

遡上波の作用を受ける砂浜地盤内の地下水流の数値解析

鹿児島大学工学部 学生員 吉田征司  
 鹿児島大学大学院 学生員 M.A.Hoque  
 鹿児島大学工学部 正会員 浅野敏之

1. はじめに

波打ち帯の漂砂現象を複雑にする原因の1つとして、砂層地盤内からの浸透流・滲出流の影響が挙げられる。本研究は、前浜斜面上に透水係数がオーダー的に大きい仮想的な薄層を設定して、前浜地盤内の自由地下水面の滲出面と斜面上の遡上波先端の接合処理を行うことにより、斜面上の波浪変形と砂層地盤内の浸透流解析を結合させた数値解析を行ったものである。こうして得られた透過性斜面上の流速場から漂砂量の時間変動を計算し、netの漂砂量の空間分布を求めた。波浪条件・底質条件・地形条件・地下水面の位置等を変えた系統的な計算結果から、波打ち帯の漂砂に及ぼす浸透・滲出流の効果を検討した。

2. 数値解析モデル

砂浜地盤内の不圧地下水流に関して、宮武ら(2001)が不飽和砂層内の水分保湿度を考慮した数値解析を行っている。こうした不飽和解析法は、砂層地盤全域を解析対象とできるが、不飽和透水係数と体積含水率および毛管水頭と体積含水率の関係をj知る必要があつて複雑となる。一方、飽和解析法は、砂層地盤内の自由地下水面が解析領域の境界となるために、時々刻々変化する自由水面位置を求める自由境界値問題となるが、地盤内の水分保持特性を考る必要が無く、その意味では取扱いは容易となる。本研究では飽和解析法で地盤内の浸透流を解析した。本解析で使用する砂浜地盤モデルを図-1に示す。斜面と静水面の交点を原点とし、冲向きを正として水平方向にx軸にとり、鉛直方向にz軸をとる。砂層地盤内の浸透流の基礎方程式は次の通りである。

$$S \frac{\partial \phi}{\partial t} = k \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$u = -k \frac{\partial \phi}{\partial x}; \quad w = -k \frac{\partial \phi}{\partial z} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $\phi$ はピエゾ水頭、 $u, w$ はx,z軸方向の水粒子速度、 $k$ は透水係数、 $S$ は貯留係数である。

地下自由水面  $z = \xi$  における運動学的境界条件は以下になる。

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{k}{n} \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \text{ at } z = \xi \dots\dots(3)$$

ここで、 $n$ は空隙率である。

斜面上の波動場は非線形長波方程式を基礎式とし、Carrier-Greenspan(1958)の解法で計算した。

得られた流速場に対して、浸透・滲出流を考慮した斜面上の掃流漂砂量の計算を行った。浸透流・滲出流の効果は砂粒子に作用する抗力の形で評価され、移動限界シールズ数、単位底面積あたりに移動可能な粒子数に反映されて漂砂量を変化させる。詳細は、浅野・米永(2000)に譲る。波や底質の諸元、地下水位などのパラメータを変化させ、漂砂量に及ぼす影響について考察した。

3. 滲出流による前浜斜面上の流速場の変化特性

最初に、地下水位が静水時海面より高い場合、すなわち、前浜からの滲出流が支配的な条件下における計算結果を示す。

図-2は、滲出面の位置  $x_{ie} = -300\text{cm}$  の時に、前浜斜面上の位置  $x = 200\text{cm}, 100\text{cm}, -100\text{cm}$  における地下水流の時間波形を遡上端位置  $x_{shore}$  の時間波形とともに示したものである。  $t/T = 0.0$  は、図-2上段図ならびに図-1の遡上波の波形からもわかるように、最も波が引いた位相であり、地下水流の速度は  $u, w$  ともに最大となる。また  $t/T = 0.5$  は波が最も打ち上がった位相となるため、そこでは流速は極小となる。また計算条件によって絶対値は変化するが、斜面勾配  $s = 0.1$  の結果では鉛直成分  $w$  は水平成分  $u$  より10倍ほど大きい。なお、図中の一部の曲線については、全位相区間にわたって表示していないが、この区間は波の打ち上がっていない位相区間に相当する。

図-3、図-4は、それぞれ滲出面の位置  $x_{ie}$  (=滲出面の高さ  $z_{ie} \times 0.1$ )、前浜底質粒径  $d$  を変化させた時の地下水流の鉛直方向流速  $w$  の変化を示したものである。滲出流を駆動する水頭の増大ならびに粒径の増大による透水性の増大が、大きな滲出流速を

