

# 塩害による RC 床版の劣化と その対策

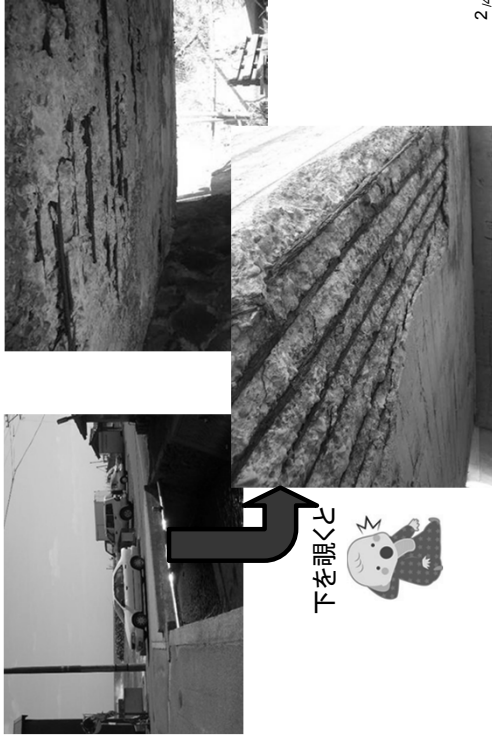
宮里心一  
金沢工業大学

# 塩害によるRC床版の劣化とその対策

金沢工業大学  
宮里 心一

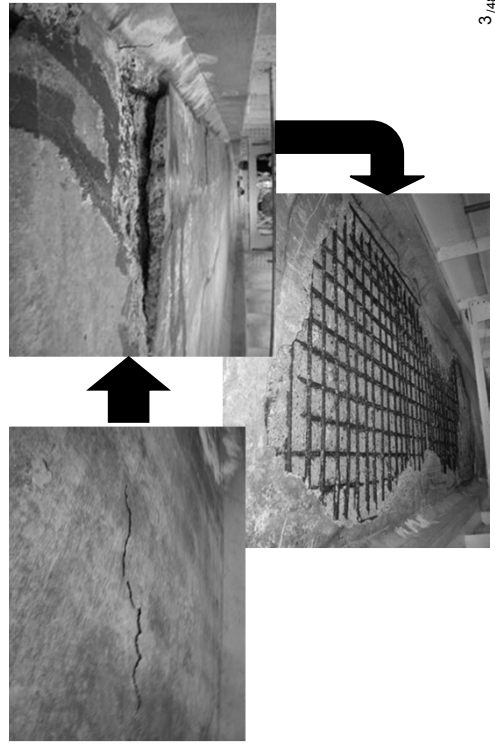
1 / 48

## 塩害によるRC床版の劣化事例（海岸地帯）



2 / 48

## 塩害によるRC床版の劣化事例（積雪地帯）



3 / 48

## 発表のフロー

塩害劣化の進行メカニズム

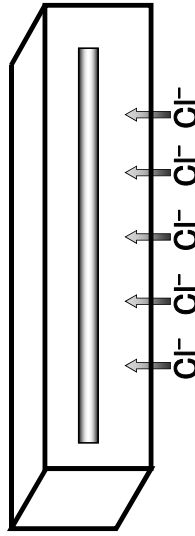
凍結防止剤による塩害進行の定量評価

潜伏期への予防対策の例

加速期への応急対策の例

4 / 48

### RCにおける塩害進行の流れ



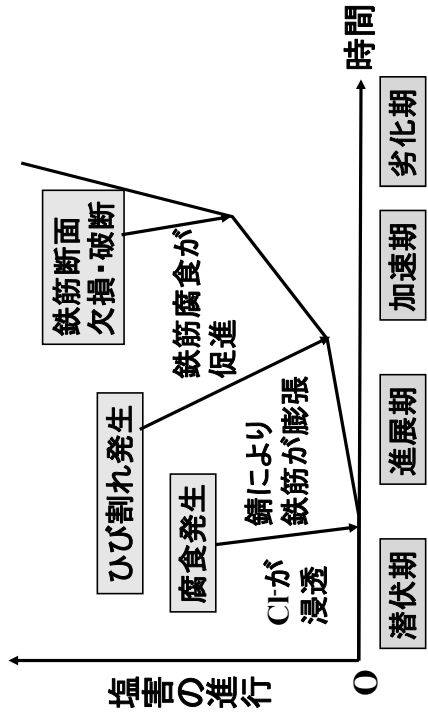
塩化物イオンがコンクリート内部の鉄筋に浸透する。

鉄筋周囲の不動態皮膜が破壊し、腐食が進行する。

かぶりコンクリートが剥落する。鉄筋の断面が減少する。

5.48

### RCにおける塩害による劣化進行機構



6.48

### 潜伏期

塩化物イオンがコンクリートへ浸透する。

### コンクリート標準示方書

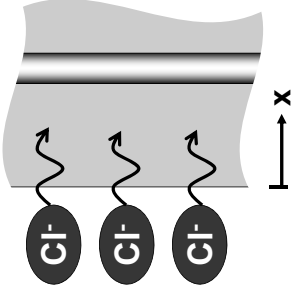
$$C_{(x,t)} = C_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right)$$

