

令和2年度土木学会論文賞

－ 飛来塩分環境下にあるコンクリートの表面塩化物イオン濃度評価式の検討 －

受賞者

佐伯 竜彦（新潟大学）， 富山 潤（琉球大学）， 中村 文則（長岡技術科学大学）， 中村 亮太（新潟大学）， 花岡 大伸（金沢工業大学）， 安 琳（京都大学）， 佐々木 厳（（国研）土木研究所）， 遠藤 裕丈（（国研）土木研究所 寒地土木研究所）

工学部工学科 社会基盤デザインコース
富山 潤

沖縄県の地理的特徴と環境作用

（地理的特徴）



四方を海に囲まれた島々からなる！

離島苦解消

沖縄→島嶼環境 約1,000km

完成離島架橋：21橋

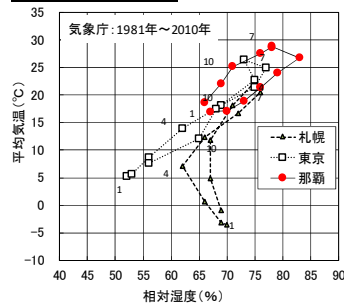
- ①本土復帰前に完成した橋：1橋 ※多くの離島架橋を抱えている！
②本土復帰後に完成した橋：20橋
・うち国土交通省所管：17橋（国庫橋：2橋、県施工：15橋、市町村施工：2橋）
・うち農林水産省所管：2橋（県施工：2橋）
・うち経済産業省所管：1橋（市町村施工：1橋）

番号	橋名	所管庁名
1	橋原橋	久米島町
2	橋原橋	久米島町
3	北谷橋	北谷町
4	伊波大橋	伊波町
5	島尻大橋	島尻町
6	島尻大橋	島尻町
7	島尻大橋	島尻町
8	島尻大橋	島尻町
9	島尻大橋	島尻町
10	島尻大橋	島尻町
11	島尻大橋	島尻町
12	島尻大橋	島尻町
13	島尻大橋	島尻町
14	島尻大橋	島尻町
15	島尻大橋	島尻町
16	島尻大橋	島尻町
17	島尻大橋	島尻町
18	島尻大橋	島尻町
19	島尻大橋	島尻町
20	島尻大橋	島尻町
21	島尻大橋	島尻町



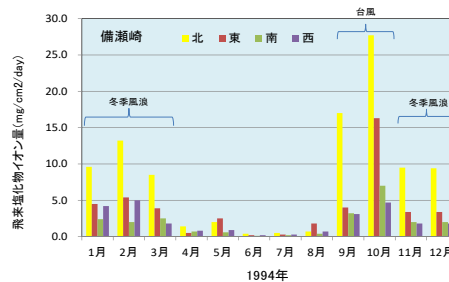
多くの離島架橋が建設されている
→大規模かつ海上橋

（環境作用）



クライモグラフ

※亜熱帯海洋性気候：高温・多湿



飛来塩分量

※台風と冬季風浪→大量の飛来塩分が襲来（供給）

構造物にとって過酷な自然環境

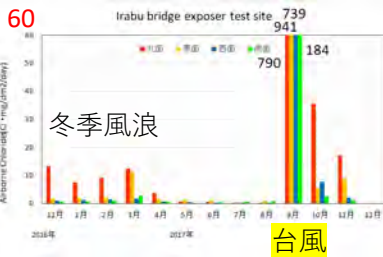
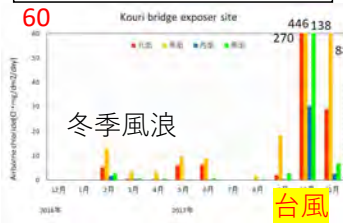
劣化速度が速い



塩害環境調査（暴露試験場）（2017年）現在も継続

飛来塩分 (Cl:mdd)

