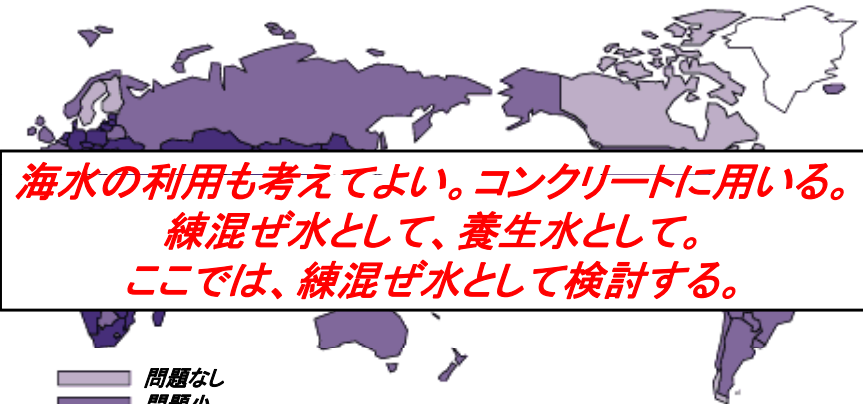


練混ぜ水に海水を用いた 混合セメント中の鉄筋腐食に 関する研究

東京工業大学
理工学研究科
大即信明

0.背景 淡水資源の枯渇

2025年には、世界人口の2/3が淡水不足に悩まされる。



問題なし
問題小
問題中
大問題
No Data

既往の研究: 港湾技研

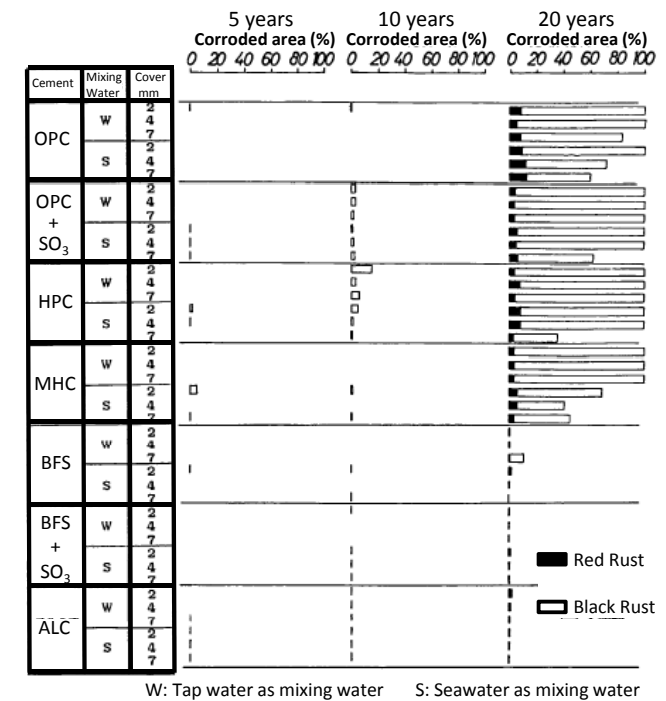
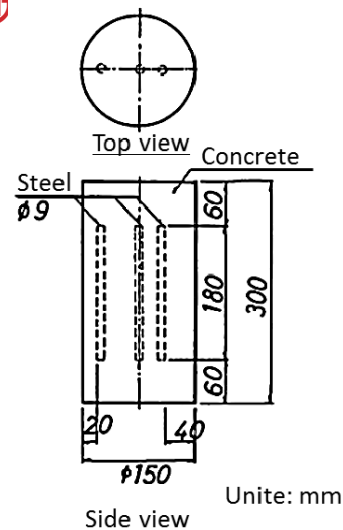
干満帯での20年暴露試験

