

気象環境と土木材料の劣化 —土木構造物の長寿命化に向けて—

先端材料資源研究センター(iMaRRC)
材料資源研究グループ長

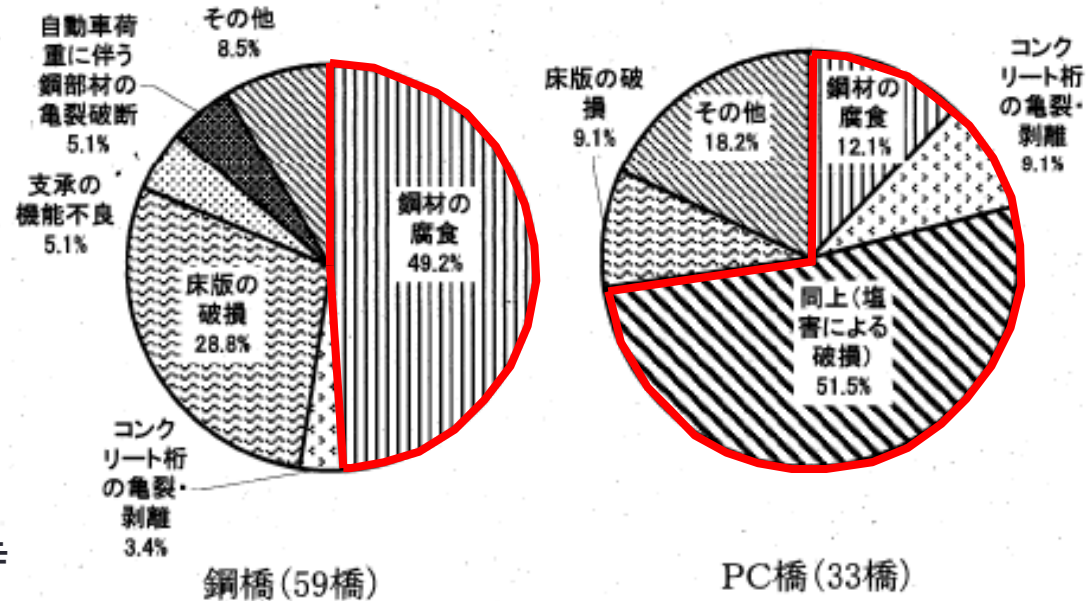
西崎 到

1. はじめに

土木構造物の長寿命化



- 土木構造物の劣化の要因は？
 - 材料に起因するものが多い
 - 材料の改良で対応可能が期待



橋梁上部工損傷による架替理由内訳(H18年度)

(国土技術政策総合研究所資料 第444号「橋梁の架替に関する調査(Ⅳ)(H20.4)」より)

材料の劣化の要因

- 力学的作用によるもの(繰り返し荷重や持続荷重など)
- 環境作用によるもの(腐食、塩害など)

