

2024年日本建築学会賞（論文）受賞報告

受賞論文タイトル

鉄筋コンクリート構造物の塩害およびフレッシュ
コンクリートの流動性評価に関する解析的研究と
機械学習への展開



琉球大学 工学部 山田 義智

日本建築学会について

一般社団法人日本建築学会は、建築に関する学術・技術・芸術の進歩発達をはかることを目的とする学術団体で、**1886年（明治19年）の創立**です。

現在、**会員は3万6千名余**で、会員の所属は研究教育機関、総合建設業、設計事務所をはじめ、官公庁、公社公団、建築材料・機器メーカー、コンサルタント、学生など多岐にわたっています。

日本建築学会賞（論文）について

表彰制度は**1949年（昭和24年）に設置**されました。賞の対象として「近年中に完成し発表された研究論文であって、**学術の進歩に寄与する優れた論文を対象とする**。その際、分野を集大成した論文、独創的な単独の論文、あるいは新しい分野、境界領域の論文まで幅広く考慮する。」となっています。

同賞の受賞は、**琉球大学として（沖縄県において）初めての受賞**です。

研究の背景と目的

鉄筋コンクリート構造物には以下の課題がある。

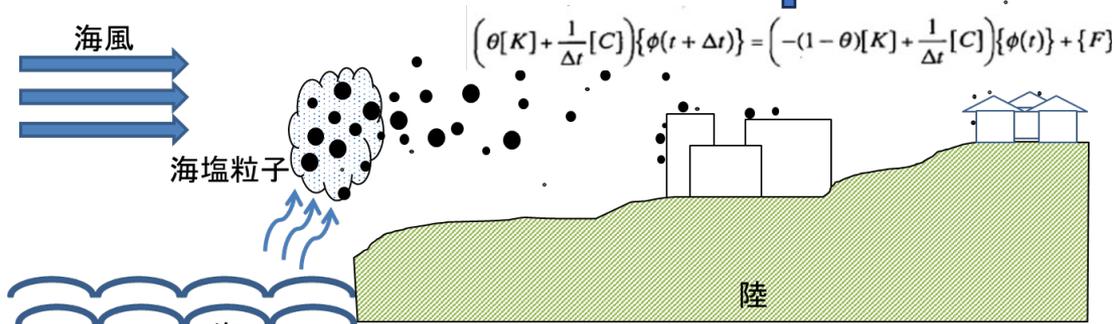
- (1) **長寿命化**：循環型社会構築において、鉄筋コンクリート構造物の長寿命化は重要である。しかし、海岸付近などにおいては、塩害による早期劣化が懸念される。
- (2) **設計・施工の合理化**：建設業界では労働力不足が深刻化しており、新技術の導入などによる設計の合理化や建設現場における施工の合理化による省人化・省力化による労働生産性の向上が求められている。

そこで、本研究は、**塩害問題**とフレッシュコンクリートの**流動性評価**について、**数値解析的なアプローチと機械学習**を利用した研究に取り組んだ。これらの研究成果は、鉄筋コンクリート構造物の**耐久設計への貢献**と、コンクリートの**調合設計や施工の合理化**に資することを目的としている。

塩害問題 ⇒ 数値解析・機械学習の利用

$$\left(\frac{1}{2}[K] + \frac{1}{\Delta x}[C]\right)\{\phi(x + \Delta x)\} = \left(-\frac{1}{2}[K] + \frac{1}{\Delta x}[C]\right)\{\phi(x)\} + \{F\}$$

