

波動場に置かれた垂直板付近の流れと砂の移動に関する研究

池田 駿介*・浅 枝 隆**・杉本 光由***・玉川 雅文****

1. はじめに

波動場の建造された構造物周辺の洗掘や堆積は、海岸構造物を建設するうえで重要な問題である。しかし、こうした研究は現象の複雑さから十分な研究がなされているとは言えない。最も単純な構造物の一つである水中に設置された垂直板周辺に生ずる洗掘や堆積についても解明されていない点が多い。このような水中に設置された垂直板付近の流れについては、日野・山崎¹⁾による完全流体を用いた流れの解析が行われている。しかし、垂直板周辺の砂の輸送には垂直板先端より剝離して生ずる渦が重要な働きをしており、このように剝離によって生ずる渦の挙動は、垂直板背後における剝離領域も含めた場での流況に大きく依存している。完全流体としての解析においては、このような剝離渦の挙動を追跡することは不可能であり、実験的な考察が必要であると考えられる。本論文はこのような点に着目して、垂直板付近における砂の移動および砂の移動に重要な働きをする剝離渦の挙動について実験的に解明したものである。

2. 実験装置および実験方法

実験は、図-1 に示されるような長さ 19.5m、幅 40cm、深さ 70cm の造波水槽を用いて行った。水槽のほぼ中央部には、厚さ 3mm、水路幅の垂直板が設置されている。垂直板の高さは 6cm、9cm、12cm、15cm の

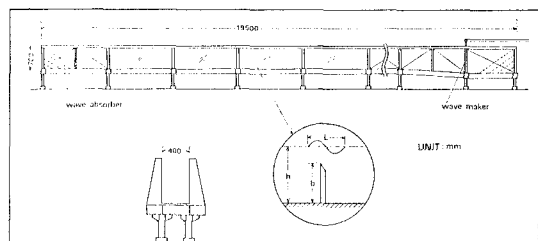


図-1 実験装置

* 正会員 工博 埼玉大学助教授 工学部建設基礎工学科

** 正会員 工博 埼玉大学助手 工学部建設基礎工学科

*** 青木建設(株)

**** 日本道路(株)

4 種類を用いた。また、垂直板先端部は、渦の剝離を一定にするために 30° のくさび状に切られている。実験は移動床で底面形状の変化を調べるものと、主に固定床で板の高さと渦の挙動の関係を調べるものを行ったが、それらは次の様にして行った。

移動床で砂の移動による底面の形状の変化を調べる場合には、まず粒径 0.2mm の標準砂を垂直板前後約 3m に敷き、造波板を作動させ砂漣が形成されるまで放置する。砂漣が十分形成された後に垂直板を設置し、30 分後、1 時間後、3 時間後、5 時間後にポイントゲージで水底の形状を測定し、底面形状が推移して行く過程を得た。

渦の挙動を調べる場合には、まず、移動床もしくは塩化ビニール板で砂面形状を模写した固定床とし、ポリスチレン粒子を水中に混入させておき、それに鉛直スリット光を照射して渦を可視化したものを 16mm カメラで撮影することによって渦の移動を追跡した。さらに、板の高さ、水深の違いによって生ずる現象の違いをより基本的に明らかにするために、垂直板の周囲を平坦床にして生ずる渦の特性を調べた。これらの測定においては、波高計と連動させることによって、波の位相との関係も同時に得た。

なお、実験は全部で 55 ケース行っているが、実験条件の範囲は次のようになる。波長 L : 78~187cm、波高 H : 2.1~8.2cm、周期 T : 0.81~1.25sec、水深 h : 14.9~36.8cm、板の有効高さ(周囲の平均水路床からの高さ) b : 1.0~9.9cm である。

3. 底面の形状の変化

砂が移動することによって生ずる底面形状の時間的な変化は、垂直板の高さ b が水深 h に比較して相対的に大きい場合と小さい場合とでその形態が異なる。図-2 は、その 2 つの場合についての典型的な例を示したものである。(a) が相対的に板の高さが高い場合であり、(b) が低い場合である。

