
高速道路橋の 維持管理方法および課題

— ライフサイクルコストの最小化を目指して —

2015年11月10日

中日本高速道路株式会社

技術・建設本部 専門主幹(橋梁担当) 酒井秀昭



資料の項目



1. 橋梁の経年化に伴う課題
2. ライフサイクルデザインの定義と基本方針
3. 橋梁の維持管理の手順
4. 鋼橋鋼部材の変状と対策および今後の方策
 - 4.1 鋼構造の劣化要因
 - 4.2 鋼構造の腐食
 - 4.3 鋼構造の疲労
 - 4.4 鋼構造の非破壊検査方法
 - 4.5 疲労亀裂の補修・補強工法の概要
 - 4.6 鋼橋の鋼部材の高耐久化の方策

資料の項目

NEXCO

5. コンクリート橋の変状と対策および今後の方策

- 5.1 コンクリート構造の劣化要因
- 5.2 コンクリート構造の劣化
- 5.3 PC鋼材の劣化要因
- 5.4 PC鋼材の劣化
- 5.5 コンクリート構造の非破壊検査方法
- 5.6 コンクリート構造の主な補修補強工法
- 5.7 コンクリート橋の高耐久化の方策

6. 橋梁の高耐久化の方策

参考資料：NEXCOの大規模更新・修繕

1. 橋梁の経年化に伴う課題

経年化に伴う主な劣化

NEXCO

コンクリート構造

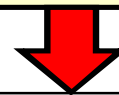
- ・コンクリートの中性化(二酸化炭素)
- ・塩害(海水からの飛来塩分・凍結防止剤)
- ・疲労[床版](自動車の輪荷重)
- ・アルカリシリカ反応(反応性骨材, アルカリ, 水)
- ・初期欠陥に起因する(かぶり不足・水・ひび割れ・補修不良)

PC鋼材

- ・鋼材の腐食
- ・疲労

鋼構造

- ・鋼材の腐食
- ・疲労



経年化により劣化の発生および進行が増大する

維持管理の課題

NEXCO

経年化により劣化の発生および進行が増大する



点検・診断・補修補強を適切に実施する。

- ・ 確実な点検頻度の確保（点検の制度化）
（見る）
- ・ 損傷の確実な発見・評価（点検・診断の信頼性確保）
（見過ごさない）
- ・ 確実な補修・補強（速やかで適切な実施・技術開発）
（先送りしない）



橋梁の高耐久化

橋梁の遺産 (Pont du Gard)



古代ローマの水道橋 世界遺産
6世紀頃に使用中止, 19世紀にナポレオン3世が改修



橋梁の遺産 (Pont Saint-Bénézet)



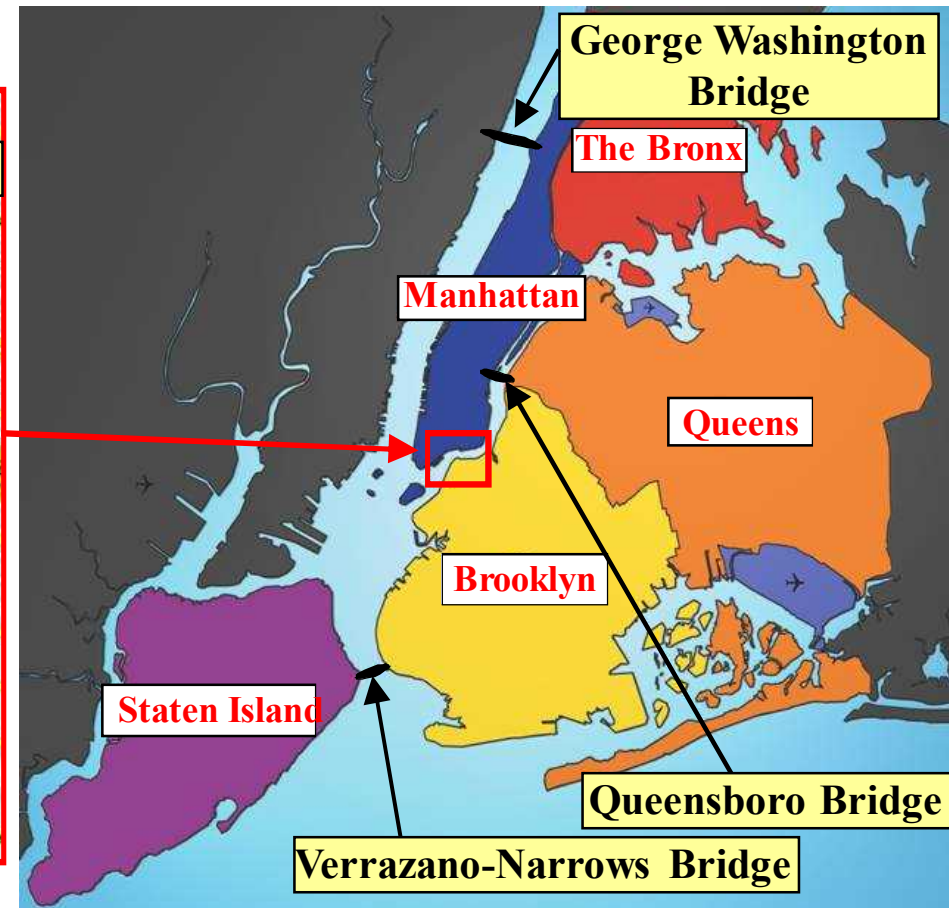
アヴィニョンの橋

12世紀に建設, 17世紀に通行不能



ニューヨークにおける歴史的な橋梁

橋梁は維持管理を実施すれば100年後も供用可能



Brooklyn橋は130年後も供用中



適切な維持管理を実施

- ・鋼吊橋(斜材併用) 橋長1,053m 中央径間486m 1,883年完成
幅員26m 車道6車線
- ・設計 John Roebling 基礎ニューマチックケーソン



Manhattan橋



鋼吊橋 橋長890m 中央径間448m 1,909年完成
幅員37m 車道 上層4車線 下層3車線 鉄道4線 自転車歩行者道
・補修実績 1985～2004年通行止めによる補修



Williamsburg橋



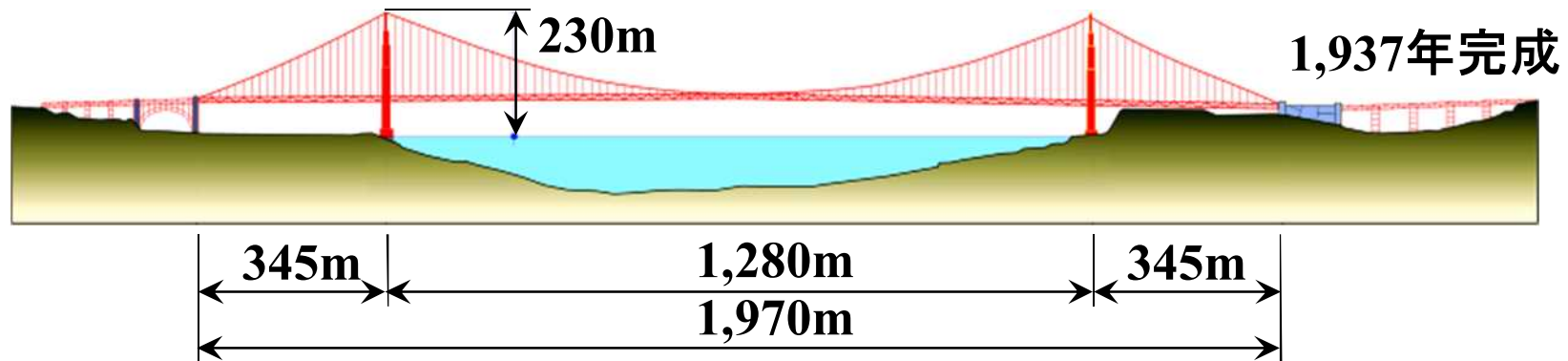
鋼吊橋 橋長671m 中央径間488m 1,903年完成
幅員36m 車道8車線 鉄道2線 自転車歩行者道
・補修実績 1988年4月 2ヶ月通行止めによる補修(腐食等)
1990年代 6億\$で補修



Golden Gate橋は78年後も供用中

NEXCO

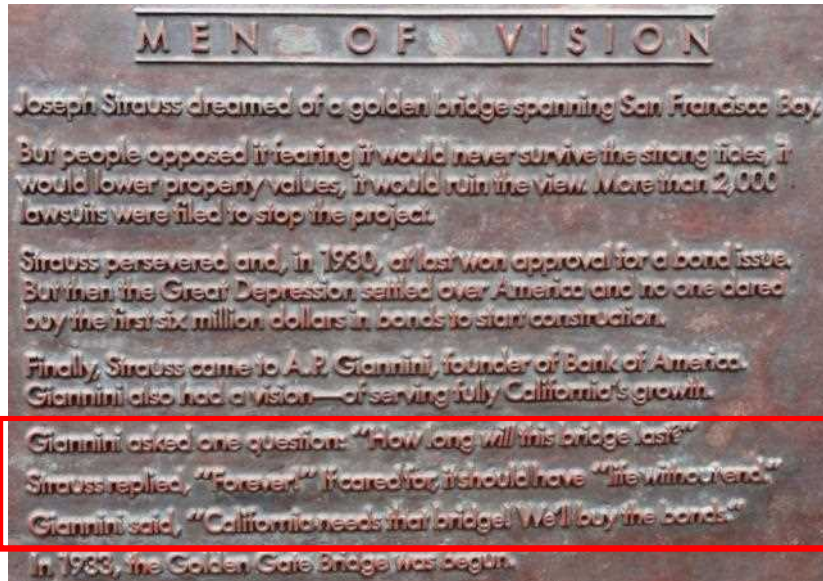
適切な維持管理を実施



Golden Gate橋の計画時の思想

NEXCO

適切な維持管理を実施すれば橋梁の寿命は永遠



MEN OF VISION

Giannini asked one question:

How long will this bridge last?

Strauss replied,

"Forever!" If cared for, it should have "life without end."

Giannini said,

"California needs that bridge! We'll buy the bonds."



2. ライフサイクルデザインの 定義と基本方針

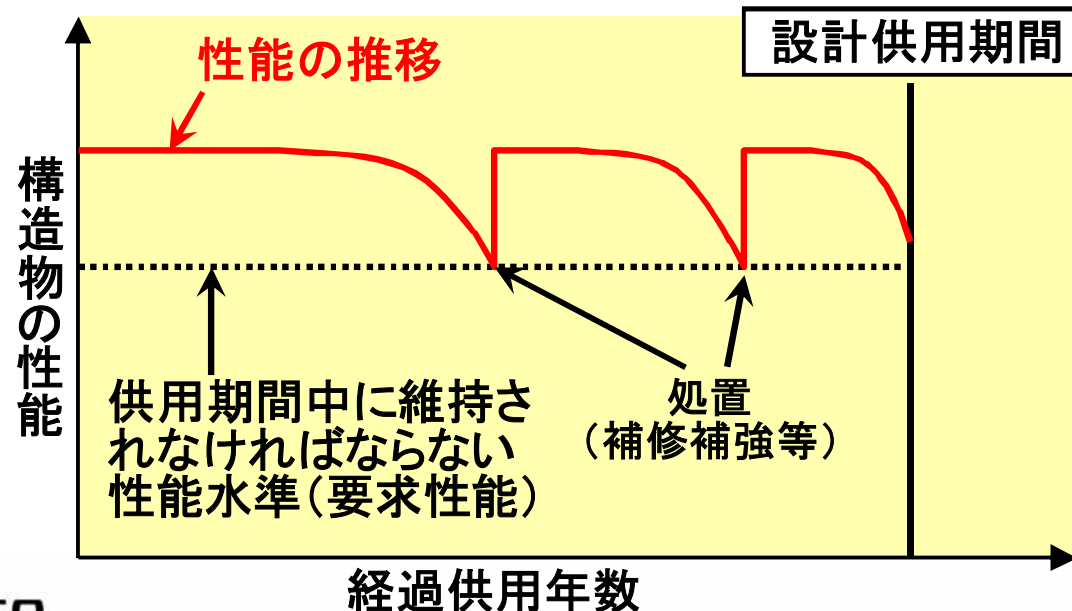
LCDの定義

NEXCO

ライフサイクルデザイン(LCD)の定義

維持管理に要求される性能・コストの検討を行うこと

構造物の性能は、経過供用年数の経過とともに低下する。しかし、設計供用期間までは、要求された性能の水準を常に満足しなければならないため、適切な時期に補修補強等の処置を行う必要がある。したがって、**性能を保持しながらライフサイクルコストを最小とする**ための検討を行うことがLCDの目的である。



LCDの基本方針

NEXCO

① 予防維持管理

供用期間中は、補修・補強を実施しない、あるいは補修・補強を極力少なくなるような性能レベルで、目標とする設計供用期間まで予防保全的に構造物を維持管理する。

② 事後維持管理

供用期間中に補修・補強を繰り返すことで、目標とする設計供用期間まで対症療法的に構造物の性能レベルを維持管理する。

③ 観察維持管理

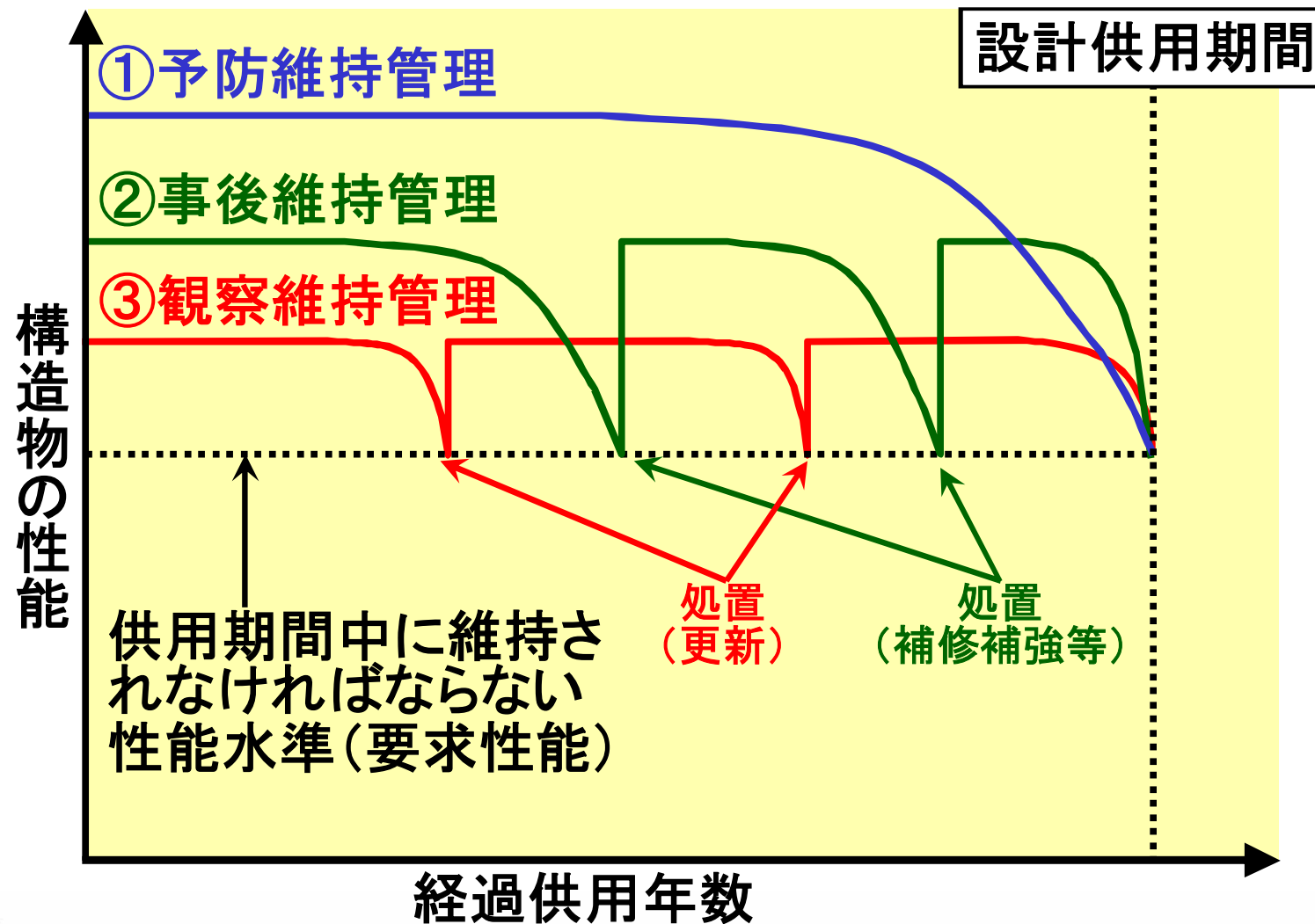
設計供用期間の設定がなく、供用期間中に補修・補強をほとんど行わず、所定の性能レベルに低下したら適宜更新するように構造物を維持管理する。



構造物の種別・重要度あるいは部位別に方針を決定する

LCDの基本方針イメージ

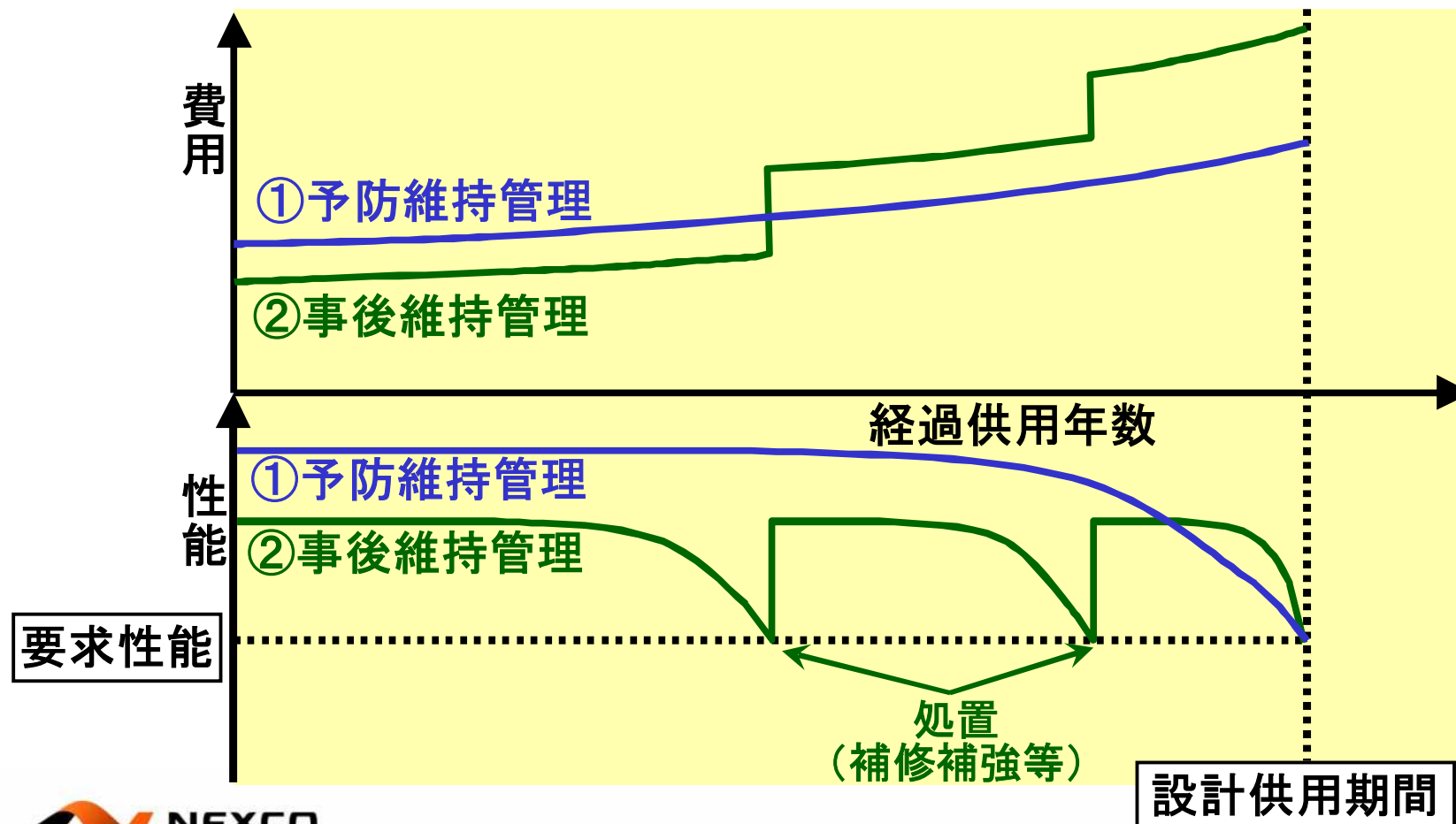
NEXCO



維持管理区分と費用のイメージ①

予防維持管理がLCCを最小化できるケース

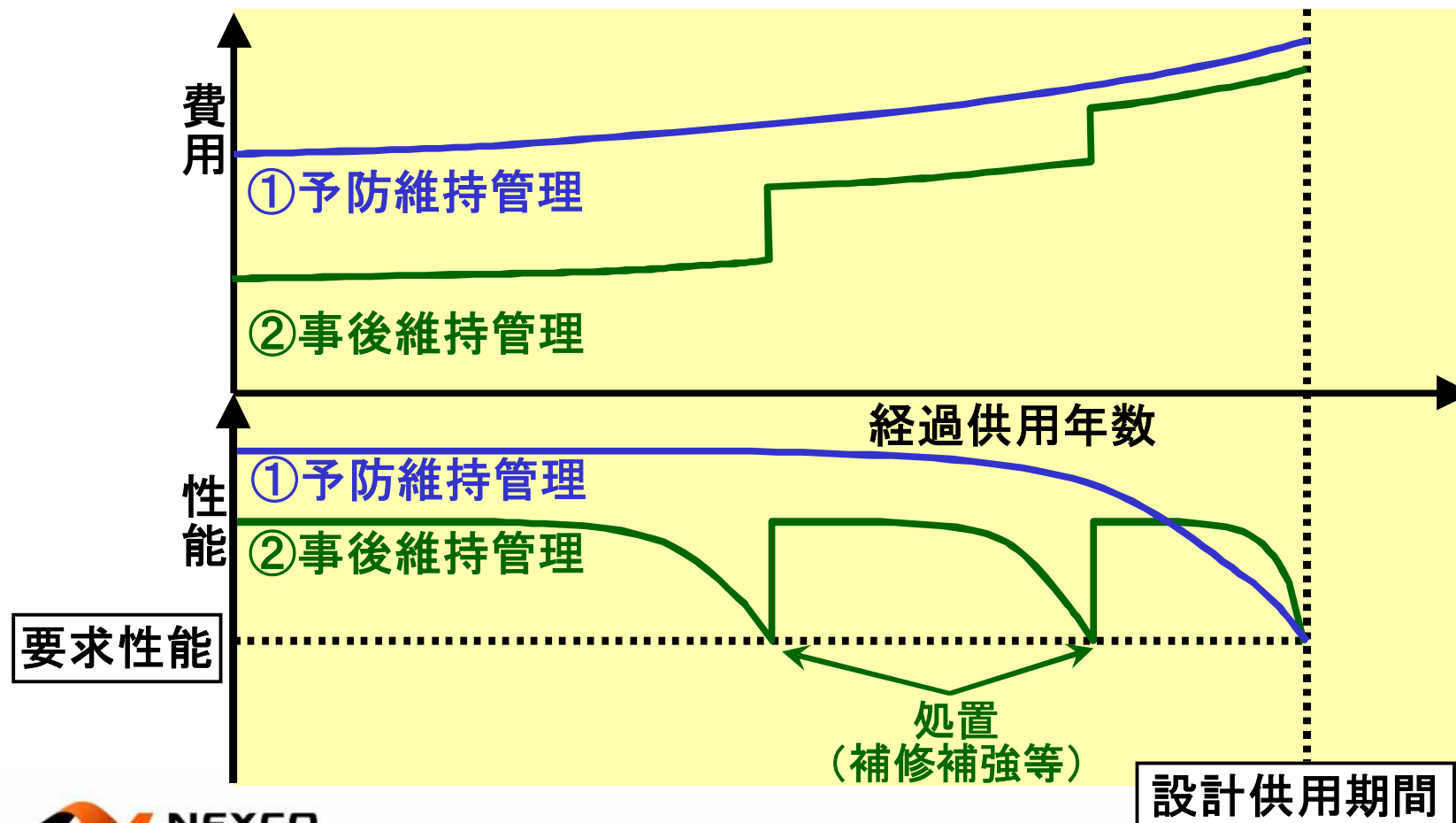
予防維持管理に要する建設コストが、事後維持管理に比較してそれほど大きくないか、または補修補強に要する費用が大きいケース



