

# 人工リーフ開口部の 鉛直断面流速分布に関する実験的研究

## EXPERIMENTAL STUDY ON VERTICAL VELOCITY DISTRIBUTION AROUND THE OPENING OF ARTIFICIAL REEFS

小山内和幸<sup>1</sup>・南将人<sup>2</sup>

Kazuyuki OSANAI, Masato MINAMI

<sup>1</sup> 学生会員 八戸高専 建設環境工学科 (〒039-1192 八戸市田面木上野平 16-1)

<sup>2</sup> 正会員 工修 八戸高専 建設環境工学科 (〒039-1192 八戸市田面木上野平 16-1)

Artificial reefs have been constructed for protecting coast from erosion and for replacing detached breakwaters. The constrictions cause topographical change around them. Main sediment transport around an opening is bed load, but suspended sediment cannot be ignored. So the experiment using 3-ADV (Acoustic Doppler Velocity Meter) was carried out to measure the vertical mean velocity distribution at a center of opening.

The result of experiment shows that the return flows direction was upward at onshore, and downward at an opening. The return flows turn alternately up and down. The amplitude of mean horizontal velocity was the maximum at the bottom. Closing to water surface, the amplitudes of velocity were getting to small.

*Key Words : Artificial Reefs, Vertical Current, 3- ADV, Topography Change*

### 1. はじめに

従来の離岸堤に代わって, 最近人工リーフが多用されている。これはリーフの天端面が静水面下となるために景観性に優れ, かつ構造物周辺に発生する湧昇流による集魚の効果を期待しているためである。水理学的には天端面上で強制砕波を促進する事によって通過波を減衰させ背後の砂浜を保護している。しかし, 既往の調査結果によれば, 施工前後に実施した深浅測量図の比較より2基以上で使用した場合に開口部周辺では局所洗掘現象が生じることが知られており<sup>1,2)</sup>, 設置後にリーフの沈下や崩壊等によって機能の低下が懸念され, 開口部幅や堤長などの平面的な諸元の決定が重要である。開口部周辺での漂砂は強い岸からの戻り流れによる掃流砂が卓越しているものと考えられる。しかし砂移動は水平・平面のみならず, 浮遊砂によって鉛直方向にも分布を有していると思われ, 実験的に開口部周辺の鉛直断面方向の流速分布を知る必要がある。

本研究は, 開口部中央での鉛直断面方向の平均流速分布を水理模型実験にて測定して鉛直方向の分布特性を求め, 既往の底面流速分布の測定結果<sup>3)</sup>と合わせて人工リーフ開口部周辺の平均流速分布を3次元的に考察した。特に地形変化量算定に必要な底面流速とその位置での波高との関係を整理して, 開口部での水位変化と平均底面流速との関係を実験的に求めた。

### 2. 実験方法

#### (1) 実験水槽と模型配置

開口部周辺の鉛直断面に3次元流速を室内水槽を用いて測定した。実験に用いた水槽は, 長さ 10.0m, 幅 0.8m, 最大水深 0.8m であり, 水路の一部は両面アクリル製となっており, 水路側面から水位変動等の観測が可能である。この水路の一方には, プランジャー型規則波造波装置が取り付けられている。この造波機直前には, 波進行方向に対して直角方向 5.0cm 間隔で消波用ネット (網目間隔 1mm) を設置して, 長時間に渡る造波中に発生する横波を防いだ。また反対側の水路の端部には, 1:2の斜面に消波ブロックを設置して消波した。

次に, 人工リーフ模型は, 天端幅 32cm, すなわち堤長 64cm, 高さ 17.5cm, 法面勾配 1:2 の不透過性型 (ベニヤ板製) の模型を2基設置した。底面の砂移動を観測するために若干の砂を開口部周辺にばらまいた。リーフ長さ (Lr) と開口部幅 (W) との比は, 「海岸保全施設設計便覧」<sup>4)</sup>より海浜安定の目安となる諸元である  $Lr/W=4$  となるようにした。リーフ模型は造波機前面から 3m 離れた地点に沖側法先位置となるように配置した。測定に用いた座標系は, 開口部中央の沖側肩部を原点とし, 波進行方向 (岸向き) を (+) 側に, それと直角に Y 軸を設定した。また, 底面から鉛直上向きに Z (+) をとった。図-1 に実験装置の概要を示す。