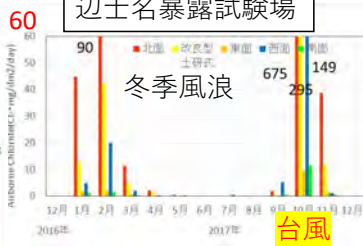
古宇利大橋暴露試験場



伊良部大橋暴露試験場

宮古島

辺士名暴露試験場



土研式タンク（4方向）

辺野喜暴露試験場



沖縄本島

冬季風浪と台風により、多くの塩分が海から供給される環境である。

琉球大学建設材料学研究室、沖縄建設技術センター、アール・アンド・エー 共同調査

季節で異なる塩害環境



◆ 冬季と夏季で海象の違い

冬季



夏季



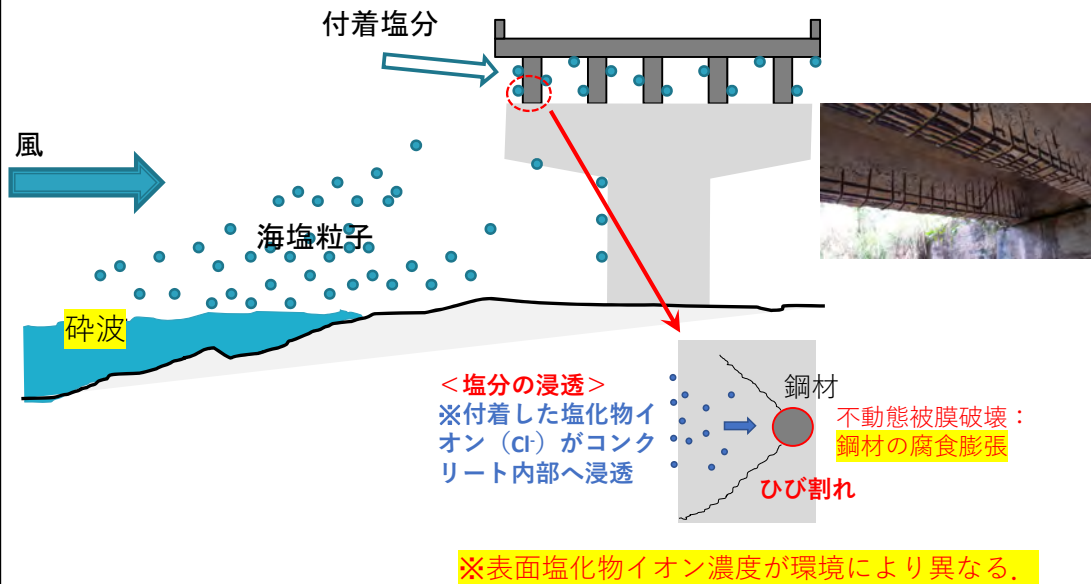
◆ 橋梁端部においては、護岸の影響で主桁に直接波飛沫が付着する環境にあり、厳しい塩害環境下にある



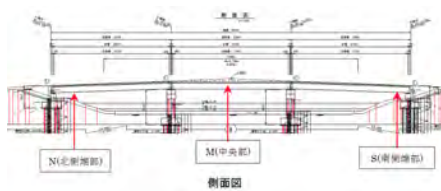
外来塩分による塩害の模式図

塩化物イオンは、どこから供給されるのか？

沖縄県の場合は、四方を海に囲まれているため、海から供給される。

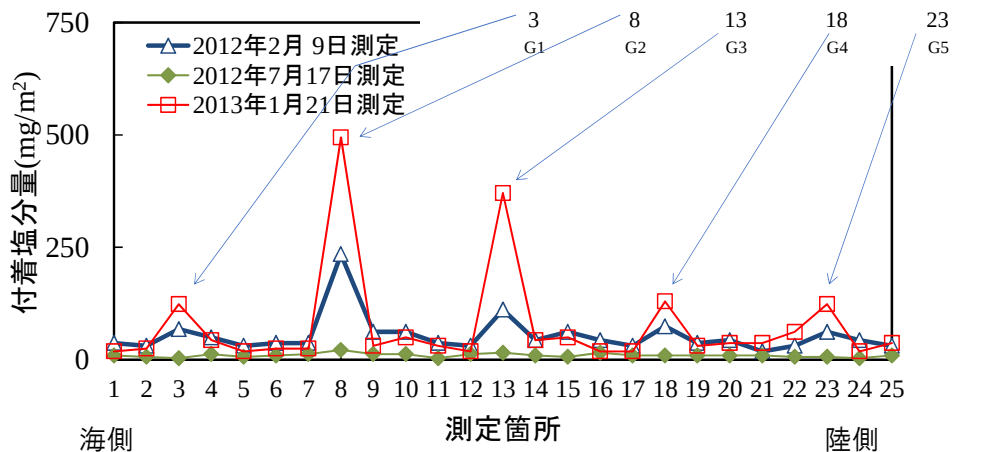


季節と部位・部材で異なる付着塩分



ガーゼ拭き取り法
(20×20cm)

