

コンコム第9回

建設技術者のための技術力向上セミナー

令和2年10月7日

第三部

点検・診断からみた留意したい 損傷事例 (初期損傷, 再劣化)

山形県立産業技術短期大学校

土木エンジニアリング科

千葉 陽子

コンクリート部材に発生する損傷の原因

- ・材料劣化に関連する損傷

- ① コンクリート内部の鋼材腐食に関連

- 塩害、中性化

- ② コンクリート自身の品質低下に関連

- アルカリシリカ反応、凍害、化学的腐食

- ・構造的な要因

- ③ 設計・施工時の不具合

- かぶりの不足、コンクリート強度の不足、断面寸法の不足、鉄筋量の不足等によるひび割れの発生

- ④ ①と②が複合したもの

- ⑤ ①と②と③が複合したもの

鋼部材に発生する損傷の原因

- ・材料劣化に関連する損傷
 - ①水分・塩分による鋼材腐食
 - ②腐食による断面減少、欠損
- ・構造的な要因
 - ③疲労による亀裂
 - ④高力ボルトの遅れ破壊による脱落
- ⑤ ②と③が複合したもの

目 次

1. コンクリート橋に発生する損傷
 1. 1 塩害・凍害
 1. 2 構造的な要因の損傷
2. コンクリート橋の再劣化
3. 鋼桁RC床版の損傷
4. コンクリート部材の初期損傷
5. 鋼桁の損傷
6. 支承の損傷

1. コンクリート橋に発生する損傷

1. 1 塩害・凍害

塩害による劣化状況



橋脚：飛来塩分による内部鉄筋
の腐食、錆汁滲出



RC床版桁：飛来塩分による内部鉄筋
の腐食、コンクリート剥落

塩害による損傷状況



ひび割れが鋼材の軸方向に発生

かぶりコンクリートが剥落し、
PC鋼材が破断している



• 塩害と特定するには？

▪ 環境条件や使用材料として

- * 沿岸地域で飛来塩分が付着しやすい。
- * 塩化物イオンを含む凍結防止剤が散布されている。
- * 海砂が使用されている可能性がある。

▪ 鋼材位置での塩化物イオン量が

- * 鋼材の腐食限界濃度の $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ 以上ある。

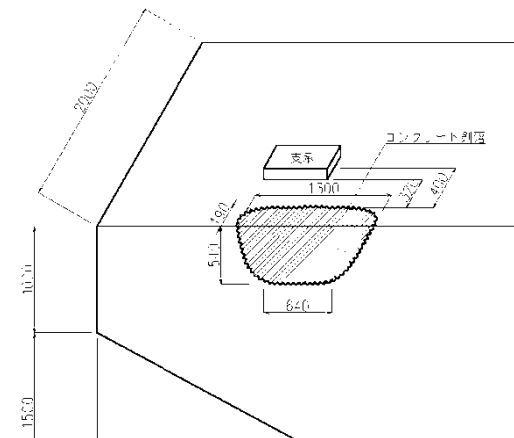
2013年制定のコンクリート標準示方書(維持管理編)ではコンクリートの種類に応じた算定式にて求める手法が提案されている。

▪ ひび割れや腐食の発生形態として

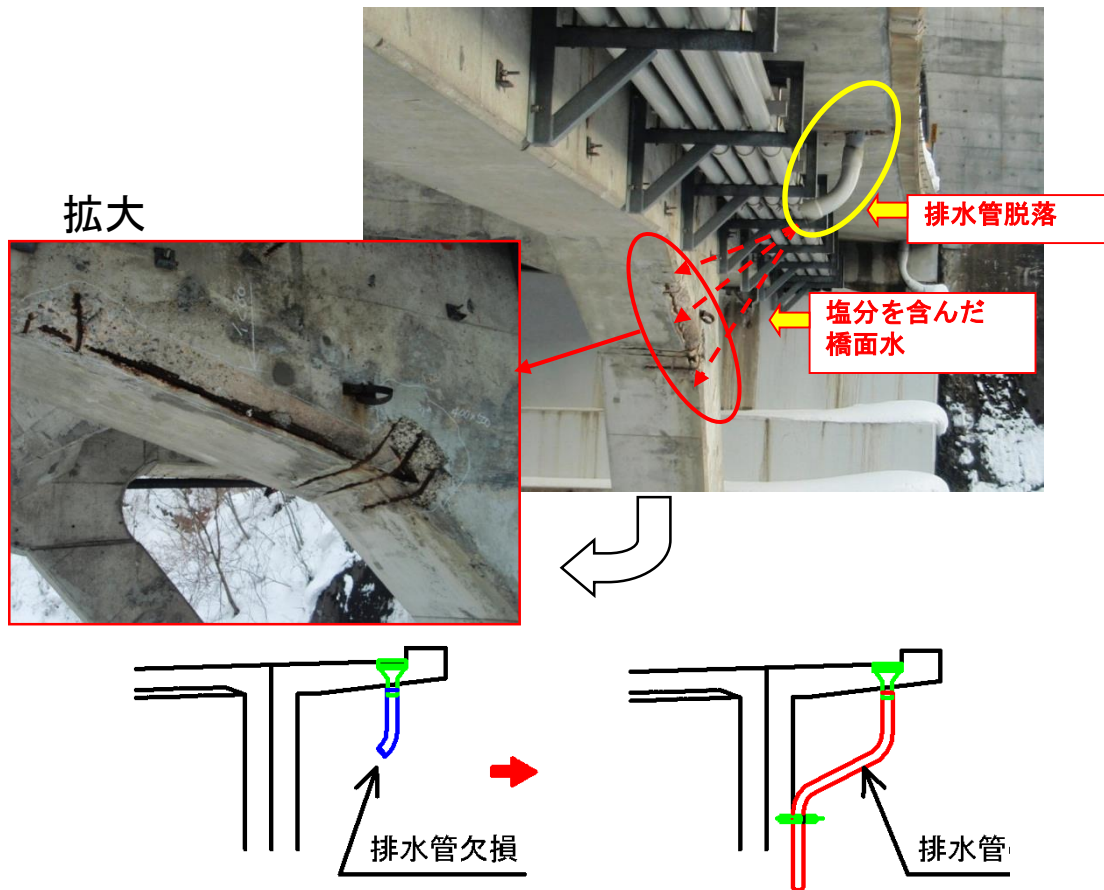
- * 鋼材の軸方向に発生している。
- * 腐食は局所的である。(中性化は全体的)

凍結抑制剤の塩分による局所的な損傷

橋面からの漏水による
橋脚天端のコンクリート欠損

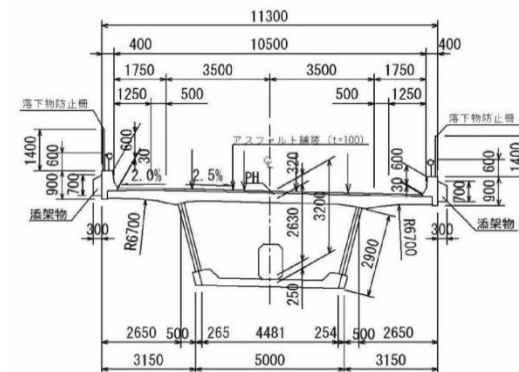
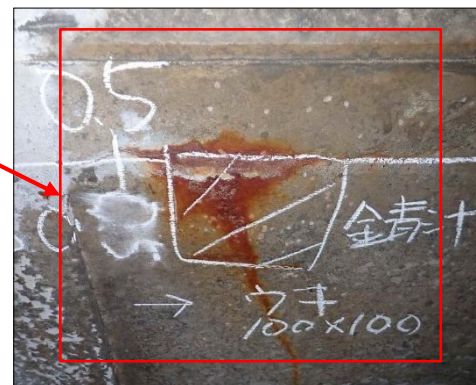


排水管欠損によるコンクリート剥落



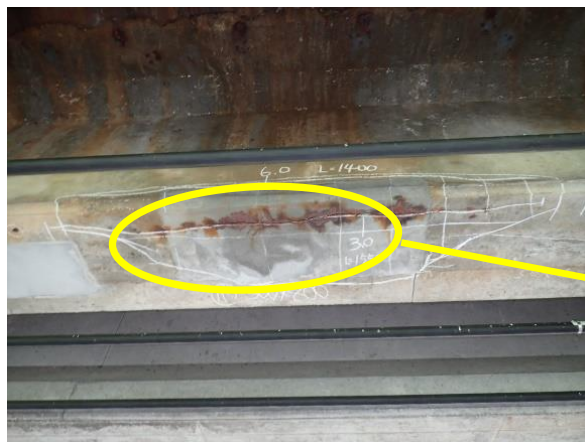
➤ 供用後6年が経過した「4径間連続PC波形鋼板ウエブ箱桁橋」

- ・ 下床版下面に、うきや錆汁を伴うひびわれ(幅0.5mm)。
- ・ 排水管開口部から伝い水などにより飛来塩分が侵入し、鉄筋が腐食したものと推定。



PCT桁のPC鋼材の腐食

- ・主桁下フランジ下面、側面に錆汁を伴うひびわれ
- ・既設部と拡幅部との縦目地から凍結抑制剤の塩分を含む橋面水が浸透し、シース管またはPC鋼材の腐食膨張によりひびわれが生じたと推定。



下フランジ下面の状況
(ひびわれ幅3.0mm)



下フランジ側面の状況
(ひびわれ幅6.0mm)



ひびわれ幅1.2mm, ひびわれの段差1.0mm



路面状況(縦目地なし)



うき範囲が拡大し、新たに1.9mmのひびわれ, 錆汁の滲出が見られる



前回点検時(5年前)
うきのみ

原因: 既設部との境界部から、凍結抑制剤の塩分を含む漏水の浸入による塩害

PCT桁の桁端部の剥離・鉄筋露出

- ・主桁端部に剥離および鉄筋露出、うき、ひびわれ(幅0.5mm)
- ・伸縮装置や拡幅部との縦目地からの凍結抑制剤の塩分を含んだ漏水が浸透して、鉄筋の腐食膨張および凍害により生じたと推定。
- ・支点部および縦締めPC定着部付近が剥離しており、主桁の耐荷力低下が懸念されるため、早期に補修が必要である。



支承付近に
剥離、鉄筋露出

橋脚柱部のうき剥離・鉄筋露出

- ・柱部にひびわれおよび広範囲の剥離、うき
- ・伸縮装置や上下線境界からの凍結抑制剤を含む漏水が浸透し、鉄筋が腐食膨張して生じたと推定する。
- ・損傷が広範囲であり、耐荷力低下が懸念されるため、早急に補修が必要。



橋脚の水跡部に
ひびわれ、剥離、うき



ひびわれ、剥離、うき

FCB壁面パネル脱落事例



FCB全景



壁面パネル脱落

連結金具が腐食欠損



脱落した壁面パネル裏面



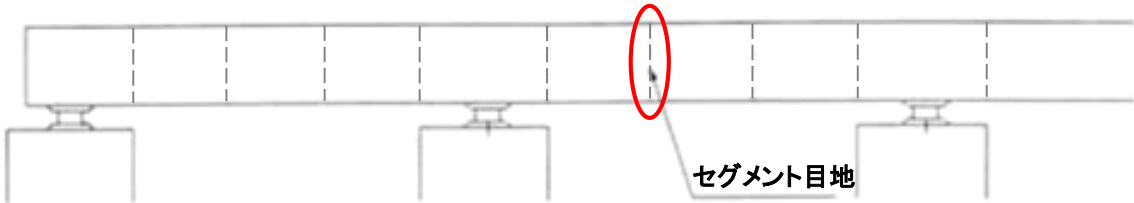
壁面パネル固定状況

1. コンクリート橋に発生する損傷

1. 2 構造的な要因の損傷

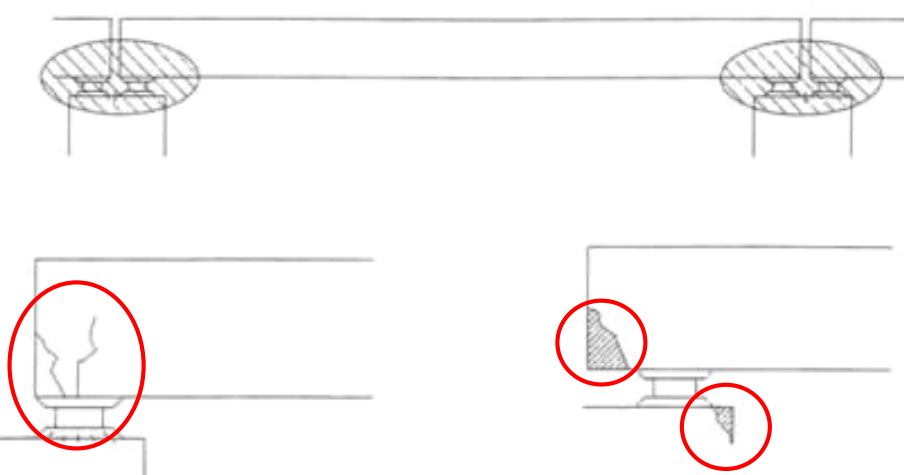
主要点検部位

主要な着目部位（その10）

重要点検部位		着目ポイント
セグメント目地部		・セグメント工法ではセグメント打継目のひび割れ、漏水、錆汁等の損傷に着目する。
概 要 図		
		

主要点検部位

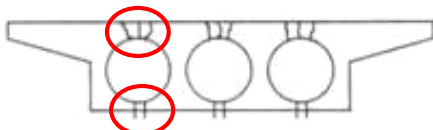
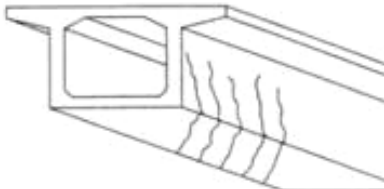
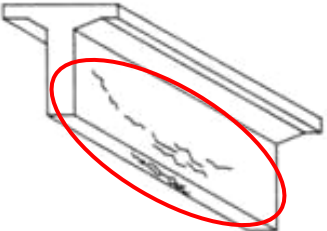
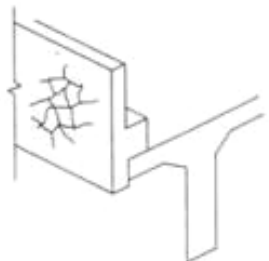
主要な着目部位（その5）

