

横スリット型防波堤の水利特性について(1)

大阪大学工学部 正員 工博 榎木 亨
 大阪大学工学部 正員 工修 岩田 好一郎
 大阪大学大学院 学員 ○森永 勝登

1. まえがき： 防波堤及び岸壁などの海岸港湾構造物は常時風波の作用下にあるため、その防波効果とともに耐久性が重要とされる。さらにその維持補修が容易である事も従来より望まれていることである。これらの構造物として耐久性の面から従来コンクリート構造物が主体であったが、近年鋼材の耐久性の増加及び施工の迅速性、補修の容易さから鋼材を主体として透過性構造物が用いられるようになり、この種の透過性防波堤の形式及びその水利特性について検討が加えられてきている。本論で取り上げるのはこの種の防波堤の中で、短ざく型の不透水性板とある間隔をもつて水平に配置しその主軸は波の進行方向に直角となっている横スリット型防波堤である。本論ではまず水利特性(反射率と透過率)について理論解析を行ない、ついで水理実験によりその妥当性について検討を加える。

2. 反射率と透過率の算定： 仮定(1)波動は微小振幅浅水波とする、(2)横スリット防波堤は波により振動しない、(3)板の厚さは波長に比して無視できる、とを用いる。入射波 $\eta_I = a \sin(kx - \omega t)$ 、反射波 $\eta_R = a_R \sin(kx + \omega t + \phi_R)$ 、透過波 $\eta_T = a_T \sin(kx - \omega t + \phi_T)$ で与えられ、入射波と反射波の合成波の速度ポテンシャル $\phi_1 = \frac{gA}{k} \frac{\cosh k(h-z)}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t) - \frac{gA_R}{k} \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx + \omega t + \phi_R)$ 、透過波のポテンシャル $\phi_2 = \frac{gA_T}{k} \frac{\cosh k(h-z)}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t + \phi_T)$ と与えられる。但し、 $k = 2\pi/L$ 、 $\omega = 2\pi/T$ 、 L ：水深 h での波長、 T ：周期、 ϕ_R ：反射率、 ϕ_T ：透過率、 ϕ_R, ϕ_T ：入射波に対する反射波と透過波の位相差である。横スリット前後での流量保存と考えると、(1)式と(2)式で与えられる。

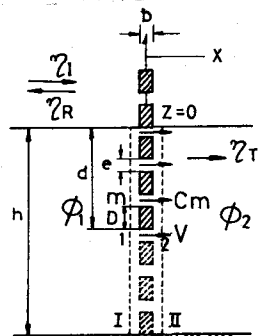


図-1. 記号の説明

$$\int_{-h}^0 \left(-\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right) dz = \int_{-h}^0 \left(-\frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right) dz \quad \text{---- (1)} \quad \int_{-h}^0 m C_m \nabla dz + \int_{-h}^{-d} C_1 \nabla dz = \int_{-h}^0 \left(-\frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right) dz \quad \text{---- (2)}$$

なお、(2)式については構造物下部の空間と流出する流れは仮想のスリットと考へ、スリットのない場合は $m=1$ 、流量係数 C_1 とし取り扱ったのものである。ここで、 $m=c/(erD)$ と定義される空隙比、 c ：スリット間隔、 D ：板の高さ、 d ：静水面下の横スリット防波堤の水中への突込み長さ、 ∇ ：スリットでの流速である。つぎに、図-1に示す断面IとII、I'とII'間に成立する(3)式のエネルギー式に、 ϕ_1 と ϕ_2 を代入し、上記の(1)式、(2)式とあ

$$(\eta_I + \eta_R - \eta_T) + \frac{1}{2g} \left\{ \left(-\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 - \left(-\frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right)^2 \right\} + \frac{1}{g} \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial t} - \frac{\partial \phi_2}{\partial t} \right) - \left\{ (\xi_0 + \xi_c) + \frac{f(b)}{4(c)} \right\} \frac{V^2}{2g} = 0 \quad \text{---- (3)}$$