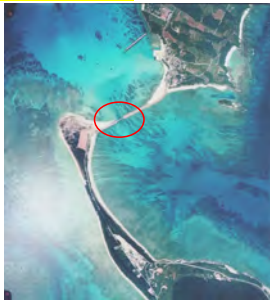
中央部の実測結果



コンクリート構造物の塩害劣化事例

外来塩分による塩害劣化事例

アール・アンド・エー 風間洋氏提供



伊平屋島と野南島を結ぶ橋



竣工：昭和53年（1978年）
撤去：平成11年（1999年）

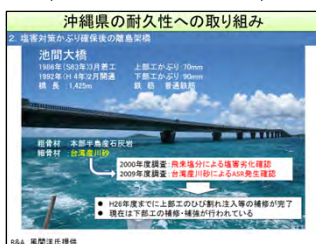
沖縄が日本に復帰してから初めての離島架橋：
架設からわずか**21年**で塩害による老朽化が進み、架け替えに至る



かぶり35mm

沖縄県のコンクリート構造物の耐久設計の変遷

(1986年～1992年)



上部工かぶり：70mm
下部工かぶり：90mm
鉄筋：普通鉄筋

(1993年～1998年)



上・下部工かぶり：70mm
鉄筋：エポキシ樹脂塗装鉄筋
シース：亜鉛メッキシース
その他：アルミ高欄の支柱基部塗装

(1996年～2005年)



<国内初100年耐久性>
上部工かぶり：70mm
下部工かぶり：90mm
鉄筋：エポキシ樹脂塗装鉄筋
シース：ポリエチレンシース
ポリエチレンシースカップラ
PC鋼線：エポキシ樹脂塗装PC鋼材
コンクリート：高強度コンクリート
その他：防錆処理定着具

(2007年～2015年～現在)



<100年耐久性>
高耐久性コンクリートとして**フライアッシュコンクリート**を採用
(塩害、ASR、温度ひび割れ対策)
下部工：内割り20%のフライアッシュコンクリート
上部工：砕砂100%+外割り3%のフライアッシュコンクリート
(空気量：規定しない)
コンクリート以外の塩害対策：古宇利大橋と同様

研究目的

コンクリート構造物の効果的な耐久設計には、塩害劣化の進行を精度よく予測する必要があり、そのためにはコンクリート構造物の表面塩化物イオン濃度を適切に評価することが必要である。

塩害は、地域、環境ごとに異なるため、これらを考慮した耐久設計が必要である。

塩害区分

(コンクリート標準示方書—設計編—)

本研究は、同一の薄板モルタル供試体を用いて、日本各地の101か所において暴露試験を行い、飛来塩分環境を評価した。暴露試験体への塩化物イオン浸透量をコンクリートの表面塩化物イオン濃度に換算し、標高、風向、波エネルギーの影響を考慮して離岸距離を補正した。「補正距離」によって、地域によらず一律な表面塩化物イオン濃度を評価できる推定式を提案した。

