円

+750億円

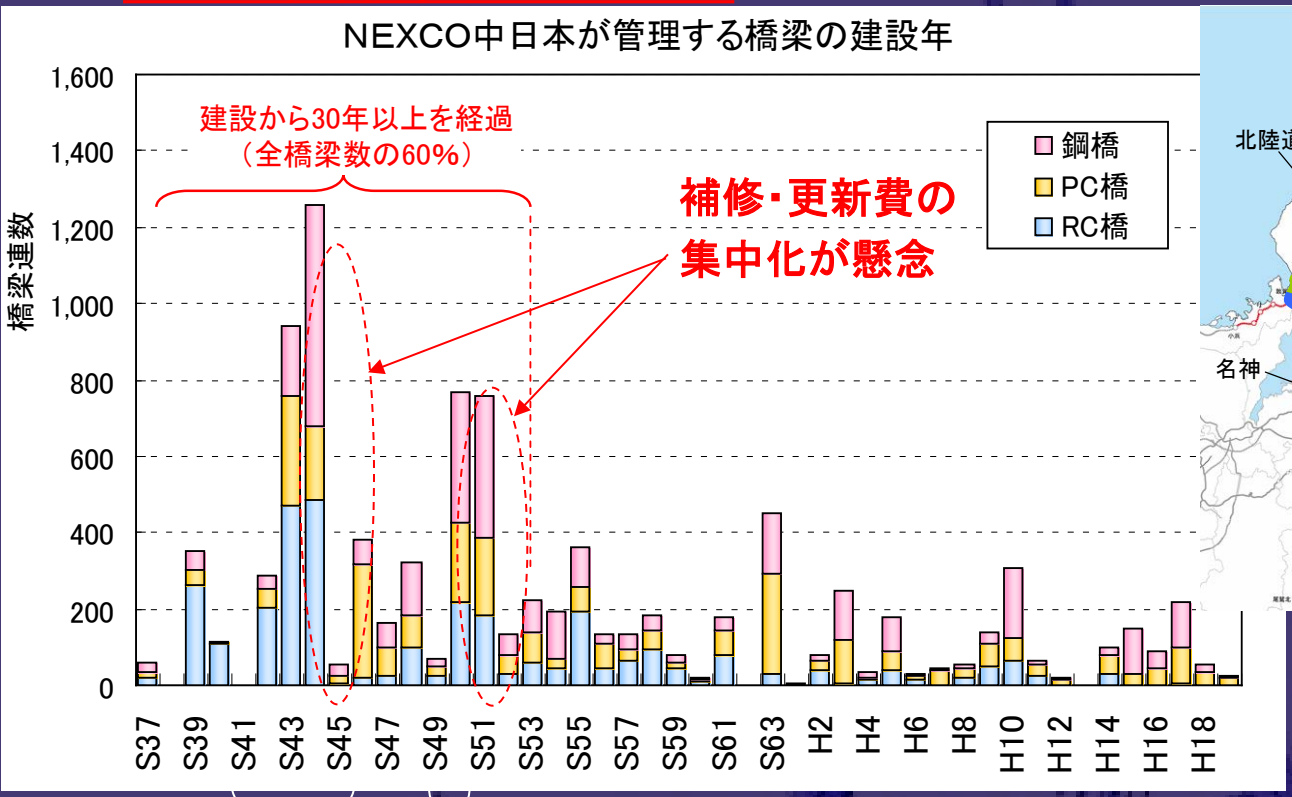
（単位：億円・税込）

今回の3カ年計画の安全対策も含めた修繕計画	計画額
Ⅰ．安全性向上に向けた事業計画	約2,350
①顕在化した損傷などに対して集中的に実施する施策（3カ年で達成する施策）	770
道路上などに設置された構造物の撤去・移設または、二重の安全対策など ・直ちに行うトンネル天井板等の撤去など ・門型標識柱、料金所PC上屋などの撤去 ・トンネル内接着系ボルト使用の大型標識などの移設 ・ジェットファン、撤去できない標識、情報板などの二重の安全対策	430
コンクリート剥落対策（重要交差箇所及び変状があり機能低下している箇所） ・橋梁、トンネル、カルバート・ボックス	340
②潜在的リスクへの対応を含め安全を長期的に確保していくための施策（3カ年及びそれ以降も継続する施策）	1,580
道路構造物の耐久性向上など ・橋梁床版取替え、特殊橋梁耐震補強、電気設備更新など	1,535
点検環境改善施策など ・トンネル監視員通路設置、橋梁検査路設置など	40
点検データ管理システム改良	5
Ⅱ．その他の事業計画（環境対策、給排水設備改良など）	約　100
計画額計（Ⅰ＋Ⅱ）	約2,450

NEXCO中日本の橋梁の現状（１／2）

◆ 管理する橋梁のうち約6割は、建設から30年以上が経過

◆ S30後半～S50前半に建設された橋梁が、今後更新を迎え補修・更新費の集中化が懸念

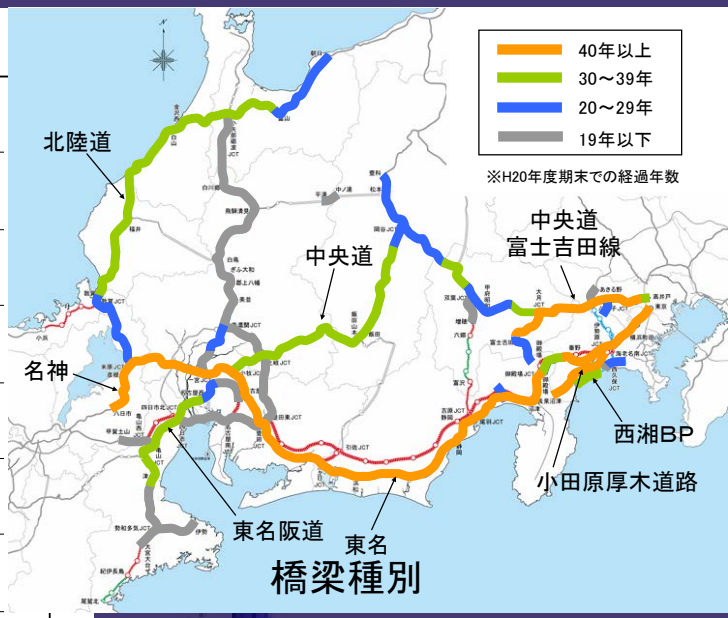


東名・名神・
中央道富士吉田線
建設最盛期

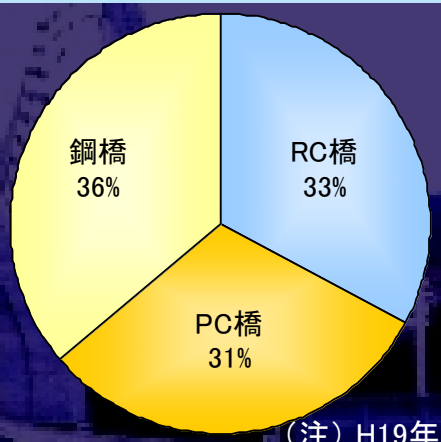
小田原厚木、西湘
建設最盛期

東名阪
（名古屋西～亀山）
建設最盛期

中央道、北陸道
建設最盛期時代



橋梁種別



（注）H19年度末時点

NEXCO中日本の橋梁の現状（２／2）

北陸自動道車道
■凍結防止剤による塩害，ＡＳＲ

中央自動車道（松本地区）
■凍結防止剤による桁端部の腐食

中央自動車道（八王子地区）
■疲労による床版下面のひび割れ

名神高速道路
■凍結防止剤による床版上面の劣化

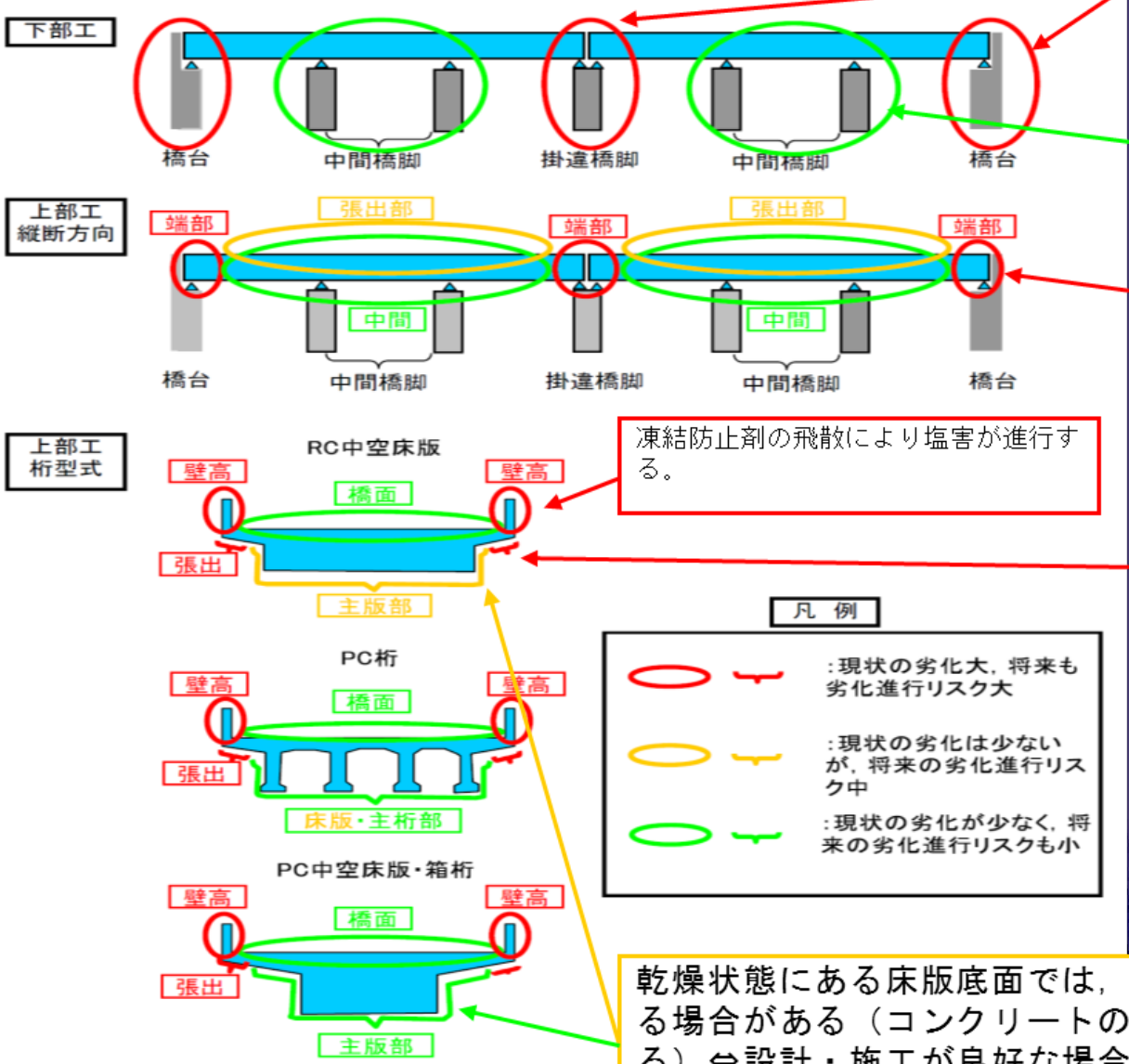
西湘バイパス
■飛来塩分による劣化

東名阪自動車道
■疲労による床版下面のひび割れ

中央自動車道（飯田地区）
■凍結防止剤による桁端部の塩害

東名高速道路
■疲労による鋼桁の亀裂
■疲労による床版下面のひび割れ

橋梁の変状の発生リスク



凍結防止剤が橋台・橋脚コンクリートの表面に付着して塩害が進行する

凍結防止剤との接触が少ない中間橋脚は，塩害の劣化進行の可能性が低い。

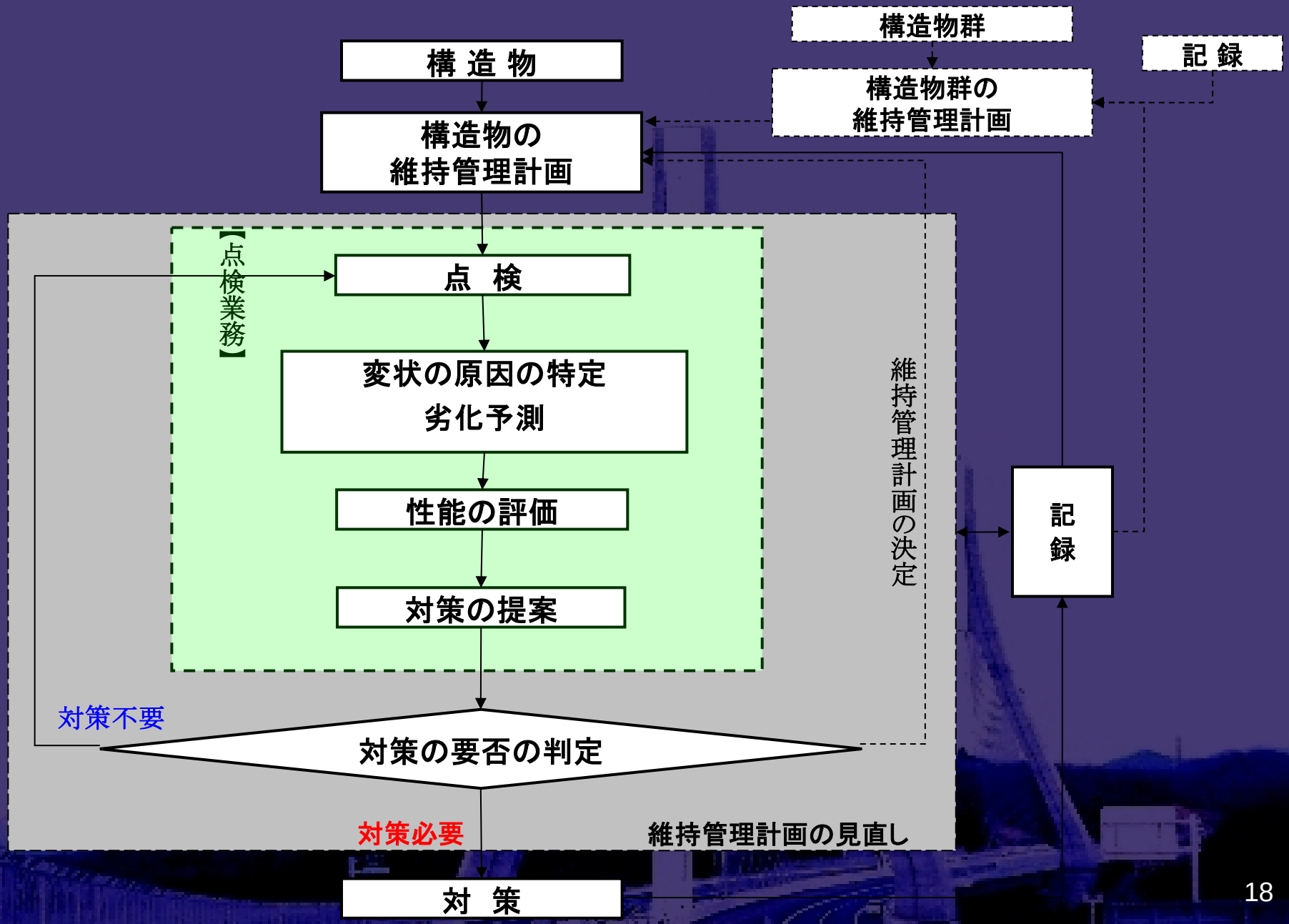
凍結防止剤がコンクリート床版の下面に回わり込んで床版端部（2m範囲程度）に，塩害が進行する

凍結防止剤の飛散により塩害が進行する。

凍結防止剤がコンクリート表面に付着して，（十分な水切りがない場合には）床版の張出部に塩害が進行する。

乾燥状態にある床版底面では，中性化により劣化が進行する場合がある（コンクリートの施工品質に強く影響を受ける）⇔設計・施工が良好な場合には，中性化による劣化進行のリスクは小さい。

構造物の維持管理の流れ



★ 橋梁の耐久性と性能低下の要因

構造物の耐久性について

《ハムラビ法典》 バビロニア（紀元前1700年代）
第229条

『・・・もし棟梁がある人のために家を建て、その構造物が十分な強度を有せず、そのために彼が建てた家が倒壊し、家の主人が死んだ時は、棟梁は死すべし。もし倒壊が家の息子の死の原因となった時は、棟梁の息子を殺すべし・・・。』

Source of “DAUERHAFTIGKEIT VON BETON”

Durability of Materials Used in Historical Buildings

EGYPT 3000s BC

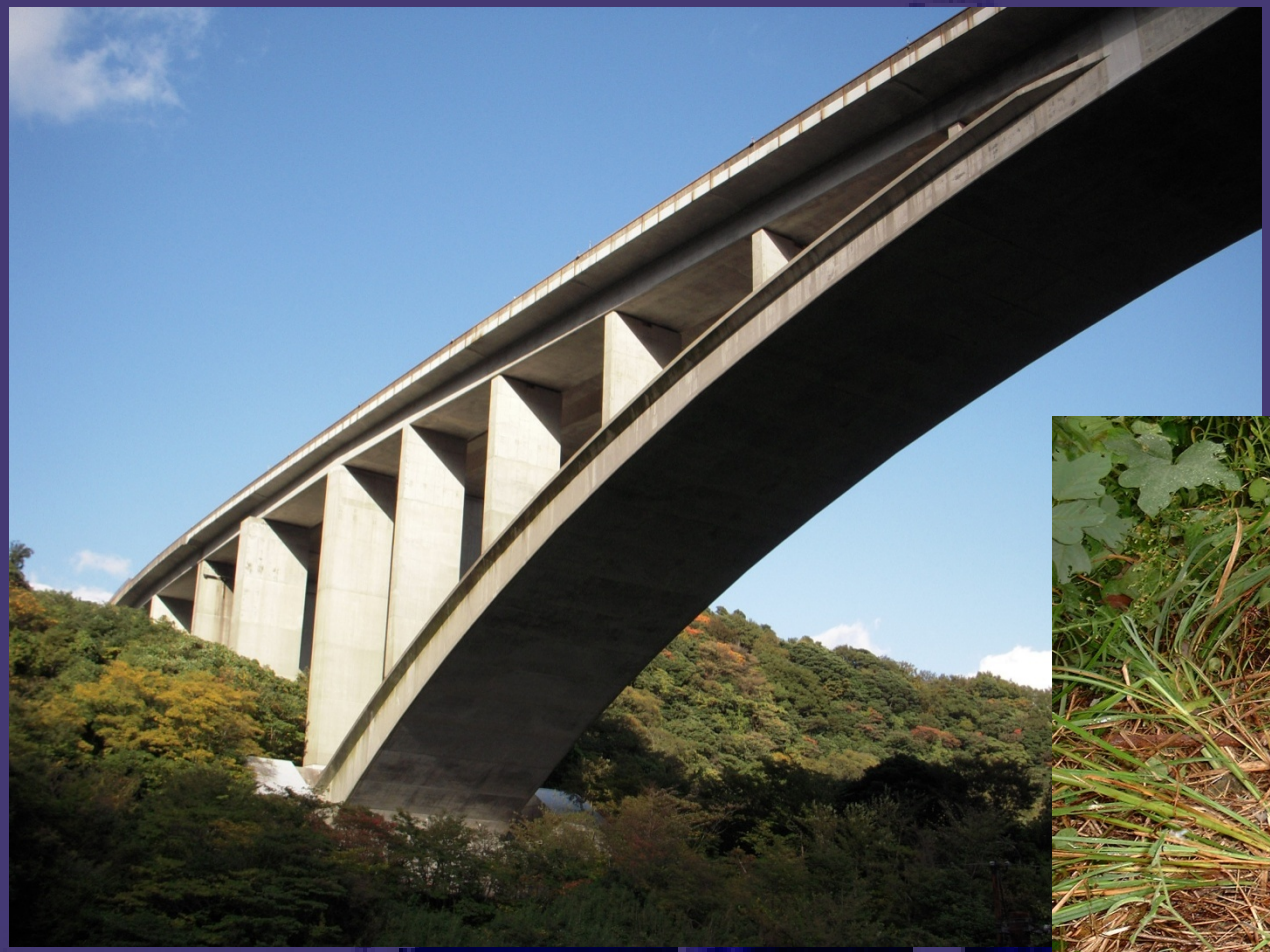
Joint: burnt gypsum + sand (origin of cement)

Delhi, INDIA, AD 415

99.7% Iron

Principal Works of Bridge :
BEPPU MYOBAN Bridge

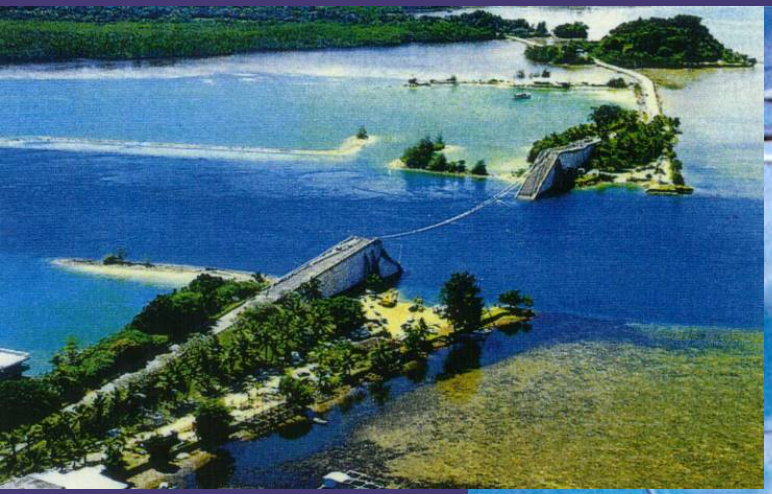
BEPPU MYOBAN Bridge (2)

