

水深急変部での波の変形について

— 堤防越流量に及ぼす前面海浜地形の効果について —

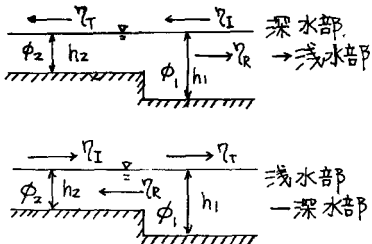
大阪大学工学部 正員 榎木 亨
大阪大学工学部 〇正員 岩田 好一朗

1. 緒言 : 筆者らは今まで堤防越流量に及ぼす前面海浜地形(トムボロ地形あるいは人工養浜工)について検討を加えてきており、オタ回災害科学シンポジウムで報告¹⁾により堤防前面地形と堤防間と離岸堤間で波の反射効果は堤防越流量に寄与する度合いが大きい。この反射効果の効果を明確にするには前面地形、つまり水深急変にともなう波の変形、特に反射率と透過率を明らかにしておく必要がある。こういった水深急変にともなう波の反射率と透過率については、既に、Fucks²⁾、Dean³⁾、井島⁴⁾、伊藤⁵⁾らが理論的に求めている。しかし、Fucksの方法によれば、浅水部から深水部へ波が伝播する場合の反射率と透過率の算定ができないこと、また、Dean、井島の方法によれば、深水部から浅水部へ波が伝播する場合の透過率は浅水部の水深が0の場合2)になってしまうなど問題が多い。1)に於いて、本論では既述の理論解とは異なる方法から水深急変部での反射率と透過率を求め、その妥当性を水理実験により検討した結果を報告する。実験は高さ0.9m×幅0.78m×長さ30.0mの二次元水槽を用い、 h_2/h_1 (浅水部水深・深水部水深比)=0.1~1.0、 $U/g = 0.01, 0.02, 0.03$, $\omega h/g = 1.0 \sim 2.0$ の諸量に対して実験を行なった。

2. 水深急変部での反射率と透過率 :

(i) 深水部から浅水部へ波が伝播する場合 : 入射波 η_i , 反射波 η_r , 透過波 η_t とおおのづかにする。

$$\left. \begin{aligned} \eta_i &= a \sin(k_1 x - \omega t) \\ \eta_r &= \delta_R a \sin(k_1 x + \omega t + \delta_R) \\ \eta_t &= \delta_T a \sin(k_2 x - \omega t + \delta_T) \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$



1)に於いて、合成領域での速度ポテンシャル ϕ , 透過波領域の速度ポテンシャル ϕ_2 は各々(2)式, (3)式で与えられる。

$$\phi_1 = \frac{a N}{k_1} \frac{\cosh(k_2 x + k_2 h_2)}{\sinh k_2 h_2} \cos(k_1 x - \omega t) - \frac{\delta_R a N}{k_1} \frac{\cosh(k_2 x + k_2 h_2)}{\sinh k_2 h_2} \cos(k_1 x + \omega t + \delta_R) \text{----- (2)}$$

$$\phi_2 = \frac{N_2 a N}{k_2} \frac{\cosh(k_2 x + k_2 h_2)}{\sinh k_2 h_2} \cos(k_2 x - \omega t + \delta_T) \text{----- (3)}$$

に於いて、上式で、 $k_1 = 2\pi/L_1$, $k_2 = 2\pi/L_2$, $N = 2\pi/g$, L_1 : 水深 h_1 での波長, L_2 : 水深 h_2 での波長, T : 波の周期, δ_T : 透過率, δ_R : 反射率, δ_R : 反射波の位相差, δ_T : 透過波の位相差, a : 入射波の振幅である。ここで、 $x=0$ の水深急変部で流量保存(4)式が成立するものと仮定する。

$$\int_{-h_2}^0 \left(-\frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dz = \int_{-h_2}^0 \left(-\frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right) dz \text{----- (4)}$$

さらに、水理急変部でエネルギー損失がないと考へる。つまり(5)式が成立すると考へる。

$$\left. \begin{aligned} m_I C_I E_I &= m_R C_R E_R + m_T C_T E_T \\ m &= \frac{1}{2}(1 + 2kh/\sinh 2kh) \\ C &= \rho/k, E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \end{aligned} \right\} \text{----- (5)}$$

