

二方向振動板装置の開発

Development of a Two-dimensional Oscillatory Bed

関口 智寛*

Tomohiro SEKIGUCHI*

1 はじめに

波によって引き起こされる振動流が未固結な砂質堆積物からなる海底に作用すると、一般に“ウェーブリップル”と呼ばれるベッドフォームが発達し、海底における土砂輸送に影響をおよぼす。このため、二次元造波水路や振動流トンネル、振動板装置などを用いた数多くの実験的研究により、一次元振動流下のウェーブリップルの形状やサイズと振動流や堆積物の特性の関係が明らかにされてきた（たとえば Sekiguchi, 2003 およびその引用文献を参照）。

しかし、自然界において、振動流は必ずしも一次元的ではない。たとえば、鉛直な岸壁に対して波が斜めに入射し、入射波と反射波が重なり合わさって short-crested waves が生じる場合には、楕円から円軌道を描く二次元振動流が底面付近に生じる（たとえば Silvester, 1972）。この場合、振動流の水平軌道は岸沖方向に変化し、一次元振動流から円軌道を描く二次元振動流への遷移的变化が繰り返される。Short-crested waves のように周期と波高が等しい波が重なり合わさるのではなく、周期や波高、進行方向が異なる波が重なり合わさる場合には、より複雑な軌道を描く二次元振動流が底面付近に生じえる。

二次元振動流下で形成されるベッドフォームに関する実験的研究例は極めて少なく、short-

crested waves 下のベッドフォームについての平面造波水槽実験が数例行われてきたに過ぎない（Silvester, 1972, 1975; Lin *et al.*, 1986; Jan and Lin, 1998）。それらの研究により、振動流場の空間変化に応じてベッドフォームのパターンが変化し、特に円軌道を描く振動流下では波峰線が多角形状のパターンを示す interference ripple（Allen, 1982, p.435）が形成されることが示されている（たとえば Jan and Lin, 1998）。

しかしながら、前述のように short-crested waves 下においては振動流の水平軌道が空間的に変化するため、平面造波水槽を用いた実験では、二次元振動流の特性とベッドフォームの形状・サイズの対応関係について厳密な議論をおこなうのは難しい。このため、楕円軌道もしくは円軌道を描く振動流など、比較的単純な二次元振動流によって生じるベッドフォームについてさえも、二次元振動流とベッドフォームの形状・サイズの関係についてほとんど議論されていない状況にある。また、既往研究で用いられてきた平面造波水槽は巨大で実験に労力を要する上に、装置そのものが高価である。特に、周期や波高・進行方向が異なる波の重ね合わせが可能な平面造波水槽を導入するには、多大な費用が必要となる。

このような問題点を克服し、二次元振動流下のベッドフォームに関する研究を促進するために、あらたに二方向振動板装置を開発したので、ここ

* 筑波大学陸域環境研究センター

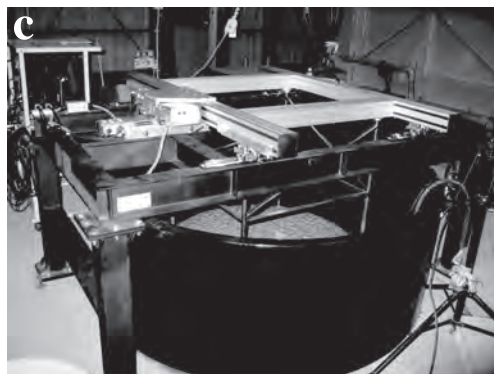
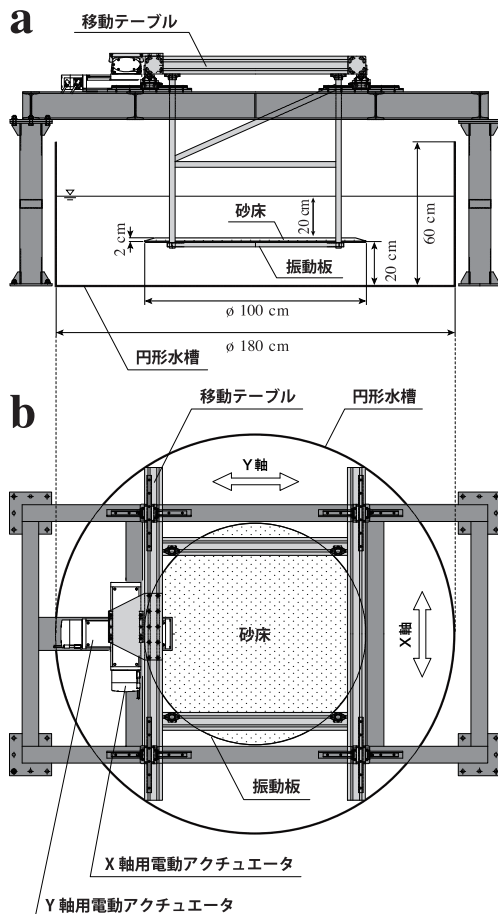
に報告する。

