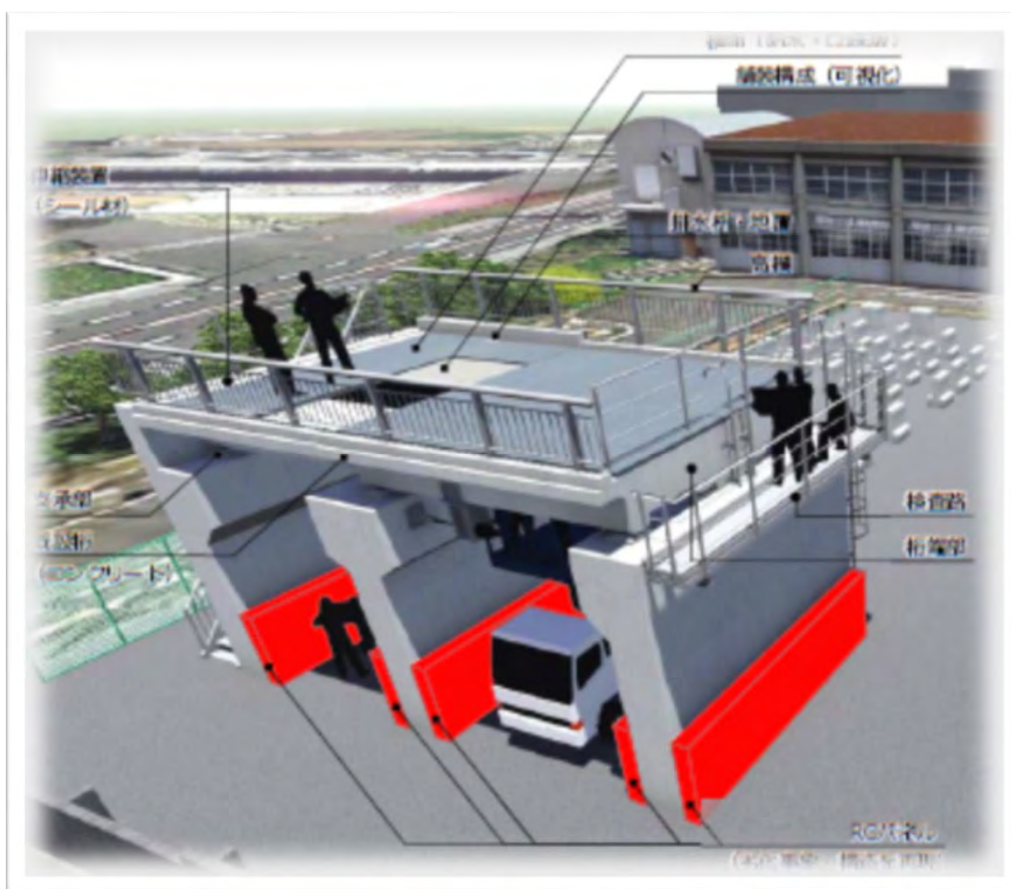


# 体験型土木構造物実習施設(橋梁実モデル) 手 引 書



平成30年3月

国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所  
(九州防災・火山技術センター)

〒830-8570 福岡県久留米市高野1丁目3番1号  
TEL:0942-32-8245 FAX:0942-32-8295  
Email: qsr-kyugi@mlit.go.jp

## まえがき

国土交通省は、平成24年12月2日に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故などを契機に、平成25年を「社会資本メンテナンス元年」としてインフラの老朽化対策について取り組むこととなり、その取り組みの中で「メンテナンスサイクルを回す仕組みを構築」することとしています。

この仕組みづくりにおける[体制]メニューの一つに、「地方公共団体の職員、民間企業の社員も対象とした研修の充実」が掲げられ、メンテナンス技術習得の重要性が唱えられています。

これまで九州技術事務所では、研修の充実を図る一環として、各種体験型の土木構造物実習施設を整備し、計画研修や基礎技術講習会で活用してきましたが、前述のとおりメンテナンス技術に関する研修の充実が叫ばれる中、点検技術の習得にむけた研修施設の充実・強化の要請が高まっています。

この点検技術の習得には、座学だけでなく、さまざまな劣化・損傷事例を実際に”みて・触れて・考えて”いくことが欠かせません。体験を通して知見を深めていくことが重要となりますので、現在行っているメンテナンス研修(橋梁初級Ⅰ・Ⅱ、トンネル)では、実際に供用中の構造物を使った現場実習を取り入れているところです。

供用中の構造物を使った現場実習は、その有効性が非常に高い一方で、さまざま劣化・損傷事例への対応が困難であることや、現場までの移動時間・手段、気象の影響や点検時の交通安全上の問題など多くの課題を包含しています。

九州技術事務所では、これら課題への対応として、事務所構内に体験型土木構造物実習施設(橋梁実モデル)を整備しました。本施設を利用することで、供用中の構造物を使った現場実習を補完することが可能となり、安全で効率的かつ効果的な研修の実施が可能となります。

本手引書が体験型土木構造物実習施設(橋梁実モデル)の円滑な活用・運用にむけたテキストとして利用され、九州地区におけるメンテナンス技術の習得・向上に寄与することを期待するものです。

平成30年3月

九州技術事務所  
総括技術情報管理官

# 手引書の位置づけと構成

## ○手引書の位置づけ

本手引書は、体験型土木構造物実習施設（橋梁実モデル）の円滑な活用・運用に向け、本施設を使った下記研修コースのうち、①見学コース、②体験型基礎コースを円滑に実施していくためのマニュアルとして作成したものである。

## ○研修コース

- ①見学コース ..... 体験型土木構造物実習施設（橋梁実モデル）内を自由に見学して頂くコースです。必要に応じて、橋梁維持管理の基礎知識や点検器具の使用方法的の説明や、点検器具の貸与が可能です。
- ②体験型基礎コース ..... 体験型土木構造物実習施設（橋梁実モデル）内を用いて、橋梁維持管理の基礎知識や点検器具の使用方法的が学べるコースです。橋梁維持管理の知識を持たない方や実務経験の無い方でも受講できます。
- ③利用者申請コース ..... 体験型土木構造物実習施設（橋梁実モデル）内を用いて、利用者が技術者育成のために、独自で研修を実施するコースです。必要に応じて点検器具（研修所）の貸与が可能です。

## ○手引書の構成

本手引書では、体験型土木構造物実習施設（橋梁実モデル）の運用において、まず、本施設を安全に利用していただくために注意事項等を記載しています。

つぎに、円滑な実務運用ができるよう、本編として、施設本体の概要や特徴、本施設で実施可能な各種調査や試験等について解説を加えています。

最後に、損傷事例編として、劣化・損傷の発生要因を「材料由来によるもの」と「施工由来によるもの」に分けて解説を加えています。

# 体験型土木構造物実習施設(橋梁実モデル)の 安全利用について

## ○施設利用時の緊急避難

本施設を利用中に地震が発生した場合は、速やかに施設から離れて下さい。もし、橋面等にいた場合には、安全確認のうえ近くの検査路よりすみやかに避難して下さい。

## ○施設利用時の装備等

本施設を安全に利用していただくために以下の点を守ってください。

- ・ 作業服など動きやすい服装を着用のこと
- ・ ヘルメットを着用のこと
- ・ 高所作業車並びに橋面及び検査路上の高所で研修を行う場合は、安全帯を必ず着用のこと

## ○その他

九州技術事務所体験型土木構造物実習施設運用要領及び実習施設利用許可書を遵守してください。また、緊急時その他やむを得ない事情により、九州技術事務所職員が、利用中止を指示したときは、速やかに応じて下さい。

# 目 次

## <本編>

### 1 体験型土木構造物実習施設

#### (橋梁実モデル)の概要

|           |       |    |
|-----------|-------|----|
| 1-1 施設概要  | ----- | 6  |
| 1-2 RC桁   | ----- | 9  |
| 1-3 橋梁付属物 | ----- | 10 |
| 1-4 橋面工   | ----- | 11 |
| 1-5 RCパネル | ----- | 11 |

### 2 体験型土木構造物実習施設

#### (橋梁実モデル)の診断調査

|                   |       |    |
|-------------------|-------|----|
| 2-1 外観目視調査及び打音調査  | ----- | 14 |
| 2-2 実習施設のチェックポイント | ----- | 15 |

### 3 体験型土木構造物実習施設

#### (橋梁実モデル)の詳細調査

|                    |       |    |
|--------------------|-------|----|
| 3-1 反発硬度試験         | ----- | 22 |
| 3-2 鉄筋探査(電磁波レーダー法) | ----- | 23 |
| 3-3 鉄筋探査(電磁誘導法)    | ----- | 24 |
| 3-4 中性化試験(ドリル法)    | ----- | 25 |

## <損傷事例編>

### 4 材料由来による損傷事例

|         |       |    |
|---------|-------|----|
| 4-1 塩害  | ----- | 27 |
| 4-2 ASR | ----- | 28 |

### 5 施工由来による損傷事例

|               |       |    |
|---------------|-------|----|
| 5-1 砂すじ       | ----- | 30 |
| 5-2 豆板        | ----- | 31 |
| 5-3 コールドジョイント | ----- | 32 |

