

中部工業大学 正員 高田 彰

1. ま え が き

著者が昨年提案した算定式は、堤脚水深が進行波の砕波水深より深い、いわゆる重複波水深領域についてであるが、Micheの線形理論解に有限振幅重複波の非線形効果を考慮している点が大なる特徴である。しかし、非線形項の理論式の中でどの理論式が最も適合性がよいのか、また、どのような特性があって適用限界はどうかなど、十分検討がなされていないので、砕波以深領域における波の打ち上げ高の算定式として用いるにはまだ問題点が残されていた。

そこで、この研究は上記のような点に着目して、有限振幅重複波の各種理論式の非線形項の特性と明らかにして、実験値との適合性を検討し、最も適合性のよい算定式とその適用限界を明らかにする。さらに、それらの算定式を種々の条件について計算し、実用上便利な波の打ち上げ高の算定図を作成することにある。

2. 理論的考察

(1) 波の打ち上げ高の算定式 (砕波以深領域にある壁体)

i) Surging Wave 領域 ($\cot \theta \leq \cot \theta_c$ あるいは $H_0/L_0 \leq (H_0/L_0)_c$)

$$\frac{R}{H_0} = \left(\sqrt{\pi/2\theta} + \delta \right) \cdot K_s \cdot K_f \cdot K_r \cdot K_d \text{ ----- (1)}$$

$$\text{あるいは} \quad \frac{R}{H} = \sqrt{\pi/2\theta} + \delta \text{ ----- (1')}$$

ここで、 H_0 : 沖波波高、 H : 堤脚水深における入射波高、 θ : のり面傾斜角、 δ : 非線形項(後述)、 K_s : 浅水係数、 K_f : 摩擦係数、 K_r : 屈折係数、 K_d : 回折係数、 θ_c : Surging Wave (Nonbreaking Wave) を生ずる最後傾斜角であり、つぎの式で示される。

$$\sqrt{\frac{2\theta_c}{\pi}} \cdot \frac{\sin^2 \theta_c}{\pi} = K_f \cdot K_r \cdot K_d \cdot \left(\frac{H_0}{L_0} \right) \text{ ----- (2)}$$

$$= K_f \cdot K_r \cdot K_d \cdot \sqrt{\frac{\sinh 2kh + 2kh}{\sinh 2kh}} (\tanh kh)^{3/2} \left(\frac{H}{L} \right) \text{ (2')}$$

$(H_0/L_0)_c$: θ における Surging Wave を生ずる最大沖波波形勾配とあり、式(2)において θ_c を θ とし H_0/L_0 と $(H_0/L_0)_c$ とすれば求められる。

ii) Breaking Wave 領域 ($\cot \theta > \cot \theta_c$ あるいは $H_0/L_0 > (H_0/L_0)_c$)

$$\frac{R}{H_0} = \left(\sqrt{\frac{\pi}{2\theta_c}} + \delta \right) \left(\cot \theta_c / \cot \theta \right)^{2/3} \cdot K_s \cdot K_f \cdot K_r \cdot K_d \text{ --- (3)}$$

$$\text{あるいは} \quad \frac{R}{H} = \left(\sqrt{\frac{\pi}{2\theta_c}} + \delta \right) \cdot \left(\cot \theta_c / \cot \theta \right)^{2/3} \text{ ----- (3')}$$

(2) 非線形項 δ の各種理論式i) Sainflou 式の δ_s : $\delta_s = (H/2)k \coth kh \text{ ----- (4)}$

ii) Miche 式の δ_M : $\delta_M = (1/8)kh(3 \coth^3 kh + \tanh kh) \dots (5)$

なお、第2次近似式(栗田式)の δ_{II} は δ_M と同一の式で表わされる。

iii) 第3次近似式(Tadzbakhsh-Keller 式)の δ_{III}

$$\delta_{III} = \epsilon_A^2 \cdot \delta_M \dots (6)$$

$$= \epsilon_A^2 \cdot \delta_{II} \dots (6')$$

ここで、 ϵ_A : 有限振幅波の等価波高係数 ($= A/H \leq 1$, $A/2$: 微小振幅波の振幅)

