

1. 背景と目的

後浜の変形過程を明らかにするためには、飛砂のみならず荒天時における漂砂の影響をも考慮する必要がある。後浜における漂砂の影響を考慮するためには波の遡上域の水理現象を正確に推定する必要があるものの、これまでに提案されている数値モデルの精度は十分であるとはいえない。本研究では遡上域での底面せん断力を求められるよう、底面を滑らかな斜面として、高波浪時に波が遡上する様子を精度よく再現できる計算方法を開発することを目的とする。

2. 計算概要

深海波について、沖から砕波点までの領域は有働ら¹と同様に各地点での波高を算出し、砕波点から岸までの領域では浅水流方程式を風上差分して各地点の水位と流速を求めた。

a) 沖から進行した波が最初に砕波するまでの領域においては、微小振幅波を仮定して、浅水変形の式から沖波波高 H_0 、周期 T から各地点における波高 H を算出した。

また、平均海面の低下 $-\zeta$ を Longest-Higgins・Stewart の式²を用いて算定した。

$$-\zeta = \frac{kH^2}{8 \sinh skh_0} \quad (2-1)$$

k : 波数, $h_0 = SWL - z$ (z : 地盤高) である。

砕波の判定式としては、合田の砕波限界波高 H_b の式³

$$\frac{H_b}{L_0} = 0.17 \left\{ 1 - \exp \left[-1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15s^{4/3}) \right] \right\} \quad (2-2)$$

を用い、 H がこれを超える地点を砕波点とした。ここで、 L_0 : 沖波波長, s : 砂浜勾配, $h = h_0 + \zeta$ である。

b) 砕波点から岸までの領域では、次にベクトル表記した連続式、運動方程式を用いて、砕波点での水位を基準とした水位変化量 η および流速 u を求めた。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} = \mathbf{G} \quad (2-3)$$

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \eta \\ u \end{pmatrix}, \mathbf{A} = \begin{pmatrix} u & h + \eta \\ g & u \end{pmatrix}, \mathbf{G} = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{gn^2}{D^{4/3}} |u|u \end{pmatrix} \quad (2-4)$$

h : 砕波点水位から水底までの距離, D : 全水深 ($= h + \eta$), n : マニングの粗度係数, g : 重力加速度である。Godunov scheme により、この式を変形し風上差分をとると、次の式が得られる。

$$\mathbf{U}_i^{n+1} = \mathbf{U}_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \mathbf{A}^+ (\mathbf{U}_i^n - \mathbf{U}_{i-1}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x} \mathbf{A}^- (\mathbf{U}_{i+1}^n - \mathbf{U}_i^n) + \Delta t \mathbf{G}_i^n \quad (2-5)$$

ここで、

$$\mathbf{A}^+ = \mathbf{R} \mathbf{\Lambda}^+ \mathbf{R}^{-1}, \mathbf{A}^- = \mathbf{R} \mathbf{\Lambda}^- \mathbf{R}^{-1} \quad (2-6)$$

$$\mathbf{\Lambda}^\pm = \begin{pmatrix} \lambda_1^\pm & 0 \\ 0 & \lambda_2^\pm \end{pmatrix} \quad (2-7)$$

$$\lambda_p^+ = \max(\lambda_p, 0), \lambda_p^- = \min(\lambda_p, 0) \quad (2-8)$$

\mathbf{A} の固有値は $\lambda = u \pm \sqrt{g(h + \eta)}$ であり、それぞれ λ_1, λ_2 とする。

なお、初期条件は静水とし、境界となる砕波点においては波高 H_b 、周期 T の正弦波を入射させ、特性曲線法により斜面からの反射波が再反射しない条件を与えている。また、波先端の境界条件は全水深 $D = 0$ 、流速 $u = u_s$ とする。ただし、 u_s は波先端の流速である。

波先端付近では、先端に向かって、全水深が徐々に小さくなり、0 に近づくことから、波先端は図-1 に示すように、 λ_1, λ_2 特性曲線群の包絡線となる。

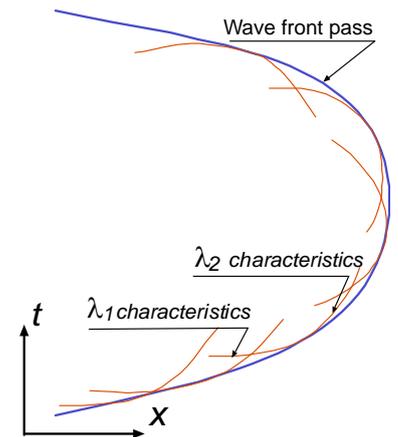


図-1 波先端の軌跡と特性曲線群

3. 計算結果

沖側の計算条件および数値解の遡上高 R_{cal} を表-1 に示す. 計算結果から, 例として case-4 の砕波点から岸までの空間波形を表示した(図-2). 縦軸は η (m), 横軸は静水面での汀線を基準とした岸沖方向, 岸向き正の x 座標(m)を表す.

次に, R_{cal} について, Hunt の式⁴ より推定される遡上高 R_{Hunt} を用いて検証する.

$$R_{Hunt} = s\sqrt{H_0 L_0} = \xi H_0 \quad \text{for } 0 < \xi \leq 2.3 \quad (3-1)$$

R_{cal} と R_{Hunt} の比較(図-3)より, R_{cal} と R_{Hunt} は概ね比例関係にあった. また, 同じ砂浜勾配において線形的に変化していることから, Hunt 式において s を変数に持つ係数を考慮する必要があるのではないかと考えられる.