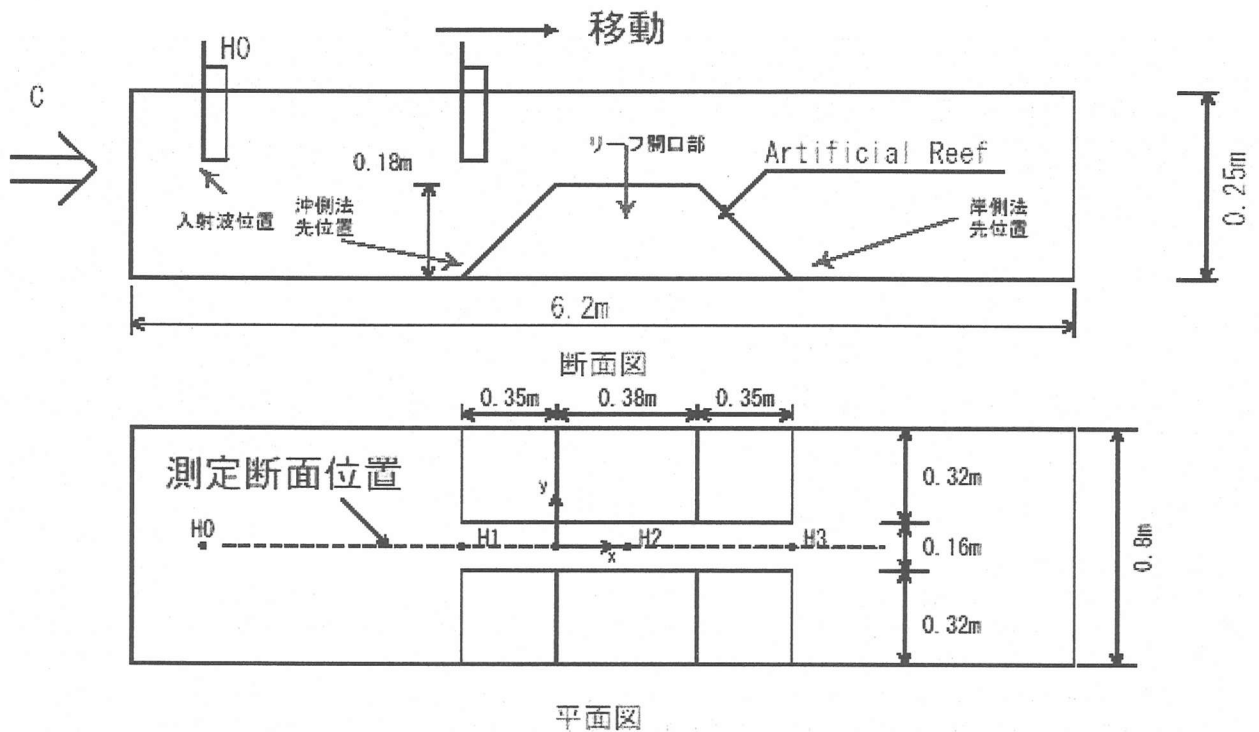


図-1 模型配置図と測定位置

## (2) 実験波諸元

実験に用いた波浪は、開口部に敷いた砂が層をなして移動し、顕著な地形変化を生じた諸元を用いた。

表-1 実験条件

入射波高(H) 8.8cm	周期(T) 0.9 秒
リーフ設置水深(D) 25cm	波形勾配(H/L) 0.08

## (3) 測定装置および測定方法

測定項目は、水位変動、流速変動の2項目とした。

水位変動は容量式波高計（東京計測機）を4台用いた。写真-1 に示すように計測器の増幅部 (A) からの出力電圧をA/D変換（カノプス社製、分解能12ビット）しながら解析用パソコンに記録した。測定前に実施した波高と出力電圧との関係から容量式波高計の校正値を求め、記録された電圧を波高に換算して各種統計処理に用いた。流速には、3次元超音波ドップラー流速計（3-Dimensional Acoustic Doppler Velocimeter: Sontek 社）を2台用いた。写真-2 に示すように、このセンサーは、トランスミッタ (B, C, D) から発信した超音波を50mm下部における3mm立方部からの反射を枝状に張り出したレシーバ（写真中 A）で受信する事で、3次元的に最高 25Hz で測定するものである。