材料の長寿命化の研究に必要な技術とは？

長寿命化に資する材料開発

環境耐久性評価に関する研究

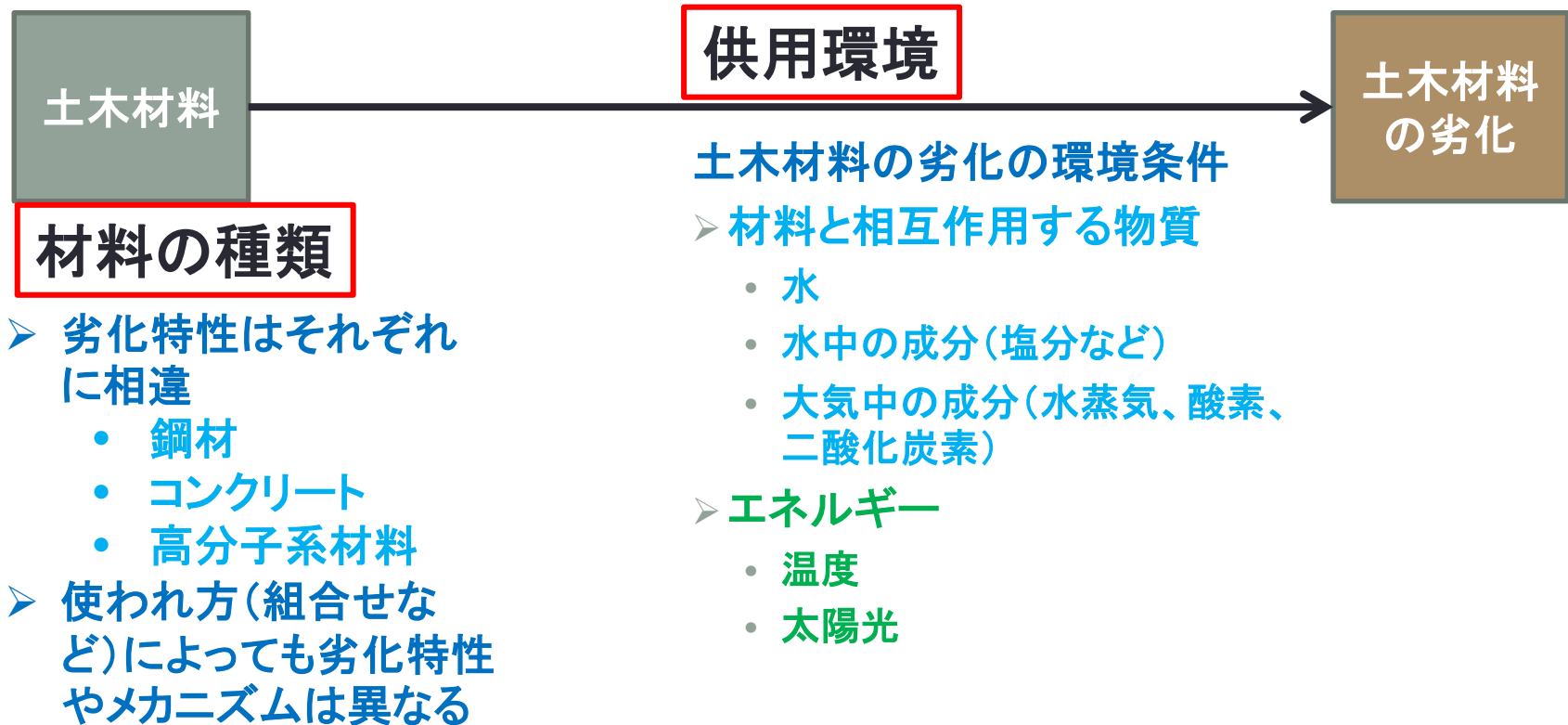


例) ・鋼やコンクリートの劣化抑制技術
・耐久性の高い新しい材料の開発 など

・材料が土木での使用時に長寿命であることを確認する技術

2. 土木材料の環境劣化の把握

2.1 材料の種類と劣化特性・因子の整理



実際の材料劣化は、材料種類と環境の組み合わせ

→ 実際に土木構造物で起きそうな劣化現象を知ることが重要！

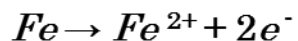
(1) 鋼材の劣化特性と環境因子



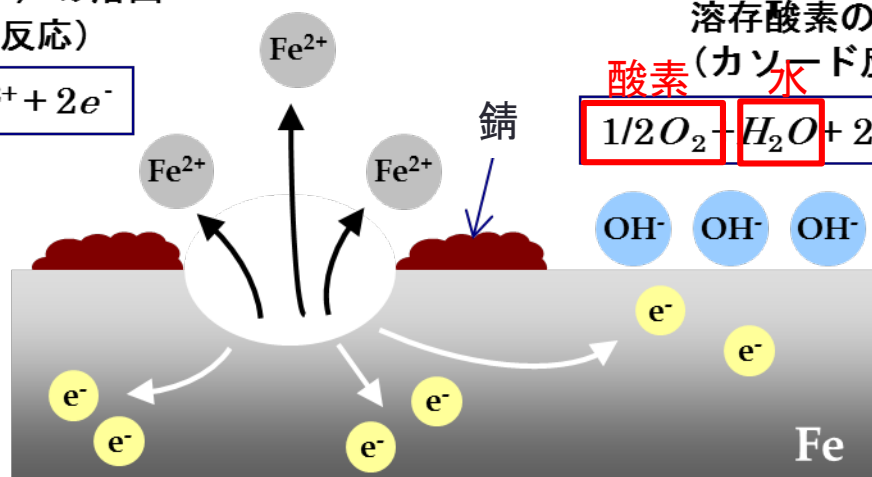
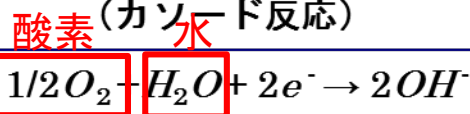
防食の方法

- 腐食環境因子を鋼材から遠ざける(塗膜など)
- 腐食が進みにくい材料に改善(ステンレス鋼、耐候性鋼など)
- 電気防食

鉄イオン (Fe^{2+}) の溶出
(アノード反応)



溶存酸素の還元
(カソード反応)



塩化物イオン

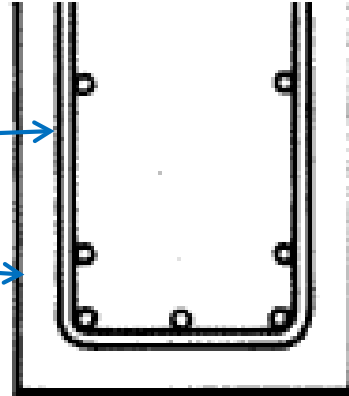
- 鋼材表面の不動態皮膜を破壊しアノード反応を大きく加速させる触媒的作用

腐食に影響する環境因子 ①水分 ②酸素 ③塩化物イオン ④温度

(2)コンクリートの劣化特性と環境因子

- コンクリートの劣化

- 鉄筋の腐食
- コンクリート部分の劣化



- 鉄筋の腐食

- コンクリートの鉄筋はセメントのアルカリによる不動態被覆で保護。
- 中性化や塩分浸透が鉄筋位置まで到達すると腐食の可能性。
 - 中性化: 温度、水の影響(乾燥しやすい条件など)
 - 塩分浸透: 塩分供給要因、水の影響、温度

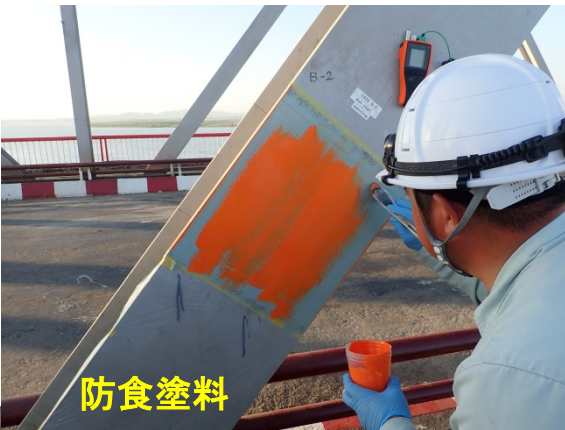
- コンクリート部分の劣化

- アルカリ骨材反応
 - 水の供給、温度
- 凍害(コンクリート中の水分の凍結融解作用による損傷)
 - 凍結融解を繰り返す気象条件
- 化学的侵食など

(3) 高分子系材料の劣化特性と環境因子

- 土木でも様々なところで使われている。
(舗装用アスファルト、塗料、接着剤、各種シート、ゴム系材料)
- 主な劣化因子: 酸素(オゾン)、水、水蒸気(湿度)、太陽光、温度

鋼材と比べて塩分の影響はあまりないが、太陽光の影響を受ける。



2. 2 土木材料の劣化(耐久性)評価の方法

(1) 実構造物調査(試験)

(2) 実環境暴露試験

(3) 促進劣化試験

2. 2 土木材料の劣化(耐久性)評価の方法

(1) 実構造物調査(試験)

