

底質間隙サクシオン動態による前浜漂砂量抑制効果モデル

山口大学 正会員 ○白水 元
山口大学 正会員 朝位 孝二

1. はじめに

近年では気候変動による侵食リスクの増大を背景に海浜変形予測技術の向上が課題とされている。しかし、海浜地形の安定機構については未解明な部分が多い。そのため、現行の土-水連成型のプロセスベース海浜変形予測モデルでは侵食の過大評価が起こり、地形変化量に制限を与え対応してきたという経緯がある。一方、著者らは地下水位変動にともなう底質間隙の挙動に注目し、波の遡上・流下や潮汐による水位変化に連動した底質間隙のサクシオン(吸引圧)の動態により、間隙が弾塑性的に収縮することを示し、これにより底質表層のせん断抵抗が増加し、侵食量が抑制されることを明らかにした。本研究は、この効果の物理的なプロセスを踏まえて土-水連成型海浜変形予測モデルに取り入れ、移動床模型実験の再現を試みたものである。

2. 再現する模型実験の概要

実験は図-1に示す胆振・日高海岸の波浪条件を縮尺1/30で再現したもので、白水ら(2016)³⁾に詳しい。砂浜模型は透水係数の相似性を考慮した粒径で構成し、斜面勾配1/10とした。この砂浜模型には現地の年平均有義波を考慮した100波を1波群とした不規則波をピストン式造波機により入射させた。

4. 数値モデルの構成

モデルは、土-水連成型のプロセスベースモデルの枠組みをもつもので、波動場の再現に岸沖方向1次元

の拡張型 Boussinesq 方程式(山田, 2000²⁾)を用い、底質間隙水の挙動を表現する地下水モデルと水頭により結合し砂浜と接続させる。漂砂量はサクシオン動態による底質間隙の変化を考慮した拡張型 Bailard モデルにより算出し、地形変化は連続式から求める。

底質間隙サクシオンの把握: 底質間隙サクシオン動態は遡上斜面の地下水の挙動によって誘起される。本研究では Richards式を鉛直方向に積分した1次元の地下水支配方程式を用いる。

$$S_y \frac{\partial h_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_w h_g \frac{\partial (h_g + z_s)}{\partial x} \right) + r_e \tag{1}$$

ここで、 S_y は被産出率で有効間隙率と等値である。 h_g は地下水深、 k_w は透水係数、 z_s は基準面からの不透水基盤までの高さ、 r_e は地下水面への涵養強度である。ここでは、波の遡上による底質への浸透が有る場合も Dupuit の準一様流近似を適用できると仮定し、遡上斜面上からの水深の値を底質表面に作用する静水圧の水頭とみなす(図-2)。また、圧力を鉛直積分したことで圧力水頭となることから、以下の様な仮定よりサクシオンの値を定義する。 h_s は地表高、水の密度 ρ 、重力加速度 g として、(地下) 水面が地中にある場合、つまり $h_s > h_g$ となるとき、

