

浸透性斜面上の遡上波の運動と岸沖漂砂の数値解析

鹿児島大学大学院 学生員 米永敏之
鹿児島大学工学部 正会員 浅野敏之

1. はじめに

波打ち帯における砂浜地盤内への浸透や砂浜からの滲出は、漂砂の特性に大きな影響を与えと考えられるが、これを定量的に考察した研究は少ない。本研究は、一様勾配斜面上の遡上波運動の数値解析より、流速場に与える浸透・滲出の効果を検討するとともに、浸透・滲出が砂の移動限界・漂砂量に与える影響を解析したものである。

2. 砂層地盤への浸透・滲出を考慮した波打ち帯の流速場の解析

浸透・滲出流速 w_b を含む斜面上の流体運動の基礎方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial(h+\eta)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[u(h+\eta)] = -w_b \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}[u(h+\eta)] + \frac{\partial}{\partial x}[u^2(h+\eta)] + g(h+\eta)\frac{\partial\eta}{\partial x} = -\frac{1}{2}f|u|u - uw_b \quad (2)$$

ここに、 t は時間、 x は沖向きを正とした水平方向座標、 g は重力加速度、 h は静水深、 η は静水面から測った水位変動、 u は水平方向水粒子速度、 f は底面摩擦係数である。

砂地盤内への浸透のモデルは、地盤内水位が静水時汀線を延長した面にあるとし、砂斜面を遡上した水塊は鉛直方向成分のみを持って砂層内に浸透するものとする(Packwood, 1983)。水平砂層地盤上に $\eta(t)$ のtransientな水位変動が乗った場合の砂層地盤内の自由水面位置と(砂層表面を原点として鉛直下向き方向を正とする)は次式で与えられる(Dicker; 1969)。

$$\frac{\xi}{\xi + \eta} d\xi = \left(\frac{K}{n}\right) dt \quad (3)$$

ここに、 K は透水係数、 n は空隙率である。

3. 計算条件

斜面勾配 θ は 1/10 の一様勾配とし、沖側端水深 dt は 5 m とした(図-1)。作用波は、周期 $T=8.5$ s、沖波波高 $H_0=3.0$ m とした。小砂利(fine gravel)・粗砂・細砂で構成される砂浜を想定し、それぞれ粒径 $d=2.5$ mm、0.7 mm、0.2 mm で与えた。空隙率 n は 0.4 と一定とした。それぞれに対する透水係数 K は Hazen の公式より 4.0 cm/s、0.73 cm/s、0.06 cm/s とした。底面摩擦係数は本来粒径に依存するが、ここでは簡単に $f=0.01$ で与えた。数値計算における岸沖方向の分割長 Δx は 0.5 m、時間刻みは一周期の 4000 分の 1、すなわち $\Delta t=2.125 \times 10^{-3}$ s である。没水・干出を判定する水深のしきい値 δ は 1 cm とした。

沖側端で与えられた水位変動が斜面上を伝播し、斜面上の波動運動が定常に達するのに 5~10 周期程度の経過時間が必要であることが確かめられた。特に粒径の粗い条件では浸透流が定常に達するのに時間を要することがわかった。以下の計算結果の比較においては 10 周期経過後の 3 波について示す。

4. 浸透斜面上の遡上波運動の数値解析結果

図-2 は静水時汀線より 1.2 m 岸側の地点における水位変動 η 、水平流速 u 、浸透斜面

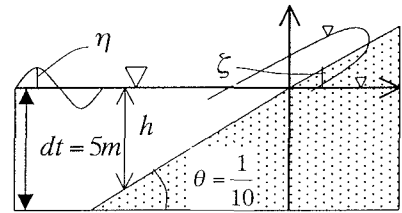


図-1

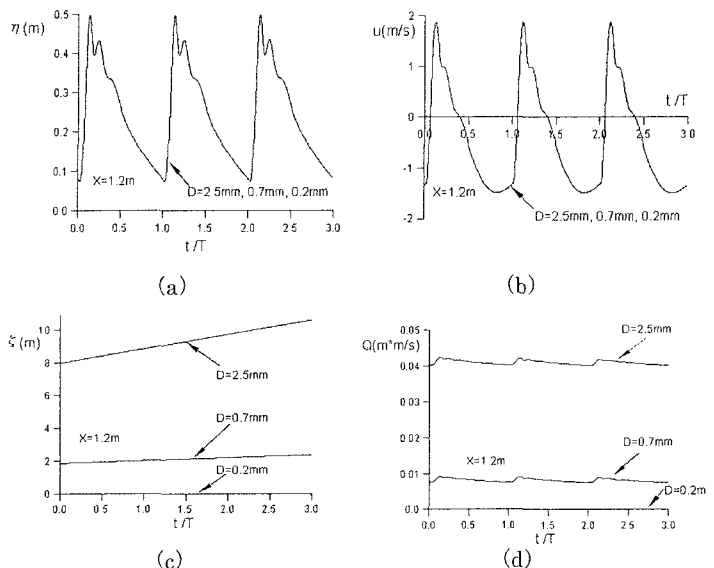


図-2

から下向きに測った浸透水位 η 、浸透流量 Q の時間変化を示したものである。図-2(a)より、この地点では波の全位相にわたって斜面の干出は起こらない。非線形性のために遡上時にはきわめて急峻な立ち上がりを持った波形となっている。これらの特性は、図-2(b)の水平流速 u の波形にも見られる。なお、図-2(a),(b)とも粒径 d による結果の相違はほとんど見られない。このことは、砂層

