

「コンクリートの長寿命化・塩害とは」

(琉球大学 山田義智)

2010年1月28日

宮古島市中央公民館にて

なぜコンクリートの耐久性が重要なのか？

経済的な問題

地球規模の環境問題

資源の問題

*スクラップアンドビルド型の生産体制は終りを告げようとしている。

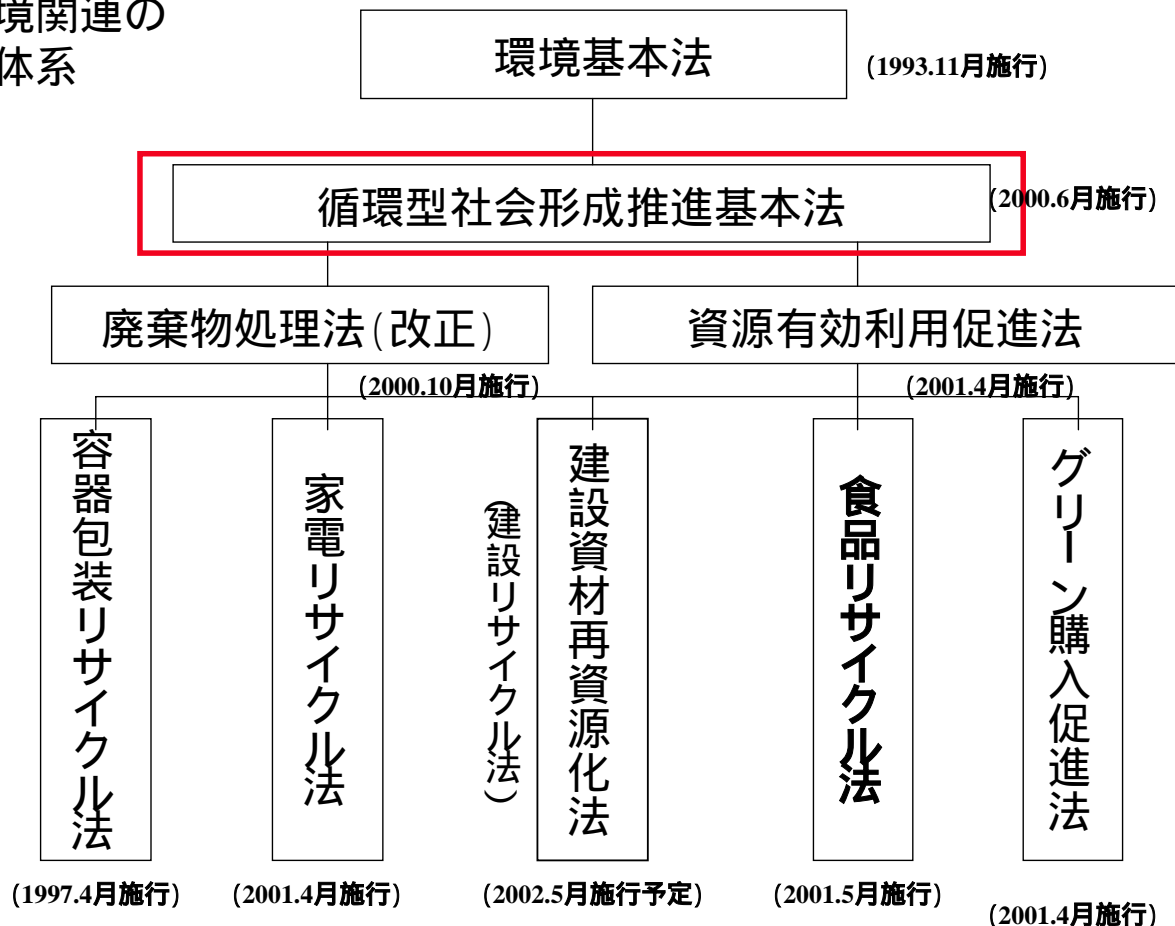
*長期優良化住宅(平成21年6月4日施行)

長期優良住宅の目的

長期にわたり良好な状態で使用するための措置が講じられた住宅(長期優良住宅)の普及を促進することで、環境負荷の低減を図りつつ、良質な住宅ストックを将来世代に継承することで、より豊かでやさしい暮らしへの転換を図る。

国土交通省ホームページより

環境関連の
法体系



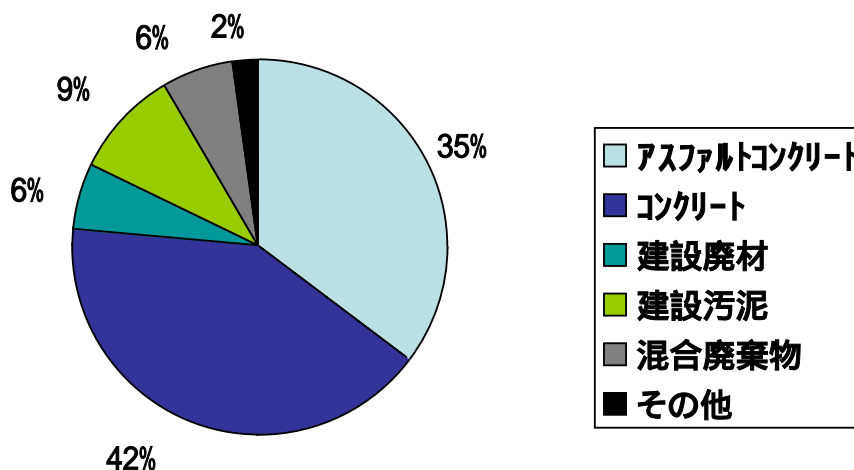
循環型社会形成推進基本法による「循環型社会」とは、次の原則を徹底して、資源の有効利用および環境負荷の低減が可能な限り図られている社会。

- 1 製品の省資源化、**長寿命化**等による廃棄物の発生抑制
(リデュース)
- 2 使用済み製品の 製品・部品としての再利用
(リユース)
- 3 原材料としての再利用
(マテリアルリサイクル)
- 4 熱回収
(サーマルリサイクル)
- 5 適正処理
(1～4により資源の有効利用を推進し、利用できない不要物については、環境に負荷を与えないよう、適正に処理する。)

(注)「処理の優先順位は上記の順である」

建設廃棄物の品目別の排出量

建設廃棄物総量約8,500万トン(平成12年度)



どうもコンクリートは迷惑をおかけしているらしい…。

コンクリートの耐久性を低下させるもの

(敵は誰だ！！)

