

# 最終講義

## 人工島から未使用資源の利用まで ーひよっこりひょうたん島から もったいないまでー

大即信明

1

## 内容

- ◆ 1. 自己紹介
- ◆ 2. 人工島ーひよっこりひょうたん島
- ◆ 3. 国際での活動
- ◆ 4. 未利用資源の利用ーもったいない
- ◆ 5. まとめ

2

## 1. 自己紹介

- ◆ 51年:福岡県生まれ、鹿児島育ち、75年東京工業大学土木修士、75年運輸省:港湾技術研究所材料施工研
- ◆ 88年東京工業大学土木助教授、95年国際開発工学専攻教授
- ◆ 専門:港湾構造物の耐久性、(腐食理論、イオンの移動や活性エネルギーなどからアプローチ)
- ◆ 思想:大乘仏教的(永遠回帰、色即是空、など)
- ◆ 土木系となった訳:親鸞さんは土木、ひよっこりひょうたん島→港湾
- ◆ 夢:教え子の国をすべて訪問する。ミャンマー、ベナン(既に、バングラ、ラオス、ベトナム、フィリピン、タイ)など

3

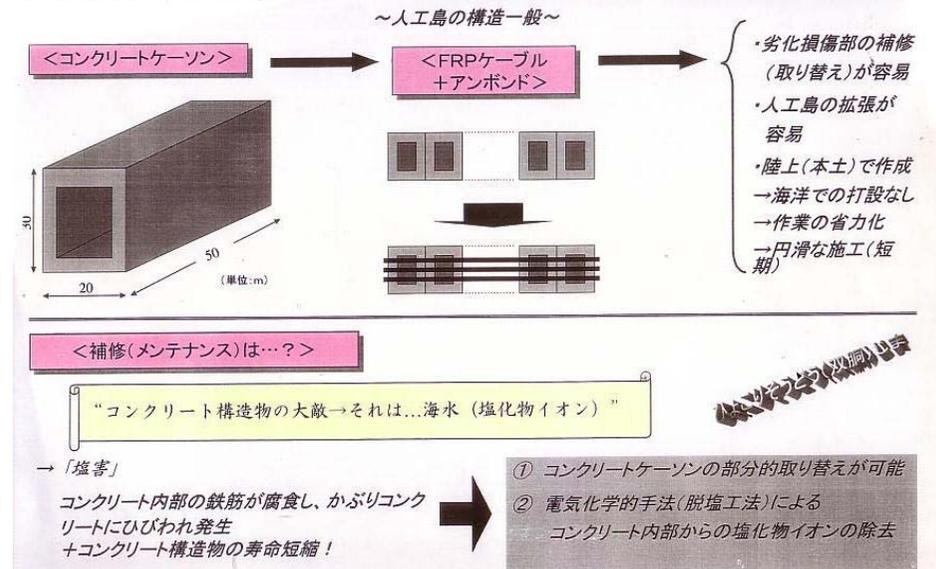
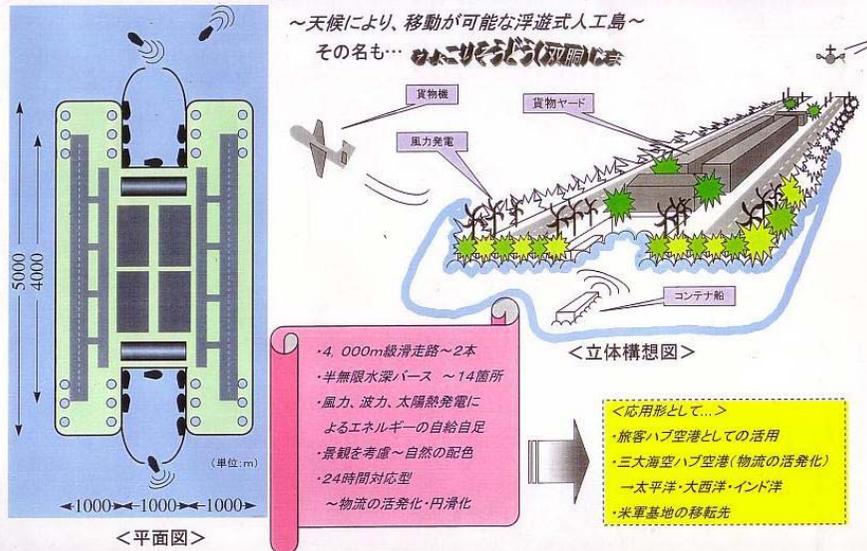


26.8 安部農園にて

5 months  
old

4





### 3. 国際で働く

- ◆ 国際開発工学科(開発システム工学科)
- ◆ 海外協力で働く
- ◆ あなたならどうする

### (1) 国際開発工学科 (開発システム工学科)

- ◆ 1995年 新学科発足
- ◆ 学内説明、文科省などへの説明、大変でした。
- ◆ その後、
- ◆ 年次進行で大学院
- ◆ さらに、改称して国際開発工学科・専攻
- ◆ 今年度で発展的解消と信じています。
- ◆ 初代(兼最後)の、教授

## 開発システム工学科 1期生 学生および教官一覧



13

## 学生名簿

| コース        | 名前                                  | 国籍                                    |
|------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 化 工<br>コース | ジュウ ゴアン ギュ Ju Kwang Kyu             | 韓国<br>中国<br>マレーシア                     |
|            | イ セン レイ Yi Sun Yong                 |                                       |
|            | カ ガイ Xa Kai                         |                                       |
|            | クー リナ ビー イェン Khoo Lena Bee Yean     |                                       |
| 機 械<br>コース | シャ セン Xie Chuan                     | 中国<br>韓国<br>タイ<br>タイ                  |
|            | ジョン ジ ヨン Chung Chi Yong             |                                       |
|            | チラサーンチャイ パッタラ Chirasarnchai Phatara |                                       |
|            | ミーベッディー ヨンユット Meepetchdee Yongyut   |                                       |
| 電 気<br>コース | ロ エン Lu Yuan                        | 中国<br>中国<br>モロッコ<br>モンゴル              |
|            | ガク ホー Yue Peng                      |                                       |
|            | キスラ モハメド サード Kusra Mohaqmed Saad    |                                       |
|            | バヤンサン ウラムバヤル Bayansan Ulambayar     |                                       |
| 土 木<br>コース | チョウ ショウ ウ Zhang Xiang Yun           | 中国<br>韓国<br>中国<br>韓国<br>ポルトガル<br>ベトナム |
|            | イム ウオン ヒ Im Won Hee                 |                                       |
|            | ヨウ セイ ウ Yong Zheng Yu               |                                       |
|            | キム イン Kim In                        |                                       |
|            | ホ ウィーン キョウ Ho Wing Keeng            |                                       |
|            | ボー フン タン Vo Hung Thanh              |                                       |

14

## (2) 海外協力で働く

- ◆ 必死の交渉
- ◆ フィリピン拠点長

15

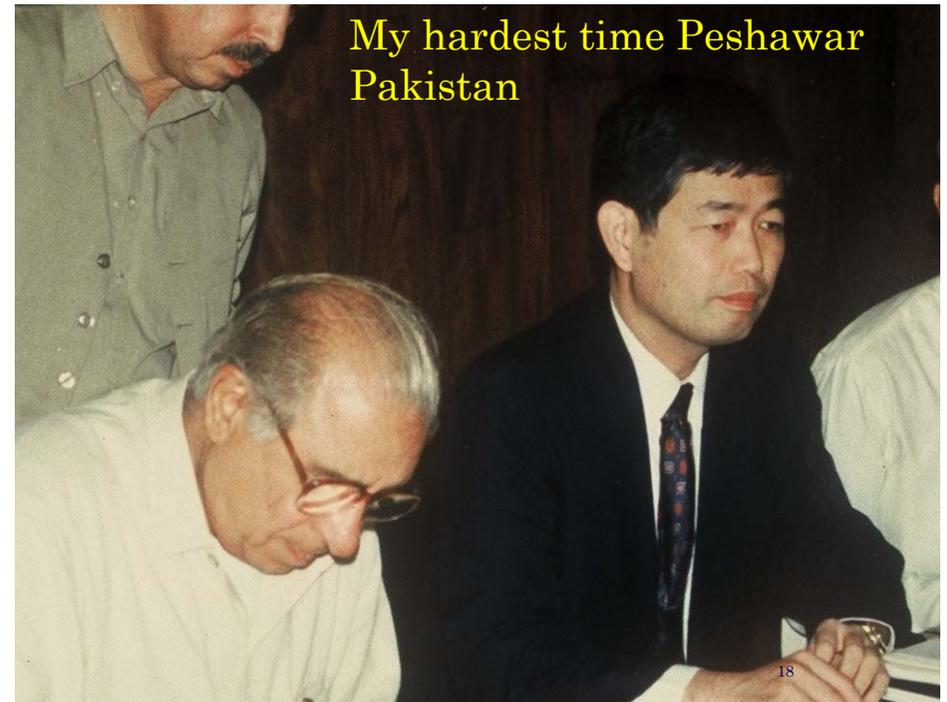
## 必死の交渉

- ◆ ペシャワール工大への機材供与 (JICA団長として) 1992
- ◆ 工学部へ総計5億円 (パキスタンの感覚では10-20倍)
- ◆ 機械工学、電気工学、土木工学、農業工学、鉱山工学および共通の基礎科学科よりなる。これらの学科に必要な実験機器を供与する。
- ◆ いちおう、すべての学科に必要な機器をコンサル(ユニコ)に調査してもらい、大郎が最終決断して調印、
- ◆ 最終確認は、会議で議論してサイン、間違うと厳しいのでおそらく人生で最も緊張したときの1つ
- ◆ (ほぼ全員、銃を持っている。有名なパシユトゥ族(勇猛))

