

平成 25 年 11 月 22 日(金)

福井県コンクリート診断士会 設立 10 周年記念講演会

北陸地方におけるコンクリート構造物の劣化と維持管理の最新事情  
～本格的な維持管理の時代を迎えて～

主催:福井県コンクリート診断士会 共催:公益財団法人福井県建設技術公社

— 資料集 —

1. 記念講演 第 I 部 資料

「北陸地方における ASR の現状と維持管理の最新技術」

(金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授 鳥居 和之 氏)

2. 記念講演 第 II 部 資料

「北陸地方における塩害の現状と維持管理の最新技術」

(金沢工業大学 環境・建築学部 環境土木工学科 教授 宮里 心一 氏)

9.16. 塩害 当部 13 名 塩害 92 名  
塩害者 140 名

現場 Not work を指印の  
箇所 → 初年度 塩害 10 名  
2 年度 塩害 10 名

↓  
塩害 10 名 塩害 10 名  
塩害 10 名 塩害 10 名  
塩害 10 名 塩害 10 名  
塩害 10 名 塩害 10 名

記念講演 第I部 資料

北陸地方における ASR の現状と維持管理の最新技術

(金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授 鳥居 和之 氏)

## 講師紹介

# 鳥居 和之 氏 (TORII Kazuyuki)

### □ 所属組織・役職等

金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授

### □ 教育分野

学士課程：理工学域 環境デザイン学類

大学院前期課程：自然科学研究科 環境デザイン学専攻 構造・材料工学講座

大学院後期課程：自然科学研究科 環境科学専攻 環境創成

### □ 所属研究室等

土木材料研究室 (TEL:076-234-4620 FAX:076-234-4620)

### □ 学歴

出身大学院：金沢大学 修士課程 工学研究科 土木工学専攻 修了

出身大学：金沢大学 工学部 土木工学科 卒業

取得学位：工学博士

### □ 職歴

金沢大学 理工研究域 教授 (1996年8月1日～)

### □ 生年月

1953年2月

### □ 所属学会

- ・ 土木学会 (2005～2011年)
- ・ 日本材料学会 (2005～2011年)
- ・ 日本コンクリート工学会 中部支部支部長 (2009～2011年)
- ・ ACI

### □ 受賞学術賞

- ・ SCMT 国際会議優秀論文賞 (2013年8月20日)
- ・ 日本材料学会論文賞 (2011年5月24日)
- ・ 日本コンクリート工学協会功労賞 (2009年5月30日)
- ・ 日本コンクリート工学協会賞技術賞 (2007年5月25日)
- ・ セメント協会論文賞 (2005年5月25日)
- ・ 第11回アルカリ骨材反応国際会議優秀論文賞 (2000年6月22日)
- ・ 第19回セメント協会研究奨励金 (2005年3月30日)
- ・ 第9回アルカリ骨材反応に関する国際会議優秀論文賞 (1992年7月25日)
- ・ 第17回セメント協会研究奨励金 (2004年4月10日)
- ・ 第13回セメント協会研究奨励金 (1999年4月1日)
- ・ 金沢大学自然科学研究科優秀貢献賞 (2011年2月25日)
- ・ 金沢大学自然科学研究科優秀貢献賞 (2008年2月25日)

## 北陸地方におけるASRの現状と 維持管理の最新技術

於 福井県協栄会館

金沢大学理工研究域  
環境デザイン学系  
鳥居和之

平成25年11月22日

### 発表内容

<p>1. ASRの現状と課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* ASR問題の発生の経緯と対策</li> <li>* ASRの発生地域と反応性骨材の特徴</li> <li>* アルカリシリカ反応法の問題点</li> <li>* ASR抑制対策の現状と問題点</li> <li>* フライアッシュによる抑制機構</li> </ul> <p>2. ASR劣化構造物の維持管理の現状と課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 構造物の環境条件と劣化損傷</li> <li>* 構造物の劣化損傷の特徴</li> <li>* 構造物の調査診断技術</li> <li>* 構造物の劣化予測の現状</li> <li>* 構造物の補修・補強技術</li> </ul>	<p>3. ASR劣化構造物のひび割れと鉄筋腐蝕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* ひび割れ</li> <li>* 鉄筋腐蝕</li> <li>* 鉄筋腐蝕のメカニズム</li> </ul> <p>4. ASR劣化構造物の補修・補強</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 補修・補強・打替えの事例</li> <li>* モニタリング技術</li> </ul> <p>5. 新たなかつ深刻なASR問題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 抑制対策後のASR事例</li> <li>* PC, PCA製品のASR</li> <li>* ASR抑制対策の不便</li> </ul>
--	--


## 1. ASRの現状と課題 (ASR試験法とASR抑制対策、 分級フライアッシュの活用)

1980年頃	阪神地方、北陸地方にて顕在化(その後全国的)
1982年	阪神高速道路公団「反応性骨材調査委員会」
1983年	土木研連「塩害、アルカリによる劣化問題」
1985年	建設省総務局耐久性(塩害、アルカリ、施工)
1989年	ASR抑制対策(JIS A 5308)
ASR劣化(劣化) 研究沈滞化	
1992年	スパイクタイヤの使用禁止(凍結防止剤の使用)
1996年	9th Inter. Conf. on AAR (英国・ロンドン)
2000年	10th Inter. Conf. on AAR (オーストラリア・メルボルン)
2001年	11th Inter. Conf. on AAR (カナダ・ケベック)
2002年	AAR報告(反応性骨材問題(補強))
2002年	国土交通省ASR抑制対策推進
2003年	NHK報道(鉄筋腐蝕の問題(大塚、西川))
2003年	国土交通省道路構造物管理要領推進
2003年	土木学会コンクリート委員会「ASR対策小委員会」
2004年	12th Inter. Conf. on AAR (中国・北京)
2007年	13th Inter. Conf. on AAR (ノルウェー・トロンハイム)
2012年	14th Inter. Conf. on AAR (オーストラリア・メルボルン)

### ASRの発生地域マップ (北陸地方以外に正確なものがない)

ASRの発生地域

- \* 劣化損傷事例の報告が多い地域  
関西、九州、四国・中国
- \* 近年、劣化損傷の事例が報告された地域  
沖根、東海、東京、北海道




↓

全国各地どこにでもおあるのでは?  
(特定地域に限定することが問題であった)

### 反応性骨材の特徴

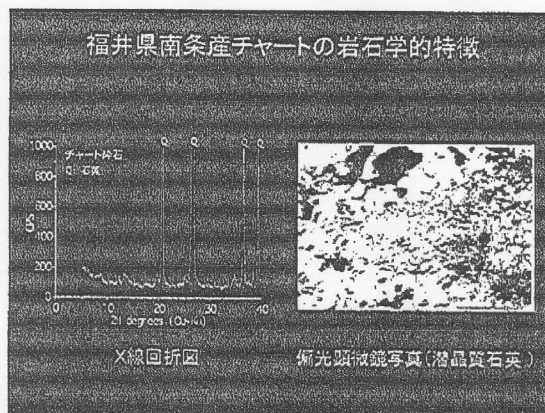
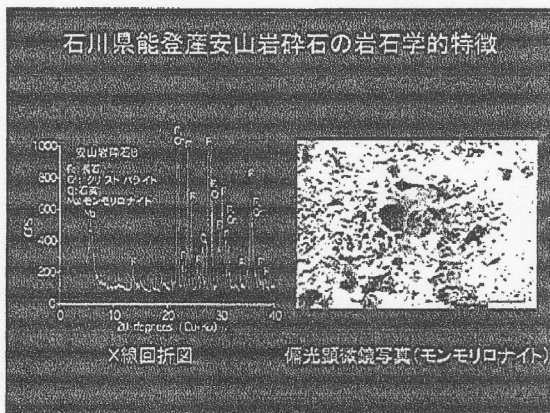
- \* 主要な反応性骨材⇒  
安山岩(輝石安山岩、角閃石安山岩)
- \* 安山岩の分布状況と反応性骨材の特徴  
(ケハール、クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス)
- \* 安山岩の風化・変質過程でのスメクタイト化(粘土鉱物)
- \* 火山ガラス、長石からのアルカリ溶出
- \* その他の火山岩⇒  
(流紋岩、溶結凝灰岩など)
- \* 堆積岩⇒隠微晶質石英  
(チャート、珪質粘板岩、砂岩、頁岩など)

**能登産安山岩砕石**  
(能登有料道路にて仕様)



能登産安山岩砕石 (公共用)

能登産安山岩砕石の品質  
劣化を抑制する効果を確認  
今後、公共用道路に広く採用



### 骨材のアルカリシリカ反応性試験法の問題点

- 化学法 (JIS A1145) 及びモルタルバー法 (JIS A1146) の整合性 (多種多様な骨材, 骨材の混合使用, 輸入骨材の問題など)
- 迅速法の有効性(?) (JIS A1304, オートクレーブ法)
- 促進モルタルバー法の適用性 (ASTM C1260, デンマーク法など)
- 促進コンクリートバー法の検討 (RILEM AAR4, 温度60°C)

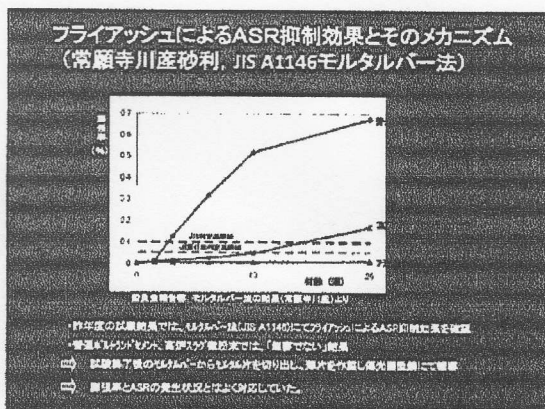
骨材のキャラクタリゼーション(岩石学的試験)

↓

骨材のASR試験法(適用性)

↓

骨材の使用実績(構造物の劣化の有無)



