

秋田大学 学生員 斎藤 浩
秋田大学 学生員 峰山 勉
秋田大学 正員 松留 英夫

1. はじめに 非線型性の弱い津波を対象とした部分重複長波の遡上高と訂線流速については線型理論を用いて着者の一人がすでに検討を行つてゐる¹⁾。そこで、本研究は比較的非線型性が高い場合の部分重複長波を対象として、非線型効果を考慮した遡上高と訂線流速について検討を行うことにする。ただし、戻り流れや wave set-up 等が大きく影響する場合は対象外とする。

2. 遡上高 図-1に示す地形の遡上を考える。線型理論による完全重複長波の遡上高 R_m は²⁾

$$\frac{R_m}{H_0} = \left[J_0^2 \left(\frac{\sigma}{S} \right) + J_1^2 \left(2 \frac{\sigma}{S} \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2} \pi \left(\frac{\ell}{L_0} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\pi \frac{\sigma}{S} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

(1)式は沖波入射波の相対波高が小さいとき（同義ではないが波形勾配が小さいとき）、非線型効果を含んだ場合に十分に成立する³⁾。一方、線型理論による部分重複長波の遡上高 R_b は⁴⁾

$$\frac{R_b}{H_0} = K_r \frac{R_m}{H_0} \quad (2)$$

ここで、 K_r は沖の水平底での反射率を示す。梶浦の碎波条件⁵⁾とMicheの反射率の定義⁶⁾を用いれば、この反射率は

$$K_r = \frac{1}{4\sqrt{2} \pi^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\ell}{L_0} \right)^{\frac{5}{2}} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma}{S} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (3)$$

(3)式は沖での相対波高が小さい入射波を対象とすれば非線型効果を考慮して評価したことになる。(1)(3)式から(2)式は具体的に求まる。

ここで、部分重複長波の遡上高は(3)式の K_r に依存すると思われる。(2)式と類似型を仮定すれば、非線型効果を考慮した場合の遡上高は

$$\frac{R_b}{H_0} = f(K_r) \frac{R_m}{H_0} \quad (4)$$

ここで、線型理論では $f(K_r) = K_r$ 、非線型理論では未知である。梶浦はHuntの実験式から出発し、次元の考察により碎波する長周期の周期波の遡上高として(5)式を提案している⁵⁾。

$$\frac{R_b}{H_0} \sim \left(\frac{\sigma}{S} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma}{S} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (5)$$

ここで、 f は摩擦係数。したがって、(3)(4)式から非線型効果を含んだ(5)式を得るには

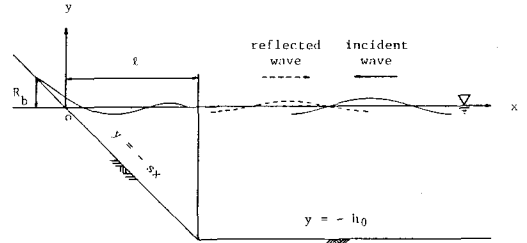


図-1 対象地形と座標系

$$f(K_r) = \sqrt{K_r} \quad (6)$$

であれば良いことになる。よって、(3)(4)(6)式から非線型効果を考慮した部分重複長波の遡上高は

$$\frac{R_b}{H_0} \sqrt{K_r} \frac{R_m}{H_0} = \frac{1}{\sqrt{8\pi^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\ell}{L_0} \right)^{\frac{3}{2}} = \sqrt{\pi} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma}{S} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

(7)式を深海近似すれば⁷⁾

$$\frac{R_b}{H_m} = \frac{1}{\sqrt{8\pi}} S^{\frac{3}{4}} \left(\frac{H_m}{L_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

(1)(2)(7)式と実験値との比較を図-2に示す。ここで、実験に使用した水路は文献⁸⁾と同じものであるが、水路長は4m延長されている。また、 $S=0.047$ の場合はベンキ塗装した木製斜面が使用されている。図-3は実験値が碎波領域に含まれているかどうかの検討を示す。図-4は(7)式と実験の相関を調べたものである。図-4によると、 $S=0.075$ の場合は(7)式とよく一致しているが、 $S=0.047$ の場合は理論値が大きき傾向を示す。これは木製斜面の粗度の影響か、または、本研究の対象外の波となつてゐるのかもしれない。(4)(7)式から非線型効果による遡上高増幅割合 γ を求めることが出来る。

