

斜面上の潜堤による碎波の数値計算

名古屋大学大学院 学生員 許 東秀
 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 岩田好一朗

1. まえがき：近年，波浪制御構造物として，景観や水質交換性の面で利点がある潜堤の施工例が増えている．この潜堤による碎波，その後の再生といった一連の碎波変形過程の内部機構については不明なところが多い．一方，潜堤には，小型船舶等の航行の指標のためのブイが設置されることがあるが，近年景観に配慮した擬岩構造物がブイに代わって設置される例が増えている．この擬岩の設計にあたっては，作用波力の正確な予測が必要不可欠である．著者ら(1998)は，既に作用波力の特性を議論するとともに，その予測手法についても検討を加えており，碎波を伴うような場合でもモリソン式による水平波力の予測が可能であること，また，水位変動に伴う浮力の変化から鉛直方向波力の予測が可能であることを示している．しかし，このような波力の算定のためには，潜堤上の波変形や流速場の予測が必要であり，特に碎波を伴うような複雑な波動場で適用可能な数値解析手法の確立が不可欠である．

本研究では，斜面上に設置された透過性潜堤上の波変形と流速場を SOLA-VOF 法に基づいて予測する数値計算手法を開発し，規則波を使った水理実験を行なってその妥当性を検証する．

2. 数値計算手法の概要：SOLA-VOF 法にソースによる造波方法と付加減衰領域による開境界処理法を組み合わせた波動場の解析方法(川崎, 1998)に，榊山・鹿島(1992)の Porous Body Model に基づく透水層内の流れの支配方程式を適用して斜面上の潜堤による波変形を解析する．

基礎方程式は，非圧縮性粘性流体に対する式(1)の連続式，式(2)と(3)の運動方程式，式(4)の自由表面の挙動を模擬するための VOF 関数 F の移流方程式である．

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

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

$$\gamma_v \frac{\partial w}{\partial t} + \gamma_x u \frac{\partial w}{\partial x} + \gamma_z w \frac{\partial w}{\partial z} = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - \gamma_v g - M_z - R_z + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \gamma_x \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z \tau_{zz}}{\partial z} \right) - \beta w \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\gamma_v F)}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_x F u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z F w)}{\partial z} = F q \quad (4)$$

ここで， u, w はそれぞれ x, z 方向の流速成分を， $q(z, t)$ は造波位置 $x = x_s$ のわき出し強さを表す．また， t は時間， g は重力加速度， ρ は流体密度，

VOF 関数 F は流体の体積率， δ は Dirac のデルタ関数を示し， β は付加減衰領域でのみ正の値を持つ減衰係数である．さらに， γ_v は体積空隙率， γ_x, γ_z はそれぞれ x, z 方向の面積空隙率を示し， M_x, M_z, R_x, R_z はそれぞれ固体から受ける質量力，流体抵抗の抗力項（等価分布抵抗としてモデル化する）の x, z 成分である．図-1 に本研究で使用した 2 次元数値波動水槽の概略図を示す．図中の B, R ,

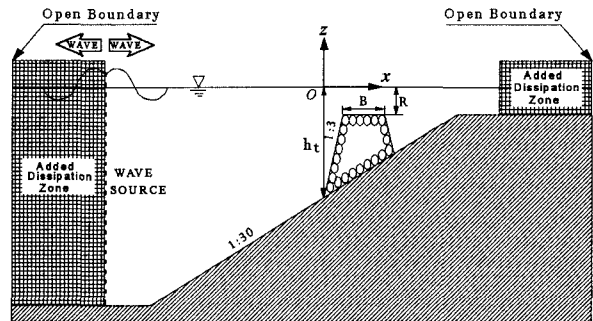
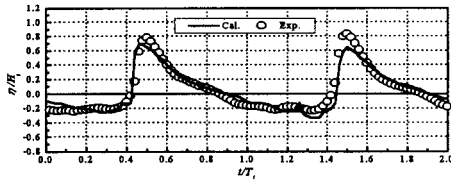


