

II-88 波による底質の初期移動と砂れんの発生について

京都大学防災研究所 正員 岩 垣 雄 一
 京都大学工業教員養成所 正員 野 田 英 明
 広島建設株式会社 正員 井 保 武 寿

1. まえがき

海浜における底質の移動機構を解明する場合、波による底質の移動特性の一つとして、底質の移動限界や砂れんの発生限界に着目し、これまである程度の研究がなされてきた。底質の移動限界点は漂砂帯の境界線であり、海浜変形の基準点とも考えられる。砂れんの発生は海底の粗度や漂砂の移動にも密接な関連があり、その発生限界を知ることは大きな意味をもっている。著者らは波による砂の移動限界時の掃流力について理論的に考察し、実験を行なって両者の比較を試みた。さらに底質の移動限界に関連して、砂れんの発生限界についての実験を行ない、両限界の関連性を調べた。

2. 実験装置および実験方法

実験には幅50 cm、深さ55 cm、長さ70 mの鉄製で、一部観測窓と設けた水槽を使用した。一端にプランジャー式造波機をとりつけ、他端には波の反射を消すために約1/10の傾きの傾斜板が設置してある。また水路中央の底面3 mにあたり、70×54 cmの板で60の12切りを設け、その中に粒径の異なる砂および塩化ビニール粒子を3 cmの厚さに敷き、水深を30 cmとして、波高および周期を変化させて、底質の移動を開始したときおよび砂れんが発生したときの波高および周期を記録した。実験に用いた砂は粒径をそろえるため0.11 mmから25 mmのものより種類に筛分け、また塩化ビニール粒子(比重1.03)も0.3 mmから20 mmのものを5種類に筛分けて用いた。底質の動き始める限界としては、水路の長さ方向20 cm以内に約5 cmの底質が動き出す状態と基準とし、また砂れんの発生限界としては、滑らかな移動床表面上、初めて砂れんがほぼ一様に現われたときと基準とした。

3. 実験結果の考察

底質の運動は一般に境界層内の流れによって起こるものと考えられる。ここでは境界層内での底質の移動開始を考える。70の底質に作用する力の平衡式は、

$$R_T = \{(\sigma - \rho)gd^3 \frac{\pi}{8} - R_L\} \tan \varphi \quad (1)$$

であらわされる。ここに、 R_T は波運動の加速度を考慮した粒子に働く水平方向の力であり、 R_L は同じく鉛直方向の力であり、 σ および ρ はそれぞれ底質および水の密度、 d は底質粒径、 g は重力の加速度、 φ は水中における底質の静止摩擦角である。(1)式はさらにつきのよう書きかえられる。

$$(\sigma/\rho - 1)gd \tan \varphi = \frac{3}{4}C_{Du}u_d^2 + C_{MT}d\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)_d + \left\{\frac{3}{4}C_{Dw}w_d^2 + C_{ML}d\left(\frac{\partial w}{\partial t}\right)_d\right\} \tan \varphi \quad (2)$$

ここに、 C_{Du} および C_{Dw} はそれぞれ波の運動中における粒子の水平および鉛直方向の抵抗係数、 C_{MT} および C_{ML} はそれぞれ水平および鉛直方向の底質質量係数であり、 u_d 、 $\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)_d$ および w_d 、 $\left(\frac{\partial w}{\partial t}\right)_d$ はそれぞれ砂が動き出すときの砂粒頂部における水平方向の流速と鉛直速度および鉛直方向の流速と加速度である。(2)式の u および w として Longuet-Higgins に