(a) の場合には、砂は初め急速に板の造波側近傍に堆積し、板から離れた場所では洗掘を起こす。初期の段階においては、板の岸側には少量の堆積が見られるだけで

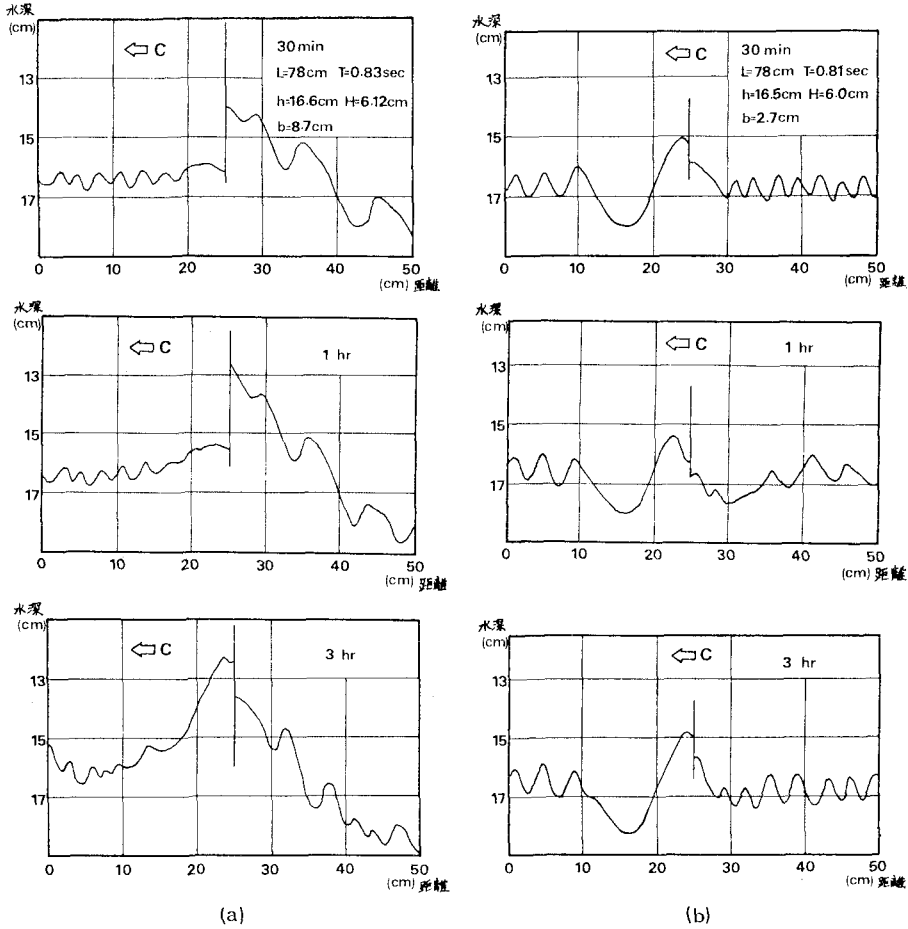


図-2 底面形状の時間的変化の形態

ある。また、砂澱のスケールは、岸側では板設置以前と比較して多少小さくなり、造波側では大きくなる。しかし、板を設置後1時間程度の時間が経過し、板の造波側近傍の堆積およびその外側の洗掘が十分進行してくると、造波側ではそれ以上堆積は行われなくなる。岸側での堆積は、造波側ほど急速には進行しないが、造波側での堆積が停止した後も継続し、十分時間が経過した後には岸側のほうが高くなる。

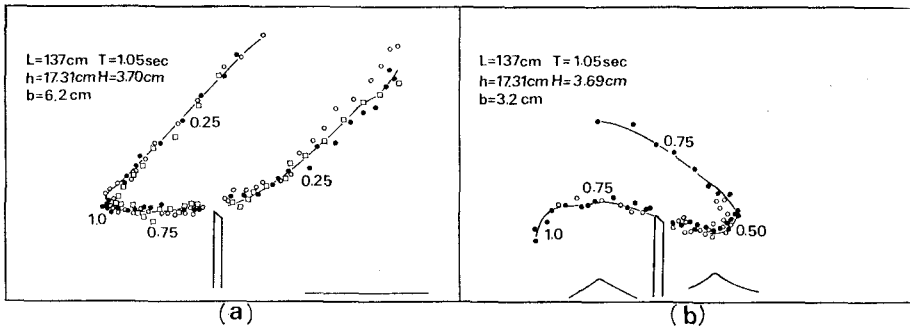
一方、(b)の場合には、垂直板設置後、初めから岸側の垂直板近傍に堆積を生じ、その外側の部分で洗掘を生ずる。しかし、造波側では、垂直板の近傍に少量の堆積が存在するだけで顕著な変化は見られず、砂澱のスケールもほとんどが変化していない。

床面形状はこの2つの型に分類され、以後(a)のような型をA型、(b)のような型をB型とする。砂の巻き上げや輸送には垂直板による剥離渦の及ぼす影響が大きいと考えられる。したがって、次にこうした剥離渦の移動形態について記述する。

