

波の斜面遡上理論における非線形性と分散性の影響

秋田大学 学生会員 ○熊谷 勇地

秋田大学 正会員 平川 知明

秋田大学 正会員 齋藤 憲寿

1. はじめに

入射波の振幅から、斜面上の波の這い上がり高さ R を計算する式として、首藤の解¹⁾と高田の式²⁾が知られている。大山³⁾は、実験と数値解析を基に首藤の解の精度について調べており、波高水深比 $\varepsilon = H/h$ の増加に伴い R を過少評価するのは波の非線形効果を考慮していないのが要因であると述べられている。また、首藤の解は非線形性だけではなく、分散性も考慮していない。首藤の解は非分散性の仮定の基、通減摂動法を用いて算出しているため、水深 h に対して波長 L が十分小さい場合($O(\delta) \ll 1, \delta = h/L$)にのみ精度が良好であると考えられるが、非分散性の破綻に伴い解の精度がいかに低下するかは明らかになっていない。

一方、大山は高田の式が実際の値を過大評価する傾向があると結論づけているが、その原因については言及していない。

本研究では、振幅、周期、水深およびスロープの角度を変えて R を計測した。さらに、実験結果と首藤の解、高田の式をそれぞれ比較し、非線形性と分散性が解に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

実験は水路幅 30 cm の水槽で、図-1 に示すように造波板からスロープまで 8 m として行う。

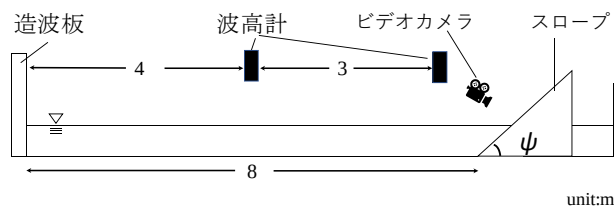


図-1 実験概要

スロープの斜面の長さは 0.5 m であり、波面がこのスロープ上を這い上がる様子を上面および側面の二方向から動画を撮影した。また、入射波高は造波板から 4 m および 7 m 離れた位置で測定した。

実験条件として、表-1 に示す水深 $h = 200$ および

300 mm, 周期 $T = 0.8 \sim 3.2$ s, 波高水深比 $\varepsilon = H/h$ が $0.03 < \varepsilon \leq 0.28$ の範囲内、スロープの角度 $\psi = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ を組み合わせる実験を行う。また、 $l = h/\tan(\psi)$ は斜面のり先から静水時の水面までの水平距離である。

表-1 変更する実験条件パラメタ

h (mm)	l (mm)	ψ (°)	T (s)	H/h
200~300	115~345	30~60	0.8~3.2	0.03~0.28

波長 L は目視では正確に計測することが困難であるため、3 m 離れた 2 点で計測した波形から伝播速度 c および周期 T を求め、 $L = cT$ として算出した。

首藤の解から得られる這い上がり高さ R は式 (1) で与えられる。

$$\frac{R}{H} = \left(J_0^2 \left(4\pi \frac{l}{L} \right) + J_1^2 \left(4\pi \frac{l}{L} \right) \right)^{-1/2} \quad (1)$$

ここで、 H は造波板から 4 m 地点の波高、 J_n は n 次のベッセル関数、 L は波長である。

砕波が起きない場合の高田の式は式 (2) である。

$$\frac{R}{H} = \left(\sqrt{\frac{\pi}{2\psi} + \frac{h_0}{H}} \right) K_s, \quad (2)$$

$$\frac{h_0}{H} = \pi \frac{H}{L} \left(1 + \frac{3}{4 \sinh^2 \left(\frac{2\pi h}{L} \right)} - \frac{1}{4 \cosh^2 \left(\frac{2\pi h}{L} \right)} \right) \coth \left(\frac{2\pi h}{L} \right)$$

ここで、 K_s は浅水係数であり、 $K_s = 1$ とする。

3. 結果と考察

3.1 非線形性 $\varepsilon = H/h$ の影響

$\varepsilon = H/h$ に着目した l/L と R/H の関係を図-2 に示す。なお、実験結果から分散性のパラメタ $\delta = h/L$ が大きい場合を除いており、分散性の影響が小さい値のみ示している。図より、 ε に関係なく l/L が増加すると R/H は増加する。また、 $0.03 < \varepsilon \leq 0.08$ では実験結果と首藤の解と近似しているが、 ε が大きくなるほど乖離する傾向が見られた。この要因は非線形性の効果が大きくなることで首藤の解の近似精度が低下したと考え

キーワード 首藤の解、高田の式、非線形性、分散性

連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 TEL 018-889-2366

られるため、大山³⁾の実験および解析結果と同様に、首藤の解は非線形の影響を受けると実験値よりも過少評価してしまうと言える。

本研究の実験結果に高田の式から得られた値を加えた l/L と R/H の関係を図-3に示す。高田の式から得られた値は ε に関係なく l/L が増加すると R/H は増加するが、実験結果よりも大きくなる傾向であるため、非線形性の強弱に関わらず過大評価となることが示唆される。

