

大阪大学 学生員 ○澤田 崇博
 大阪大学大学院 学生員 浅川 敬之
 大阪大学大学 正会員、 出口 一郎

1. はじめに Swash zone における漂砂移動を解析するには、漂砂に影響を及ぼす流体運動を把握する必要がある。Swash zone での流体運動を表わす方法として、ここでは水粒子を追跡し、任意の時刻での水粒子運動を求めることができる Lagrange 型で表現された連続式と運動方程式を用いる。Lagrange 型の基礎方程式に、摂動展開を用い、規則波での 1 次近似解が導かれている。本研究では、不規則波の遡上を解析的に求める第 1 歩として、2 成分波の遡上に対する適用性について検討する。

2. 2 成分波の 1 次近似解

(1) 3 次元波動場を Lagrange 座標系で考える。粘性、底部摩擦による影響は無視する。初期時刻 $t=t_0$ に (a,b,c) にある水粒子は、時刻 $t=t$ には、 (x,y,z) にある。水粒子が受ける圧力を p とする。

Lagrange 表記された連続式、運動方程式を、水平方向、鉛直方向の代表長 l, d で無次元化し、 $d/K < 1$ として摂動展開する。

傾斜海浜上での 1 次近似解は、式(1)~(4)で表される。ただし、図 1 のような座標で考える。

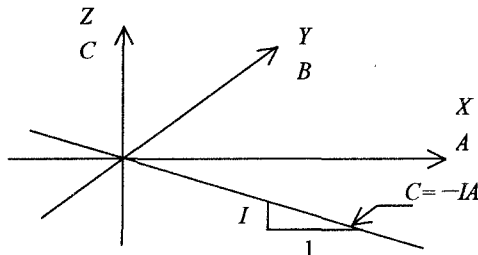


図 1. 座標軸(無次元量)

$$X_1 = \frac{1}{\sigma^2} \frac{\partial \eta}{\partial A} \quad (1)$$

$$Y_1 = \frac{1}{\sigma^2} \frac{\partial \eta}{\partial B} \quad (2)$$

$$Z_1 = -\frac{C+IA}{\sigma^2} \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial A^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial B^2} \right) - \frac{I}{\sigma^2} \frac{\partial \eta}{\partial A} \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{C}{\sigma^2} \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial A^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial B^2} \right) \quad (4)$$

・ 2 次元傾斜海浜では

$$\eta = \left\{ c_1 BesselJ[0, 2A \sqrt{\frac{\sigma^2}{I}}] \right\} \times e^{-i\sigma t} \quad (5)$$

・ 3 次元傾斜海浜では

$$\eta = \left\{ c_2 Hypergeometric1F1\left(\frac{1}{2} - \frac{\sigma^2}{2In}, 1, 2An\right) \right\} \times (c_3 e^{inB} + c_4 e^{-inB}) e^{-i\sigma t} \quad (6)$$

ただし、 n は沿岸方向の波数、 σ は角周波数である。 $c_1 \sim c_4$ は未定係数で、 $BesselJ$ は第 1 種 $Bessel$ 関数、 $Hypergeometric$ は超幾何関数である。

(2) 2 成分波の 1 次近似解

2 成分波の 1 次近似解を式(7)に示す。

$$\left. \begin{aligned} X &= A + \delta(k_1 X_1^i + k_2 X_1^{ii}) \\ Y &= B + \delta(k_1 Y_1^i + k_2 Y_1^{ii}) \\ Z &= C + \delta(k_1 Z_1^i + k_2 Z_1^{ii}) \\ P &= P_0 + \delta(k_1 P_1^i + k_2 P_1^{ii}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ただし、周期 T_p^i, T_p^{ii} による規則波の 1 次近似解を $(X_1^i, Y_1^i, Z_1^i, P_1^i), (X_1^{ii}, Y_1^{ii}, Z_1^{ii}, P_1^{ii})$ としている。また、 k_1, k_2 は、振幅に関する係数である。

3. 実験

(1) 2 次元傾斜海浜上での実験

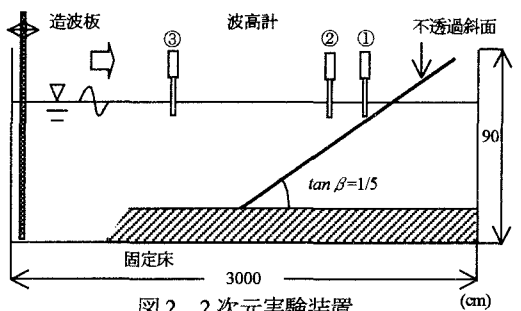


図 2. 2 次元実験装置

実験では、図 2 のような不透水性の傾斜海浜を有する 2 次元実験装置を用いる。①~②の波高計で、斜面上での波高を測定し、③の波高計で、沖での

波高を測定した。汀線、水粒子の岸沖変位を調べるため、ビデオ撮影した。

実験条件は、 $T_p^i=1.0(s)$, $T_p^{\#}=1.2(s)$, $\tan \beta=1/5$, $h=31.4(cm)$, $c_1^i=c_1^{\#}=56.14$, $k_2/k_1=1.053$ である。

