

## II-68

非定常性に着目した  
シートフロー状砂移動

北海道大学工学部 正員 山下 俊彦  
 北海道大学工学部 学生員 金岡 幹  
 北海道大学工学部 学生員 高木 雄一郎

## 1. はじめに

近年、ウォーターフロントという言葉に代表されるように汀線沿いの再利用や新しい開発が活発になってきている。海岸沿いに大規模構造物を建造する場合も多く、海岸変形に代表されるその周辺環境変化を把握することが不可欠である。そのため最近では海浜変形の3次元数値シミュレーションが盛んに行われている。その際、最も問題になる点は局所漂砂量（以後、単に漂砂量と呼ぶ）の推定である。従来漂砂量はシールズ数の関数としてのみ扱われてきた。しかし、波の持つ重要な特徴は非定常性にあり、山下ら<sup>1)</sup>は掃流砂について非定常性の効果を明らかにしている。その論文によると、非定常性が強いと同じシールズ数でも漂砂量が増加することを報告している。

波による底面流速が大きくなるとシートフロー状砂移動が発生する。これは主に砕波帯及び砕波帯周辺付近で起こる現象で、大量の砂移動を生じるため海岸変形を取り扱う際に重要である。本研究では、シートフロー状態の底質粒子の移動速度、濃度分布、移動層厚を実測し、それらの諸量に対する非定常性の効果に着目して移動機構を明らかにする。

## 2. 実験装置及び方法

実験には、多量の砂移動を発生させることができる図-1に示すピストン駆動式環流型振動流装置を用いた。この装置はピストンストロークと周期を変化させることができ、それによって一層以上の底質粒子移動が生じるように、周期 $T=1.1\sim 5.2(\text{sec})$ 、流速振幅 $U_m=12\sim 91(\text{cm/sec})$ 、非定常性のパラメーター $d_0/d=38\sim 384$ の条件のもとで、37ケースの実験を行った。なお本論文では、前報<sup>2)</sup>での実験結果も加えて考察を行った。底質粒子には移動状況が把握しやすい粒径 $d=2.8(\text{mm})$ （比重 $s=1.41$ ）のプラスチック粒子を用い、ビデオによって粒子移動の測定を行った。

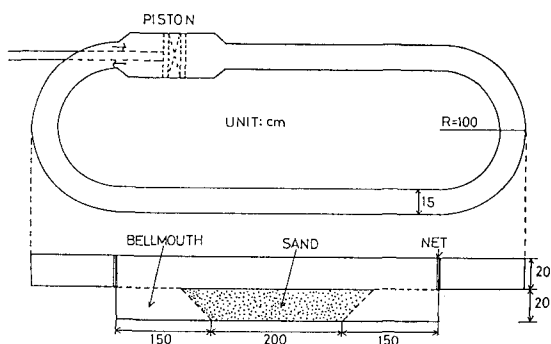


図-1 実験装置

## 3. 実験結果及び考察

## 3. 1 底質粒子の流速分布

図-2に、底質粒子速度 $U_p$ の位相変化の一例を示す。 $z$ は静止状態を原点、上向きを正とし、グラフでは移動層厚 $\delta$ で無次元化した。縦軸は粒子流速 $U_p$ を水粒子の流速振幅 $U_m$ で無次元化している。横軸の位