16



17



My hardest time Peshawar  
Pakistan

18

## (2) フィリピン拠点長＋ 付属高校校長

- ◆ 旧理工学国際交流センターの一員として
- ◆ フィリピンやタイとの国際協力に従事
  
- ◆ フィリピン拠点長
- ◆ ＋
- ◆ 付属高校校長

19



2000年 国際開発工学専攻 大即 研究室  
2000年の研究室 結構色といと



ラサールカンルーバン高校での東京工業大学附属高校との協定調印

21



ラサール・カンルーバン校

22



Plaque of Recognition  
De La Salle Univ.

長年の協力に対する

2015年9月

23

### (3)あなたならどうする

- ◆ 汚職・賄賂
- ◆ 小さなことから、大きなことまで、
- ◆ 国によって感覚が全くちがう。
- ◆ 建前と本音が全く違う国がある。
- ◆ 公務員はこれをしないと生活できない国もある。
- ◆ 麻薬・セクハラ・売春
- ◆
- ◆ 新人だという言い訳は通用しない。
- ◆ 日本人はすべてに抵抗力が極めて弱い。いわゆる、真面目な人ほど(あるいは自信過剰な人)一度のめり込むとOUT。

## 個人の汚職？あなただったらどうする？

### (1)

- ◆ 発注した会社の方と食事に行き、相手方が飲食費(1-2万)を払い「今日は私どもが払います」といわれたとき
- ◆ 逆に、接待すると、すぐに認可がとれそうな場合
- ◆ 役所の窓口で許可申請書類を出すとき「100ドル出せば、明日出来ますが、そうでないと100日かかります」といわれたとき、なお、1日で会社は1万ドル損する。

## 個人の汚職？あなただったらどうする？

### (2)

- ◆ ある国の国家プロジェクトを受注した。このプロジェクトではA村が土地買収を担当しており、当然A村公務員には給料は出ている。村長に「このプロジェクトのために公務員1人に対して50ドル払ってください」といわれた。
- ◆ ある国でスピード違反でつかまった。警官に「正式には本部まで行って、そこで罰金200ドルを払うのですが、手続きに1-2日かかります。私に100ドル払えばこの場ですみます」といわれた。
- ◆ 親戚の御嬢さんを関連する教授に推薦する。
- ◆ 正論はすべて「No」でしょう！？
- ◆ 国によって、状況もちがうでしょう。「No」は仕事がとれない国もあります。多分、他の国が仕事をとるでしょう。
- ◆ (1つの正解は、決して自分だけで背負わない！！)
- ◆ 真面目な課長補佐)

## 4. 未利用資源の利用—もったいない

- ◆ もったいないに関するコンクリートでの検討
- ◆ 今世紀は、サステナビリティが重要な課題となっている。その中でも、資源の枯渇が問題となっている。特に、水不足や産業副産物有効利用に関する問題が重要である。コンクリート分野においても、これらの問題に関する種々の取り組みがある。
- ◆ 筆者らは、このような問題を「もったいない」という概念でとらえ、種々の検討を行ってきた。主なものとして、①海水の有効利用、②低品質骨材の利用、③劣化部材の再利用、などである。

## 4-1. 今後の水不足と廃棄物の増加

- ◆ 国連環境計画によると**2050年**には、世界人口94億人の中で水不足に影響を受ける**40億人**とされる<sup>1)</sup>。また、2010年の**世界の廃棄物発生量の推定値**は104.7億トン、2025年の予測値は約148.7億トン(2010年に比べて45.0%増)、**2050年**における予測値は**223.1億トン**(2010年に比べて**113.2%増**)と大きく増加すると予測された。さらに、我が国では、コンクリートの骨材事情は厳しく、川砂利、川砂を使用できないのはもとより、碎石、砕砂も不足する状況である。**なんとかしないと、コンクリートが成立しない状況である**<sup>o28</sup>

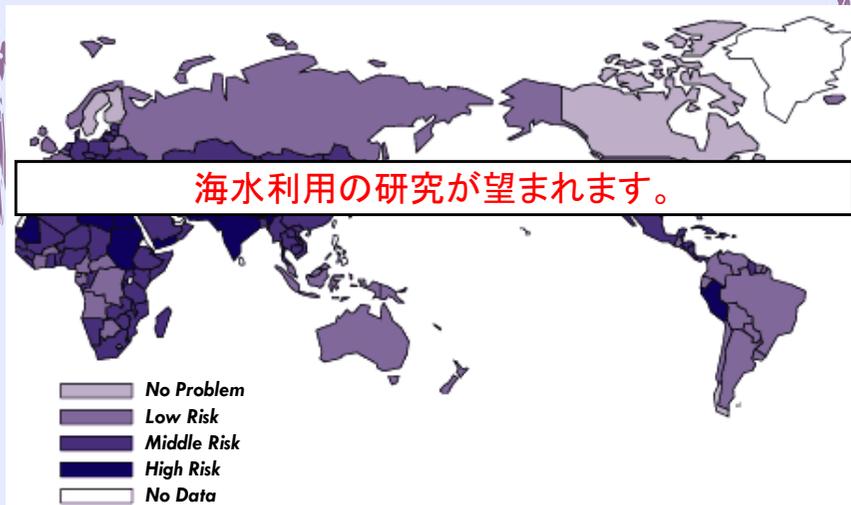
- ◆ 以上のような状況を踏まえ、①海水の有効利用、②低品質骨材の利用。③劣化部材の再利用の検討、および今後の展望について述べる。

## 4.2.海水の有効利用

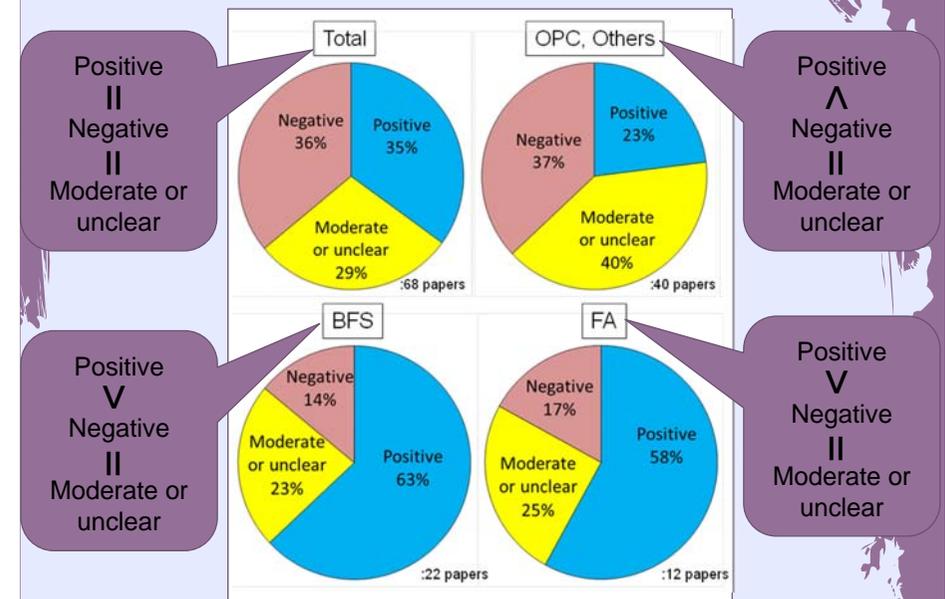
- ◆ コンクリート工学会のコンクリート分野海水の有効利用に関する研究委員会(委員長)において、海水の有効利用に関する検討が行われた。この検討で得られた知見を述べる。

### 背景1

2025年には、世界の2/3の人々が、水不足になるといわれています。途上国がより厳しい状況です。



### 背景2 肯定的と否定的な論文



## 背景-3

- ◆ 世界は性能規定型の設計へ
- ◆ そうすると;
- ◆ どのような材料を使おうと、部材や構造物の性能が、設計期間の間に要求性能を満足すればよいことになるので、
- ◆ 例えば、ひび割れを発生させないという要求性能であれば、それを照査(証明)すればよいこととなります。

