

土木学会平成29年度全国大会  
研究討論会 研-20 資料

## 鋼・コンクリート複合構造物と水 ～構造物の寿命を全うさせるために水を管理する～

座長	大西 弘志	岩手大学
話題提供者	大西 弘志	岩手大学
	大塚 努	東京地下鉄(株)
	廣河 了亮	高槻市
	西内 達雄	(一財)電力中央研究所
	西 弘	(株)CORE 技術研究所

日 時	平成29年9月13日(水) 13:00~15:00
場 所	九州大学伊都キャンパス
教 室	センター1号館 1403

### 複合構造委員会



## 目次

趣旨説明と橋梁構造物の防水・排水	1
大西 弘志 岩手大学	
トンネル分野での防水・排水に関する取り組み	4
大塚 努 東京地下鉄(株)	
上水道分野における防水に関する取組	8
廣河 了亮 高槻市	
電力分野（水力土木）での止水に関する取り組み	11
西内 達雄 (一財)電力中央研究所	
トリプルコンタクト検討WGの活動状況	12
西 弘 (株)CORE 技術研究所	



## 鋼・コンクリート複合構造物と水 ～構造物の寿命を全うさせるために水を管理する～

維持管理を考慮した複合構造物の防水・排水に関する  
調査研究小委員会（H214委員会）

委員長 大西 弘志（岩手大学）

## 鋼・コンクリート複合構造物と防水・排水工

鋼・コンクリート複合構造物で想定される  
水に関係する問題

- ✓ 鋼：鋼材腐食、塗装劣化
- ✓ コンクリート：内部鋼材腐食、疲労寿命短縮
- ✓ 鋼・コンクリート境界：境界付近の鋼材腐食  
特に複合構造物で想定される水に関係する問題
- ✓ 材料的問題：防水工の信頼性（浸水の可能性）
- ✓ 構造的な問題：排水の困難さ（特に浸水発生時）  
内部における水の挙動（経路）

→ **防水工と排水工は合わせて考える**必要がある。

## 鋼・コンクリート複合構造物と防水・排水工

複合構造物を対象として防水・排水技術に関する  
調査研究委員会（H210委員会）

- ✓ 防水・排水に関係するリスクの提示
    - 橋梁床版を中心として検討
  - ✓ 望ましい防水工の性能とその確認方法のあり方
    - 初期性能についてのとりまとめに偏重
    - 長期にわたる維持管理の部分は手付かず
  - ✓ トリプルコンタクトポイントにおける挙動調査
    - 実験を実施、精力的に調査を実施
    - 水分の移動や鋼材腐食のメカニズムは？
- 維持管理を考慮した複合構造物の防水・排水  
に関する調査研究小委員会（H214委員会）

## 鋼・コンクリート複合構造物と防水・排水工

維持管理を考慮した複合構造物の防水・排水  
に関する調査研究小委員会（H214委員会）  
WGを3つ設置して活動中

- ✓ WG1：維持管理現状調査（アンケート予定）  
→ 維持管理（防水工の更新）を含めた性能規定  
市町村レベルの現状を踏まえた提言を目指す
- ✓ WG2：排水試験法検討  
→ 排水性能の規定とその基になる試験法について  
排水性能自体とデバイスの状況確認の手段を整備
- ✓ WG3：トリプルコンタクト検討  
→ トリプルコンタクト部に関する実験的検討  
暴露試験（@沖縄）により確認を行う

## 鋼・コンクリート複合構造物と防水・排水工

維持管理を考慮した複合構造物の防水・排水  
に関する調査研究小委員会（H214委員会）

- 取り扱いの対象が道路橋に偏っている
- ✓ 鋼・コンクリート複合構造物や防水・排水工の対  
象は橋梁構造物のみではない
  - ✓ 橋梁構造物を対象としたものが拡張できるのか
  - ✓ 構造物ごとの特性を考える必要
- 橋梁（道路橋）以外の分野における防水・排水  
工の現状について知識を取り入れ、少しでも汎  
用性のある研究成果とする必要がある

## 本日の構成

【これまでの経緯について】  
維持管理を考慮した複合構造物の防水・排水  
に関する調査研究小委員会（H214委員会）  
委員長 大西 弘志

【各分野における現状】

橋梁分野	大西 弘志（岩手大学）
トンネル分野	大塚 努（東京地下鉄(株)）
上水道分野	廣河 了亮（高槻市）
電力分野	西内 達雄（(一財)電力中央研究所）
活動報告	西 弘（(株)CORE技術研究所）

【質疑応答】

## 橋梁構造物の防水・排水

岩手大学 大西 弘志

### 橋梁防水の考え方について

「橋梁防水＝床版防水」なのか？

- ✓ 面積としては床版が最大
- ✓ 技術の進歩により橋面からの水の浸入の可能性は低減されつつある
- ✓ リスクの面では橋面よりもむしろ「高欄まわり」？
- ✓ 橋梁端部の継ぎ目や高欄に発生するひび割れからの水の浸入が思いのほか重要である可能性