維持管理区分と費用のイメージ②

事後維持管理がLCCを最小化できるケース

予防維持管理に要する建設コストが、事後維持管理に比較して大きいのか、または補修補強に要する費用が小さいケース



用語の定義

NEXCO

設計供用期間：設計時において、構造物がその目的とする機能を十分果たさなければならないと規定した期間

変状：何らかの原因で構造物に発生している本来あるべき姿でない状態。初期欠陥、損傷、劣化等の総称。

初期欠陥：施工時に発生するひび割れや豆板、コールドジョイント、砂すじなどの変状。

変状：何らかの原因で構造物に発生している本来あるべき姿でない状態。初期欠陥、損傷、劣化等の総称。

損傷：地震や衝突等によるひび割れや剥落のように短時間のうちに発生し、その後は時間の経過によっても進行しない変状。

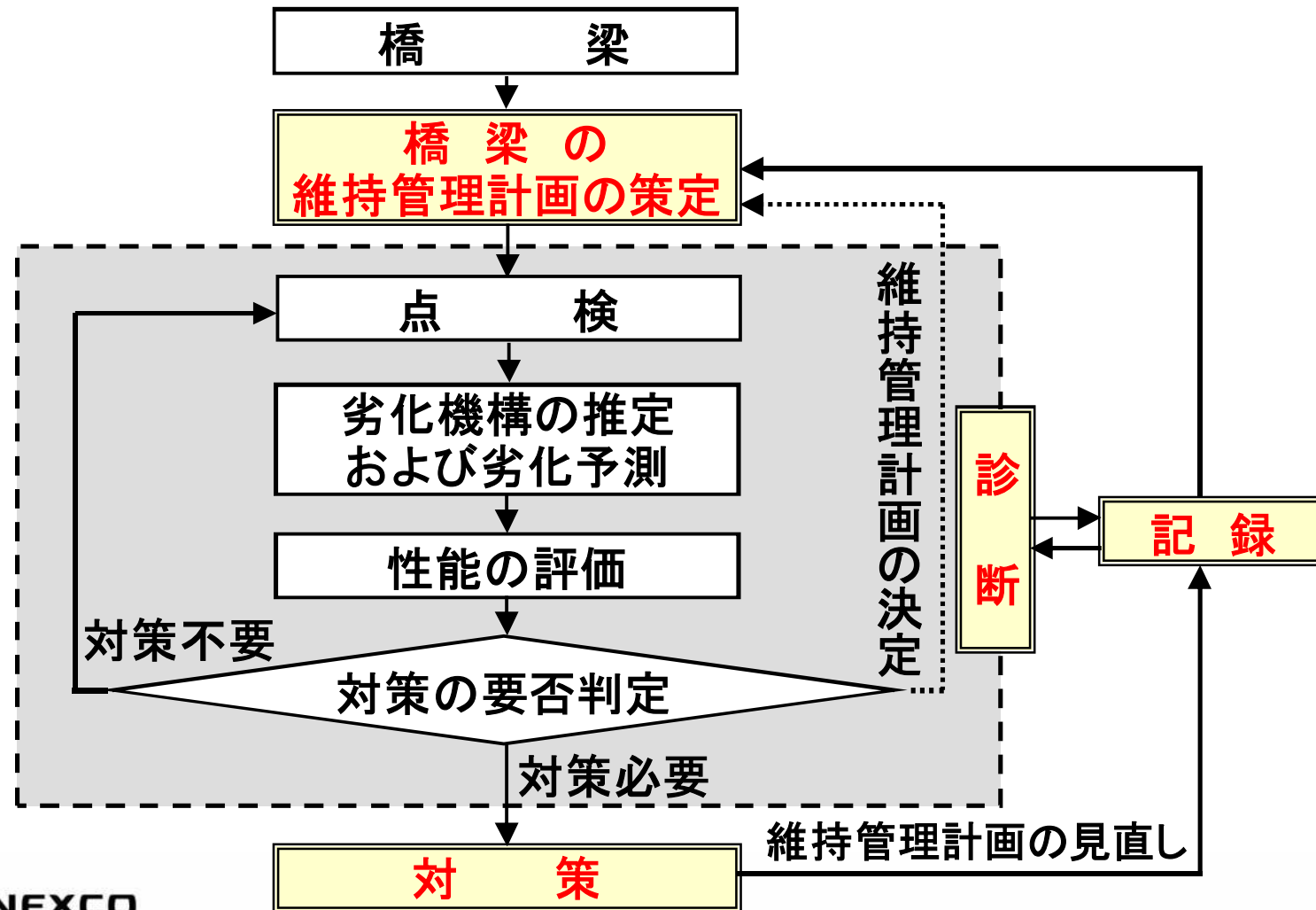
劣化：時間の経過に伴って進行する変状。

3. 橋梁の維持管理の手順

維持管理の手順

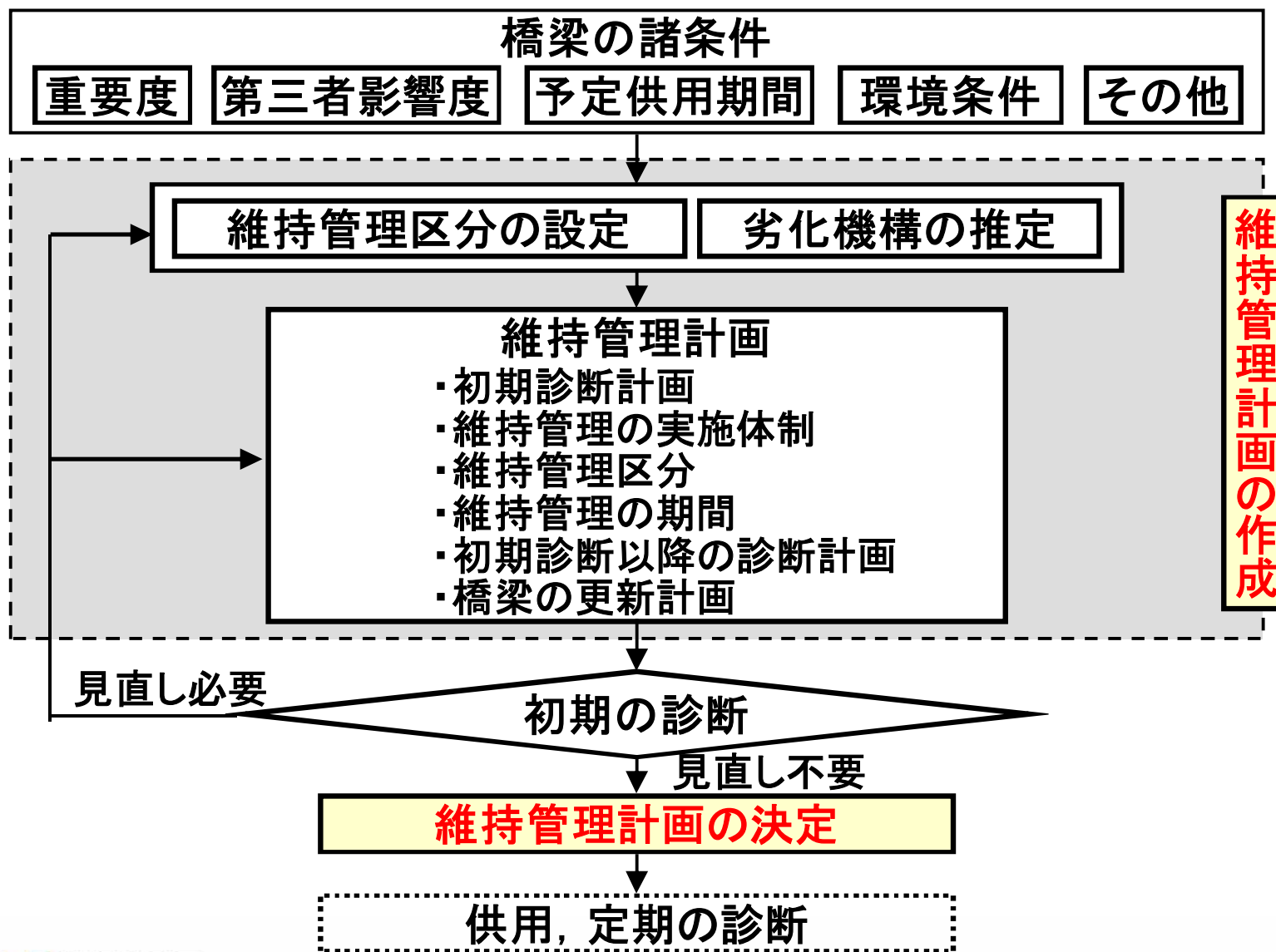
NEXCO

維持管理計画の策定, 診断, 対策, 記録から構成



維持管理計画の手順

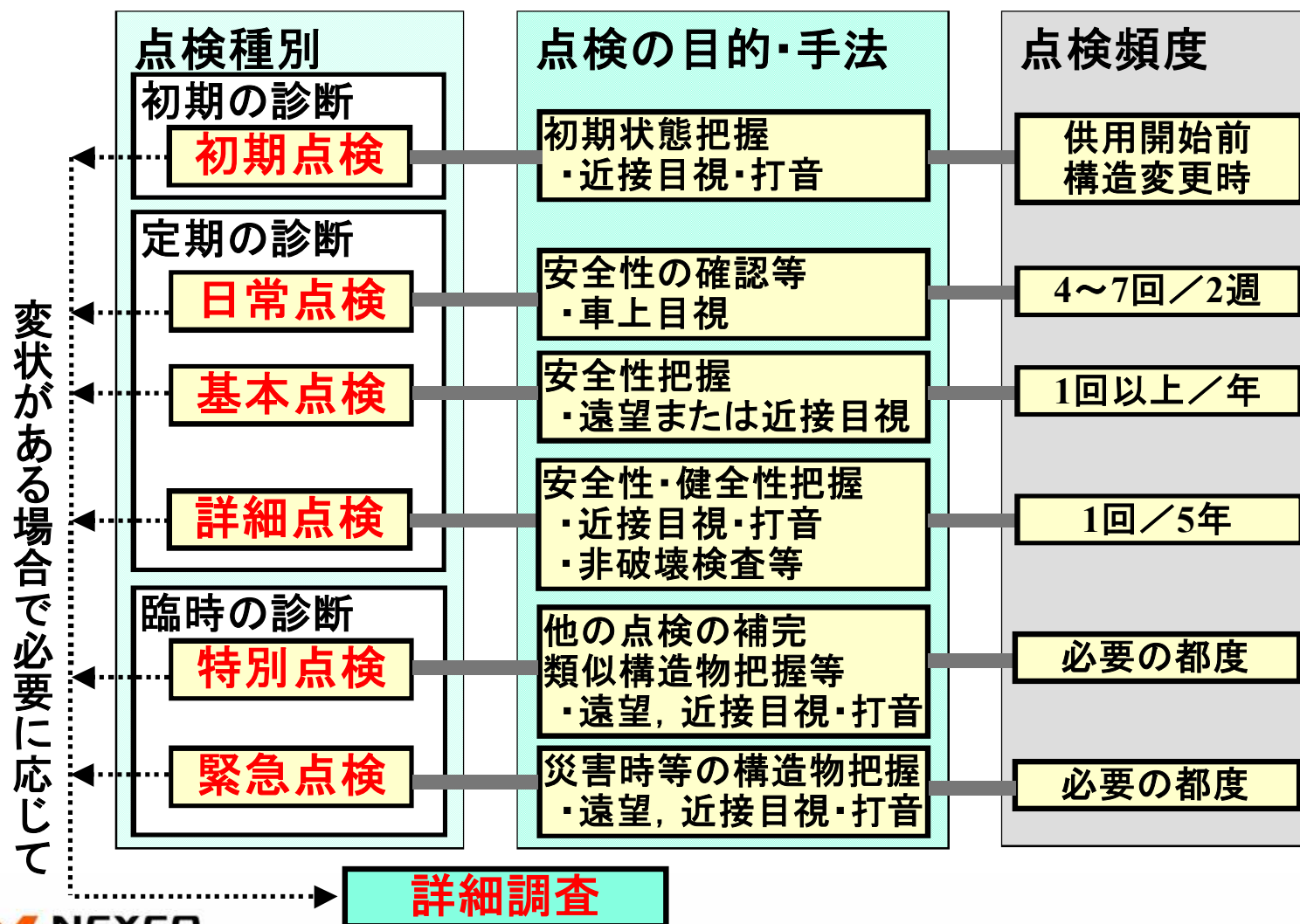
NEXCO



点検の種別(高速道路の事例)

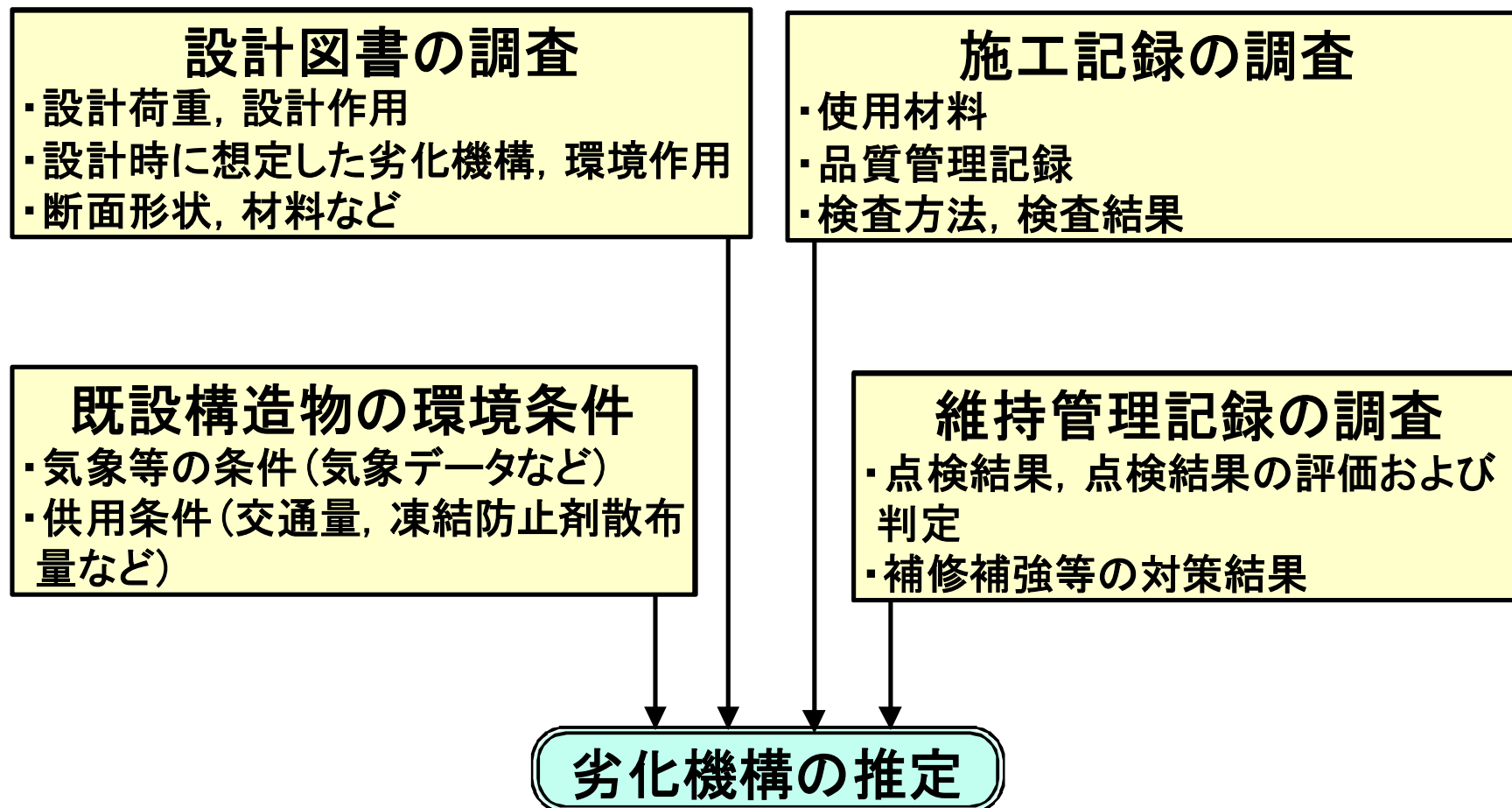
NEXCO

目的に応じた点検の実施

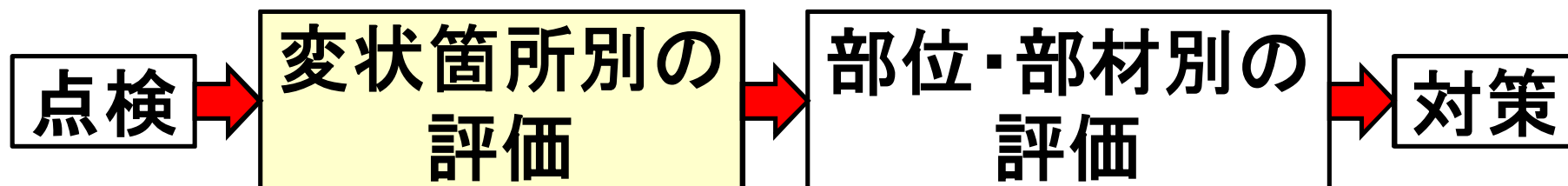


劣化機構の推定

NEXCO



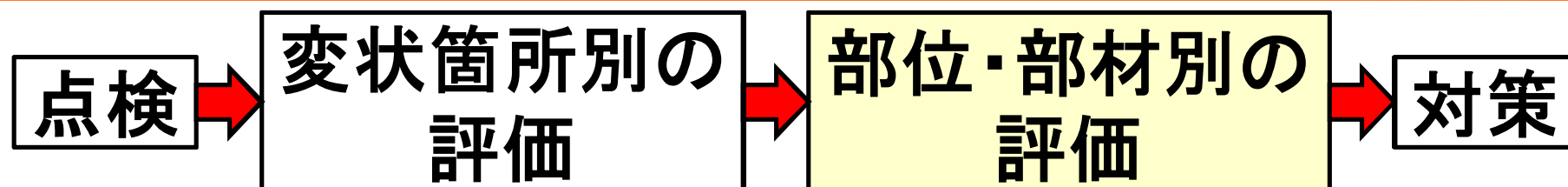
点検結果による性能の評価と判定



変状箇所別の評価の事例(高速道路の事例)

評価区分		一般的状況
機能面に対する評価	AA	変状が著しく、機能面への影響が非常に高いと判断され、速やかな対策が必要な場合
	A	変状があり、機能低下に影響していると判断され、対策の検討が必要な場合
	A1	変状があり、機能低下への影響が高いと判断される場合
	A2	変状があり、機能低下への影響が低いと判断される場合
	B	変状はあるが、機能低下への影響は無く、損傷・変状の進行状態を継続的に観察する必要がある場合
	C	変状の状態(機能面への影響度合いなど)に関する判定を行うために調査を実施する必要がある場合
	OK	変状がないか、もしくは軽微な場合
第三者等被害に対する評価	E	安全な交通または第三者に対し支障となる恐れがあるため、対策が必要と判断される場合

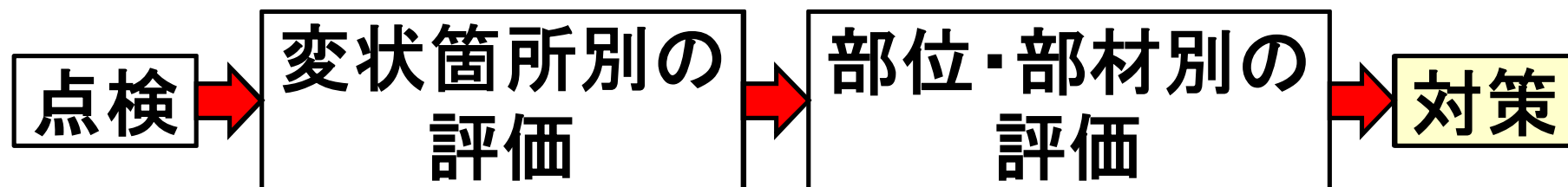
点検結果による性能の評価と判定



部位・部材別の評価の事例(高速道路の事例)

変状 グレード	初期欠陥, 損傷 劣化の程度	構造物, 部位・部材の性能	備 考※
I	問題となる変状がない	性能低下は見られない	潜伏期
II	軽微な変状が発生	耐荷性能は低下していない	進展期
III	変状が発生	耐荷性能は低下に対する 注意が必要	加速期前期
IV	変状が著しい	耐荷性能が低下しており, 管理限界に達する恐れがある	加速期後期
V	深刻な変状が発生	耐荷性能の低下が深刻であ り, 安全性に問題がある	劣化期

点検結果による性能の評価と判定



変状グレードに応じた対策の事例(高速道路の事例)

変状グレード	初期欠陥, 損傷劣化の程度	構造物, 部位・部材の性能	予防維持管理	点検強化	補修	補強	供用性回復	供用制限	撤去解体	対策の方向性
I	問題となる変状がない	性能低下は見られない	○							対策無
II	軽微な変状が発生	耐荷性能は低下していない	◎							予防維持管理
III	変状が発生	耐荷性能の低下に対する注意が必要	◎	○	◎					主に補修
IV	変状が著しい	耐荷性能が低下しており, 管理限界に達する恐れがある		◎	◎	◎	◎			補強
V	深刻な変状が発生	耐荷性能の低下が深刻であり, 安全性に問題がある		◎	○	◎	◎	◎	◎	大規模対策

◎: 標準的な対策, ○: 予防的に実施される対策

橋梁の維持管理方法の課題



設計供用期間の設定

- 社会基盤としての橋梁の供用期間を明確化
- 橋梁を構成する部材ごとの供用期間の明確化

※対策(補修・補強等)の計画を立案

科学的な根拠に基づく診断方法の策定

- 劣化要因を考慮した点検計画・点検方法を決定
- 劣化要因ごとの劣化速度を考慮した点検間隔の設定
- 対象構造および部位・部材ごとの管理限界の設定
- 対象構造の要求性能に対応した点検結果の評価および判定

※効率的で経済的な点検・診断の実施

変状の原因や程度に応じた速やかな対策の実施

- 劣化速度に応じた速やかな対策の実施
- 変状を放置しない体制の構築

※効率的で経済的な対策の実施⇒橋梁の設計供用期間の確保

4. 鋼橋鋼部材の変状と対策 および今後の方策

4.1 鋼構造の劣化要因

劣化機構と要因，指標，現象

NEXCO

劣化機構	劣化要因	劣化現象	劣化指標の例
腐食	紫外線 塩化物イオン 酸性物質・酸素 雨水(結露)など	紫外線は塗膜表面を分解して粉状にすることによる白亜化と顔料の艶やかさを低下させる。浸透雨水と酸素による塗膜下でのマクロセル腐食，塗膜貫通穴の発生(点錆)，ミクロセル腐食による錆範囲の拡大の順で発生する。錆が進展すると，鋼材の減肉に繋がる。塩分はこれを加速させる。	変退色・はがれ 錆・腐食面積 減肉厚 減肉面積
疲労	繰返し载荷 応力集中	降伏点以下の応力の繰返しにより，部材取合部の溶接止端部(特に回し溶接部)やすみ肉溶接ルート部のような応力集中部に亀裂が発生する。	亀裂

鋼構造の劣化要因に対する課題

劣化に対する適切な対策の実施が高耐久化を推進

腐食

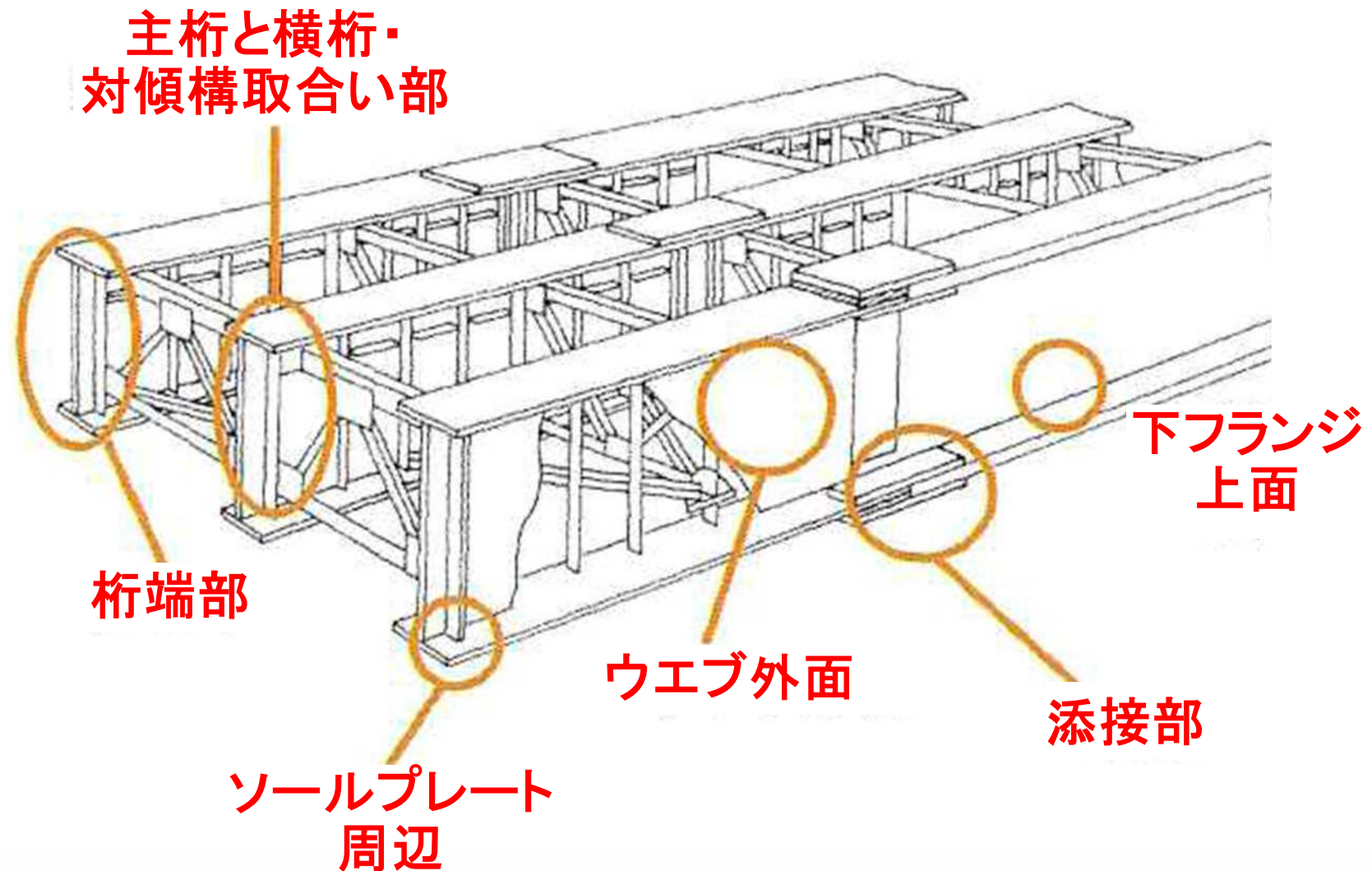
- 鋼材は、適切な防錆処理を実施しなければ腐食が進行する。
- 鋼材の防錆処理が塗装仕様の場合は、定期的な再塗装(補修)を実施することが前提として設計されている。

疲労

- 平成14年の道路橋示方書より以前の示方書では、合理的な疲労設計が実施されていない。
- 示方書で想定した輪荷重よりも大きな輪荷重の車両が走行している。
- 疲労の診断や対策には、高度な専門的知識が必要となる。

4.2 鋼構造の腐食

鋼材腐食が発生しやすい箇所(鋼鈑桁)



鋼材腐食事例(桁端部)

NEXCO



中間架違い部桁端



橋台部桁端

鋼材腐食事例(添接部)

NEXCO



添接部近傍



添接部高力ボルト

鋼材腐食事例(接合部)



トラス格点部



桁接合部

鋼材腐食事例(耐候性鋼材)



桁端部



高力ボルト

斜張橋斜材変状事例(USA)

NEXCO



鋼部材の腐食の進行事例

NEXCO

腐食および原因を放置すると腐食は進行する！

H15点検時



H19点検時



H24点検時



鋼部材の腐食の進行事例

NEXCO

腐食および原因を放置すると腐食は進行する！

H15点検時



H19点検時



H24点検時



鋼部材の腐食の進行事例

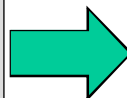
NEXCO

腐食および原因を放置すると腐食は進行する！

H15点検時



H20点検時



H24点検時



鋼鈑桁橋の腐食の進行(グレードⅡ)

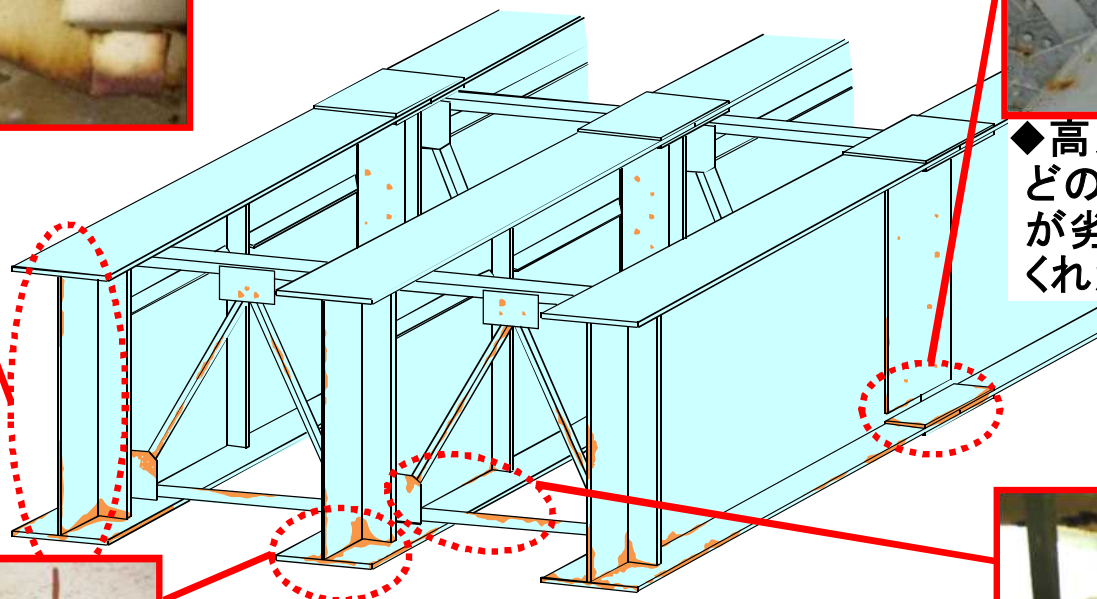
NEXCO



◆ウェブやフランジなどの角部やこば面の塗膜が劣化し、錆や塗膜のふくれが部分的に見られる。



◆高力ボルトや添接版などの角部やこば面の塗膜が劣化し、錆や塗膜のふくれが部分的に見られる。



◆砂塵などの堆積が見られ、下フランジや支点補剛材、ウェブの塗膜が劣化し、錆や塗膜のふくれが部分的に見られる。

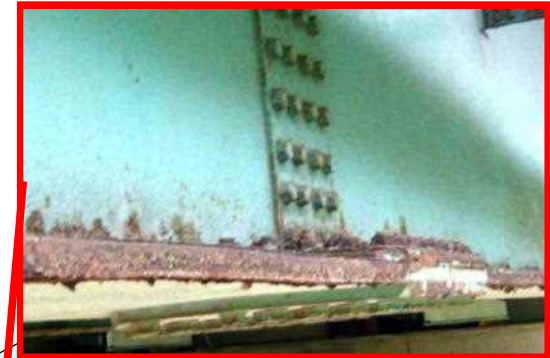
◆二次部材は、部材角部などの錆や塗膜のふくれが早期に見られることがある。また、ガセットなどは砂塵がたまりやすい。



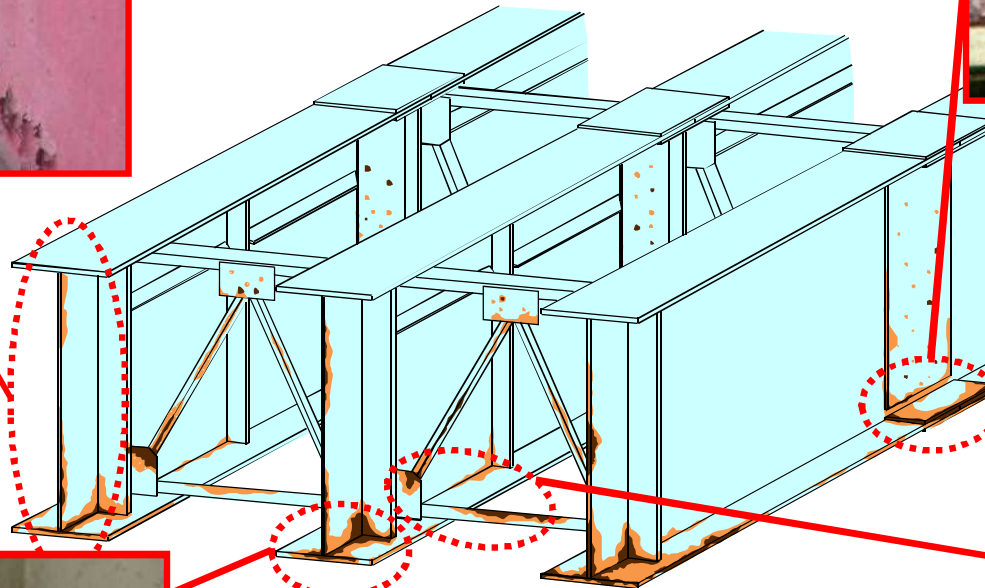
鋼鈑桁橋の腐食の進行(グレードⅢ)



◆フランジの角部, ウェブ下端やこば面の塗膜が劣化し, 塗膜のふくれや層状錆が部分的に見られる。



◆高力ボルトや添接版などの角部やこば面の塗膜が劣化し, 塗膜のふくれや層状錆が部分的に見られる。



◆砂塵などの堆積が見られ, 下フランジや支点補剛材, ウェブの塗膜が劣化し, 層状錆や塗膜のふくれが見られる。

◆ガセットや部材角部などに塗膜のふくれや層状錆が見られる。



鋼鈑桁橋の腐食の進行(グレードIV)

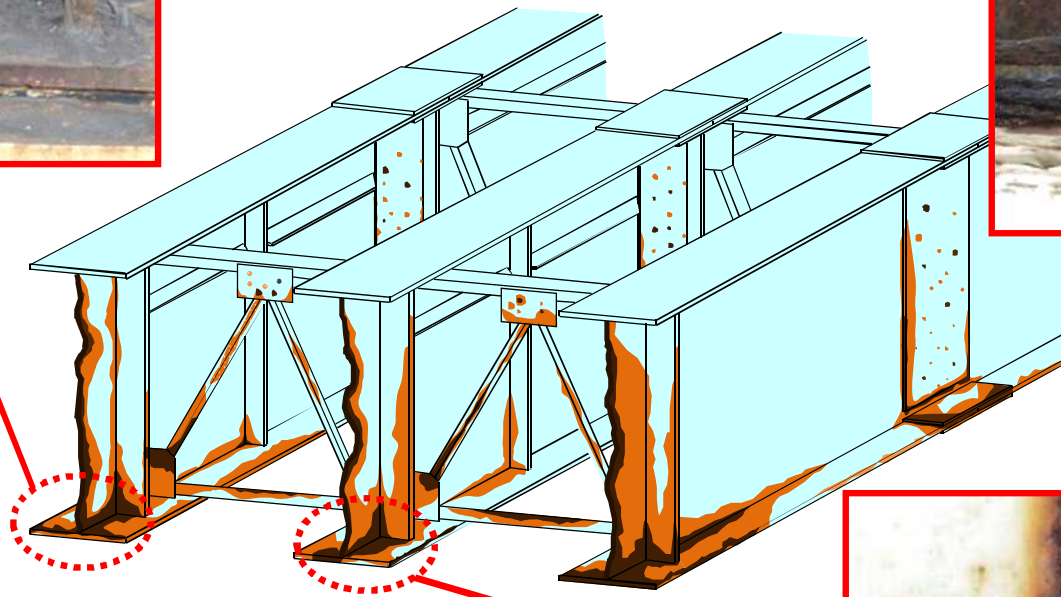


断面欠損

◆桁端のウェブ下端に著しい断面欠損が生じている。



◆下フランジが腐食し、板厚が減少して著しい断面欠損が生じている。



◆桁端の下フランジに層状錆が著しく発生し、板厚が減少して断面欠損が生じている。



4.3 鋼構造の疲労

鋼部材の疲労

NEXCO

原因

外力(交通荷重・風等)による鋼材の応力の繰返しによる。

現象

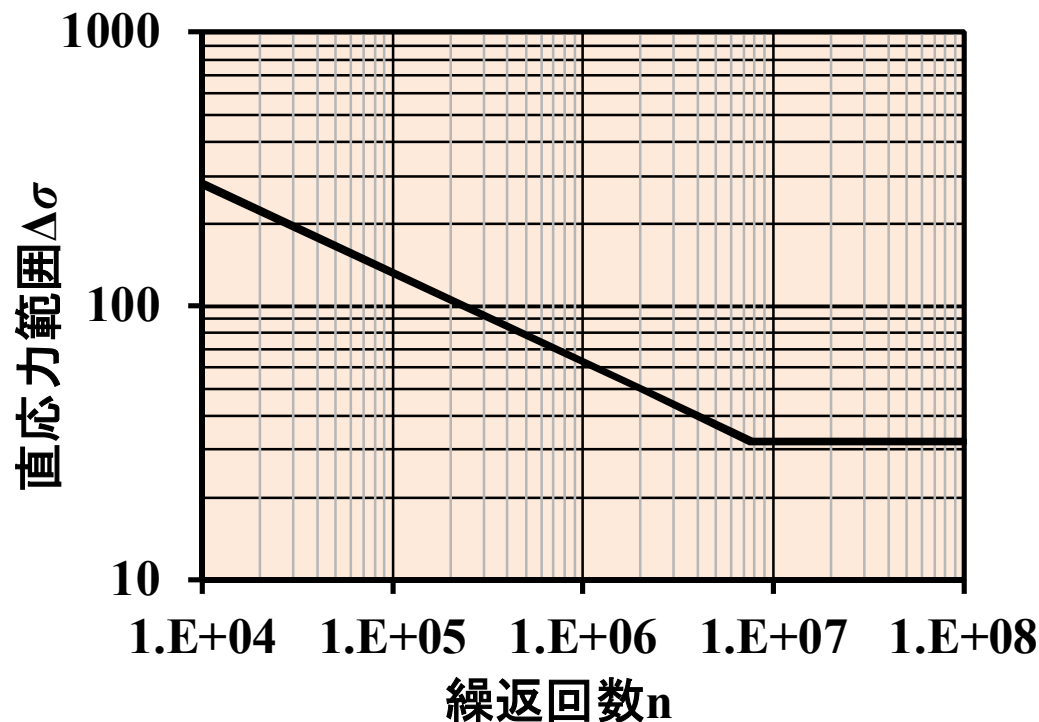
応力集中部から亀裂が発生し、発生部位によっては、進展すると脆性破壊を引き起こし、橋の安全性に重大な影響を与えるおそれがある。