# 1 体験型土木構造物実習施設 (橋梁実モデル)の概要

# 1-1 施設概要

## 全体図



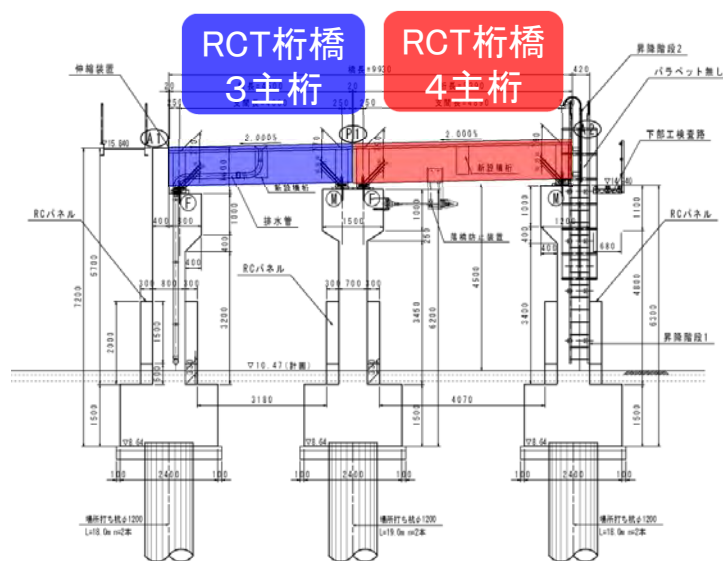
## 旧 寿橋

○建設年: 1932年(昭和7年)

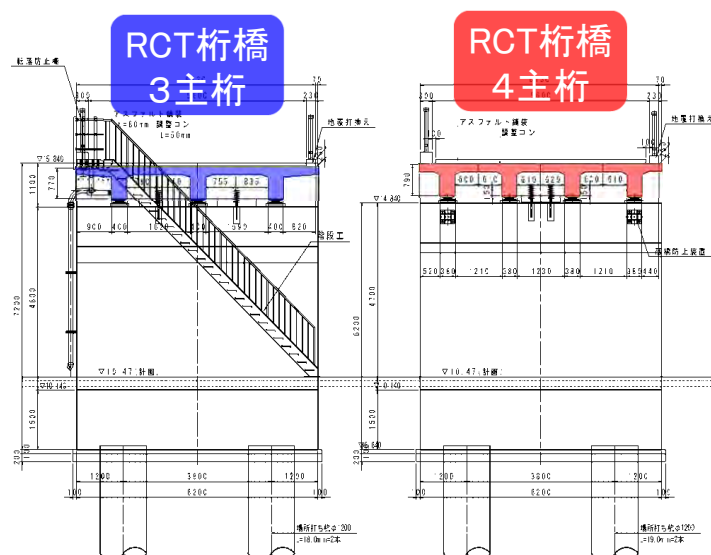
○供用年数: 83年

橋梁実モデルは、架替により発生した旧寿橋の上部工の一部を活用しています。

## 側面図



## 断面図





## 1-1 施設概要

本施設は、実際に供用していたRC桁を用いた施設です。橋梁実モデルを活用することで、実体験を通して橋梁点検の基礎技術や各部材の損傷、詳細調査の方法等の技術の習得、技術力向上を図ることを目的としており、橋梁構造、損傷、調査に関する技術を効率的に習得できます。

### 【特徴 ①】 実習施設本体

- 上部構造は、1932年(昭和7年)に建設された旧寿橋の架替により発生した上部工の一部を活用しています。このRC桁には、コンクリート損傷や補強鋼板が残っています。
- 桁下は、車道部の建築限界4.5mを確保して実橋の印象に近い整備としています。4.5m確保することで梯子や高所作業車を使用した点検実習が行えます。また、近接目視と遠望目視の違いを体験できます。



### 【特徴 ②】 橋梁付属物

- 橋梁付属物(ジョイント、支承)の構造を理解するために、橋梁付属物を設置しています。なお、A1橋台部にジョイントを設置しています。A2橋台側は、橋梁付属物の構造を理解するために、パラペットを設けない構造としています。
- 検査路を設置し、桁端部を目視できるようにしています。検査路は実際の橋梁に多く採用される梯子構造を設置しています。

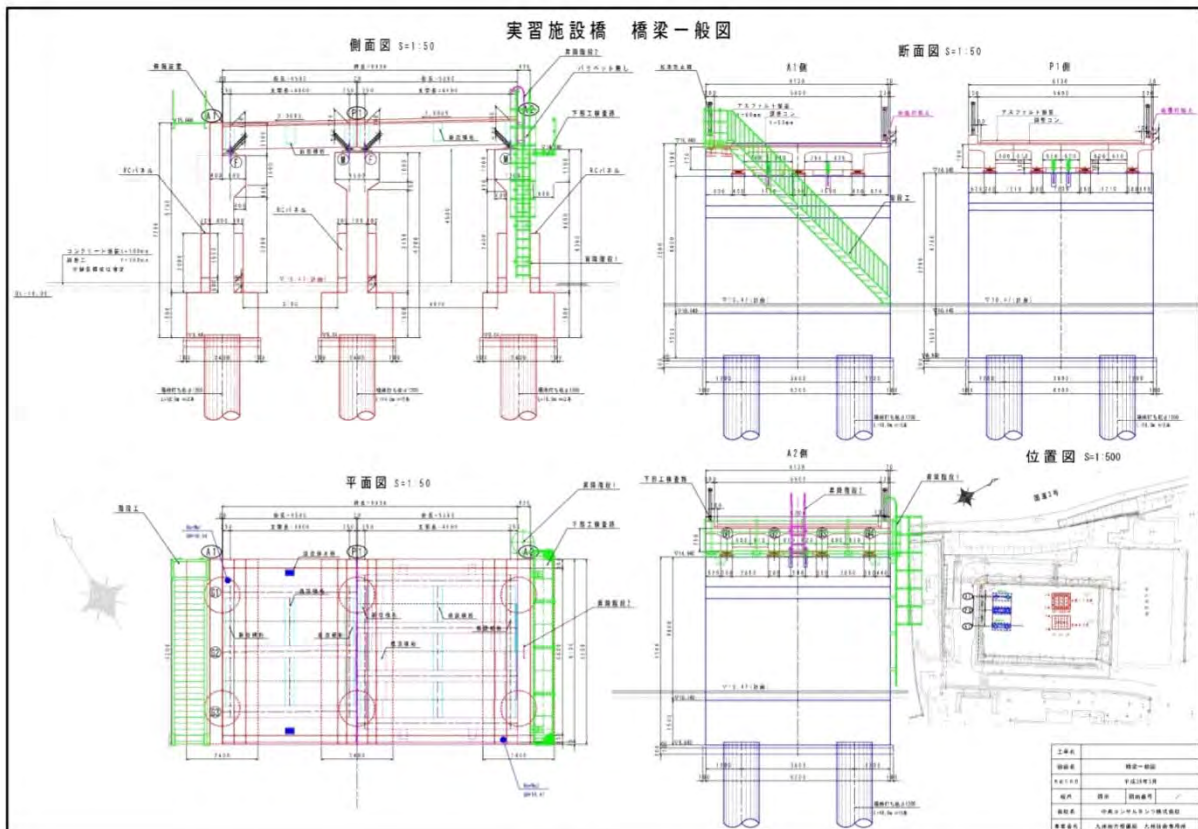
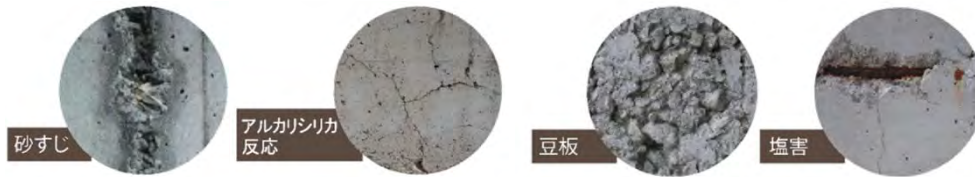




# 1-1 施設概要

## 【特徴 ③】 RCパネル

- 様々な損傷種類を理解する施設として RCパネルを整備しています。RCパネルで再現した損傷としては、コンクリート施工不良(砂すじ、豆板、コールドジョイント)、ASR、塩害、空洞です。RCパネルを詳細調査等実施することにより、技術を習得ができます。
- RCパネルで鉄筋の可視化部を製作し、配筋状況が確認できます。



## 1-2 RC桁

- 旧寿橋の橋梁諸元(供用時)

は以下のとおりです。

〔橋梁名〕: 寿橋

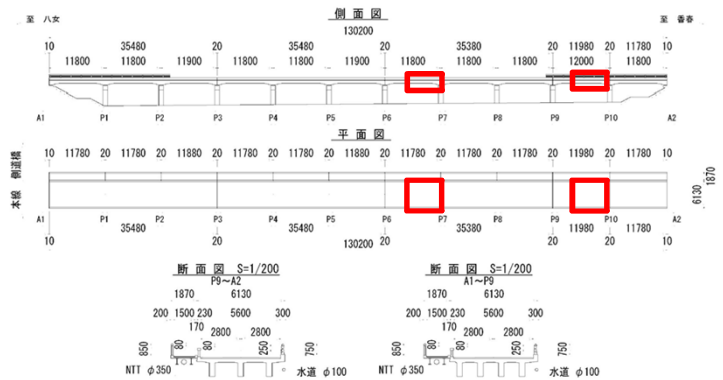
〔竣工年〕: 1932 年(昭和 7 年)

〔橋梁種別〕: RCT 桁、鋼 I 桁

〔橋長〕: 130.2m(11 径間)

〔幅員〕: 5.6m

橋梁一般図(供用時)



□: 実モデル活用箇所

- 供用時には補修・補強履歴があり、主桁フランジ下面に主桁補強工(鋼板接着)や主桁、床版に断面修復工が実施されてます。本施設に使用しているRC桁にも補修・補強が実施された箇所が確認できます。
- 九州技術事務所に搬入された主桁には、遊離石灰やひびわれ、剥離・鉄筋露出等の損傷が確認されました。



補修補強状況写真(供用時)



主桁補強工(鋼板接着)



遊離石灰

ひびわれ

## 1－3 橋梁付属物

### 1－3－1 ジョイント、支承

- 橋梁付属物の構造を理解するために、ジョイントや支承を設置しています。
- ジョイントはA1橋台側に設置しています。
- A2橋台側はパラペットを設けていませんので、実橋では目視できない橋梁付属物の構造を確認できます。また、支承の視認性の程度を理解するために、端横桁の高さに変化させた特殊な構造としています。



