II －45

Shear Wave 上の海浜流

八戸工業大学 正○佐々木幹夫　日本大学 正 藤田 豊　オレゴン州立大学 W.G. McDougal

1．本研究では shear wave が発生している海浜で離岸流を伴う海浜流が発生している場合を扱う。Shear Wave は Oltman-Shay, Howd & Birkemeir (1989)が最初に発見したとされている。この波は周波数がおおよそ0．01Hz 程度であり、エッジ波より短い波長で、沿岸方向に走っている重力に無関係な波である。このような低周波成分の変動は日本の研究者による実測データにも見られるが、沿岸方向に走る波として捉えられるまでには至っていないだけのように思える。

2.長中期振動流中の海浜流

近年、沿岸流が長期的な変動をしており、その振動流は重力に関係ないことが明らかにされている。そこで、このような振動流に海浜流が重なった波と流れの場を考える。この長周期の変動を繰り返している流れを shear wave と呼んでいる。流れの場は、3つの変動成分が重なっている。この、shear wave に風波が重なり、それに海浜流が重なっている。基礎方程式は次のように書ける。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial (h+\eta) u_i}{\partial x_i}=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_j\frac{\partial u_i}{\partial x_j}=-g\frac{\partial \eta}{\partial x_i}-\frac{\partial S_{ij}}{\rho(h+\eta)\partial x_j}+\frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j}-B_i \qquad (2)$$

ここに、h：水深、η：水位上昇高、S ij: rdiation stress, Rij: 水平混合 、Bi:底面摩擦。

3．多重尺度法により得られる新たな海浜流支配方程式とその解

海浜流と shear wave の代表的な長さと時間を次ぎようにとる。

Shear wave:長さ＝L1　時間＝T1　海浜流：長さ＝L2　時間＝T2

これらより、微小なパラメータ ε を次のように取れる。

$$\varepsilon=\frac{T_2}{T_1}\approx\frac{L_2}{L_1}\langle\langle 1 \qquad (3)$$

よって、変数は以下のように取れる。

$$\left.\begin{aligned}&t=t_1+\varepsilon t_2 \qquad x=x_1+\varepsilon x_2\\&\frac{\partial}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial t_1}+\varepsilon\frac{\partial}{\partial t_2} \qquad \frac{\partial}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_{1i}}+\varepsilon\frac{\partial}{\partial x_{2i}} \qquad \frac{\partial^2}{\partial x_i^{\,2}}=\frac{\partial^2}{\partial x_{1i}^{\,2}}+\varepsilon\frac{\partial^2}{\partial x_{2i}^{\,2}}\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

式（4）より、次の支配方程式が得られた。

$$\frac{\partial \eta_1}{\partial t_1}+\frac{\partial (h+\eta_o)u_{1i}}{\partial x_{1i}}+\varepsilon\left(\frac{\partial \eta_2}{\partial t_2}+\frac{\partial \{(h+\eta_o)u_{2i}\}}{\partial x_{2i}}\right)=0 \qquad (5)$$

$$\frac{\partial u_{i1}}{\partial t_1}+g\frac{\partial \eta_1}{\partial x_{i1}}+\frac{\partial S_{1ij}}{\rho(h+\eta_o)\partial x_{1j}}-\frac{\partial R_{1ij}}{\partial x_{1j}}+B_{1i}+$$
$$\varepsilon\left\{\frac{\partial u_{i2}}{\partial t_2}+g\frac{\partial \eta_2}{\partial x_{2i}}+\frac{\partial S_{2ij}}{\rho(h+\eta_o)\partial x_{2j}}-\frac{\partial R_{2ij}}{\partial x_{2j}}+B_{2i}\right\}=0 \qquad (6)$$

よって、shear wave 上の沿岸流の支配方程式として次式が得られた。

$$\frac{\partial \eta_1}{\partial t_1}+\frac{\partial (h+\eta_o)u_{1i}}{\partial x_{1i}}=0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial u_{i1}}{\partial t_1}+g\frac{\partial \eta_1}{\partial x_{1i}}+\frac{\partial S_{1ij}}{\rho(h+\eta_o)\partial x_{1j}}-\frac{\partial R_{1ij}}{\partial x_{1j}}+B_{1i}=0 \tag{8}$$

η_1 を消去すると沿岸流の支配方程式として次式が得られる。

$$\left[-\frac{\partial^2}{\partial t_1^{\,2}}+g\frac{\partial^2}{\partial x_{12}}(d)+\frac{\partial}{\partial x_{11}}(\mu\frac{\partial}{\partial x_{11}})\frac{\partial}{\partial t_1}+\frac{\partial}{\partial x_{12}}(2\mu\frac{\partial}{\partial x_{12}})\frac{\partial}{\partial t_1}+B_f\frac{\partial}{\partial t_1}\right](v_{12})=0 \tag{9}$$

この解は次式で与えられる。

$$v_{12}=A\left(x_{11}\right)e^{-ik_{12}x_{12}}e^{-i\omega t_1} \tag{10}$$

shear wave 上の海浜流も同様に次式による表される。

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t_2}+\frac{\partial \left\{\left(h+\eta_o\right)u_{2i}\right\}}{\partial x_{2i}}=0 \tag{11}$$

$$\frac{\partial u_{i2}}{\partial t_2}+g\frac{\partial \eta_2}{\partial x_{2i}}+\frac{\partial S_{2ij}}{\rho(h+\eta_o)\partial x_{2j}}-\frac{\partial R_{2ij}}{\partial x_{2j}}+B_{2i}=0 \tag{12}$$

水位上昇量 η_2 を消去すると海浜流の沿岸成分と沖成分の方程式が得られる。

$$L_{31}(u_{21})=0 \qquad L_{32}(u_{22})=0 \tag{13}$$

ここに、L_{31} および L_{32} は時間に関しては２階、空間に関しては４階に微分作用素である。解は次式のように与えられる。

$$u_{2i}=A(x_{21})e^{-ik_2x_{22}}e^{-ip_2t_2} \tag{14}$$

式（１４）を式（１３）に代入した場合、関数Ａ（x_{21}）を近似関数にすると、k_1、p_1 が不安定理論に基づき議論できるが、k_1、p_1 をパラメターとして関数Ａを微分方程式から決めることもできる。

４．おわりに

Shear waves と海浜流が重なっている波と流れの場の検討を行い、多重尺度法を用いて新たな支配方程式を導いた。海浜流については、流れの沿岸成分と沖成分の流速それぞれの微分方程式を導いてみた。解は不安定理論に基づき、微小かく乱の増幅率を調べることにより流れのパターンを分類化できるものと考える。

参考文献

Oltman-Shay, J., Howd, P., A. & Birkemeir, W. A. 1989 Shear instabilities of the mean longshore currents, 2. Field data. J. Geophys. Res. 94, 18 031-18042.

Allen,J. S., Newberger P. A. & Holman R. A. 1996 Nonlinear shear instabilities of alongshore currents on plane beaches. J. Fluid Mech. 310, 181-213.

Falk Feddersen 1998 Weakly nonlinear shear waves. J. Fluid Mech. 372, 71-91.