



鳥取大学  
Tottori University

# 粒子法における創生解による検証と 妥当性確認事例

鳥取大学工学部社会システム土木系学科

小野祐輔

ysk@tottori-u.ac.jp

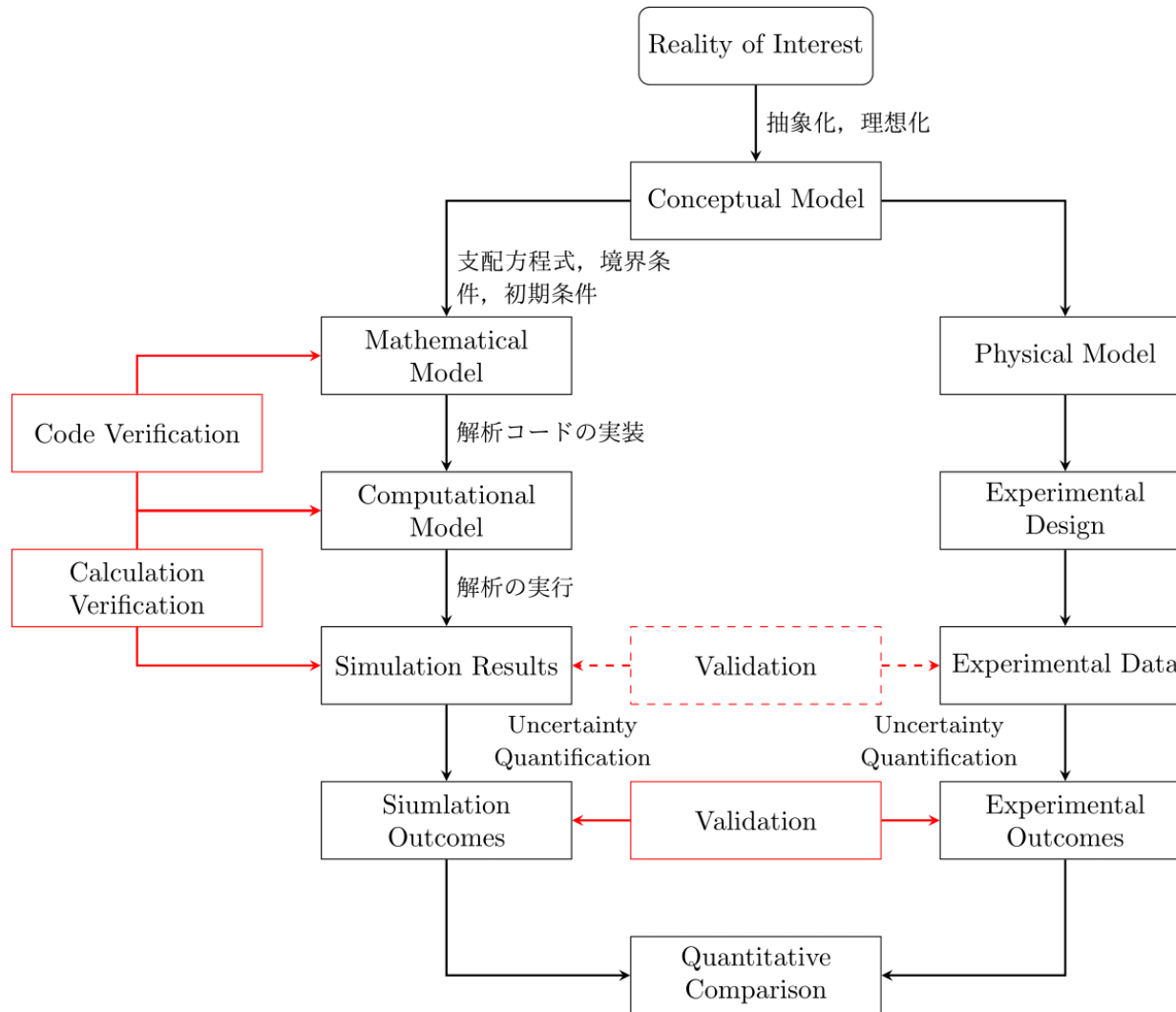


# 発表内容

- Verification (検証) と Validation (妥当性確認)
- 創成解を用いた Code Verification
- 数値創成解を用いた Code Verification
- Conversion analysisを用いた Calculation Verification
- 粒子法 (SPH法) の Verification の事例



# VerificationとValidation





# VerificationとValidation

- Verification 検証
  - 支配方程式が正しく解けているかどうかを検証
  - Code Verification
    - アルゴリズムに従った解が得られているか
    - 解析コードの検証
  - Calculation Verification
    - 離散化は正しく行われているか
    - 入力パラメータの設定は正しく行われているか
    - 入力データの検証
- Validation 妥当性確認
  - 数値解析が実現象を意図した事項について正しく表しているかを確認
  - ValidationとCalibrationは違う



# 創成解を用いたCode Verification

- 厳密解と創成解
- 厳密解(Exact Solution)
  - 与えた初期条件, 境界条件, 外力の下で支配方程式を数学的に問いて解を求める.
- 創成解(Manufactured Solution)
  - 与えた解(数学関数として与える)となるように支配方程式を解いて外力を決める.