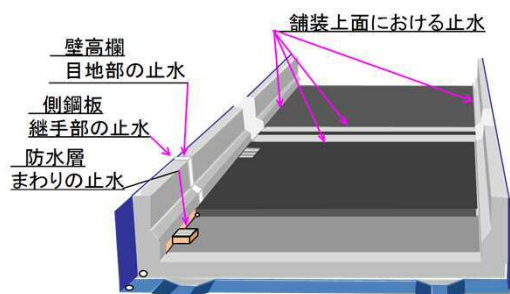
床版上面も重要だが、それ以外の部位もきちんと処理しないと水による劣化の促進は阻止できない  
防水と止水は一体で考える。  
バックアップとして排水を配置する。

基本は「2段構え」単独では当初の「想定外」に対応できない。

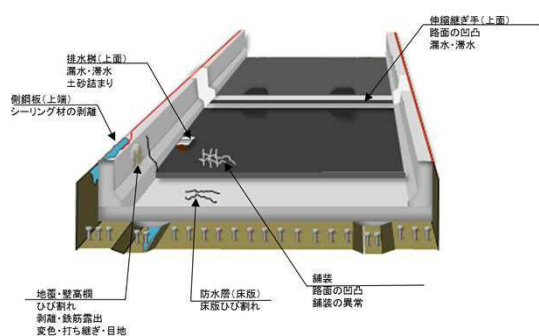
### 橋面防水例（アスファルトシート防水）



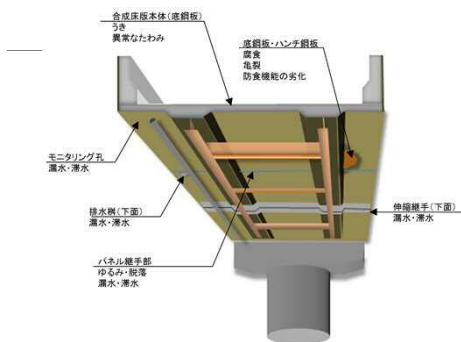
### 端部止水の例



### 道路橋床版防水で考慮すべきリスク 1

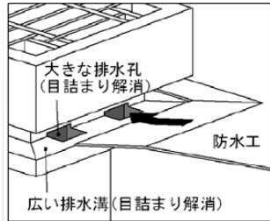


### 道路橋床版防水で考慮すべきリスク 2



## 防水層上(舗装下面)の排水

新しい排水柵(寒地土木研究所)



孔が下側に設置されている

## 防水層上(舗装下面)の排水

導水管による排水



鋼製の導水管

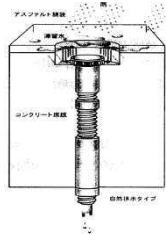


プラスチック製の導水管

スプリング状、メッシュ状の管

## 防水層上(舗装下面)の排水

水抜き孔による排水



流末を排水管に接続する

## 現在の橋梁防水の問題点

橋梁防水は単独では存在していない

- ✓ 周辺のコンクリートやアスファルトの影響を受ける
- ✓ 特に床版では「床版—防水—舗装」の相互作用
- ✓ 評価試験法としては「床版—防水」の組合せ
- ✓ 「床版—舗装」はuntouchable?
- ✓ 利害関係をどう乗り越えるのか?

防水・排水システムが機能していることの証明

- ✓ 性能を測る手段がない?
- ✓ どこをどう測るのか?
- ✓ 最弱のポイントを確定できるか
- ✓ 「システムが破たんする」前に手を打つには

## 現在の橋梁防水の問題点

寿命が「防水システムだけ」では決定できない

- ✓ 基本は舗装に依存する
- ✓ 舗装が短命なら防水システムが高性能でも短命
- ✓ 現状では30年持たせられるかどうか
- ✓ 橋梁の計画寿命(100年以上)には届かない
  - ✓ 新設だけでは対応できないので更新も考える
  - ✓ 新設技術より更新技術を使う方が回数は多い
  - ✓ 防水システムの更新技術の開発はこれから

