

平成29年度中国地方建設技術開発交流会

コンクリート構造物の長寿命化に向けて

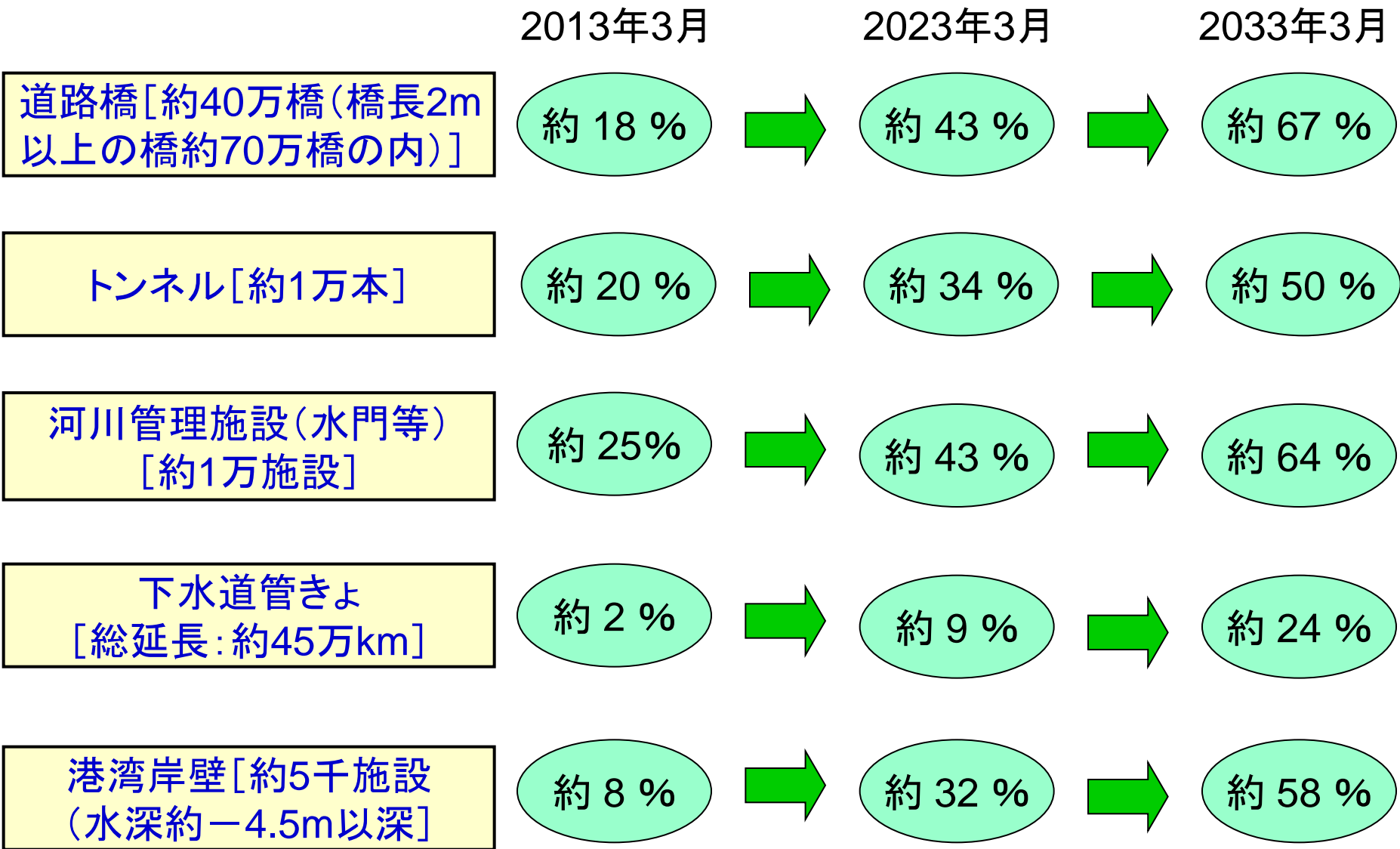
平成29年11月7日(火)

倉吉未来中心



黒田 保

1. 社会インフラの現状
2. 人材育成
3. 品質確保に向けたコンクリート施工に関する最近の取組み
4. アルカリシリカ反応抑制対策に関する最近の取組み
5. 電気防食工法におけるASRに配慮した通電方法の検討
6. インフラ維持管理における今後の展開

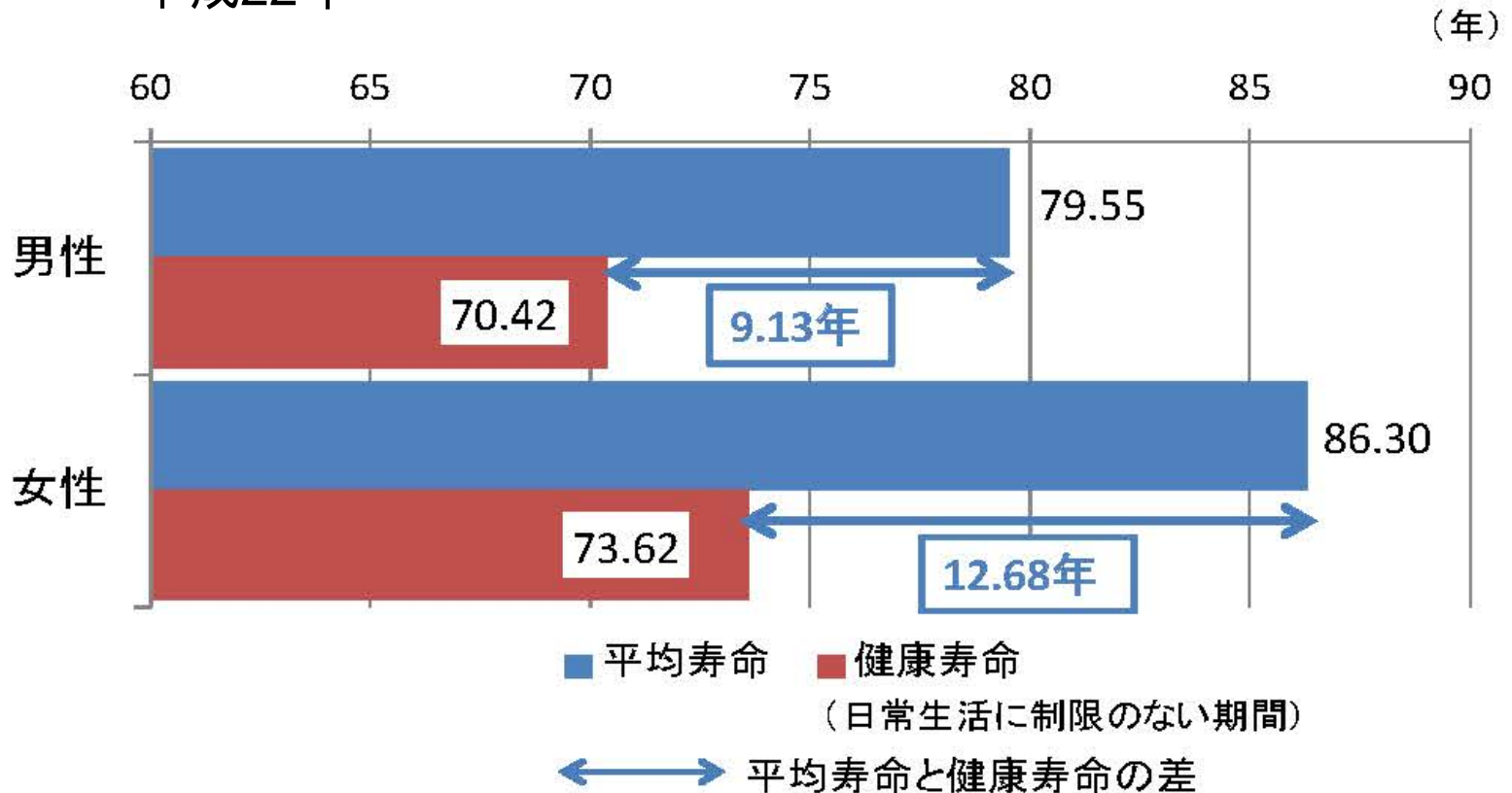


建設後50年を経過する社会資本の割合(国土交通白書2014)

(※ 建設年度不明のものは割合の算出にあたり除いている)

平均寿命と健康寿命

平成22年

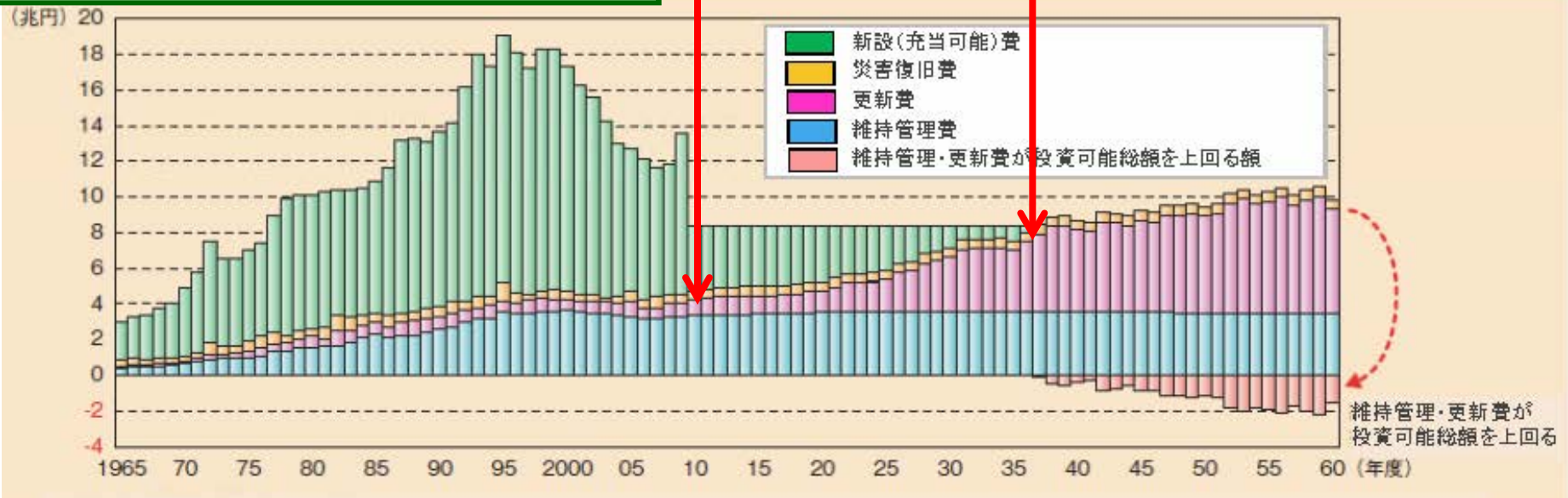


※ 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会・次期国民健康づくり運動
プラン策定専門委員会「健康日本21(第二次)の推進に関する参考資料」

維持管理費・更新費が 投資総額に占める割合

2010年度:50% 2037年度:上回る

(従来どおり維持管理・更新
をした場合)



維持管理・更新費の推計(平成21年度国土交通白書)

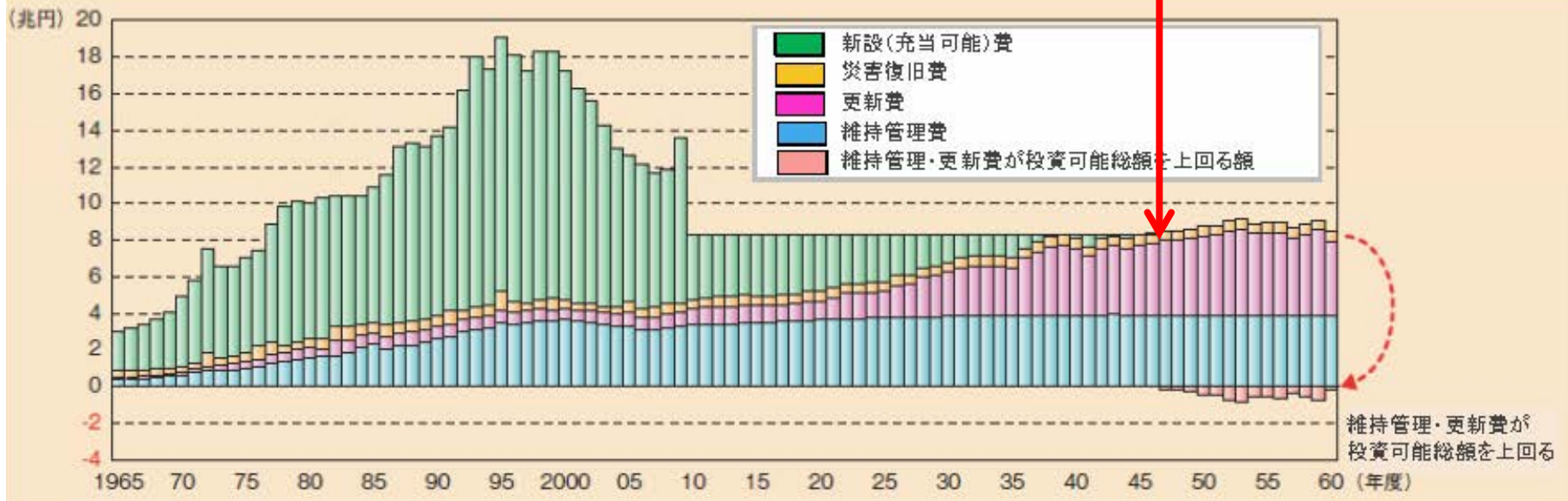
2011年度から2060年度までの50年間に必要な更新費 約190兆円
(そのうち更新できないストック量 約30兆円)

維持管理費・更新費が
投資総額に占める割合

2047年度：上回る

(10年延びた)

(予防保全の取組みを先進地方公共団体
並みに全国に広めた場合)



維持管理・更新費の推計(平成21年度国土交通白書)

更新できないストック量 約6兆円
(約30兆円から大幅に減少)

道路の老朽化対策の本格実施に関する提言

社会資本整備審議会 道路分科会(平成26年4月14日)

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。

道路(平成25年4月現在)

橋梁(橋長2m以上)

国 27,222 橋

高速道路会社 16,438 橋

都道府県 129,916 橋

政令市 47,593 橋

市区町村 478,068 橋 68.4%

93.8%

トンネル

国 1,299 本

高速道路会社 1,583 本

都道府県 4,790 本

政令市 335 本

市区町村 2,369 本 22.8%

72.2%

道路

橋梁(約70万橋),トンネル(約1万本)等については, **5年に1回**,
近接目視による点検を省令にて規定

(平成26年3月公布, 同年7月施行)

国土交通省による試算

2013年度の維持管理・更新費は約3.6兆円, 10年後は約4.3~
5.1兆円, 20年後は約4.6~5.5兆円程度

地方公共団体での問題

予算不足, 人材不足, 技術力不足

人材育成

国土交通省での取組み

地方公共団体職員も対象に含めて研修を実施(3~5日間) [2014年度~]

教育機関での取組み

✓ 社会基盤メンテナンスエキスパート (岐阜大学)

対象分野: 橋梁, トンネル, 地盤・土構造, 舗装, 水道, 河川構造,
マネジメント

(長岡技術科学大学, 山口大学, 愛媛大学も参加)

✓ 道守 (長崎大学)

- ・道守 [技術士レベルに相当, 道路全体の維持管理ができるレベル]
- ・特定道守 [健全度診断ができるレベル]
- ・道守捕 [点検作業ができるレベル]
- ・道守補助員 [日常観察で異常に気づく程度のレベル]

道路施設の適正な管理(安全・安心な県土の保全)

学(岐阜大学)

- 岐阜大学はH20に「ME養成ユニット」を設置
- H20～H24 文部科学省科学技術戦略推進費を活用
- H25からは履修証明プログラムを活用



■認定者数(H26.12月末現在)

職区分	認定者数
国職員	12(4%)
県職員	52(19%)
市町村職員	29(10%)
団体職員	7(3%)
建設業	96(35%)
コンサルタント	80(29%)
小計	276(100%)

養成

官(岐阜県)

産(業界)

計画に基づいた適切な補修

社会資本メンテナンスプラン

- 道路利用者の視点に立ち、舗装や橋梁の損傷に加え斜面からの落石も考慮し、通行規制や孤立集落の発生などによる社会的な影響をリスクとして評価
- リスクが大きい区間から優先的に実施

現地確認



- ・リスクの大きい箇所の現地調査及び健全度の簡易評価
- ・補修要非の技術的判断を行う

評価

定期点検・緊急点検



- ・橋梁点検業務等の定期点検などにより、各施設の健全度を把握
- ・受注者MEとして維持管理業務において高度な技術力を活用

点検

民(地域住民)

防災モニター

- ・平成12年度から土木施設の異常等の通報制度
- ・県土木職員OBにより実施(58名)

ぎふ・ロード・プレーヤー

- ・平成13年度からボランティアによる道路施設の清掃、除草等の維持管理制度
- ・地域住民、企業、団体により実施(368団体 16,270人)

MS(社会基盤メンテナンスサポーター)