ϵ_A の算定式は、昭和45年度土木学会中部支部研究発表会の著者の講演 P.128 参照。

iv) 第4次近似式(合田式)の δ_{IV}

$$\delta_{IV} = \delta_{III} + (1/6) \epsilon_A^4 (kH)^3 (b_{02} + b_{22} + b_{42} + b_{04} + b_{24} + b_{44}) \dots (7)$$

ここで、 $b_{02}, b_{22}, b_{42}, b_{04}, b_{24}$ および b_{44} は 中部支部研究発表会(昭和45年度)の著者の講演 P.129 参照。

3 実験的考察

(1) δ の諸理論値と実験値の比較

図-1(a) ~ (f) は式(4) ~ (7) の δ の計算値と実験値を比較したものである。

これより、 h/L_A が大きくなると δ の諸理論値の差は小さくなるが、 δ_{III} および δ_{IV} の適合性がよいといえる。

しかし、海底勾配が大きく ($\tan \alpha = 1/30 \sim 1/10$)、砕波点付近に鉛直壁のある場合は図より明らかなように跳波が生じ、 δ_{III} および δ_{IV} の値よりかなり大きくなる。そこで、このような場合には $\delta_M (= \delta_{II})$ の値がかなりよく合うといえる。

以上より、重複水深領域では、 δ_{III} および δ_{IV} の適合性がよい。重複波の砕波水深と進行波の砕波水深の間の領域では、海底勾配の小さい場合は δ_{III} および δ_{IV} がよく合うが、海底勾配の大きい場合は $\delta_M (= \delta_{II})$ が適合性が高い。

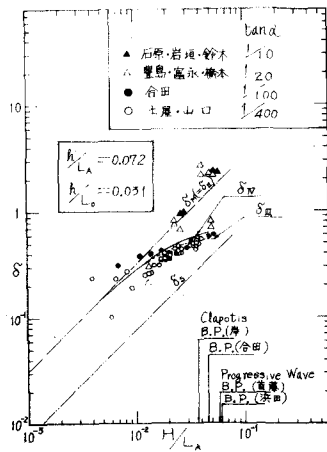
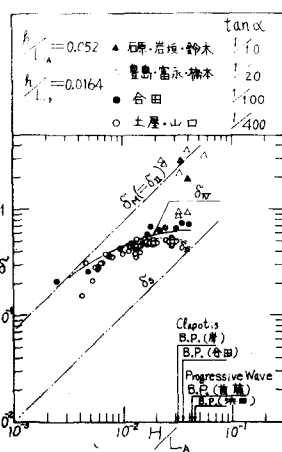


図-1 δ の値 (a) $h/L_A = 0.052$ (b) $h/L_A = 0.072$

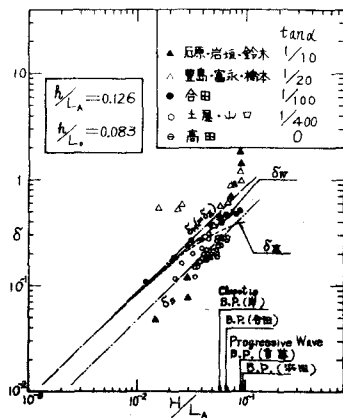
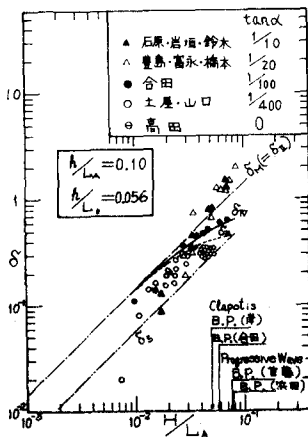


図-1 δ の値 (c) $h/L_A = 0.10$ (d) $h/L_A = 0.126$

(2) R/H_0 の計算値と実験値の比較

式(1),(2)において δ にどの理論式を用いるかによってかなり異なった値を示す。

図-2(a),(b),(c)は δ_s , δ_{III} , δ_{IV} , $\delta_M(=\delta_{II})$ を用いて式(1),(3)を計算し、実験値と比較したものである。