排水システムについては寿命の検討ができていない

- ✓ 防水システムの寿命 ≠ 排水システムの寿命
- ✓ 長持ちするか短命かは管理者次第

## 橋梁のライフスパンとの整合性

橋梁のライフスパンは100年

防水システムは最長でも30年(舗装に依存)  
最低2回は入れ替え(=更新)が必要

**更新技術**が確立出来ないと橋梁の寿命を100年まで延ばすことは困難

更新技術の問題点は

- ✓ 床版上面の**仕上げ技術**
- ✓ 施工管理の問題
- ✓ 更新時期を判定する**点検・評価技術の確立**

排水はこれから。



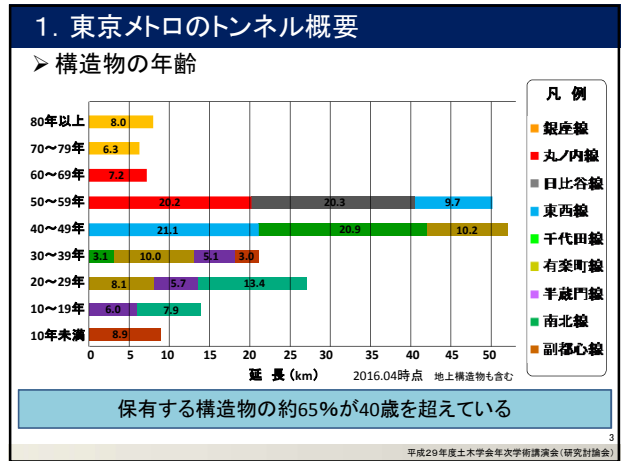
### 本日の内容

1. 東京メトロのトンネル概要
2. 保守管理の重要性
3. 漏水の変状事例
4. 漏水に対する措置事例
5. 今後の止水措置に向けた取組み

平成29年度土木学会年次学術講演会 (研究討論会) 1

## 1. 東京メトロのトンネル概要

平成29年度土木学会年次学術講演会 (研究討論会) 2



## 2. 保守管理の重要性

平成29年度土木学会年次学術講演会 (研究討論会) 4

### 2. 保守管理の重要性

➤ 検査の種類

日常点検	1巡/月以上 (徒歩、列車)	
初回検査	構造物完成時、初期状態把握	
定期検査	通常全般検査	2年毎 (目視)
	特別全般検査	20年毎 (近接目視)
個別検査	定期検査で更に詳しい検査が必要と判断した場合	
随時検査	地震・豪雨等の自然災害時等	

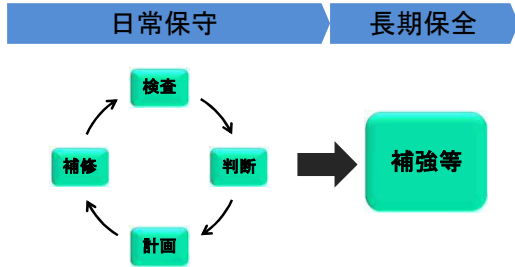
この他、4年毎のトンネル打音点検、縦断測量、内空断面測定

平成29年度土木学会年次学術講演会 (研究討論会) 5



## 2. 保守管理の重要性

➤ 保守管理の基本フロー



日常保守を確実に実施し、長期保全へとつなげる

平成29年度土木学会年次学術講演会(研究討論会)

6

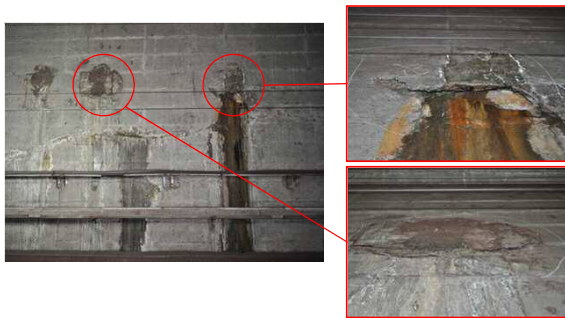
## 3. 漏水の変状事例

平成29年度土木学会年次学術講演会(研究討論会)

7

## 3. 漏水の変状事例

➤ 開削トンネル側壁



平成29年度土木学会年次学術講演会(研究討論会)

8

## 3. 漏水の変状事例

➤ シールドトンネル



平成29年度土木学会年次学術講演会(研究討論会)

9

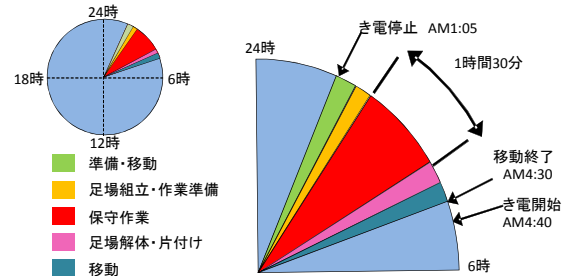
## 4. 漏水に対する措置事例

平成29年度土木学会年次学術講演会(研究討論会)

10

## 4. 漏水に対する措置事例

➤ 日常保守の標準作業フロー



段取り(準備等)も効率的に行うことが重要

平成29年度土木学会年次学術講演会(研究討論会)