ジョイント



支承

### 1－3－2 検査路

- A2橋台の背面側に梯子構造の検査路を設置しています。検査路を用いて、橋面を確認することができます。
- 梯子構造の検査路は、橋梁の検査路として多く用いられる構造です。A2橋台側は、パラペットを設置していないため、検査路から橋台背面側に歩くことで、橋梁付属物の構造を確認することができます。
- A2橋台側検査路から第2梯子を使って、橋面に行くことが可能です。



梯子構造(A2橋台)



## 1-4 橋面工

- 橋面舗装は実施していないため、コンクリート床板の劣化状況を確認できます。P1-A2間には、補強のため床板面に炭素繊維シートを施工しています。



## 1-5 RCパネル

- 様々な損傷種類を理解する施設として RCパネルを整備しています。RCパネルで再現した損傷としては、材料由来による損傷（塩害、ASR）、施工由来による損傷（砂すじ、豆板、コールドジョイント）、空洞です。RCパネルを詳細調査等実施することにより、技術を習得できます。
- RCパネルで鉄筋の可視化部を製作し、配筋状況が確認できます。
  - ① 診断調査
- 外観目視調査及び打音調査（損傷、空洞）
  - ② 詳細調査
- 鉄筋探査（鉄筋間隔変更、鉄筋被り変更）
- 反発硬度試験（コンクリート強度変更）
  - ③ 変状確認
- 砂すじ ・ 豆板 ・ コールドジョイント
- 塩害 ・ ASR



点検ハンマー



鉄筋探査機  
（電磁波レーダ法）



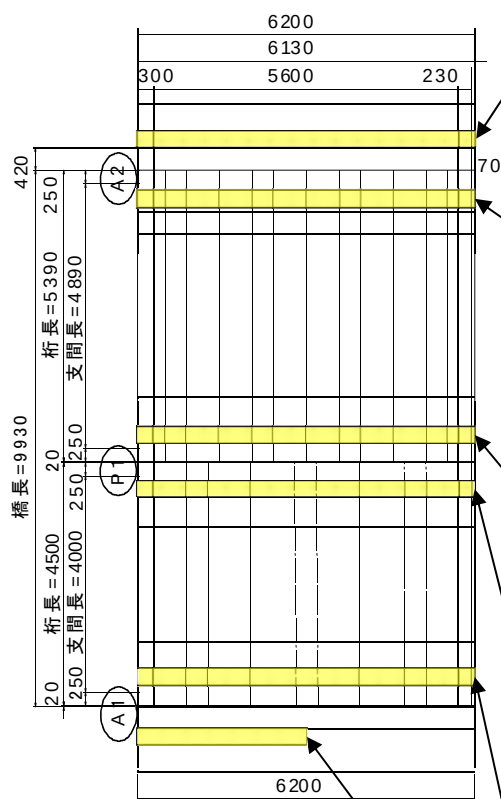
鉄筋探査機  
（電磁誘導法）



点検棒

# 1-5 RCパネル

RCパネル配置図



RCパネルA2②

|      |      |
|------|------|
| 塩害   | ASR  |
| 3100 | 3100 |

- ・塩害: 塩害による損傷を確認出来ます。
- ・ASR: ASRによる損傷を確認出来ます。

RCパネルA2①

|            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|
| 100<br>ピッチ | 150<br>ピッチ | 250<br>ピッチ | 鉄筋の<br>可視化 |
| 1550       | 1550       | 1550       | 1550       |

- ・鉄筋間隔の違い: 鉄筋探査調査(RCレーザ等)を体験出来ます。
- ・鉄筋の可視化: コンクリート内部の配筋状況を確認出来ます。

RCパネルP1②

|                |                 |                 |      |
|----------------|-----------------|-----------------|------|
| 被り<br>50<br>mm | 被り<br>100<br>mm | 被り<br>150<br>mm | 空洞   |
| 1000           | 1000            | 1000            | 3200 |

- ・鉄筋の被りの違い: 鉄筋探査調査(RCレーザ等)を体験出来ます。
- ・空洞: 打音調査によりコンクリート内部の空洞、うき部の打音の違いを確認出来ます。

RCパネルP1①

|                         |                         |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 18N<br>/mm <sup>2</sup> | 24N<br>/mm <sup>2</sup> | 30N<br>/mm <sup>2</sup> | 40N<br>/mm <sup>2</sup> |
| 1550                    | 1550                    | 1550                    | 1550                    |

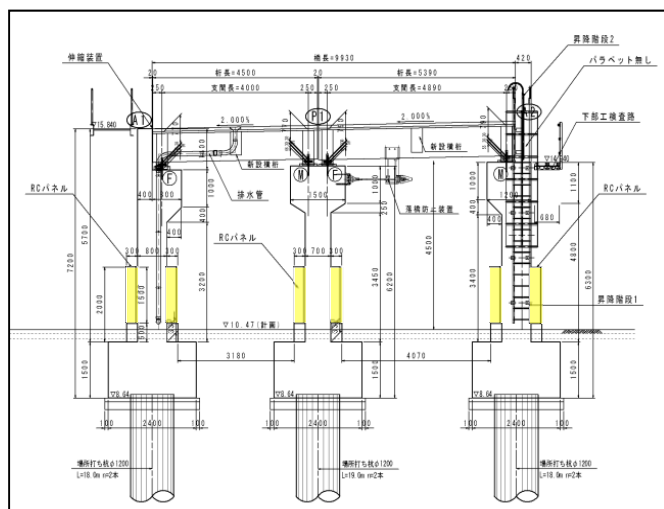
- ・コンクリート強度: 反発硬度試験を体験出来ます。

RCパネルA1②

|               |      |      |
|---------------|------|------|
| コールド<br>ジョイント | 砂すじ  | 豆板   |
| 2100          | 2000 | 2100 |

- ・コールドジョイント、砂すじ、豆板: コンクリート施工不良の代表的な損傷を確認出来ます。

側面図



RCパネルA1①

|      |      |
|------|------|
| ASR  | 塩害   |
| 1550 | 1550 |

- ・塩害: 塩害による損傷を確認出来ます。
- ・ASR: ASRによる損傷を確認出来ます。

## 2 体験型土木構造物実習施設 (橋梁実モデル)の診断調査

## 2-1 外観目視調査及び打音調査

### 2-1-1 目的

- 目視による外観調査及び叩きによる打音調査は、人間の医療に例えると問診、触診、打診であり、コンクリートの状態を把握する上で必須の調査です。構造物診断に有益な情報が得られ、ひび割れ一つにしても、形状、幅、方向や確認された位置などにより、今後の調査方針を決めるための資料となります。

### 2-1-2 調査方法

- 目視調査器具を用いて、コンクリート表面に顕在化した損傷や構造物全体の変形等を確認し、点検ハンマーにより打音調査を実施します。
- 損傷箇所がわかる様に、構造物にチョークで目印を付けたり、スケッチや写真撮影を行い、記録として残します。