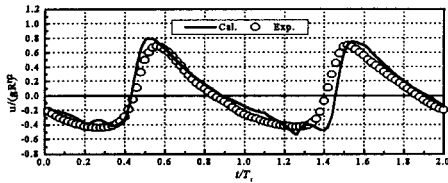
図-1 数値波動水槽

h_i はそれぞれ堤幅、天端水深、法先水深である。

3. 計算結果とその考察：図-2(a)と(b)に、波形勾配 $H_i/L_i = 0.05$ ，法先水深波長比 $h_i/L_i = 0.13$ ，相対堤幅 $B/L_i = 0.67$ ，相対天端水深 $R/h_i = 0.2$ の条件，図-3(a)と(b)に、波形勾配 $H_i/L_i = 0.03$ ，法先水深波長比 $h_i/L_i = 0.08$ ，相対堤幅 $B/L_i = 0.41$ ，相対天端水深 $R/h_i = 0.2$ の条件における水位変動と水平方向流速の計算値と実験値をそれぞれ示す。

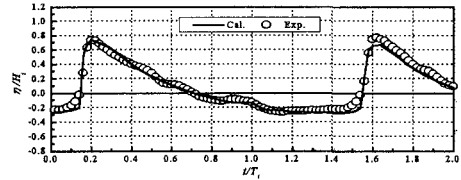


(a) 水面の時間波形

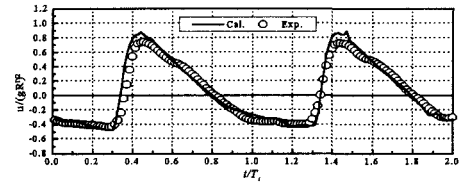


(b) 流速の時間波形

図-2 $x/L_i = 0.37$



(a) 水面の時間波形



(b) 流速の時間波形

図-3 $x/L_i = 0.23$

斜面上を進行するとともに入射波は非線形性を強め、さらに潜堤上で潜堤の影響により波峰が尖り波谷が平坦になるなど、強非線形な挙動が数値解析と水理実験の両結果に現れている。また、図-2と図-3より、水位変動、水平流速の計算結果は実験結果とよく一致しており、本計算手法の妥当性が検証される。

図-4は、図-3と同一条件の波高分布と平均水位の変動特性を示したものである。平均水位の計算結果は、砕波点までは低下し、砕波点より岸側で上昇するという wave set-down と wave set-up の実験結果を忠実に再現していると言える。一方、波高分布については、構造物前面における部分重複波の形成を定性的に再現しているが、砕波点にずれがあり、また、潜堤背後の波高も若干過小評価している。これは、透水層内の支配方程式中の抵抗係数を過大評価していることが原因であると考えられるが、抵抗係数に、妥当な値を使用することで、精度は向上すると考えられる。

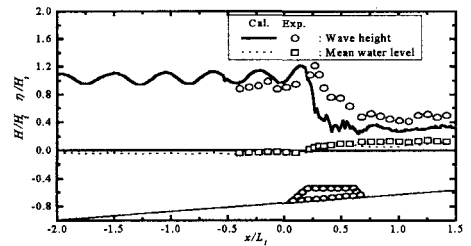


図-4 波高と平均水位の空間分布

4. あとがき：本研究では、SOLA-VOF 法と Porous Body Model を用いて斜面上に設置された透過性潜堤による砕波の数値計算を行い、水位変動や流速の計算結果が実験結果とよく一致していることを確かめた。透水層内の抵抗係数の評価に課題は残されているが、潜堤上の擬岩に作用する波力の算定などの実用面への適用は可能であると判断できる。

【参考文献】

- 川崎 浩司(1998)：潜水構造物による砕波変形と再生過程に関する基礎的研究，名古屋大学 博士論文，186p。
 榊山・鹿島(1992)：ポラスボディモデルによる透過性防波堤周辺の波動解析手法の開発，電力中央研究所 報告書，48p。
 水谷・許・小島・倉田・遠藤・岩田(1998)：潜堤上の構造物に作用する波力の特性に関する一考察，土木学会 第 53 回年次学術講演会講演概要集，pp. 314-315。