海水練り、水道水練り

2cm、4cm、7cm

普通ポルト、中庸熱ポルト
高炉セメント、アルミナセメント

石膏量



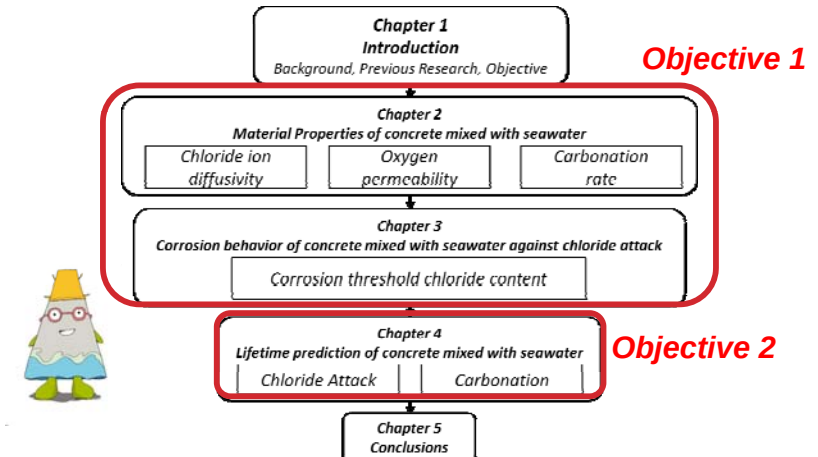
主な結論

- 1. 20年では、ポルトランドセメント中の鉄筋腐食が高炉セメント中よりも多い。
- 2. 5年では、海水練りに腐食が認められる。
- 3. 20年でかぶりの影響も認められる。
- (潜伏期(腐食開始までの期間)では、水道水が勝り、腐食し始めてからは、海水が勝る。)

6

1. 本研究の目的

- 高炉セメントを用いた海水練りコンクリート(モルタル)の物性および内部鉄筋の腐食性状の把握
- 塩害あるいは中性化を受ける高炉セメントセメントを用いた海水練りおよび水道水練り鉄筋コンクリート(モルタル)の寿命予測・潜伏期および進展期



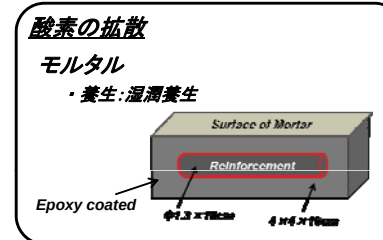
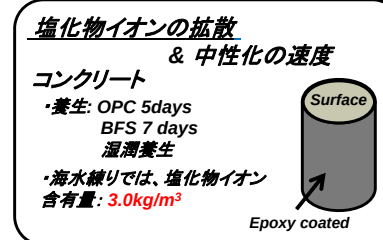
2. 海水練りコンクリート(モルタル)の物性

- ✓ Chloride ion diffusivity (塩化物イオンの拡散)
- ✓ Oxygen permeability(酸素の拡散)
- ✓ Carbonation rate(中性化の速度)

