

令和7年度 土木技術者育成講習会（第2回）

積雪寒冷地域のコンクリート構造物の補修と予防保全

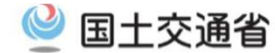
国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地保全技術研究グループ
耐寒材料チーム 総括主任研究員 内藤 勲

本日の講義項目

1. はじめに
2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全
3. コンクリート構造物の不具合
4. 積雪寒冷地域における補修の考え方
5. シラン系表面含浸材による予防保全
6. おわりに

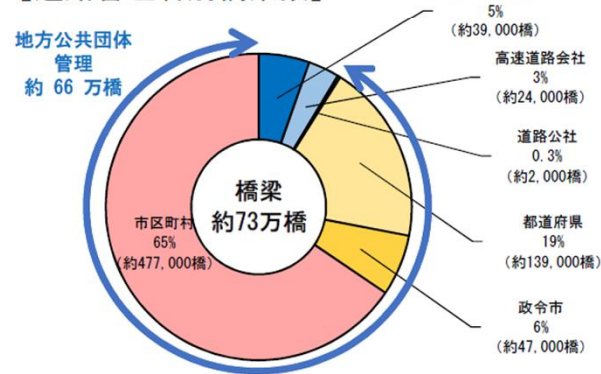
1. はじめに

老朽化の現状・老朽化対策の課題



- わが国には橋梁が約73万橋あり、このうち地方公共団体が管理する橋梁は全体の9割以上
- 建設後50年を経過した橋梁の割合は、10年後(2032年度)に約59%に急増
- 立地環境が厳しい箇所など、一部の構造物で老朽化による重大な損傷が顕在化

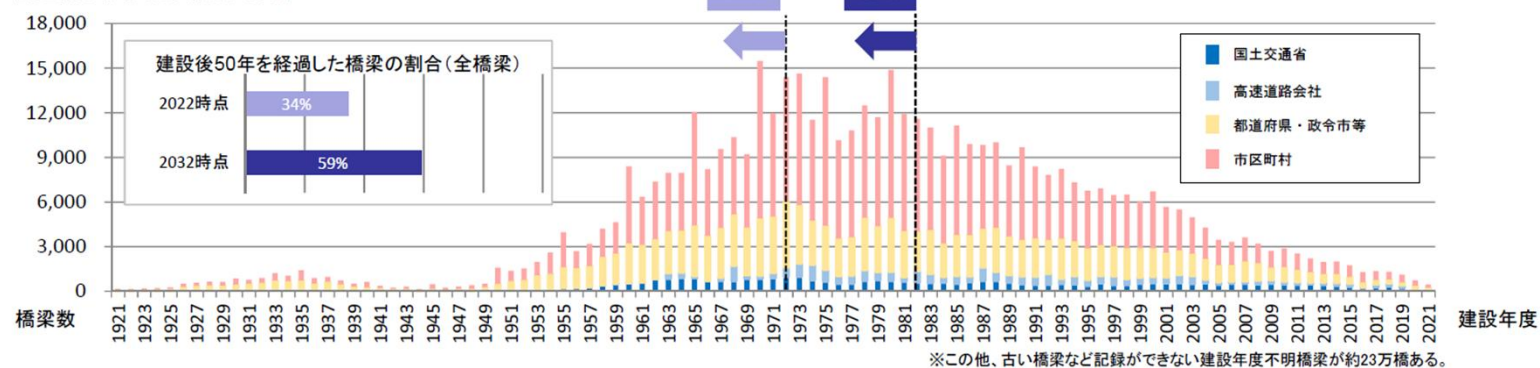
【道路管理者別橋梁数】



【重大な損傷の事例(橋梁)】



【建設年度別橋梁数】



国土交通省のHPより

1. はじめに

道路の老朽化対策に関する取組みの経緯

- 社会資本整備審議会 技術部会
社会資本メンテナンス戦略小委員会 設置[2012.7.31]

- 笹子トンネル天井板崩落事故 [2012.12.2]

- 2013年を「社会資本メンテナンス元年」に位置付け
- 道路法の改正 [2013.6]
点検基準の法定化、国による修繕等代行制度創設

H25

- 定期点検に関する省令・告示 公布 [2014.3.31]
5年に1回、近接目視による点検

- 道路の老朽化対策の本格実施に関する提言[2014.4.14]

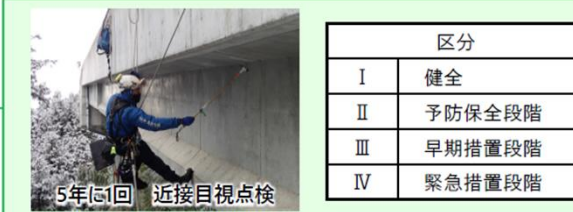
- 定期点検 1 巡目 (2014～2018)

- 定期点検要領 通知 [2019.2.28]
定期点検の質を確保しつつ、実施内容を合理化

- 定期点検 2 巡目 (2019～)

R1

- 道路施設点検データベースの公開 (2022～)



社会資本整備審議会 道路分科会の家田仁分科会長より太田国土交通大臣に手交

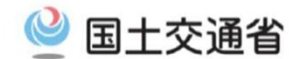
2014年4月14日
「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」
最後の警告ー今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切れ

3

国土交通省のHPより

1. はじめに

最後の警告—今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切れ



静かに危機は進行している

高度成長期に一斉に建設された道路ストックが高齢化し、一斉に修繕や作り直しが発生する問題について、平成14年以降、当審議会は「今後適切な投資を行い修繕を行わなければ、近い将来大きな負担が生じる」と繰り返し警告してきた。

しかし、デフレが進行する社会情勢や財政事情を反映して、その後の社会の動きはこの警告に逆行するものとなっている。即ち、平成17年の道路関係四公団民営化に際しては高速道路の管理費が約30%削減され、平成21年の事業仕分けでは直轄国道の維持管理費を10～20%削減することが結論とされた。そして、社会全体がインフラのメンテナンスに関心を示さないまま、時間が過ぎていった。国民も、管理責任のある地方自治体の長も、まだ橋はずっとこのままであると思っているのだろうか。

この間にも、静かに危機は進行している。道路構造物の老朽化は進行を続け、日本の橋梁の70%を占める市町村が管理する橋梁では、通行止めや車両重量等の通行規制が約2,000箇所に及び、その箇所数はこの5年間で2倍と増加し続けている。地方自治体の技術者の削減とあいまって点検すらままならないところも増えている。

今や、危機のレベルは高進し、危険水域に達している。ある日突然、橋が落ち、犠牲者が発生し、経済社会が大きな打撃を受ける...、そのような事態はいつ起こっても不思議ではないのである。我々は再度、より厳しい言い方で申し上げたい。「今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切らなければ、近い将来、橋梁の崩落など人命や社会システムに関わる致命的な事態を招くであろう」と。

すでに警鐘は鳴らされている

平成24年12月、中央自動車道笹子トンネル上り線で天井板落下事故が発生、9人の尊い命が犠牲となり、長期にわたって通行止めとなった。老朽化時代が本格的に到来したことを告げる出来事である。この事故が発した警鐘に耳を傾けなければならない。また昨今、道路以外の分野において、予算だけでなく、メンテナンスの組織・体制・技術力・企業風土など根源的な部分の改革が求められる事象が出現している。これらのことを明日の自らの地域に起こりうる危機として捉える英知が必要である。

2005年8月、米国ニューオーリンズを巨大ハリケーン「カトリーナ」が襲い、甚大な被害の様子が世界に報道された。実はこの災害は早くから想定されていた。ニューオーリンズの巨大ハリケーンによる危険性は、何年も前から専門家によって政府に警告され、前年にも連邦緊急事態管理庁(FEMA)の災害研究で、その危険性は明確に指摘されていたのである。にもかかわらず投資は実行されず、死者1330人、被災世帯250万という巨大な被害を出している。「来るかもしれないし、すぐには来ないかもしれない」という不確実な状況の中で、現在の資源を将来の安全に投資する決断ができなかったこの例を反面教師としなければならない。

橋やトンネルも「壊れるかもしれないし、すぐには壊れないかもしれない」という感覚があるのではないだろうか。地方公共団体の長や行政も「まさか自分の任期中は...」という感覚はないだろうか。しかし、私たちは東日本震災で経験したではないか。千年に一度だろうが、可能性のあることは必ず起こると。笹子トンネル事故で、すでに警鐘は鳴らされているのだ。

行動を起こす最後の機会は今

道路先進国の米国にはもう一つ学ぶべき教訓がある。1920年代から幹線道路網を整備した米国は、1980年代に入ると各地で橋や道路が壊れ使用不能になる「荒廃するアメリカ」といわれる事態に直面した。インフラ予算を削減し続けた結果である。連邦政府はその後急ピッチで予算を増やし改善に努めている。それらの改善された社会インフラは、その後の米国の発展を支え続けている。

笹子トンネル事故は、今が国土を維持し、国民の生活基盤を守るために行動を起こす最後の機会であると警鐘を鳴らしている。削減が続く予算と技術者の減少が限界点を越えたのちに、一斉に危機が表面化すればもはや対応は不可能となる。日本社会が置かれている状況は、1980年代の米国同様、危機が危険に、危険が崩壊に発展しかねないレベルまで達している。「笹子の警鐘」を確かな教訓とし、「荒廃するニッポン」が始まる前に、一刻も早く本格的なメンテナンス体制を構築しなければならない。

そのために国は、「道路管理者に対して厳しく点検を義務化」し、「産学官の予算・人材・技術のリソースをすべて投入する総力戦の体制を構築」し、「政治、報道機関、世論の理解と支持を得る努力」を実行するよう提言する。

いつの時代も軌道修正は簡単ではない。しかし、科学的知見に基づくこの提言の真意が、この国をリードする政治、マスコミ、経済界に届かず「危機感を共有」できなければ、国民の利益は確実に失われる。その責はすべての関係者が負わなければならない。

社会資本整備審議会 道路分科会 建議「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」（平成26年4月14日）

国土交通省のHPより

1. はじめに

1. 戦略的インフラメンテナンス

「予防保全」への全面的転換による着実なインフラメンテナンスの実施



国土交通省のHPより

本日の講義項目

1. はじめに
2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全
3. コンクリート構造物の不具合
4. 積雪寒冷地域における補修の考え方
5. シラン系表面含浸材による予防保全
6. おわりに