2015年以降の試験結果はASTM C1260, デンマーク法

フライアッシュの効果がASR抑制に有効  
 従来のように膨張率を測定する試験法に代わる

### 薄片の作製手順と偏光顕微鏡による観察例

【薄片の作製手順】

1. 砕石をガラス板上に貼付け (砕石の厚さ1mm)
2. 浸透剤を塗布
3. 偏光顕微鏡による観察

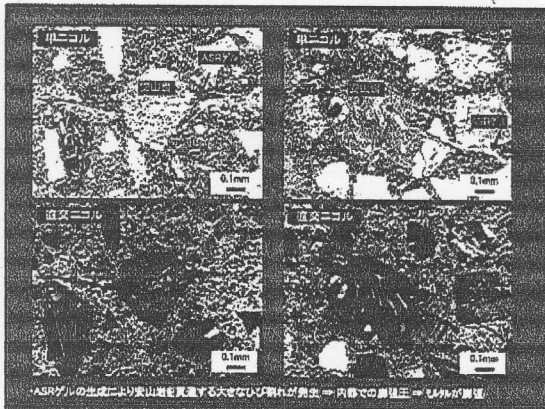
【砕石薄片の観察例】

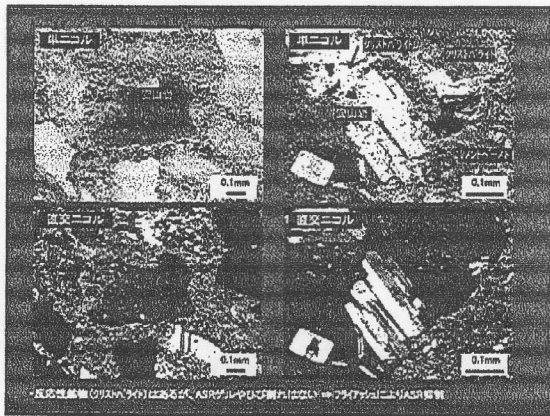
花崗岩の例: 石英, 長石, 角閃石, 輝石, 緑泥石, 雲母

安山岩の例: 斜長石, 輝石, 石英, 角閃石, 緑泥石, 雲母

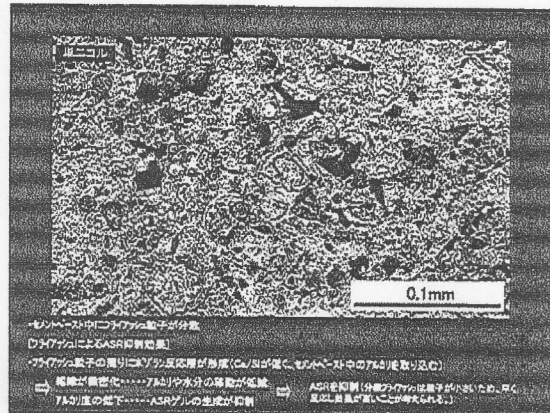
※ 砕石薄片の観察では、砕石に含まれている鉱物が特定できる。⇒ その砕石が何であるかがわかる。

※ コンクリートの薄片では、さらに、異相なひび割れの発生状況やASRゲルの生成状況がわかる。



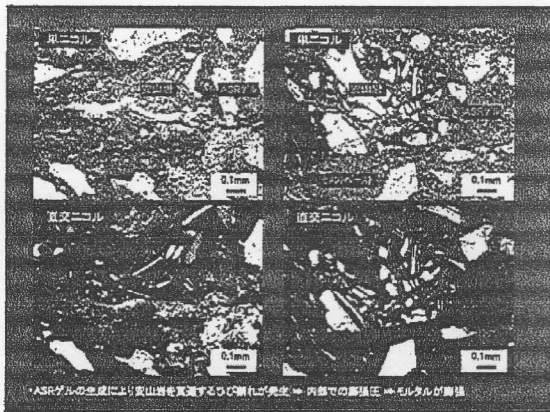


反応生成物(シリカゲル)は高濃度のASRゲルやひび割れに多い⇒フライアッシュASR抑制

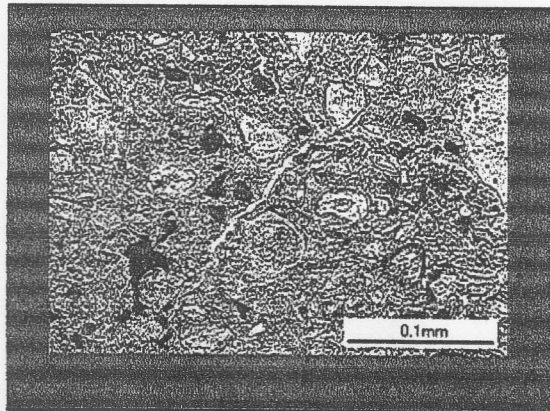


モルタル中のフライアッシュ粒子が分散  
 フライアッシュによるASR抑制効果  
 フライアッシュの量に比例して反応生成物(Ca/Si比が高くなり、モルタル中のASRを抑制する)  
 高濃度のASRゲルが生成する領域が減少  
 ASR抑制効果(フライアッシュは粒子が小さいため、反応の速度が早いことが考えられる)  
 FAの量の低下⇒ASRゲルの生成が抑制

↑  
 高濃度のASRゲルが生成する領域が減少  
 ↓  
 高濃度のASRゲルが生成する領域が減少



ASRゲルの生成により反応生成物の析出が促進⇒内部での膨張⇒モルタルが割れる



反応生成物(シリカゲル)は高濃度のASRゲルやひび割れに多い⇒フライアッシュASR抑制

① 反応生成物  
 高濃度のASRゲルが生成する領域が減少

② 初期(材料28日経過)  
 反応中のCaとSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>によりカルシウム  
 フライアッシュの反応が促進される

③ 末期  
 フライアッシュの反応が促進され、反応生成物  
 の析出が促進される

反応生成物(シリカゲル)は高濃度のASRゲルやひび割れに多い⇒フライアッシュASR抑制

分級FAとBFSのポゾラン反応相(反射電子像)

分析点	fa-1	fa-2	fa-3	分析点	bfs-1	bfs-2	bfs-3
Ca/Si比	0.05	0.98	1.84	Ca/Si比	1.39	1.47	1.58

0.88  
 ↓ 1.47  
 Ca/Si比と反応生成物  
 Ca/Si比と反応生成物  
 ASR抑制効果

### ASR抑制対策の現状と改善点

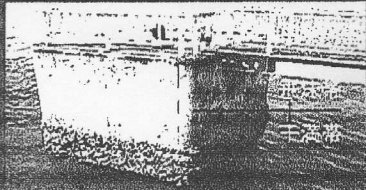
- \* 骨材のアルカリシリカ反応性(「無害」「無害でない」「無害」「無害でない」は便宜的なもの(工学的判断))
- \* アルカリの総量規制(等価アルカリ量 $3\text{ kg/m}^3$ )
- (反応性骨材の種類、使用・環境条件⇒本当に安全か(?!))
- \* 高炉スラグ微粉末による抑制対策
- (ASR対策(適切な置換率)⇔強度発現性)
- ASR抑制対策後にはASRの発生がないのか(No)
- ASRにはベシムム現象というやっかいなものがある(Yes)
- 例えば
- \* 高強度のコンクリート(単位セメント量大、PC)
- \* 蒸気養生及びオートクレープ養生(PCa)
- \* 廃棄物起源、廃成・溶融骨材の使用
- \* 過酷な使用・環境条件(海洋環境、凍結防止剤の散布地域)

### 2. ASR劣化構造物の維持管理の現状と課題

(使用・環境条件と調査診断技術)

JR.西岐 石巻線 2.2km(3.2km)所で止  
(換算3.0km)

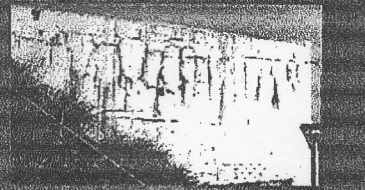
### 構造物の環境条件と劣化損傷(その1)



海洋環境下でのASRの発生(能登地域の海岸部の堤防)

- \* アルカリイオンと塩化物、硫酸イオンとの相互作用
- \* ASRゲルとエドリンガイトの生成
- \* ASRと鋼材腐食
- \* 環境区分(飛沫帯、干満帯、須中帯)

### 構造物の環境条件と劣化損傷(その2)



凍結防止剤散布地域の道端構造物(積雪寒冷地、内陸部)

- \* 凍結防止剤(NaCl)による影響(ASR促進?)
- \* 塩害による鋼材腐食、凍害との複合的な劣化作用
- \* 路面排水による局所的な劣化の進行(橋脚、橋台)

海水の中をクラックが伸びる。鋼材腐食も  
海水の中(Conc. 中の) 海中はCRが伸びる  
クラックが伸びる。鋼材腐食も

### 構造物の調査診断技術(その1)

- 1) 机上調査
  - \* 設計図書(設計時、施工時、維持管理記録)
  - \* 当該地域でのASR発生に関する調査(情報公開、重要)
- 2) 現地調査
  - \* 外観目視調査
    - 近視、遠望、カメラ、点検車
    - ひび割れ(幅、長さ、方向性)、変形、段差、変色、錆び汁(鋼材腐食)
  - \* コアの採取(採取位置、表面部と内部、本数)
  - \* 突構造物での膨張計測(モニタリングの重要性)
  - \* はつり点検(かぶり深さ、鋼材腐食、鉄筋破断の有無)

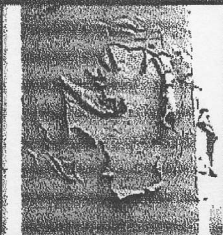
### 構造物の調査診断技術(その2)

- 3) コアを使用した屋内試験及び各種分析
  - \* コアの外観観察(岩種(大雑把で良い)、ひび割れ、断裂・欠損、骨材の反応環・割れ)
  - \* コアの力学的性質(圧縮強度、弾性係数、超音波パルス速度)
  - \* コアの残存膨張性(明確な判定基準がない、誤った使い方)
  - \* コンクリートの配合(単位セメント量、アルカリ量、塩分量)
  - \* ASRゲルの有無(許諾ウラン蛍光法、SEM-EDS)
  - \* 骨材の岩石・鉱物学的特徴(地域的なデータの蓄積)

⇒高度な技術及び豊富な経験が必要(正当な対価を支払うべき)  
(コンサルタンツ、試験機関を育てる努力を怠って来たゾケ)

構造物の補修・補強技術の現状  
(失敗例から正直に学ぶことが肝要)

- 補修工法(ひび割れ注入、表面散置(伸び能力、浸水性、付着性))  
ASR劣化構造物(構造物内部から水及びアルカリの影響)  
5年以内に再劣化するものが多い(塗膜の水ぶくれ、破断)
- 補強工法(設計手法及び工法が未だ確立されていない)  
橋脚梁部(鋼板接着、FRP接着、プレストレス導入)  
柱部(鋼板、PC鋼材、RC巻き立て)  
基礎部(対策が緊急な課題)



3. ASRによるコンクリートのひび割れと鉄筋破断の特徴

*ASRによるひび割れは、鉄筋の腐食を促進させる。また、ひび割れが深くなると、鉄筋の腐食がさらに進む。ひび割れが深くなると、鉄筋の腐食がさらに進む。*

構造物のASR劣化の特徴(損傷形態)

コンクリート	鋼材
ひび割れ	腐食
変位・変形	降伏・破断
ゲルの滲出	
変色	
ポップアウト	
はく離・はく落	
強度低下	



ASRによるひび割れ (橋脚、能登半島)

