

## 振動流下の砂澱の発生・発達・消滅の特性

鹿児島大学工学部 学生員 上堂 蘭孝一  
 鹿児島大学工学部 学生員 松岡 昌夫  
 鹿児島大学工学部 正 員 浅野 敏之  
 鹿児島大学工学部 正 員 中村 和夫

## 1. はじめに

波の軌道流速下における砂移動形態は、流速が小さい場合には表層の砂のみが移動しスケールの小さい初期砂澱が形成され、流速振幅を増加させると砂澱波長・波高はともに増大し、一定の波の作用後には砂澱は定常状態に達する。さらに流速を大きくすると砂澱は消滅し海底砂が何層かにわたって高濃度の砂移動が生じるシートフローという現象が見られる。

本研究では振動流の流れの特性と発生する砂澱形状との関係や、砂澱の消滅限界を検討する。

## 2. 実験装置・実験方法

実験装置の全体図を図-1で示す。振動流を起こすための基本的な構造として、電動サーボモーターでドライブシャフトを回転させ、ドライブシャフト上にあるボールネジがモーターの正転逆転により上下移動し、ボールネジと連結されたピストンを強制的に上下に駆動させる方法を採用した。

底質には比重  $s = 2.66$  で粒径  $D = 0.0315 \text{ cm}$  のコンクリートの細骨材（ケース A・B）、比重  $s = 2.66$  で粒径  $D = 0.02 \text{ cm}$  の豊浦標準砂（ケース C）、比重  $s = 1.24$  で粒径  $D = 0.417 \text{ cm}$  の人工真珠粒子（ケース D）の3種類を用いた。

実験はコンクリート細骨材を用いて10ケース、豊浦標準砂を用いて8ケース、人工真珠を用いて10ケースを行った。実験条件を表-1に示す。

振動流装置の振幅と周期を各ケースごとに変化させ振動流を起こし、振幅を測定し、振動流の作用により発達する底質部の地形が定常に達した時点で振動流の作用を停止し砂澱の波高、波長をそれぞれ測定した。

## 3. 実験結果ならびに考察

## (1) 砂澱の形状

図-2は砂澱の波形勾配  $\eta/\lambda$  と次式で計算されるシールズ数  $\phi$  の関係を示したものである。

$$\phi = \frac{f U^2}{2(s-1)gD}$$

ここで、 $f$  は Jonsson の摩擦係数 ( $= 0.01$ )、 $U$  は水粒子速度振幅、 $s$  は比重、 $D$  は底質粒径、 $g$  は重力加速度である。

また図-3は砂澱の波高と水粒子軌道振幅の比  $\eta/Am$  と次式で与えられるモビリティナンバー  $\theta$  との関係調べたものである。

$$\theta = \frac{U^2}{(s-1)gD}$$

両図には今回の実験データの他に、振動流水槽による Carstens et al. のデータもプロットした。図中の実線は Nielsen が正弦振動流によるデータをもとに提案した実験式である。図-2には神山らが大型造波水路での実験結果をもとに定めた実験式を破線で示した。本実験の結果は、図中●（コンクリート細骨材）、■（豊浦標準砂）、▲（人工真珠）で示した。今回の測定結果は主に Nielsen の式の周りにプロット出来た。

図-4および5は砂澱のスケールを整理するのに用いるパラメータとして水粒子軌道全振幅と粒径の比  $Am/D$  を選び、図-2、図-3に示した本実験のデータおよび Carstens et al. のデータをプロットしてみた。また、図中の実線はそれらのデータの中央付近になるように曲線を描いたもので、これを  $\eta/\lambda$  および  $\eta/Am$  と、 $Am/D$  の関係式として表せば次式のようにになる。

$$\eta/\lambda = 0.19 - 0.0000003(Am/D)^{1.8}$$

$$\eta/Am = 0.3 - 0.000046(Am/D)^{1.2}$$

これらの結果より  $\eta/\lambda > 0.1$  では  $\phi$  あるいは  $Am/D$  によって異なるデータセットも限られた範囲内にまとまってプロットされることがわかった。また、 $\eta/\lambda$  が小さくなるとばらつきが表れ、どのようなパラメーターでもうまく整理できない結果となった。

## (2) 砂澱の消滅限界

本節では砂澱の形状特性を整理する上で、重要な無次元量である  $Am/D$  と  $\phi$  を用いて、砂澱の消滅限界について検討する。

図-6は横軸に $A m / D$ 、縦軸に $\phi$ をとり、本実験のデータとCarstens et al.のデータをプロットしたものである。図中の点線は $A m / D$ 及び $\phi$ が大きな領域で三次元砂漣が発達し、その他では二次元砂漣が発達するという、佐藤ら(1985)が提案した境界線である。本実験ではケースC5~C8、つまり流速振幅 $U$ が大きい時に三次元的砂漣の発達が多く見られた。さらに流速振幅を大きくして実験を試みたが振動流装置の構造上、平坦な砂床状態への遷移(シートフロー状砂移動)は見られなかった。また図中の破線は同じく佐藤ら(1987)による砂漣の存在、非存在を示す式である。図-6において破線より上方にプロットされた点は図-2あるいは図-4の波形勾配が小さいケースに相当することから、佐藤らが提案した式が妥当であると言える。

