

# 消波ブロック近傍の流速場に関する実験的研究

佐貫 宏\* 島谷 学\*

## 要 旨

防波堤や護岸といった港湾構造物は魚類の蟄集効果だけでなく、サンゴの生育基盤としての機能も有していると考えられる。本研究は、サンゴの付着が多くみられる消波ブロックに着目し、水理模型実験によりその近傍の流動特性を調べ、さらに数値波動水路により流速場の評価を試みたものである。

## 1. 研究目的

近年、多くの港湾・水産事業では環境との共生が大きなテーマとなっている。特に、沖縄県を代表とするサンゴ海域では、サンゴに配慮した港づくりが強く望まれており、その実現にはサンゴの生育に適した環境条件を十分に調べておく必要がある。

一方、防波堤や護岸といった港湾構造物は魚類の蟄集効果だけでなく、サンゴの生育基盤としての機能も有していると考えられる。現に、那覇港の新港第一防波堤や浦添防波堤では、消波ブロックの表面に付着する多くのサンゴが確認されている<sup>1)</sup>。これは、消波ブロック周辺の光や流れといった物理環境がサンゴの生育に適しているものと推測されるが、消波ブロック近傍の流動環境について詳細に検討した事例は見当たらない。

そこで、本研究では、港湾構造物周辺におけるサンゴの生育に適した物理環境条件を調べる前段階として、水理模型実験により消波ブロック近傍の流動特性について検討を実施した。

## 2. 水理模型実験

### 2. 1 実験概要

消波ブロック近傍の流動特性を把握するため、まず水理模型実験を実施した。図-1に実験水槽図を示す。実験には、東京海洋大学の2次元造波水槽（長さ25m×高さ1.5m×幅1m）を用いた。水槽の一端にはピストン型造波装置が取り付けられており、パソコンからの造波信号によって吸収造波が可能である。また、造波装置から10m離れた所から1/30勾配で斜面を立ち上げ、水深40cmの位置に堤体模型を設置し、超音波式流速計によって消波ブロック近傍の3次元流速を測定した。

### 2. 2 模型断面

図-2に模型断面図を示す。本実験で使用した堤体模型は二層被覆形式の消波ブロック被覆堤である。ケーソン部分は垂直に固定した耐水ベニヤで代用し、前基部に碎石を台形上に積み上げ、その表面を消波ブロックにより二層整積みで被覆した。また、使用した消波ブロック模型はモルタル製の930gテトラポッド模型で、精度良く流速が測れるように、なるべく大きめの模型を用いることにした。ちなみに、那覇港沖防波堤で用いられている消波ブロック重量は約40tで、実験縮尺にして約1/35である。

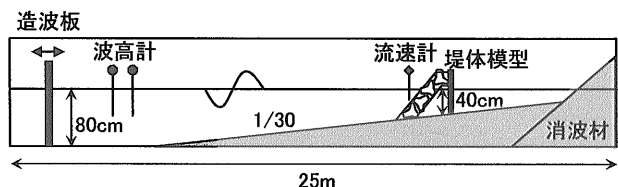


図-1 実験水槽図

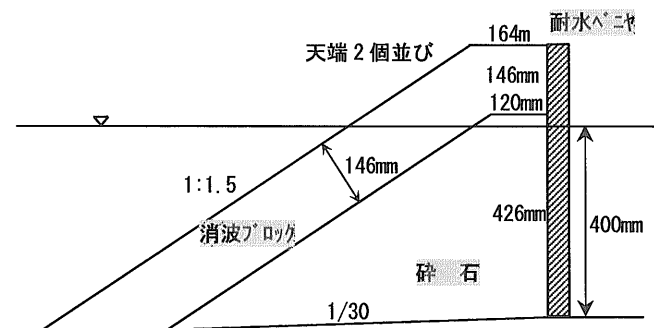


図-2 模型断面図

\*技術研究所

## 2. 3 入射波条件

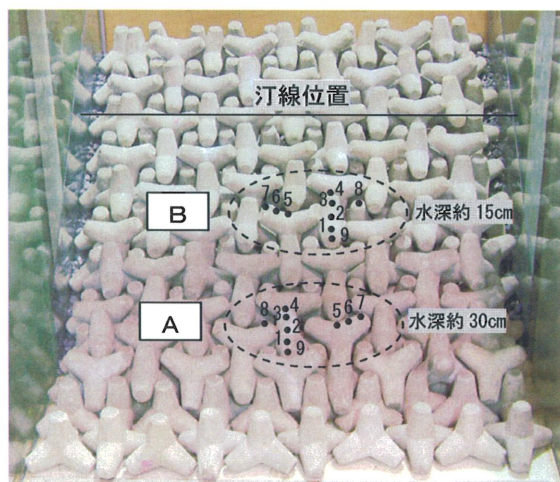
表－1に入射波条件を示す。実験に用いた波は規則波で、周期を1秒に固定し、堤体前面波高を1.4～11.3cmの間で5段階に設定した。なお、堤体模型を設置する前に入射波検定を実施し、堤体位置での波高値が表－1に示した諸元と合うように合わせこみを行っている。

