

## 地下水滲出による前浜の砂流失に関する一考察

鹿児島大学工学部 正会員 佐藤道郎

鹿児島大学大学院 学生員 ○浦上博行

鹿児島大学工学部 西原克夫

## 1. まえがき

鹿児島湾内のような内湾における侵食性の海浜に、その保全のために養浜しても砂が定着せず流失することがある。指宿の摺ケ浜や鹿児島市の磯海水浴場がその例である。養浜材料の選定の不適切ということもあろうが、一つの原因に砂浜の内部における地下水位が平均的に高くなっていることが考えられる。摺ケ浜では温泉水の存在により、また、磯海水浴場では背後にすぐ山がせまっているという地形的な事情によるものである。したがって干潮時には海側と砂浜内部にかなりの水位差が生じて、water table が前浜斜面と交わるあたりから下で砂浜からじみ出した水によって形成される表面流により前浜の砂が流されるようになる。これは決して大量の砂が一気に流されるというものでもなく、ある程度の波があると満潮時に再び戻ることになり、このプロセスは既に Dunc an (1964) に示されている。しかし、内湾の波の穏やかなところでは戻りがなく流されるばかりという状態に近くなることがある。このような場合の滲出水による砂の流失について、どのような条件下で問題になり得るかといった点を明らかにすべく検討を行なつてきている。本文では、その第一歩として地下水の滲出によってどんな表面流が形成されるかという点に関して、表面流の基礎式について考察する。

## 2. 滲出水による表面流の理論

流れの流下方向に X、砂浜表面内で X に直角に Y、表面に垂直に Z をとる。また、 $(X_1, X_2, X_3) = (X, Y, Z)$  の表記も併用する。定常流を考え、非圧縮性流体のレイノルズ方程式の各々に  $X_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) を乗じて変形したのち、辺々を加えると、

$$(1) U_i \frac{\partial}{\partial X_i} \left( \frac{\rho}{2} U_{ij} + \rho \Omega + p \right) = U_i \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial X_j}$$

これを図の断面 I と II の区間について積分し、Gauss の定理を用い、さらに、一次元漸変流においてとられる仮定を用いると

$$(2) \iint_S E \cdot U_n dS = - \iiint_V (-\rho \bar{u} \bar{v}') \frac{d\bar{u}}{dz} dV$$

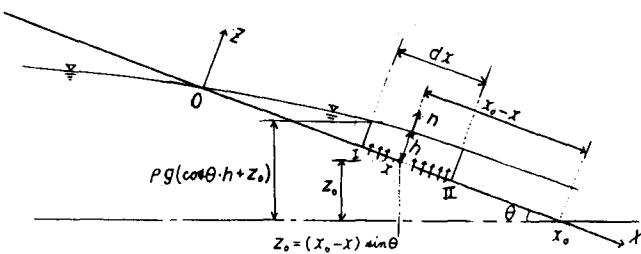
砂浜表面からの出速度を  $W_b$  とすると、上式の左辺は

$$(3) \int_0^{h_1} E \cdot \bar{U} dz - \int_0^{h_1} E \cdot \bar{U} dz - E_b \cdot W_b dx$$

と表わされ、一方、右辺は

$$(4) \iiint_V (-\rho \bar{u} \bar{w}') \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dV = \int_x^{x+dx} \left[ \iiint_A (-\rho \bar{u} \bar{w}') \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dA \right] dx \\ = dx \left[ \iint_A (-\rho \bar{u} \bar{w}') \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dA \right]_{x+\theta dx} \quad (0 < \theta < 1)$$

流れの深さは幅に比べて小さく、単位幅について考えることとし、(3), (4) を (2) へ代入して両辺を  $dx$  で割つて、 $dx \rightarrow 0$  とすると



$$(5) \frac{d}{dx} \int_0^h E \cdot \bar{u} dz = E_b \cdot w_b - \int_0^h (-\rho \bar{u}' \bar{w}') \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dz$$

図より、 $\Omega = g \{ \sin \theta (x_0 - x) + \cos \theta \cdot z \} = g (z_0 + \cos \theta \cdot z)$  ただし  $z_0 = (x_0 - x) \sin \theta$

また、 $p = \rho g \cos \theta \cdot (h - z)$  より

$$(6) E_b \cdot w_b = \rho g (\cos \theta \cdot h + z_0) w_b$$

左辺は

$$\begin{aligned} (7) \frac{d}{dx} \int_0^h E \cdot \bar{u} dz &= \frac{d}{dx} \int_0^h \left\{ \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 + \rho g (\cos \theta \cdot z + z_0) + \bar{p} \right\} \bar{u} dz \\ &= \frac{d}{dx} \left[ \frac{\rho}{2} \int_0^h \bar{u}^3 dz + \rho g (\cos \theta \cdot h + z_0) \int_0^h \bar{u} dz \right] \\ &= \frac{d}{dx} \left[ \alpha \frac{\rho}{2} q v^2 + \rho g (\cos \theta \cdot h + z_0) \right] \end{aligned}$$

ここに、

$$q = \int_0^h \bar{u} dz = Vh, \quad \alpha = \frac{1}{q v^2} \int_0^h \bar{u}^3 dz \quad (\text{エネルギー補正係数})$$

また、 $h_r$  を損失水頭とすると、

$$(8) \frac{d h_r}{dx} = \frac{1}{\rho g q} \int_0^h (-\rho \bar{u}' \bar{w}') \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dz = f' \frac{1}{h} \frac{V^2}{2g}$$

とおくと、結局、(5) 式は次となる。

$$(9) \frac{d}{dx} \left( \frac{\alpha V^2}{2g} + H \right) = \frac{H w_b}{q} - f' \frac{1}{h} \frac{V^2}{2g} \quad \text{ただし } H = \cos \theta \cdot h + z_0$$

これから表面流は流下とともに、 $\rho g H w_b$  のエネルギー（水頭では  $H w_b / g$ ）を獲得していくことがわかる。 $\alpha \neq 1$  として、不等流の式を求める場合と類似の変形により、水面形の方程式が次のように得られる。

$$(10) \frac{dh}{dx} = \frac{\sin \theta - \frac{f' g^2}{2g h^3} + \frac{H w_b}{q} - \frac{q w_b}{g h^2}}{\cos \theta - \frac{q^2}{g h^3}}$$

一方、連続の式から、

$$(11) \frac{dq}{dx} = w_b \quad \text{or} \quad q = \int_0^x w_b dx$$

いま、 $f'$  として Chezy のものを用いて  $f' = 2g/C^2$  とし、 $\cos \theta \approx 1$ 、 $\sin \theta \approx \tan \theta = i$  と近似すると、

$$(12) \frac{dh}{dx} = \frac{i - \frac{g^2}{C^2 h^3} + \frac{H w_b}{q} - \frac{q w_b}{g h^2}}{1 - \frac{q^2}{g h^3}}$$

よって、砂浜表面からの渗出速度  $w_b$  の分布が得られれば(11)より各点での  $q$  が求められ、(12)式を数値的に解いて  $h$  が得られ、 $V = q/h$  より平均流速が得されることになり、砂の動きを議論することが可能となる。しかし、現地では渗出量が一様でなく、表面流も流下するにつれ枝分れして拡がり、合流していくといった複雑な様相を呈しており、この効果をさらに考慮していく必要がある。さらに検討した結果などについて講演時に述べたい。