$C_{(x,t)}$ : 供用期間 $t$ 年における表面からの距離 $x$  cmでの塩化物イオン量

$C_0$ : 表面塩化物イオン量  
↳ 構造物の供用位置

$D_d$ : 塩化物イオンの拡散係数  
↳ コンクリートの品質

### フイックの拡散則



7.48

### Co: 表面塩化物イオン量

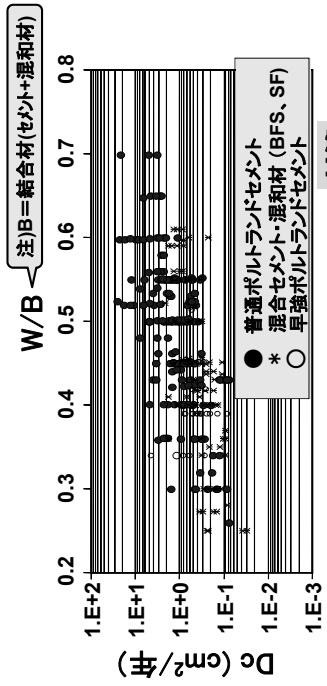
飛沫帯	海岸からの距離 (km)				
	汀線付近	0.1	0.25	0.5	1.0
13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5
	4.5	2.5	2.0	1.5	1.0

上段: 飛来塩分の多い地域=北海道、東北、北陸、沖縄  
下段: 飛来塩分の少ない地域=関東、東海、近畿、中国、四国、九州

凍結防止剤による塩分浸透の場合、 $C_0$ はさらに多い。

8.48

### Dc: 見かけの拡散係数

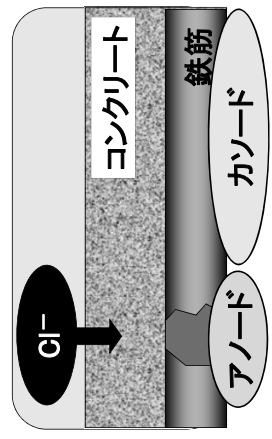
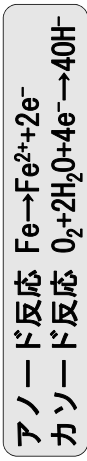


**対策**  
FBコンのDc < 普通コンのDc

Nコンクリート:  $\log Dc = 3.0(W/C) - 1.8$   
 BBコンクリート:  $\log Dc = 3.2(W/B) - 2.4$   
 FBコンクリート:  $\log Dc = 3.0(W/B) - 1.9$

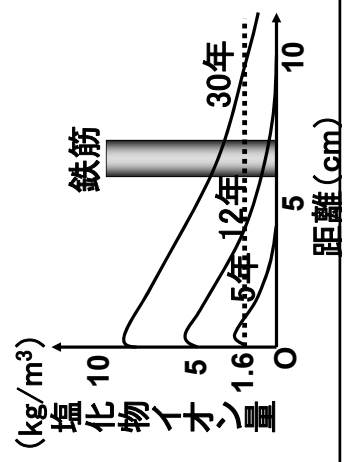
### 進展期

鉄筋が腐食する。



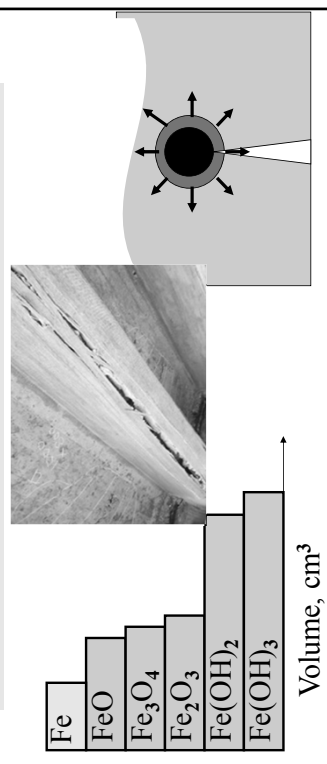
### 発錆塩化物イオン量 (kg/m³)

