強風による湾奥海岸域の水位と底層の流れについて

鹿児島大学工学部海洋土木工学科　正会員　佐藤道郎
鹿児島大学工学部海洋土木工学科　　　　　宮脇一洋

まえがき

台風の通過時の高波浪により短時間に大規模な海浜の決壊が生じることがある。また、通常は波が届かないようなところまで爪痕を残すことがあり、強風がどんな役割を果たしているかよく把握しておく必要があるということで、漂砂の卓越する領域の流れが風の作用下でどんな影響を受けるか風洞水槽で実験的に調べ、昨年報告した。それによると海風が吹く場合に風によって水面に生じる岸向きの吹送流を補償する流れが中層から底層に生じ、サーフゾーンの沖側にもアンダートウと同程度の強さを有する沖向き流れが見られた。こういった流れが漂砂にかなり影響することが考えられる。このような底層の流れは実験室の2次元水路でばかりに見られるというものではなく、一般の海岸でも海風で生じるであろう。さらに、湾のようにある程度閉塞された海域ではさまざまな方向からの風によって補償流としての底層の流れが複雑に漂砂に効いてくることが考えられる。

鹿児島県の志布志湾は矩形状の湾であるが、その湾奥のおおよそ南北に伸びる海岸の南端部には肝属川がある。こういった端部に流出した土砂は海岸に沿って運ばれ海浜を養うことはないのだろうか、あるとすれば何が運ぶのだろうか、といったことや、また、このあたりの柏原海岸では1990年以来、海岸決壊が繰り返し生じており、その実態を調べていくと土砂が北向きに移動しているという話しもあり、何が運んでいるのだろうかといった疑問が生じ、風との関連も検討してみることとした。

これは筆者らの実験室ではできないので、計算で何とかしてみようということで始めたものである。

計算の概要

風による水位や流れの計算モデルは深さ方向に平均した量に基づくものから、三次元の計算まで計算モデルがある。漂砂に特に関連する底層付近の流れを知るためには三次元モデルが良いとも思われるが計算の負担を考えるともっと簡単な扱いで取り敢えず概要を掴みたいということから、深さ方向の流速分布を仮定し、それを平均化した平均流の平面的な分布を数値的に解く、準三次元的ともいうべき計算モデルで計算をすることとし、Koutitas and Koutita(1986)による計算モデルを用いた。その概要はつぎのようである。次の運動量方程式と連続式を基本式とする。記号は通常用いられる通りで、説明は略す。

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial \xi}{\partial x}+fv+\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu\frac{\partial u}{\partial z}\right)\qquad \frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial \xi}{\partial y}-fu+\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu\frac{\partial v}{\partial z}\right)\qquad \frac{\partial \xi}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\int_{-h}^{\xi}u\,dz+\frac{\partial}{\partial y}\int_{-h}^{\xi}v\,dz=0$$

吹送流は次のように深さｚの２次式で表される分布を持つものとする。

$$\vec{u}=\left(\frac{3\vec{a}}{4}-\frac{3\vec{U}}{2}\right)\left\{\left(\frac{z}{h}\right)-1\right\}+\vec{a}\left(\frac{z}{h}+1\right)\qquad ここで,\ \vec{a}=\frac{h\vec{\tau}_s}{\rho\nu_s}$$

底面でのせん断力は，$\vec{u}$ と $\dfrac{\vec{\tau}_s}{\rho}$ より，$\dfrac{\vec{\tau}_b}{\rho}=\nu_b\left.\dfrac{\partial\vec{u}}{\partial z}\right|_{z=-h}=\nu_b\left(\dfrac{3\vec{U}}{h}-\dfrac{\vec{a}}{2h}\right)$