MEによる技術指導

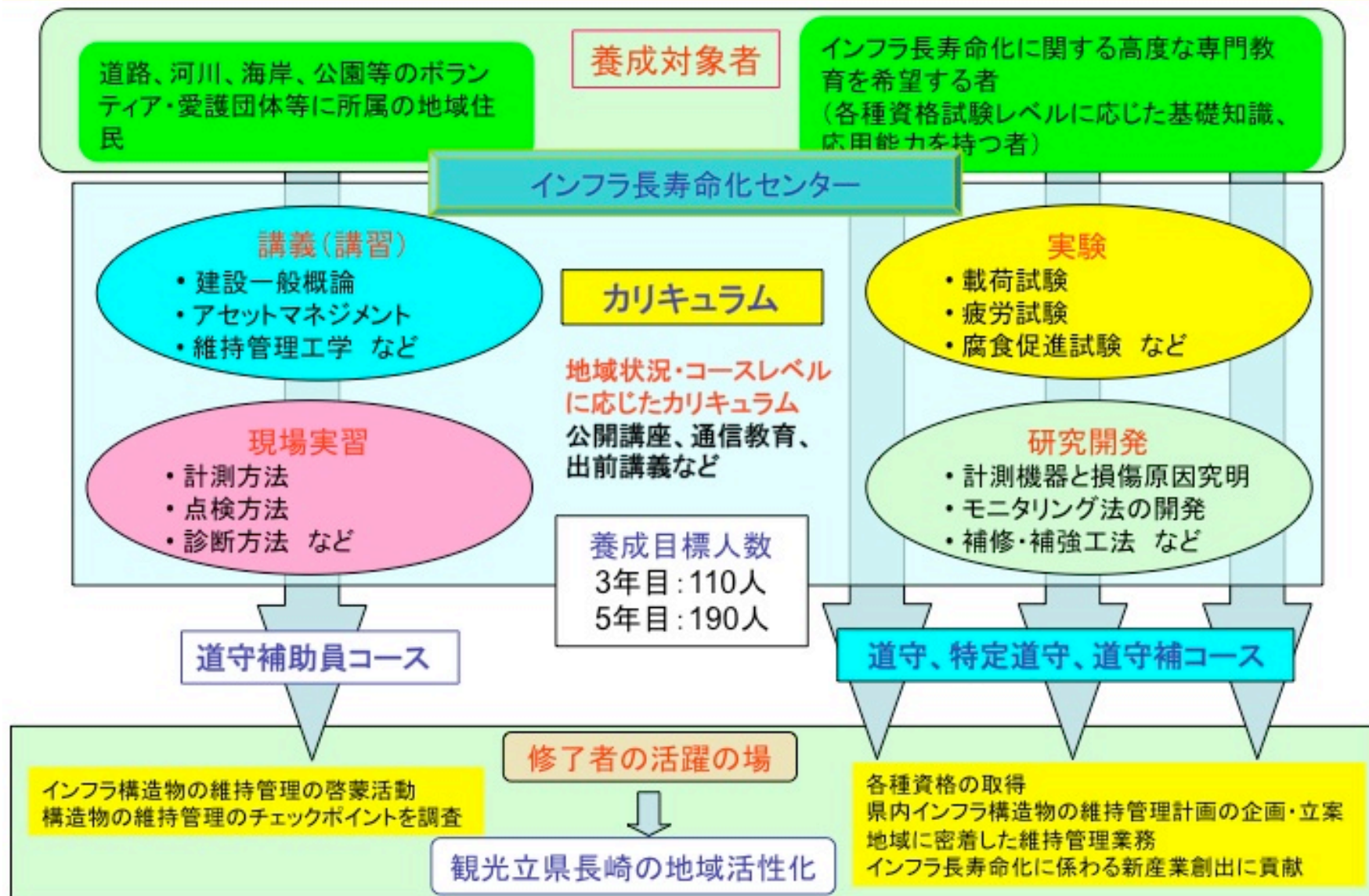


- ・平成21年度からボランティアによる道路施設の簡易点検及び異常の通報制度
- ・地域住民により実施(993名)

指導

ME(社会基盤メンテナンスエキスパート)

「観光ナガサキを支える“道守”養成ユニット」実施内容



道守等からの情報発信



情報

長崎大学
インフラ長寿命化センター

対応状況

対応状況

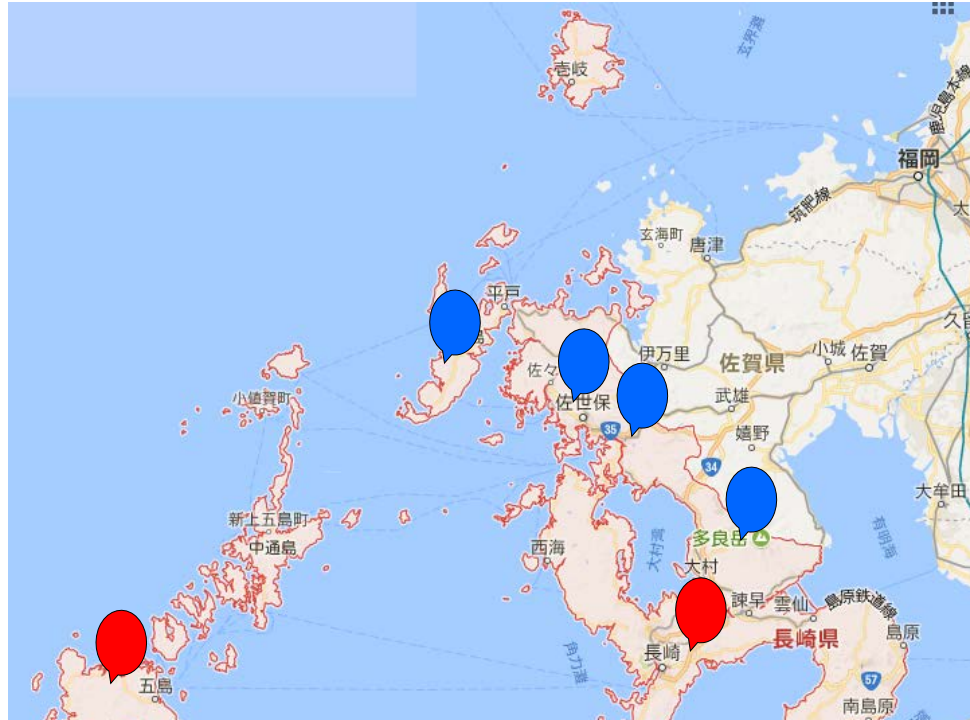
情報

情報: 道守シート

対応状況: 対応シート

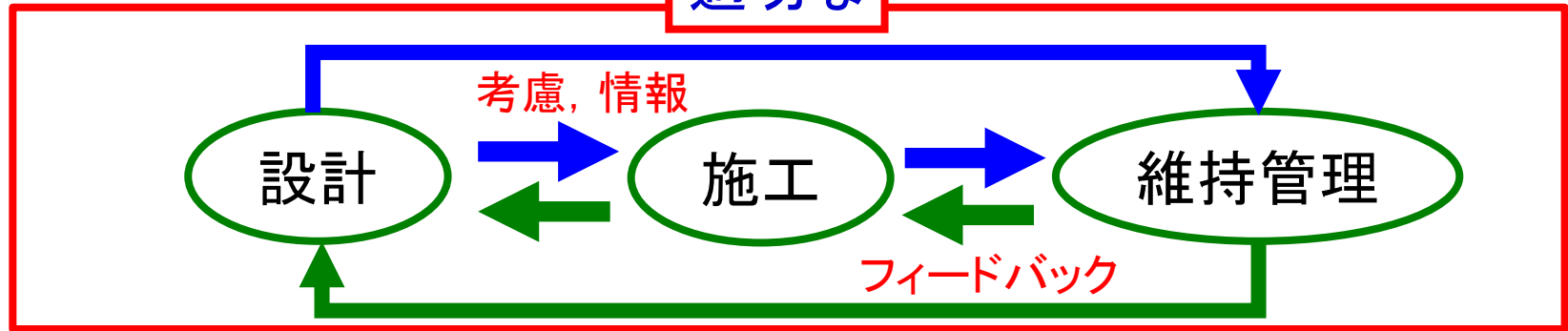
管理者
国, 県, 市, 町, 村

- ・道守
- ・特定道守
- ・道守補
- ・道守補助員



コンクリート構造物を長持ちさせるには

適切な



設計

施工

- ✓ 構造物の性能照査
 - 耐久性に関する照査
 - 安全性・使用性に関する照査
 - 耐震性に関する照査
 - 初期ひび割れに対する照査

- ✓ 施工方法
 - 鉄筋工
 - 型枠工
 - 運搬
 - 打込み
 - 締固め
 - 養生
 - 継目
 - 仕上げ
- ✓ コンクリートの配合設計
 - 材料の選定
 - 配合の選定
- ✓ コンクリートの製造
- ✓ コンクリートの性能照査

維持管理

✓ 診断

- 点検
- 劣化機構の推定
- 劣化進行予測
- 構造物の性能の評価
- 対策の要否の判定

✓ 対策

✓ 記録

劣化機構を正確に推定する



劣化進行予測を精度よく行う



構造物の性能を正しく評価する



適切な補修・補強を行なう(工法・材料・時期)

所要の性能(強度, 耐久性, 水密性など)を保有する コンクリート構造物を施工するための留意点

- ✓ 使用材料の管理
- ✓ 材料の正確な計量とその均一な混合
- ✓ 分離の少ない方法による運搬と打込み
- ✓ 入念な締固め
- ✓ 十分な養生

設計条件

構造物の寸法,
形状, 鉄筋の
あき間隔

設計基準
強度

耐久性
水密性

施工条件

品質管理

運搬, 打込み,
締固め

配合条件の決定

粗骨材の
最大寸法

配合強度

水セメント比

スランプ

空気量

配合計算

単位水量

単位セメント量

混和材添加量

単位粗骨材量

単位細骨材量

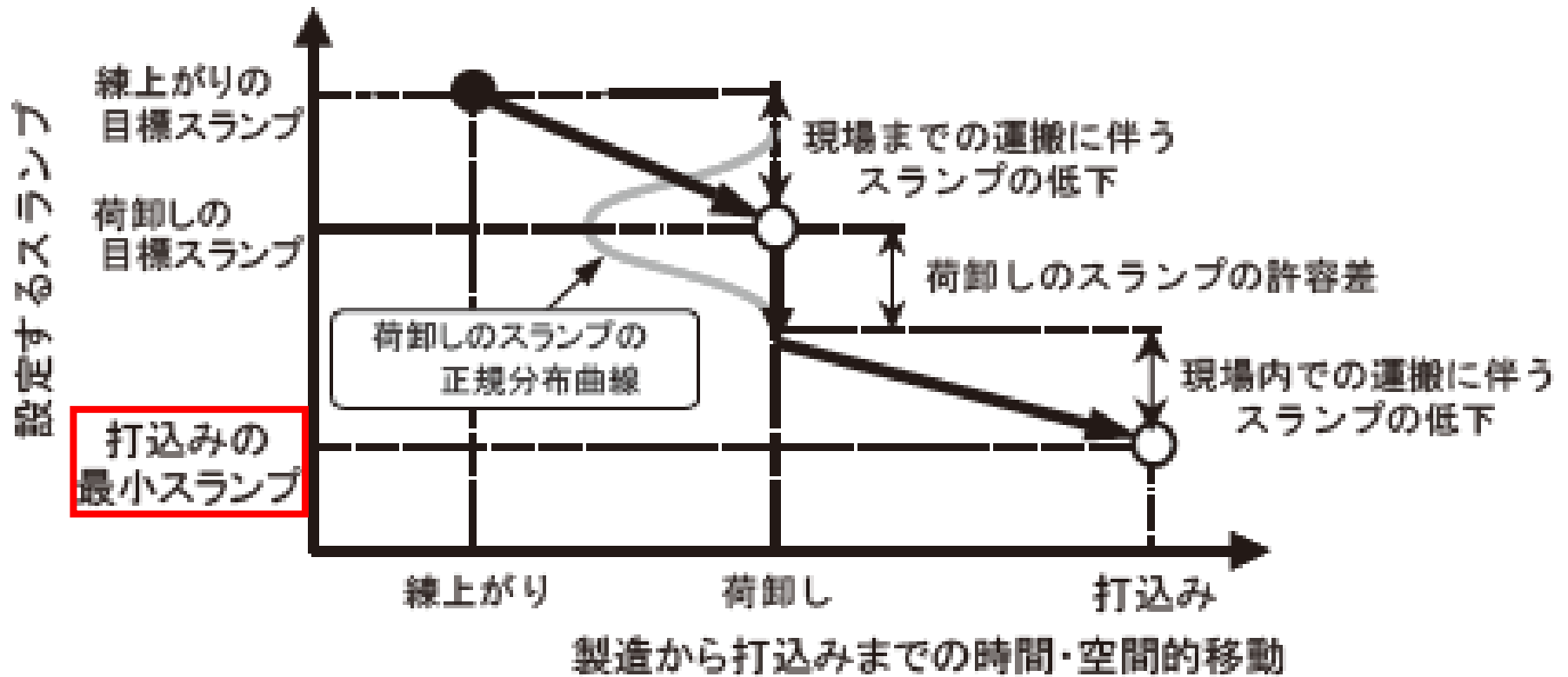
材料条件

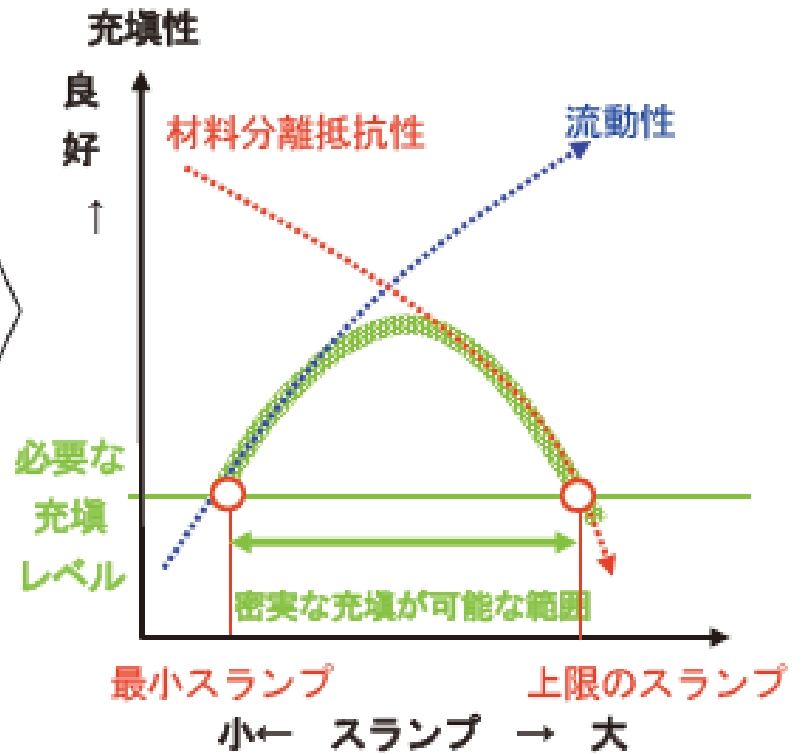
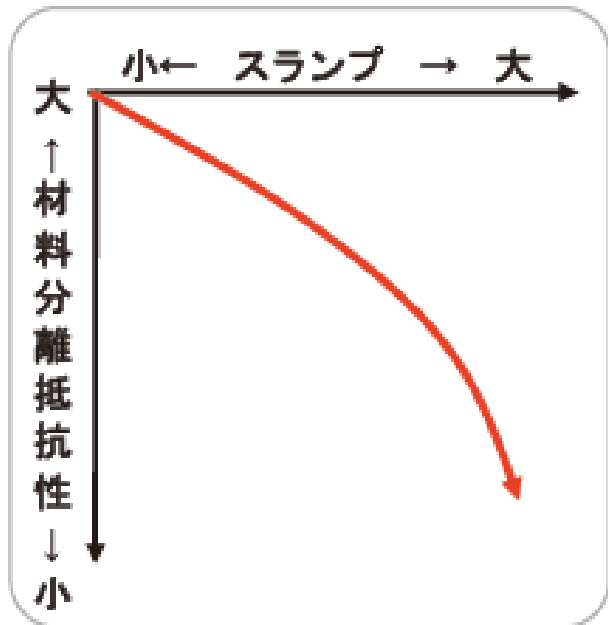
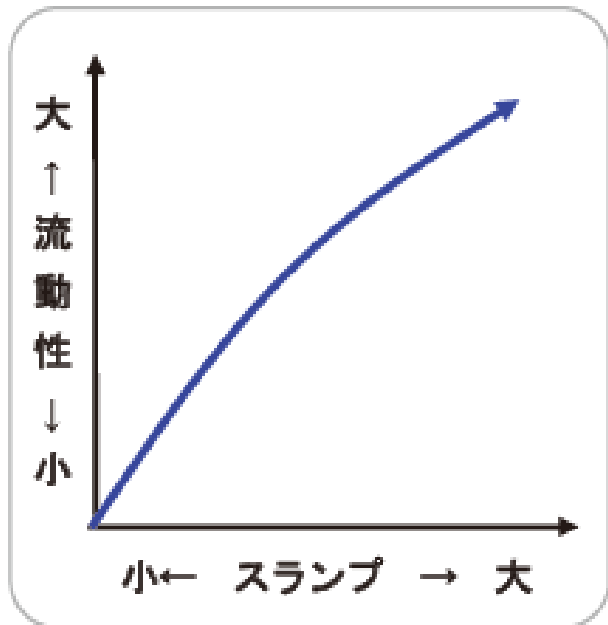
骨材の
品質