- 普通ポルトランドセメント -  $3.0(W/C) + 3.4$
- 高炉セメントB種 -  $2.6(W/C) + 3.1$
- FAセメントB種

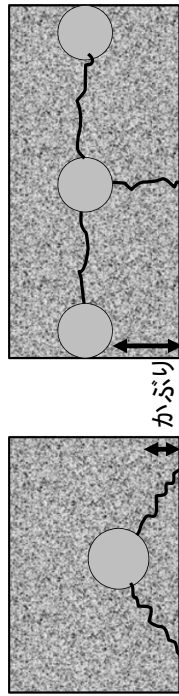


### 加速期

鉄筋が錆びにより膨張し、膨張圧により、鉄筋軸方向にひび割れが生じる。



### 腐食ひび割れの特徴

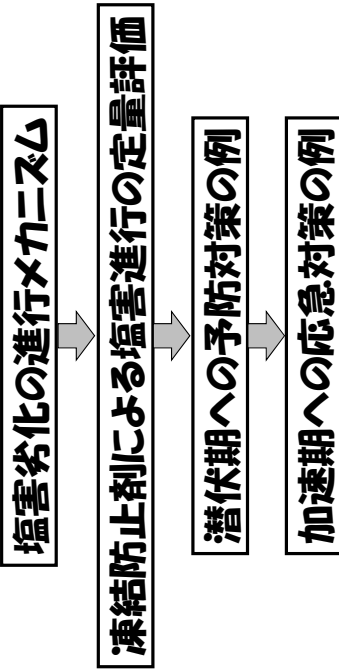


(1) かぶりが  
薄い場合

(2) かぶりが  
厚い場合

13<sub>448</sub>

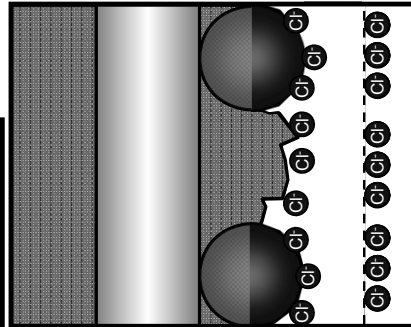
### 発表のフロー



14<sub>448</sub>

### 実験概要

(山本重理子、修論, 2006)  
(平野誠志、土木学会論文集, 2015) 改編



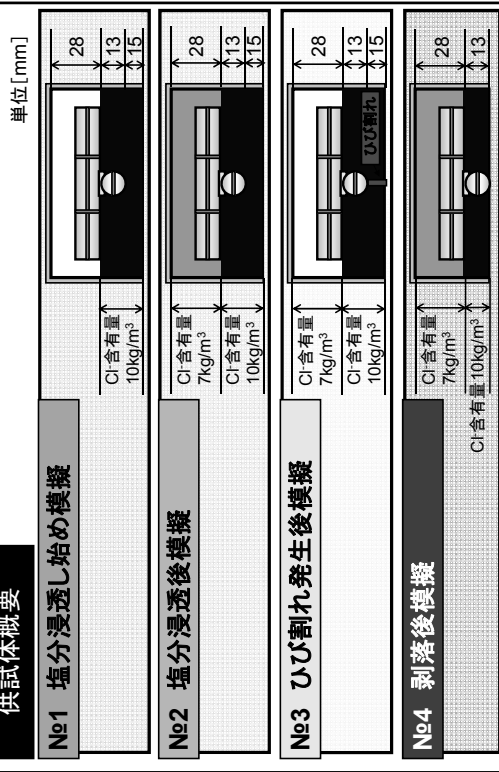
析端部腐食進行過程(仮説)