33

## 鉄筋腐食に関する要求性能

- ◆ 1. 全く腐食を発生させない。
- ◆ 2. 腐食は許容するが、コンクリートのひび割れは不可
- ◆ 3. ひび割れは許容だが、はく落は不可
- ◆ 4. はく落は許容だが、耐荷力は設計値以上
- ◆ など

34

## (1) 研究などの動向

- ◆ 我が国を含めた世界の規準において、海水はRCでは全面禁止、無筋では条件付き使用可が大勢である。
- ◆ 海水練りコンクリートに関連する既往の文献について整理。

35

## (2) 海水・未洗浄海砂を用いたコンクリート構造物の事例調査

- 1) 海水練りで製造された灯台の調査
- 2) 沖ノ鳥島における露岩根固コンクリートの事例調査
- 3) 海水練りプレパックドコンクリートの分析調査
- 4) 軍艦島のコンクリート構造物の調査事例の検討
- 5) 沖縄における海砂使用コンクリートの塩害劣化の調査結果の検討
- 6) 塩分を含む練混ぜ水を使用した海外工事事例の調査
- 7) 海水使用に関する過去の規準の調査
- 8) 建材におけるCtの利用技術の変遷
- 9) 海水使用に関する既往の知見の調査
- 10) 国内外での海水練りコンクリートの意識調査
- 11) 性能照査型設計における海水練りコンクリートの考え方の検討

36

## 1)長崎県宇久長崎鼻灯台



37

## 長崎県宇久長崎鼻灯台



38

## 使用材料の特徴など

- ◆ セメントは高炉セメントB種
- ◆ コンクリートの設計強度( $\sigma_{28}$ )は $280\text{kgf}/\text{cm}^2$
- ◆ 海岸で採取した砂利(粗骨材)および砂(細骨材)を使用
- ◆ 配合は、セメント:細骨材:粗骨材が1:2:4
- ◆ 単位セメント量は $340\text{kg}/\text{m}^3$
- ◆ スランプは15cm
- ◆ 水セメント比を40~60%
- ◆ 海水を使用した上でさらに塩化カルシウムを1%添加

39

## 2) 東京都沖ノ鳥島における 露岩根固コンクリートの事例

- ◆ 露岩根固コンクリート(海水面から+1.5mまで)を特殊水中コンクリートで、防護コンクリートを気中コンクリートで施工しており、特殊水中コンクリートは海水で、気中コンクリートは真水で練混ぜられている。
- ◆ 水中コンクリートに海水を使用する場合でも材料や装置に特段の配慮を行ったということはなく、更には特殊水中コンクリートの性能(強度や施工性)も特に変化していない。
- ◆ 強度や凝結時間の変化、流動性の低下等に関して特に問題がなかった。

40

### 3) 海水練りモルタルを用いたプレパックドコンクリート港湾構造物の事例

- ◆ 昭和30年代までに施工されたプレパックドコンクリートの充填モルタルには、比較的海水が利用されていることが多い。
- ◆ 秋田港南防波堤
- ◆ 鳥取県田後港防波堤
- ◆ 北海道での防波堤工事、など多数

41

### 使用材料と配合の特徴

注入モルタルに海水を使用し他場合、

- ・ フライアッシュを20%添加
- ・ 水結合材比は43~58%
- ・ アルミ粉末およびセメント分散剤を併用

品質管理として、  
ブリーディング、膨張率、圧縮強度

特に海水を使用した場合と水道水や井戸水を使用した場合とで差はない・・・

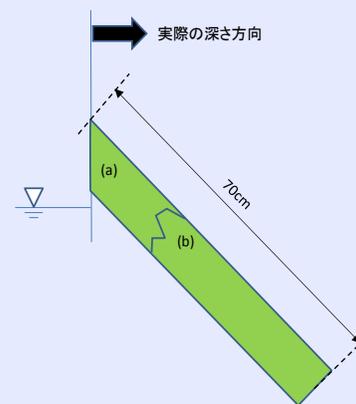
42

### 4) 鳥取県田後(たじり)港におけるプレパックドコンクリート



43

### コアの採取方法と採取したコア



B-1 (a) B-1 (b)



44

## 試験結果の概要 圧縮強度

最大で70mm程度の粗骨材が試験体内部に比較的密に含まれていた場合は、圧縮強度は20N/mm<sup>2</sup>以上であった。

練混ぜ水が海水であった試験体の圧縮強度は、練混ぜ水が淡水であった試験体と比較して大きく、平均で25.5 N/mm<sup>2</sup>であった。

45

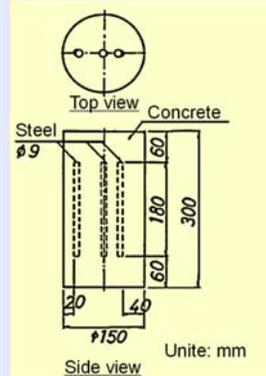
## (3) 海水練りコンクリート中鉄筋腐食に関する長期耐久性試験

- ◆ 港湾空港技術研究所では、著者らが製作・管理していた供試体を用いて、練混ぜ水に海水を用いたコンクリートの長期耐久性に関する研究を実施している。これらの長期試験より、海水練りコンクリートに関する2つの検討結果を述べる。

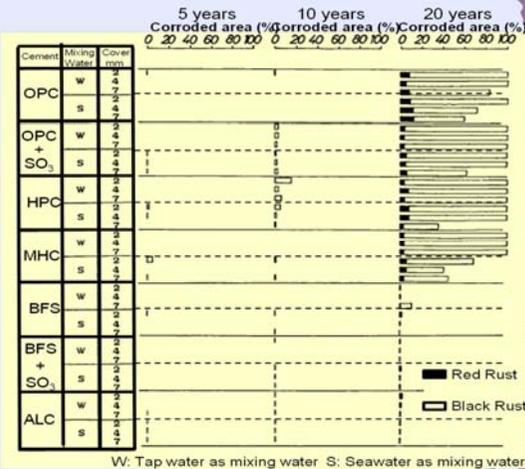
46

## ● 20年暴露試験(干満部)

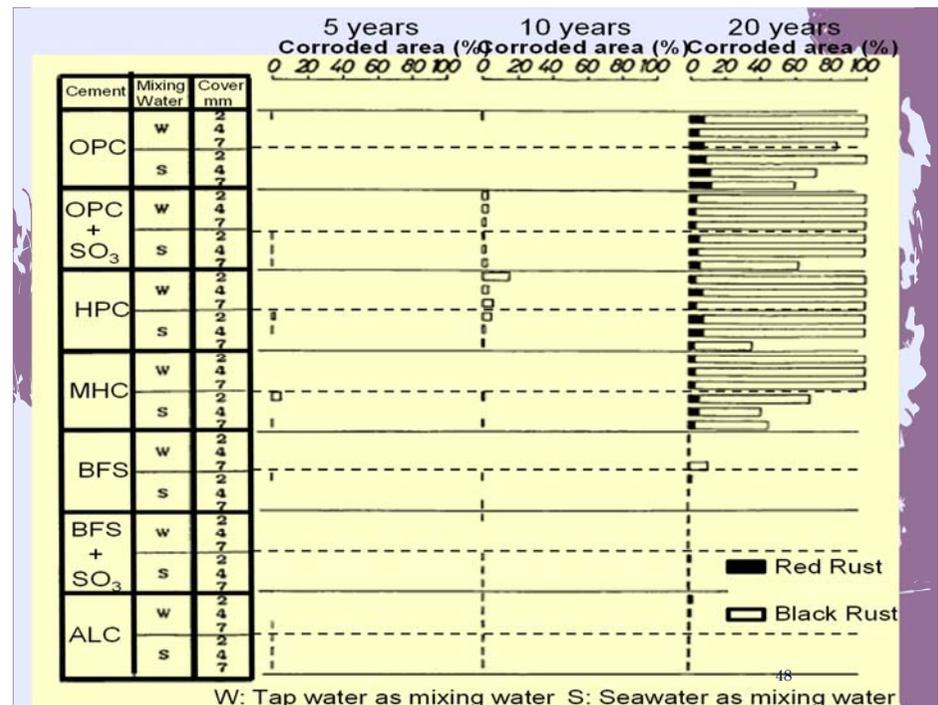
Corrosion of steel bars in concrete mixed with seawater



OPC: Ordinary Portland Cement, HPC: High early strength Portland Cement, MHC: Moderate Heat Portland Cement, BFS: Blast Furnace Slag Cement, ALC: Alumina Cement



At age 5 years' slight corrosion, seawater may be influential, at age 20 years, the influence of cement is much larger.<sup>47</sup>



46

## (4) 海水練りコンクリートを用いたRCの寿命予測

- ◆ 予測に必要な各種物性値(拡散係数, 腐食発生限界塩化物イオン濃度, 腐食速度など)を供試体を用いて測定し、潜伏期, 進展期およびこれらを足し合わせた寿命に関して予測した事例について取り纏める。