表－1 入射波条件（括弧内は現地スケール）

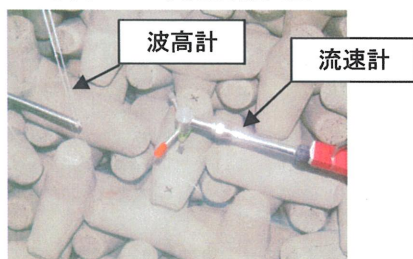
波 高	1.4, 2.8, 5.7, 8.6, 11.4cm (0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0m)
周 期	1.0s (6.0s)

## 2. 4 実験方法

流速の測点については水深の異なる2種類のエリアAおよびBを設定し、各エリアについて9点ずつ計測点を設けた（写真－1）。測定には3次元超音波式流速計（Sontek社Micro-ADV）を使用し、できる限り消波ブロック表面に近い部分の流速を測定できるように計測器の高さを調整しながら実験を行った。また、波によって計測器が揺れ動かないように強固に固定した（写真－2）。測定時間は造波開始後2分間とし、収録周波数50Hzでデータ収録した。さらに、実験の再現性を確認するため、同条件で3回ずつ測定を行った。



写真－1 流速測点位置



写真－2 流速計の固定状況

## 3. 実験結果

### 3. 1 データ解析方法

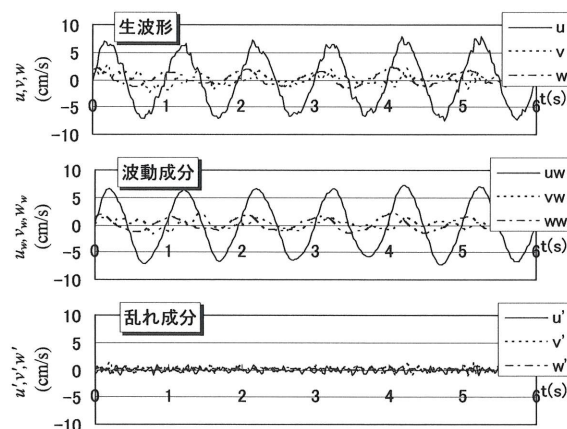
図－3は流速波形の一例である。グラフ中で  $u$  : 岸沖方向（堤体に向かう方向が正）、 $v$  : 沿岸方向（水槽横断方向）、 $w$  : 鉛直方向（上向きが正）である。

図－3を見ると、入射波周期に対応した変動成分（波動成分）以外に、渦の生成によるものと考えられる短周期の変動成分（乱れ成分）が確認できる。

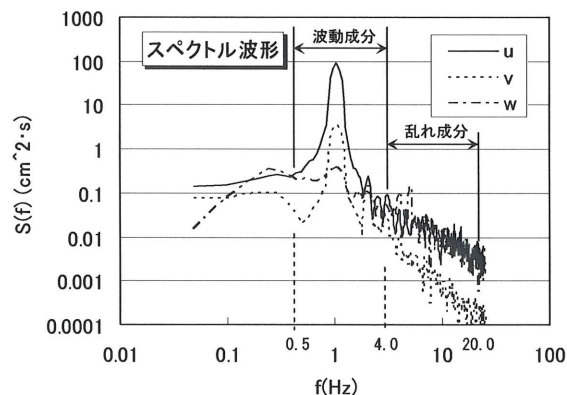
ここでは、得られた波形をスペクトル解析（図－4）によって波動成分と乱れ成分に分離し、①および②式のようにそれぞれ合成流速のrms値に換算して、後のデータ整理を行った。なお、分離にあたり、各成分の周波数帯については波動成分（ $u_w, v_w, w_w$ ）：0.5～4.0Hz、乱れ成分（ $u', v', w'$ ）：4.0～20.0Hzとした。