なお、式(1),(3)において、 K_f , K_r および K_d の影響を無視して、 $K_f = K_r = K_d = 1$ として計算している。

これらより、海底勾配の影響もあって一律に論ずることはできないが、 h/L_A の大きい場合は諸理論の計算値の差

は小さく、いずれの計算値を用いても実験値とかなりよく適合している。

しかし、 h/L_A が小さい場合は計算値の相互の差が大きくなり、どの計算値を用いるかが問題となる。

すなわち、海底勾配の小さい場合は δ_{III} および δ_{IV} を用いた計算値が適合性がないが、海底勾配の大きい場合は、 $\delta_M(=\delta_{II})$ を用いた計算値がよく合うといえる。

なお、式(2)を満足する $\cot\theta_c$ で、 $(R/H_0)_{max}$ を生ずることが確かめられたので、式(2)および(2)は重複水深領域における最大打ち上げ高を生ずる条件式とみる事ができる。

以上より、式(1),(3)の計算式において、式(6)あ

るいは式(7)を用いれば、一般に適合性がよく、碎波点付近に堤脚水深のある場合で、海底勾配の大きいときは式(5)を用いる方がよく合うことがわかる。実用的には、式(5)を用いて式(1)および(3)を計算すれば安全側にあるので、設計する立場からすれば望ましいといえる。

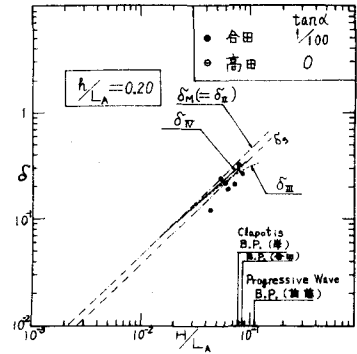


図-1(e) $h/L_A = 0.20$

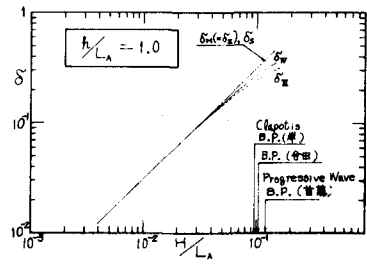
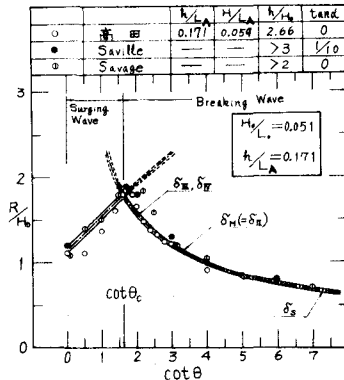
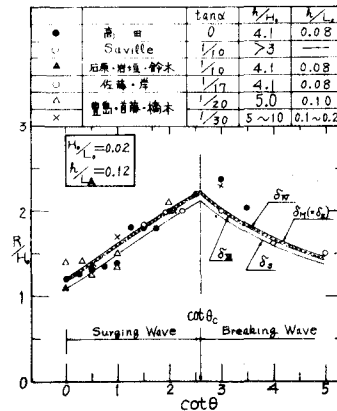


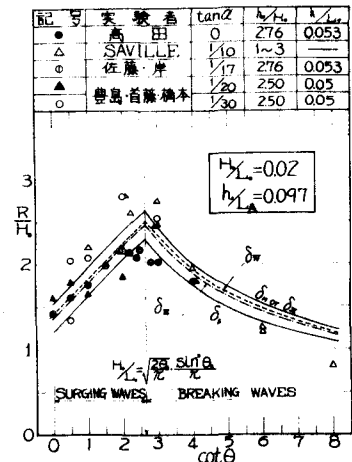
図-1(f) $h/L_A = 1.0$



(a) $H_0/L_A = 0.051$, $h/L_A = 0.171$



(b) $H_0/L_A = 0.02$, $h/L_A = 0.12$



(c) $H_0/L_A = 0.02$, $h/L_A = 0.097$

図-2 R/H_0 の計算値と実験値の比較

なお、式(1)および(3)の適用範囲は図-1(a)~(e)より明らかなように、堤脚水深が進行波の砕波水深より深い領域であり、砕波限界は式(8)の浜田の実験式で示される。

