



東京理科大学

# RC構造物の塩害照査における 腐食発生限界濃度の設定方法 に関する研究

助成番号:令和7年2月25日付 第15-3号  
研究開発項目:(番号)①, ⑥に関するもの

2026年7月17日

東京理科大学創域理工学部社会基盤工学科  
加藤 佳孝

## 研究背景

---

- ❑ 2050年までにカーボンニュートラルを目指す@2020年10月26日の所信表明演説
- ❑ 「2050年目標と整合的で、野心的な目標として、2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向けて、挑戦を続けていく」  
@2021年4月の地球温暖化対策推進本部および米国主催の気候サミット
- ❑ 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略@2020年12月@2021年6月改訂＋実行計画
- ❑ グリーン社会の実現に向けた「国土交通グリーンチャレンジ」 @2021年7月
- ❑ 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」 閣議決定@2021年10月22日
- ❑ 「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」 閣議決定@2022年6月7日
- ❑ 地球温暖化対策計画 閣議決定@2025年2月18日. 2035年度, 2040年度において, 温室効果ガスを2013年度からそれぞれ60%, 73%削減
- ❑ 国土交通省土木工事の脱炭素アクションプラン@2025年4月21日

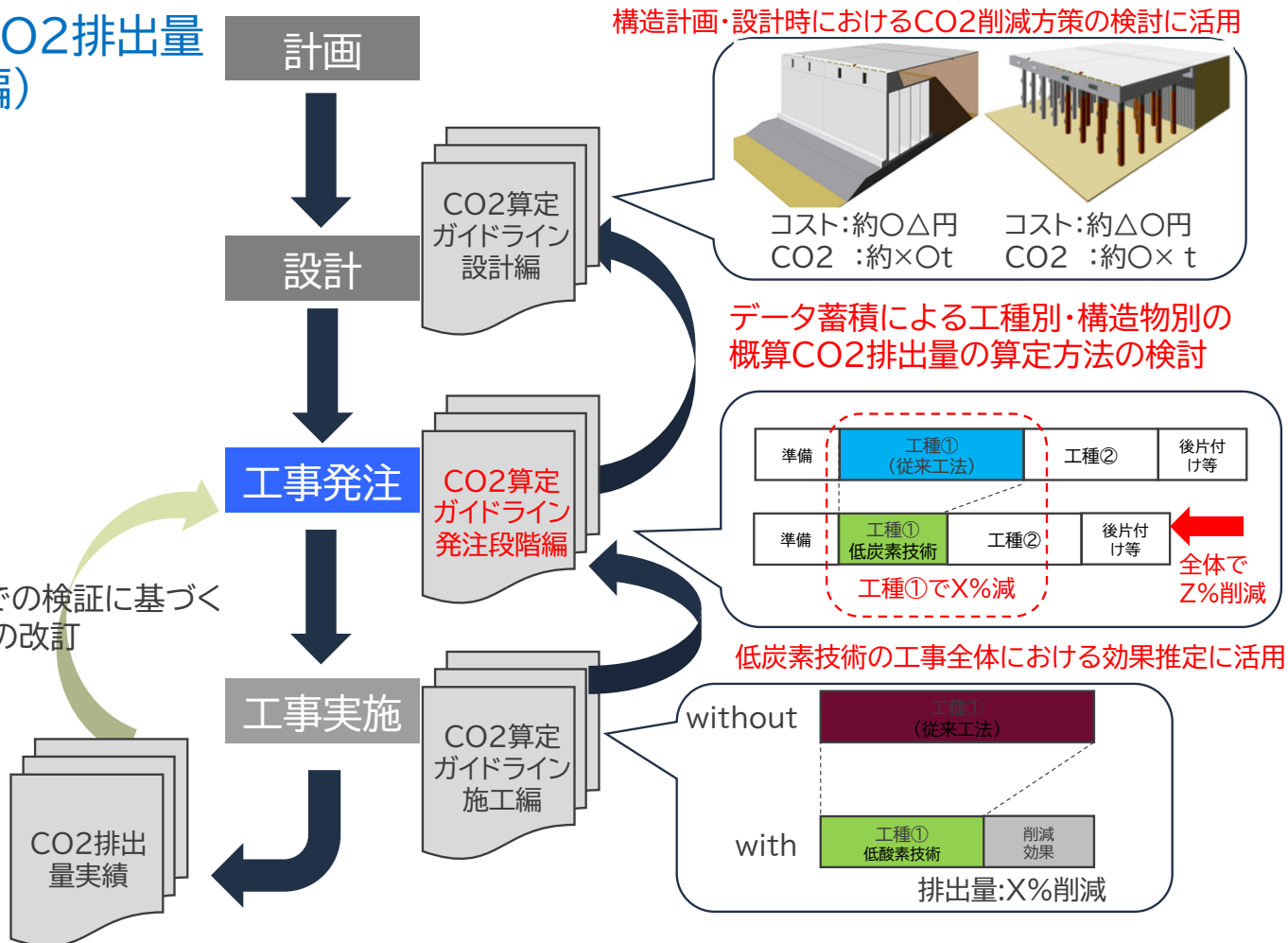
# 研究背景

## 港湾工事におけるCO2排出量算定GL(発注段階編)



2020年6月公表

試行工事等での検証に基づく  
ガイドラインの改訂



# 研究背景

## 関東地方整備局 港湾空港部 港湾工事等における低炭素型 材料の活用マニュアル (Ver.1.0)

2023年3月公表

港湾工事等における低炭素型材料の  
活用マニュアル  
(Ver. 1.0)

令和5年3月  
国土交通省 関東地方整備局  
港湾空港部

### 第1章 総説

### 第2章 材料の選定

### 第3章 CO<sub>2</sub>排出量の算定方法・ CO<sub>2</sub>排出量と工事費の評価

### 第4章 施工終了後におけるCO<sub>2</sub> 排出量の削減量の確認

### 第5章 記録・保存

### 附則 今後の検討項目

一次選定

二次選定

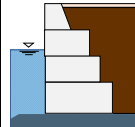
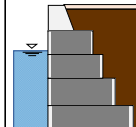
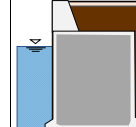
低炭素型材料  
との比較

○重力式係船岸として代表的な構造分類について、現場条件や要求性能、維持管理性等の前提条件に対する評価を行い構造分類を選定する。

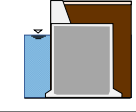
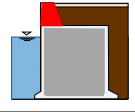
| 構造分類 | 前提条件に対する評価 |   |   |   |   |   | 一次<br>検討案 |
|------|------------|---|---|---|---|---|-----------|
|      | ①          | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |           |
| 重力式  | ○          | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○         |
| 矢板式  | ○          | ○ | ○ | ○ | × | △ | ×         |
| 栈橋式  | ○          | ○ | × | △ | ○ | △ | ×         |

前提条件① : \*\*\*\*\*  
前提条件② : \*\*\*\*\*  
前提条件③ : \*\*\*\*\*  
前提条件④ : \*\*\*\*\*  
前提条件⑤ : \*\*\*\*\*  
前提条件⑥ : \*\*\*\*\*

○選定された構造分類（重力式）の中から、設計対象施設として最適な構造形式を選定する。

| 構造形式  | 方塊ブロック式                                                                             | セルラブロック式                                                                            | ケーソン式                                                                               |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 標準断面図 |  |  |  |
| 概要    | *****                                                                               | *****                                                                               | *****                                                                               |
| 施工性   | *****                                                                               | *****                                                                               | *****                                                                               |