重要点検部位	着目ポイント
支承周辺部	・ 支承部は上部工の反力が集中する箇所であるため主桁下面や杓座モルタルおよび桁かかり付近の損傷に着目する。 ・ 雨水や土砂なども溜まりやすく、鋼製支承の場合には損傷による支承自体の機能消失について、ゴム支承の場合にはゴムの劣化や変形についても着目する。
概 図	



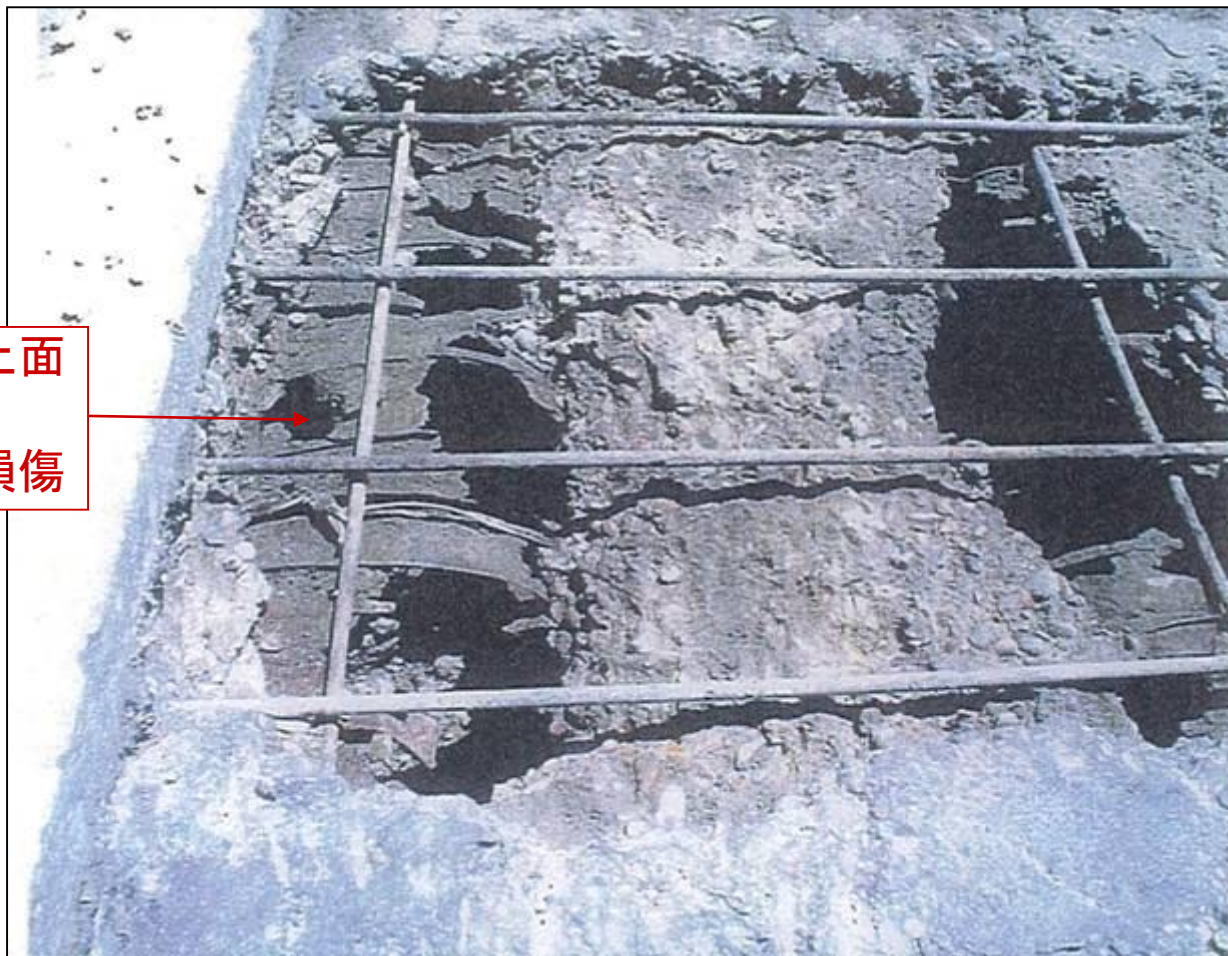
主要点検部位

主要な着目部位（その14）

重要点検部位	着目ポイント
その他	①中空床版橋の床版部ひび割れ（舗装面のひび割れ、ポットホール）および水抜き穴 ②P C橋のP C鋼材に沿った任意の位置のひび割れ ③ねじりによるひび割れ ④亀甲状のひび割れ
概要図	①  ③  ②  ④ 

