

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. はじめに

自然海岸への波のうちあげ高さを見積ることは、海況変形の予測あるいは海岸構造物の設計上重要な課題である。うちあげ高さに関しては従来より多くの実験式が提案されているが、その多くが海岸堤防を対象とした急勾配斜面を扱っているに過ぎない。しかも、次元解析の手法によって沖波諸量と直接結びつけた形でうちあげ高さを表わしているため、式の物理的意味は明確とはいえない。これに対し、砕波変形あるいは wave set-up²⁾によりうちあげ高さを表わす試みが Van Dorn¹⁾、道・渡辺により行なわれているが、算定式を得るには至っていない。

そこで本研究では、砕波する規則波を対象として、従来の砕波変形およびドライベッド上の波の運動に関する研究成果を考慮することによりうちあげ高さの算定式を求め、他の実験式ないし実験値と比較する。

2. 従来の研究成果

(1) 砕波変形過程

平均的な砕波指標は合田により図表化されており、水口はこれを次のように定式化している。

$$\frac{H_b}{H_0} = S^{0.2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.25} \quad \text{但し、} \quad 0.01 < S < 0.1 \quad \text{----- (1)}$$

$$0.003 < H_0/L_0 < 0.07$$

$$\frac{H_b}{h_b} = 1.5 S^{0.3} \left(\frac{h_b}{L_0} \right)^{-0.1} \quad \text{但し、} \quad 0.03 < S < 0.1 \quad \text{----- (2)}$$

$$0.01 < h_b/L_0 < 0.05$$

ここで、 H_0 : 沖波波高, L_0 : 沖波波長, S : 斜面勾配, H_b : 砕波限界波高, h_b : 砕波限界水深 である。

次に、波のうちあげを考える際の基準点を静水位線にとることとする。砕波帯内で斜面勾配 S_s が一定の場合、佐々木・佐伯⁵⁾の平均的な砕波後の波高曲線から静水位線の波高 H_s は図-1中の黒丸のようにプロットされる。これをベキ乗回帰して次式を得る(図-1の実線)。

$$\frac{H_s}{H_b} = 3.04 \cdot S_s^{1.07} \quad \text{但し} \quad 0.011 < S < 0.1 \quad \text{----- (3)}$$

(2) 波のうちあげ過程

波先端の運動を Shen-Meyer⁶⁾にならって次式で近似する。

$$\alpha_f(t) = U_0 t - \frac{1}{2} g m t^2 = -\frac{1}{2} g m \left(t - \frac{U_0}{g m} \right)^2 + \frac{U_0^2}{2 g m} \quad (4)$$

ここで、 α_f : 波先端軌跡 (ドライベッドへの遡上開始点を原点とし岸向きを正とする), t : ドライベッドに遡上し始めてからの時間, g : 重力加速度, U_0 : 初速, m : 前決勾配 である。著者の一人が行なった段波状の単一波の実験結果によると、波先端軌跡を(4)式で近似すると U_0 とうちあげ開始点での波高 H_r には図-2の関係があり、次式で比例係数 F はほぼ2となる。

$$U_0 = F \cdot \sqrt{g \cdot H_r} \quad \text{----- (5)}$$

また、規則波の場合、遡上時・遡下時ともに(4)式で波先端が表わされるならば、 $t = T/2$ で α_f は最大値となる必要がある。従って、

$$t = \frac{T}{2} = \frac{U_0}{g m} \quad \text{----- (6)}$$

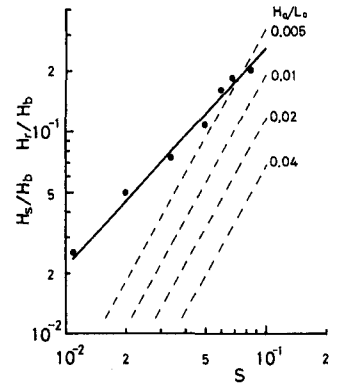


図-1. H_s および H_r

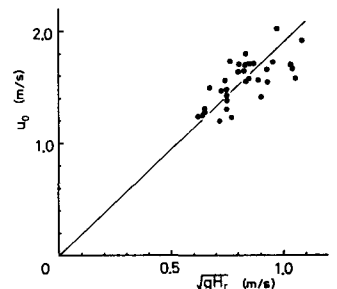


図-2. U_0 と H_r の関係

(IX)(5)(6)式よりドライバッドに迎上し始める地点での波高 H_r は次式で表わされる。

$$\frac{H_r}{H_b} = \frac{\pi}{2F^2} m^2 \cdot S^{-0.2} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.75} \quad \text{-----(7)}$$

一様勾配斜面($S=m$)の場合の H_r を図-1中の破線で示す。 H_r は H_s に比べ斜面勾配への依存性が強く、しかも波形勾配により変化する。また、 H_r が H_s を上廻るのは、静水江線に既にドライバッドになっていることを意味している。

3. うちあげ高さの算定式(一様勾配斜面)