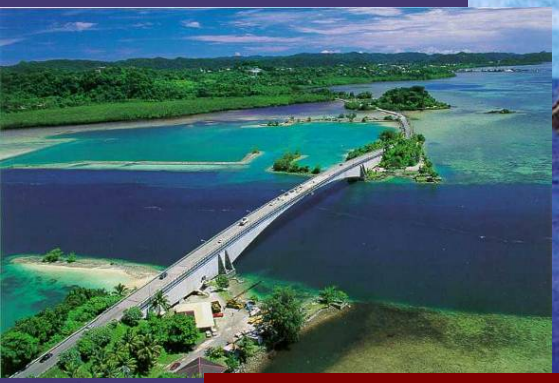


Located in the BEPPU MYOBAN Hot Spring

Cases of Bridge Collapse in Overseas Countries

Built: 1977.4
Maximum span: 240.8m

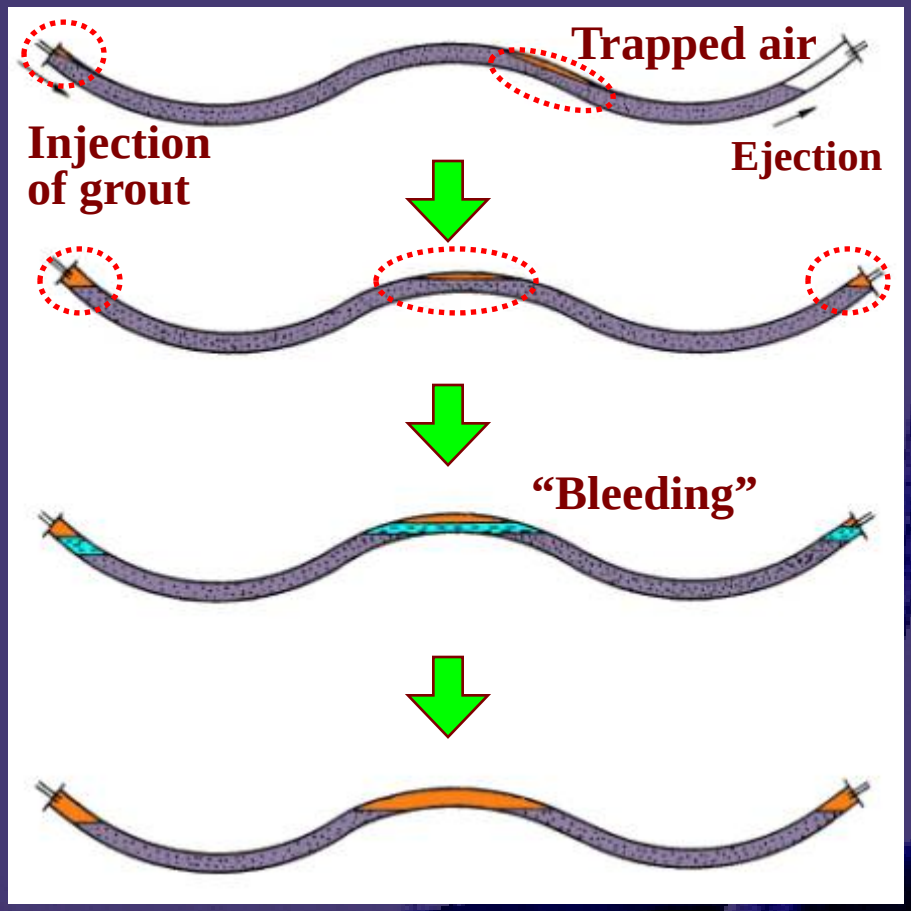




Koror - Babelthuap Bridge (Palau) 27 Sep. 1996.

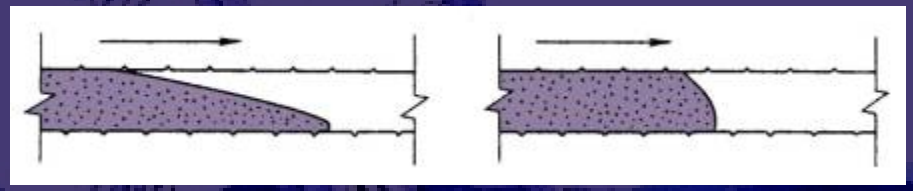
Source: *Nikkei Construction*

Mechanism of insufficient PC grouting



PC grout	Trapped air	Bleeding

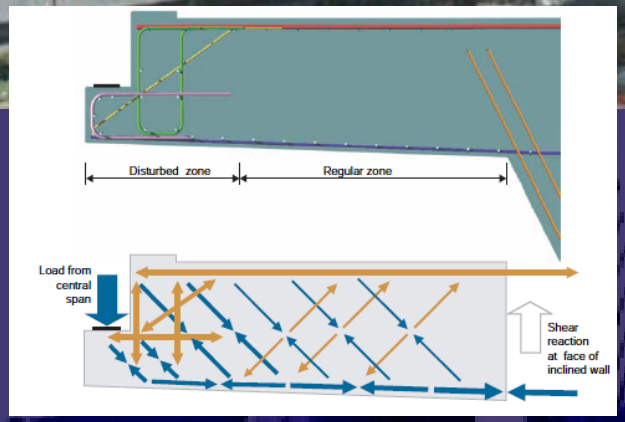
Varied state of filling due to difference in viscosity



Low viscosity High viscosity

Cases of Bridge Collapse in Overseas Countries

Built: 1971
Max. span: 35.4m(27.4m)



De la Concorde Overpass Bridge (CANADA) 30 Sep. 2006

Objet: Rapport d'enquête sur l'effondrement d'une partie du viaduc de la Concorde

Cases of Bridge Collapse in Overseas Countries

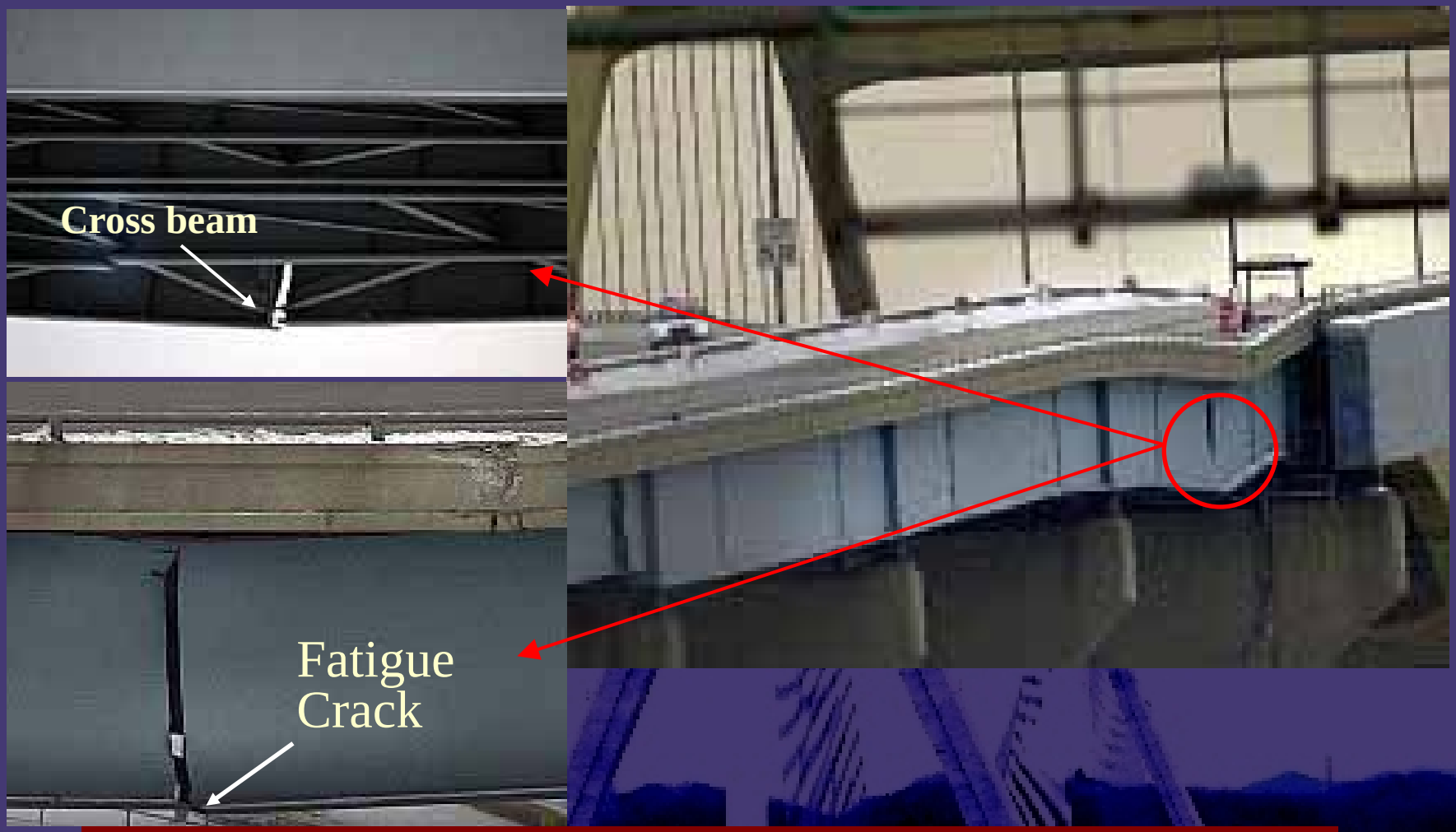
Built: 1967.11
Maximum span: 139m

http://en.wikipedia.org/wiki/I-35W_Mississippi_River_Bridge

Mississippi - River Bridge (USA) 1 Aug. 2007

Cases of Bridge Collapse in Overseas Countries

Cases of Bridge Failure in Overseas Countries



Milwaukee (USA) 13 Dec. 2000

Cases of Bridge Collapse in Japan

Shinsuge Bridge (Japan) 15 Jun. 1989.

Source of NIKKEI CONDTRUCTION

Replacement of Sannomiya Bridge on the Tomei Expressway

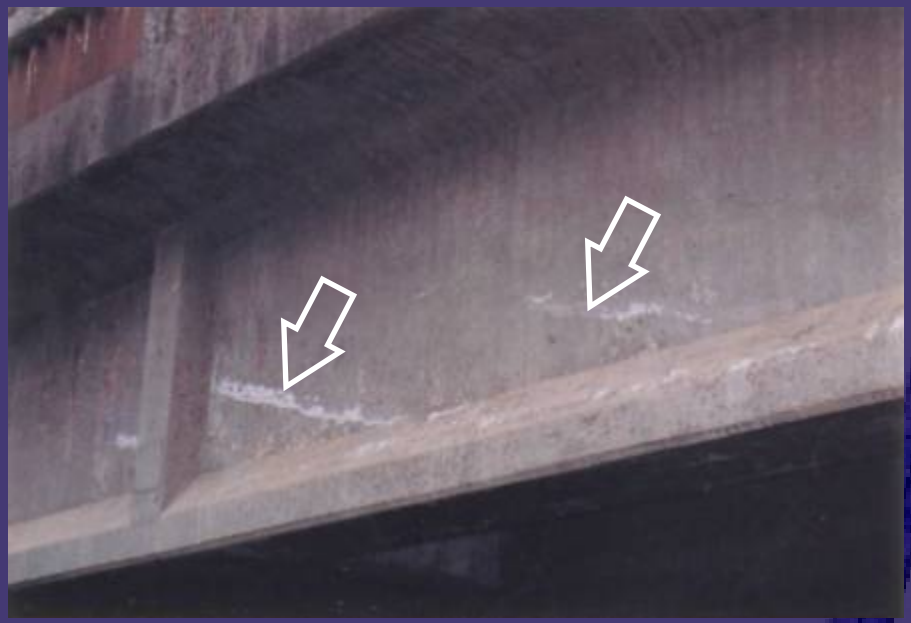
構造物の性能低下の要因

コンクリート標準示方書[維持管理編]の用語の概念

変状

- **初期欠陥**：施工時に発生するひび割れ，豆板，コールドジョイント，砂すじ，PCグラウト充填不良など
- **損　傷**：地震や衝突等によるひび割れやはく離など，短時間のうちに発生し，その変状が時間の経過によって進行しないもの
- **劣　化**：時間の経過に伴って進行するもの

■初期欠陥
シース内部から生じる変状



PCグラウトの充てん不足

PC鋼材の錆

結露の発生

PCグラウトの充てんが不足する
場合のシース内の状況
（ファイバースコープによる点検）

PC鋼棒の破断事例

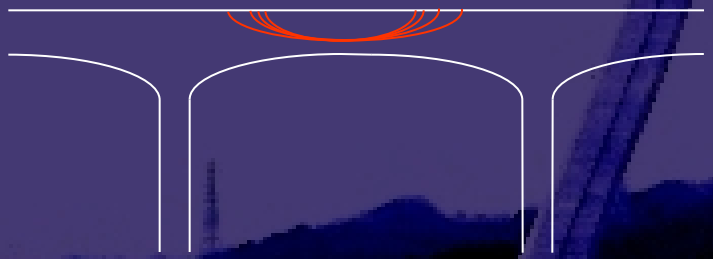
横締めPC鋼棒の破断例

鉛直締めPC鋼棒の破断例

維持管理が困難な初期欠陥の事例
（PCグラウト充填不良）

グラウト充填不足箇所のPC鋼棒の破断

主方向PC鋼棒の破断
グラウト充填不足



PC5径間連続ラーメン箱桁

フランスにおける変状（設計不良）

◆箱桁の外ケーブル補強；50～100橋実施

・主因はPC橋の設計未熟・未知

（温度応力、クリープなどの未考慮、せん断力不足）

・ストレス分散不足による失敗

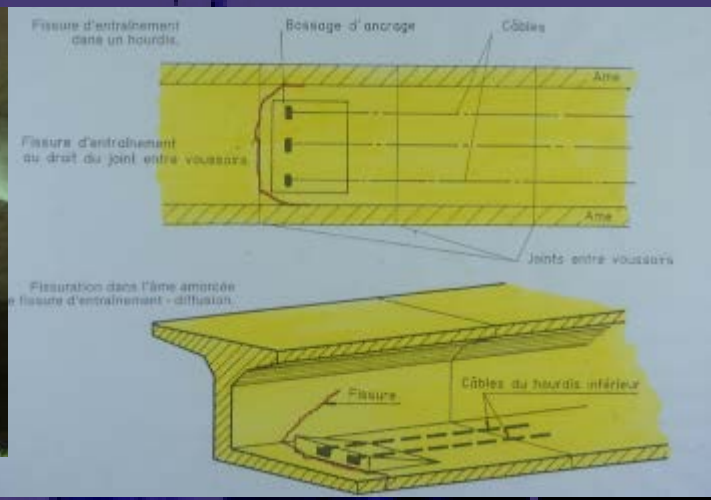
・初期不良、耐荷力不足など

・<u>1980年代に設計の改善</u>

◆硫酸反応及びASR：450橋程度被害

数橋撤去済（ASRで2橋撤去）

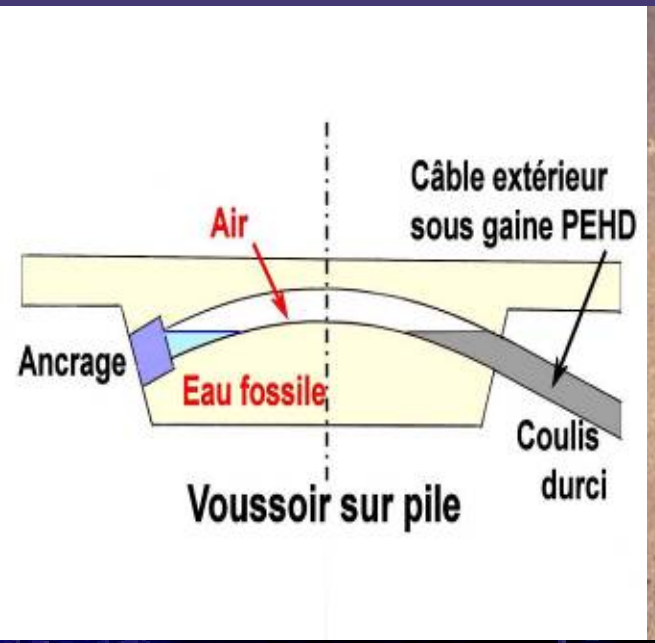
定着部のクラック
よくある事例



※NEXCO総研提供

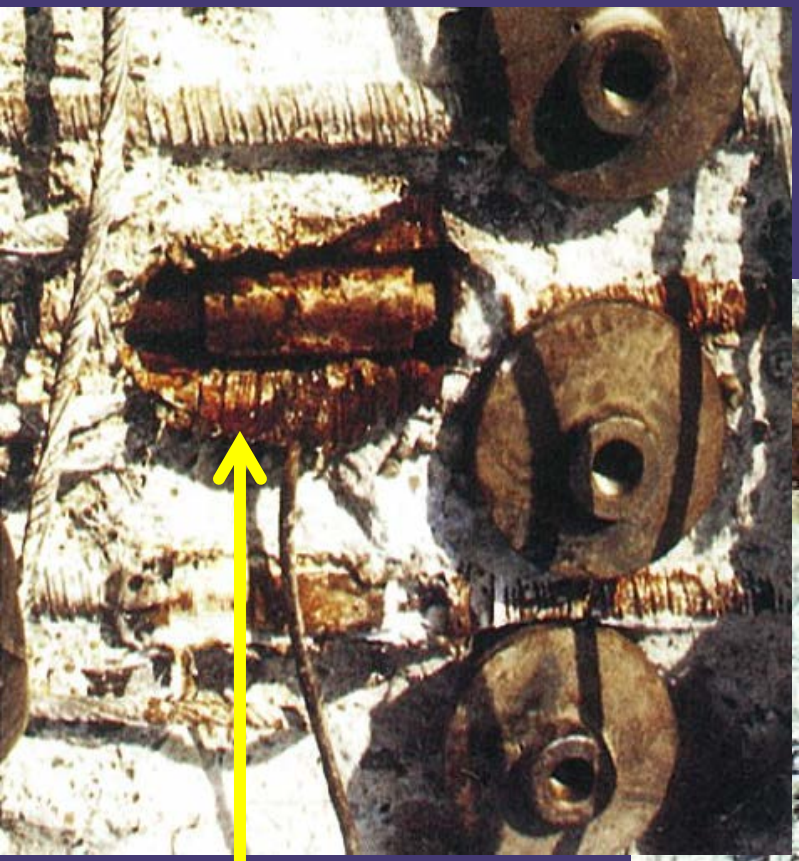
フランスにおける変状（ブリーディング）

- 数橋は既に撤去。
- 建設後10年で破断した事例有。
- グラウト不足やブリージングによるケーブル破断
- 2段階グラウト（ブリーディング部の押出し）実施
- シースは日本と比較し厚肉。踏んでも壊れない。
- シース径を拡大。