(2) 実環境暴露試験

(3) 促進劣化試験

- 実際に構造物で起きる問題点検証に重要
(特に使用されている材料の情報が十分
あると有効)
- 試験施工では信頼性の不明な材料の使用
は難しい。



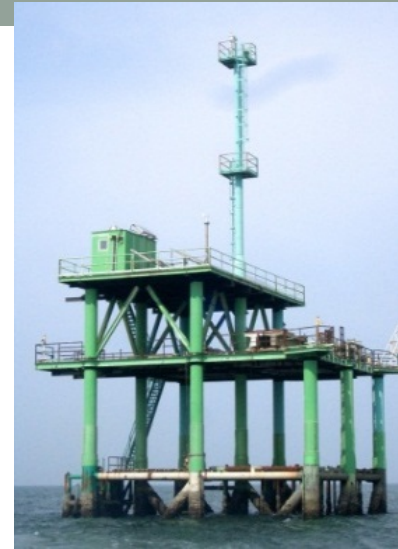
実構造物による材料
の環境耐久性調査



実構造物による
試験施工

(2) 実環境暴露試験

- 陸上
- 海上(大気中、干満帯、水中)
- 海浜(大気中)
- 河川(水中、干満帯)
- ダム湖(水中)



➤ 実際に起きる劣化を供試体で再現できる。

➤ 課題と対策

・その場所の劣化しか分からないのでは？

→ 環境因子の計測と複数個所で試験を実施することで、材料劣化に影響を及ぼす主要因子を見出せる場合。

・結果が出るまで時間がかかりすぎるのでは？

→ 耐久性に劣る比較材料と一緒に試験。劣化機構に影響を与えない範囲で、試験体に耐久性上の弱点部をつくる。

(3) 促進劣化試験1

主に鋼材腐食のための試験例

- ・塩水噴霧試験
- ・複合サイクル腐食試験



主にコンクリート劣化のための試験例

- ・凍結融解試験
- ・中性化試験

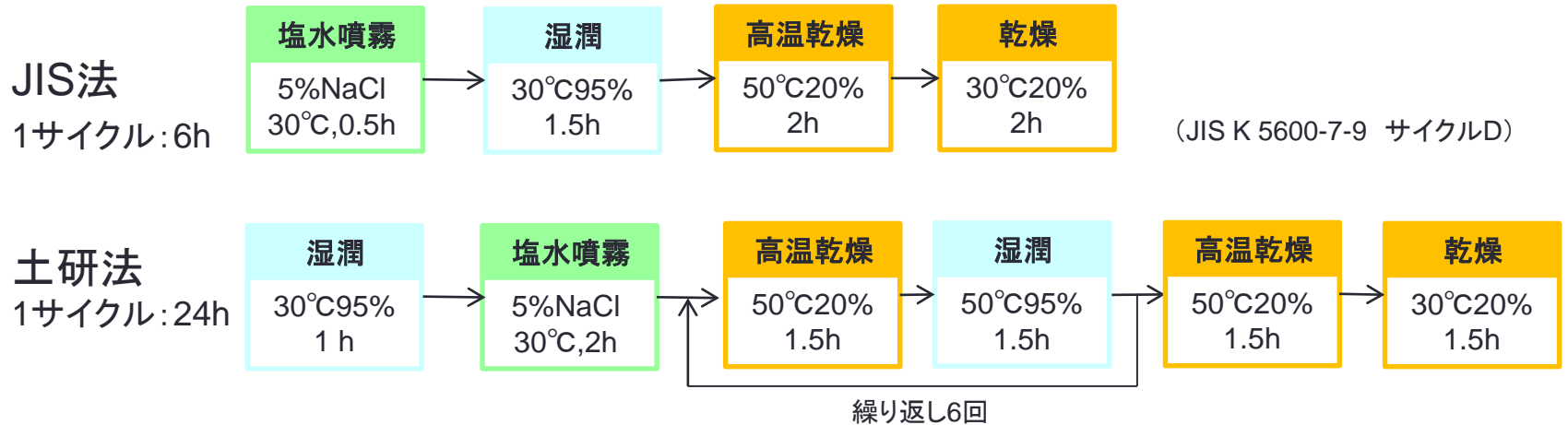
主に高分子系材料劣化のための試験例

- ・促進耐候性試験
- ・水中浸せき試験



(3) 促進劣化試験2

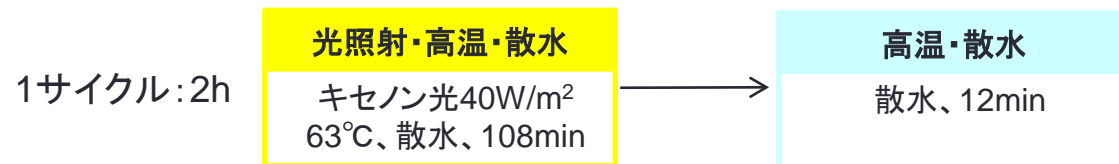