- No1 塩分浸透し始め模擬
- No2 塩分浸透後模擬
- No3 ひび割れ発生後模擬
- No4 剥落後模擬

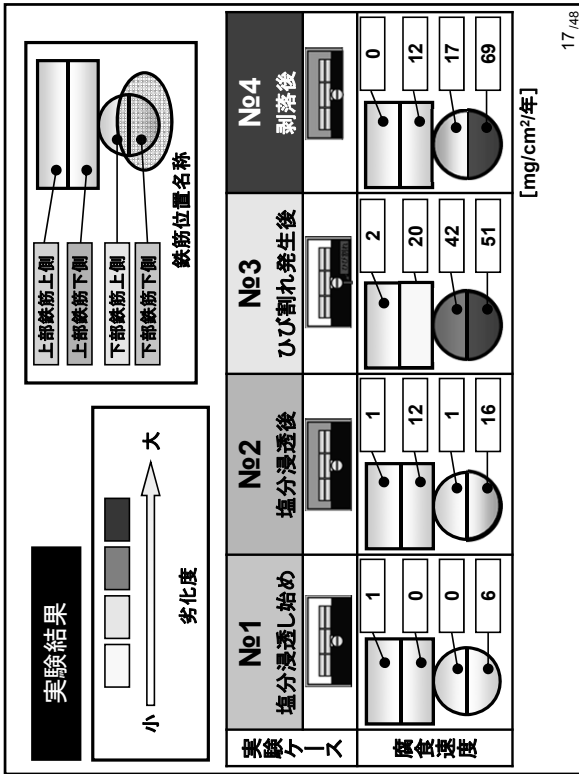
実験ケース

15<sub>448</sub>

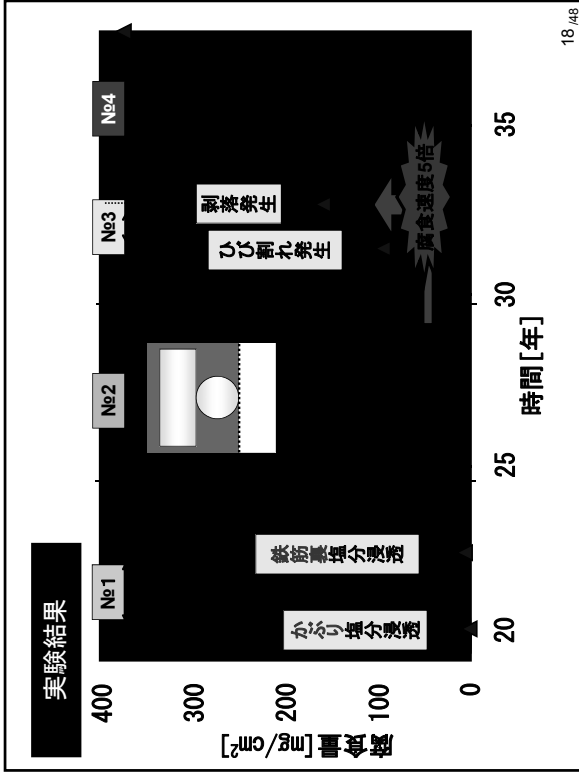
### 供試体概要



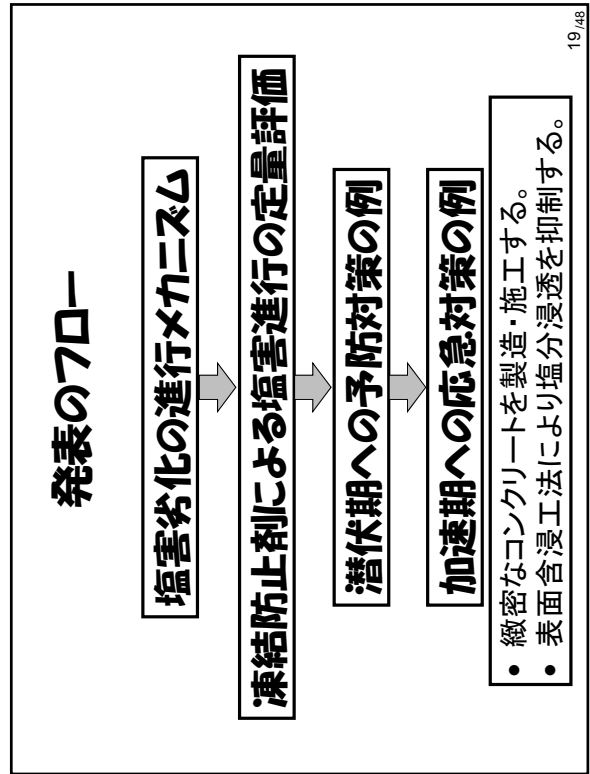
16<sub>448</sub>



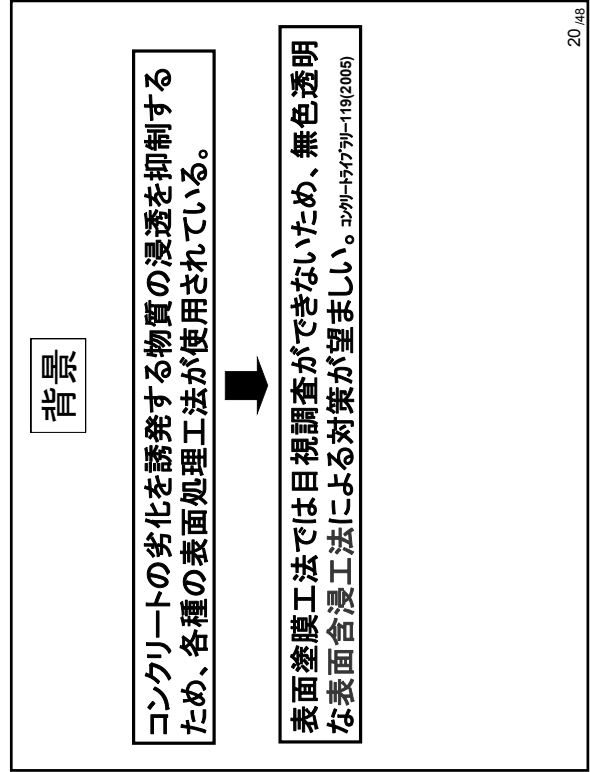
17<sub>448</sub>



18<sub>448</sub>

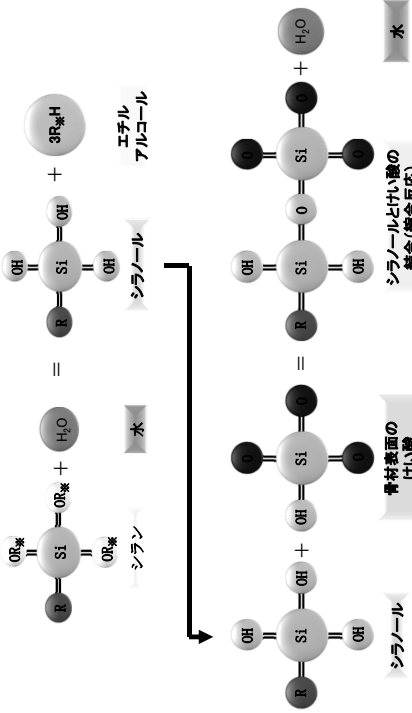


19<sub>448</sub>



20<sub>448</sub>

## シリコン系表面含浸材の化学反応

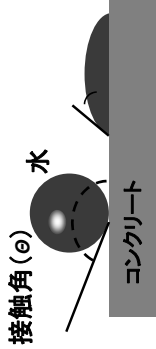


コンクリート用骨材は、主に石英またはCaとMgの炭酸塩にけい酸塩が混入したものである。

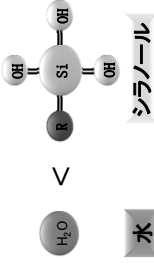
21\_48

## 接触角と透水性

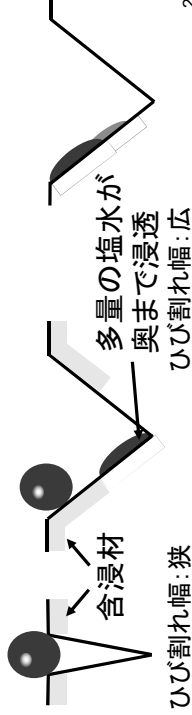
コンクリート表面と水の接触角が大きいほど、透水性は低くなる。



## 分子の大きさ



## ひび割れと塩水の浸透性

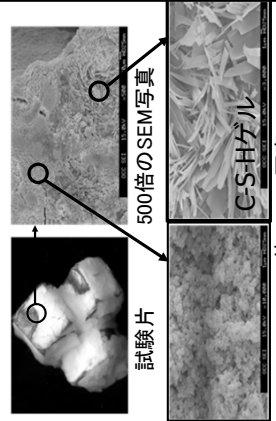


22\_48



## けい酸塩系表面含浸材の化学反応

けい酸アルカリ金属塩を主成分とする液状材料をコンクリートに含浸し、水酸化カルシウムと反応させてC-S-Hゲルを生成し、コンクリート表面層部を緻密化・改質させる。

