

1. 序 我が国では、湖内での湖岸侵食や砂嘴の形成に関する研究は活発ではない。この理由は、湖の大きさが小さいため、風波による漂砂および地形変化が小さな量であって、工学上大きな災害とはなりにくいたことが原因である。しかし実際に調べてみると、いくつかの湖では風波に起因する漂砂によって、特異な地形変化が生じている。地形変化自体は驚くにあたらないが、多くの場合、湖の波浪条件は外洋に面した海岸の条件と、模型実験のそれとの中間に位置することに注意すべきである。例えば、波高は外洋での数m、模型実験の数cmのオーダーに対して、数十cmのオーダーを有することが多い。本研究の目的は、このような中間的スケールを持った湖内での現象について検討することにある。

2. 研究の方向 湖内での特異な地形の例として、涸沼の砂嘴を示そう。図-1は、茨城県東部にある涸沼の地形図である。湖の西端近くには親沢鼻、弁天鼻という二つの砂嘴が存在する。この湖では東風が卓越するが、この風によって引き起こされた風波は汀線に沿って碎波する。砂嘴は、碎波によって生じた流れにより土砂が運搬され、堆積して出来たもの、と筆者は推測する。この種の問題に関連して、Zenkovich¹⁾は細長い湖がいくつかの円形状の湖へと変化して行く過程を定性的意味より論じた。図-2は、Zenkovichの図を参照したものであるが、湖岸に小さな突起があると、そこで漂砂量の場所的不均衡が生ずるため、それが砂嘴として発達してゆく状況を表わしている。とくに兩岸に1対の砂嘴が生ずる状況は、涸沼の砂嘴と良く似ていることに注意すべきである。本研究では、湖内における漂砂について検討することを最終目標とするが、ここではその第1歩として、まず漂砂を生じさせる海浜流について検討する。海岸付近の流れについてO'Rourke・Le Blond²⁾は半円形の湾内の海浜流循環を理論的に明らかにしたが、本研究では同様な手法を用いて円形湖の流れの機構について調べる。

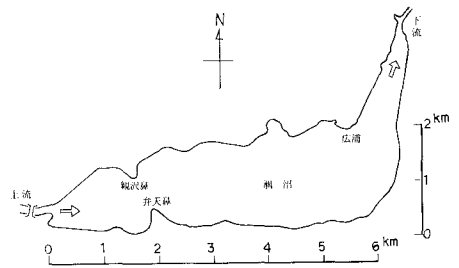


図-1 涸沼の地形図

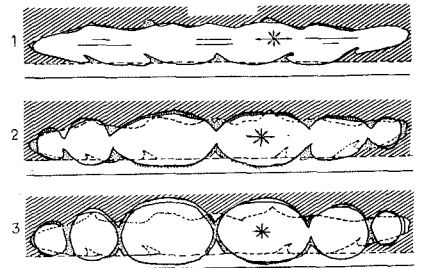


図-2 湖岸の変形過程

3. 円形湖における海浜流の解

図-3に示されるように、円形の湖にy軸方向より風が吹くときに発達する海浜流について解析する。座標は極座標系を用いる。 $r = r_s$ は汀線を、 $r = r_b$ は碎波線を示す。また図示されるように、碎波帯内の領域をA、碎波帯外の領域をBと呼ぶ。基本式の誘導については、文献²⁾に詳しいので省略するが、その概要は以下のとおりである。まず、線形化された運動量式と連続式とを用い、輸送流関数 Ψ を導入して Ψ に関する式を得る。碎波帯幅が湖の半径に比較して十分小さいと仮定したとき、 $\delta^2 = (r_s - r_b)^2 / r_s^2 \ll 1$ とおける。よって碎波帯内では r の代りに、 $s = (r_s - r) / (r_s - r_b)$ で定義される変数 s を用いることができる。以上の仮定のもとで、碎波帯内の基本式は式(1)となる。

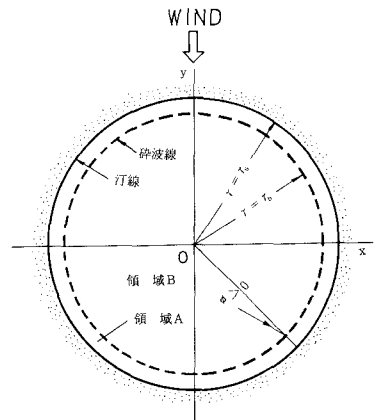


図-3 座標系

$$-\frac{2}{g r^2} \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial s} - \delta \right) \frac{f}{\rho d^2} \frac{\partial \Psi}{\partial s} \right\} = \frac{\partial}{\partial s} \left[\sin 2\phi \cdot \left(\frac{\partial}{\partial s} - 2\delta \right) d + 2\delta \cos 2\phi \frac{\partial d}{\partial \theta} - 3\delta d \sin 2\phi \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right] \quad (1)$$