| 利点    | *****                                                                               | *****                                                                               | *****                                                                               |
| 懸念点   | *****                                                                               | *****                                                                               | *****                                                                               |
| 経済性   | ¥○○○○○                                                                              | ¥△△△△△                                                                              | ¥□□□□□                                                                              |
| 評価    | △                                                                                   | ○                                                                                   | ◎                                                                                   |

○選定された構造形式に対して低炭素型材料を適用した場合の経済性やCO<sub>2</sub>削減効果等を比較検討する。

| 構造形式                | ケーソン式                                                                                 | 低炭素型材料適用断面                                                                            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 標準断面図               |  |  |
| 概要                  | *****                                                                                 | *****                                                                                 |
| 施工性                 | *****                                                                                 | *****                                                                                 |
| 維持管理性               | *****                                                                                 | *****                                                                                 |
| 環境への影響              | *****                                                                                 | *****                                                                                 |
| 経済性                 | ¥○○○○○                                                                                | ¥△△△△△                                                                                |
| CO <sub>2</sub> 排出量 | *****                                                                                 | *****                                                                                 |
| 評価                  | △                                                                                     | △                                                                                     |

# 研究背景

土木学会 コンクリート技術を活用したカーボンニュートラルの実現に向けて  
(カーボンニュートラルに向けたコンクリート分野の新技术活用に関する研究小委員会)  
委員長 加藤佳孝(東京理科大学)