ASRによるひび割れ (トンネル、能登半島)



ASRと塩害との複合劣化 (カルハートボックス、高速道路)

ASRと塩害との複合劣化 (ロックシェッド、立山山麓)



ASRと凍害との複合劣化 (橋台、白山山麓) (国道158も同じ)



### ASR劣化構造物の鉄筋破断の現状

- \* 鉄筋の破断箇所の特徴  
(躯体体積と鉄筋比、膨張の異方性(局所化))
- \* 橋脚の梁部(柱部材での破断、能登有料道、阪神高速など)  
せん断補強筋及び折り曲げ鉄筋の曲げ加工部  
主鉄筋の圧接部及び曲げ下げ、曲げ上げ部
- \* フーチング(能登有料道、新潟国道、沖縄泊大橋など)  
側面端部の曲げ加工部
- \* 橋台  
側面端部及び前面の曲げ加工部
- \* トンネルの坑口  
などでの事例が多数報告されている。

鉄筋破断が発生した  
橋脚のひび割れ(枕梁、能登半島)
せん断補強筋の破断状況  
(枕梁、能登半島)

### 橋脚・柱部の帯鉄筋の破断状況

### 橋脚・フーチングの主鉄筋の破断状況

### 鉄筋破断面の特徴 (餅は餅屋にまかせろ)(製鐵会社)

ASR膨張により鉄筋の曲げ加工部の内側に大きな引張り力が発生

- \* 曲げ加工部の内側から割れの進展(1次亀裂、2次亀裂、破断)
- \* 脆性的な破壊形態(へき開破壊)
- \* 鉄筋腐食の影響は軽微(?)
- \* 水素脆性破壊の可能性(?)

### 鉄筋破断のメカニズム

(1) 鉄筋破断の変因抽出

- \* コンクリート及び構造物(反応性骨材、配合、配筋の特徴(鉄筋量、定着長))
- \* 鋼材の品質(材質、化学成分、腐食)(電炉鉄筋、高炉鉄筋)
- \* 施工及び加工方法(加工手順、曲げ半径、圧接方法、品質管理)
- \* コンクリートの劣化損傷度(膨張量、膨張速度、アルカリ、水)

(2) 鉄筋破断のメカニズム

- \* 曲げ加工部に発生する初期亀裂(これがノッチ(欠陥)となる)
- \* 引張応力の作用下での1次割れの進展(ASRと残留応力)
- \* 鉄筋の破壊靱性値の低下<曲げ加工硬化、ひずみ時効硬化の影響有り(高炉鉄筋と比べて電炉鉄筋は劣る)
- \* 1次割れの進展後、ASR膨張による曲げ脱しにより一気に破断に至る(最終的な破断形態(脆性的破断))

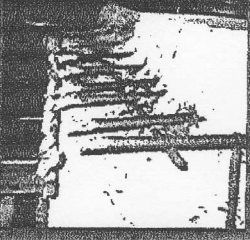
鉄筋破断が発生したRC梁またはPC梁  
の耐力の評価  
(定着が取れていれば計算では安全、本当か(No))

設計における留意点

- コンクリートの劣化のモデル化の妥当性
- 鉄筋の破断及び付着力の低下のモデルの妥当性(施工不良、配筋不良)
- 構造体のコンクリートの強度低下への影響
- 導入プレストレスカへの影響

補強設計及び補強工法の現状

- 鋼板3面張りによる補強(阪神高速道路、他)
- 打ち換え(部分的、全面的)その判断基準どうするの(？)(石川県、富山県、他)



## 4. ASR劣化構造物の補修・補強技術

### (1) ASR補修のタイミング

ASR補修のタイミング(1)剥離開始



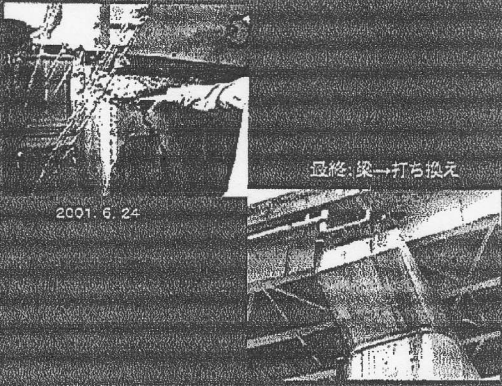
1997. 8. 27

1998. 3. 8

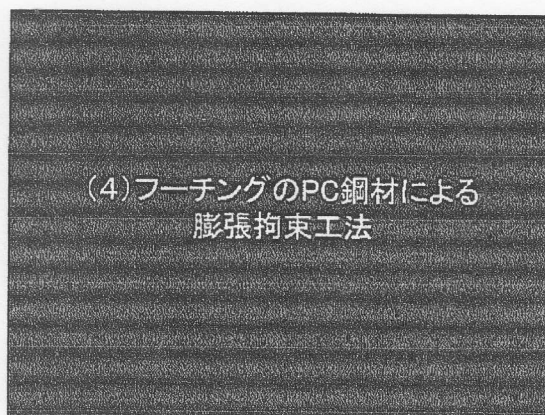
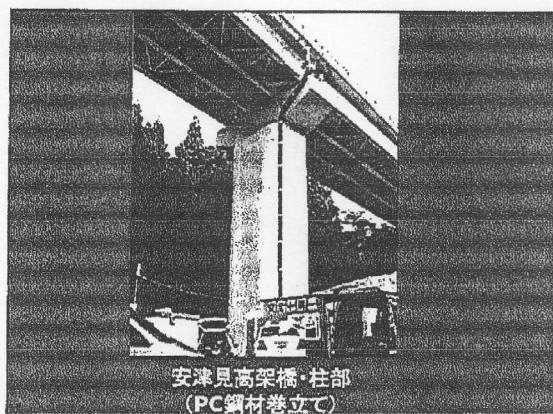
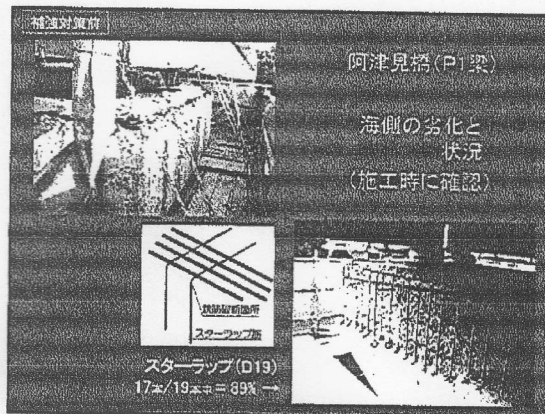
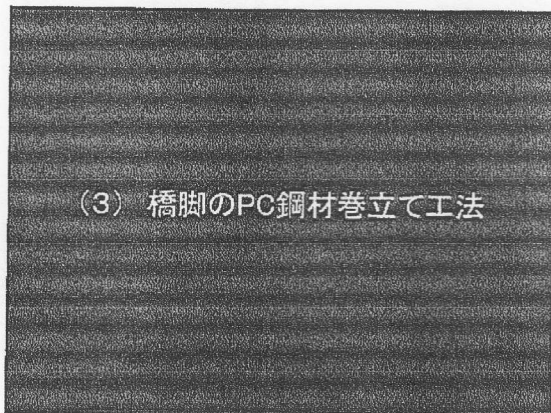
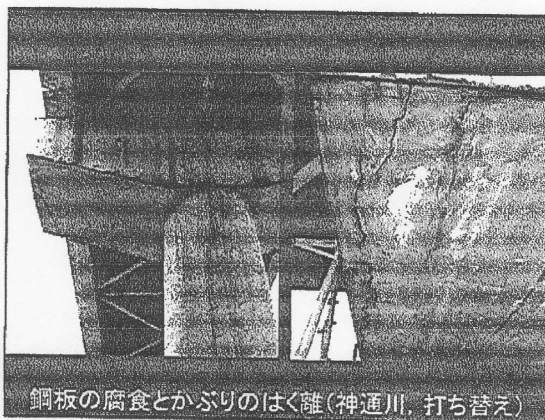
2001. 4. 23

2001. 6. 24

最終: 梁→打ち換え




### (2) 橋脚枕梁の鋼板接着工法



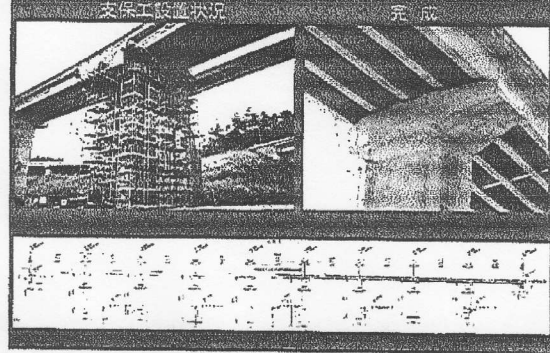
### 徳田2号橋の劣化状況

橋梁形式  
 上部構造: 2径間単純スパン方式T桁橋  
 下部構造: 橋台 道T式橋台  
 橋脚: 矩形柱状出式橋脚  
 橋長: 302.00m  
 竣工年月: 1980(S.55)年3月