1. 中性化
 2. 塩害
 3. アルカリ骨材反応
 4. 凍害
 5. 硫酸土壌
- 鉄筋の腐食

塩害はなぜ起こるのか？

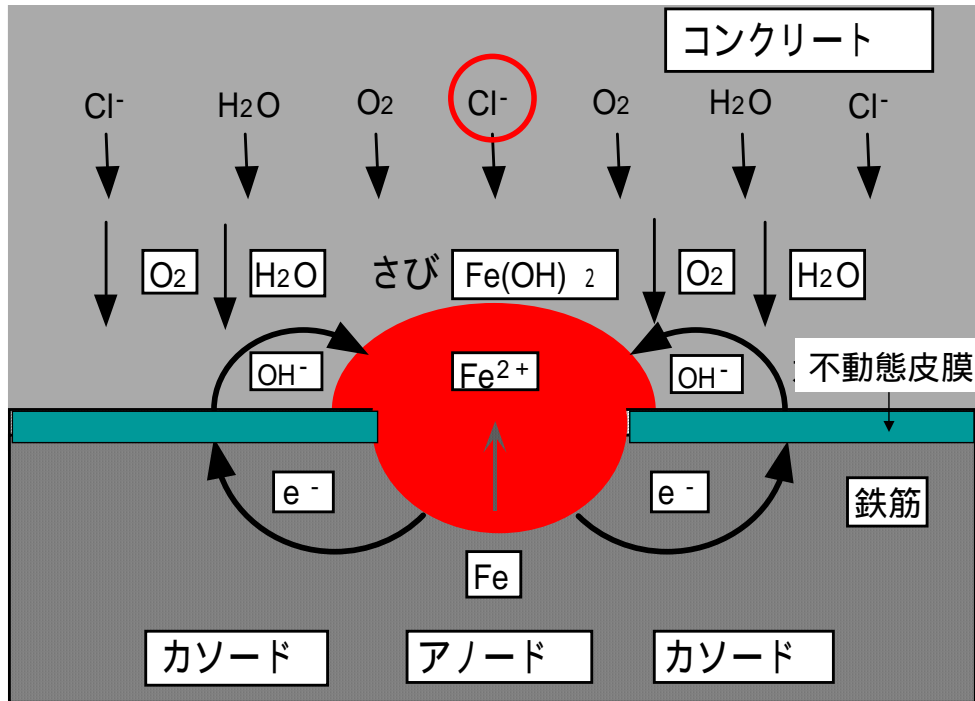
(塩化物イオンが悪玉)

1. 海砂等を十分に除塩しなかったため。(内在型)

*1986年に塩化物総量規制で、コンクリート中の塩化物イオン量が 0.3kg/m^3 以下と定められた。

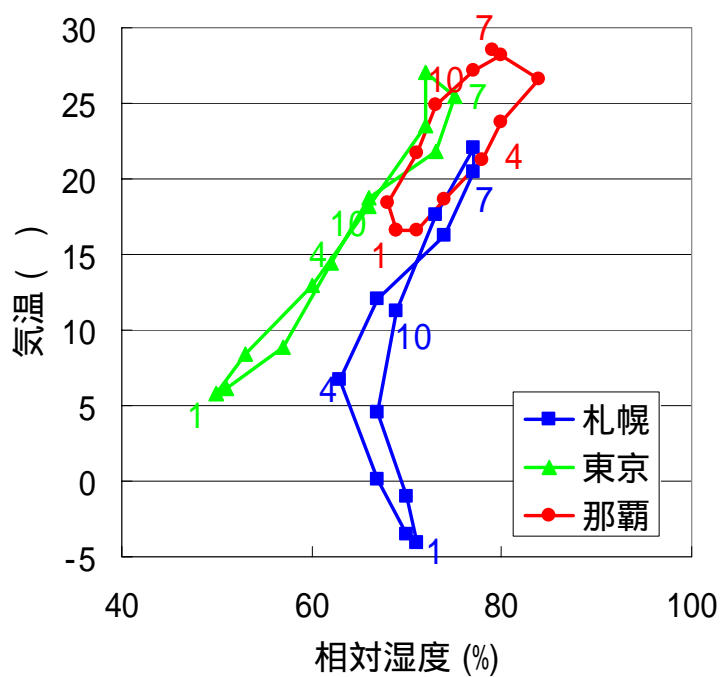
2. 海水滴や飛来塩分によるもの。(外来型)

Clイオンが不動態皮膜を破壊



コンクリート中の鉄筋腐食の発生・進展機構

沖縄の気候



クライモグラフ

内在塩害の被害事例 (除塩されていない海砂使用による)

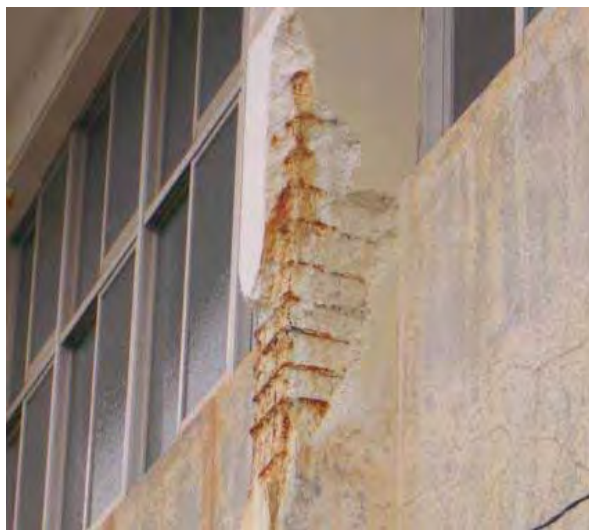


写真1 柱部の内部塩害例



写真2 軒下の内部塩害例

外来塩害の事例 (飛来塩分・飛沫による)