Mechanism of Sheet Flow Motion from a Standpoint of Unsteadiness

by Toshihiko YAMASHITA, Miki KANAOKA and Yuichiro TAKAGI

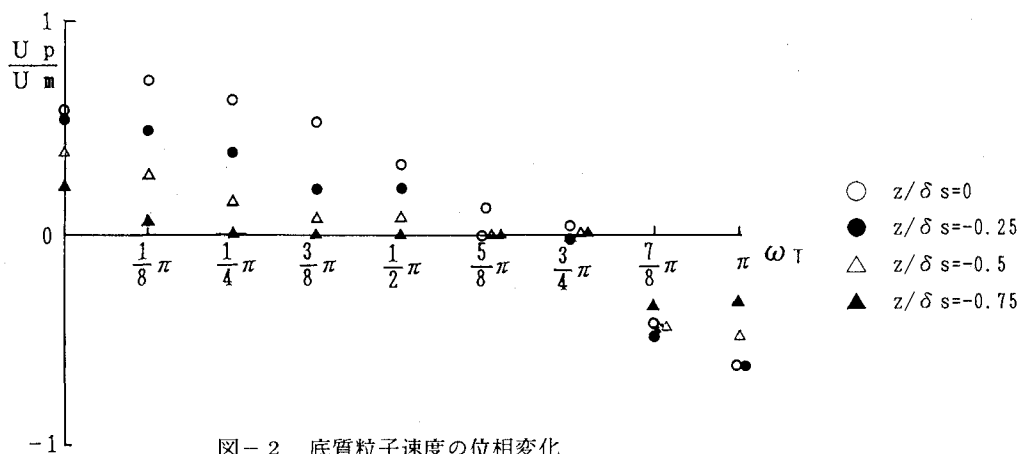


図-2 底質粒子速度の位相変化

$T=1.30(\text{sec}), U_m=37.1(\text{cm/sec}), d_0/d=54.8$

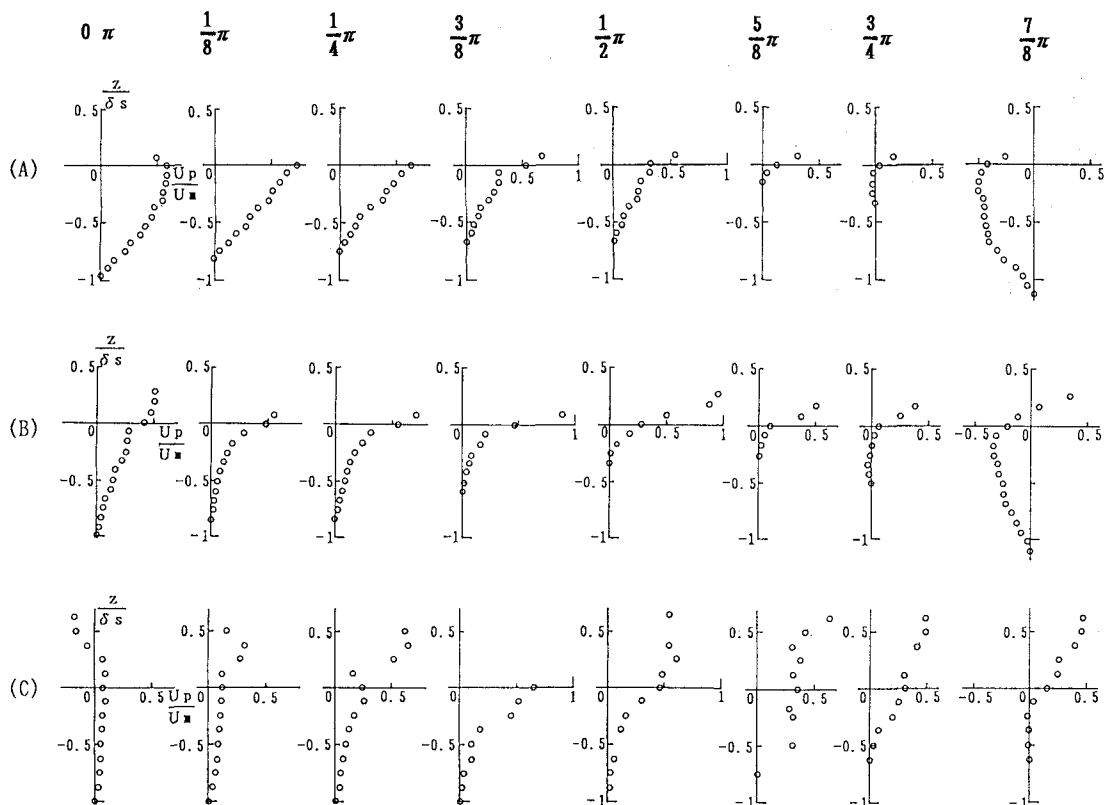


図-3 各位相における底質粒子速度

(A)  $T=1.30(\text{sec}), U_m=37.1(\text{cm/sec}), d_0/d=54.8$

(B)  $T=2.32(\text{sec}), U_m=58.9(\text{cm/sec}), d_0/d=155.3$

(C)  $T=5.49(\text{sec}), U_m=135.2(\text{cm/sec}), d_0/d=856.5$

相は主流の反転時を位相 $0\pi$ とした。この図より、どの層も $3/4\pi \sim 7/8\pi$ で反転が起こっており、位相が主流よりかなり進んでいることが分かる。これは、非定常性が強い場合であり、移動層が圧力勾配の影響を強く受けて移動しているため、各位置での最大流速は上層ほど大きくなっている。また、最大値をとる位相は下層ほど速くなっており、これは下層ほど圧力勾配の影響を強く受けて移動しているためである。