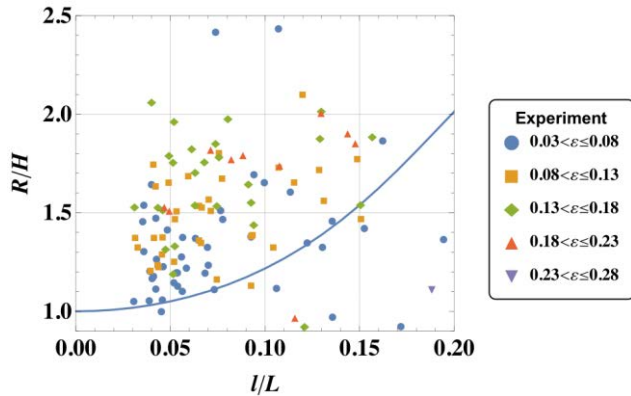


図-2 $\varepsilon = H/h$ に着目した l/L と R/H の関係

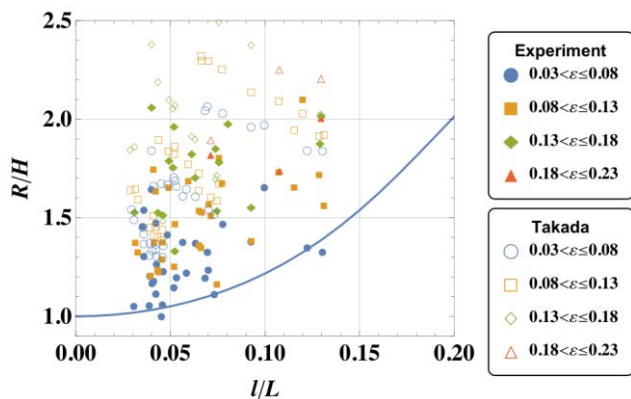


図-3 $\varepsilon = H/h$ に着目した l/L と R/H の関係
(高田の式で得られた値との比較)

3.2 分散性 $\delta = h/L$ の影響

$\delta = h/L$ に着目した l/L と R/H の関係を図-4に示す。図-2や図-3とは異なり、 δ に関係なく l/L が増加すると R/H は広範囲に分散する傾向が見られた。これは、首藤の解が非分散性の仮定に基づくため、 δ が大きくなるに伴い近似精度が悪化すると考えられる。

本研究の実験結果に高田の式から得られた値を加えた l/L と R/H の関係を図-5に示す。高田の式から得られた値は ε に関係なく l/L が増加すると R/H は横ばいになるが、図-3と同様に実験結果よりも大きくなる傾向である。したがって、分散性の強弱に関わらず過大評価になると考えられる。

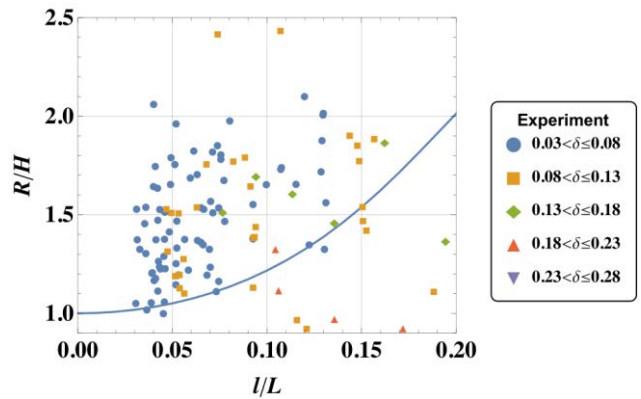


図-4 $\delta = h/L$ に着目した l/L と R/H の関係

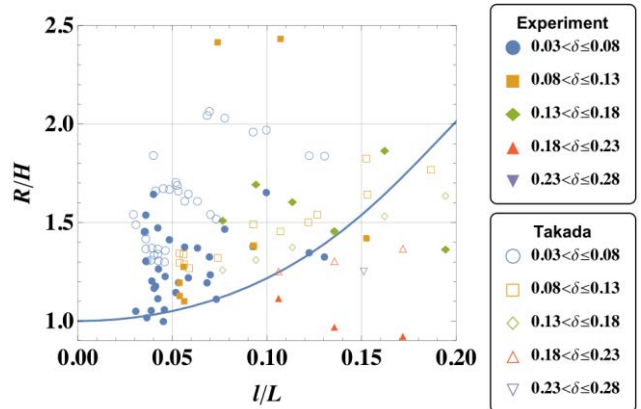


図-5 $\delta = h/L$ に着目した l/L と R/H の関係
(高田の式で得られた値との比較)

4. おわりに

実験結果と2つの式を比較することで非線形性と分散性が解に及ぼす影響を調べた結果、以下のことが明らかになった。

1) 首藤の解は非線形性の影響が強くなると解を過少評価し、分散性の影響が強くなると解を過大評価する傾向にある。

2) 高田の式は実験結果を過大評価していたが、非線形性と分散性の影響を受けているとは言えない。

同じような条件でも実験結果が異なるのは、波が定常状態になっていなかったためと考えられる。

より正確な実験を行うための改善策として、長大な水路を用いることや、定常状態の波を作るために造波装置を最適化することが挙げられる。

参考文献

- 1) Shuto, N. : Standing waves in front of a sloping dike, Coastal Eng. in Japan, vol.15, pp.13-23, 1972.
- 2) 高田彰：波の遡上、越波および反射の関連性について，土木学会論文集，第182号，pp.19-30，1970.
- 3) 大山巧：クノイド波の斜面遡上の境界要素解析，土木学会論文集，第381号，pp.189-198，1987.