第 II 部門　　前浜地下水位が礫輸送に及ぼす影響の DEM-MPS 解析

京都大学大学院　工学研究科　学生員　○中村　春貴
京都大学大学院　工学研究科　正会員　田﨑　拓海
京都大学大学院　工学研究科　正会員　原田　英治
京都大学大学院　工学研究科　正会員　後藤　仁志

1. はじめに

礫浜において，前浜地下水位が個々の礫輸送過程に及ぼす影響について，数値解析による理解は不十分である．そこで，本研究では DEM-MPS 法を用いて三次元解析を行った．

2. 数値解析モデル

本研究では, 高精度 MPS 法(MPS-HS-HL-ECS-GC-DS-WPP)と個別要素法をカップリングした DEM-MPS 法の干出部への流入時の体積保存性を向上させた体積保存型 DEM-MPS 法を用いた. 連続相における支配方程式を以下で示す.

$$\frac{D}{Dt}(\epsilon\rho) + \epsilon\rho\nabla\cdot\boldsymbol{u}_l = 0$$

$$\epsilon\rho\frac{D\boldsymbol{u}_l}{Dt} = -\epsilon\nabla p + \epsilon\mu\nabla^2\boldsymbol{u}_l + \epsilon\rho\boldsymbol{g} - \epsilon\rho\nabla\cdot\boldsymbol{\tau}_{SPS} - \epsilon\boldsymbol{f}_{drag}$$

なお，ϵ:間隙率，ρ:液相密度，$\boldsymbol{u}_l$:流速ベクトル，p:圧力，μ:粘性係数，$\boldsymbol{g}$:重力加速度，$\boldsymbol{\tau}_{SPS}$:SPS 応力テンソル，$-\epsilon\boldsymbol{f}_{drag}$:混合体単位体積あたりの流体抗力の反作用ベクトルを表す．また，粒状体の支配方程式を以下で示す.

$$\rho_p v_p\frac{d\boldsymbol{u}_p}{dt} = \boldsymbol{F}_{drag} - v_p\nabla p + \boldsymbol{F}_{pint} + \rho_p v_p\boldsymbol{g}$$

$$\boldsymbol{I}_p\frac{d\boldsymbol{\omega}_p}{dt} = \boldsymbol{T}_{pint}$$

なお，ρ_p:固相密度，v_p:粒状体体積，$\boldsymbol{u}_p$:粒状体速度，$\boldsymbol{F}_{drag}$:流体抗力，$\boldsymbol{F}_{pint}$:粒状体間接触抗力，$\boldsymbol{I}_p$：慣性テンソル，$\boldsymbol{\omega}_p$：角速度ベクトル，$\boldsymbol{T}_{pint}$：接触力によるトルクを表す．本研究では流体力として流体抗力と静水圧下で浮力に相当する圧力勾配力$-v_p\nabla p$ のみを考慮した．さらに，以下で示す見かけ上の体積変化を導入した.

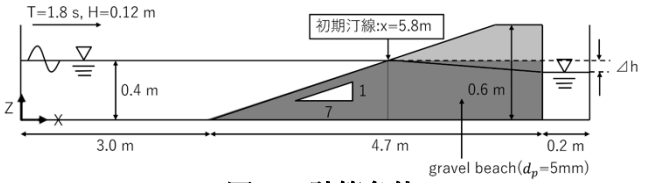


図 1：計算条件

$$v_i = \frac{v_0}{\epsilon_i}$$

3. 数値解析結果

Lee et al[1)]の室内実験を参考に計算条件を設定し，詳細を図 1 に示す．礫浜後背部の水位は計算を通して$h + \Delta h$ ($\Delta h = -0.1, 0.0, 0.1\mathrm{m}$) を保つ．なお，計算負荷低減のために礫浜表面から$15d_p$ の深さのみ礫を配置した．さらに，波浪場が十分に発達するまでの礫輸送および地形変化の影響を取り除くために時刻$t = 10T$ までは全ての礫を固定した．奥行方向には周期境界条件を課した.

