

1. ま え が き 砕波点より深い、いわゆる、重複波水深領域に、斜面堤および鉛直堤を設置した場合を対象とすれば、一周期の越波水量は、越波をさせない場合の遡上波形の容積とかなり良い相関性が認められる。本研究は、一様水深に設置した、斜面堤および鉛直堤に衝突する波の遡上波形およびその容積を実験的に調べ、一周期の越波水量との相関性を明らかにして、越波水量の算定式を提案する事を目的としている。

2. 研究の考え方

(1) 斜面堤について

図-1に示されるように、越波をさせない場合の遡上波形について、仮想天端を原点とし、水平面から角度 β を有するOB面より上部の遡上波形(ΔOAB の面積)が越波すると考える。

また、遡上波形を近似的に直線とみなし、遡上波形の先端角度 θ および遡上高 R を求める算定式を導く。そして、この θ および R を用いて、単位幅当り、一周期の越波水量 $Q =$ 遡上波形容積 Q_p となるような仮想天端の越波角度 β を見出し、 ΔOAB の面積を求める算定式を導き、これを斜面堤の越波水量 Q の算定式とする。

(2) 鉛直堤について

重複波の砕波限界より深い水深に設置される鉛直堤では、重複波となるので、SaintflouおよびMicheの式を用い、波の峯が壁面に来るときを、越波をさせない場合の遡上波形とする。そして、図-2に示されるように、 $Q = Q_p$ となるような β を見出し、扇状の ΔOAB の面積を求める算定式を導き、これを鉛直堤の越波水量 Q の算定式とする。

3. 実験結果とその考察

(1) Q と $Q_{p=0}$ との関連性

実測の Q と写真測定による遡上波形の $\beta=0$ より上の $Q_{p=0}$ との比較は、図-3に示される。これより、越波水量と越波をさせない場合の遡上波形の容積とは、かなり良い関連性が認められる。

それゆえ、越波をさせない場合の遡上波形の算定式を導き、遡上波形の容積と越波水量との相関性を何らかの関数形で見出すことができれば、越波水量の算定式を導くことが可

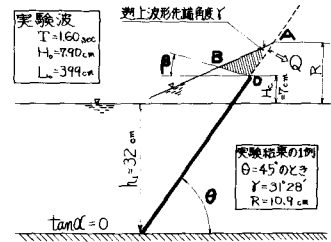


図-1 斜面堤の遡上波形と越波量

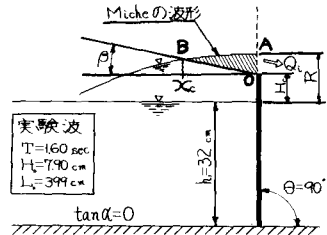


図-2 鉛直堤の遡上波形と越波量

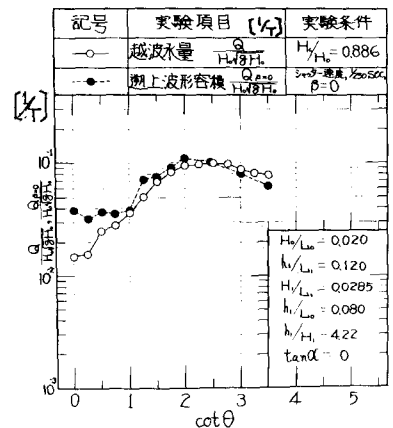


図-3 Q と $Q_{p=0}$ との関連性

能であるので、以下、順を追って検討する。

(2) 遡上波形の先端角度 γ の算定式

斜面堤における遡上波形を、写真測定により検討した結果、仮想天端高 H_c が $H_c/H_0 \geq 0.5$ であれば、 H_c より上の遡上波形は、ほぼ、直線的に減少することがわかった。

そこで、遡上波形を、近似的に直線とみなし、その先端角度 γ を調べたところ、図-4に示されるように、 $\sin \gamma$ は $\sin \theta$ の増加関数となり、一般式は次式で示される。

$$\sin \gamma = (\sin \theta)^m \text{ ----- (1)}$$

ここで、 m は、波の特性(H/L_0 および R/L_0)によって異なる正の定数。これまでの実験では、 H/L_0 の大きい波ほど、 m の値は大きい。が、詳細については、今後の研究に待たねばならない。

