

Ⅱ-12 波・流れによる一様砂の移動機構

東北大学工学部○学生員 小林 寛
東北大学工学部 正 員 田中 仁
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

波や流れによる底質移動量に関する研究の方法としては、(i)パワーモデルをもとに、移動量と剪断力との関係を実験的に定めるもの、(ii)個々の砂粒に働く流体力から移動量を求める手法、の二つに分けられる。(ii)の手法では流体力を求める際、抗力係数 C_D ・付加質量係数 C_M の値が必要になるが、通常、 C_D については定常流場での知見を準用し、 C_M については完全流体理論より得られる値を用いることが多い。しかし、それらの係数の妥当性について検討した研究はほとんど存在しない。そこで、本研究では波・流れ共存場における底質の移動開始・停止の位相に着目して、底質に作用する外力の直接評価を試み、抗力係数・付加質量係数について実験的に検討を行った。

2. 実験方法

実験には、全長18m、幅30cm、高さ50cmの二次元水路を用いた。上流より一方向流を供給し、下流側からピストン型造波機によって波を発生させた。

水路固定床部の中央部2.0mを深さ4cmに掘り下げ、この部分に粒径0.725mmの砂を敷いた。底質は比較的粗く、実験中には砂漚の発生はみられず、掃流状態での砂移動が生じた。砂の移動状況はビデオ・カメラによって撮影し、これから移動開始位相、停止位相を読み取った。撮影と同時に撮影地点において、水位の変化を測定した。造波機の偏心ディスクにはタッチスイッチが取り付けられており、波運動の一周期内のある一定の位相でパルスが発生する。このパルスをもとに、水位とビデオ映像との同期を取ることが出来る。

3. 結果

底質の移動開始位相、停止位相の測定例を図-1に示す。図は上から、波形、無次元掃流力、底面より $d/2$ (d :粒径)の高さでの流速 u_d および加速度 $\partial u_d / \partial t$ を示している。流速、加速度ともに波の進行方向(岸向き)を正としている。ここで、底面剪断力、流速、加速度の算定には著者の一人¹⁾によって提案された波・流れ共存時の流れ関数(粗面乱流)を用いた。図-1(a)の丸印は実測波形、実線は流れ関数から求まる計算波形を表わす。図中の三角・黒三角はそれぞれ岸向きの移動開始・停止位相を表し、白丸および黒丸はそれぞれ沖向きへの移動開始位相および停止位相である。このケースでは水位が静水面を横切る位相で底質移動が起こっている。したがって、完全流体の波動理論を適用すると、底質移動は慣性抗力のみで生じることとなり、不都合である。境界層を考慮すると剪断力・流速に位相差が生じ、図-1(b), (c)に見られるように、岸向き移動・沖向き移動をうまく説明することができる。図-1(b)の鎖線は、定常流や波動に対してよく用いら