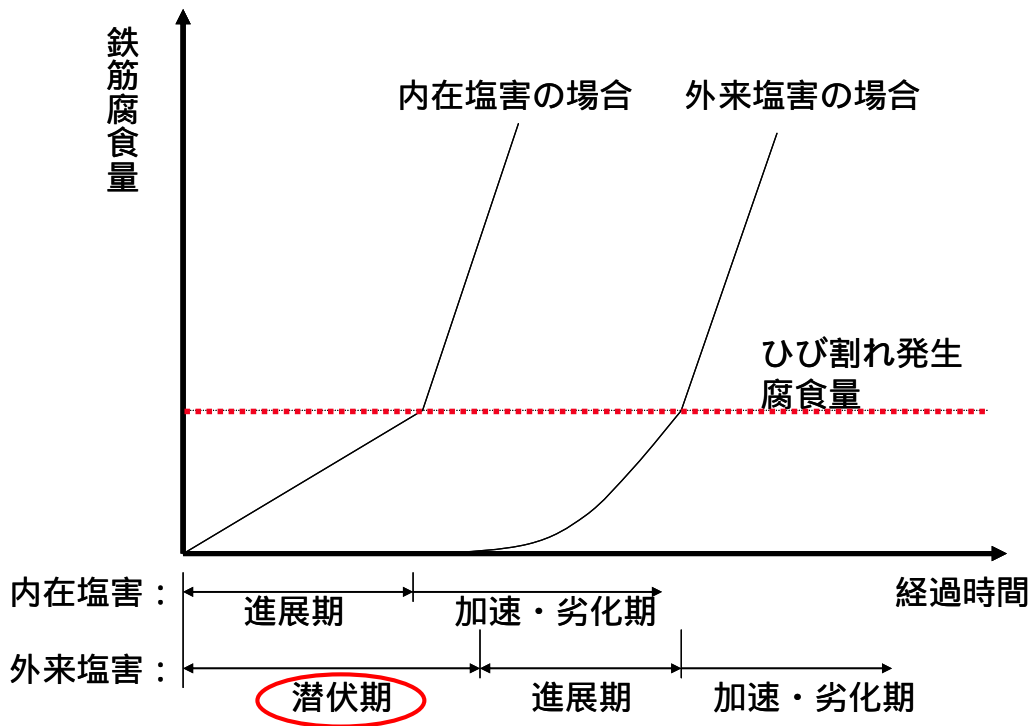


写真3 柱・梁の外来塩害



大城武 琉大名誉教授撮影

写真4 橋梁の外来塩害



塩害による構造物劣化過程

最近の沖縄の塩害事例

*平成21年9月4日の午前5時頃 崩落
*昭和50年頃に建設



写真 外廊下崩落現場

内在塩害

*水セメント比38%，かぶり35mm
*供用開始21年後(平成11年)に架替

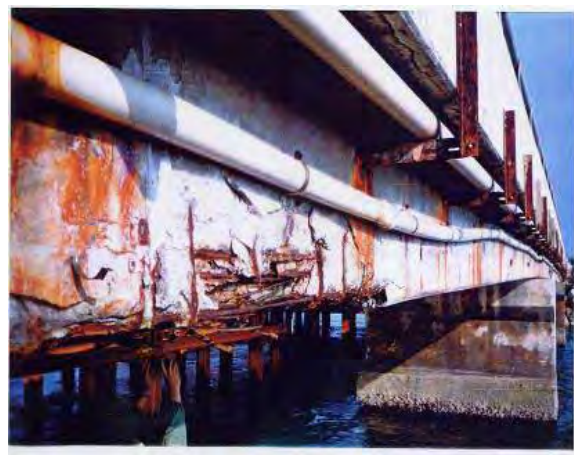


写真 野甫大橋の塩害状況

外来塩害

鋼橋の塩害による落橋



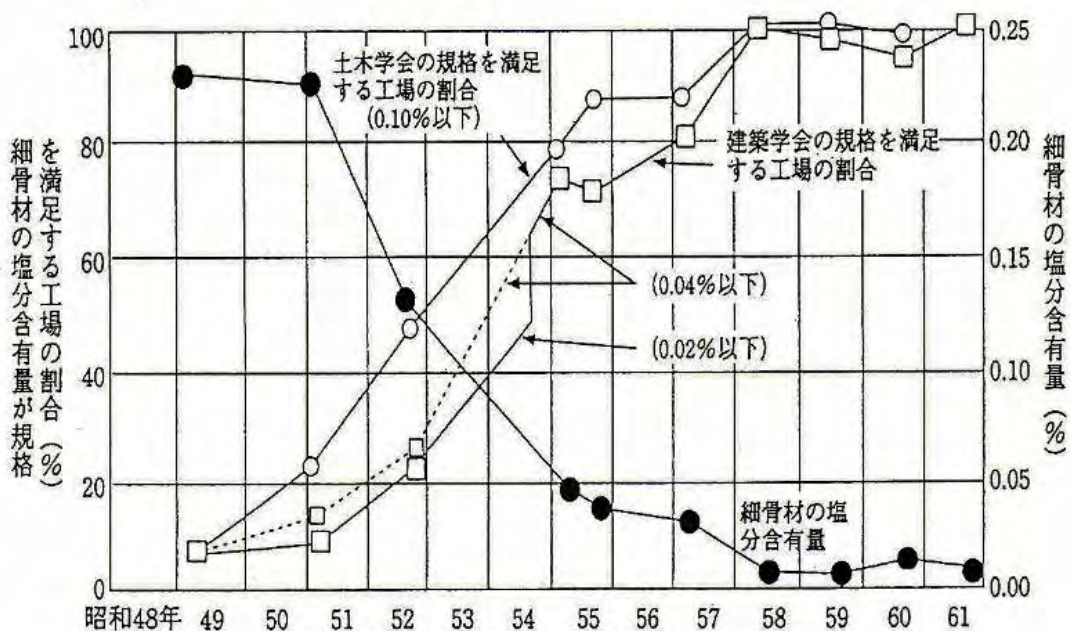
写真-8 鋼橋の塩害による落橋の連続写真*

*辺野喜橋(無塗装仕様の耐候性鋼道路橋)は全長35m, 全幅6.5mで, 昭和56年に供用を開始し, 約28年後の平成21年7月15日に腐食劣化が原因で崩落している(平成16年より全面通行止め)

*著しい腐食の原因は, 無塗装仕様の耐候性橋梁の適用可能地域の目安である0.05mddをはるかに超える飛来塩分量によるものとされている

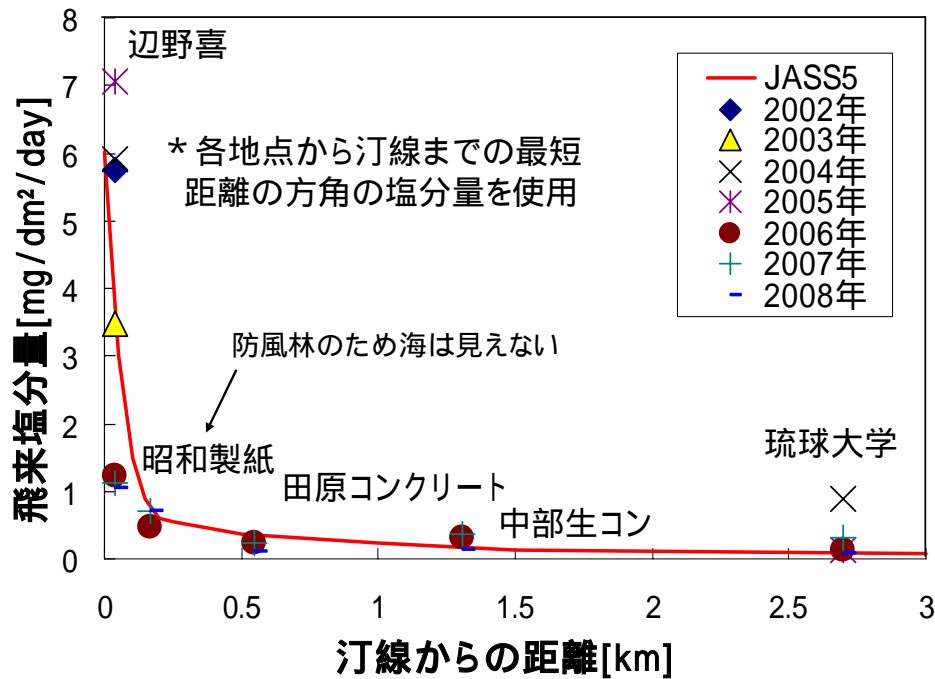
*下里哲弘, 村越潤, 玉城喜章, 高橋実: 腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングの概要と崩落過程-崩落から見える地方の橋梁維持管理の実態-, 橋梁と基礎, 2009年11月号pp.55-60. より引用