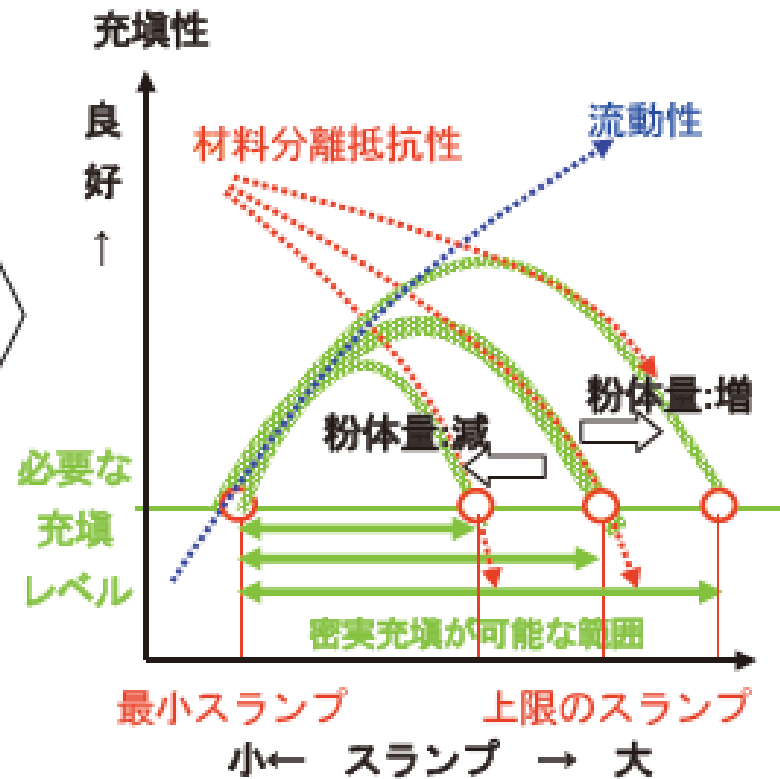
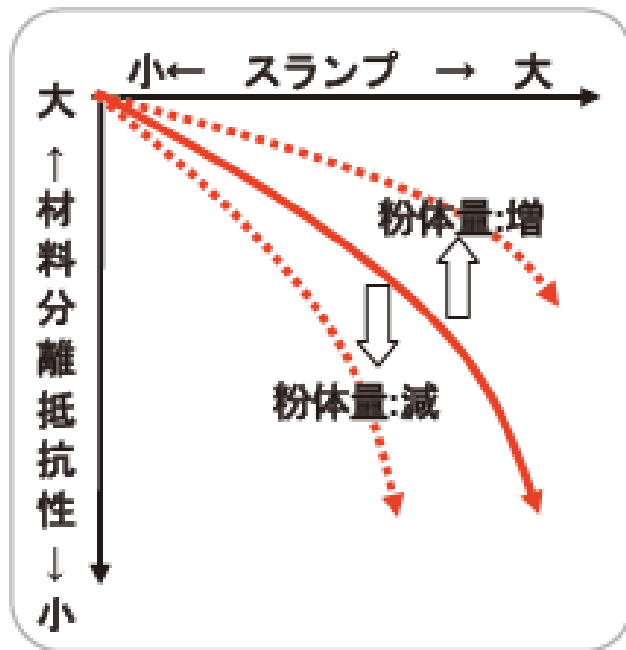
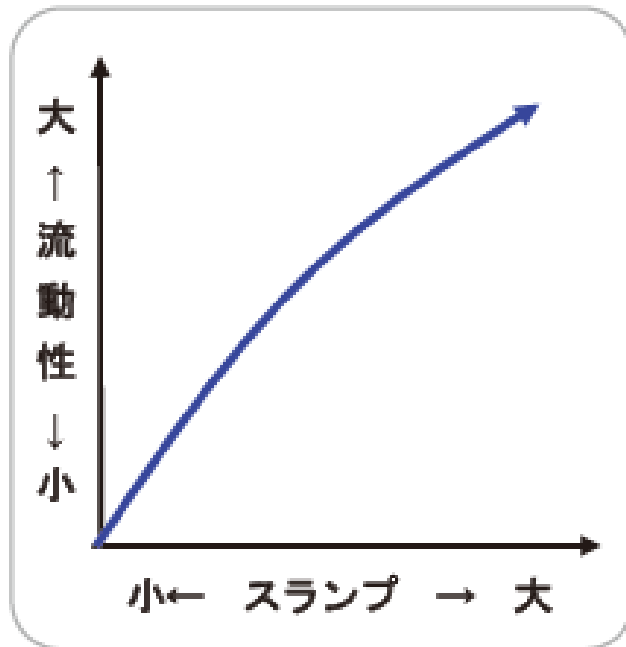
混和材料
の使用

配合案の決定

コンクリートのスランプの選定

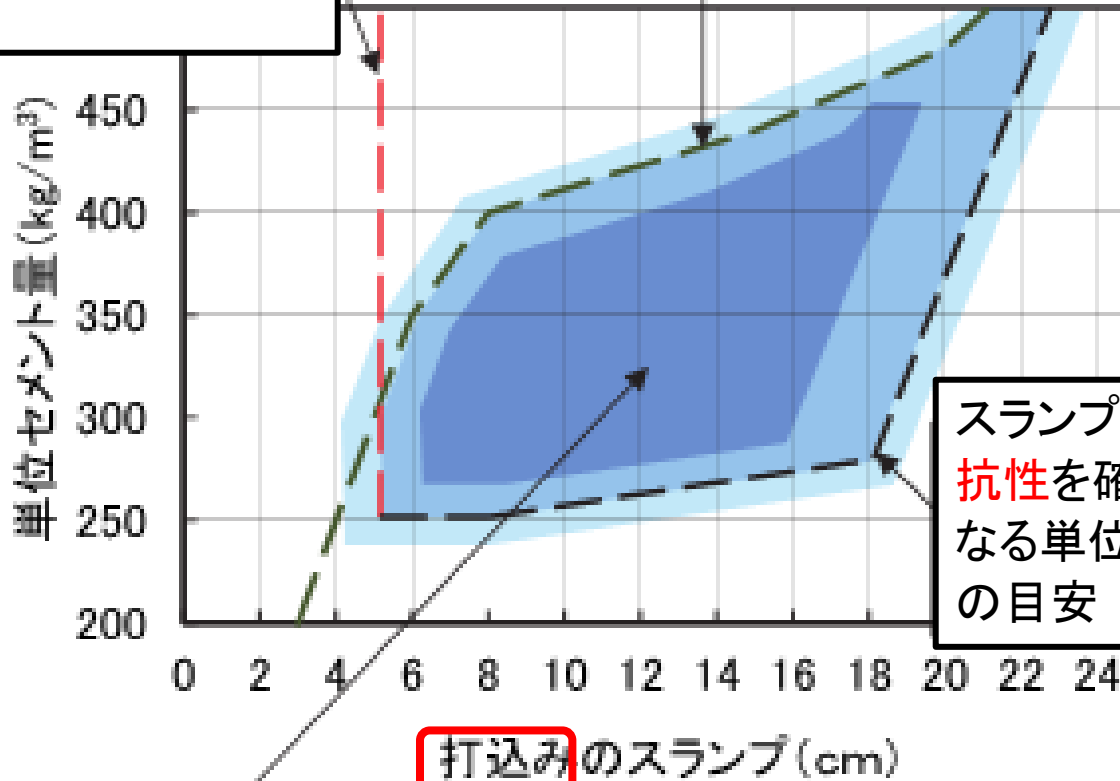






適切に打込みを行うために必要となるスランプの下限値の目安

スランプに応じた振動締固めの容易さを確保するために必要となる単位セメント量の上限値の目安

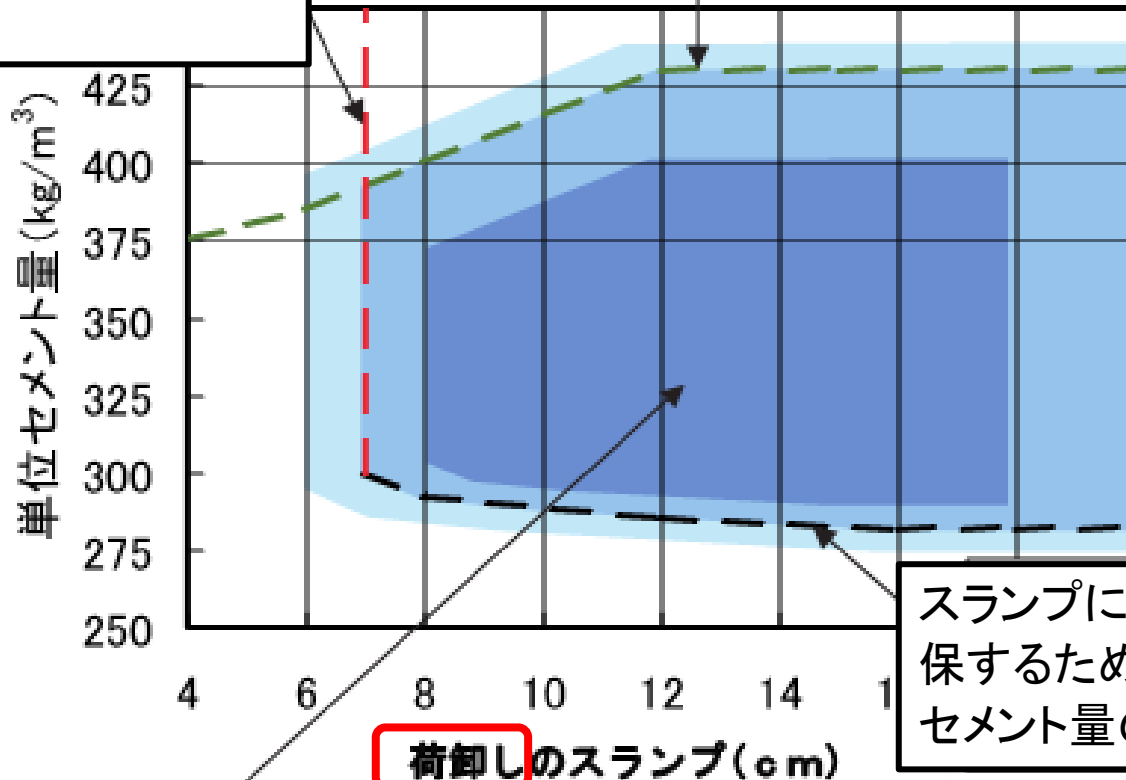


スランプに応じた材料分離抵抗性を確保するために必要となる単位セメント量の下限値の目安

色の濃い領域ほど、その施工条件に対して適切なバランスを有する配合と考えられることを示す

適切に**圧送**を行うために必要となるスランプの下限値の目安

スランプに応じた**圧送性**を確保するために必要となる単位セメント量の上限値の目安



スランプに応じた**圧送性**を確保するために必要となる単位セメント量の下限値の目安

色の濃い領域ほど、その施工条件に対して適切なバランスを有する配合と考えられることを示す

構造設計上で必要とされる
強度

耐久性から必要とされる当該コ
ンクリートの目標水セメント比

施工性から必要とされる単位
セメント量

①設計基準強度を満足する呼び強度

②耐久性を満足する呼び強度

③施工性を満足する呼び強度

JIS A 5308のレディミクストコンク
リートの種類の中から、当該設計
基準強度を満足する呼び強度

レディミクストコンクリート工場
の配合一覧表から、当該水セ
メント比を満足する呼び強度

レディミクストコンクリート工場
の配合一覧表から、当該スラン
プにおいて、その単位セメント
量を満足する呼び強度

*) 目標水セメント比とは、目標
とする平均値であり、最大値
のことではない

これら3通りの呼び強度の範囲の
中からすべてを満たす呼び強度の
配合を選定

耐久性の確認を行い、不適合
であれば、材料・配合などの
変更を行い、適合するまで呼
び強度の選定を繰り返す

山口県が開発した施工管理状況チェックシート

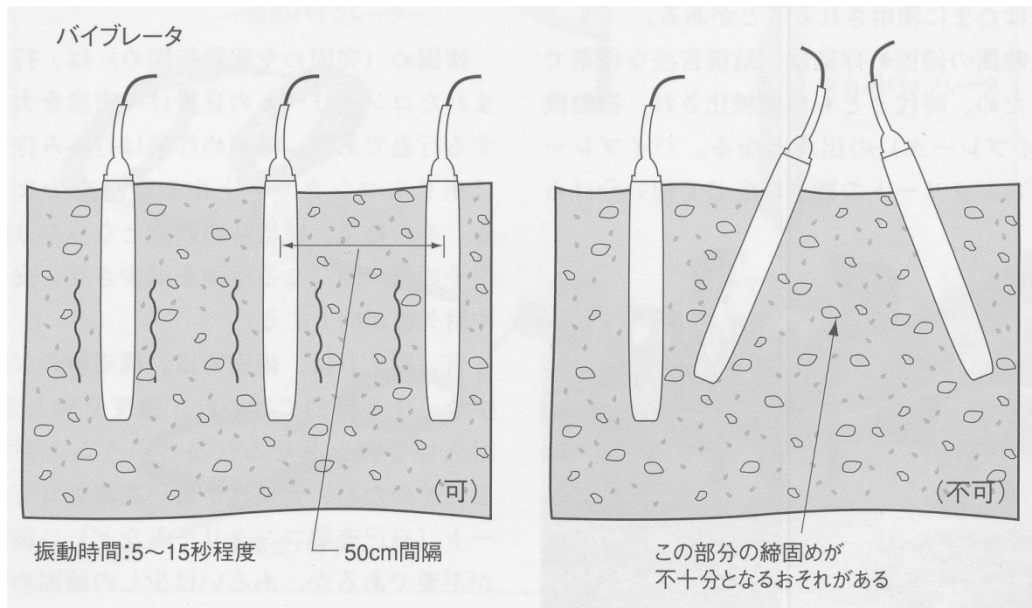
【 施 工 状 況 把 握 チェックシート(コンクリート打込み時)】								
事務所名	〇〇土木建築事務所		工事名	県道〇〇線 道路改良工事		工区	1	
構造物名	〇〇橋 A1橋台		部位	たて壁		リフト	2	
受注者	〇〇建設(株)		確認者	〇〇技師				
配合	27-8-20BB		確認日時	2012/10/11(木) 7:30~13:30				
打込み開始時刻	予定	8:00	実績	8:10	打込み開始時気温	22.0℃	天候	曇のち晴
打込み終了時刻	予定	12:00	実績	12:20	打込み量(m ³)	80	リフト高(m)	3.0
施工段階	チェック項目						記述	確認
準備	運搬装置・打込み設備は汚れていないか。						-	○
	型枠面は濡らせているか。						-	○
	型枠内部に、木屑や結束線の異物はないか。						-	※1
	かぶり内に結束線はないか。						-	○
	硬化したコンクリートの表面のレイタンス等は取り除き、ぬらしているか。						-	○
	コンクリート打込み作業人員(※)に余裕を持たせているか。						8人	○
	予備のバイブレータを準備しているか。						4台中1台	○
運搬	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。						-	○
	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。						50分	○
打込み	ポンプや配管内面の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。						-	○
	鉄筋や型枠は乱れていないか。						-	○
	横移動が不要となる適切な位置に、コンクリートを垂直に降ろしているか。						-	○
	コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。						-	○
	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。						-	○
	一層の高さは、50cm以下としているか。						50cm	○
	2層以上に分けて打ち込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか。						-	○
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか。						約1.8m	※2
締固め	表面にブリーディング水がある場合には、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。						-	○
	バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。						-	○
	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は50cm以下としているか。						-	○
	締固め作業中に、バイブレータを鉄筋等に接触させていないか。						-	○
	バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。						-	○
養生	バイブレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。						-	○
	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。						-	○
	コンクリートの露出面を湿润状態に保っているか。						養生については、後日記入をする。	10日間
	湿润状態を保つ期間は適切であるか。						-	○
要改善事項等	型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。						-	○
	※1 型枠内部に結束線(3本)が落ちていたため、打込み前に取り除かせた。 ※2 排出口から打込み面までの高さが、明らかに1.5m以上であるため、口頭で注意したところ、是正された。 上記※1、※2については是正を確認するため、次回打込み時も施工状況把握を行うことを、工事打合せ簿にて通知する。							

【 施 工 状 況 把 握 チェックシート(コンクリート打込み時)】

事務所名	〇〇土木建築事務所			工事名	県道〇〇線 道路改良工事		工区	1	
構造物名	〇〇橋 A1橋台			部位	たて壁		リフト	2	
受注者	〇〇建設(株)			確認者	〇〇技師				
配合	27-8-20BB			確認日時	2012/10/11(木) 7:30~13:30				
打込み開始時刻	予定	8:00	実績	8:10	打込み開始時気温	22.0℃	天候	曇のち晴	
打込み終了時刻	予定	12:00	実績	12:20	打込み量(m ³)	80	リフト高(m)	3.0	
施工段階	チェック項目							記述	確認
準備	運搬装置・打込み設備は汚れていないか。							—	○
	型枠面は湿らせているか。							—	○
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。							—	※1
	かぶり内に結束線はないか。							—	○
	硬化したコンクリートの表面のレイタンス等は取り除き、ぬらしているか。							—	○
	コンクリート打込み作業人員(※)に余裕を持たせているか。							8人	○
	予備のバイブレータを準備しているか。							4台中1台	○
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。							—	○
運搬	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。							50分	○
	ポンプや配管内面の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。							—	○
	鉄筋や型枠は乱れていないか。							—	○
	横移動が不要となる適切な位置に、コンクリートを垂直に降ろしているか。							—	○
	コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打込みしているか。							—	○