表-1 計算ケースと結果

| case-n | s | h ₀ | H ₀ | T ₀ | ξ | R _{cal} | R _{Hunt} |
|---------|------|----------------|----------------|----------------|-------|------------------|-------------------|
| case-1 | 0.1 | 24 | 1 | 15 | 1.874 | 1.35 | 1.72 |
| case-2 | 0.1 | 24 | 1 | 5 | 0.625 | 0.30 | 0.57 |
| case-3 | 0.1 | 24 | 2 | 15 | 1.325 | 1.78 | 2.44 |
| case-4 | 0.1 | 24 | 2 | 5 | 0.442 | 0.53 | 0.81 |
| case-5 | 0.1 | 24 | 4 | 15 | 0.937 | 2.17 | 3.45 |
| case-6 | 0.1 | 24 | 4 | 5 | 0.312 | 0.73 | 1.15 |
| case-7 | 0.1 | 24 | 6 | 15 | 0.765 | 2.66 | 4.22 |
| case-8 | 0.1 | 24 | 8 | 15 | 0.663 | 3.31 | 4.88 |
| case-9 | 0.02 | 24 | 1 | 15 | 0.375 | 0.40 | 0.34 |
| case-10 | 0.02 | 24 | 1 | 5 | 0.125 | 0.20 | 0.11 |
| case-11 | 0.02 | 24 | 2 | 15 | 0.265 | 0.71 | 0.49 |
| case-12 | 0.02 | 24 | 2 | 5 | 0.088 | 0.35 | 0.16 |
| case-13 | 0.02 | 24 | 4 | 15 | 0.187 | 1.20 | 0.69 |
| case-14 | 0.02 | 24 | 4 | 5 | 0.062 | 0.55 | 0.23 |
| case-15 | 0.02 | 24 | 6 | 15 | 0.153 | 1.61 | 0.84 |
| case-16 | 0.02 | 24 | 8 | 15 | 0.133 | 2.05 | 0.98 |
| case-17 | 0.05 | 24 | 1 | 15 | 0.937 | 0.48 | 0.86 |
| case-18 | 0.05 | 24 | 1 | 5 | 0.312 | 0.23 | 0.29 |
| case-19 | 0.05 | 24 | 2 | 15 | 0.663 | 0.83 | 1.22 |
| case-20 | 0.05 | 24 | 2 | 5 | 0.221 | 0.41 | 0.41 |
| case-21 | 0.05 | 24 | 4 | 15 | 0.468 | 1.41 | 1.72 |
| case-22 | 0.05 | 24 | 4 | 5 | 0.156 | 0.63 | 0.57 |
| case-23 | 0.05 | 24 | 6 | 15 | 0.383 | 1.94 | 2.11 |
| case-24 | 0.05 | 24 | 8 | 15 | 0.331 | 2.40 | 2.44 |

4. 結論

波の遡上現象を表現するための新しい計算方法を提案した. 計算結果から, Hunt の実験式による値に近い遡上高が得られた.

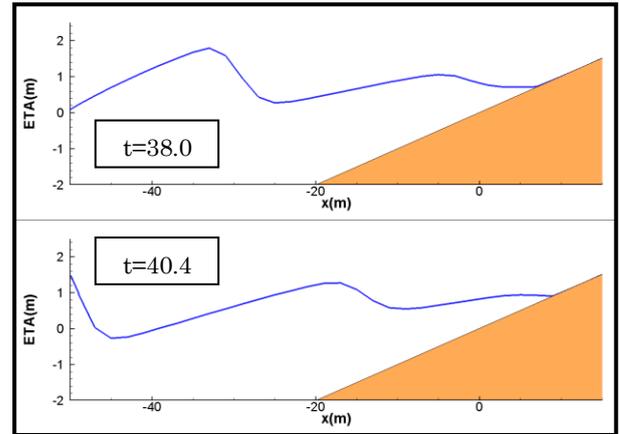


図-2 空間波形(case-4)

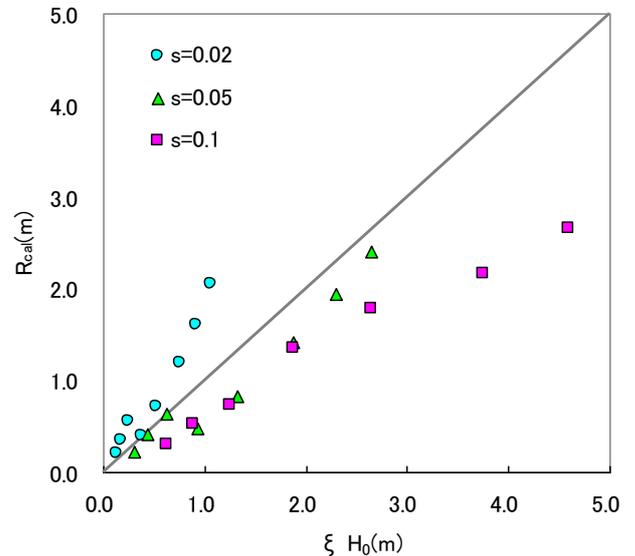


図-3 R_{cal} と R_{Hunt} の比較

参考文献

- 1)有働恵子, 田辺博規, 真野明(2008):茨城県青塚海岸における荒天時の底質粗粒化機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.706-710
- 2)Longest-Higgins, M. S. and R. W. Stewart(1962): Radiation stress and mass transport in surface gravity waves with application to 'surf beats.' Journal of Fluid Mechanics, vol.13,pp.481-504.
- 3)合田良美(1973)防波堤の設計波圧に関する研究, 港研報告, 第12巻, 第3号, pp31-69
- 4)Hunt, I. A., Jr.(1959): Design of seawalls and breakwaters, Jour. Of the Waterways and Harbors Division, Proc. Of ASCE, Vol. 85, pp.123-152