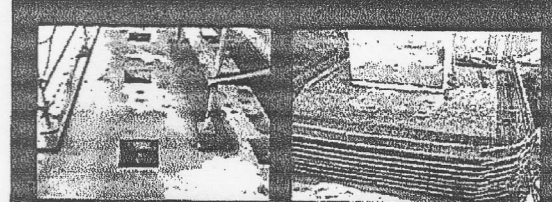


### 支保工設置状況

T梁  
 PC橋脚 梁補強工事  
 完成




フーチングのASRIによる劣化状況



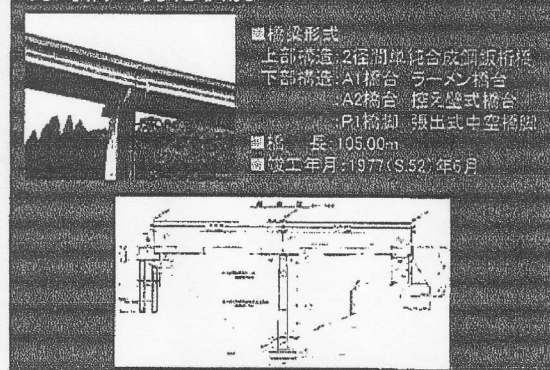
フーチングのPC鉄棒による錆腐め  
 フーチングのPC網より線による錆腐め

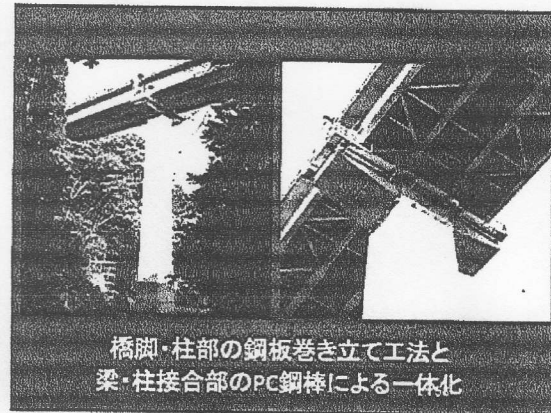
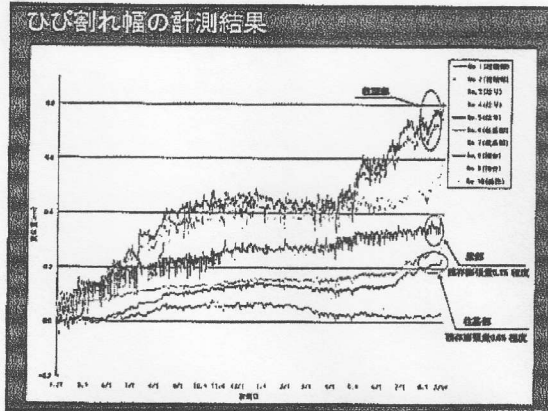
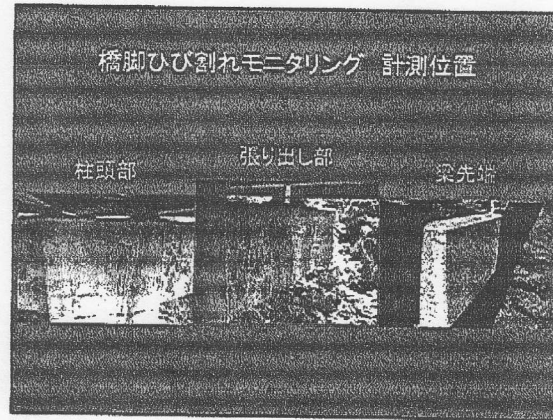
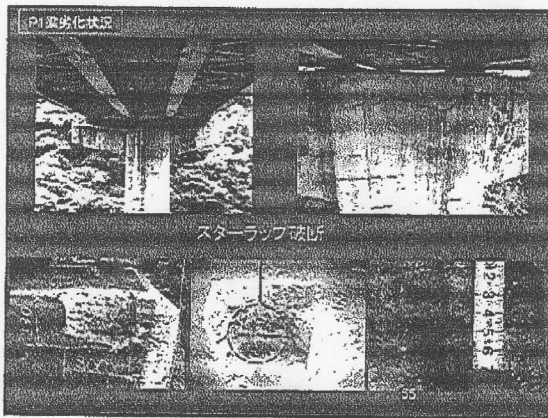
フーチングのASRIは既設のASRIより劣化が早い → 劣化が早い

### (5) 橋脚の打替とモニタリング技術

### 鹿島橋の劣化状況

橋梁形式  
 上部構造: 2径間単純合成鋼板桁橋  
 下部構造: A1橋台 ラーメン橋台  
 A2橋台 控圧壁式橋台  
 P1橋脚 張出式中空橋脚  
 橋長: 105.00m  
 竣工年月: 1977(S.52)年6月



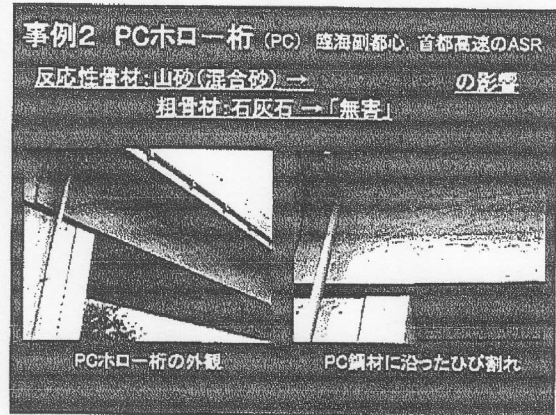
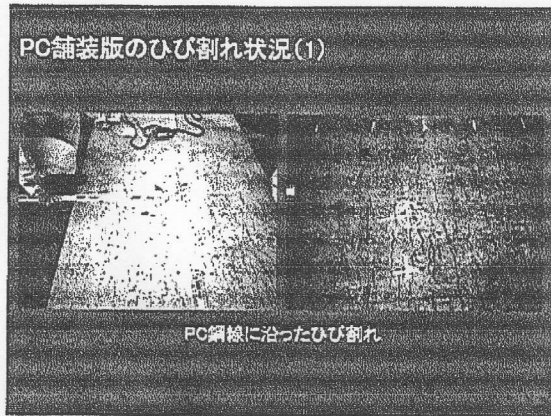


5. 新たな, 深刻なASR問題の提起  
(何故, 抑制対策後にASRが発生したのか)

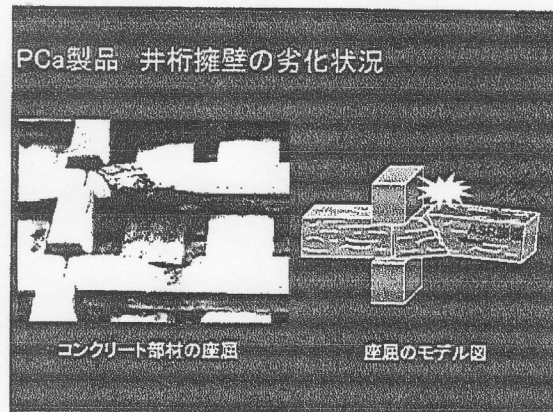
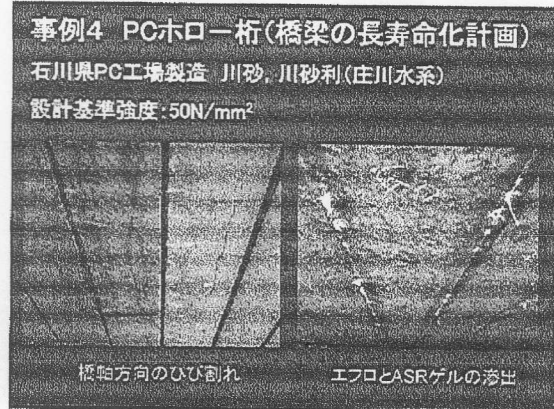


骨材中の粗砂と  
安山岩や、  
混入しており、  
ASR反応の  
発生。

東京Big Site



九州電力のモノレール



新潟県高梁産業 七尾文由産の20%選採FAの採用  
 新潟県川庄研利・砂が反応

### 北陸では同じ過ちを繰り返すな！

- \* 反応性の疑いがある骨材の使用地域(北陸)では、  
(地域指定(混合セメント(FA)との併用)が必要)
- \* 川砂、川砂利(常願寺川、九頭竜川)の使用では、  
(現行のASR試験法の見直し、ASR抑制対策が不備)
- \* 最近のASR事例の発生では、  
(ASR事例の公表、管理者の説明責任、橋梁の長寿命化)



さざれ石(石川県、気多大社)

記念講演 第Ⅱ部 資料

**北陸地方における塩害の現状と維持管理の最新技術**

(金沢工業大学 環境・建築学部 環境土木工学科 教授 宮里 心一 氏)



## 講師紹介

# 宮里 心一 氏 (MIYAZATO Shinichi)

### □ 所属組織・役職等

金沢工業大学 環境・建築学部 環境土木工学科 教授

### □ 教育分野

学士課程：環境・建築学部 環境土木工学科

大学院前期課程：工学研究科 環境土木工学専攻

大学院後期課程：工学研究科 環境土木工学専攻

### □ 所属研究室等

宮里研究室 (TEL:076-274-7798 FAX:076-274-7102)

### □ 学歴

出身大学院：東京工業大学 修士課程 理工学研究科 土木工学専攻 修了

出身大学：東京工業大学 理工学部 土木工学科 卒業

取得学位：博士(工学)

### □ 職歴

東京工業大学 工学部 助手 (1998年4月1日～2001年9月30日)

金沢工業大学 工学部 講師 (2001年10月1日～2004年3月31日)

金沢工業大学 環境・建築学部 准教授 (2004年4月1日～20011年3月31日)

金沢工業大学 環境・建築学部 教授 (2011年4月1日～)

### □ 生年月

1971年6月

### □ 所属学会

- ・ 土木学会
- ・ 日本材料学会
- ・ 日本コンクリート工学会
- ・ 腐食防食協会
- ・ 日本建築学会
- ・ 日本工学教育協会

### □ 受賞学術賞

- ・ セメント協会論文賞 (1999年5月)
- ・ 土木学会吉田研究奨励賞 (2000年5月)
- ・ ACI-SINGAPORE CHAPTER AWARD (2001年8月)
- ・ 日本材料学会論文賞 (2002年5月)
- ・ 日本コンクリート工学協会賞(論文賞) (2002年5月、2011年6月)
- ・ 土木学会論文奨励賞 (2003年5月)
- ・ Degussa-MBT AWARD (2003年8月)

# 北陸地域における塩害の現状と維持管理の最新技術

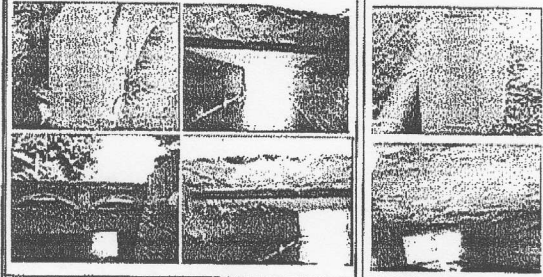
金沢工業大学 宮里心一

# 北陸地域における長寿命なRC構造物

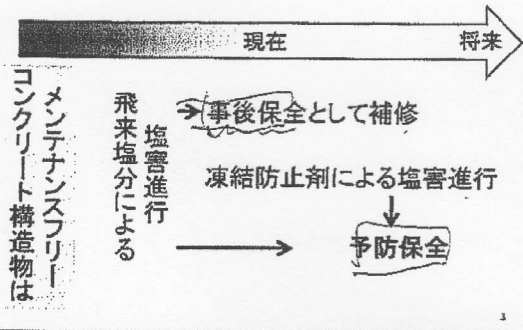
海沿いに立地

製造：昭和6年

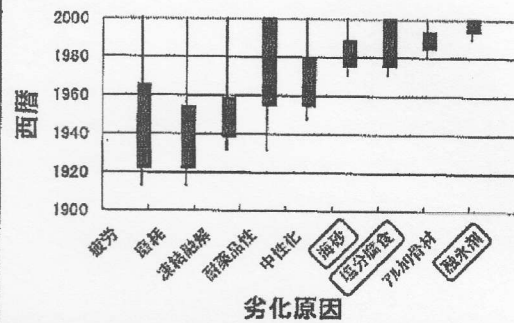
製造：昭和17年



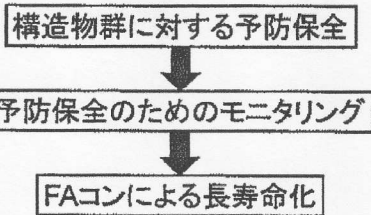
# 北陸地域における塩害劣化



# 劣化原因別の研究時期



# 発表のフロー



# 土木学会342委員会

材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会 (2010年～2015年)