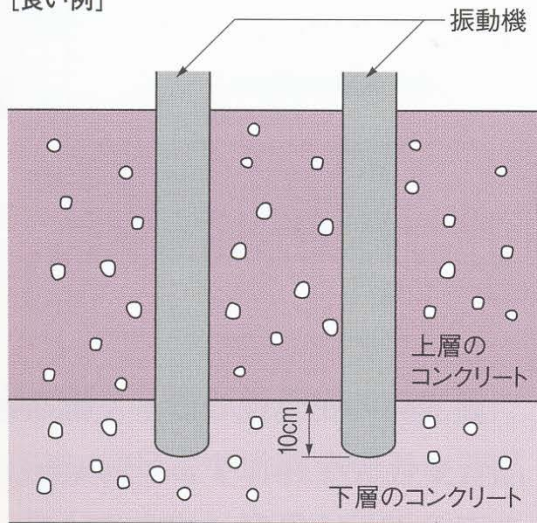
	鉄筋や型枠は乱れていないか。	—	○
	横移動が不要となる適切な位置に、コンクリートを垂直に降ろしているか。	—	○
	コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。	—	○
打込み	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。	—	○
	一層の高さは、50cm以下としているか。	50cm	○
	2層以上に分けて打ち込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか。	—	○
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか。	約1.8m	※2
	表面にブリーディング水がある場合には、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。	—	○
	バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。	—	○
	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は50cm以下としているか。	—	○
締固め	締固め作業中に、バイブレータを鉄筋等に接触させていないか。	—	○
	バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。	—	○
	バイブレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。	—	○
	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。	—	○
養生	コンクリートの露出面を湿潤状態に保っているか。	—	○
	湿潤状態を保つ期間は適切であるか。	養生については、 後日記入をする。 10日間	○
	型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。	—	○
要改善事項等	<p>※1 型枠内部に結束線(3本)が落ちていたため、打込み前に取り除かせた。</p> <p>※2 排出口から打込み面までの高さが、明らかに1.5m以上であるため、口頭で注意したところ、是正された。上記※1、※2についての是正を確認するため、次回打込み時も施工状況把握を行うことを、工事打合せ簿にて通知する。</p>		

※コンクリート打込み作業人員…コンクリートの打込み・締固め作業時の人員のうち、直接作業に携わらない者(監理・主任技術者やポンプ車運転手等)を除いた人員



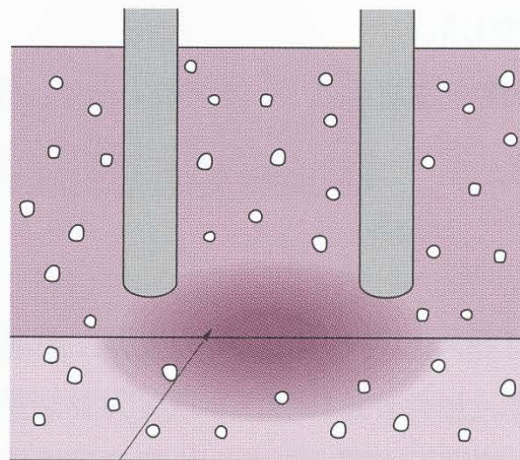
[コンクリート施工のコツがわかる本、セメントジャーナル社より]

[良い例]



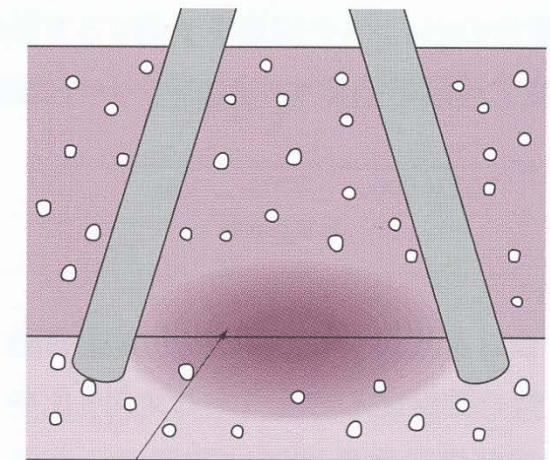
振動機は下層のコンクリートに10cm程度挿入し、締め固めることによって、上下層のコンクリートが一体化する。振動機の挿入間隔は50cm程度以下を目安とする

[悪い例①]



振動機の挿入深さが不足すると、下層部に締め固めが不十分な個所が生じる

[悪い例②]



振動機を斜めに挿入すると、下層のコンクリートまで達していても締め固めが不十分な個所が生じる恐れがある。垂直に挿入するのが基本

[現場で役立つコンクリート名人養成講座(改訂版), 日経BP社より]

施工管理状況チェックシートの活用

- ・山口県
 - ・横浜市
 - ・群馬県
 - ・新潟県
 - ・JR西日本
 - ・国土交通省東北地方整備局
- など

補修用 チェックシート

設計段階チェックシート(断面修復工法)

原因目的	断面欠損の原因は整理されているか 【材料、施工、豆板、浮き、かぶり不足、中性化、ASR、凍害、塩害、火災、すり減り、化学的腐食、構造、外力作用、その他()】			
	断面修復の目的は整理されているか 【耐久性、安全性、第三者被害、美観、その他()】			
調査設計	環境作用を確認したか 【塩化物イオン、外力、凍結融解、二酸化炭素、摩耗、その他()】			
	近接による調査を行ったか			
	鉄筋かぶりを確認したか			
	中性化深さを確認したか			
	塩分濃度を確認したか			
	鉄筋の損傷状況を確認したか【健全、錆び、断面減少、破断、無筋】			
	断面補修する箇所および範囲は整理されているか(劣化部を除去する計画か)			
	使用する材料を確認したか 【無収縮モルタル、コンクリート、ポリマーセメント、樹脂モルタル、その他()】			
	断面補修の規模を確認したか(1箇所当たり)【 $\sim 0.3\text{m}^2$ 、 $0.3\sim 1.0\text{m}^2$ 、 $1.0\text{m}^2\sim$ 】			
	断面補修の厚みを確認したか【 $\sim 10\text{mm}$ 、 $10\sim 30\text{mm}$ 、 $30\text{mm}\sim$ 】			
	鉄筋が損傷している場合、鉄筋背面から20mm程度をはつり取っているか			
	断面修復の工法を確認したか 【左官工法、モルタル注入工法、コンクリート充填工法、吹き付け工法、その他()】			
	今後の劣化を促進させる要因を取り除いたか			
図面数量	補修する箇所および範囲が明確にされているか			
	詳細図および施工手順が明記されているか			
	補修材料の種類が明記されているか			
	カッター工(フェザーエッジ対策)が明記されているか			
	下地処理が明記されているか【プライマー塗布、鉄筋錆び除去、鉄筋防錆、その他】			
	施工時に留意する事項が明記されているか			

※ 国枝稔ほか:チェックシートを用いた補修品質の向上に向けたしくみづくり,
コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, 第17巻, pp.621-624, 2017


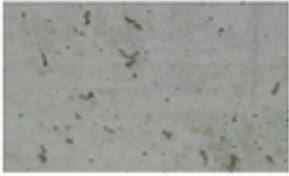


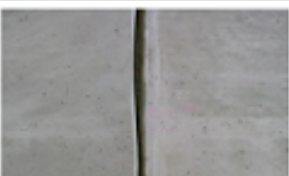

施工段階チェックシート(断面修復工法)

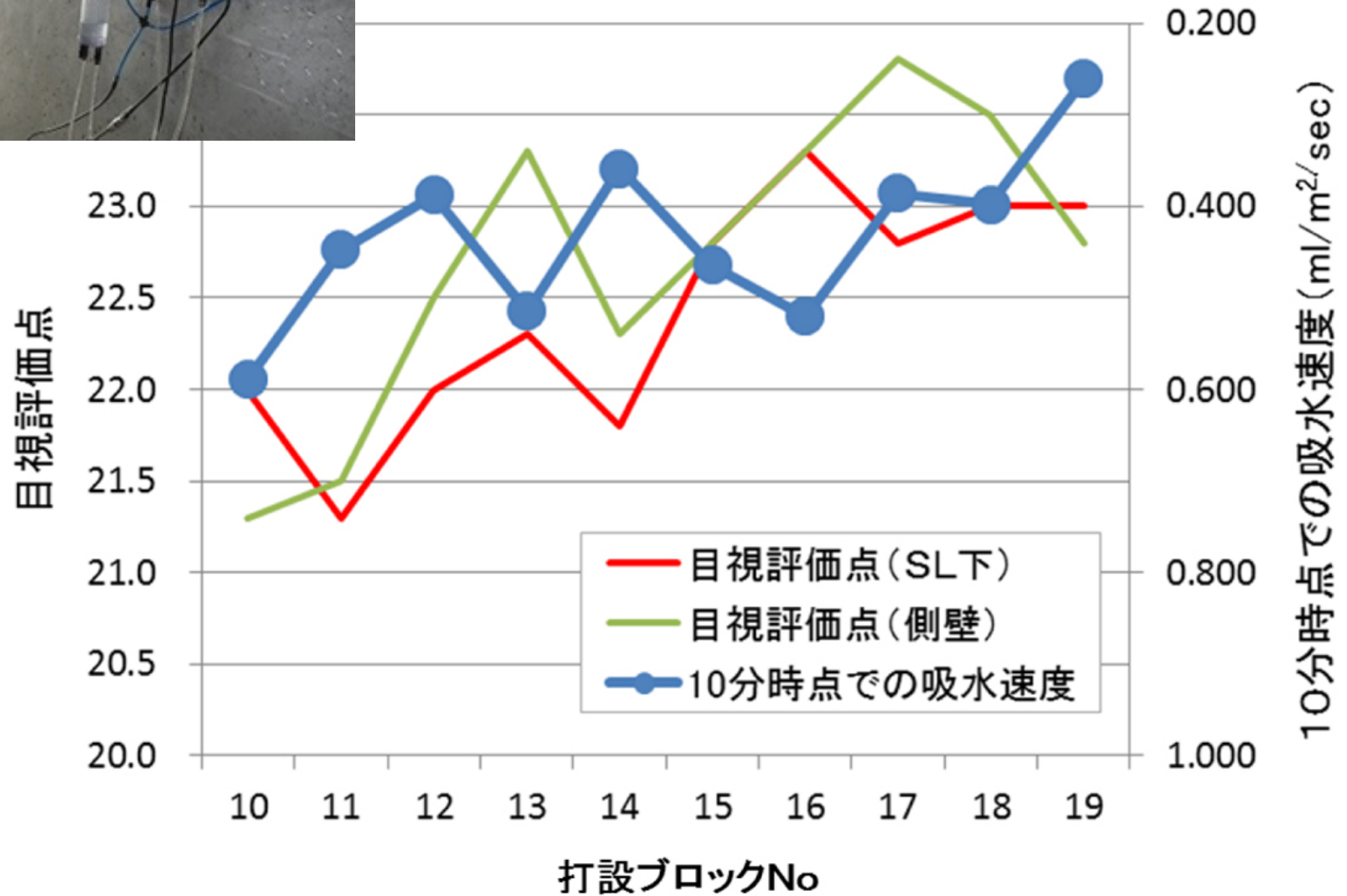
調査準備	1	設計段階チェックシートから目的の確認を行ったか			
	2	打音検査によりコンクリートの浮き、剥離箇所を確認し、施工範囲の特定をしたか			
	3	仕様書、材料カタログ等から施工手順等の確認を行ったか			
	4	降雨、降雪、湧水、外気温等への対策準備をしているか			
	5	直射日光や強風による乾燥ひび割れの防止、養生シートなどの用意をしてあるか			
劣化部除去	6	はつり端部を10～20mm程度、カッターで切り込みを入れているか			
	7	できる限り平坦に除去しているか			
	8	劣化除去部のはつり屑やはつり粉を高圧洗浄機・ブロワ等で十分に清掃したか			
	9	はつり完了後、打音検査等して劣化部が残っていないか確認したか			
鉄筋防錆処理	10	ケレン棒やディスクサンダー等で鉄筋の錆を除去してあるか			
	11	鉄筋の錆を除去後、鉄筋防錆剤を塗り残しなく塗布したか			
	12	防錆剤の配合は、メーカーの指定する仕様か確認したか			
断面修復	13	コンクリート含水率は、メーカーの指定する範囲内か(%以下) 最大 %			
	14	メーカーの指定する外気温以下の場合(シート養生・保温措置・寒冷地仕様の材料使用)			
	15	プライマーの塗りむらがないか			
	16	断面修復材をメーカーの指定する混合比で練混ぜたか			
	17	練混ぜ時間の確認、過度の練混ぜによる泡の巻き込みがないか			
	18	断面修復材を金コテ等でしごき塗りを実施し、平滑に仕上げたか			
養生	19	養生温度がメーカーの指定以下になると予想される場合は、加温しているか			
	20	メーカーの指定する期間、養生を行ったか(以上 以上) 最低 °C			
	21	強風、日射、降雨、降雪等の影響を受けないようシート等で覆っているか			

※ 国枝稔ほか:チェックシートを用いた補修品質の向上に向けたしくみづくり,
コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, 第17巻, pp.621-624, 2017

鹿島と横浜国立大学が開発した目視評価法

トンネル覆工目視評価点

調査時期	脱型直後から初期養生終了後にかけて実施				
調査方法	・近接できない範囲は、覆工センターから照明を当てながら観察				
	評価点	4	3	2	1
① 剥離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m ² 程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる
② 気泡 (1.5m×1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡がほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる
③ 水はしり・砂すじ		無し	一部に見られる(全体の1/10程度)	やや多く見られる(全体の1/3程度)	2点の状態以上に広範囲に見られる
④ 色むら、打重ね線		ほぼ無し	一部に見られる(全体の1/10程度)	全体の半分程度にみられる	2点の状態以上に広範囲に見られる
⑤ 施工目地不良		無し	一部に見られる(1/10程度)	多く見られる(1/3程度)	側壁全てに見られる(天端に見られたら1)
⑥ 検査窓枠段差		無し	1箇所程度見られる	2～3箇所見られる	3箇所を越える個所に発生



国土交通省

【試行】現場打ちコンクリートの品質向上に向けた取り組み

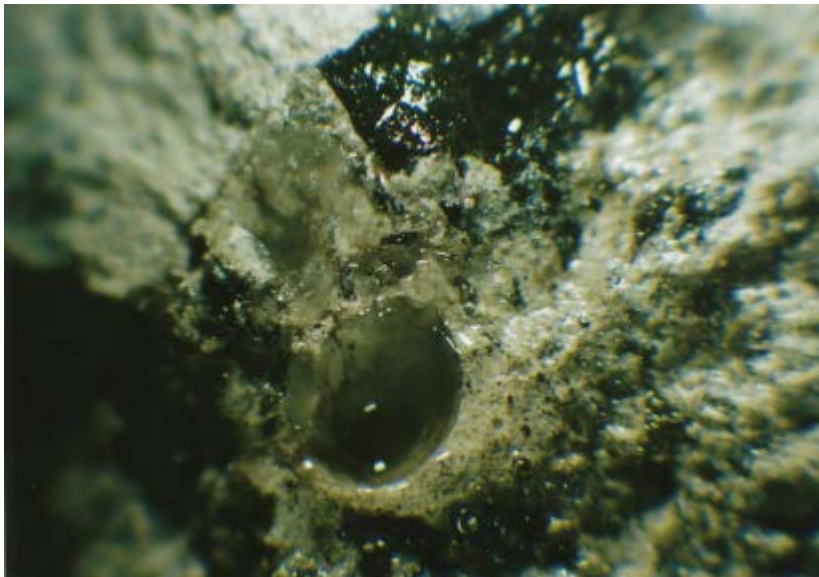
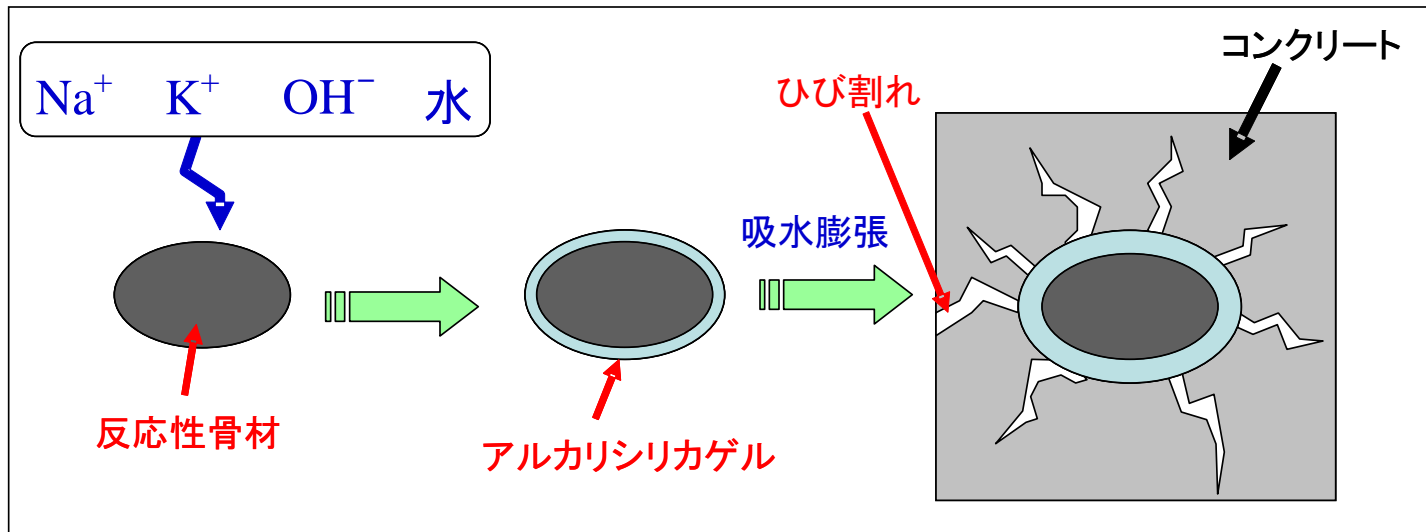
発注者が実施