小さな荷重でも、何百万回繰返し作用することにより、亀裂の発生につながる。

発生箇所

- ・構造的な応力集中部
- ・溶接形状や溶接欠陥等に起因する応力集中部

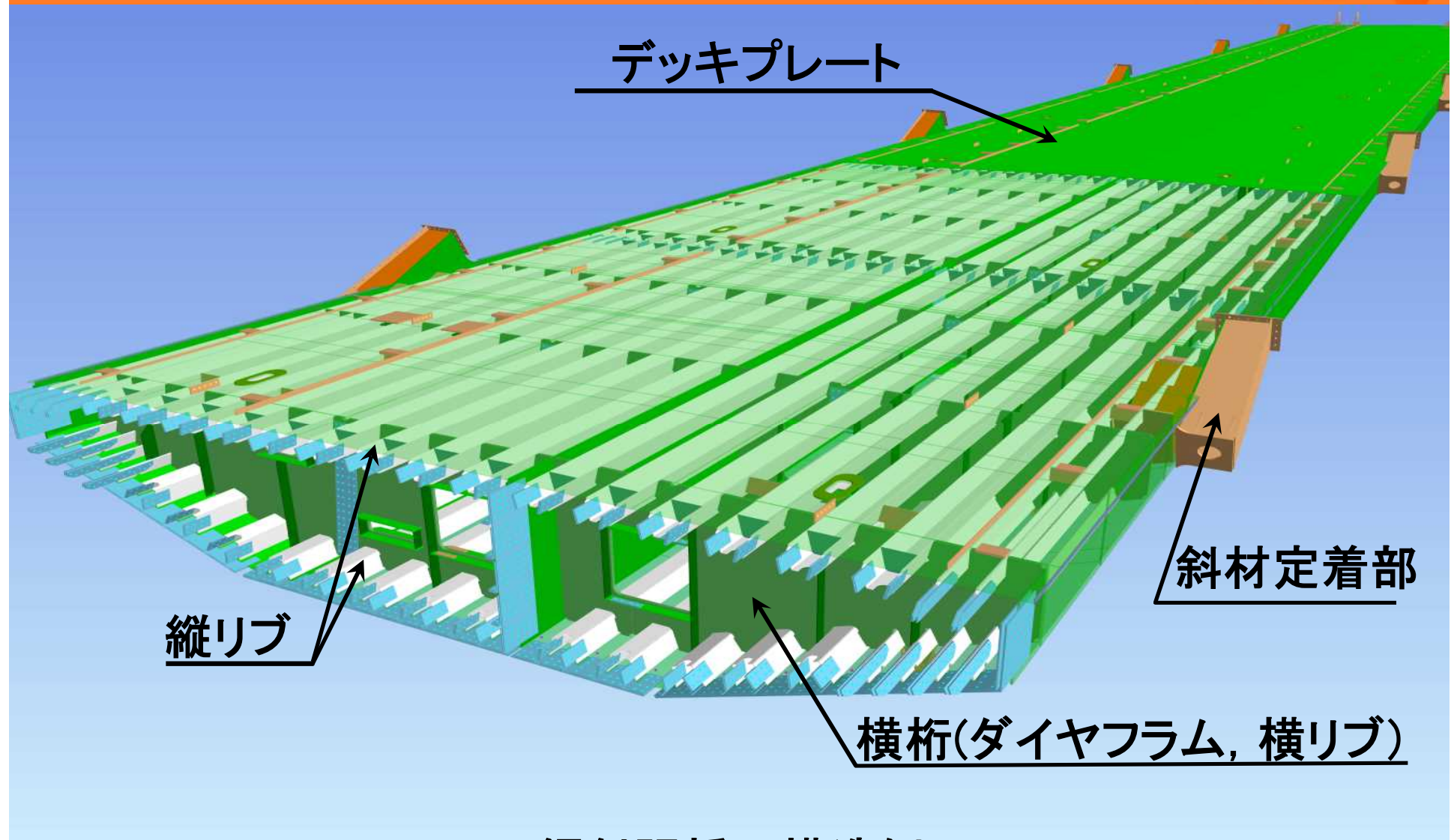
※道路橋示方書によるすみ肉溶接継手のまわし溶接部の疲労設計曲線(G等級)



直応力を受ける継手の疲労設計曲線例※

鋼床版箱桁構造

NEXCO



鋼斜張橋の構造例

疲労亀裂事例(鋼床版)

NEXCO

輪荷重の繰り返し ⇒ 鋼床版の亀裂

疲労亀裂



トラフリブ デッキプレート 横リブ

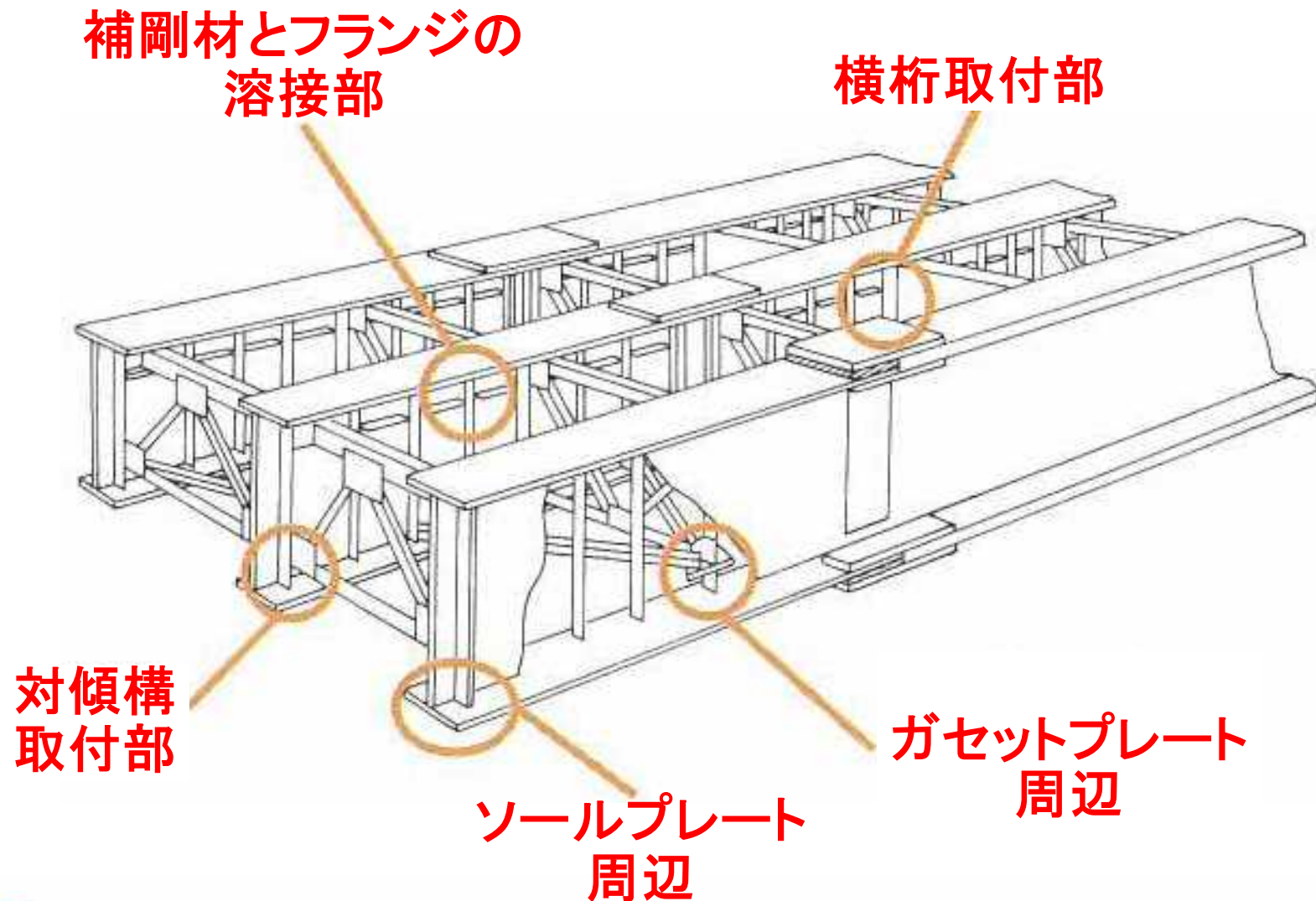
疲労亀裂
の進展



疲労亀裂

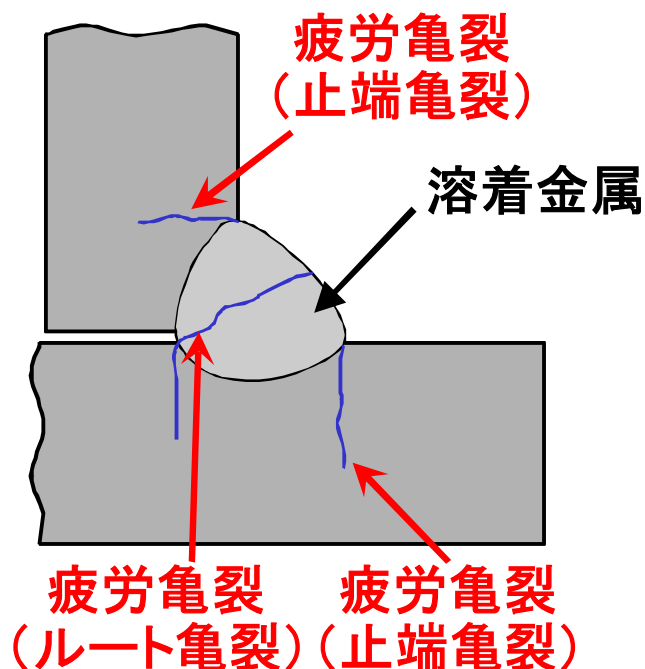


疲労亀裂が発生しやすい箇所（鋼鈑桁）

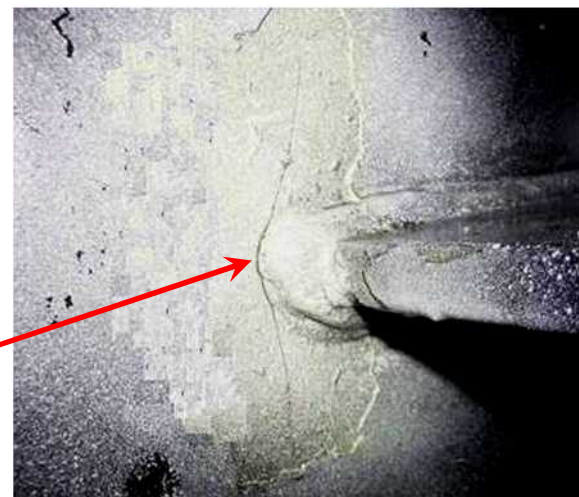


疲労亀裂発生形態(すみ肉溶接部)

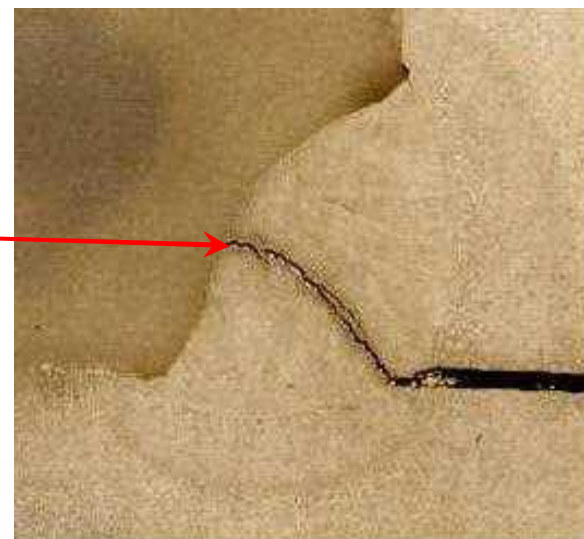
自動車荷重による応力振幅 ⇒ 溶接の亀裂
(すみ肉溶接部への応力集中)



疲労亀裂
(止端亀裂)



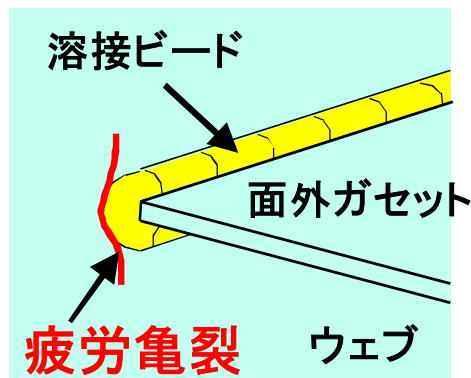
疲労亀裂
(ルート亀裂)



疲労亀裂の発生箇所(鋼鈑桁)

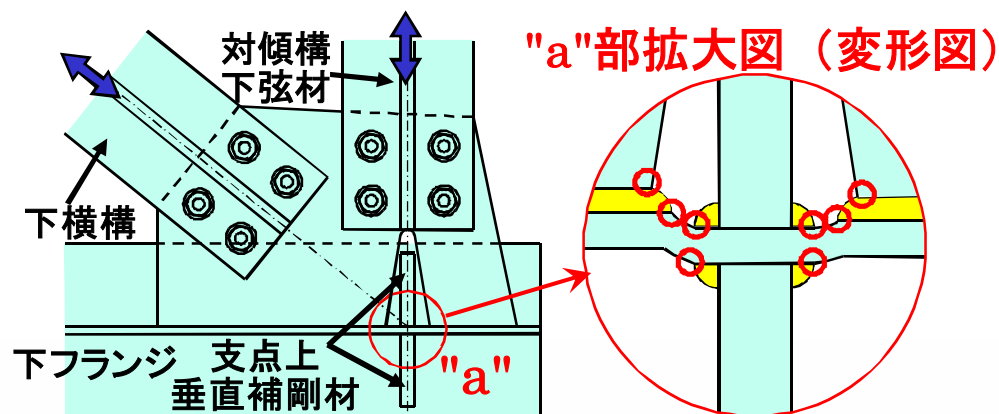
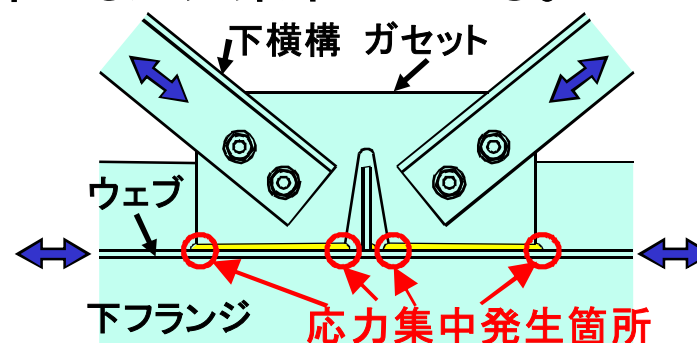
NEXCO

主桁面外ガセット取付部(G型亀裂)



発生原因

- 横構の軸力変動や主桁の曲げ応力により生じる横構ガセット取付部の応力集中による。
- 端横構のガセット取付部では、支点上補剛材の溶接止端部にも応力集中が生じる。



疲労亀裂
(止端亀裂)



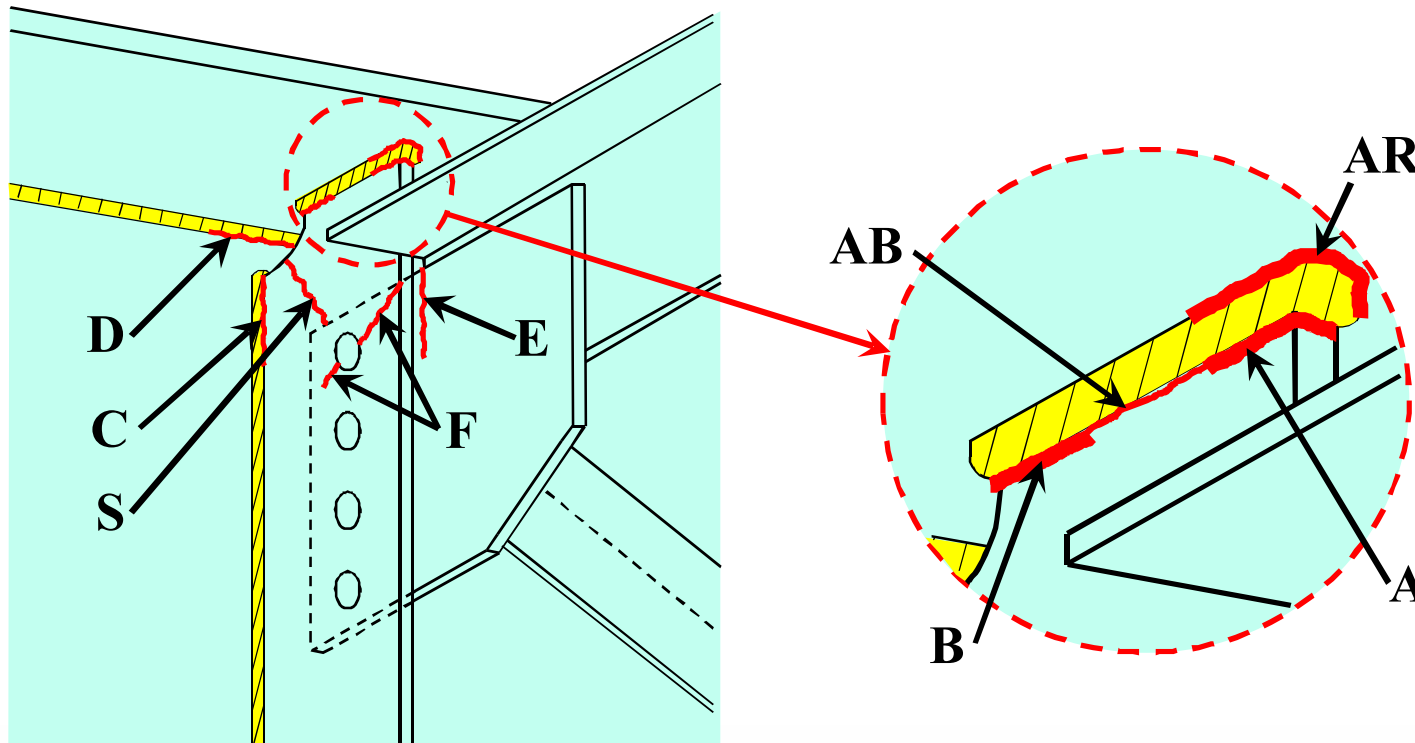
疲労亀裂の発生箇所(鋼鈑桁)

NEXCO

対傾構取付部(A,AR,B,AB,C,D,E,F,S型亀裂)

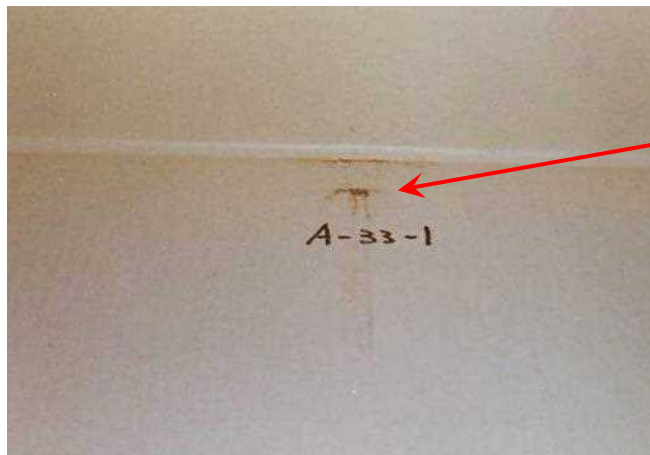
発生原因

- 対傾構や横桁取付け部には、主桁に作用する応力が分配されるため数に示すような溶接止端部やガセットプレート端部、スカルップ等に応力集中が生じる。



疲労亀裂事例(対傾構取付部)

NEXCO

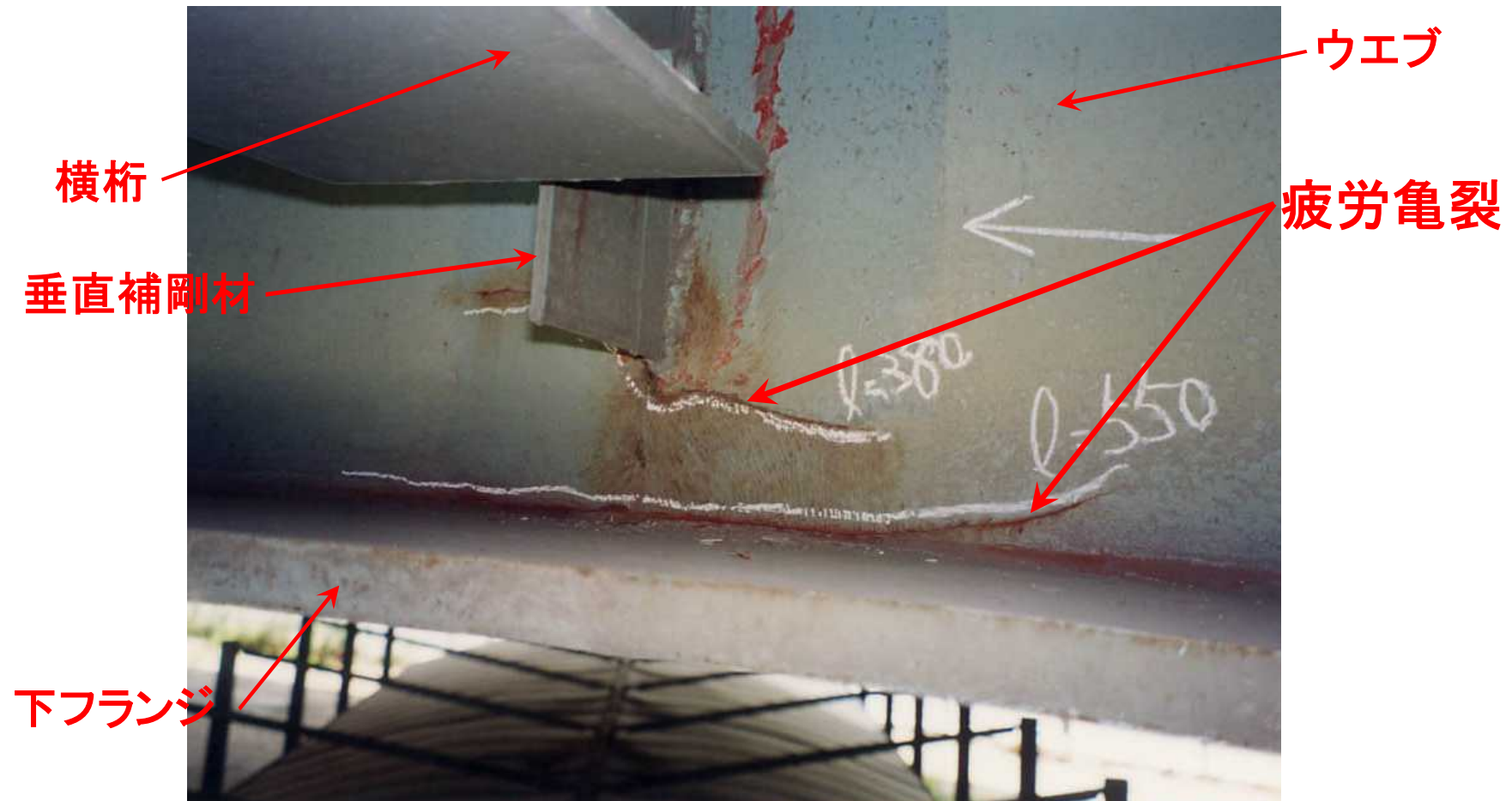


疲労亀裂
(ウェブ裏面に進展)



疲労亀裂事例(横桁取付部ウェブ)

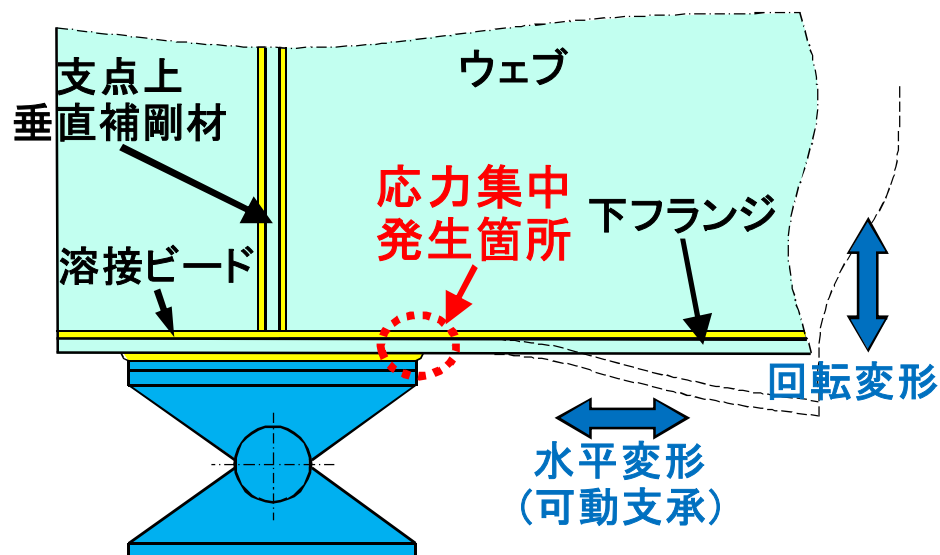
横桁取付け部鉛直補剛材とウェブの溶接部亀裂



疲労亀裂の発生箇所(鋼鈑桁)

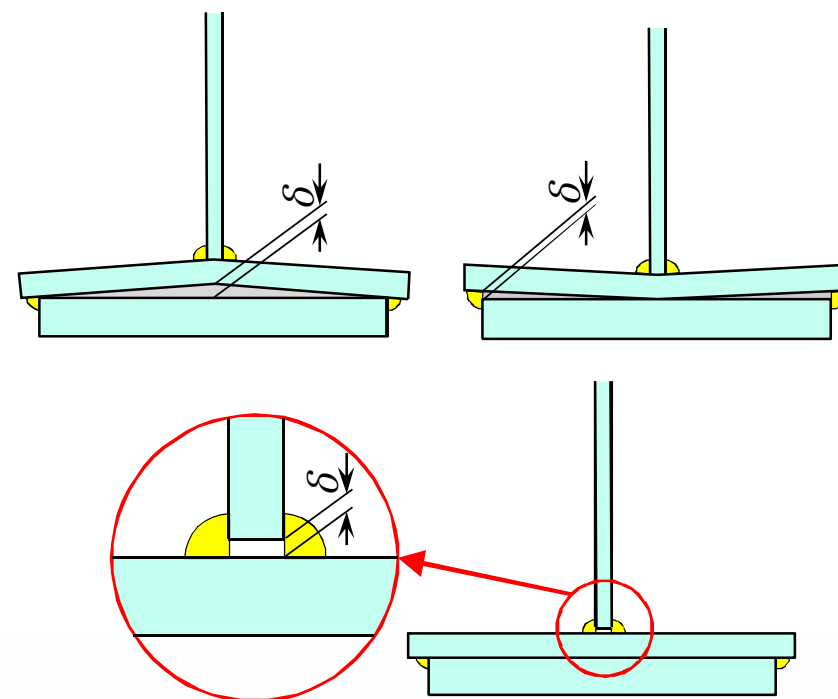
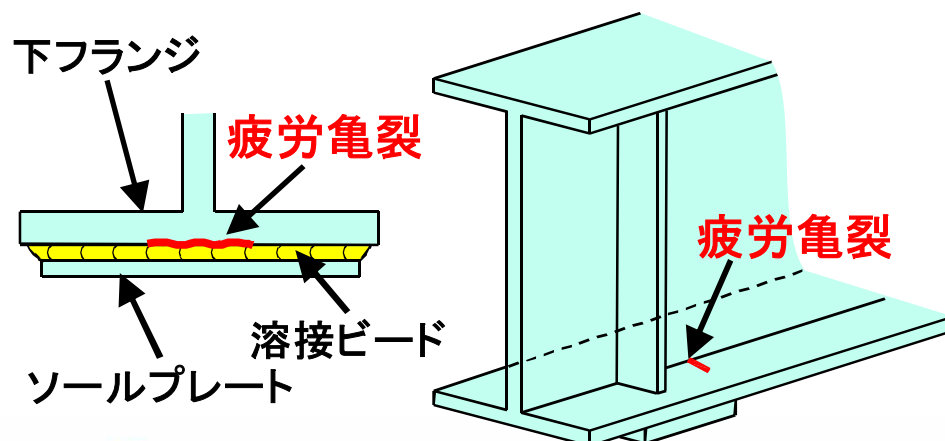
NEXCO

ソールプレート前面溶接部の亀裂(SP型亀裂)



発生原因

- 支承の機能不全(回転・水平)
- 剛性急変
- フランジ形状による密着不良
- 主桁フランジ・腹板間の密着不良



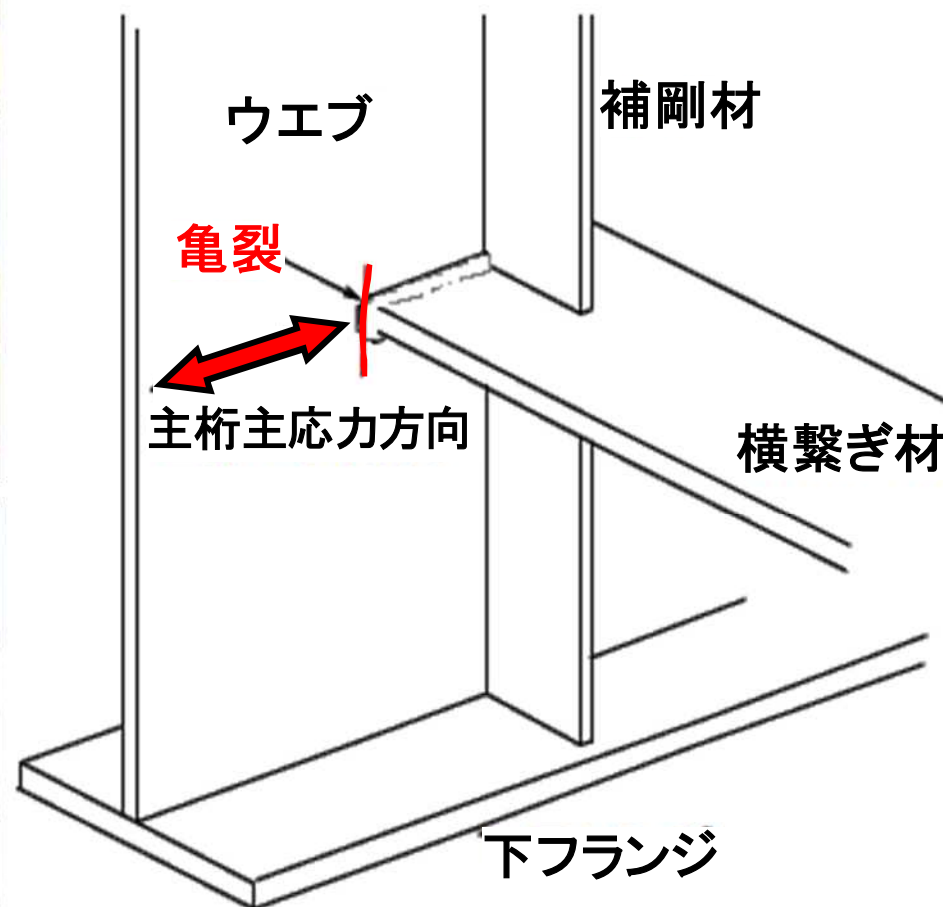
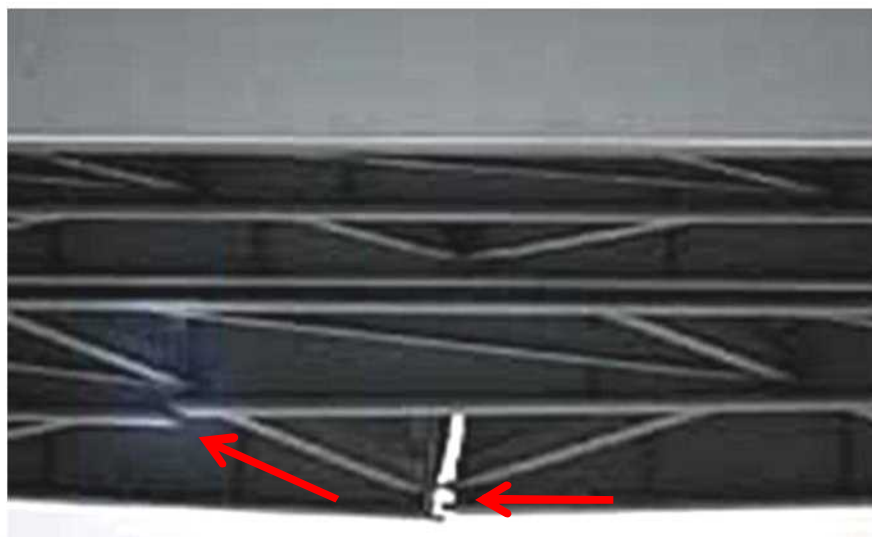
疲労亀裂事例(ソールプレート)