※NEXCO総研提供

ドイツにおける変状（PCグラウト充填不良）



横締鋼材の腐食

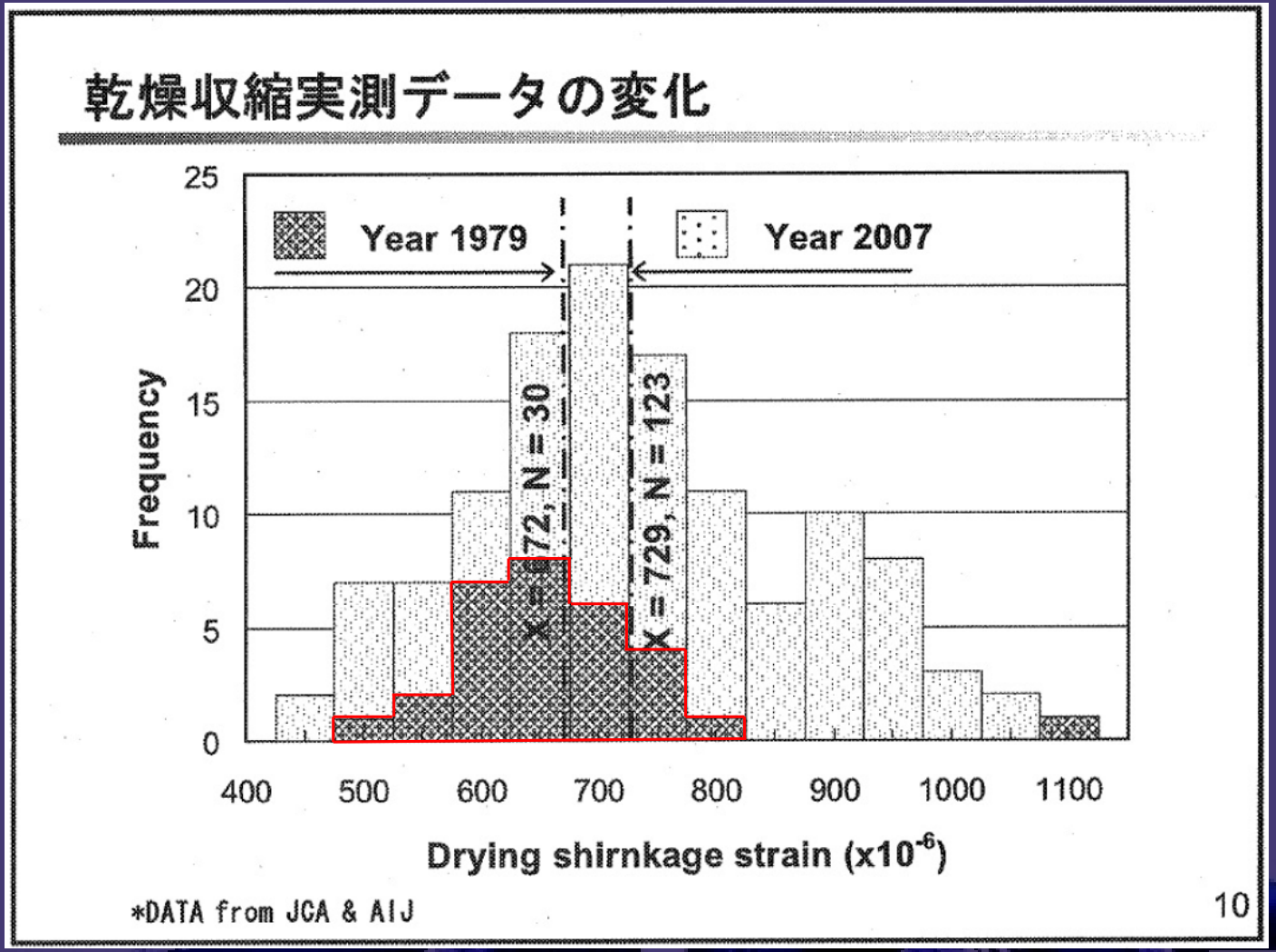
80年代に補修。グラウトの重要性を認識。

※NEXCO総研提供

ドイツにおける変状（PCグラウト充填不良）

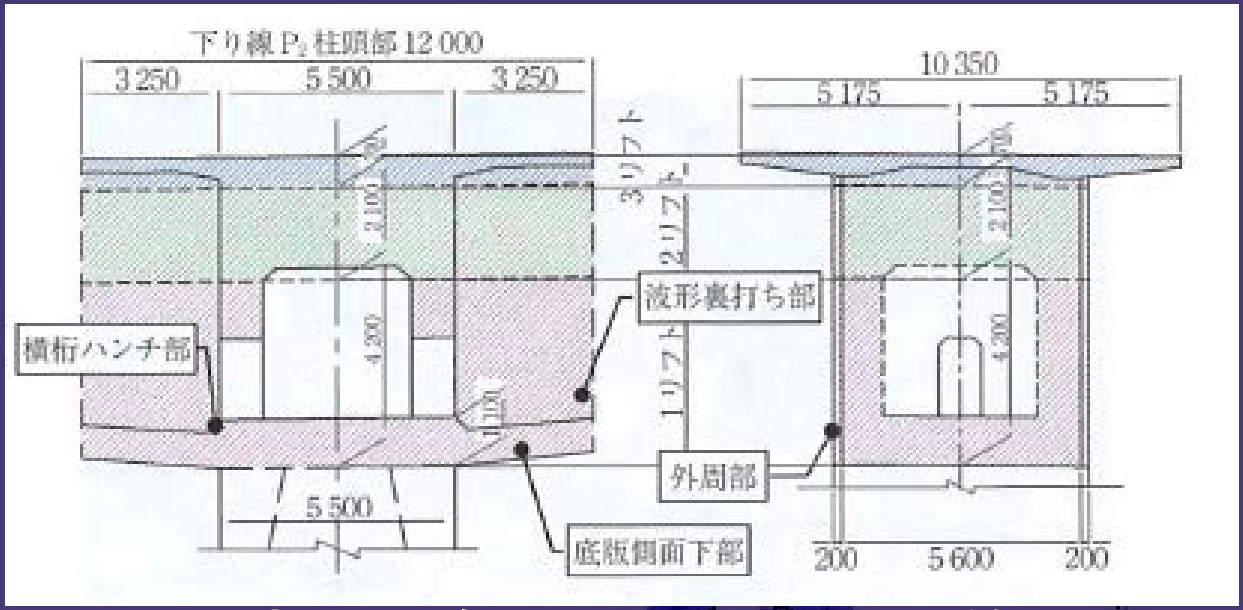
※NEXCO総研提供

乾燥収縮の特性値（εreq）について



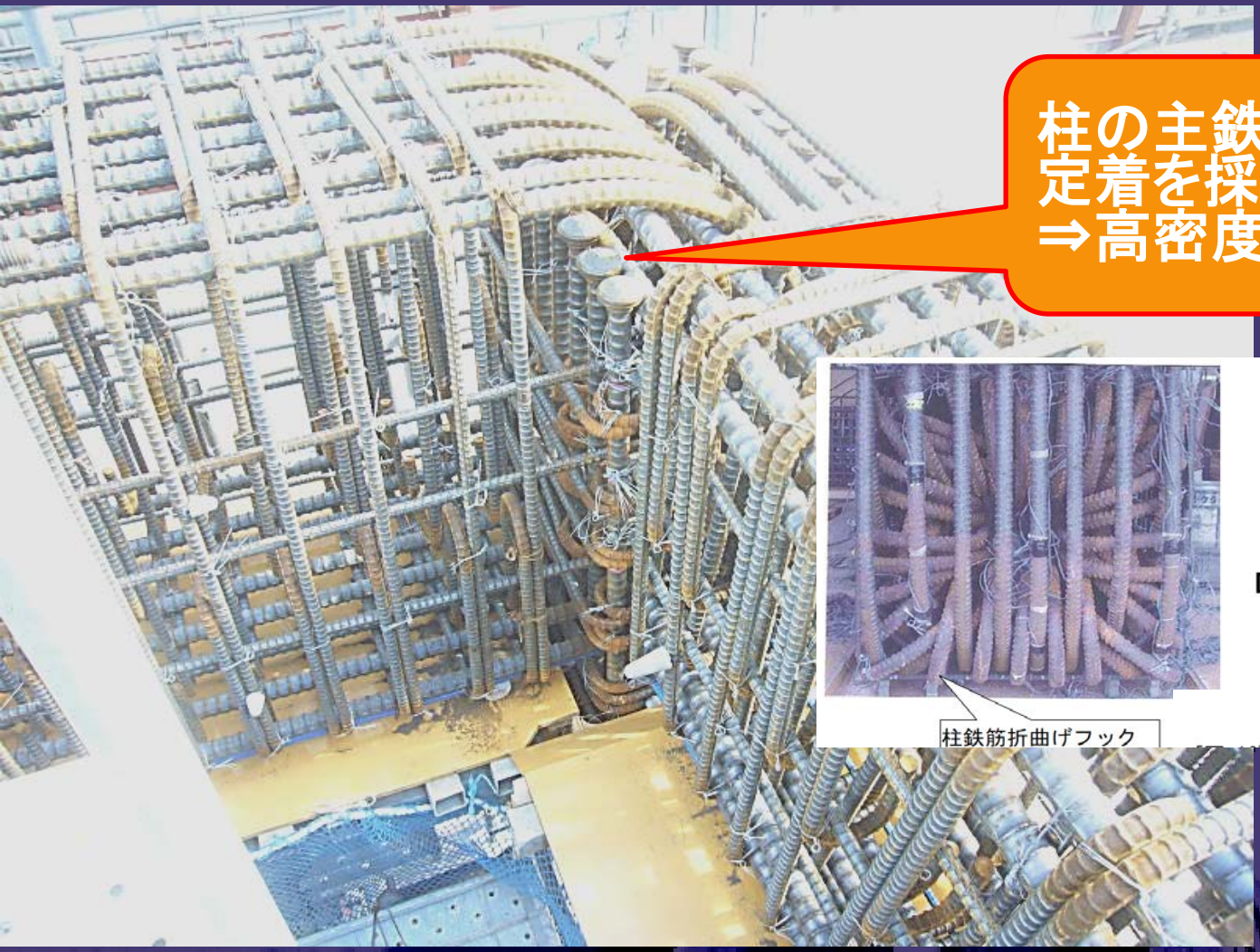
乾燥収縮実測データの変化　【JCI　時間依存性委員会　資料】より

スランプの低下に伴う初期欠陥の事例



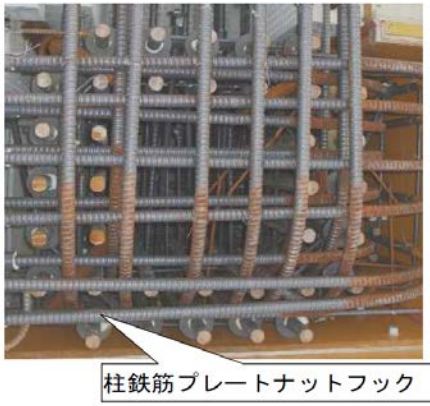
柱頭部の一般図と不具合発生箇所

過密配筋の例 （柱と梁の接合部）



柱の主鉄筋端部に機械式定着を採用
⇒高密度な配筋は未解消

⇨



コンクリートの種別と特徴

表　コンクリートの種別

	使用構造物	圧縮強度 (N/mm²)	スランプ (cm) ※	空気量（%）	備考
A1-1	橋梁上部工	30	8	4．5	普通，C ≧230kg
A1-3	橋台，橋脚	30	8	4．5	普通，高炉B
P2-2	PC上部工	40	8	4．5	早強，C ≧300kg

※コンクリートの打込み箇所（締固め前）

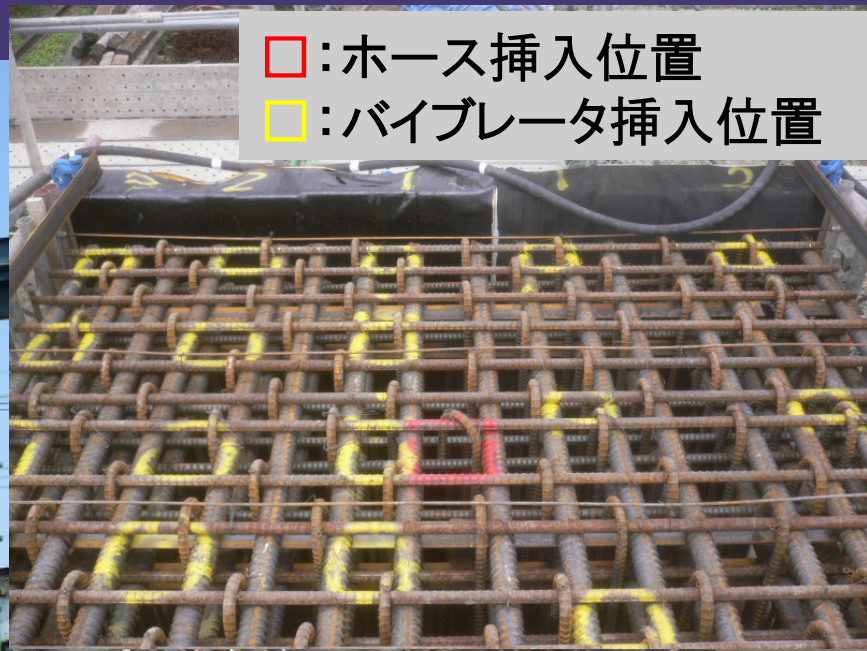
■施工計画における留意点

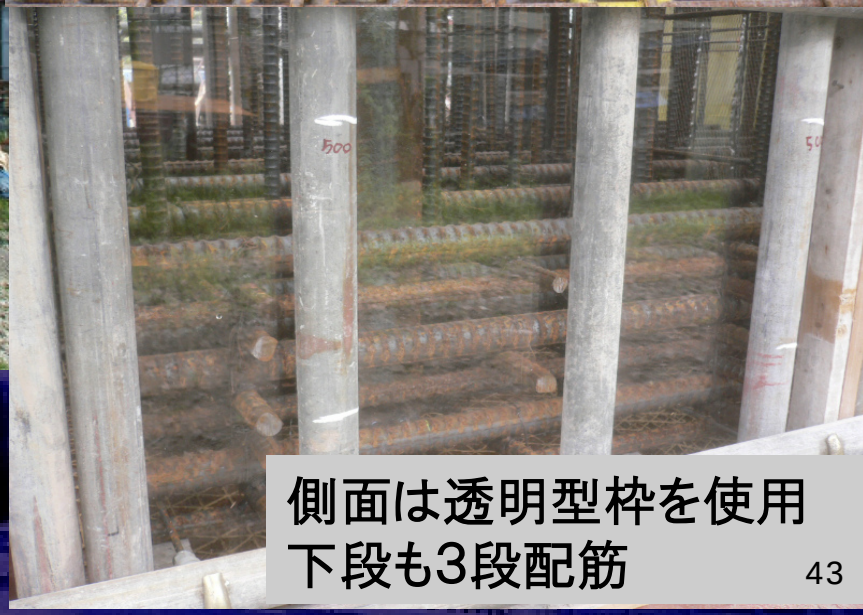
【運搬および打込み】運搬の方法，経路，時間，打込み時期・順序・量，設備（コンクリートポンプ，配管，締固め装置）および体制

【その他】コンクリートの充填が困難と想定される箇所は，事前に実物大部分模型を用いた打込み性能試験等を実施

コンクリートの打込み性能試験の例（1／2）

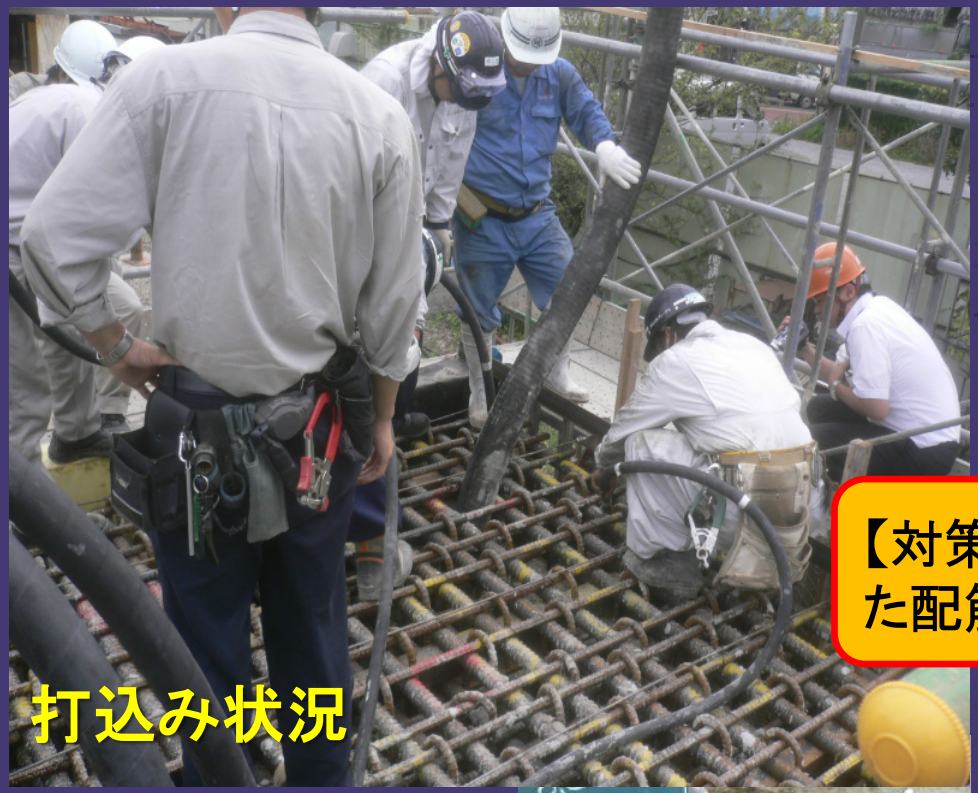
RCスラブの一部を模擬した試験体





側面は透明型枠を使用
下段も3段配筋

コンクリートの打込み性能試験の例 （2／2）



ホースが挿入出来ないと
コンクリートが山状

【対策】設計時から打込みを考慮した配筋 or 配(調)合の変更

コンクリートの
スランプは8cm

鉄筋を少しずらし
ホース挿入位置を開口

構造物の変状の要因

内的要因:

設計，材料（海砂，反応性骨材など），配合，施工等

外的要因:

物理的作用　→　熱（火災，凍結融解），荷重，水

化学的作用　→　炭酸ガス,酸性雨，海水，工場廃水,温泉等

●コンクリートの劣化機構は、

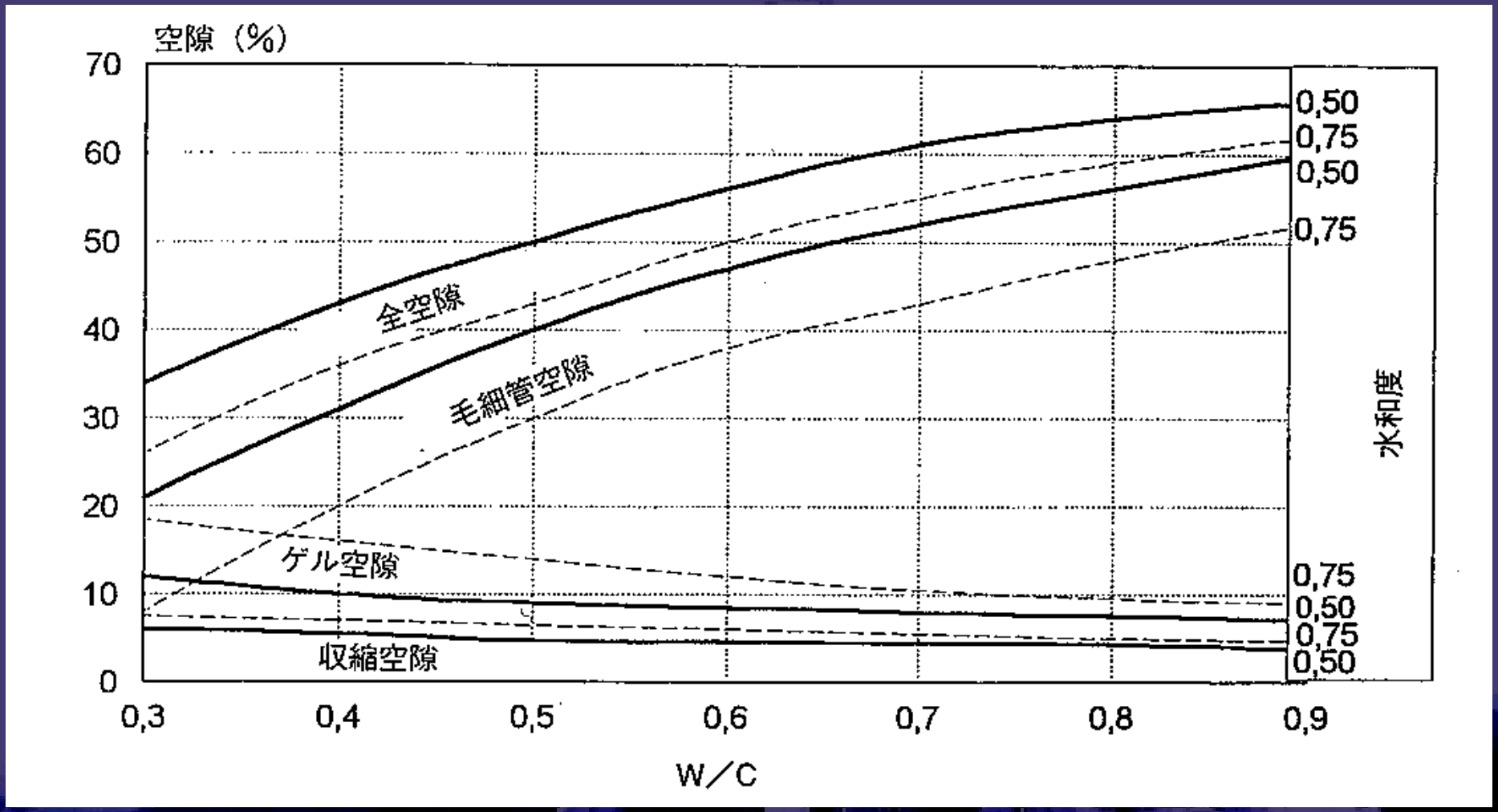
中性化，塩害，凍害，化学的腐食(侵食)，

アルカリ骨材反応，疲労の6種類に分類

●鋼材の変状は、

腐食，疲労に分類

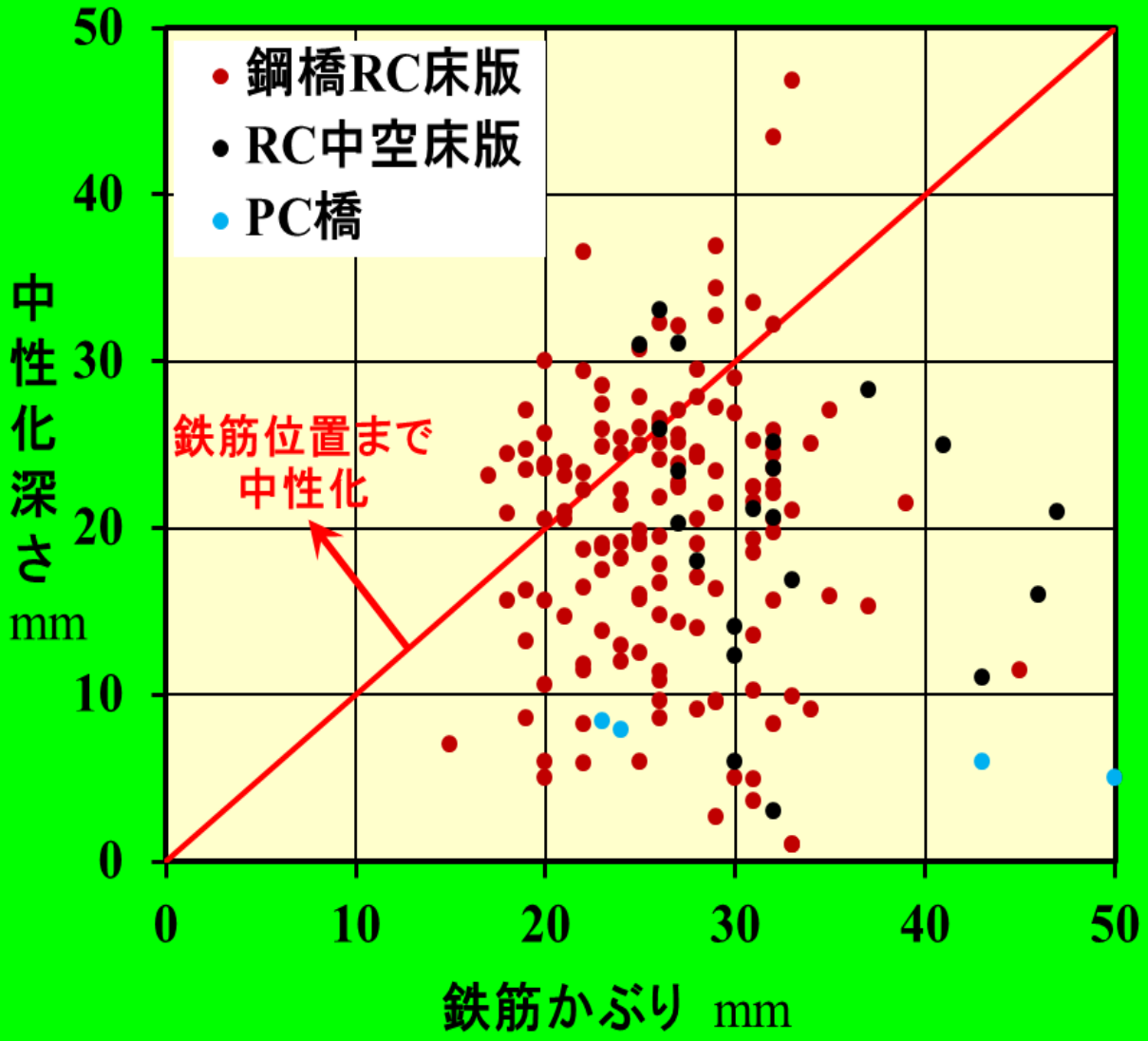
セメントペースト中の空隙割合と水セメント比、水和度の関係



中性化 *Carbonation*

ＲＣ中空床版（下面）

中性化の状況



東名における中性化 の実態

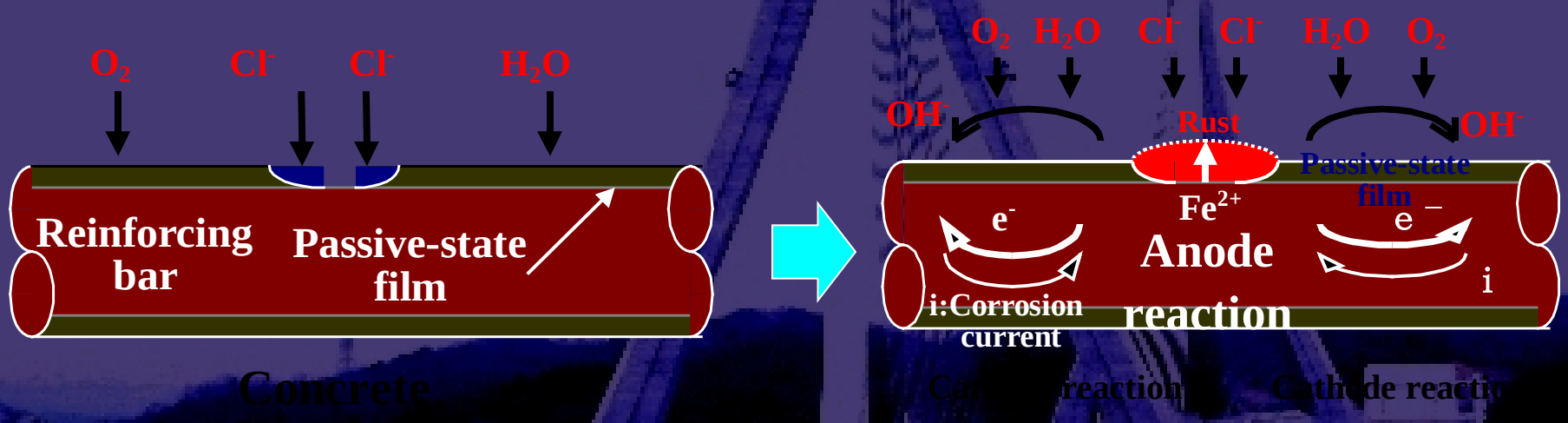
塩　害
Chloride induced deterioration

コンクリート中に塩化物イオンが侵入し、鉄筋表面に作用
→ 不動態被膜の破壊で、酸素と水の供給で鋼材が腐食

◯ *Anode reaction* $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$（鉄がイオン化）

◯ *Cathode reaction* $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$

（酸素が還元）



Mechanism of salt damage

塩　害
Chloride induced deterioration

凍結防止剤による桁端部の劣化

PC桁の桁端

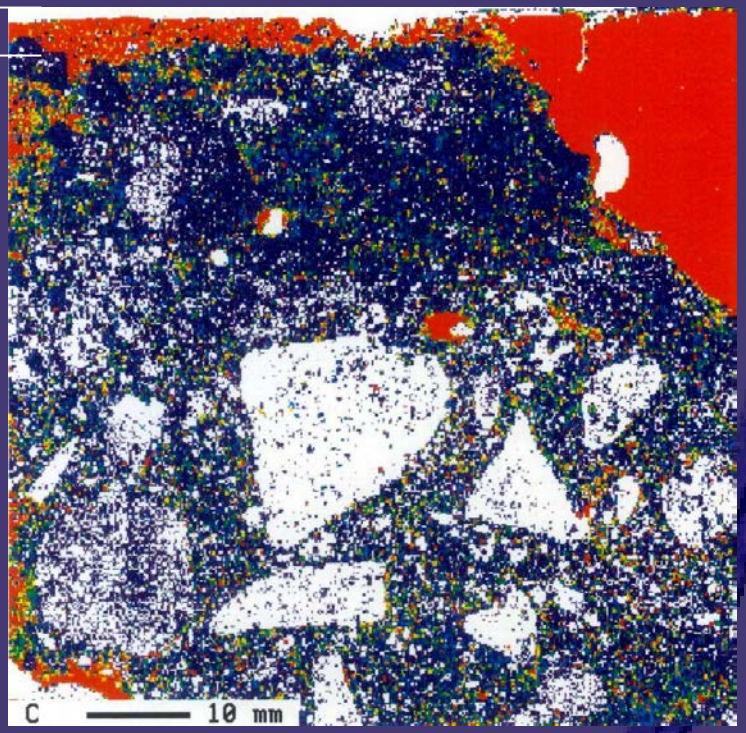
RC中空床版の桁端

凍結防止剤と疲労による床版上面の複合劣化

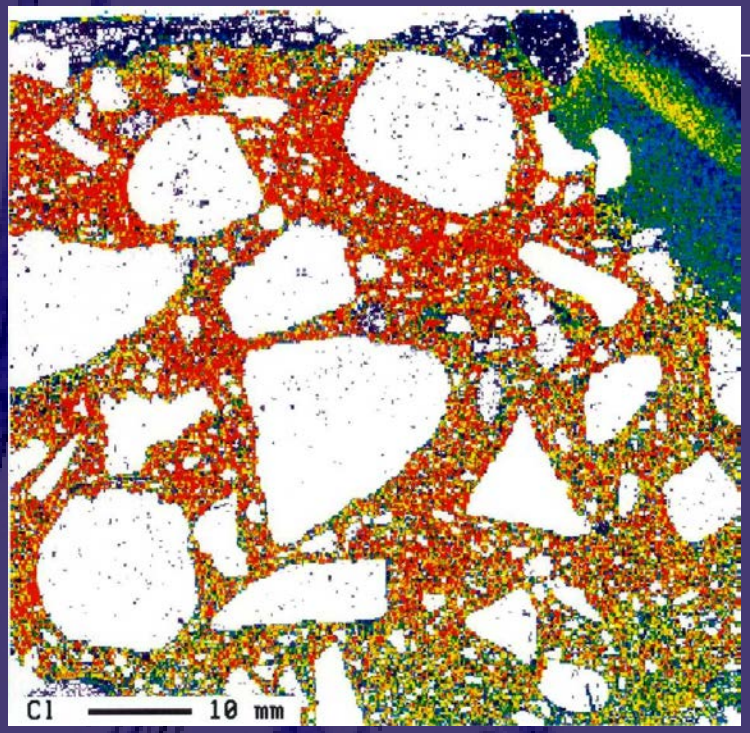
鋼橋RC床版

炭酸化境界部における塩素の濃縮

炭酸化領域



炭素の分布

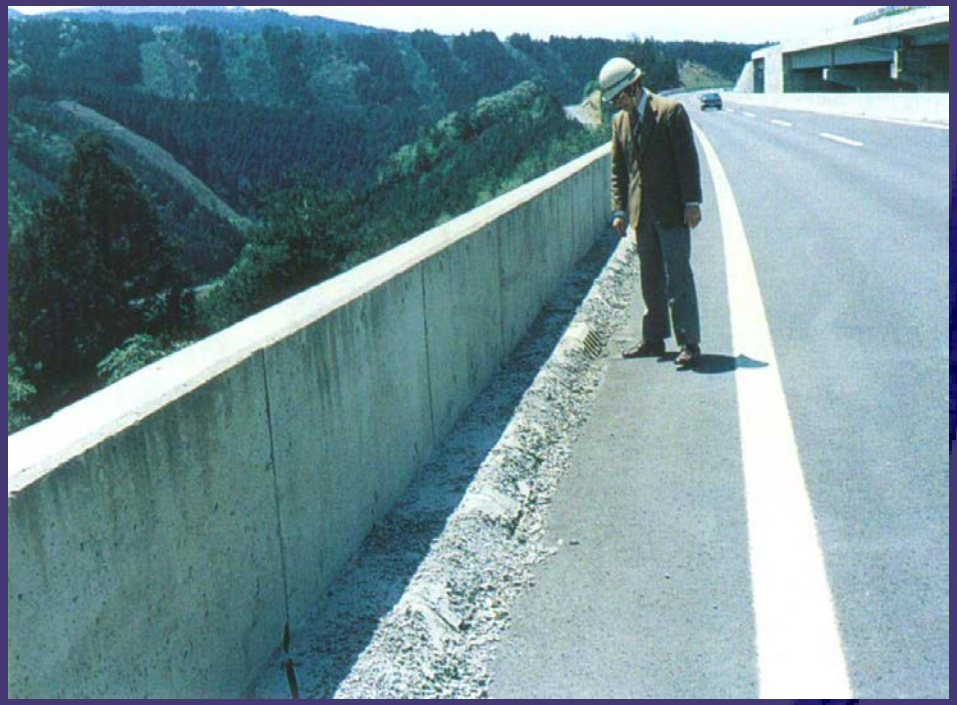


塩素の分布

塩分の濃縮

EPMA分析

凍害（凍結融解）



凍害（壁高欄）

化学的腐食（侵食）

モニタリング用に設置した
試験体（強酸性温泉）

付近のコンクリート構造物
（温泉施設）

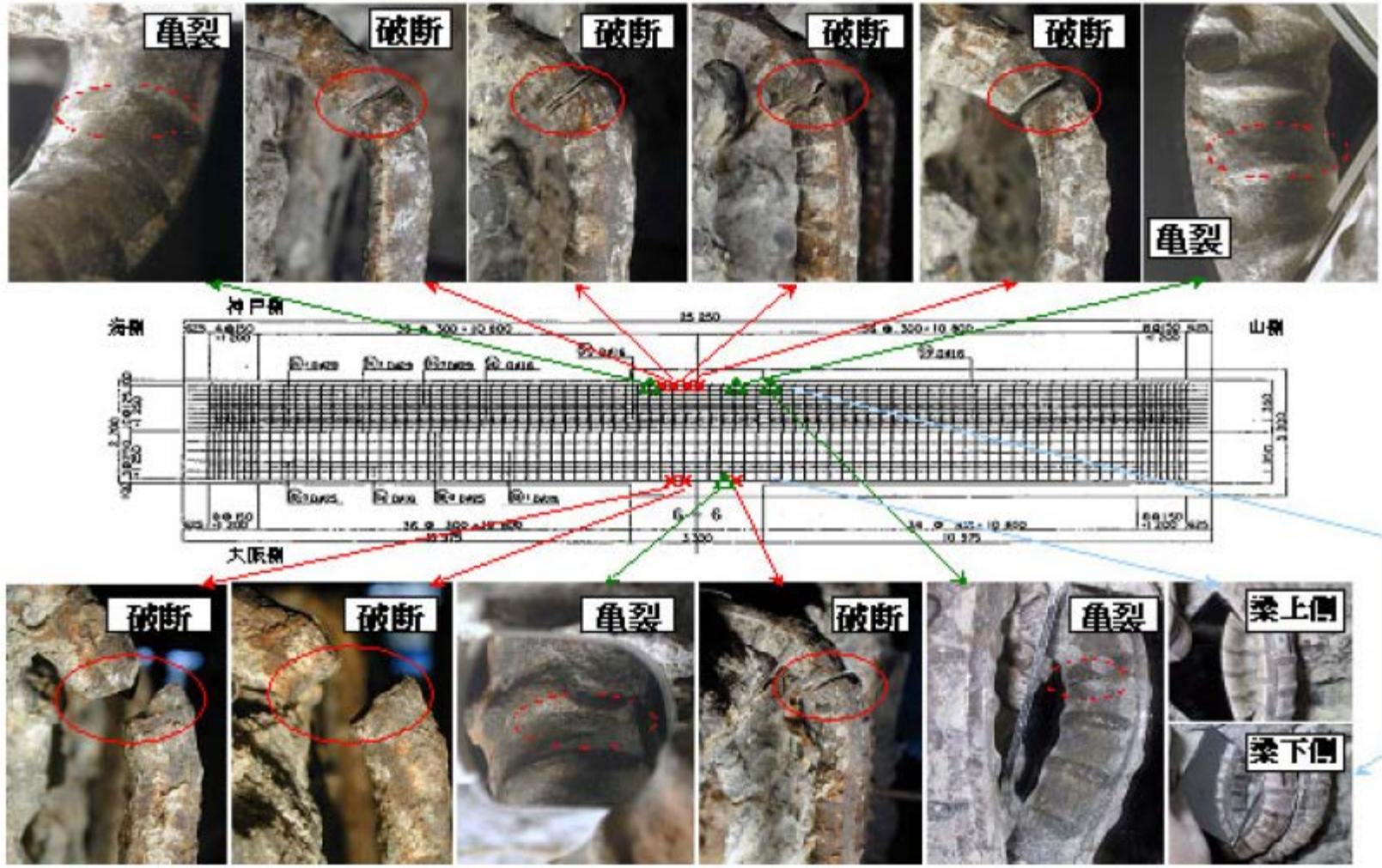
BEPPU MYOBAN Hot Spring

アルカリシリカ反応（ASR）

反応性鉱物とアルカリが反応し、アルカリシリカゲルが作られ、その膨張圧により、コンクリートのひび割れが発生

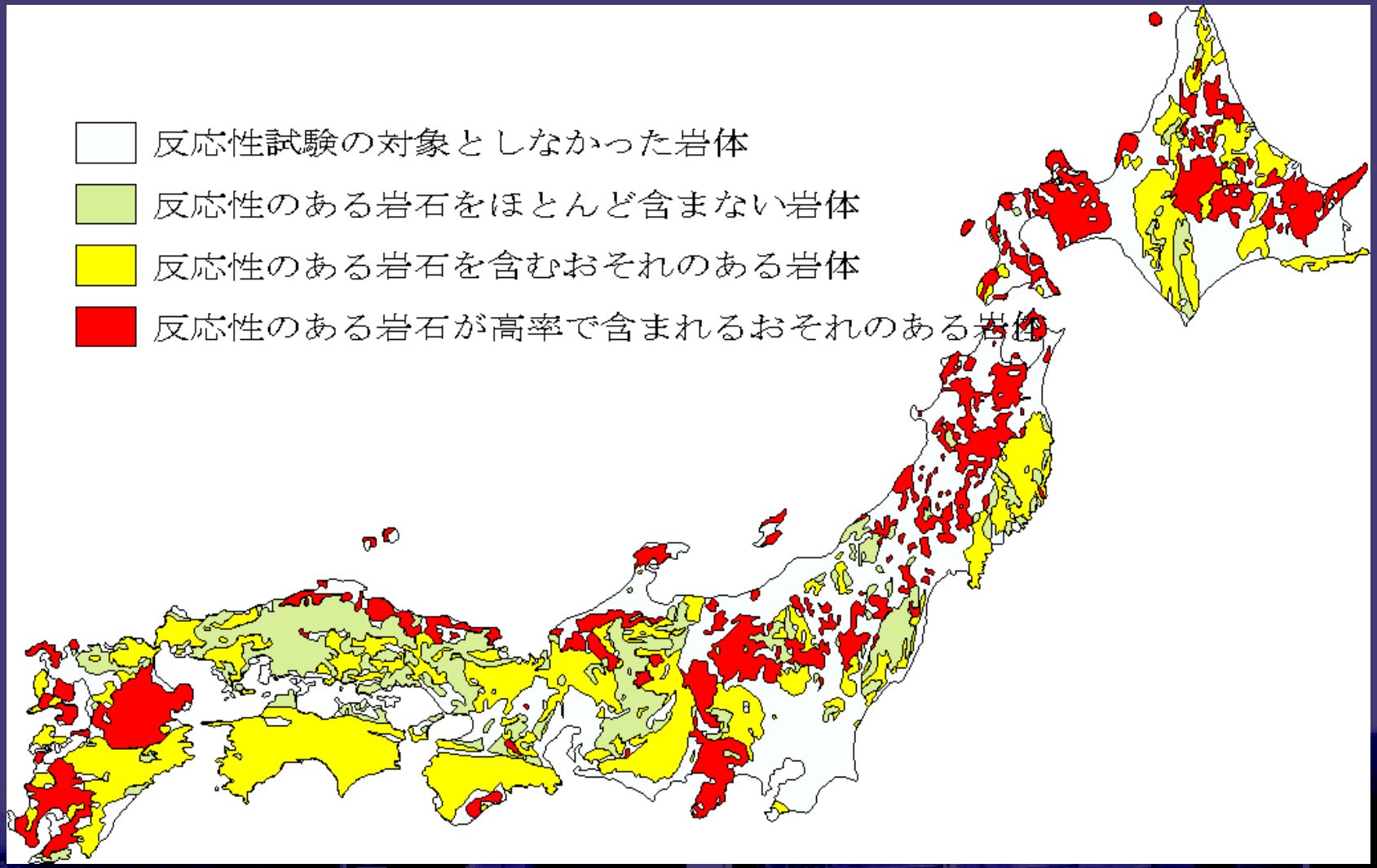
必要条件：反応性骨材＋アルカリ＋水

ASRによる鉄筋の破断事例



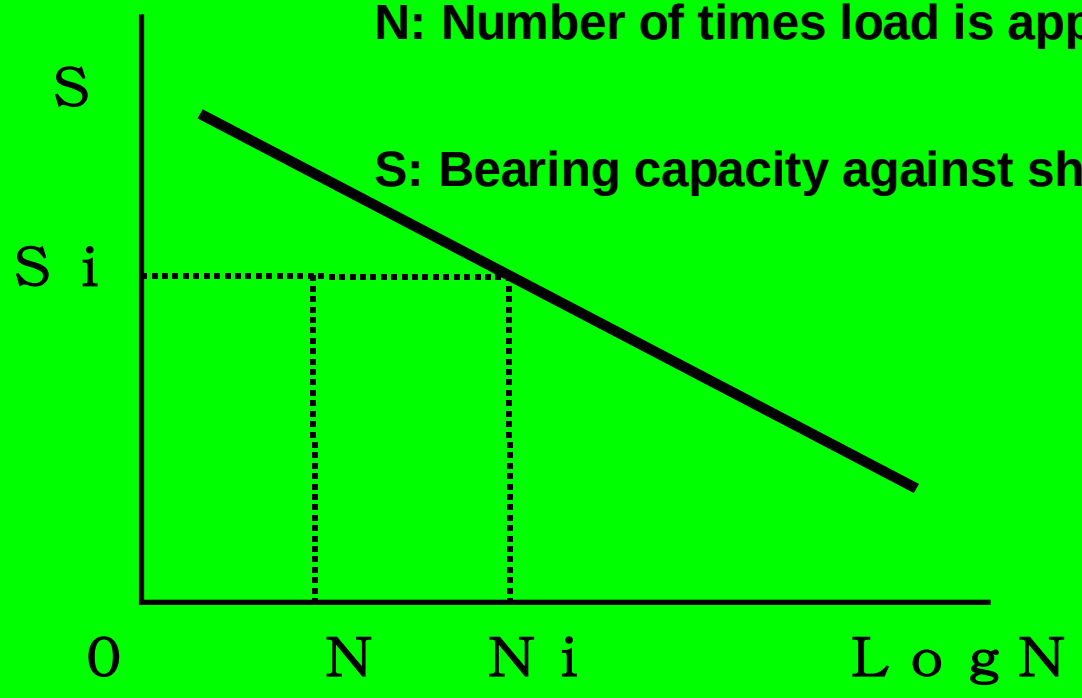
アルカリ骨材反応対策小委員会報告書―鉄筋破断の重み―，コンクリートライブラリー，土木学会

反応性骨材の分布状況


反応性試験の対象としなかった岩体
反応性のある岩石をほとんど含まない岩体
反応性のある岩石を含むおそれのある岩体
反応性のある岩石が高率で含まれるおそれのある岩体

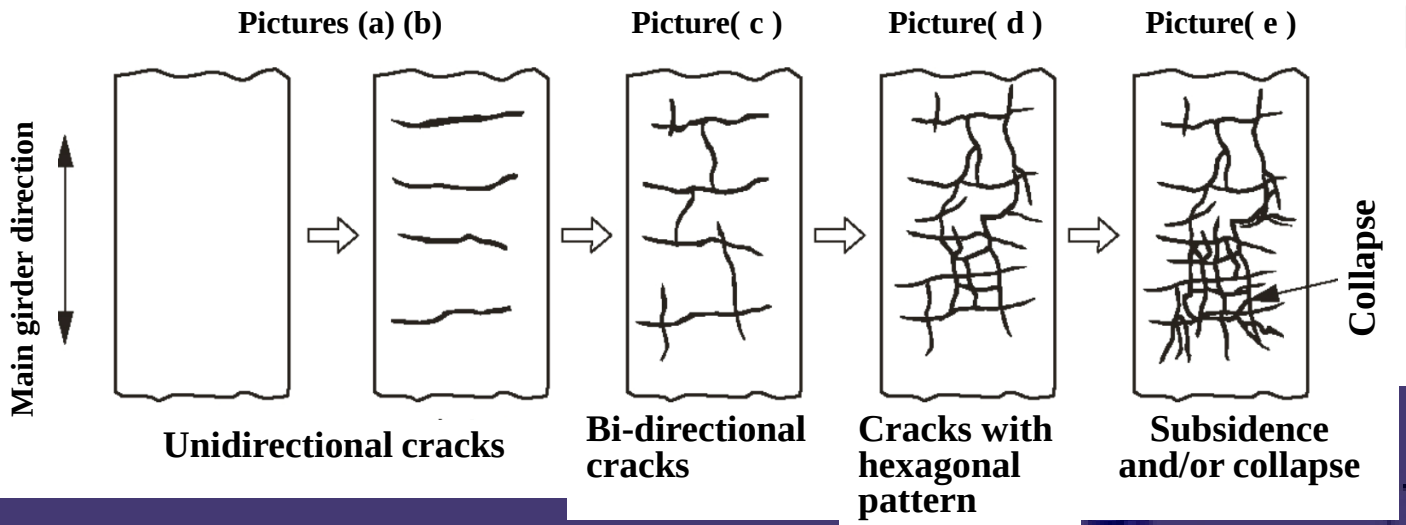
コンクリートの疲 労

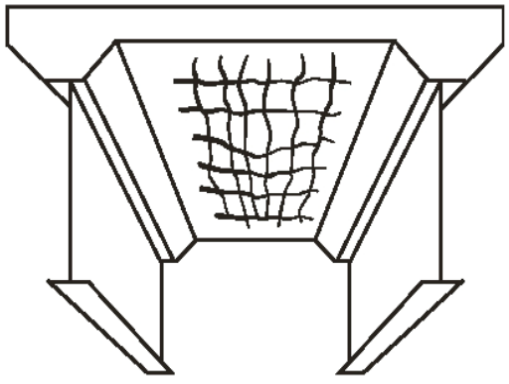
- S-N関係式 ： $Log\ N = a - b \cdot S,\ S = P/Po$
  線形累積被害則 (minor formula)
  $D = \Sigma\ (n1/N1) \rightarrow$ Fatigue failure occurs when D = 1.