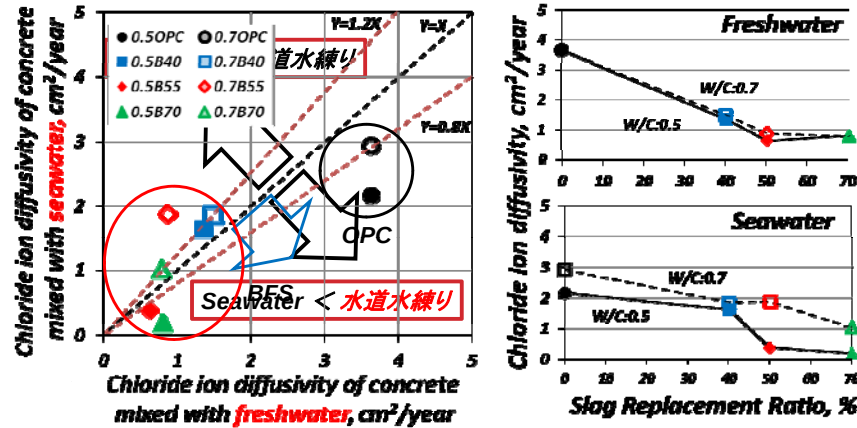
8

供試体

B(BFS): 高炉セメント(B40:置換率40%)、OPC: 普通ポルト

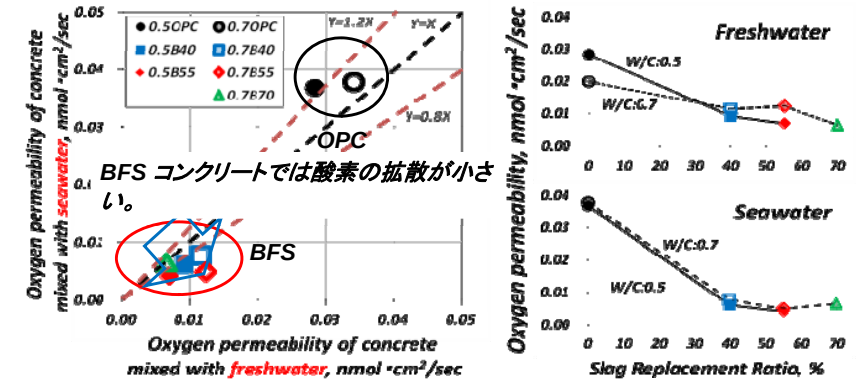


Water Cement ratio	BFS replacement ratio, %	Mixing water
0.5	0(OPC)	Freshwater
	40(B40)	Seawater
	55(B55)	Seawater
	70(B70)	Seawater
0.7	0(OPC)	Freshwater
	40(B40)	Seawater
	55(B55)	Seawater
	70(B70)	Seawater



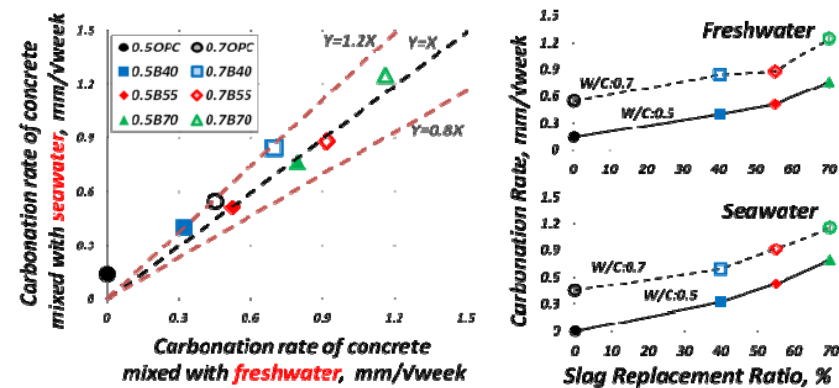
塩化物イオンの拡散

✓ 水道水練り ≥ 海水練り ✓ OPC > BFS



酸素の拡散

✓ 水道水練り ≡ 海水練り(OPC) ✓ OPC > BFS
✓ 水道水練り ≥ 海水練り(BFS)



中性化の速度

✓ 水道水練り ≡ 海水練り ✓ OPC < BFS

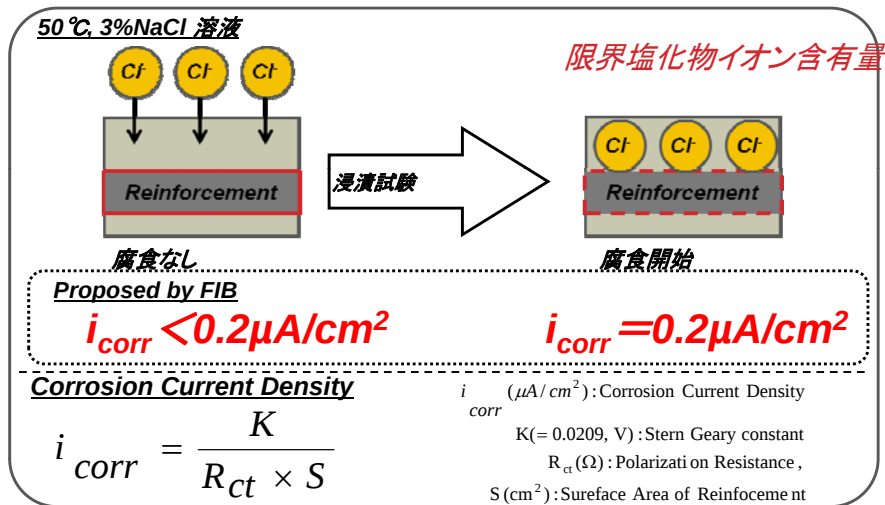
3. 塩害を受ける海水練りコンクリート(モルタル)中の鉄筋腐食の状況

✓ 限界塩化物イオン含有量
(この含有量以上で錆始める。本来は厳密な値ではない。)

