

京都大学工学部

学生員 ○野口哲史

京都大学大学院工学研究科 正会員 沖 和哉

京都大学大学院工学研究科 フェロー 酒井哲郎

## 研究の目的

Boussinesq 方程式は浅海域における波浪の基本的な変形を表現することが可能なため、Peregrine (1967)によって導かれて以来、数多くの研究者たちによってモデルの改良あるいは適用性の拡張などが行われてきた。Wei ら(1995)は標準型 Boussinesq 方程式の導出過程で用いられる弱非線形を仮定しないことにより、Fully nonlinear Boussinesq 方程式を導いた。本研究では、この方程式をもとにした数値モデル (Kirby ら, 1998)を用いて、非線形性の強い場への適用例として斜面上に天端水深の浅い潜堤が設置された地形上での波浪変形計算を行い、実験結果と比較検討をした。

## 基礎方程式

本研究で用いた Wei ら(1995)の Fully nonlinear Boussinesq 方程式は次のように表される。

$$\eta_t + \nabla \cdot M = 0 \quad \cdots(1)$$

$$u_{\alpha\alpha} + (u_\alpha \cdot \nabla)u_\alpha + g\nabla\eta + V_1 + V_2 = 0 \quad \cdots(2)$$

ただし、

$$M = (h + \eta) \left[ u_\alpha + \left\{ \left[ \frac{1}{2} z_\alpha^2 - \frac{1}{6} (h^2 - h\eta + \eta^2) \right] \nabla(\nabla \cdot u_\alpha) + \left[ z_\alpha + \frac{1}{2} (h - \eta) \right] \nabla(\nabla \cdot (hu_\alpha)) \right\} \right]$$

$$V_1 = \frac{1}{2} \left[ z_\alpha^2 \nabla(\nabla \cdot u_\alpha) \right] + [z_\alpha \nabla(\nabla \cdot (hu_\alpha))] - \nabla \left[ \frac{1}{2} \eta^2 \nabla \cdot u_\alpha + \eta \nabla \cdot (hu_\alpha) \right]$$

$$V_2 = \nabla \left[ (z_\alpha - \eta) (u_\alpha \cdot \nabla) (\nabla \cdot (hu_\alpha)) + \frac{1}{2} (z_\alpha^2 - \eta^2) (u_\alpha \cdot \nabla) (\nabla \cdot u_\alpha) \right] + \frac{1}{2} \nabla [\nabla \cdot (hu_\alpha) + \eta \nabla \cdot u_\alpha]^2$$

である。ここで、 $h$  は水深、 $\eta$  は自由水面水位、 $u_\alpha$  は水深  $z=z_\alpha=-0.531h$  における流速ベクトルである。

## 計算条件および計算結果

まず、非線形性の弱い場合として、図-1 に示す「台形潜堤による波浪変形 (海岸波動 (土木学会), 1994)」の計算を行った (case1)。入射波として振幅 0.5m、周期 6.0sec の規則波を与えた。次に、非線形性の強い場合として、図-2 に示す地形で計算を行った。周期の 0.66sec の規則波を入射波させ、入射波高は 2cm (case2) と 4cm (case3) の 2 通りで行った。case1 における波高計 p3 および p5 での水位変動の計算結果と実験結果

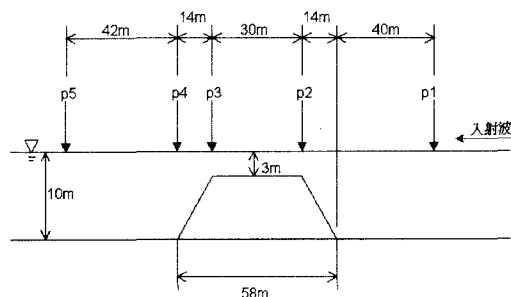


図-1 計算条件

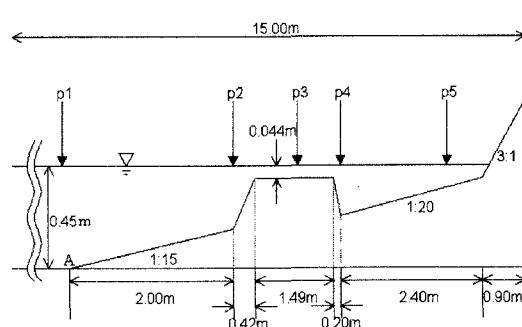


図-2 計算条件

を図-3 および図-4 に示す。計算結果と実験結果とはよく一致している。次に、case2 および case3 における波高分布をそれぞれ図-5 および図-6 に示す。実線は計算結果を、▲は実験結果を表す。case2 においては全体的に波高の変化が小さいため、計算結果と実験結果との差は小さいが、潜堤背後付近での波高の再現性があまりよくない。case3 においては潜堤前面から上部にかけて波高が減衰する様子が実験結果および計算結果ともに現れており、定性的にはある程度の再現性があるが、実験結果に比べて計算結果の波高の減衰の程度が小さい。