NEXCO

桁拘束による応力振幅 ⇒ 溶接部の亀裂
(支承機能の低下)



疲労亀裂を要因として脆性破壊した事例



主桁取合部の疲労亀裂

鋼部材の疲労亀裂の特徴



疲労亀裂は、点検が可能か？

疲労亀裂の発生箇所の予測

- 平成14年の道路橋示方書から疲労設計が導入されたので、それ以前に設計された重交通路線は亀裂発生の可能性がある。
- 桁端部で支承が機能不全となったソールプレート溶接部は、亀裂発生の可能性が増大する。
- 対傾構や横桁および下横構の主桁取付箇所の溶接部は、亀裂発生の可能性が増大する。

点検方法

- 前述の箇所を重点的に点検することにより、効率的な点検が可能となる。
- 亀裂の予測箇所で塗膜割れを発見した場合は、磁粉探傷試験などで、亀裂の有無及び程度を速やかに調査する。

鋼部材の疲労亀裂の特徴

NEXCO

疲労亀裂は、速やかな対策が必要か？

速やかな対策が必要な疲労亀裂

- 1次部材(主桁等)を破断する方向に発生する亀裂は、速やかな対策が必要となる。

SP型亀裂:ソールプレート溶接部から発生する亀裂で主桁を破断する。

G型亀裂:下横構主桁ガセットおよび横桁溶接部から発生する亀裂で、主桁を破断する。

その他:アーチ橋垂直材取付け部などに発生する亀裂で、アーチリブや補剛桁等の1次部材を破断する。

- 鋼床版のデッキプレートを破断する方向に発生する亀裂は、走行安全性の確保のため速やかな対策が必要となる。

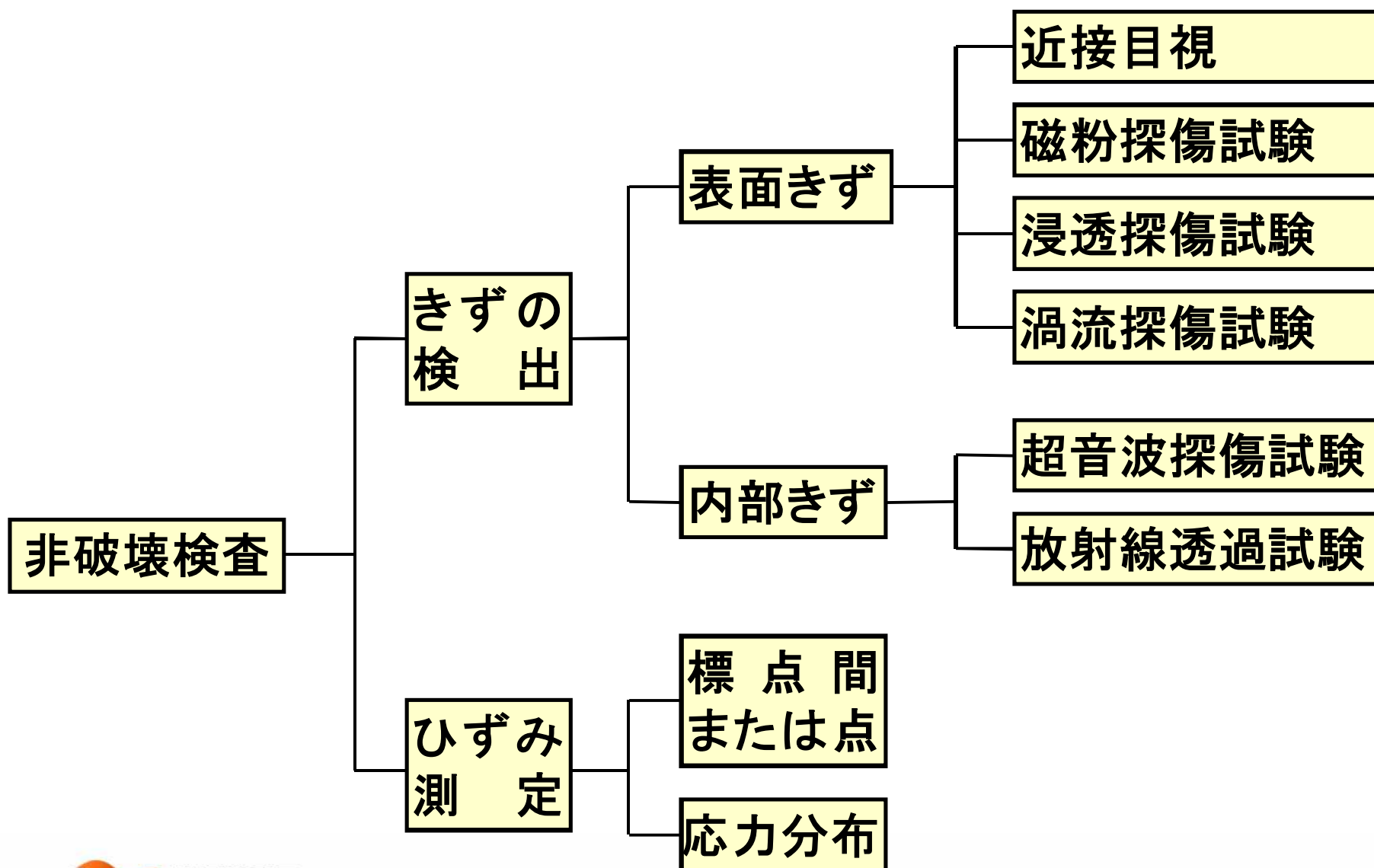
その他の疲労亀裂

- 対傾構取付箇所の溶接部から発生する亀裂などは、緊急性はないが計画的に補修することが望ましい。

4.4 鋼構造の非破壊検査方法

非破壊検査の分類

NEXCO



きずの非破壊検査方法

NEXCO

一般に下表の4種類の試験が実施されている。

種 類	長 所	短 所
磁粉探傷試験 (MT : Magnetic Particle Testing) JIS G 0565	①表面きずの形状および寸法の測定精度に優れる。 ②微細なきずの長さを測定するのに有効である。	①内部きずは検出できない。 ②塗膜を除去する必要がある。 ③表面の凹凸が著しい場合には結果の判定を誤りやすい(アンダーカット, ビード波目)。
浸透探傷試験 (PT : Penetrant Testing) JIS Z 2343	①表面に現れたきずの検出に適している。 ②電源の供給を必要とせず, 他の探傷試験と比べて用意する機器が少なく, 簡便な方法である。	①塗膜を除去する必要がある。 ②内部きずは検出できない。 ③小さなきずの検出は, 浸透液が十分浸込むことができないため, 困難。 ④表面の凹凸が著しい場合には結果の判定を誤りやすい(アンダーカット, ビード波目)。
渦流探傷試験 (ET : Eddy Current Testing) JIS G 0568	①表面に現れたきずの検出に適している。 ②塗膜上からの検査が可能。 ③検査時間が短い。	①内部きずは検出できない。 ②正確な寸法測定はできない。 ③検査精度が探傷技術者の経験や能力に左右される。
超音波探傷試験 (UT: Ultrasonic Testing) JIS Z 3060	①溶接部の内部きずの検査が可能である。	①きずの位置, 大きさによって検出精度のばらつきが大きい。 ②検査精度が探傷技術者の経験や能力に左右される。

磁粉探傷試験

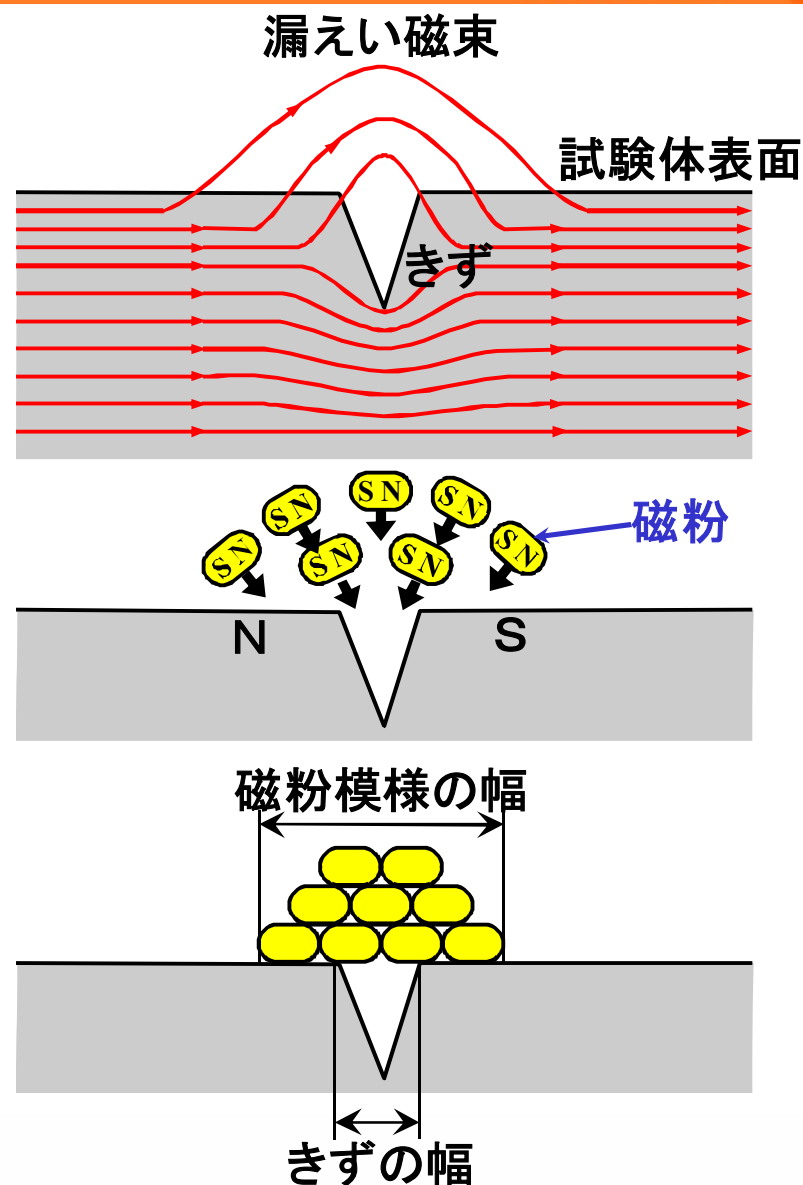
NEXCO

原理

強磁性体が磁化されると、材料内部には磁束が発生する。きずが存在すると、磁束の流れが遮られることになり、多くの磁束がきず部を迂回し、強磁性体の表層部の磁束はきずの近傍で空間に漏洩する。

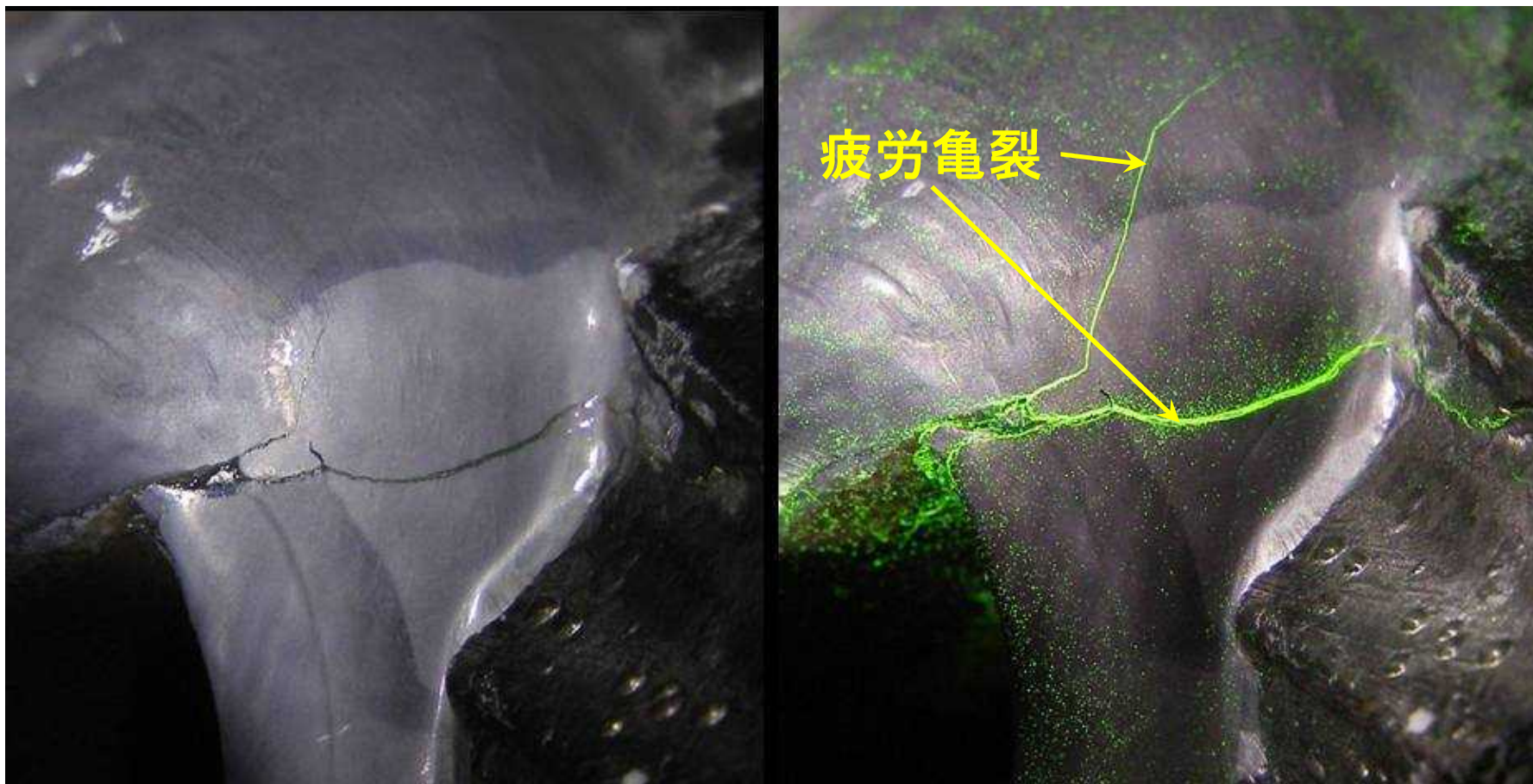
きずがある強磁性体中を左から右方向に磁束が流れるときずの漏洩磁束が生じる。磁束が空間に出るところにはN極が、磁束が強磁性体中に入るところにはS極が形成され、この磁石の強さはきずの漏洩磁束が多いほど強くなる。

このようなところに磁粉を散布すると、磁粉は磁化されて両端に磁極をもった小さな磁石となり、磁粉同士が繋がってきず部に凝集・吸着し、磁粉模様ができる。



磁粉探傷試験

蛍光磁粉を用いた試験例



トラフリブ溶接部のルートから溶接部外面と
デッキプレート上面の両方向に進展する疲労亀裂例

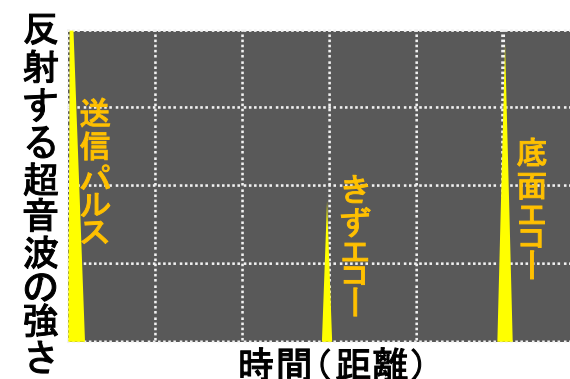
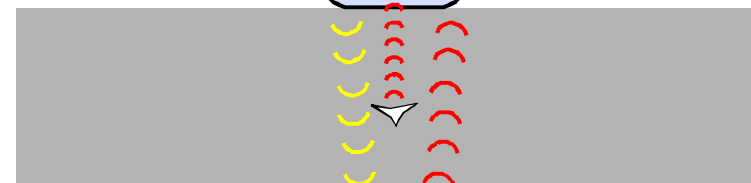
超音波探傷試験

NEXCO

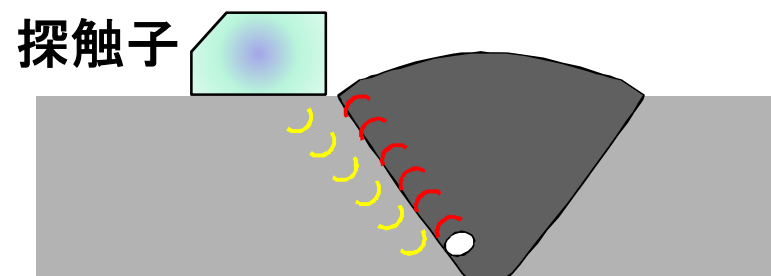
①試験体の表面に超音波を発信したり受信したりすることのできる探触子をあてて内部に超音波を伝搬させ、内部で反射されて戻ってきた超音波（エコーという）が受信されると、試験体の内部にきずがあると判断する。きずの位置は、送信された超音波が受信されるまでの時間から測定する。きずの大きさは、受信されたエコーの高さあるいはきずエコーの出現する範囲から測定する。

②探触子には、試験体表面に垂直に超音波を伝搬させる垂直探触子と試験体表面から斜めに超音波を伝搬させる斜角探触子がある。

探触子 (垂直探傷)



(斜角探傷)



フェイズドアレイ超音波探傷器



フェイズドアレイ超音波探傷器

フェイズドアレイ超音波探傷器は、目に見えない鋼部材の溶接部や鋼部材のクラックなどの損傷を高精度に検出ができる。
(詳細調査に適用)

特徴

- ・原子力分野や航空宇宙産業などで適用
- ・断面を映像化できる
- ・従来の超音波探傷試験に比べ
検査時間の短縮, 検出精度の向上
- ・データのデジタル保存が可能
- ・小型軽量(3.5~4.5kg)
- ・一人で操作可能



フェイズドアレイ超音波探傷器



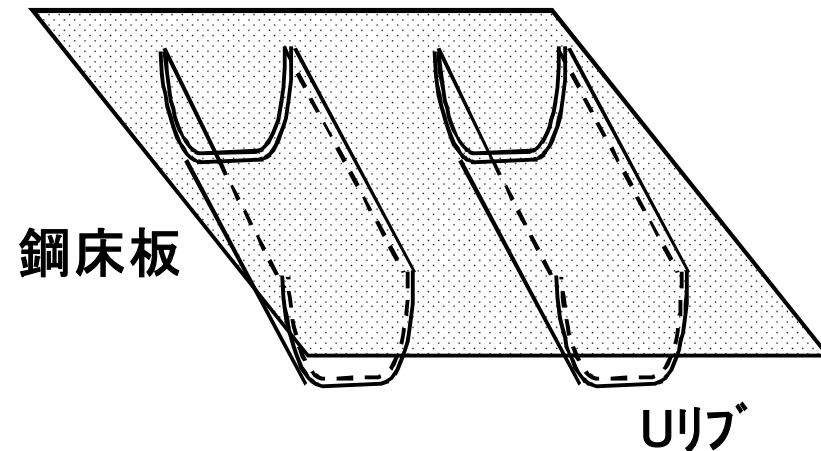
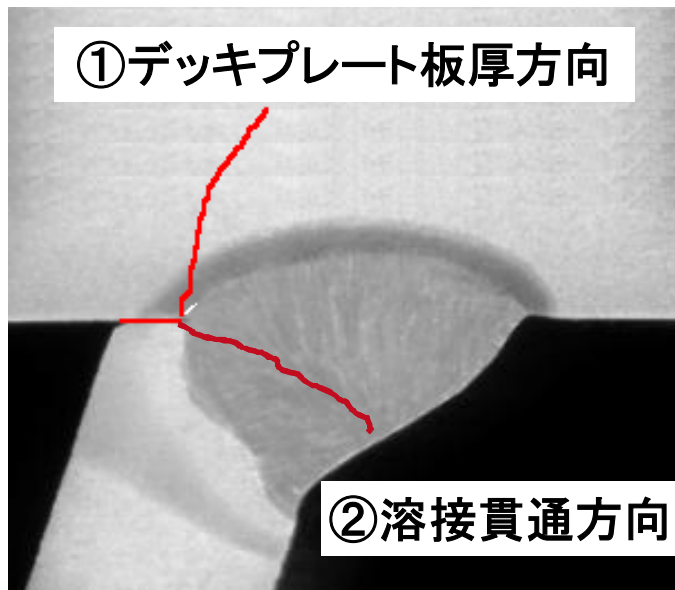
フェイズドアレイ超音波探傷器による損傷部の表示例

フェイズドアレイ超音波探傷器の活用

鋼床版Uリブ溶接部に発生する疲労亀裂の検出

目的

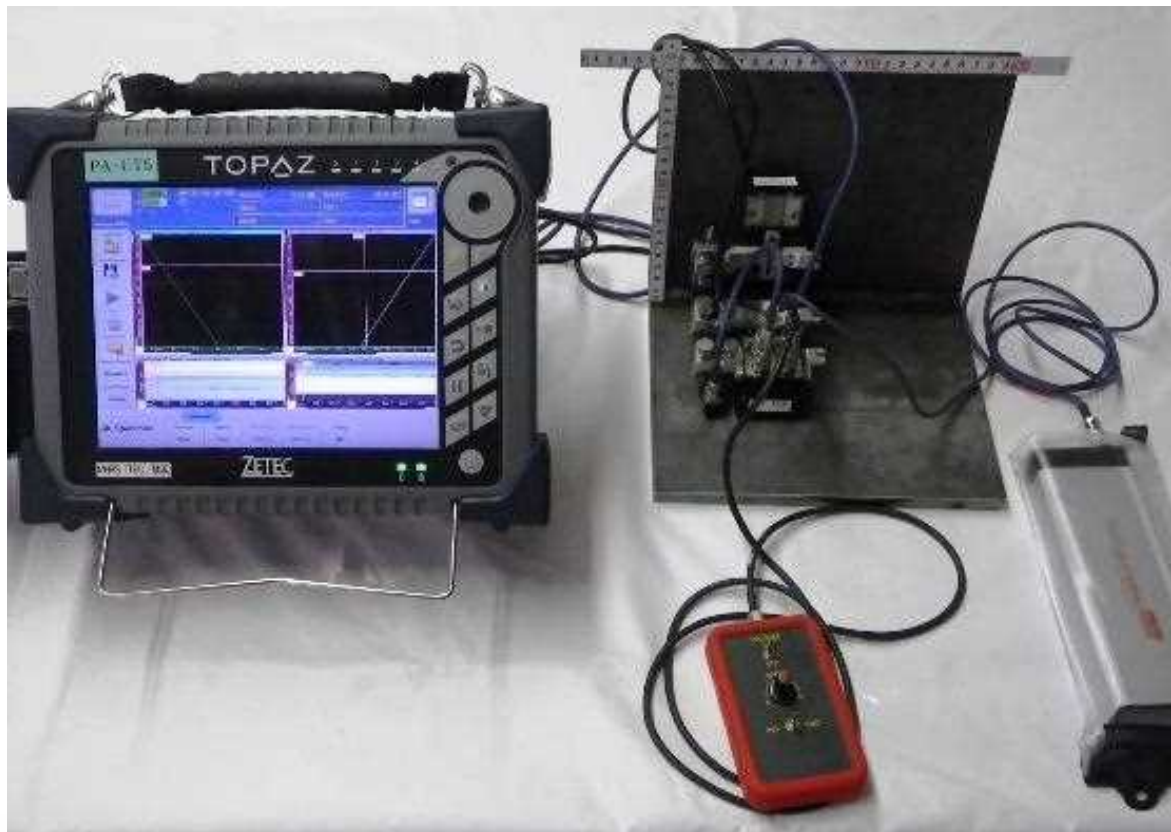
- ①デッキプレート板厚方向の亀裂の有無および形状
現状：貫通しても舗装を剥がさないと確認が困難
- ②Uリブ溶接部貫通方向の亀裂の有無および形状
現状：貫通しないと発見が困難



フェイズドアレイ超音波探傷器の活用

鋼床版Uリブ溶接部に発生する疲労亀裂の検出

NEXCO中日本の鋼床版を有する橋梁で実用化試験を実施



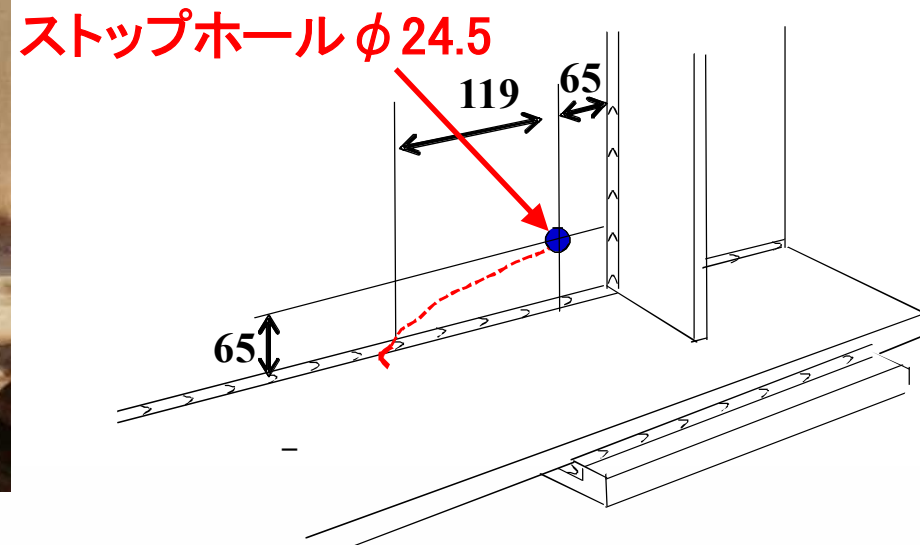
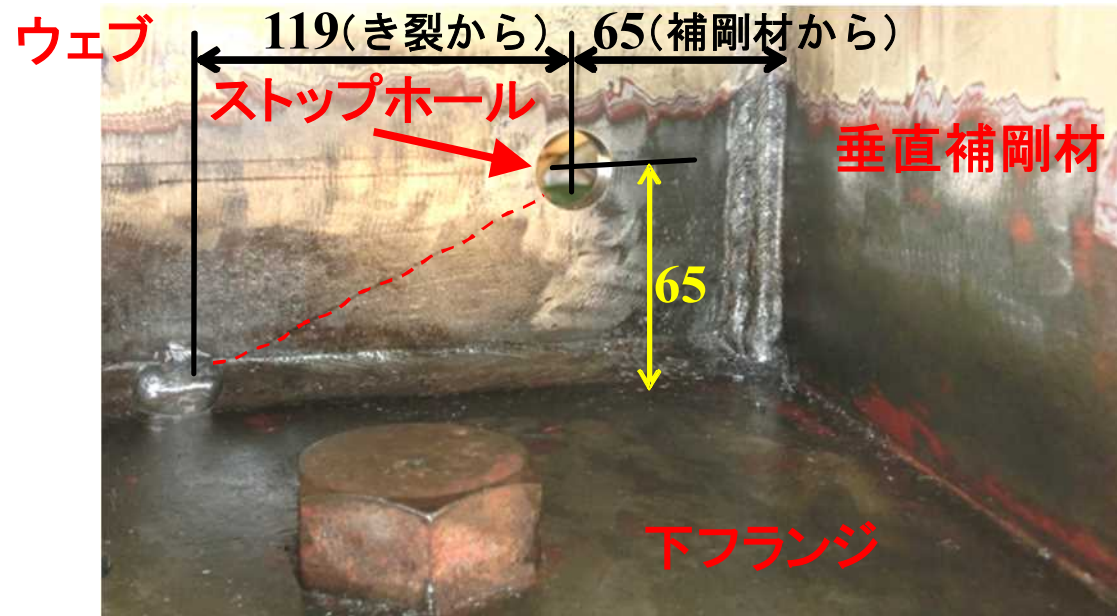
4.5 疲労亀裂の 補修・補強工法の概要

疲労亀裂の補修補強工法



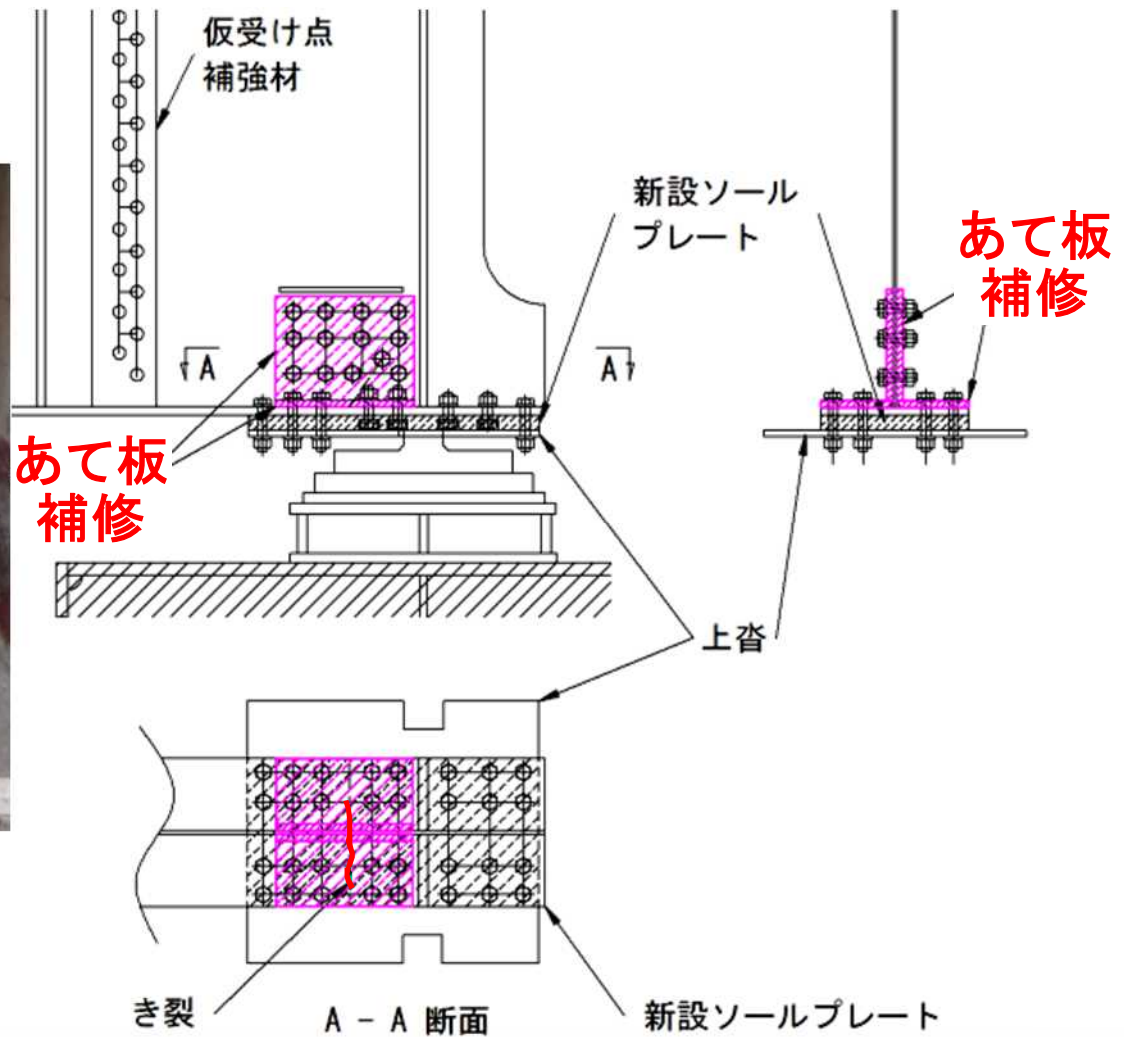
工法・対策	得られる効果
ストップホール	亀裂部位に作用する応力の低減
高力ボルトによるあて板補強	
溶接による補修	
高周波ピーニング	継手部の疲労強度の向上
グラインダー仕上げ	
ハンマーピーニング	
TIG処理	
ICR処理	機能復旧・向上
損傷部の取替え	