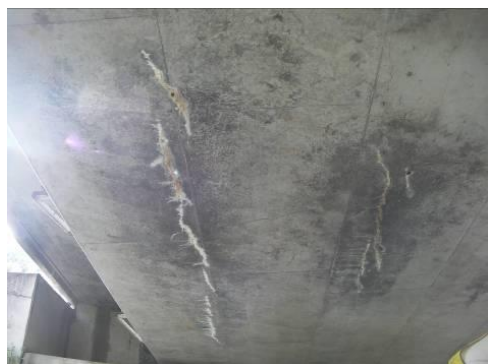
RC中空床版の抜け落ち

中空床版上面
・抜け落ち
・ボイドの損傷

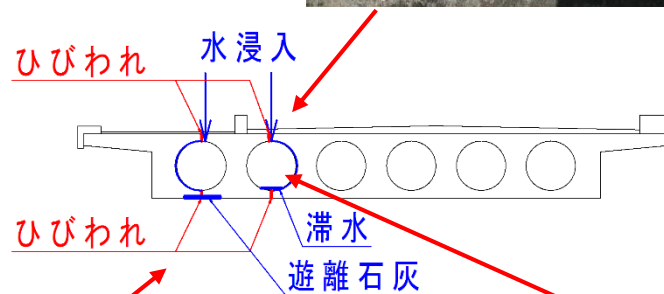


中空床版ひび割れ

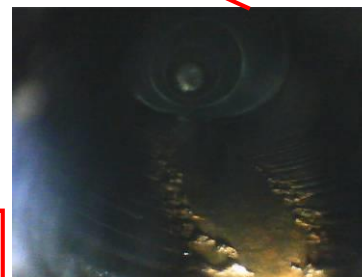
中空床版上面ボイド位置ひび割れ



中空床版下面
ボイド位置ひび割れ

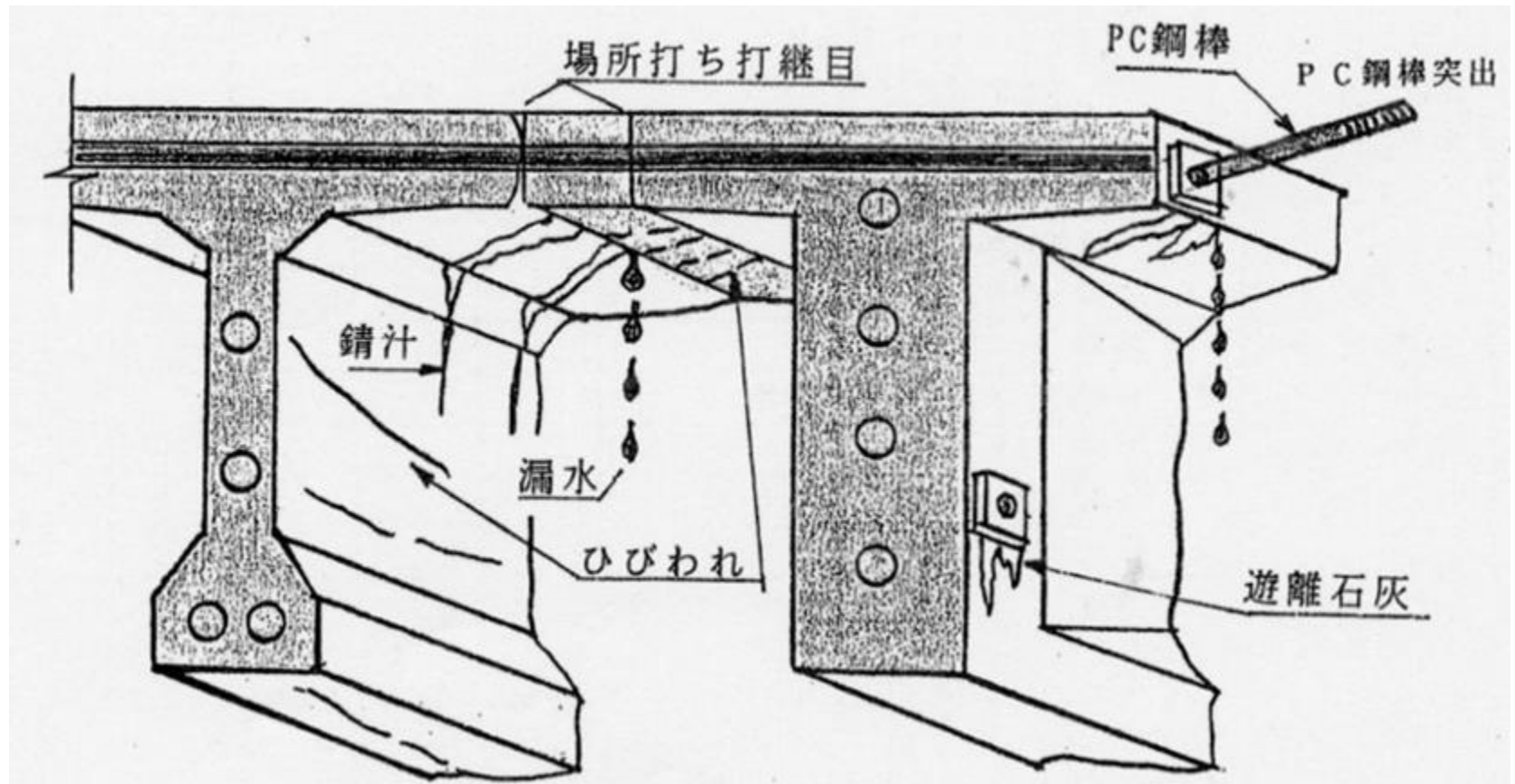


ボイド内部滞水

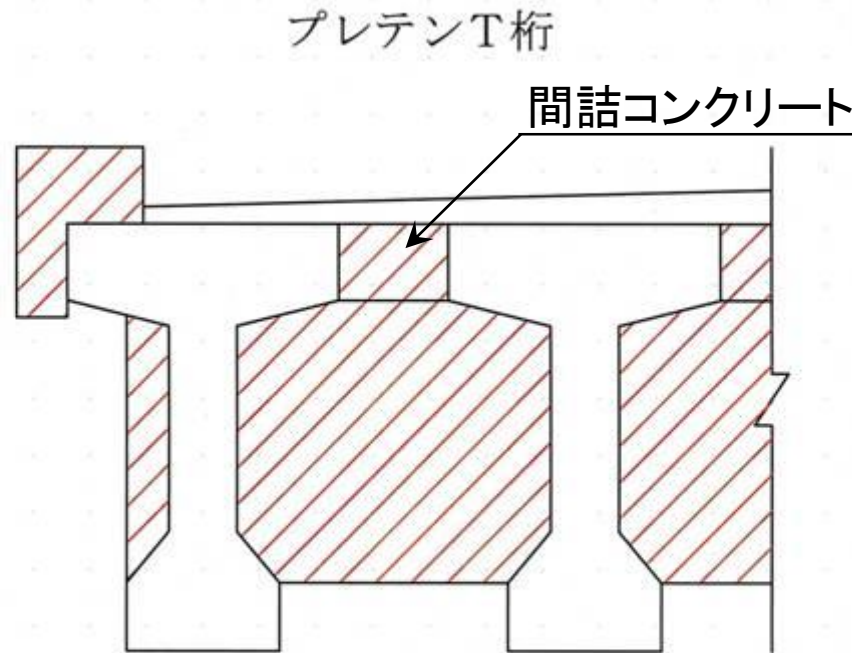


CCDカメラ
調査状況

PC橋に発生する特有な損傷



プレテンT桁の場所打ちコンクリート



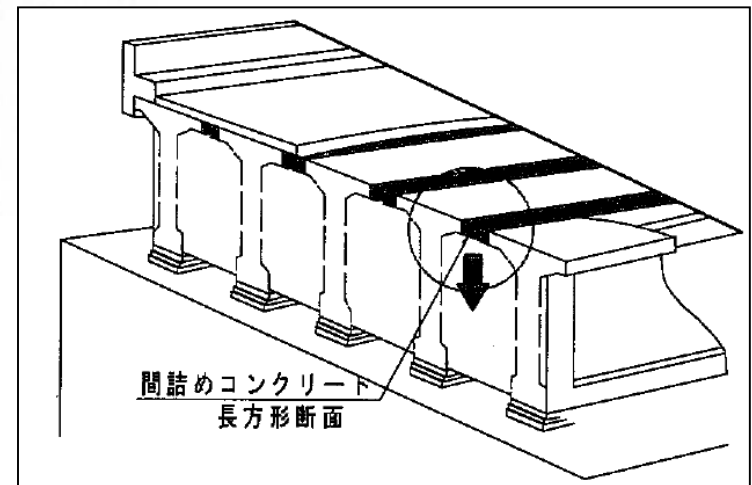
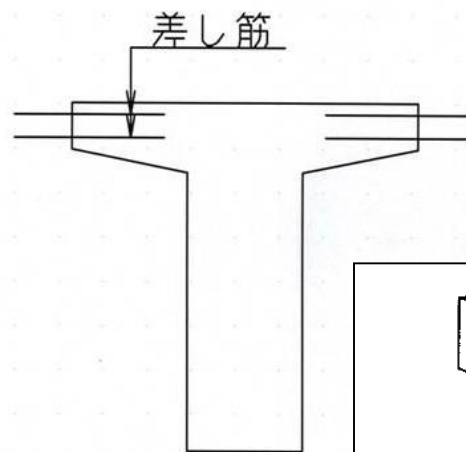
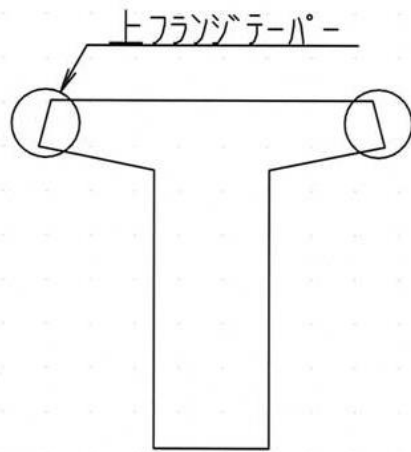
斜線部：現場打ちコンクリート

間詰コンクリートの遊離石灰の流出

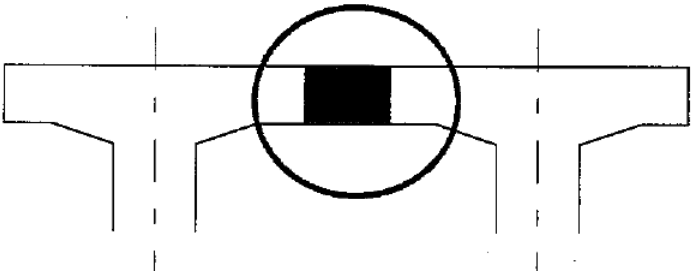
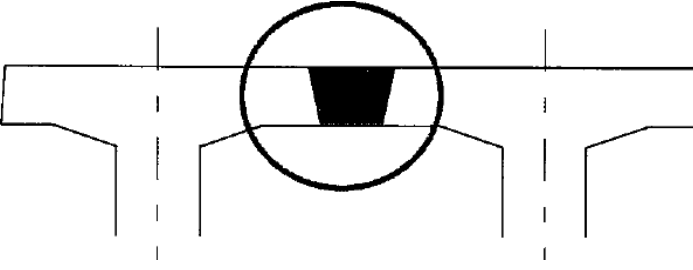


上フランジの形状による考慮

床版間詰め部の抜け落ち防止のために、**上フランジ**に**テーパ**や**差し筋**を設置している。



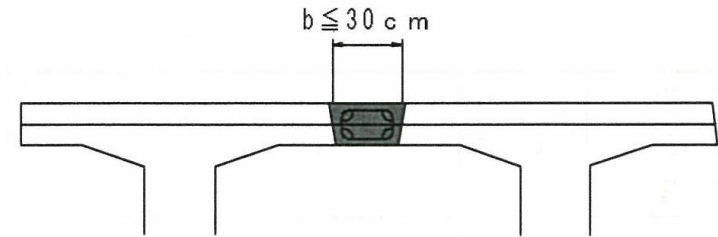
間詰めコンクリートの形状 年代別

ポスト	プレート	間詰めコンクリートの形状	
昭和 43年 以前	昭和 45年 以前	間詰めの形状が 長方形であり、落 下しやすい形状。	 A technical cross-section diagram of a concrete interlocking joint. It shows a central rectangular concrete block (shaded black) within a circular hole. The block is wider than it is tall. The surrounding structure consists of a horizontal top slab and vertical side walls with notches at the bottom. Dashed vertical lines indicate the alignment of the joint.
昭和 44年 以降	昭和 46年 以降	間詰めの形状が 逆台形(クサビ形 状)であり、落下し にくい形状。	 A technical cross-section diagram of a concrete interlocking joint, similar to the one above but with a different central block. The central block is an inverted trapezoid (wider at the top, narrower at the bottom), shaded black. The surrounding structure and dashed lines are identical to the previous diagram.

間詰め部への鉄筋定着

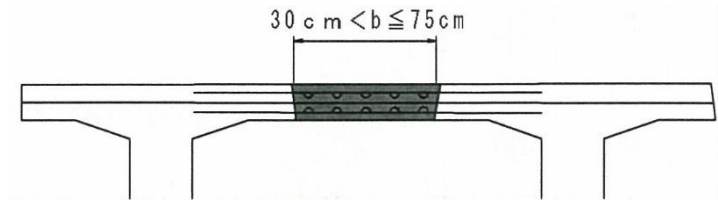
プレテン桁

プレテン桁の床版は、間詰め部の幅が30cm以下、フルプレストレス状態で引張応力が生じない構造。
→間詰め部への定着鉄筋は年代を問わず設置されていない。

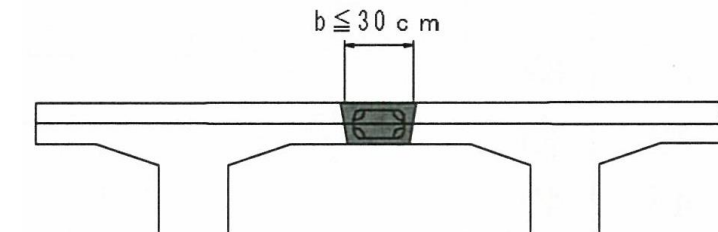


ポステン桁

昭和44年以降の標準設計
→間詰め部への定着鉄筋が設置されている。



※間詰め部の幅が30cm以下の場合は、現在でも定着鉄筋は設置されていない。



PC鋼材グラウトの凍結融解によるひび割れ

- ・シース管に雨水が浸入し、グラウトの凍結融解の膨張によりひび割れが発生。
- ・PCケーブルが上縁定着されているPC桁に多い。



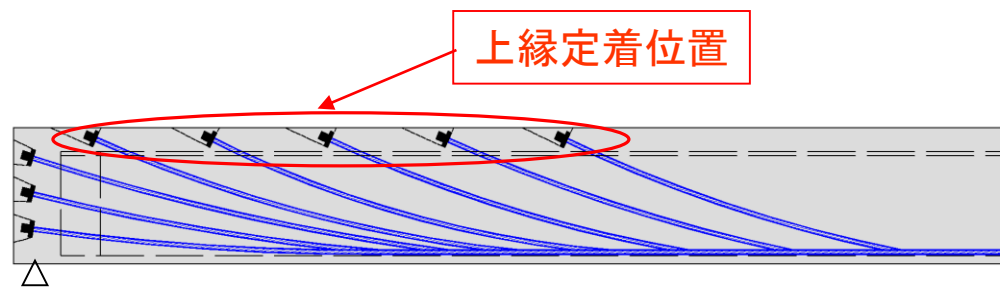
PC桁ウェブに斜め方向の
ひび割れ、遊離石灰の滲出



PC桁下フランジにひび割れ、
遊離石灰の滲出

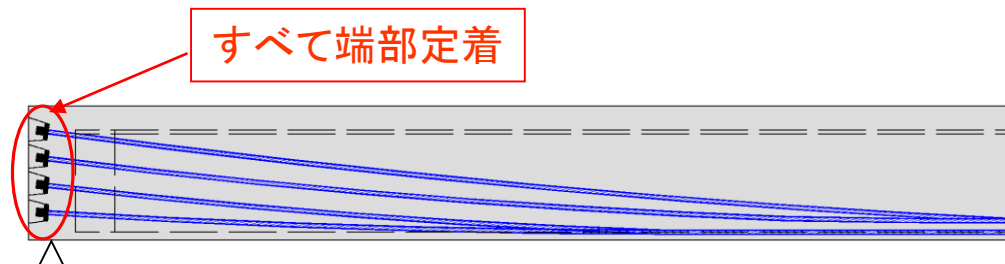
PCケーブル定着方法

- ・昭和54年以前
 - ・昭和55年～平成5年
〔桁長27m以下〕
- に設計のポステン桁



PCケーブルの一部を、主桁上縁定着(床版上面)で定着している。

- ・昭和55年～平成5年
〔桁長28m以上〕
 - ・平成6年以降
- に設計のポステン桁



主桁端部でPCケーブルを定着している。

2. コンクリート橋の再劣化

断面修復工の再劣化例



うき、ひびわれ



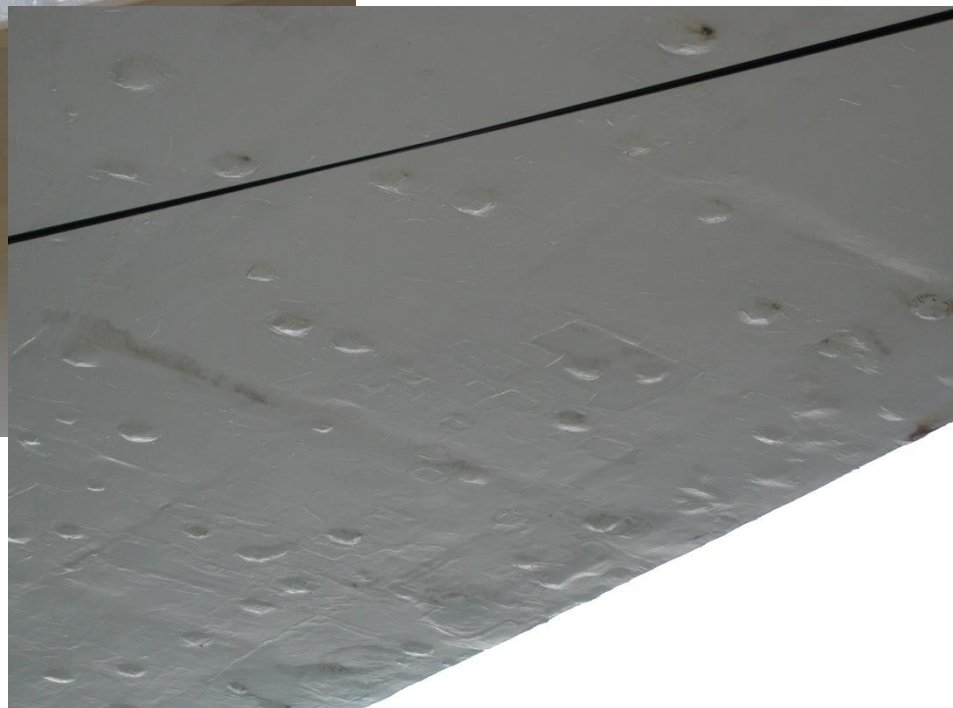
うき

表面被覆工法の劣化例



被覆材のふくれ
: PCホロー桁下面

被覆材のふくれ: 地覆外側



塩害によるPC桁の再劣化



補修箇所のはく離、はく落



補修された塩害損傷の再発生



内部鉄筋の腐食によるひび割れ



鋼板接着の腐食



内部鉄筋の腐食によるコンクリート剥落



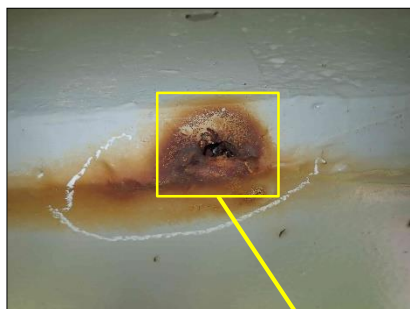
表面保護材の剥離

塩害による損傷状況 (マクロセル腐食の損傷)



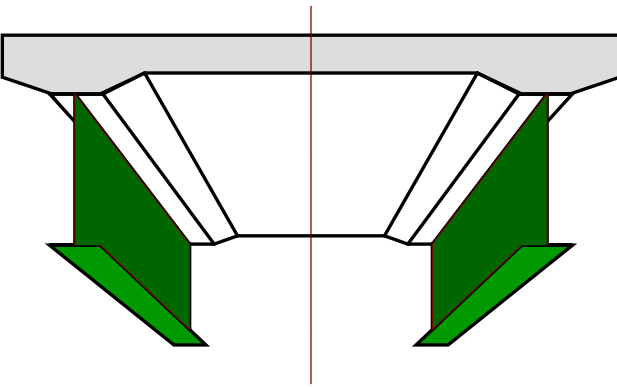
PCT桁 表面保護塗装の再劣化

- 主桁下面の多くの箇所に錆汁が点在。一部は軽微な豆板、結束線が視認できる。
- コンクリートの締固め不足、**結束線、鋼製スパーサー、清掃不良の鋼片**等が飛来塩分(海岸線から150m)により腐食していることが原因と推定。