$$s = \rho g (h_s - h_g) \tag{2}$$

水面が地上にある場合、サクシオンは働かないとして、

$$s = 0 \tag{3}$$

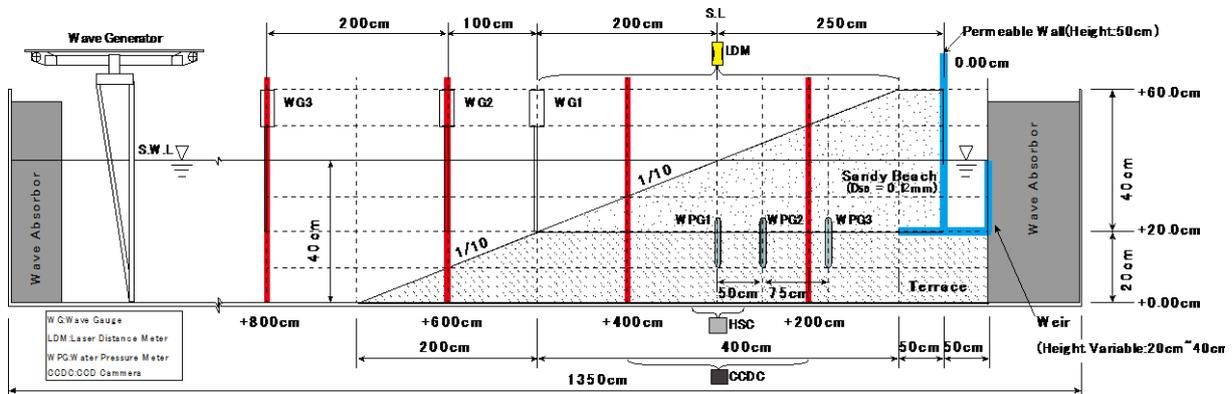


図-1 実験概況図

キーワード サクシオン動態, 砂浜地形変化, 数値計算, 海岸侵食, 底質輸送

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学 創成科学研究科工学系学域 社会建設工学分野

T E L 0836-85-9300

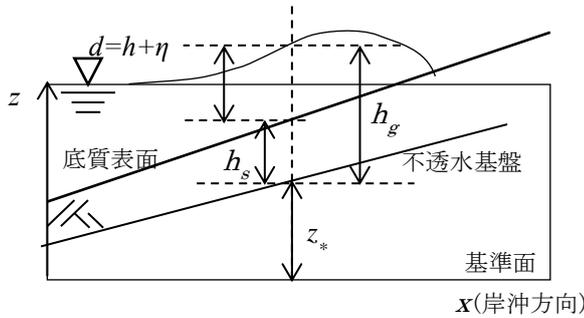


図-2 底質地下水支配方程式における空間量

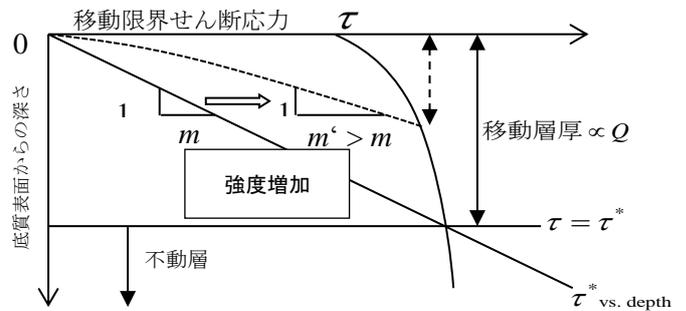


図-3 強度増加－漂砂量抑制効果の概念図

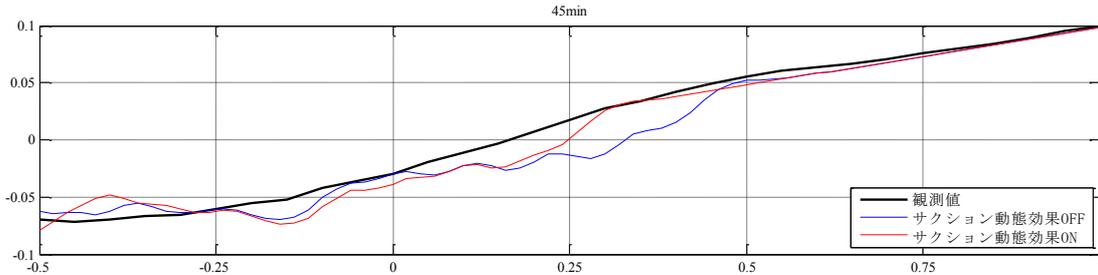


図-3 波作用 45 分後の地形比較

このサクシオンの値は1 s間隔で記録され、記録回数 n に対して s_n と表す。

底質輸送の拡張：ベースとしてBailardの漂砂量公式を用いた。本研究では、間隙縮小による密実化がもたらす移動限界せん断応力の変化を漂砂量の修正によって表現した(図-3)。具体的には、サクシオン動態の履歴として、前項で述べた1s間隔で記録されるサクシオンの累積値が反映される水中比重補正係数 a_{suc} を導入した。これは、間隙縮小の帰結としての底質かさ密度の増大による「見かけの水中比重の増加」を与えるものである。見かけの水中比重が増加すると、瞬間漂砂量が抑制されるようになっている。

$$\vec{Q}(t) = \vec{Q}_b(t) + \vec{Q}_s(t) \quad (4)$$

$$\vec{Q}_b(t) = \frac{C_f \varepsilon_b}{a_{suc} s_g g \tan \phi} \left[\left| \vec{u}(t) \right|^2 \vec{u}(t) - \frac{\tan \beta}{\tan \phi} \left| \vec{u}(t) \right|^3 \vec{i}_\beta \right] \quad (5)$$

$$\vec{Q}_s(t) = \frac{C_f \varepsilon_s}{a_{suc} s_g g \omega_s} \left[\left| \vec{u}(t) \right|^3 \vec{u}(t) - \frac{\varepsilon_s \tan \beta}{\omega_s} \left| \vec{u}(t) \right|^5 \vec{i}_\beta \right] \quad (6)$$

$$a_{suc} = 1 + c_s \frac{\sum_{k=1}^n s_k}{d_{50} \rho g} \quad (7)$$

ここで、 $\vec{Q}(t)$ は漂砂量の瞬間値、 $\vec{Q}_b(t)$ は掃流砂量、 $\vec{Q}_s(t)$ は浮遊砂量、 C_f は抵抗係数、 $\varepsilon_b, \varepsilon_s$ はそれぞれ掃流移動、浮遊移動に使われるエネルギーの割合を示す無次元係数で、それぞれ、0.1程度、0.2程度の値を取る。 s_g は水中比重、 $\tan \phi$ は底質の内部摩擦角、 $\tan \beta$ は海底勾配、 \vec{i}_β は底質勾配方向の単位ベクトル、 $\vec{u}(t)$ は平均

流速を考慮した底質近傍の水粒子の移動速度の瞬間値である。また、 c_s は間隙スケール係数で、サクシオン動態の間隙変化への寄与率を表し、実験から求めるパラメータである。今回は、 $c_s = 1.84 \times 10^{-6}$ とした。

5. 計算結果

図-4に示す数値モデルで得られた岸沖距離6.0m地点の水面変動は、実験値をほぼ妥当な精度で予測している。図-5は実験における45分後の断面地形と、同時刻の計算結果をサクシオン動態効果考慮の有無で比較したものである。遡上斜面ではサクシオン動態効果による漂砂量抑制効果が有効に働き、汀線の後退が〇〇%に抑制されている。本研究で提案するモデルはサクシオン動態効果を考慮しない場合と比べ汀線近傍の前浜遡上斜面の地形変化の予測精度が向上したと確認できる。

6. おわりに

本研究では、サクシオン動態を地下水支配方程式により考慮し、サクシオンの卓越による強度の増加を漂砂量公式の拡張によって表現した。その結果、サクシオン動態の効果を検討しない場合と比較して、前浜遡上斜面の侵食量が実験観測値に近い値を示した。

参考文献

- 1) 白水元, 佐々真志, 宮武誠, 本間大輔, 成田郁史: 高波作用下の前浜平衡勾配に及ぼす間隙サクシオン動態効果の影響, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 72, No.2, pp. I_712-I_717, 2016.
- 2) 山田文彦: 拡張型 Boussinesq 方程式の沿岸波浪場・海浜流場への適用性に関する研究, 応用力学論文集 vol. 3, pp. 247-254, 200