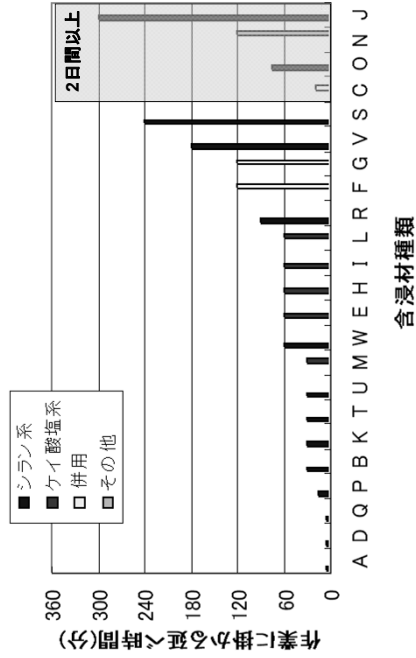


3000倍のSEM写真

23\_48

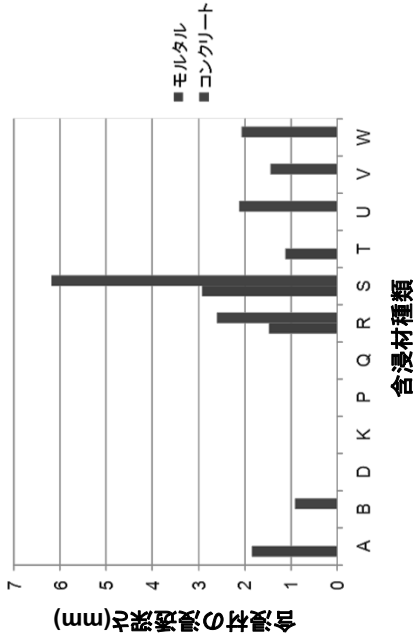
## 作業時間

(松田哲夫、コンクリートの補修・補強  
アプグレイト・シンポジウム、2009)



24\_48

### 含浸材の浸透深さ(シラン系のみ)

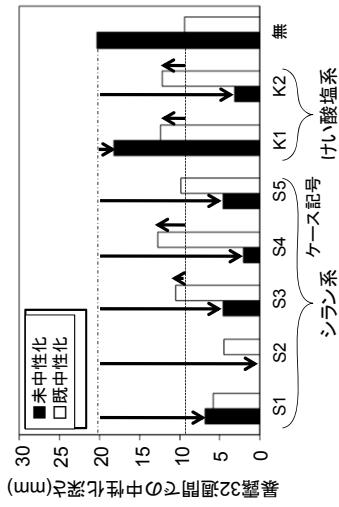


25/48

### 中性化進行

(村谷賢佑、土木学会年次学術講演会講演概要集、2011)

※既中性化の中性化深さ=暴露32週間での中性化深さ-初期中性化深さ

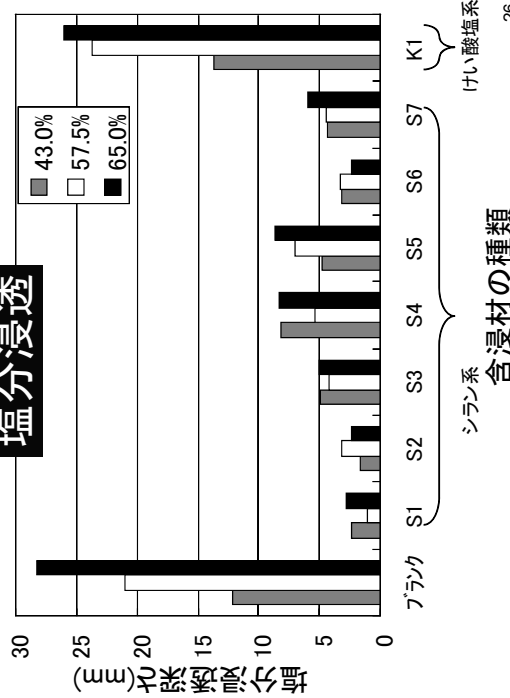


- ①未中性化供試体には表面含浸材の中性化抑制効果が見られる
- ②一部の表面含浸材は塗布することで無塗布より中性化が進行する

27/48

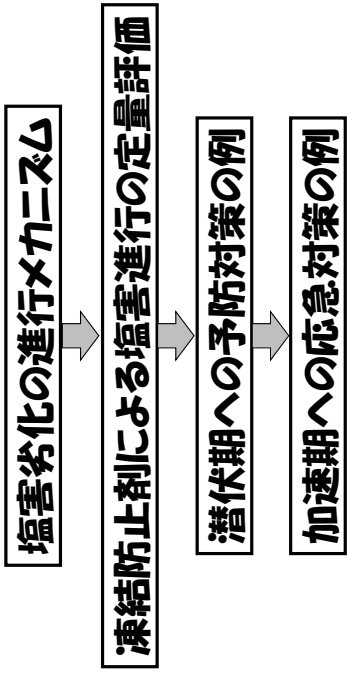
(阿川清隆、JCI年次論文集、2011)

### 塩分浸透



26/48

### 発表のフロー



28/48



## 断面修復後の再劣化

部材全体に発錆限界以上の塩化物イオンが混入されているコンクリートを断面修復により補修する際は、母材と補修材の塩化物イオン濃度差により再劣化(マクロセル腐食)が生じる。

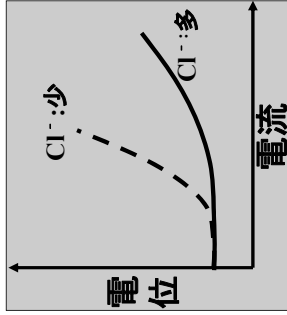
欠陥	なし	断面修復部
腐食形態	マイクロセル腐食	マクロセル腐食
特長	アノードは全面的	アノードが局所化
腐食速度	遅い	速い
概念図		