細骨材(海砂)の塩分含有量

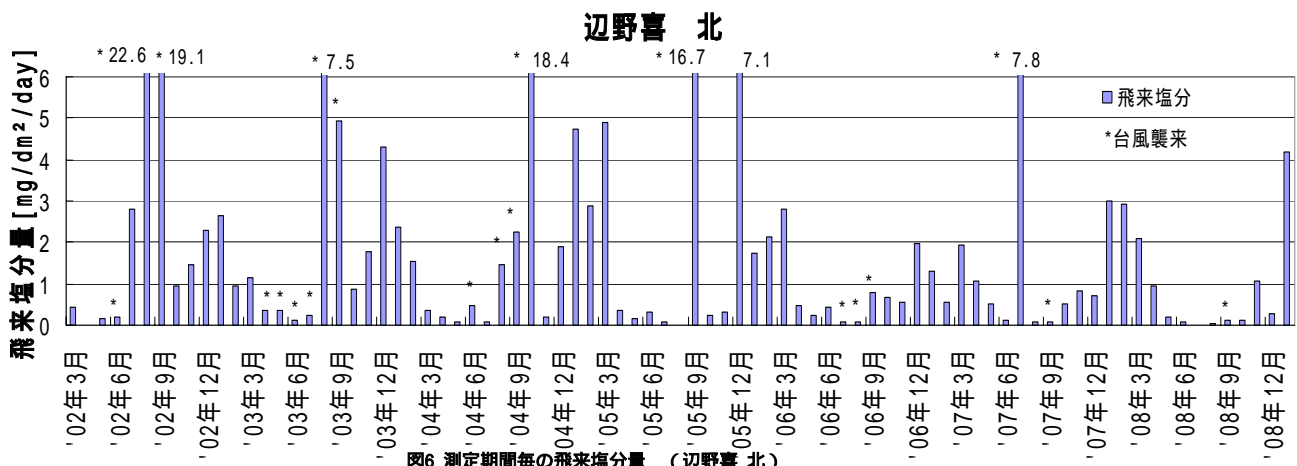


*(財)沖縄県建設技術センター: 試験年報, 第5号, p.134, 1986

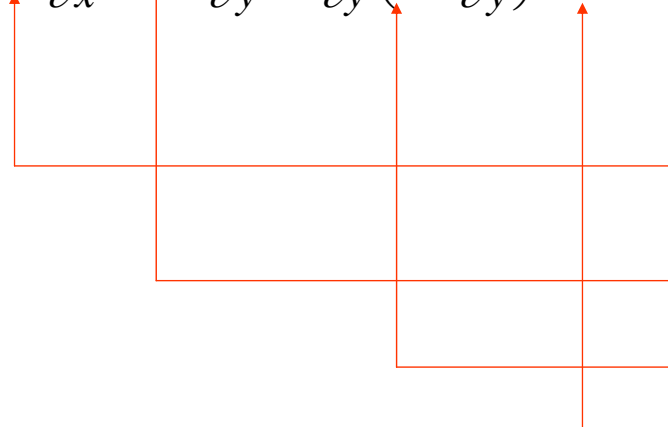
海岸からの距離と飛来塩分量



海岸付近の飛来塩分量



$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = w \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) - Q \quad : \text{移流拡散方程式}$$

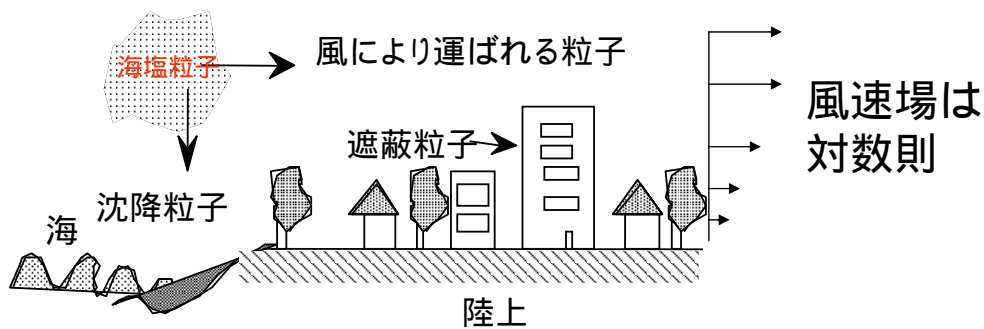


高さyにおける水平方向の平均風速

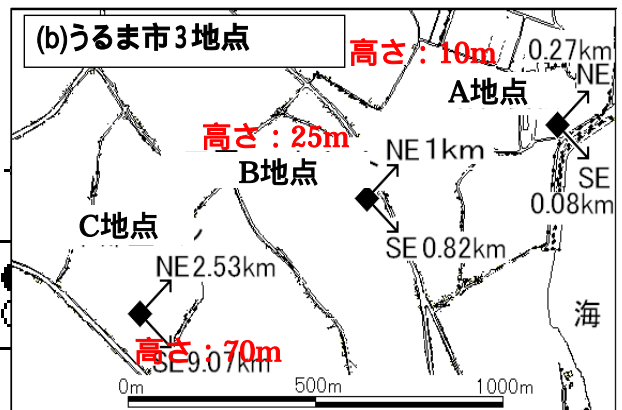
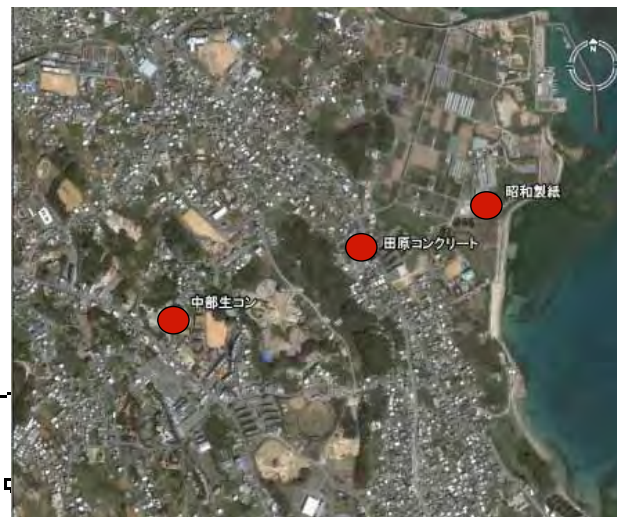
沈降速度