● 複合サイクル腐食試験：塗装鋼材の耐食性



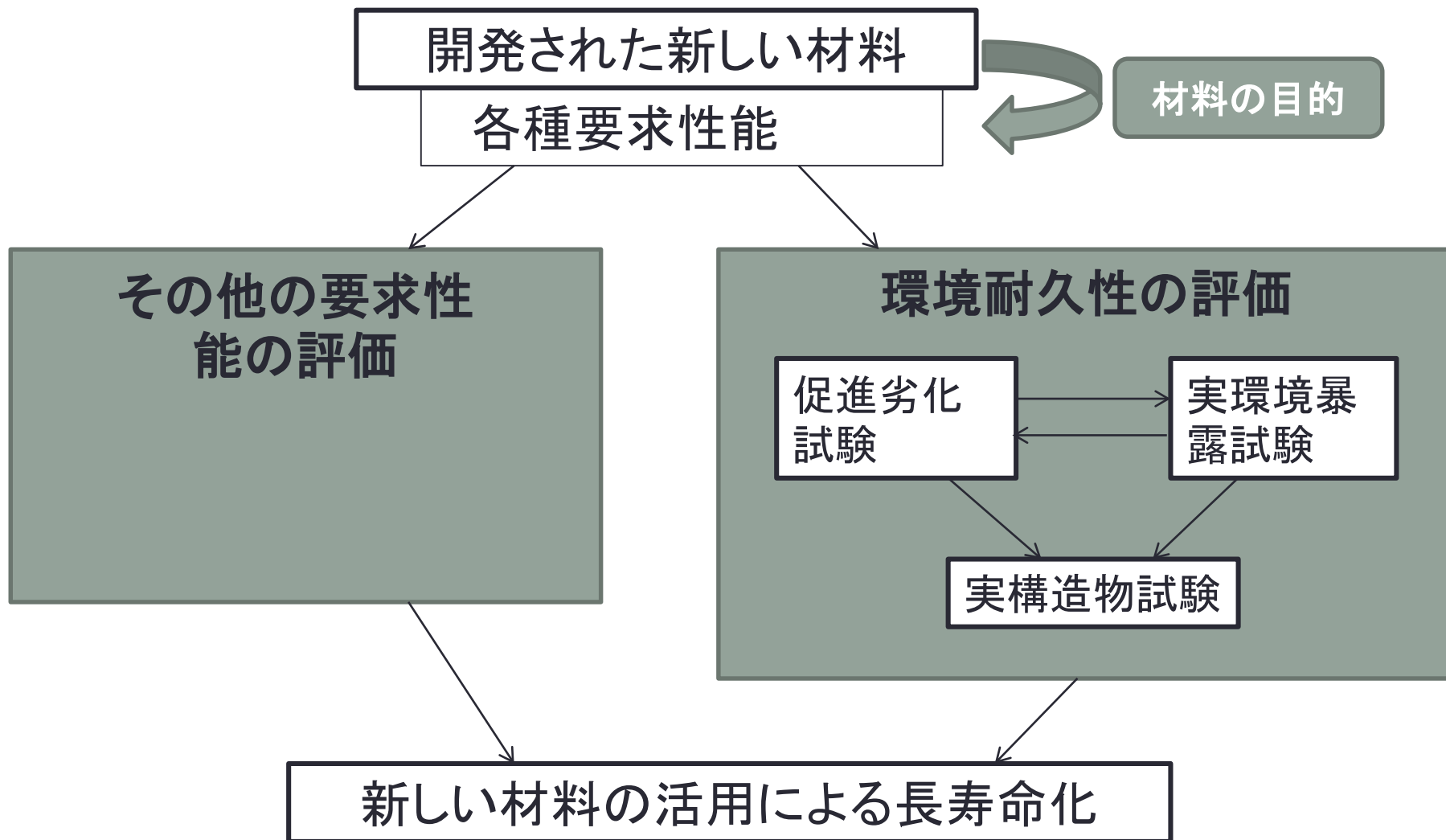
● 促進劣化サイクル試験：RCの塩害による鉄筋腐食



● 促進耐候性試験：高分子系材料

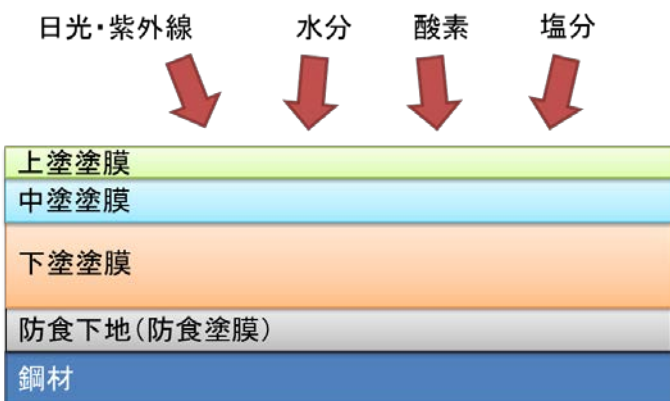


2.3 新しい材料の環境作用に対する耐久性評価方法とその改良

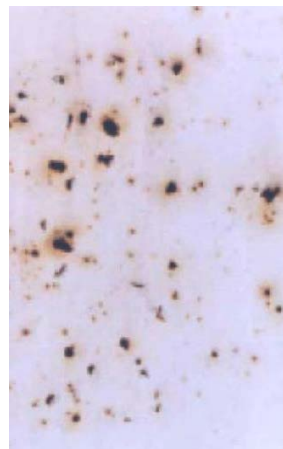


3. 鋼材防食の劣化と気象環境

- 鋼材防食の長寿命化
 - 塗装材料の性能向上
 - 塗装によらない防食方法(めっきなど)
 - 鋼材自体の耐食性向上(耐候性鋼など)
 - 他の構造材料に代替
- 鋼材塗装の構造(下図)と劣化
 - その劣化は鋼材の腐食と、塗膜(通常高分子系材料)の劣化の両方が係わる。
- 塗装鋼材の耐久性
 - 塗膜(高分子系材料)の劣化
 - 塗膜表面が粗く変質(化学的変化、**光沢の低下**など)
 - 塗膜の膜厚の減少
 - 鋼材の腐食抑制程度の低下(鋼材の腐食)
 - 弱点部(**キズある部分**やボルト部など)でのさびの発生
 - 全面的なさびの発生



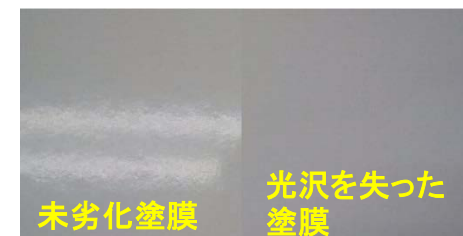
鋼材塗装の一般的構造



全面的なさび



キズ部からのさび



光沢度の測定

屋外暴露試験



つくば 北緯36°6', 東経140°4'