### 考察

本研究では Fully nonlinear Boussinesq モデルを用いて、潜堤を伝播する波浪の変形計算を行い、実験結果と比較した。非線形性の弱い条件での再現性は非常に良好であった。天端水深の浅い潜堤の場合にはある程度の入射波高まではよく一致したが、入射波高が大きくなるとうまくあわなかった。ひとつの原因として碎波がうまく再現できていないことが考えられる。また、ここに示した以外の条件でも計算を行い実験結果と比較したところ、入射波高と天端水深の比が 1.2 よりも大きい条件では天端付近での数値発散により計算ができなかった。用いた数値モデルでは連続性を満たした上で仮想的に海底面に透水性を持たせることにより水深が浅い場合にも適用できるように工夫されていたが、今回比較に用いた実験のように急激に水深が浅くなりかつ天端水深も極めて小さい条件ではうまく計算ができなかった。数値発散が生じるような際に、数値フィルタなどを用いて強制的に数値発散を抑えて計算を継続する方法を試みたところ一定の成果がみられたので、より安定な精度のよい数値モデルに改良することを今後の課題としたい。最後に、実験データに関して京都大学防災研究所間瀬助教授、関西大学学生宮平氏より提供をうけた。ここに記して謝意を表す。

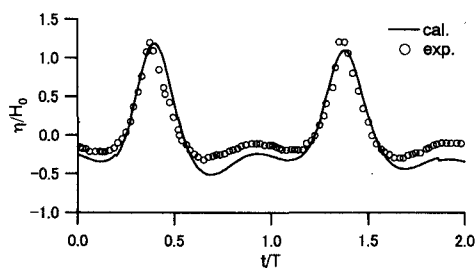


図-3 水位変動：p3

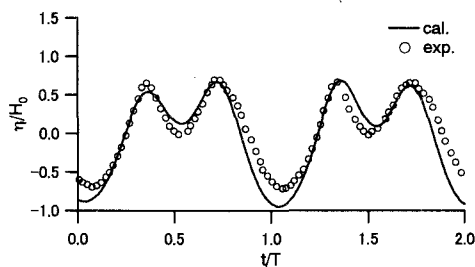


図-4 水位変動：p5

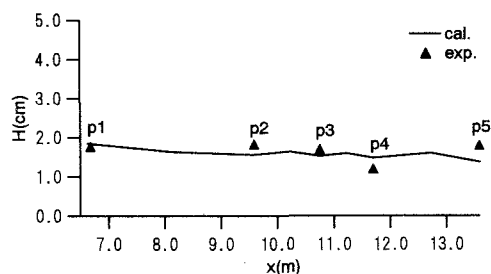


図-5 波高分布 case2

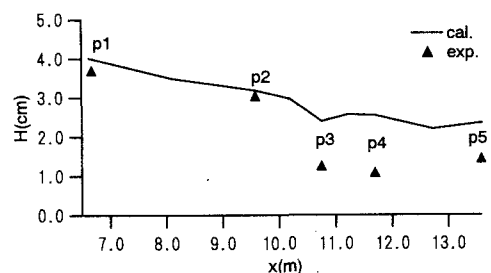


図-6 波高分布 case3

### 参考文献

- Kirby, J.T., Wei, G., Chen, Q., Kennedy, A.B., and Dalrymple, R.A. (1998): FUNWAVE 1.0 Fully Boussinesq Wave Model Documentation and User's Manual, Research Report NO. CACR-98-06.
- Peregrine, D.H. (1967): "Long waves on a beach.", *J. Fluid Mech.*, 27, 815p.
- Wei, G., Kirby, J.T. (1995): "A time-dependent numerical code for the extended Boussinesq equations.", *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 121, No. 5, pp. 251-261.