乱流拡散係数 $k_y = \kappa u_* y$

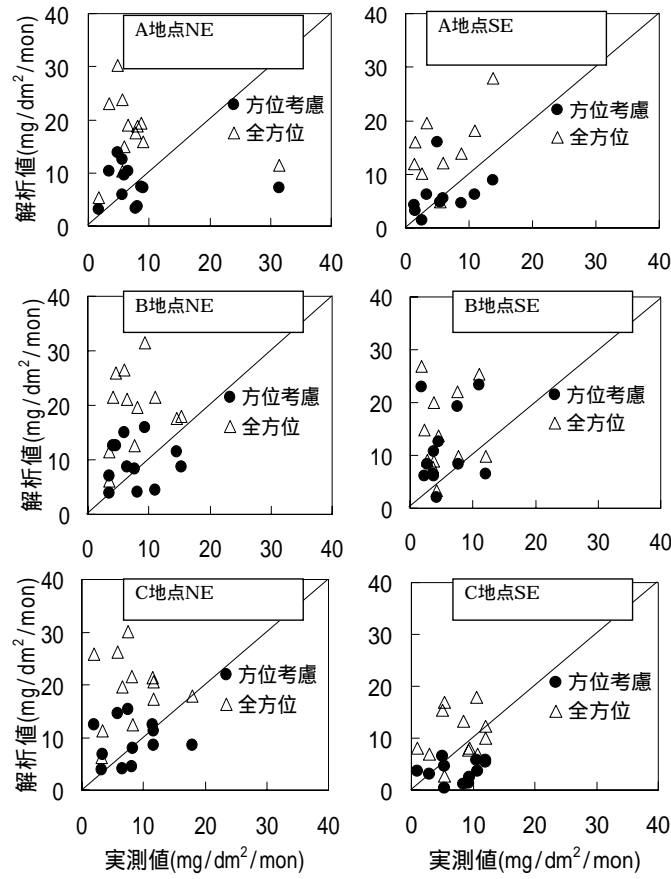
障害物による遮蔽項



観測地点について



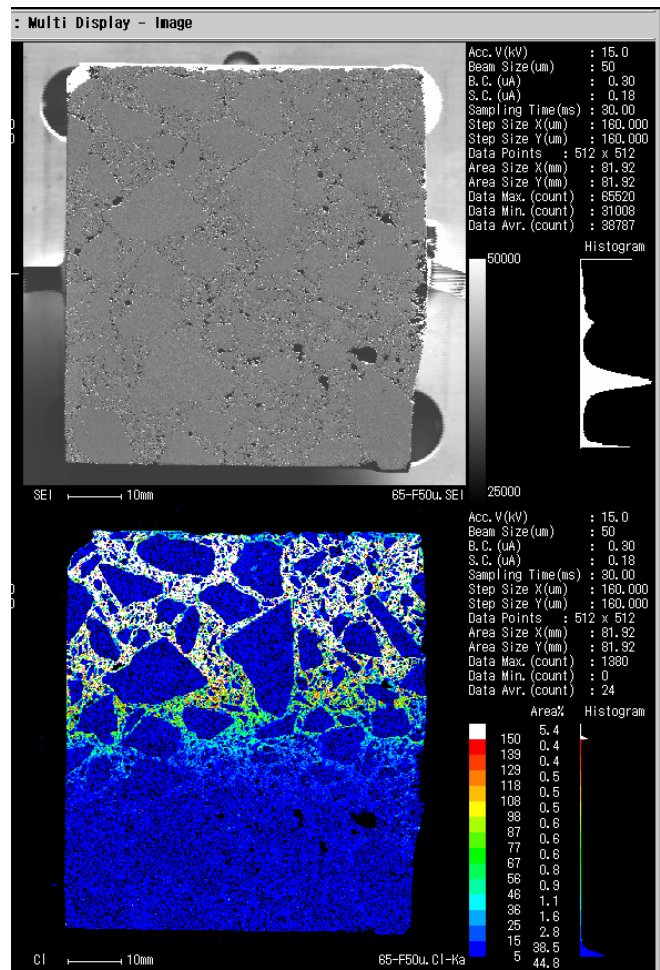
海岸形状：消波ブロックと海岸の混合



飛来塩分測定値と解析値の比較

コンクリート 内部への塩 化物イオン の浸透状況

(EPMAによる分析)



一般的な塩化物イオン浸透量の予測

(拡散方程式)

拡散方程式

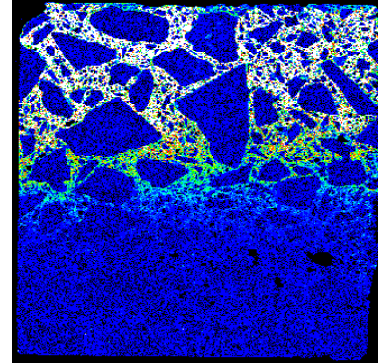
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

境界条件

$$C = C_0, \quad x = 0, \quad t > 0,$$

初期条件

$$C = 0, \quad x > 0, \quad t = 0.$$



拡散方程式解析解 \longrightarrow
$$C = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\}$$

塩害の防止方法

- (1) 除塩した骨材を用いる。塩化物イオンを多量に含む混和剤を用いない。
- (2) 水セメント比を低くするなどして、コンクリートを密実にする。
- (3) 高炉セメントやフライアッシュセメントを使用する。
- (4) かぶりを厚くする。
- (5) コンクリート表面を塗膜やタイルで覆うなどする。
- (6) 混和剤(防錆剤)および混和材(フライアッシュ等)の使用。
- (7) 防錆鉄筋の使用