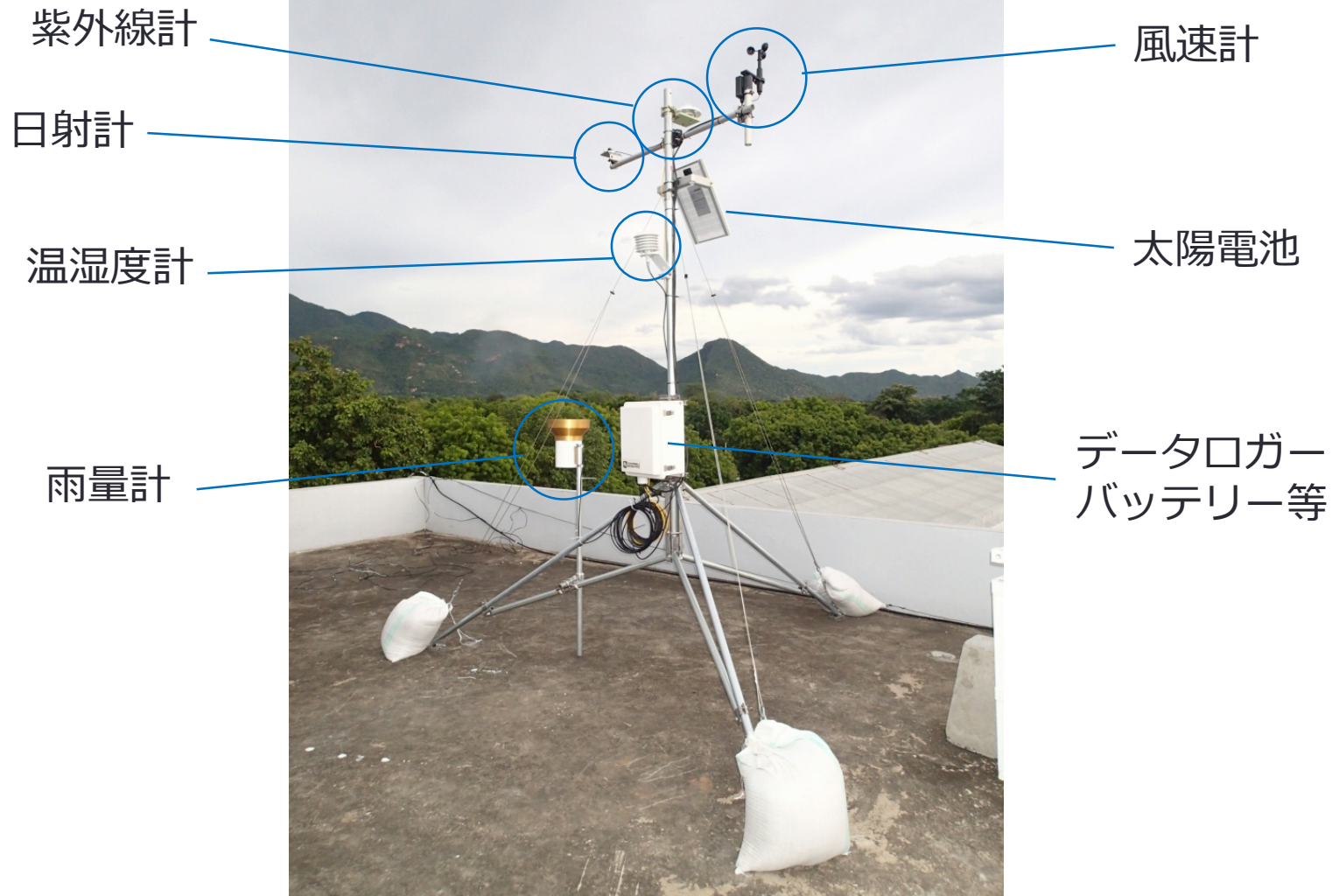
大宜味 北緯26°38', 東経128°4'



ヤンゴン 北緯16°52', 東経96°7'

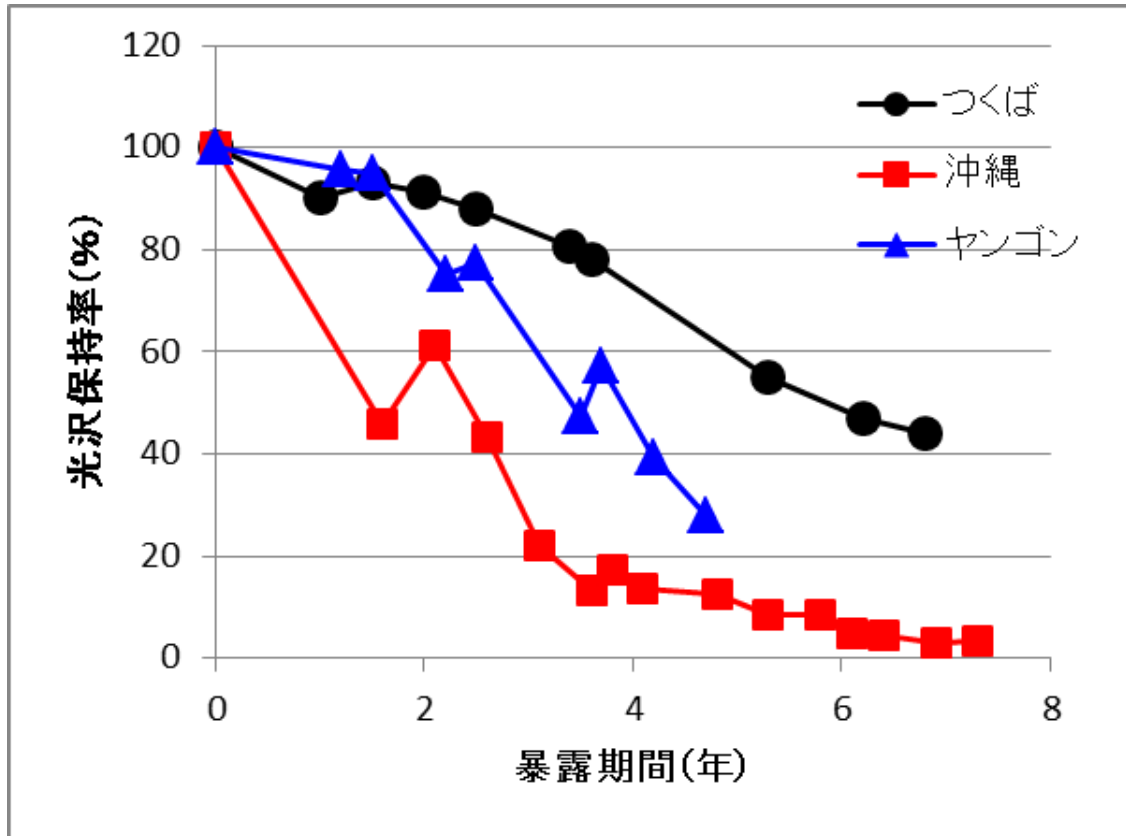


屋外暴露試験箇所における気象観測



試験結果

- 各暴露場における塗膜の耐久性評価結果（光沢保持率）



(上塗り塗膜: アクリルシリコン塗料)