図-3は、水粒子流速の各位相における底質粒子速度の測定結果の一部を示している。移動層厚は比較的同じものを選び、非定常性の効果をみたものである。非定常性のパラメータは、(A)  $d_0/d = 54.8$ , (B)  $d_0/d = 155.3$ , (C)  $d_0/d = 856.5$ 、移動層厚は、(A)  $\delta s = 6.7(\text{cm})$ , (B)  $\delta s = 5.9(\text{cm})$ , (C)  $\delta s = 4.0(\text{cm})$ である。縦軸は鉛直座標 $z$ を移動層厚 $\delta s$ で、横軸は粒子流速 $U_p$ を水粒子の流速振幅 $U_m$ でそれぞれ無次元化している。この図より、 $d_0/d$ が小さい（非定常性が強い）ほど移動層内部の流速が大きくなっているが、これは非定常性が強いほど圧力勾配の影響が大きいためと考えられる。圧力勾配が最大となる $0\pi$ では、特に顕著である。逆に非定常性が弱くなると、せん断応力によって上層が水粒子流速に引っ張られる形になる。また(C)の $0\pi$ と $\pi$ の上層をみると、粒子の慣性力により、主流よりも位相が遅れる場合もある。なお(C)は表面に砂漣が形成されたため、流速分布の形状が変化していると思われる（例えば、 $5/8\pi$ ）。

### 3. 2 濃度分布

図-4は、図-3で示した(A)と(C)の条件での濃度分布の位相変化を示したものである。濃度 $C$ は静止状態の濃度 $C_s$ で無次元化している。これによると、濃度分布の位相による変化はあまり見られず、鉛直方向に一定で静止状態の8～9割に達する濃い領域と、上層の急激に濃度が低下する層とが存在する。(A)はほとんど高濃度の層であり、あまり上層には舞い上がらないが、(C)は水粒子の流速振幅が大きいため高い層まで粒子が舞い上がり濃度変化も(A)よりは緩やかである。

図-5は、(A)の場合の移動層上端の位置の変化を示したものである。この図から上端の位置は $\pi/4$ で最

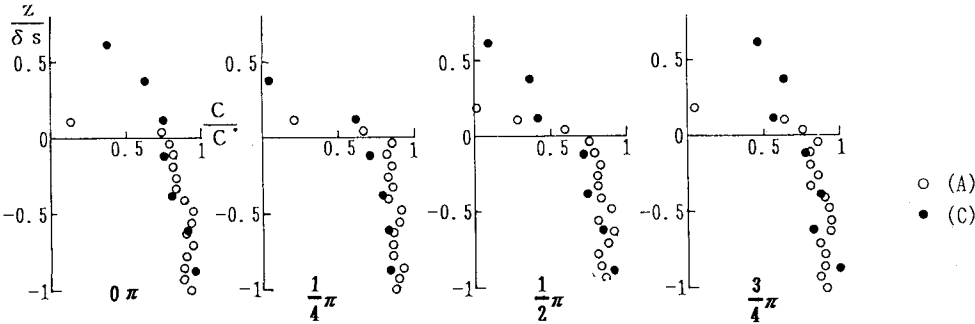


図-4 濃度分布の位相変化

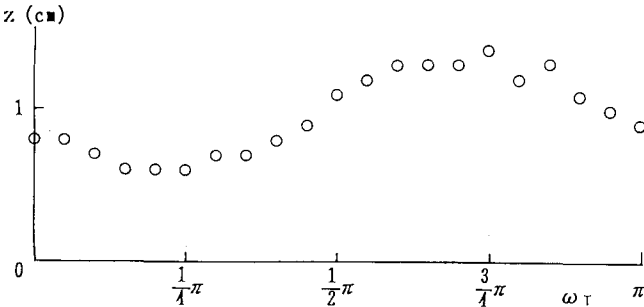


図-5 移動層上端の位置変化

小、 $3/4\pi$ で最大になることが分かる。これは水粒子流速が $1/2\pi$ で最大になっていることにより、粒子が舞い上がるためと考えられる。また移動層内部では、粒子はいずれも一定のさで平行移動しており、粒子が瞬間的に止まる $3/4\pi$ 前後においても、濃度が増加することはない、常に動きやすい状態にあるといえる。