- ✓ コンクリート施工状況把握チェックシート
- ✓ 表層目視評価シート

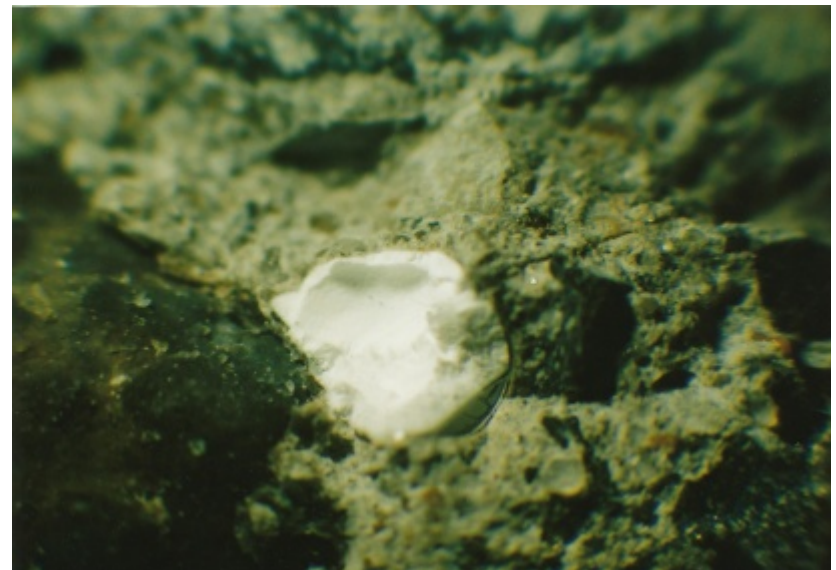
コンクリート構造物の劣化機構

- ・ 中性化
- ・ 塩害
- ・ 凍害
- ・ 化学的侵食
- ・ アルカリシリカ反応

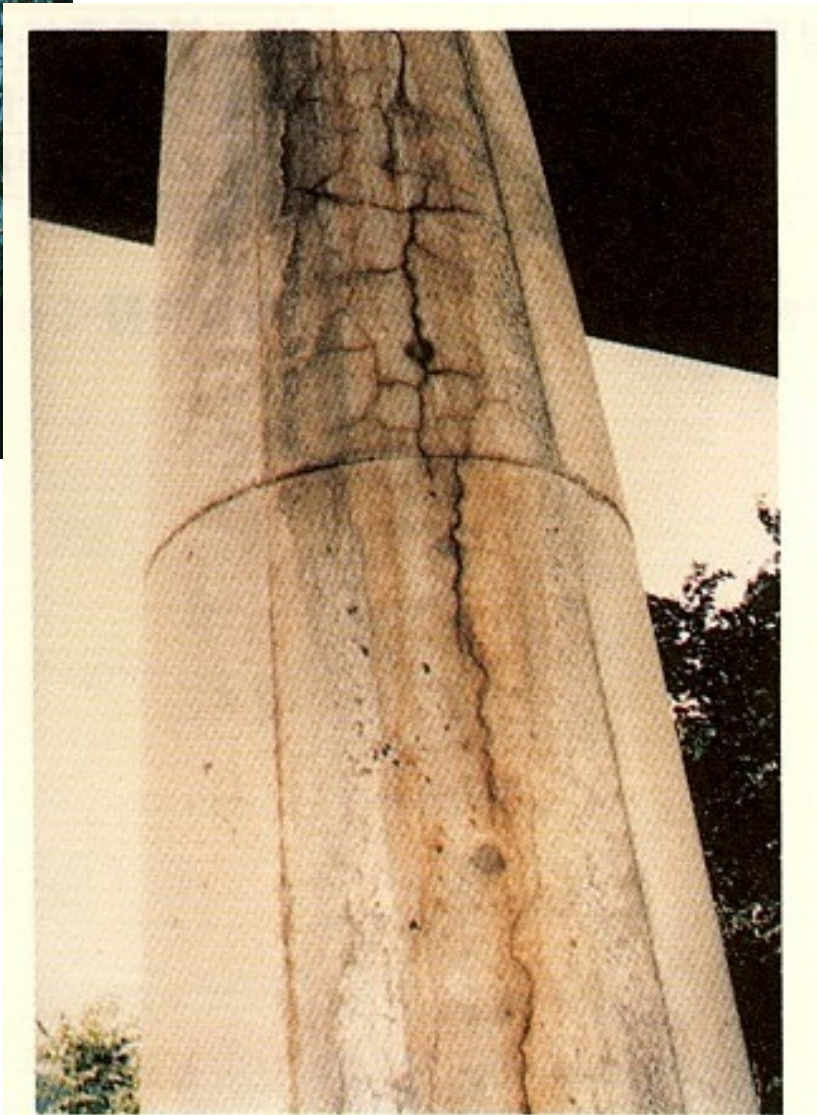
アルカリシリカ反応 (ASR)



ASRゲル (実体顕微鏡)



ASRゲル (実体顕微鏡)

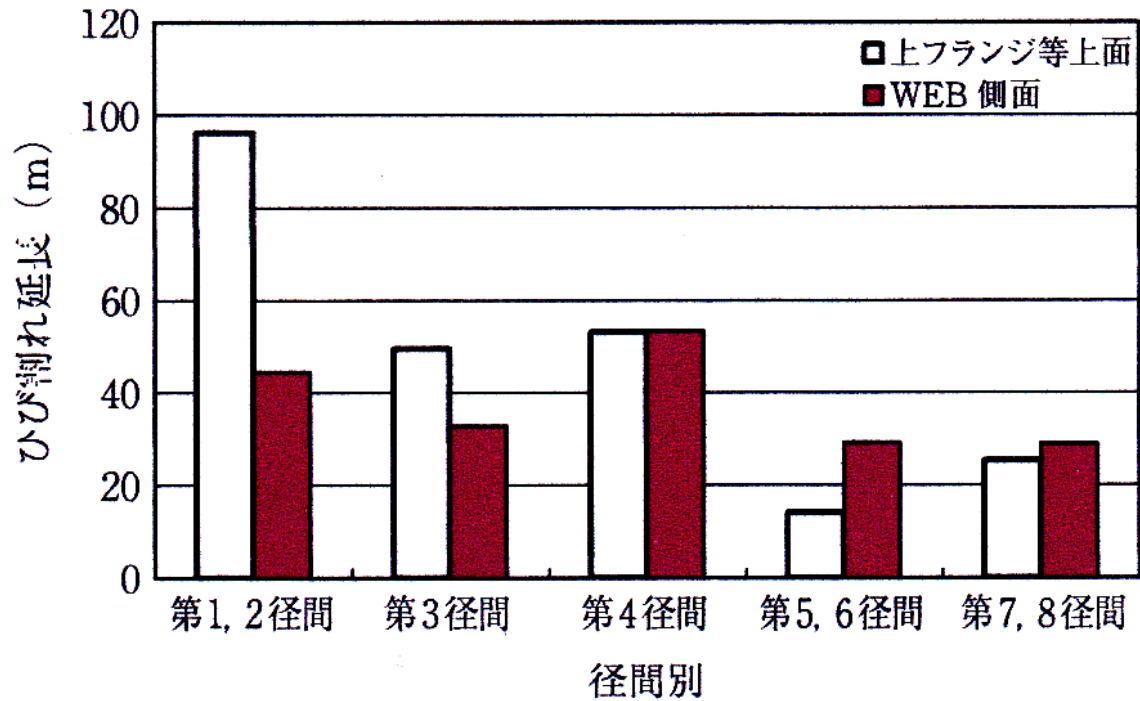


アルカリシリカ反応抑制対策の方法(JIS A 5308 附属書B)

区分:

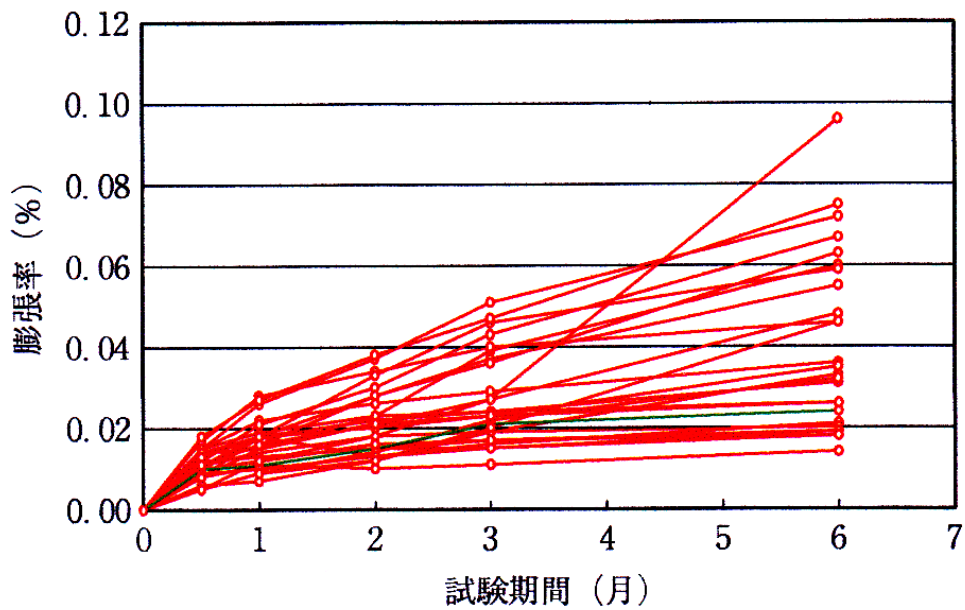
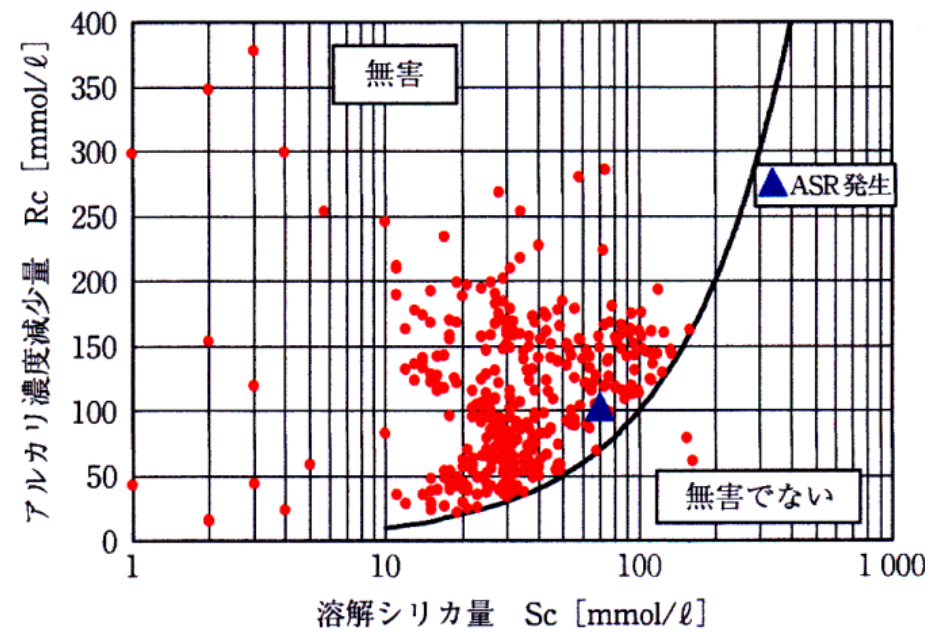
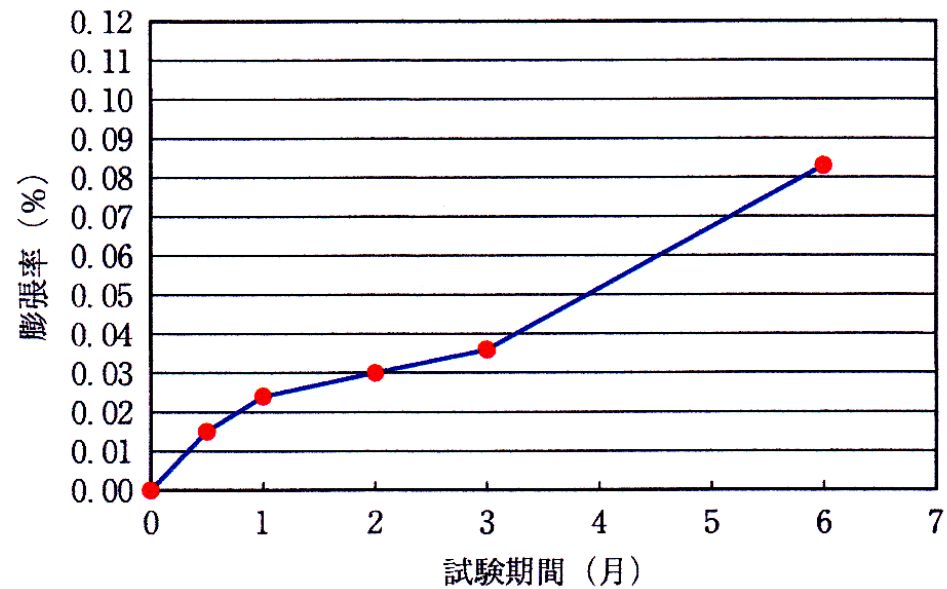
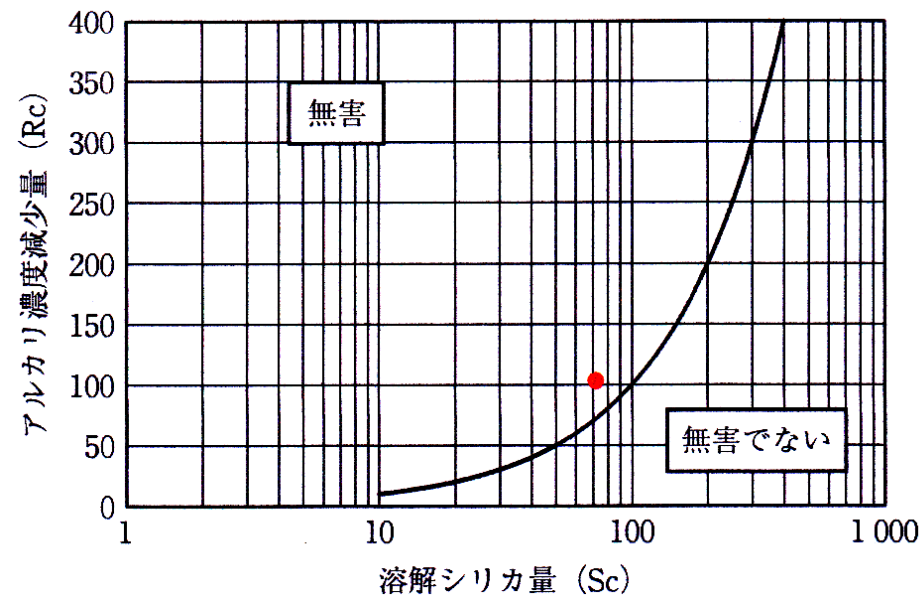
- a) コンクリート中のアルカリ総量を規制する抑制対策
コンクリート中のアルカリ総量を 3.0kg/m^3 以下
- b) アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメントなどを使用する抑制対策
 - ・ 高炉セメントB種(高炉スラグの分量40%以上)もしくは高炉セメントC種
 - ・ フライアッシュセメントB種(フライアッシュの分量15%以上)もしくはフライアッシュセメントC種
- c) 安全と認められる骨材を使用する抑制対策
JIS A 1145(化学法)またはJIS A 1146(モルタルバー法)の試験結果によって「無害」と判定された骨材

JR東日本



鉄道橋 (PC下路連続桁) に発生したひび割れ状況 (1996年完成)

(松田芳範 他: アルカリ骨材反応のJR東日本版抑制策の策定について, コンクリート工学, Vol.50, No.8, 2012.8)



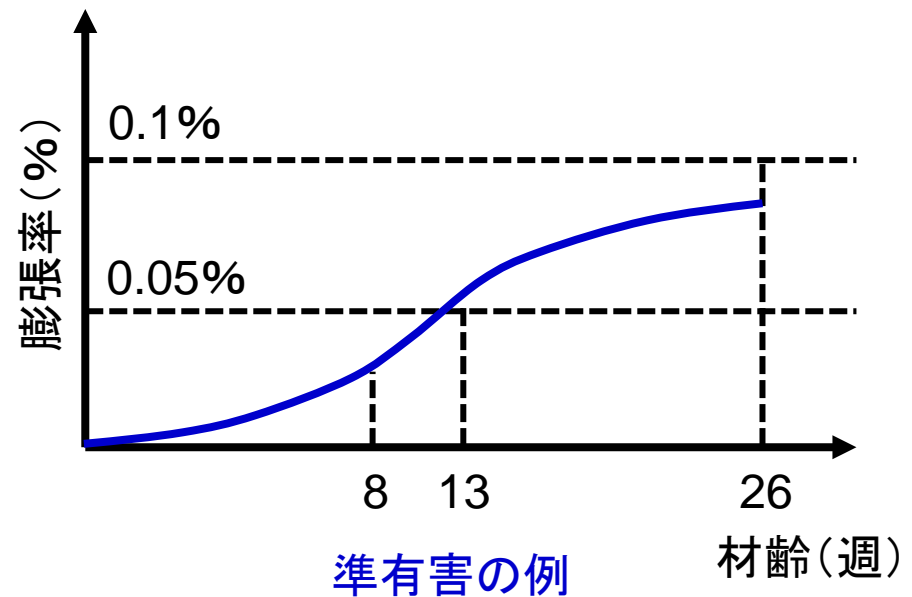
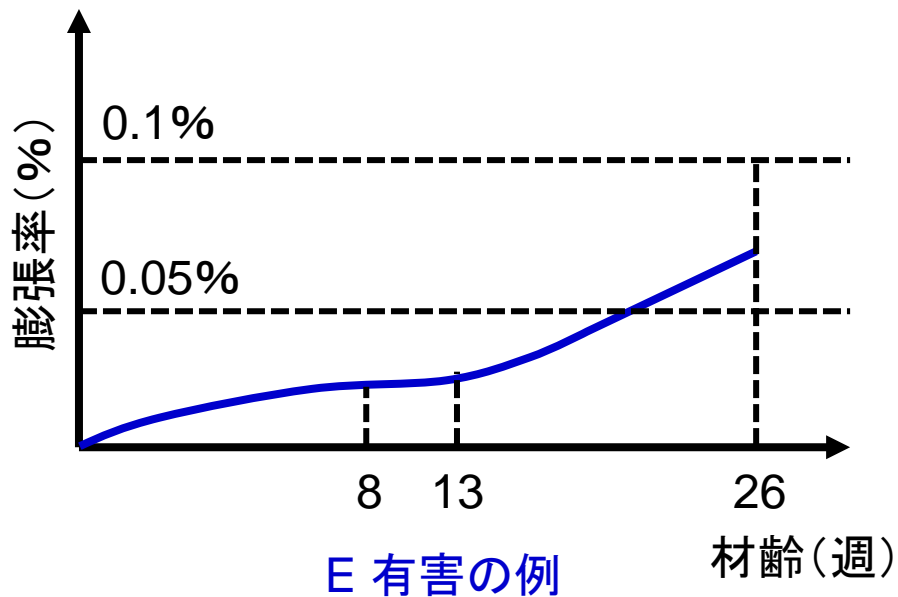
化学法