限界塩化物イオン含有量

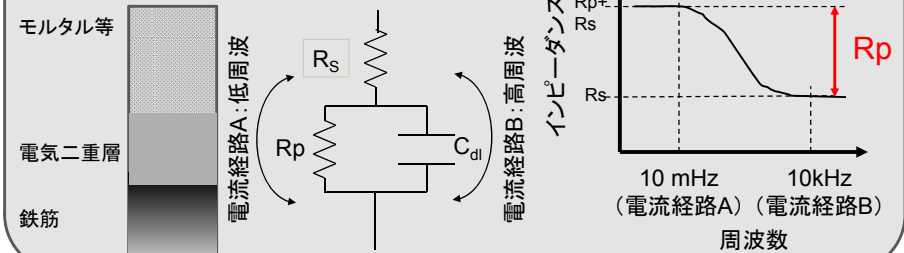
この含有量以上で錆始める。本来は厳密な値ではない。

ヨーロッパコンクリート連盟の考えを参考として下記の電流密度 $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ に対応する含有量を測定した。



分極抵抗($\propto 1/\text{腐食速度}$)の測定方法

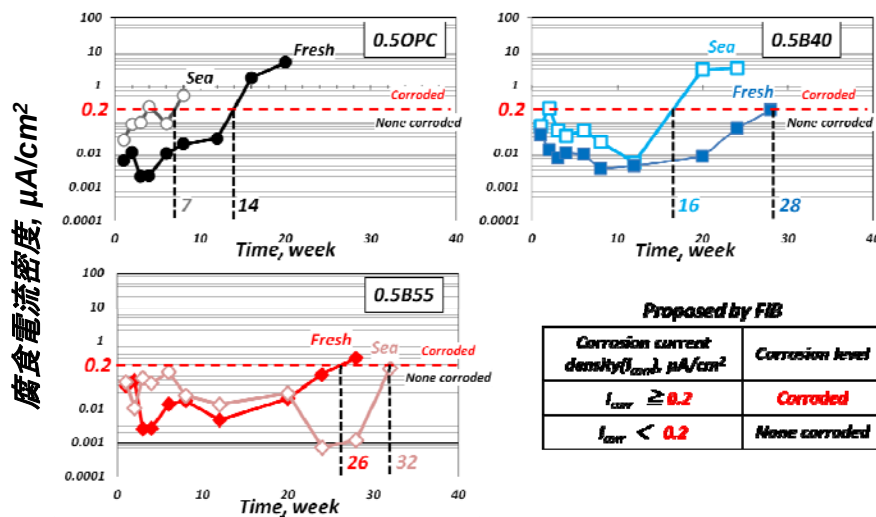
測定原理 (交流インピーダンス法)



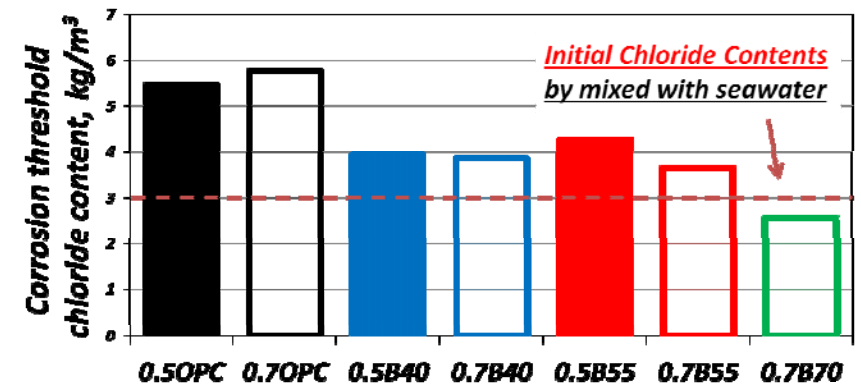
測定システムの外観および概念図



限界塩化物イオン含有量



限界塩化物イオン含有量



限界塩化物イオン含有量

- ✓ $5.0(\text{kg}/\text{m}^3) < \text{OPC} < 6.0(\text{kg}/\text{m}^3)$
- ✓ $3.0(\text{kg}/\text{m}^3) < \text{BFS} < 4.0(\text{kg}/\text{m}^3)$