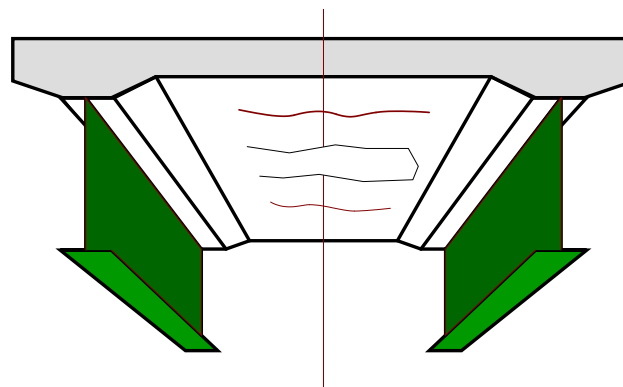


3. 鋼桁RC床版の損傷

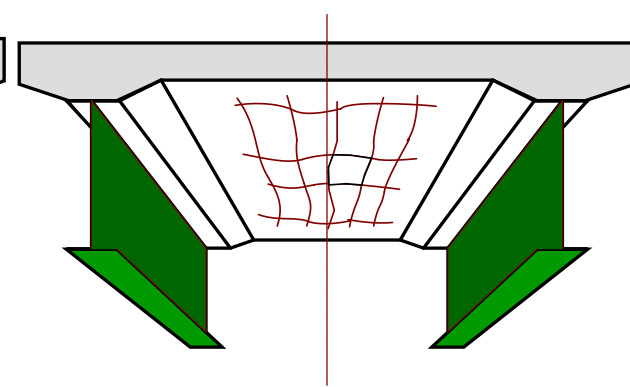
鋼橋RC床版の劣化メカニズム



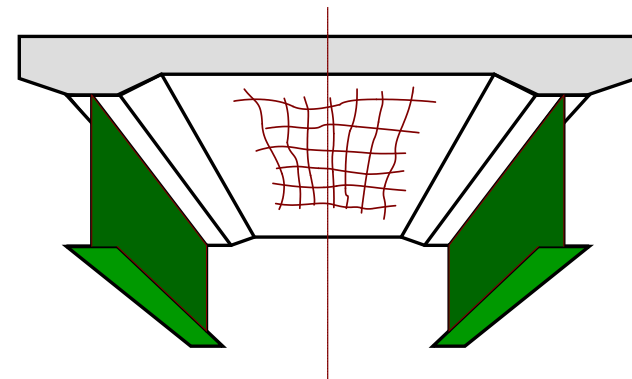
① 床版は等方性に近い版



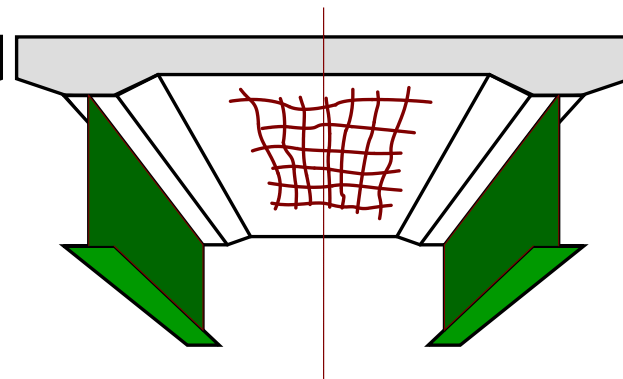
② 乾燥収縮クラックの発生により異方性版に



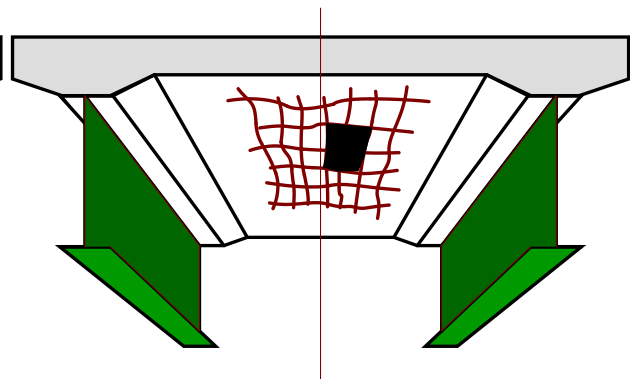
③ 輪荷重により異方性の方向が、90度変化



④ サイコロ状に近い形までクラック密度が増加



⑤ クラック幅の拡大



⑥ 押抜きせん断強度の低下による抜け落ち

橋軸直角方向のひび割れ



格子状のひび割れ



サイコロ状のブロック化した状況



抜け落ちた状況



抜け落ちた状況(床版下面)



RC床版の損傷例

舗装、床版上面の損傷



舗装撤去状況



橋面舗装の補修跡



床版下面状況



床版抜落ち



拡大



RC床版の桁端部付近の損傷事例

- ・遊離石灰を伴う2方向床版ひびわれ(幅0.2mm)が見られる。
- ・乾燥収縮や疲労ひびわれに橋面防水層、伸縮装置の劣化により橋面水が浸透して遊離石灰が生じたと推定。



伸縮装置
の状況

RC床版の損傷事例

- ・床版に著しい漏水、遊離石灰を伴う格子状ひびわれ(幅0.2mm)、うき。
- ・昭和39年道示設計であること、床版支間が大きいことなどから、疲労ひびわれが生じ、防水機能の低下により橋面水が浸透し、土砂化したと推定。
- ・漏水、つらら状の遊離石灰、うきが見られ、抜落ちなどの急激な進行が懸念される。



拡大写真
(つらら上の遊離石灰)



舗装開削前
土砂噴出状況



床版上面の開削・
脆弱部撤去状況

RC床版疲労損傷の初期～中期症状

明らかな疲労損傷



予防保全はこのあたりまで

RC床版の損傷事例

- ・RC床版に2方向の床版ひびわれ(幅0.2～0.3mm、ひびわれ間隔200～500mm)、ひびわれの交点には角落ち、局部的に錆汁。遊離石灰は乾燥している。
- ・疲労が原因と推定。
- ・ひびわれの擦り磨きが生じているため、橋面防水層が劣化すると床版が急激に脆弱化する懸念がある。



拡大写真(角落ち、錆汁)

RC床版の損傷事例

- ・床版下面に2方向床版ひびわれ(幅0.1mm)を伴う広範囲のうき、一部に錆汁。
- ・施工時の締め固め不良部に橋面水が浸透して遊離石灰、うきが生じたと推定。
- ・S39年道示適用の床版でうき、遊離石灰、一部に錆汁を伴う2方向床版ひびわれであり、床版の耐荷力が低下している。



橋面の状況

RC床版の損傷事例

- ・中間床版のセンターライン直下付近に遊離石灰を伴う網目状のひびわれ、広範囲のうき。
- ・舗装打継目から橋面水が浸透し、凍害や鉄筋の腐食膨張により生じたと推定。



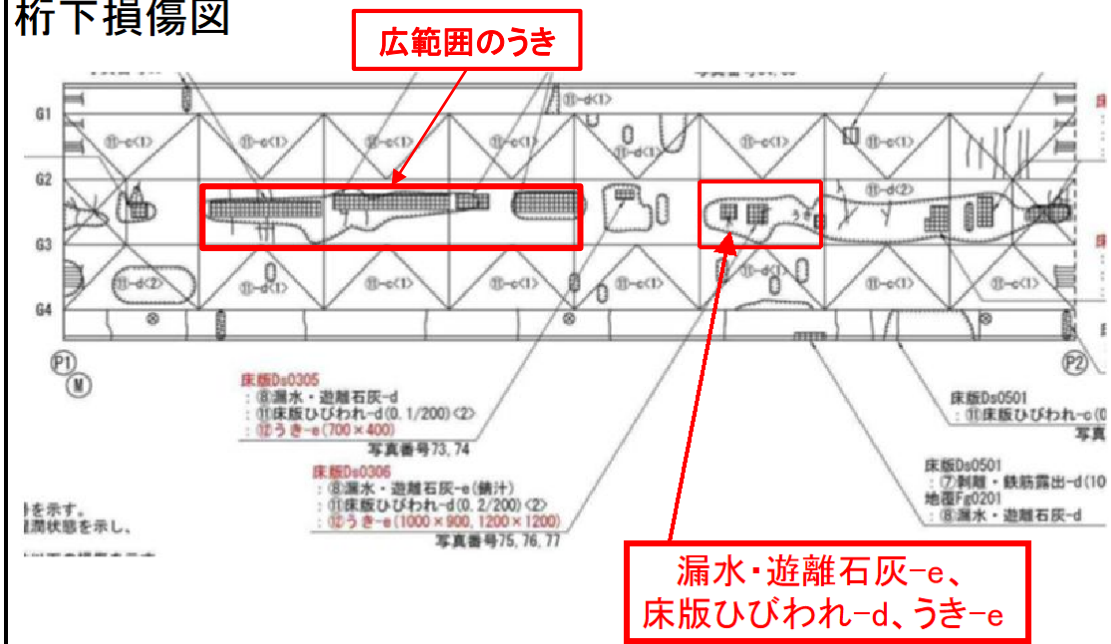
橋面上の損傷状況



橋面損傷図



桁下損傷図



舗装打継ぎ目の漏水



雨上がり、センターライン付近に滲み出す水の意味は？

RC床版の土砂化の診断について

(1) 疲労損傷・・・S42の通達で**ほぼ解決済み**

- － 古典的な損傷、移動する輪荷重による損傷

(2) **土砂(砂利)化**

- － 水の影響による急速劣化、**現在ホットな問題**
- － 寒冷地の凍結融解とよく似たメカニズム

(3) **塩害**

- － **凍結防止剤**の浸透による上鉄筋の腐食
- － **海砂**を使用したケース
- － 海塩粒子による塩害

(4) **ASR**・・・現時点では未解明な点が多い

- － 骨材の膨張による床版面外方向の剥離、空洞

RC床版土砂化のメカニズム

2013年5月 いきなり陥没
一面の遊離石灰にも注目



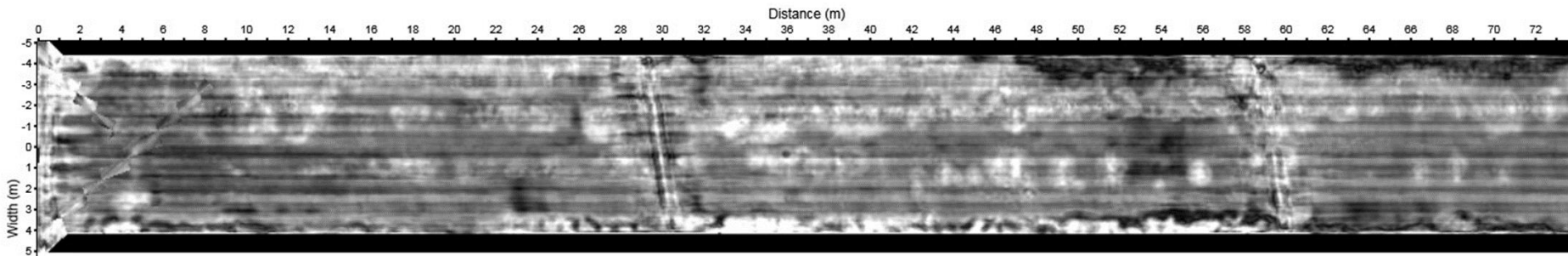
5年前の点検写真
疲労損傷の兆候なし



土砂化損傷！ 下からの点検では**予防保全**は不可能

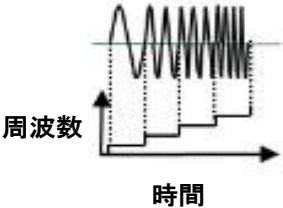
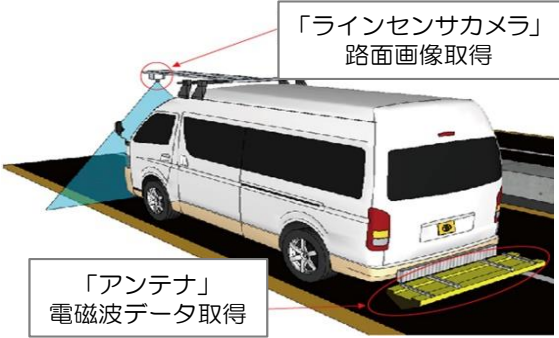
土砂化損傷を早期発見するための新兵器 電磁波レーダー

