

不規則波の遡上に関する新しいモデル

東北大学工学部 正会員 ○ 小川由信
東北大学工学部 正会員 首藤伸夫

1. 緒言

波の遡上現象を明らかにすることは、海岸構造物の設計上あるいは汀線付近の海床変形に係わり、工学的に重要な課題である。規則波・不規則波のうちあげ高に関しては従来より数多くの実験的・理論的研究が行なわれているが、汀線近傍の流体運動を議論するためには、うちあげ高さのみでは必ずしも十分ではない。以上の認識のもとに着るは既に、進行波的な碎波をする規則波に対し、i) 碎波後の波の変形、および ii) 地形の非一様性を考慮することにより、うちあげ高さのみならず、波打帯の幅をも求める算定式を提案した。

そこで本研究では、同様の考え方を不規則波の個々の波に適用し、かつ汀線近傍での前後の波の相互干渉を考慮した形で遡上波先端の挙動を定式化した。また、計算例により遡上波の特性について検討した。

2. 不規則波の遡上の定式化

以下では、碎波後の波の変形特性により、碎波点以浅の領域を、i) 碎波変形領域、ii) 相互干渉領域、および iii) ドライバッド領域、に分けて定式化する。これらの領域は、静水汀線およびドライバッド開始点により区分されるものと仮定する。また、未知数として波先端位置 $x_f(t)$ および波高 $H(t)$ を選び、最も沖側の碎波点以浅において波高と周期の組 (H, T) の時系列を与えられる場合を取り扱う。

(1) 碎波変形領域

水口の奥藤 (1979) によると、碎波帯内の波速は孤立波の波速に近い。碎波帯内では $H \approx 0.8 R$ (R : 水深) であるから以下のように近似しうる。

$$\frac{d\alpha_f}{dt} = \sqrt{2.25 g H} \quad \dots (1)$$

次に、碎波帯内における波エネルギー、エネルギー伝播速度を各々、線形長波、式(1)で表わし、エネルギー消散率を段波モデルで表わすと、エネルギー方程式は、

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\rho g}{8} H^2 \sqrt{2.25 g H} \cdot T_0 \right) = -\gamma \frac{\rho g (\omega - U_0)}{4 (R + H)} H^3 \quad \dots (2)$$

となる。ここで ω : 段波々速、 U_0 : せどり流速、 γ :

補正係数、である。本領域において、 $\omega = d\alpha_f/dt$ 、 $U_0 = 0$ 、 $R \approx 1.25 H$ と仮定すると次式を得る。

$$\frac{dH}{dt} = - \frac{8\gamma}{22.5 T_0} H \quad \dots (3)$$

規則波の碎波変形曲線と式(3)の解が汀線近傍で一致するとの条件から補正係数 γ を以下のように決定した。

$$\gamma = 8.78 [S / \sqrt{H_0/L_0}]^{0.85} \quad \dots (4)$$

ここに、 S : 斜面勾配、である。

(2) ドライバッド領域

規則波の場合 [小川・首藤 (1984)] と同様に、

$$\frac{d\alpha_f}{dt_2} = 2.2 \sqrt{g H_{d,i}} - g S A t_2 \quad \dots (5)$$

ただし、 $A = \frac{1+f/(Q^2 S)}{(1+2\alpha)(1+Q)}$ 、 $Q = 0.13 S^{-0.3}$

で与えられるものとする。ここに、 $H_{d,i}$: ドライバッド開始点の波高、 f : 摩擦係数、添字 i : 波番号、である。

(3) 相互干渉領域

図-1 に用いる記号の定義を示す。図の $(i-1)$ 番目の波の先端速度は式(5)より $2.2 \sqrt{g H_{s,i-1}} - g S A t_i'$ であり、これにより i 番目の波速・波高は減少または増加する。この効率を β とすると、波先端方程式およびエネルギー方程式は次のように表わされる。

$$\frac{d\alpha_f}{dt_i} = \sqrt{2.25 g H} + 2.2 \beta \sqrt{g H_{d,i-1}} - \beta g S A t_i \quad \dots (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dt_i} + \frac{8\gamma}{22.5 T_{s,i}} H - \frac{17.6 \gamma \beta \sqrt{g H_{d,i-1}}}{22.5 \sqrt{2.25 g} T_{s,i}} \sqrt{H} \\ + \frac{8 \gamma \beta g S A t_i \sqrt{H}}{22.5 \sqrt{2.25 g} T_{s,i}} \end{aligned} \quad (T_{s,i}: \text{汀線での周期}) \quad \dots (7)$$

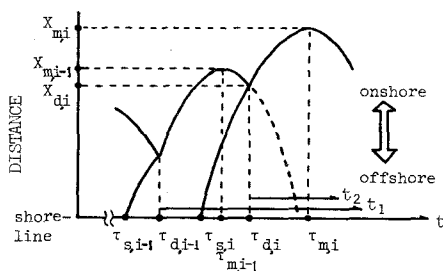


図-1. 用いる記号の定義

3. 解と計算方法

波の到達時間を τ で表わし、砕波点、静水汀線、ドライバッド開始点、最大遡上点での値を添字 b, s, d, m で表わすと、問題は H_b, τ_b を与えて $H_s, \tau_s, X_d, \tau_d, X_m, \tau_m$ を求めることに帰着される。式(1)(3)は容易に積分され、 H_s, τ_s は次式により求まる。

$$H_{s,i} = H_{b,i} \cdot e^{-2P_1(\tau_s - \tau_b)} \quad \dots (8)$$

$$L_{b,i} = \sqrt{2.25g} [1 - e^{-P_1(\tau_s - \tau_b)}] \quad (= \text{砕波帯幅}) \quad \dots (9)$$