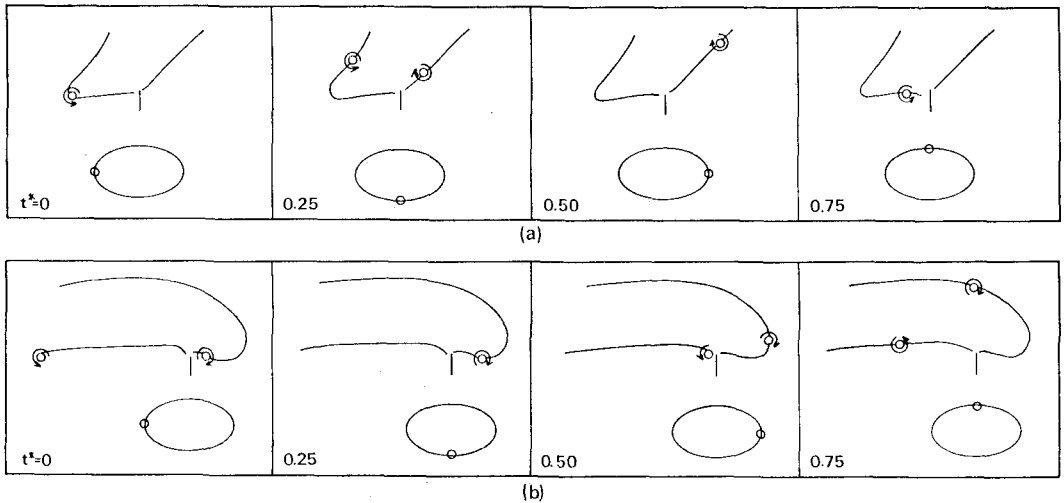
4. 垂直板先端で形成される渦の移動形態

渦の動きを可視化することにより、垂直板先端より波の位相に従って交互に発生する剥離渦の挙動は大きく2つに分類されることが明らかになった。その例を示したものが図-3(a)および(b)である。図中の数字は、垂直板直上を波の山と谷が通過する時刻の中間の時刻を基準とした時間を、周期で無次元化した値 $t^* (=t/T)$ である。(a)は水深に比較して相対的に板の高さが高い場合に見られる現象であり、これをA'型とする。また、(b)は水深に比較して板の高さが低い場合に見られる現象で、これをB'型とする。これらの2つの型の渦の動きと位相の関係をわかりやすく示したものが、図-4(a)および(b)である。

A'型における渦の動きは次のようになる。 $t^*=0.5 \sim 0.75$ に岸側に生じた渦は、約 $3/8$ 周期は岸向きに進行するものの、 $t^*=0$ で静止し、造波側上向きに進路を変える。丁度その時期に板の造波側にも渦が生じ、初めの



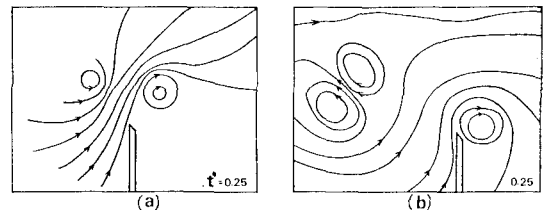
図—3 剝離渦の移動形態. 異なる記号は異なる渦の結果であることを示す. また, 図中右側が造波側である.



図—4 渦の移動と波の位相との関係. 図中右側が造波側である.

渦と対になって造波側上方に進行する. 一方, B' 型においては, $t^*=0 \sim 0.25$ 付近で造波側に生じた渦は, $t^*=0.5$ までそのまま流れに乗って造波側に進むが, $t^*=0.5$ を過ぎると, 上方, 岸向きへと, その瞬間の流れの向きに従って進行する. その時期に岸側にも渦が形成され, 2つの渦は岸向き流れおよび渦対としての速度を加えた速度で岸向きに進行する.

このような差は, 波動による流れが板によりどれだけ方向を変化させられるかによって生ずる. 図—5 (a), (b) は, 波動による流れが板の影響を最も強く受ける位相にあたる, 板の直上に波の谷の部分通過する位相におけるポリスチレン粒子の軌跡より求めた流跡線である. (a) が A' 型にあたり, (b) が B' 型にあたる. A' 型の場合には, 造波側に向う流れが板により大きく上向きに変えられ, 板の背後に大きな剝離域が形成されている. 造波側向きの流れが存在する位相で板の先端付近に生じた渦は, 流れが造波側上向きに変えられているために, すぐに板先端を離れ, 上向きの流れおよび板の岸側に存在する渦との間に生ずる並進運動による上向き速度によ



図—5 波の谷の位相における垂直板付近の流況. 図中右側が造波側である.