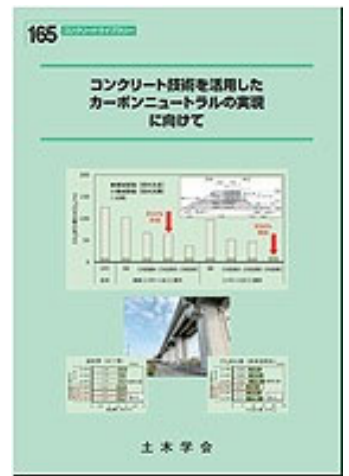
- I編 脱炭素に向けた動向とコンクリート分野の方向性
- II編 CNに資するコンクリート技術の最新情報と将来展望
- III編 短期的視点での低炭素コンクリートの利用と展望
- IV編 CNに向けたコンクリート分野の中長期的な課題と展望

| 排出量削減         |                                                                                                                                                                                                                                   | コンクリート材料技術シート       | No.                    | 1     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|-------|
| 技術名称          |                                                                                                                                                                                                                                   | ECMコンクリート           |                        |       |
| 開発会社          |                                                                                                                                                                                                                                   | 産業技術株式会社            |                        |       |
| 技術の概要         | ECMコンクリートは、高炉スラグ微粉末の使用による環境負荷低減と、AS製砂用や、遮音性、耐震性や耐凍融性の向上といった特徴を持つ。<br>■ECMセメント：高炉セメントC種として、セメントの組成を最適化（高炉スラグ微粉末4000の含有量成分（主にセメント）の量を調整）<br>■ECM高炉微粉末：ECM用に改良した高炉微粉末を用いることで、コンクリートのフレッシュ性を大幅に改善<br>適用可能な箇所：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工 |                     |                        |       |
| 環境負荷削減        | CO2削減効果                                                                                                                                                                                                                           | 約55%<br>(※高炉スラグ微粉末) | 高炉微粉末削減<br>(※高炉スラグ微粉末) | 約70%  |
| 使用材料          | ・高炉セメントC種（JIS適合品）の規格で利用可能<br>・CO2削減率：セメント1t製造時で265kg（OPC）に比べて約55%削減（OPC768kg/t、B6437kg/t）<br>・高炉微粉末：高炉微粉末4000（JIS適合品）<br>・ECMコンクリートは、高炉スラグ微粉末の含有率が大きい場合のスランピングの調整が必要で、初期強度が低い、収縮が大きいといった課題を克服                                     |                     |                        |       |
| 留意する事項        | ・現状では供給地域に依存がある<br>・適用範囲および適用可能性（○：実績あり、△：見込みあり、△：希望の範囲）                                                                                                                                                                          |                     |                        |       |
| 適用分野          | トンネル                                                                                                                                                                                                                              | カルパード・橋脚            | 橋脚・橋台                  | 橋脚・橋台 |
|               | 無筋                                                                                                                                                                                                                                | ○                   | ○                      | ○     |
| RC            | 無筋                                                                                                                                                                                                                                | ○                   | ○                      | ○     |
|               | 有筋                                                                                                                                                                                                                                | △                   | △                      | △     |
| プレキャスト        | 無筋                                                                                                                                                                                                                                | ○                   | ○                      | ○     |
|               | 有筋                                                                                                                                                                                                                                | △                   | △                      | △     |
| RC            | 無筋                                                                                                                                                                                                                                | ○                   | ○                      | ○     |
|               | 有筋                                                                                                                                                                                                                                | △                   | △                      | △     |
| PC            | 無筋                                                                                                                                                                                                                                | ○                   | ○                      | ○     |
|               | 有筋                                                                                                                                                                                                                                | △                   | △                      | △     |
| 普及への障壁        | 技術的な課題として、特に土木工事で、仕様が定まらずに設計されることが、これまでの実績の蓄積が乏しく、新技術の普及を妨げている。また、高炉スラグ微粉末の供給体制が整っていない。また、高炉スラグ微粉末の供給体制が整っていない。また、高炉スラグ微粉末の供給体制が整っていない。                                                                                           |                     |                        |       |
| 適用範囲拡大に関する留意点 | ECMコンクリートを普及・拡大していくためには、環境負荷の低減というメリットのみだけでなく、遮音性やコストアップに見合うだけの付加価値を積極的にアピールしていく必要がある。また、これらのコンクリートを使用するに際し、使用を制限するような種・基準を見直す必要がある。さらに、CO2削減に資する技術として、工事現場の排出量や事業活動への反映など、企業価値やイメージアップを期待する効果も必要と考える。                            |                     |                        |       |
| 備考            |                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                        |       |

- II編では、CNに資する材料の技術を3つに分類
- ・セメントの使用量の削減
  - ・セメントを用いないコンクリート技術
  - ・CCU(CO2吸着・固定)技術

2023年時点で**32**の材料技術

▶ 材料の規格化，構造物としての**設計**および**施工**の可能性，供給体制，経済合理性等の検討が必要



2023.10

## 研究背景

鉄筋コンクリート構造物の耐久性照査(コンクリート標準示方書)

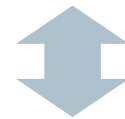
「塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査」

**鋼材腐食発生限界濃度**と見かけの拡散係数が必要

→ 試験方法あり

**鋼材腐食発生限界濃度**については,

類似の構造物の実験結果や試験結果を参考に定める



**具体的な試験方法の規定が無い**

堀口ら<sup>1)</sup>は鉄筋コンクリート試験体を作製し、これに外部から塩化物イオンを供給して、内部の鋼材を腐食させ、腐食が生じた時点のコンクリート中の全塩化物イオン濃度分布から鋼材腐食発生限界濃度を求めている。

## 目的

堀口らによると, 鉄筋表面に塩化物イオンが浸透し, 鋼材腐食発生限界濃度に達するまでに長期間を要す.