目視調査器具例

- ① 直尺
- ② 筆記具
- ③ チョーク(白・黄)
- ④ カメラ
- ⑤ クラックスケール
- ⑥ コンベクス
- ⑦ 双眼鏡
- ⑧ 野帳



点検ハンマーを用いた打音調査

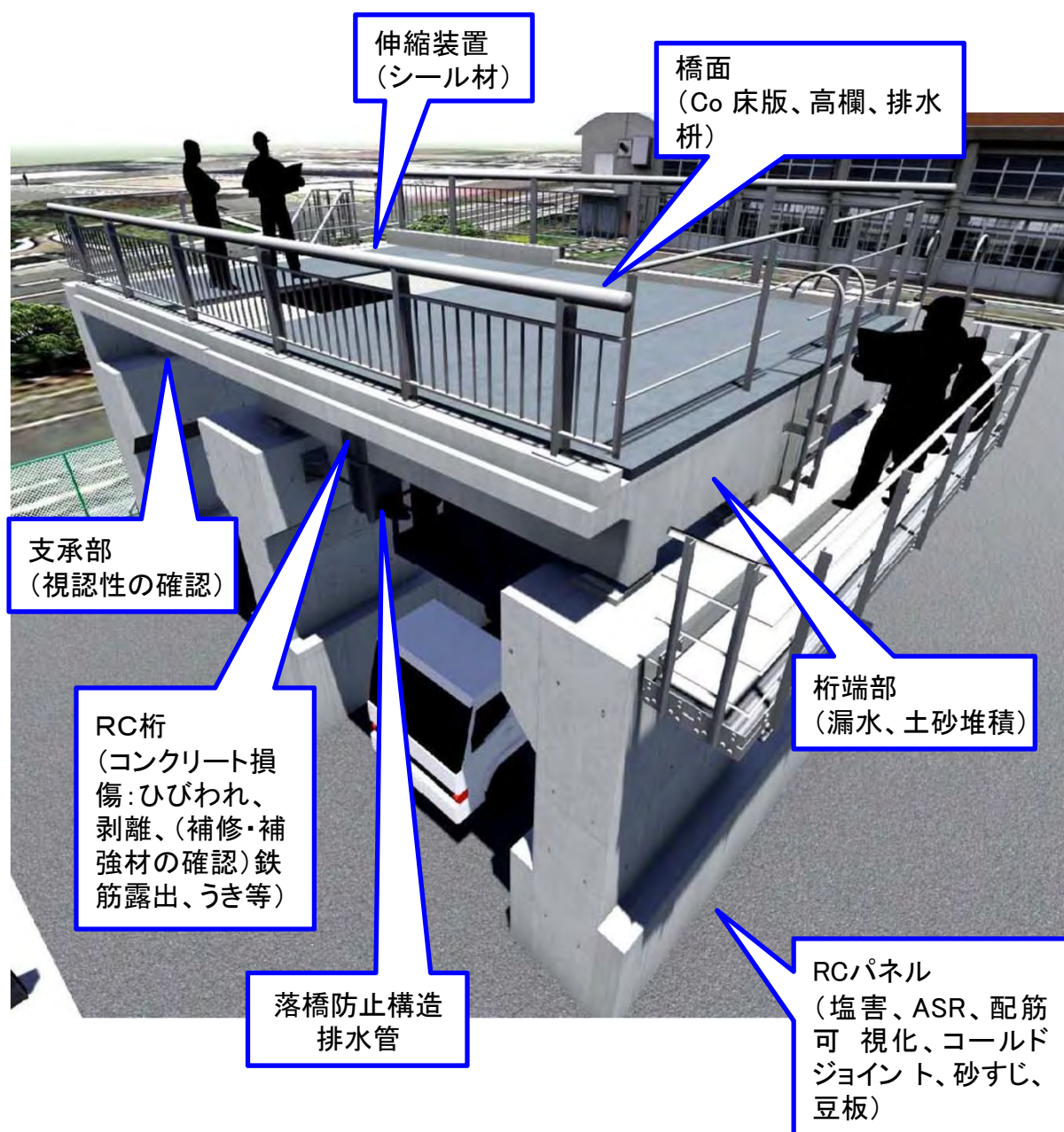
### ☆調査のポイント☆

- ① 点検ハンマーで損傷箇所を特定することができる剥離(浮き)やジャンカは大きさや打撃の強さにもよりますが、おおよそ表面から深さ方向に3cm程度です。深い位置の損傷や小さい損傷の判別には調査員の経験やスキルにより精度が異なりますが、剥落の危険性が高く緊急性を要するような浅く大きい損傷は比較的容易に判別することができます。
- ② 点検ハンマーによるコンクリート構造物の打音調査では、一般的に、健全な箇所では「コンコンコン」と高い音がするのに対し、浮きや剥離、空洞などがある箇所では「ポコポコポコ」という低い音がします。その音の違いにより、コンクリート構造物表面の欠陥を発見することができます。