$$\frac{H_b}{L_b} = 0.142 \tanh kh_b \text{ -----(8)}$$

ここで、 h_b : 砕波水深、 H_b および L_b : h_b における波高および波長を表す。

4. R/H_0 および R/H の算定図

式(5)あるいは(6)を用いて式(1)'と式(3)'を計算すれば R/H が求まるが、計算が複雑であるので、おろろい種々の条件について計算して、一般性のある算定図を作成しておくことは実用的にも有益である。ここでは、そのための基本図を作成し、あとはそれらの図を読みとり簡単な計算で求まるような方法について述べる。

(1) Surging WaveとBreaking Waveの判別

式(2)'において $K_s = K_r = K_d = 1$ とし、 $h/L = 0.04 \sim 0.30$ について H/L と $\cot \theta_c$ の関係を計算した結果が図-3に示される。これより曲線の上側が、Breaking Wave、下側がSurging Waveとなる領域をわけている。

(2) Surging Wave領域の R/H の計算値

式(1)'の右辺第1項は図-4に、第2項は式(6)を用いる場合は図-5(a)、式(5)を用いる場合は図-5(b)に示される。図-4と図-5の値を加算すれば R/H が求められる。

(3) Breaking Wave領域の R/H

図-3より $\cot \theta_c$ を求め $(\cot \theta_c / \cot \theta)$ を計算する。一方、図-4と図-5を加算して、 $(\sqrt{\pi/2\theta} + \delta)$ を求め先に求めた $(\cot \theta_c / \cot \theta)$ と乗すれば、 R/H が求められる。

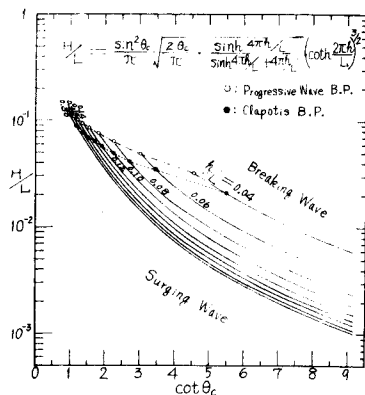


図-3 Surging WaveとBreaking Waveの判別

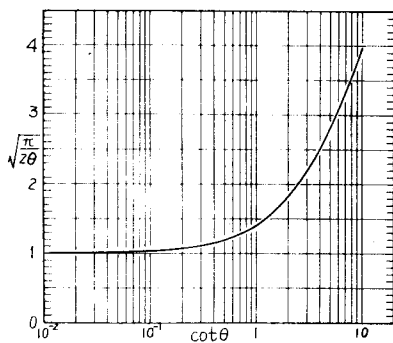
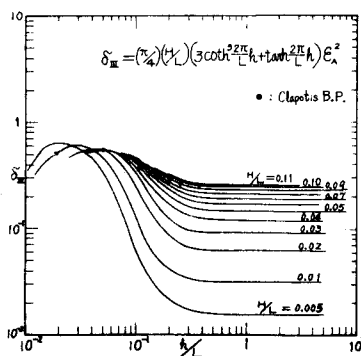
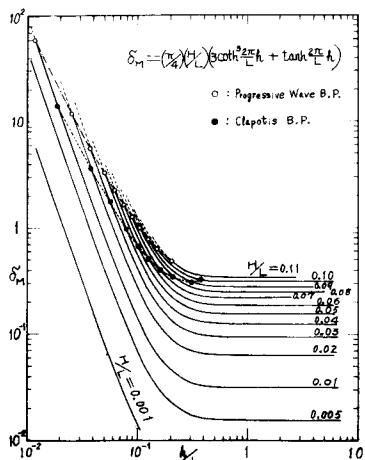


図-4 $\sqrt{\frac{\pi}{2\theta}}$ の値



(a) δ_M の値



(b) δ_M の値

図-5 δ と h/L の関係