49

## 1) 劣化予測の方法

- ◆ 塩化物イオンの見掛けの拡散係数の算出に当たっては, 土木学会規準JSCE G 572に準拠して算出している。腐食発生限界塩化物イオン濃度については, 腐食の発生時期を腐食電流密度が $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ に到達した際の鉄筋周囲のモルタル中に含まれる塩化物イオン濃度から求めている。さらに, 発錆後の腐食速度に関しては, カソード分極曲線から限界電流量を求め, 木内らの研究に基づき酸素透過量を算出し, 酸素律速を仮定して腐食速度を算出している。劣化予測の概要は次の図に示すとおりである。

50

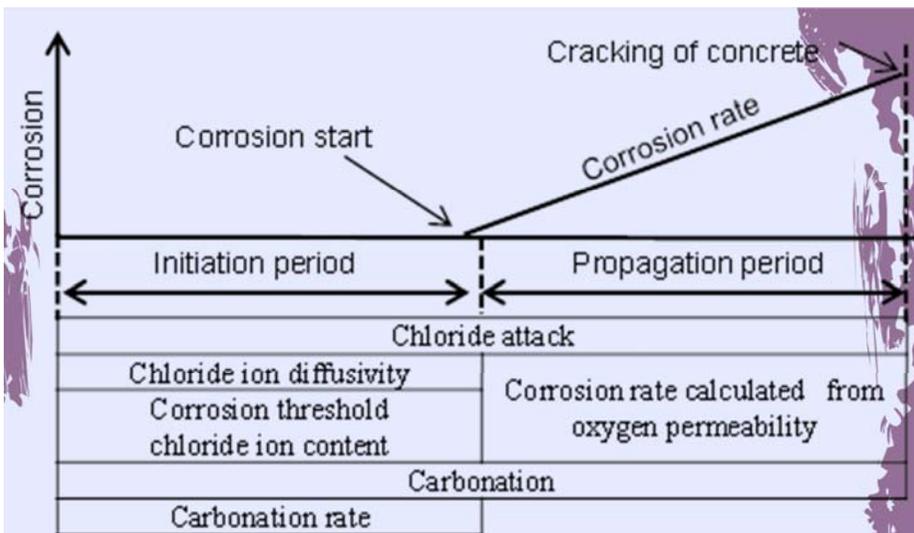


図 劣化予測(潜伏期および進展期)の概要

51

## 2) 練混ぜ水が特性値に及ぼす影響

- ◆ 練混ぜ水が塩化物イオン拡散係数に及ぼす影響を次の図に示す。
- ◆ この図より, 海水で練混ぜたコンクリートの塩化物イオンの拡散係数は水道水で練混ぜたコンクリートの拡散係数と同程度か若干小さくなることが確認される。また, 高炉セメント(スラグ置換)を使用すると, 拡散係数が小さくなることも確認された。
- ◆ 他に, 腐食限界塩化物イオン量、酸素拡散係数、腐食速度などを求めた。

52

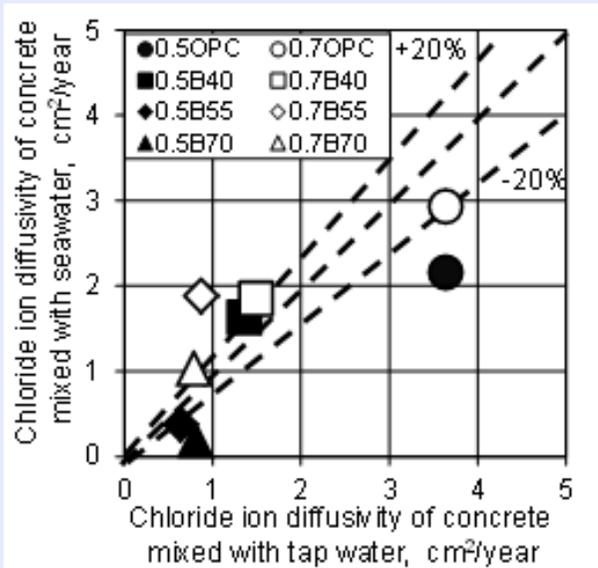
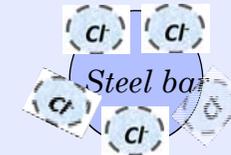


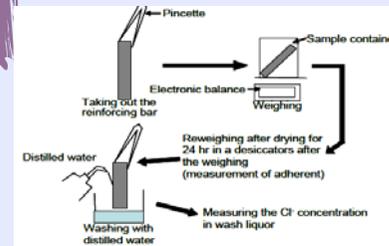
図 練混ぜ水の塩化物イオン拡散係数への影響(OPC:普通セメントおよびB:高炉セメント(スラグ置換))

## SUPPLEMENTARY ANALYSIS

☑ Cl<sup>-</sup> content around steel bar ☑ Area and weight of rust



Analyzed by **Washing the bar method** **Analysis of the SURFACE AREA OF STEEL BAR**



Ex. W/B=0.5  
OPC mixed with  
Fresh water  
Exposed period  
is  
14 weeks

The correlation between **pore structure** of concrete mixed with seawater & FA and **steel corrosion** will **2.7% was corroded**

### 3) 潜伏期, 進展期および寿命の予測結果

- ◆ 2) から得られた各物性値を用いて塩害に対する潜伏期潜伏期と進展期を足し合わせた寿命の予測結果を次の2つの図にそれぞれ示す。

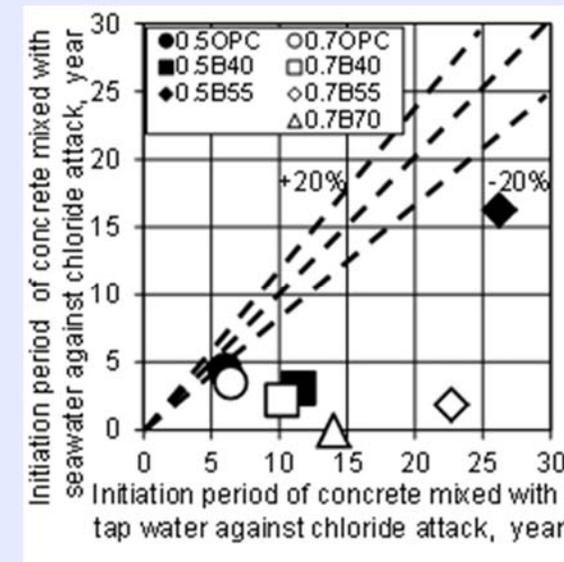


図 練混ぜ水の潜伏期に及ぼす影響

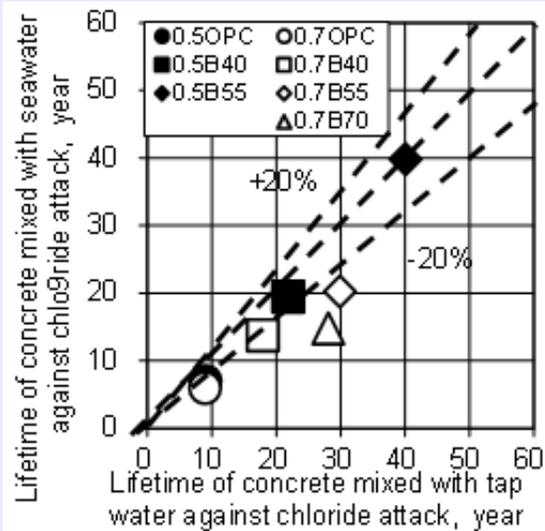


図 練混ぜ水の寿命(潜伏期+進展期)への影響

57

- ◆ 図より、鉄筋コンクリートの寿命を腐食ひび割れの発生までと定義した場合、練混ぜ水が寿命に及ぼす影響は、セメント種類や水セメント比の影響と比較して小さく、適切な混和材を使用することにより、供用後40年の間、腐食ひび割れを生じさせないコンクリートを製造できることが確認される。特に、水セメント比が0.5の場合においては、高炉スラグを55%置換することにより、寿命を長期化できることが確認される。
- ◆ なお、上記の計算の条件は、厳しい干満帯にて、W/C=0.5,表面塩化物イオン量19kg/m<sup>3</sup>,かぶり7cm,鉄筋径13mm,ひび割れ発生限界腐食量54mg/cm<sup>2</sup>(横関式・鳥居式)などである。

58

## (5) まとめおよび将来展望

- ◆ 上記の検討にくわえて、・海水利用によるコンクリートの性能向上および補強材の防錆効果、・海水使用コンクリートの製造・施工方法の検討、防錆剤・塩分吸着剤の検討、も行った。
- ◆ まとめとして、練混ぜ水は、コンクリートの材料の1つであり、これによって種々の物性は影響を受けるが、他の材料の工夫や、また、使用環境によって、さらに性能設計を適用することによって十分に使用可能と思われる。