て, 造波側上方に進行して行く. このように, A' 型の場合には比較的短時間に渦が板先端を離れ上昇するのに対し, B' 型の場合には板の背後の剝離域は小さく, 渦は板先端付近に長時間とどまる. するために, B' 型の場合には, 流れの向きが変化した時点においても渦は板先端に近い位置に存在しており, 板の岸側に新しく生ずる渦との間に渦対を形成し, 渦対としての並進速度および波動による岸向きの流れによって岸側に進行して行くことがわかる.

このように, 渦の移動形態の違いは流れの向きが板に

よりどの程度変化されるかに起因している。従って、渦の移動形態は、板の高さ、水深、波高、波長、周期などの相対的な関係から定まると考えられる。ここでは、その第一段階として、板の高さと水深の影響を調べる。

図-6 は、板の先端から水面までの距離と水深を波長

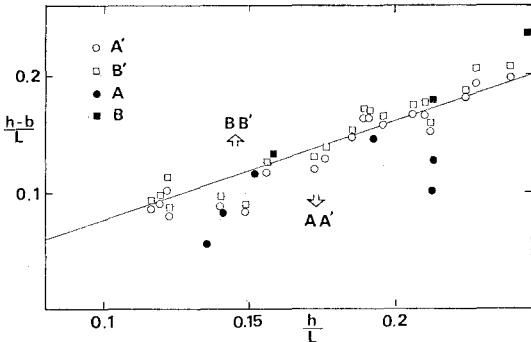


図-6 渦の移動形態及び底面形状の変化形態の区分図

で無次元化した量に対して、それぞれの移動形態をプロットしたものである。波高や周期の影響は何も考慮されていないために、多少のばらつきは存在するものの、この程度の実験範囲においては、比較的明瞭に2つの形態の領域区分が可能なのことがわかる。また、この図より、水深が大きいほど、板先端から水面までの距離が大きいくほど、A'型をとりやすいことが示される。

5. 渦の移動形態と底面形状の変化の比較

図-6 中には、3における底面形状の変化形態の2つの型の分類も同時に行われている。図より、底面形状の変化がA型をとる場合には渦の移動形態はA'型をとっており、B型をとる場合にはB'型をとっていることがわかる。このように、渦の移動形態と底面形態が変化することと、流れを可視化して得られた流況の変化を総合すると、図-2に見られる底面形状の変化は次のようにして生ずるものと思われる。

砂の輸送は流れと渦によって行われるが、渦による量の方がより多いと考えられる。そのため、初期には主に渦の進む側、すなわち、A型では造波側、B型では岸側に堆積が進む。 $t^*=0.25$ における造波側向きの流れと

$t^*=0.75$ における岸向き流れを比較すると、いずれの型においても、板先端から水面までの距離が大きいために岸向き流れのほうがより強力となる。従って、B型においては造波側に堆積が進むことはないが、A型においては、初めは造波側に移動する渦によって多量の砂が輸送されるために造波側に進行するものの、砂面の位置が高くなって剥離渦の中心に近づいてくると巻き上げと堆積が釣り合う状態になり、今度は流れによって運ばれる砂のために岸側の堆積のみ進行することになる。そのため、十分時間が経過した後は、岸側の方が高くなると考えられる。

6. 結 語

波動場の水中に置かれた垂直板付近における底面形状の変化およびそれをもたらし流況について次のような結果が得られた。

1) 板付近の底面形状は、水深に比較して板の高さが相対的に高い場合には、初め板近傍の造波側に堆積を生じその外側に洗掘を生ずるが、時間が十分経過すると岸側に多量の砂が堆積する。板の高さが相対的に高い場合には、初めから板の岸側に堆積する。

2) 板先端の剥離によって生ずる渦の挙動は、板が相対的に高い場合には造波側上方に進み、相対的に低い場合には岸側に進む。こうした差は、板の高さが相対的に高い場合には、流れが造波側に向かう位相の時に板によって大きく上向きに変えられるために、板先端に形成する剥離渦が早い時期に先端部を離れてしまうことによる。

3) 底面形状の変化の2つの形態と渦の移動の2つの形態の領域区分はよく一致しており、初期の底面形状の変化の違いが渦によっていることが明らかになった。

参 考 文 献

- 1) 日野幹雄・山崎文夫：垂直板による波の反射率・透過率およびエネルギー損失，土木学会論文報告集，第190号，pp. 75~80, 1971.
- 2) Mei, C. C. and J. L. Black: Scattering of surface waves by rectangular obstacles in waters by finite depth, J. Fluid Mech., Vol. 38, pp. 499~511. 1969.