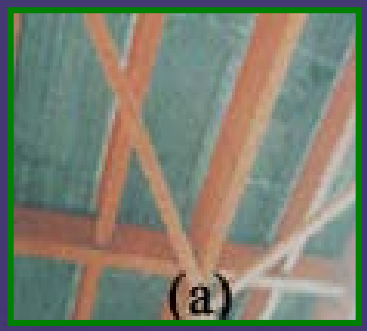


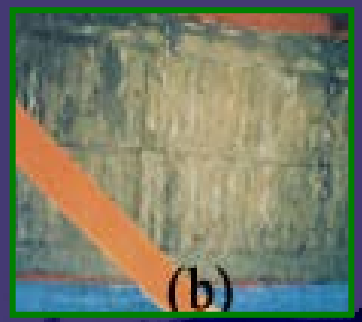
鋼橋RC床版

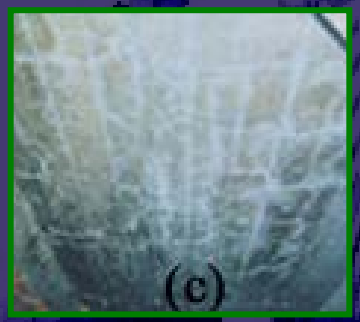
Fatigue of RC floor Deck Slab

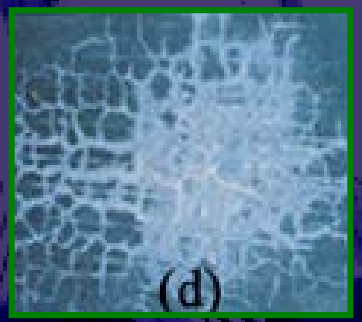


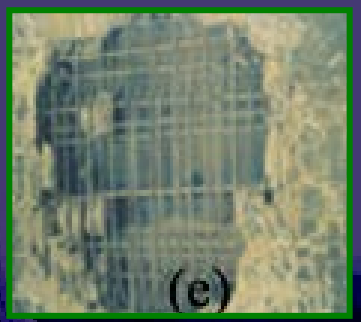






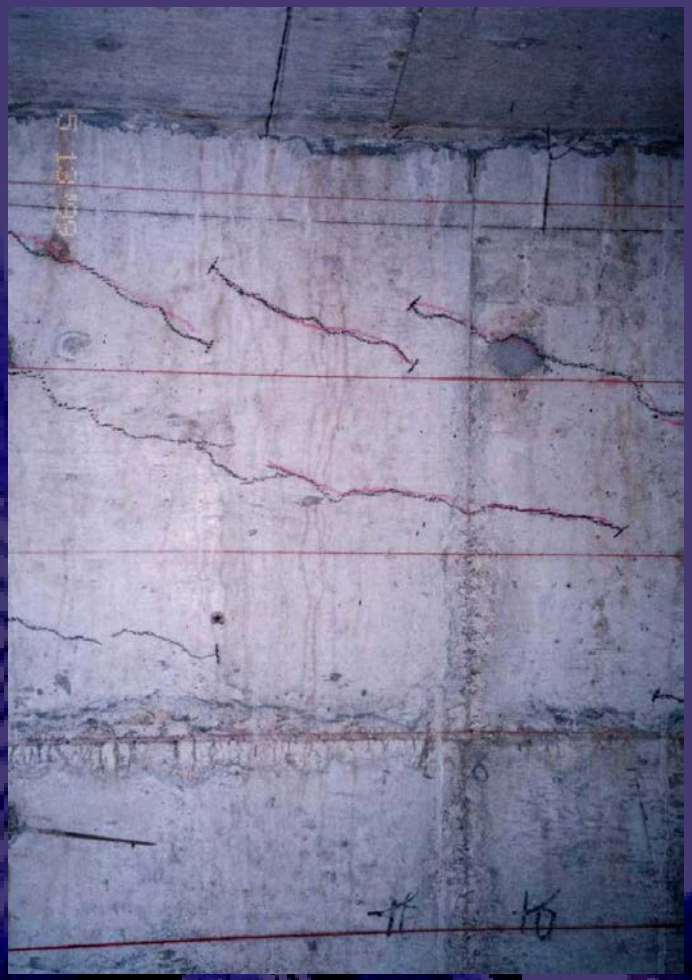






PCグラウト充填不良に伴う PC鋼材の破断によるひび割れ事例

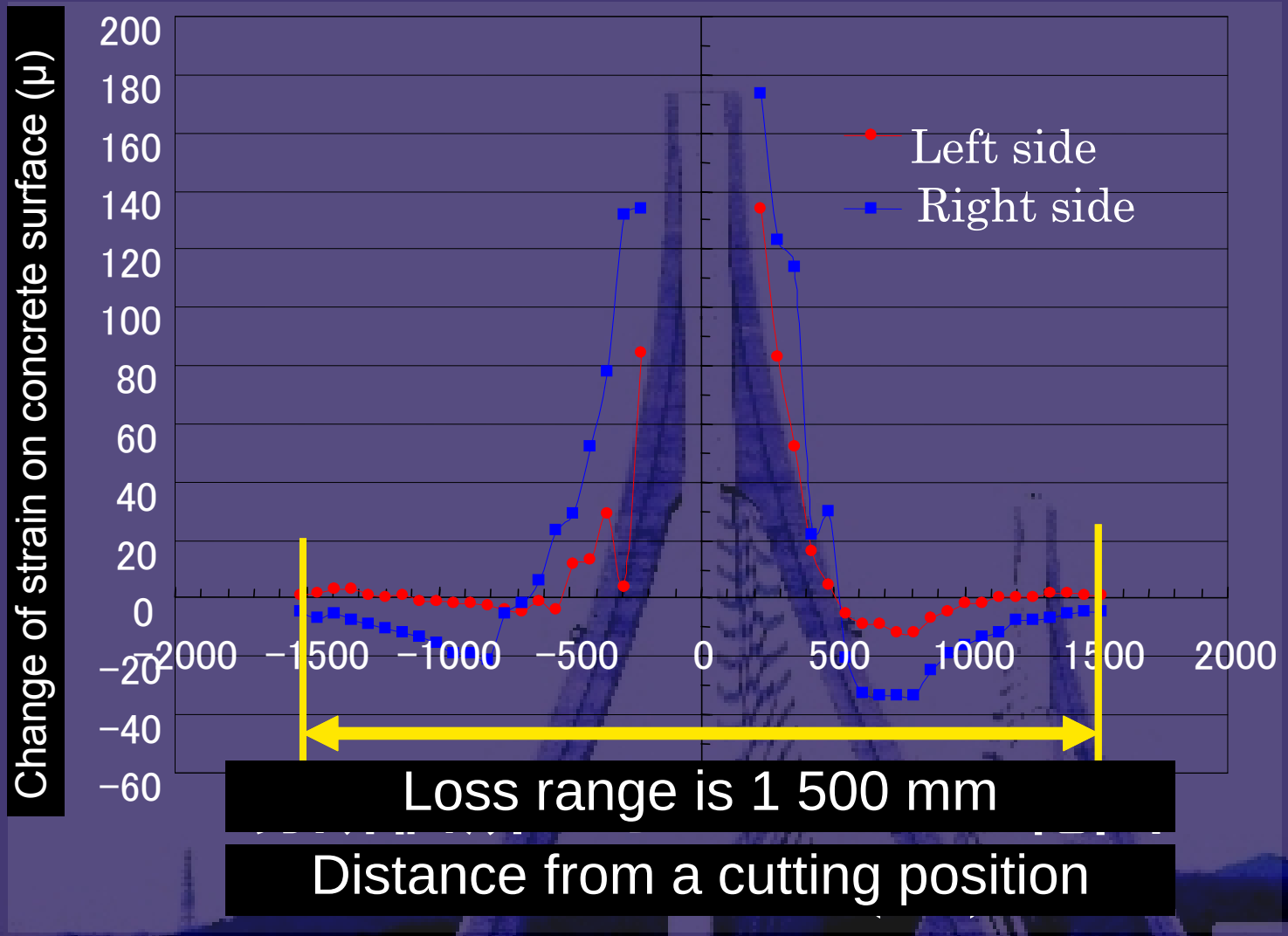
Cracks in web



Influence of PC tendons fracture

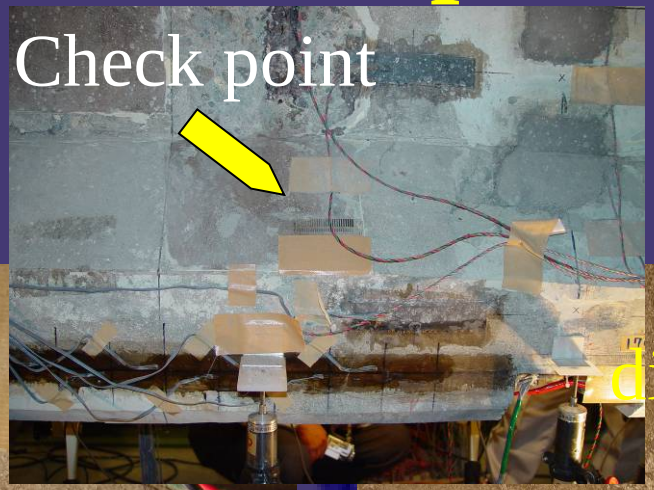
This girder is using 5 main cables (12φ7).
RI-NEXCO study influence of 2 cables broken.