### 最終目標

鋼材腐食発生限界濃度の設計用値について, 環境に配慮した新材料の社会実装に対応すべく, 可能な限り**短期間で簡易に**実施できる設定方法を提案

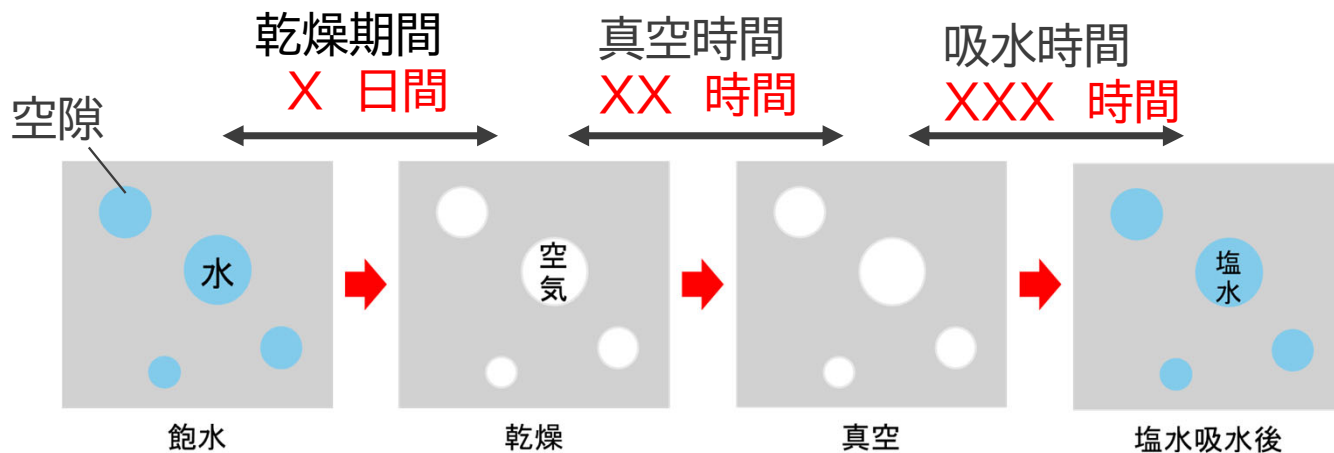
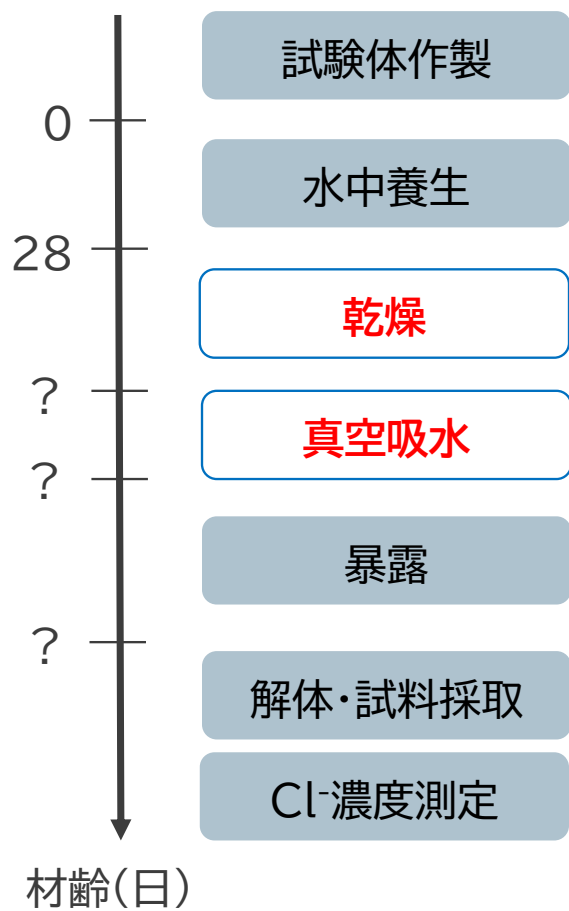
| W/C | 腐食までの期間 |
|-----|---------|
| 65% | 約64日    |
| 55% | 約113日   |
| 45% | 約232日   |
| 35% | 約1324日  |