II 二方向振動板装置

今回開発した二方向振動板装置（株式会社西日本流体技研，VM-AX2，第1図，第2図）は，トラバース装置，円形水槽，および制御システムからなり，砂床をのせた振動板を静水中で二次元水平振動運動させることによって，二次元振動流と砂床との相互作用を再現する．振動板と水槽内壁・水面との間隔が小さいと，振動板の振動運動によって実験で想定していない水面波や流れが生じやすいため，この装置では直径180 cm，深さ60 cmの円形水槽（第1図）を採用し，振動板から水槽内壁・水面までの距離を十分に確保できるようにした．水槽底面から振動板最下部までの高さは20 cmであり，砂面から振動板最上部までの水深を20 cmとして使用することを想定している．

トラバース装置（第1図）は2基の電動アクチュエータ，移動テーブル，振動板，およびそれらを支えるフレームからなる．2基の電動アクチュエータは互いに直交するように設置されており，移動テーブルと連結された円形振動板（直径100 cm）に対して，互いに直交する2方向（ここではそれぞれx，y方向と呼ぶことにする）の水平振動運動を加えることができる．各振動運動の振幅や加速度は，電動アクチュエータの性能によって制限され，振幅の上限は10 cm，砂床の厚さを2 cmとする場合の加速度の上限は150 cm/sec²である．

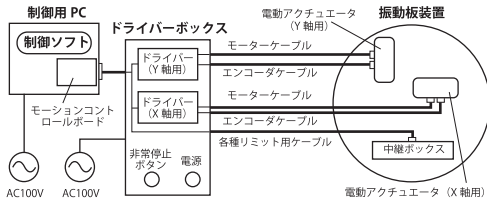
制御システムの概略図（第2図）に示すように，電動アクチュエータはドライバーボックスとモーションコントロールボードを介して制御用コンピュータ（OS：Windows XP）に接続されており，その動作はソフトウェア「Motion Controller」により制御される．このソフトウェアを使用し，(1) 正弦運動，もしくは(2) 座標



第1図 トラバース装置および円形水槽：
(a) 側面図，(b) 上面図，(c) 写真.

データに基づく任意の振動運動を発生させることができる．

正弦運動を発生させる場合，x方向，y方向そ



第 2 図 制御システム概略図

それぞれの振動運動について周波数，振幅，位相を指定でき，これらの組み合わせを変化させることで様々な二次元振動流を発生させることができる．たとえば， x, y 方向の振動運動の周波数，位相を等しくすると，振幅の組み合わせを変えることで，任意の方向，振幅の一次元振動運動を発生させられる．また， x, y 方向の振動運動の周波数が等しく，位相差が $\pi/2$ である場合，振幅の組み合わせを変えることで，長軸の向きを一定とする任意の楕円運動を発生させることが可能である．

水面波によって生じる非対称振動流（たとえば Komar, 1998, p.324）を再現するため，この二方向振動板装置では，1 周期分の (x, y) 座標データを入力することにより任意波形の振動流を発生させられるようにした．ただし，座標データについては次の条件が満たされる必要がある．以下，時間 t における座標を $(x(t), y(t))$ とし， $x(t), y(t)$ の導関数をそれぞれ $x'(t), y'(t)$ として：

- (1) x 振動， y 振動の周期が等しい（ここではその周期を T とする）
- (2) $x(0) = x(T)$ かつ $y(0) = y(T)$
- (3) $x'(0) = x'(T)$ かつ $y'(0) = y'(T)$
- (4) $x'(t), y'(t)$ の符号変化は $0 \leq t \leq T$ で 2 度のみ