SP型亀裂のストップホールの事例

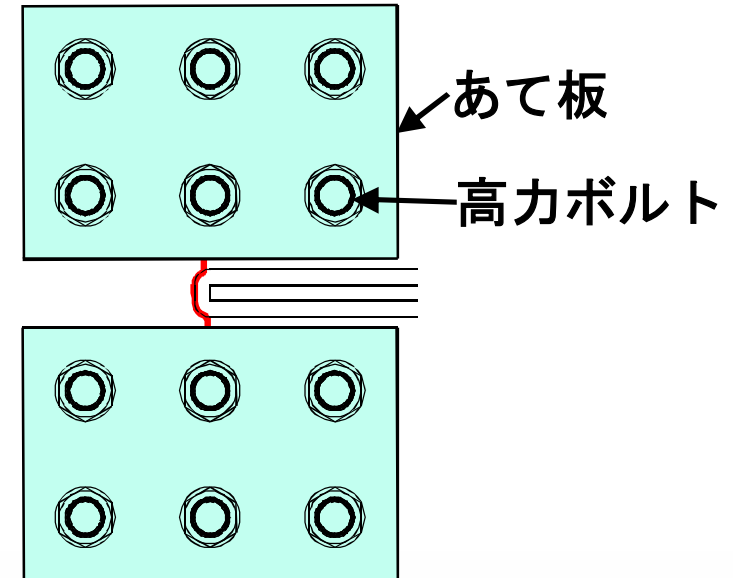
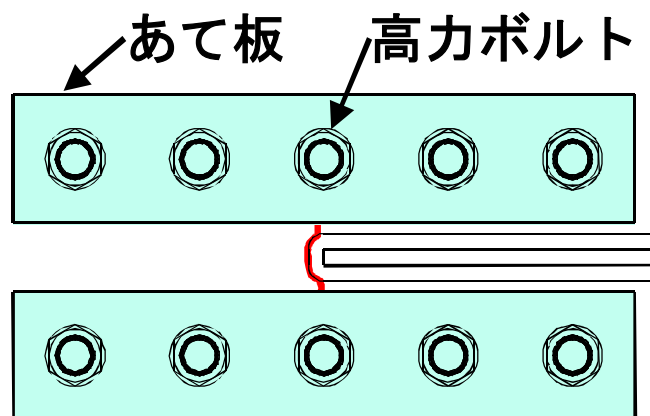
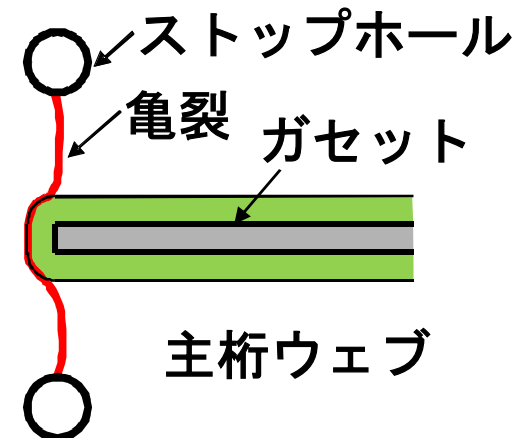
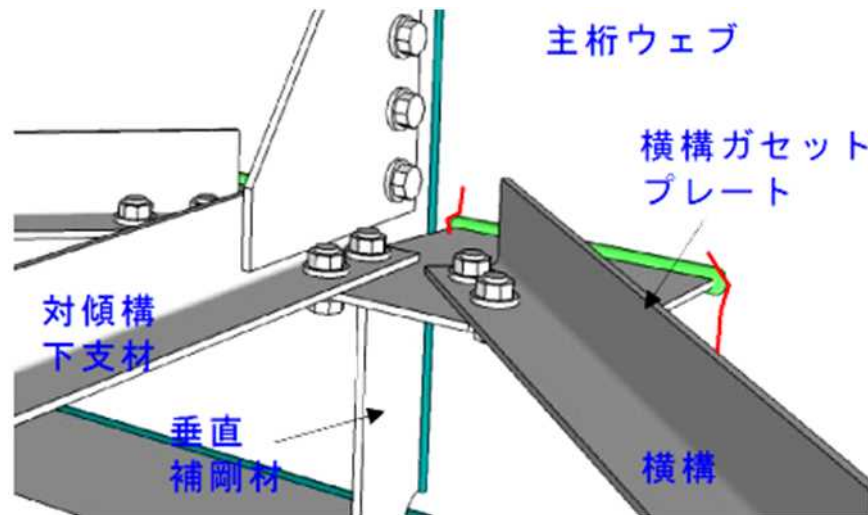


SP型亀裂のあて板補修の事例

NEXCO



G型亀裂のあて板補修(ガセット端部)

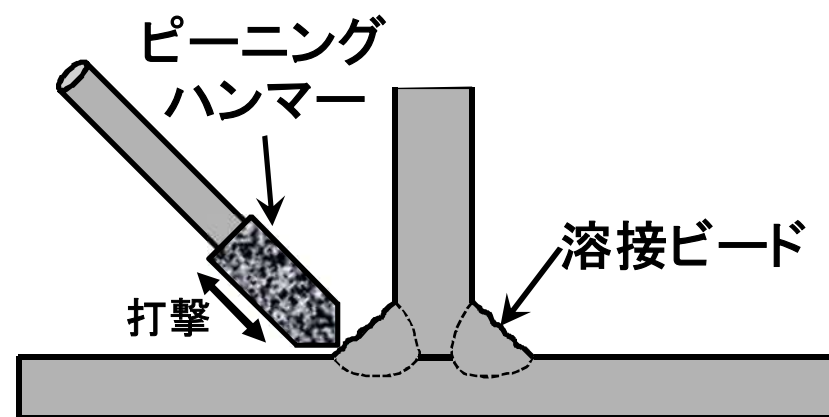


溶接継手部の疲労強度の向上

NEXCO

①高周波ピーニング

溶接止端部に施工し、疲労強度を向上させる予防対策である。溶接部に超音波振動による打撃を加えることによって表面の金属組織が微細化し、ち密化され、溶接残留応力を引張から圧縮に変化させて、疲労強度を向上させる工法である。溶接止端部の形状が丸くなり、応力集中を緩和することができる。



処理前



高周波ピーニング処理後

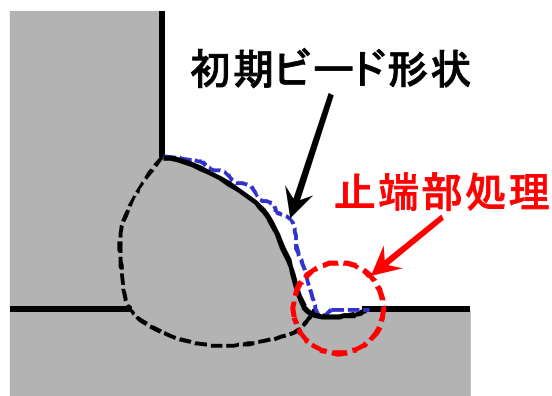
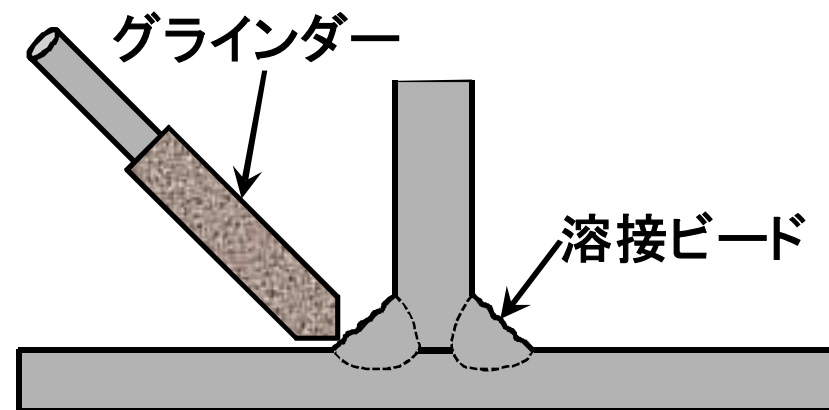
溶接継手部の疲労強度の向上

NEXCO

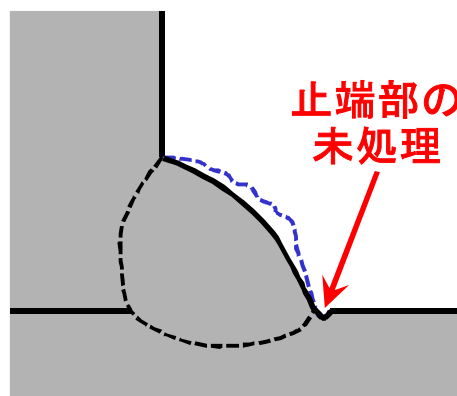
② グライNDER仕上げ

亀裂が発生していない溶接止端部に施工し、疲労強度を向上させる予防対策と溶接止端部に発生した軽微な疲労亀裂を除去する恒久対策の効果がある。

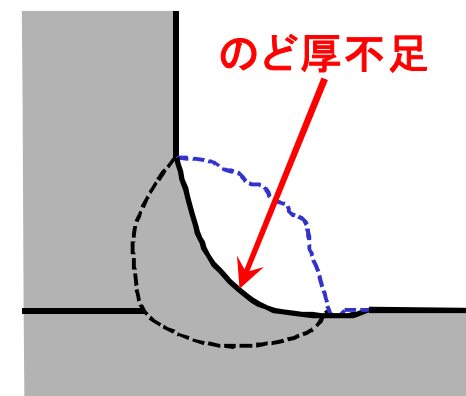
亀裂を除去し、滑らかに仕上げることで応力集中を低減させ、疲労強度を向上させる工法である。



適切な処理事例



表面のみ仕上げた
悪い事例



極端な仕上げによる
悪い事例

4.6 鋼橋の鋼部材の高耐久化の方策

鋼橋の高耐久化のための方策は何か？

腐食対策

- 腐食箇所は、速やかな補修が必要である。
 - ・ 腐食を放置した場合は、劣化が進行し性能が低下する。
 - ・ 劣化の進行は、海岸付近および凍結防止材散布地域で早くなる。
 - ・ 劣化が進行した場合は、補修費が著しく増加する。
- 適切な腐食対策を行うことにより、100年以上供用できる。

疲労亀裂対策

- 疲労亀裂の発生要因を理解して、効率的な点検を実施する。
- 疲労亀裂発生箇所の亀裂発生原因を理解して、効率的な補修・補強を実施する。

5. コンクリート橋の変状と対策 および今後の方策

5.1 コンクリート構造の劣化要因

劣化機構と要因，指標，現象

NEXCO

劣化機構	劣化要因	劣化現象	劣化指標の例
中性化	二酸化炭素	二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応によりpHが低下し，鋼材の腐食が促進され，コンクリートのひび割れや剥離，鋼材断面の減少を起こす。	中性化深さ 鋼材腐食量
塩害	塩化物イオン	コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンにより促進され，コンクリートのひび割れや剥離，鋼材断面の減少を起こす。	亀裂
アルカリシリカ反応	反応性骨材	アルカリシリカ反応性鉱物を有する骨材がアルカリ性水溶液と反応し，異常膨張することによりひび割れが発生する。	膨張量 (ひび割れ)
凍害	凍結融解	コンクリート中の水分が凍結融解により，スケーリング，ひび割れなどで劣化する。	凍結深さ 鋼材腐食量

劣化機構と要因，指標，現象

NEXCO

劣化機構	劣化要因	劣化現象	劣化指標の例
化学的 侵食	酸性物質 硫酸イオン	酸性物質や硫酸イオンによりコンクリートが分解したり，化学物質生成時の膨張圧によりコンクリートが劣化する。	劣化因子の浸透深さ 中性化深さ 鋼材腐食量
疲労	繰返し载荷	道路橋の床版などで輪荷重の繰返し载荷によりひび割れし，鋼材腐食，陥没が発生する。	ひび割れ密度 たわみ
すり減り	磨耗	流水や車輪などの磨耗作用によって，コンクリートの断面が時間とともに徐々に失われていく。	すり減り量 すり減り速度

コンクリートの劣化要因に対する課題

劣化に対する適切な対策の実施が高耐久化を推進

中性化

- すべてのコンクリートは中性化が進行する。
- コンクリートの圧縮強度が小さく、鉄筋かぶりが小さい構造物（RC上部工、RC床板、etc.）は、進行が速く、鉄筋腐食の可能性が増大する。
- 速やかな対策（表面保護工、etc.）により影響を排除できるが、対策を実施しているケースは極めて少ない。

塩害

- 塩害の原因としては、海からの飛来塩分、凍結防止剤（食塩）、内在塩分（海砂等）があり、原因の除去が困難である。
- 塩害を放置すれば、橋梁に致命的な変状が発生する。
- 設計時および早期の対策が重要となる。

コンクリートの劣化要因に対する課題

劣化に対する適切な対策の実施が高耐久化を推進

アルカリシリカ反応(ASR)

- 反応性骨材の有無が重要となる。
- 劣化が進行すれば、耐荷力や耐久性が低下する。
- 早期に対策する必要がある。

疲労(床版)

- 道路橋示方書で想定した輪荷重よりも大きな輪荷重の車両が走行している。
- 床板厚が薄い橋梁(東名高速道路等)に劣化が進行する。
- 床板防水工がない場合は、劣化が早く進行する。
- 塩害の影響がある場合は、劣化が早く進行する。
- 走行安全性に著しい影響を与えるおそれがある。

5.2 コンクリート構造の劣化

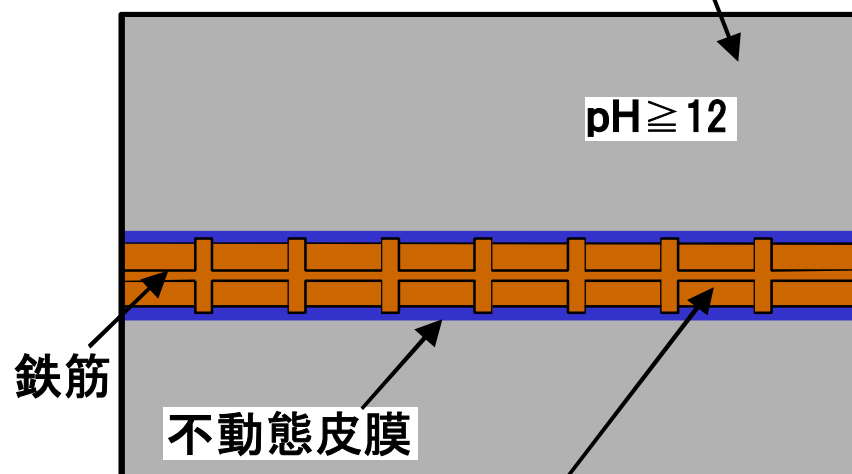
主な劣化原因(中性化)

NEXCO

コンクリートの炭酸化によりpHが低下し鉄筋が腐食

健全な状態

コンクリート中に水酸化カルシウムが多量に存在し、pH12以上の高いアルカリ性を保っている



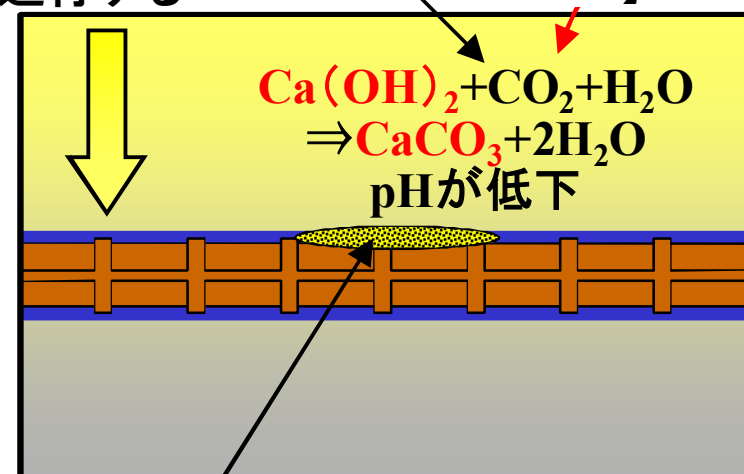
鉄筋は不動態皮膜に保護されて、さびない

中性化

コンクリート中の水酸化カルシウム(Ca(OH)_2)が二酸化炭素と反応して炭酸カルシウム(CaCO_3)となり、pHが低下していく

表面から中性化が進行する

空気中の二酸化炭素 CO_2



不動態皮膜が破壊されて、さびができる



主な劣化原因(塩害)

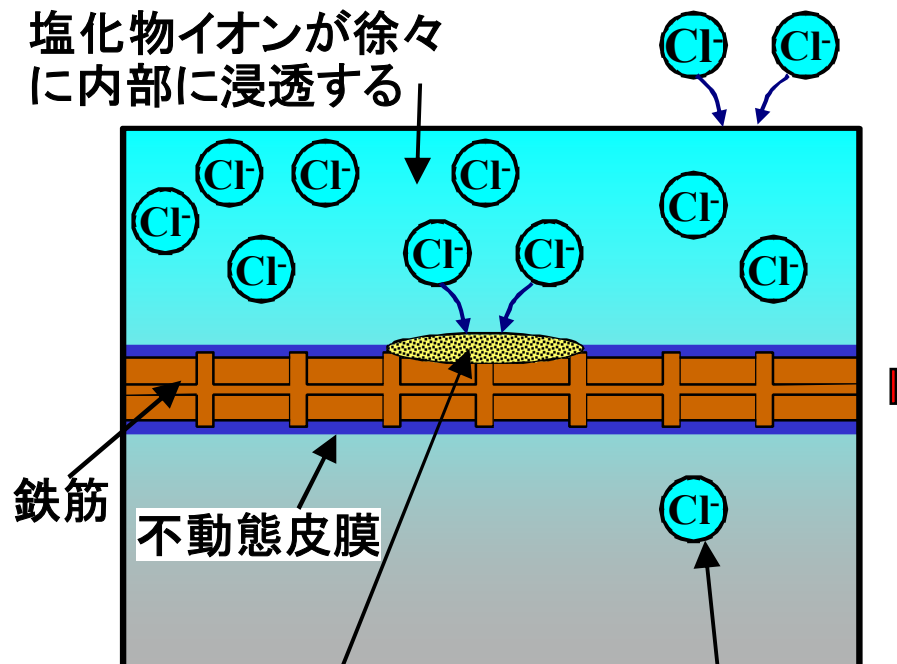
NEXCO

塩化物イオンが不動態皮膜を破壊し鉄筋が腐食

進展期

凍結防止剤や潮風などによって外部から供給される塩化物イオン

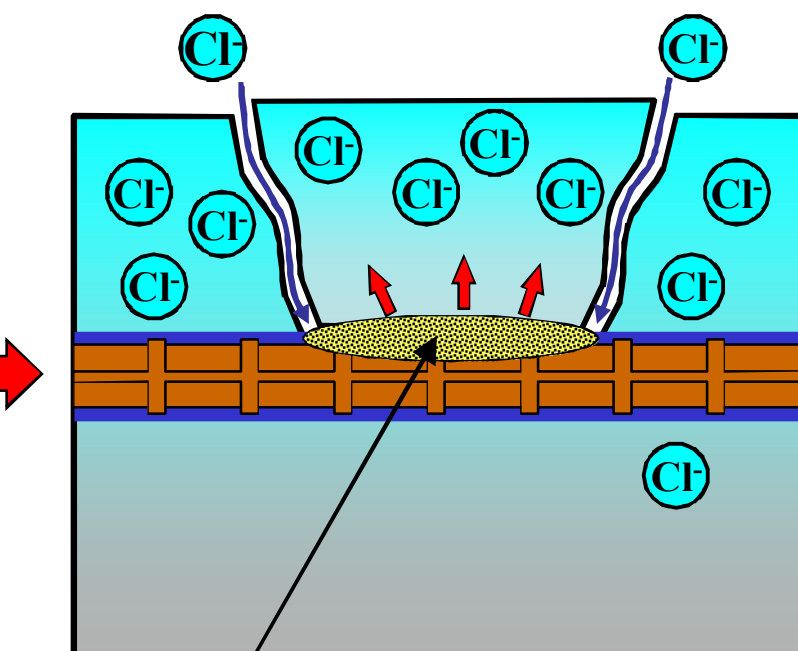
塩化物イオンが徐々に内部に浸透する



塩化物イオンが不動態皮膜を破壊し、鉄筋がさびる

海砂などと一緒に混入した塩化物イオン

加速期



さびの膨張圧力によって、コンクリートにひび割れが生じる

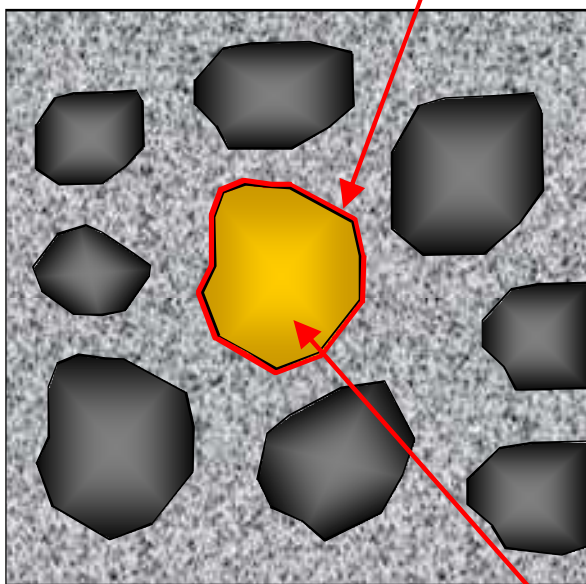
さらに鉄筋がさびやすくなる

主な劣化原因(アルカリシリカ反応)

反応性骨材が吸水・膨張しコンクリートにひび割れ

潜 伏 期

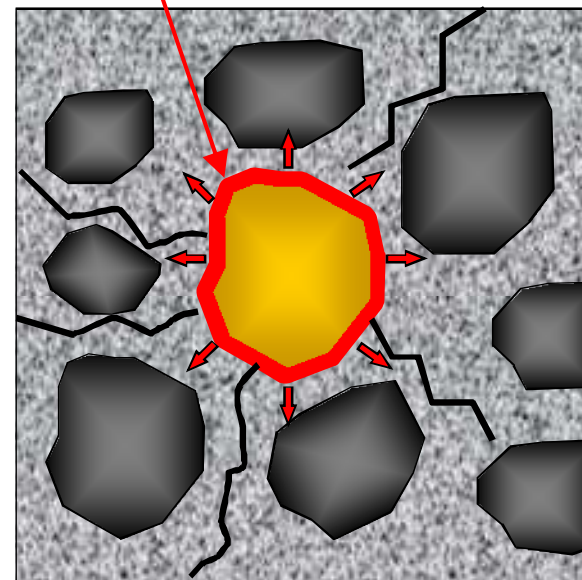
反応性骨材がセメント中のアルカリ成分と反応して、ゲル(吸水膨張性のある物質)を生成する



反応性骨材

加 速 期

ゲルが吸水，膨張して，コンクリートにひび割れが生じる



※一般に、アルカリシリカ反応は、**ASR**(**A**lkali **S**ilica **R**eaction)と略記している。

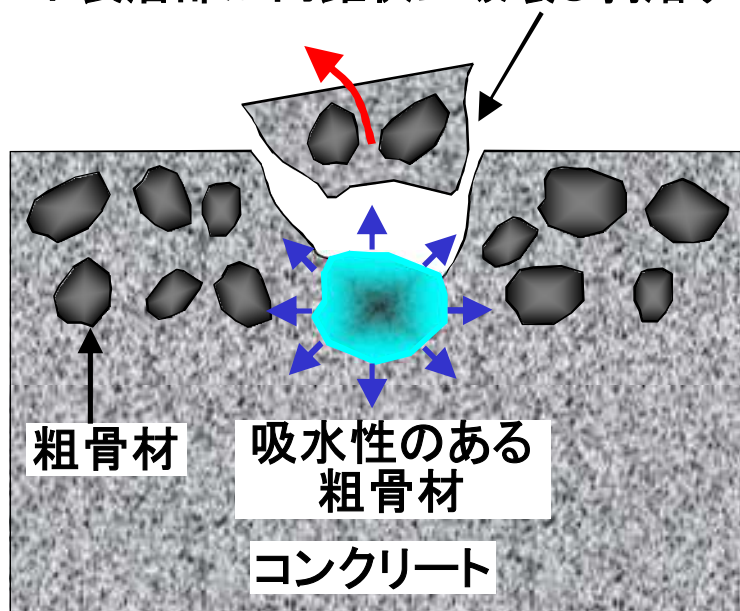
主な劣化原因(凍害)

NEXCO

骨材・モルタルの凍結によりコンクリート表面が劣化

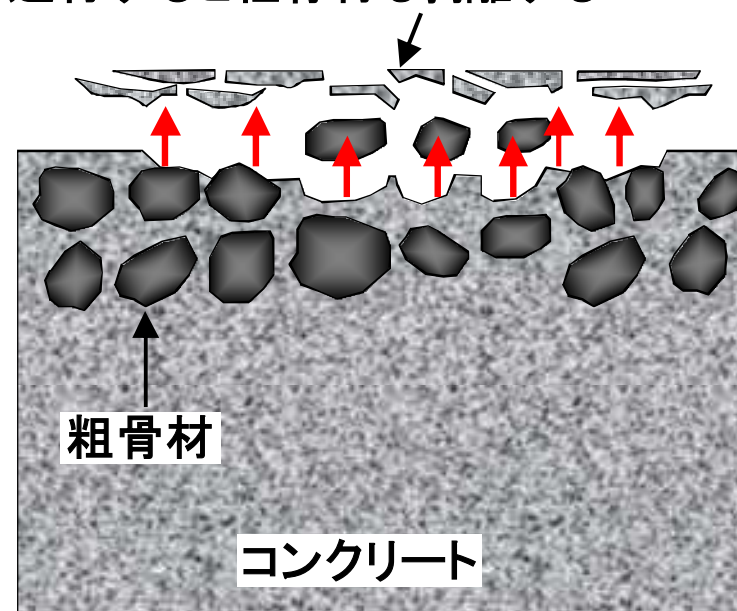
ポップアウト

吸水性のある骨材が表層部にある場合は、凍結時の膨張圧によって、コンクリート表層部が円錐状に破壊し剥落する



スケーリング

凍結と融解の繰返しにより、表面のモルタル分が薄片状に剥離・剥落し、進行すると粗骨材も剥離する

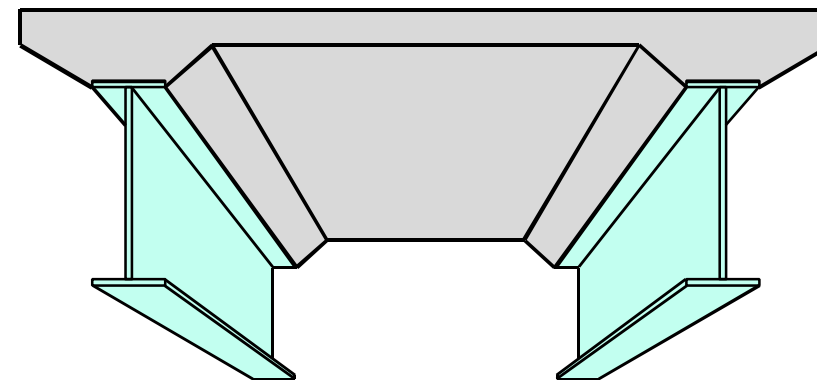


疲労による劣化メカニズム

NEXCO

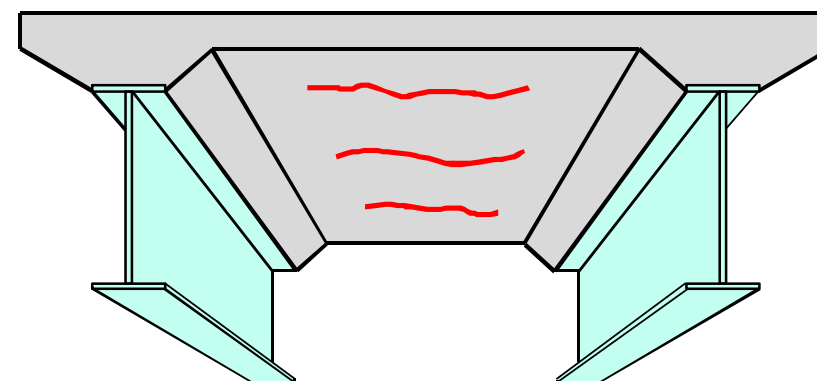
①供用初期

供用初期で、有害なひび割れが発生していない状態。



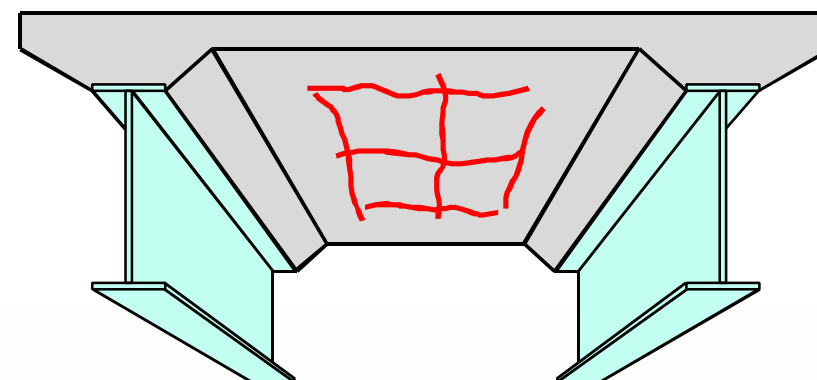
②一方向のひび割れ発生

乾燥収縮等の影響により、床版に一方方向のひび割れが発生した状態。床版の収縮は鋼桁等により拘束されるため、橋軸直角方向にひび割れが発生しやすい。



③格子状のひび割れが進展

縦横のひび割れが交互に発生し、格子状のひび割れが増加する状態。活荷重の作用により、縦横のひび割れが徐々に進行し、せん断、ねじりせん断剛性が徐々に低下する。

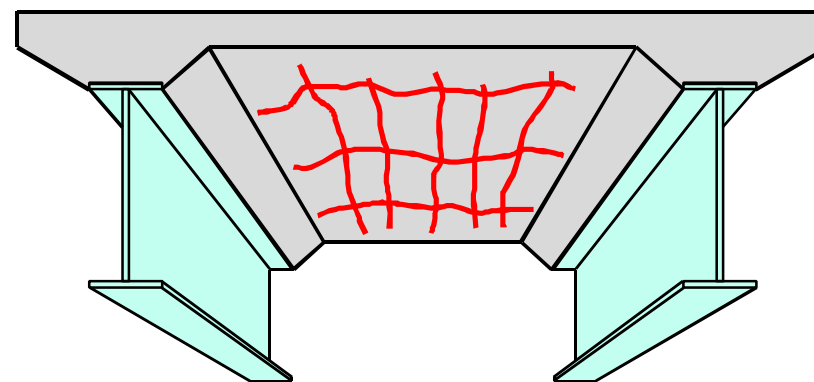


疲労による劣化メカニズム

NEXCO

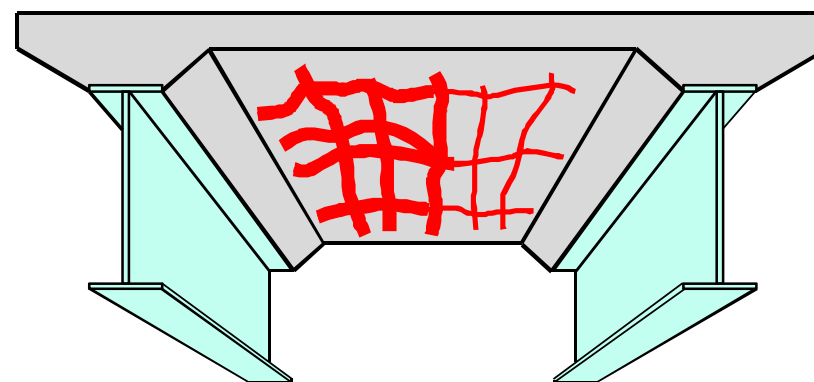
④ ひび割れが上面まで貫通

2方向のひび割れが進行する間に、さらに新しいひび割れが発生し、ひび割れは亀甲状となる。また、交通荷重の繰返しにより、床版の曲げひび割れは貫通する。



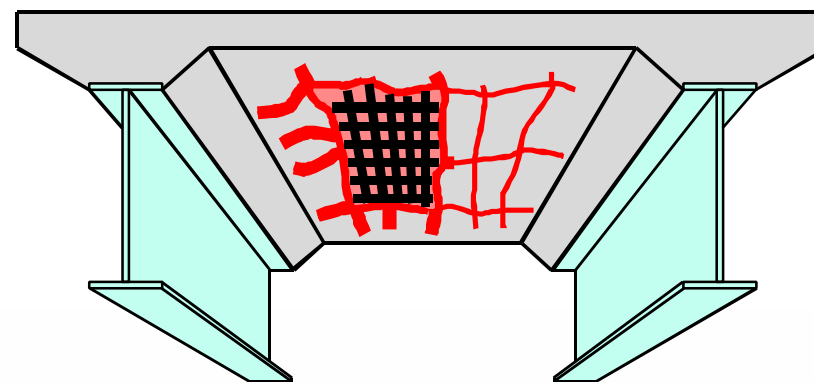
⑤ ひび割れ破面せん断抵抗力低下

ひび割れ破面ですり磨き現象が生じ、せん断抵抗力が低下。水が存在する場合に特に著しい。貫通ひび割れから浸透した雨水によりエフロッセンスが床版下面に沈着するようになる。また、鉄筋の錆汁も付着するようになる。



