

II-275

透過潜堤周辺波浪場の非線形解析

東京大学大学院 学生会員 ○ 高橋 秀俊
 東京大学工学部 正会員 磯部 雅彦
 東京大学工学部 正会員 渡辺 晃

1. はじめに

海岸侵食制御と景観保全を主目的として、最近再び潜堤が建設されている。透過潜堤は、透過性であるが故、海水交換に対しても有効な構造物である。透過潜堤周辺波浪場を解析する研究としては、Somchaiら(1989、1990)によるものがあるが、実現象での非線形性に伴う波の分裂による周期の変化が数値モデルに取り入れられていないため、特に潜堤背後における精度が悪かった。そこで、芝ら(1991)は波の非線形性を取り入れ、岸冲方向1次元問題における数値モデルを開発した。得られたモデルは、波の分裂などの実現象をよく表現しており、実験結果との一致も良好であった。本研究では、透過潜堤周辺波浪場の平面2次元問題における非線形数値計算モデルを開発した。この計算結果と実験結果とを比較することにより、方程式の適用性を調べた。

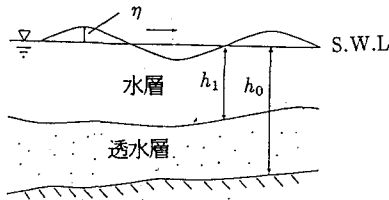


図1: 概要

2. 透水層上非線形波動方程式

基礎方程式の導出にあたっては、まず、水の層における運動量方程式及び連続式、及び Somchaiら(1989、参考文献[2])が導いた透水層における運動量方程式及び連続式を考えた。各方程式を無次元化した後、微小量の2次以上の項を無視し、逐次近似していった。近似された方程式を、水面、底面及び透水層と水層の境界面における水圧及び流量に関する境界条件を用いて変形した後、透水層及び水の層において流速を鉛直方向積分すると、モデル方程式が得られる。これは、芝ら(参考文献[1])の式変形を3次元に拡張したものなので、細かい計算過程はそちらの方を参照して頂きたい。得られたモデル方

式は、以下のようなものであり、これらは、水面変動ならびに水層および透水層における水平流速を未知数とする5元連立の非線形偏微分方程式である。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla_h \cdot [(\eta + h_1)u_h] + \nabla_h \cdot [\varepsilon(h_0 - h_1)u_{sh}] = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_h}{\partial t} &+ (u_h \cdot \nabla_h) u_h + g \nabla_h \eta \\ &- \frac{h_1^2}{3} \nabla_h \left[\frac{\partial}{\partial t} \nabla_h \cdot u_h \right] \\ &- \frac{\varepsilon(h_1 - h_0)h_1}{2} \nabla_h \left[\frac{\partial}{\partial t} \nabla_h \cdot u_{sh} \right] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_r \left[\frac{\partial u_{sh}}{\partial t} + (u_{sh} \cdot \nabla_h) u_{sh} \right] &+ g \nabla_h \eta \\ &- \left(\frac{C_r(h_0 - h_1)^2}{3} - \varepsilon(h_0 - h_1)h_1 \nabla_h \right) \\ &\times \left[\frac{\partial}{\partial t} \nabla_h \cdot u_{sh} \right] - \frac{h_1^2}{2} \nabla_h \left[\frac{\partial}{\partial t} \nabla_h \cdot u_h \right] \\ &- \frac{(h_0 - h_1)^2}{3} \frac{\varepsilon \nu}{K_p} \nabla_h [\nabla_h \cdot u_{sh}] + \frac{\varepsilon \nu}{K_p} u_{sh} \\ &+ \frac{\varepsilon^2 C_f}{\sqrt{K_p}} |u_{sh}| u_{sh} = 0 \end{aligned}$$

ここに、 ρ :水の密度、 t :時間、 x, y :水平方向座標、 η :水面変動、 u_h :水層部における水平流速ベクトル、 u_{sh} :透水層部における水平流速ベクトル、 ε :空隙率、 ν :動粘性係数、 K_p :線形透水係数、 C_f :乱流抵抗係数、 C_r :透水層内の平均質量係数、 $\nabla_h: (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 、 h_0 :全水深、 h_1 :水層部の水深である。