時刻$t = 11T$の 1 周期を対象とした鉛直方向周期平均流速場を図 2 に示す．低地下水位では礫浜内部への浸透傾向が，高地下水位では礫浜内部から滲出傾向が確認でき，地下水位の影響による遡上端位置変化が確認できる. 時刻$t = 16T$~$20T$ の 5 周期を対象とした正味の礫漂砂量の岸沖変化を図 3 に示す．遡上端付近で地下水位の影響が顕著であり，正味の礫輸送量のピークが高地下水位の場合に大きく減少することは Tazaki et al.[2)]の知見と一致する.

低地下水位で波の遡上過程にある位相($\phi = 2.0\pi$)における時刻$t = 16T$~$20T$ を対象とした位相平均流速場，礫輸送速度および礫作用力の岸沖変化を図 4, 図 5 および図 6 に示す. $x = 6.0$~$6.5\mathrm{m}$ 付近で礫浜の地形変化が確認でき，その変化量や岸沖方向位置に差がある．また，遡上波の挙動に位相差がある．礫輸送速

Haruki NAKAMURA, Takumi TAZAKI, Eiji HARADA and Hitoshi GOTOH
nakamura.haruki.23a@st.kyoto-u.ac.jp

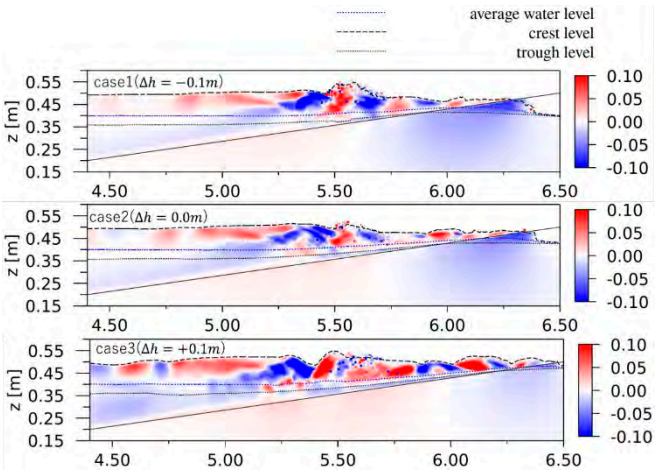


図 2：周期平均流速場(鉛直方向)

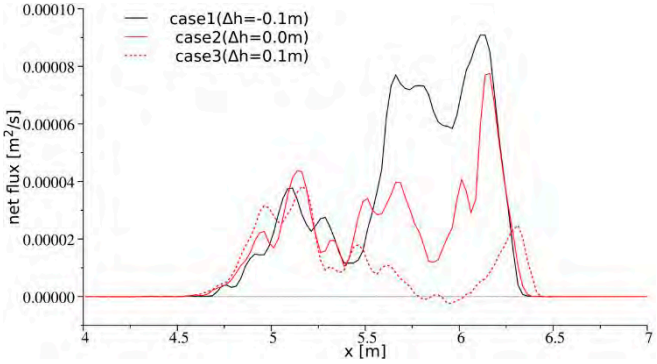


図 3：周期平均礫輸送量(岸沖方向)

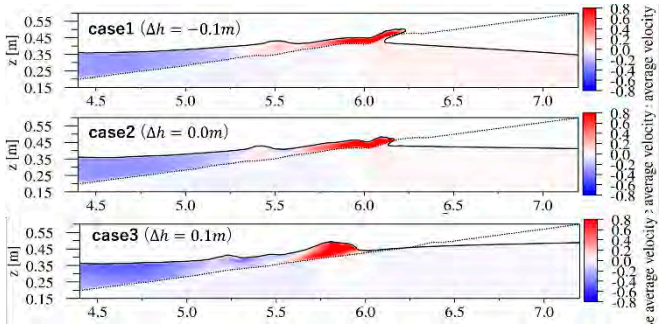


図 4：位相平均流速場($\phi = 2.0\pi$)

度および礫作用力は遡上波のフロント付近での差が顕著である．これらより異なる地下水位による浸透および滲出傾向の影響が遡上波付近の礫輸送過程に顕著に表れていると考えられる．