塩害照査式（コンクリート標準示方書）

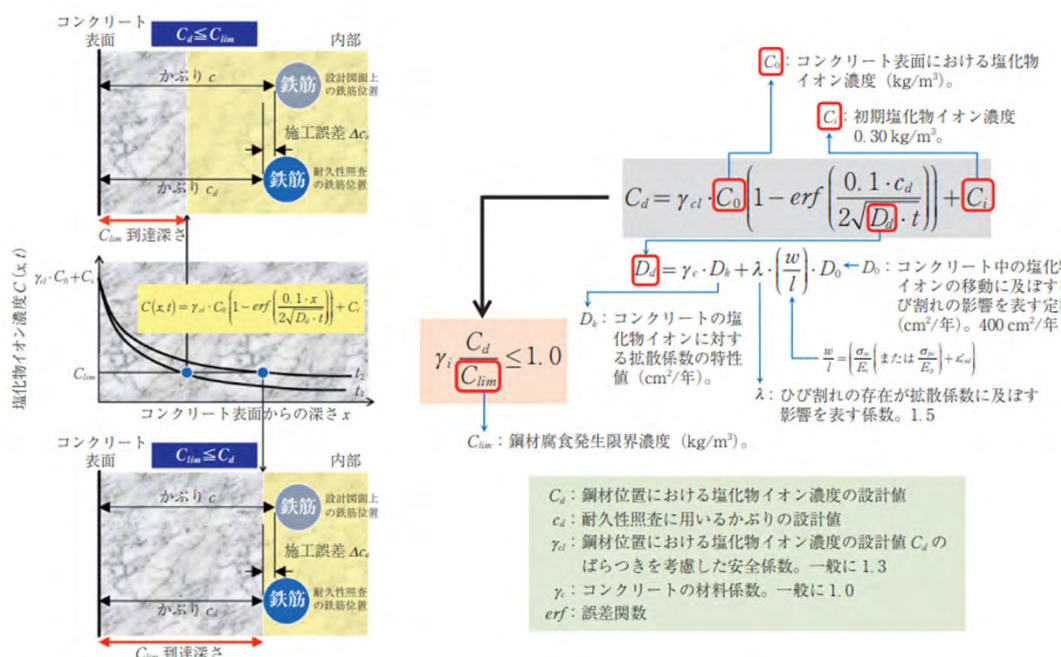


図-1 塩害照査式と改訂部分

設計で用いる表面塩化物イオン濃度

飛来塩分の全国調査に基づき得られた飛来塩分量と距離減衰の近似式より、表-1の地域ごとの飛来塩分量を整理している。

表-1の飛来塩分量を換算して地域ごとの表面塩化物イオン濃度を整理（表-2）。

海岸からの距離に応じた表面塩化物イオン濃度(C_0)

表-1 地域別飛来塩分量

		mdd (mg/dm ² /day)				
		海岸からの距離 (km)				
		0.01	0.1	0.25	0.5	1.0
日本海沿岸部	北海道	17.75	4.46	2.57	1.70	1.12
	東北	16.44	4.13	2.38	1.57	1.04
	北陸	12.63	3.17	1.83	1.21	0.80
	中国	1.87	0.47	0.27	0.18	0.12
太平洋沿岸部	関東	4.52	1.13	0.65	0.43	0.29
	中部	1.66	0.42	0.24	0.16	0.11
	沖縄	27.74	6.97	4.02	2.65	1.75

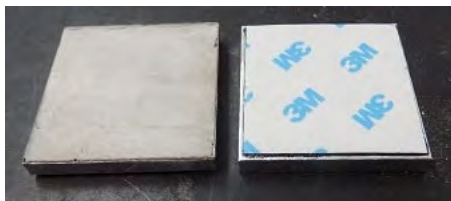
表-2 換算された表面塩化物イオン濃度

		表面塩化物イオン濃度 (kg/m ³)				
		海岸からの距離 (km)				
		0.01	0.1	0.25	0.5	1.0
日本海沿岸部	北海道	13.0	5.8	4.3	3.4	2.9
	東北	13.0	5.6	4.1	3.4	2.8
	北陸	12.0	4.8	3.6	3.0	2.5
	中国	3.6	2.0	1.8	1.6	1.5
太平洋沿岸部	関東	6.0	2.8	2.3	2.0	1.8
	中部	3.4	2.0	1.7	1.6	1.5
	沖縄	17.4	7.6	5.6	4.3	3.5