⑥ コンクリートの抜け落ちが発生

亀甲状ひび割れが20～30cm 角程度にまで進行すると、ひび割れ密度の増加は停止するが、押抜きせん断強度は著しく低下し、これを超える輪荷重により、抜け落ちが生じる。



5.3 PC鋼材の劣化要因

PC鋼材の劣化機構と要因，指標，現象

劣化機構	劣化要因	劣化現象	劣化指標の例
腐食	塩化物イオン 酸性物質・酸素 雨水(結露)など	防錆機能が損なわれ浸透雨水と酸素によりPC鋼材の腐食が進行し，破断に至る。	防食機能の健全性 PC鋼材の破断
疲労	繰返し載荷 風・振動	車両等の荷重の繰返し載荷や風あるいは交通振動による繰返し応力によりPC鋼材が破断する。	張力 PC鋼材の破断

PC鋼材の劣化要因に対する課題

劣化に対する適切な対策の実施が高耐久化を推進

腐食

- PC鋼材は、適切な防錆処理を実施しなければ腐食が進行する。
- 既設構造物においては、材料分離するPCグラウトやシースの空隙率が小さいため、充填不良が発生している箇所がある。
- 内ケーブル構造においては、点検が極めて困難である。
- 遅れ破壊のおそれがある。

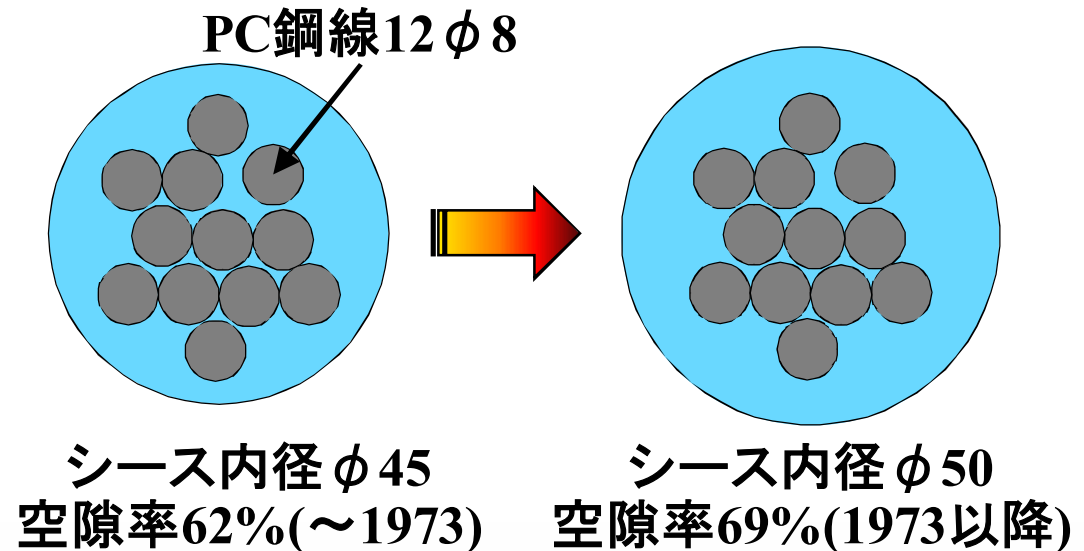
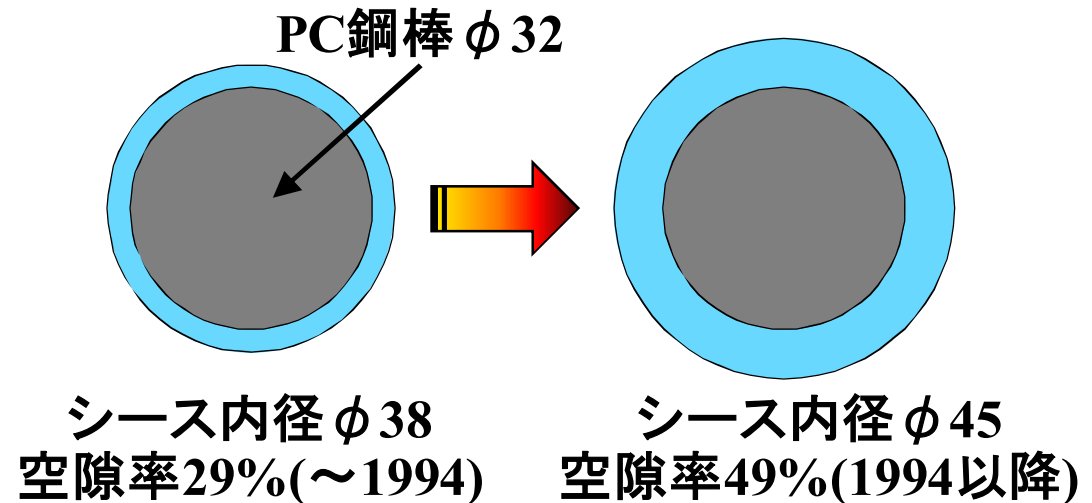
疲労

- 内ケーブル構造は、疲労による劣化はほとんど生じない。
- 外ケーブル構造や斜張橋等の斜材においては、疲労により劣化するおそれがある。

PC鋼材とシースの変遷(鋼棒・鋼線)

グラウトは充填困難

- PC鋼棒においては、鋼棒を配置した場合のシース内の空隙が極めて少なく、PCグラウトの充填が困難で、グラウト充填不良発生しやすい。
- PC鋼線においては、PC鋼棒よりは空隙が多いが、1973年以前の橋梁はPCグラウトの充填が困難となっている。
- 使用PC鋼材や建設年に着目して点検することも極めて重要である。



5.4 PC鋼材の劣化

PC鋼材の劣化事例



グラウトおよびコンクリートの充填不良
⇒ PC鋼材および鉄筋の腐食



PC鋼材の劣化事例

NEXCO

グラウトの充填不良および水の浸入
⇒ PC鋼材および鉄筋の腐食・破断



PC鋼材の防錆不良

NEXCO

PC鋼材の配置不良(かぶり不足)

⇒ PC鋼材・シースおよび鉄筋の腐食



PC鋼材の防錆不良

NEXCO

PCグラウトの充填不良

⇒ PC鋼材の腐食および破断



ファイバースコープによるグラウト充填調査

5.5 コンクリート構造の 非破壊検査方法

強度・ひび割れ深さ

NEXCO

①コンクリートの強度

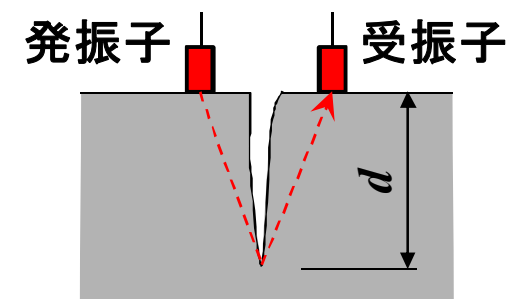
反発度法によるが、一般的には**シュミットハンマー** (Schmidt Hammer)を使用している。比較的誤差が大きい。



②コンクリートのひび割れ深さ

一般的には**超音波法**による。特徴は以下のとおりである。

- ・コンクリート表面に設置した発振子から超音波を発振し、受振子に到達する時間からひび割れ深さを算定する。
- ・ひび割れを鉄筋等が通過している場合は、鉄筋に超音波が伝達するためひび割れ深さを過小評価する場合がある。
- ・当該コンクリートの弾性波速度を既知とする必要がある。



$$d = V_0 \times \frac{t}{2}$$

d = ひび割れの深さ(mm)

V_0 = コンクリートの弾性波速度(km/s)

t = 伝達時間(μ s)

コンクリート表面付近の変状

NEXCO

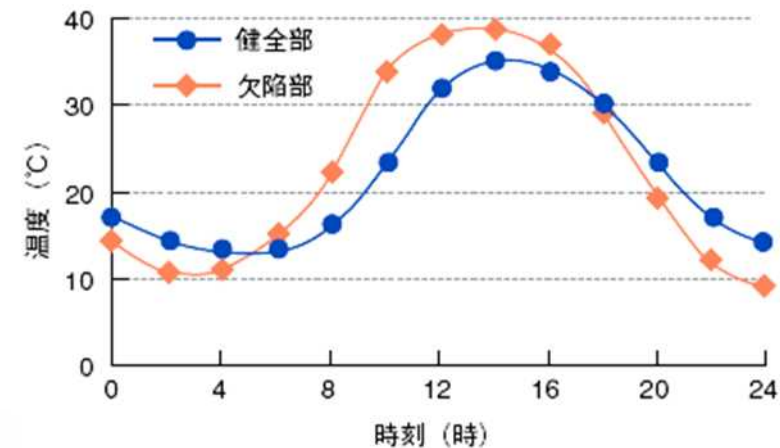
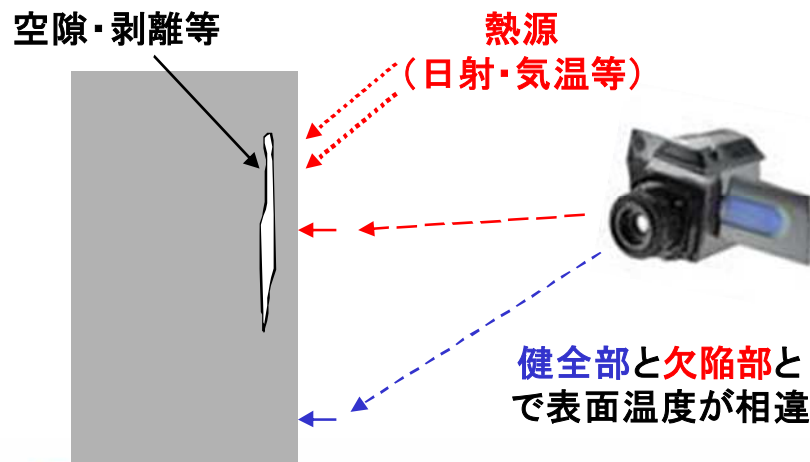
コンクリート表面から鉄筋位置付近までのコンクリートの変状（剥離、空洞等）には、**赤外線法（赤外線サーモグラフィ）**が使用可能

原理

- ①すべての物体は赤外線を放射し、温度が高い物体は強く赤外線を放射する。
- ②赤外線の放射エネルギーを計測することにより、物体の温度が計測できる。
- ③健全部と欠陥部との温度差を計測することにより欠陥部を検知する。

特徴

- ①遠方から非接触で計測が可能。
- ②気温等による制約条件から計測可能日が制限される。

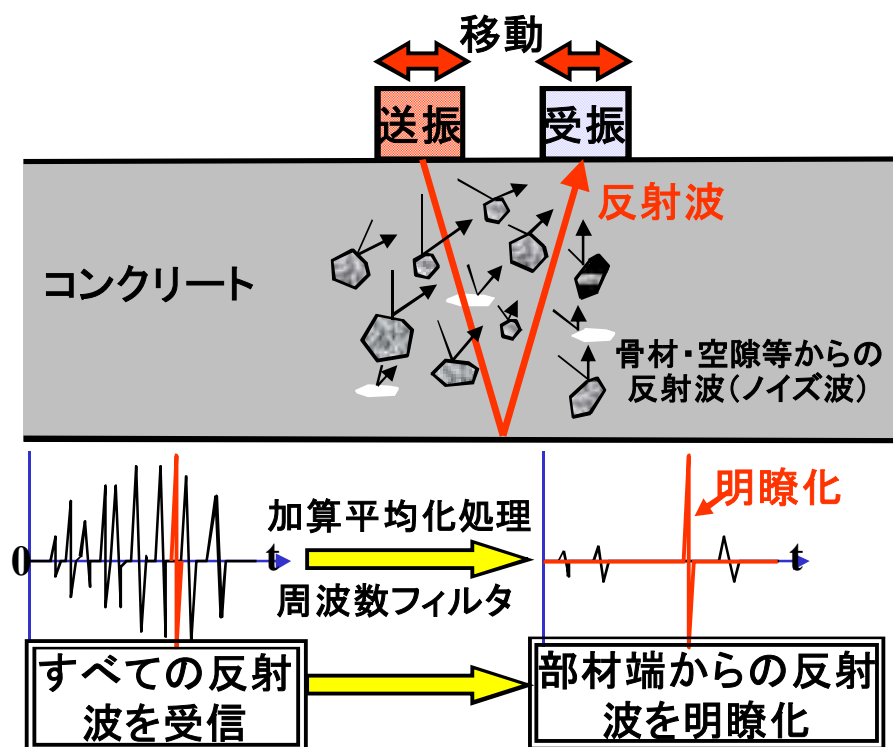


コンクリート内部の変状(広帯域超音波)

コンクリートの内部の変状(ひび割れ, 空洞等)には, 電磁波法や超音波法が使用可能であるが, 超音波法を改良した**広帯域超音波法**が比較的精度が高い。

原理

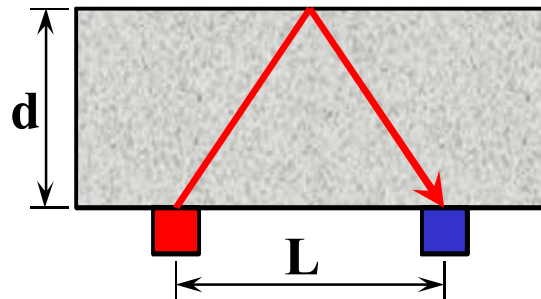
広帯域超音波法は, 超音波送振探触子を移動させながら, 広帯域の周波数の超音波をコンクリート内に透過させ, 反射波の加算平均処理を行うことにより, 骨材等による反射波の影響を受けずに探査を可能とするとともに, 受振した反射波に周波数フィルタ処理を行うことにより, 探査対象物以外からの反射波を除去して探査を可能としたもの。



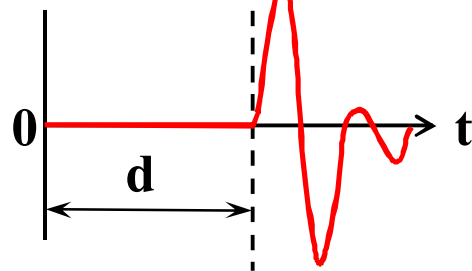
コンクリート内部の変状(広帯域超音波)

広帯域超音波法による変状の探査原理

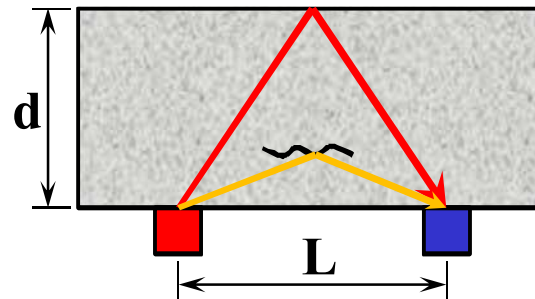
(a) 健全な場合



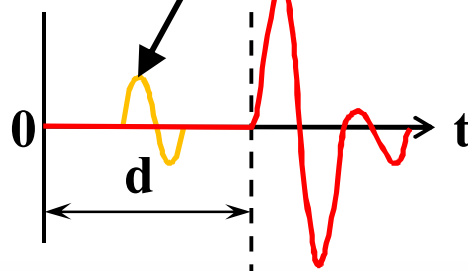
コンクリート端部からの
反射波



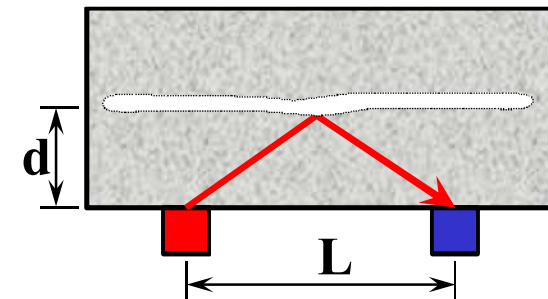
(b) 微細な空隙等がある
場合



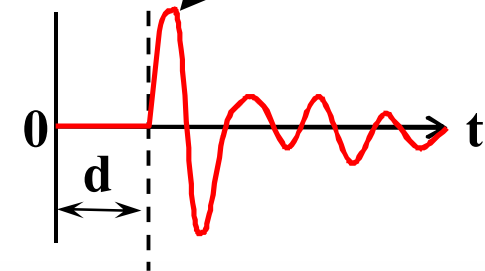
微細な割れ・空隙または鋼繊維の塊・鉄筋等からの反射波



(c) 空隙等が発生している
場合



空隙部(充填不良・ひび割れ等)
からの反射波



鉄筋のかぶり・位置

NEXCO

コンクリート中の鉄筋のかぶりや位置の調査は、一般に**電磁誘導法**および**電磁波法**が広く用いられている。

①電磁誘導法

プローブ中のコイルから発生する磁束が、鉄筋との距離によって変化することを利用して鉄筋のかぶりと位置を計測する方法。コンクリート表面側の鉄筋のみが検出対象となる。



②電磁波法

電磁波をコンクリート表面に放射すると、コンクリート内部に浸透した電磁波はコンクリートと電氣的性質が異なる鉄筋や空洞などから反射されるので、この原理を利用し電磁波が反射してくる時間から、鉄筋などの位置を計測する方法。コンクリートを伝搬する電磁波の速度(比誘電率)を把握する必要がある。

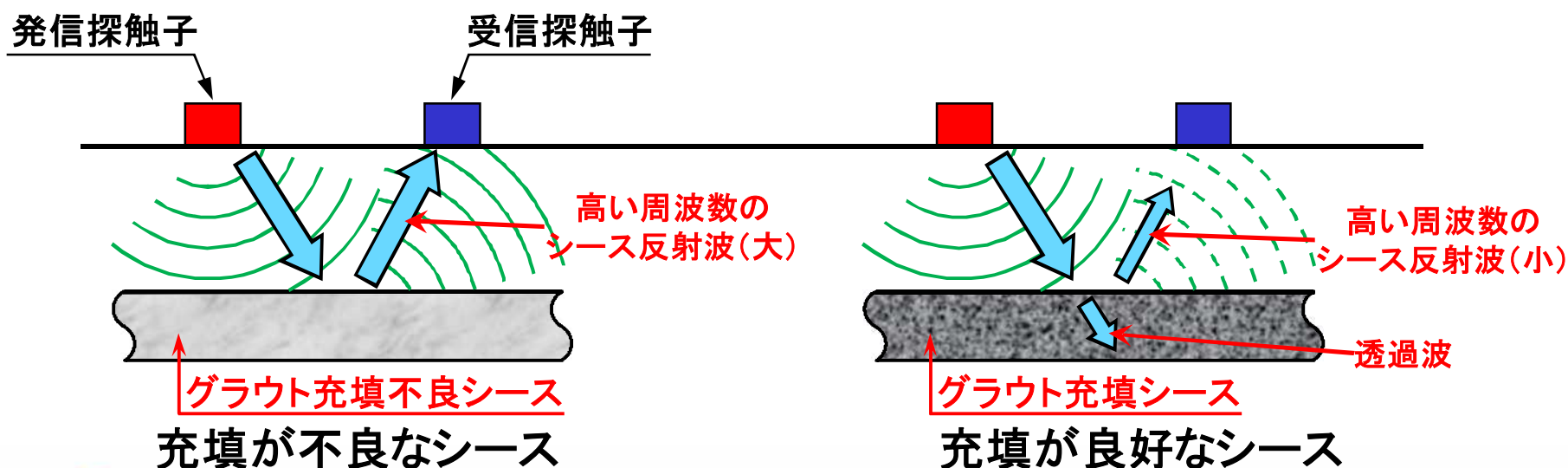


グラウト充填調査(広帯域超音波法)

探査原理

超音波は異なる物質の界面で反射する特性があり、空洞があるとそこでほぼ全反射し大きな反射波を発生するが、密実であると反射率が低いため、反射波は小さくなる。

シーすからの反射波は高周波帯域の波が支配的であるため、グラウト充填不良シーすの場合は高周波帯域の波を受信し、充填シーすの場合は高周波帯域の波は小さくなる。グラウト充填調査は、探触子を配置し、シーすからの反射波を受信して、その特性値の差でグラウトの充填を判定する。

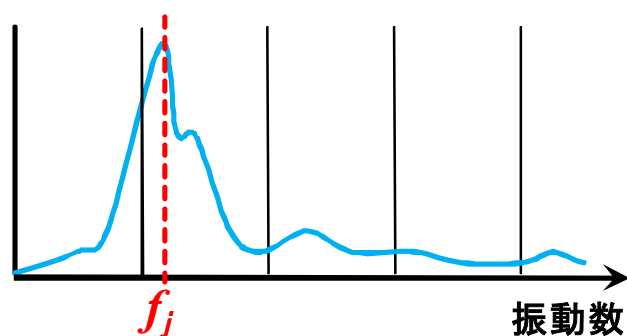


グラウト充填調査（広帯域超音波法）

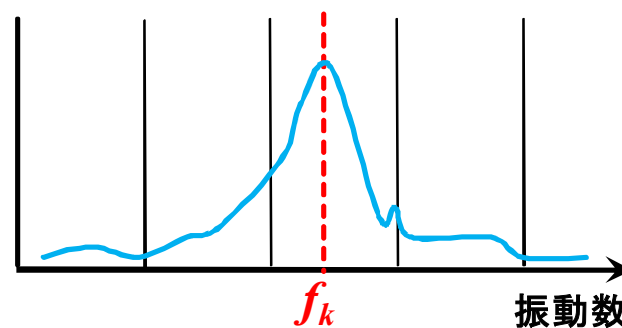
探査原理

グラウトが充填されている場合と充填不良の場合とでは、卓越スペクトルパターンが下図のように異なることが確認されている。グラウト充填不良の場合は、高い周波数帯域でピークが発生しやすい傾向があり、このパターンの差異によりグラウトの充填判定を行う。

充填判定の閾値（振動数）はコンクリートの強度、かぶり厚、シース径などにより変動するため、探査結果のキャリブレーションを目的とした削孔調査を行い、探査精度の向上を図る。



充填良好シース卓越スペクトル



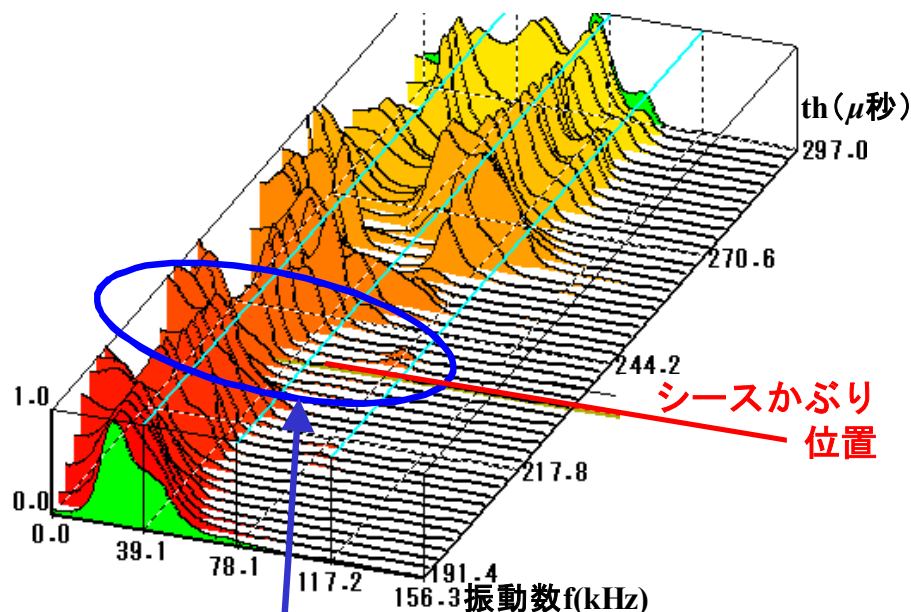
充填不良シース卓越スペクトル

スペクトルパターンの模式図

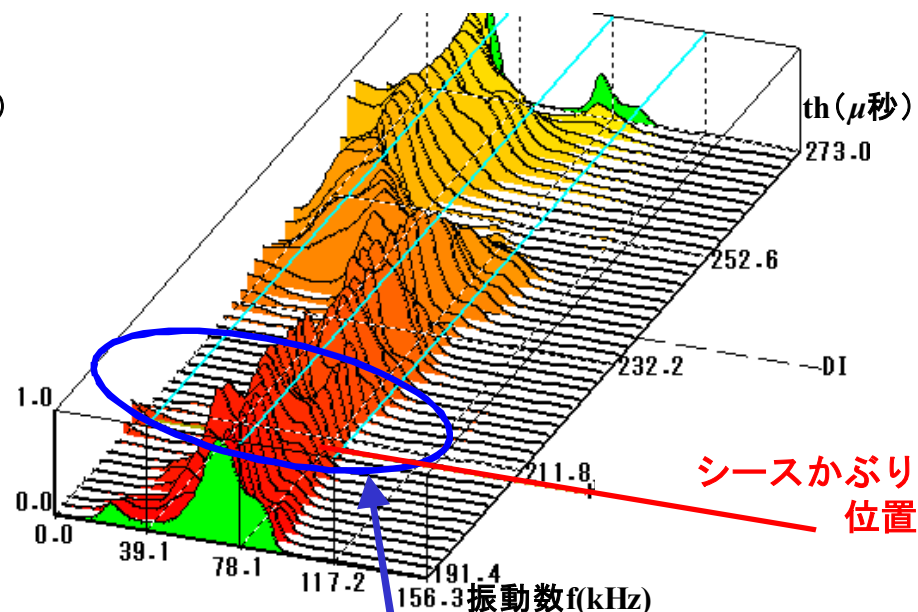
グラウト充填調査(広帯域超音波法)

グラウト充填状況確認方法

グラウトの充填判定は、シースのかぶり位置の波形で判断する。左の波形は、周波数が低い帯域にシース反射波のピークが確認できるので充填が良好であり、右の波形は、充填判定の波形と比較して高い周波数帯域にピークが確認できるので充填が不良の可能性が高い。



グラウトの充填が良好なケース
シース反射波の卓越振動数が低い周波数領域



グラウトの充填が不良なケース
シース反射波の卓越振動数が高い周波数領域

グラウト充填調査(広帯域超音波法)

広帯域超音波装置(事例)

項 目	仕 様
探傷周波数範囲	2.5kHz～1,000kHz
探触子印加電圧	1～500V
増幅度	20～60DB
時間軸サンプリング数	4000(最大16,000点)
サンプリング周波数	78kHz～10MHz
使用電圧	AC100V
探触子	Φ76探触子



広帯域超音波装置の事例

グラウト充填不良探查個所の処置

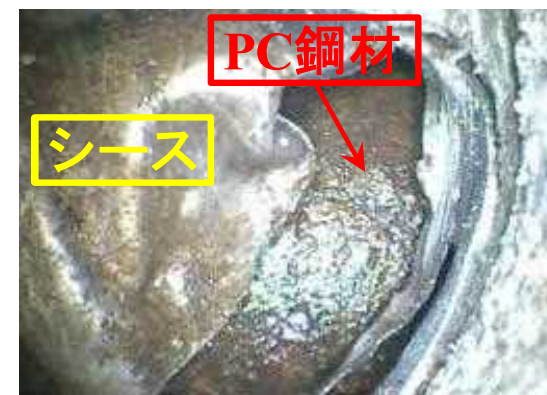
グラウト充填不良箇所は、必要に応じて削孔を行いファイバースコープで充填状況を調査する。



超音波ドリルによる削孔



ファイバースコープによる調査



シース内部の調査事例

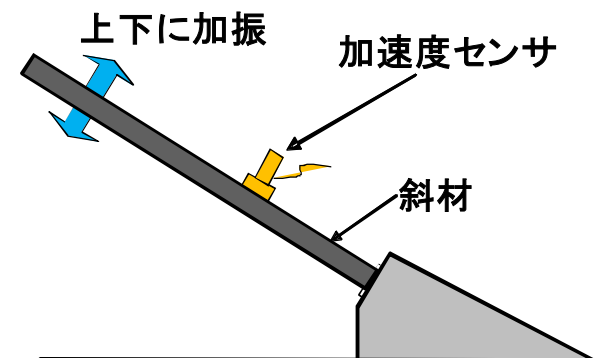
斜材・外ケーブルの張力

NEXCO

斜材・外ケーブルの張力の調査は、一般に**強制振動法**が広く用いられているが、**EMセンサ**による方法もある。

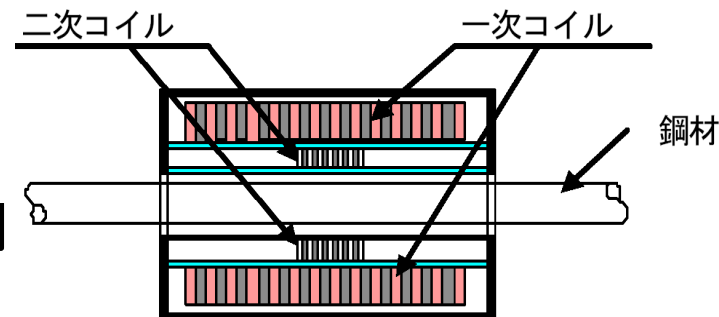
①強制振動法

強制振動法は、張力が固有振動数の関数であることを利用し、斜ケーブルの固有振動数を求めることによって、張力を間接的に求めることが方法。しかし、ケーブルダンパーなどの制振装置は固有振動数に影響を与えるため、制振装置を撤去し計測を行うことが望ましい。




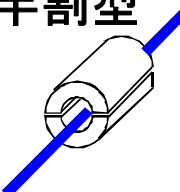
②EMセンサ (Elasto-Magnetic sensor)

張力を受ける磁性材の結晶変化と磁気特性変化が引張応力に依存することを利用したもので、無張力時の透磁率をあらかじめ測定しておくことにより、磁気特性と張力の関係から、PC鋼材応力の測定が可能な装置。