### 目的

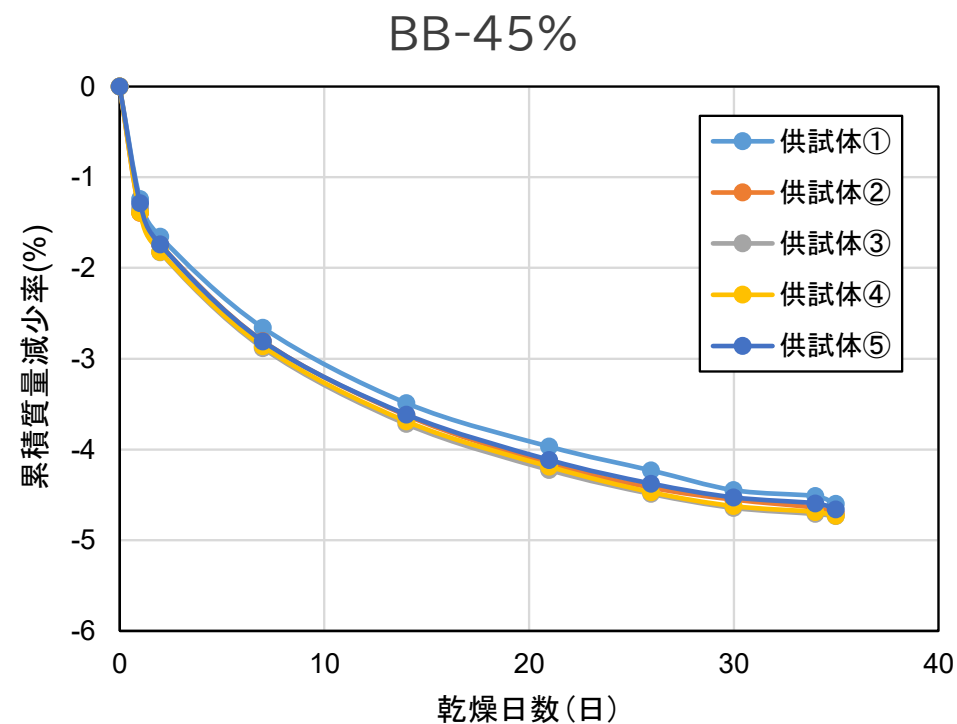
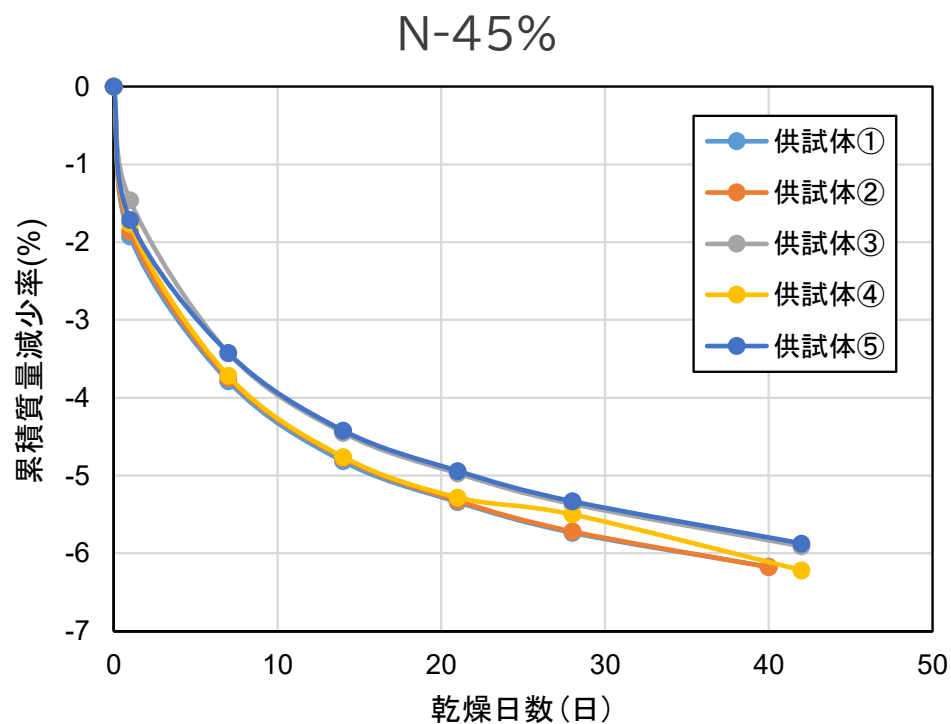
- ・試験期間を短縮できる手法. 特に, **Cl<sup>-</sup>の浸透期間を短縮することが出来る方法を検討**
- ・腐食試験を行い, 腐食発生割合の増加と鋼材腐食発生限界濃度との関係を検討