薄板モルタル供試体を用いた塩害環境調査

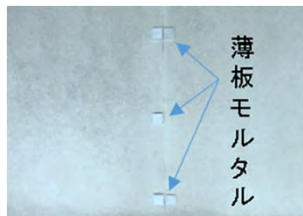
○4 c m × 4 c m × 0.5 c m

クロルサーチ（新潟大（佐伯教授）・デンカ）



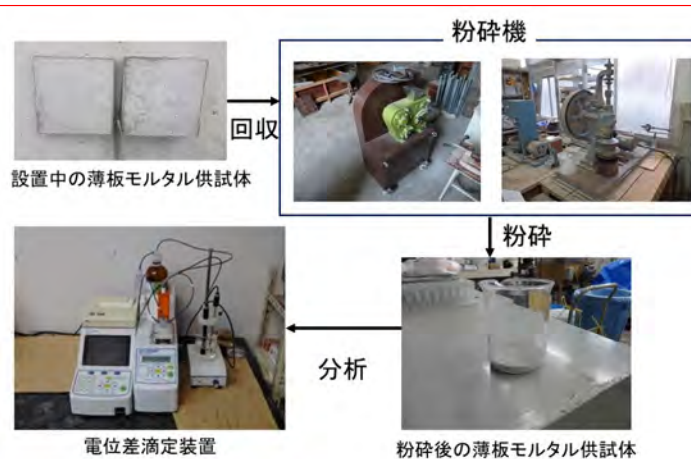
特徴

- ・ 設置に特別な設備を必要としない。
- ・ 設置に特別な場所を必要としない。
- ・ 設置・回収が容易である。
- ・ 大量のポイント測定が可能である。
- ・ 台風時に特別な対策を必要としない。