なお、図-3の実験波($H/L_0=0.0285$, $R/L_0=0.12$)では、 $m=2.07$ が適当である。

$$\therefore \sin \gamma = (\sin \theta)^{2.07} \text{ ----- (2)}$$

(3) 遡上高 R の算定式とその適合性

壁面に衝突する波を、その勾配の大小により、Surging waves と breaking waves に分けると、 R/H_0 の算定式は、それぞれ、次のように提案される。

i) surging waves 領域 ($H/L_0 \leq \sqrt{2\theta/\pi} \cdot \sin \theta/\pi$)

$$\frac{R}{H_0} = \left\{ \sqrt{\frac{\pi}{2\theta}} + \pi \frac{H_1}{L_1} \phi \left(\frac{R_1}{L_1} \right) \right\} \cdot \frac{H_1}{H_0} \text{ ----- (3)}$$

ここで、 $\phi(R_1/L_1)$ は、Saint-flouの重複波の波形を用いれば、

$$\phi \left(\frac{R_1}{L_1} \right) = \coth \left(\frac{2\pi R_1}{L_1} \right) \text{ ----- (4)}$$

Micheの重複波の波形を用いれば、

$$\phi \left(\frac{R_1}{L_1} \right) = \coth \left(\frac{2\pi R_1}{L_1} \right) \left\{ 1 + \frac{3}{4(\sin \theta \frac{2\pi R_1}{L_1})^2} - \frac{1}{4(\cos \theta \frac{2\pi R_1}{L_1})^2} \right\} \text{ ----- (5)}$$

ii) breaking waves 領域 ($H/L_0 > \sqrt{2\theta/\pi} \cdot \sin \theta/\pi$)

$$\frac{R}{H_0} = \left\{ \sqrt{\frac{\pi}{2\theta}} + \pi \frac{H_1}{L_1} \phi \left(\frac{R_1}{L_1} \right) \right\} \cdot \frac{H_1}{H_0} \cdot \left(\frac{\cot \theta_c}{\cot \theta} \right)^{2/3} \text{ ----- (6)}$$

ここで、 θ_c (breaking wavesを生ずる最急傾斜角度)は、次式で求まる。

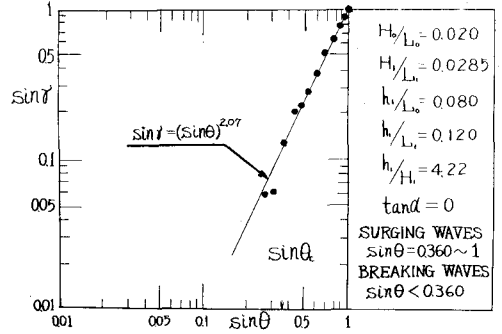


図-4 $\sin \gamma$ と $\sin \theta$ の関係

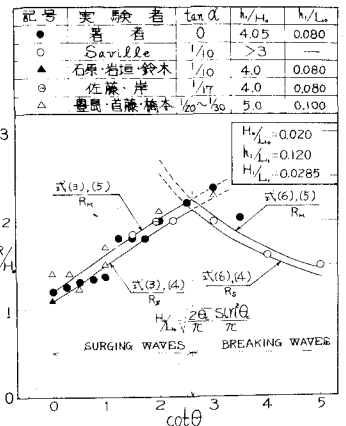


図-5 R/H_0 と $\cot \theta$ の関係

$$\sqrt{\frac{2\theta_c}{\pi}} \cdot \frac{\sin^2 \theta_c}{\pi} = \frac{H_0}{L_0} \quad \text{----- (7)}_1$$

また、 H_1/H_0 および H_1/L_1 は、微小振幅波の成り立つ範囲では、それぞれ、次式で求まる。

$$\frac{H_1}{H_0} = \frac{\sin R (4\pi R_1/L_1) \cdot \cot R (2\pi R_1/L_1)}{\sin R (4\pi R_1/L_1) + (4\pi R_1/L_1)} \quad \text{----- (7)}_2$$

$$\frac{H_1}{L_1} = \left(\frac{H_1}{H_0} \cdot \cot R \frac{2\pi R_1}{L_1} \right) \cdot \frac{H_0}{L_0} \quad \text{----- (7)}_3$$