$$\text{波動成分} : U_{rms} = \sqrt{u_w^2 + v_w^2 + w_w^2} \quad \dots\dots ①$$

$$\text{乱れ成分} : U'_{rms} = \sqrt{u'^2 + v'^2 + w'^2} \quad \dots\dots ②$$



図－3 流速波形の一例（H=5.7cm, T=1s）

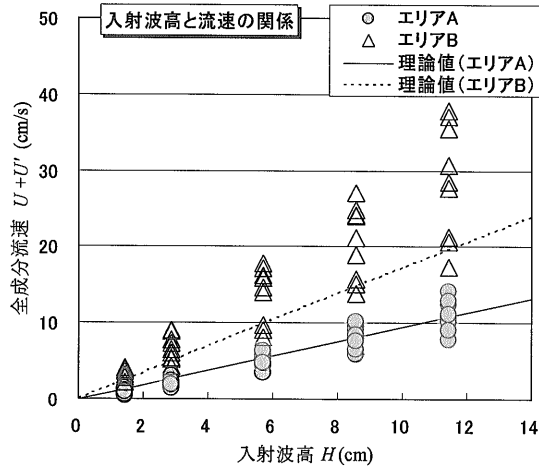


図－4 流速の周波数スペクトル（H=5.7cm, T=1s）

### 3. 2 入射波高と全成分流速の関係

図－5は入射波高と全成分流速の関係を示したものである。測点によってばらつきはあるが、入射波高にほぼ比例して流速値は大きくなっている。

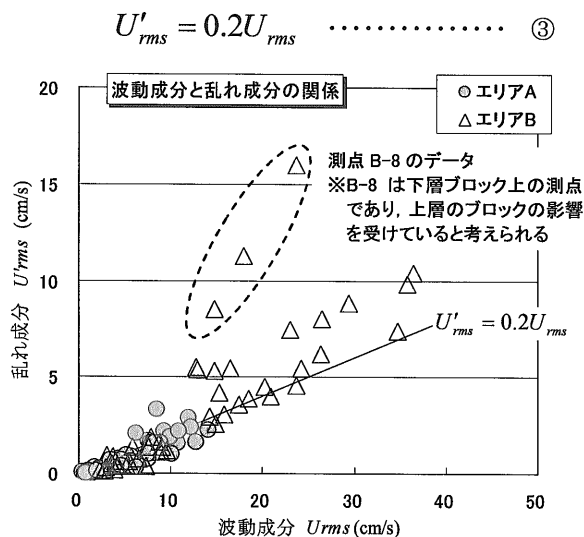
また、図－5中の実線および点線は、微小振幅波理論より消波ブロックがないものと仮定して算出した各エリアでの波動流速値である。水深の浅いエリア B については、実験値のほうが理論線よりもやや大きいのが定性的にみとれる。



図－5 入射波高と全成分流速の関係

### 3. 3 乱れの影響

さらに、図－6は流速の波動成分と乱れ成分との関係を示したものである。点線内のデータ（下層ブロック上の測点 B-8 での流速値）を除けば、全体的な傾向として、消波ブロック近傍では波動成分のおよそ 20% 程度の乱れが発生することが確認できる。

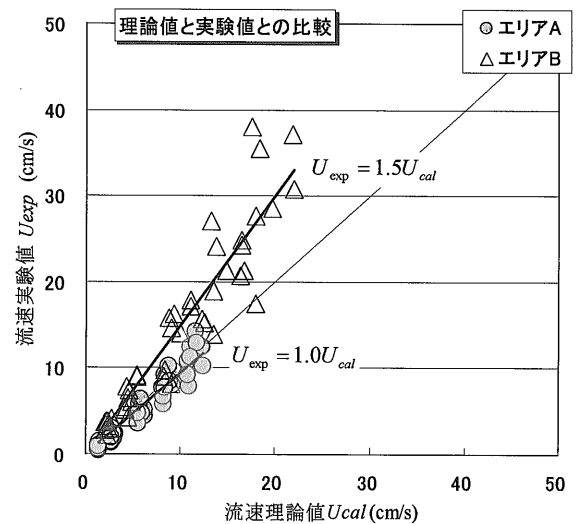


図－6 波動成分と乱れ成分の関係

## 4. 消波ブロック近傍の流速場の評価方法

### 4. 1 微小振幅波理論との比較

次に、消波ブロック近傍の流速場の評価方法について検討した。まず、図－7は、微小振幅波理論により消波ブロックがないものとして算出した流速理論値と実験値を比較したものである（両者ともに rms 値）。水深の深いエリア A については両者は良く対応している。しかし、比較的水深の浅いエリア B では、実験値は理論値の 1.5 倍程度とエリア A に比べ大きく、消波ブロックの影響に加え非線形性の影響が考えられる。水深によって比例定数は変化するようであり、精度の良い評価式を見出すには更なる検討が必要である。