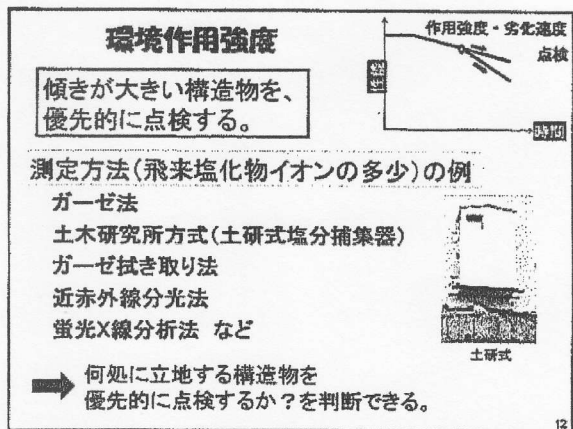
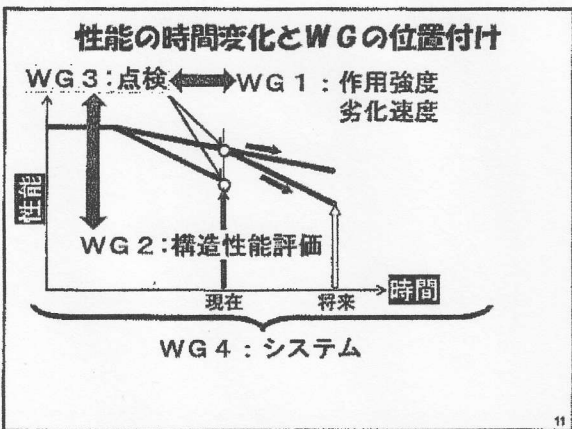
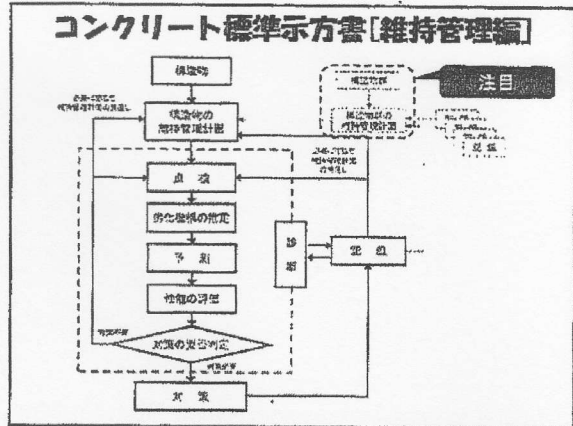
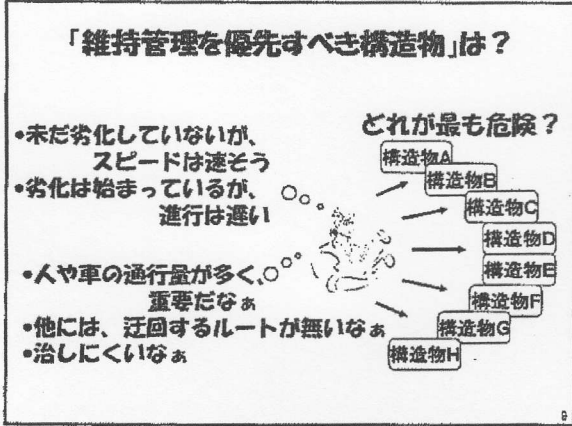
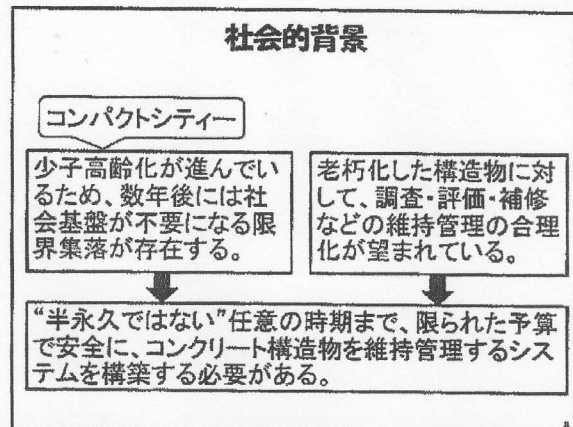
## 委員会の目的

塩害などで経年劣化したコンクリート構造物に対する点検・補修の優先度を、工学的に策定する枠組みを構築する。

「事後保全」から「予防保全」への移行期であるからこそに生じる課題を整理する。

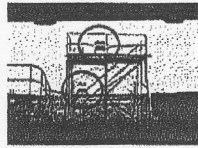
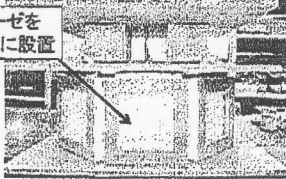
### メンバー

委員長 宮里 心一 金沢工業大学	幹事長 山本 貴士 京都大学
幹事	
上原子 昌久 筑前大学	三方 康弘 大阪工業大学
高橋 良輔 山崎大学	新川 浩 東北大学
富山 朋 筑波大学	浅田 慎 徳島大学
委員	
浅井 貴命 (株)高速度路線総合技術研究所	福名 貴扶 阪松建設(株)
石岡 健也 東京大学	尾家 明宏 三井住友建設(株)
伊藤 尚 富山県立大学	武田 尚 大成建設(株)
伊藤 尚 八千代エンジニアリング(株)	田中 秀治 (株)ウエスコ
伊藤 尚 近畿工業大学	田中 博一 清水建設(株)
大久保 孝 川田建設(株)	田中 泰明 基礎技術科学大学
小笠原 哲也 五洋建設(株)	玉井 隆 (公財)鉄道総合技術研究所
加藤 純万 (株)港湾空港技術研究所	野村 隆一 阪神高速道路(株)
加藤 信幸 東京理科大学	野村 隆一 西日本高速道路(株)
袴野 裕之 (株)尾道組	萩原 泰 西日本高速道路(株)
川島 仁 東亜建設工業(株)	(2011.4~2011.9)
北原 新也 西日本高速道路(株)	(2011.3)
尾形 一朗 防衛大学校	原 信隆 オリエンタル信託(株)
子母 廣弘 日本大学	原 信隆 (株)原田コンサルティング
小山 敬史 西日本高速道路(株)	(2011.10~)
松田 道隆 (株)ビーエス三設	松尾 豊史 (一財)電力中央研究所
浅井 裕博 八重工業大学	宮本 朋成 神戸大学
佐々木 信和 パウワックコンサルタンツ(株)	宮本 朋成 東北大学(2011.7~)
玄原 有実 (株)富士ビーエス	山岸 隆浩 西日本高速道路(株)
	横田 俊 (株)四国総合研究所



## (自作) 飛来塩分捕集器

ガーゼを  
8面に設置



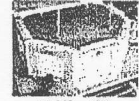
海から50mに2段で設置した例

1. 温度・湿度・風向・風速データを得られる海岸沿いに捕集器を設置する。(複数箇所)
2. 1か月毎に、ガーゼを交換し、飛来塩分量を測定する。
3. どのエリアに、最も塩分が飛来するかを評価する。
4. どのエリアの維持管理を優先するかを計画し、長期の予算計上に配慮できる。

## お願い

管理されている既設構造物に対して、  
折角の機会ですので、  
官学連携で調査をしませんか？

- 塩害環境(飛来塩分量)を1年間



8面ガーゼ法

申込・相談窓口:宮里(miya-zato@neptune.kanazawa-it.ac.jp,  
076-274-7798)

14

## 保有性能評価

値が小さい構造物を、  
優先的に点検する。



グレードに基づく保有性能評価(鉄道)の例

健全度	運転・旅客等の安全	変状の程度	措置等
AA	脅かす	重大	緊急に措置
A	A1 早晚脅かす、 異常時に脅かす	進行している	早急に措置
	A2 将来脅かす	性能低下のおそれ	必要時期に措置
B	進行すればA1になる	進行すればA1になる	必要に応じて監視
C	現状では影響なし	軽微	重点的に調査
S	影響なし	なし	なし

➡ 身の丈に応じてグレーディングを評価する。

15

## 致命的な損傷の例

参考となる資料

国土交通省国土地理院:道路の劣化検査の概要、道路橋の重大損傷一巡査の事例—平成21年3月、  
<http://www.mlit.go.jp/road/mooka/yohohosen/yohohosen.html>

## PCに特有の調査技術

PCはRCと比較して、ひび割れ  
発生後から破壊に至るまでの  
耐力に余裕が少ない。



対象	手法
クラック充填	削孔目視調査衝撃弾性波法、電磁波レーダ法(マルチパスアレイレーダ法)、超音波法(広帯域超音波法)、衝撃弾性波法(打音振動法)、衝撃弾性波法(インパクトコー法)、X線透過法
プレストレスト	鉄筋切断法、スロトストレス法(コンクリート応力解放法)、応力解放法
ケーブル張力	振動法、磁歪法
内部破断	AE(アコースティック・エミッション)法

➡ PCの実用的な点検技術を確立する。

17

*planckをいじる程度はあつた  
あてはまる*

## まとめ①

作用環境や劣化速度の空間的分布に関する情報を、簡易・広範囲・定量的に取得できる信頼性の高い調査方法を確立する。

大規模な構造物群に対するスクリーニングにおいて、半定量的な構造性能評価方法(=グレーディング)を確立する。



管理者にとって支出の平準と縮減を図るため、調査を効率化と低コスト化する。

18

### まとめ②

予防保全では、外観調査による診断が困難なため、非破壊調査を活用する。



予防保全の観点から、変状が顕在化する前段階での非破壊調査、および維持管理水準以下で変状の経時変化を把握するためのモニタリング手法の開発と運用を進める。

19

### まとめ③

トータルコストも考慮した、新たな運用システムを確立する。



点検業務の大ロット化や、ライフタイムを考慮した維持管理に向けた、運用システム全体を改革する。

20

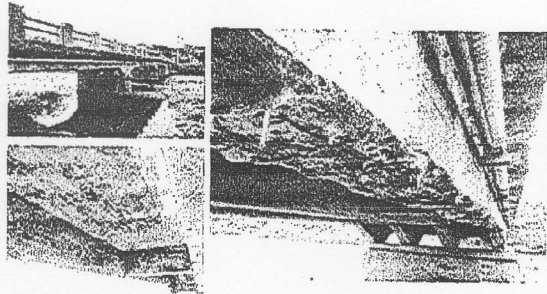
### 構造物群に対する予防保全

将来的にも必要な構造物を選定し、対象部材の劣化や変状の程度を調査で明らかにし、かつその情報を入力値として今後の性能低下を予測し、供用期間にわたり要求性能を下回らない対策を実施することである。