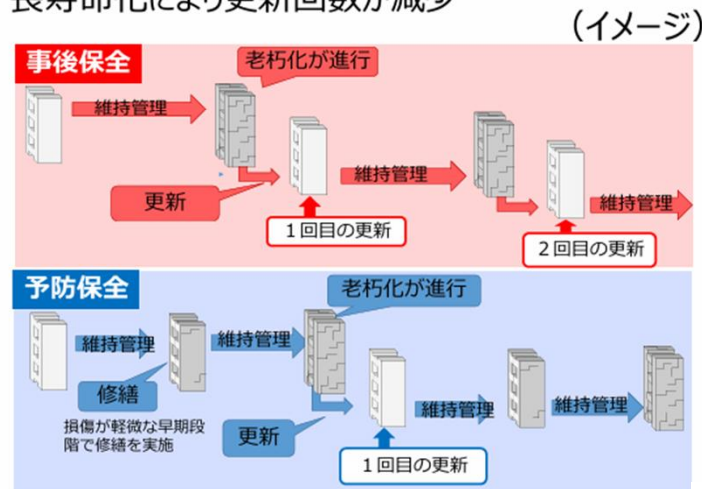
2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全

- 施設の機能や性能に不具合が生じてから対策を行う「事後保全」から、不具合が発生する前に対策を行う「予防保全」へ転換し、持続的・効率的なインフラメンテナンス実現を推進

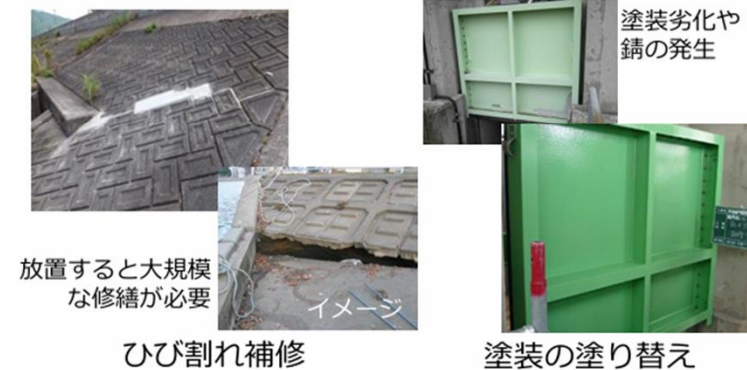
- メンテナンスサイクルを確立・徹底



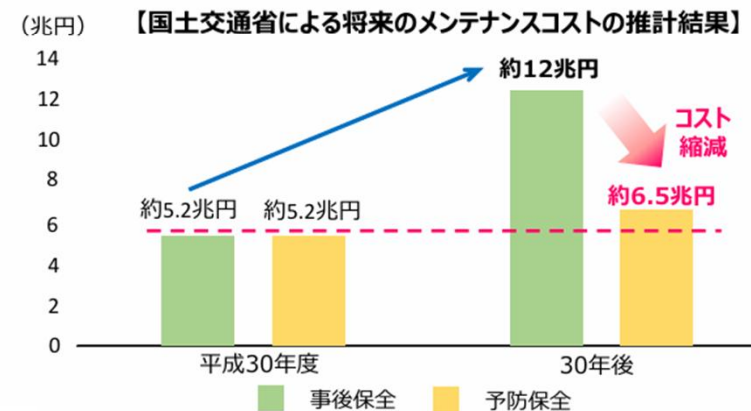
- 予防保全により施設を長寿命化
長寿命化により更新回数が減少



- 損傷が軽微な早期段階で手当することで、施設を長寿命化



- 「事後保全」から「予防保全」への転換により、将来のコストを縮減



国土交通省のHPより

2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全

コンクリート構造物の劣化・損傷対策として、

事後保全・・・壊れた構造物への対策

- ・不具合が生じてから

- 「更新」：構造物を作り直す

- 「修繕」：大きく壊れた箇所を直す

- 「補修」：部分的に壊れた箇所を直す

予防保全・・・大きく壊れる前に対策

- ・不具合が発生する前に

- 「予防」：壊れないような対策を施す

- 「補修」：部分的に壊れた箇所を直す

2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全

コンクリートの予防保全とは？…基本は補修方法

- ①予防：表面被覆工法、表面含浸工法など
- ②補修：断面修復工法、ひび割れ修復工法など

例えば、車に置き換えると、

- ①予防：フッ素コートなど
- ②補修：パテ修理、タッチペン塗装など



- ①予防：新品もしくは部分的に直した後、
出来るだけ長く保つための対策
- ②補修：これ以上の劣化を進行させない対策

本日の講義項目

1. はじめに
2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全
3. コンクリート構造物の不具合
4. 積雪寒冷地域における補修の考え方
5. シラン系表面含浸材による予防保全
6. おわりに

3. コンクリート構造物の不具合

コンクリートの不具合

コンクリートは硬くて丈夫であるが、

- ・外力(荷重・地震等)
- ・劣化(経年で老朽化・塩害・凍害等)

によって損傷等が生じる



地震(2003年十勝沖)