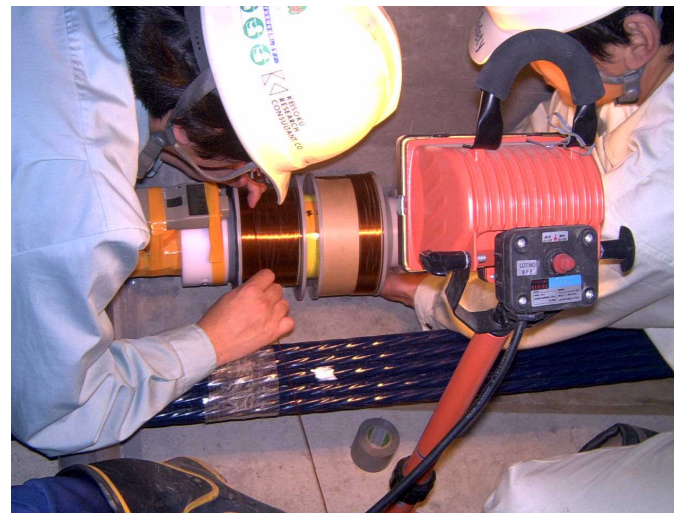
斜材・外ケーブルの張力（EMセンサ）

EMセンサ（Elasto-Magnetic sensor）

	プレインストール型 （挿入型）	ポストインストール型 （後巻き型）
ボビン （芯棒部）	円筒型 	半割型 
鋼線コイル	機械巻き付け	現場巻き付け



プレインストール型

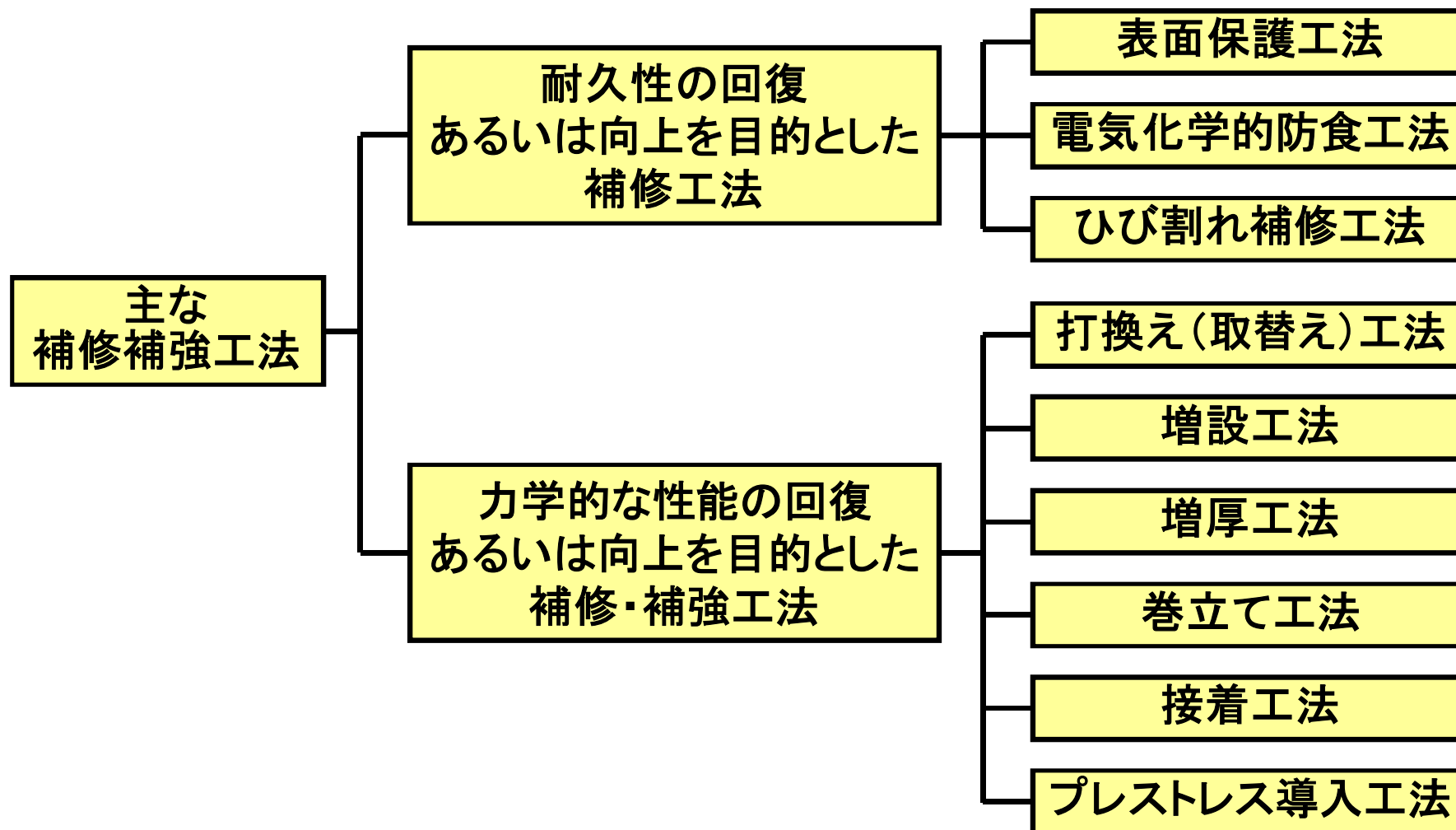


ポストインストール型

5.6 コンクリート構造の 主な補修・補強工法

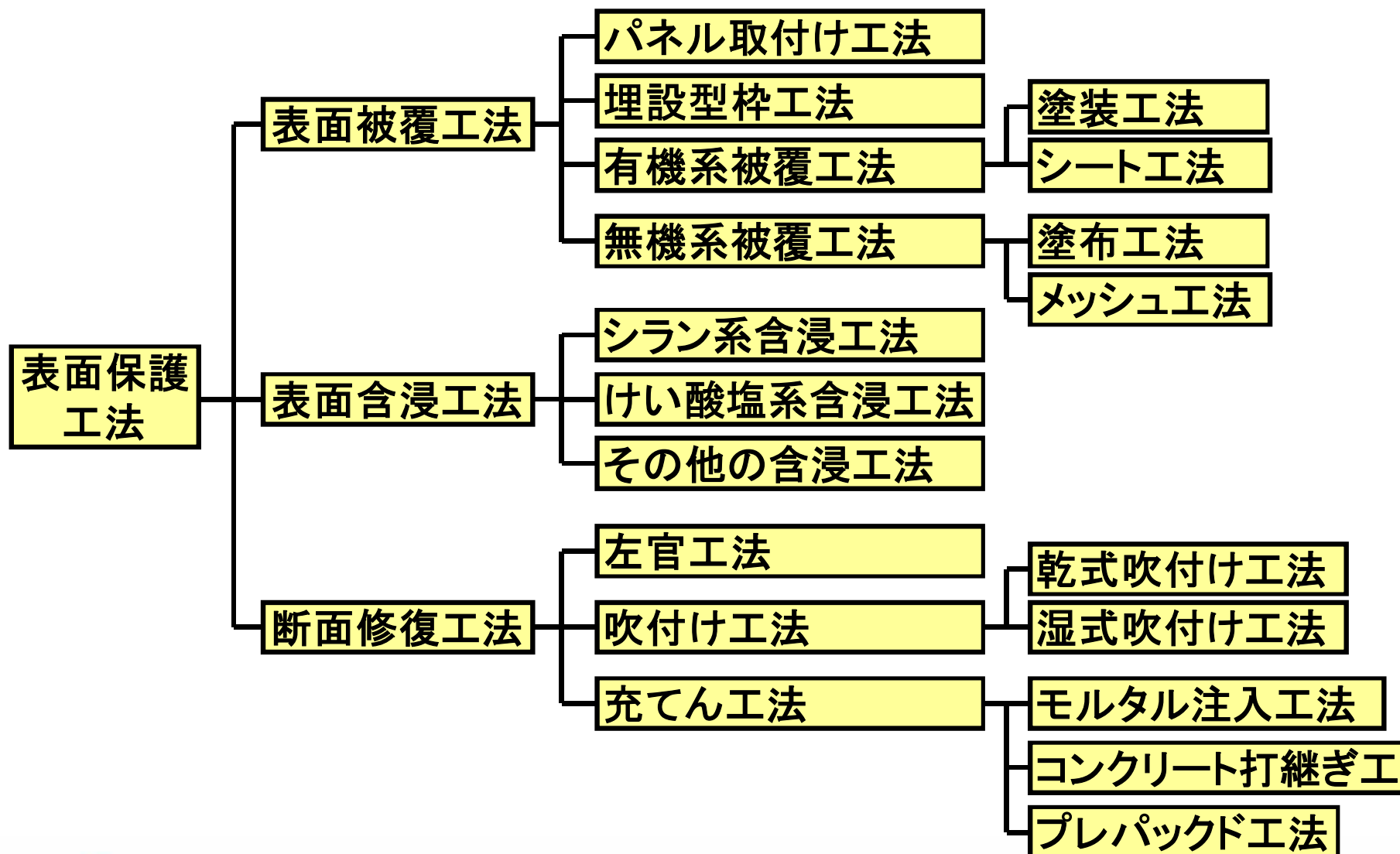
主な補修・補強工法

NEXCO



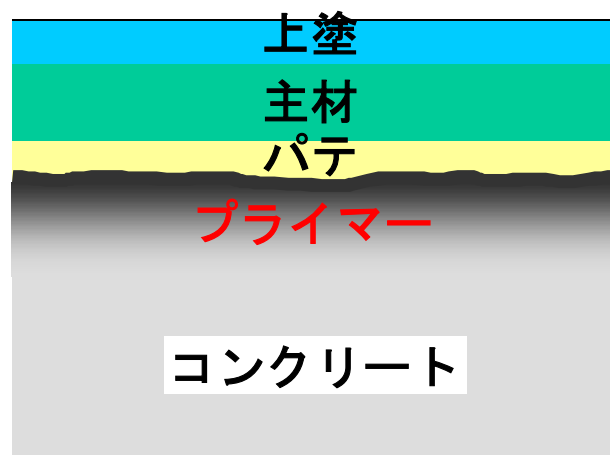
表面保護工法の種類

NEXCO

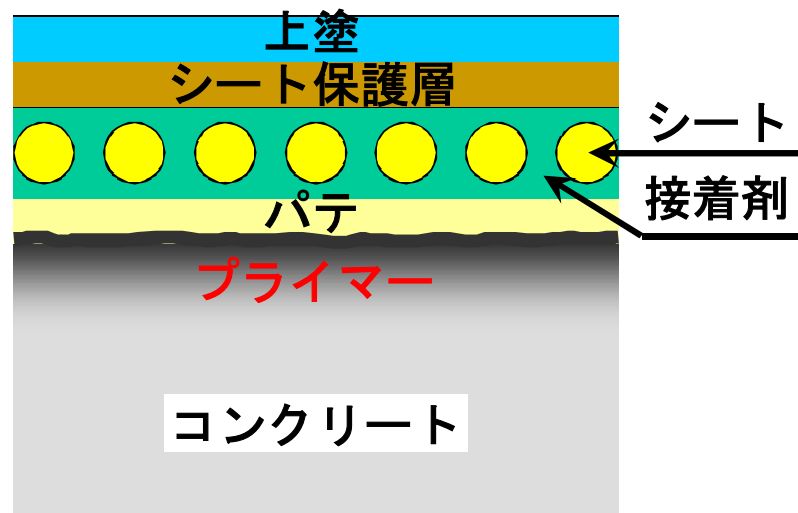


表面被覆工法(有機系被覆工法)

有機系ポリマーを主成分とする被覆材料でコンクリート表面に数100 μ mから数mmの皮膜を形成し、コンクリート構造物の耐久性向上、補修、美観・景観の確保を行うもので、**塗装工法**と**シート工法**とに大別される。



塗装工法の断面事例

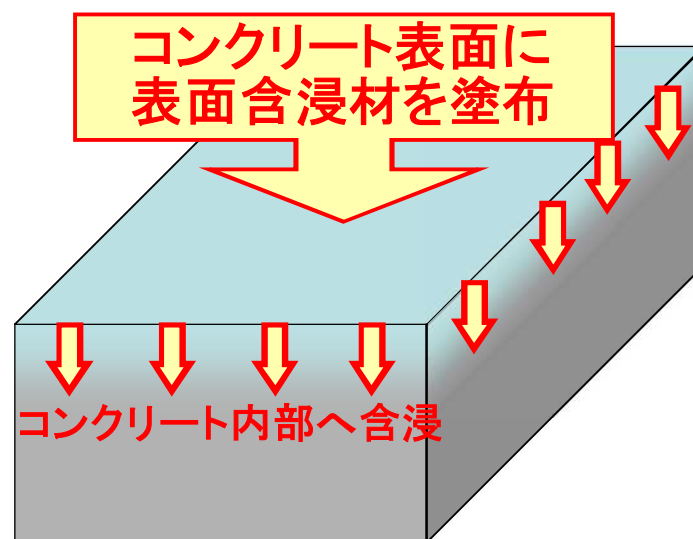


シート工法の断面事例

表面含浸工法

NEXCO

所定の効果を発揮する表面含浸材をコンクリート表面から含浸させ、コンクリート表層部の組織を改質して、コンクリート表層部への特殊機能を付与することで部材を保護し、コンクリート構造物の耐久性を向上させる工法であり、使用する表面含浸材の種類ごとに、**シラン系含浸工法・けい酸塩系含浸工法・その他の含浸工法**に大別される。



①土木学会の基準－表面保護工法設計施工指針(案)

断面修復材

鉄筋

防錆剤の塗布

既設コンクリート

はつり範囲

必要に応じて鉄筋の裏側まではつる

カッター目地 10mm程度

既設コンクリート

空気抜き

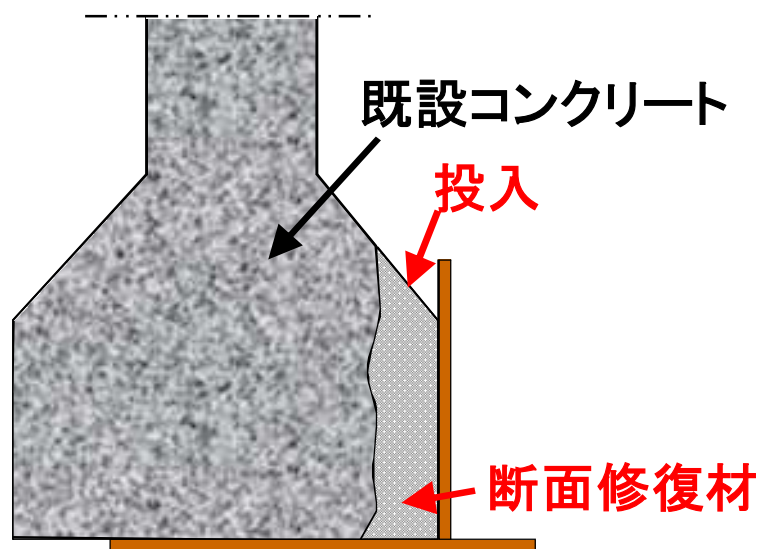
断面修復材

注入

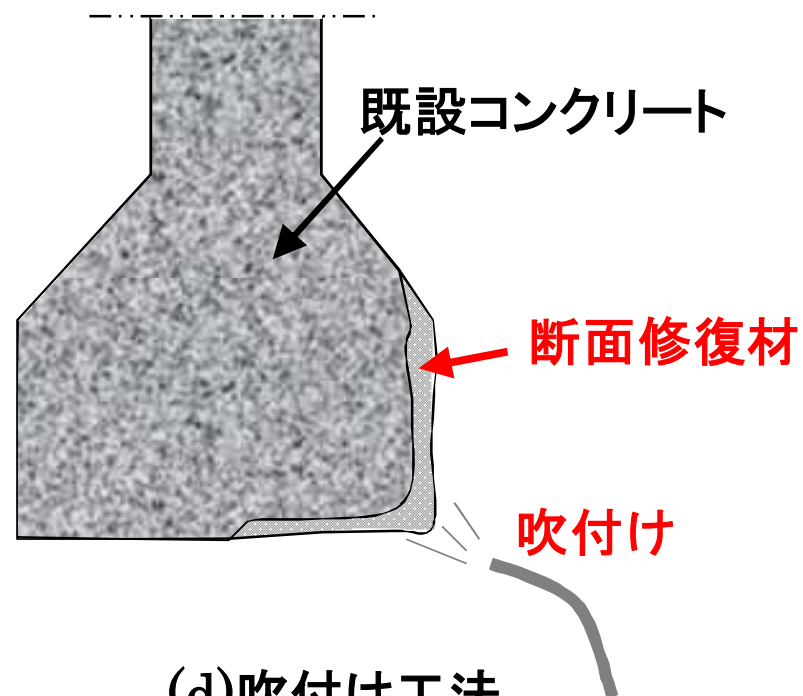
(b) 打込み工法(プレキャストコンクリート)

断面修復工法

NEXCO



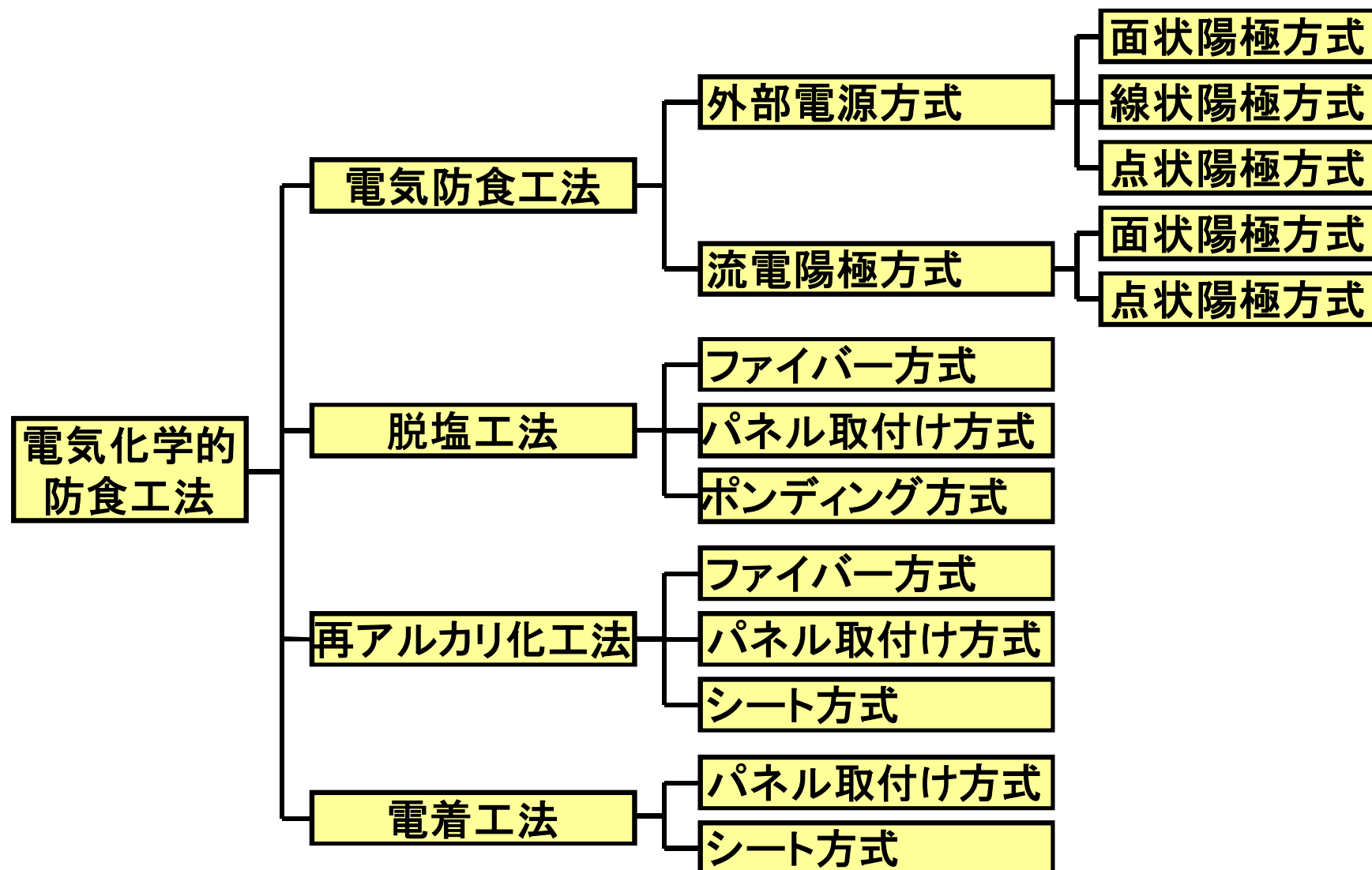
(c) 打込み工法(打継ぎコンクリート)



(d) 吹付け工法

電気化学的防食工法の種類

NEXCO

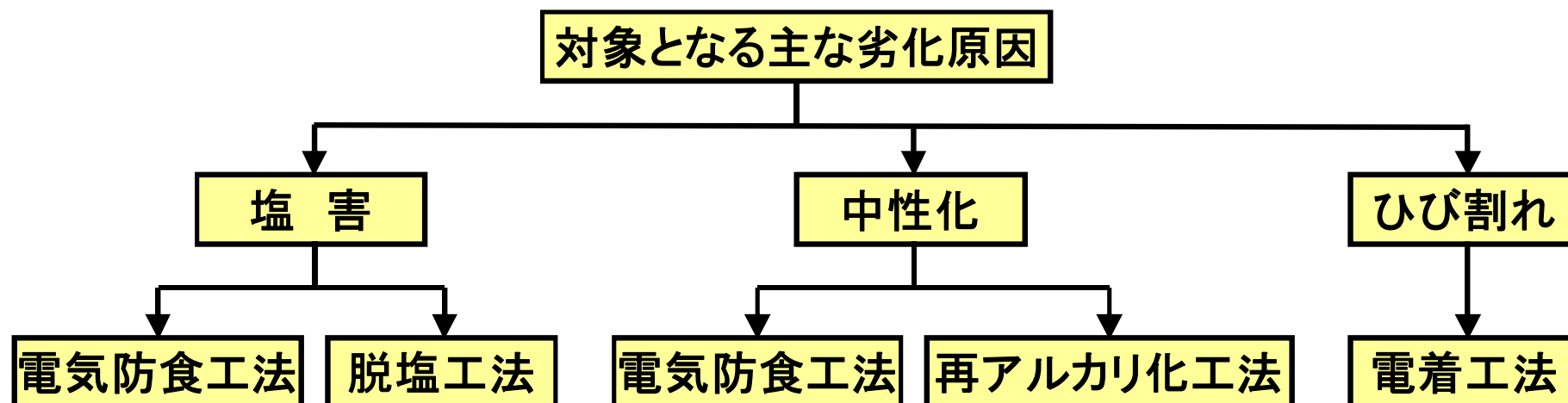


効果と選定方法

NEXCO

電気化学的防食工法の目的と主な効果

名 称	防 食 対 策	期待される主な効果
電気防食工法	腐食反応の抑制	腐食電池の抑制
脱塩工法	鋼材の腐食環境の改善	塩化物イオン濃度の低減
再アルカリ化工法		アルカリ性の回復
電着工法	腐食因子の供給低減	ひび割れの閉塞と緻密化

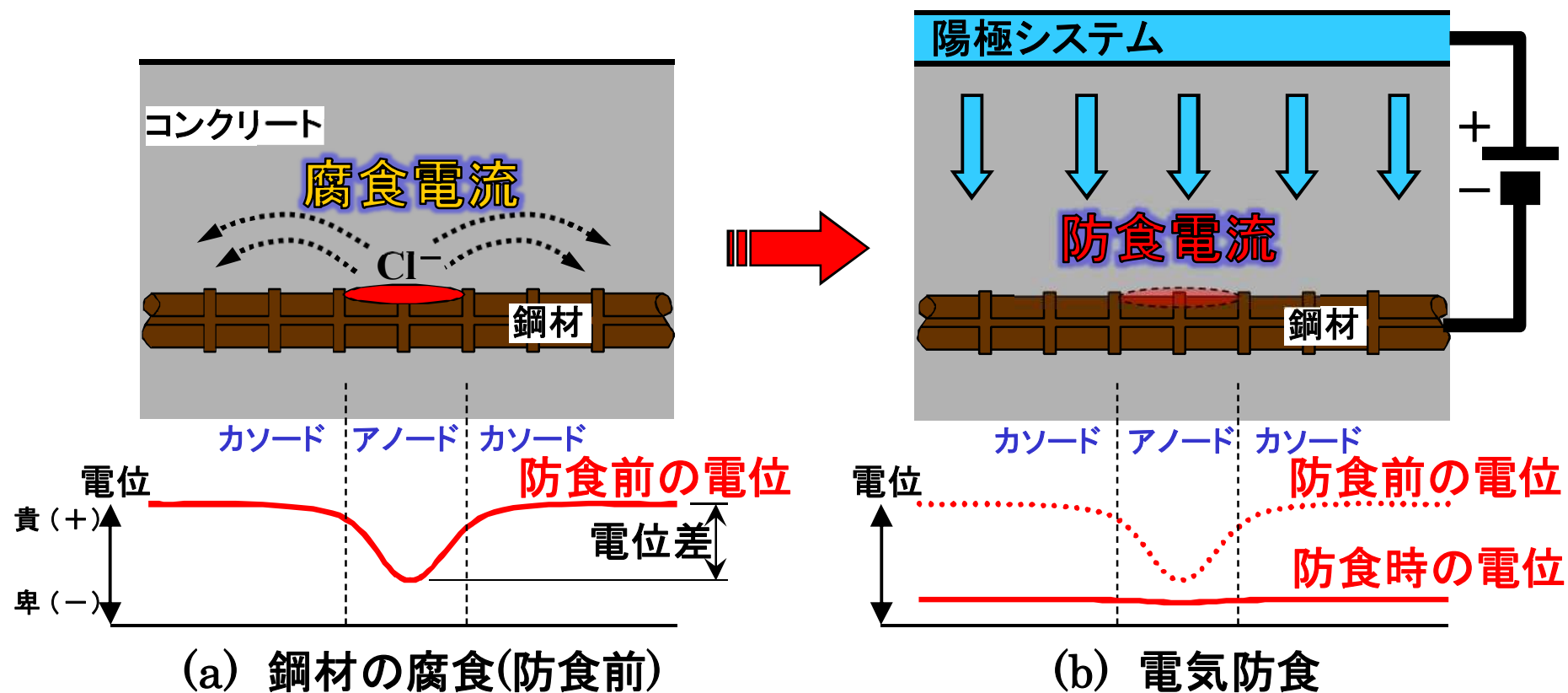


電気化学的防食工法の選定

電気防食工法の概要

NEXCO

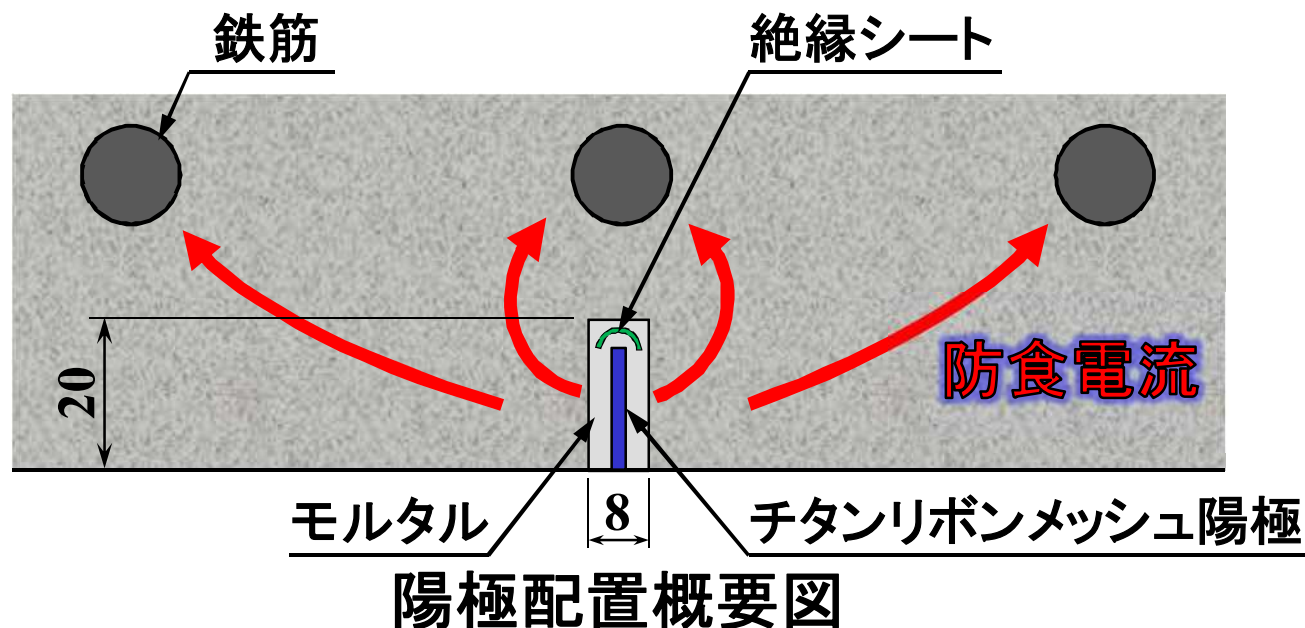
電気防食工法は、コンクリートに設置した陽極システムから鋼材へ電流を流すことにより鋼材の電位をマイナス方向へ変化させ、鋼材の腐食を電気化学的に抑制する工法である。



電気防食工法の事例

NEXCO

・チタンリボンメッシュ方式(外部電源:線状陽極)



陽極設置手順

- ① 溝切りはつり : 溝切り幅が小さく目視での深さ確認が困難な場合は、定尺棒等を用いて深さ確認を行う。
- ② 溝内点検 : 溝内に金属片が存在すると電気が短絡するので、金属片探査器等を用い撤去あるいは絶縁処理を施す。
- ③ 陽極設置

電気防食工法の事例

NEXCO



陽極設置用溝切り



溝内点検



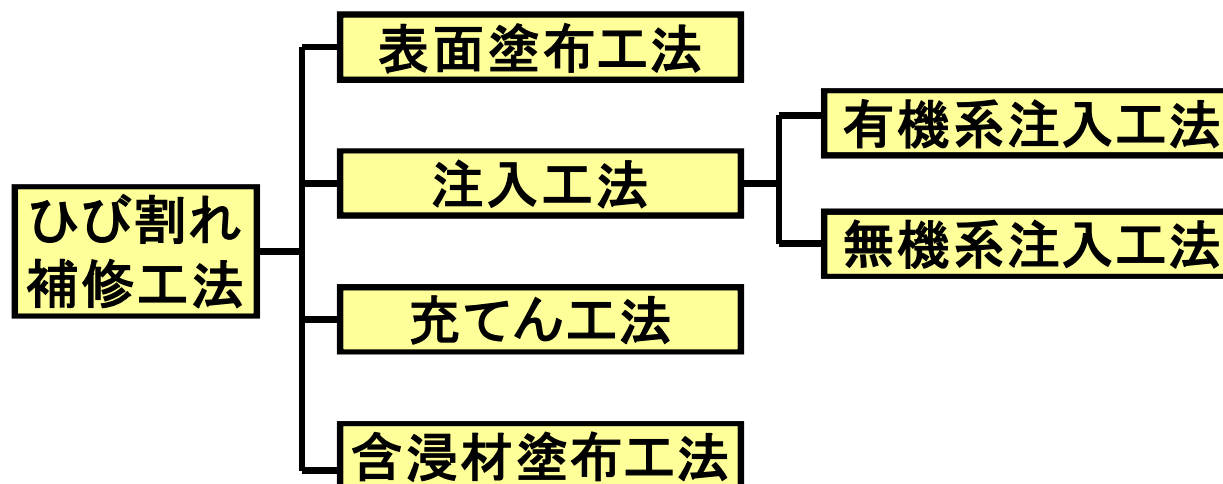
リボンメッシュ陽極



陽極設置

ひび割れ補修工法の種類

NEXCO



- ①コンクリートに発生するひび割れには、進行性のひび割れと非進行性のひび割れがある。
- ②セメントの水和に伴うひび割れやコンクリートの沈下・ブリーディング、不適切な施工等によるひび割れは、施工中または竣工後の早い時点でひび割れが顕在し、数年以内に収束すると考えられる非進行性のものであるので、ひび割れ補修工法のみで補修を行うことも可能である。
- ③鋼材の腐食に起因するひび割れやアルカリシリカ反応によるひび割れ、荷重の繰返しに起因するひび割れなどの進行性のひび割れは、他の補修工法と併用してひび割れ補修工法を行う必要がある。