11

### 4. 漏水に対する措置事例

➤ 一般的な止水措置（開削トンネル）

①コンクリートはつり

②注入パイプ取付

③止水材料注入

④断面修復

12 平成29年度土木学会年次学術講演会（研究討論会）

### 4. 漏水に対する措置事例

➤ 錆による部材断面減少対策

施工前

施工後

セグメント継手部の目地処理と防錆塗装の実施

13 平成29年度土木学会年次学術講演会（研究討論会）

### 4. 漏水に対する措置事例

➤ 塩害対策

犠牲陽極材

※塩分を含む漏水により、コンクリート表面から塩分が浸透

外部有識者を交えた対策検討委員会にて対策方針を定める

14 平成29年度土木学会年次学術講演会（研究討論会）

### 5. 今後の止水措置に向けた取組み

15 平成29年度土木学会年次学術講演会（研究討論会）

### 5. 今後の止水措置に向けた取組み

➤ 鉄筋腐食と漏水（トンネル環境）との関係

漏水箇所において鉄筋腐食の進行が速い

16 平成29年度土木学会年次学術講演会（研究討論会）

### 5. 今後の止水措置に向けた取組み

➤ 止水材料の性能評価方法の検討

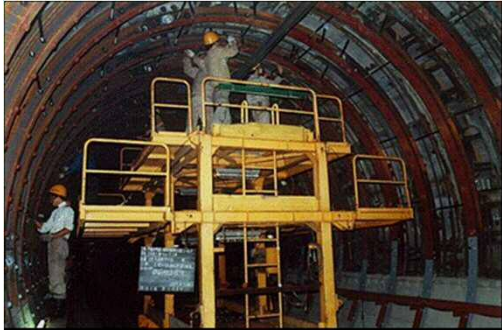
上下面はシリング

注入器とシリングを撤去

止水材料の性能評価方法について研究中

17 平成29年度土木学会年次学術講演会（研究討論会）

ご清聴ありがとうございました



無断転載・複製禁止

# 上水道分野における 防水に関する取組

～ 水道用池状コンクリート構造物の水道水対策 ～

高槻市  
廣河 了亮

## 水道法改正案 継続審議に

先の通常国会で水道法改正案の審議に入ることなく、  
平成29年6月18日に閉会



審議を継続することが決定し、採決は次期国会  
以降に持ち越し

### 【水道法改正による水道施設の点検義務化】

#### 現状・課題

- 老朽化等に起因する事故の防止や安全な水の安定供給のため、水道施設の健全度を把握する点検を含む維持管理や、定期的な修繕を行うことが必要。
- また、水道法においてはこうした施設の維持修繕の基礎となる台帳整備の規定がなく、営団において水道施設データの整備が不十分であったため、迅速な復旧作業に支障を生じる例も見受けられた。
- 加えて、高度経済成長期に整備された水道施設の更新時期が到来しており、長期的視野に立った計画的な施設の更新(耐震化を含む。)が必要。
- また、人口減少に伴う水需要の減少により、水道事業の経営状況は今後も厳しい見込みだが、十分な更新費用を見込んでいない水道事業者が多く、このままでは水需要の減少と老朽化が進行することによって、将来急激な水道料金の引上げを招くおそれ。

#### 改正案

- 水道事業者等に、点検を含む施設の維持・修繕を行うことを義務付けることとする。
- 水道事業者等に台帳の整備を行うことを義務付けることとする。
- 水道事業者等は、長期的な観点から、水道施設の計画的な更新に努めなければならないこととし、そのために、水道施設の更新に要する費用を含む収支の見通しを作成し公表するよう努めなければならないこととする。

(平成28年度全国水道用池状コンクリート構造物調査資料、厚生労働省医薬・生活衛生部 生活衛生課・食糧安全部 水道課 より抜粋)

### 【水道施設の点検状況の実態】

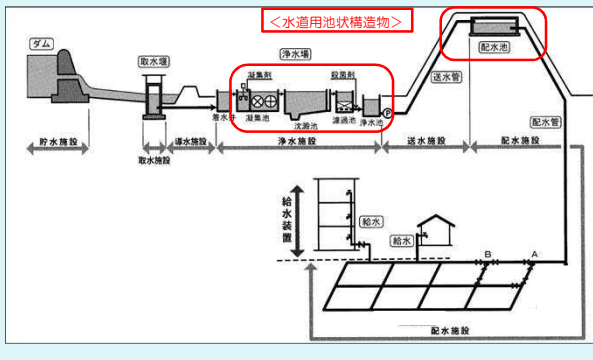
> 日常点検の実施率は、管路が約40%、コンクリート構造物が約61%、機械・電気・計装設備が約88%。

> 定期点検の実施率は、管路が約26%、コンクリート構造物が約9%、機械・電気・計装設備が約72%。

	日常点検	定期点検
管路	<p>【実施事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ルート上の目視による漏水調査</li> <li>○非接触の漏洩確認</li> <li>○水管等・道路陥没等の目視調査</li> </ul>	<p>【実施事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○漏水・目視調査</li> <li>○大口圧仕切弁・変異弁の清掃点検</li> <li>○定期点検</li> </ul>
コンクリート構造物	<p>【実施事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○正視時の目視点検</li> </ul>	<p>【実施事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○目視点検と文字入力やクラウドシステムを採用した調査</li> <li>○遊水業者による点検</li> <li>○配水池から取水設備内点検</li> <li>○配水池、圧入管、圧入管強度試験及び中性化試験</li> </ul>
機械・電気・計装設備	<p>【実施事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○減圧弁、流量計などの目視点検</li> <li>○異音、振動、臭い、熱などの点検</li> <li>○テレメータによる遠隔監視</li> </ul>	<p>【実施事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ポンプ設備、電気設備、次亜注入設備等の保守点検</li> <li>○機器点検、機器電圧特性試験、水質計器点検</li> <li>○ポンプのクリスアップ</li> </ul>