モルタルバー法

JR東日本

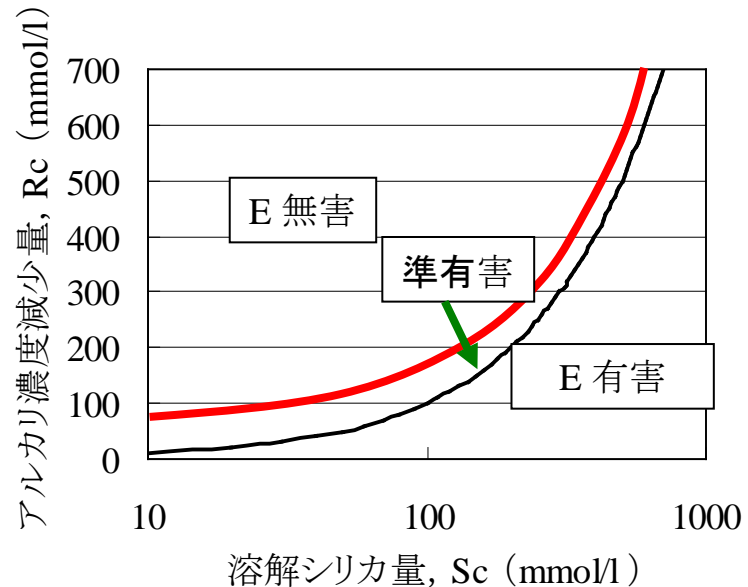
モルタルバー法による骨材の JR 東日本判定区分

骨材区分	判定基準
「E 有害」骨材	膨張率が材齢 26 週で 0.10%以上, もしくは膨張率が 26 週で 0.05%以上 0.10%未満であっても 13 週から 26 週までの膨張の増加割合が 8 週から 13 週までの膨張の増加割合に対し大きい骨材
「準有害」骨材	膨張率が材齢 26 週で 0.05%以上 0.10%未満かつ 13 週から 26 週までの膨張の増加割合が 8 週から 13 週までの膨張の増加割合に対し小さい骨材
「E 無害」骨材	膨張率が材齢 26 週で 0.05%未満の骨材



化学法による骨材の JR 東日本判定区分

骨材区分	判定基準
「E 有害」骨材	溶解シリカ量 (S_c) $\geq 10\text{mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量 (R_c) $< 700\text{mmol/l}$ のとき、 R_c が S_c 以下となる骨材 ($R_c \leq S_c$ である骨材)
「準有害」骨材	溶解シリカ量 (S_c) $\geq 10\text{mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量 (R_c) $< 700\text{mmol/l}$ のとき、 R_c が S_c より大きく、かつ S_c に 50 を加えた値 ($S_c + 50$) 以下となる骨材 ($S_c < R_c \leq (S_c + 50)$ である骨材)
「E 無害」骨材	溶解シリカ量 (S_c) $\geq 10\text{mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量 (R_c) $< 700\text{mmol/l}$ のとき、 R_c が S_c に 50 を加えた値 ($S_c + 50$) より大きい骨材 ($(S_c + 50) < R_c$ である骨材)



骨材の判定区分と対策方法

骨材区分	判定基準
「E 有害」骨材	混合セメント等による対策
「準有害」骨材	アルカリ総量を 2.2kg/m^3 に規制する対策もしくは混合セメント等による対策
「E 無害」骨材	無対策

JIS規格の抑制対策を遵守しても屋外構造物でASR劣化を生じた事例

	構造物	骨材			高炉スラグ (%)	フライアッシュ (%)	アルカリ総量 Na ₂ Oeq kg/m ³
		反応した岩種	化学法	モルタルバー法			
抑制対策前	高架橋	碎石(安山岩が4割)	—	—	—	18	—
	高架橋	碎石(安山岩が3割)	—	—	—	18	—
	高架橋	碎石(安山岩が数%:クリストバライトを含む)	—	—	—	—	2.2-2.4
抑制対策後	PC桁	碎石(安山岩質玄武岩)	無害・無害でない	無害	—	—	2.6-3.0
	PC桁	碎石(安山岩:オパールを含む)	—	—	—	—	2.6*
	PC舗装	山砂(安山岩, 溶結凝灰岩)	無害でない	無害	—	—	2.2
	擁壁	碎石(安山岩)	無害でない	—	B種 38	—	2.9
	建物	砂(凝灰岩:オパールを含む)	—	—	—	—	3.0*

*水溶性アルカリの可能性

(旧)独立行政法人 原子力安全基盤機構調べ

表-1 ASRのリスクレベル(案)

構造物の環境と規模			骨材の反応性			
			無	低	中	高
					急速膨張性 (火山岩:非ペシマム配合)	急速膨張性 (火山岩:ペシマム配合)
				遅延膨張性(変成岩)	遅延膨張性(堆積岩)	
乾燥	アルカリ供給なし	小部材	1	1	2	3
	アルカリ供給なし	マスコン	1	2	3	4
湿潤	アルカリ供給なし (淡水・土壌と接する)	マスコン	1	2	4	4
	アルカリ供給あり (凍害・海水・融雪剤)	マスコン	1	3	4	5

表-2 ASRの抑制レベル(案)

ASRの リスク レベル (表-1より)	耐用年数		
	<30年 部材を比較的簡単に交換できる	30-100年 必要に応じて補修できる	>100年 または, ASRを許容できない
	一時的な構造物, 二次製品	大半の建築・土木構造物 (建物・橋脚)	重要構造物 (ダム・原子力施設)
1	A	A	A
2	A	B	C
3	A	C	D
4	B	D	E
5	B	E	F

表-3 ASRの抑制対策レベル(案)

抑制レベル(表-2より)	ASRの抑制対策
A	抑制対策は不要
B	コンクリートのアルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 3.0\text{kg/m}^3$, または, 表-4の混和材を用いる。
C	コンクリートのアルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 2.4\text{kg/m}^3$, または, 表-4の混和材を用いる。
D	コンクリートのアルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 1.8\text{kg/m}^3$, または, 表-4の混和材を用いる。
E	コンクリートのアルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 1.2\text{kg/m}^3$, または, 表-4の混和材を用いる。
F	コンクリートのアルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 1.2\text{kg/m}^3$, かつ, 表-4の混和材を用いる。

表-4 混和材使用によるASRの抑制対策(案)

混和材	混和材のアルカリ量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$	混和材の最小含有量			
		抑制レベルB	抑制レベルC	抑制レベルD	抑制レベルE, F*
フライアッシュ	<3.0	15	20	25	35
	3.0-4.5	20	25	30	40
高炉スラグ	<1.0	40	45	50	60

*Fの場合は, 同時にセメントのアルカリ総量を $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 1.2\text{kg/m}^3$ に抑える必要がある。

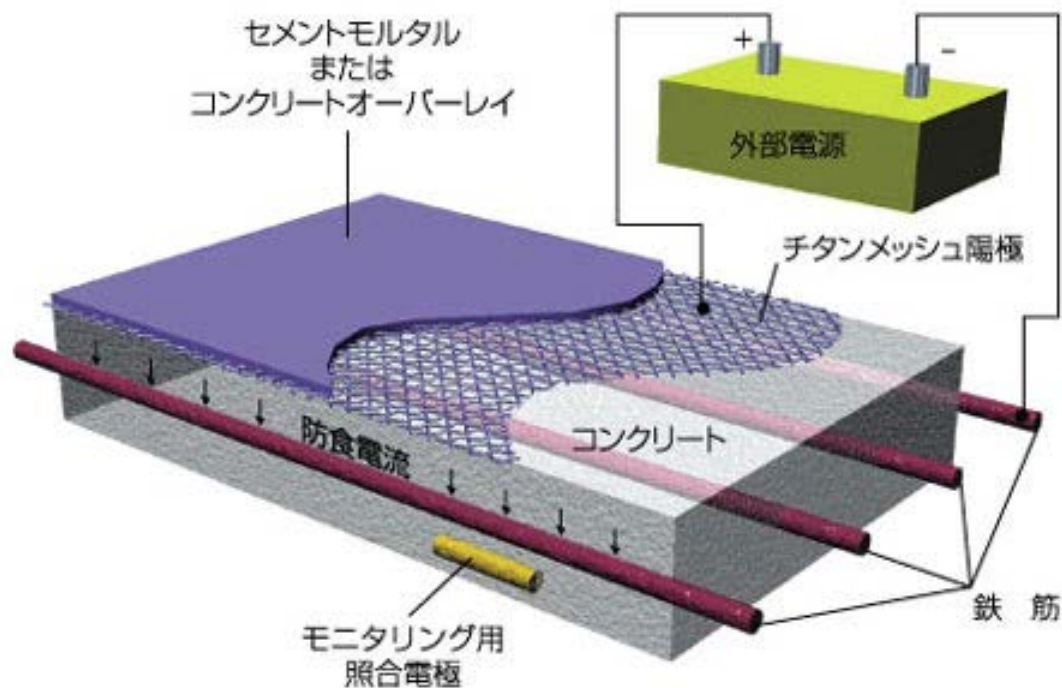
塩害とASRの複合劣化

電気防食工法におけるASRに配慮した通電方法の検討

電気防食工法



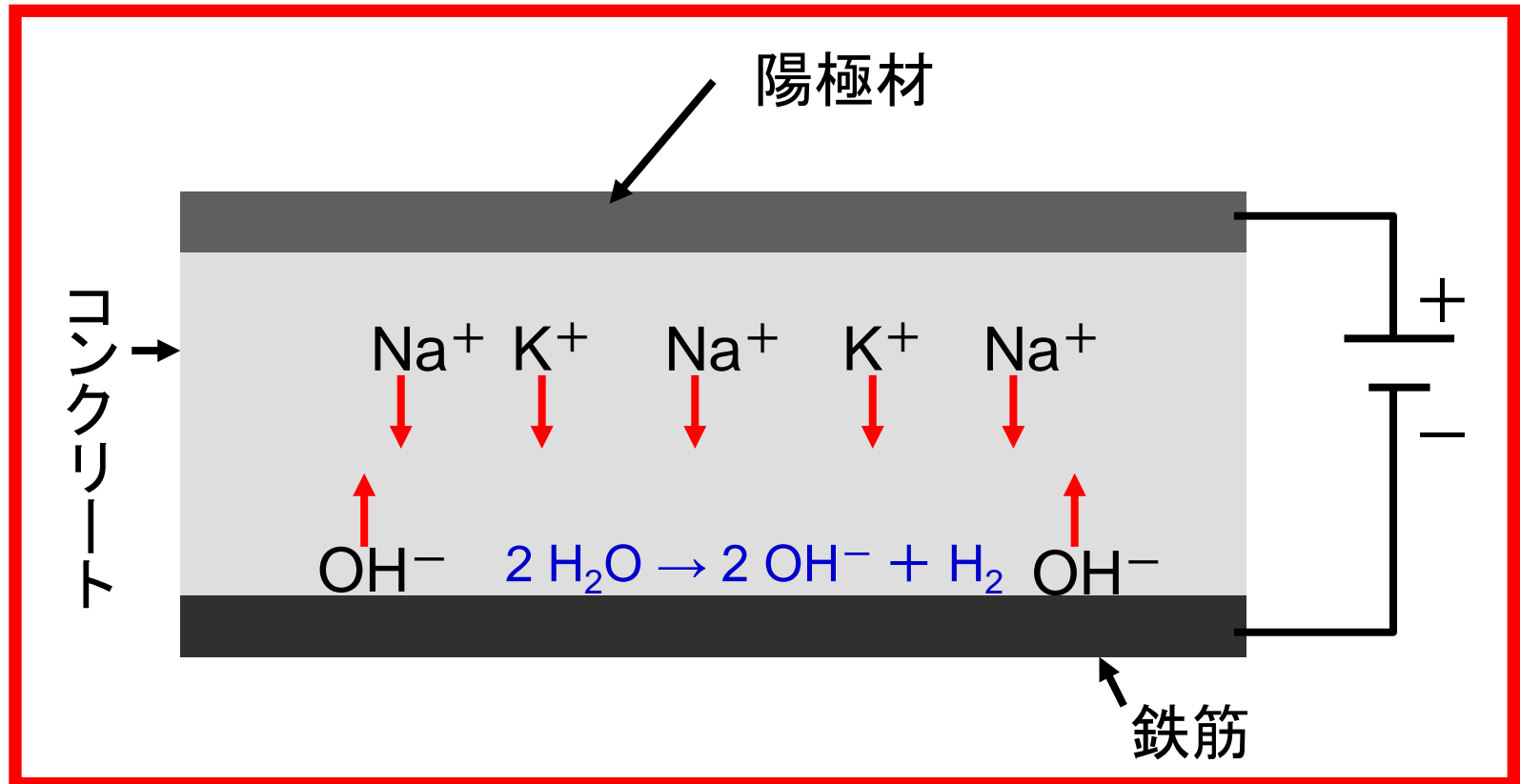
塩害による鉄筋腐食



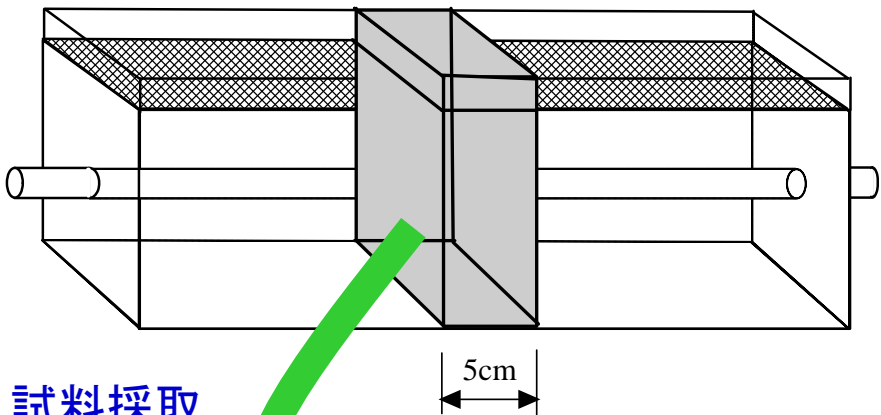
電気防食工法 ■■■■ 鉄筋腐食を停止させるための最も効果的な補修工法

コンクリートにアルカリシリカ反応性骨材が使用されている場合

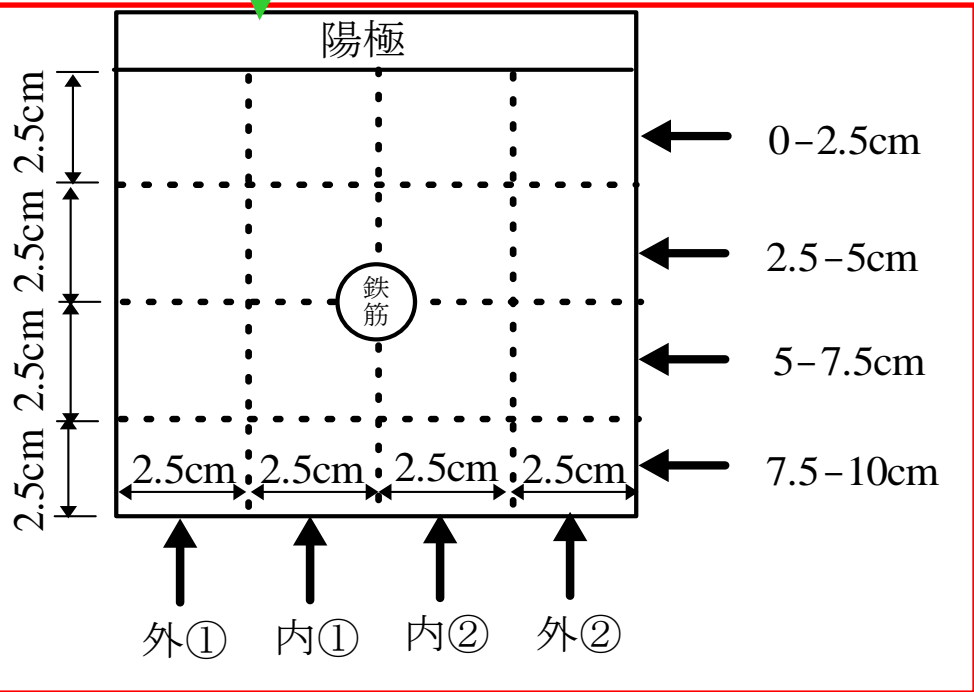
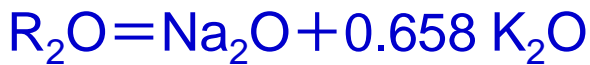
電気防食工法 **懸念** → ASRを促進し、それによる劣化を助長させる可能性