29/48

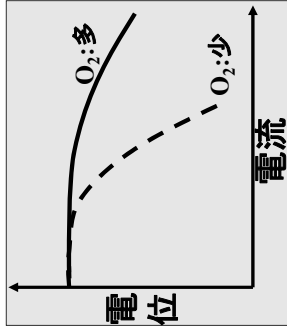
## コンクリート中の鉄筋腐食



アノード分極曲線



カソード分極曲線



30/48

## 断面修復後の再劣化

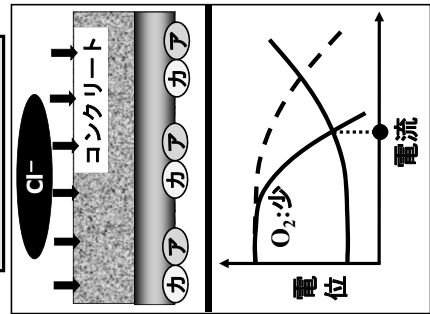
部材全体に発錆限界以上の塩化物イオンが混入されているコンクリートを断面修復により補修する際は、母材と補修材の塩化物イオン濃度差により再劣化(マクロセル腐食)が生じる。

欠陥	なし	断面修復部
腐食形態	マイクロセル腐食	マクロセル腐食
特長	アノードは全面的	アノードが局所化
腐食速度	遅い	速い
概念図		

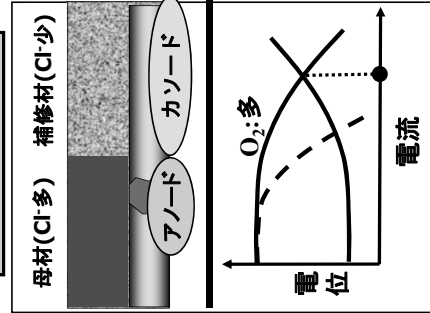
29/48

## 腐食形態と腐食速度

マイクロセル腐食



マクロセル腐食

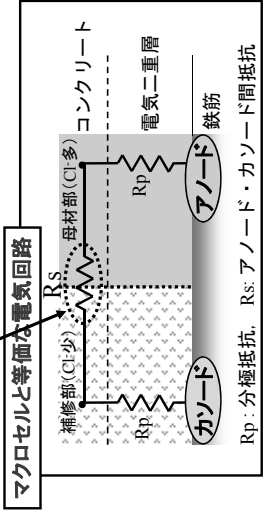


31/48

## マクロセル腐食を抑制するアイデア

候補として...

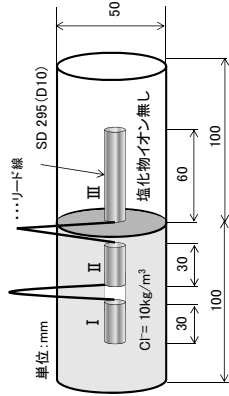
- ①アノード・カソード間の抵抗を増加させ、セル(電気回路)の形成を困難にする。
- ②カソード反応に必要な酸素の浸透量を低減する。
- ③発錆を促す量以上の塩分を除去する. etc...



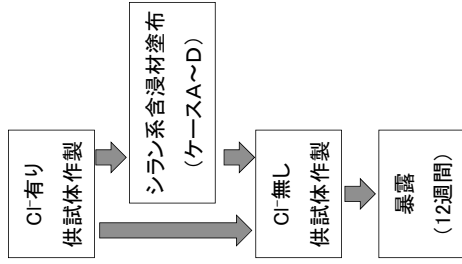
32/48

### 供試体概要

W/C (%)	W (Kg/m <sup>3</sup> )	C (Kg/m <sup>3</sup> )	S (Kg/m <sup>3</sup> )
50	253	506	1519



(小松誠哉、土木学会論文集、2014)



33

33 448

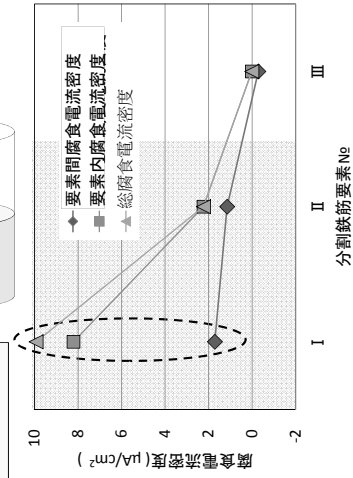
### 実験ケース

実験ケース	シラン系含浸材の特性				塗布量 (g/m <sup>2</sup> )
	主成分	性状	粘度 (mPa・s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	
無塗布	-	-	-	-	0
A	アルキルアルコキシシラン	液体	0.9~1.0	0.8	350
B	シラン・シロキサン	ジェル	500~1000	0.9	200
C	アルキルアルコキシシラン	ジェル	未公表	0.9	200
D	シラン・シロキサン	ジェル	未公表	0.9	300

34

34 448

### 腐食電流密度 (無塗布)

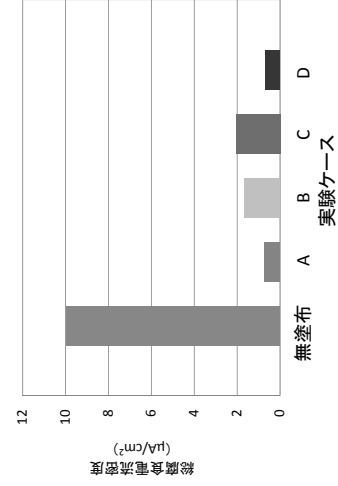


分割鉄筋要素 I :  $1.77 + 8.22 = 9.99 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

