

II-546

波浪の前傾化が二枚貝の挙動に与える影響

水産庁 水産工学研究所 正会員 桑原 久実

1. はじめに 波浪により二枚貝が砂浜に打ち上げられ大量へい死することが問題となっている。水温、塩分の低下による貝の活力低下、貝の大量発生、波浪による影響などが考えられている¹⁾が、いずれも定性的な考察に留まっているのが現状のようである。二枚貝の自動力を無視し球状固体と仮定すると、波浪による二枚貝の挙動は、海岸工学の漂砂の研究で行われている単一粒子の挙動解析と同様な手法で求められる²⁾³⁾、⁴⁾、⁵⁾。本研究は、波浪による単一粒子の挙動を解析的に追跡する手法を用い、二枚貝の移動機構を解明しようとするものである。ここでは、波浪が浅海域に達した場合を想定し、波浪の前傾化(saw tooth wave)⁶⁾に伴う二枚貝の掃流移動について検討する。

2. 解析手法の概要 波浪による二枚貝の挙動は、流体力、海浜地形、二枚貝の形状などが影響し、転動、滑動、跳躍、浮遊が組合わさり複雑なものであろうが、ここでは、次の2種類の掃流移動モデルを考える。

(滑動モデル) 水平床上を滑動のみ生じる場合である。波浪による球状固体の滑動に関する運動方程式は、Basset項を無視し、球体が移動することにより生じる位相差 ϕ を考慮すると次式のようになる。

$$\frac{dX}{dt} = U(t) \quad (1)$$

$$\frac{dU}{dt} = A_1 |u(X, t, \phi) - U(t)| \{u(X, t, \phi) - U(t)\} + A_2 \frac{du(X, t, \phi)}{dt} - A_3 \quad (2)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{U(t)}{C} \quad (3)$$

ここに、

$$A_1 = \frac{3C_D}{4d(\rho_s/\rho_w + C_M)}, \quad A_2 = \frac{C_M + 1}{C_M + \rho_s/\rho_w}, \quad A_3 = \pm \frac{\mu_t g(\rho_s/\rho_w - 1)}{\rho_s/\rho_w + C_M} \quad (4)$$

u, U : lagrange的な水粒子、二枚貝の速度、 d : 球体の直径、 ρ_w, ρ_s : 水、球体の密度、 C_D : 抗力係数、 C_M : 質量力係数、 μ_t : 球体と床面の摩擦係数(μ_{ts} : 静止摩擦係数、 μ_{td} : 動摩擦係数)、 ϕ : 球体の位相遅れ、 C : 波の波速、 X : 球体の移動距離である。移動開始は、(2)式の右辺第1, 2項の抗力、質量力の和が第3項の抵抗力より大きくなる場合とし、移動停止は、球体の移動速度が0になる場合とする。また、停止状態では、 μ_t は μ_{ts} とし、一旦、移動を開始すると μ_{td} とする(但し $\mu_{ts} > \mu_{td}$)。(2)式の複号は、抗力、質量力の和が正ならば負に、負ならば正とする。

(転動モデル) 水平床上に接した状態で転動のみ生じる場合である。この場合、(4)式の定数は次式のようになる。

$$A_1 = \frac{3C_D}{4d(7\rho_s/5\rho_w + C_M)}, \quad A_2 = \frac{C_M + 1}{C_M + 7\rho_s/5\rho_w}, \quad A_3 = 0 \quad (5)$$

二枚貝に作用する底面水粒子速度 $u(t)$ は、波浪の前傾化を表現するため次式のsaw tooth waveモデルを用いている。 α_1 (前傾化度)は0から1の値をとり、 $\alpha_1 < 0.5$ では前傾化、 $\alpha_1 = 0.5$ では対称、 $\alpha_1 > 0.5$ では後傾化を示し、0または1に接近するほど傾度は増加する。

$$\frac{u(t)}{u_0} = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin\{2\pi n/T(t - \phi)\}, \quad a_n = \frac{2}{\pi^2 \alpha_1 (1 - \alpha_1) n^2} \quad (6)$$

ここに、 T : 周期、 u_0 : 底面水粒子速度の振幅($= \pi H/T \cdot \sinh(2\pi h/L)$)、 H : 波高、 L : 波長、 h : 水深)、 n : 項数
基礎式(1)~(3)は、(4)及び(5)の定数を用いRunge-Kutter-Gill法によって計算している。

3. 結果および考察 図-1は、波浪の前傾化に伴う滑動による球体の移動特性(一周期当たり)である。図-2は転動によるものである。それぞれの(a)は球体直径 d 、(b)は球体密度 ρ_w 、(c)は抗力係数 C_D 、(d)は質量力係数 C_M について示している。縦軸は球体の移動距離 X/H (正は岸向き、負は沖向き)、横軸は前傾化度 α_1 である。これらの図を作成するに当たり計算の基準にした物性値は、次のようである。

$H/L = 0.05$, $h/L = 0.15$, $d/H = 0.005$, $\rho_s/\rho_w = 1.6$, $C_D = 0.7$, $C_M = 0.5$, $\mu_{ts} = 0.5$, $\mu_{td} = 0.1$