## 2-2 実習施設のチェックポイント

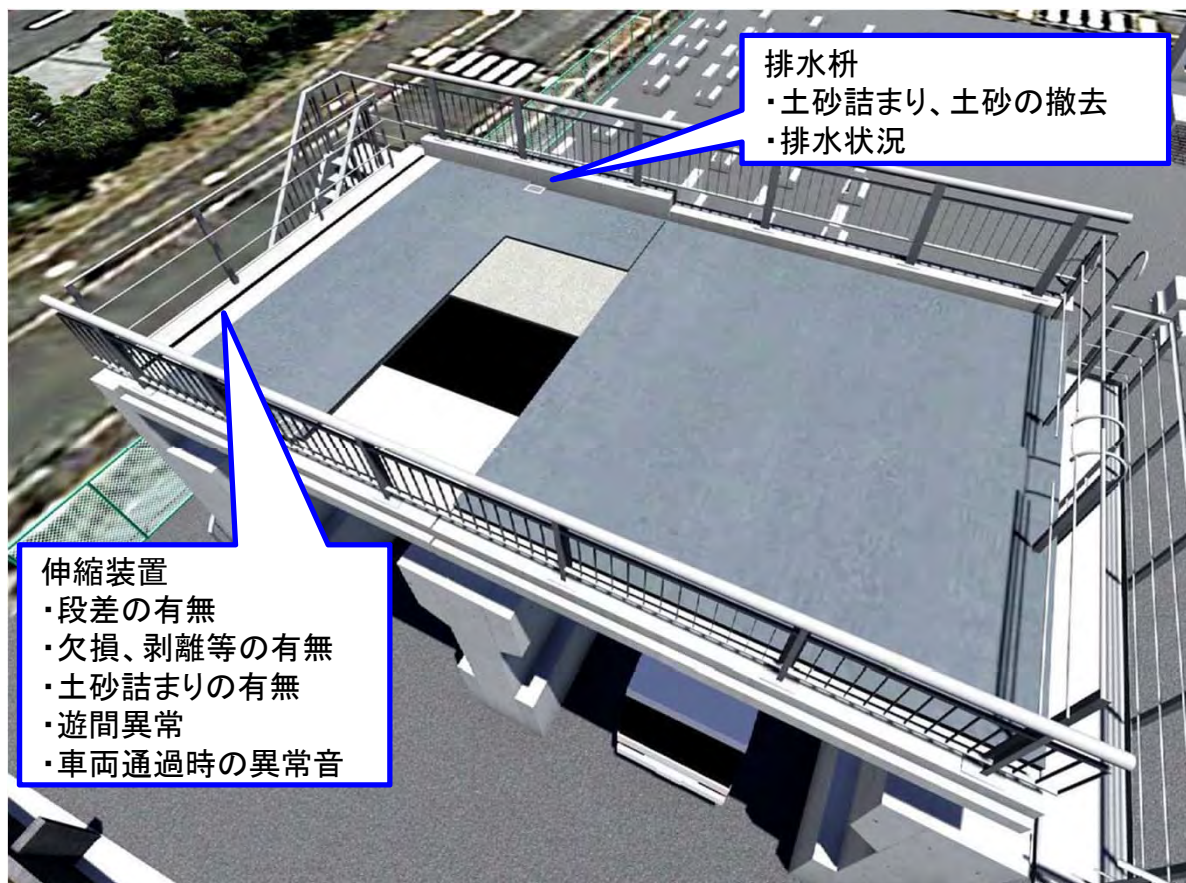
☆全てのチェックポイント☆



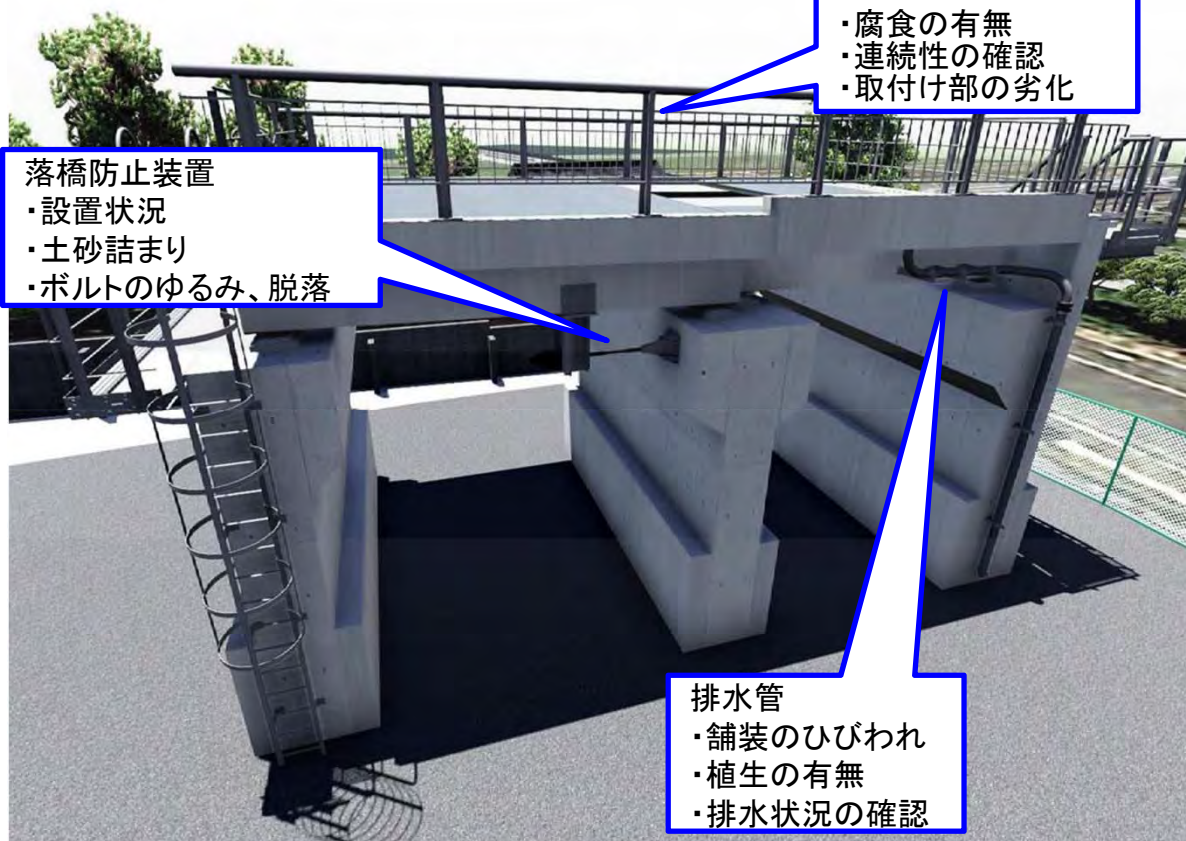


## 2-2 実習施設のチェックポイント

### ☆橋面工のチェックポイント☆



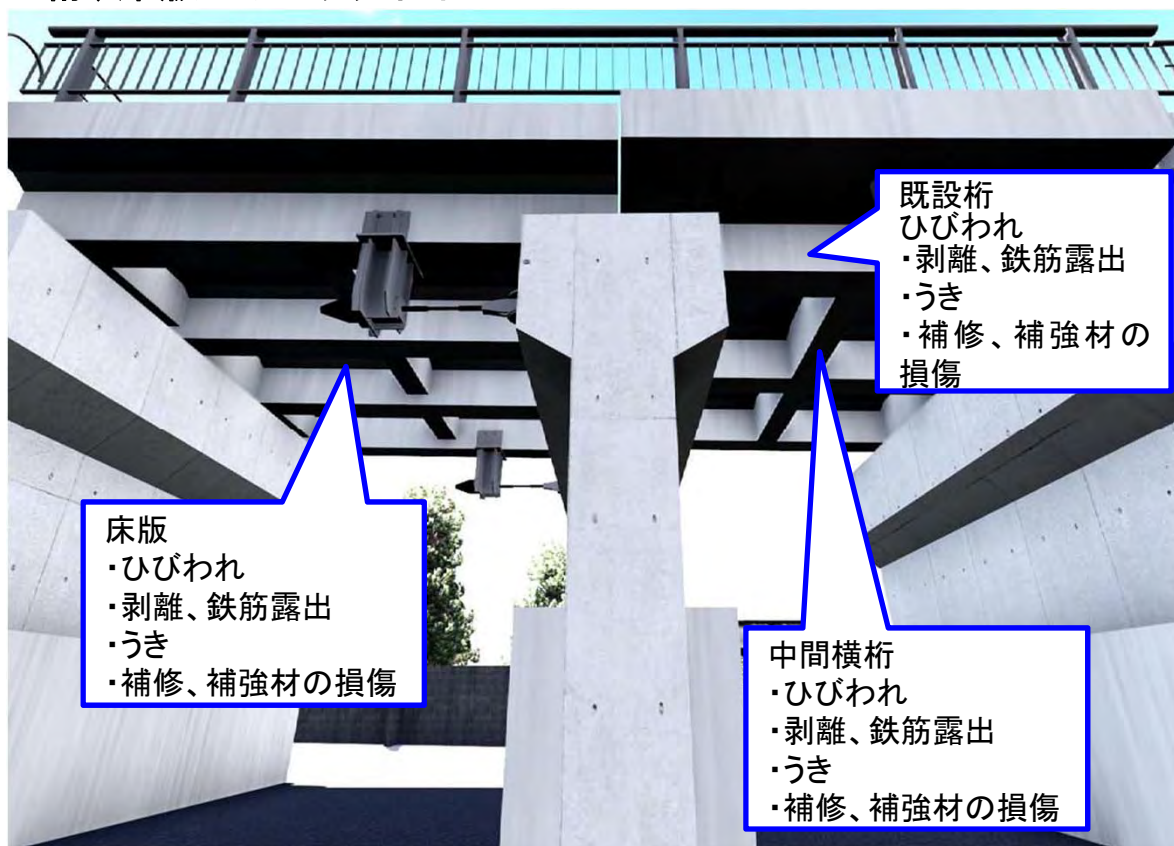
### ☆付属物のチェックポイント☆



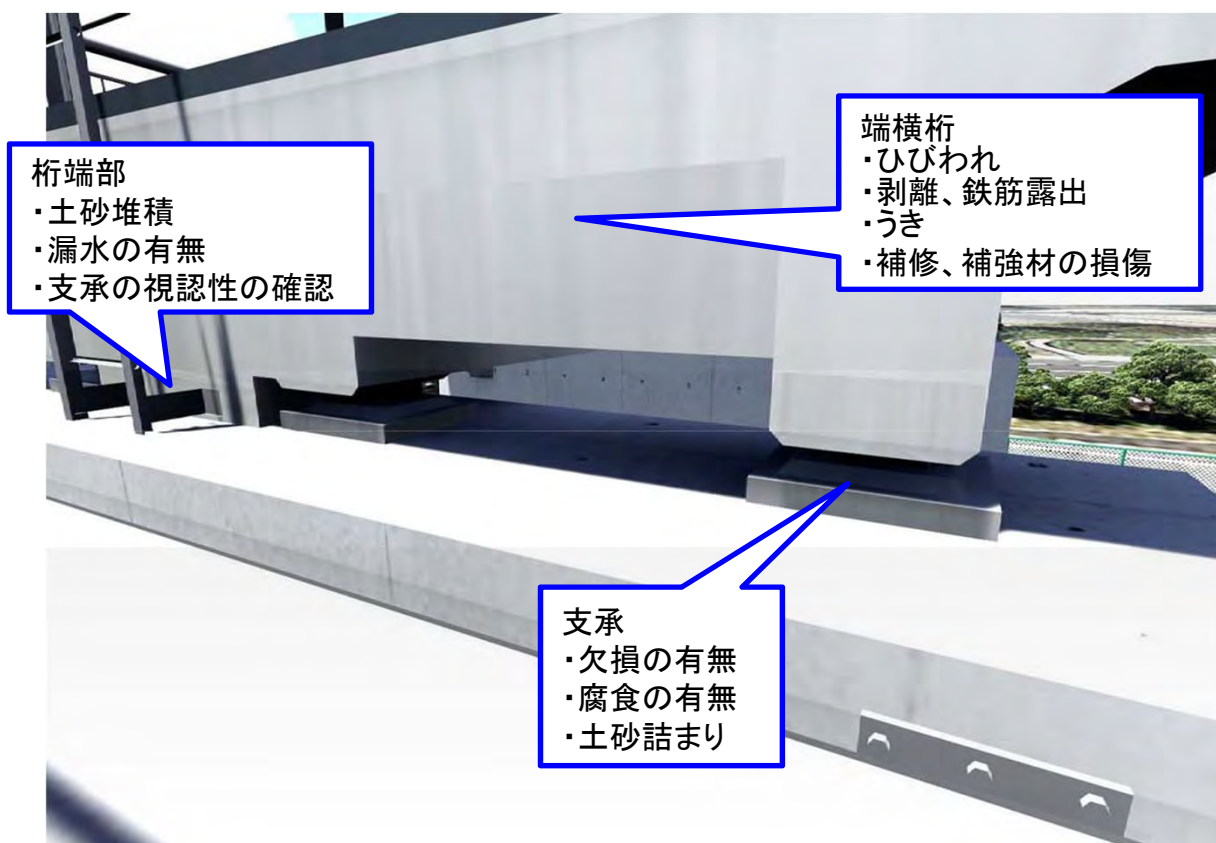


## 2-2 実習施設のチェックポイント

### ☆桁、床版のチェックポイント☆



### ☆橋座、桁端部チェックポイント☆

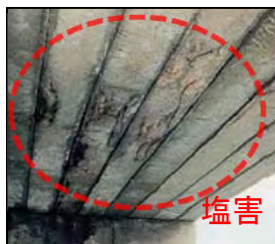


## 2-2 実習施設橋のチェックポイント

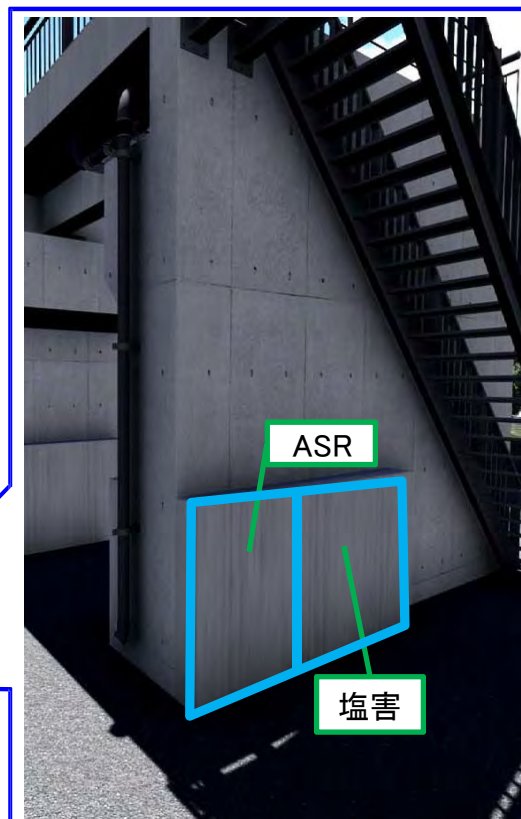
### ☆RCパネル(A1①)チェックポイント☆



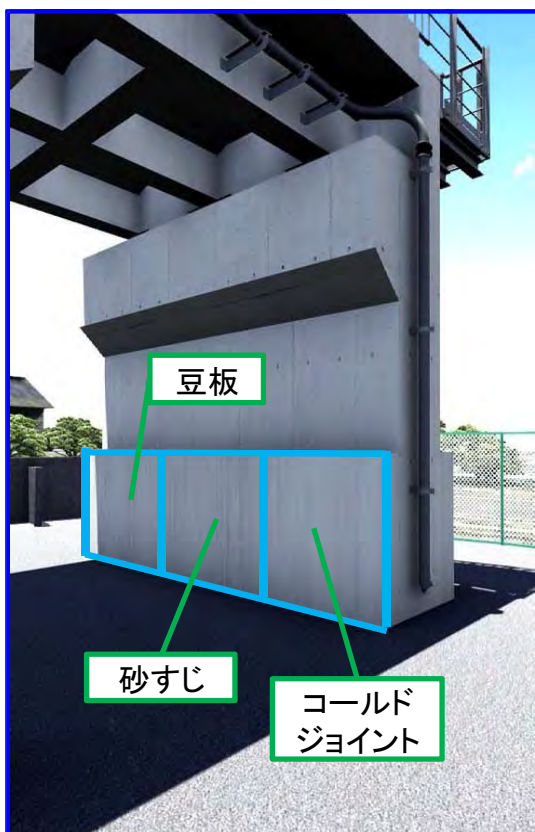
ASRによる損傷を  
確認する



塩害による損傷を  
確認する



### ☆RCパネル(A1②)チェックポイント☆

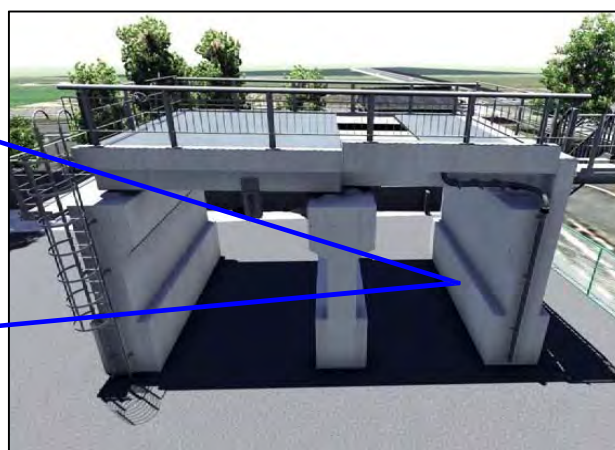


コンクリートを施工した時の  
不良箇所を確認する

コールド  
ジョイント

砂すじ

豆板

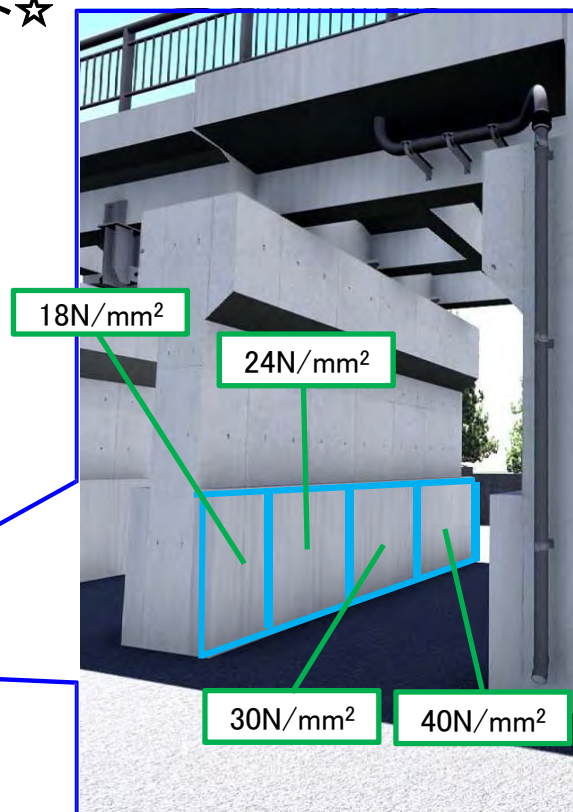
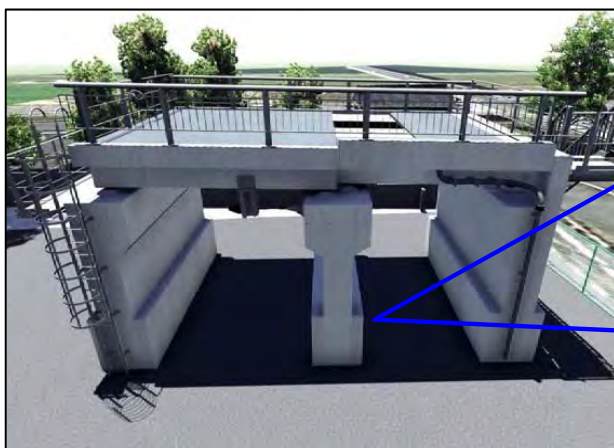