H : 波高

なお上式で、添字 I, R, T は各々入射波、反射波、透過波を示す。(2)式、(3)式と(4)式に代入して、 δ_T と δ_R の関係を求め、その関係式と(5)式より δ_R と δ_T は各々(6)式、(7)式のごとく与えられる。

$$\delta_R = \left| \frac{1 - NM^2}{1 + NM^2} \right| \text{----- (6)}$$

$$\delta_T = \frac{2M}{1 + NM^2} \text{----- (7)}$$

なお、上式の M, N は次の(8)式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{k_2}{k_1} \left\{ 1 - \frac{\sinh k_1(h_1 - h_2)}{\sinh k_1 h_1} \right\} \\ N &= \frac{k_1}{k_2} \left\{ \frac{1 + 2k_2 h_2 / \sinh 2k_2 h_2}{1 + 2k_1 h_1 / \sinh 2k_1 h_1} \right\} \end{aligned} \right\} \text{----- (8)}$$

(ii) 浅水部から深水部へ波が伝播する場合:

(i)と同様、取り扱いは行なう。流量保存(9)式に(10)式、(11)式を代入し、 δ_T, δ_R の関係を求め

$$\int_{h_2}^0 \left(-\frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right) dz = \int_{h_1}^0 \left(-\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right) dz \text{----- (9)}$$

$$\phi_2 = \frac{a \cdot \partial \cdot \partial \cdot \cosh(k_2 z + k_1 h_2)}{k_2 \sinh k_2 h_2} \cos(k_2 x - \omega t) - \frac{\delta_R \cdot a \cdot \partial \cdot \cosh(k_2 z + k_1 h_2)}{k_2 \sinh k_2 h_2} \cos(k_2 x + \omega t + \delta_R) \text{----- (10)}$$

$$\phi_1 = \frac{a \cdot \partial \cdot \partial \cdot \cosh(k_1 z + k_1 h_1)}{k_1 \sinh k_1 h_1} \cos(k_1 x - \omega t + \delta_T) \text{----- (11)}$$

で、(5)式に代入して、 δ_R, δ_T を求めると各々(12)式、(13)式のようなになる。なお同式は、(6)式、(7)式と同様 $\delta_R = 0, \delta_T = 0$ として導かれるものである。

$$\delta_R = \left| \frac{Nm^2 - 1}{Nm^2 + 1} \right| \text{----- (12)}, \quad \delta_T = \frac{2mN}{Nm^2 + 1} \text{----- (13)}$$

なお、 $m = k_2/k_1$ である。

3. 実験結果による検討:

図-2は深水部から浅水部へと波が伝播する場合の水理変化 h_2/h_1 による δ_R (6)式、 δ_T (7)式)の理論値と実験値を h_2/h_1 とパラメーターに与えて示したものであり、図-3は、浅水部から深水部へ波が伝播する場合の δ_R (12)式、 δ_T (13)式)の理論値と実験値を

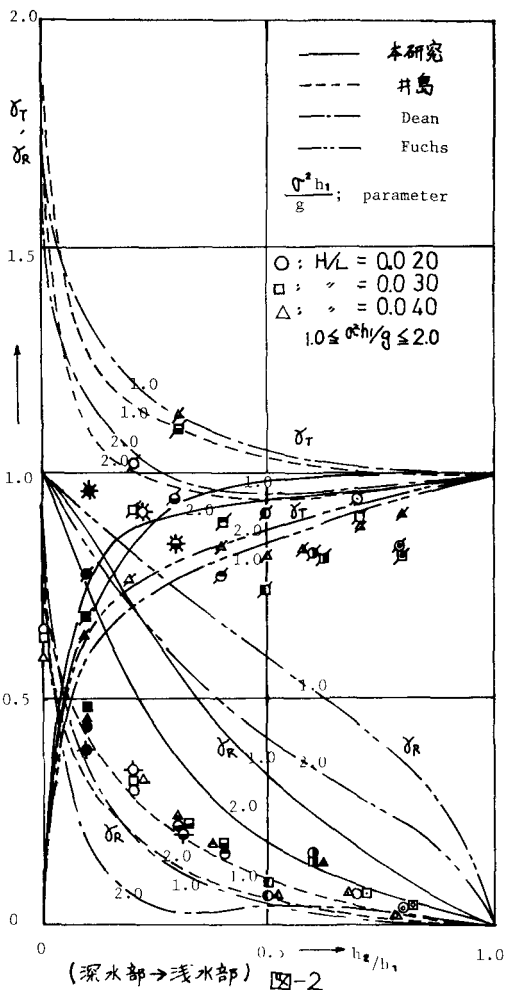
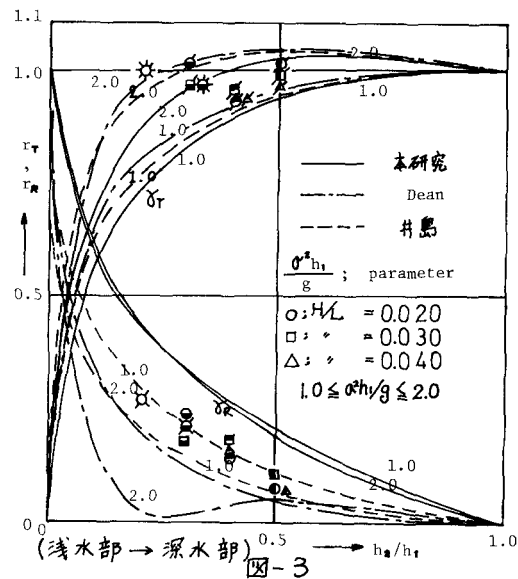