図-5は、 R/H_0 の算定式(3) および(6)を実験値と比較したものである。これより、算定式の中の $\phi(R/L_1)$ の計算において、式(4)を用いれば、一般に実験値にほぼ等しいが、小さく、式(5)を用いれば、ほぼ等しいが、大きいことがわかる。しかし、全体的に、式(5)を用いる方が、適合性が良いようである。(ただし、 $R_1/H_0 > 3$ の場合)

(4) $Q_{\beta=0}$ の算定式とその適合性

すおよびRを用いることによって $Q_{\beta=0}$ は次式で求まる。

$$Q_{\beta=0} = \frac{1}{2(\cot \theta - \cot \theta_c)} \left(\frac{R - H_c}{\sin \theta} \right)^2 \quad \text{----- (8)}$$

図-6は、写真測定による実験値と比較したものであるが、かなり良く一致しており、Rの計算に式(4)を用いた場合は、 $\cot \theta \leq 1$ の適合性が良く、式(5)を用いた場合は、 $\cot \theta > 1$ の適合性が良い。なお以下の考察では、式(5)の方を適用する。

(5) $Q=Q_{\beta}$ となる β の算定式

図-1および2に示されるように、 $Q=Q_{\beta}$ となる β を逆算すれば、図-7のような結果が得られた。これより、 $\cot \theta_c$ を境に $\cot(\theta+\beta)$ と $\cot \theta$ の関係は近似的に2つの直線であらわされ、天端高 H_c の影響は、ほとんどないと考えられる。

i) surging waves領域($\cot \theta \leq \cot \theta_c$)では、

$$\cot(\theta+\beta) = a \cot \theta - b \quad \text{----- (9)}$$

ii) breaking waves領域($\cot \theta > \cot \theta_c$)では、

$$\cot(\theta+\beta) = c \cot \theta - \{b - (a - c) \cot \theta_c\} \quad \text{---- (10)}$$

ここで、 a 、 b および c は、波の特性により異なる正の定数であり、定量的には、今後の研究に待たねばならない。なお、図-7の実験波($H_1/L_1 = 0.0285$, $R_1/L_1 = 0.12$)では、次式で示さる。ただし、 Q_{β} を求める際に式(5)を用いた場合である。

i) surging waves 領域($\cot \theta \leq \cot \theta_c = 2.592$)では、

$$\cot(\theta+\beta_n) = 0.904 \cot \theta - 0.344 \quad \text{----- (11)}$$

ii) breaking waves 領域($\cot \theta > \cot \theta_c = 2.592$)では、

$$\cot(\theta+\beta_n) = 6.26 \cot \theta - 14.23 \quad \text{----- (12)}$$

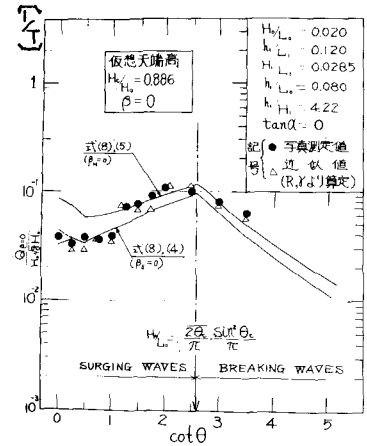


図-6 $Q_{\beta=0}$ と $\cot \theta$ の関係

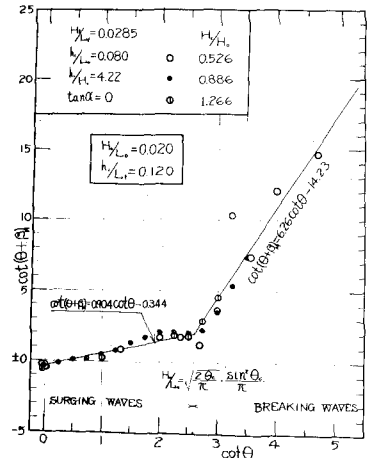


図-7 $\cot(\theta+\beta)$ と $\cot \theta$ の関係

(6) 斜面堤の越波水量 Q の算定式とその適合性

γ , R および β を用いることによって, 斜面堤の Q は次式で求められる。

$$Q = Q_p = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{\cot \gamma - \cot(\theta + \beta)} \right\} (R - H_c)^2 \sin \theta \quad \text{----- (13)}$$