波高測定は、岸沖方向に10cmピッチで移動させ、15地点でデータを収集した。図-1 に示すように H<sub>0</sub> の波高計は固定されており、H<sub>1</sub>~H<sub>3</sub> を移動させながら H<sub>0</sub> に水位変化のピークを合わせることによって46ヶ所で同時に測定した事となる。流速測定は、沖側肩部を原点に、沖側を（-）、岸側を（+）として5cmピッチで水平方向に60ケース、同様に高さを2cmピッチで変え、鉛直方向に6ケースの、2台分で全720ヶ所のデータを測定した。

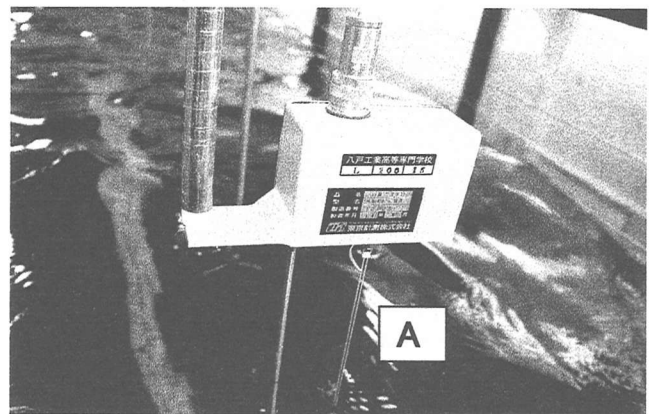


写真-1 容量式波高計

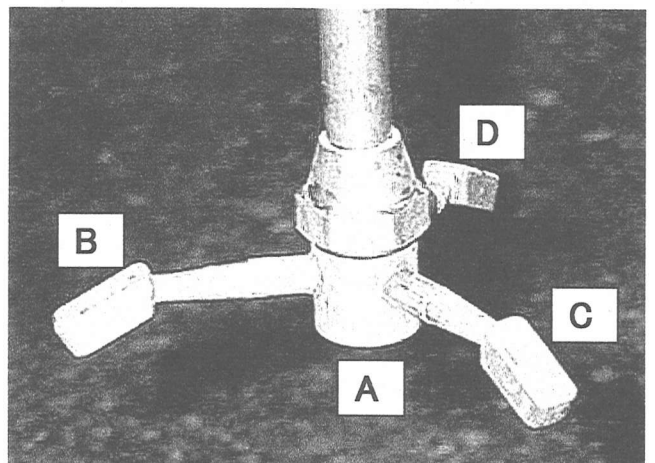


写真-2 3-ADV

### 3. 実験結果および考察

#### (1) リーフ天端面での碎波状況

リーフ天端面上での碎波状況を写真-3に示す。天端面上では非線形性が強くなり、開口部より波速が速くなっていた。無堤状態では開口部の水深が深く、碎波しないが、リーフを設置すると天端面上の碎波の影響を受け、開口部でも遅れて碎波が発生していた。