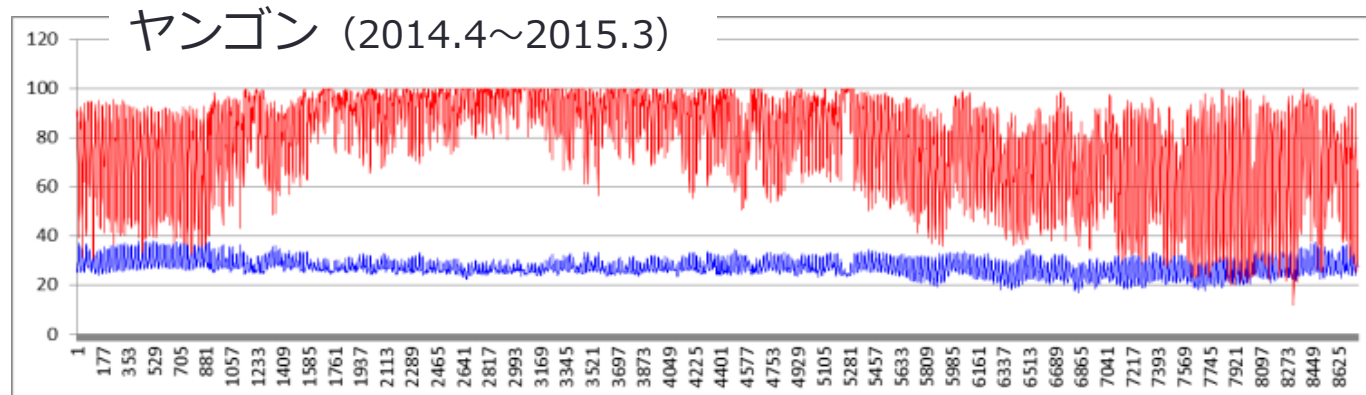
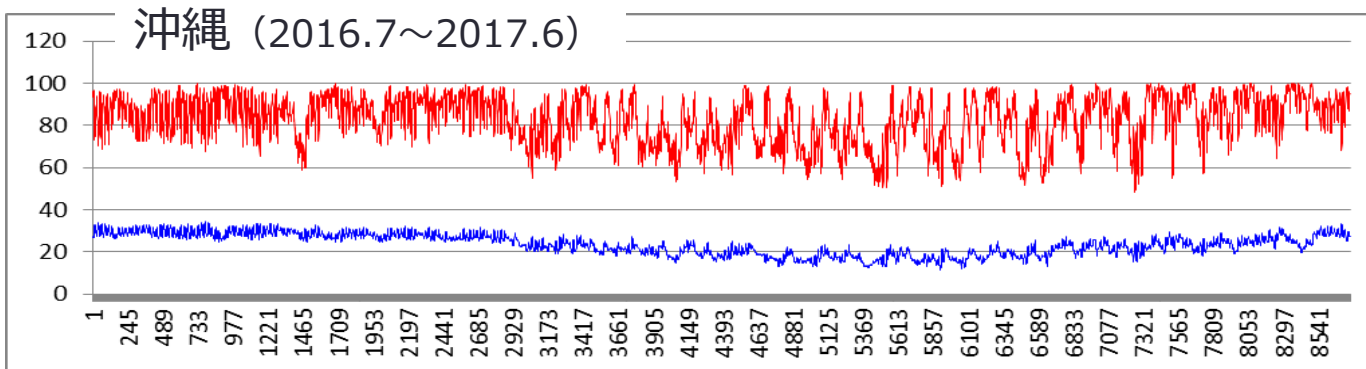
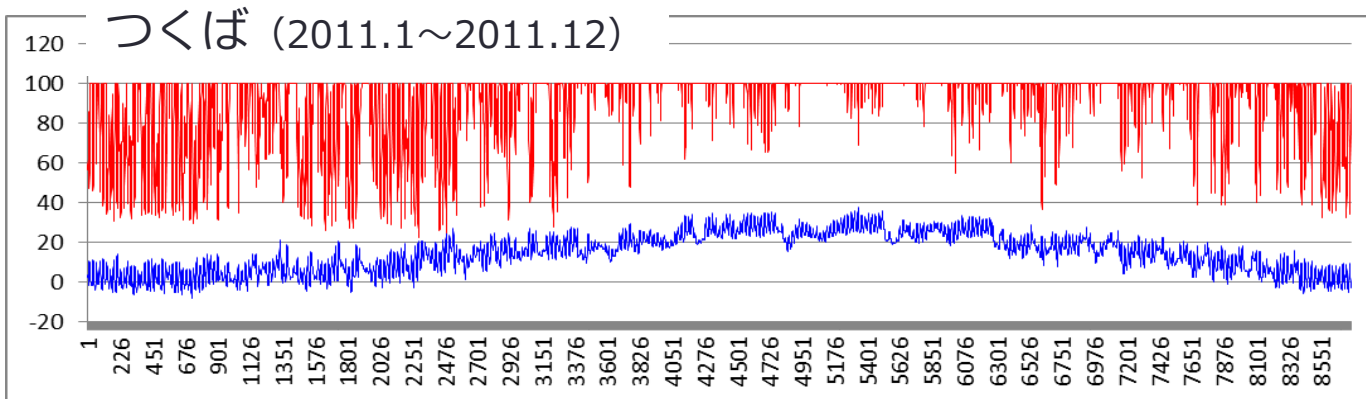
劣化の速度: 沖縄 > ヤンゴン > つくば

気象観測データ(代表的項目)

試験箇所	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	積算紫外線量 (MJ/m ²)	計測期間
つくば	14.5	1835	246	2011.1~2011.12
沖縄	23.5	1902	244	2016.7~2017.6
ヤンゴン	27.4	2502	277	2014.4~2015.3

劣化の速度： 沖縄 > ヤンゴン > つくば

温度と湿度の1年間の推移



凡例

赤線:湿度
青線:気温

濡れ時間
気温0°C以上
かつ相対湿度
80%以上の時
間
(ISO 9223)

気象観測データ(濡れ時間を算出)

試験箇所	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	濡れ時間 (時間) (>80% RH)	積算紫外線量 (MJ/m ²)	計測期間
つくば	14.5	1835	6343 / 8760	246	2011.1~2011.12
沖縄	23.5	1902	5387 / 8760	244	2016.7~2017.6
ヤンゴン	27.4	2502	5049 / 8760	277	2014.4~2015.3