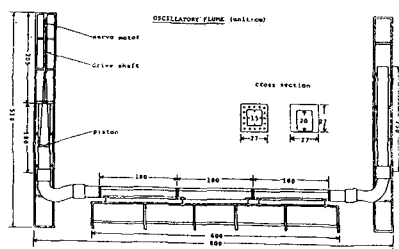


図-1 振動流水槽

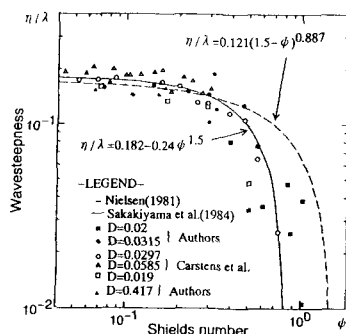


図-2 波形勾配  $\eta/\lambda$  と Shields 数  $\phi$  の関係

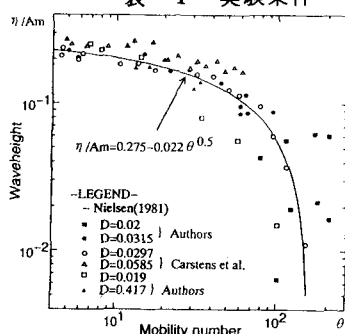


図-3 波高  $\eta / \Delta m$  と Mobility number  $\theta$  の関係

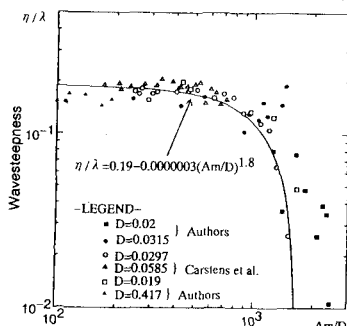


図-4 波形勾配  $\eta/\lambda$  と軌道振幅  $Am/D$  の関係

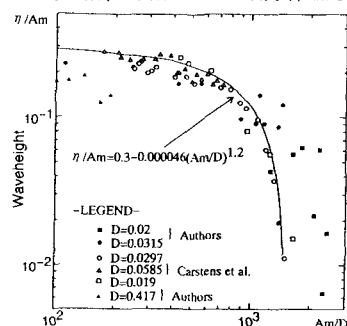


図-5 波高  $\eta/\Delta m$  と軌道振幅  $\Delta m/D$  の関係

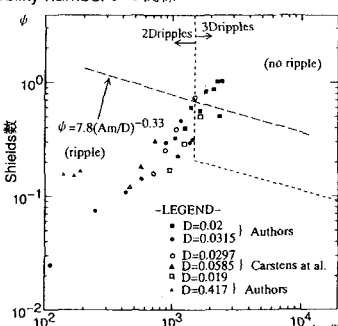


図-6 砂渚の消滅限界  $\phi \sim Am/D$

#### 4. まとめ

本研究では、規則振動流中における発達する砂漣の形状特性、砂漣の波高・波長に及ぼすシールズ数と速度振幅と砂粒子の中央粒径の効果、砂漣の消滅限界を考察した。

問題点として流速振幅が大きな条件では大規模な砂漣が形成されるが、底質の設置深さが5 cmと小さいために、こうした場合には底面が露出し、砂漣の発達を調べる上で支障をきたす場合があった。今後は振動流装置を改造し、底質粒径Dの大きい場合や、外力条件の大きい場合について実験することが課題である。

| CASE | T(sec) | W(kN) | U(cm/s) | $\sigma$ | $\theta$ |
|------|--------|-------|---------|----------|----------|
| A1   | 4.51   | 45.4  | 68.9    | 0.324    | 41.9     |
| A2   | 3.34   | 35.6  | 68.9    | 0.483    | 92.6     |
| A3   | 5.01   | 45.4  | 56.9    | 0.315    | 63.1     |
| A4   | 3.61   | 33.2  | 57.7    | 0.324    | 64.9     |
| B1   | 3.20   | 28.0  | 55.0    | 0.295    | 58.9     |
| B2   | 2.90   | 17.6  | 38.1    | 0.142    | 28.3     |
| B3   | 2.51   | 13.3  | 33.3    | 0.108    | 21.6     |
| B4   | 1.75   | 7.7   | 27.6    | 0.074    | 14.8     |
| B5   | 1.37   | 5.5   | 16.0    | 0.025    | 5.0      |
| B6   | 4.95   | 42.3  | 54.9    | 0.284    | 88.5     |
| C1   | 5.14   | 46.8  | 57.2    | 0.303    | 106.5    |
| C2   | 3.40   | 32.8  | 60.6    | 0.584    | 112.8    |
| C3   | 2.80   | 27.9  | 62.6    | 0.602    | 120.4    |
| C4   | 3.11   | 25.1  | 50.8    | 0.596    | 79.2     |
| C5   | 4.19   | 50.2  | 75.2    | 0.369    | 178.7    |
| C6   | 3.76   | 48.9  | 81.6    | 1.023    | 204.7    |
| C7   | 3.45   | 44.7  | 81.3    | 1.016    | 203.3    |
| C8   | 3.10   | 36.3  | 73.5    | 0.891    | 166.2    |
| D1   | 6.06   | 64.6  | 70.9    | 0.556    | 511.2    |
| D6   | 7.65   | 48.2  | 39.5    | 0.080    | 15.9     |
| D7   | 7.33   | 41.9  | 35.9    | 0.086    | 13.1     |
| D8   | 8.05   | 69.8  | 54.5    | 0.151    | 30.2     |
| D9   | 6.59   | 57.9  | 55.2    | 0.155    | 31.0     |
| D10  | 6.88   | 58.8  | 55.2    | 0.155    | 31.0     |

表-1 実験条件