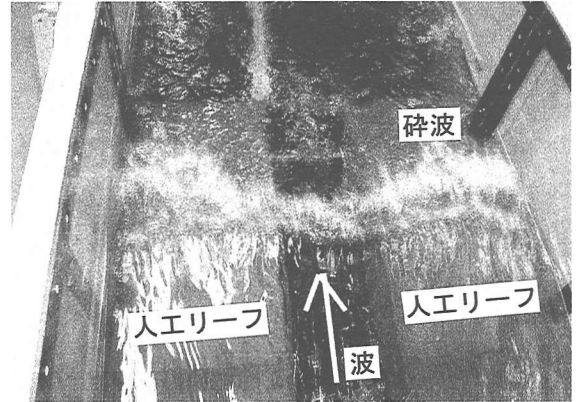


写真-3 リーフ上の碎波状況

#### (2) 底面付近の水平流速の測定結果と平均流速

底面付近の水平流速の測定結果と平均流速の結果を図-2に示す。造波機前面の位置での流速は、上下ほぼ対称の振幅を示しており、平均流速を算出した結果、ほぼゼロとなった。開口部中央での流速は天端面碎波の影響により、平均流速が  $-12.8\text{cm/s}$  となっていた。すなわち水粒子が沖の方向へと移動していたことが確認できた。

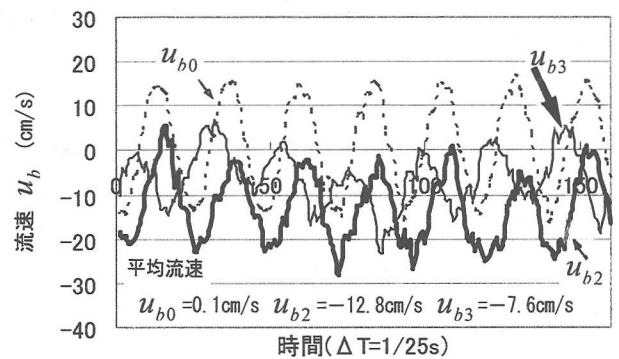


図-2 水平流速の測定結果と平均流速 (Z=1cm)

#### (3) 開口部中央の水平流速の鉛直分布

開口部中央の水平流速を鉛直方向で比較した結果を図-3に示す。水面、中央、底面とあるが、水面というのは静水面以下約 5cm の位置を現している。これは ADV の性質上、表面については碎波しているので計測が難しいためである。平均流速は、底面流が最も大きく、中央から水面と徐々に小さくなっていったことから、実際の水面では進行波の影響により平均流速が (+) 側に転じていると考えられ、平均流速分布は一様分布になっていないことが分かった。