フライアッシュによる塩害抑制

フライアッシュのコンクリートへの有効利用

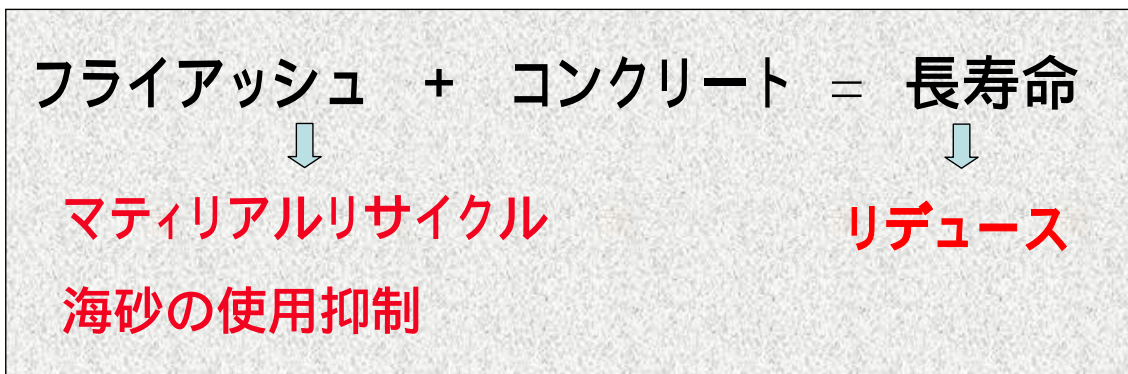
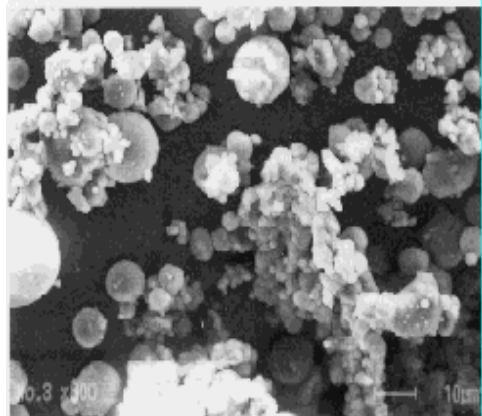


表2. フライアッシュの品質

項目		種類	南屯産
二酸化ケイ素 (%)			45.4
湿分 (%)			0.00
強熱減量 (%)			2.10
比重			2.19
粉末度	45 μm ふるい残分 (%)		18.9
	比表面積 (ブレン方法) (cm ² /g)		3560
フロー値比 %			97
pH 値 *			12.7



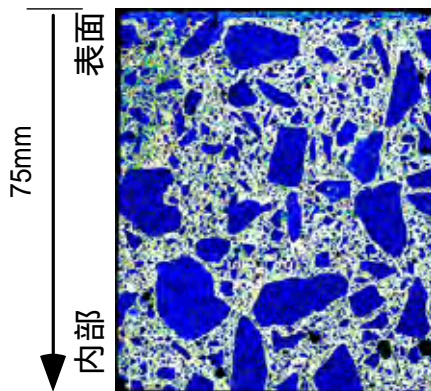
フライアッシュ(南屯)の拡大写真

乾湿繰り返し塩分浸透の促進試験

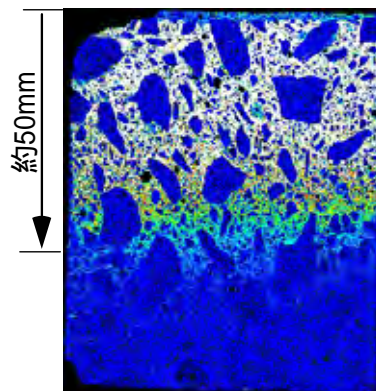


水槽(左)および乾燥機(右)

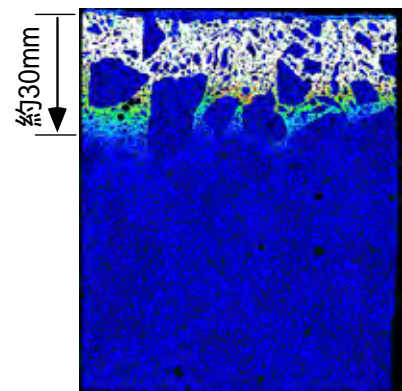
EPMAによる塩化物イオン分析



(a)65-B



(b)65-F50



(c)65-F100

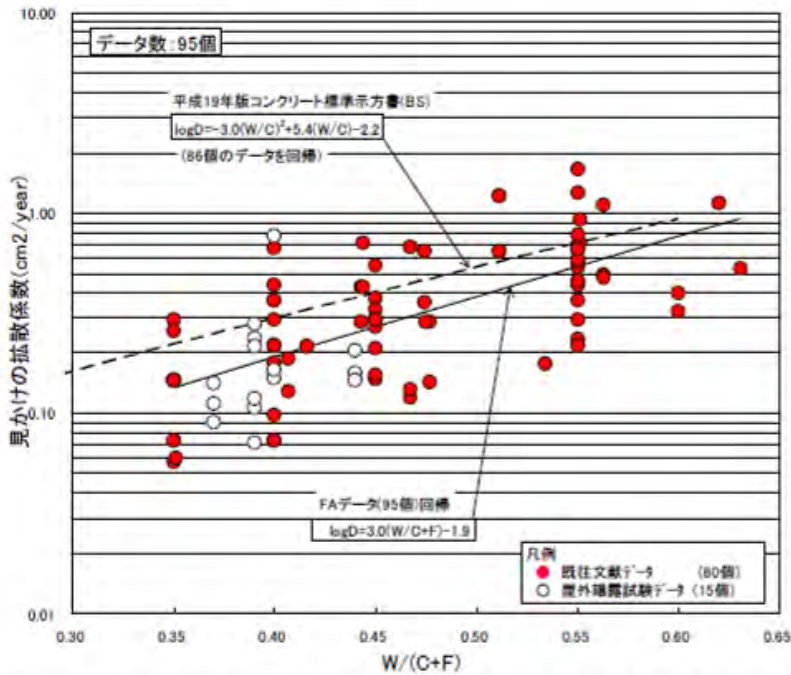
FA混和量 0 kg/m³

50 kg/m³

100 kg/m³

(外割調合コンクリート:50サイクル終了時,打設面側)

