## 地形変化の影響を考慮した地盤解析手法の開発について

名古屋大学高等研究院	正会員	○ 中村	友昭
名古屋大学大学院工学研究科	フェロー	水谷	法美

1. 緒言:波浪の作用は漂砂による地形変化を生じさせ、その波浪の作用と地形の変化は海底地盤内部の応力 状態を変化させる.また,海底地盤の応力変動は漂砂とそれに伴う地形変化に,さらに地形変化は波浪場に影 響を与えることから、実海域には波・地形変化・海底地盤の相互作用に伴う複雑な場が形成されている.本研 究では、そのような場に適用し解析できるツールの開発を目指して、波浪場だけではなく地形変化の影響も考 慮可能な地盤解析手法の開発を行うとともに、それを流体と地形変化の相互作用が解析できる3次元流体・地 形変化連成数値計算モデル(中村・水谷,2010)に組み込み,構築したモデルの妥当性と有用性を検証する. **2. 数値計算手法の概要**:地盤骨格の変位ベクトルを u<sub>i</sub>, 圧縮を正とする有効応力テンソルを σ'<sub>i</sub>, ひずみテ ンソルを $\varepsilon_{ii}$ ,間隙水圧をp,地盤の空隙率をm,地盤の密度を $\rho$  (= (1 – m)  $\rho_s$  + m  $\rho_w$ ),地盤粒子実質部分の密 度を $\rho_s$ ,水の密度を $\rho_w$ ,地盤の透水係数を $k_s$ ,水の体積弾性係数を $K_w$ ,重力加速度ベクトルを $g_i (= [0 \ 0 - g]^T;$ g: 重力加速度),時間をtとしたとき,波浪場との流速および圧力の連続性を考慮した u-p 形式 Biot の式

$$\rho \ddot{u}_i = -\sigma'_{ji,j} - p_{,i} - \rho g_i \qquad (1) \qquad \qquad -\frac{\partial \varepsilon_{kk}}{\partial t} + \frac{m}{K_w} \dot{p} + \left\{ \frac{k_s}{\rho_w g} \left( -\rho_w \ddot{u}_i - p_{,i} - \rho_w g_i \right) \right\}_{,i} = 0 \qquad (2)$$

を支配方程式とする 3 次元水・土連成有限要素モデル(以下, FEM と称する)に、 漂砂による地形変化の影 響を組み込んだ、具体的には、後述する地形変化の計算で堆積が生じた場合には、盛土計算に倣って堆積した 分の地盤の自重と等価な節点力を地盤表面に作用させた.一方,侵食が生じた場合には,掘削計算に倣って侵 食した分の地盤の自重と等価な節点力を正負逆にして作用させた.そして、地盤の間隙内部も含めた全気液相 の流体運動を地形変化の影響を考慮して解析する LES,気液界面を追跡する MARS に基づくモジュール,掃 流砂と浮遊砂の輸送に伴う地形変化の計算と浮遊砂の解析を行うモジュールから構成されるモデル(中村・水 谷,2010)に上述のFEMを組み込み、3次元流体・地形変化・地盤連成数値計算モデルを構築した.

3. 海底地盤の波浪応答: FEM の妥当性を検証するために,図-1 に示す地盤(厚さ 0.3 cm,空隙率 0.4,中央 粒径 0.45 mm, せん断弾性係数 10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup>, Poisson 比 0.33) に規則波(周期 T=1.0 s, 波高 H<sub>i</sub>=0.03 m, 静水深 0.3 m)を作用させた.境界条件として、地盤の上面には LES で求めた流速と圧力を与えた.また、側面には 地盤骨格の法線方向の変位がゼロの条件と非排水条件を課し,底面には地盤骨格の変位がゼロの条件と非排水 条件を適用した.なお,解析解(Yamamoto, 1977)との比較を行うために,地形変化の計算は行わなかった. 間隙水圧変動 Pと地盤骨格の鉛直変位  $\zeta$ に関して、 $K_w = 2.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ のとき結果を図-2に、 $K_w = 2.2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 

のときの結果を図-3に示す.図-2と図-3より,地盤の表面から離れるとともにPやCの振幅が小さくなり,ま たその振幅は  $K_w = 2.2 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> と比較して  $K_w = 2.2 \times 10^7$ N/m<sup>2</sup>の方が小さいことが確認できる. さらに, 図-2(a)では Pに位相遅れが認められるものの,図-3(a)では Pに位相の 遅れは生じていないことが分かる.以上の点に関して解析 解との一致が確認できたことから, FEM の妥当性が検証で きた. 図-4 に  $K_w = 2.2 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> と  $K_w = 2.2 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> におけ る間隙水圧変動 Pの分布を例示する.なお、図-4 では地盤 骨格の変位を 10<sup>5</sup>倍して示した. 図-2 と図-3 の比較で説明





したように,  $K_w = 2.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ では Pに位相遅れが生じている一方で,  $K_w = 2.2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ では生じていないことが図-4からも確認できる. 4. 地形変化の影響: 地形変化が地盤に与える影響が解析可能かを検討 するために,侵食を模擬して図-1の地盤のうち x = 400~600 cm の範囲 を 0.33 cm/s の速さで取り除きつつ, 規則波(周期 T=1.0 s, 波高 H<sub>i</sub>=0.03

cm

Cm

[cm]

[cm]

m, 静水深 0.3 m) を作用させる数 値実験を行った. 図-5 に鉛直方向 の有効垂直応力 σ' と有効せん断応 力σ'\_の分布を示す. 同図より, 侵 食の進展とともに侵食の下部の*σ* が徐々に低下しているものの、そ の他の場所では $\sigma'$ の変化は確認で きないことが分かる.また,侵食 の両端付近で $\sigma'_{r}$ が大きく変化す るとともに, それが波の影響を受 けて振動していることも確認でき る.以上のように、地形の変化に 伴う地盤の波浪応答が解析可能な ことが確認できたことから, 今後, 本モデルの波・地形変化・海底地 盤の相互作用現象への適用と、そ の解明を進めていく所存である. 参考文献:[1] 中村・水谷 (2010), 数値流体力学シンポジウム, E10-4, 9 p. [2] Yamamoto (1977), Proc., Coastal Sediments '77, pp. 898-913.



Wave

cm]

-690

30 Wave

[cm]

t = 14.500 [s]

t = 15.000 [s]

(a)

P [Pa]

P [Pa] -80 -40 0 40 80

500 x [cm]

500 x [cm]  $K_w = 2.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 

