

1. ま え が き.

越波量の近似計算法としてつぎの二つの方法がある。一つは、壁面における波の打ち上げ時間波形を用いる方法であり、他の一つは無越波時の波の打ち上げ空間波形を用いる方法である。前者については吉川・推貝・河野の研究および着者の研究があり、かなり明らかにされている。しかし、後者についてはまだ十分検討がなされていないようである。そこで、この研究は鉛直壁および斜面堤の越波量と無越波時の波の打ち上げ空間波形の相互関係を調べ、進行波の碎波以深領域に設置された鉛直壁および斜面堤の越波量の算定式を提案したものである。さらに、鉛直壁については、風を伴う越波についても検討して、無風時と有風時の越波量の相関関係を明らかにしたものである。

2. 波の打ち上げ空間波形および打ち上げ高

(1) 鉛直壁の場合

進行波の碎波水深より深い領域を対象とする場合に、有限振幅重複波理論の第2次近似式が一般に広い範囲で適合性がよく、やや過大な値を与えるので実用的である。そこで、この研究では第2次近似式を用いることにする。いま静水面をx軸とし、鉛直壁面をz軸上向きに正とすれば、鉛直壁面に波の峯があるときの空間波形 $\eta_{II}(x)$ はつぎの式(1)で示される。

$$\eta_{II}(x) = H \cos kx + \frac{1}{8} k H^2 (3 \coth^2 kh + \tanh kh) \cos 2kx \text{-----(1)}$$

ここに、 h : 鉛直壁の堤脚水深、 H : h における入射波高、 $k = 2\pi/L$ 、 L : h における入射波長、である。

鉛直壁面に波の峯があるときの静水位の波頂高 R_{II} は、つぎの式(2)で示される。

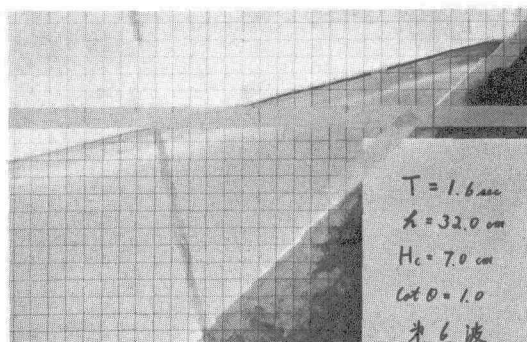
$$R_{II} = H \left\{ 1 + \left(\frac{1}{8} \right) k H (3 \coth^2 kh + \tanh kh) \right\} \text{-----(2)}$$

(2) 斜面堤の場合

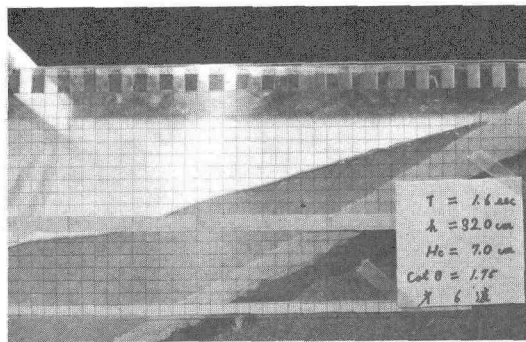
図-1に示されるように、波の打ち上げ空間波形の形状は先端付近ではほぼ直線とみなすことができる。一方、Brandtzaegらの実験からもそのことが観察され、Brandtzaegらは波の打ち上げ空間波形の先端角度が波形勾配の大きい程小さくなることを明らかにしている。しかし、定量的にはまだ十分検討がなされていないように見受けられるので、その先端角度の特性について明らかにしたい。

1) 打ち上げ空間波形の先端角度、 γ

この研究では、波の打ち上げ空間波形を図-2のように台形波形で近似して、その先端角度 γ が波形勾配、のり勾配および堤脚水深によってどのように変化するかを実験的に検討した。その結果、 $\cot \theta \cong 1$ では、 $\cot \gamma \propto (\cot \theta)^{0.6}$ の関係があること、および、 $0 \leq \cot \theta < 1$ では、 $\sin \gamma \propto (\sin \theta)^{0.7}$ 、($n > 0$)の関係があることがわかった。そこで、 γ の算定式は近似的につぎのように示され



(a) $\cot \theta = 1$



(b) $\cot \theta = 1.75$

図-1 波の打ち上げ空間波形 ($T = 1.6 \text{ sec}$, $H = 7.6 \text{ cm}$, $\lambda = 32 \text{ cm}$)

$$\cot \theta \geq 1 : \cot \gamma = 67 \frac{H}{L} (\cot \theta)^{1.6}$$

----- (3)

$$0 \leq \cot \theta < 1 : \sin \gamma = \sin \theta^{-n} \text{ ----- (4)}$$

$$\text{ここに, } n = -3.224 \log_{10} \left\{ \frac{1}{1 + (67 H/L)^2} \right\}$$

----- (5)