外観からの
発見は困難



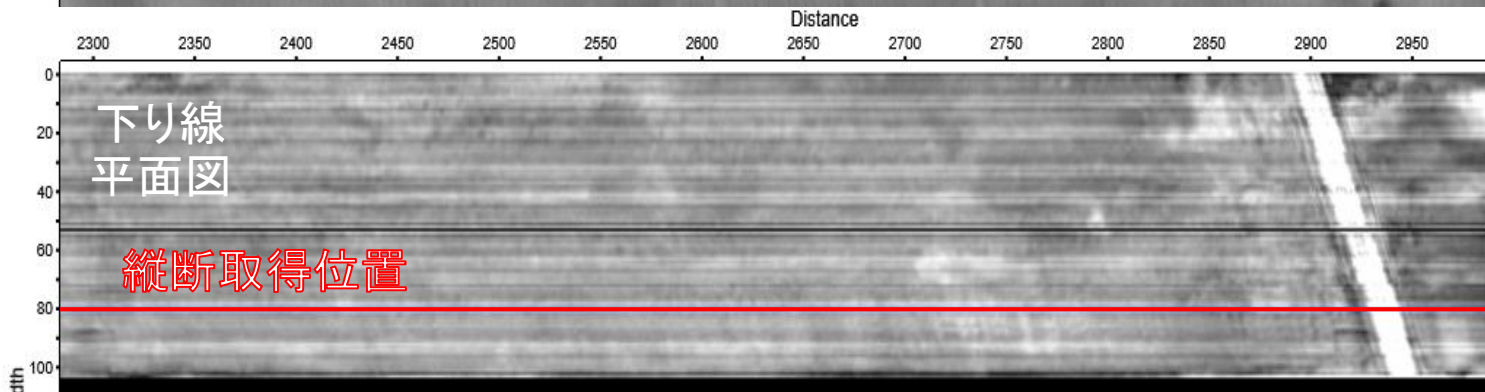
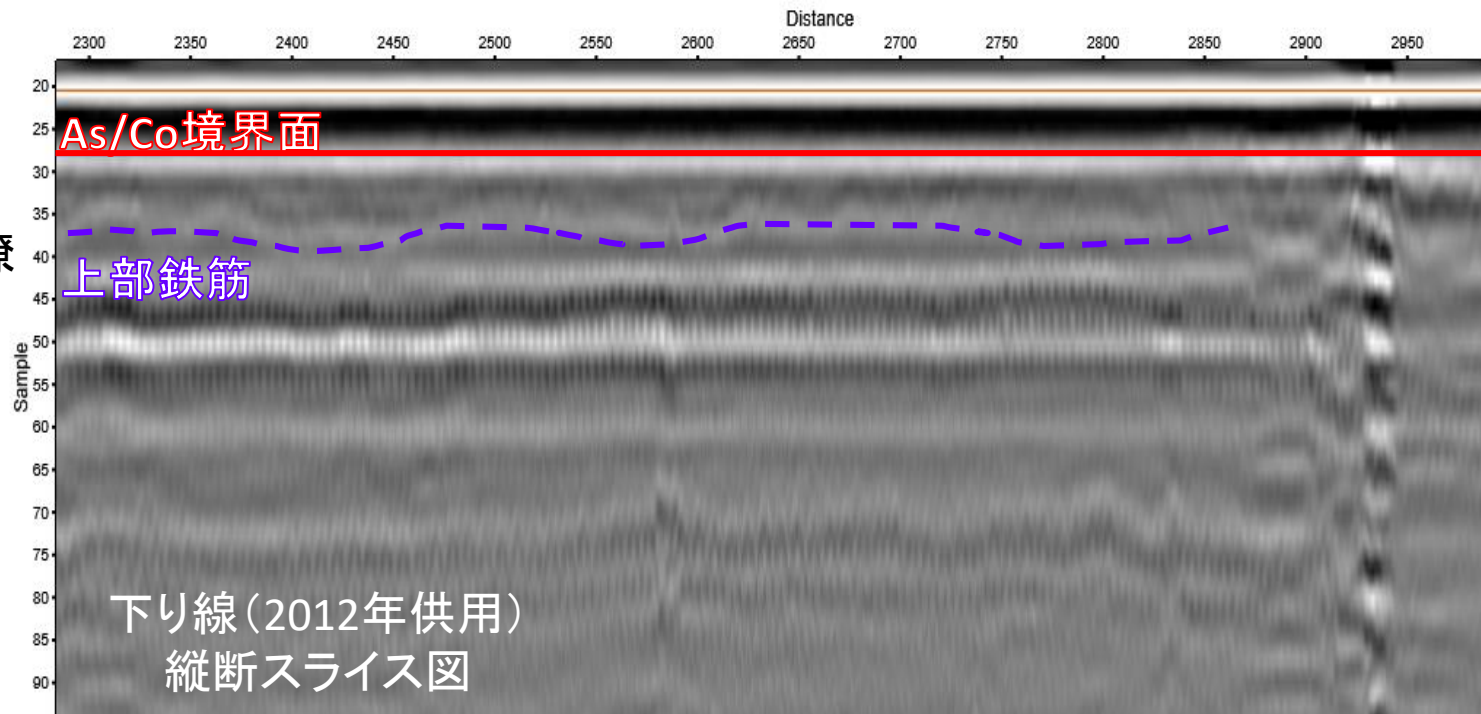
- RC床版の土砂化の原因になる床版上の滞水を探知することで未然に損傷を防ぐ
- 漏水の経路をたどることで漏水元を絶つ
- 車載式の装置ならば計測は短時間で可能

現地調査 -調査機材-

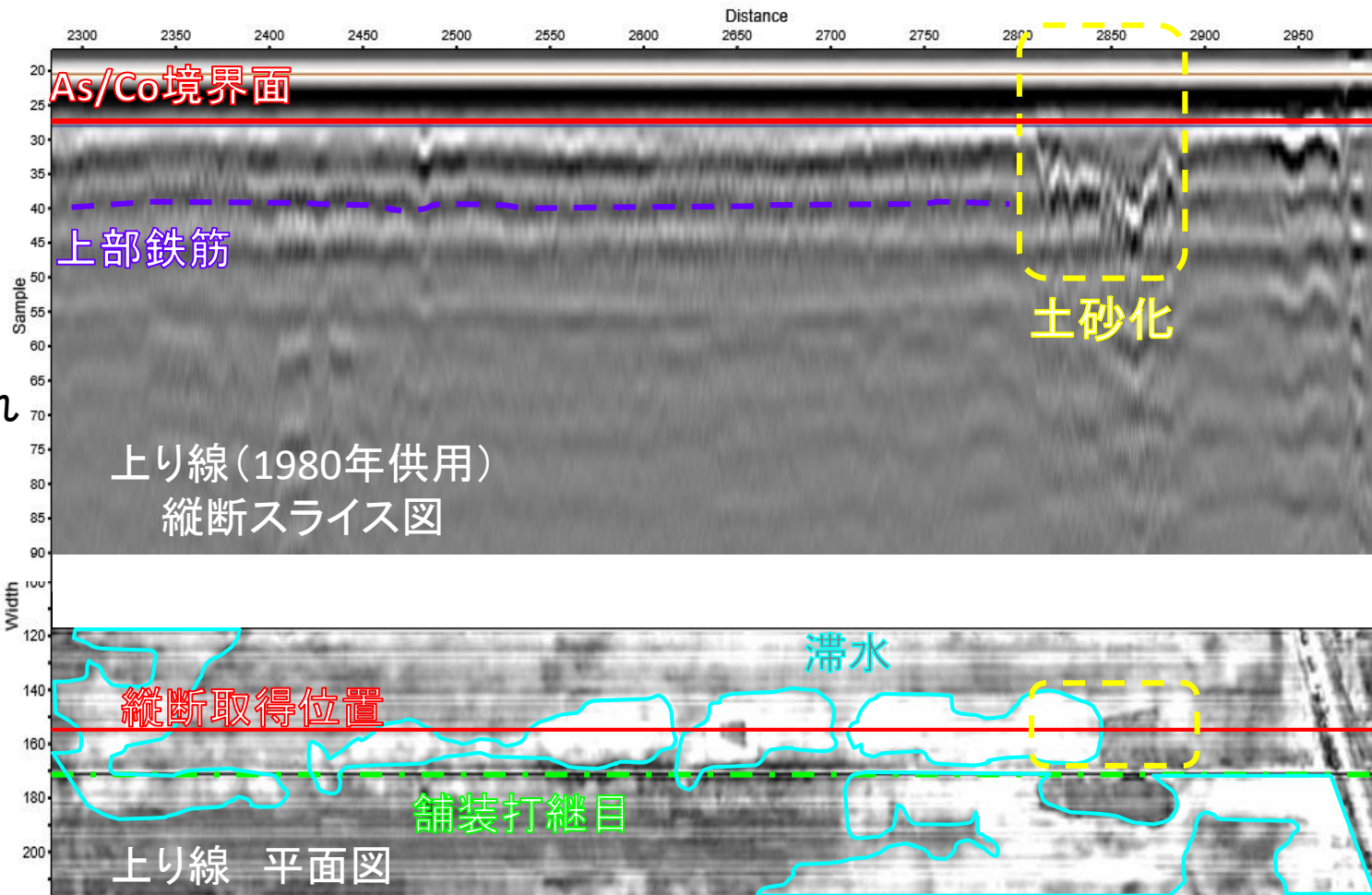
電磁波レーダ仕様			
機材名	3D-RADAR	変調方式	ステップ周波数
レーダ方式	変調連続波方式レーダーシステム		
変調方式	ステップ周波数	送信波形	
計測方法			
動作原理	離散的に変化する多周波数において、各周波数毎の送信波に対する反射波の振幅・位相を計測する	探査深さ	最大1500mm



水に注目した電磁波レーダー画像 比較的健全な床版



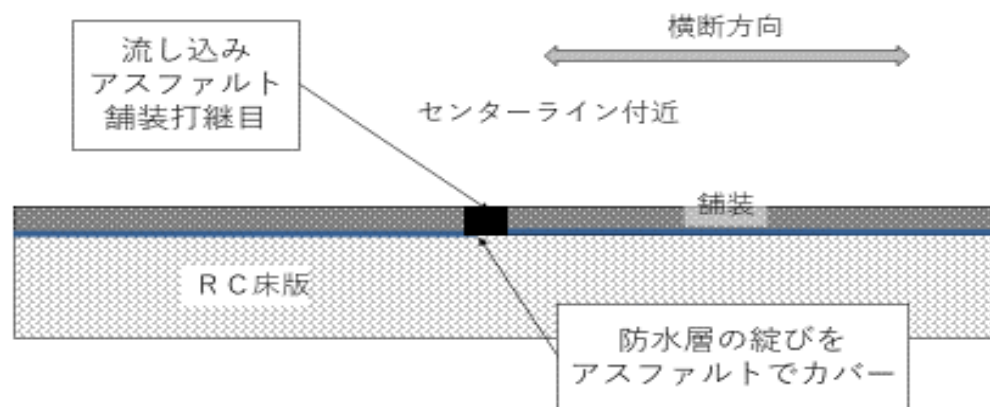
水に注目した電磁波レーダー画像 土砂化の進んだ床版



舗装打継ぎ目の漏水対策



舗装打継ぎ目の工夫



4. コンクリート部材の初期損傷

● 中間床版のひびわれ

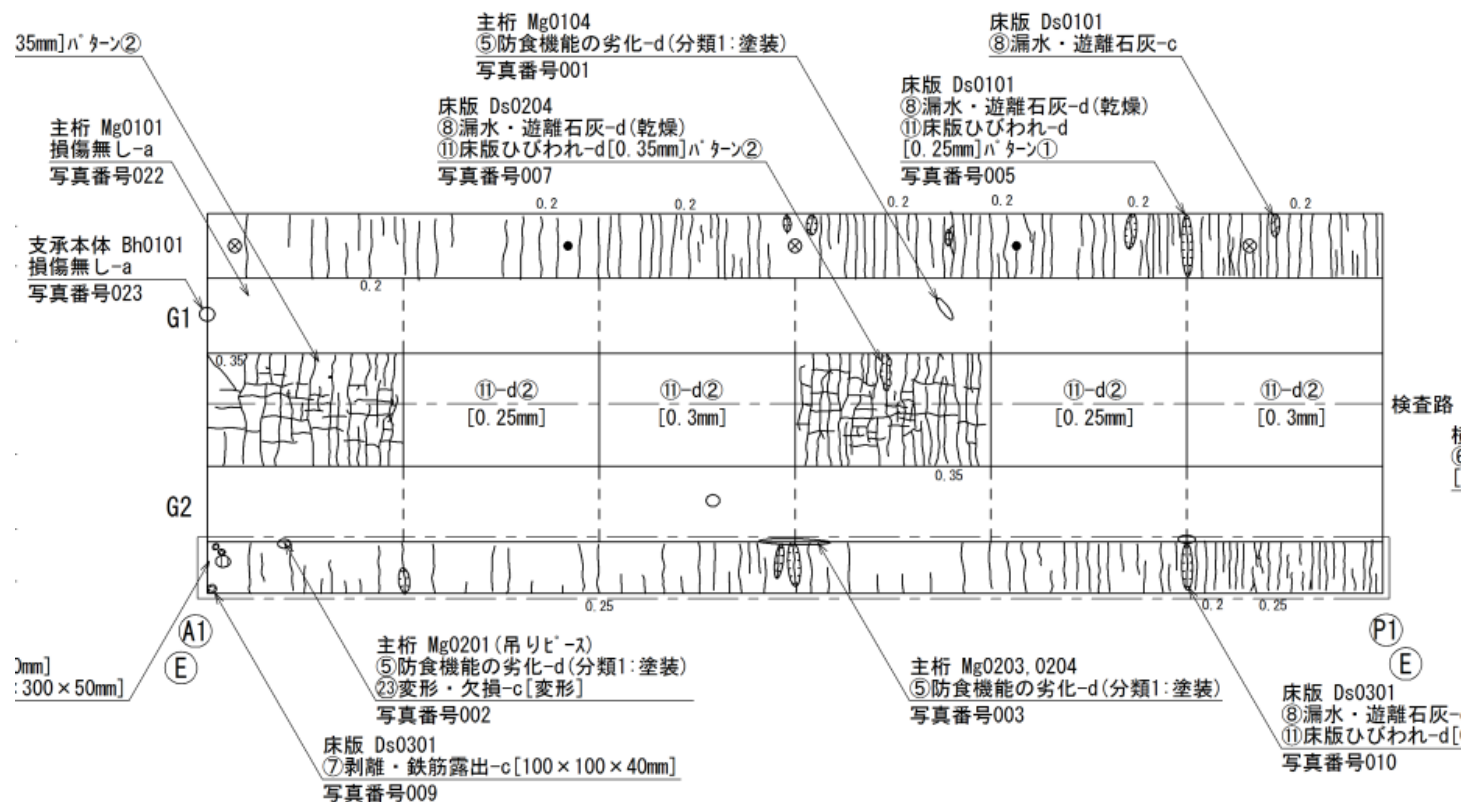
・中間床版全体に2方向ひびわれ(幅0.1~0.35mm)、間隔0.25~0.3m程度。角落ちは見られない。