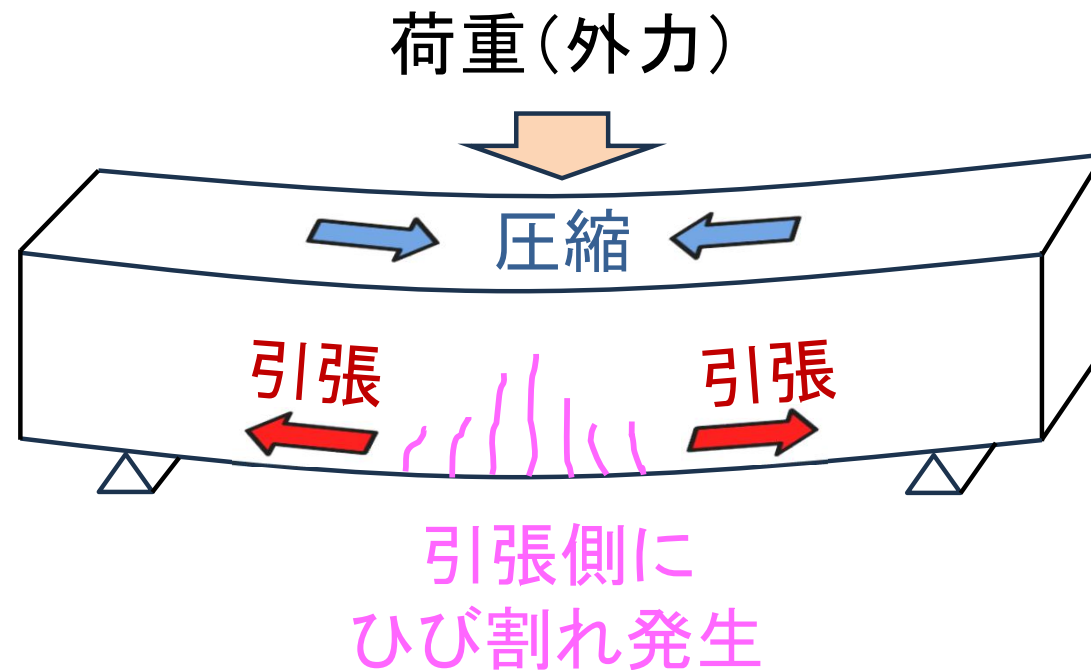


塩害劣化

3. コンクリート構造物の不具合

コンクリートの品質…基本はコンクリート強度

- ☆ コンクリートは圧縮に強いが引張に弱い
圧縮強度の約1／10

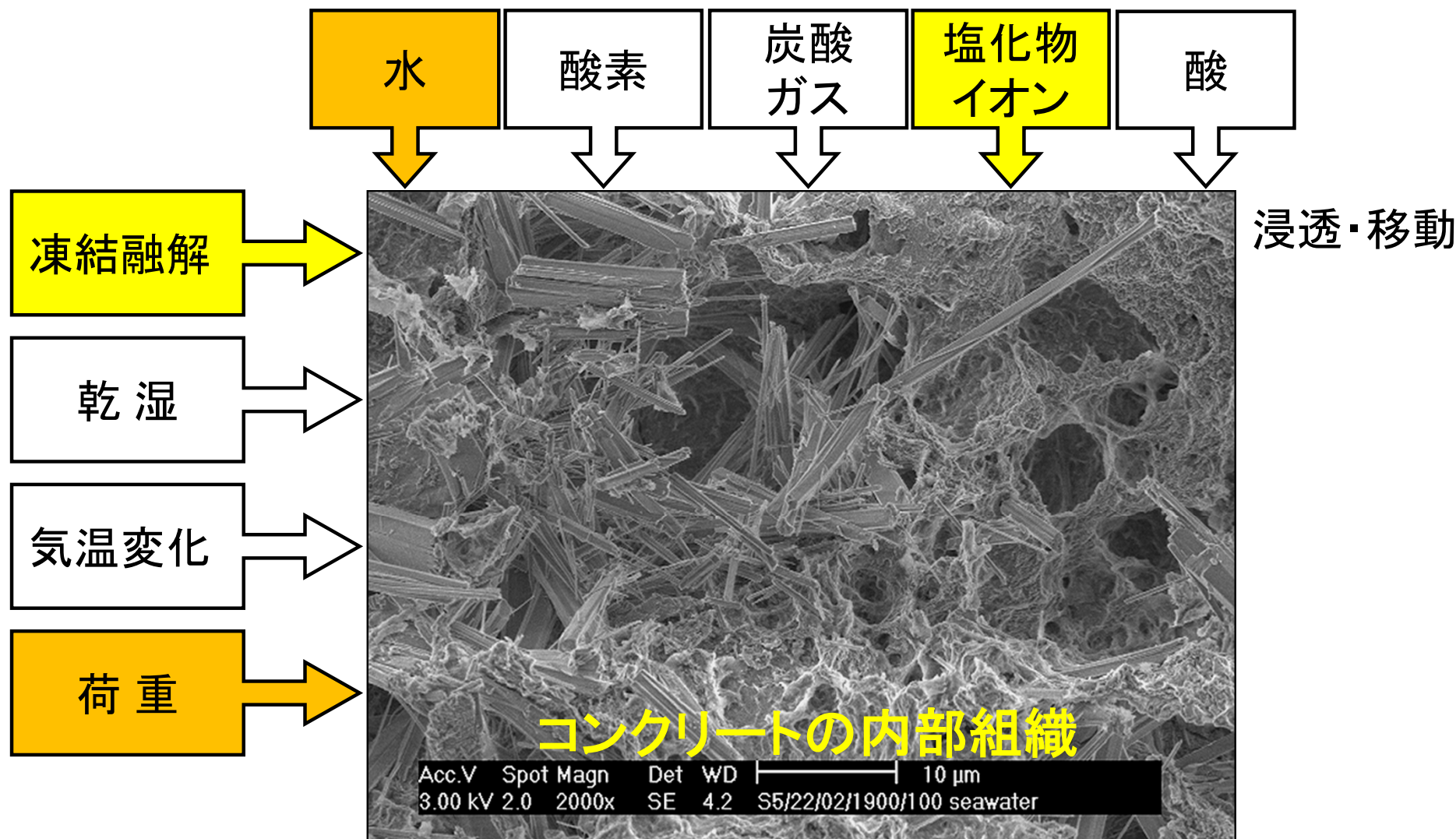


鉄筋コンクリートは、荷重(外力)がかかる箇所に、
弱い引張側に鉄筋を多く入れて補強するのが一般的

3. コンクリート構造物の不具合

コンクリートの劣化要因

劣化因子と使用条件



3. コンクリート構造物の不具合

積雪寒冷地域のコンクリートの不具合

凍害・凍害と塩害の複合劣化による損傷が多い

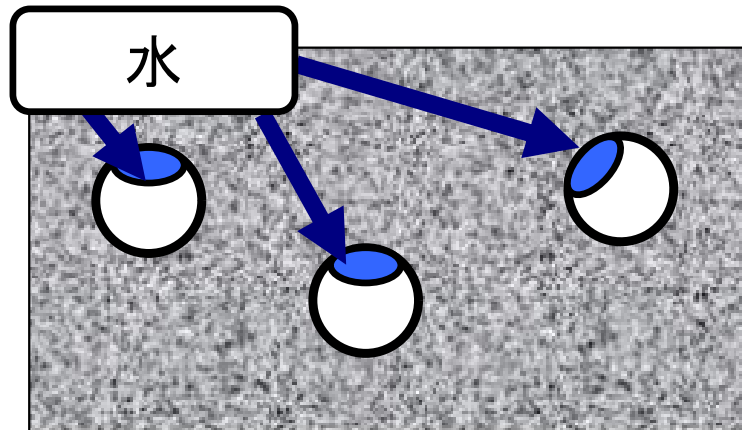


凍害と塩害の複合によって劣化した橋脚の事例

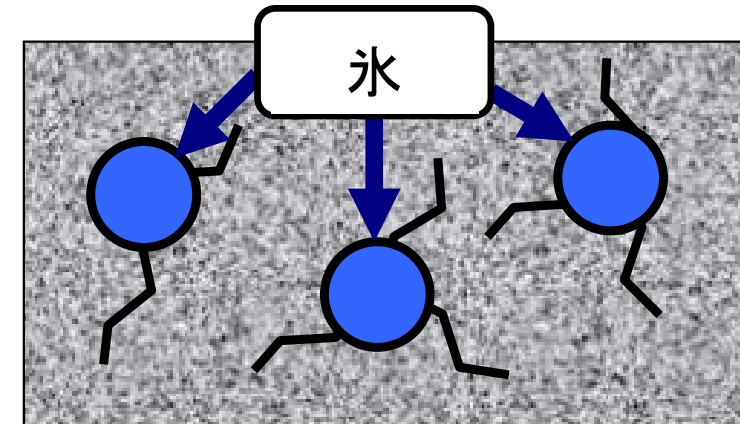
3. コンクリート構造物の不具合

コンクリートの凍害劣化のメカニズム

空隙が水分で飽和



水分が凍結・膨張し、ひび割れ



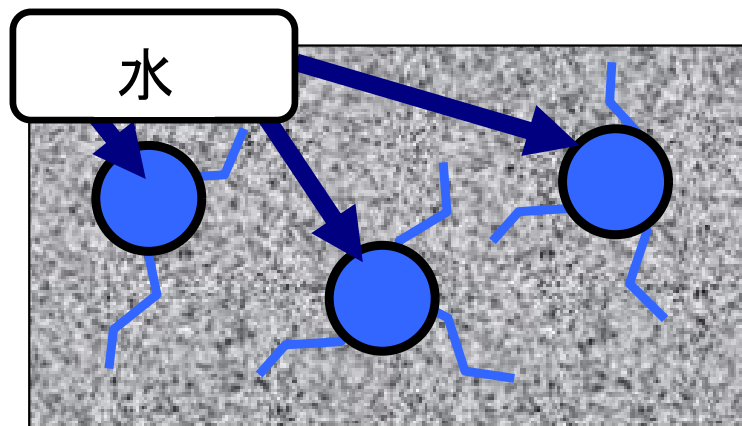
Freeze



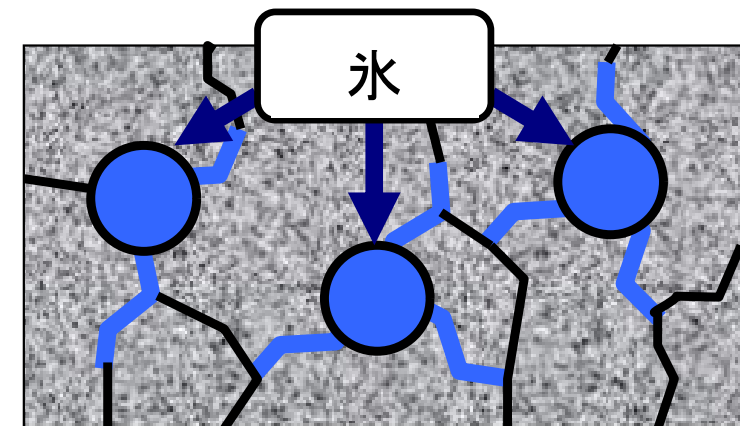
Thaw



融けた後に水が再侵入



凍結・膨張により、ひび割れ拡大

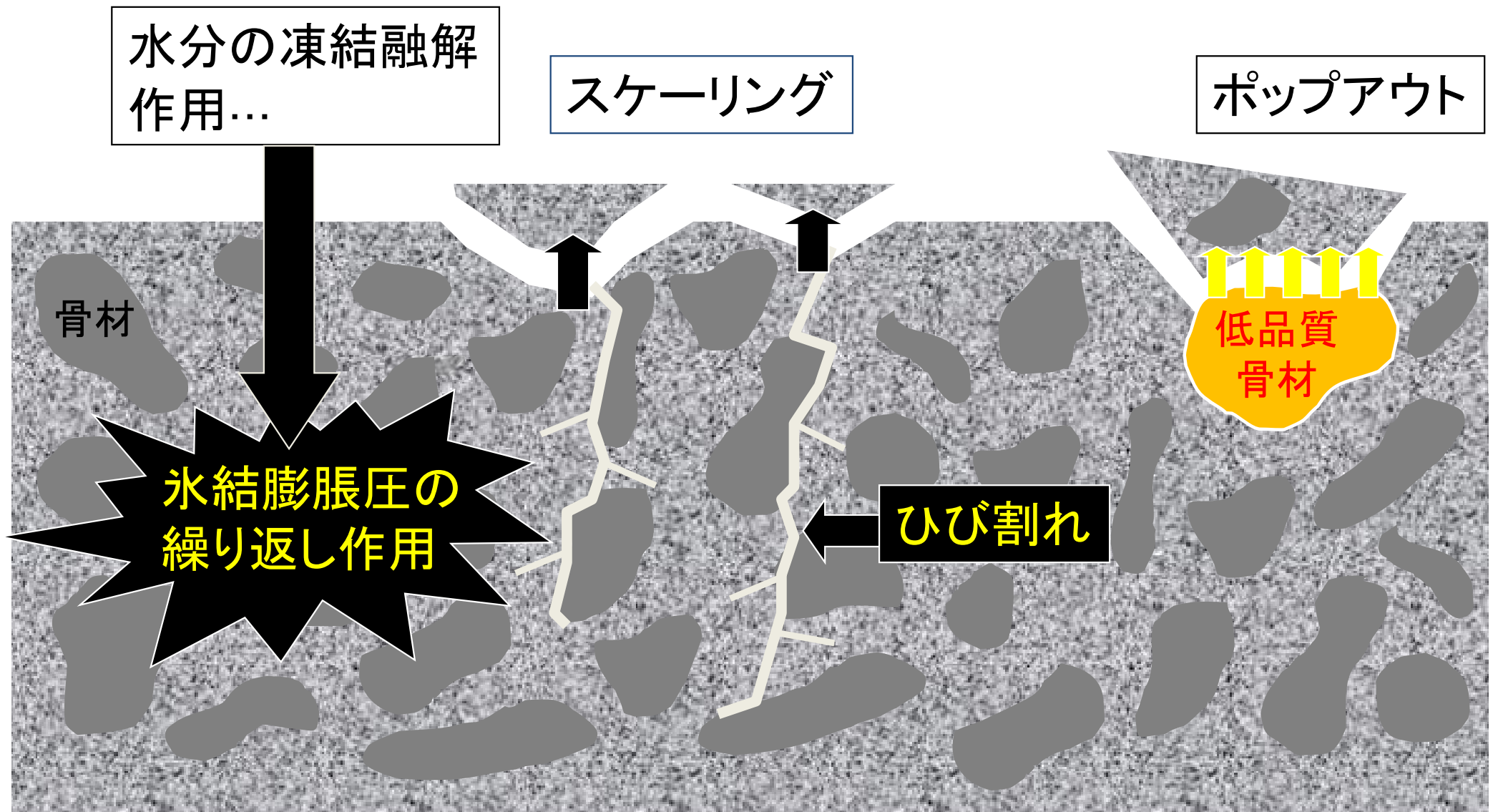


Freeze



3. コンクリート構造物の不具合

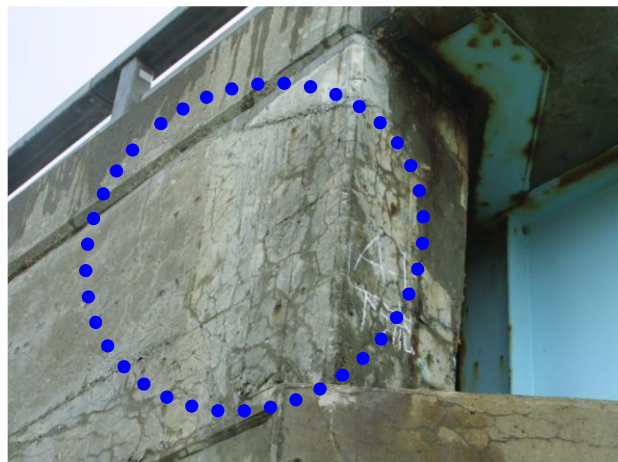
コンクリートの凍害劣化の種類



3. コンクリート構造物の不具合



Dひび割れ(隅角部)



地図上ひび割れ



ポップアウト(骨材膨張)