次に、図-1 で $\tau = \tau_{s,i} - \tau_{d,i-1}$ とおくと式(6)(7)より

$$H_{d,i} = [P_2 e^{P_2 \tau_d} - P_3 (\tau_d - 1/P_1) + P_4]^2 \quad \dots (10)$$

$$X_{d,i} / \sqrt{2.25g} = -P_2 / P_1 (e^{P_1 \tau_d} - e^{P_1 \tau_b}) \rightarrow * \quad \dots (11)$$

$$* -0.5 P_3 (1 + \beta) (\tau_d^2 - \tau_s^2) + [P_4 (1 + \beta) + P_3 / P_1] (\tau_d - \tau_s)$$

上式では式が 1 本不足するが、前の波のドライバッドの式 $X_{d,i} = X_{d,i-1} + 2.2 \sqrt{g H_{d,i-1}} (\tau_{d,i} - \tau_{d,i-1}) - 0.5 \cdot (\tau_{d,i} - \tau_{d,i-1})^2$ を用いれば方程式は閉じる。以上の式中の文字は以下の式で表わされる。

$$P_1 = 4\sigma / (2.25 T_c), \quad P_2 = e^{P_1 S} [\sqrt{H_{s,i}} + P_3 (S - 1/P_1) - P_4]$$

$$P_3 = gSA\beta / \sqrt{2.25g}, \quad P_4 = 2.2 \sqrt{H_{d,i-1} / 2.25} \beta$$

最後に、 X_m, τ_m は式(5)を用いて次式で算定される。

$$X_{m,i} = X_{d,i} + \frac{2.42 H_{d,i}}{SA}, \quad \tau_m = \tau_{d,i} + \frac{2.2 \sqrt{g H_{d,i}}}{g \cdot S \cdot A} \quad \dots (12) \quad \dots (13)$$

4. 計算例

計算は、①沖波々高を正弦的に変化させ、周期を一定とした Case A. と②沖波々高を一定にして周期を正弦的に変化させた Case B. について、3.(3)で述べた効率 β を変えて行なった。図-2 は、各ケースについて、i) 静水汀線から測った X_d と X_m , ii) 沖波諸量および iii) 汀線での波諸量を示したものである。

Case A の計算結果を見ると、 β の増加とともに遡上高さが減少し、 X_d, X_m の包絡波形のピークおよびワレストの位相が移動していることがわかる。しかしながら、包絡波形の形そのものは殆んど変化しない。

これに対し、Case B では、 β による X_d, X_m の包絡波形の変化が著く。 $\beta = 0.75$ の場合には P に見られる大きな遡下の後に、Q に見られる比較的大きな遡上が現われている。

5. 結言

従来、不規則波の遡上は、波別解析法、スペクトル法いずれの場合も、個々波、フーリ工成分波の重ね合

わせとして論じられてきた。本研究では、実際の海岸に見られる汀線付近での前後の波の相互干渉を考慮した波別解析法により、遡上波先端の記述を試みた。現地海岸への適用性に関しては今後検討していく予定である。

〈参考文献〉

- 1) 小川・首藤：非一様緩斜面上への規則波のうちあげについて、第31回海講，pp.88-92 (1984)
- 2) 水口：砕波後の屈折と波速に関する実験的研究，土木学会論文報告集，No. 291, pp.101-105 (1979)

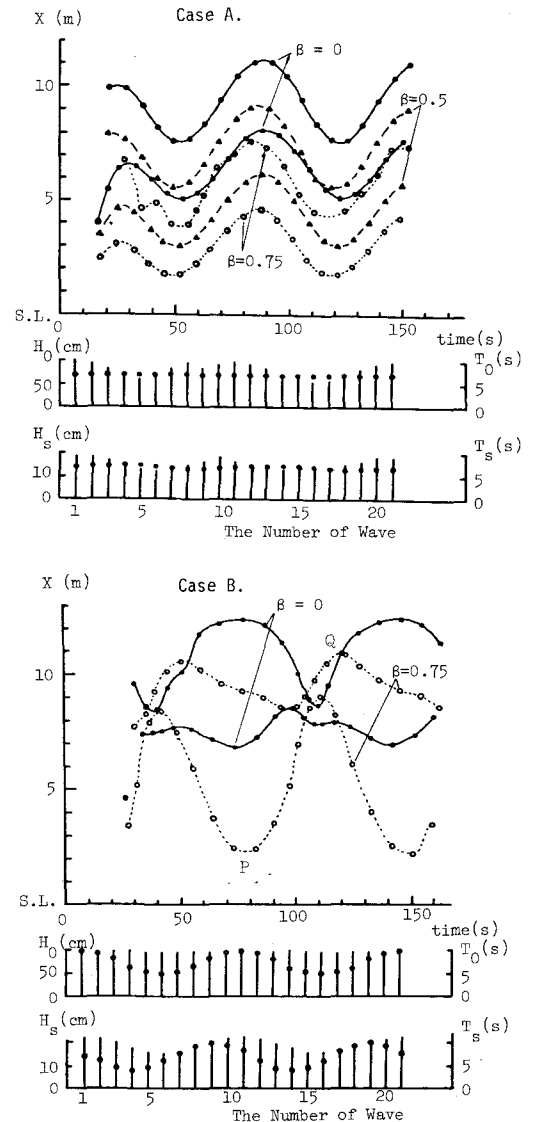


図-2. 計算結果