(出典)平成28年12月厚生労働省水道課調べ

### 【水道用池状構造物】



### 【配水池の構造】

#### < 配水池の構造 >

- 1 RC構造
- 2 PC構造
- 3 FRP構造
- 4 SS構造
- 5 SUS構造

構造は、鉄筋コンクリート (RC)、プレストレストコンクリート (PC) 又は強化プラスチック (FRP)、鋼板製 (鋼製、ステンレス製等) とし、形状は、力学的特性、容量、経済性、施工性等を考慮して矩形、円筒形等が一般的である。

(水道施設設計指針2012、日本水道協会 より抜粋)

#### < RC構造の配水池 (例) >



#### < SUS構造の配水池 (例) &



### 【水道施設設計指針から見る配水池(CON)の防水対策】

< 1960~1970年代 >

基本的にかぶりを大きく取ることに対応し、必要に応じて防水モルタルを用いること

< 1970~1980年代 >

「塗装・ライニングを施すこと」が追加

< 1980~2000年代 >

水密性を高めるために塗装・ライニングによって対処する必要がある  
⇒ 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、日本道路協会 発行。配水池の防水の必要性が高まる

⇒ **配水池内面に防水塗装を施すことが一般的になる**

< 2012年(最新) >

水槽内面に防食塗装を施す方法、または鉄筋のかぶりを大きくとってCON打放しにする方法が採用されている

⇒ **かぶりを大きくする方法(無塗装)が再度認められてきている**

### 【現在の配水池(CON)防水対策】

< 防水工法 >

- ① かぶり厚を大きくし、CON打放し
- ② 樹脂系の防水塗装  
エポキシ樹脂、ポリウレタ樹脂、ポリエチレン樹脂  
ポリウレタン樹脂、アクリルウレタン樹脂 ほか
- ③ セメント系の防水塗装
- ④ FRPライニング
- ⑤ ステンレス鋼板内張り
- ⑥ 含侵工法  
シラン系、けい酸塩系

水質への影響を考慮  
⇒ 水道施設の技術的基準を定める省令(厚生労働省)

### 【各事業体における配水池(CON)防水の現状】

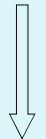
各事業体とも配水池(CON)防水対策の必要性を認識



《各事業体が抱える悩み》

- ・防水塗装の更新費用：大
- ・防水対策の技術的統一見解：無
- ・防水更新の判断基準：無
- ・防水更新の要否：工法による
- ・水道水(塩素)と躯体(防水)劣化の関係：検討の余地あり

防水効果・LCC等から各事業体が独自に防水工法を選定



《防水工法選定時の検討(例)》

- ・樹脂系防水：選択する材料によるが、他の工法に比べ工事費は安価  
施工時の厳格な温度・湿度管理が必要(再劣化の可能性)  
更新必要だが非破壊検査方法は確立されていない
- ・ステンレス鋼板内張り：他の工法に比べ工事費は高価  
更新不要

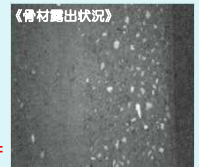
各事業体により多種多様な防水対策

### 【配水池(CON)特有の劣化事例】

実構造物における劣化事例

《劣化状況》

平成7年度竣工の配水池(RC構造、CON打放し)において、常時水道水と接触する側壁内面および底版で、骨材露出・表面脆弱化(爪で割れる程度、深度は0~6mm)



《調査結果》

EPMA分析(劣化箇所のコア採取)より、表面劣化部におけるセメント水和物(カルシウム)の溶出を確認

⇒ **劣化要因：CONの成分溶出と推定**

CONの成分溶出

CON中のセメント水和物が周囲の水に溶解して組織が疎となる劣化現象。水との接触面からPH低下、組織空隙化による強度低下が徐々に進行。接触水が純粋な水に近くなるほど、劣化が激しくなる特徴を有する。

### 【配水池(CON)の樹脂系防水の更新事例】

< 更新前 >

《防水塗装の付着強度》

付着強度試験 (N/mm <sup>2</sup> )			
管理基準値	気層	気液層	液層
120以上	540	444	107

《防水塗装の膜厚》

塗膜厚さ試験 (mm)			
管理基準値	気層	気液層	液層
0.500	0.254	0.198	0.161

(マイクロスコブ測定)

《防水塗装更新前(全景)》



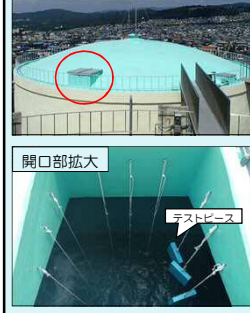
既設防水(躯体)の試験結果

既設防水：管理基準値以下の結果有  
躯体：健全(防水の要求性能は満足か?)