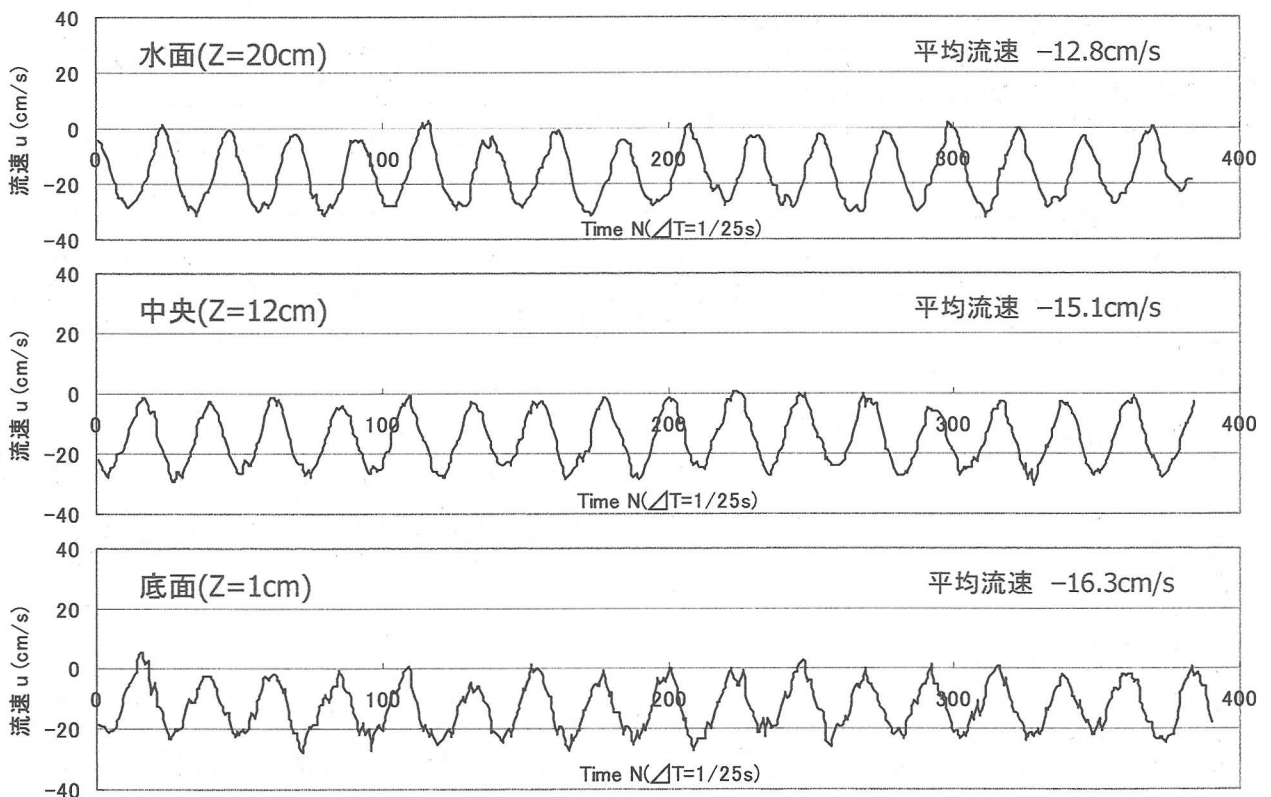


図-3 開口部中央の水平流速

#### (4) 鉛直断面の流速ベクトル

平均流速ベクトルの鉛直断面の図を図-4に示す。図上では波は左から右へ進行している。進行していった波はリーフ岸側において、リーフ岸側斜面の影響により鉛直上向きに戻り流れとなっていた。そして開口部中央で碎波の影響により、上向きだった戻り流れが押し付けられるように鉛直下向きとなり、そしてリーフ沖側肩部において押し付けられた流れが反動によって鉛直上向きとなって拡がるような分布特性を有していた。

#### (5) 水位の時系列変化

水位の時系列変化を各測点で比較した図を図-5に示す。造波機前面では上下一様振幅の規則波となっていたが、開口部中央の波は非線形性が強くなり、急激に水位が上昇したことによる碎波現象が生じていた。そして岸側法先部では開口部の碎波の影響で波高減衰が生じ、高周波成分すなわち腰掛部が生じていた(図中の記号 a)。

#### (6) 波高と平均流速の関係

水位 ( $\eta$ ) を用いて、非線形長波の波速式で底面流速 ( $u_b$ ) を無次元化した結果を図-6に示す。

$$\frac{u_b}{\{g(h+\eta)\}^{0.5}} \quad (1)$$

ここで、 $g$ : 重力加速度(=9.8m/s<sup>2</sup>)

$h$ : 水深(=25cm)

$\eta$ : 水位(cm)

$u_b$ : 底面流速(cm/s)

を表す。

開口部の底面付近は平均流が冲向き、すなわち戻り流れとなっていた。岸側肩部から沖側肩部にかけて徐々に戻り流れが強くなり、開口部では0.06~0.08となり、沖側肩部を過ぎたところから急激にゼロに近づいて