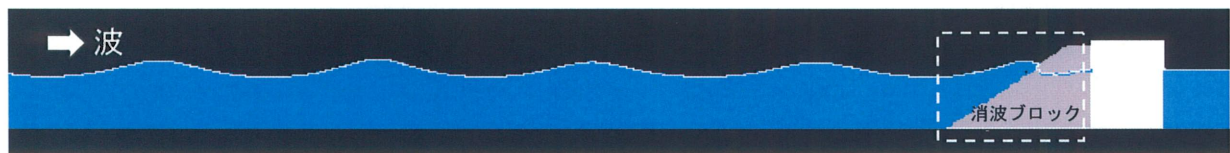


図－7 微小振幅波理論との比較

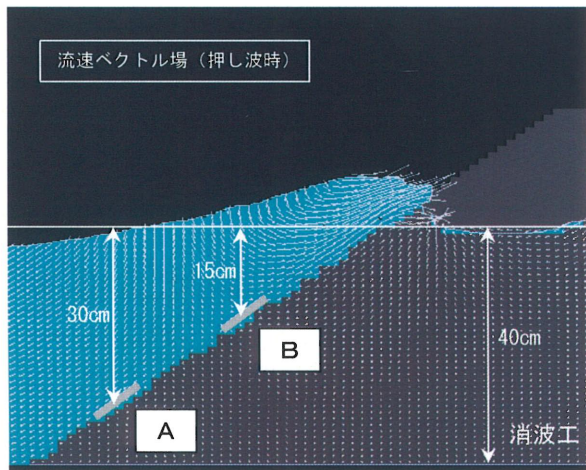
### 4. 2 数値波動水路 (CADMAS-SURF) による評価

さらに、消波工表面の流速分布を詳細に検討する目的で、数値波動水路<sup>2)</sup>による流速場の評価を試みた（図－8）。数値波動水路は水面の取り扱いに VOF 法を用い、ナビエ・ストークス方程式を差分法で直接解いて波動運動を解析するツールである。数値波動水路では、消波工部分をポラス層として計算するため、消波工内の流速も含めて計算可能である。そこで、エリア A、B に対応する位置での流速を計算し（図－9）、実験値と比較した。ただし、数値波動水路では個々のブロック形状は考慮できないため、実験で計測されたような乱れは評価できない。これを補うため、数値波動水路により直接計算される流速の rms 値 ( $U_{cal0}$ ) に、波動成分の 20% の乱れ成分を加味した計算値 ( $U_{cal}$ ) と実験値と比較したところ、両者は良く一致することが確認できた（図－10）。

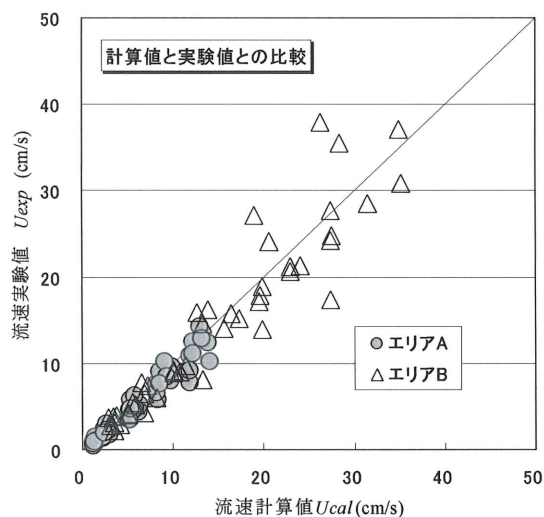
$$U_{cal} = 1.2U_{cal0} \quad \text{.....} \quad (4)$$



図－8 数値波動水路で設定した計算領域



図－9 押し波時の流速ベクトル図



図－10 数値波動水路による計算値との比較

## 5. まとめ

本研究では、水理模型実験により消波ブロック近傍の流動特性について検討を実施した。その結果、得られた主な結論は以下のとおりである。

- ・消波ブロック近傍の流速について、渦生成等により波動成分の約 20% 程度の乱れが発生する。
- ・流速の実験値は微小振幅波理論（進行波）による計算値のおよそ 1.0～1.5 倍程度となり、水深によってその倍率は変化する。
- ・数値波動水路では個々のブロック形状を考慮できないが、乱れ成分を考慮することにより数値波動水路でも消波ブロック近傍の流速を評価できる。

今後、本研究に基づいた評価方法により、実際にサンゴの付着している消波ブロック近傍の流動環境を評価し、サンゴの生育分布と比較することで、サンゴ生育に対する好適な物理環境について検討していきたい考えである。

## 【参考文献】

- 1) 沖縄総合事務局（1994）：平成 6 年度那覇港防波堤周辺環境調査業務に関する報告書。
- 2) 磯部雅彦・高橋重雄・余 錫平・榊山 勉・藤間功司・蔣 勤・秋山 実・大山洋志（1999）：数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究—VOF 法基本プログラムの作成—、海洋開発論文集、第 15 巻、pp.321-326。