# 創成解を用いたCode Verification

- 創成解の考え方の例：荷重を受けるはりの曲げ

支配方程式  $EI \frac{d^4 v(x)}{dx^4} = q(x)$

創成解  $v(x) = A \sin \frac{\alpha x}{L} + B \exp\left(\frac{x}{L}\right) + C$   
(仮定したたわみ)

定数  $A, B, \alpha$  は境界条件で決める

創成解を支配方程式に代入して荷重を求める

創成解から求めた荷重に対して、数値解析で求めた解(たわみ)



創成解



- 文献調査(事例)
  - D. Appelo and N. A. Petersson (2009). A stable finite difference method for the elastic wave equation on complex geometrics with free surface, *Commun. Comput. Phys.* 5:84-107.
  - P. C. Wallstedt and J. E. Guilkey (2008). An evaluation of explicit time integration schemes for use with the generalized interpolation material point method, *J. Comput. Phys.*, 227:9628-9642.



# 創成解を用いたCode Verification

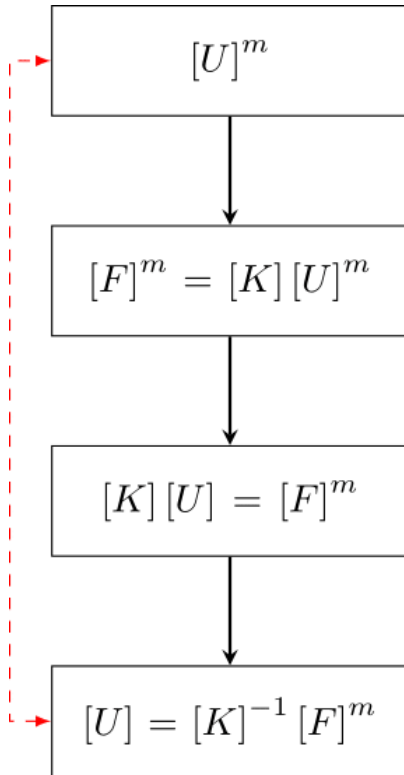
- 数値創成解を用いた方法(Chen et al., 2017)
  - MNMS-I
    - 離散化した解を与えて外力を求める
  - MNMS-II
    - 微分代数方程式として定式化し, 離散化した外力を求める



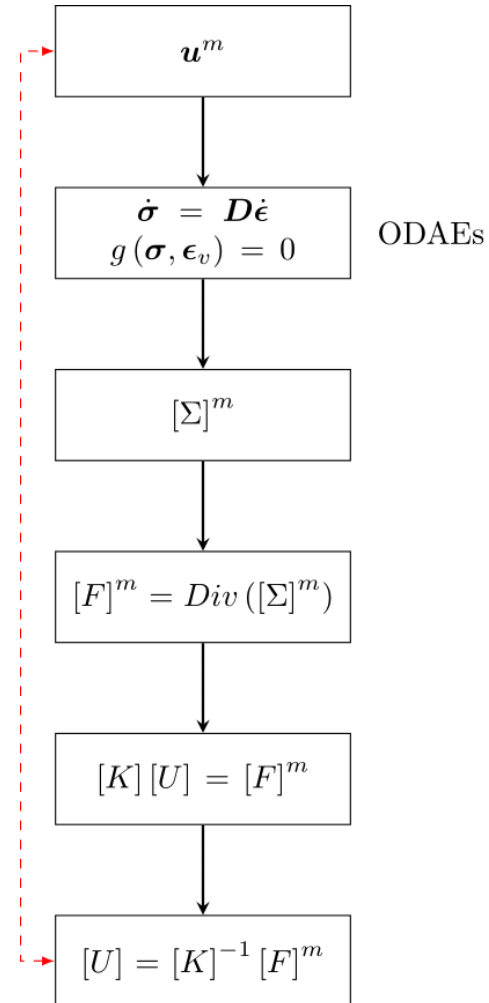


# 創成解を用いたCode Verification

MNMS-I



MNMS-II





# Calculation Verification

- 離散化の細かさは十分かを確認
  - 時間の離散化
  - 空間の離散化
- 収束分析(Convergence analysis)
  - グリッド(メッシュ)サイズを小さくすると誤差が小さくなるか
  - 時間刻みを小さくすると誤差が小さくなるか
  - Code Verificationとしても有効



# 粒子法 (SPH法) のCode Verificationの事例

- 数値創成解法I (MNMS-I)
- 収束分析