3. 水槽実験結果とモデル方程式を用いた数値計算結果の比較

モデル方程式の有効性を調べるため、この方程式を数値計算により解いた結果と、水槽を用いた実験結果とを比較した(グラフは、いずれも装置のsection2における結果である)。図2は、実験装置の概要である。図3、4、5で比較しているのは、水面変動のrms値であり、波のエネルギーを表すときに用い

るパラメーターである。図3はSomchaiらの計算結果との比較であり、図4は本研究の計算結果との比較である。本研究では、潜堤背後においても、一致は良好であり、従って水面変動をエネルギー的にみただけの場合、このモデルは精度よく表現しているといえる。また、図6は波形を比較した場合である。潜堤上及び潜堤の背後においても一致は良好である。図5は、周期が0.59sの場合である。このように周期が非常に短いケースでは、特に潜堤背後において、計算結果と実験結果のよい一致が得られていない。

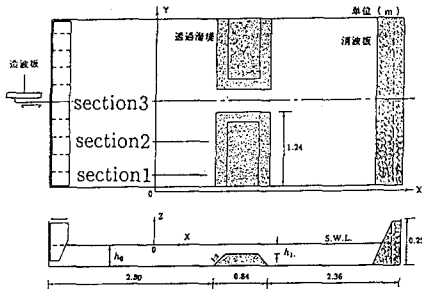


図2:実験装置

水面変動の rms 値の計算値と実験値の比較

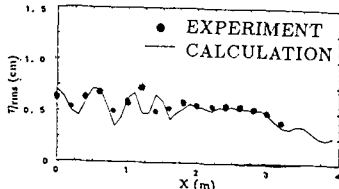


図3:本研究での比較

(周期 1.08s、波高 1.79cm、 $h_0=11.5$ cm)

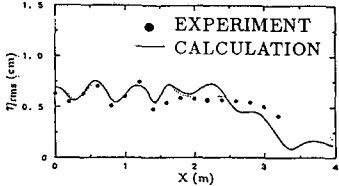


図4:Somchai らの研究での比較

(周期 1.08s、波高 1.79cm、 $h_0=11.5$ cm)

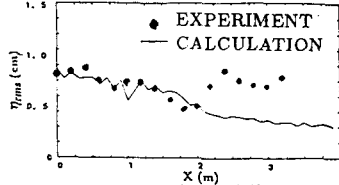


図5:本研究での比較

(周期 0.59s、波高 1.52cm、 $h_0=12.4$ cm)

水面変動の計算値と実験値の比較

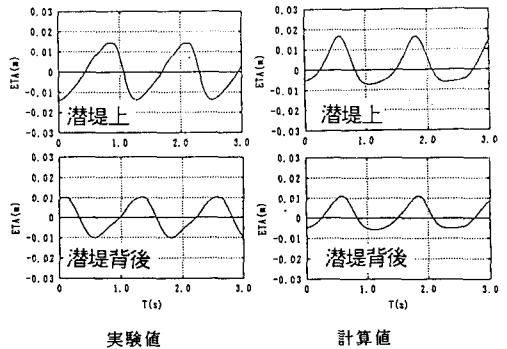


図6:周期 1.25s、波高 2.66cm、 $h_0=14$ cm

4. 結論及び今後の課題

導かれたモデル方程式が非線形であるため、波の分裂など実現象をよく反映しており、従って水面変動をエネルギー的に見ると、潜堤背後を含めて、精度よく表現している。ただし、周期が短い場合には、長波理論の適用が困難となるため、特に潜堤背後において、正確に実現象を表現できていない。本研究では、モデル方程式の適用性のみを考えて、非砕波の場合に限り扱ってきたので、今後の課題としては、砕波の起こる場合にも適用できるようにすることが挙げられる。

[参考文献]

- [1] 磯部雅彦・芝和彦・Eric Cruz Cruz・渡辺晃、透過潜堤による非線形波浪変形について、海岸工学論文集，第38巻，pp.551-555,1991.
- [2] Somchai Rojanakamthorn・磯部雅彦・渡辺晃：透過潜堤による波浪変形の解析モデル，海岸工学論文集，第36巻，pp.643-647,1988.
- [3] Somchai Rojanakamthorn・磯部雅彦・渡辺晃：透過潜堤上における波の砕波変形計算法，海岸工学論文集，第37巻，pp.549-553,1989.