

波動場中の透水性構造物内外の流れ場の特性に関する一考察

名古屋大学大学院 正会員 水谷 法美 許 東秀
 名古屋大学大学院 Aliasghar Golshani
 名古屋大学大学院 学生員 ○ 平野 善弘 清水 秀行

1. はじめに：近年，海岸・港湾構造物に対して，その波浪制御機能だけでなく，親水性などのさまざまな付加価値が要求されるようになってきている．一方，港湾域のような防波堤に囲まれた半閉鎖性水域は，水質循環が悪く，水質の悪化が深刻化している．したがって，従来の防波堤にかわって，透水性を持たせた構造物に礫などを充填させた透水性防波堤は，波浪制御機能に加え，内部の礫表面に付着する生物作用による礫間接触酸化法によって水質浄化機能をも有する複合機能型構造物として期待される．礫間浄化の特性については近年盛んに研究がなされており，その特性は次第に明らかになりつつある．そして，浄化効率に対して構造物内部での水粒子の滞留時間や構造物内部への流入量などが影響を与えることが指摘されている．しかし，このような物理条件をどのように制御しうることについては，著者ら（水谷ら，2000）も若干検討を加えてきているが，未だに未解明な点も多く残されている．

本研究では，従来行ってきた水理模型実験をさらに異なった条件で行うとともに，三次元波動場を対象にした完全非線形数値波動水槽による数値解析を行って，波動場中に設置された透水性構造物内外の流れ場の実態を明らかにするとともに，その機構と支配要因について考究することを目的とする．

2. 水理実験：実験を名古屋大学の平面波浪水槽（長さ 27m，有効幅 8m，深さ 0.8m）で行った．水槽の一端にはピストン型造波装置が，他端には勾配 1/10 の消波斜面が設置されている．この水槽内に，アングル鋼材と金網でできた金属フレームにガラス球及び砂利を充填した以下の 4 種類の透水性防波堤を設置し（図-1 参照），規則波を作用させた．

- (a) 構造物 1：堤長 600cm，堤幅 30cm，堤高 50cm
（直径 3cm のガラス球を充填）
- (b) 構造物 2：堤長 500cm，堤幅 30cm，堤高 50cm
（直径 3cm のガラス球を充填）
- (c) 構造物 3：堤長 550cm，堤幅 30cm，堤高 50cm
（直径 3cm のガラス球を充填）
- (d) 構造物 4：堤長 550cm，堤幅 30cm，堤高 50cm
（砂利を充填）

発生波の周期 T を 1.0s，1.4s，1.8s の 3 種類，波高 H を 5.0cm，9.0cm の 2 種類変化させた．そして，それぞれの波に対し，構造物周辺の波高分布，およびフロートを用いてラグランジュ流速を測定した．また，構造物近傍では電磁流速計によるオイラー流速の計測も併せて行った．

3. 数値解析：透水性構造物内外における水粒子の挙動とそれに対する構造物や波浪の条件の影響を定量的に考究するため，川崎(1998)による 3 次元 VOF 法に榊山ら(1990)によるポーラスボディモデルを組み合わせた許(2000)の 3 次元完全非線形波浪数値解析モデルを用いて数値解析を行った．

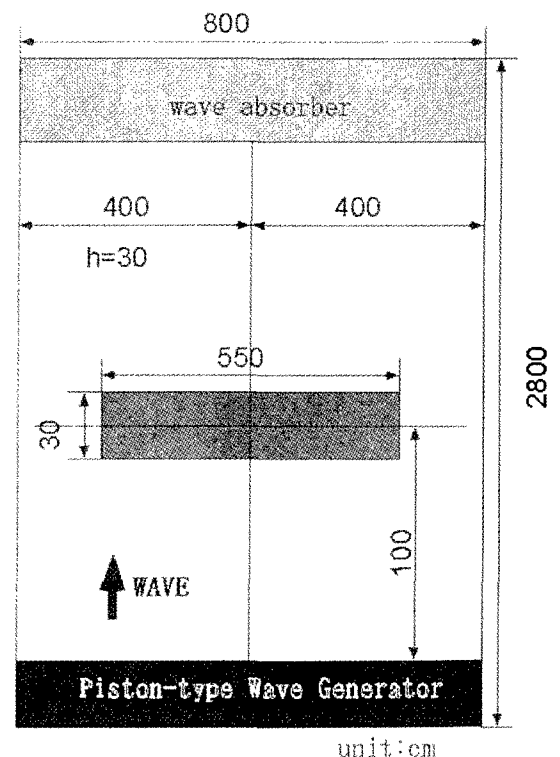


図-1 実験水槽の概要（堤長 5.5m の場合）

基礎方程式は、式(1)に示す質量保存則と、式(2)に示す運動方程式（x 方向のみ記載）、及び式(3)に示すVOF関数Fの移流方程式である。

$$\frac{\partial(\gamma_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_y v)}{\partial y} + \frac{\partial(\gamma_z w)}{\partial z} = q(y, z, t)\delta(x - x_s) \quad (1)$$

$$\gamma_v \frac{\partial u}{\partial t} + \gamma_x u \frac{\partial u}{\partial x} + \gamma_y v \frac{\partial u}{\partial y} + \gamma_z w \frac{\partial u}{\partial z} = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - M_x - R_x + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial(\gamma_x \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_y \tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(\gamma_z \tau_{xz})}{\partial z} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\gamma_v F)}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_x F u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_y F v)}{\partial y} + \frac{\partial(\gamma_z F w)}{\partial z} = F q \quad (3)$$