なお, 式(4)は近似的につぎの式(6)で示される。

$$\cot \gamma = \left\{ n + \frac{n(n-1)}{2} \cot^2 \theta \right\}^{1/2} \cot \theta$$

----- (6)

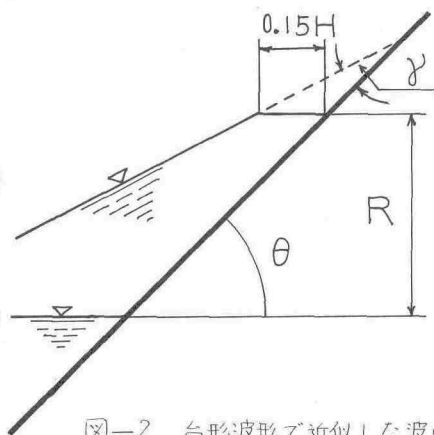


図-2 台形波形で近似した波の打ち上げ空間波形

ii) 波の打ち上げ高, R

著者は, 全反射する surging waves 領域と部分反射する breaking waves 領域に分けて, つぎのような算定式をすでに提案している。

① surging waves 領域 ($H/L \leq \sqrt{2\theta/\pi} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\pi}$) では,

$$R/H = \sqrt{\pi/(2\theta)} + S \text{ ----- (7)}$$

ここに, S は有限振幅重複波の非線形効果を表わす項であり, 第2次近似式を用いれば, 式(2)よりつぎの式(8)で示される。

$$S_{II} = (1/8) kH (3 \cot^3 \theta k h + \tanh k h) \text{ ----- (8)}$$

② breaking waves 領域 ($H/L > \sqrt{2\theta/\pi} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\pi}$) では,

$$R/H = \left(\sqrt{\pi/(2\theta_0)} + S \right) (\cot \theta / \cot \theta_0)^{2/3} \text{ ----- (9)}$$

ここに、 θ_c は全反射を生ずる限界の最後傾斜角あるいは砕波を生ずる限界の最急傾斜角を表わすが、Miché の理論によれば、式(10)で計算できる。

$$H'_0/L_0 = \sqrt{2\theta_c/\pi} \cdot \frac{\sin^2 \theta_c}{\pi} \quad \text{-----}(10)$$

ここに、 H'_0 : 深水波相当波高、 L_0 : 深水波長である。

3. 波の打ち上げ空間波形と越波量の相関関係

ここでは、無風時における越波量の近似計算法について述べる。

(1) 鉛直壁の場合

図-3に示すように、一周期あたりの越波量 Q が天端より上部の無越波時の空間波形の容積 V に比例すると考えると、つぎの式(11)が得られる。

$$Q = aV = a \int_0^{x_c} \{ \eta(x) - H_c \} dx \quad \text{-----}(11)$$

ここに、 a : 越波量係数、 H_c : 静水位上の天端高である。

式(11)の $\eta(x)$ に有限振幅重複波理論の第2次近似式を用いれば、式(11)はつぎのようになる。

$$Q = a_{II} B \left[\left(\frac{1}{6} \right) \sin kx_c + \left(\frac{1}{16} \right) H^2 (3 \coth^3 kh + \tanh kh) \sin 2kx_c - H_c x_c \right] \quad \text{-----}(12)$$

ここに、 B : 越波幅、 x_c : $Z = H_c$ と $Z = \eta(x)$ の交点である。

x_c は、 $H_c = \eta_{II}(x_c)$ において、つぎのように計算できる。

$$\cos kx_c = \frac{\sqrt{H^2 + 8d(d + H_c)} - H}{4d} \quad \text{-----}(13)$$

$$\text{ここに、} d = \left(\frac{1}{8} \right) k H^2 (3 \coth^3 kh + \tanh kh) \quad \text{-----}(14)$$

越波量係数 a_{II} は、進行波の砕波水深より深い領域の種々の実験より、近似的につぎのような関数で示されることがわかった。

$$a_{II} = \xi \frac{H'_0}{L_0} \left\{ R_{II} - H_c/H \right\}^{1/2} \quad \text{-----}(15)$$

ここに、 ξ は実験係数であり、つぎのような関数で近似的に求められることがわかった。

$$i) \quad h \geq (h_b)_s \quad \text{では、} \quad \xi_s = 9.3, \quad (\text{標準偏差値 } \Delta \xi_s = 4.74) \quad \text{-----}(16)$$

$$ii) \quad h = (h_b)_p \sim (h_b)_s \quad \text{では、}$$

$$\text{海底勾配 } \tan \alpha = 1/10 : \xi_b = 5.5 \{ h/(h_b)_s \}^{2/3}, \quad (\Delta \xi_b = 0.39 \xi_b) \quad \text{-----}(17)$$

$$\tan \alpha = 1/30 : \xi_b = 4.2 \{ h/(h_b)_s \}^2, \quad (\Delta \xi_b = 0.53 \xi_b) \quad \text{-----}(18)$$