スケーリング



崩壊



初期凍害

施工の時期に関係なく発生

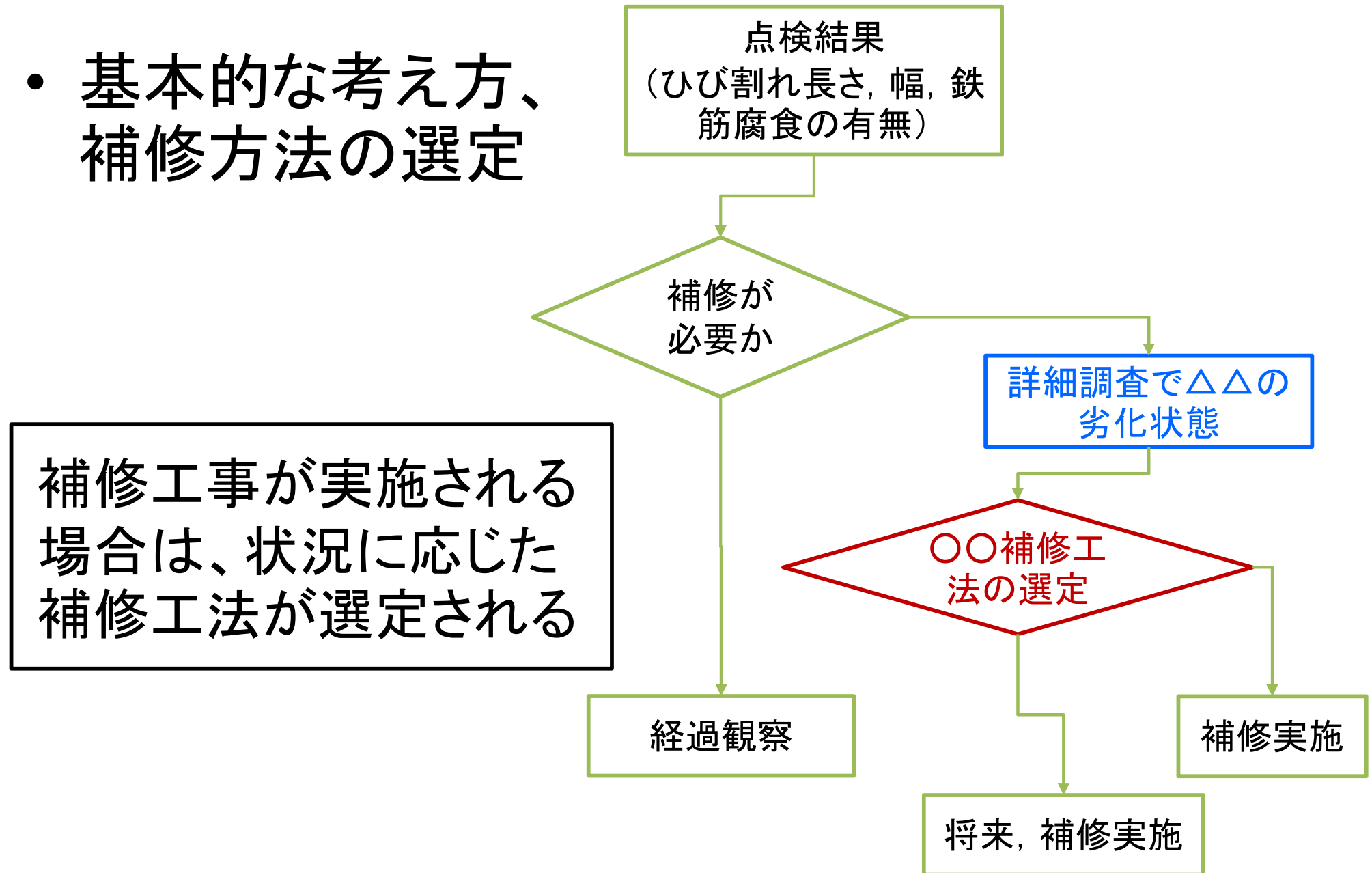
寒中施工特有の現象

本日の講義項目

1. はじめに
2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全
3. コンクリート構造物の不具合
4. 積雪寒冷地域における補修の考え方
5. シラン系表面含浸材による予防保全
6. おわりに

4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

- 基本的な考え方、補修方法の選定



4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

補修とは？

第三者への影響の除去あるいは、**美観・景観や耐久性の回復もしくは向上**を目的とした対策.

ただし、供用開始時に構造物が保有していた程度まで、安全性あるいは、使用性のうちの力学的な性能を回復させるための対策も含む.

4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

主な補修工法の種類

- ・表面処理工法
 - 表面被覆工法（塗装系、パネル、埋設型砕等）
 - 表面含浸工法（シラン系、けい酸塩系等）
- ・断面修復工法
 - 左官工法、吹付け工法、充填工法
- ・ひび割れ補修工法
 - ひび割れ被覆工法
 - ひび割れ注入工法
 - ひび割れ充填工法
 - （表面被覆工法、含浸材塗布工法）
- ・電気化学的防食工法
 - 電気防食工法（外部電源、流電陽極等）
 - 脱塩工法
 - 再アルカリ化工法
 - 電着工法（水中施工）

4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

表面被覆工法の例

塗装などでコンクリート表面を被覆して
コンクリート表面からの水の侵入等を
防ぐ方法



4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

断面修復工法の例

損傷した箇所を補修材で
復旧して元の形に戻す
方法



ひび割れ修復工法の例

ひび割れ注入工法は
ひびわれに直接補修材を
注入して復旧する方法



4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

寒冷地における補修 → 一般に難しいと言われる



厳しい環境だから

- ・ 冬季用の材料を使用
- ・ 高い耐凍害性と記載された材料を使用
- ・ 防寒囲いを実施



対策はしているのになぜ不具合が生じる？



コンクリートや補修材の状態変化による原因が多い

4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

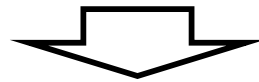
①寒冷環境に応じた補修材を正しく使用

- ・補修材は寒いと硬化速度が低下→冬季用は速硬性の製品が多い
→速硬性の補修材は温度管理や施工管理が難しい
→適切に管理しないと出来上がりの品質が大きく異なる
- ・高い耐凍害性と表記された補修材→硬化後の補修材の品質
→高い耐凍害性は低温施工に強いではない
→低温施工では品質が低下しやすい
- ・防寒囲い内は適温以上で管理されている場合
→囲い内が暖かいと冬季用の速硬性ではすぐに硬化する
→既設コンクリートが冷たいと補修材の性状も変化する

4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

②コンクリートも補修材も硬化前は低温に弱いことを把握

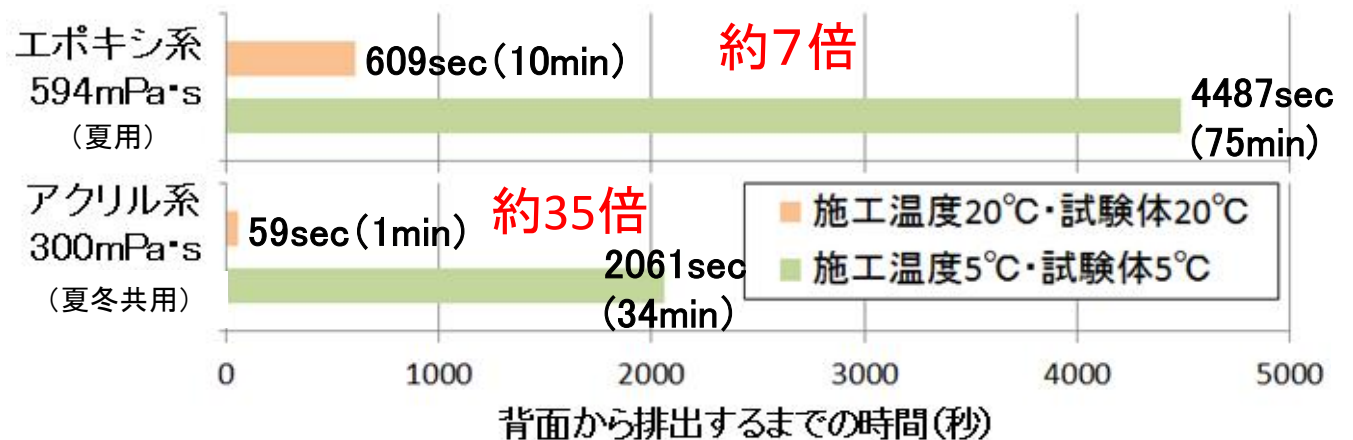
- ・冬季のコンクリート打設では防寒対策が必須 → 初期凍害防止
- ・補修材の適用温度は一般的に5℃以上だが・・・
- ・基本的な補修方法は温暖地も積雪寒冷地も変わらない



硬化前の性状は施工温度で変化する



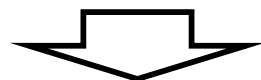
ひび割れ注入材の注入実験
($\phi 10 \times 20$ cm円柱供試体で
樹脂系注入材の注入時間を測定)



4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

② コンクリートも補修材も硬化前は低温に弱いことを把握

- ・冬季のコンクリート打設では防寒対策が必須 → 初期凍害防止
- ・補修材の適用温度は一般的に5℃以上だが・・・
- ・基本的な補修方法は温暖地も積雪寒冷地も変わらない



硬化前の性状は施工温度で変化する

低温になると使用方法や管理方法に制約が多くなる

補修を成功させるには・・・制約を含めた適切な管理が必要



寒冷環境に応じて補修材を適切に選択・使用することで
不具合が生じるのを抑制できる

4. 積雪寒冷地域における補修の考え方

【重要】補修箇所までの水処理について

- 排水溝，排水管の清掃
(ゴミ，落ち葉，土砂の排除)
- 構造物の上面に，僅かな勾配を設ける.
- 水切りの設置
- 配水管の位置，径，長さ，向きの工夫

水が溜まらない工夫をすることが大事

補修箇所に水の供給がなくなれば再劣化はほぼ生じない
積雪寒冷地域では水処理の検討が必須

本日の講義項目

1. はじめに
2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全
3. コンクリート構造物の不具合
4. 積雪寒冷地域における補修の考え方
5. シラン系表面含浸材による予防保全
6. おわりに