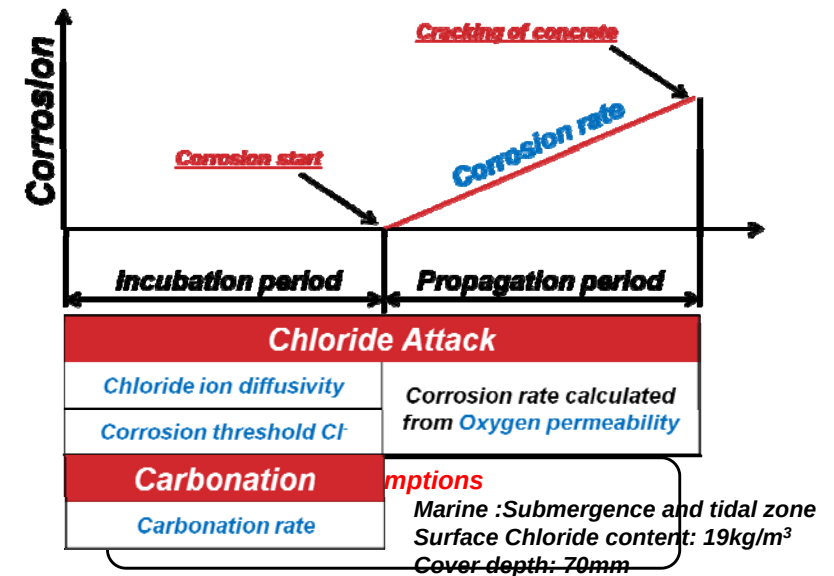
4. 寿命予測

普通ポルトvs高炉

海水練りvs水道水練り

- ✓ 塩害
- ✓ 中性化

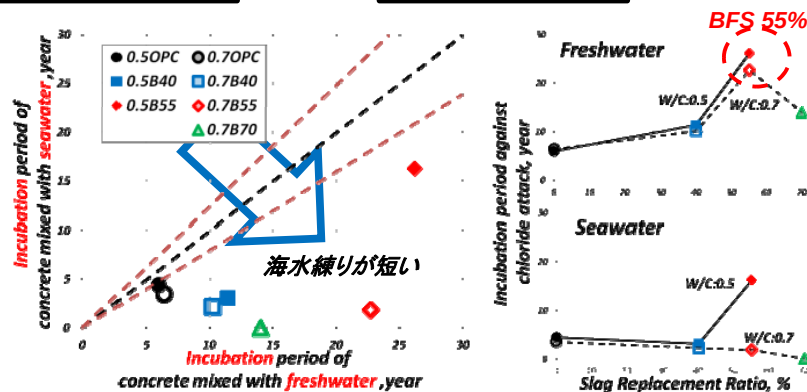
鉄筋コンクリートの寿命予測: 水道水練りおよび 海水練り



塩害に対する潜伏期(腐食開始まで)の期間予測(かぶり7cmで)

✓ 塩化物イオンの拡散係数

✓ 限界塩化物イオン含有量



潜伏期の期間

✓ 水道水練り > 海水練り

✓ OPC < BFS

腐食ひび割れ発生時の腐食量の算定

横関らの式

$$W_{cr} = -1.841\phi(\phi - 8.661) + 145.1\alpha^{-1.194} + 3809A^{-0.8351} + 10.60X - 72.30$$

W_{cr} : 腐食ひび割れ発生時の鉄筋腐食生成物量(mg/cm^2)

ϕ : クリーブ係数

α : 体積膨張率(通常は3.2)

A : 腐食角度(通常は 360°)