内への浸透が砂層上の流れにほとんど影響を与えないことを意味する。図-2(c)では η は時間とともにほぼ線形的に位置を下げていくことがわかる。 η 位置の時間変動から浸透速度を逆算すると、 $d=2.5\text{mm}$ の小砂利で約 7.8cm/s 、 $d=0.7\text{mm}$ の粗砂で約 0.8cm/s となる。図-2(d)の浸透流量も、遡上波の峰の通過時に小さなピークを有した後減速するが、波の位相を通じて大きな変動は見られない。すなわち、砂層地盤

上の水位の大きな変動に比して、浸透流の変動はきわめて小さいことが明らかになった。

図-3(a),(b)は、さらに岸側の $x=1.6\text{m}$ の η と Q の結果であり、岸側に行くほど遡上波は到達する位相区間は短くなる。それとともに、 η および流速波形 u の立ち上がりは急になる。この場合にも粒径 d すなわち浸透による影響はわずかで図中の曲線はすべて重なった形となる。図-3(b)を見ると短時間だけ没水する場合も、全位相区間を通じて没水する場合と浸透流量はほとんど変わらないことがわかる。

図-4は、遡上域の岸沖位置をパラメータとして η と u の時間波形を示したものである。遡上波の先端付近に近づくにつれて、干出する位相区間は長くなるが、全体としての波形の特性は大きな相違は見られない。

5. 浸透を考慮した斜面上の漂砂量の計算結果

一様勾配斜面上に置かれた単一砂粒子に作用する流体力として、浸透流による抗力を含めた場合の移動限界シーلز数 Ψ_c は次式となる。

$$\Psi_c = \frac{4}{3} \left\{ 1 - \frac{1}{\tan \phi} \sin \theta \right\} \frac{e_c^{-2}}{\left[\frac{C_D}{\tan \phi} + C_L - C_D \left(\frac{w_b}{u} \right)^2 \right]} \quad (4)$$

ただし、 ϕ は砂の内部摩擦角、 $P_1 = (w_b/u)^2$ 、 $e_c = u/u_c = 1/\sqrt{f/2}$ である。上式から、砂地盤に浸透する場合($p_1 > 0$)には分母が減少し Ψ_c が大きくなり、滲出する場合には分母が増大し Ψ_c が小さくなるが、図-2(b),(d)で示したように、 w_b/u の比は、 $d=2.5\text{mm}$ の場合でも 0.07 程度であり、これを2乗した P_1 はさらに小さい。Kobayashi(1982)の掃流砂モデルによって漂砂量 Q_s/wd (w は砂粒子の沈降速度)を計算すると、図-5のようになる。前述した P_1 の大きさから考えると、浸透の漂砂量に及ぼす効果はほとんど無いことになる。しかし、遡上波が斜面をうち下がる時のきわめて流速の大きな薄層流が砂層地盤内に浸透して無くなることなど、現時点で考慮されていない浸透の影響があることが予想され、現在解析を急いでいる。

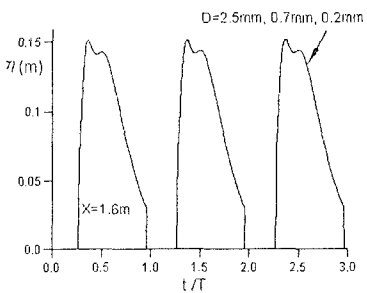


図-3 (a)

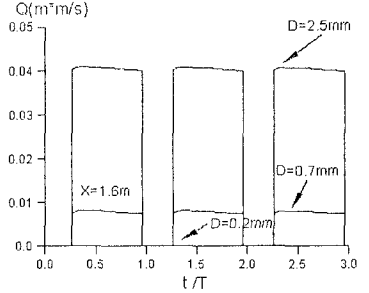


図-3 (b)

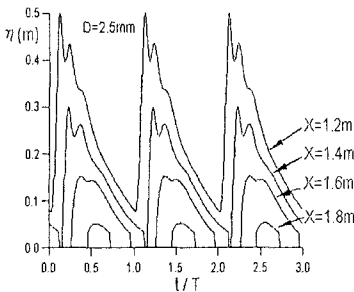


図-4 (a)

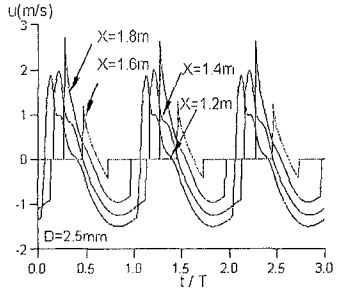


図-4 (b)

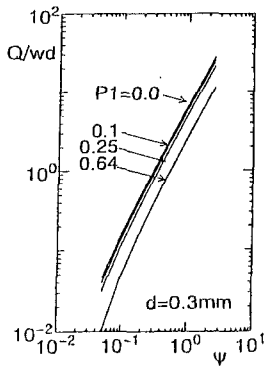


図-5