59

- ◆ また、著者としては、工夫によりほとんどの場合に用いられると考えるが、特に、
- ◆ 1) 水道水が得にくい孤島や被災地における使用、特に被災地では廃棄物との併用。
- ◆ 2) 砂漠、特に海岸からの距離が少ない、での使用、
- ◆ 3) 北極圏などにおける使用、特に、水中コンクリートとしての使用
- ◆ などが有望と考えている。

60

### 4.3.低品質骨材の利用

- ◆ 普通の骨材の入手が困難となっている。川砂、川砂利の利用はほとんど無理となり、砕砂、砕石も徐々に入手が困難となってきている。
- ◆ この問題に関連して、以前より、再生骨材の利用やスラグ骨材の利用に関連して多くの検討がある。
- ◆ 本章では、著者らが行った環太平洋の種々の骨材および東日本大震災で発生したガラの利用に関する研究を述べる。

### (1)環太平洋地域の骨材を検討した例

- ◆ 粗骨材は、輸送費も関連して、地産地消が望まれる。この場合、我が国で通常使用されている粗骨材と比較して、強度および物質透過抵抗性が低いものがある。
- ◆ ここでは、著者らの既往の研究を基に、特に環太平洋地域の低品質粗骨材を用いたコンクリートの特性とその活用方法を述べる。

### 1) 検討した粗骨材の概要

- ◆ 対象とした粗骨材は、火山噴出礫(フィリピン共和国産)、珊瑚礫(キリバス共和国産)、火山岩碎石(ニカラグア共和国産)、および珊瑚堆積物碎石(日本国産)である。
- ◆ また、我が国で一般に使用されている粗骨材と比較するため、硬質砂岩碎石(青梅産)も検討対象とした。
- ◆ 次の表に、粗骨材の物理的性質を示す。粗骨材の最大寸法は20mmとした。測定の詳細は後述する。

表 粗骨材の物理的性質

| 粗骨材の種類  | 空隙構造         | 空隙量 (%)         | 微小圧縮強度 (MPa)    | Cl <sup>-</sup> 拡散係数 ( $\times 10^{-8}\text{cm}^2/\text{sec}$ ) |
|---------|--------------|-----------------|-----------------|---|
| 沖縄骨材    | 微小な空隙が多量に存在  | 7.93<br>(8.45倍) | 103<br>(0.38倍)  | 1.62<br>(18.3倍)   |
| ニカラグア骨材 | 粗大な空隙が独立して存在 | 6.98<br>(7.43倍) | 157<br>(0.58倍)  | 1.49<br>(16.8倍)   |
| フィリピン骨材 | 様々な空隙が連続して存在 | 35.8<br>(38.2倍) | 6.20<br>(0.02倍) | 8.56<br>(96.5倍)   |
| キリバス骨材  | 様々な空隙が連続して存在 | 35.9<br>(38.1倍) | 26.6<br>(0.10倍) | 8.35<br>(94.1倍)   |
| 普通骨材    | 殆ど空隙が存在しない   | 0.93            | 270             | 0.089   |

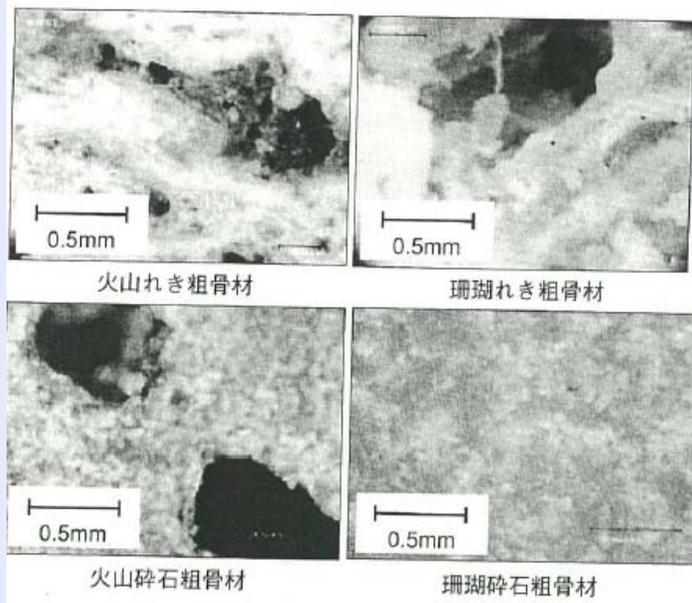


図 粗骨材内部のマイクロスコープでの観察

65

## 2) 低品質骨材を使用したコンクリートの強度

- ◆ 次の図にそれぞれの粗骨材を使用したコンクリートの圧縮強度と結合材水比の関係を示す。これより水結合材比が0.7(結合材水比1.4)では、いずれの骨材を用いた場合も差がない。逆にいうと、圧縮強度20MPa程度のものであれば、低品質骨材も対応可能である。
- ◆ また、火山礫粗骨材(フィリピン)を使用した場合には、結合材比を変化させても、強度はほとんど変化しないことも認められる。

66

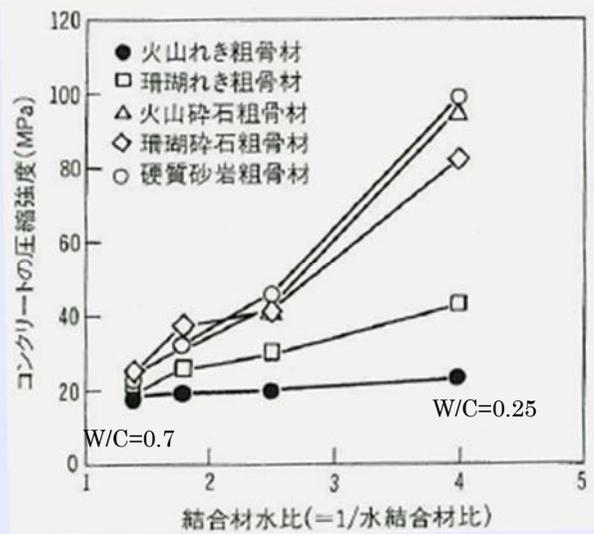
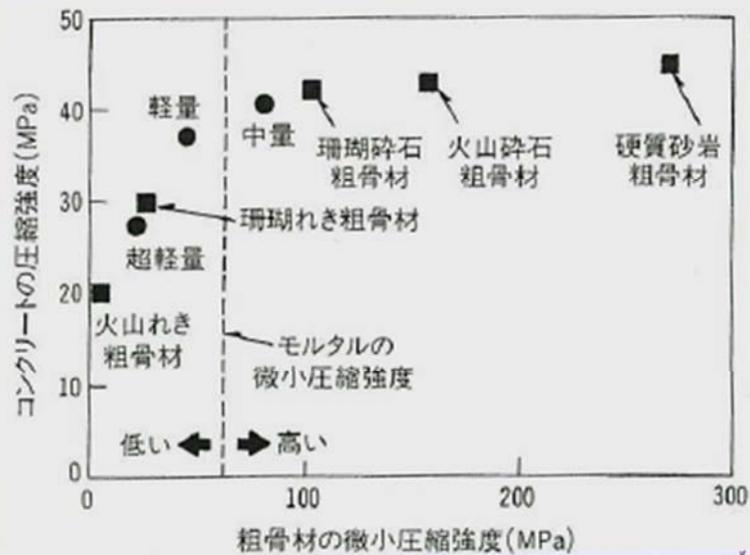


図 圧縮強度と結合材水比の関係

67

- ◆ 次の図に水結合材比が0.55(結合材水比1.82)のコンクリート圧縮強度と粗骨材の微小圧縮強度の関係を示す。合わせて、同一水結合材比モルタル強度を点線で示す。
- ◆ これより、粗骨材微小強度がモルタル強度より高い場合には、コンクリート強度はほぼ一定であり、粗骨材微小強度がモルタル強度より低い場合には、粗骨材強度が低いと、コンクリート強度も低下することが認められる。すなわち、モルタル強度を高くしても、コンクリート強度は高くすることは困難であることが認められる。

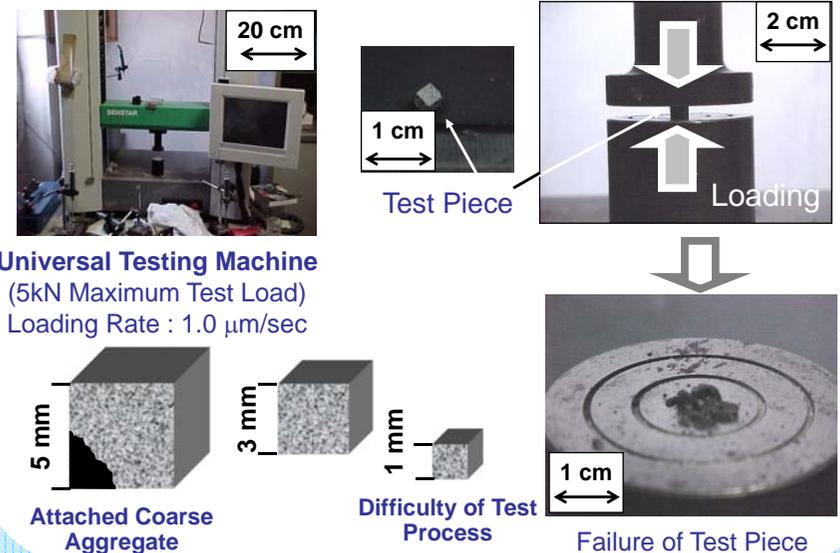
68



圧縮強度と粗骨材の微小圧縮強度(W/B=0.55)  
(●は人工骨材を用いた試験結果)