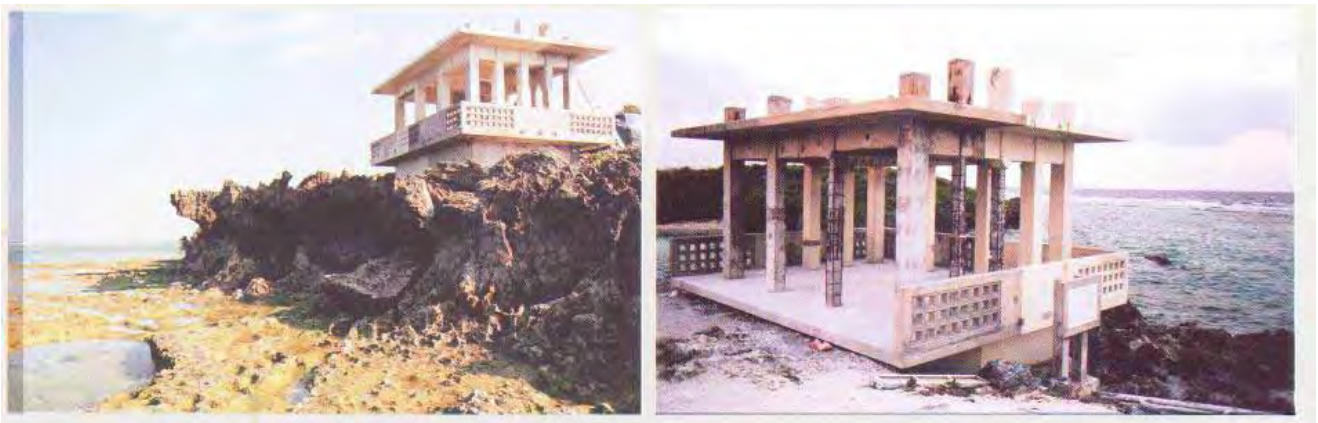
FAコンクリートの拡散係数



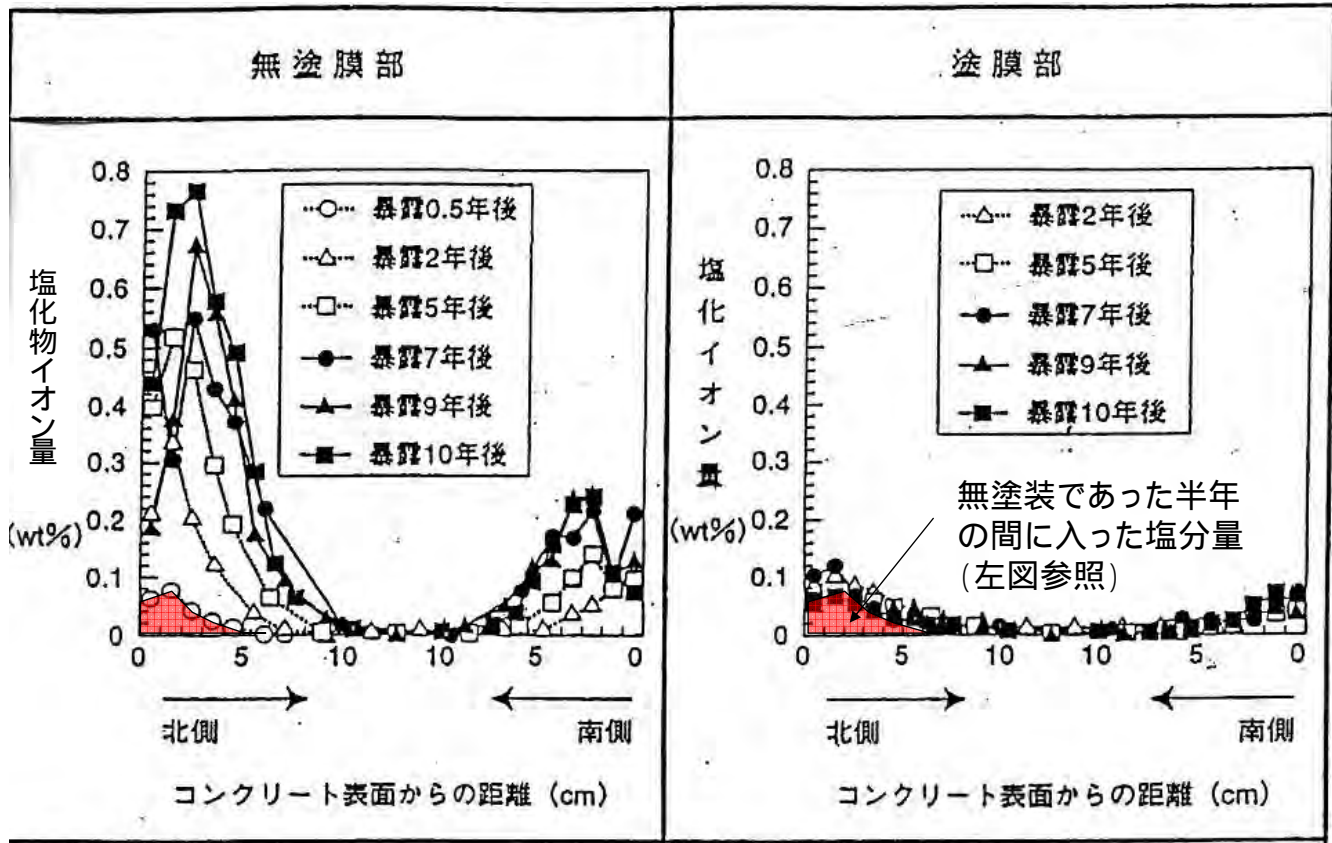
2009年度土木学会全国大会梗概
フライアッシュを用いたコンクリートの塩化物イオン浸透抑制性能について
四国電力(株) 正会員 井口 敬一郎
四国電力(株) 正会員 武知 隆男
(株)四国総合研究所 正会員 石井 光裕
(株)四国総合研究所 正会員 横田 優
北海道大学工学部 正会員 杉山 隆文
より引用

図-3 FA コンクリートの見かけの拡散係数(異常値削除後)

アクリルゴム系塗膜の遮塩性効果



RC構造物の曝露試験状況(本部町備瀬)



塩化物イオン浸透状況

25節 海水の作用を受けるコンクリート

- 21.1 総則
- 21.2 施工計画
- 21.3 品質
- 21.4 材料
- 21.5 調合
- 21.6 設計かぶり厚さ
- 21.7 施工
- 21.8 品質管理・検査

JASS5 25節 海水の作用を受けるコンクリート改定の要点

- 総 則 : 適用範囲と作用区分の変更
- 施工計画 : 新JASS5の追加項目
- 品質 : 最小かぶり厚さと耐久設計基準強度
: **重塩害環境下などでの対応**
- 材料 : (大きな変更点なし)
- 調合 : W/Cの最大値にBBを別途規定
- 設計かぶり厚さ : 最小かぶり厚さ + 15 mm
- 施工 : 旧JASS5の「打込み」
- 品質管理・検査 : 新JASS5の追加項目

25.1 総則

P.594

旧JASS5:

- a. 本節は、海水に接するコンクリートおよび海岸地域で波しぶきを受けるコンクリートに適用する。適用箇所およびその海水作用の区分は、特記による。

新JASS5:

- a. 本節は、海岸地域に建設する建築物の海水に接する部分に使用するコンクリート、直接波しぶきを受ける部分に使用するコンクリートおよび**飛来塩分の影響を受ける部分**に使用するコンクリートに適用する。適用箇所は特記による。

25.1 総則

塩害環境の区分

塩害環境の区分	海水に接する部分	飛来塩分の影響を受ける部分
<u>重塩害環境</u>	潮の干満を受ける部分 波しぶきを受ける部分	<u>25mddを超える</u> 例：日本海側で汀線から20m程度
<u>塩害環境</u>		<u>13mddを超え 25mdd以下</u> 例：同20～70m程度
<u>準塩害環境</u>	常時海中にある部分	<u>4mdd以上 13mdd以下</u> 例：同70～150m程度

(mdd: mg/dm²/day)