Loss range of prestress



Loss range is about 65 times of a diameter

Inspection of loss prestress

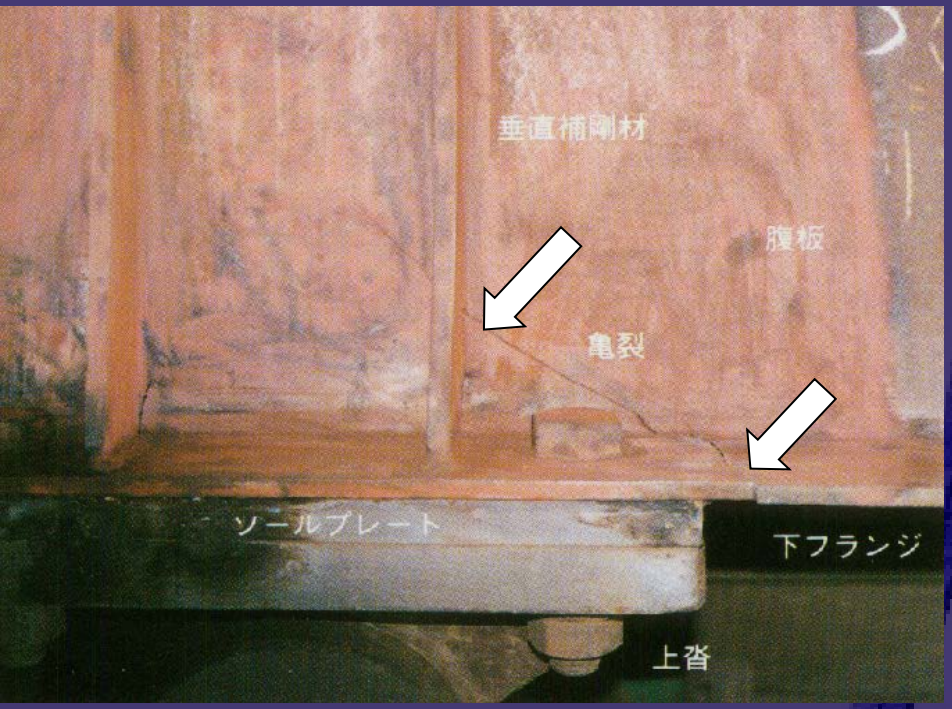


Checking crack is difficult at inspection

Maximum live load
Crack width 0.4mm

No live load (only dead load)
Crack width less than 0.05mm

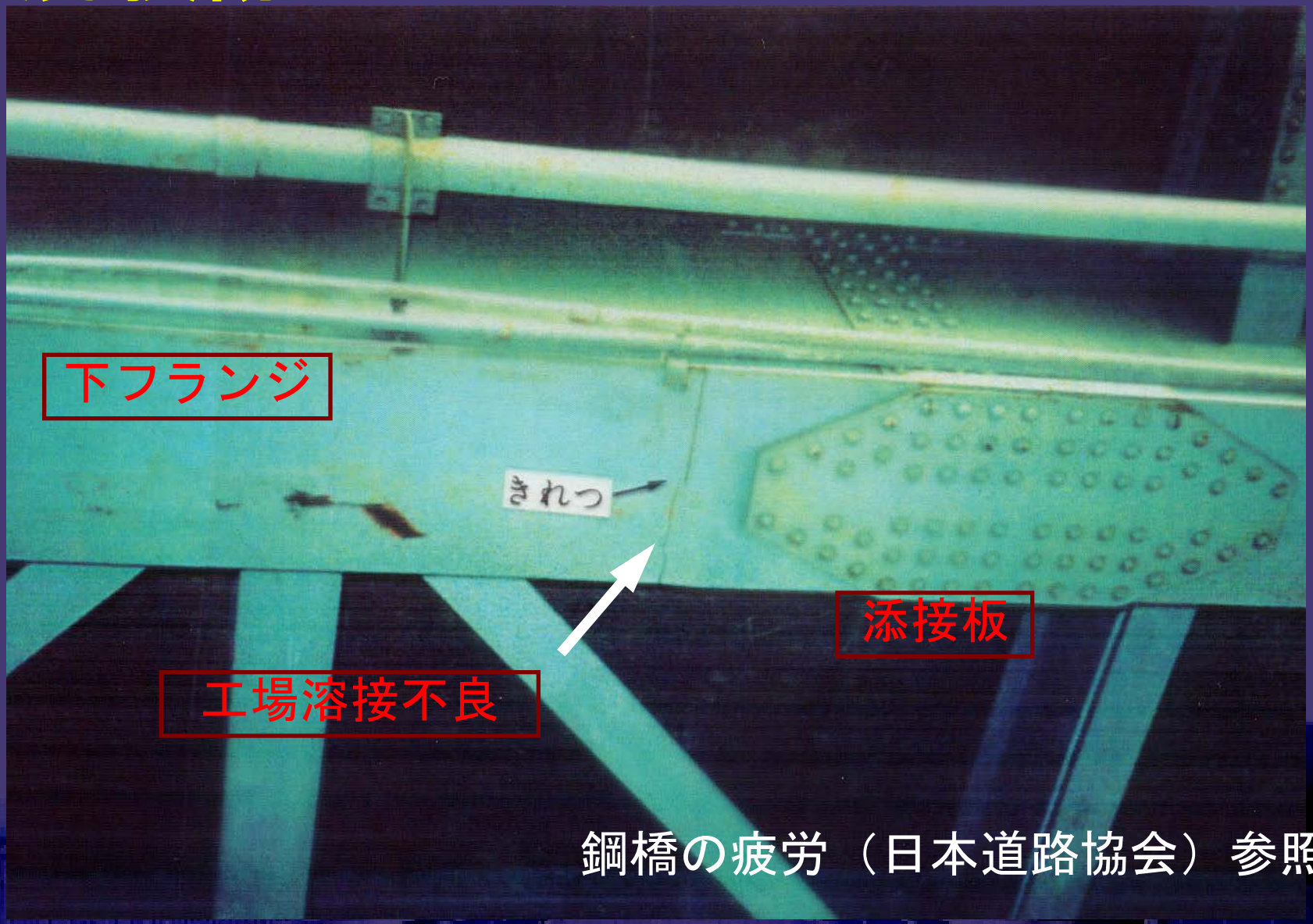
鋼桁における溶接疲労亀裂



主桁下フランジとソールプレート
（支承の回転拘束による応力）

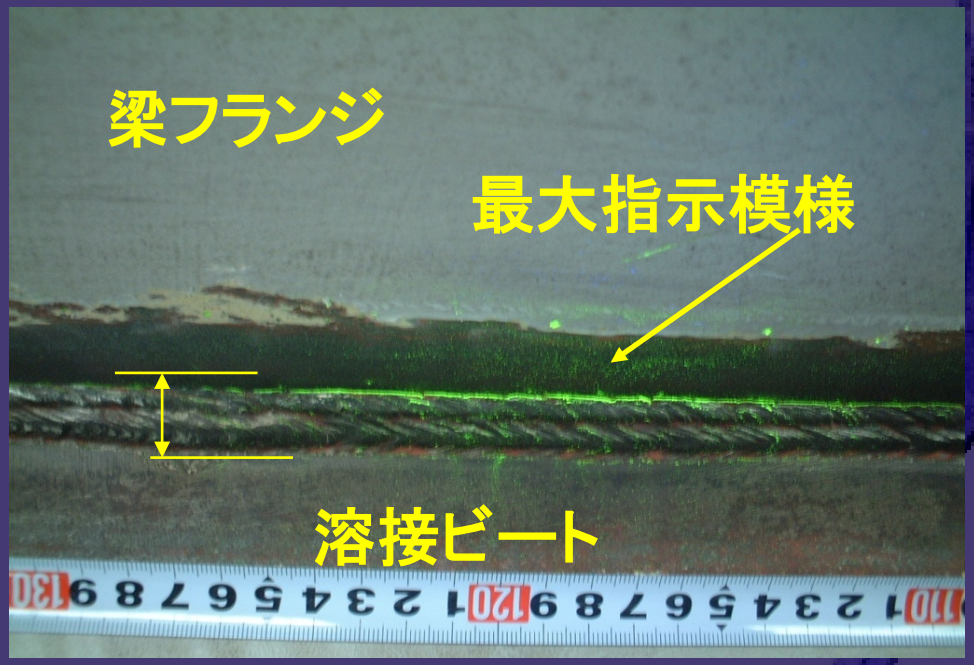
主桁ウェブと面外ガセットの継手部
（二次応力）

主桁下フランジ突き合わせ溶接部の疲労損傷



鋼橋の疲労（日本道路協会）参照

鋼製橋脚の溶接疲労亀裂



鋼製橋脚十字溶接部の亀裂例

鋼製橋脚隅角部の亀裂例

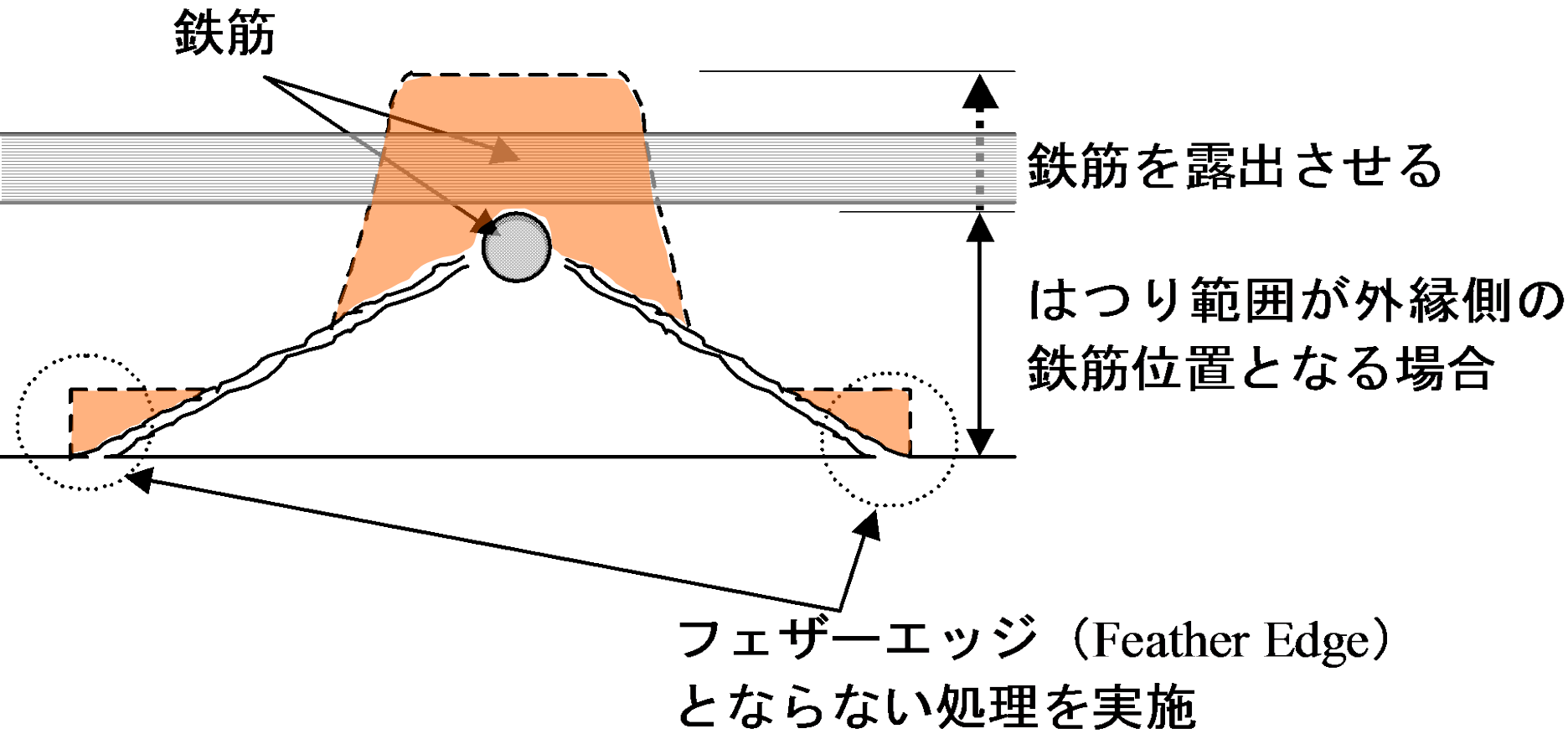
鋼床版での溶接疲労亀裂

鋼・コンクリート接合部の腐食（破断）

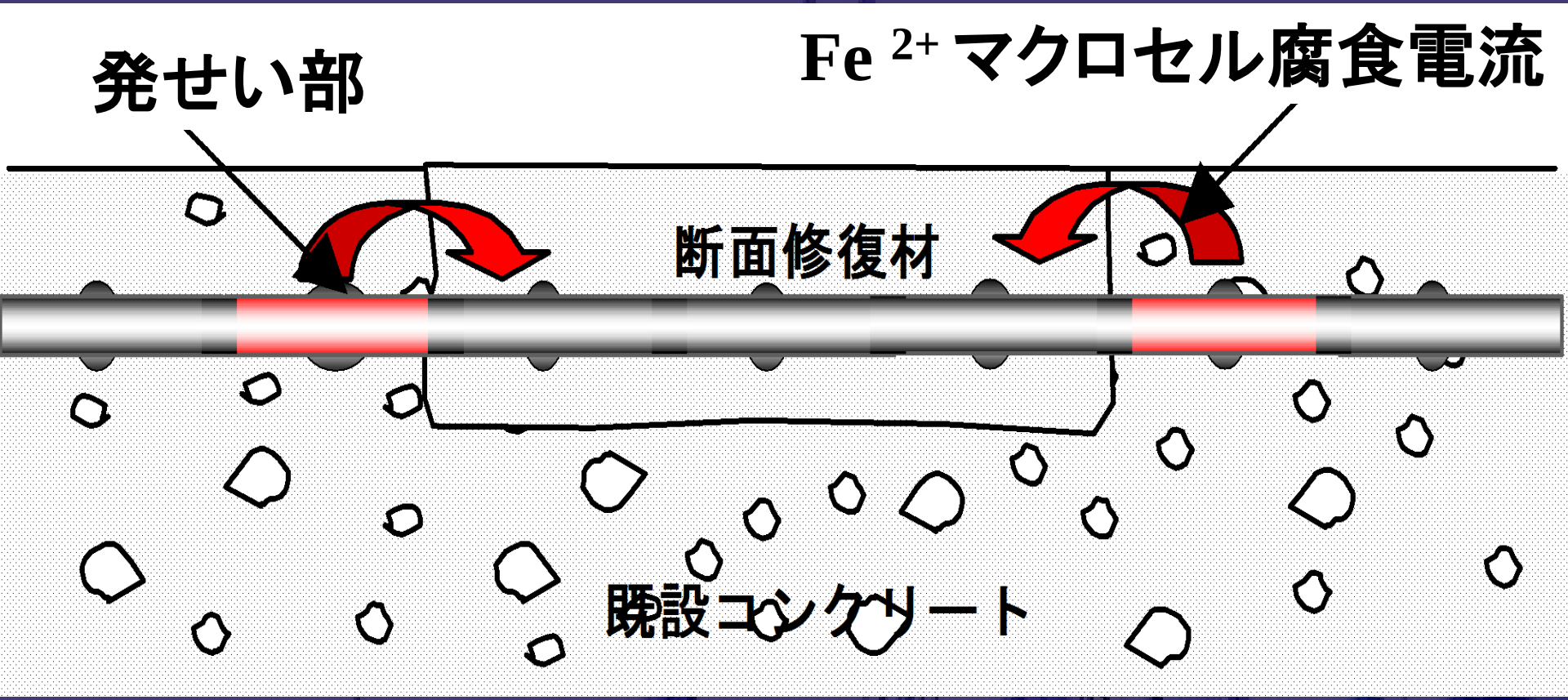
下路トラス橋斜材（国道23号線・木曽川大橋）

★ 橋梁の補修，補強技術

断面修復工法（コンクリートのはつり範囲）



マクロセル電流による鉄筋腐食

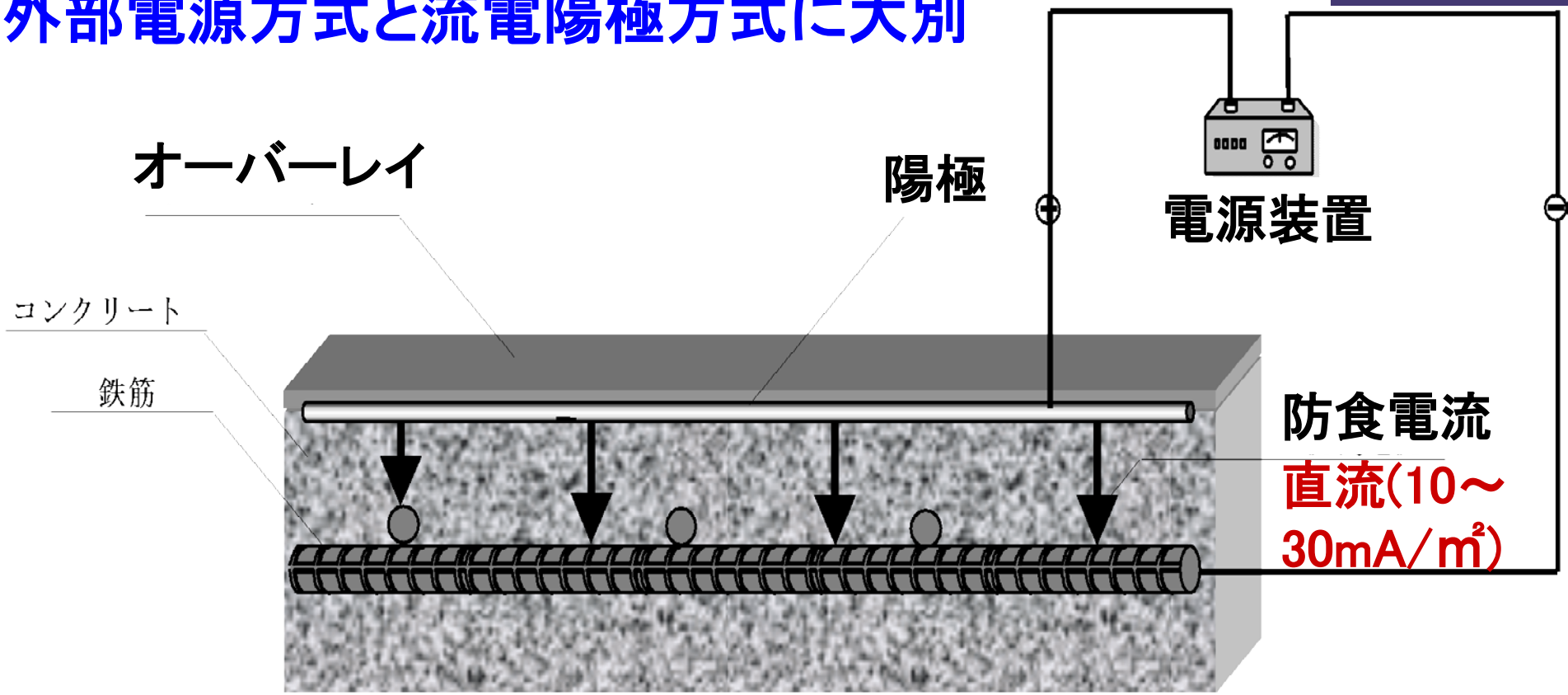


WJによるコンクリートのはつり

吹付け工法（乾式）の施工例

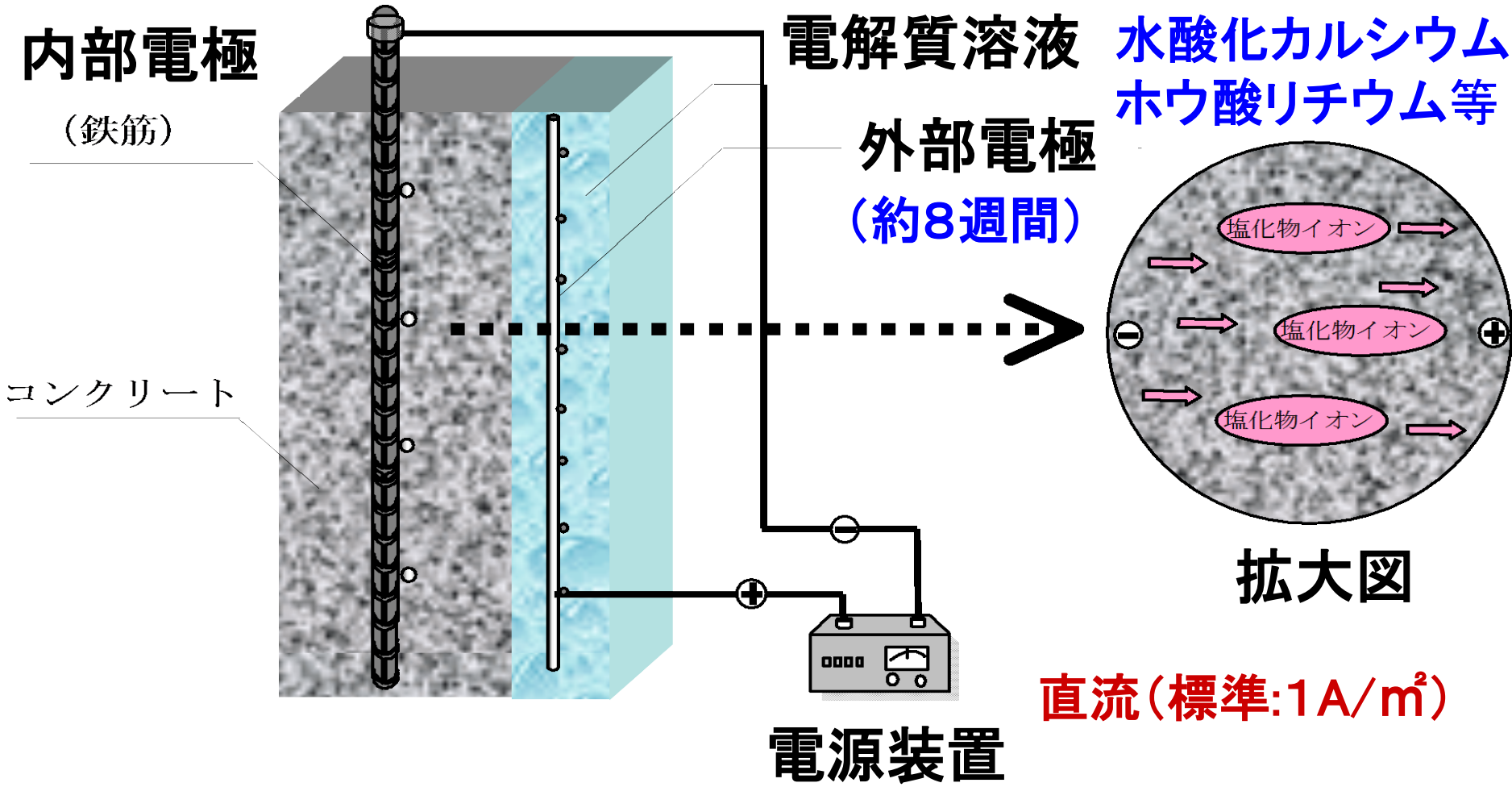
電気防食工法（面状陽極，外部電源方式）

外部電源方式と流電陽極方式に大別



※鉄がイオン化（Fe^{2+}）する腐食反応を抑制

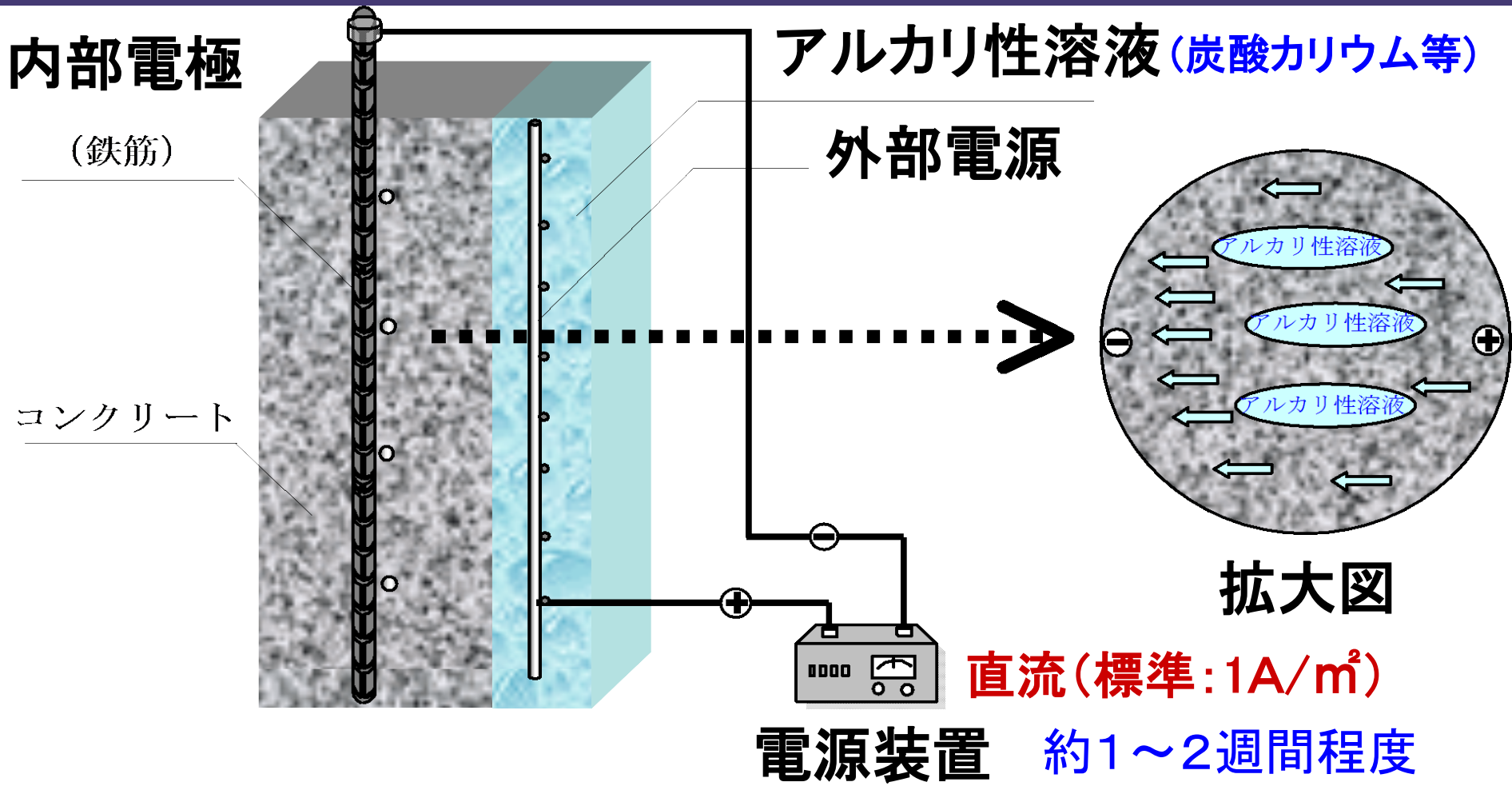
脱塩工法



直流（標準:1A/㎡）

※塩化物イオン（Cl^-）をコンクリート外（仮設陽極材側）に電気泳動

再アルカリ化工法



※アルカリ性溶液を鋼材に向かって電気浸透，pH 10.7

床版上面増厚工法

路面切削

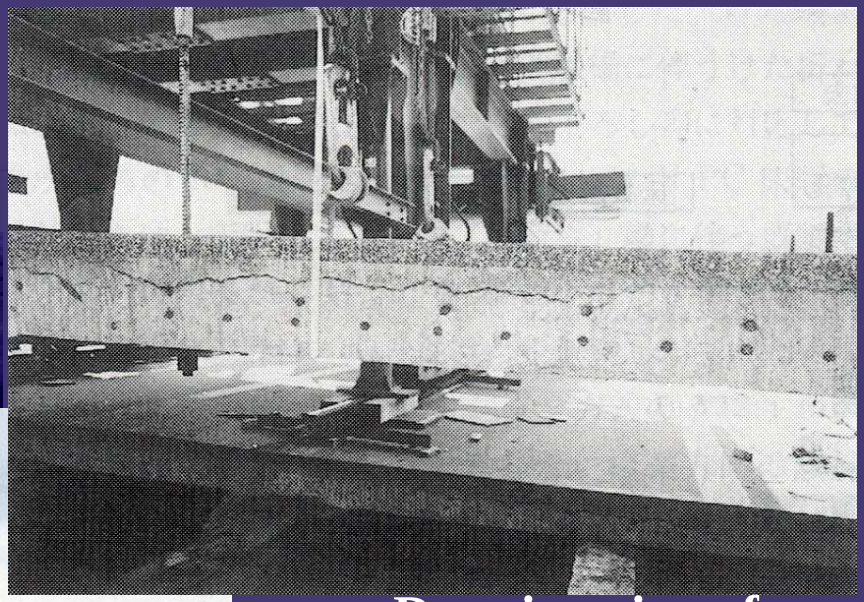
鉄筋組立

研掃

超速硬コンクリート

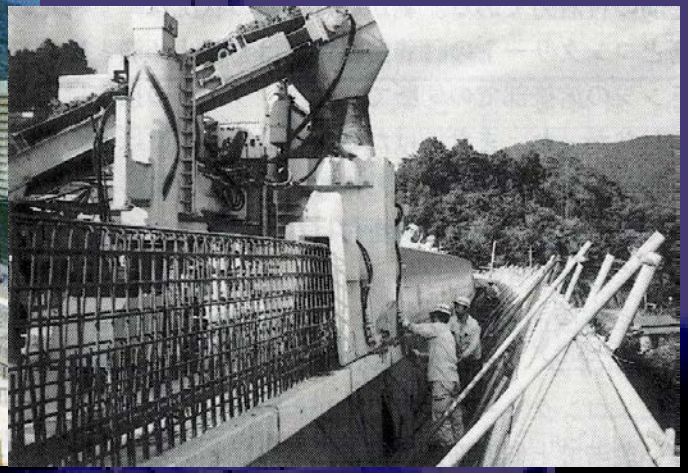
RC Deck Slab Replacement

Continuous steel plate girder bridge: Furukawato Bridge on Chuo Expressway



Deterioration of floor slab

Removal and reconstruction of floor slab



Use of Slip Form

炭素繊維シート接着工法による
床版桁の補強

炭素繊維巻立て

白化除去

養生中

東名　酒匂川橋

外ケーブル工法