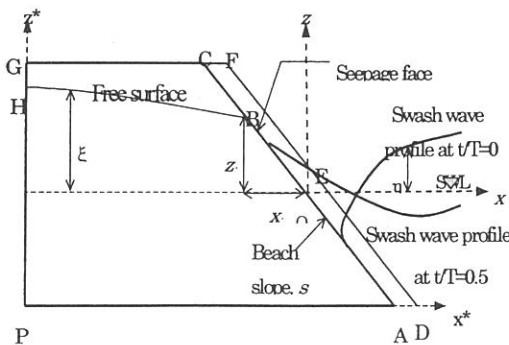


図-1 解析領域と座標系

生じさせることがわかる。

図-5は、滲出面の位置  $x_{ie}=-100\text{cm}$  の時に、最大打ち上げ高近くの前浜斜面上  $x=-75\text{cm}$  の位置での遡上端位置  $x_{shore}$ 、地盤内水平流速  $u$ 、鉛直流速  $w$  の時間的変化を示したものである。図より、 $t/T$  が  $0.4\sim 0.6$  以外の区間では  $u$ 、 $w$  とともに正となっており、ほぼ一定の滲出流が発生しているが、遡上波が来襲して  $x_{shore}$  が着目する地点  $x$  を越える  $t/T=0.4\sim 0.6$  の区間では急激に滲出流が小さくなることわかる。一方、鉛直流速  $w$  についてはその前に一旦流速が大きくなっている。これは、前述の仮想的薄層を導入したことによる擾乱で、図-6に示すように領域  $BE E'$  内の格子点  $N3, N4, N5$  の地下水流の計算には遡上波の全水頭値を与えることができず、 $BE$  を結んだ形式的位置水頭のみが与えられたことに起因する。また砂浜斜面を階段状の格子で表現したことも擾乱の一因となる。これらは今後の検討課題といえるが、以下の漂砂量の計算では、滲出高さ  $B$  ではなく波の解析から得られる遡上端  $E'$  の位置で波の作用の有無を判定しており、上記の流速波形の擾乱は計算には含まれないことを記しておく。

#### 4. むすびに

前浜斜面からの滲出流・浸透流が斜面上の流れや漂砂に及ぼす影響を数値解析によって検討した。前浜斜面上に透水係数が1オーダー大きい仮想的な薄層を介して斜面上の滲出面と遡上波先端を接合する手法を示し、斜面上の波浪変形と砂層地盤内の浸透流解析を結合させた数値解析を行った。現在、砂浜海岸における地下水面変動と潮位変動の関係についての現地観測を始めている。データが取得できれば講演時に報告したい。

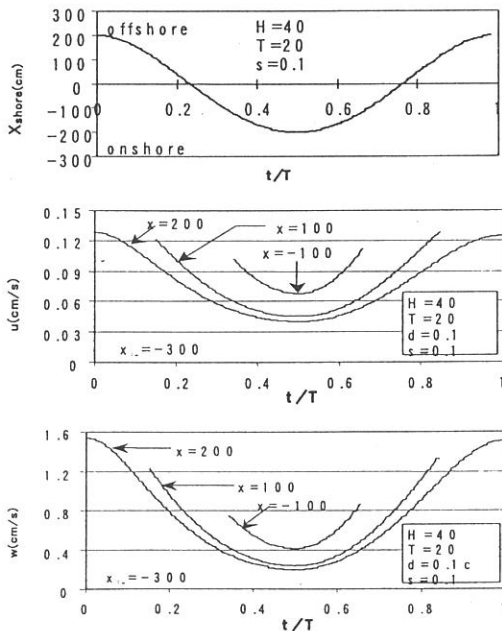


図-2 遡上端先端位置および滲出流速の位相変化

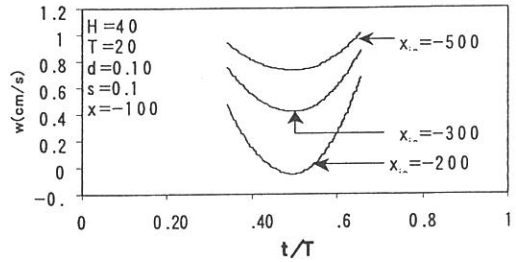


図-3 滲出面の位置  $x_{ie}$  をパラメータとしたときの滲出流の鉛直成分の位相変化

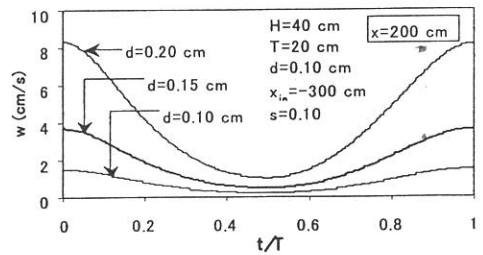


図-4 粒径  $d$  をパラメータとしたときの滲出流の鉛直成分の位相変化

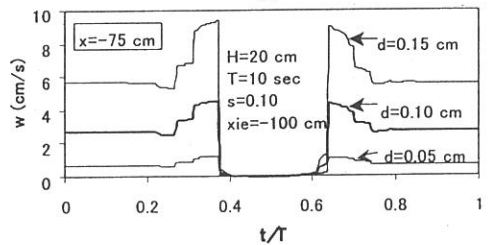
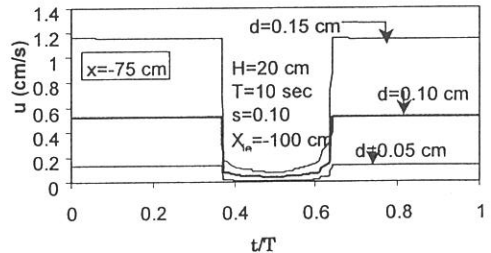


図-5 遡上端付近での滲出流速の位相変化

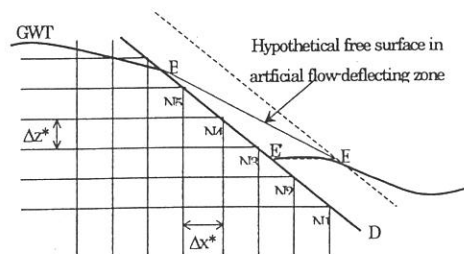


図-6 仮想薄層と遡上端付近の処理