うちあげ高さ R は、ドライバッド領域の幅 R_d (高さ表示)とドライバッドへの迎上開始点の静水面上の高さ R_r の和で求められる。 R_d は、(4)(6)式より

$$R_d = \alpha_{f, \max} \cdot S = \frac{T^2}{8} g S^2 = \frac{\pi}{4} L_0 \cdot S^2 \quad \text{-----(8)}$$

となる。 R_r については、戻り流れ、斜面による波の反射など複雑な要因が含まれ、現在のところ正確に見積ることはできない。多くの場合 $H_s > H_r$ となることを考慮して、ここでは研波による波高変化を外挿する方法をとる。佐々木・佐伯によれば、 h/h_b が0.2以下では H/H_b は直線的に変化し、その変化率 α は斜面勾配、波形勾配によらずほぼ一定(0.5~0.6)である。従って、図-3より R_r は式(9)のように求まる。

$$R_r = \frac{h_b}{\alpha} \left(\frac{H_s}{H_b} - \frac{H_r}{H_b} \right) \quad \text{-----(9)}$$

以上の(8)(9)式に(IX)(2)(3)(7)式を代入すると、沖波諸量と斜面勾配の関数として相対うちあげ高さ R/H_0 は次のように表わされる。ただし、適用範囲は $0.003 < H_0/L_0 < 0.07$, $0.03 < S < 0.1$, $0.01 < h_b/L_0 < 0.05$ である。(10)式で $\alpha=0.6$, $F=2.2$ としたうちあげ高さ、道・渡辺⁹⁾、Van Dorn¹⁰⁾の実験結果およびHunt¹¹⁾、Savage¹²⁾の式を比較したのが図-4である。式(10)

$$\frac{R}{H_0} = \frac{0.637}{\alpha} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.167} \cdot S \left\{ 3.04 - \frac{\pi}{2F^2} S^{0.7} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.75} \right\} + \frac{\pi}{4} \cdot S^2 \cdot \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-1.0} \quad \text{-----(10)}$$

による算定値は適用範囲内でHuntの式(本来の適用範囲は $S > 0.1$)に比べ実験値との一致度は良い。なお、適用範囲外の $S=0.33$ の場合は過大評価となる。

4. おわりに

研波変形を考慮したうちあげ高さ算定式を求めた。既述の実験結果と比較した結果、この算定式は比較的良い近似を与えることが明らかになった。なお、今後の課題を以下に列記する。(1) 江線付近での波の変形を明確にし、 α , F の値を再検討する。(2) うちあげ高さに及ぼす粗度、透水性の効果を。(2)の波のうちあげ過程の変化という立場で検討する。(3) 非一様勾配斜面に対し、同様の方法でうちあげ高さを求める。(4) 岩田らの指摘するのり先水深の効果を研波指標の再検討により評価する。

《参考文献》 1) Van Dorn; I.C.C.E., 1976, pp 758-751 2) 道・渡辺; 第37回年講Ⅱ, 1982, pp 869-870 3) 合田; 土木学会論文集, 180号, 1970.8 4) Mizuguchi; I.C.C.E., 1980, pp 278-289 5) 佐々木・佐伯; 第21回海講, 1974, pp 39-44 6) Shen, Meyer; J.F.M. vol. 16 pp 113-125 7) 荻井, 首藤; 東北支部, 昭和56年度 8) 前出5) 9) 前出2) 10) 前出1) 11) Hunt; Proc. A.S.C.E. WW3, Sept, 1959, pp 123 12) Savage; Proc. A.S.C.E. WW3, May 1958 13) 岩田S; 第23回海講, 1976, pp 164-169

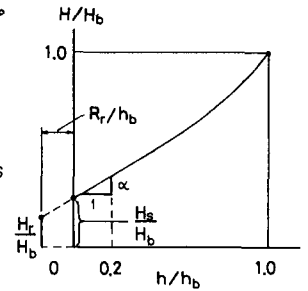


図-3. R_r の算定法

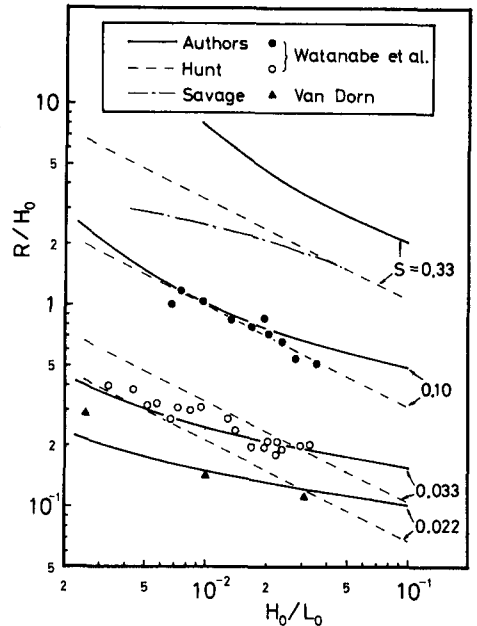


図-4. うちあげ高さの比較