特に今後は、材料劣化に関する性能のみならず、材料劣化に起因した力学性能にも着目すべきである。

### 各地・各国の塩害

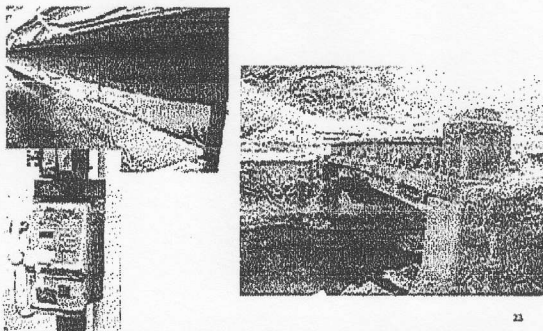
青森県 昭和7年架橋 塩害と凍害の複合劣化



21

### 各地・各国の塩害

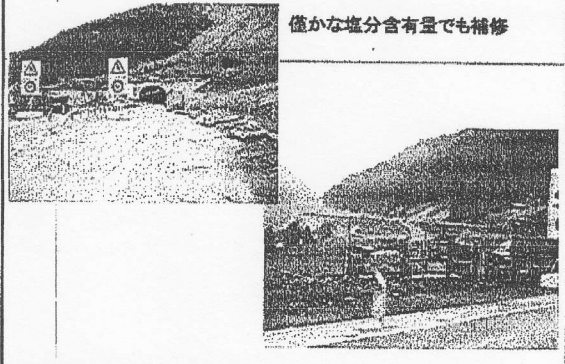
沖縄県 塩害による劣化←高温多湿で促進

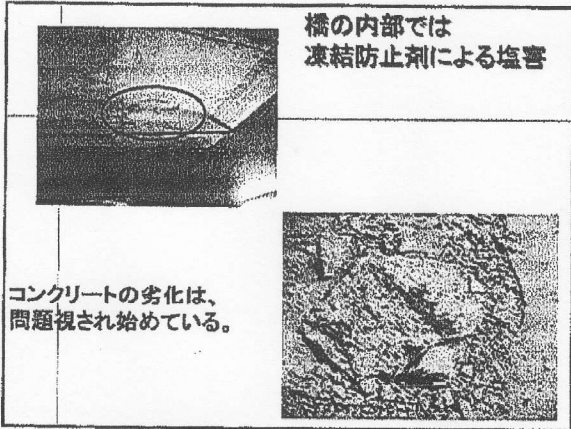


22

### ドイツ・スイス アウトバーン

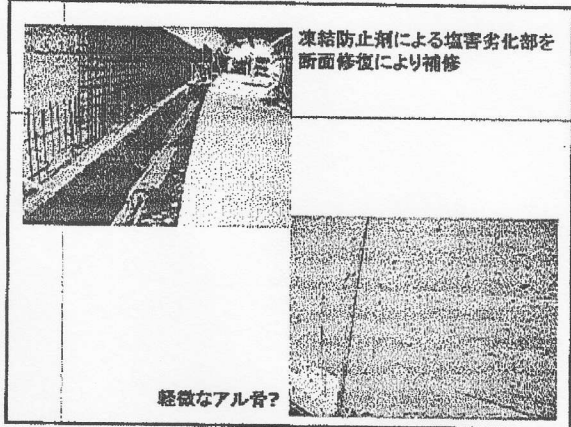
僅かな塩分含有量でも補修





橋の内部では凍結防止剤による塩害

コンクリートの劣化は、問題視され始めている。



凍結防止剤による塩害劣化部を断面修復により補修

軽微なアルケ?

**維持管理業務に対するスイス人の意識**

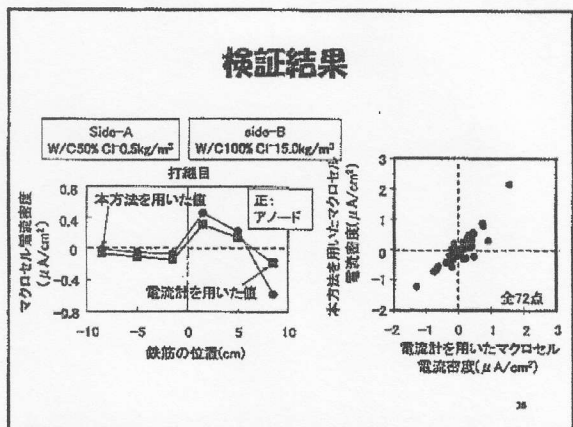
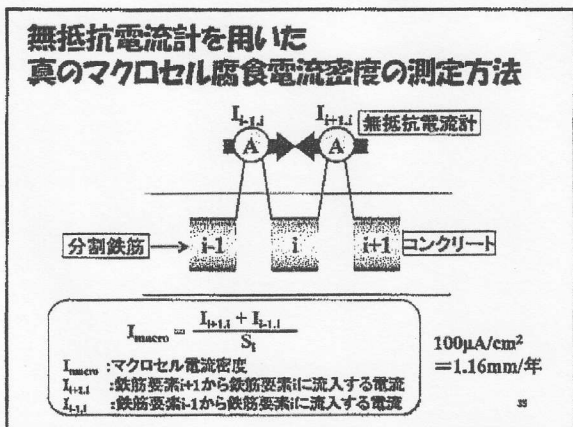
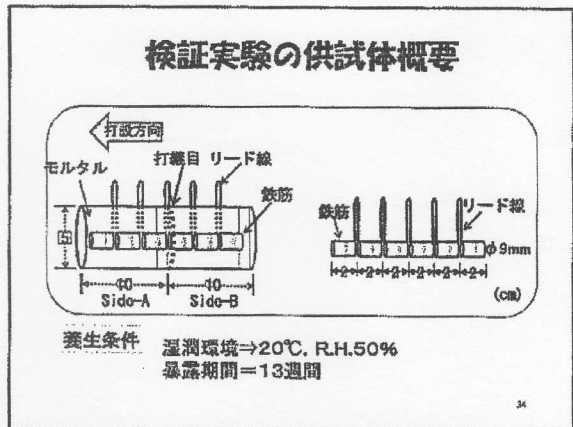
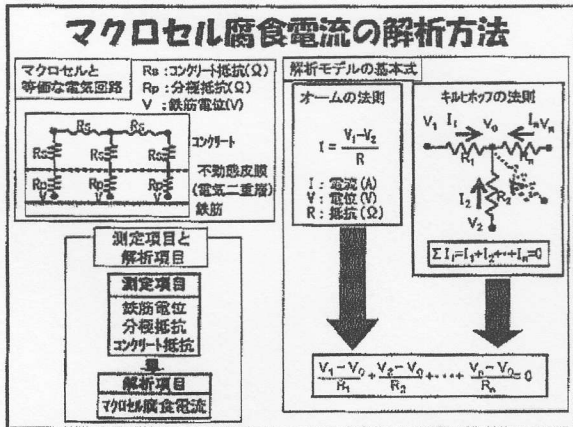
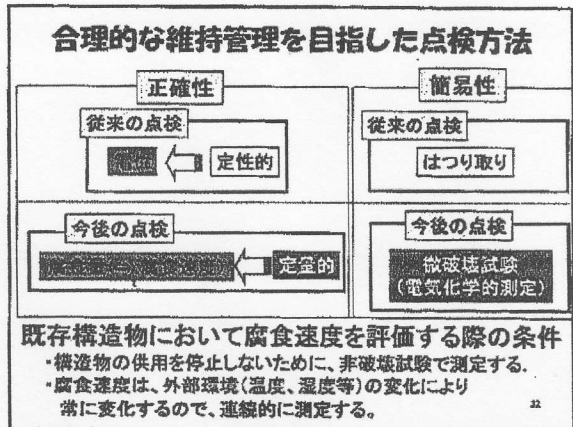
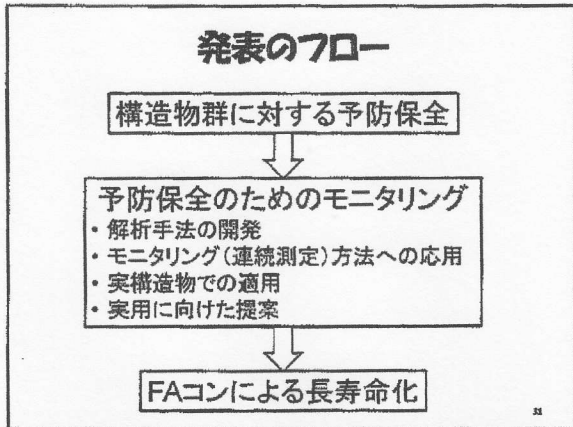
- 30年前、トンネル内床版の塩害により、トラックが転落し、大事故になった。これを機に、市民へ「コンクリート構造物の維持管理の重要性」を説明してきた。
- 現在では、維持管理費(予防保全が主)と建設費は同額。  
(スイスの補修費=5万円/人)

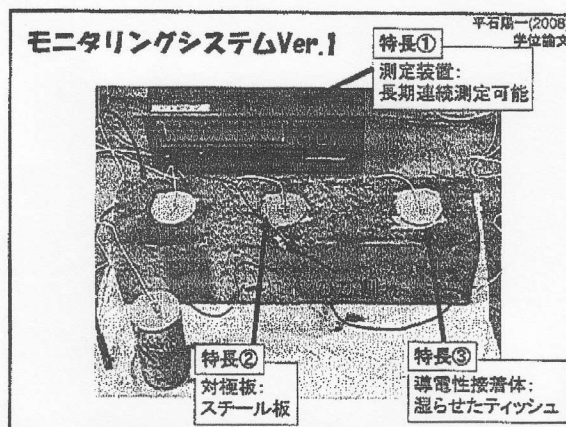
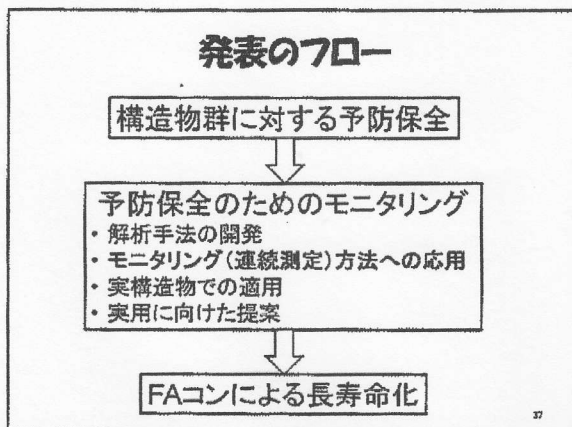
**スリランカ メイン国道**