4. おわりに

本研究では 3 次元 DEM-MPS 法を用いて，暴浪波での複数地下水位条件下の礫輸送過程を解析した．礫浜内部の異なる地下水位は礫浜内外部流速場および遡上端付近での礫輸送量を変化させることが示された．また，遡上端付近での礫浜地形変化に差異が認められ，礫輸送速度および礫作用力は遡上波のフロント付近での差異が顕著であることが示された．

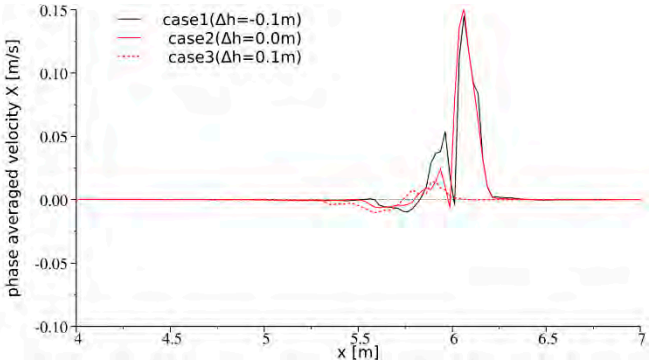


図 5：位相平均礫輸送速度($\phi = 2.0\pi$)

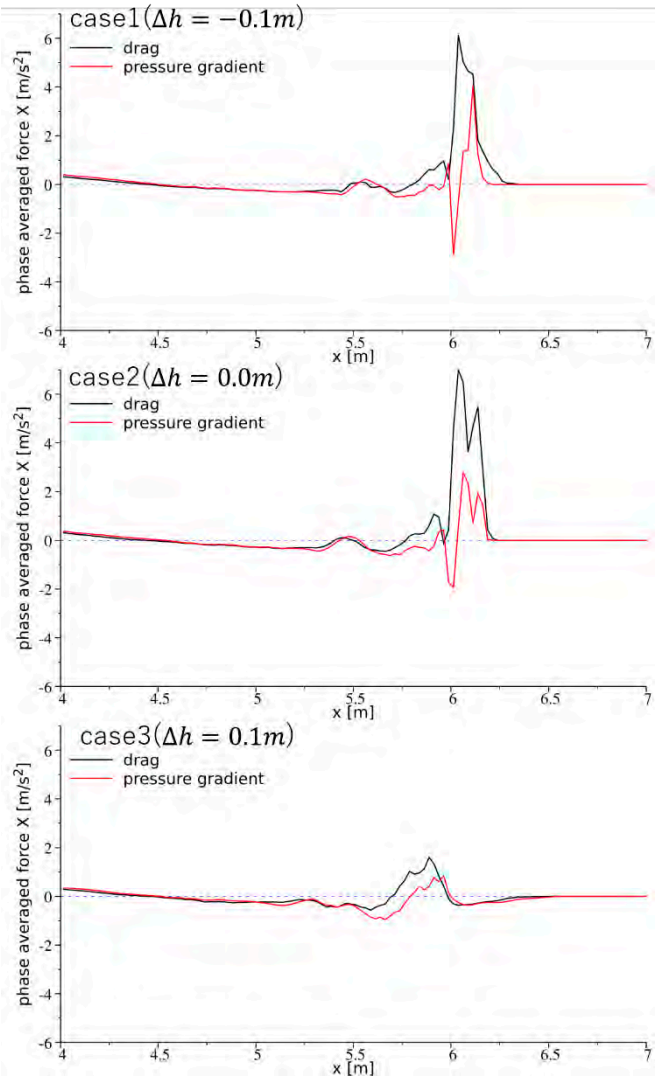


図 6：位相平均礫作用力($\phi = 2.0\pi$)

参考文献

1) K.-H. Lee, N. Mizutani, D.-S. Hur, A. Kamiya: The effect of groundwater on topographic changes in a gravel beach, Ocean Engineering Vol.34, 605-615, 2007

2) T. Tazaki, E. Harada, H. Gotoh: Effects of groundwater table on shear stress on gravel beach investigated by moving particle semi-implicit (MPS) method, Coastal Engineering Journal Vol.67 Issue4, 822-844, 2025