X : 形状関数(かぶり/鉄筋径)

簡略式

鳥取らの式

$$W_{cr} = 10(c/\phi)$$

C : かぶり(mm)

ϕ : 鉄筋径(mm)

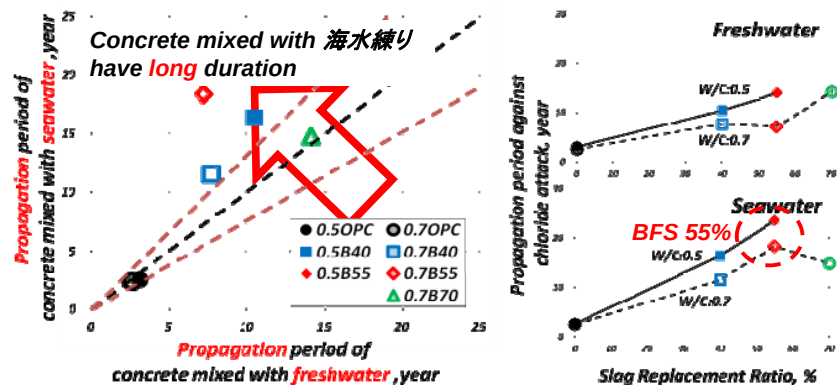
かぶり70mm, 鉄筋径13mmの場合

鉄筋腐食生成物量

$$W_{cr} = 10 \times (70/13) = 53.8\text{mg}/\text{cm}^2$$

塩害に対する進展期(腐食発生からひび割れ発生まで)の期間の予測

✓ 酸素拡散係数を用いた腐食速度計算



進展期の期間

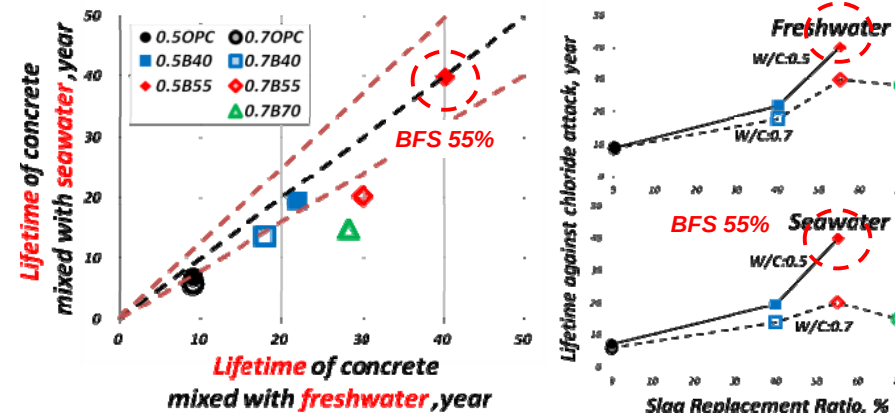
✓ 水道水練り < 海水練り ✓ OPC < BFS

22

潜在期+進展期の予測

✓ Incubation period

✓ Propagation period



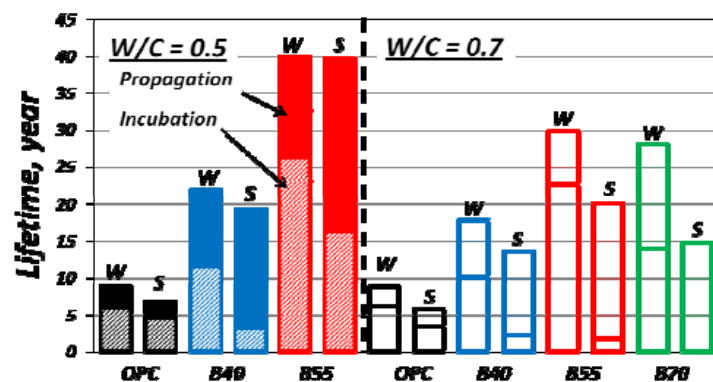
潜伏期+進展期の期間

✓ 水道水練り ≒ 海水練り ✓ OPC < BFS

23

塩害での寿命予測

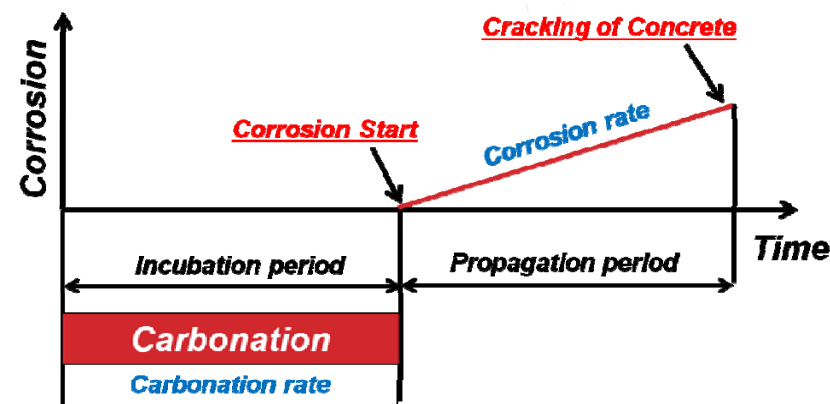
全体の寿命の中での潜伏期と進展期の分担



潜伏期の場合、海水練り鉄筋コンクリートの寿命は水道水練りより小さい。潜伏期に進展期をプラスして考えると、寿命はほぼ同じである。特に、置換率55%の高炉セメントでは、ほぼ水道水練りと同じで、寿命40年となる。(若干水セメント比を下げれば50年も大丈夫と思われる。)