NEXCO中日本の技術者(実は中学時代の同級生)がJICA専門家として派遣されていた。

英国が建設したコンクリート橋ではあるが、維持管理はされておらず、劣化が放置されている。

民族衣装での業務は日常風景。

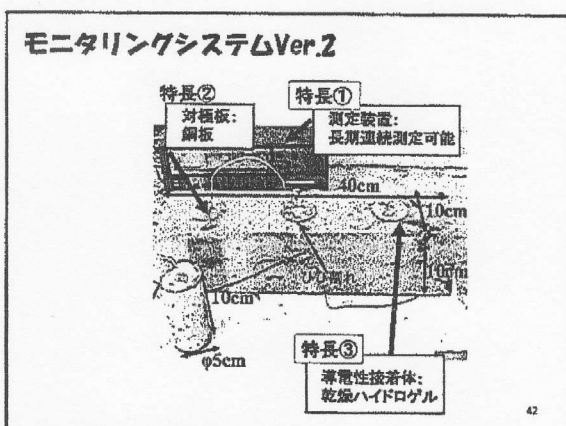
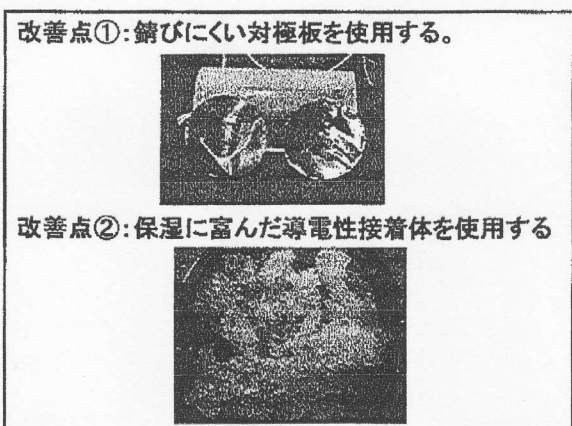
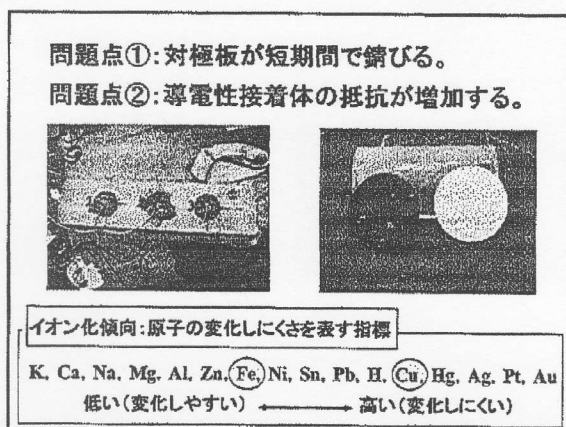




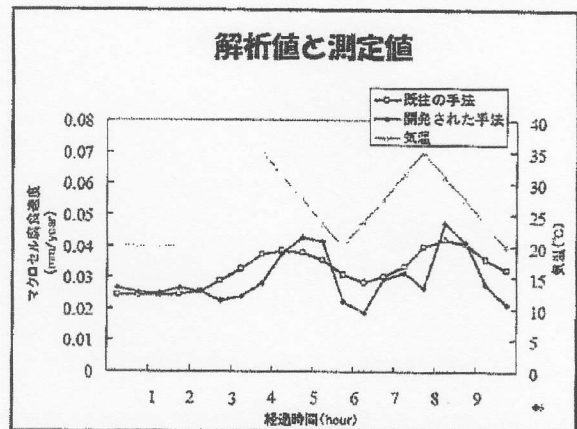
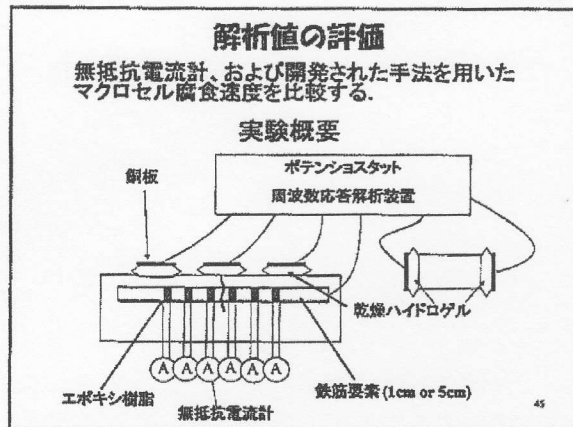
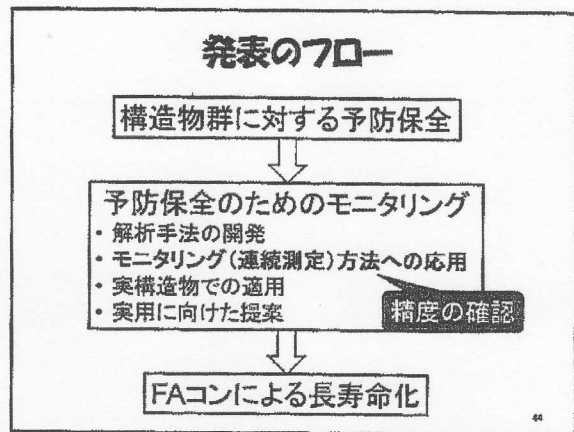
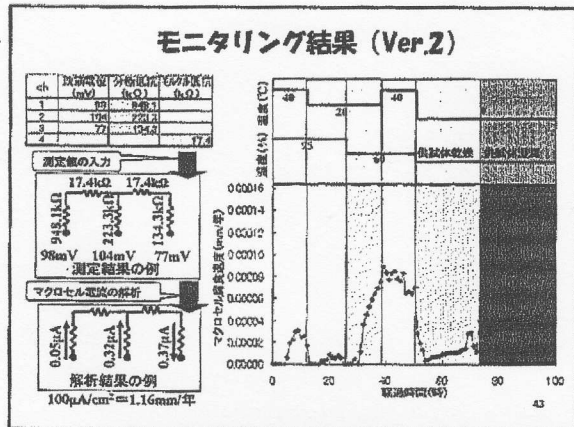
### モニタリング結果 (Ver.1)

時間 (hour)	対極1		対極2		対極3		モルタル抵抗 (kΩ·cm)
	V(mV)	Rp (kΩ)	V(mV)	Rp (kΩ)	V(mV)	Rp (kΩ)	
0	729	36.29	750	30.49	773	62.89	3.92
1.5	710	24.88	707	27.98	775	65.49	3.72
3	632	36.23	683	26.46	768	73.82	4.12
51	448	38.19	684	45.02	452	58.14	3.96
52.5	386	43.45	683	48.90	430	Error	3.87
54	440	33.51	665	49.97	383	Error	3.92

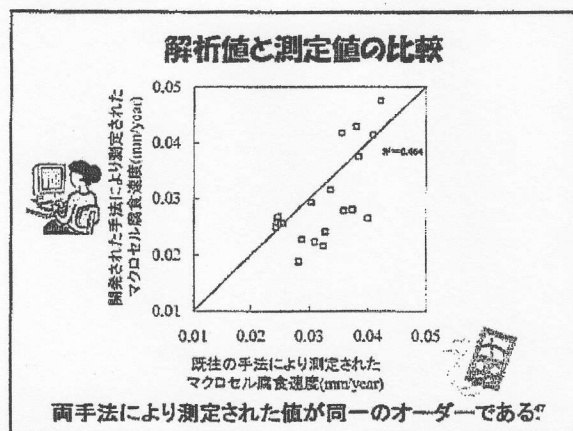
測定不可







腐食速度の解析値と測定値が一致する



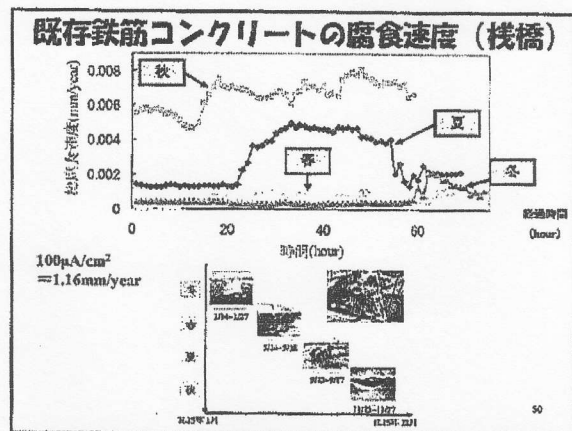
### 既存鉄筋コンクリート構造物への適用 (桟橋)

建設: 昭和24年  
かぶり: 10cm  
コンクリートのW/C: 56.2%  
塩化物イオン: 鉄筋位置まで浸透

測定場所

七尾市

コンクリート中の鉄筋位置



### 既存鉄筋コンクリート構造物への適用 (道路橋)

構造物の状況

昭和47年完成

昭和58年塩害による劣化のため一次補修

昭和63年塩害による劣化のため再補修

塩化物イオン: 鉄筋位置まで浸透

中性化: 底面より15mmまで進行

主桁

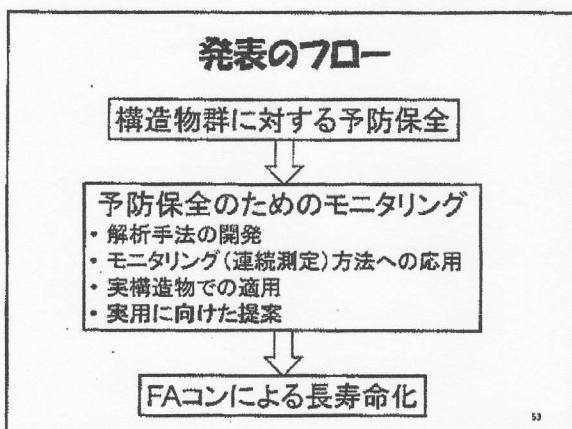
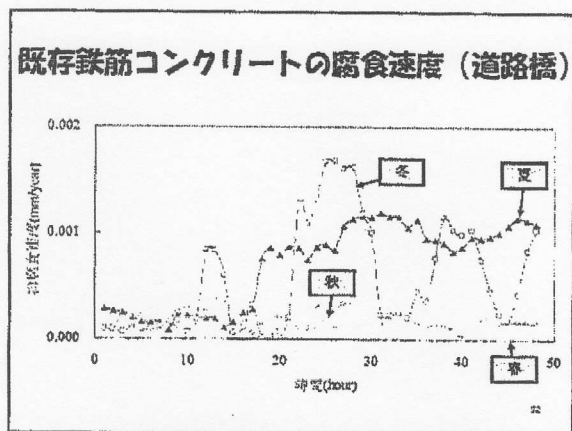
設計強度 (N/mm <sup>2</sup> )	40
W/C (%)	39
セメント (kg)	400
砂 (kg)	650
砂利 (kg)	1164