飛来塩分の発生 → 輸送 → 浸透 → 鉄筋腐食

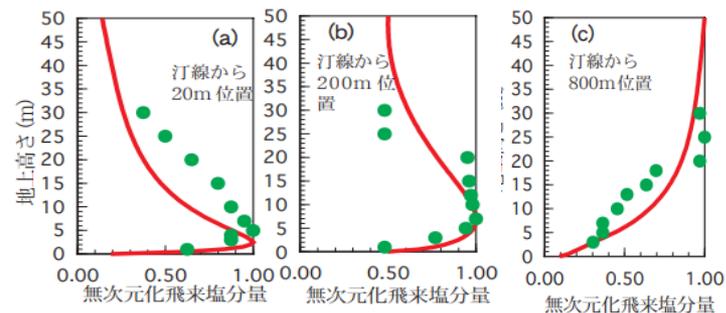


飛来塩分の輸送とコンクリート中への塩分浸透および鉄筋腐食の概略図

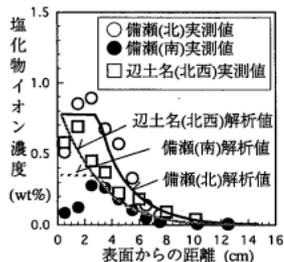
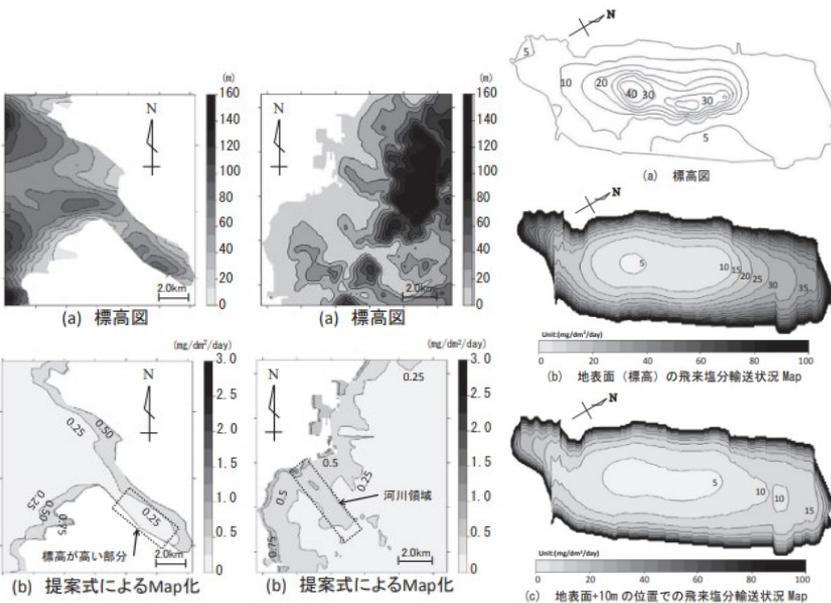
$$\left(\theta[K] + \frac{1}{\Delta t}[C]\right)\{\phi(t + \Delta t)\} = \left(-\theta[K] + \frac{1}{\Delta t}[C]\right)\{\phi(t)\} + \{F\}$$



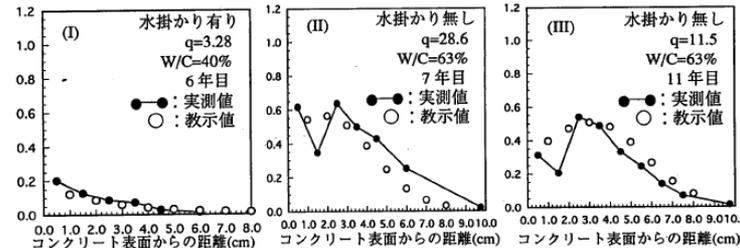
WRFやIDWによる海岸での風況予測



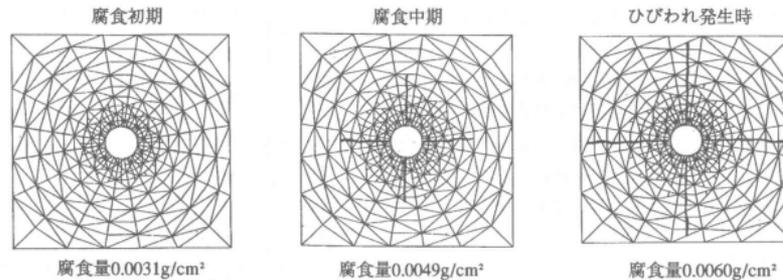
FEMによる飛来塩分輸送解析



FEMによる塩分浸透解析



機械学習 (NN) による塩分浸透予測



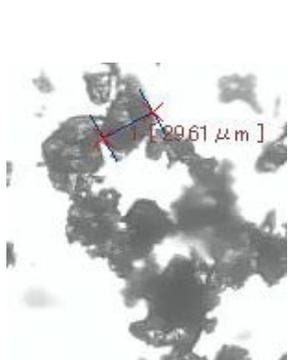
飛来塩分量予測式とGISによる飛来塩分輸送状況MAP

腐食ひび割れ進展解析 (FEM)

流動性評価 ⇒ 数値解析・機械学習の利用

材料科学（レオロジー試験）

構成式・運動方程式・各種流動モデル

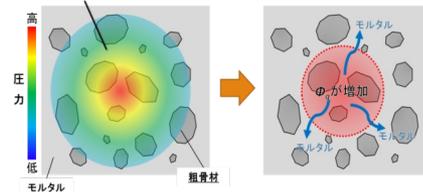


構成式：
$$\dot{\epsilon}_{ij}^{vp} = \gamma \langle \phi(F) \rangle \frac{\partial Q}{\partial \tau_{ij}}$$