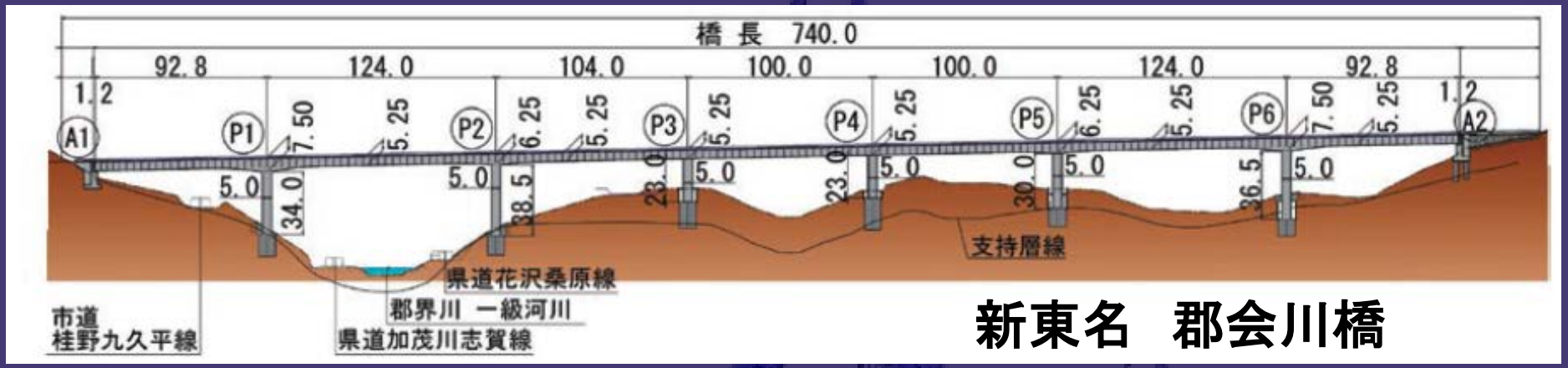
東名 小柳津高架橋
RC3径間連続中空床版橋

中央道　北の沢川橋
PC単純T桁橋

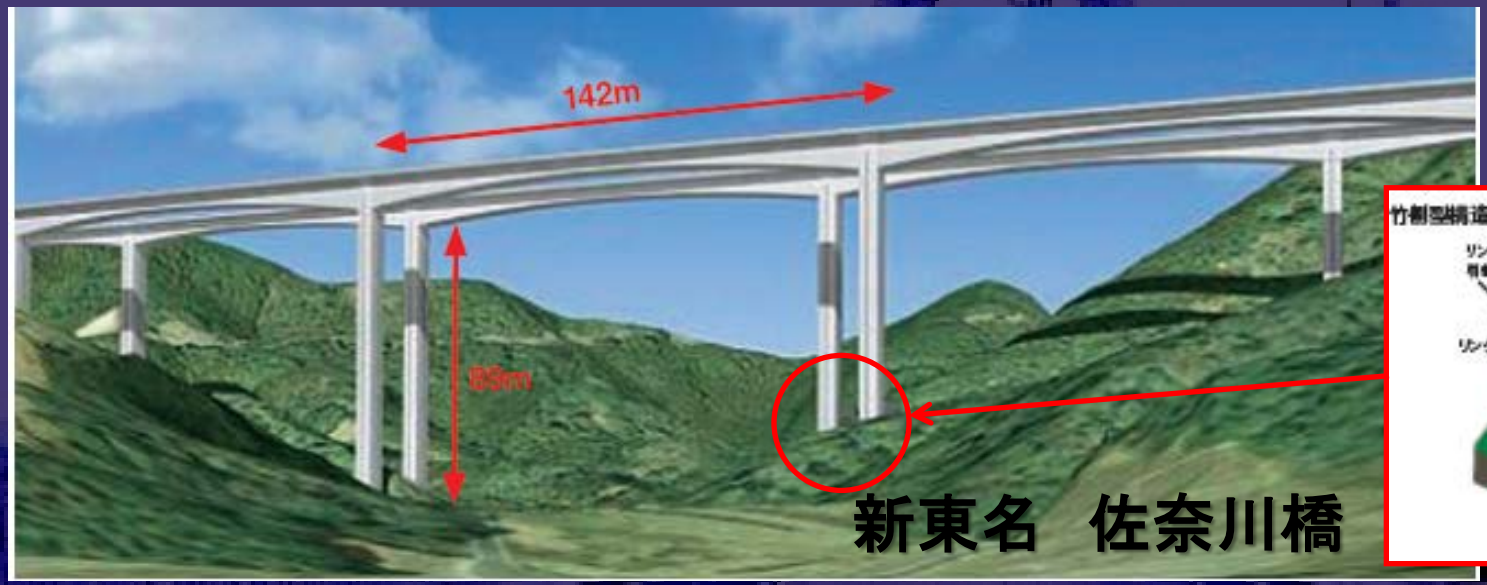
★ 新設橋での取組み

維持管理しやすい構造型式の採用（1／2）

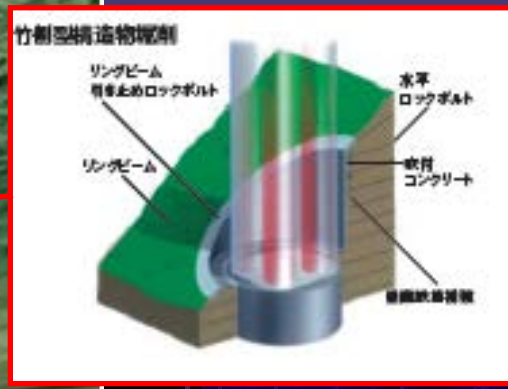
■桁の連続化と連続ラーメン構造



新東名　郡会川橋

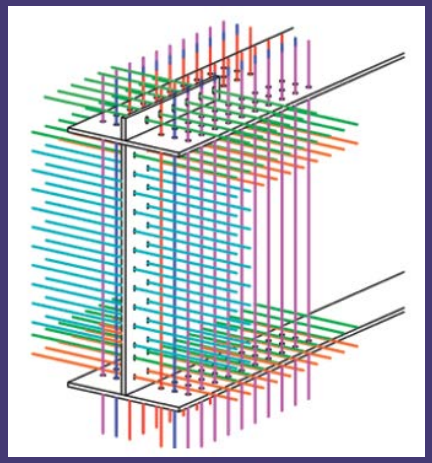


新東名　佐奈川橋

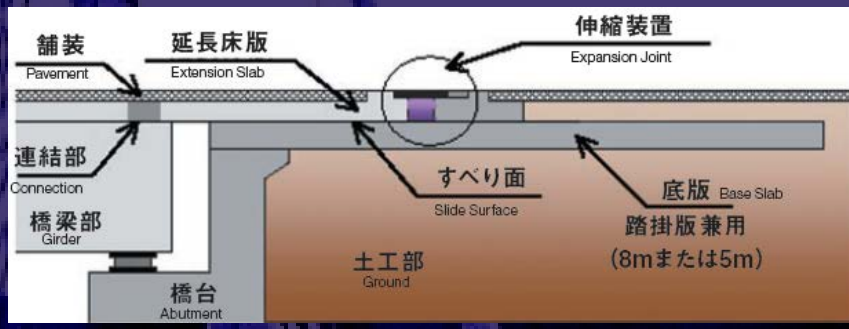


維持管理しやすい構造型式の採用（2／2）

■上下部構造の剛結化と橋梁部の伸縮装置の省略



ポータルラーメン橋



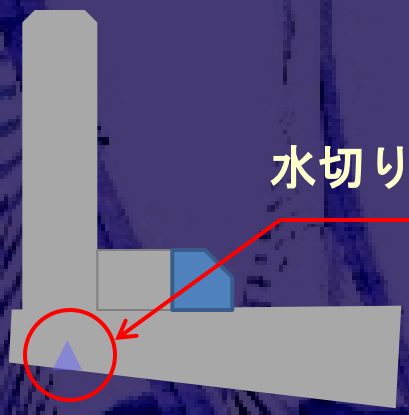
延長床版

設計面（材料含む）の主な取組み（1／4）

◆設計時の「かぶり」に施工誤差をプラス
⇒現場打ち+1cm，工場製作のPC構造+0.5cm

◆コンクリート製壁式高欄の壁厚の増厚とVカットの廃止
⇒壁厚（20cm→25cm），Vカット部の形状変更

現在の壁式高欄
（１９９０年７月以降）



旧タイプの壁式高欄
（１９７９年４月）

設計面（材料含む）の主な取組み（2／4）

◆コンクリートの圧縮強度の最低値を３０N/mm^3

⇒ W/C≦50%　∵24N/mm^3→55%以上（名神:47%）

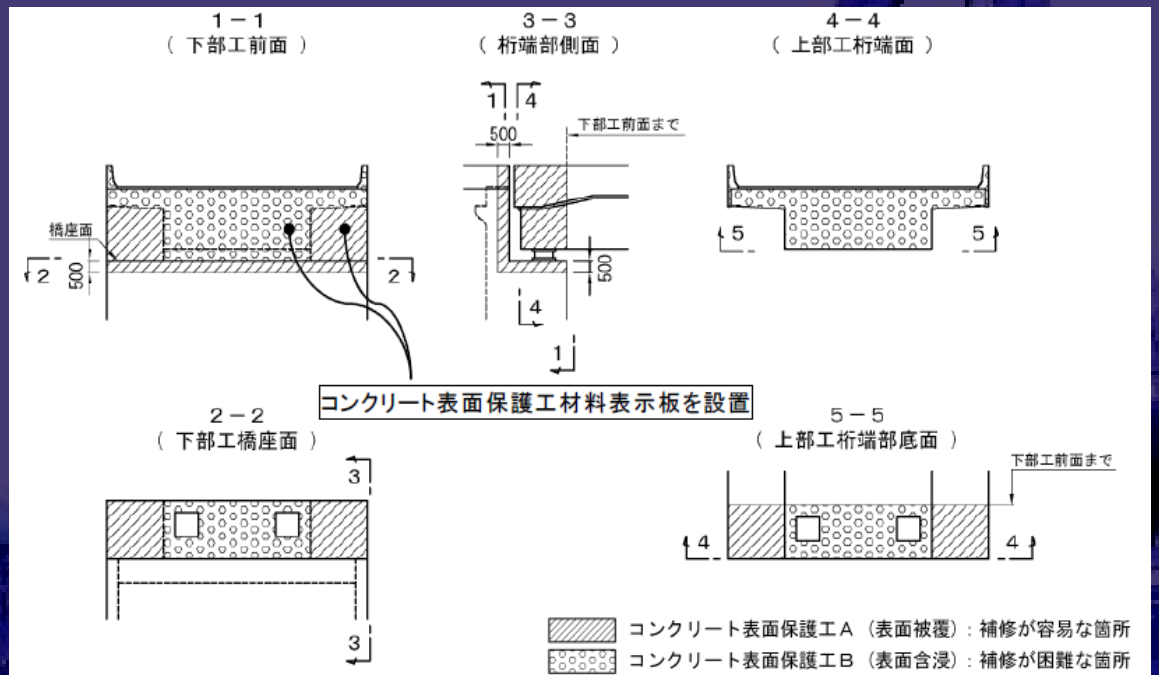
◆水回りの処理

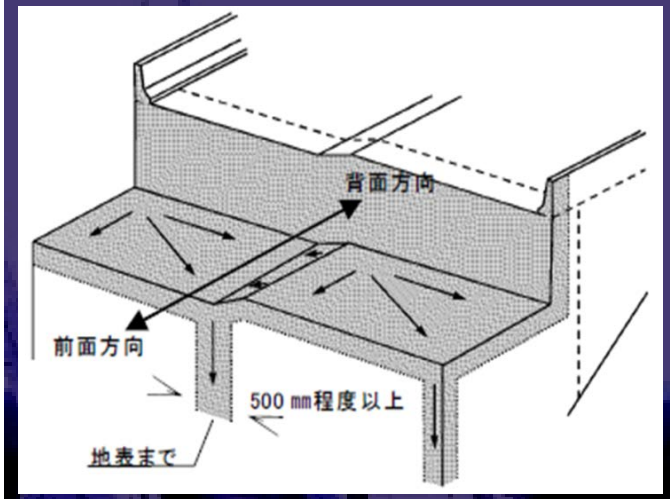
表面含浸:一般に安価で，スプレーガンを用いて再含浸が可能

→狭隘部に使用

表面被覆:補修時に既設被覆材の除去作業が必要

→補修の作業スペースが確保できる箇所に使用

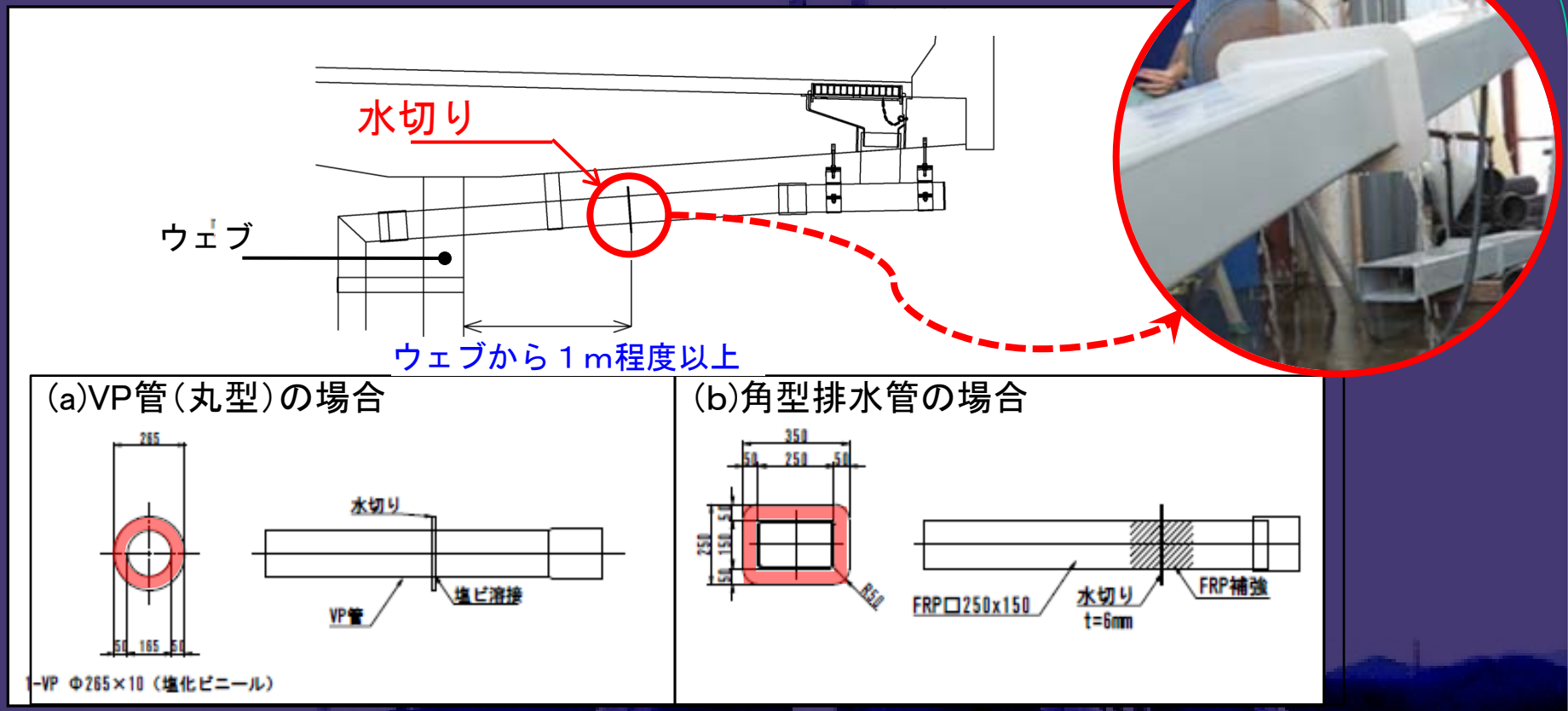




設計面（材料含む）の主な取組み（3／4）

◆排水装置の改善

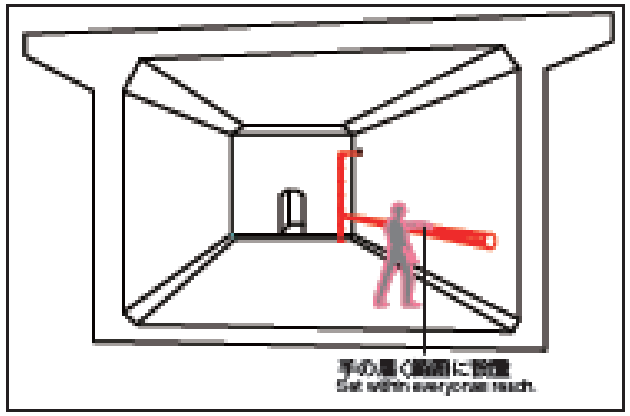
➢水切り板の設置

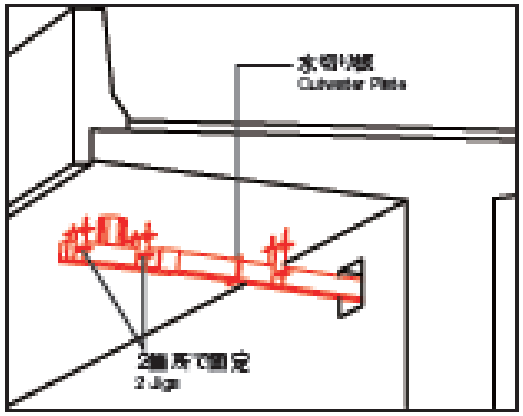


•漏水した場合でも、排水管を伝う水を、桁本体に影響を与えない位置で落とす。

設計面（材料含む）の主な取組み（4／4）

◆維持管理を考慮した排水装置

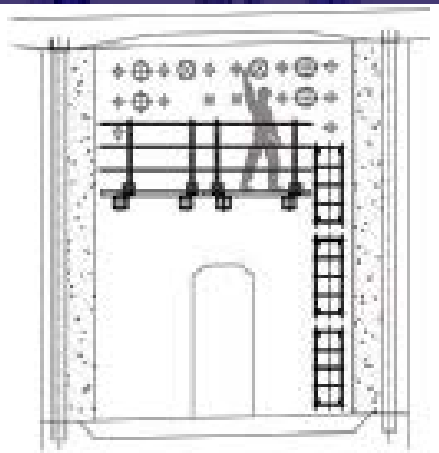




排水管の設置の例

排水管の補強の例

◆維持管理を考慮した点検設備



桁内照明と点検設備の設置の例

★ 新技術・新工法

浸透型接着剤による微細ひび割れ補修（1/2）

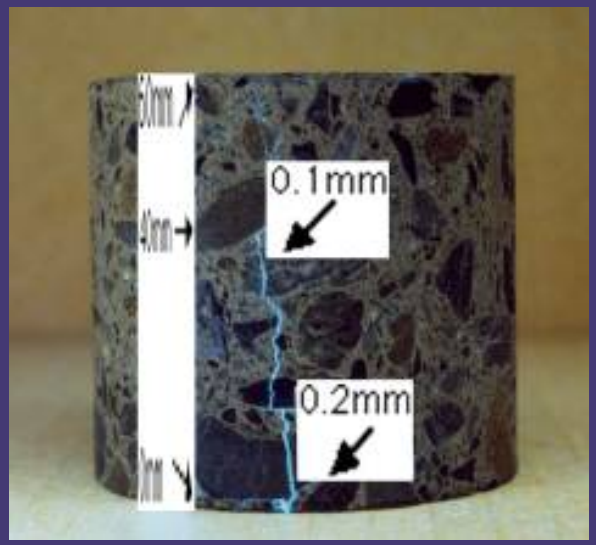
■従来工法（注入工法）

下地処理（清掃） → 座金取付 → シール → 注入 → シール材等撤去

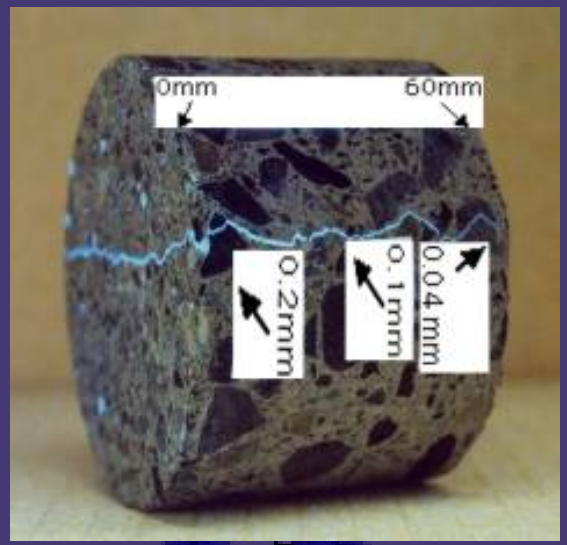
下地処理（清掃） → 塗布充填

１／２以下の安価な施工費

浸透型接着剤による微細ひび割れ補修(2/2)