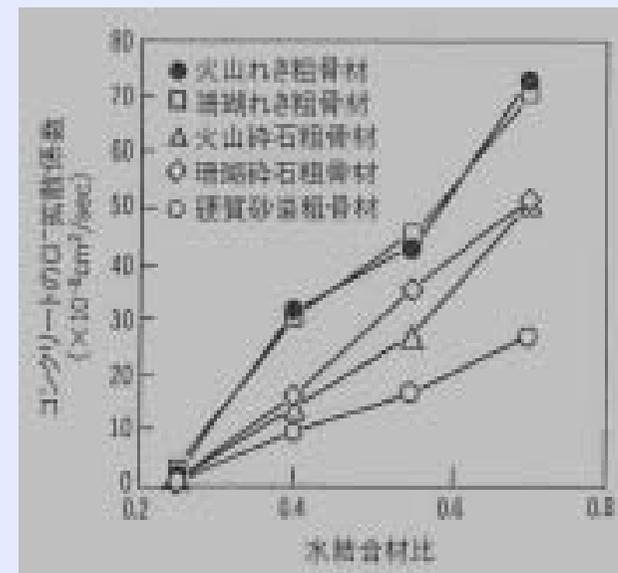
### Device and Test Procedure

#### Minute Compression Method



### 3)低品質骨材を使用したコンクリートの物質透過性

- ◆ 次の図にそれぞれの粗骨材を使用したコンクリートのCl-拡散係数と水結合材比の関係を示す。これより、水結合材比が0.4-0.7では、粗骨材の種類によって拡散係数は異なる値をとるが、0.25ではほぼ一定の値となり、かつ、0.4-0.7の値に比べて1/10以下となっている。
- ◆ すなわち、低品質骨材でも水結合材比を小さくすれば、普通コンと同等以下の拡散係数とすることができる。



Cl-拡散係数と水結合材比の関係

## 4) 品質改善の試み

- ◆ 2つの改善方法の効果を検討した。すなわち、プレコーティング工法および混合使用である。プレコーティング工法(ダブルミックス工法)とは、粗骨材を低水結合材比のペーストでコーティングして、粗骨材とモルタルの界面を改良することにより、コンクリートの強度および物質透過抵抗性を高めるものである。
- ◆ ここでは、水結合材比0.25のペーストが約250 $\mu$ mの厚さでコーティング層を形成するよう配合した。混合使用は、低品質骨材と普通の骨材(ここでは硬質砂岩粗骨材)とを混合して使用することである。ここでは、低品質粗骨材と硬質砂岩粗骨材の体積比率が1:1となるよう配合した。
- ◆ これらによる、圧縮強度、Cl<sup>-</sup>拡散係数、中性化深さに関する改善効果を次の表に示す。いずれも数10%改善の効果が認められる。

73

## 低品質骨材を使用したコンクリートの品質改善

| 粗骨材の種類  | 品質改善方法     | 圧縮強度改善 | Cl <sup>-</sup> 拡散係数改善 | 中性化深さ |
|---------|------------|--------|------------------------|-------|
| ニカラグア骨材 | プレコーティング工法 | 50%向上  | 45%低減                  | 25%低減 |
| 沖縄骨材    | プレコーティング工法 | 10%向上  | 70%低減                  | 10%低減 |
| フィリピン骨材 | 混合使用工法     | 45%向上  | 40%低減                  | 50%低減 |

74

## 5) 低品質粗骨材の有効利用方法の提案

- ◆ いままで述べたように、低品質粗骨材を用いたコンクリートは普通骨材を用いたコンクリートに比較して、強度、Cl<sup>-</sup>拡散係数などで劣る傾向にある。しかしながら、ある骨材の場合には、強度は同等であるものもある。また、Cl<sup>-</sup>拡散係数は、水結合材比を低くすると改善できる。
- ◆ さらに、品質改善方法により、品質を数10%高めることも可能である。
- ◆ このような事を考えれば、低品質骨材であっても、特段に高品質のコンクリートでなければ、工夫することによって使用できると考える。

75

## (2) 震災ガラおよび海水使用コンクリートブロック

【有効利用】 震災のコンクリートがらを有効利用

【省力化】 プレパックドコンクリート工法やポストパックドコンクリート工法大割のまま利用し、 $\Rightarrow$  処理工程を大幅に省力化

【工期短縮】 練混ぜ水に海水を使用

$\Rightarrow$  早期強度の増大により脱型時期が短縮



震災コンクリートガラ



港湾用コンクリートブロック

## 使用材料と目標性能

【モルタルの材料】

| 記号 | 材料                   |
|----|----------------------|
| W  | 海水:相馬港より採取<br>真水:水道水 |
| C  | 高炉セメントB種             |
| Ex | 石灰系膨張材               |
| S  | 砕砂                   |
| AL | 発泡剤、特殊アルミ粉末          |
| G  | コンクリートがら:寸法300~500mm |

【モルタルの目標性能】

| 試験項目     | 目標値      | 備考        |
|----------|----------|-----------|
| P漏斗流下時間  | 30~90秒   | JSCE-F521 |
| ブリーディング率 | 3時間で3%以下 | JSCE-F522 |
| 空気量      | 8~12%    | JISA1128  |
| 膨張率      | 2~5%     | JSCE-F522 |

● 港湾用ブロックの設計基準強度 18N/mm<sup>2</sup>

## 施工状況(消波ブロック;プレパックドコンクリート)



コンクリートがら投入



モルタル注入



仕上げ・養生



出来形

## 施工状況(根固めブロック;ポストパックドコンクリート)



モルタル打設



コンクリートがら投入

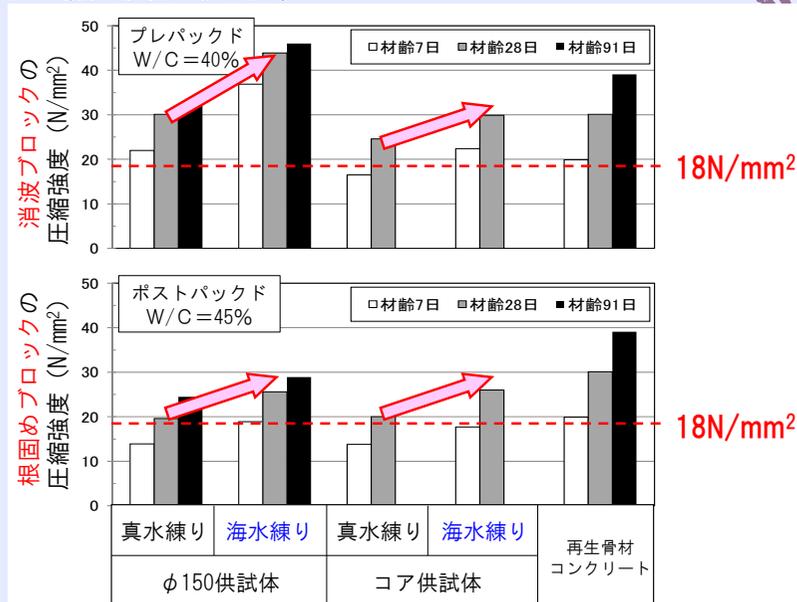


仕上げ・養生



出来形

## 圧縮強度試験結果



## 4.4 劣化部材の再利用に関する可能性の検討

- ◆ コンクリート構造物が種々の理由で取り壊されることが多い。これを再使用方法が検討されている。1つは、粉砕してセメントの原料にする検討、また、骨材を取り出して再生骨材として利用する検討などである。
- ◆ ここでは、部材単位で再利用することを目標に、主として電気化学的補修方法で耐久性能を現況復帰する工法についての検討を述べる。
- ◆ 対象とする部材の寸法は、現在プレキャスト工場で大型トレーラーにて運搬している部材である。例えば、PCやRC橋桁(L=17.9m, H=.85m, W=15.7ton)や床板(L=12.6m, B=2.1m, W=19.5ton)などである。
- ◆ 劣化の程度は、潜伏期、進展期、加速期までと考えている。すなわち、コンクリートがはく落せず鉄筋断面減少も1%以内で耐荷力への影響はない範囲を対象としている。