ここに、 g は重力加速度、 f は摩擦係数、 r は波高水深比である。また ϕ は入射角であり、図-3 に示されるように汀線より湖心の O 点を見たとき反時計回りの方向より入射するとき正の符号を持つ。式(1)において水深 d を、 $d(s, \theta) = m(\theta) \cdot s$ とおき、 δ に関する摂動解を求めると一般解は、

$$\Psi_A = \frac{\pi r g^{\frac{1}{2}} m^{\frac{3}{2}}}{C d b^{\frac{1}{2}}} s^3 \left[-\frac{1}{6} m^{\frac{3}{2}} \cos \phi \sin \phi_b (1 - \delta s) - \frac{\delta}{7} \cos 2\phi d_b^{\frac{1}{2}} \frac{dm}{d\theta} \cdot s^{\frac{1}{2}} + \frac{3}{8} \delta m^{\frac{3}{2}} \sin \phi_b \cos \phi \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \cdot s \right] \quad (2)$$

となる。ここに、 C は底面摩擦係数であり、添字 b は碎波点における諸量を示す。解が満足すべき境界条件は次のとおり。

$$\Psi_A(0, \theta) = 0, \quad \Psi_A(1, \theta) = \Psi_B(r_b, \theta), \quad \Psi_B(r \ll r_b, \theta) = \Psi_\infty \quad (3)$$

解を求めるためには、 ϕ_b と $m(\theta)$ の分布形を仮定する必要がある。まず、碎波線に沿う入射角の分布については、 $\phi_b = -\phi_0 \cos \theta$ とおく。また、 $m(\theta)$ は碎波水深であるが、水深は波高と比例関係にあり、さらに波高は風下側ほど高いことを考慮して、 $m(\theta) = m_0(1 - p \sin \theta)$ のように仮定する。ただし ϕ_0 と p は 1 より十分小さい量とする。この結果、碎波帯内の輸送流関数の解は、

$$\Psi_A = \frac{\pi r g^{\frac{1}{2}} m^{\frac{5}{2}}}{C} s^3 \left[\frac{\phi_0}{6} \left(\cos \theta - \frac{5}{4} p \sin 2\theta \right) (1 - \delta s) + \frac{\delta}{7} p \cos \theta \cdot s^{\frac{1}{2}} - \frac{3}{16} \delta \phi_0^2 \sin 2\theta \cdot s \right] \quad (4)$$

となる。碎波帯外の解は、ラプラスの式を満足し、碎波線上で碎波帯内の解と一致することを考慮すると、式(5)のように得られる。

$$\Psi_B = \frac{\pi r g^{\frac{1}{2}} m^{\frac{5}{2}}}{C} \left(\frac{r}{r_b} \right) \left[\frac{\phi_0}{6} \left(\cos \theta - \frac{5}{4} p \sin 2\theta \right) \frac{r}{r_b} (1 - \delta) + \frac{\delta}{7} p \cos \theta - \frac{3}{16} \delta \phi_0^2 \sin 2\theta \cdot \frac{r}{r_b} \right] \quad (5)$$

4. 具体的計算例

具体例として溜沼を考える。溜沼の代表スケールは、図-1 を参照すると、東西方向に 6 km、南北方向に約 1.5 km である。風の主方向は東西方向であるために、代表半径として $r_b = 3000$ m と考える。碎波帯幅は 30 m と仮定する。このとき δ は 0.01 となる。 ϕ_0 と p については共に 0.3 と仮定する。さらに、解は両辺を $\pi r g^{\frac{1}{2}} m_b^{\frac{5}{2}} / C$ で割って無次元化された Ψ_{AB}^* を図示することにする。図-4 は Ψ_{AB}^* の分布である。解は y 軸に関して左右対称となるので、右半平面のみ図示した。また碎波帯は拡大して描かれている。湖岸に沿って波が斜め入射することによって、風下へ向けて沿岸流が発達する。この沿岸流は風下側で沖へ流出し、流れは全体として循環流れを形成する。この沿岸流によって、湖の風上より風下方向へと次第に土砂が運搬される。湖岸が一様で突出物がなければ、図-4 のように沿岸流は沿岸方向にはほぼ一様に発達する。もし小さな砂嘴があるとそこで沿岸流がしゃ断され、砂嘴の上手側では堆積が、下手側では侵食が生ずるのであろう。この結果、砂嘴の背後には波が益々到達しにくくなるので砂嘴は成長を続ける、と筆者は推測する。

参 考 文 献

- 1) Zenkovich, V. P. : On the genesis of cusped spits along lagoon shores, J. Geol., 67, pp. 269 ~ 277, 1959.
- 2) O' Rourke, J. C., and P. H. Le Blond : Longshore currents in a semicircular bay, Jour. Geophys. Res., Vol. 77, pp. 444 ~ 452, 1972.

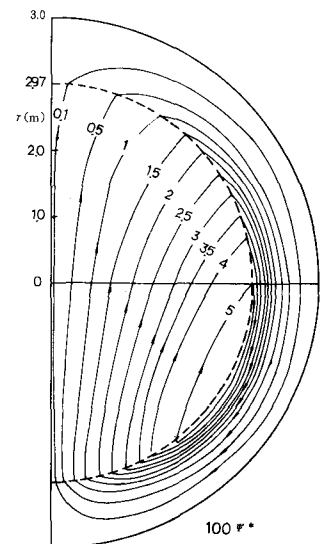


図-4 輸送流関数の分布