### 【配水池(CON)の樹脂系防水の更新事例】

< 更新後 >

《防水塗装テストベース》



《防水塗装更新後(全景)》



防水塗装テストベース

気層・気液層・液層に防水塗装モニタリング用のテストベース(30cm角)を設置

### 【配水池(CON)の樹脂系防水の再劣化事例】

#### 劣化状況

(場所)  
山間部(豪雪地帯ではない)  
(劣化発覚の時期)  
竣工後2年

(状況)  
施工箇所の大半で樹脂系防水の剥離・亀裂が発生

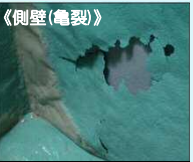
#### 《側壁(剥離)》



#### 《底板(剥離)》



#### 《側壁(亀裂)》



#### 劣化原因

(施工時の状況)  
冬季施工で施工中は低温の日が続き、低温かつ高湿度(結露)環境下における施工であった  
(推定される主原因)  
施工時における温度・湿度の管理不徹底

### 【今後の配水池(CON)の防水対策】

#### 現状

- 建設後未点検の施設 ⇒ 多数
- 劣化進行予測・防水効果等の報告 ⇒ 少
- 報告されている中では、CON躯体のPH低下(CON打放し)が比較的多い
- 防水対策の技術的統一見解、および防水更新の判断基準 ⇒ 無
- 長期間または複数回に及び供用停止 ⇒ 困難(水道施設効率化)

#### 今後(推測)

- 水道施設の点検 ⇒ 増(水道法改正)
- 防水対策効果等の報告 ⇒ 増
- 施設効率化の進展 ⇒ 供用停止困難の施設が増加(短期間施工のニーズ:増)

⇒ 土木業界と上水道業界の活発な交流が重要

インフラ点検の先行事例(橋梁・トンネル)より、躯体や防水の劣化メカニズムおよび性能確認方法等の知見を学び、構造物寿命の短縮を最低限に抑えることが必要

## 電力分野(水土木)での止水に関する取り組み

一般財団法人 電力中央研究所 地球工学研究所 構造工学領域 西内達雄

水土木構造物のうち、ダムに供用期間を通じて求められる構造物としての性能(要求性能)には、下記のようなものがあります。

- ①ダムの安定性が損なわれず、公衆災害の原因となるような制御できない貯水の流出を生じさせないための安全性能
  - ②貯水機能や放流機能などのダムの機能を適切に確保するための使用性能
- このような性能を満足させるためには、ダム本体やダム基礎岩盤に対して様々な止水対策が講じられています。

### 1. ダム本体の止水対策と日常管理

コンクリートダム(コンクリートの品質、止水板、堤体基礎排水孔)

ロックフィルダム(本体浸潤線、表面遮水壁)