# 腐食期間を短縮させる方法

## 試験の流れ



## 乾燥期間の検討(40℃乾燥)



乾燥の目的は絶対乾燥状態にすることではなく, NaCl水溶液を注入しやすくするため



**28日間** (全体の試験期間への影響を考慮して)

## 真空吸水処理の検討



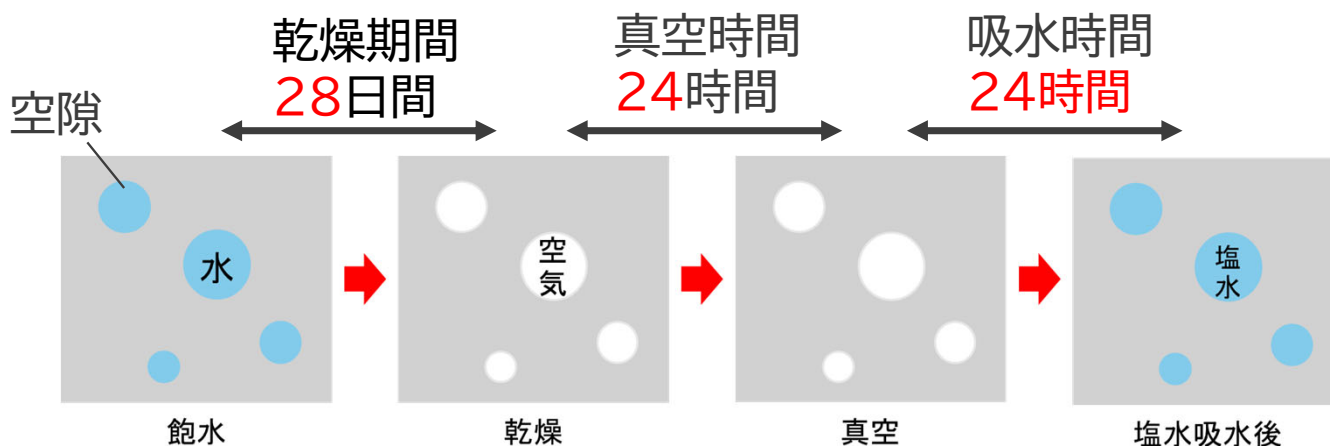
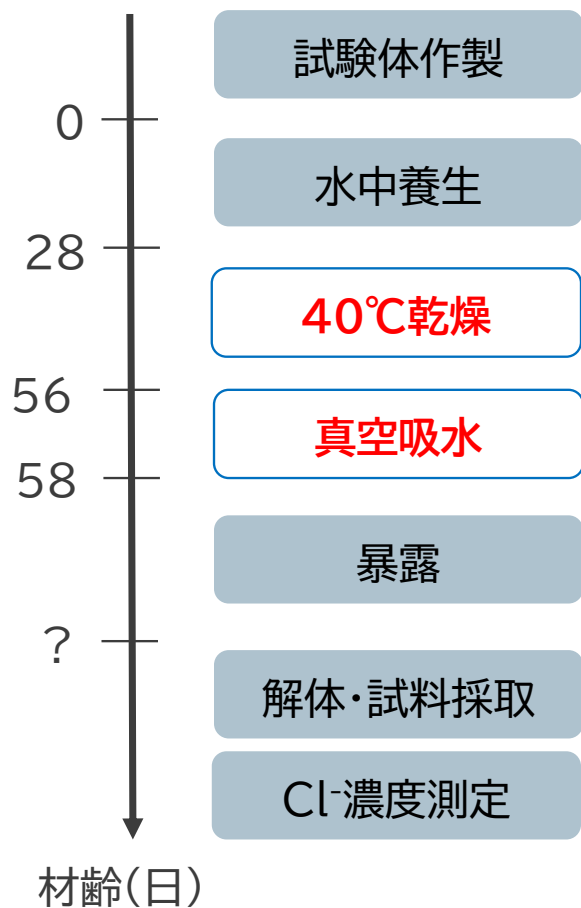
$$\text{吸水率(\%)} = \frac{M_{\text{吸水}} - M_{\text{乾燥}}}{M_{\text{飽水}} - M_{\text{乾燥}}} \times 100$$