いた。これは底面流がリーフ開口部の狭い水路から広い実験水路に抜けて拡散したためと考えられる。なお、リーフ天端面付近で無次元化した底面流速は平均0.07となった。

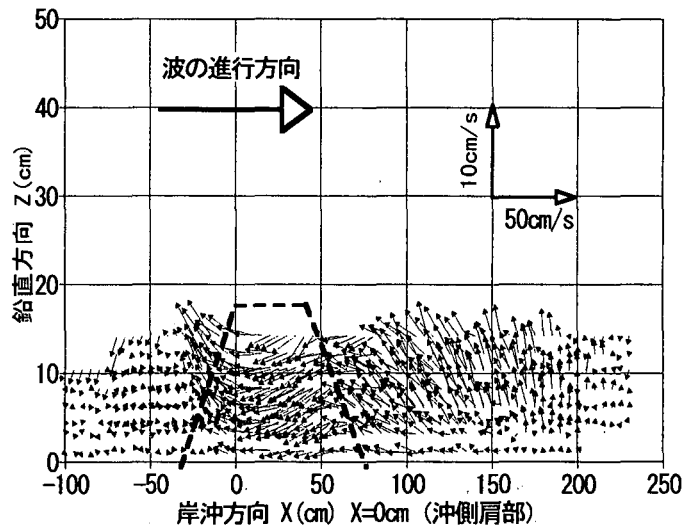


図-4 平均流速ベクトル(u,w)の鉛直断面分布図

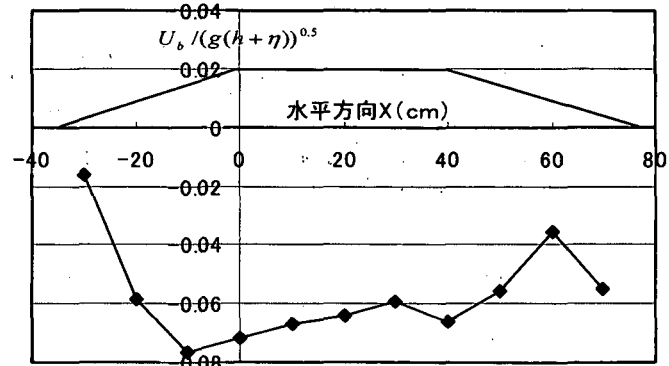


図-6 底面流速と長波の流速との比較

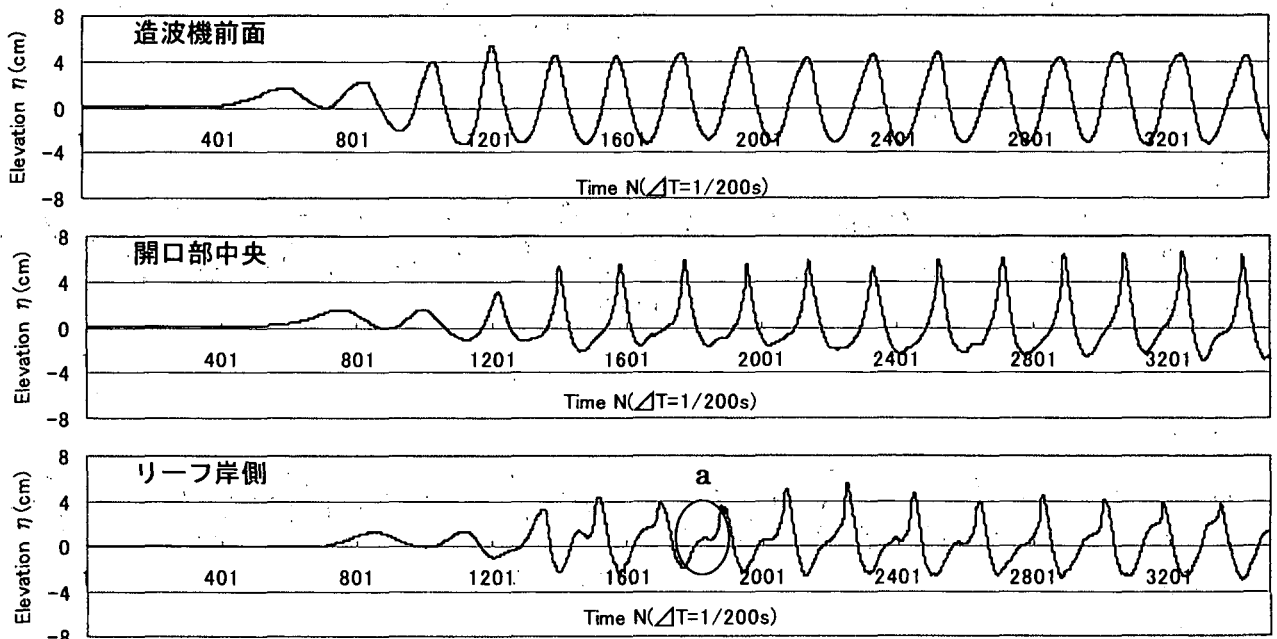


図-5 水位の時系列変化

### (7) 水平流速のスペクトル解析

不規則に変動しているように見える流速のデータから、振動成分を探り出す手法としてスペクトル解析を用い、開口部における流速成分の周波数特性を検討して、砕波の影響について検討した。