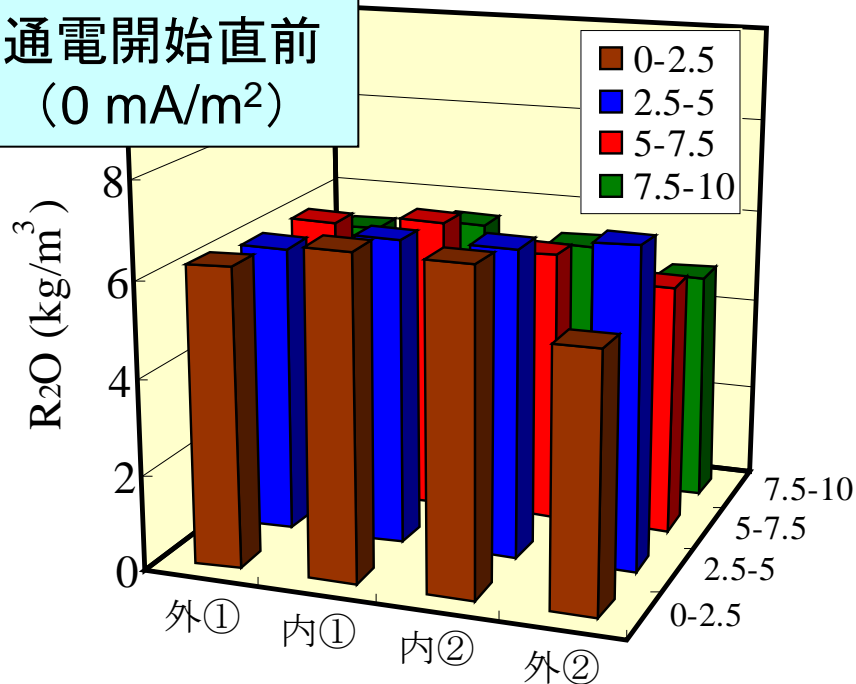
アルカリ含有量分布



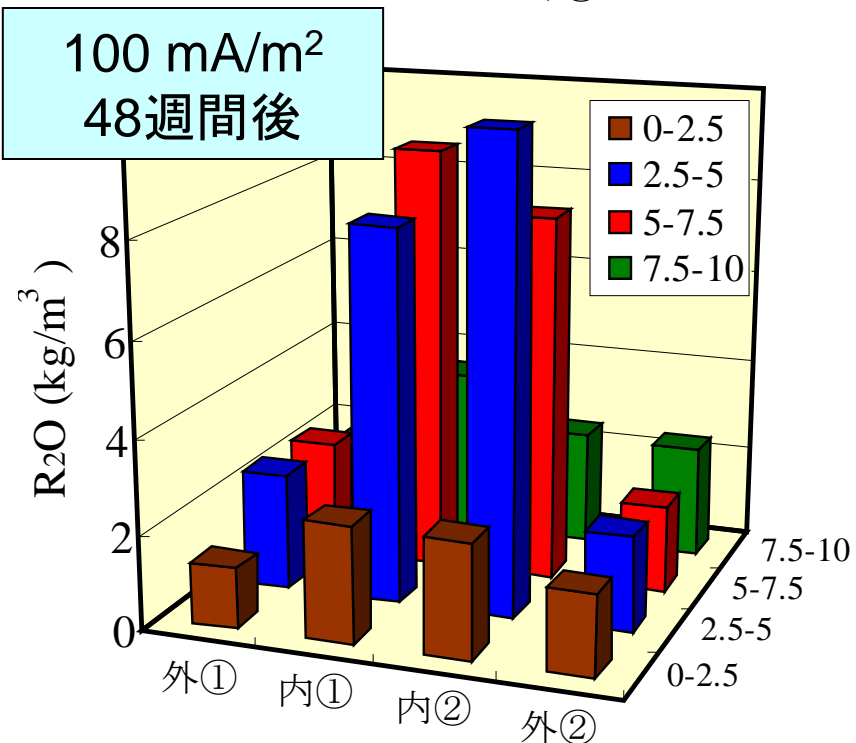
試料採取



通電開始直前
(0 mA/m²)

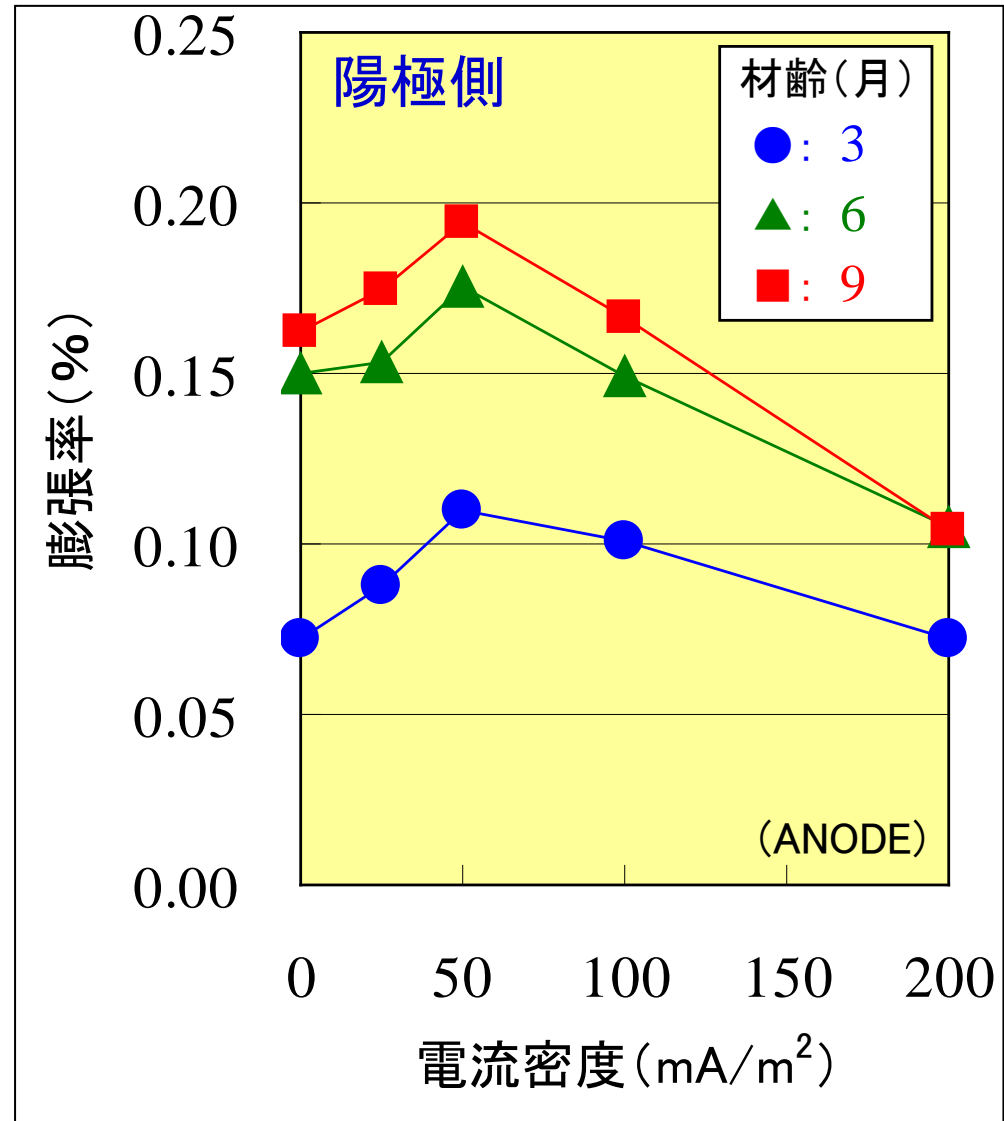
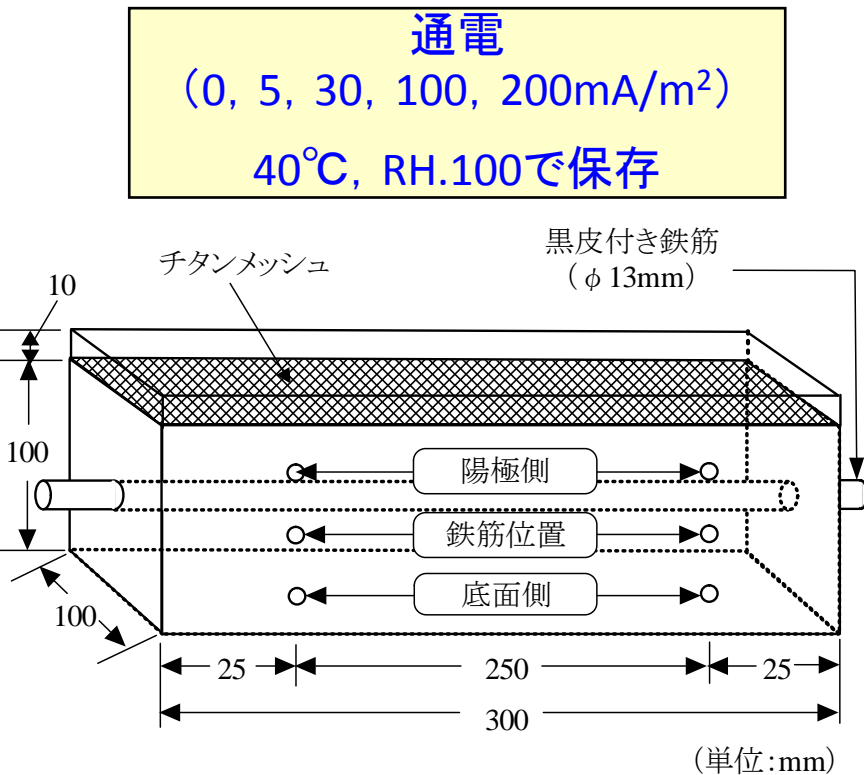


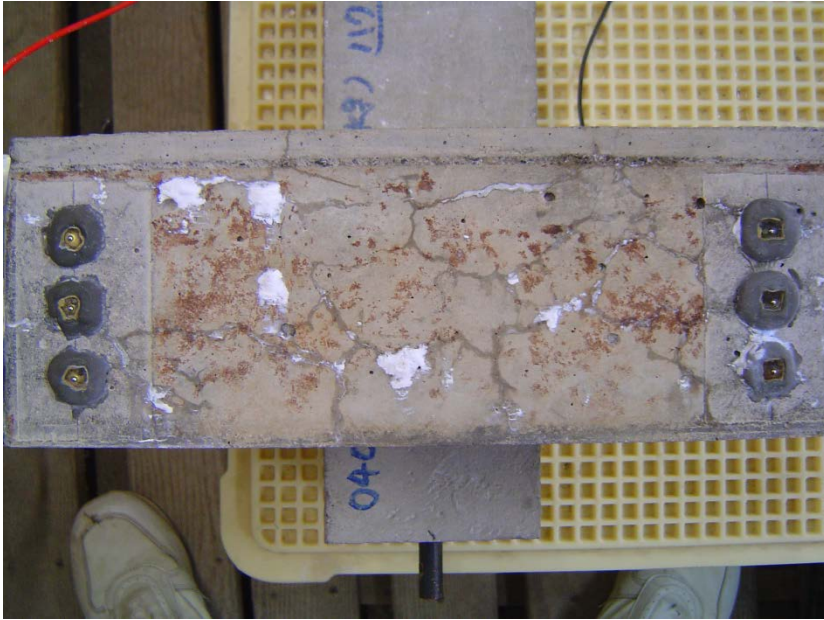
100 mA/m²
48週間後



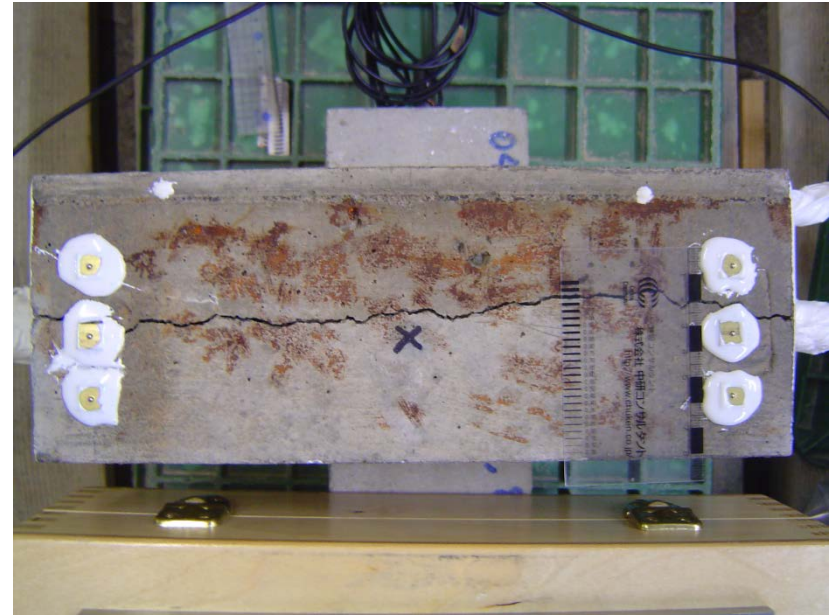
膨張率と電流密度との関係

NaOH混入コンクリート ($R_2O=6 \text{ kg/m}^3$)





供試体に発生したひび割れ
(W/C=45%-R₂O=8kg/m³-100mA/m²-40°C)



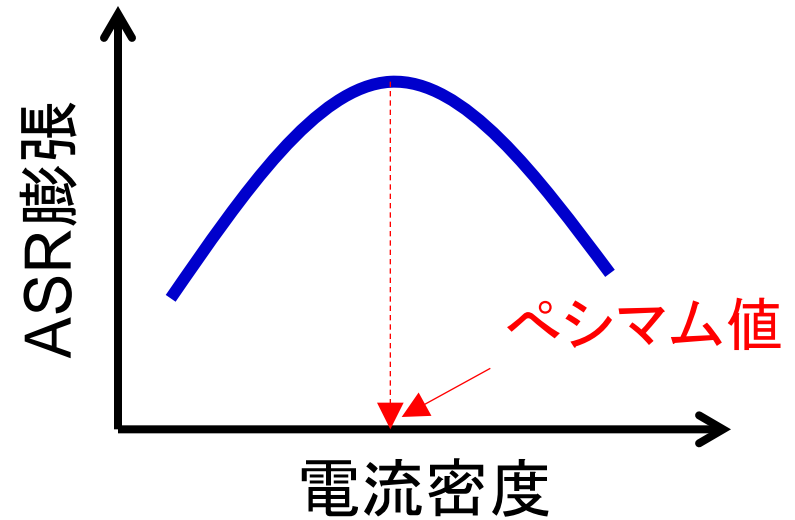
供試体に発生したひび割れ
(W/C=60%-R₂O=8kg/m³-0mA/m²-20°C)

鉄筋コンクリートに通電を行った場合、

電流密度



ASR膨張を最大にする
ペシマム値が存在

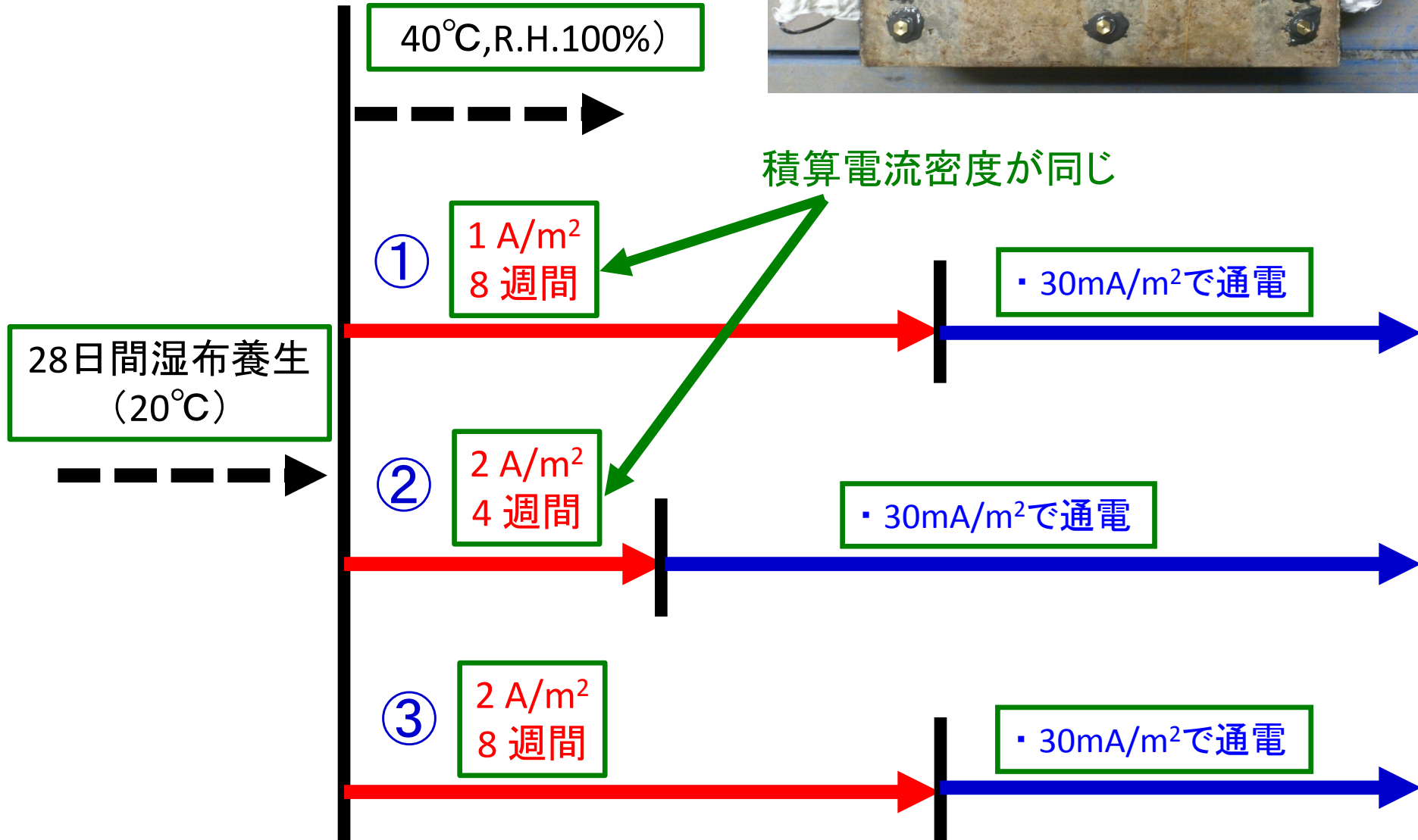
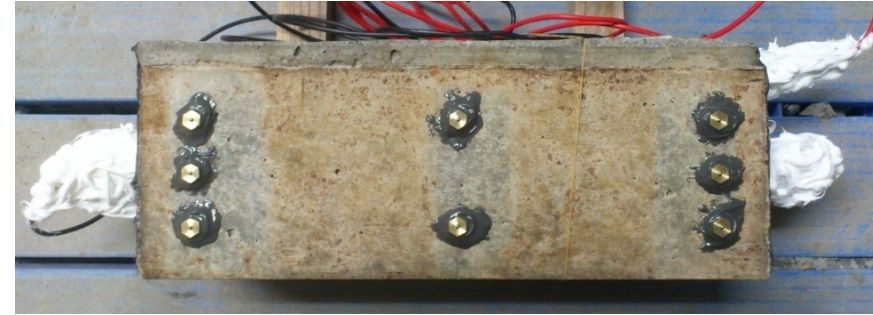