建築物が遮蔽物で囲まれて海に面していない場合は、

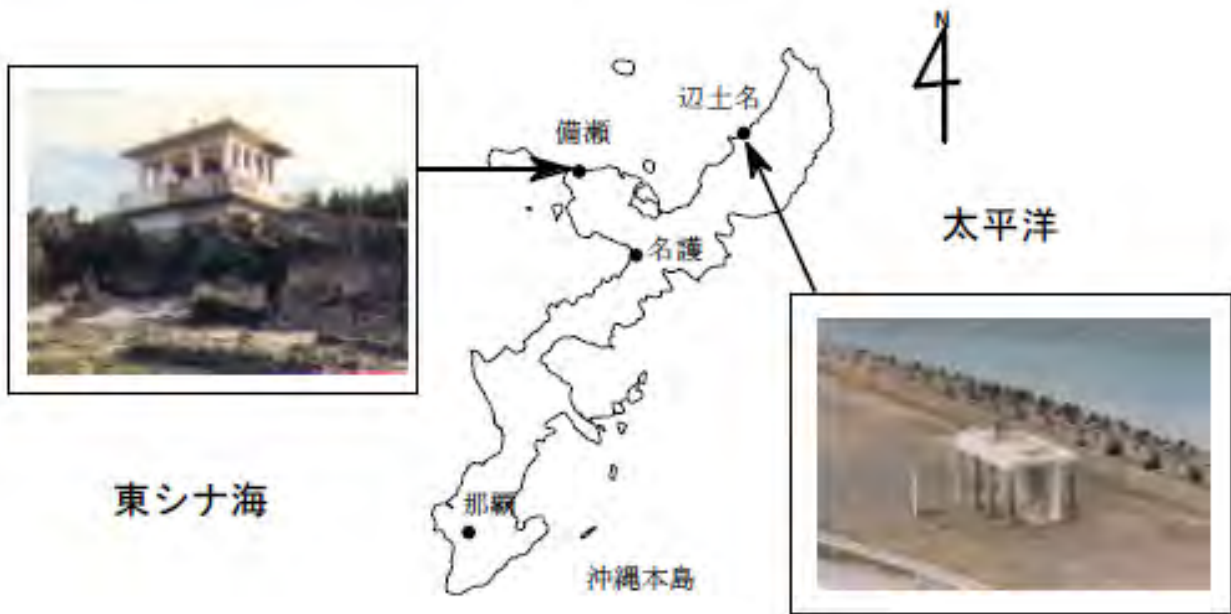
重塩害環境 塩害環境
塩害環境 準塩害環境 重塩害環境
準塩害環境 対象外 と考えてよい

沖縄の海岸付近の飛来塩分量例

単位: NaCl (mdd)

本部町備瀬				国頭村辺土名	
北側	東側	南側	西側	北西側	南東側
13.0	5.2	3.1	3.2	41.7	1.2

塩害環境 準塩害環境 重塩害環境



海岸の様子

25.1 総則

P.594

c. 構造体の計画供用期間の級:

塩害環境: 短期

準塩害環境: 短期, 標準, 長期

d. 長期, 超長期の構造体を用いる建築物において, 海水および飛来塩分の作用を受ける部分は, 建築物の供用期間中に著しい劣化がないか, または容易に維持管理ができる構造になっているものとする.

25.3 品質

表25.2 最小かぶり厚さと耐久設計基準強度

塩害環境の区分	計画供用期間の級	最小かぶり厚さ (mm)	耐久設計基準強度 (N/mm ²)	
			普通ポルトランドセメント	高炉セメント B種
塩害環境	短期	50	36	33
		60	33	30
準塩害環境	短期	40	30	24
		50*	24*	21*
	標準	40	36	33
		50	33	30
		60*	30*	24*
	長期	50	36	33
60*		33*	30*	

注) * 海中にある部分に適用する。

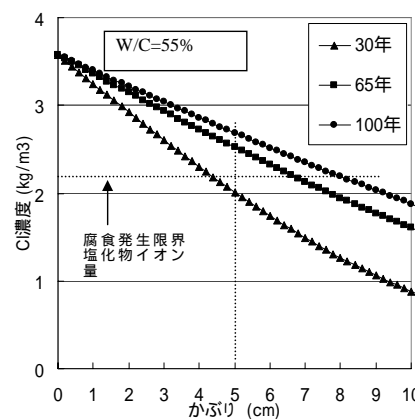
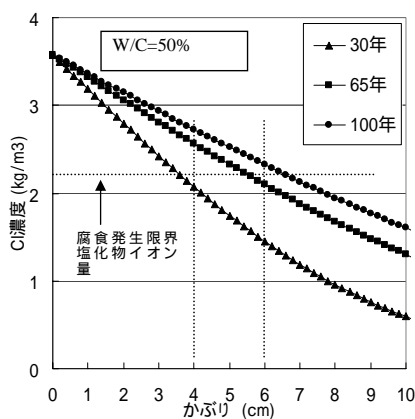
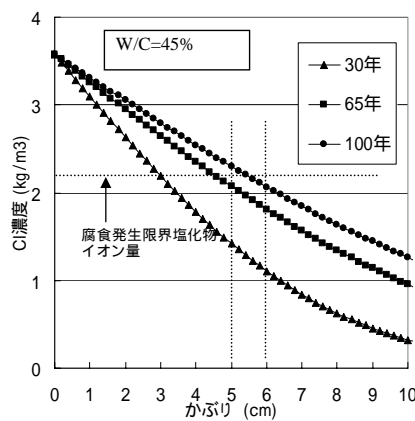
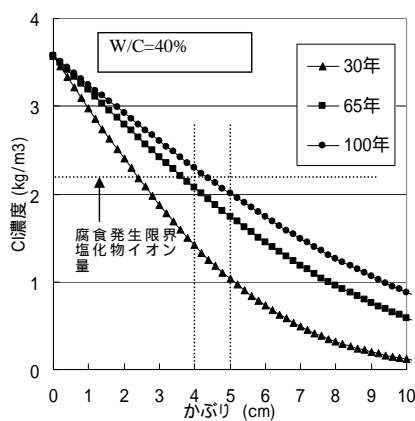


図 準塩害環境下でのコンクリート中の塩化物イオン量分布

- c. 重塩害環境に位置する場合および塩害環境に位置し、標準・長期・超長期とする場合の塩害対策は、次の(1)～(3)にいずれか、またはその組合せによるものとし、特記による。
- (1) コンクリート表面に塩化物イオンの透過性が小さい表面被覆材を施し、コンクリート中への塩化物イオンの侵入を抑制する。
 - (2) 鉄筋を防せい(錆)処理する、または耐食鉄筋を使用する。
 - (3) その他特殊な鉄筋腐食抑制方法を採用する。

表面被覆材による外来塩害の防止例



写真 万座ビーチホテルの外観

新たな表面被覆材となりえるか



塩ビサイディングによる遮塩実験(2009年度よりスタート)

ご清聴に感謝申し上げます。