- JSCE-G 571を参考
- デシケーター内に試験体を静置
- 減圧ポンプを用いて-0.1MPaを示すまで脱気
- 気圧を維持したまま試験体を24時間静置
- 気圧差を利用してデシケーター内に水を注入

| 吸水時間 | 吸水率(%) |
|------|--------|
| 2時間  | 78     |
| 24時間 | 102    |

# 腐食期間を短縮させる方法

## 試験の流れ

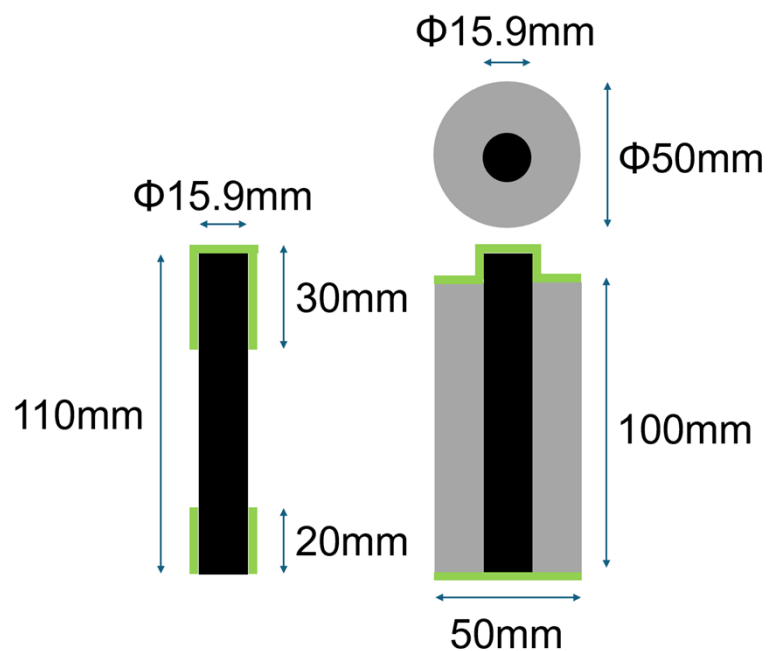


| NaCl水溶液濃度               | 3%   |       | 12%  |       |
|-------------------------|------|-------|------|-------|
| モルタル配合                  | N-45 | BB-45 | N-45 | BB-45 |
| 推定値(kg/m <sup>3</sup> ) | 1.54 | 1.74  | 7.14 | 7.39  |
| 測定値(kg/m <sup>3</sup> ) | 1.49 | 1.52  | 6.18 | 6.47  |
| 測定/推定 (%)               | 97   | 87    | 87   | 88    |

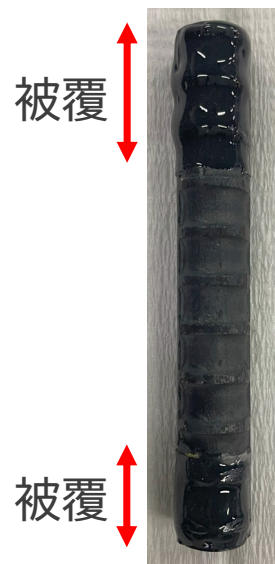
\* 推定値: 空隙が完全にNaCl水溶液で満たされたと仮定して計算した値

## 試験体概要

- 鉄筋を含んだ円柱のモルタル試験体(45N)を作製  
(鉄筋両端はエポキシ樹脂で被覆)