一般に規則性として考えられる関数は、三角関数、指数関数である。一見不規則な振動に見える現象の本体が、様々な周期や振動の三角関数の合成されたものであるという仮定の元、不規則変動を規則的な周波数成分に分解することをスペクトル解析（プリズム効果）と呼ぶ。

解析対象位置は、リーフ沖側(X=-35cm)と開口部沖側肩部(X=0cm)、リーフ開口部中央(X=20cm)、岸側肩部(X=40cm)、そしてリーフの岸側(X=75cm)の全5箇所とした。底面付近の水平流速(u)に加え、浮遊砂による移動を検討するために、鉛直流速(w)の2成分について解析を行った。

開口部周辺の底部における水平流速(u)の解析結果を図-7に、鉛直流速(w)の結果を図-8に示す。水平流速の結果を見ると入射波の基本周波数 $f=1.1\text{Hz}$

付近のピークが波進行とともに減衰しており、その他の周波数では特に大きな変化は見られなかった。これより開口部における砕波による水塊の飛び込みによって発生する高周波成分は小さく、底面の砂移動はほとんど戻り流れによるものと考えられる。

### (8) 空間分布特性

既往の底面付近における平均水平流速ベクトル図(u,v)は、リーフの岸側ではほぼゼロで、開口部中央で波進行方向と逆向きの強い流れとなり、さらにリーフの沖側では開口部に引きずり込まれるような循環流が生じていた。本実験で得られた鉛直断面の平均流速測定結果より(u,w)、岸側と沖側の法面付近で鉛直上向きとなる流れが、開口部中央では下向きの流れとなっていた。これらの実験結果より、リーフを越えて岸側に輸送された余剰フラックスは、戻り流れとなって沖側に戻る際、開口部での砕波の影響を受けて流れの向きが鉛直下向きに押し付けられるような向きとなり、さらに開口部沖側で鉛直上向きに開放され、それを補償するように底面で循環流が生じているものと推測される。

