

透水性構造物内外の流れ場とその支配物理量に関する一考察

名古屋大学大学院 正会員 水谷 法美

名古屋大学大学院 正会員 許 東秀

名古屋大学大学院 学生員 Aliasghar Golshani

名古屋大学大学院 学生員 ○ 清水 秀行

1. はじめに：

防波堤などの海岸・港湾構造物には、従来の波浪制御機能だけでなく親水性などの付加的な機能を持つことが要求されるようになってきている。一般に、日本の港湾は、湾奥部に位置していることが多く、そのため防波堤に囲まれた半閉鎖性水域は水循環が悪く、水質の悪化が深刻化している。したがって、波浪制御構造物に透水性を持たせ、その透水域に充填した礫の表面に付着する生物の作用により水質の改善を積極的に行う礫間接触酸化法を利用した複合機能型波浪制御構造物は、注目に値すると考えられる。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、制御面までを考えた場合、検討すべき点も多く残されている。

本研究は、三次元の波動場を対象に非線形数値解析を行い、昨年行った水理実験の結果と比較しながら、構造物内外の流れ場の実態を明らかにするとともに、その流れの機構と支配物理量を明らかにすることを目的とする。

2. 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、著者らは、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に基づいた数値解析モデルを開発した。しかし、このモデルでは礫径の影響を陽な形で考察することができなかつたため、透水層内の抵抗項を水谷・Mostafa(1997)が二次元問題に対して開発したBEM-FEMモデルで採用した抵抗項に変更することとした。

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。

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

$$A_x \frac{\partial \gamma_v u}{\partial t} + B u \frac{\partial \gamma_x u}{\partial x} + B v \frac{\partial \gamma_z u}{\partial y} + B w \frac{\partial \gamma_z u}{\partial z} + C \frac{\partial P}{\partial x} + E_x u + F_x u \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} = \left(-\frac{2v}{3} \frac{\partial \gamma_x q^*}{\partial x} \right) / (\gamma_v g) \quad (2)$$

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

$$\text{ここに、} A_i = \frac{1}{\gamma_v g} \left(1 + \frac{1 - \gamma_v}{\gamma_v} C_{ai} \right), \quad B = \frac{1}{\gamma_v^2 g}, \quad C = \frac{1}{\rho g}$$

$$E_x = \frac{6[(1 - \gamma_y) + (1 - \gamma_z)] C_{Dx2} v}{g \gamma_v^2 D^2}, \quad F_x = \frac{1}{2} \frac{C_{Dx1} (1 - \gamma_z)}{g \gamma_v^3 D}$$

運動方程式(2)では、線形抵抗項と非線形抵抗項からなる抗力項と慣性力項からなる修正型のMorison式による抵抗項が考慮されており、これにより礫径Dの効果が陽な形で含まれる。

以上の式を、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、その結果を実験結果と比較しながら考究することとした。

3. 結果と考察：

波高分布、オイラー流速、ラグランジュ流速の数値解析結果について、同一の条件に対する昨年の実験結果と比較した。波高分布については図-1(a)と(b)に示すように、数値解析結果は実験結果と腹や節の値やその分布の形状など良好な一致を示している。紙面の都合上図示できないが、数値解析の結果より、 C_M を大きくすると透過率が下がり、逆に反射率は上がる。一方、 C_{D2} を大きくすると構造物前面・背後ともに波高が小さくなるが確認された。これは C_{D2} を含む線形抵抗項が層流のような流れに対して加わる摩擦抵抗に相当しており、透水性構造物内部のような流れの小さなところではエネルギー逸散に有意な寄与をしているためと考えられる。

流れ場については、図2に示す $z=-15\text{cm}$ でのオイラー流速からわかるように、開口部から岸側へと流れ込み、さらに構造物背後から内部へ流れ込む循環流を形成することが確認できる。

4. おわりに：

本研究では抵抗項を改良した数値解析の結果に基づいて透水性構造物内外の流れ場の特性をその支配物理量について検討を加えた。より詳細な結果については講演時に報告する予定である。

参考文献

榊山・阿部・鹿島(1990)：ポーラスボディー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, pp554～558.

川崎(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(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.

水谷・Mostafa(1997)：波の非線形を考慮した混成堤基礎地盤の波浪応答に関する研究, 海岸工学論文集, 第44巻, pp926～930

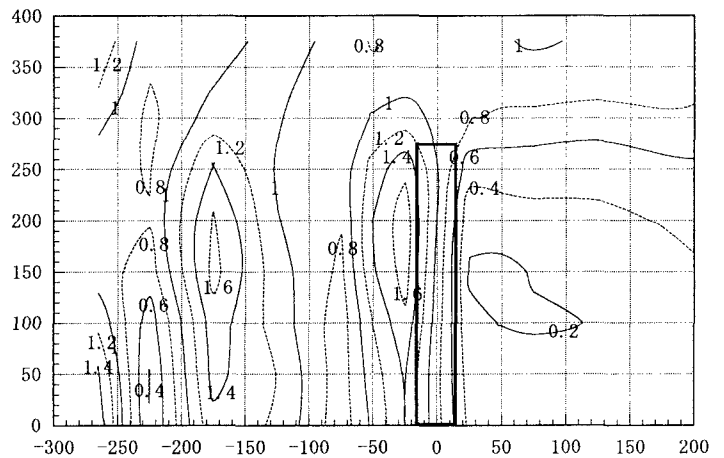


図 1(a).実験結果による波高分布

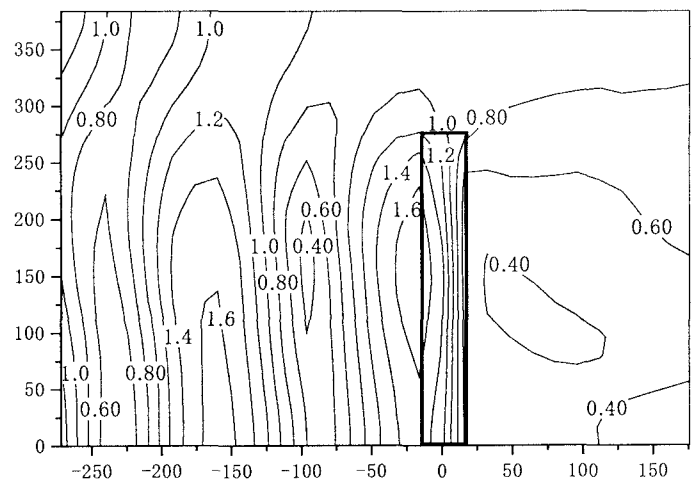


図 1(b).数値計算による波高分布

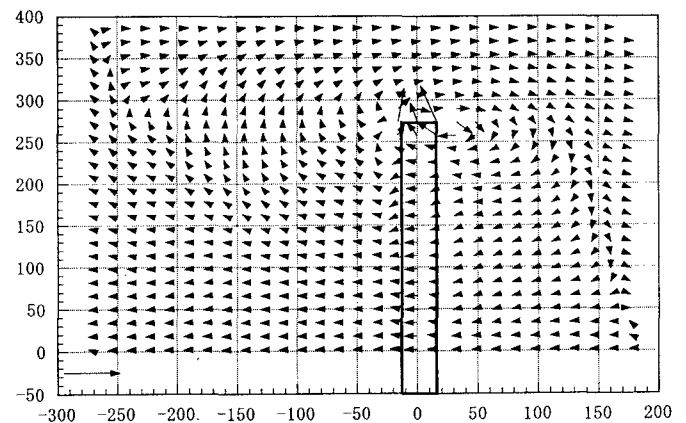


図 2.数値計算による流れ場