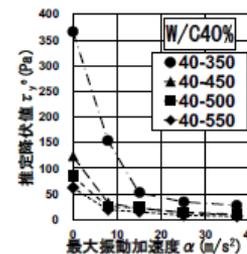
運動方程式：
$$\rho \frac{Dv_i}{Dt} = \rho K_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + (\eta + \Lambda) \Delta v_i + 2e_{ij} \frac{\partial \Lambda}{\partial x_j}$$

$$\therefore \Lambda = \tau_y / \sqrt{2(e_{11}^2 + e_{22}^2 + e_{33}^2) + 4(e_{12}^2 + e_{23}^2 + e_{31}^2)}$$

局所的に圧力勾配が生じると → モルタルが圧力の低い方へ移動

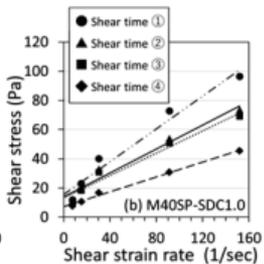
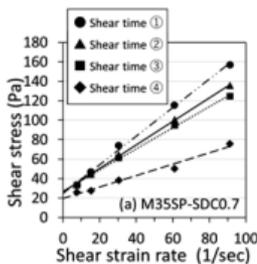


骨材偏在モデル

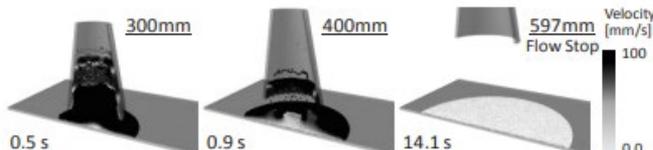


セメント粒子の凝集

回転粘度計



コンクリート充填解析とフレッシュ性状の機械学習予測

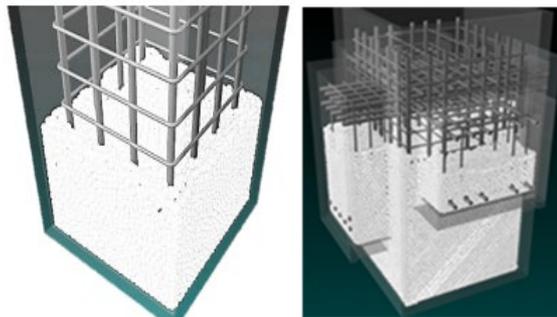


振動下のレオロジー低下（降伏値）

機械学習 (RF) によるフレッシュ性状の予測

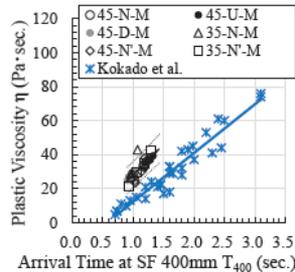
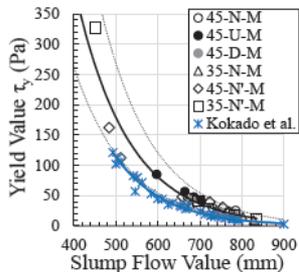
| | Slump Flow (mm) | Arrival Time of Slump Flow 500mm (sec.) | Stop time of Slump Flow (sec.) | Air Content (%) |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Learning data | $R^2 = 0.922$ | $R^2 = 0.957$ | $R^2 = 0.979$ | $R^2 = 0.969$ |
| Cross validation data | $R^2 = 0.489$ | $R^2 = 0.844$ | $R^2 = 0.869$ | $R^2 = 0.809$ |
| Non-learning validation data | $R^2 = 0.566$ | $R^2 = 0.774$ | $R^2 = 0.927$ | $R^2 = 0.896$ |

MPS法によるスランプフロー解析



BIMとMPS法を援用したRC部材充填解析

チクソトロピー性を考慮したペーストの流動曲線



スランプフローおよび400mmフロー到達時間とレオロジー定数（降伏値と塑性粘度）の関係

謝辞

本研究を実施するにあたり、**恩師**のご指導、**共同研究者**のご助言、琉球大学建築材料研究室の**歴代卒業生**のご協力を頂きました。また、**科研費**および**複数の民間企業**より研究助成を頂きました。これらのご支援なくして、本研究を行うことはできませんでした。ここに**心からの感謝の意**を表します。