張出床版のひびわれ

ひびわれ拡大写真





損傷図

● 施工概要

- 床版工事期間 9月～3月
- 舗装工事期間 7月上旬
- コンクリートの打設
 - ・ ポンプ車による配管打設、
コンクリート打設時期1月下旬脱型3月上旬
 - ・ 養生方法はテント、ジェットヒーター使用、散水養生
養生マット＋気泡シート＋ブルーシートによる3層
シート養生
- コンクリートの配合
 - ・ 強度27～30N/mm²、水セメント比55%以下、スランプ8cm
骨材吸水率 2.09%、1.87%、1.54%
 - ・ ポリプロピレン繊維（クラックバスター）混入
- 生コンプラントから現場までの運搬時間35分
- 供用前の工事用車両等の通行はなし

- ・冬期施工の養生期間や脱型時の外気との急激な温度差などへの配慮不足
→収縮等によりひびわれが発生
- ・現時点でのひびわれは輪荷重の繰返しによるものではない。角落ち等も見られない。
→床版の耐荷性能が著しく低下している状況ではないと推定する。

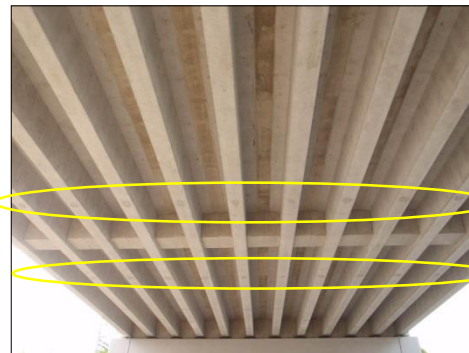
● 主桁下面の跡埋め部のうき、剥離

主桁下面のPC鋼材バンドアップ装置の跡埋め部
→叩き落とし作業により剥離



剥離部 拡大写真

- 主桁製作時の跡埋めモルタルの接着不良によるものと推定
- 鋼材の露出はみられないが、直下が車道であり、**第三者被害予防の観点から剥落防止対策**が必要。



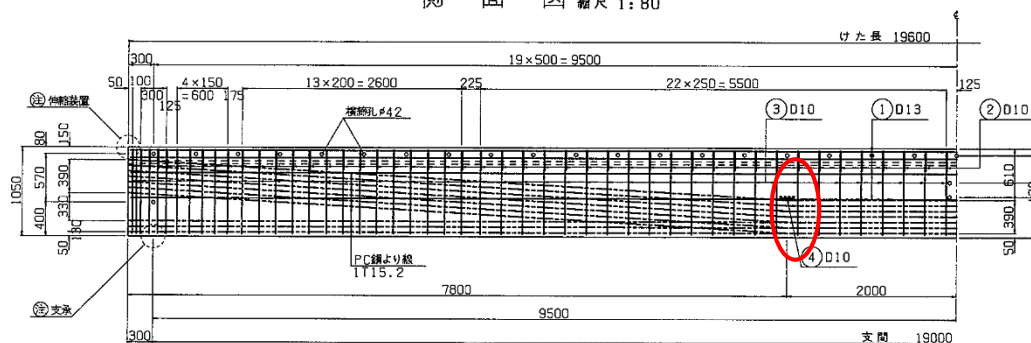
叩き落としたモルタル片
接着剤が剥がれている
モルタルには繊維が混入されている

● 主桁下面の跡埋め部のうき、剥離

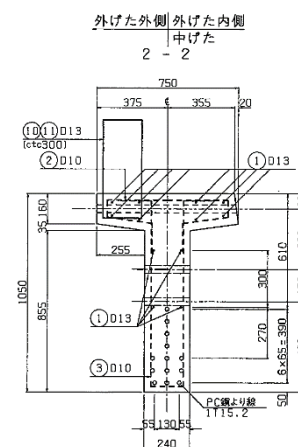
- ・ ベンドアップ^o装置の設置状況例



側面図 縮尺 1:80



標準設計図 側面図, 断面図



● PC箱桁 主桁内部の骨材のポップアウト

- ・PC主桁箱桁内全体に剥離が多数見られる。
- ・骨材自体が割れており、吸水性の大きい骨材の凍害により、ポップアウトしていると推定。



箱桁内状況写真

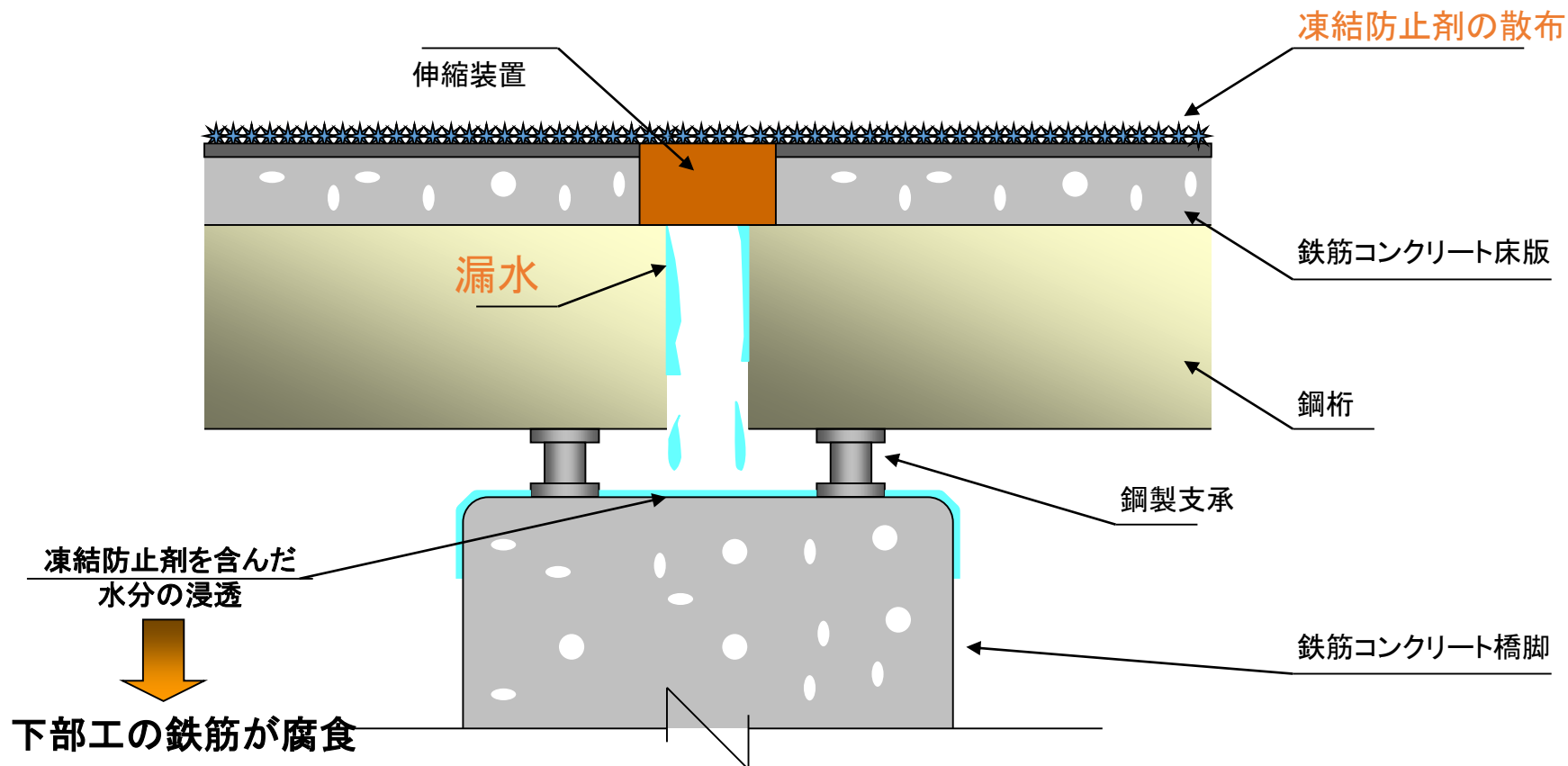


5. 鋼桁の損傷

5. 1 腐 食

冬季の積雪時の状況

凍結防止剤により桁端や鋼製支承は腐食しやすい



1991年3月にスパイクタイヤが禁止されてから凍結防止剤の散布量が急増

鋼主桁のウェブの腐食・欠損

- ウェブや垂直補剛材の下端及び下フランジに断面減少を伴う腐食が見られる。
- 端部付近で断面減少が進行し、主桁の耐荷性能の低下が懸念される



伸縮装置の漏水状況

鋼主桁のウェブの腐食・欠損

- 主桁端部に板厚減少を伴う腐食、ウェブに欠損

ウェブの欠損状況



③伸縮装置からの漏水



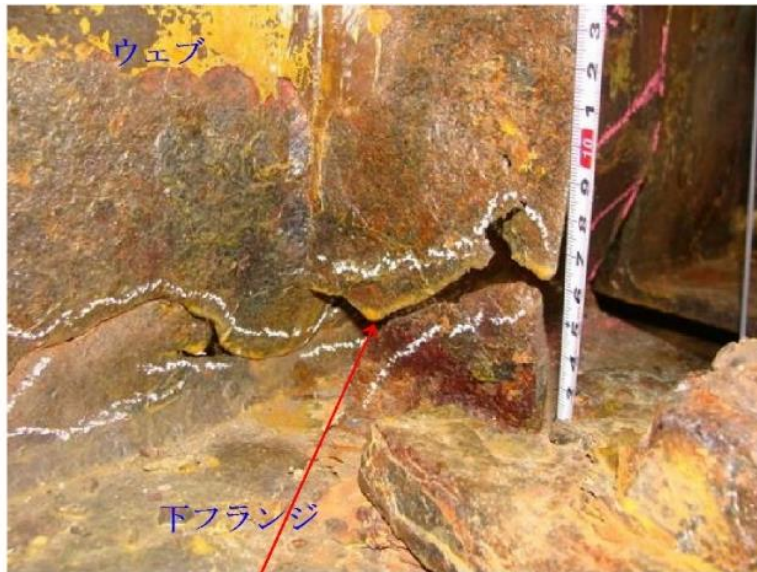
鋼主桁のウェブの腐食・欠損



前回点検(5年前)
腐食のみ



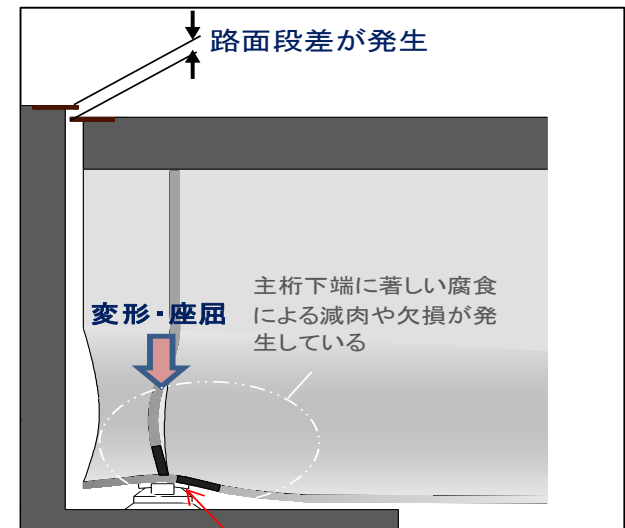
主桁ウェブの座屈



支点上垂直補剛材の欠損



- 主桁端部のせん断破壊
- 急激な耐荷力低下、第三者への影響有





腐食・減肉および鋼製支承の機能低下による疲労亀裂の発生

- 腐食による断面欠損部にそのまま塗装
- 支承本体の上沓(ソールプレート)に近接した箇所であり、支点反力を受ける箇所に近接しており、速やかに補修が必要。



主桁下フランジに著しい欠損が見られる

- 下フランジの断面減少
- 腐食による断面欠損部にそのまま塗装



あて板補修



簡易排水樋の設置



ケレン 種別による再発錆

1-2 塗替えと素地調整の方法

素地調整の程度の比較



1種ケレン(ブラスト使用)



3種ケレン(動力工具使用)

モニタリング調査(重防食塗装後、1年経過時の発錆状況比較)