81

## (1) 再利用の概要

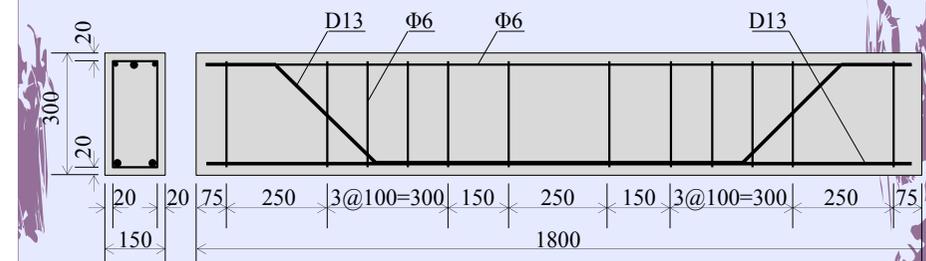
- ◆ 劣化部材を現場からトレーラーにて再生工場へ運搬する。(現場で再利用の場合は必要なし。)
- ◆ 専用の溶液槽あるいはいわゆる給水養生装置を設置する。この部材に電気化学的補修工法を適用する。
- ◆ 劣化原因や程度によって、再アルカリ化工法、脱塩工法や電着工法を選定し、処理を行う。これらの工法の組み合わせも考えられる。
- ◆ 処理後の検査を行い、再出荷する。
- ◆ なる手順を考えている。
- ◆ 再アルカリ化工法および脱塩工法については、土木学会の指針(案)などに照会されているように基本技術はほぼ確立されているので、以下、特に電着工法と現場における給水養生装置を用いた適用について述べる。

82

## (2)40年暴露コンクリート供試体を用いた検討

- ◆ (独)港湾空港技術研究所にて、約40年間干満帯に暴露されていた150mm×300mm×1800mmのコンクリートはり供試体を用いた。申し訳ないことに配合などがほとんど分からずW/C=0.7という記述のみが認められた。本供試体の配筋図を次の図に示す。本供試体には主鉄筋の腐食によるひび割れ(ひび割れ幅約1.0mm)が生じていた。JCI-SC4に従って分析したところ、かぶり部における内部塩分濃度は9.0kg/m<sup>3</sup>であった。

83

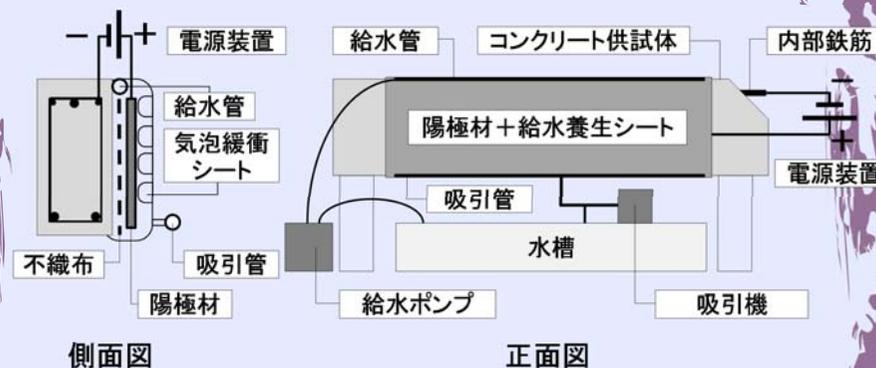


40年暴露コンクリートはり供試体(単位:mm)

84

- ◆ これらのほり供試体に、外部溶液に浸漬した状態(浸漬法と称す)、あるいは次の図に示す給水方法によって外部溶液を供給し、おのおの通り、電着工法で処理した。
- ◆ すなわち、水槽中の外部溶液を給水ポンプにより給水管に送る。給水管は供試体の補修面全体に均一に外部溶液を供給する。溶液は、不織布と気泡緩衝シートから成る給水養生シートと供試体の間に、水膜を形成しながら流下し、吸引管を伝って水槽に戻る。吸引機は給水養生シートと供試体の間に負圧をかけることにより、補修面全体に確実に溶液を供給しつつ、仮設陽極、及び、給水養生シートの剥落を防ぐものである。
- ◆ 外部溶液として、 $0.1\text{mol/L}$ の $\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 水溶液を用い、通電は2週間継続的に行い、電流密度は補修面の面積に対して $1\text{A/m}^2$ とした。この処理後の結果を以下に示す。

85

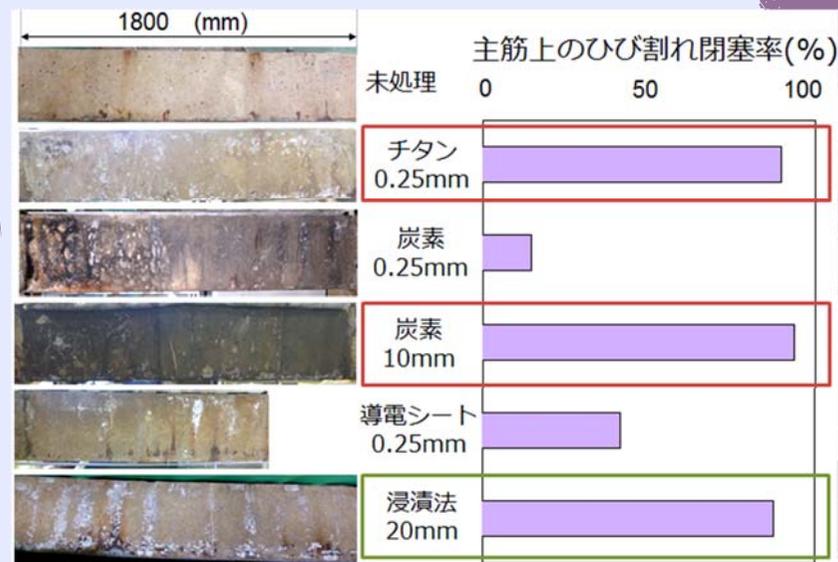


給水方法

86

- ◆ 次の図に、電着物の析出状況を示す。電着工法で処理したものはいずれも析出物が認められる。この中でもチタン $0.25\text{mm}$ 、炭素繊維 $10\text{mm}$ および浸漬法のひび割れ閉塞率が $90\%$ を超えている。

87

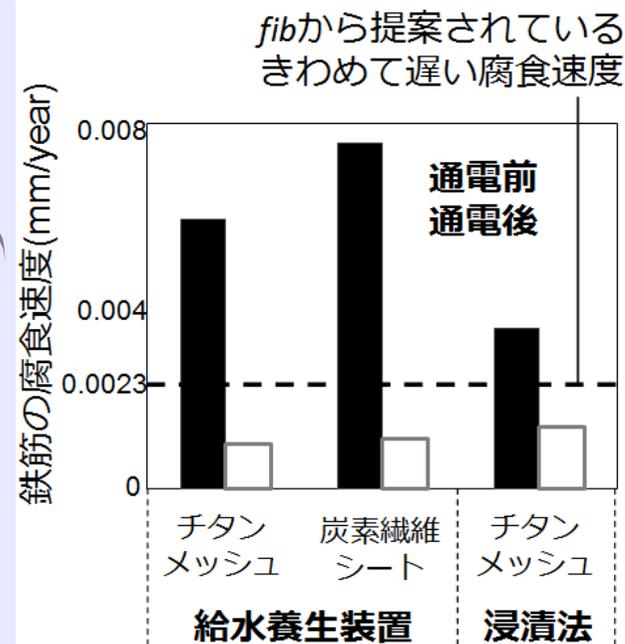


電着物の析出状態 (xmmは、コンクリート表面と電極との距離を示す)

88

- ◆ 次の図に、分極抵抗より求めた鉄筋の腐食速度を、チタン0.25mm,炭素繊維10mmおよび浸漬法の各々について通電前(黒)と通電後(白)について示す。処理前の値がばらついており、公平な比較が困難であるが、いずれも通電後<電着後)はFIBによるきわめて遅い腐食速度となっている。
- ◆ 以上より、ここでは、劣化したはり供試体において、ひび割れがほぼ閉塞し、腐食速度も十分遅くすることが可能であったことを示すことができた。

89



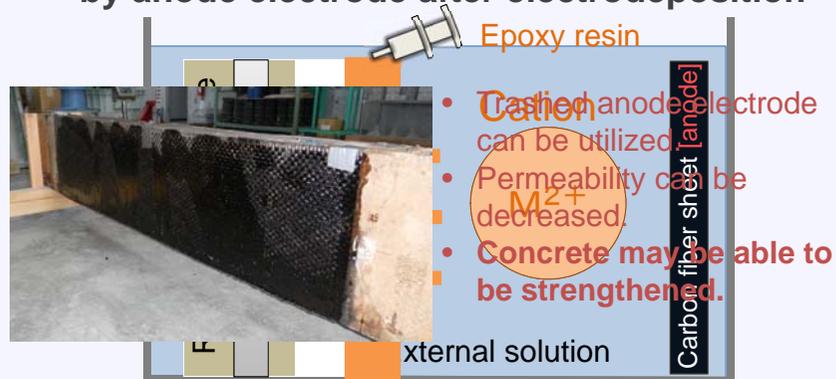
電着による鉄筋の防食効果(黒:通電前、白:後)

90

### 3. Strengthening after electrodeposition 18

#### 3. Strengthening

by anode electrode after electrodeposition



Carbon fiber sheet which has been used for strengthening the concrete can be applied as anode electrode in electro-chemical repair. It is thought that this sheet can be easily pasted on concrete by pouring low-viscosity epoxy resin after electro-chemical repair.