5. シラン系表面含浸材による予防保全

コンクリートの予防保全とは？…基本は補修方法

- ①予防：表面被覆工法、表面含浸工法など
- ②補修：断面修復工法、ひび割れ修復工法など

例えば、車に置き換えると、

- ①予防：フッ素コートなど
- ②補修：パテ修理、タッチペン塗装など



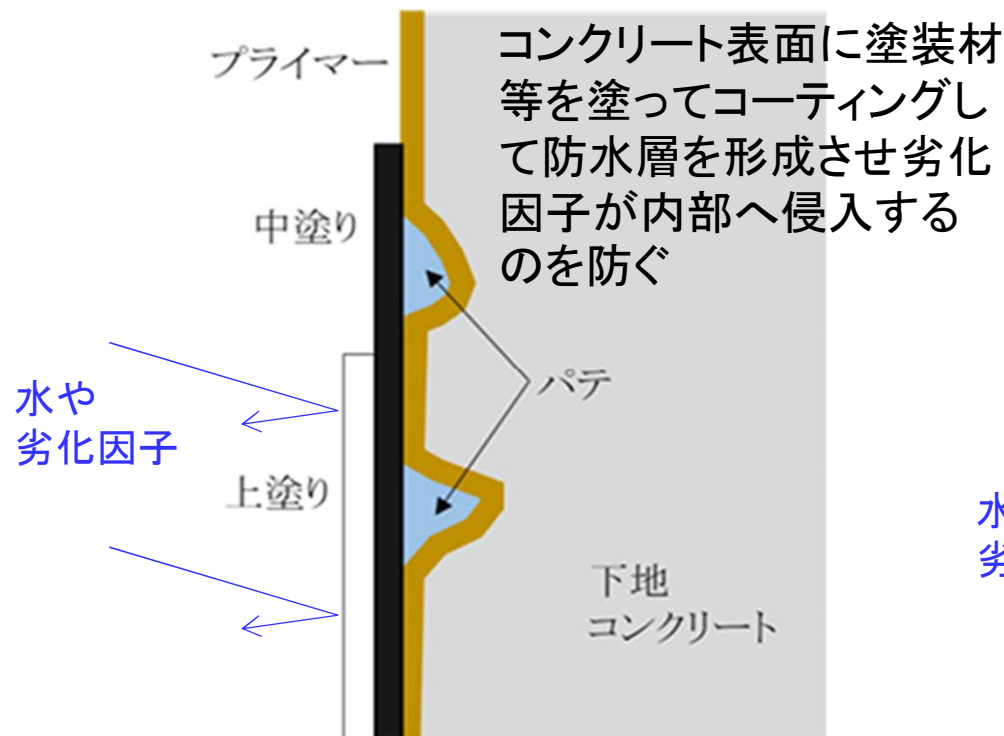
- ①予防：新品もしくは部分的に直した後、
出来るだけ長く保つための対策
- ②補修：これ以上の劣化を進行させない対策

5. シラン系表面含浸材による予防保全

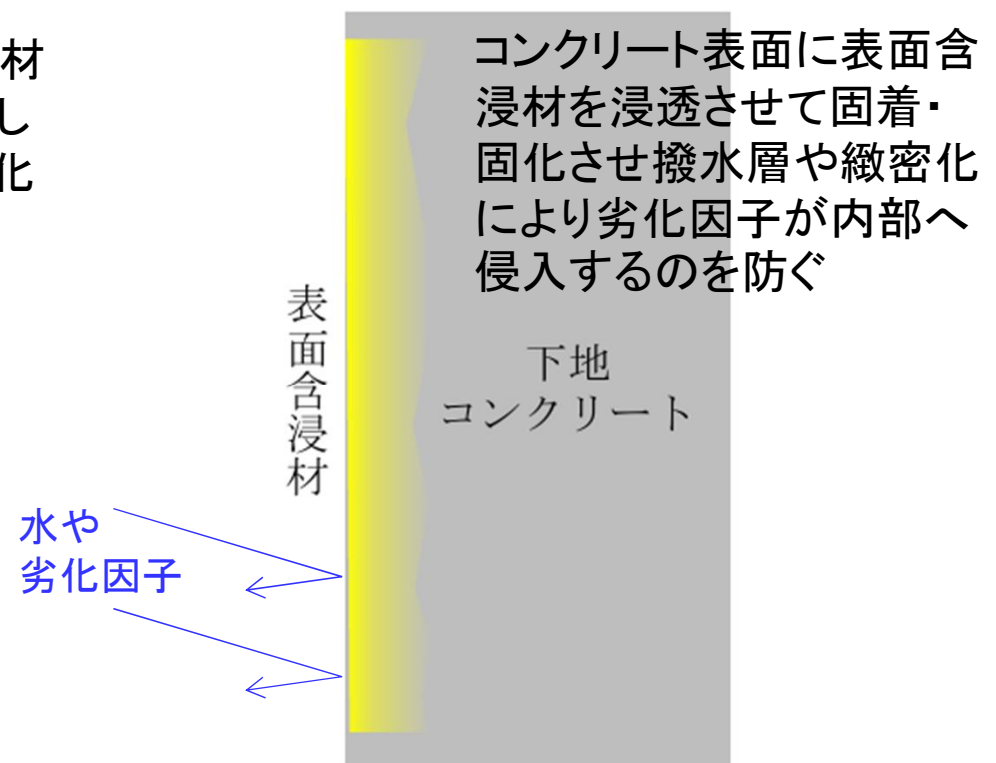
コンクリート構造物の予防保全対策の代表格

- ・表面保護工法:コンクリート表面から水や劣化因子が侵入するのを防ぐ方法

表面被覆工法(塗装等)

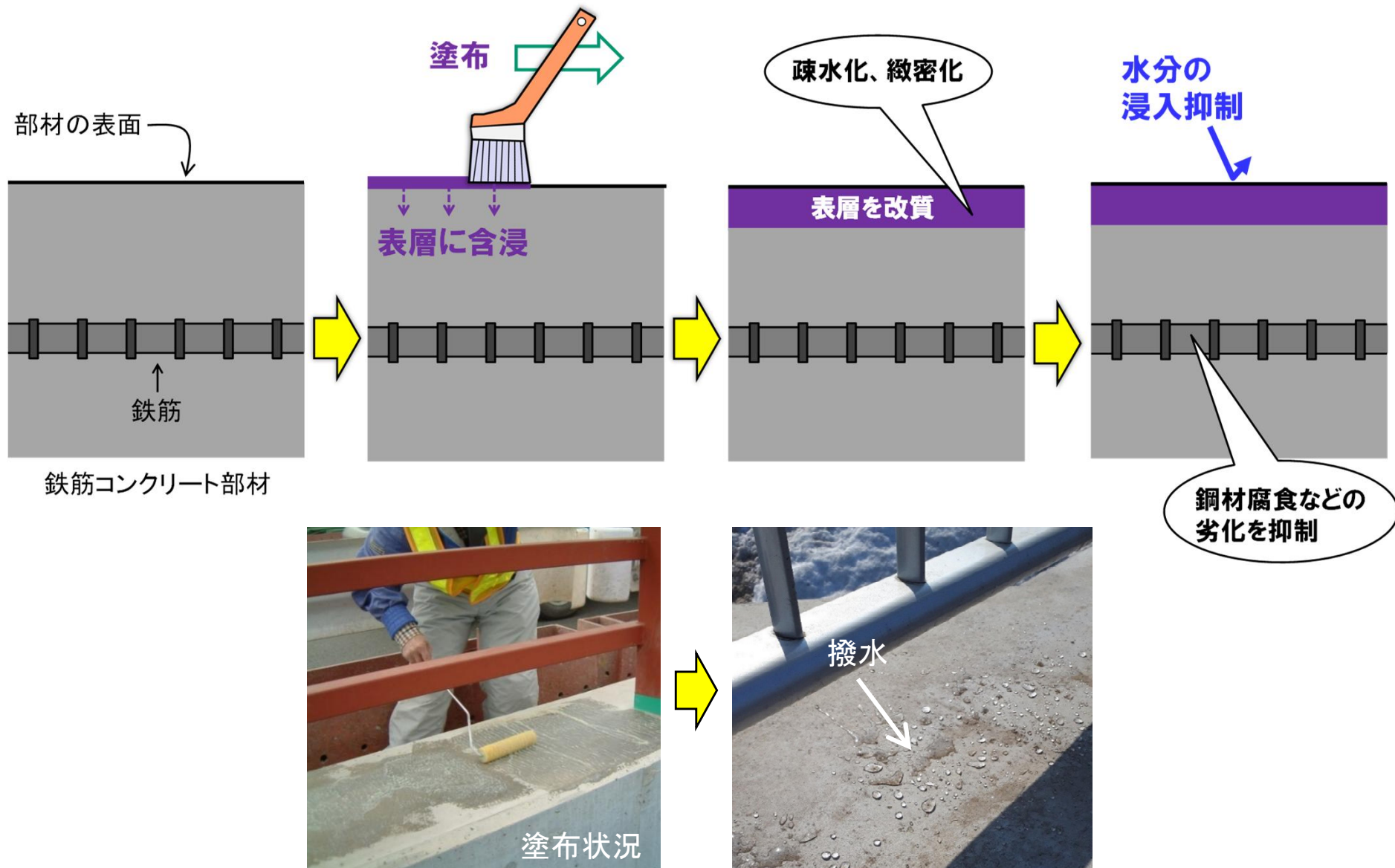


表面含浸工法



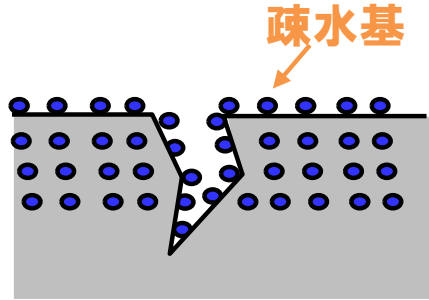
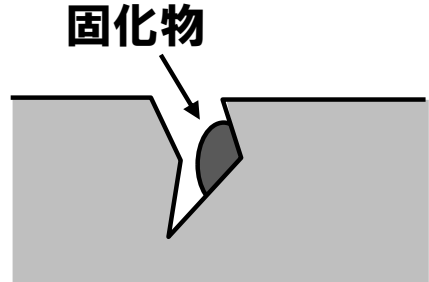
5. シラン系表面含浸材による予防保全

表面含浸材の施工方法と予防保全効果



5. シラン系表面含浸材による予防保全

表面含浸材の主な種類とメカニズム

種類	内容	概念 (コンクリートの微細ひび割れ内部)
シラン系	<p>表面やひび割れ壁面に疎水基を固着させ、組織を疎水化</p> <p>表面に吸水防止層が形成されて、防水効果が得られる</p>	
けい酸塩系	<p>コンクリートの$\text{Ca}(\text{OH})_2$と反応して水和物を生成し、固化もしくは、材料自体がそのまま乾燥して固化</p> <p>表面が緻密化することで水や劣化因子の侵入抑制効果が得られる</p>	