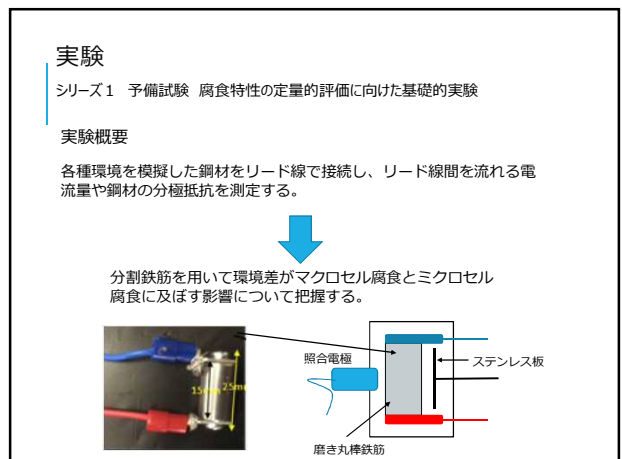
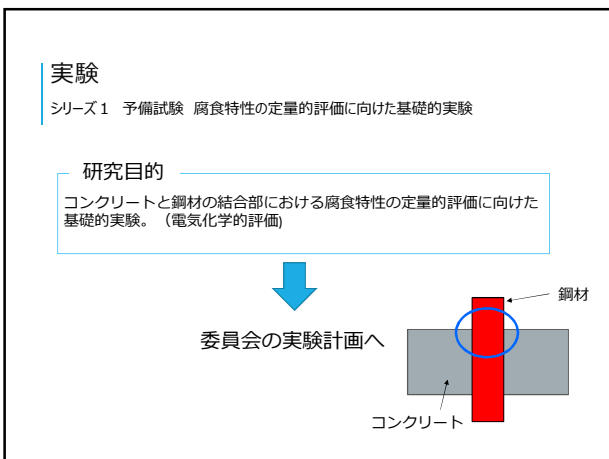
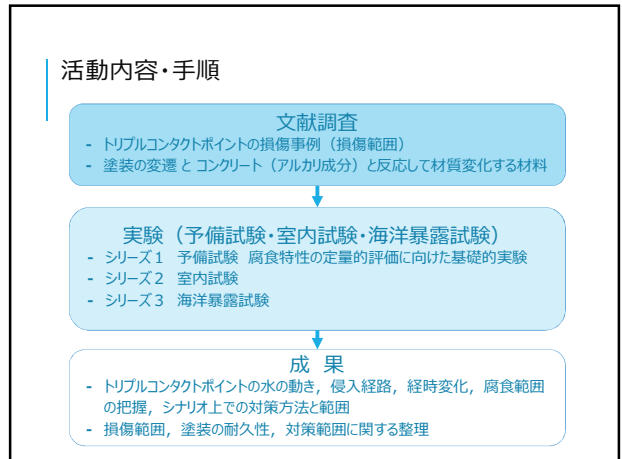
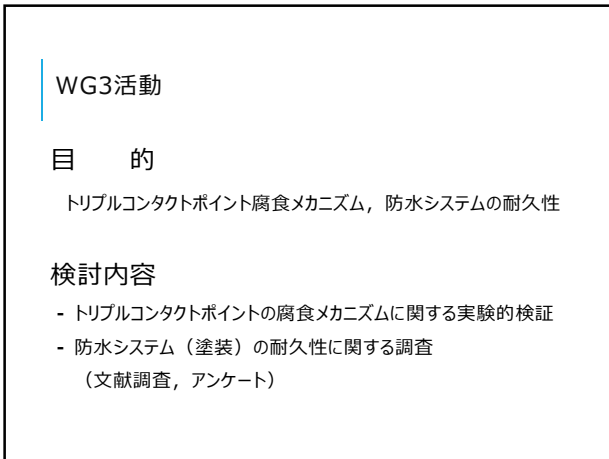
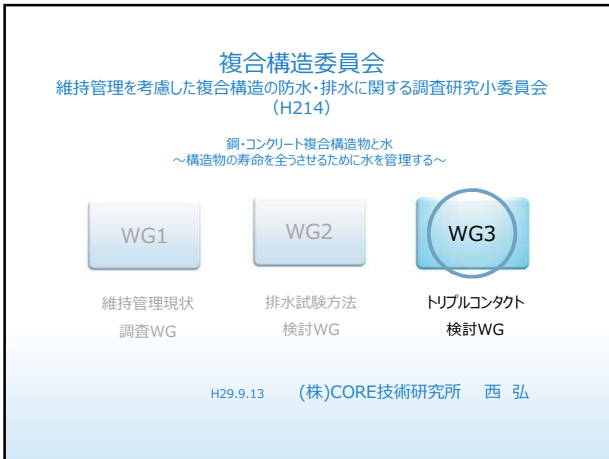
揚圧力等の計測管理

### 2. ダム基礎岩盤の止水対策

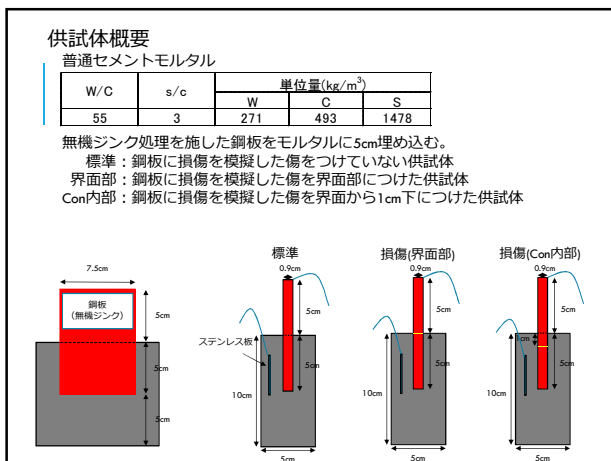
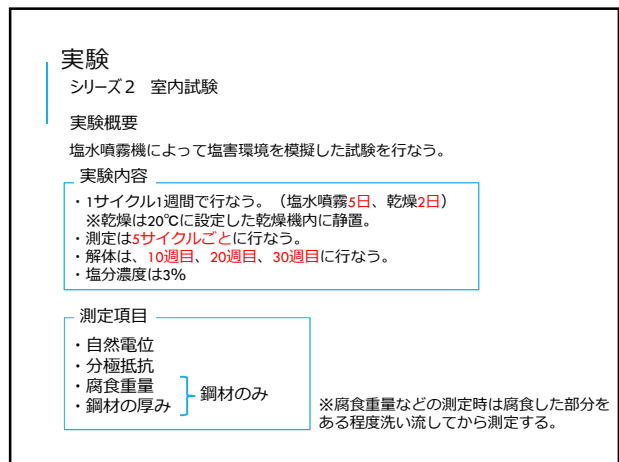
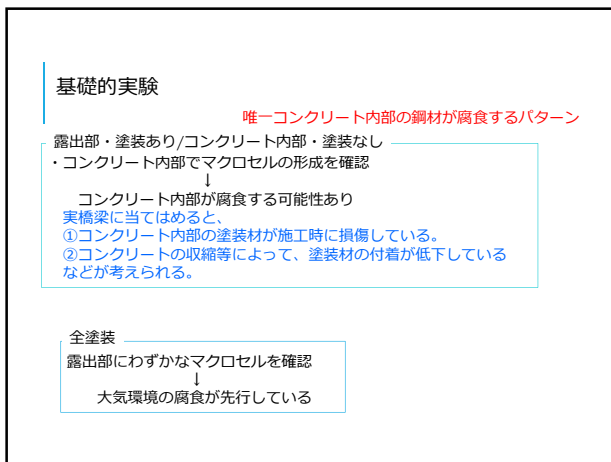
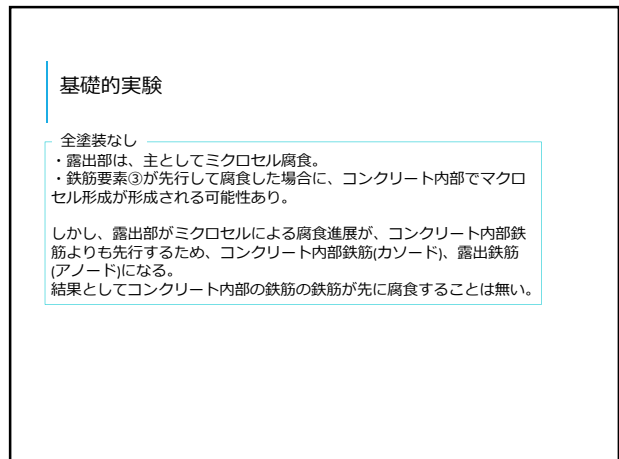
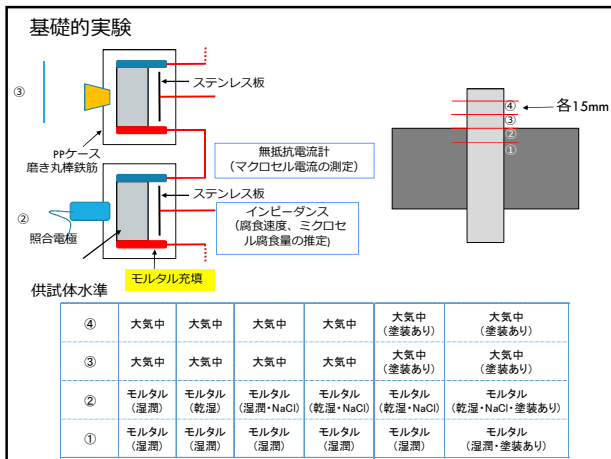
基礎岩盤の透水性