電気防食工法適用前に、大きな電流密度を一定期間供給
(脱塩工法, 再アルカリ化工法)



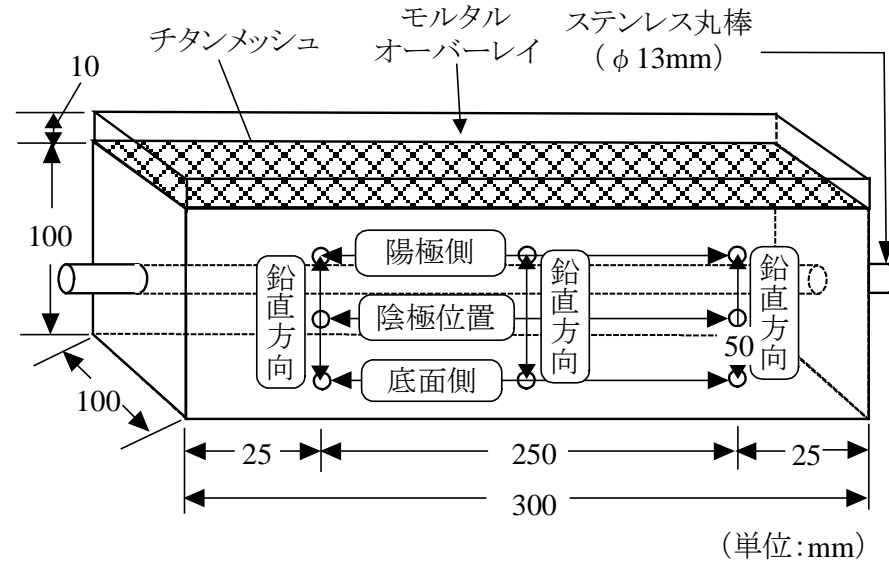
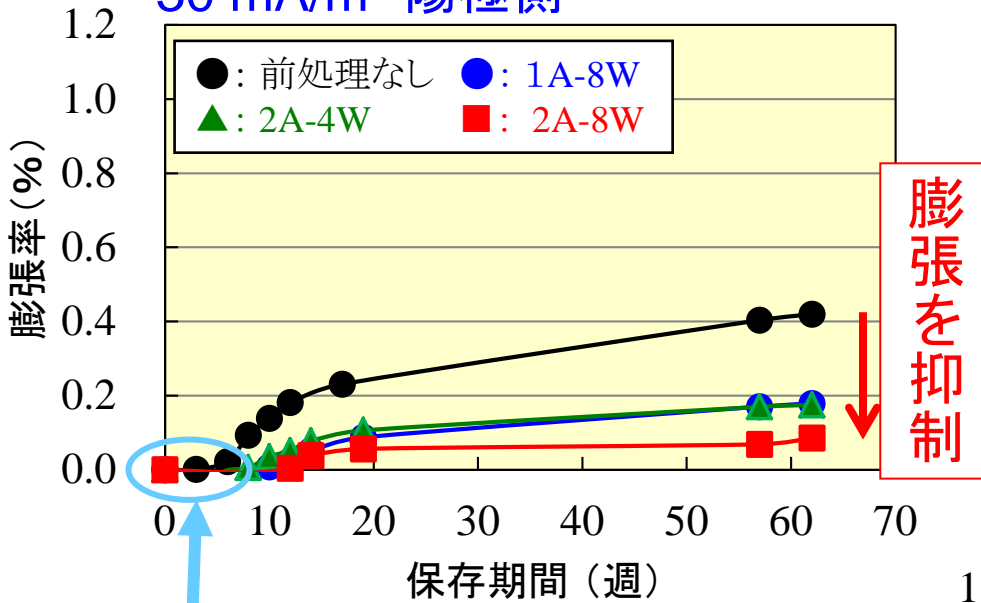
ASR膨張が助長されるのを抑制

通電方法(大きな電流密度を一定期間供給)

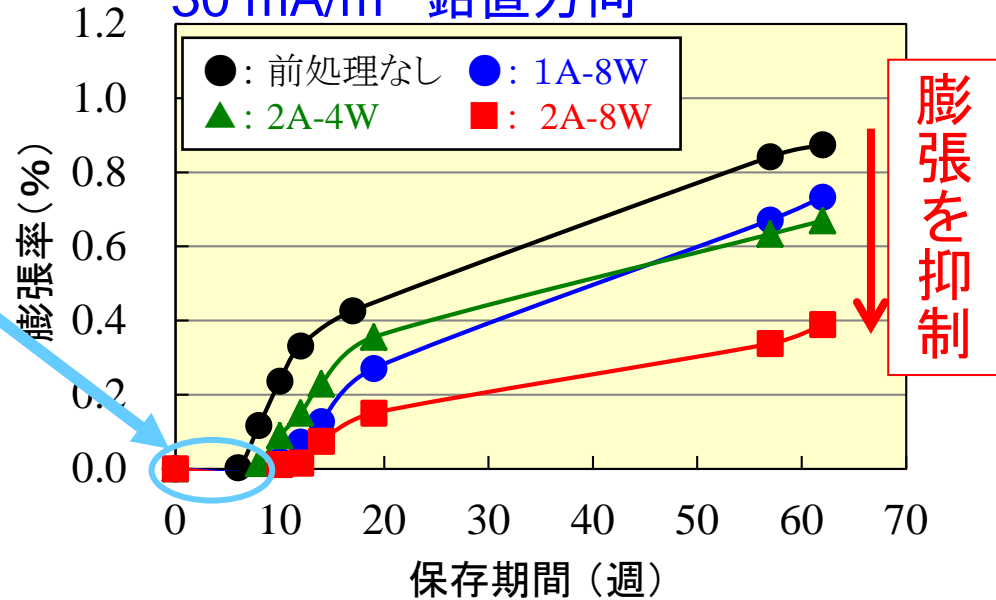


電気防食工法適用前に大きな電流密度を一定期間供給

30 mA/m² 陽極側



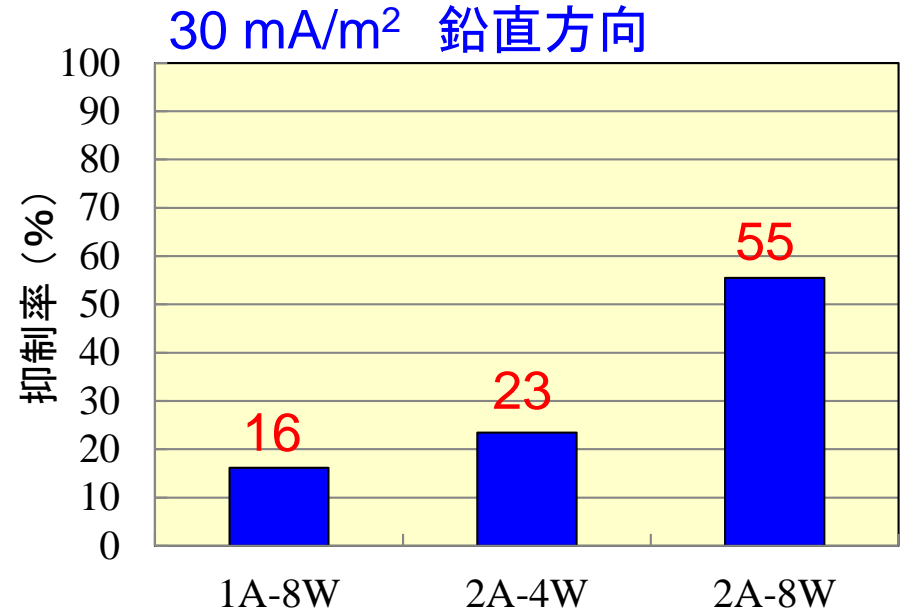
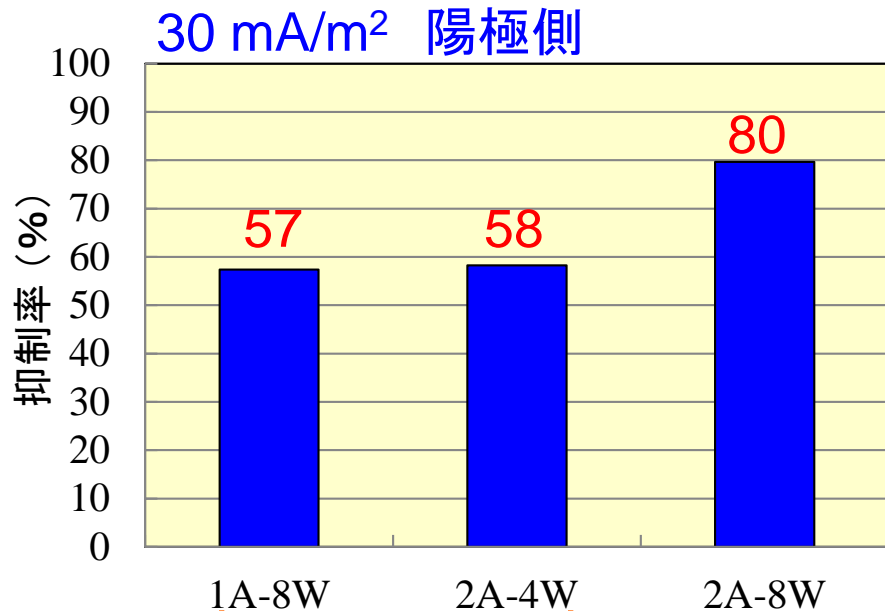
30 mA/m² 鉛直方向



前処理期間中に膨張を生じていない

膨張を抑制

前処理条件とASR膨張抑制率(軸方向)



積算電流密度が同じであれば抑制率はほぼ同程度

保存期間: 62週

$$R = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100$$

R: 抑制率(%)

E_1 : 前処理なしの供試体の膨張率(%)

E_2 : 大きな電流密度を一定期間供給した供試体の膨張率(%)

2 A/m² を8週間供給することにより,

陽極側: 80~90%の膨張を抑制

陰極位置: 60~70%の膨張を抑制

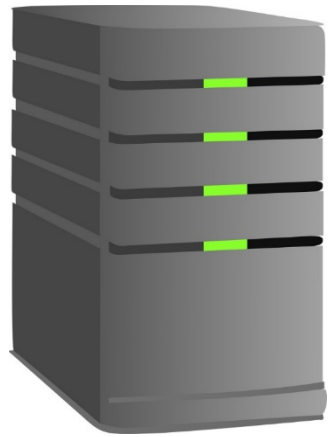
底面側: 50%の膨張を抑制

鉛直方向: 55%の膨張を抑制

インフラの維持管理における今後の展開

- ✓ 点検の効率化 ←ICT, ドローン, AI等の活用
- ✓ 使いやすいデータベースの構築
- ✓ インフラの状態の可視化 ←GISの活用
- ✓ 精度のよい劣化予測手法の開発
- ✓ 劣化した構造物に対する精度のよい性能照査手法の開発

インフラの情報の一元化・可視化



サーバー

- ・インフラの基本データ
- ・点検データ
- ・診断データ
- ・補修, 補強データ

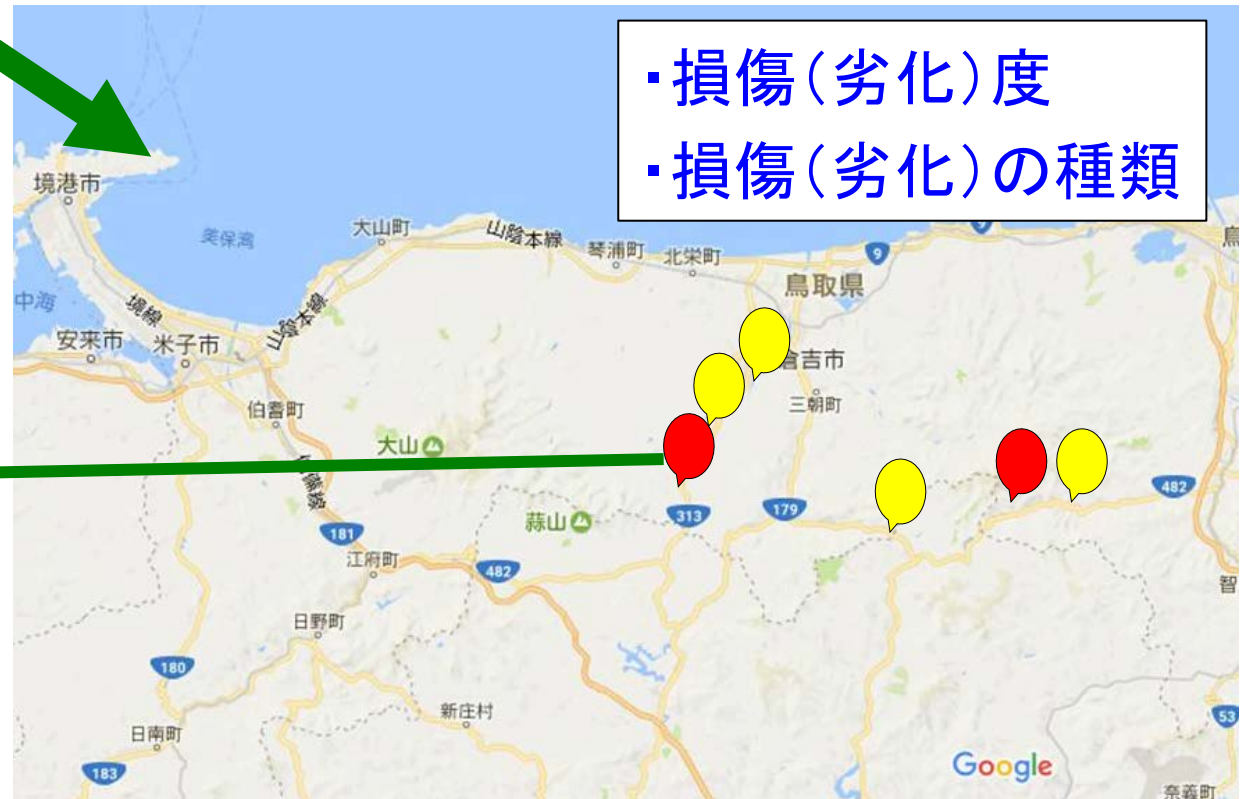
センサ等による
モニタリングデータ

経年変化

写真

データ

- ・損傷(劣化)度
- ・損傷(劣化)の種類

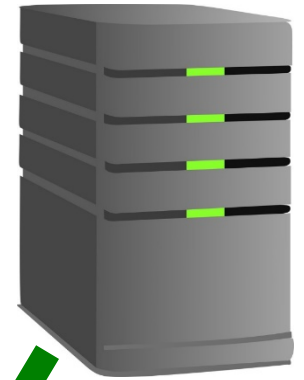
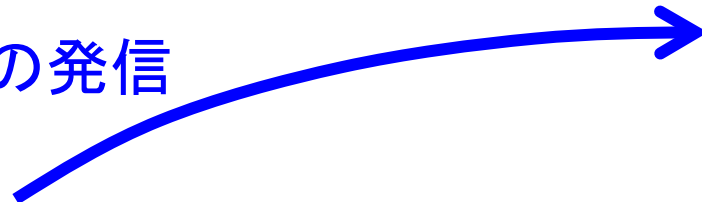


インフラの異常の通報システム



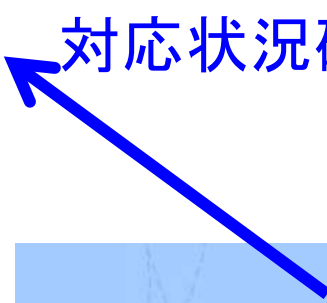
通報者

情報の発信



サーバー

対応状況確認



・発信された情報
・対応状況



管理者が確認・対応

写真

情報



ご清聴ありがとうございました