他にも、鉄筋表面に防錆機能を付与するアミン系等がある

5. シラン系表面含浸材による予防保全

近年、予防保全への転換によって、表面含浸工法の新設コンクリート構造物への適用が非常に増えている



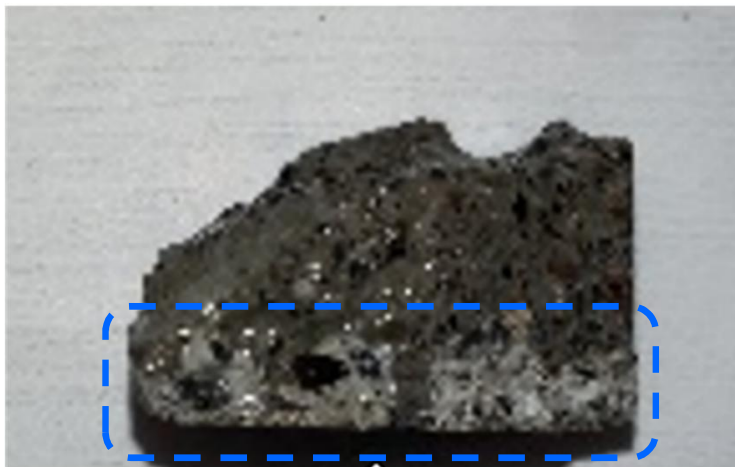
5. シラン系表面含浸材による予防保全

積雪寒冷地地域におけるシラン系表面含浸材の問題点

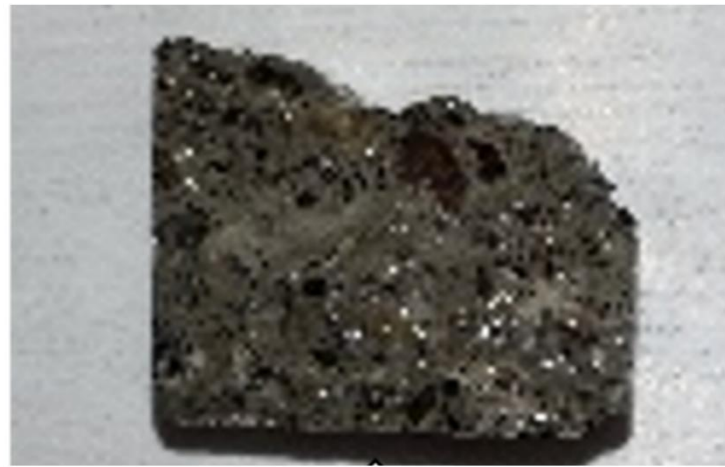
- ①コンクリート内部の水分量が多いと浸透しにくい
- ②低温施工だと浸透しにくい
- ③現場での吸水防止層の確認は手間がかかる

①②の原因で吸水防止層が未形成となる事例がみられる

実構造物でのシラン系表面含浸材塗布後の調査事例



吸水防止層（撥水）を確認



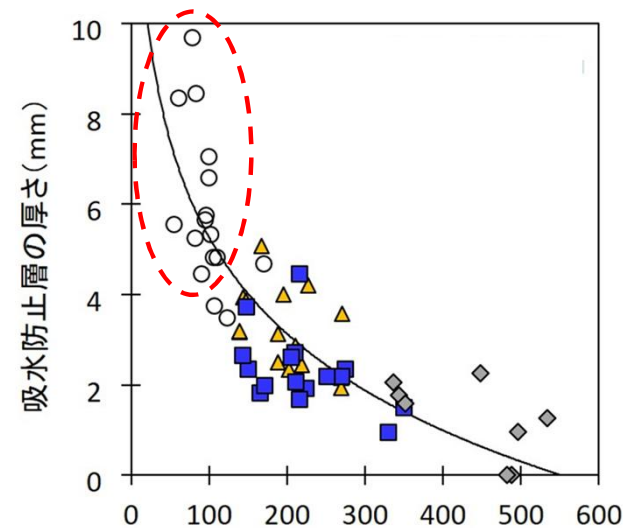
吸水防止層が未形成

5. シラン系表面含浸材による予防保全

①水分量が多いと・・・

シラン系表面含浸材は浸透しにくい

塗布前に水分計による水分管理を行い、含浸材が十分に浸透する状態で塗布することが重要

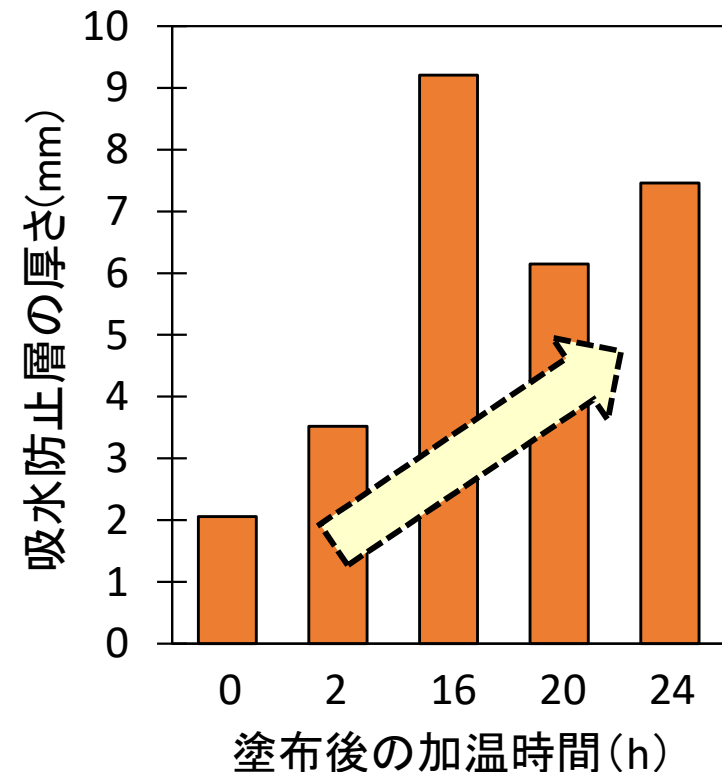
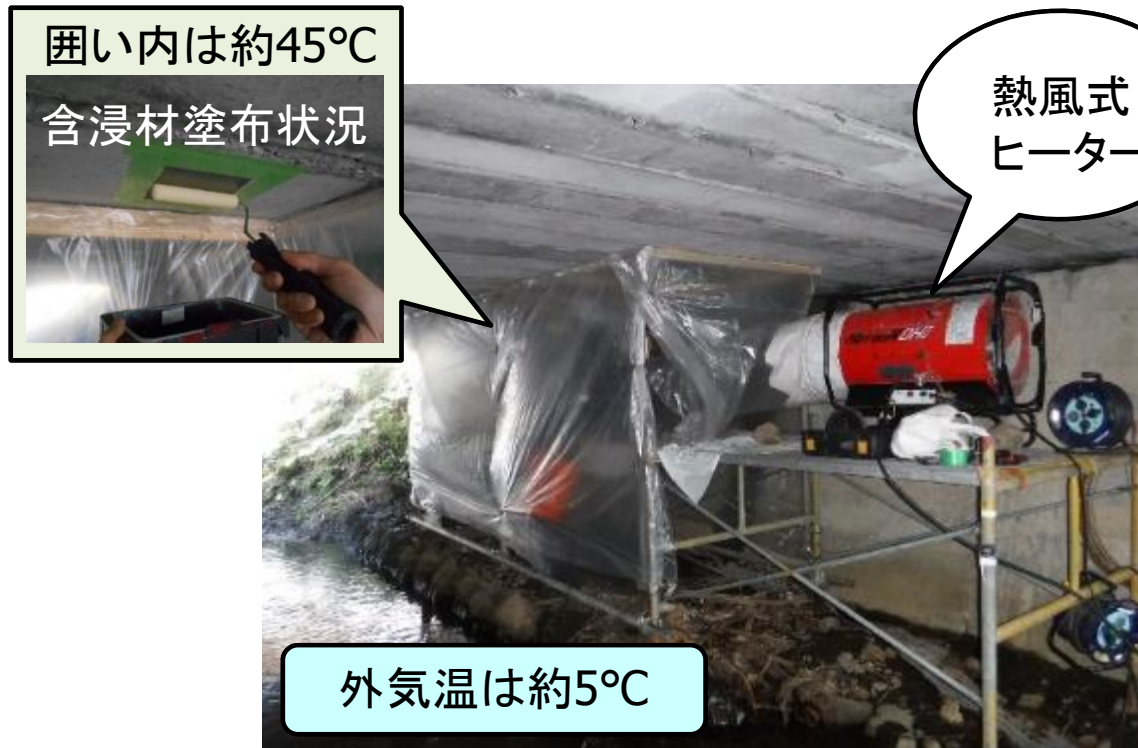