構造物へ貼り付けが容易

薄板モルタル供試体の貼付け



薄板モルタル試験体の暴露例（橋梁を対象）

期間：2016年12月3日～2017年4月5日



薄板モルタル供試体を暴露した地域（101か所）

北海道



図-1 試験を行った地点（北海道）

新潟県



図-2 試験を行った地点（新潟県本州側沿岸）

新潟県佐渡

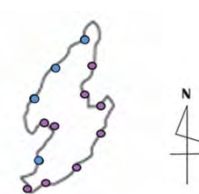


図-3 試験を行った地点（新潟県佐渡）

石川県



図-4 試験を行った地点（石川県）

和歌山県



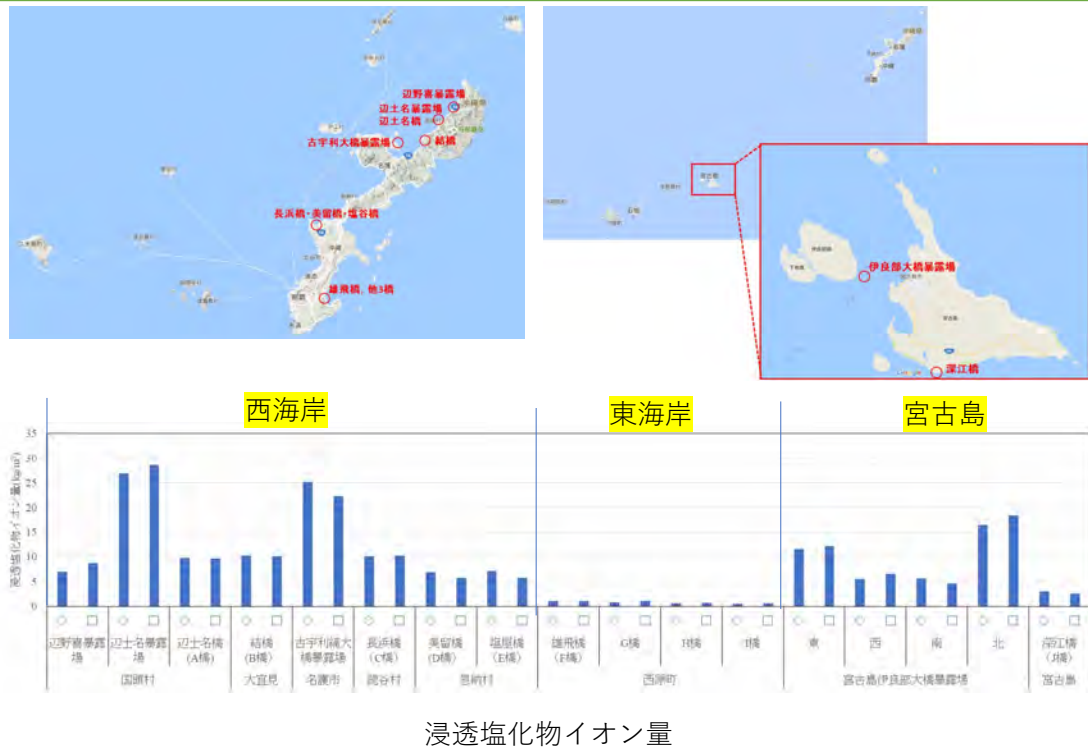
図-5 試験を行った地点（和歌山県）

沖縄県

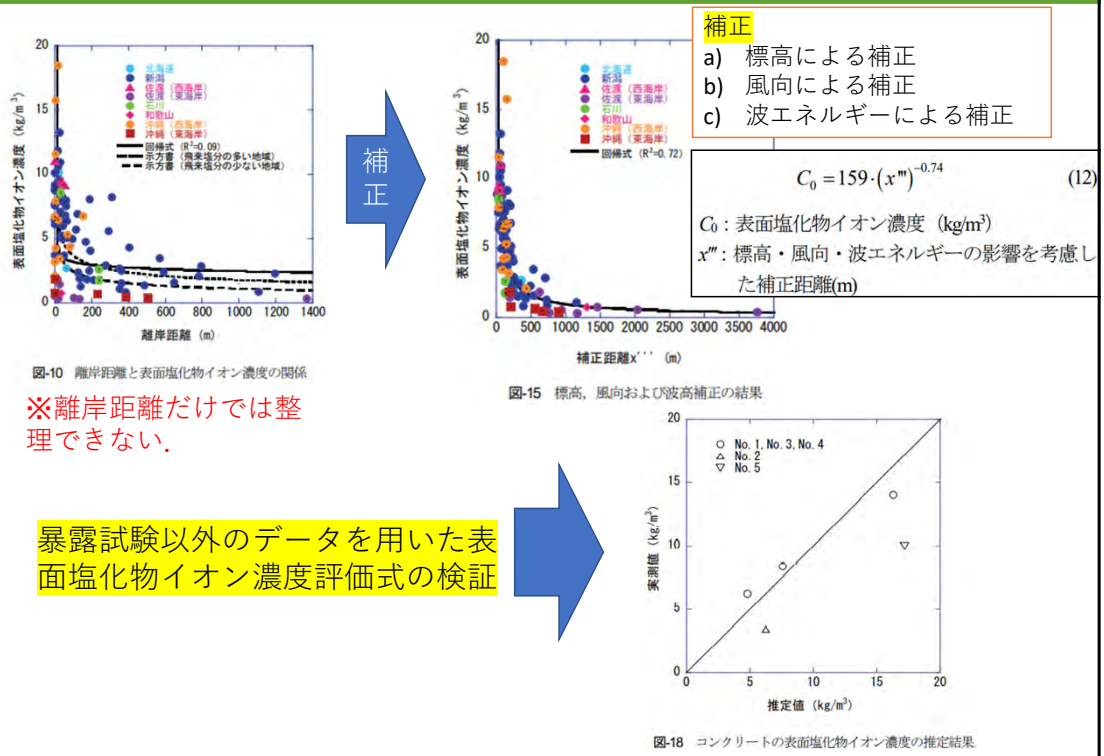


図-6 試験を行った地点（沖縄県）

沖縄県の調査結果（沖縄県）



結果



まとめ

- 本研究は、同一の供試体を用いて、全国**101**か所において暴露試験を行い、恵奈義環境評価を行った。
- 薄板モルタル供試体に浸透した塩化物イオン量をコンクリートの表面塩化物イオン濃度に換算し、海岸条件との関係を検討した。離岸距離のみでは、精度よく表面塩化物イオン濃度を推定できなかったため、標高、風向さらに波エネルギーの影響を考慮した「補正距離」を用いることにより、コンクリートの表面塩化物イオン濃度を精度よく推定することができた。特に波エネルギーによる補正は、精度の向上に大きく寄与した。

受賞理由

- 本論文では、日本各地の**101**か所において暴露試験を行い、供試体への塩化物イオン浸透量をコンクリートの表面塩化物イオン濃度に換算し、標高、風向、波エネルギーの影響を考慮したパラメータを用いることにより、**地域によらず一律に表面塩化物イオン濃度を精度よく評価できる推定式を提案**しました。
- 本研究の成果は、**塩害に対する合理的な耐久性設計に大きく貢献することが期待**され、論文賞に相応しいと認められました。