35

35 448

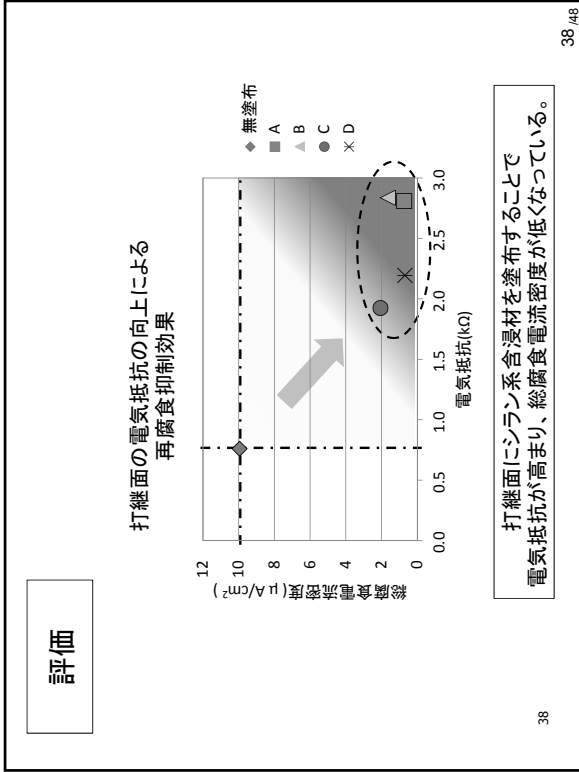
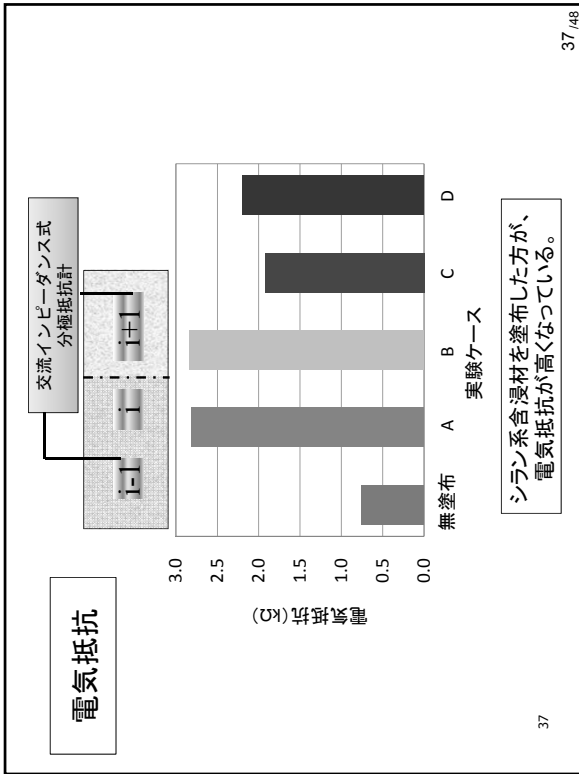
### 総腐食電流密度



シラン系含浸材を塗布した方が、総腐食電流密度が低くなっている。

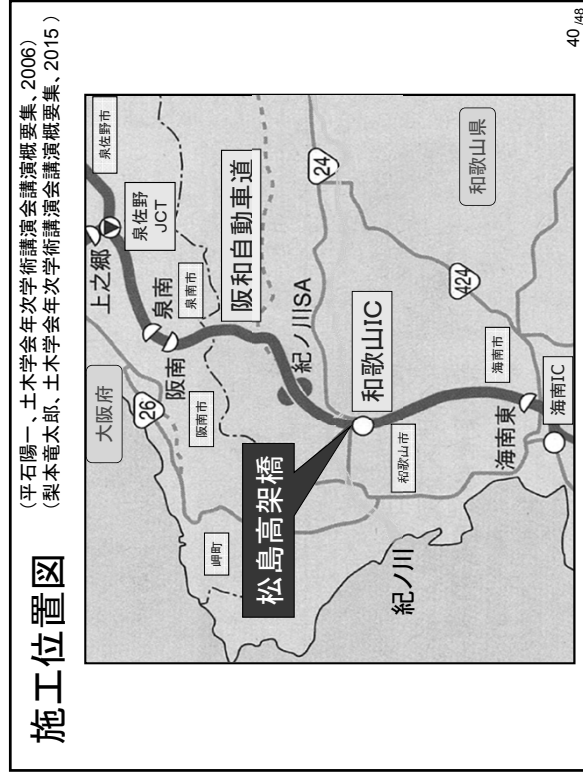
36

36 448



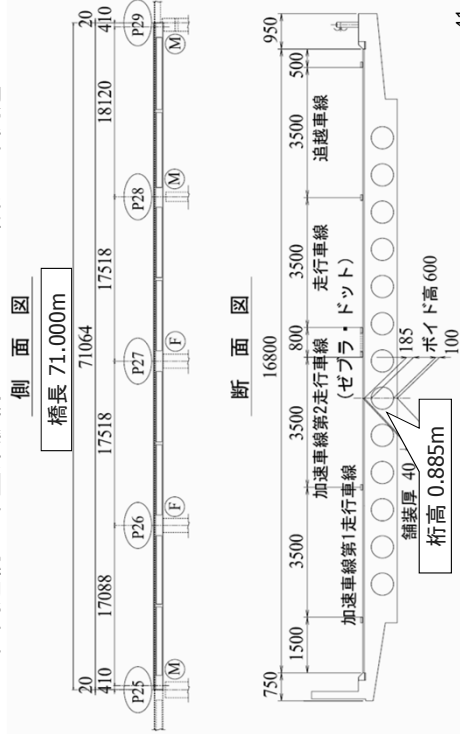
### まとめ

1. 無処理のまま、断面修復をしただけでは、塩分が残存する母材側にて腐食が進行することを確認できた。
2. 断面修復時に、シラン系含浸材を打継面に塗布することで、アノードとカソード間の電気抵抗が高められて腐食回路の形成が困難となり、上記1の再劣化を低減できた。

