

ブシネスク方程式による波浪変形計算の一検討例

京都大学 学生員 ○西口 健太郎
 京都大学 フェロー 渡邊 英一
 京都大学 正会員 宇都宮 智昭

1. 研究目的

長さ数 km 規模の鋼製の超大型箱型浮体を海上に浮かべ、海上空港等の人口基盤として利用しようとする構想がいよいよ実用化段階に入りつつある。現在、超大型浮体の設置海域として検討されている、沖縄諸島沿岸域あるいは南海の孤島のリーフ地形内においては、浅海域かつ極めて厳しい波浪条件となり、波浪は有限振幅であるために非線形性の影響が顕著となる。このような海域の波浪変形を精度良く検討するためには、波の回折、屈折、浅水変形などを同時に計算でき、波の非線形性による波浪の歪みもある程度推定できるモデルが必要となる。ブシネスク方程式を基本とする波浪変形計算モデルは、上記の要求を満たすだけでなく、波によって発生する沿岸流の推定も可能であり、また広大な領域の3次元計算も可能である。そこで本研究では Madsen ら(1992) のブシネスク方程式をもとに、Stansby (2002) の差分式を用いた解析プログラムを作成し、その検証として潜堤による孤立波の変形の解析をおこなった。

2. 計算方法

2.1 基礎式

Madsen ら(1992)による、水深変化を考慮し、やや深い海域における波の分散性をも満足する、1次元の連続式および運動方程式をそれぞれ式(1)および式(2)に示す。ここで x は水平方向の座標、 t は時間、 η は水位、 g は重力加速度、 d は静水深、 h は全水深 ($h = d + \eta$)、 u は深さ平均流速、 B は補正係数である。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = & -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ & + (B + \frac{1}{3})d^2 \left(\frac{\partial^3(hu^2)}{\partial^2 x \partial t} \right) + Bgd^3 \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} + d \frac{\partial d}{\partial x} \left(\frac{1}{3} \frac{\partial^2(hu)}{\partial x \partial t} + 2Bgd \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 差分式

差分式は Stansby (2002)によるものを採用した。(1)式、(2)式の差分式はそれぞれ(3)式、(4)式で表される。

$$\frac{\Delta \eta_i^{n+1} - \Delta \eta_i^n}{\Delta t} + \theta \frac{(hu)_{i+1/2}^{n+1} - (hu)_{i-1/2}^{n+1}}{\Delta x} = -(1-\theta) \frac{(hu)_i^n - (hu)_{i-1}^n}{\Delta x} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{(hu)_{i+1/2}^{n+1} - (hu)_{i+1/2}^n}{\Delta t} + gh_{i+1/2}^n \theta \frac{\Delta \eta_{i+1}^{n+1} - \Delta \eta_i^{n+1}}{\Delta x} = \\ -(1-\theta)gh_{i+1/2}^n \theta \frac{\Delta \eta_{i+1}^n - \Delta \eta_i^n}{\Delta x} - ADV^n + BOUS^n \end{aligned} \quad (4)$$

キーワード ブシネスク方程式、波浪変形解析、超大型浮体、リーフ地形

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

T E L 075-753-5079 F A X 075-753-5130

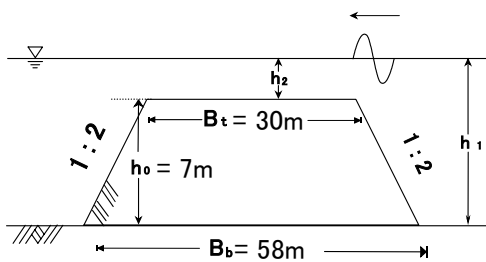


図1 潜堤の形状

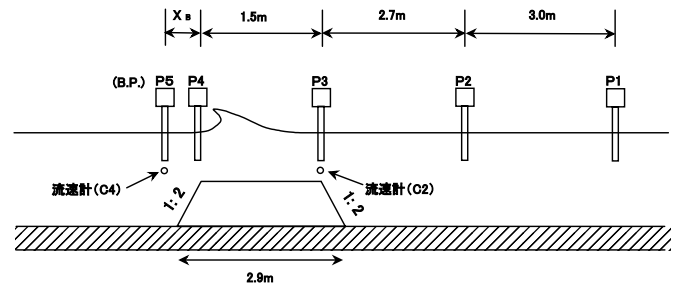


図2 潜堤および波高計設置位置

ここに ADV, BOUS はそれぞれ移流項, 分散項であり陽的に扱う. 移流項の差分近似には上流差分を用い, 分散項の計算は各タイムステップで別途計算する.

3. 実験結果との比較

図1に示す潜堤モデルを扱った解析値と1/20水槽実験(海岸波動, 土木学会 1994, p. 146-175)での結果と比較する. 入射波には孤立波を選定し, 水深 $h_1=8.94\text{m}$, 波高 $H=1.496\text{m}$ で碎波は生じない条件である. 比較の結果を図3に示す. かなり良好な精度で実験結果との一致が確認される.

4. 結論

今回作成したブシネスク方程式に基づくプログラムは, 線形理論では再現することのできない, 孤立波の波形変形をとらえる事ができ, また碎波が生じない程度の非線形波浪場においては, 実験値との一致も見られるため, 非線形性を有する波の波浪変形挙動を解析できるものと考えられる.

このブシネスク方程式によるモデルは, 浮体構造物の波浪応答解析などに用いられる境界要素法に比べるとその計算時間は極めて短く, また碎波モデルの組み込みや平面問題への拡張等も可能であり, 将来的には大型浮体構造物が設置されるような, 大規模な海域を計算する際の有力な手法の一つとなる可能性を確認することができた.

参考文献

Stansby, P. K.: Solitary wave run-up, overtopping and flooding by a shallow-water Boussinesq model, Coastal Eng. (to be published).

Madsen, P. A. and Sorensen, O. R.: A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. Part 2. A slowly-varying bathymetry, Coastal Eng., pp.183-204, 1992.

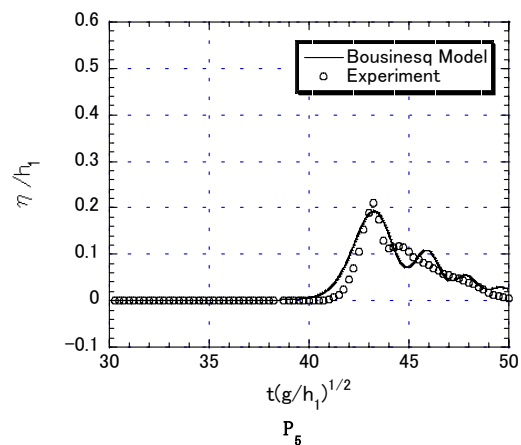
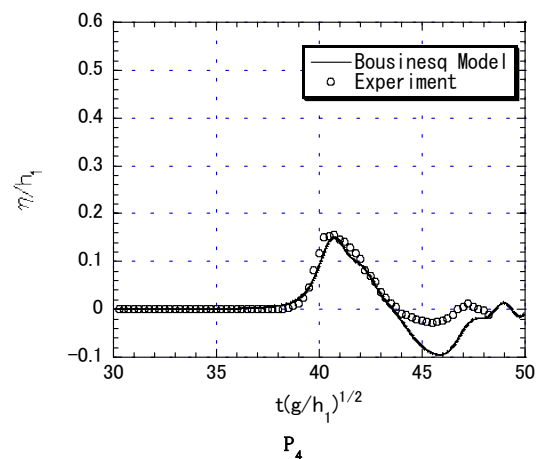


図3 実験値と計算結果との比較