渦動粘性係数を一定とすると，定常流の放物状の速度分布と一致し，

$$\bar{\nu} = \nu_s = \nu_b = \lambda h \sqrt{\frac{|\tau_s|}{\rho}}$$

乱流モデルと測定より，$0(\lambda) = 0.1$ であり，また $\lambda = 0.06$ とすると，

$$\frac{\vec{\tau}_b}{\rho} = 0.18\sqrt{\frac{|\tau_s|}{\rho}}\vec{U} - 0.5\frac{\vec{\tau}_s}{\rho} \qquad \vec{a} = 16.6\sqrt{\frac{|\tau_s|}{\rho}}\left(\frac{\tau_{sx}}{|\tau_s|}\vec{i} + \frac{\tau_{sy}}{|\tau_s|}\vec{j}\right)$$

となる。

u を水深で平均すると，移流項は例えば

$$\frac{1}{h}\int u\frac{\partial u}{\partial x}dz = \vec{U}\frac{\partial \vec{U}}{\partial x} + \left(0.2\vec{U} + \frac{\vec{a}}{40}\right)\frac{\partial \vec{U}}{\partial x}$$

といった具合になる。そこで、これを基本式に代入すると，

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} + \left(0.2U + \frac{a_x}{40}\right)\frac{\partial U}{\partial x} + \left(0.2V + \frac{a_y}{40}\right)\frac{\partial U}{\partial y} = -g\frac{\partial \xi}{\partial x} + fV + \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \left[0.18\frac{U}{h}\sqrt{\frac{\tau_s}{\rho}} - 0.5\frac{\tau_{sx}}{\rho h}\right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} + \left(0.2U + \frac{a_x}{40}\right)\frac{\partial V}{\partial x} + \left(0.2V + \frac{a_y}{40}\right)\frac{\partial V}{\partial y} = -g\frac{\partial \xi}{\partial y} - fU + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \left[0.18\frac{V}{h}\sqrt{\frac{\tau_s}{\rho}} - 0.5\frac{\tau_{sy}}{\rho h}\right]$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uh) + \frac{\partial}{\partial y}(Vh) = 0$$

上の３式を変形すると，

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -g\frac{\partial \xi}{\partial x} + fV - \left(1.2U + \frac{a_x}{40}\right)\frac{\partial U}{\partial x} - \left(1.2V + \frac{a_y}{40}\right)\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{3}{2}\frac{\tau_{sx}}{\rho h} - 0.18\frac{U}{h}\sqrt{\frac{\tau_s}{\rho}}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -g\frac{\partial \xi}{\partial y} - fU - \left(1.2U + \frac{a_x}{40}\right)\frac{\partial V}{\partial x} - \left(1.2V + \frac{a_y}{40}\right)\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{3}{2}\frac{\tau_{sy}}{\rho h} - 0.18\frac{V}{h}\sqrt{\frac{\tau_s}{\rho}}$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(Uh) - \frac{\partial}{\partial y}(Vh)$$

これを数値的に解いて平面的に水深方向に平均した流れの分布を得、各点での吹送流の鉛直分布は先述の分布式から求めることになる。数値計算は，Staggered grid を用い，空間的には中央差分で、また、水位と速度成分は時間刻みを半分ずらし、前進差分で計算する。

初期条件は，U, V, ξ とも０とする。境界条件としては、境界線に対して直角方向の流速成分は０，湾口部では $U_n h = \int_{-h}^{\xi} u_n dz = \xi\sqrt{gh}$ により与えられる。

表面でのせん断力は風の影響を受けており，

$$\frac{\tau_{sx}}{\rho} = KW_x\sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \qquad \frac{\tau_{sy}}{\rho} = KW_y\sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$K = 1.1\times10^{-6} \qquad W < 7.0$$

$$= 1.1\times10^{-6} + 2.5\times10^{-6}\left(1 - \frac{7.0}{W}\right)^2 \qquad W > 7.0$$

Van Dorn の式

を用いた。

あとがき

現在、簡単な条件でプログラムのテストを行っている段階で、結果については講演時に報告したい。

参考文献

Christopher Koutitas and Maria Gousidou-Coutita(1986) : A comparative study of the three mathematical models for wind-generated circulation in coastal area, Coastal Engineering, 10, pp. 127-138