24

中性化に対する寿命予測—潜伏期

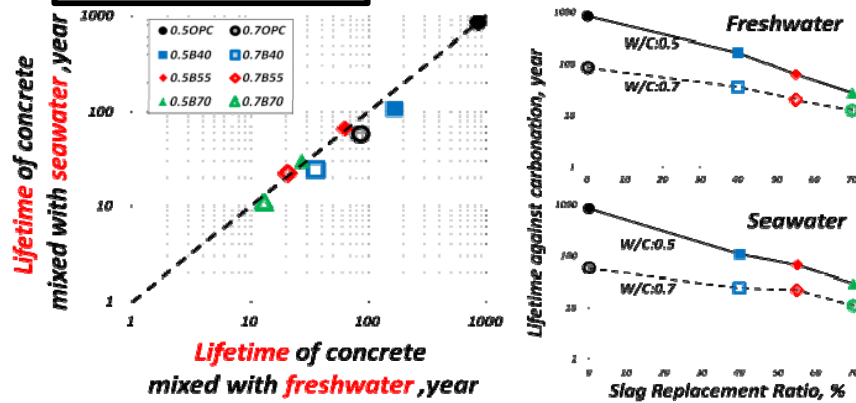


予測の条件

内陸部
炭酸ガス濃度: 0.03%
かぶり: 30mm

中性化での寿命予測

✓ 中性化速度係数より

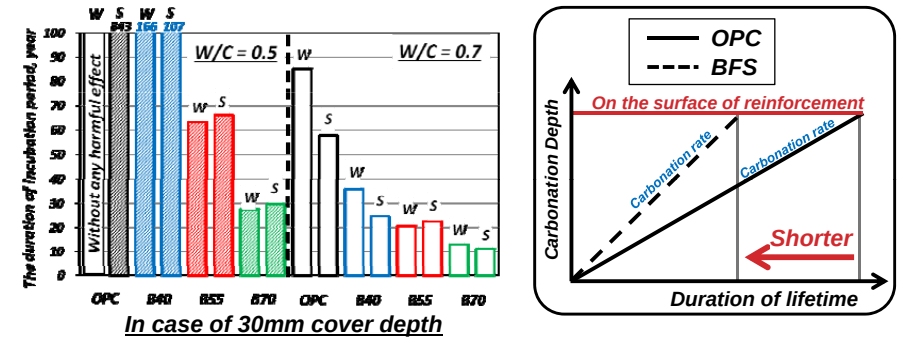


中性化に対する寿命—100年以上も0.5OPC

✓ 水道水練り ≡ 海水練り ✓ OPC > BFS

5 章 結論

中性化に対する寿命予測



海水練りと水道水練りの違いは大きくないが、むしろ、BFSの置換率が大きいと寿命は小さくなる。

CHAP.5 CONCLUSIONS

1. 塩化物イオンの拡散係数は、海水練りのものの方が、水道水練りのものよりも小さい。
中性化速度係数は、海水練りと水道水練りのものはほぼ同じである。酸素拡散係数は、高炉セメントを用いたものの方が普通ポルトのものより小さい。
2. 塩害で潜伏期+進展期を寿命と考えた場合、水道水練りと海水練りの寿命はほぼ同じである。特に、置換率55%BFSセメントでは、いずれも寿命40年程度である。
中性化で潜伏期を寿命と考えた場合、水道水練りと海水練りはほぼ同じである。BFSセメントを用いると不利である。

追加資料 BACKGROUND

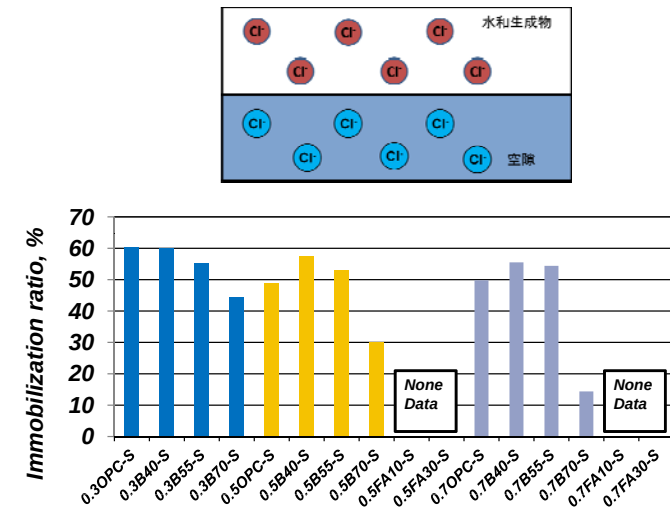
In case of concrete industry, 海水練り should be applied as concrete material.

Concrete mixed with 海水練り have about **3.0** (kg/m³) chloride ion contents.