る進行波の層流境界層内における流速を用いる。また最大摩擦速度 u_*^+ および底部最大流速 u_0 を導入して(2)式を変形すると、次式が成立する。

$$u_*^+ / (\sigma p - 1) g d \tan \phi = 1 / \psi \quad (3)$$

ここに、 $\psi = \frac{3}{4} C_{Du} \left(\frac{u_*^+}{u_0} \right)^2 \left\{ \sin(\omega t) - e^{\beta d} \sin(\omega t - \beta d) \right\}_{\omega t = \alpha} + C_{DT} \left(\frac{u_*^+ d}{\nu} \right) \left(\frac{u_0}{u_*^+} \right) \left\{ \cos(\omega t) - e^{\beta d} \cos(\omega t - \beta d) \right\}_{\omega t = \alpha}$ 、 $\beta = \sqrt{\omega / 2\nu}$ 、 $\omega = 2\pi / T$ 、 ν は水の動粘性係数、 T は波の周期であり、また α は ψ が最大になるときの ωt の値であり、このとき底質が動き出すものと考え、 C_{Du} は定常流の場合と同じもの仮定すると、 $u_*^+ d / \nu$ および u_*^+ / u_0 の関数となる。また βd も同様に、この二つの無次元量で表わさる。 C_{DT} は従来の研究から一定と考えられ1.5とする。結局、波による底質の限界掃流力の無次元表示 $u_*^+ / (\sigma p - 1) g d \tan \phi$ は $u_*^+ d / \nu$ および u_*^+ / u_0 の関数となる。

図-1の実線は遮へい効果と考慮し、(3)式の関係と、 u_*^+ / u_0 をパラメーターとして示したもので、 $u_*^+ / u_0 = 0.1$ および 0.2 の場合の実験結果が同時にプロットしてある。全体として実験値は、遮へい係数を $\varepsilon = 0.4$ とした理論曲線より小さい値を示しているが、 $u_*^+ d / \nu$ の小さいところでは、傾向が非常によく一致している。(しかし、 $u_*^+ d / \nu$ の大きいところでは、実験値は理論値から大きくはなれてくる。このことは流速や粒径が大きくなって、層流境界層から乱流境界層へ移るためとも考えられる。つぎに、遮蔽係数を $\varepsilon = 0.4$ とした場合の理論値を用いて、底質の移動限界水深 h_c を表わす関係と図示したもの一例が図-2である。この図にはこれまでの研究によって求められた曲線も併記してある。ここに、 H_0 および L_0 は沖波の波高および波長であり、 S は底質の水中比重である。これから、底質の移動限界水深には H_0/L_0 、 h_c/L_0 、 h_c/H_0 のほかに βH_0 の関係することかわかる。

つぎに砂れんの発生限界については、先のべた移動限界の表示法を用いて砂れんの発生限界の実験値をプロットしてみると、図-3のようになる。実験値はかなり散らばっているが、全般的にみてかなり明確に砂れんの発生限界を示しており、 u_*^+ / u_0 の効果もあらわれている。つぎに底質の移動限界と砂れんの発生限界とを比較するため、両限界の実験値と同じ図に示したのが図-4である。 $u_*^+ d / \nu$ の小さいところでは、両者の限界の差がはきりあらわれているが、 $u_*^+ d / \nu$ が大きくなるにつれて、徐々にその差が小さくなる傾向がうかがえる。なお、この研究は文部省特定研究費による研究の一部であることを併記する。

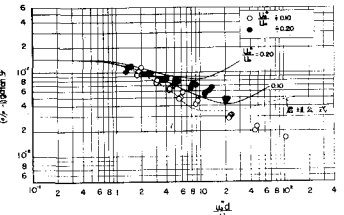


図-1, 限界掃流力の無次元表示

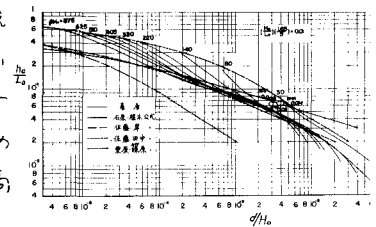


図-2, 底質の移動限界水深 ($\frac{h_c}{L_0} = \frac{h_c}{H_0} = 0.01$)

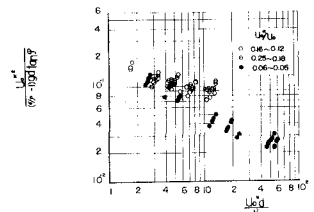


図-3, 砂れんの発生限界における無次元掃流力

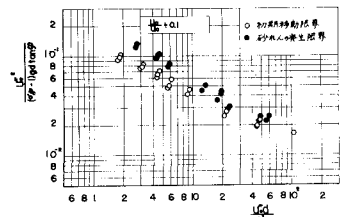


図-4, 底質の移動限界と砂れんの発生限界