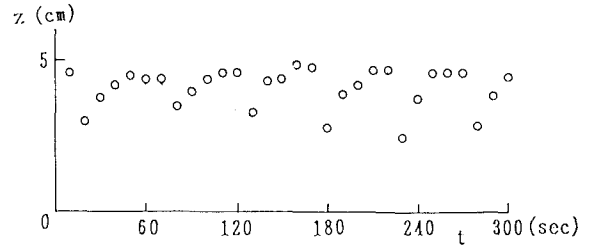


図-6 移動層厚の時間変化

$T=0.91(\text{sec}), U_m=24.1(\text{cm/s}), d_0/d=24.9$

### 3.3 移動層厚

図-6は、移動層厚の時間変化の一例を示したものである。移動層厚は時間的に変化するものとし、ないものが存在する。変化する場合には、移動層厚はしばらく厚い状態が続いた後、急激に減少し、再びゆっくり増加して厚い状態に戻るというパターンが繰り返されている。これを粒子の運動面からみると、厚い状態の初期は下層全体にせん断的運動が起こっており、その後、最下端を除く下方で粒子どうしの噛み合わせがきつくなり、ほぼ剛体的運動を起こす。その領域が時間とともに上方に増加し、ある厚さに達すると、最下端でのせん断的運動がストップして移動層は急激に減少する。その後、中層から運動量輸送が起こり、徐々に移動層は増加していく。この移動層厚変化は、各 $d_0/d$ についてシールズ数が大きいほど発生しやすい様であるが、明確な発生条件、移動層厚の変化の周期と変化量の関係を検討する必要がある。今回はデータ不足のため結論を得るには至らなかったが、今後、移動層厚変化の起こるケースについての実験をより多く行う必要がある。

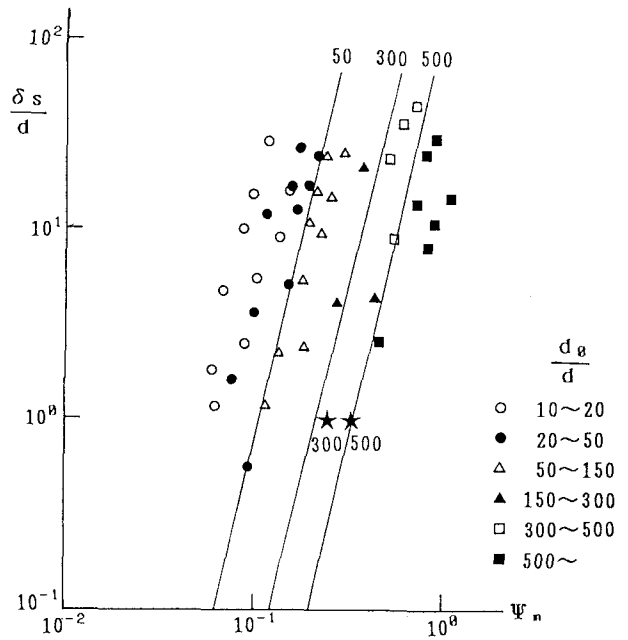


図-7 移動層厚とシールズ数の関係

図-7は、粒径で無次元化した移動層厚 $\delta s/d$ と最大シールズ数 $\Psi_m$ の関係を、 $d_0/d$ の大きさに分けてグラフ化したものである。ここで移動層厚が周期的に変化する場合には、 $\delta s$ は平均値ではなく最大値をとっている。これによると、各 $d_0/d$ ごとに $\delta s/d$ は $\Psi_m$ の4.5乗にほぼ比例している。図中の★は山下らの掃流砂の移動確率の推定値から適用範囲の限界である $\delta s/d=1$ で、 $d_0/d=300, 500$ についてシールズ数を求めたものである。両者とも本研究結果とほぼ一致しており、今回の実験値が妥当な値であると考えられる。また同じシールズ数では非定常性が強い( $d_0/d$ が小さい)ほど $\delta s/d$ が大きくなっており、図-4からも分かる様に、高濃度で移動する層が多いので、同じシールズ数でも非定常性が強いと、漂砂量は著しく増加すると考えられる。なお漂砂量については今後検討していく予定である。

#### (参考文献)

- 1) 山下俊彦、金沢一郎：非定常性に着目した掃流砂の移動機構；第36回海岸工学論文集(1989)
- 2) 牧野、浅川、山下：非定常性に着目したシートフロー状砂移動機構；第45回年次学術講演会(1990)