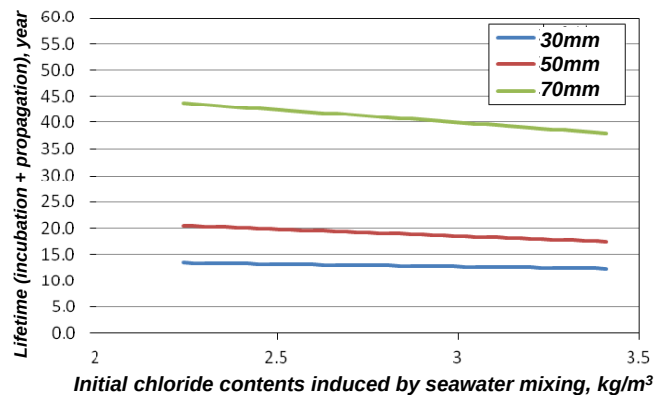
Country	Limiting Value, kg/m ³
Japan 	0.30
United States of America 	0.13 – 0.17
Germany 	0.03
United Kingdom 	0.34

* Cl⁻ in concrete: 19000ppm, W/C:0.5, unit water content: 171 kg/m³

CHAP.1 INTRODUCTION CHLORIDE IMMOBILIZATION



LIFETIME IS VARIED CHLORIDE ION CONCENTRATION IN 海水練り



W/C=0.5 BFS 55%

CHAP.2 MATERIALS PROPERTY

Chloride ion diffusivity

✓ 水道水練り ≥ 海水練り ✓ OPC > BFS

→ To predict incubation period against chloride attack(Chap.4)

Oxygen diffusivity

✓ 水道水練り ≒ 海水練り(OPC) ✓ OPC > BFS

✓ 水道水練り ≥ 海水練り(BFS)

→ To predict propagation period against chloride attack(Chap.4)

Carbonation rate

✓ 水道水練り ≒ 海水練り ✓ OPC < BFS

→ To predict lifetime against carbonation(Chap.4)