試験体概略図



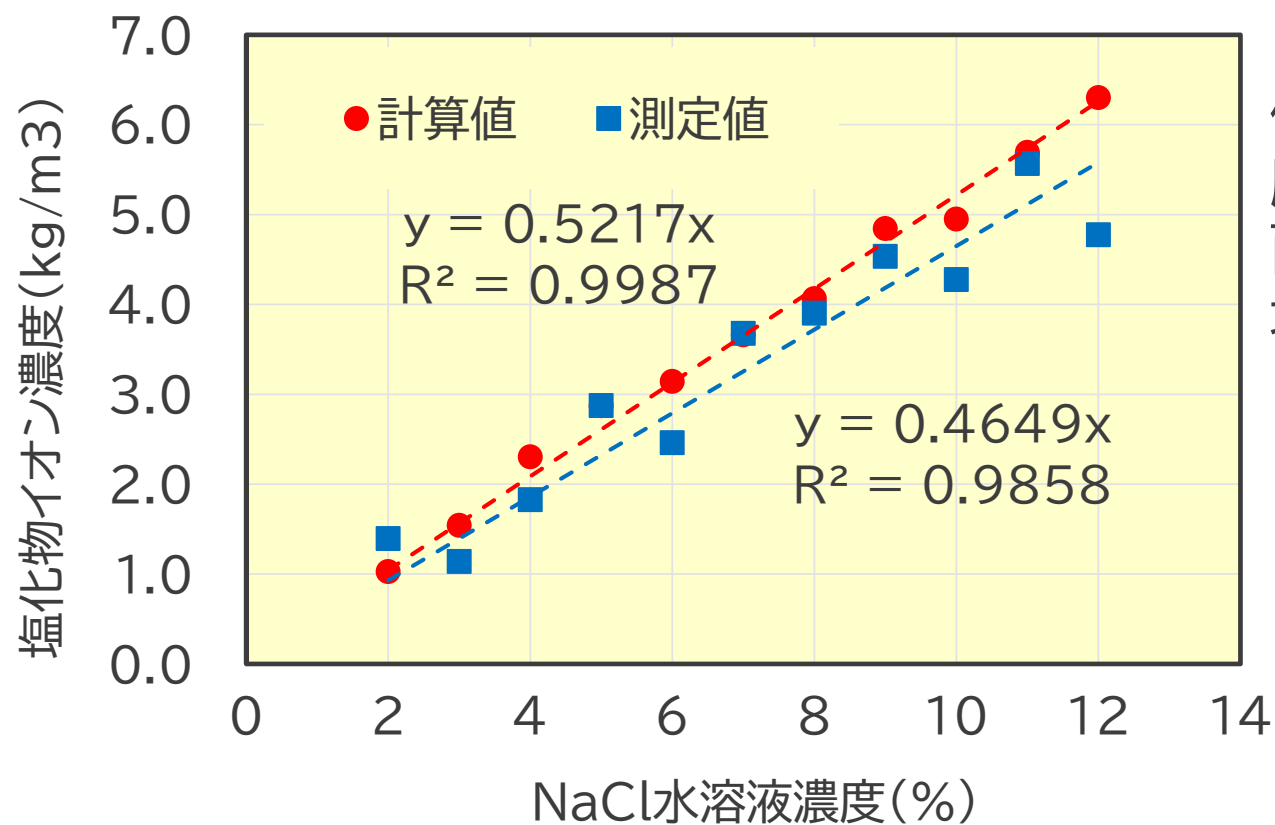
鉄筋写真



試験体写真

- NaCl水溶液の条件: 2%から12%を1%刻みに変化させた11条件(各5本)

## Clの浸透状況



使用するNaCl水溶液濃度が増加すれば、鉄筋表面の塩化物イオン濃度も増加するが、推定は困難



実測が必要

\* 計算値: 空隙が完全に使用しているNaCl水溶液で満たされたと仮定して求めた数値

## 腐食結果と課題について

| NaCl水溶液濃度 | 本数(%)    |
|-----------|----------|
| 2%        | 0本(0%)   |
| 3%        | 1本(20%)  |
| 4%        | 4本(80%)  |
| 5%        | 3本(60%)  |
| 6%        | 3本(60%)  |
| 7%        | 5本(100%) |
| 8%        | 5本(100%) |
| 9%        | 5本(100%) |
| 10%       | 4本(80%)  |
| 11%       | 5本(100%) |
| 12%       | 3本(60%)  |

NaCl水溶液濃度の増加に伴い、腐食本数も増加傾向を示す。

ただし、高濃度で腐食していない結果がある。

### ◆課題



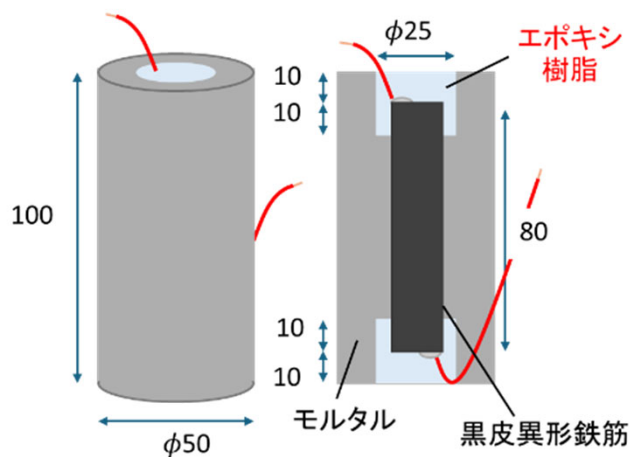
水溶液濃度によらず、端部が腐食してしまった。



露出部の腐食に影響を及ぼした可能性

## 改善案

鉄筋端部の加工を見直し  
円柱型枠と注型用のエポキシ樹脂で被覆



改善した鉄筋加工の様子



露出部は腐食発生し、  
端部は腐食が軽減  
遮水性・遮塩性の向上  
を確認

## まとめ・今後の検討

---

- ① 40℃環境による乾燥(28日)と真空吸水(1日)で,  
短時間かつ試験体内部まで塩水が浸透できることがわかった.
- ② 塩水を試験体内部に浸透させたのちに, 暴露環境として, 40℃・相対湿度  
85%程度の環境に28日間静置することで, 塩水濃度によって腐食発生の  
程度を変化させられることがわかった.

また, 上記の結果に対し, 試験体および埋め込む鉄筋の加工方法の改良案を用いることで, 精度向上につながる可能性がある.

### <今後の検討>

- 暴露期間の検討(より短期間を念頭に)
- 1条件当たりの妥当な試験体本数の検討
- 結果の妥当性の検討



東京理科大学

ご清聴ありがとうございました