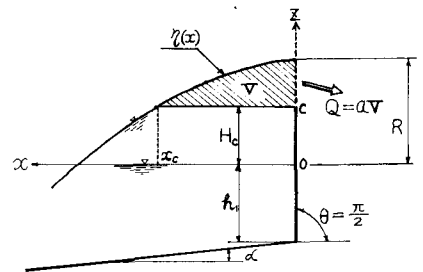


図-3 鉛直壁の越波量と空間波形の相関関係

ここに、 $(h_b)_s$: 岸の堤岸した重複波の碎波水深。

$(h_b)_p$: 浜田の堤岸した進行波の碎波水深である。

(2) 斜面堤の場合

図-4に示すように、波の打ち上げ空間波形を台形波形で近似して、鉛直壁の場合と同様に、式(11)が成り立つと仮定すれば、つぎのような関係式が得られる。

$$Q = (a_0)_{II} B \left\{ \frac{(1 + \cot^2 \theta)(R_{II} - H_c)^2}{2(\cot^2 \theta - \cot \theta)} + 0.15 H (R_{II} - H_c) \right\}$$

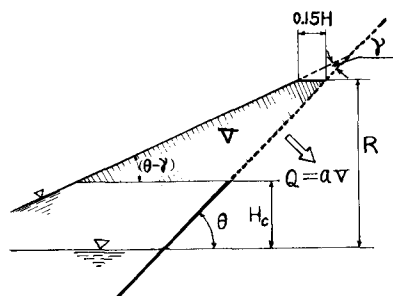


図-4 斜面堤の越波量と空間波形の相関関係

------(19)

ここに、 $(a_0)_{II}$: 越波量係数である。

$(a_0)_{II}$ は、進行波の碎波水深より深い領域の種々の実験より、つぎのような関数で示されることがわかった。

$$(a_0)_{II} = \xi_0 (\cot \theta)^{0.73} (H_0/L_0)^{0.83} \text{ -----(20)}$$

ここに、 ξ_0 は、実験係数であり、近似的につぎのような関数で示されることがわかった。

$$i) \ h \geq (h_b)_s : (\xi_0)_s = 7.6, \quad (\text{標準偏差値 } \Delta(\xi_0)_s = 2.66) \text{ -----(21)}$$

$$ii) \ h = (h_b)_p \sim (h_b)_s, \quad \tan \alpha = 1/10 :$$

$$\log(\xi_0)_b = 1.8 \log \left\{ h/(h_b)_s \right\} + 2 \left\{ \frac{(h_b)_s - h}{(h_b)_s - (h_b)_p} \log \left(\frac{R_{II} - H_c}{H} \right) \right\} \text{ -----(22)}$$

$$+ 0.81954, \quad \left\{ \Delta(\xi_0)_b = 0.51 / (\xi_0)_b \right\}$$

4. 越波におよぼす風の影響

鉛直壁の越波量におよぼす風の影響を無風時における越波量を基準量とした比率で検討する。

いま、越波限界の天端高が風の有無に関係しないと仮定すれば、つぎの式(23)で示される。

$$Q_v / Q_{v=0} = \mathcal{P}_w \text{ -----(23)}$$

ここに、 $\mathcal{P}_w$: 風の効果を表わす実験係数、 Q_v : 天端上の平均風速 V における一周期あたりの越波量、 $Q_{v=0}$: 無風時における一周期あたりの越波量である。

$\mathcal{P}_w$ の算定式は、近似的につぎのような関数で示されることがわかった。

(1) $h \geq (h_b)_s$ の場合

$$H_c/H \leq 0.8 : \log(\mathcal{P}_w)_s = 0.032 \frac{V}{C}, \quad (\text{標準偏差値 } \Delta(\mathcal{P}_w)_s = 0.33) \text{ -----(24)}$$

$$H_c/H > 0.8 : \log(\mathcal{P}_w)_s = \left\{ 0.15 (H_c/H) - 0.088 \right\} \frac{V}{C}, \quad (\Delta(\mathcal{P}_w)_s = 0.33) \text{ -----(25)}$$

ここに、 V : 天端上の平均風速、 C : 入射波(堤脚水深 h における)の波速である。

(2) $h = (h_b)_p \sim (h_b)_s$ の場合

$$H_c/H \leq 0.8 : \log(\mathcal{P}_w)_b = 0.017 \frac{V}{C}, \quad (\Delta(\mathcal{P}_w)_b = 0.86) \text{ -----(26)}$$

$$H_c/H > 0.8 : \log(\mathcal{P}_w)_b = \left\{ 0.104 (H_c/H) - 0.0662 \right\} \frac{V}{C}, \quad (\Delta(\mathcal{P}_w)_b = 0.86) \text{ -----(27)}$$

5. あとがき 算定式の精度とより一層高めることが今後の課題として残される。