電気抵抗式水分計で計測された
塗布時のカウント値

5. シラン系表面含浸材による予防保全

②低温施工だと浸透しにくい

- ★寒冷環境下では塗布後24時間程度の加温養生を推奨
 - 塗布後の加温養生により含浸材の含浸深さが増加
 - 吸水防止層厚が増加 →予防効果の持続性が向上

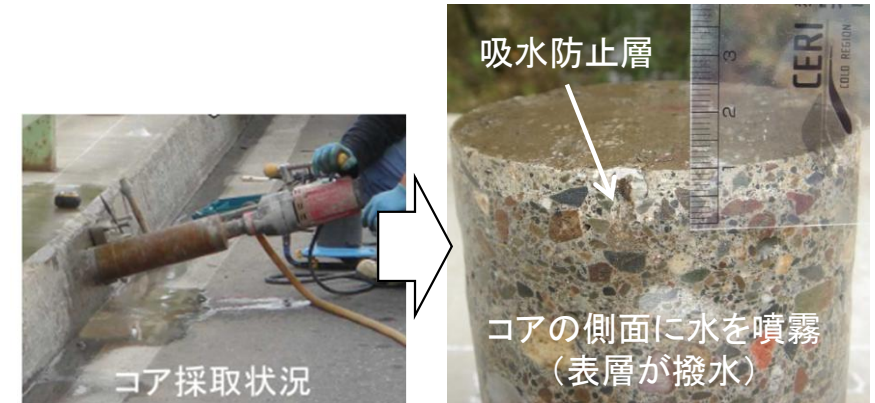


外気温約5℃の実橋における冬期施工実験

5. シラン系表面含浸材による予防保全

③現場での吸水防止層の確認に手間がかかる

現場での吸水防止層の確認方法としては、コア削孔して、コアの側面に水を噴霧することで吸水防止層が確認できるが…



→構造物を都度傷つけるし手間がかかる

→しかし、浸透していない事例をなくすには確認が必要



非破壊で吸水防止層の有無を確認できる方法を提案

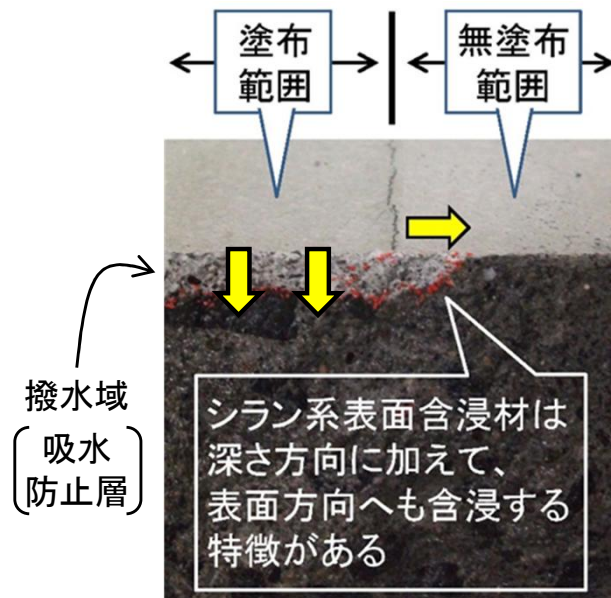
5. シラン系表面含浸材による予防保全

シラン系表面含浸材施工時の吸水防止層の非破壊測定法

- ・現在、塗布後の吸水防止層は管理されていない
- ・必要に応じてコア採取で確認は可能⇒効率的ではない

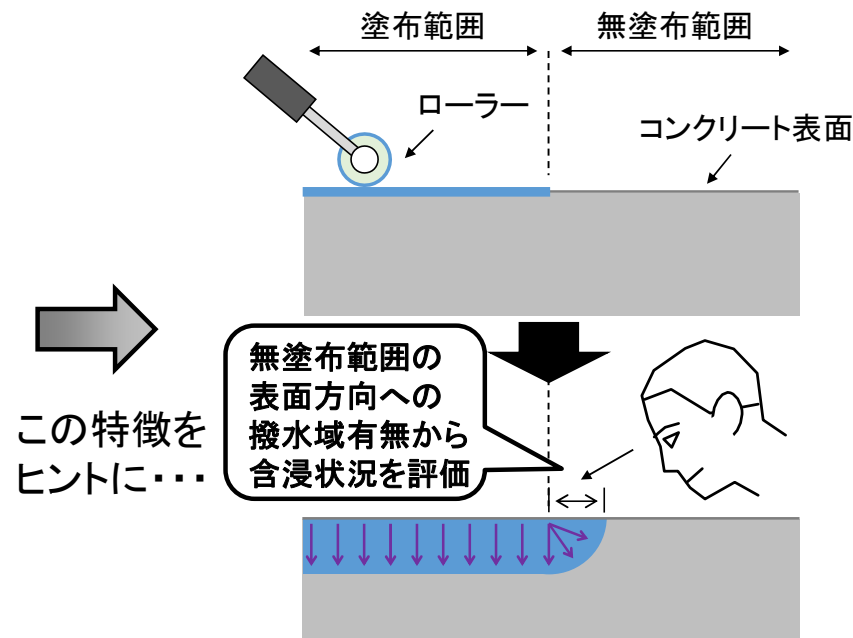


☆シラン系表面含浸材の含浸の特徴から簡易測定法を提案



撥水域
(吸水
防止層)

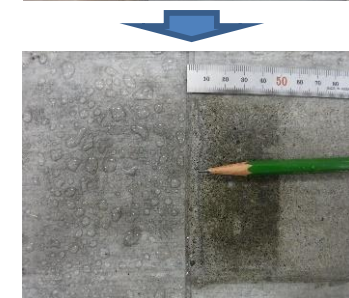
割裂面に水を噴霧した様子



測定面(無塗布)を作って
周りに含浸材を塗布



測定面



測定面の撥水域を測定して
吸水防止層の形成を確認

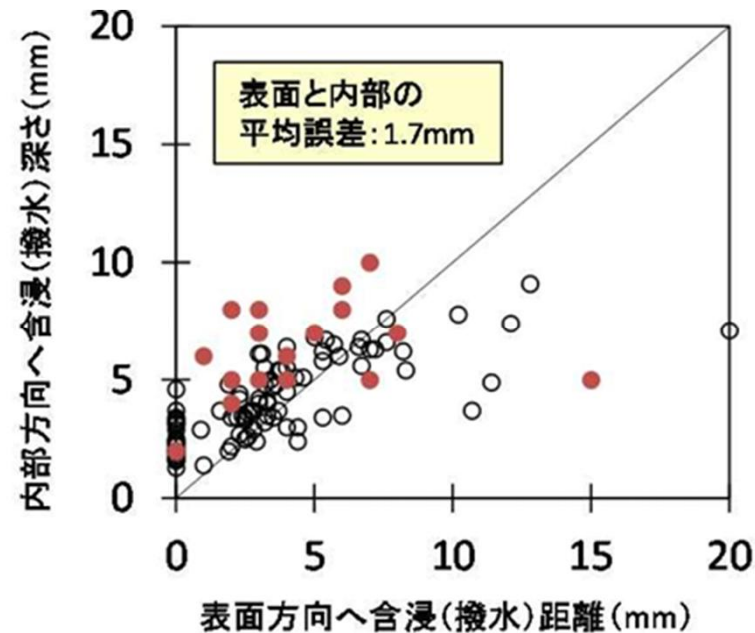
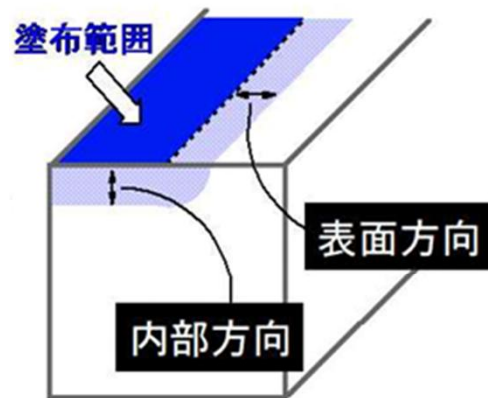
5. シラン系表面含浸材による予防保全

シラン系表面含浸材施工時の吸水防止層の非破壊測定法

- ・現在、塗布後の吸水防止層は管理されていない
- ・必要に応じてコア採取で確認は可能⇒効率的ではない



☆シラン系表面含浸材の含浸の特徴から簡易測定法を提案



測定面(無塗布)を作って
周りに含浸材を塗布



測定面



1日後に水を噴霧



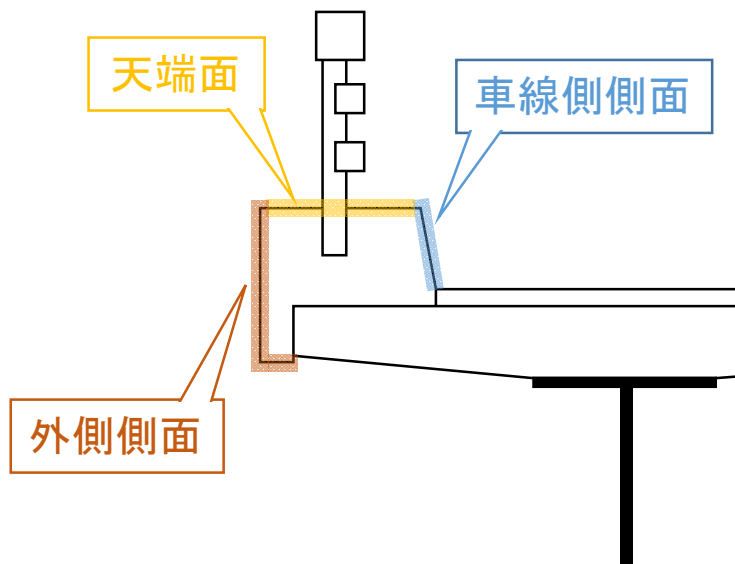
測定面の撥水域を測定して
吸水防止層の形成を確認

5. シラン系表面含浸材による予防保全

シラン系表面含浸材の耐久性(耐用年数)の実験結果

・実橋の地覆で試験施工を実施

- 曲線橋で4%の横断勾配を持ち、雨天時は水が集まりやすい
- 冬期の最低気温は -23°C で、凍結防止剤も散布される苛酷な環境に立地
- 試験施工後15年経過の暴露結果(シラン系5種類と無対策の比較)を報告



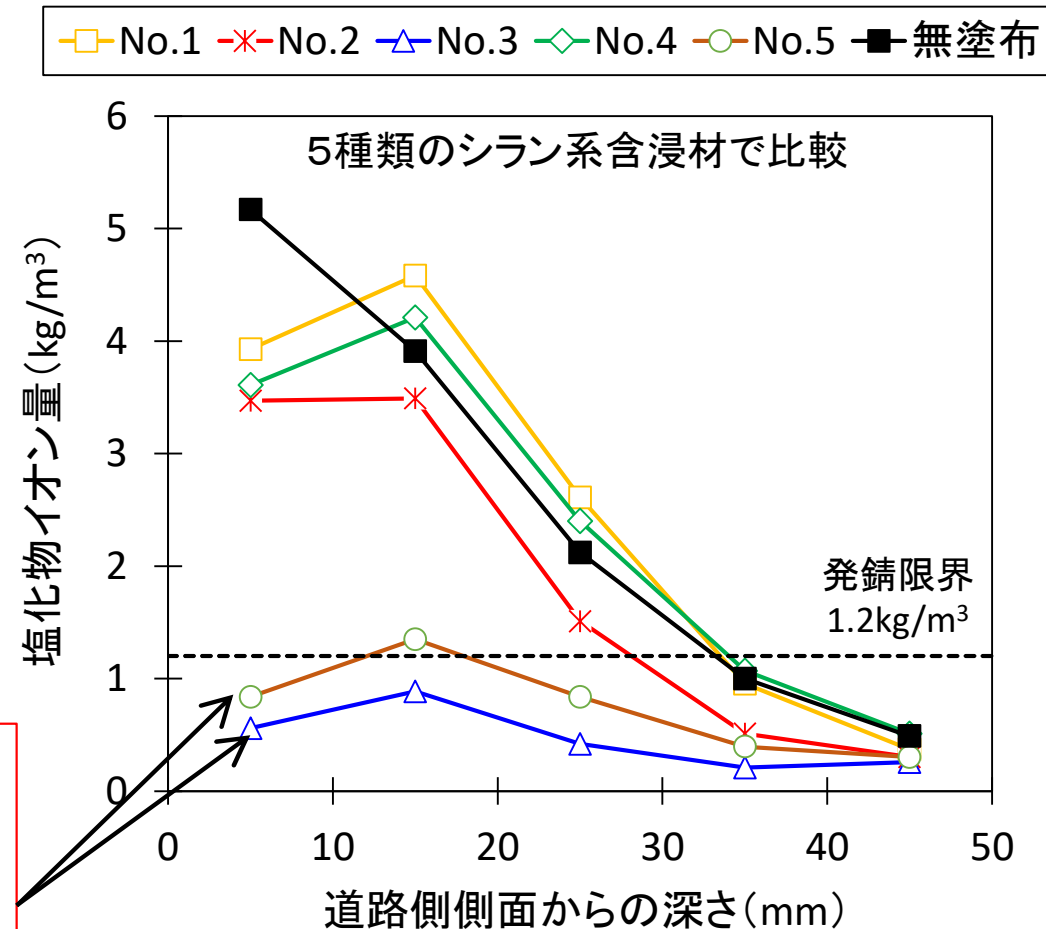
雨天時の様子

5. シラン系表面含浸材による予防保全

15年経過後の地覆コンクリート内部の塩化物イオン量(北海道)