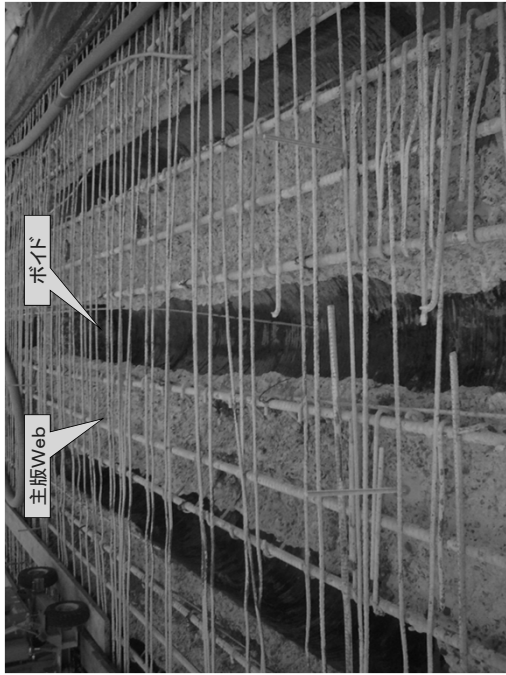


阪和自動車道 松島高架橋  
4径間連続RC中空床版橋

昭和49年開通



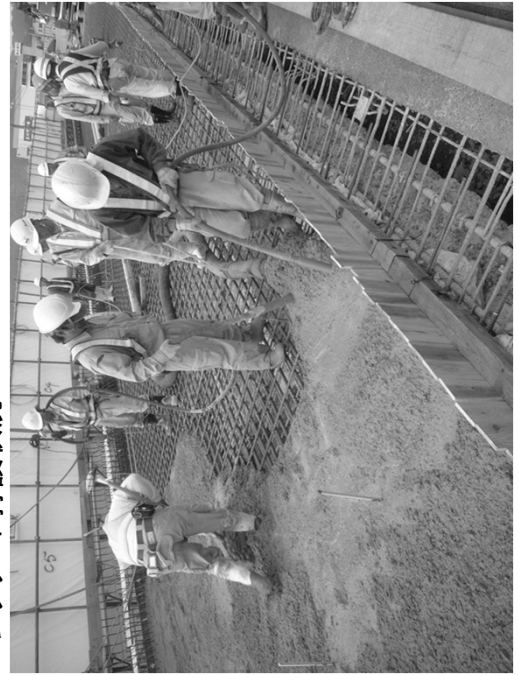
WJによる上面コンクリート撤去後の状況



マクロセル腐食対策工絶縁剤塗布状況



コンクリート打設状況

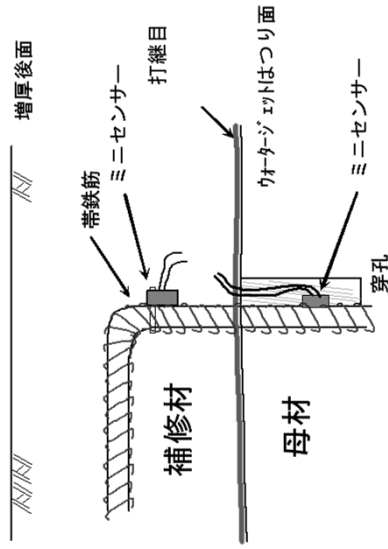


リニューアルした松島高架橋



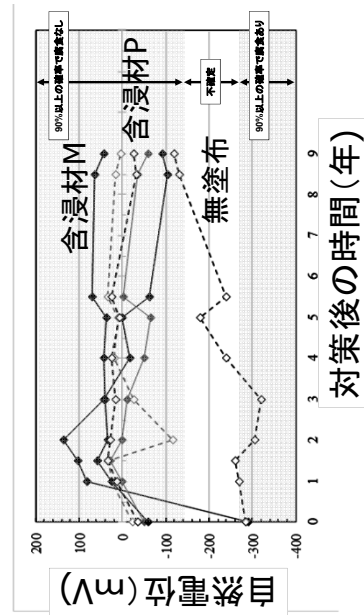
45/48

モニタリング状況



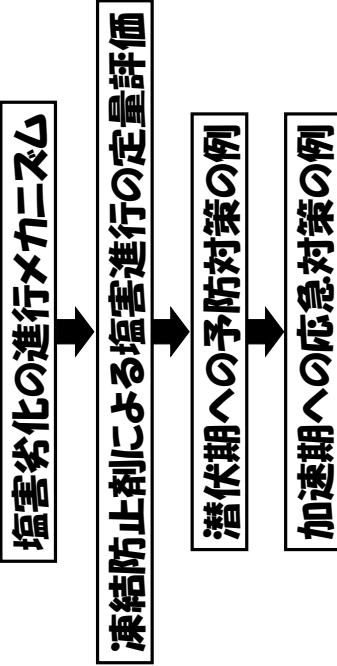
46/48

自然電位



47/48

発表のフロー



電気防食による対策は、次発表

48/48