図3は、実験及び解析で得られた水粒子の岸沖変位を表す。ただし、汀線の時間変動に関して、図の重複を避けるため岸側に10cmずらした。

沖での水粒子の変動は、解析によって、正確に再現される。実験による汀線の時間変動は、流下時には尖り、遡上時には平らになる。1次近似解による解析では、汀線における時間変動は、正弦曲線の重ね合わせとして表される。そのため、時間波形を正確に再現することができない。遡上と流下高さに関しては、実験と解析は、ほぼ一致する。

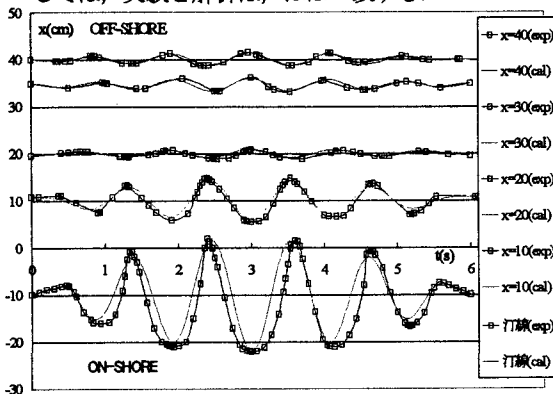


図3. 水粒子の岸沖変位

(1) 3次元傾斜海浜上での実験

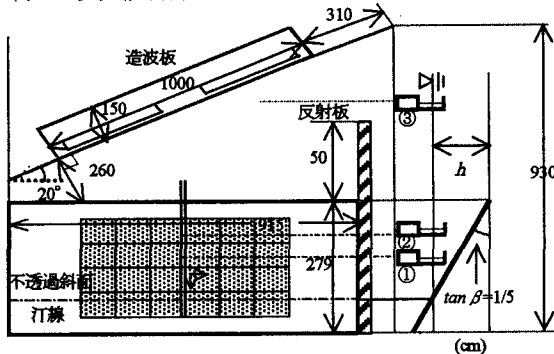


図4. 3次元実験装置

3次元実験では、図4のような勾配1/5の不透過性の傾斜海浜を有する実験装置を用いる。①～②の波高計で、斜面上での波高を測定し、③の波高計で、沖での波高を測定した。水粒子の運動を調べるため、ビデオ撮影をした。

沿岸方向に重複する波動に関して、汀線の時間変

動を図5に示す。実験条件は、 $T_p^i=1.0(s)$, $T_p^{\#}=1.2(s)$, $\tan \beta=1/5$, $h=31.4(cm)$, $c_2^i=c_2^{\#}=20.79$, $c_3=1$, $\alpha=0.942$, $k_2/k_1=1.303$ である。

図5は、沿岸方向に重複する2成分波における汀線の変動を示す。遡上距離について、実験と解析は、ほぼ一致している。これに対して、流下距離は、実験よりも解析がやや大きい。これは、解析では、1次近似解を用いているため、set-upによる平均水位上昇を考慮できないためである。

解析と比べて、実験では、遡上時の波形は平坦になり、流下時の波形は尖る。この現象は、振幅が大きい時に、より明確になる。長波領域における波速は、水深に比例する。したがって、振幅が大きく、完全水深の大きい波動では、遡上にしたがって波速の減少が顕著になるためである、と考えられる。

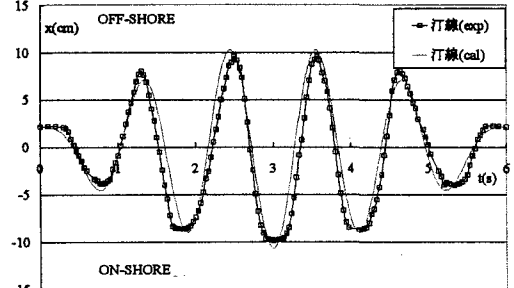


図5. 沿岸方向に重複する2成分波の汀線変動

図6は、沿岸方向に重複する2成分波における水粒子運動を表す。実験では、質量輸送の影響のため、水粒子は閉じた運動をしない。図中の解析では、実験によって得られた水粒子の1周期平均流速の影響を付加している。

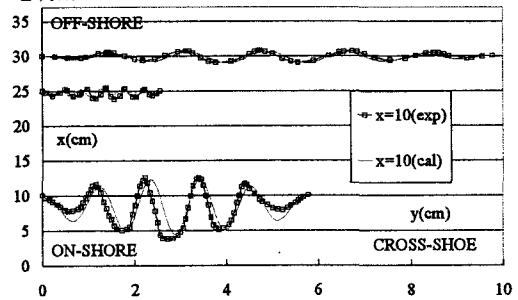


図6. 沿岸方向に重複する2成分波における水粒子運動

4. 結論

遡上、流下距離とも、実験と解析は、ほぼ一致する。時間波形も、ほぼ正確に再現できる。2成分波を1次近似解の重ね合わせで再現できる。