## 2-2 実習施設のチェックポイント

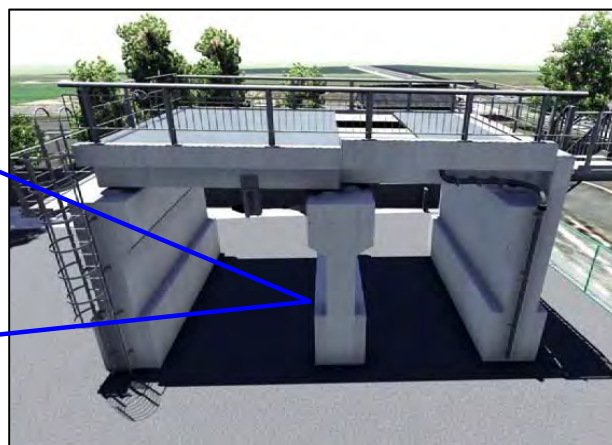
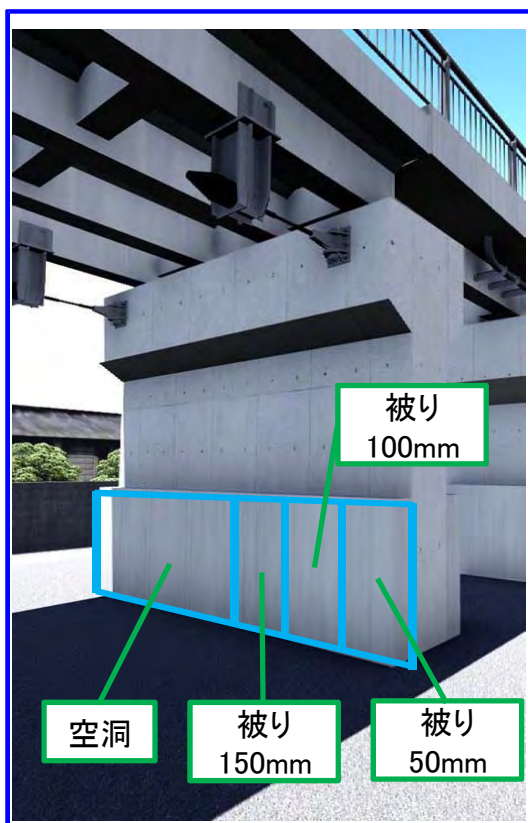
### ☆RCパネル(P1①)チェックポイント☆

- ・コンクリート強度の違いを、反発強度試験から体験できます。
- ・コンクリート強度は4分割で  
 $18\text{N/mm}^2 \rightarrow 24\text{N/mm}^2 \rightarrow$   
 $30\text{N/mm}^2 \rightarrow 40\text{N/mm}^2$



### ☆RCパネル(P1②)チェックポイント☆

- ・鉄筋探査調査(RCレーダ等)を体験する事で、鉄筋の位置が確認でき、コンクリートの被りの違いがわかります。
- ・打音調査を体験する事で、コンクリートの空洞・うき部の打音の違いがわかります。

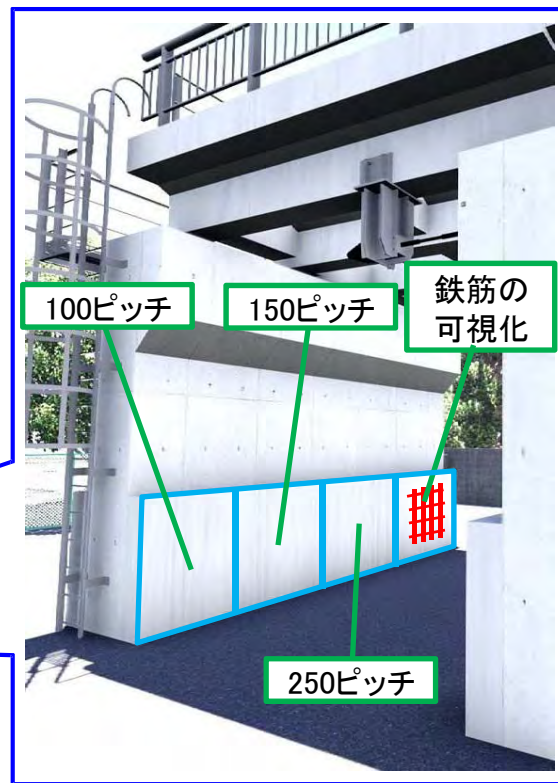
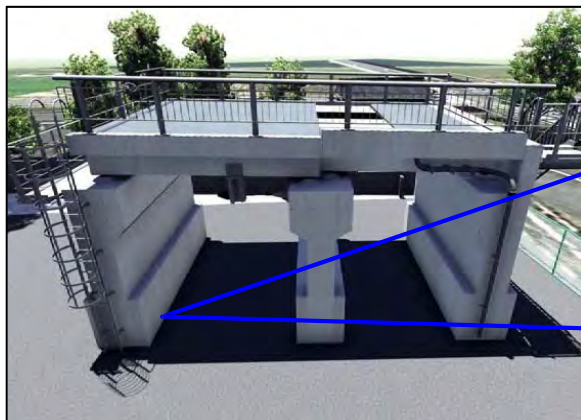




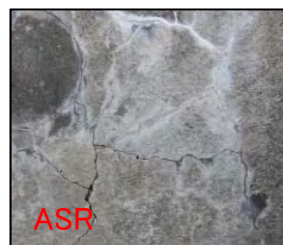
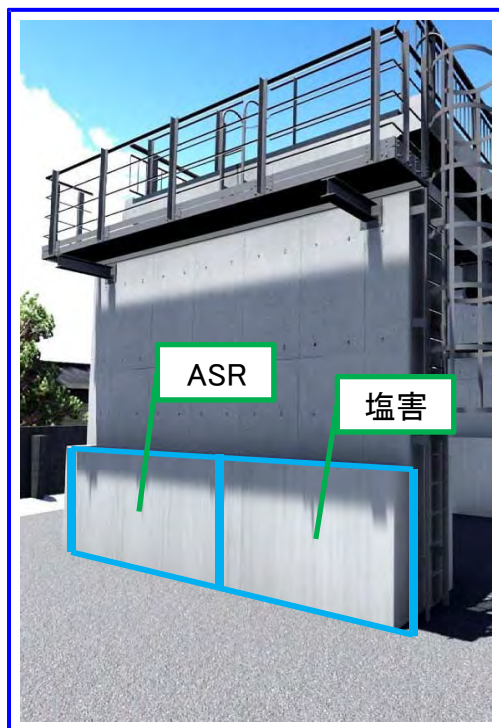
## 2-2 実習施設橋のチェックポイント

### ☆RCパネル(A2①)チェックポイント☆

- ・鉄筋探査調査(RCレーダ等)を体験する事で、鉄筋の間隔の違いを確認できます。
- ・また可視化している箇所があるので、コンクリート内部の配筋状況を確認でき、合わせて調査結果も確認できます。