温度

つくば < 沖縄 < ヤンゴン

紫外線量

つくば ≒ 沖縄 < ヤンゴン

濡れ時間

つくば > 沖縄 > ヤンゴン



劣化の速度： 沖縄 > ヤンゴン > つくば

4. コンクリートの中性化と気象環境

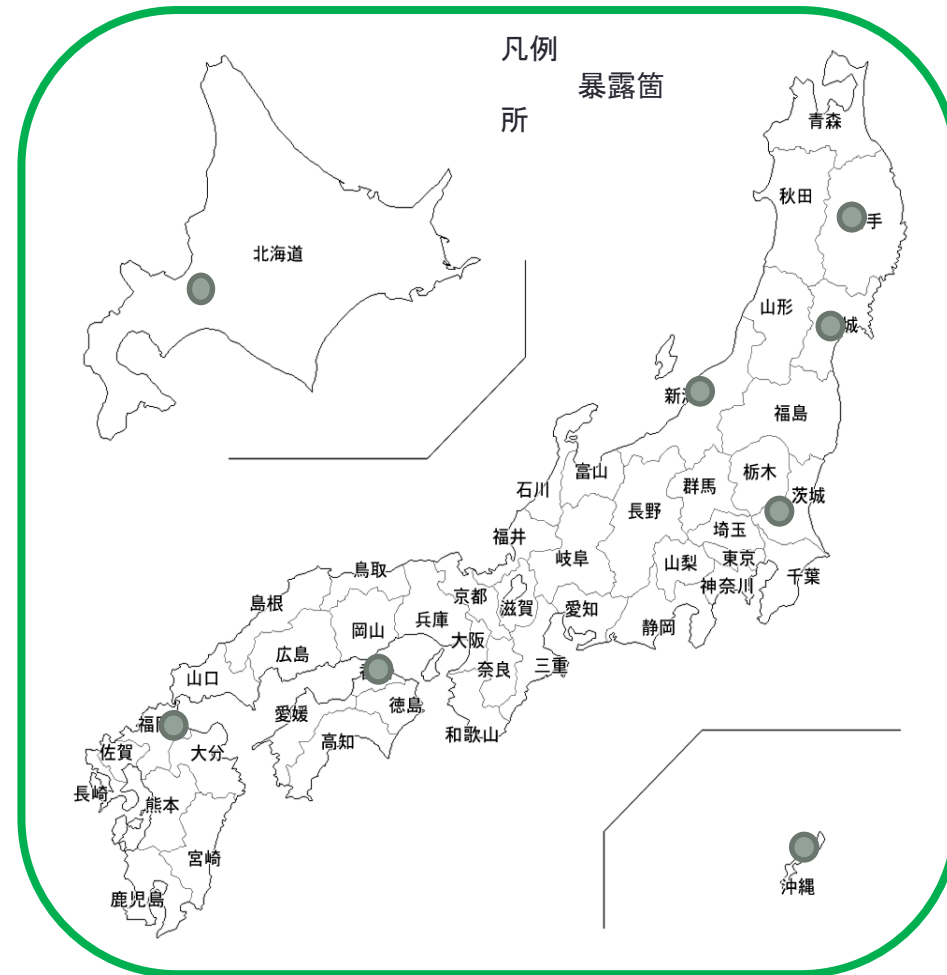
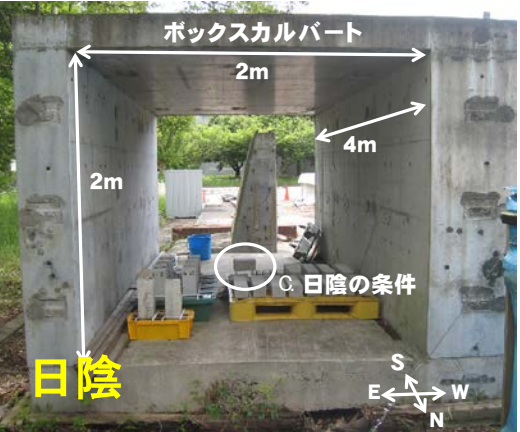
- コンクリートの中性化
 - セメントのアルカリ成分(水酸化カルシウム)と大気中の二酸化炭素との中和反応により、コンクリート表面から内部に中性化が進行。
 - これまでの研究を元に、国内では十分な耐久性が得る手法が確立されている。
 - 一方で、
 - 中性化の速さは気象環境の影響を受けることが分かっている。
 - 環境条件が国内よりも多様な海外では、大きな中性化速度が報告される事例がある。
 - 日本の国土も南北に長く気象条件に相違は相当にある。
- 全国各地での中性化に関する暴露試験により確認
水/セメント比が85%と大きいコンクリートを使用。

暴露試験場所と供試体

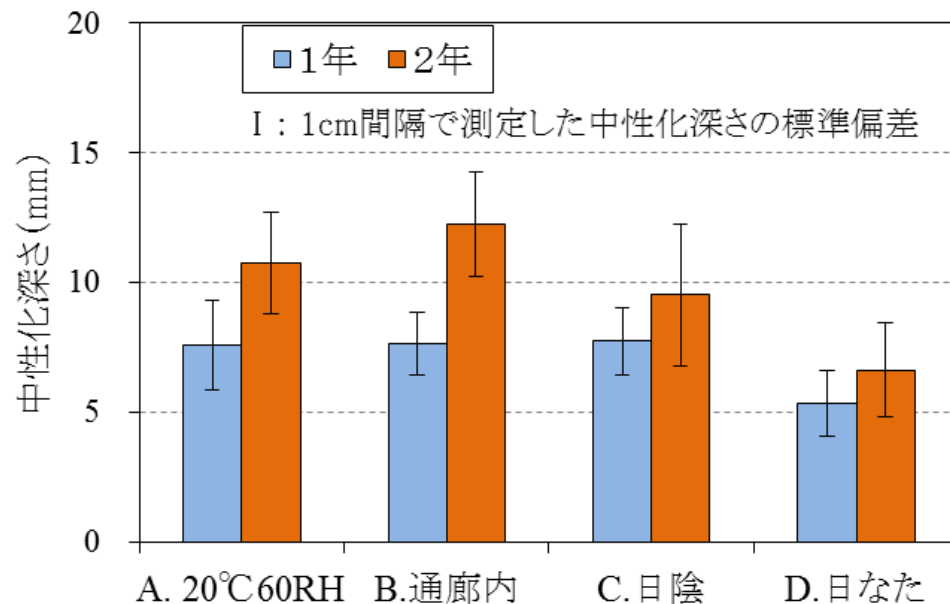


試験1: つくばで異なる条件で暴露

試験2: 「日なた」で全国暴露8か所で暴露



試験1の結果(局所環境の影響)