### (3) 劣化部材再利用の可能性

- ◆ 以上示したように、劣化部材のひび割れや鉄筋腐食抵抗性を改良できることは認められたが、今後、さらに種々の検討が必要である。
- ◆ ・耐荷力に関する検討
- ◆ ・耐用年数に関する検討
- ◆ ・再利用時の施工法
- ◆ などであるが、最も重要なのは、オーナーの理解であろう。これには、コストも大きな割合を占める。

92

## 4.5 今後の展望

- ◆ もったいないに関するコンクリートでの検討を、著者が関係した①海水の有効利用、②低品質骨材の利用、③劣化部材の再利用の検討、について述べた。
- ◆ まず、この3つの今後の展望について述べる。

93

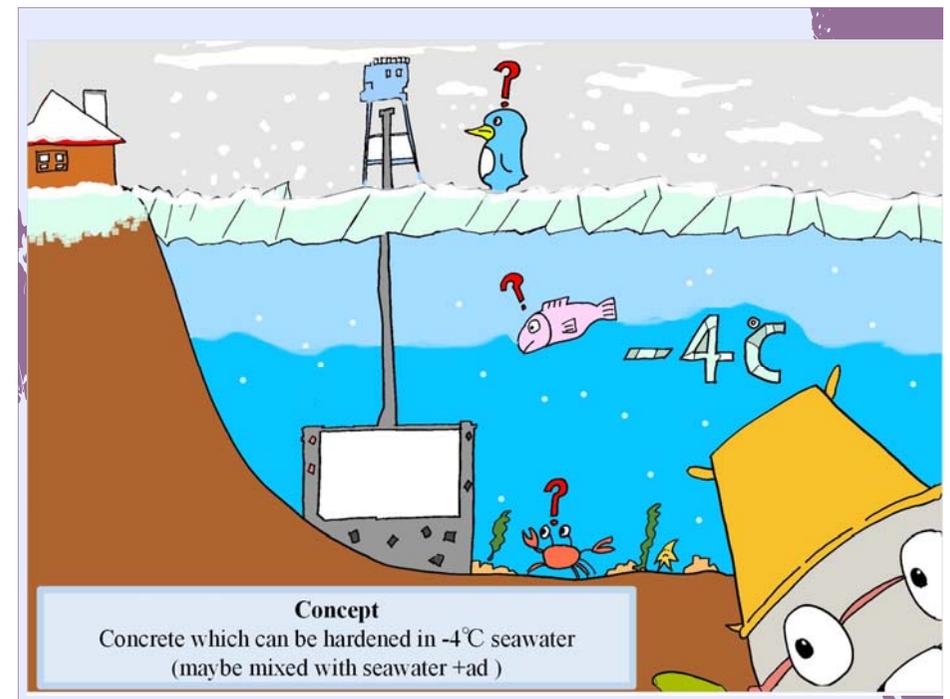
## ①海水の有効利用

- ◆ 著者らは、北極海などの冷海中での海中コンクリート構造物建設に海水コンクリートを使用できないかを検討している。ここでの条件は、以下の様である。
- ◆ ・RCであれば、もともと鉄筋は海水中に配筋してある。
- ◆ ・低温<0℃程度)、海水中は腐食速度が陸上部に比較して非常に遅い。
- ◆ ・海水練の方が初期強度発現は大きくなる可能性がある。
- ◆ ・北極海沿岸は、降水量が少なく、真水は貴重である。

94

- ◆ このため、海水練りコンクリートの可能性が高いと考え、次のような検討を加えている。
- ◆ ・水中不分離性コンクリートを海水練りかつCaCl<sub>2</sub>などの促進剤を混入して、0℃以下の海中でもそれなりの強度を発現するものを検討する。
- ◆ ・上記のコンクリートで海中RC<供試体レベル>を作成し、鉄筋の腐食速度を検討する。
- ◆ 楽観的に考えると、この条件での海水練りコンクリートの妥当性は十分にあると考えている。

95



- ◆ また、クウェート、ベトナムなどの行政機関や研究者が興味を示している。砂漠の国では、まずは、無筋コンクリート(舗装やブロック製品)からと考える。特に、クウェートについては、九州大学の濱田秀則教授と協力して検討していく予定である。

97

## ②低品質骨材の利用

- ◆ これに関しては、著者がいうまでもなくいまままで利用していなかった種々の骨材の研究・実用が盛んにおこなわれている。すなわち、各種のスラグ骨材、人工骨材、再生骨材などである。

98

## ③劣化部材の再利用の検討

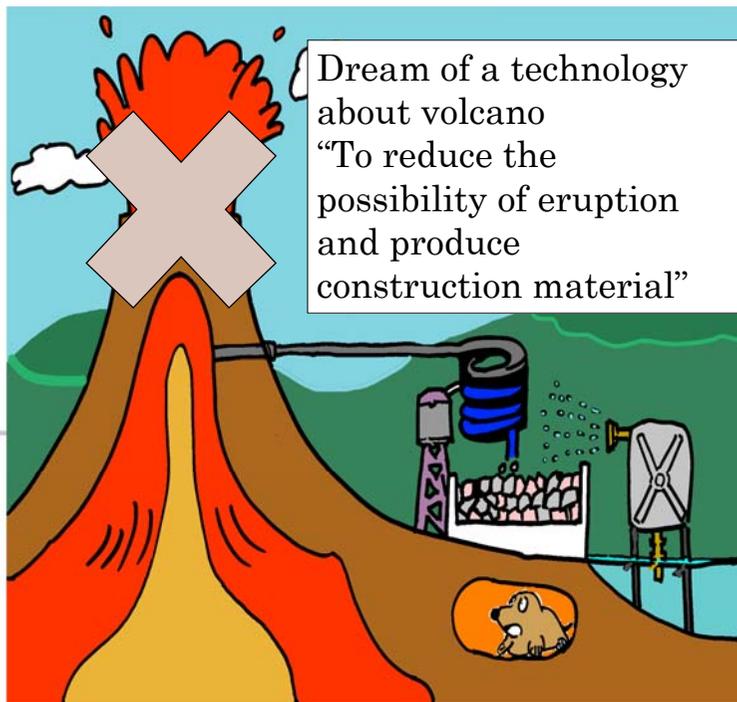
- ◆ これに関しては、現状では、研究も実用化もほとんど進んでいない。
- ◆ むしろ、劣化あるいは経年のコンクリート構造物<部材>を取り壊して、その残骸から鉄筋を取り出し、さらに再生骨材を製造する研究や実用化が進んでいる。この場合、取り壊すエネルギーも必要であるし、発生する粉体の処理も大変である。
- ◆ 劣化部材の再利用も、1つの選択肢として、研究や実用化が図られるとよいなど考える。

99

## さらに大きく言えば、

- ◆ 現在のコンクリートでの良質な一言葉を代えるとJISなどの規準に合格した一原材料は少なくなる一方である。したがって、規準外の材料についても特に研究者は対象を拡げる必要がある。
- ◆ 若干考えただけで、「砂漠の砂、溶岩、竹、汚泥、など」がある。夢想ではあるが、火山のマグマの動きを予測して、マグマが深い時期に、火山の腹部にトンネルを建設し、マグマ上昇時にそのトンネルからマグマを抜き取り急冷し(海水で急冷することも考えられる)適切な高活性粉体や骨材を製造する。こうすることで、マグマの量を減らし大爆発を防ぐことも考えられるし、トンネルの有効活用で発電も可能性がある。
- ◆ 是非、特に若手の方々には、いろんなことに挑戦していただきたい。

100



Dream of a technology about volcano  
"To reduce the possibility of eruption and produce construction material"

## 5. まとめ

- ◆ 以上、大即の経験や研究を話してきました。
- ◆ 振り返って、そこそこ頑張ったようなような気もしますが、威張れるほどの成果でもなかったようです。ただし(少し、研究室出身者の自慢?)
- ◆ 今から、いろいろな材料が不足するような気がします。
- ◆ 風土にあったコンクリート:いつも背広を着る? その材料、その気候
- ◆ 特に、若手の皆様の参考となれば幸いです。

102



今後の日の出の勢いを期待し