図-8は, 式(11)および(12)の β_m を用いて, Q の実験値と比較したものであるが, 式(13)はかなり良く一致している。

(7) 鉛直堤の越波水量 Q の算定式とその適合性

重複波の波形をMicheの式で表わせば, 鉛直堤の Q は次式で求められる。

$$Q = Q_p = \frac{H_{L1}}{2\pi} \sin \frac{2\pi x_c}{L_1} + \frac{\pi H_1^2}{L_1} \cot h \frac{2\pi R_1}{L_1} \cdot \left[x_c - \frac{L_1}{4\pi} \sin \frac{4\pi x_c}{L_1} \left\{ \frac{1}{4(\cos h \frac{2\pi R_1}{L_1})^2} - \frac{3}{4(\sin h \frac{2\pi R_1}{L_1})^2} \right\} \right] - \left(H_c + \frac{x_c}{2} \tan \beta_m \right) x_c \quad \text{----- (14)}$$

式中の x_c は, 図-2の遡上波形と直線 OB の交点の壁面からの水平距離を示し, 次式で求まる。

$$H_c + x_c \tan \beta_m = H_1 \cos \frac{2\pi x_c}{L_1} + \frac{\pi H_1^2}{L_1} \cot h \frac{2\pi R_1}{L_1} \left[1 - \cos \frac{4\pi x_c}{L_1} \cdot \left\{ \frac{1}{4(\cos h \frac{2\pi R_1}{L_1})^2} - \frac{3}{4(\sin h \frac{2\pi R_1}{L_1})^2} \right\} \right] \quad \text{----- (15)}$$

ここで, 式(14)および(15)の β_m は次式で求められる。

$$\cot \beta_m = -b_m \quad \text{----- (16)}$$

式中の b_m は H_1/L_1 および R_1/L_1 により異なる正の定数。

なお, 図-7の実験波($H_1/L_1 = 0.0285$, $R_1/L_1 = 0.12$)では, $b_m = 0.344$ となり, 式(11)と一致する。

$$\therefore \cot \beta_m = -0.344, \text{ または } \beta_m = 19^\circ \quad \text{---- (17)}$$

図-9は, Q の実験値と式(14)を比較したものであるが, 算定式は, かなり良く一致している。

4. あ と が き 著者の提案した斜面堤および鉛直堤の越波水量 Q の算定式は, 遡上波形の先端角度 γ および仮想天端の越波角度 β が, 波の特性(H_1/L_1 および R_1/L_1)によって, どのように変化するかを, 定量的に知ることができれば, かなりの精度が期待できる。それゆえ, γ および β について, H_1/L_1 および R_1/L_1 との相関性を実験的に調べ, 次回に報告したい。

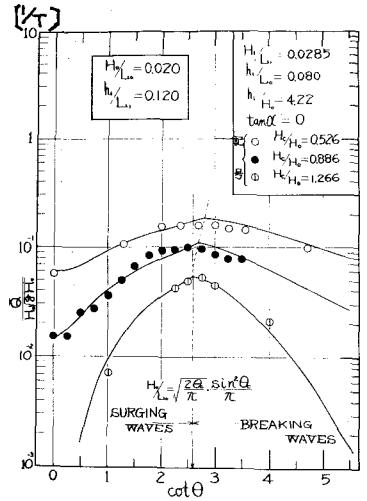


図-8 Q と $\cot \theta$ の関係

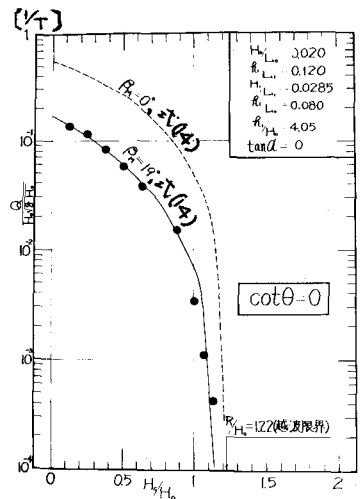


図-9 鉛直堤の Q と H_1/H_0 の関係