発錆の兆候なし

1種ケレン(Rc-I)実施箇所

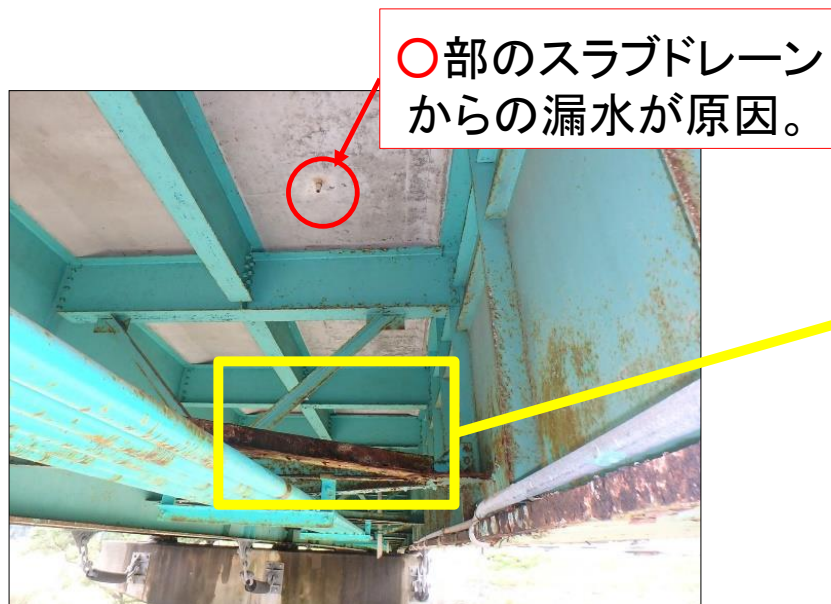


発錆の兆候あり

3種ケレン(Rc-III)実施箇所

鋼部材のウェブの腐食・欠損

- 下横構の板厚減少を伴う腐食
- スラブドレーンからの凍結抑制剤を含む漏水により腐食したと推定。



下横構の損傷状況



拡大写真

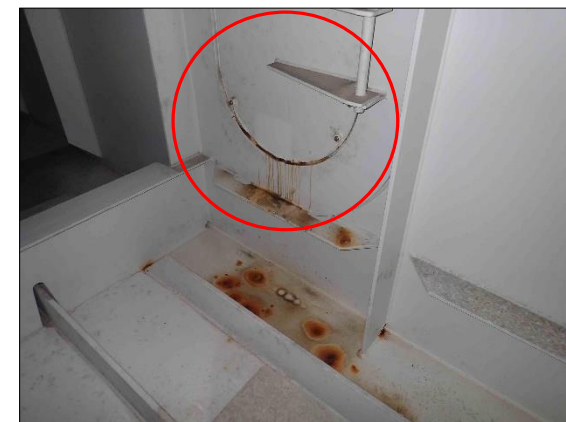
鋼箱桁内部の滞水

- 主桁箱桁内部の底版に滞水跡、塩分の堆積。
- 排水管引込開口部から飛来塩分や凍結抑制剤の塩分を含む雨水の浸入と推定



鋼箱桁内部の滞水、腐食

- G2主桁箱桁内下フランジの塗膜に膨れ、腐食。
- 排水管引込み開口部や桁側面マンホールからの飛来塩分の侵入、雨水吹込みによるものと推定。



鋼桁ゴム支承の腐食

- 支承の上沓、ベースプレートに腐食。
- 近傍のスラブドレーンからの漏水が、導水管を伝って落滴している。凍結抑制剤の塩分を含んだ橋面水の影響で腐食したと推定。



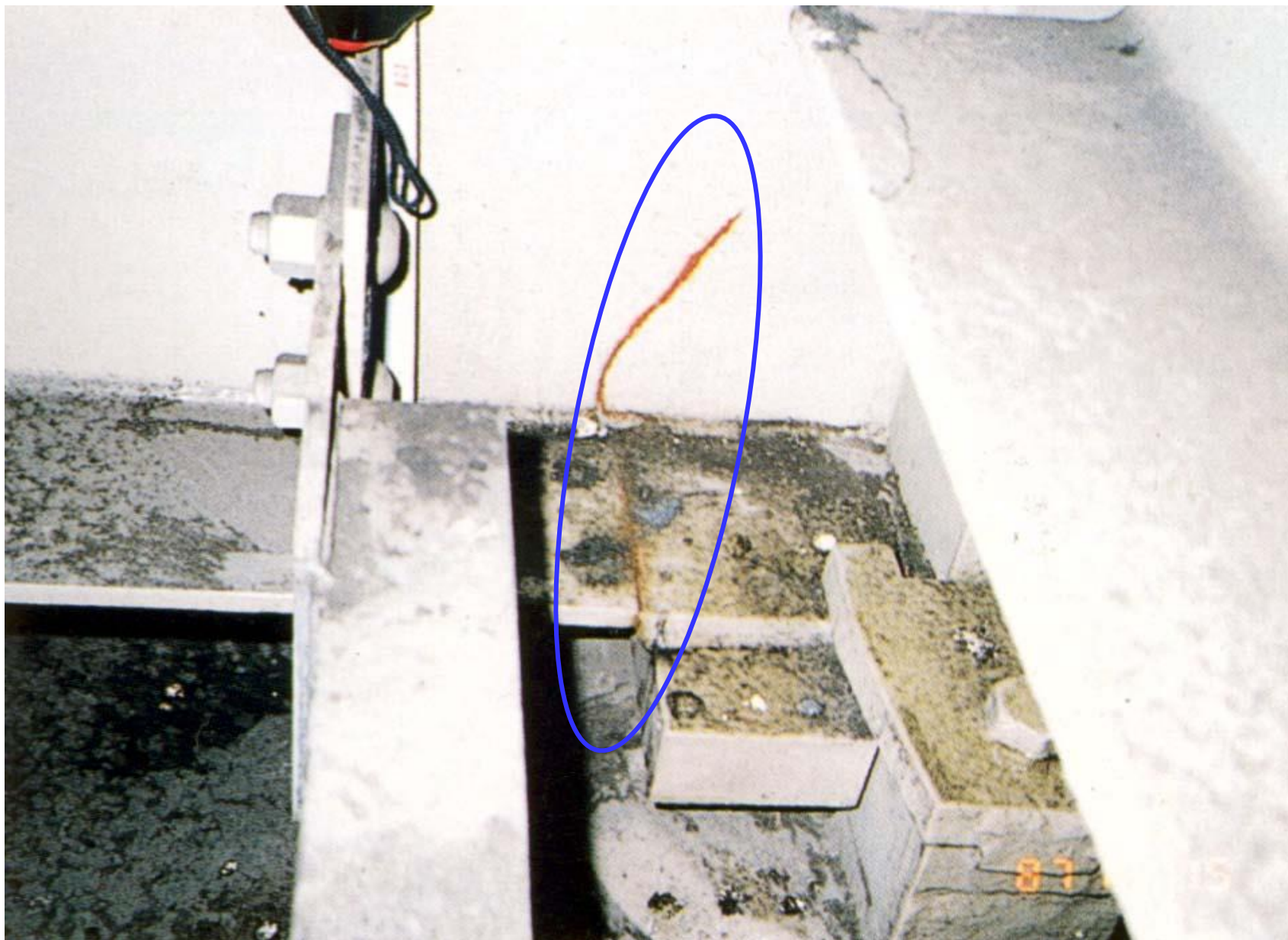
上沓の腐食



前回点検(H25)

5. 鋼桁の損傷

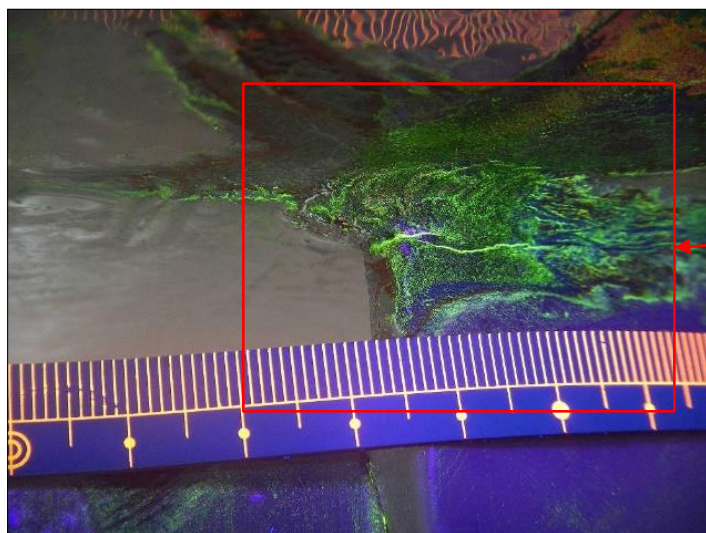
5. 2 亀 裂



ソールプレート溶接部から発生した疲労亀裂

主桁 垂直補剛材の亀裂

- 主桁で中間横桁を取付けている垂直補剛材の上端の上フランジとの溶接部に亀裂。
- 疲労が原因と推定。



ストップホール

ストップホールの施工

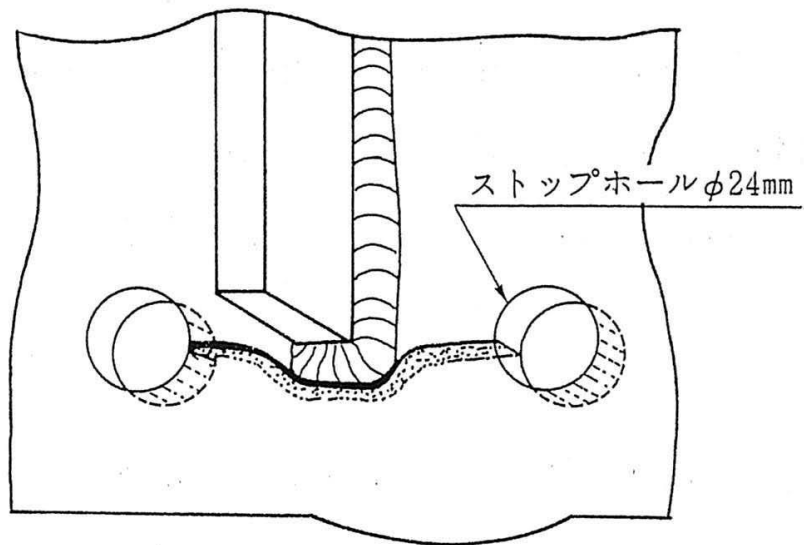
(ストップホールの淵はヤスリ
等で面取り・仕上げを行う)

亀裂先端から
10mm程離す
(亀裂先端を捉える)

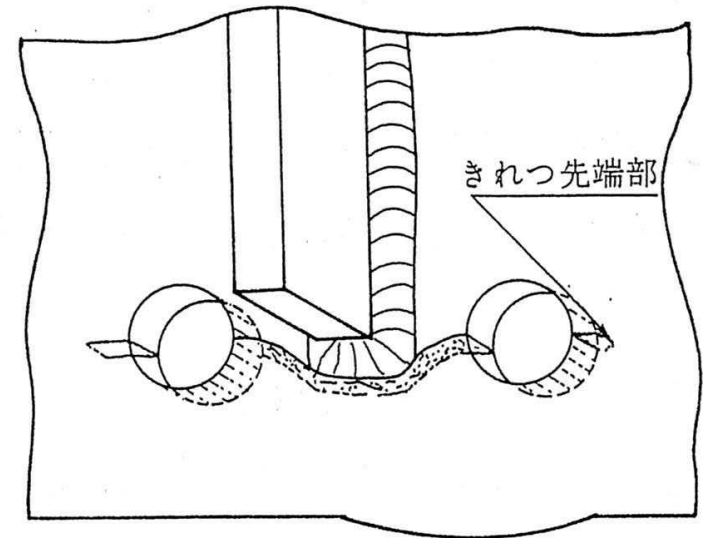
(補強板取付けまで時間がある場合は、空ボルトで締付ける)