### ☆RCパネル(A2②)チェックポイント☆



ASRによる損傷  
を確認する



塩害による損傷  
を確認する



### 3 体験型土木構造物実習施設 (橋梁実モデル)の詳細調査

## 3-1 反発硬度試験

### 3-1-1 目的

- ・ コンクリートの強度を反発硬度により求め、強度判定を行う資料とします。

### 3-1-2 試験方法

- ・ リバウンドハンマーを用いて、1箇所当たり20点以上打撃します。
- ・ 1箇所当たりの反発硬度は、異常値を除いた有効データ20点の平均値とし、強度推定式により強度を推定します。
- ・ 異常値の判断としては、偏差が平均値の±20%以上のものとします。

#### ○ 試験概要

コンクリート強度調査は、コンクリートの状態把握に用いられます。また反発硬度試験は、現地調査でコンクリート強度を把握するのに一般的に用いられる試験です。コア採取により実施される一軸圧縮試験等もありますが、反発硬度試験は非破壊検査である点が優れています。

#### ○ 必要な器具等

- ・ シュミットハンマー、リバウンドハンマー

#### ○ RC パネルを用いた調査

反発硬度試験により見た目では判断できないコンクリート強度の違いを、確認する事ができます。(RC パネル P1①)



反発硬度試験状況

### ☆試験のポイント☆

- ① 点検された測定装置を用いて下さい。
  - ・ 多数回打撃した測定装置や長時間使用しなかった場合等に、正しい結果が得られなくなる場合があります。
- ② 乾燥した状態で測定して下さい。
  - ・ 濡れていたり、湿っているコンクリートでは、反発度が小さく測定されます。
- ③ 測定は垂直にゆっくりと行って下さい。
  - ・ 勢いをつけて操作すると、反発度が大きく測定されることがあります。
  - ・ 正しく測定するためには、測定面に対して垂直になるように打撃しなければなりません。

## 3-2 鉄筋探査(電磁波レーダー法)

### 3-2-1 目的

- ・ コンクリート内部の配筋状況(配筋間隔、鉄筋被り)を確認する目的で行います。

### 3-2-2 試験方法

- ・ レーダ探査機の送信アンテナから、コンクリート内部に電磁波を発します。
- ・ 電磁波は、コンクリート内部の鉄筋などの密度の異なる境界面で反射してアンテナに戻ります。
- ・ その結果を画像として表示し、配筋状況を確認することができる。

#### ○ 試験概要

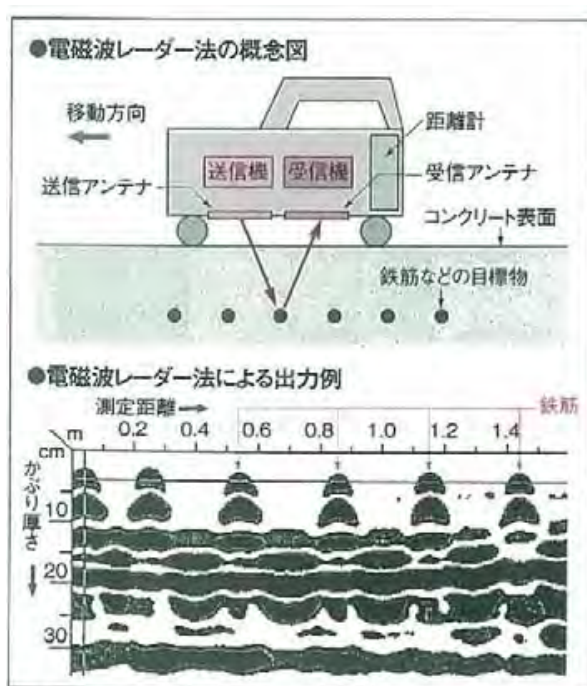
電磁波レーダー装置を用いて、コンクリート内の配筋をコンクリートを破壊せずに把握できる試験です。現地調査で一般的に用いられています。

#### ○ 必要な器具等

電磁波レーダ、電磁誘導装置

#### ○ RC パネルを用いた調査

鉄筋探査により見た目では判断できない、鉄筋間隔や鉄筋の被りの違いを確認する事ができます。(RC パネルA2①、P1②)



電磁波レーダー概念図



電磁波レーダー測定状況

### ☆特徴☆

- ① 鉄筋被りが厚い場合に有効である。(被り 250mm 程度)
- ② 鉄筋径の測定は行えない。
- ③ 湿潤状態の影響を受けやすい。



### 3-3 鉄筋探査(電磁誘導法)

#### 3-3-1 目的

- ・ コンクリート内部の配筋状況(配筋間隔、鉄筋被り、鉄筋径)を確認する目的で行います。

#### 3-3-2 試験方法

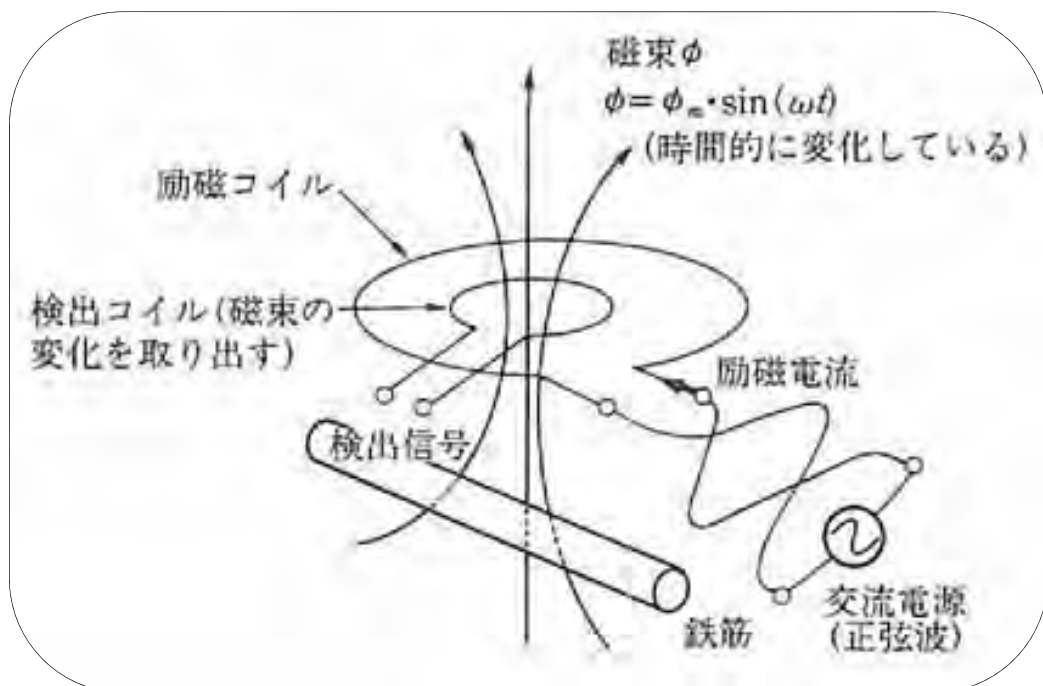
- ・ 試験コイルに交流電流を流すことによって出来る磁界内に、試験対象物を配置することによって試験を行います。
- ・ コンクリート構造物で使用すると鉄筋位置やかぶり測定ができます。
- ・ 機器の種類によって鉄筋径の推定も可能です。

#### ○ 試験概要

中性化試験(ドリル法)は、比較的簡易であり、現地調査で一般的に用いられる試験です。コア採取により実施される中性化試験(コア法)もありますが、ドリル法は微破壊検査である点が優れています。

#### ○ 必要な器具等

電動ドリル、フェノールフタレイン溶液、試験紙  
※RC パネルとは別の供試体で再現予定です。



電磁誘導法概念図

#### ☆特徴☆

- ① 鉄筋被りが浅い場合には、電磁波レーダー法より精度に優れる。
- ② 鉄筋径の測定は行える

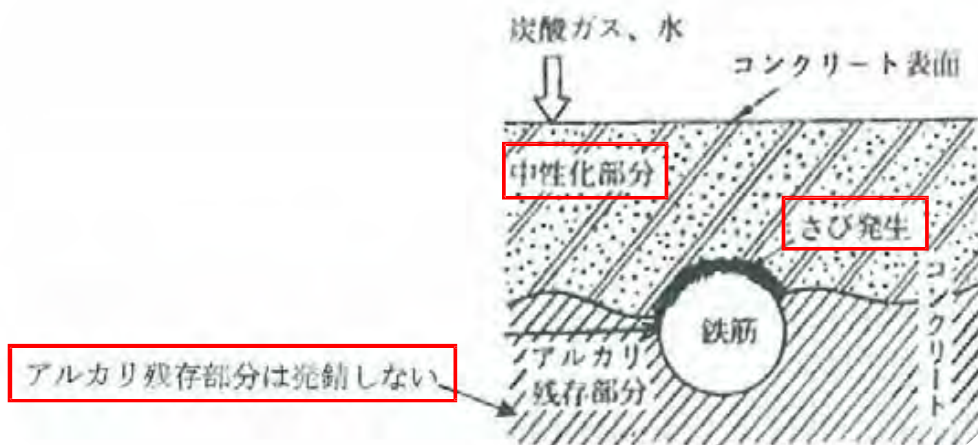
## 3-4 中性化試験(ドリル法)