これらを与えられた境界条件の下で解くことにより、波動場の解が求められる。ただし、この解析結果はオイラー流速であり、透水層内外の水粒子の挙動を定量的に議論するにはラグランジュ流速も必要である。そこで、この数値解析結果を使って1次近似ではあるが水粒子の軌跡を各タイムステップ毎に求めることとした。このとき必要となる水粒子の位置におけるオイラー流速は、VOF法のスタッガードメッシュ上のu, v, wそれぞれについて、水粒子の位置の回りの8点の値を使って補間することとした。

4. 結果と考察：フロートによるラグランジュ流速の結果より、大きさとしては沿岸方向の流速と比べて小さいものの、構造物前面から内部へと入り込む流れの成分が存在することが確認された。また構造物背後でも岸向きの流れがあり、このことから構造物前面から内部を通過して背後へ向かう流れの存在が確認できる。図-2は、電磁流速計によるオイラー流速の計測結果から求めた平均流の分布を示したものである。同図からも、値は小さいものの構造物前面から背後へ向かう流れが確認できる。この流れは入射波の周期の長い方がより強く現れており、また昨

年度行った堤長の短い防波堤模型の結果（水谷ら，2000）と比較すると、堤長の長い本実験結果の方が強くなっている傾向が認められている。すなわち、開口部の小さい方が堤内を通過する流量が増し、水質浄化機能が向上することが考えられる。本原稿の作成時は実験結果の解析を行っている段階であり、流れ場の詳細な構造とその支配機構についての詳細を説明するには至っていない。これについては、数値解析結果とともに講演時に報告する予定である。

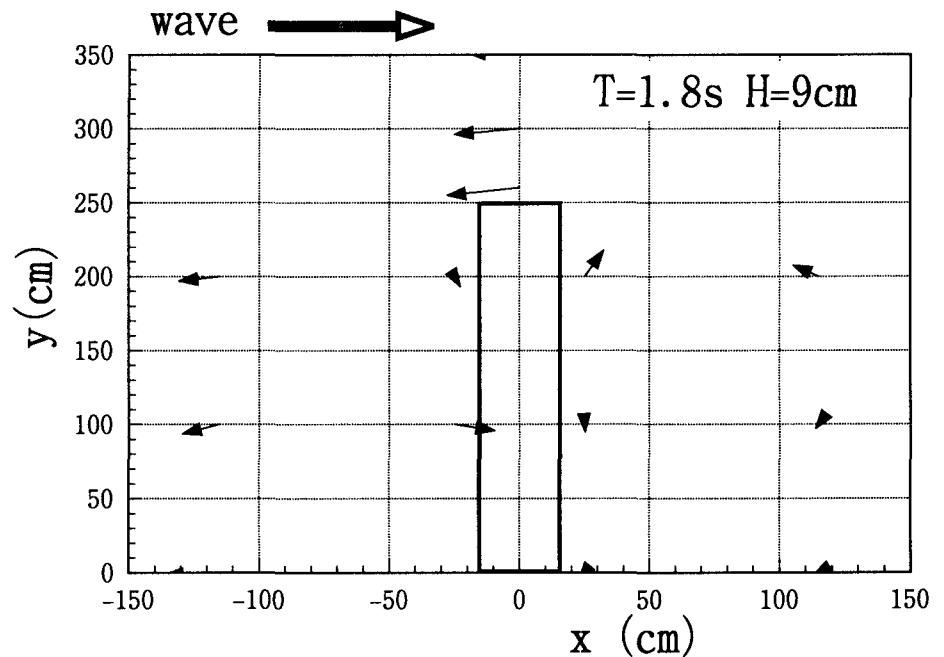


図-2 透水性構造物周辺の平均流速の分布の例

<参考文献>

- 水谷・許・平野・清水・Golshani (2000)：透過性構造物周辺の流れ場の特性に関する研究，海洋開発論文集，Vol.16，pp.41-46。
 榊山・阿部・鹿島(1990)：ポーラスボディモデルによる透過性構造物周辺の非線形波動解析，海岸工学論文集，第37巻，pp.554～558。
 川崎浩司(1998)：潜水構造物による碎波変形と再生過程に関する基礎的研究，名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻博士論文。
 許東秀(2000)：潜堤による多方向不規則波の碎波特性と潜堤上の構造物に作用する波力特性に関する基礎的研究，名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻博士論文。