ストップホールの施工方法



(a) きれつ先端部が取り除かれた
良い施工例



(b) きれつ先端部が残った
悪い施工例

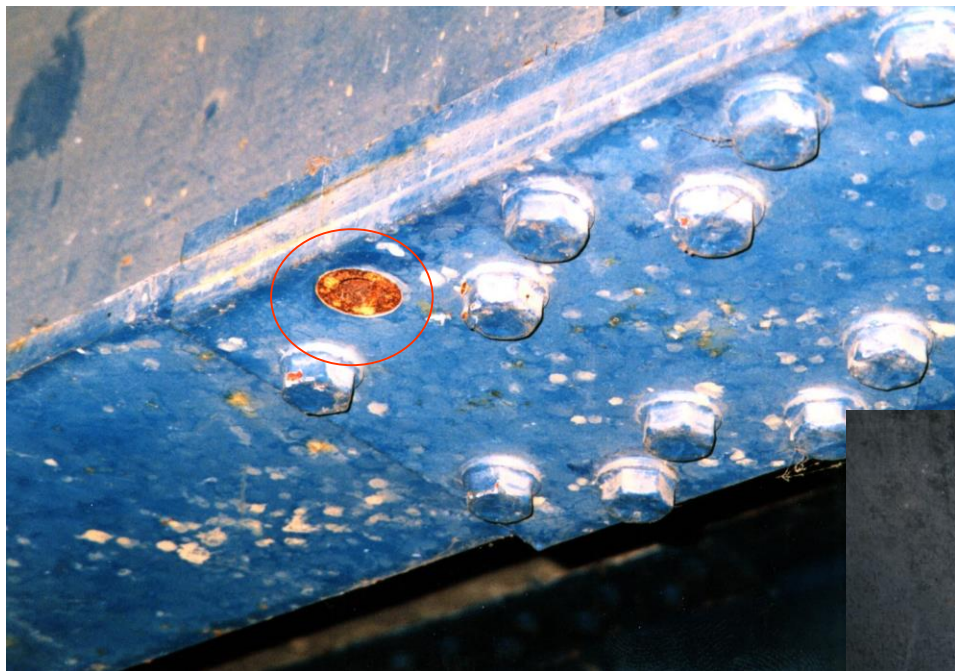
湿式磁粉探傷試験による疲労亀裂先端部の探査 【補強縦桁に発生した疲労亀裂】



5. 鋼桁の損傷

5. 3 高力ボルトの脱落

F11T高力ボルトの脱落例

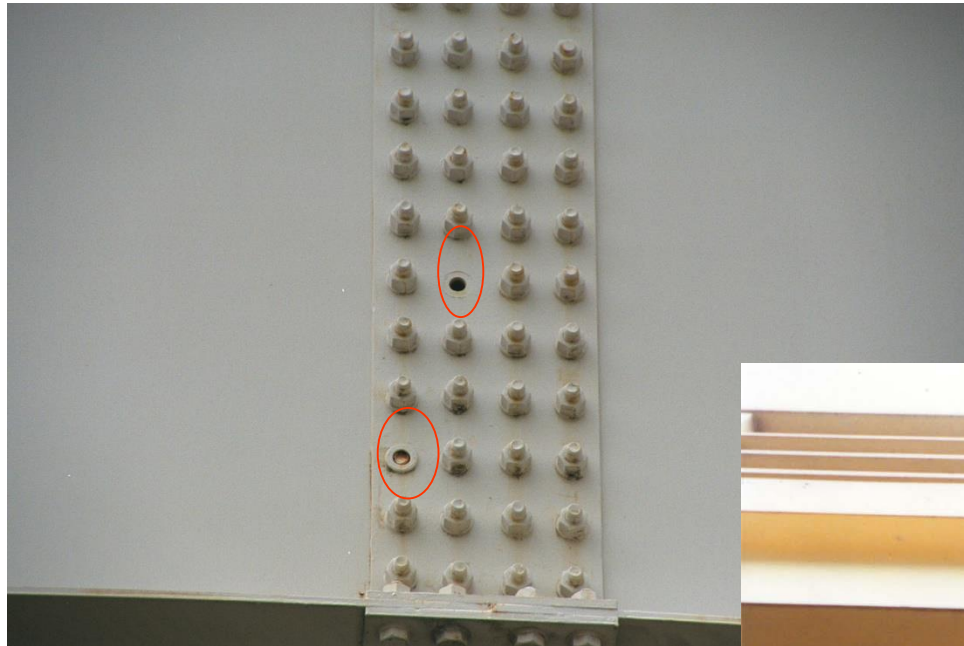


主桁下フランジガセット部

横構ガセット部



F11T高力ボルトの脱落例



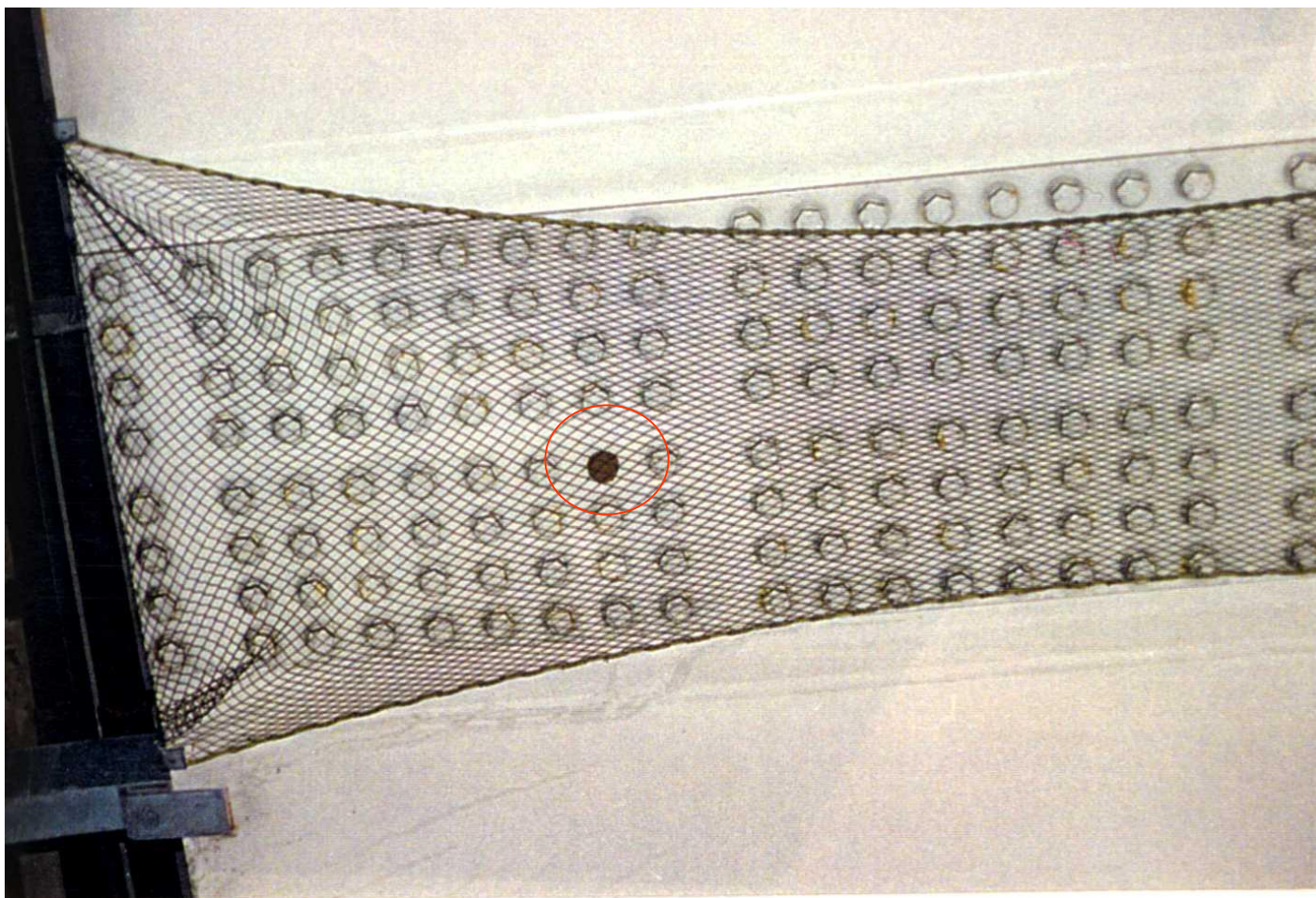
主桁ウェブガセット部



ゆるみ・脱落が発生した部材の補修

- F11Tの遅れ破壊による脱落事例が多い。
- 直ちに落橋にいたることはないが、第三者被害を防止する対策が必要。
- 脱落対策は、原則としてはF10Tへ取り替えるのがよい。取り替え順序は、詳細に検討する必要がある。

第三者被害の防止対策：防護ネットの設置

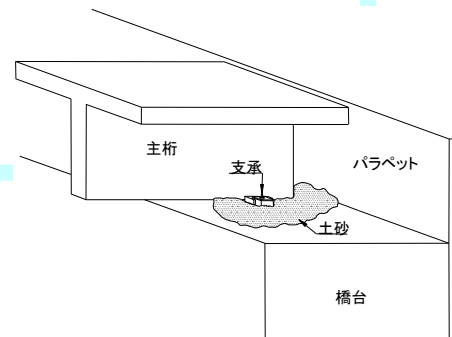


6. 支承の損傷

支承を見る



支承の腐食および土砂詰まり



支承の移動機能が低下しているため、詳細な調査を実施し、補修対策の検討が必要

支承沓座モルタルの欠損

- ・ 支承沓座モルタルに欠損、下沓に隙間が生じ、リブが露出。
- ・ 伸縮装置からの漏水により凍害が生じ、欠損に至ったと推定。

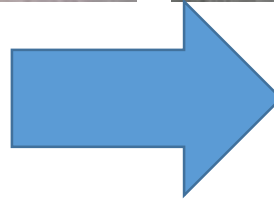


伸縮装置の状況





支承の再塗装

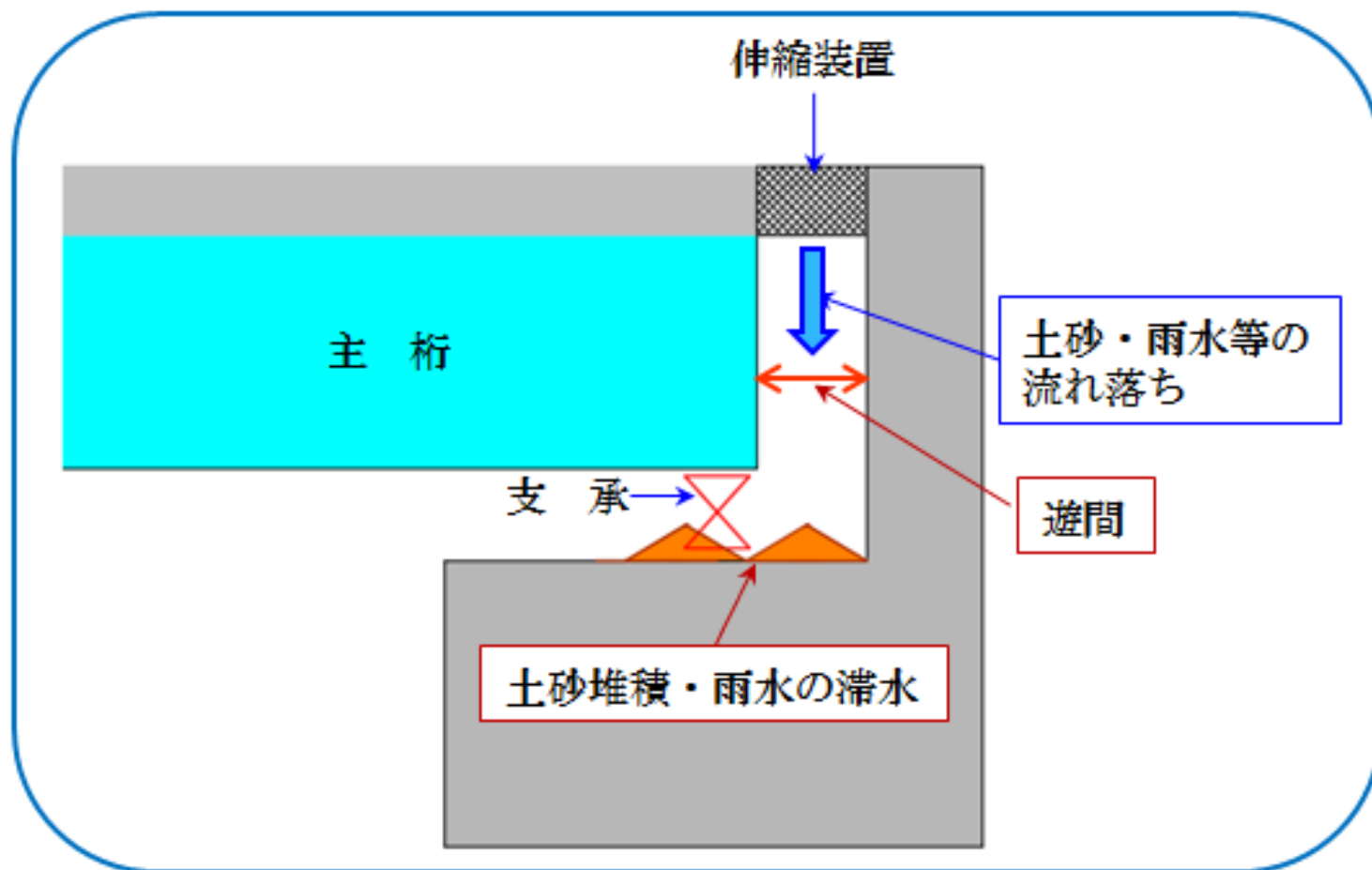


支承本体サイドブロックの破断

- ・ 支承サイドブロックに破断が見られる。



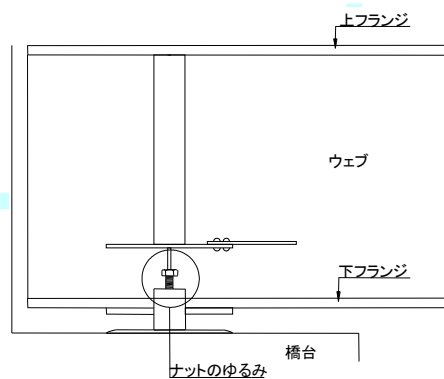
排水設備の追加・改善



支承を見る



支承のボルトが抜け出している



伸縮装置に段差があれば支承の沈下または下部構造の沈下などの原因が考えられるので、詳細な調査を実施し、補修・補強対策の検討が必要

ゴム支承の亀裂

支承本体ゴム部の亀裂

- ・ オゾン劣化により表面の被覆ゴムに亀裂が生じたものと推定。
- ・ 亀裂が内部鋼板にまで進行し塩分による鋼板の腐食が懸念される。
- ・ 表面のコーティングや再度被覆ゴムを巻くなどの補修が必要。



終

ご静聴ありがとうございました