### 3-4-1 目的

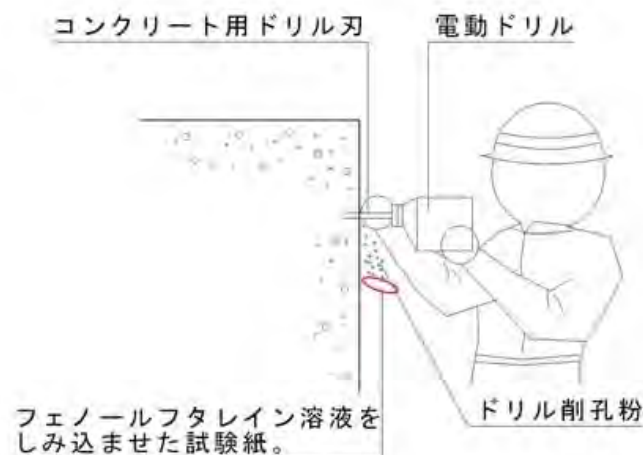
コンクリートの中性化は pH12~13 の高アルカリを示すコンクリートが、大気中の二酸化炭素等の侵入により、セメント水和物と炭酸化反応を起こし、pHが低下する現象です。pHが低下する事によりコンクリート内部の鉄筋表面の不動態被膜が破壊され酸素と水が存在すると鉄筋は腐食を始めます。本調査はコンクリートの中性化深さを測定し、鉄筋のかぶり深さとの相互関係を把握することにより、コンクリートの健全度を確認することを目的としています。

### 3-4-2 試験方法

中性化試験(ドリル法)は、フェノールフタレイン1%エタノール溶液をしみ込ませた試験紙をドリル削孔直下に設置し、削孔により発生した削り粉を試験紙に落下させフェノールフタレイン1%エタノール溶液が発色した時点で削孔を止め、ノギスで測定した孔の深さが、中性化深さとなります。



中性化の損傷



中性化試験(ドリル法)

## 4 材料由来による損傷事例

## 4-1 塩害

### 4-1-1 塩害とは

塩害とは、コンクリート内部に取り込まれた塩化物イオンが鉄筋の不動態被膜を破壊し腐食させることです。その内部鉄筋が腐食することにより体積が2～3倍に膨張し、コンクリートにひびわれ、剥離等の損傷を与える。腐食が進行すると鉄筋の破断に至る危険性があります。塩害の要因は、コンクリートの骨材に除塩が十分に行われていない海砂を用いた「内的要因」と、潮風、海水、飛沫、凍結防止剤等によってコンクリート表面より塩化物イオンが浸透する「外的要因」の2種類があります。

### 4-1-2 塩害の防止対策

- ① コンクリート中の塩化物イオン量を規制値以下とする。
- ② 海砂は極力使用しない。使用する場合は十分洗浄・脱塩して使用する。
- ③ 水セメント比を小さくし、入念な施工により高品質なコンクリートとする。
- ④ かぶりを十分に確保する。
- ⑤ コンクリート表面保護工(表面被覆工、表面含浸工)を設置する。
- ⑥ エポキシ樹脂鉄筋等の塗装鉄筋を使用する。

|           | 損傷メカニズム                                                                                                                                                                                              | 写真 | 概説                                                                                                                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 健全な状態   | <p>不動態被膜</p> <p>コンクリート中に水酸化カルシウムが多含し、PH12以上の高アルカリ性</p>                                                                                                                                               |    | 鉄筋は強アルカリ環境下で不動態被膜により保護されている。                                                                                                                                  |
| ② 劣化因子の浸入 | <p>凍結防止剤(塩化カルシウム)の散布によって外部から供給される塩化物イオン</p> <p>塩化物イオンが鉄筋の不動態被膜を消滅させて鉄筋が腐食する</p> <p>海砂等によりコンクリート内部に内在する塩化物イオン</p> <p>潮風・飛沫塩分によって外部から供給される塩化物イオン</p>                                                   |    | 劣化因子である塩化物イオンがコンクリート内部に浸透し、 $1.2\text{kg/m}^2$ 以上になると鉄筋の不動態被膜が消滅し鉄筋の腐食環境下になる。<br>【内的要因】：海砂等によりコンクリート内部に塩化物イオンが内在する。<br>【外的要因】：凍結防止剤の散布や飛沫塩分によって、塩化物イオンが供給される。 |
| ③ 腐食電流の発生 | <p>Fe(OH)<sub>2</sub>の生成</p> <p>7/2-反応</p> <p>鉄筋の不動態被膜</p> <p>2H<sup>+</sup> + 1/2 O<sub>2</sub> + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub>O</p> <p>鉄筋</p> <p>不動態被膜の消失</p> <p>7/2+反応</p> <p>2e<sup>-</sup></p> |    | 不動態被膜の消失により電位の高低差が生じ、腐食電流が発生する。腐食電流により、アノード反応とカソード反応が生じ、鉄イオン(Fe <sup>2+</sup> )と水酸化物イオン(OH <sup>-</sup> )による化学反応が生じ、さび(Fe(OH) <sub>2</sub> )が発生する。            |
| ④ ひび割れ・剥落 | <p>腐食膨張圧力によってひび割れが生じ、劣化の進行を促進する</p> <p>水・酸素・塩化物イオン等の侵入</p>                                                                                                                                           |    | ひびわれ部から劣化因子である水・酸素・塩化物イオン等が浸入し、鉄筋の腐食が加速し、コンクリート片の剥落に発展する。                                                                                                     |

塩害損傷説明図



## 4-2 ASR（アルカリ骨材反応）

### 4-2-1 ASRとは

アルカリ骨材反応とは、コンクリート中の水酸化アルカリと骨材中のシリカ鉱物が反応して、アルカリシリカゲルを生成します。このアルカリシリカゲルが水分を吸収し、膨張することによりコンクリートに異常膨張やひびわれを発生させる劣化現象です。アルカリシリカ反応は、コンクリート強度や弾性係数の低下をもたらすのみでなく、鉄筋の破断が生じることもあります。

### 4-2-2 ASRの防止対策

- ①コンクリート中のアルカリ総量を規定値以下とする。
- ②抑制効果のあるセメント（混合セメント、フライアッシュセメント等）を使用する。
- ③アルカリシリカ反応性試験の結果で無害と確認された骨材を使用する。
- ④水の浸入を防止する。（表面保護工の使用、主桁等であれば橋面防水工の設置等）

|                | 損傷メカニズム | 写真 | 概説                                                                                                                                                                                         |
|----------------|---------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 健全な状態        |         |    | セメントに含有されるアルカリ（ $\text{Na}_2\text{SO}_4$ および $\text{K}_2\text{SO}_4$ ）は、セメントの水和反応の過程でコンクリートの空隙内の水溶液に溶解し、水酸化アルカリ（ $\text{NaOH}$ および $\text{KOH}$ ）を主成分とする、強アルカリ性（ $\text{pH} \geq 12$ ）となる。 |
| ② アルカリシリカゲルの生成 |         |    | アルカリシリカ反応性鉱物を含有する骨材（反応性骨材）は、コンクリート中の高いアルカリ性を示す水溶液と反応してアルカリシリカゲルを生成する。                                                                                                                      |
| ③ 吸水膨張         |         |    | アルカリシリカゲルは水分の供給があると吸水反応して、コンクリートに異常な膨張およびそれに伴うひび割れを発生する。<br>これがアルカリ骨材反応（我が国で被害が報告されているのはアルカリシリカ反応（以下、ASRと記す））と呼ばれる現象である。                                                                   |

ASR損傷説明図

## 5 施工由来による損傷事例

## 5-1 砂すじ

### 5-1-1 砂すじとは

砂すじとは、型枠に接するコンクリート表面に、コンクリート中の水分が分離して外部に流れ出す場合に生じ、コンクリート表面に細骨材が縞状に露出したものです。

### 5-1-2 砂すじの発生要因

ブリーディングの多いコンクリートの浮き水を取り除かないで打ち足した場合や、軟練りコンクリートを過度に締め固めた場合に発生します。

また、型枠の継ぎ目からセメントペーストが漏れ出した場合にも生じます。

### 5-1-3 砂すじの影響

密実なコンクリートでなく、鉄筋腐食を早めるなど耐久性の低下が懸念されます。

### 5-1-4 砂すじの防止対策

ブリーディングが少なくワーカビリティの良好なコンクリートを使用するとともに、締固めを十分行いながらコンクリートの打設速度の管理を適切に行って、型枠に沿ってゆっくり打ち上げていきます。



砂すじ損傷写真

## 5-2 豆板

### 5-2-1 豆板とは

打設されたコンクリートの一部がセメントペースト、モルタルの廻りが悪く粗骨材が多く集まってできた空隙の多い構造物の不良部分の事です。

### 5-2-2 豆板の発生要因

コンクリートを打設するときの材料の分離、締固め不足、型枠下端からのセメントペーストの漏れなどによって生じます。

### 5-2-3 豆板の影響

密実なコンクリートでなく、鉄筋腐食を早めるなど耐久性の低下が懸念されます。

### 5-1-4 豆板の防止対策

コンクリートをワーカビリティが良好な配合とし、コンクリートが材料分離しないように打設し、バイブレーターで十分に締め固めるとともに叩きなどで念入りに充填します。



豆板損傷写真



## 5-3 コールドジョイント

### 5-3-1 コールドジョイントとは

コールドジョイントは、設計段階で考慮する打継ぎ目とは異なり、コンクリートを打重ねる時間の間隔を過ぎて打設した場合に、前に打ち込まれたコンクリートの上に後から重ねて打ち込まれたコンクリートが一体化しない状態となって、打重ねた部分に不連続な面が生じることです。

### 5-3-2 コールドジョイントの発生要因

適切な打重ね時間を過ぎてコンクリートを打設した場合に発生します。

### 5-3-3 コールドジョイントの影響

酸素や水分等が浸透しやすくなり、鉄筋腐食を早めるなど耐久性の低下が懸念されます。

### 5-3-4 コールドジョイントの防止対策

コンクリートを連続して中断せずに打ち込むことが重要です。綿密なコンクリートの打設計画を立て、施工管理を行う必要があります。中断した場合でも後のコンクリートを早急に打ち込み、十分に先に打ち込まれたコンクリートと一体となるよう締固めを行うなど対処します。



コールドジョイント損傷写真