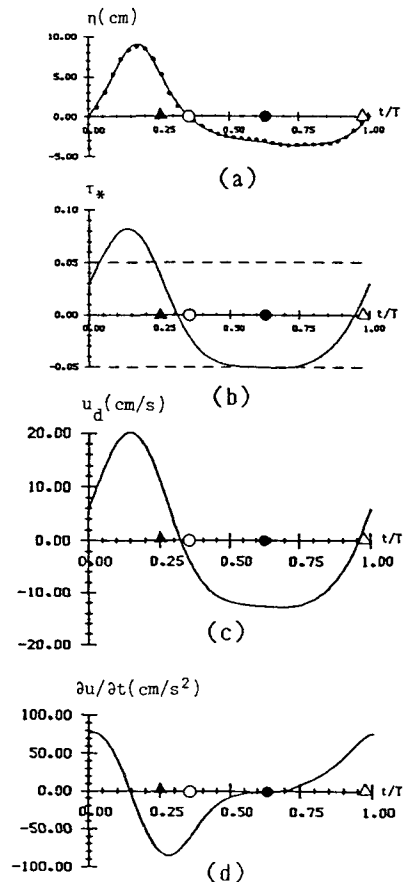


図-1 各種水理量の経時変化

れる移動限界シールズ数であるが、底質はこれより小さい剪断応力で移動を開始していることが分かる。

そこで、次に砂粒に働く力をもとに、抗力係数 C_D 、付加質量係数 C_M の算定を試みる。移動限界における力のつりあいは次式で表現される。

$$\frac{\pi}{8} \rho C_D d^2 |u_d| u_d + \frac{\pi}{6} \rho C_M u_d^3 \frac{\partial u_d}{\partial t} = \pm \frac{\pi}{6} (\rho_s - \rho) g d^3 \tan \phi \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 ρ 、 ρ_s は水および砂の密度、 ϕ は砂の水中安息角である。右辺の複号は岸向きを正、沖向きを負とする。なお、底面近傍で鉛直上方に向く流体力は相対的に微弱なので、これを無視した。移動限界位相をビデオ映像より読み取り、次にその位相での速度 u_d および加速度 $\partial u_d / \partial t$ を前述の流れ関数より求めて、上式に代入した。一周期内に移動限界位相（移動開始位相）は2回現れるから、それぞれに対して式(1)が成立する。それらを連立することにより、 C_D 、 C_M が実験的に定まる。なお、停止位相で式(1)が成立するとすれば、4本の式が得られ、最小自乗法によって係数が定まるが、実際には慣性の効果によって式(1)を満足しない。よって、本研究では上記の方法によって計算を行った。

以上のようにして得られた係数を図-2、図-3に示す。横軸の u_c 、 u_w はそれぞれ底面より $d/2$ の高さでの定常流速および波動流速の最大値であり、横軸がゼロの時は波動のみのケースであり、右に行くほど定常流の効果が増してくることに対応している。 C_D 値については、波動が支配的な範囲では1~1.5程度の値となり、定常流でよく用いられる0.4の3倍程度の値となっている。また、Sarpkaya²⁾によれば振動流中でK.C.数が大きい時、およそ $C_D=0.7$ であり、この値よりも幾分か大きい。なお、Sarpkayaの実験では最大のK.C.数が約40であり、一方、本実験では300~500であった。Sarpkayaの実験は単一球が一様な流速分布を持つ振動流中に置かれた時のものであり、粒子の遮蔽効果・流速勾配の効果等が含まれていないために、このような差異が生じたものと考えられる。定常流速成分が大きくなると、 C_D 値は小さくなるが、ばらつきが大きい。平均的には0.17程度である。一方、 C_M 値はポテンシャル理論での値1.5や、K.C.が大きいケースでのSarpkayaの実験値1.0に比べて、約1桁大きい値となった。さらに定常流速に依存する傾向が見られるが、平均的には $C_M=11$ 程度である。

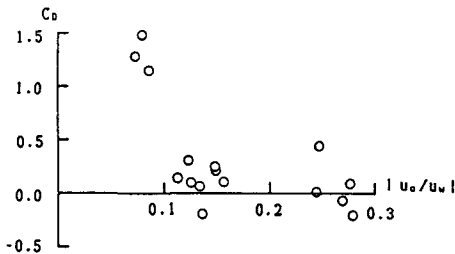


図-2 抗力係数

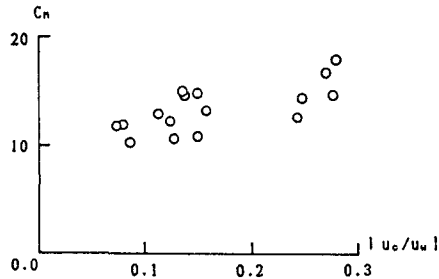


図-3 付加質量係数

【参考文献】

- 1) 田中：任意波形を有する波動下での水粒子速度と底面せん断応力の算定手法に関する研究，土木学会論文集，第381号／Ⅱ-7，pp.181~187，1987。
- 2) Sarpkaya, T.: Forces on cylinders and spheres in a sinusoidally oscillating fluid, Transc. of ASME, pp.32~37, 1975.