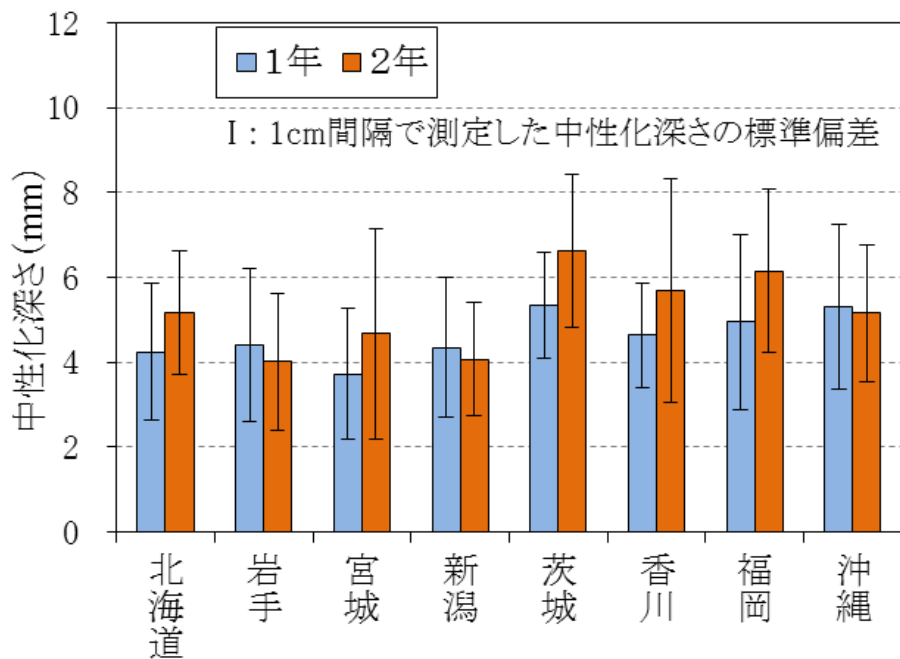


- ・中性化速度は雨掛かりの無い、A実験室内、B通路内で比較的大きい
- ・雨掛かりのある日なたでは小さい。

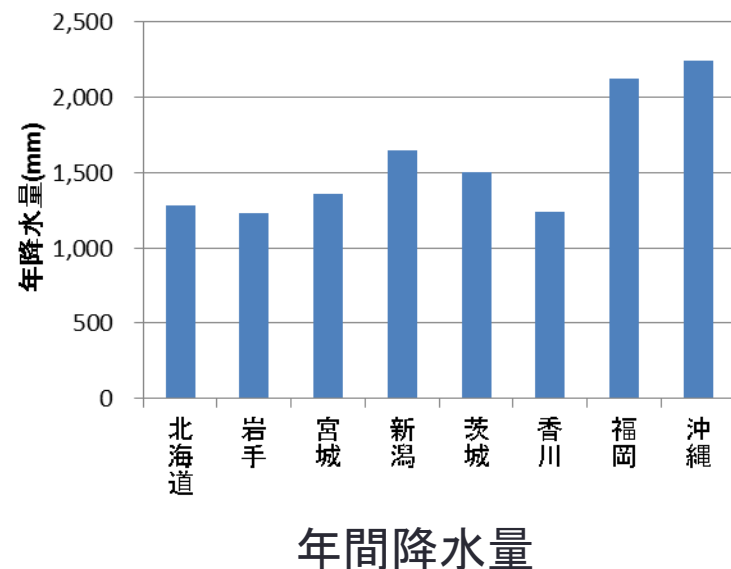
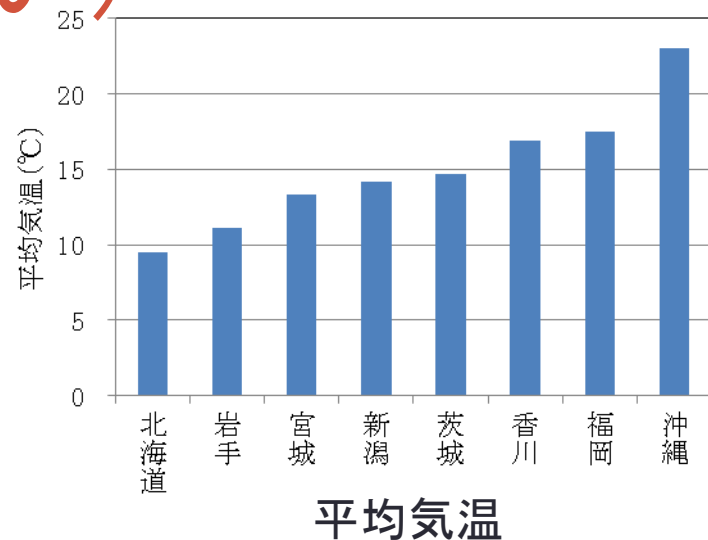
→コンクリート内の含水量が高いと中性化速度は遅くなる。

別途行った促進試験の結果、温度が高いほど、湿度が低いほど中性化速度が大きいとの結果。

試験2の結果(気候の違い)



我が国の屋外で雨掛かりの影響を受ける条件では、中性化の大きさには、さほど大きな差がなさそうであるとの結果



まとめ

- 新しい材料技術を、土木構造物の長寿命化に活かすために、その土木環境での耐久性の適切な評価が必要。
- 実環境での環境耐久性評価は長期間と膨大な労力を要することも多く、新しい材料導入の障壁となるケースも多い。
- 効率的かつ信頼性の高い、耐久性評価方法の確立が必要。
- 土木研究所における実構造物調査、実環境暴露試験、促進劣化試験を組み合わせた耐久性評価方法の構築への取り組みを紹介。

御清聴ありがとうございました。