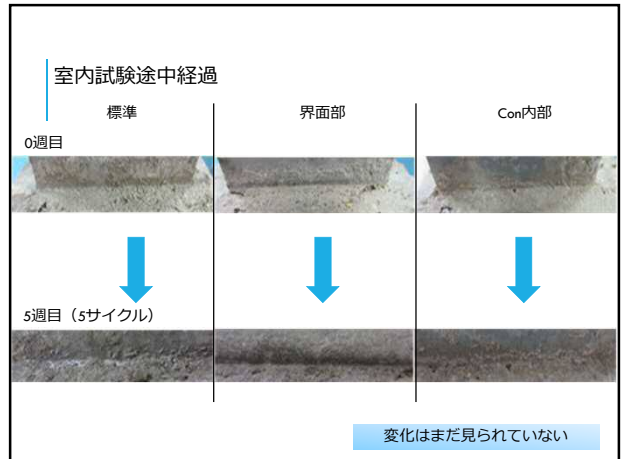
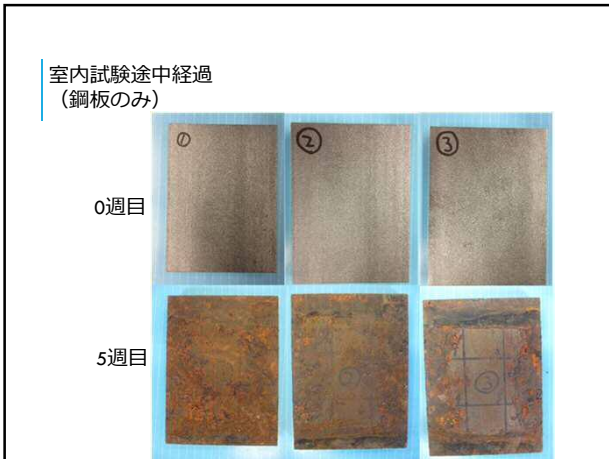
基礎グラウチング(カーテングラウチング、コンソリデーショングラウチング等)

グラウチングの計画、施工









実験

シリーズ3 海洋曝露試験

実験概要

沖縄県名護市の曝露試験場にて試験を行なっている。  
(2017年4月19日より試験開始)

- ・供試体は室内試験のものと同様のものを使用する。
- ・測定は半年に1度行なう。

測定項目

- ・自然電位
- ・分極抵抗

海洋曝露試験

③ ② ① ③ ② ① ③ ② ①

鋼材 被覆有 鋼材 被覆・傷あり 鋼材 被覆なし

④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ④ ⑤ ⑥

トリプルコンタクト供試体