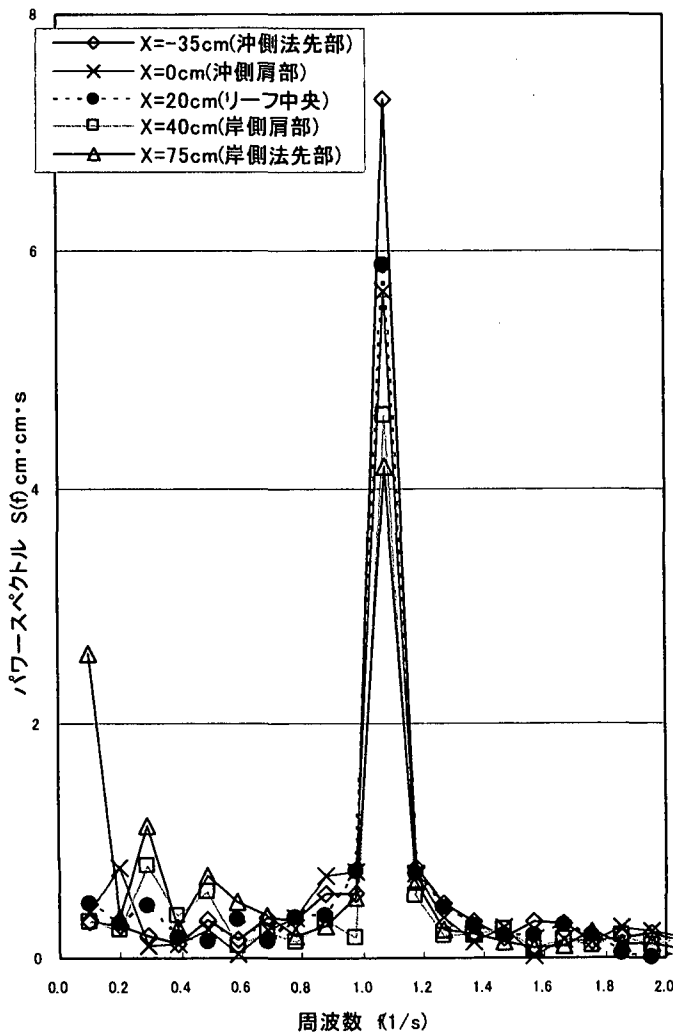


図-7 水平流速 (u) のスペクトル図

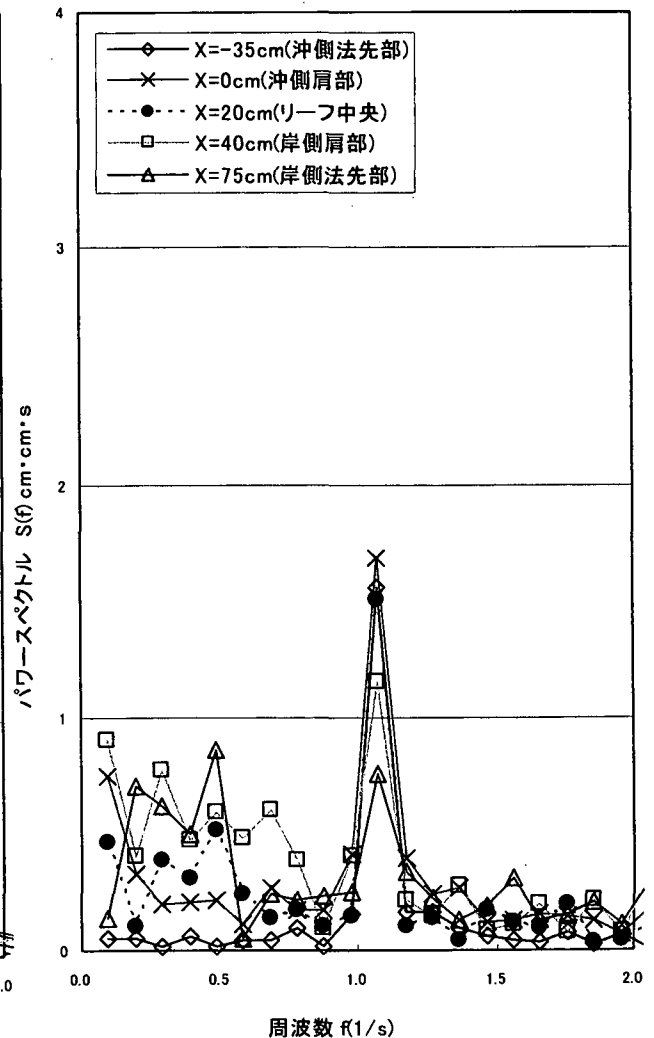


図-8 鉛直流速 (w) のスペクトル図

#### 4. 結論

本研究によって得られた結論を以下に列記する。

- 1) リーフ中央の平均流速の鉛直断面の分布は、岸側からの強い戻り流れが開口部での砕波によって押し付けられるような流れになり、岸側肩部で上向きに流れの向きが転じていた。
- 2) 底面の戻り流れの大きさは、リーフ岸側肩部から沖側肩部にかけて徐々に強くなり、非線形長波で無次元化した底面流速は、ほぼ 0.07 であった。
- 3) スペクトル解析により、高周波成分の卓越性が無いことから、開口部周辺の洗掘現象は砕波による水塊の飛び込みよりも戻り流れによる漂砂が卓越するものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 南将人,真野明: 潜堤・人工リーフの施工事例調査,海洋開発論文集,Vol.17,pp.247-252.2001.
- 2) 南将人,真野明: 人工リーフ・潜堤の施工事例調査,海洋開発論文集,Vol.17,pp.229-243.2001.
- 3) 南将人,真野明: 不透過型人工リーフ開口部周辺の底面流速に関する研究,海洋開発論集,Vol.18,pp.401-406,2002.
- 4) 海岸保全施設設計便覧 2000 年度版,土木学会,2000.12.