図-1及び図-2から球体の移動状況を見ると、 α_1 が0に近づき波浪が前傾化するほど球体は岸向きに大きく移動することがわかる。また、その増加率は、転動の方が著しく大きく成っていることが認められる。既に筆者は、微小振幅波による二枚貝の挙動について同様な解析を行い、その結果、球体直径、密度が小さく、抗力係数が大きいほど岸向きに大きく移動することを見いだしている⁷⁾が、波が前後傾化すると種々の因子が複雑に影響し必ずしもこのように言えないことがわかる。

4. おわりに 二枚貝を球状固体と仮定して、波浪の前傾化に伴う二枚貝の挙動を検討した結果、浅海域に達し前傾化すればするほど、岸向きに大きく移動することがわかった。今後は、跳躍、浮遊を取り入れた挙動モデルを開発し、砕波帯内の波による二枚貝の挙動を明らかにしたいと考えている。

参考文献 1) たとえば、真岡東雄ら:コタマガイの砂浜への大量打ち上げ現象について、茨城水試研報, 24, pp.117-132, 1982. 2) Eagleson, P.S. and R.G. Dean: Wave-induced motion of bottom sediment particles, Trans. ASCE, Vol.126, Part 1, pp.221-250, 1961. 3) Martin, S.C. et al.: Rolling motion of a sphere on a plane boundary in oscillatory flow, J. Fluid Mech., Vol.76, pp.653-674, 1976. 4) 日野幹雄ら:波による砂粒子の運動と掃流砂量に関する研究, 第29回海岸工学論文集, pp.213-217, 1982. 5) 土屋義人・清水 潔:波による球状粒子の移動機構, 第29回海岸工学論文集, pp.233-237, 1982. 6) Hansen, J.B. and I.A. Svendsen: The cross shore motion over a barred profile, 2nd Int. Conf. Coast. Port Eng. of Developing Countries, Beijing, Vol.2, pp.1867-1879. 7) 桑原久実:波浪による二枚貝の挙動に関する解析的考察, 平成4年度日本水産工学会学術講演会(投稿中)

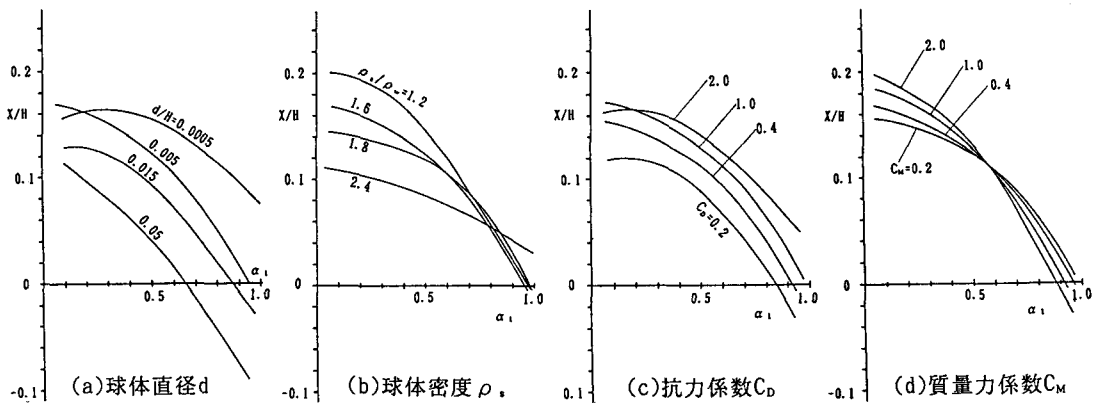


図-1 波浪の前傾化と球体の滑動の関係

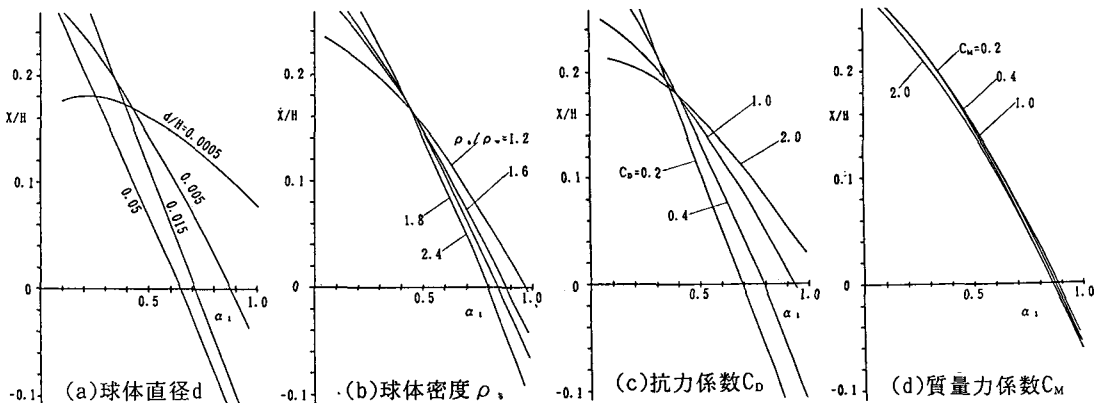


図-2 波浪の前傾化と球体の転動の関係