ひび割れ補修工法の概要



①表面塗布工法

微細なひび割れ(一般に幅0.2mm以下)の上に塗膜を構成させ、防水性や耐久性を向上させる目的で行われる工法で、ひび割れのみを被覆する方法である。

②注入工法

一般に幅0.15～1mm程度のひび割れに有機系(アクリル樹脂・エポキシ樹脂等)または無機系(セメント系等)の材料を注入して、防水性や耐久性を向上させる目的で行われる工法である。

③充てん工法

一般に0.5～1mm程度以上の比較的大きな幅のひび割れでかつ鋼材が腐食していない場合の補修に適する工法で、ひび割れに沿ってU字型にカットし、その部分に補修材を充てんする工法である。

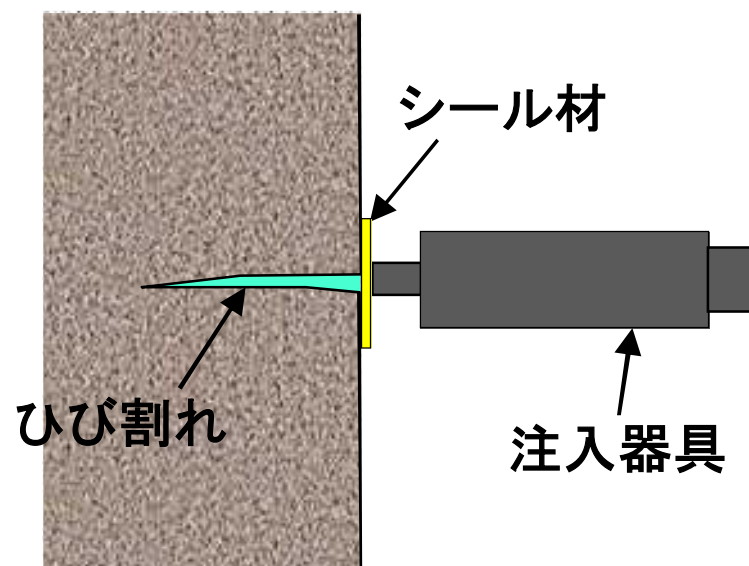
④含浸材塗布工法

微細なひび割れ(一般に幅0.2mm以下)に対して、注入器具または圧入器具等を用いず、ひび割れに含浸材(アクリル樹脂・エポキシ樹脂等)を含浸、固化することにより、ひび割れ注入と同等の性能となるように補修する工法である。

注入工法

NEXCO

幅0.15～1mm程度のひび割れに有機系(アクリル樹脂・エポキシ樹脂等)または無機系(セメント系等)の材料を注入して, 防水性や耐久性を向上させる目的で行われる工法



注入工法概要図



注入工法実施状況

4.8 コンクリート橋の高耐久化の方策

コンクリート橋の高耐久化のための方策は何か？

速やかな対策

- 中性化や塩害等による劣化を放置した場合は、劣化が急速に進行し、補修補強の費用も増大する。
- PC鋼材の劣化を放置した場合は、PC鋼材の破断により耐荷力の減少や落橋の可能性が増大する。

診断（点検）技術者の育成及び配置

- コンクリート橋の構造や劣化要因を理解し、効率的な診断を実施できる技術者を配置する必要がある。

6. 橋梁の高耐久化の方策

維持管理の課題

NEXCO

経年化により
劣化の発生および進行が増大する

点検・診断・補修補強を適切に実施する。

- ・ 確実な点検頻度の確保
(見る)
- ・ 損傷の確実な発見・評価
(見過ごさない)
- ・ 確実な補修・補強
(先送りしない)

点検の制度化

診断技術

対策方法

橋梁の高耐久化

診断(点検)技術の向上



変状を見過ごさずに適正に評価できる規準・技術者

診断(点検)規準の確立

- 効率的に診断できる規準の作成
 - ・ 劣化要因の把握
 - ・ 効率的な点検のための点検時の着目点
 - ・ 点検結果の評価方法
- 効率的な非破壊検査等の点検技術の開発
 - ・ 変状を適正に調査できる手法の開発(Ex. PC鋼材の変状, 鋼材の亀裂)
 - ・ 近接目視点検困難箇所の効率的な点検手法の開発
- 診断結果のデータベース化および見える化

診断(点検)技術者の育成及び配置

- 対象橋梁の構造や劣化要因を理解し, 効率的な診断を実施できる技術者を配置する必要がある。

確実な対策(補修・補強)

NEXCO

LCCの最小化を目指した確実な補修・補強の実施

補修・補強規準の確立

- 種々の変状に対応できる補修・補強工法の明文化
- LCCの最小化が可能となる対策方法および時期の明確化
- 補修・補強結果のデータベース化および見える化

補修・補強をマネジメントできる技術者の育成及び配置

- 対象橋梁の構造や劣化要因を理解し、効率的な補修・補強を実施できる技術者を配置する必要がある。

補修・補強工事が効率的に実施できる体制の構築

- 補修・補強が速やかに実施できる契約方法や実施体制の検討
- サプライチェーン・マネジメント(Supply Chain Management : SCM)の実施。

参考資料

NEXCOの大規模更新・修繕

更新事業の概要

NEXCO

- NEXCO3会社が管理する高速道路は、経過年数の増加とともに老朽化が進展、並びに厳しい使用環境により、著しい変状が顕在化。
- これまで実施してきた従来の修繕のみでは、重大な変状に進展し、通行止等が発生するおそれがある。
- このため、重大な変状に進展するおそれがある箇所について、大規模更新・大規模修繕を実施するものとして選定。

分類	区 分	項 目	主な対策	延 長	事業費
更 新	橋 梁	床版	床版取替	224km	16,429億円
		桁	桁の架替	13km	1,039億円
	小 計				17,468億円
修 繕	橋 梁	床版	高性能床版防水など	359km	1,601億円
		桁	桁補強など	151km	2,628億円
	土構造物	盛土・切土	グラウンドアンカー 水抜きボーリングなど	26,556箇所	4,775億円
	トンネル	本体・覆工		131km	3,593億円
	小 計				12,597億円
合 計					30,064億円

対象とする劣化機構と要因



(1)特定更新等事業の計画にあたり、検討の基本とする劣化要因は以下のとおりである。

①疲労に影響する要因

- ・大型車交通量

②塩害に影響する要因

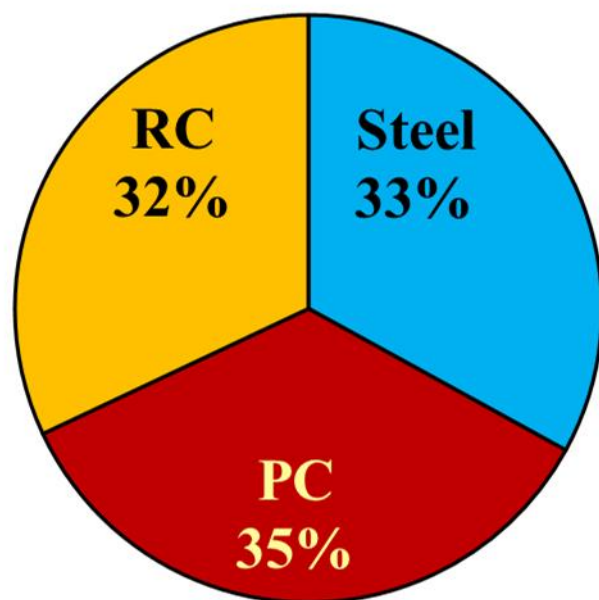
- ・飛来塩分
- ・内在塩分
- ・凍結防止剤

③アルカリシリカ反応(ASR)に影響する要因

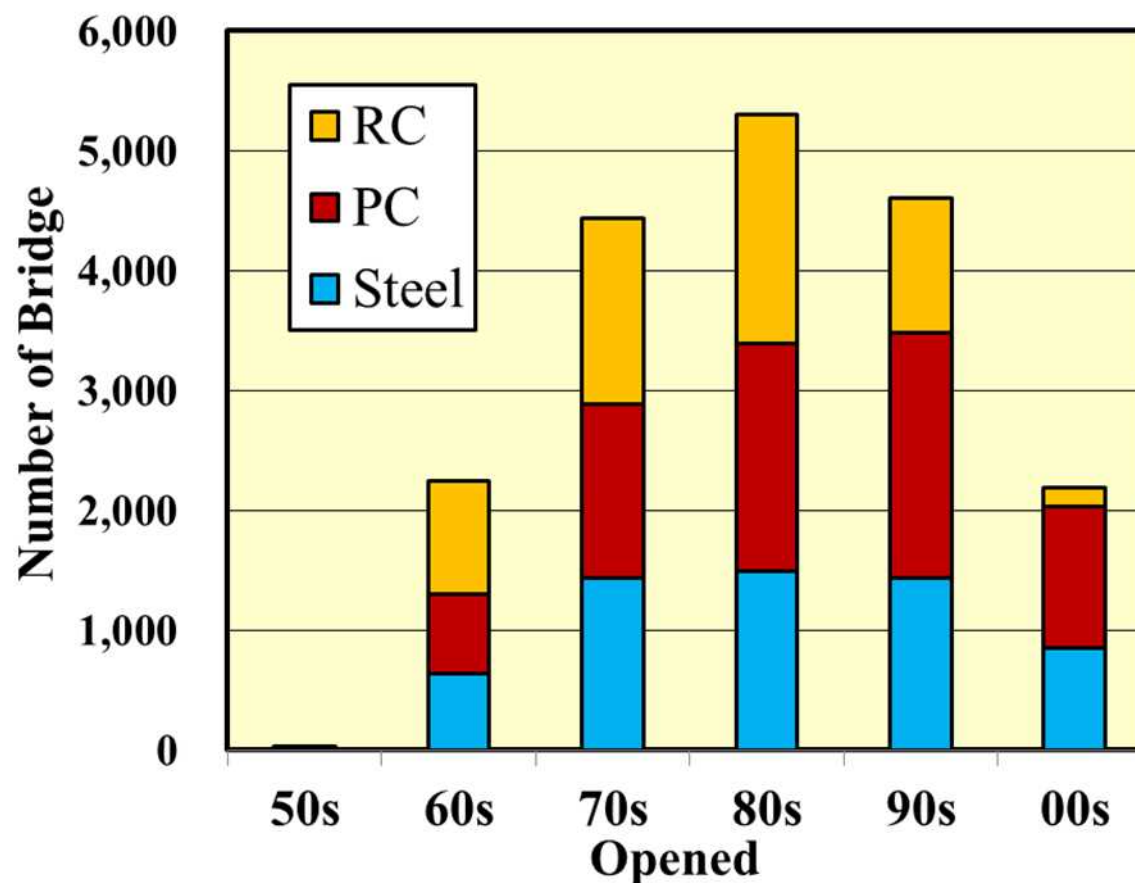
(2)劣化機構の検討にあたっては、劣化要因の特定とその影響量について分析するとともに、複数の要因による複合劣化についても考慮する必要がある。

橋梁種別と完成年

NEXCO



橋梁種別



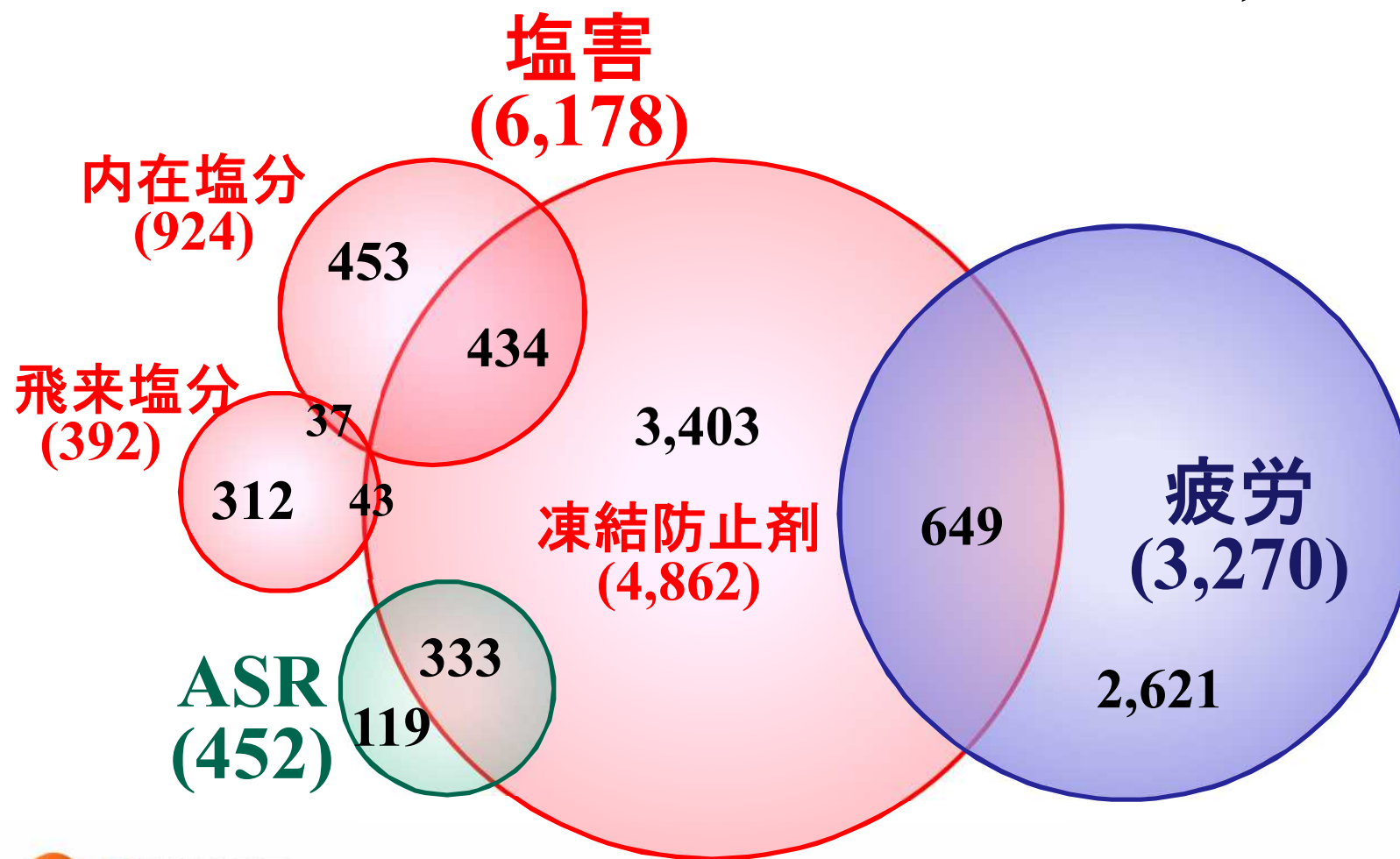
橋梁完成年

劣化要因に該当する橋梁

NEXCO

全橋梁数：19,608 橋

劣化要因に該当する橋梁数：8,404 橋



鋼橋RC床版の プレキャストPC床版への更新事例

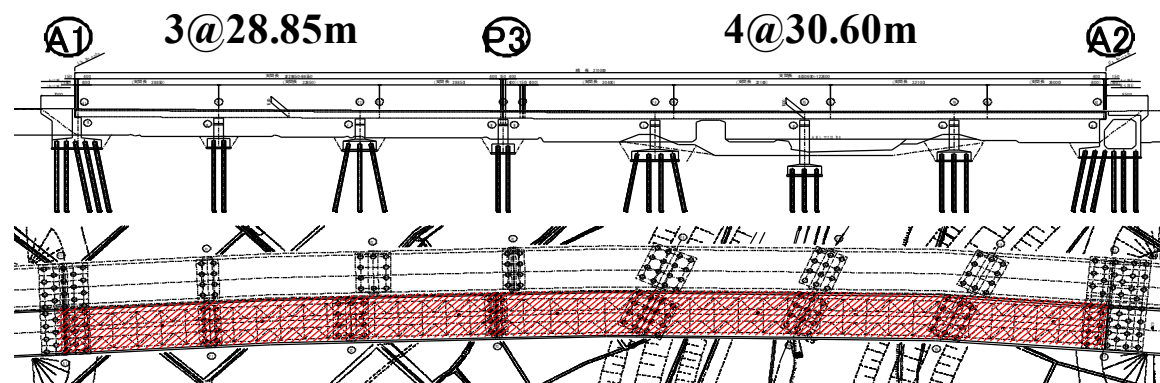
プレキャストPC床版への更新事例



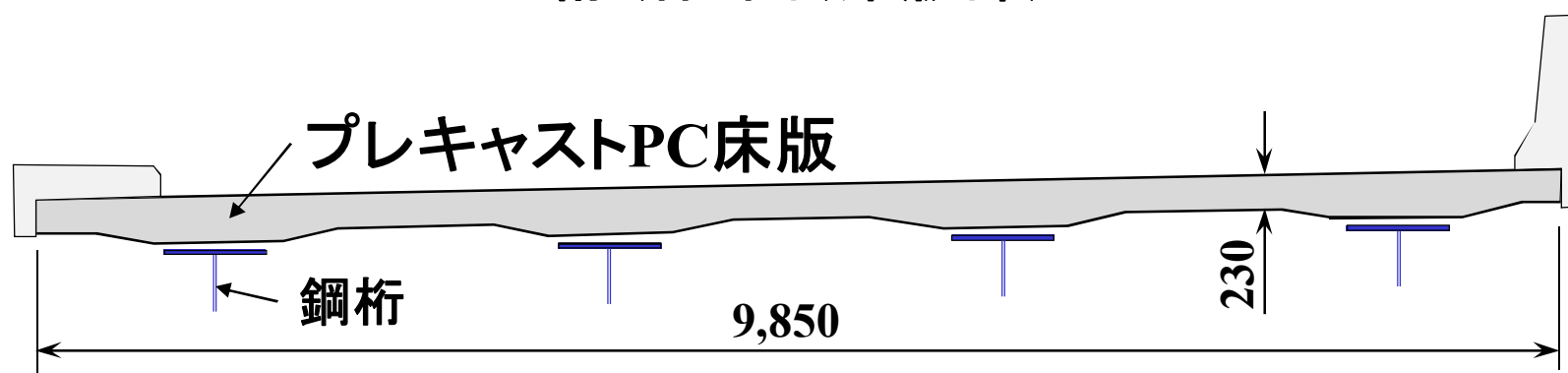
床版の形状

NEXCO

側面図, 平面図

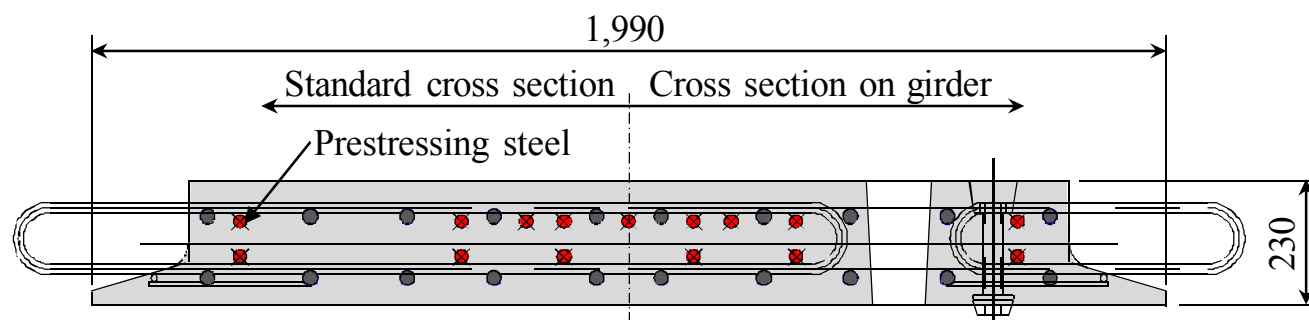


主桁断面図(床版部)

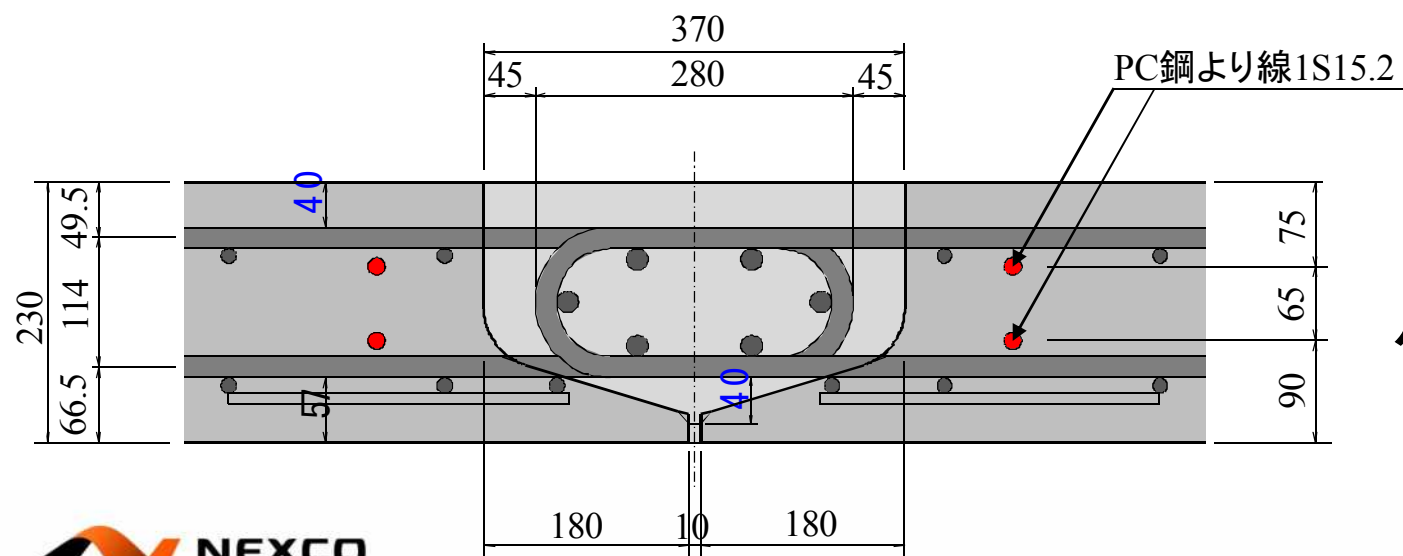


床版の形状

NEXCO



プレキャスト
PC床版断面図



ループ継ぎ手

施工手順

NEXCO

交通規制・仮設防護柵設置

既設床版撤去・フランジはつりケレン

PC床版架設

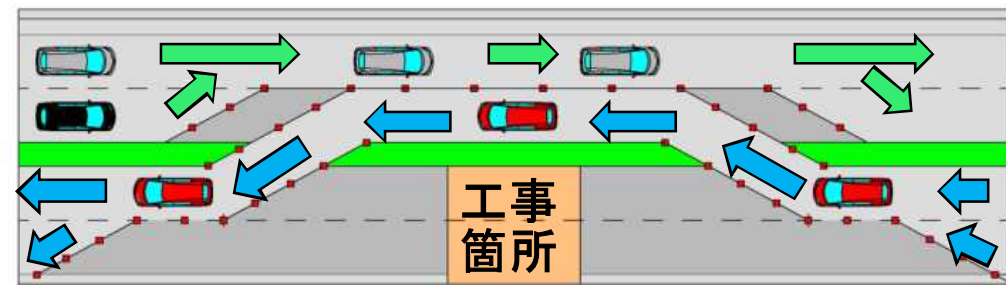
スタッドジベル溶殖
無収縮モルタル打設

間詰部鉄筋組立
コンクリート打設

防水工，高欄設置，舗装工
交通開放



(写真はPCa床版架設中)



対面通行規制

施工手順

NEXCO

交通規制・仮設防護柵設置



既設床版撤去・フランジはつりケレン



PC床版架設



スタッドジベル溶殖
無収縮モルタル打設



間詰部鉄筋組立
コンクリート打設



防水工，高欄設置，舗装工
交通開放



施工手順

NEXCO

交通規制・仮設防護柵設置



既設床版撤去・フランジはつりケレン



PC床版架設



スタッド・ジベル溶殖
無収縮モルタル打設



間詰部鉄筋組立
コンクリート打設



防水工，高欄設置，舗装工
交通開放

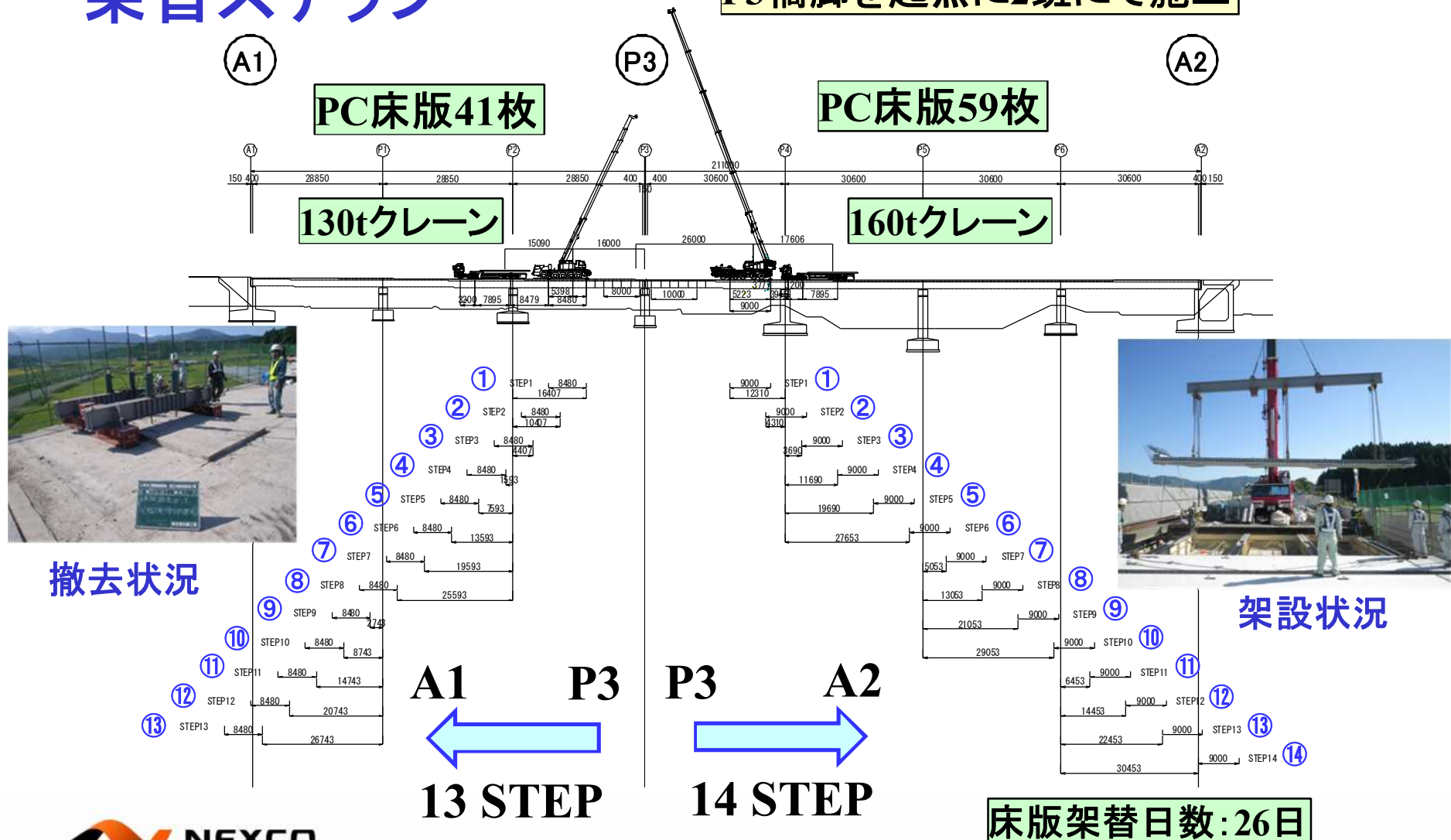


施工手順

NEXCO

架替ステップ

P3橋脚を起点に2班にて施工



施工手順

NEXCO

交通規制・仮設防護柵設置



既設床版撤去・フランジはつりケレン



PC床版架設



スタッドジベル溶殖
無収縮モルタル打設



間詰部鉄筋組立
コンクリート打設



防水工, 高欄設置, 舗装工
交通開放



施工手順

NEXCO

交通規制・仮設防護柵設置



既設床版撤去・フランジはつりケレン



PC床版架設



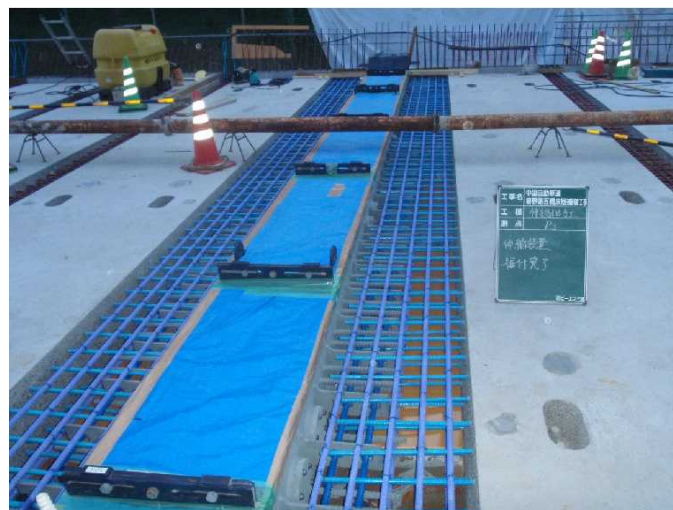
スタッド・ジベル溶殖
無収縮モルタル打設



間詰部鉄筋組立
コンクリート打設



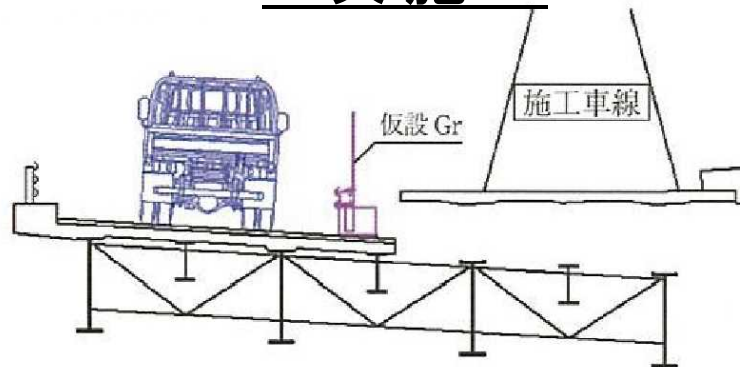
防水工，高欄設置，舗装工
交通開放



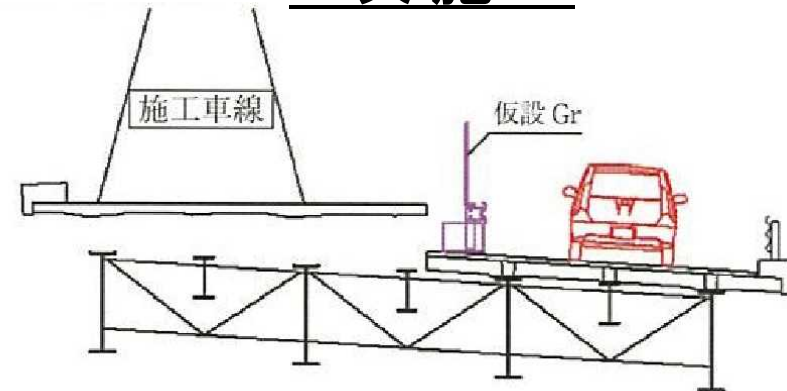
半断面施工による床版更新工事

NEXCO

1 次 施 工



2 次 施 工



* 2 次施工時に 1 次施工部と横締めPC鋼材で一体化



この工事では橋軸方向にエンドバンド継手を採用

半断面施工による床版更新工事

NEXCO

既設床版切断

既設床版はくり

既設床版撤去

PC床版架設

間詰め鉄筋組立

横締め挿入

間詰めコン打設

横締め緊張

床版防水

舗装



- ・2次施工時のみ横締め鋼材挿入作業あり
- ・一次床版には後挿入用のシース孔設置



- ・2次施工時のみ横締め鋼材緊張作業あり