示方配合

導電性検査剤

50cm

対極板



### 実用に向けた提案

- 腐食速度は数年毎に測定して、気温で補間する。  
コンクリート内部の温度を気温から推定した後、アレニウスの法則に基づいて鉄筋の腐食速度を推定する。  
三田村恒彦(2009)修士論文
- 腐食速度は2週間毎にAM10時に測定して、平均腐食量を予測する。

100℃で2週間毎に腐食速度は2倍になる  
アレニウスの法則

$$T = T_1 + \theta \times \left[ \frac{4}{\pi} \exp\left\{ a \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 t \right\} \sin \frac{\pi}{l} x \right]$$

供試体外部温度  
 鉄筋  
 2層  
 24.0  
 0 (min) 30 (min) ※イメージ図  
 0.05m 100mm

$T$ : コンクリート内部温度(°C)  $a$ : 熱拡散率(m<sup>2</sup>/s)  
 $\theta$ : 温度勾配(°C)  $l$ : 厚さ(m)  
 $T_1$ : 環境温度=気温(°C)  $t$ : 時間(s)  
 $x$ : 推定地点(m)

表面温度(供試体外部温度)が24.0°Cに対して、モルタル内部温度が20.2°Cの時1800秒後のモルタル内部温度を推定する。

$T = 24.0 + 3.8 \times \left[ \frac{4}{\pi} \exp\left\{ 3.5 \times 10^{-7} \times \left( \frac{\pi}{0.1} \right)^2 \times 1800 \right\} \sin \frac{\pi}{0.1} \times 0.045 \right]$   
 $T = 21.4$

出典: 恒動工学

**反応速度式**  
 $V = k \cdot C$   
 $V$ : 腐食速度  
 $k$ : 速度定数  
 $C$ : 濃度

**アレニウスの式**  
 $k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$   
 $k$ : 速度定数  
 $R$ : 気体定数 (0.00199 kcal/K/mol)  
 $A$ : 頻度因子  $T$ : 絶対温度 (K)  
 $E$ : 活性化エネルギー (kcal/mol)

$\ln(V) = \frac{E}{R} \frac{1}{T} + \ln(A \cdot C)$

**アレニウスプロット**  
 縦軸:  $\ln(V)$   
 横軸:  $1/T$   
 傾き:  $-\frac{E}{R}$

**恒温恒湿装置**  
 RH60%  
 コーナー  
 温度計

腐食速度比  
 温度(°C)  
 モルタル内部温度(°C)

外部温度の変動する範囲(°C)	外部温度の変動量(°C/h)
20→35	5
20→35	10
30→15	-5
30→15	-10

腐食速度比  
 モルタル内部温度(°C)  
 時間(min)  
 モルタル内部温度(10<sup>-3</sup>K)<sup>-1</sup>

$\ln(V) = -5750.6 \frac{1}{T} + 19.4$

$R^2 = 0.9712$   
 $R^2 = 0.9536$

推定値(°C)  
 実測値(°C)  
 モルタル内部温度

推定値  
 実測値  
 腐食速度比

2007年10月19日16時  
 3. 腐食速度を調査  
 腐食速度は、1.72(μA/cm<sup>2</sup>)  
 コンクリート内部温度は、20°C

過去  
 2. コンクリート内部温度を推定  
 4. 過去の腐食速度を推定

未来  
 5. 5年間の腐食量を推定  
 14.56(mg/cm<sup>2</sup>)

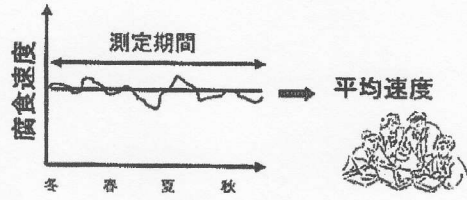
1. 気温データを取得

$\ln(V) = -5750.6 \frac{1}{T} + 19.4$

### 実用に向けた提案

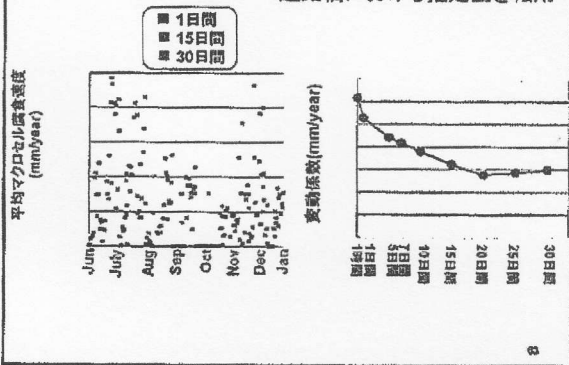
- ①腐食速度は数年毎に測定して、  
気温で補間する。
- ②腐食速度は2週間毎にAM10時に測定して、  
平均腐食量を予測する。

### 実用化に向けた提案②

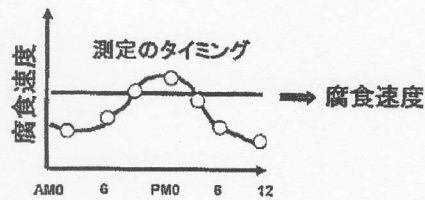


平均腐食速度を評価でき得る最短期間は？

道路橋における推定値を転用

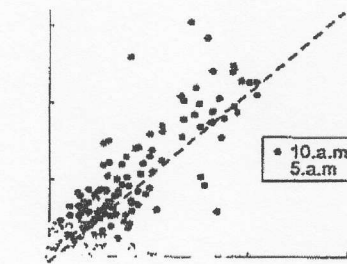


### 実用化に向けた提案②



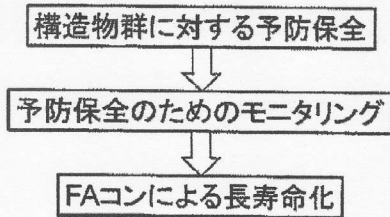
いつのタイミングが平均腐食速度を測定できる？

任意のタイミングで測定された  
マクロセル腐食速度(mm/year)



日平均のマクロセル腐食速度(mm/year)

### 発表のフロー

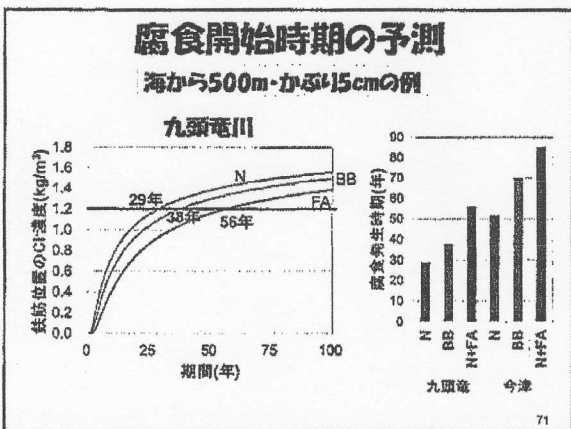
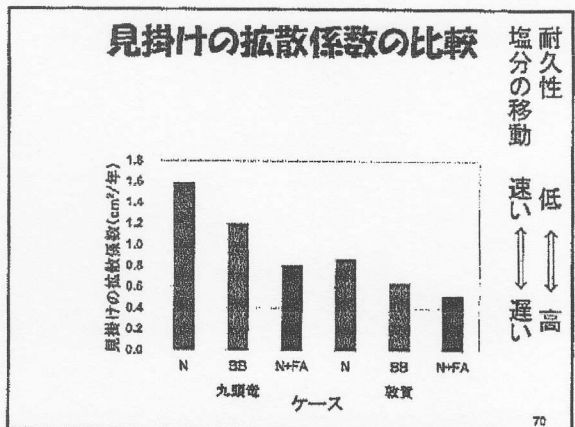
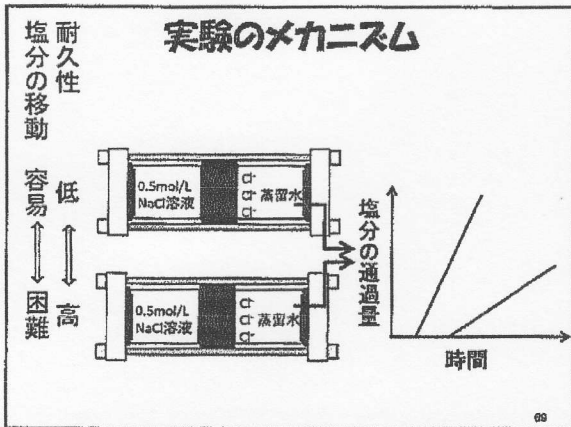
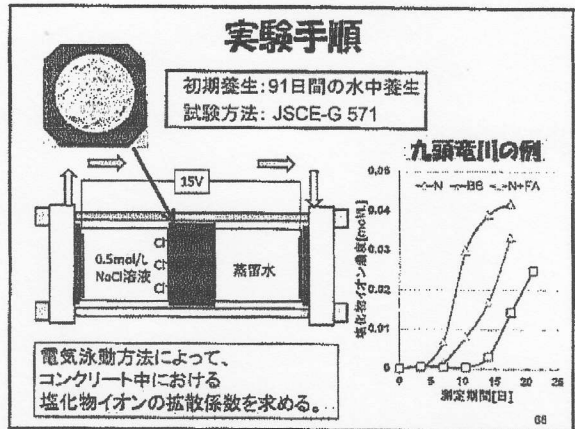


### 検討ケース

田端展伍(2013)

骨材産地	種別	W/B (%)	単位置量(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	FA	S	G
九頭竜川	N	54	160	297	0	810	1023
	BB	51	157	308	0	774	1049
	FA	51	152	253	45	779	1039
今津	N	54	164	304	0	822	1065
	BB	52	161	310	0	796	1085
	FA	52	165	270	48	791	1068

呼び強度24  
福井県生コン工組で配(調)合設計



### 計算に用いた点検の条件

点検時期	調査項目	点検間隔(年毎)	点検費用
潜伏期	外観(目視)	1	280(円/m <sup>2</sup> )
	塩化物イオン量	5	22000(円/25m <sup>2</sup> )
進展期	外観(目視, 浮き, はく離)	1	500(円/m <sup>2</sup> /年)
	自然電位	5	5900(円/m <sup>2</sup> )
加速期	外観(目視)	1	280(円/m <sup>2</sup> )
	耐力	5	250000(円/件)

安心

点検頻度が少ない

危険

点検頻度が多い

FAのメリットが大きい  
かつL.C.C.が期待できる