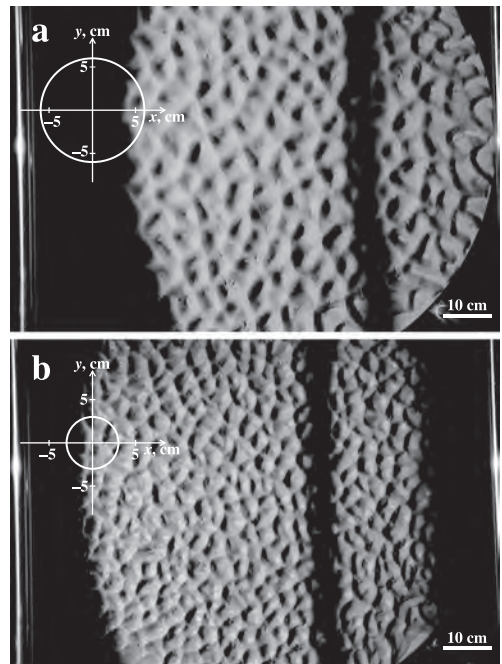
III 実験・考察

前述したように，円軌道を描く振動流下において interference ripple が形成されることが既往の平面水槽実験によって示されている．そこで本研究では，円軌道を描く二次元振動運動によって

interference ripple が形成されるか検証し，二次元振動板装置が複雑な二次元振動流で生じるベッドフォームの研究に適用可能か検討する．

実験には中央粒径 0.2 mm の淘汰のよい石英砂を用いた．振動板上の砂床の厚さを 2 cm とし，初期地形を平滑床とした．また，砂面上の水深を 20 cm とした． x, y 方向の振動運動の周期をいづれも 2 sec とし，両者の位相差を $\pi/2$ とした．両者の振幅を 3 cm もしくは 6 cm（したがって，円軌道の直径はそれぞれ 6 cm, 12 cm）として，2 ケースの実験を行った．リップルが定常状態に達したと判断された時点で実験を終了した．水面での照明の反射を抑制するために円形水槽の水を抜き，ベッドフォームの上面写真を撮影した．

実験の結果，今回開発した装置を用いて interference ripple（第 3 図）を形成できることが確認された．また，第 3 図 a と第 3 図 b を比較すると明白なように，円軌道の直径の差が



第 3 図 円運動（周期 2 sec）により生じた interference ripple. 円運動の直径：(a) 12 cm, (b) 6 cm.

interference ripple のサイズ（波峰の間隔）に反映される。以上から、今回開発した二次元振動板装置は、二次元振動流の特性とベッドフォームの形状、サイズに関する研究に有用であると考えられる。今後、システマティックな実験をすることによって、複雑な振動流下におけるベッドフォームについて、定性的・定量的な理解が進むと期待される。

IV まとめ

二次元振動流下におけるベッドフォームの研究を促進することを目的に、二方向振動板装置を開発し、その特性について述べた。また、この装置を用いて円軌道を描く振動流下のベッドフォームについて実験を行い、interference ripple の形成に成功した。同時に、そのサイズが円運動の直径に依存する可能性が示唆された。二方向振動板装置は、二次元振動流下におけるベッドフォームの実験へ適用可能であり、今後の研究が期待される。

謝辞

この二方向振動板装置は、橋詰泰久氏をはじめとする（株）西日本流体技研の諸氏の協力により開発された。ここに記し感謝の意を表します。なお、本研究は科研費（課題番号 19740309）、筑波大学生命環境科学研究科平成 19 年度研究科研究プロジェクト等支援経費の助成を受けたものである。

文献

- Allen, J. R. L. (1982): *Sedimentary Structures, their Character and Physical Basis, Vol. I*. Elsevier, Amsterdam, 593p.
- Jan, C. D. and Lin, M. C. (1998): Bed forms generated on sandy bottom by oblique standing waves. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, **124** (6), 295-302.
- Komar, P. D. (1998): *Beach Processes and Sedimentation (2nd ed.)*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 544p.
- Lin, M. C., Wu, C. T., Lu, Y. C. and Liang, N. K. (1986): Effects of short-crested waves on the scouring around the breakwater. *Proceedings of the 20th Conference on Coastal Engineering*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2050-2064.
- Sekiguchi, T. (2003): *A Wave-Flume Study of Ripple Marks: Their Initiation and Deformation*. PhD thesis, Osaka University, 209p.
- Silvester, R. (1972): Wave reflection at sea walls and breakwaters. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **51**, 123-131.
- Silvester, R. (1975): Sediment transmission across entrances by natural means. *Proceedings of the 16th Congress of International Association for Hydraulic Research*, **1**, 145-156.

(2008 年 7 月 3 日受付, 2008 年 8 月 1 日受理)