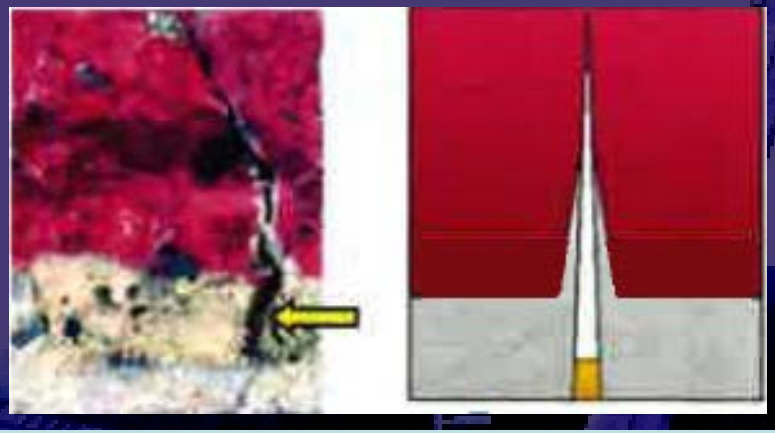


上向き塗布
浸透深さ30mm



鉛直面塗布
浸透深さ60mm

下向き塗布
浸透深さ300mm



微細なひび割れでも放置すると，ひび割れから劣化が進行するが，表面をひび割れ注入すると劣化の進行が無い【土研提供】

床板増厚が施された床版の接着注入による補修

【概　要】

床版上面増厚の疲労劣化に伴う新旧コンクリートの打継ぎ面の剥離に対し，樹脂注入を行い応急処置を行う工法。

・変状の規模や交通状況に応じ，舗装上面や床版（舗装切削）面，床版下面からの樹脂注入が可能。

・床版補修や，防水層と舗装の接着など幅広く対応可能。

舗装上面

床版面

床版下面

増厚床版への樹脂注入による補修実績（AT342）

【実　績】

H13年の東名高速　横浜管理事務所（当時）管内から現在まで50橋を超える補修実績を有。

【補修後の状況】

東名高速　横浜管内（H14施工）

AT342充填
約0.5mm～3mm
既設床版と増厚床版の打継目に充填

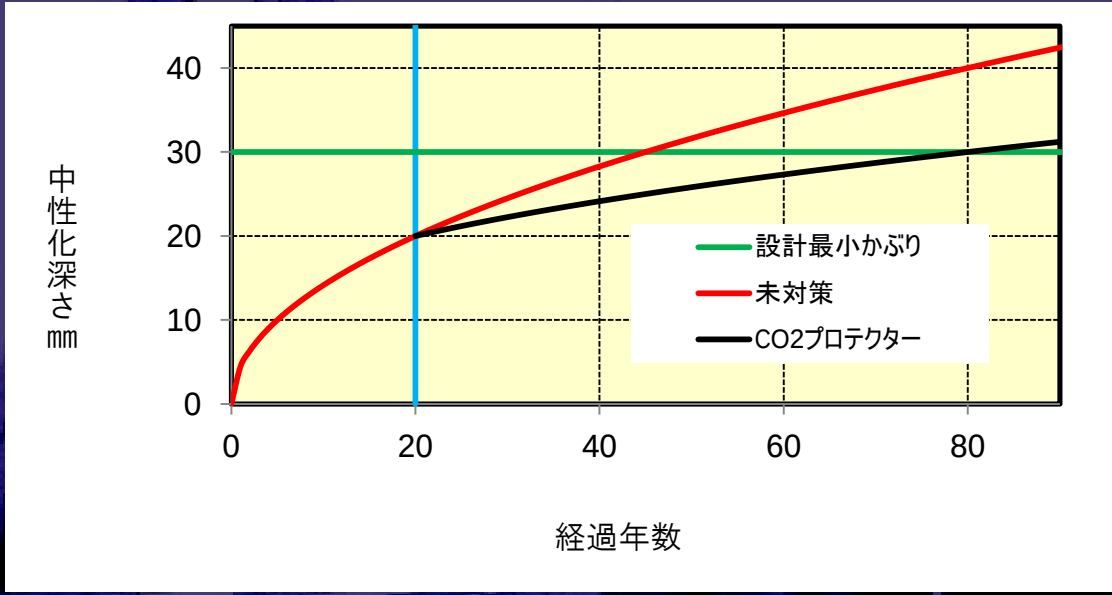
AT342充填
約2mm～5mm
既設床版の水平クラック（レンズ状）にも充填し，10年間変状無し

中央道　松本保全管内
切り出し床版（H24施工）

中性化抑制剤の開発（CO2プロテクター）

① 環境への高い配慮	延命化による廃棄物量の減少
② 施工後の管理が容易	外観を変化させないため，変状調査が可能
③ 優れた経済性	有機系表面被覆工法に比べ低コスト
④ 高い耐久性	コンクリート構造物と同等の長期耐久性
⑤ 高い中性化抑制率	コンクリートの中性化進行を50％以下に抑制

施工状況

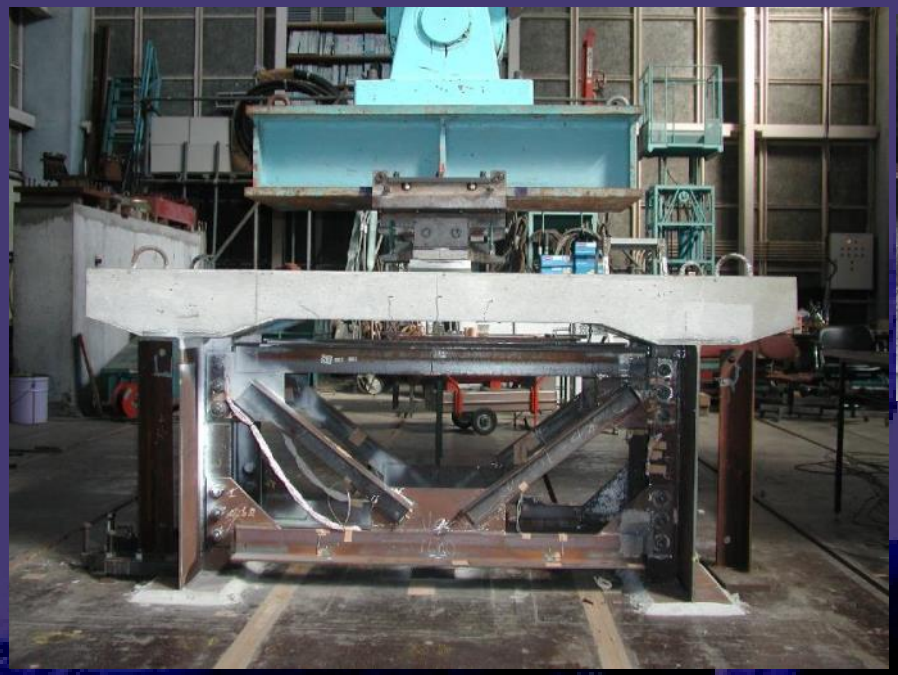


鋼材の疲労亀裂の塗布補修接着材

【概　要】

鋼構造物の疲労亀裂に対し，塗布するだけで亀裂に浸透・充填する無溶剤型のエポキシ接着剤

・ストップホールに代わる補修材として開発。亀裂の進展抑制効果を得るため圧縮弾性係数を2,700MPaと設定。

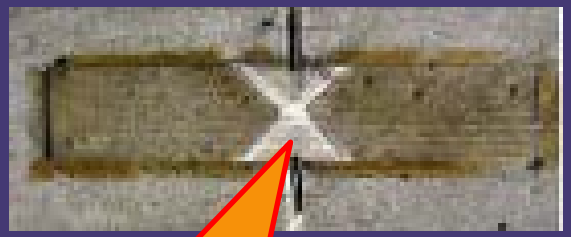


アルファテック380ST

※NEXCOグループで特許出願

コンクリート構造物のひび割れの検知センサ

ひび割れ発生



白っぽく変色

ひび割れ拡大

変色部分が拡大

■ＲＣ・ＰＣ構造物のひび割れを

◆見た目で検知（誰でもわかる）

◆簡単施工

◆測定機器が不要

◆安い！

製品イメージ（ＦＲＰ）

施工事例（NEXCO中日本）

外ケーブル定着体付近

外ケーブル曲げ部

鋼桁とPC桁の接合部付近

下フランジ部

桁内のリブ部

PCグラウトの再注入

点検～診断～注入（工法・材料）～評価までの一連のシステム開発

PCグラウトの充てん不足

ファイバースコープによる点検

シース内

錆の状況

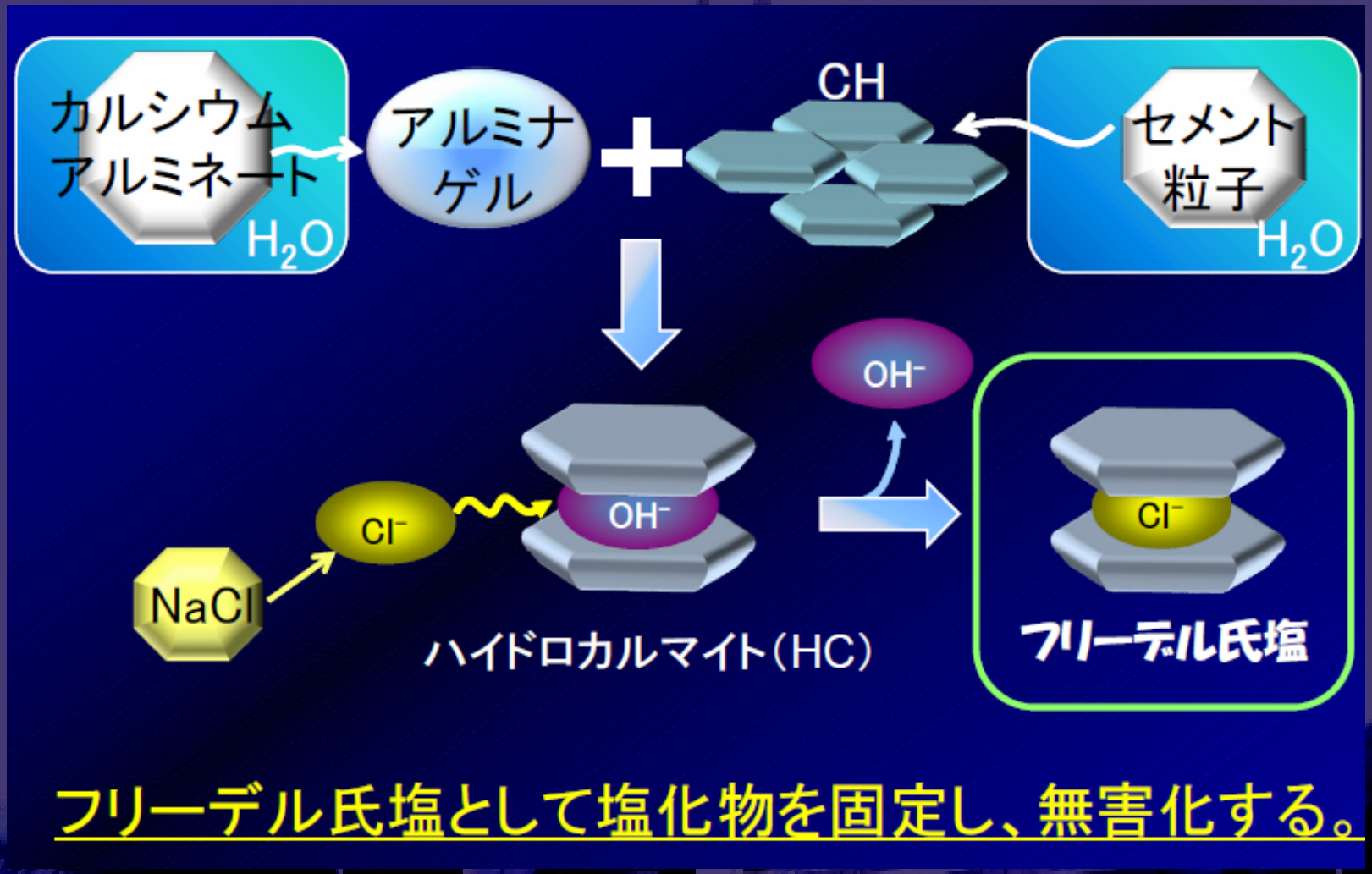
結露の状況

グラウトポンプ
（手動）

真空ポンプ

耐塩害用混和剤(1/2)

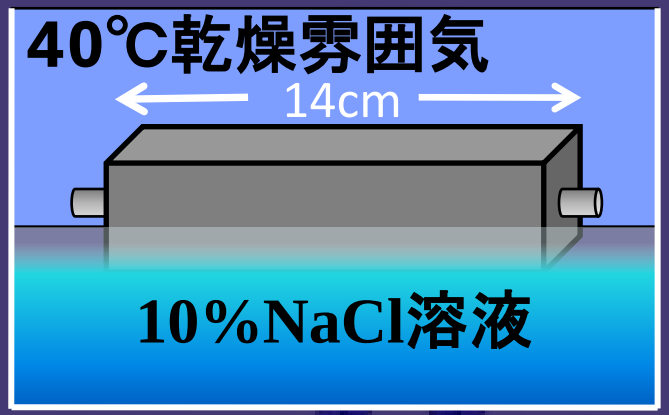
カルシウムアルミネートの塩化物固定化メカニズム



フリーデル氏塩として塩化物を固定し、無害化する。

耐塩害用混和剤(2/2)

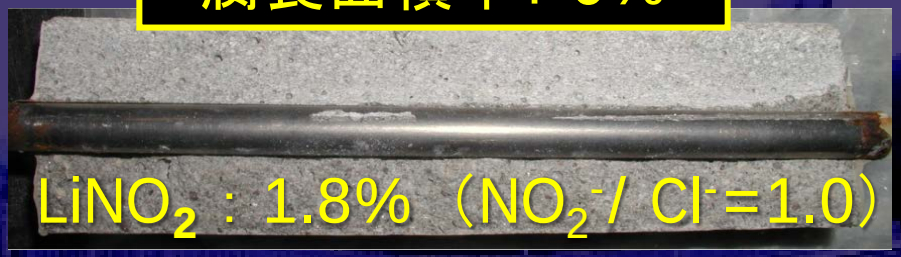
外来塩分による促進腐食1年後の鉄筋状態



腐食面積率:18.6%

腐食面積率: 6.5%

腐食面積率: 0%



腐食面積率: 0%

【開発中】レーザーによる鋼橋の塗膜除去(1/2)

・バックグランドが異なるエリアで**試験施工を実施**。

・1種ケレンでの**廃棄物や塩分の低減量**，錆の除去状況，**疲労亀裂の残留状況**等の効果を検証中。

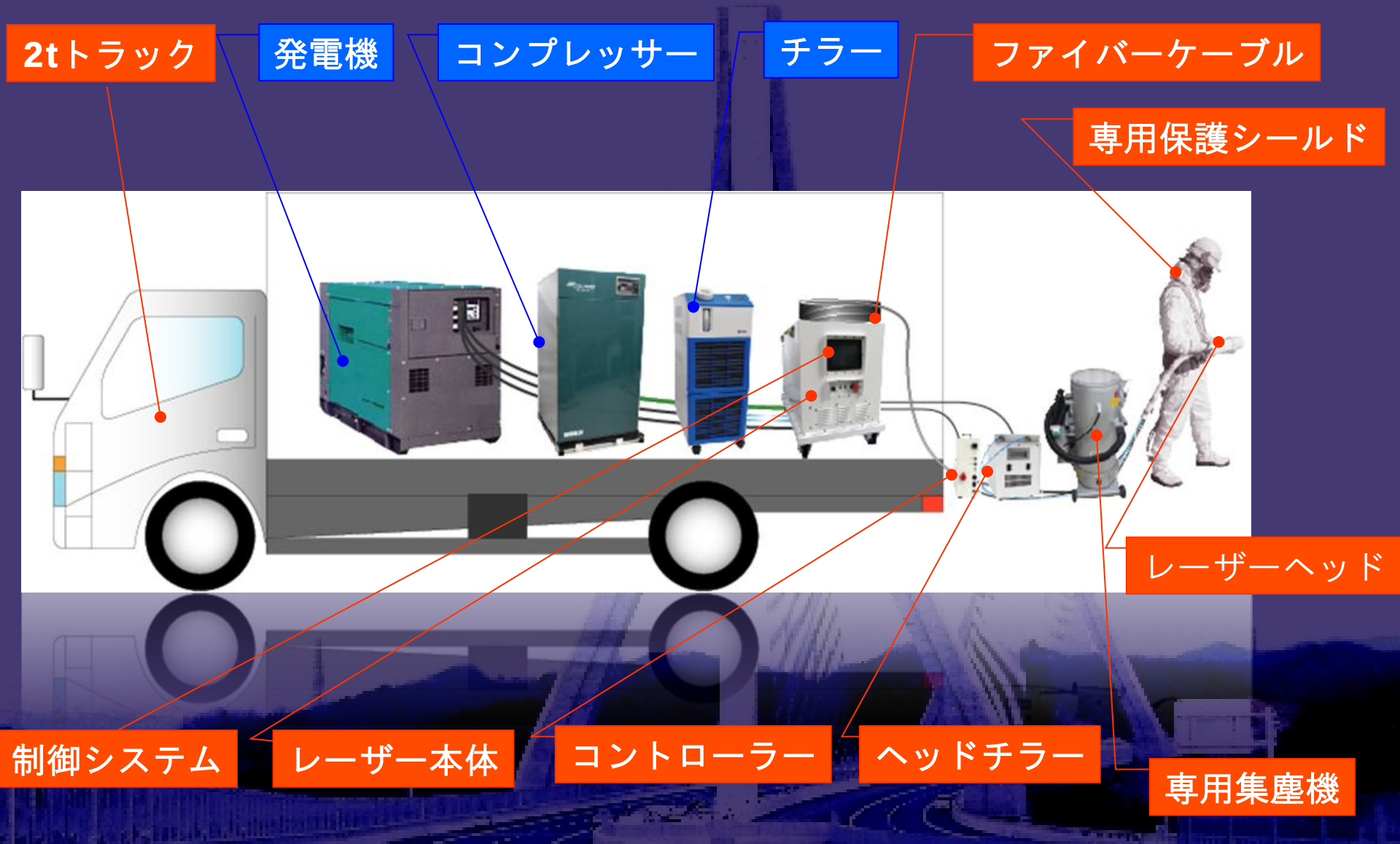
レーザー照射の状況

塗膜除去状況

※施工技術について，特許申請

【開発中】レーザーによる鋼橋の塗膜除去(2/2)

レーザーブラスト装置構成



Conclusions !

安全性を担保した高耐久化へ向けて

★構造物の要求性能と設計耐用期間

★地域の材料特性と劣化ポテンシャルの把握

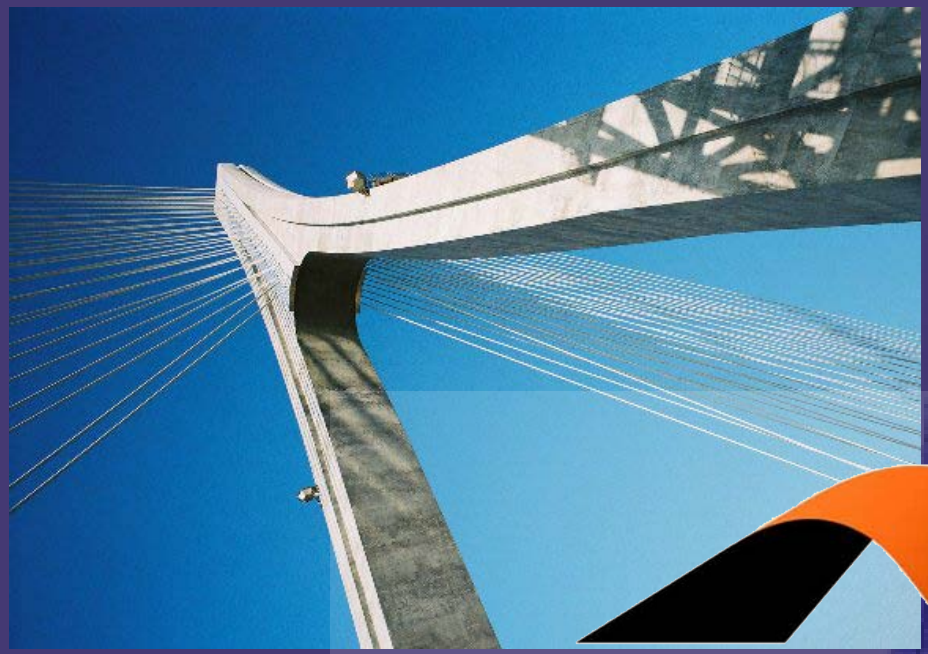
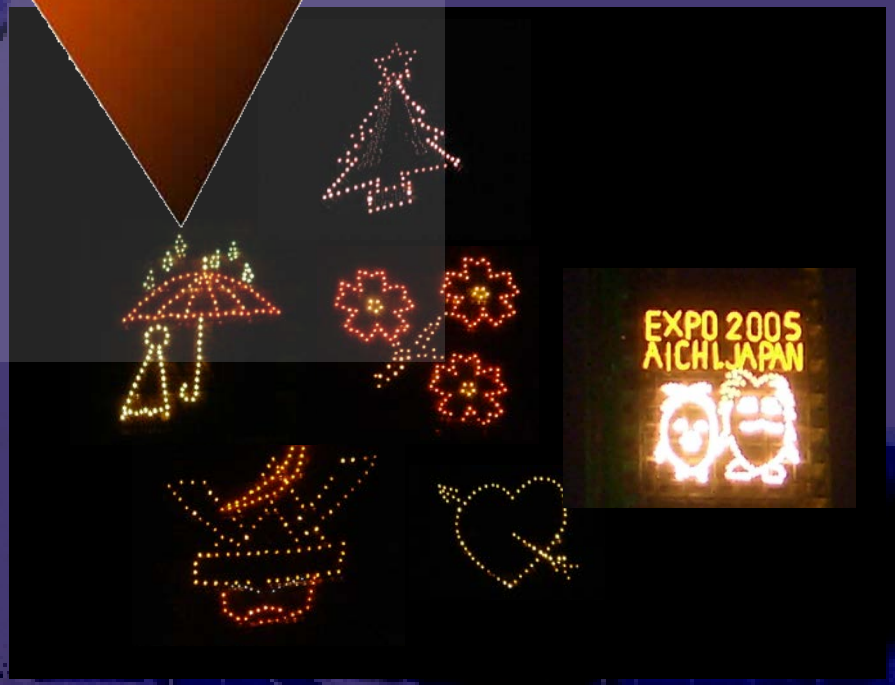
★性能設計＆性能照査

★技術開発＆良好な施工

★維持管理シナリオを作成

★適切な維持管理（点検・対策）とモニタリング

※各段階でPDCAを回す！



NEXCO
中日本