図-2と同様の $\omega h^2/g$ をパラメーターに1として示している。なお、図-2、図-3には比較のためにDean, 井島, Fucksらの値も示してある。まず、波が深水→浅水へ伝播する場合をとりあげる。Deanと井島の値は傾向を同じくしており、 $h_2/h_1 \rightarrow 0$ につれて $\delta_T \rightarrow 2$ となるが、筆者らの解(7)式とFucksの値は $h_2/h_1 \rightarrow 0$ につれて $\delta_T \rightarrow 0$ となり著しく異なっている。これは、Deanと井島は水理急変部での連続条件として水位の連続条件を用いているのに対し、(7)式あるいはFucksは流量の連続条件を用いる連続条件の差異に帰因する。井島、Deanの解析値は $h_2/h_1 < 0.3$ では実験値との差異が大きく、 δ_T の算定には水理急変部での水位連続条件は疑問とされよう。



一方、(7)式とFucksの値の方が実験値と比較的によく一致しており、 δ_T の算定には流量の連続条件を用いるのが好ましいが、反射率 δ_T については δ_T とは異なり水位連続を用いた井島・Deanの値の方が実験値とよく一致している事が認められどちらの手法も合理的と判明し難い。なお、従来、Fucksの手法により δ_T を算定する場合があったが図-2より実験値との差異が大きいためFucksの手法で δ_T の算定はできない。一方、図-3に示す浅水→深水へ波が伝播する場合であるが、Dean, 井島, 筆者らの解析値の差異は少くなく連続条件の差異はこの場合大きく影響しない。また同図によれば、(12)式の値は井島、Deanらの値と比べて幾分大きく実験値との差異も他の二者の値より大きい。以上、水理急変部での連続条件の相違にとまらう δ_T と δ_T の値について検討してきたが、実験値との差異があつて解析値で算定する事が困難な点がある。この原因の一つは水理急変部に生じるhorizontal rollerの効果と正しく評価できない点にあると考えられ今後充分検討しなければならない。この δ_T と δ_T を検討しつつ堤防面と離岸堤間の及復反射と考えて堤防越流量に及ぼす前面地形の規模の効果に解析的な検討を加えているがその結果は後日報告する。なお本実験は森永勝彦君(本学・大学院生)の協によるところが大きく謝意を表す。次がである。

<参考文献>

- 1) 榎木・岩田；堤防越流量に及ぼす前面地形の効果について， 第7回災害シンポジウム講演集1970.
- 2) 榎木・岩田；堤防越流量に及ぼす離岸堤背後地形の効果に関する実験的研究， 第18回海峽論議集1971.
- 3) 榎木・岩田；堤防越流量低減に対する離岸堤の合理的配置について， 昭和47年度関西支部年報1972.
- 4) 榎木・岩田；堤防越流量に及ぼす前面海床地形の効果について(II)， 第9回災害科学シンポジウム講演集1972.
- 5) Fucks ; Damping action of Submerged Breakwaters, Trans. A.G.L. vol.32, No.5, 1951.
- 6) Dean, R. G. ; Estuary and Coastlines Hydrodynamics, (by Ippen) McGraw-Hill, 1966.
- 7) 井島 武士；最近の波浪理論における境界値問題の解法とその応用， 水工学期研究会講演集，1971.
- 8) 伊藤・谷本；波向線交差領域での波の屈折， 第19回海岸工学講演会論文集，1972.