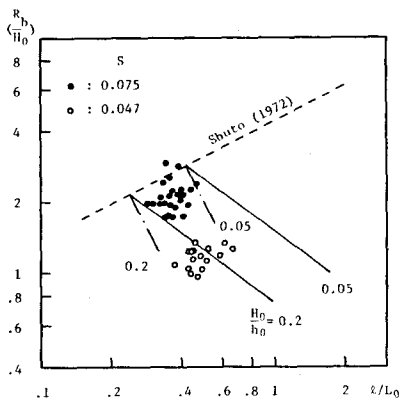


図-2 部分重複長波の迎上高

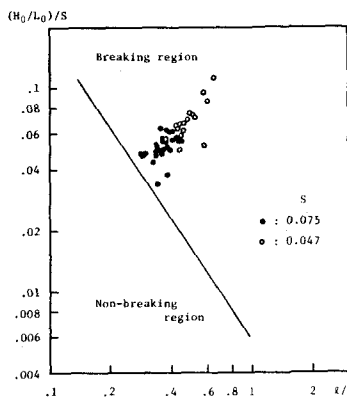


図-3 碎波条件との比較

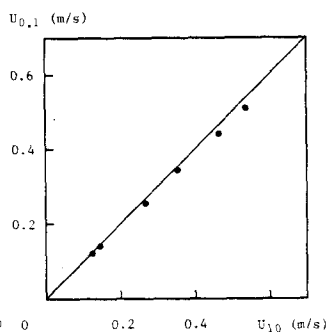


図-4 プロベラ流速計の測定例

$$r = \frac{\sqrt{k_r - k_r}}{\sqrt{k_r}} = 1 - \sqrt{k_r} \quad \text{--- (9) } \left(\frac{R_b}{H_0} \right)_{ch.}$$

(9)式に $k_r = 0.5$ を代入すると、 $r = 0.29$ となる。 $k_r > 0.5$ の時、線型理論でも3割以上の誤差にとどまることが予想される。

3. 汀線流速と迎上高

線型理論による汀線流速 $\bar{u}_s$ は

$$\bar{u}_s = R_b \left(\frac{\sigma}{S} \right) = \left(\frac{\sigma}{S} \right)^{-1} \quad \text{--- (10)}$$

非線型効果を考慮した場合の汀線流速は、部分重複長波の場合と R_b が異なるだけで非碎波の場合と同様の運動をすると仮定すれば、Carrier-Greenspan の結果より

$$\bar{u}_s = \left[4R_b^2 + 4 \left(\frac{\sigma}{S} \right)^2 - 2 \left(\frac{\sigma}{S} \right)^4 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[4 \pi \left(\frac{H_0}{h_0} \right) \left(\frac{\sigma}{S} \right)^{\frac{1}{2}} + 4 \left(\frac{\sigma}{S} \right)^4 - 2 \left(\frac{\sigma}{S} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{--- (11)}$$

よ、て、迎上高と汀線流速による速度水頭との関係は、線型理論で

$$\frac{R_b}{\frac{1}{2} \bar{u}_s^2} = 2 \quad \text{--- (12)}$$

非線型効果を考慮した場合

$$\frac{R_b}{\frac{1}{2} \bar{u}_s^2} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^2 \left(\frac{\sigma}{L_0} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^2 \left(\frac{\sigma}{L_0} \right)^{\frac{1}{2}}}} \quad \text{--- (13)}$$

(13)式は(12)が小さくなるにつれて(11)式から得られる式に漸近する。

$$\frac{R_b}{\frac{1}{2} \bar{u}_s^2} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi^{\frac{1}{2}} \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma}{L_0} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{--- (14)}$$

(14)(11)式と実験値との比較を図-5に示す。ここで、汀線流速の測定は直径3mmのプロベラ流速計を用いて行い、

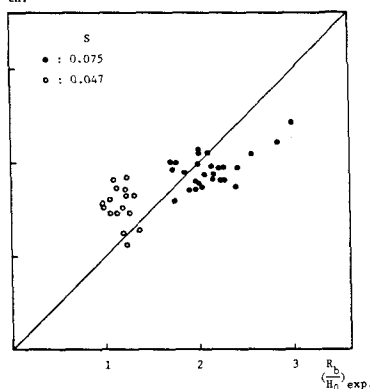


図-5 迎上高の相対値

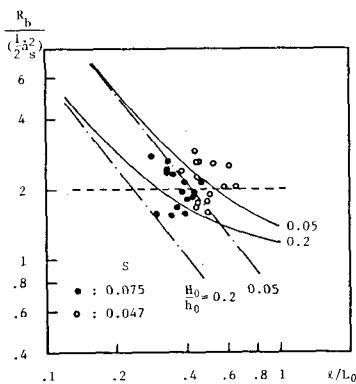


図-6 迎上高と汀線流速の関係

サンプリング間隔は 0.1° とした。サンプリング間隔が 0.1° のプロベラ流速計の出力の検討例を図-6に示す。横軸はサンプリング間隔を 10° とした時の定常流の流速 U_{10} 、縦軸はサンプリング間隔を 0.1° とし、プロベラ流速計を空中より水中(10° の場合と同じく水面下約1cm)へ一気に下げた時の最初の流速 $U_{0.1}$ を示す。

4. おわりに

非線型効果を考慮した場合の部分重複長波の迎上高と汀線流速の関係式を誘導した。本研究の結果は実験値と良く一致する。

参考文献

- 1) 松富要夫：才31回海論論文集，1984。
- 2) Shuto, N.: Coastal Eng. in Japan, Vol. 15, 1972。
- 3) 梶浦欣二：科研費成果報告，1977。
- 4) 首藤伸夫：才14回水工学研修会議議義録，1978。
- 5) 梶浦欣二：東北大学津波実験所報告，才1号，1984。
- 6) Carrier, G.F. and H.P. Greenspan: J.F.M., 1958。