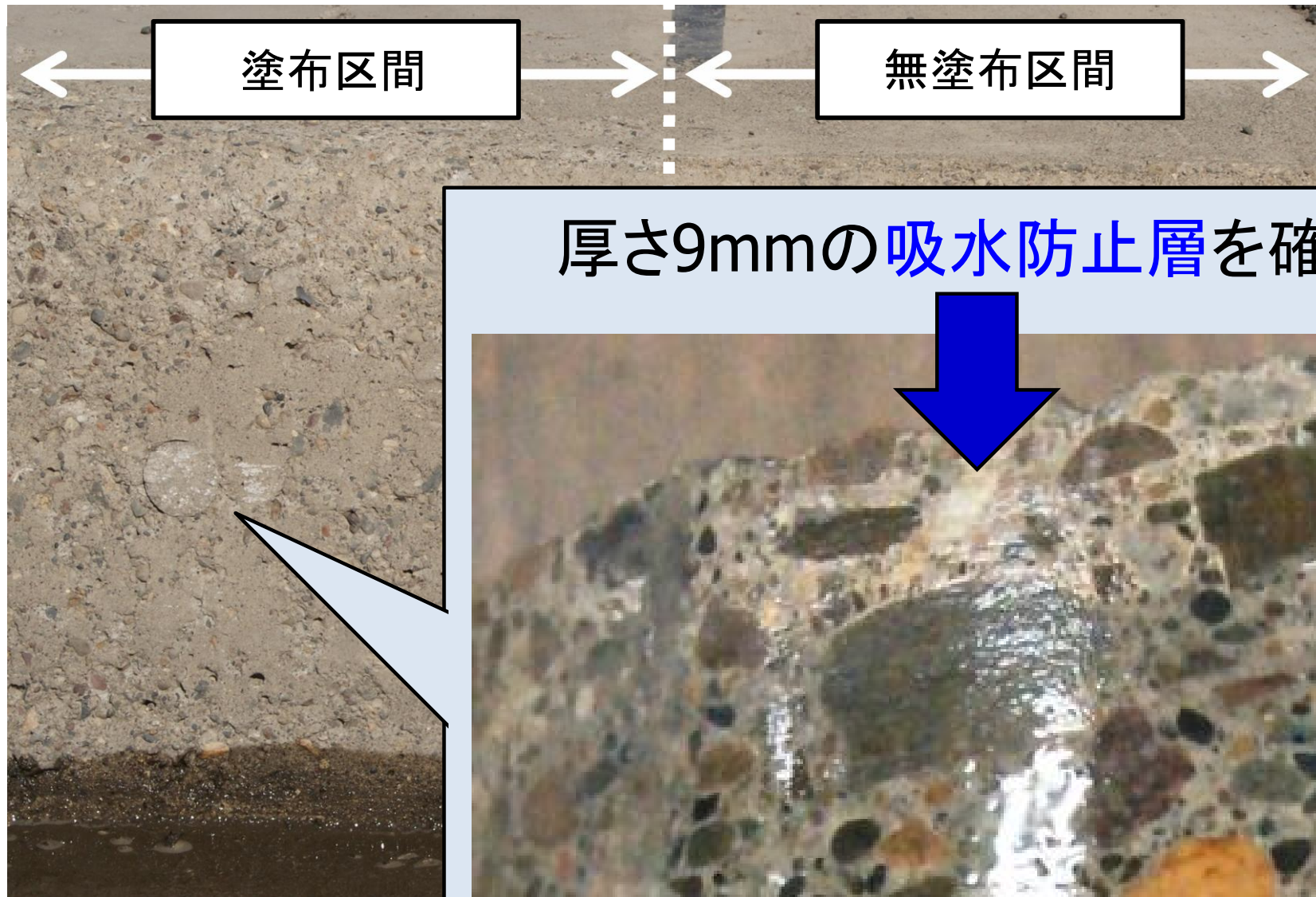
No.1,2,4は、含浸厚さが少なかったために、紫外線劣化とスケールリングで吸水防止層が消失

No.3,5は、吸水防止層が残存していた15年経過後でも塩化物イオンの浸透が抑制されている



5. シラン系表面含浸材による予防保全

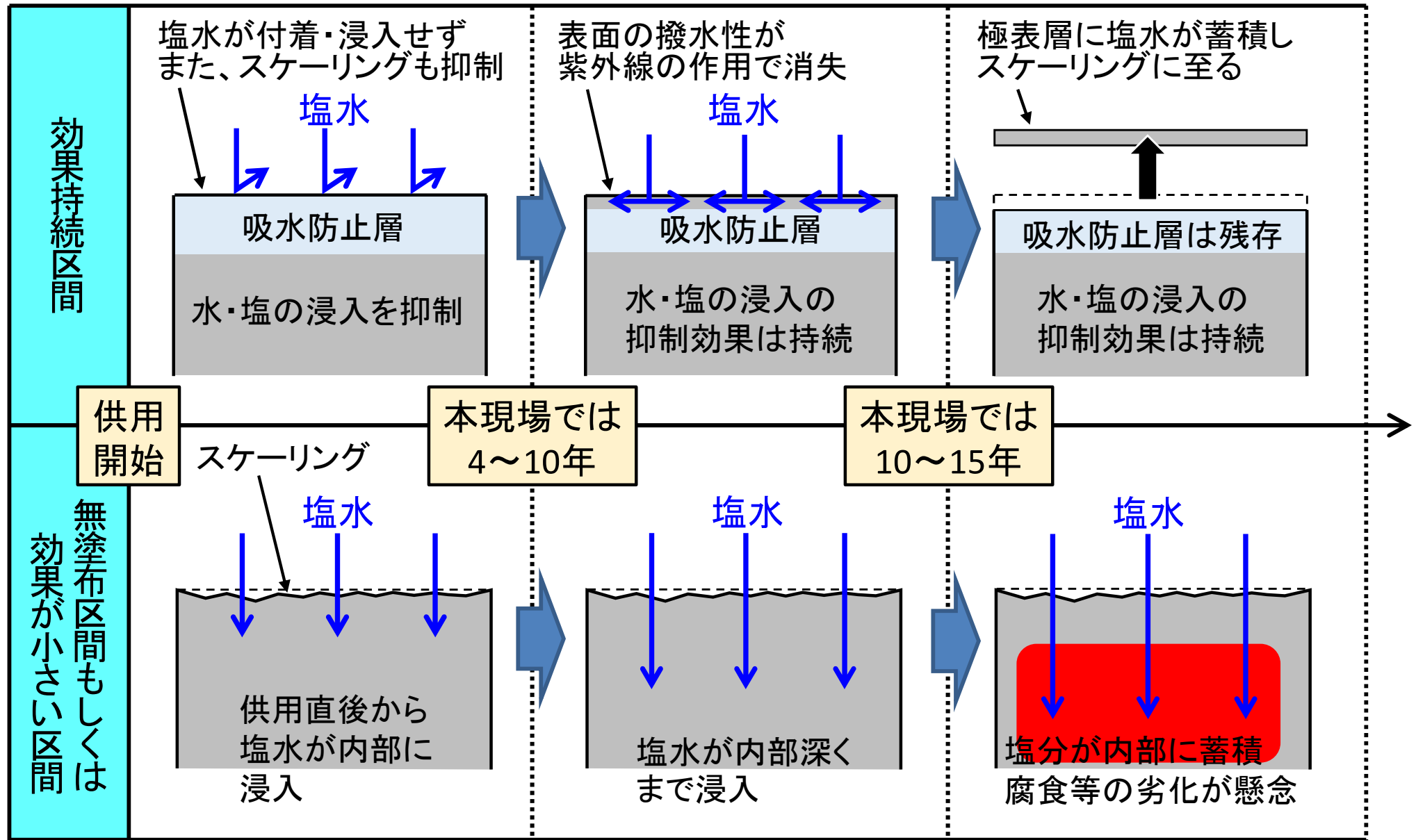
橋梁地覆に塗布後10年目(シラン系)



採取コアの側面に水を噴霧した状況

5. シラン系表面含浸材による予防保全

地覆コンクリートの15年間の経年変化のまとめ



本日の講義項目

1. はじめに
2. コンクリート構造物の事後保全と予防保全
3. コンクリート構造物の不具合
4. 積雪寒冷地域における補修の考え方
5. シラン系表面含浸材による予防保全
6. おわりに

6. おわりに

①劣化等の変状原因を確認・把握する

→変状箇所には原因がある・・・水みち，滞水，日当たり等

②対処（補修・予防）する目的を明確に

→何を直す・守るのか・・・コンクリート？鉄筋？

→何故対処するのか・・・劣化防止、腐食抑制、安全性確保など

③補修前の検討事項

→水処理を先に・・・水の供給がなくなればほぼ劣化しない

→寒冷地では補修材の温度性状等の把握が大事

・・・硬化前の補修材は元々低温には強くない

設計は，理論で○×とするが・・・ 維持管理では，
予想していなかった，考えていなかったことが問題となる

ご清聴ありがとうございました



技術相談

コンクリートに関して(個別・直通)

011-841-1719 (耐寒材料チーム)

総合窓口 011-590-4050 (寒地技術推進室)

mail: gijutusoudan@ceri.go.jp