に用いて η_T と η_R と解くと(4)式と(5)式で与えられることになる。

$$\eta_T = \frac{2}{a} \left\{ -E_0^2 S^2 K + \sqrt{E_0^4 S^4 K^2 + a E_0^2 S^2 K} \right\} \quad \text{---- (4)}, \quad |\eta_R| = 1 - \eta_T \quad \text{---- (5)}$$

ここで、 $C_s = 1 + \left(\frac{d}{h}\right)(mC_m - 1)$, $\varepsilon_0 = 1/\sqrt{\varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \frac{f}{4}\left(\frac{d}{h}\right)}$, $K = \left(\frac{Rb}{h}\right)^2 \left\{ g + \frac{\omega^2}{R \sinh kh} + \frac{\omega^2 (Rb)^2 \theta}{6k \sinh kh} \right\}$, $\theta = \left\{ mC_m \left(\frac{d}{h}\right)^3 - (1 - mC_m) \left(1 - \frac{d}{h}\right) \right\} / \left\{ 1 + \left(\frac{d}{h}\right)(mC_m - 1) \right\}$ で与えられ、 ε_0 , ε_1 はおのおのスリット部での断面拡大と断面縮小係数、 f はスリット部材の摩擦係数である。なお、(4)式、(5)式は $\delta_R \approx 0$, $\delta_T \approx 0$, $\cosh k(z+h) \approx 1 + \frac{1}{2}(kh+kz)^2 + \frac{1}{24}(kh+kz)^4$, $C_1 = 1$ ($C_1 = 1$ とするは問題がある。 C_1 の値の取り方について後日詳述するが、本論では $C_1 = 1$ としておく) として導き出されたものである。なお上述の C_m は水理実験により決まる実験定数である。

3. 水理実験による検討: 実験は大阪大学土木工学教室の二次元鋼製造波水槽(65cm×90cm×25m)を用いて行なわれた。橋スリット防波堤は波により振動しないように固定されている。以下実験結果に基づき主に透過率 δ に及ぼす防波堤の空隙比 m と静水面下、突込み深さ d/h の効果について考察を加える。(i) m の効果: 一例として図-2 に示されているように空隙比 m が小さくなるにつれて δ_T が小さくなり、 δ_R は大きくなり δ_T と δ_R に及ぼす m の効果は大きい。($m=0.3$ で $\delta_T=0.7$ であるが、 $m=0.111$ にすることにより $\delta_T=0.5$ に低減させることができる。)。また同図には上述(1)理論値(4)式、(5)式の値も同時に示されているが、比較的よく実験事実を説明していることがわかる。また、現地にこの種の防波堤を設置する場合 $\delta_T \leq 0.3$ というかなりきつい要望がえられる場合が多いが、 $b/d < 1$ の範囲で、 $\delta_T \leq 0.3$ にするには(4)式によれば $m \leq 0.05$ とする必要がある。このことは著者らは別の実験で検証している。(ii) d/h の効果: 図-3 は $m=0.111$ と $m=0.059$ の場合の δ_T と δ_R に及ぼす d/h の効果を示している。同図より $d/h \rightarrow 1.0$ になると、 δ_T は減少し $d/h=1.0$ で入射波の遮断が最も大きくなるから当然のことといえる。また、 $m=0.059$ の場合、 $m=0.111$ より δ_T が小さくなるのは上述(1)に m の効果の項より明らかである。図-3 には(4)式、(5)式で与えられる理論値も示してあるが実験値と傾向は一致するが絶対量としての差異があり定性的な傾向を与えるにとどまっている。この原因の一つは前述(1) $C_1=1$ とした点にあり、目下著者らはこの実験中でより更に精度の高い算定式を提案する積りである。本研究で行なった実験は国費研究カラス・ペーア君の協力を得て行なわれたものである。

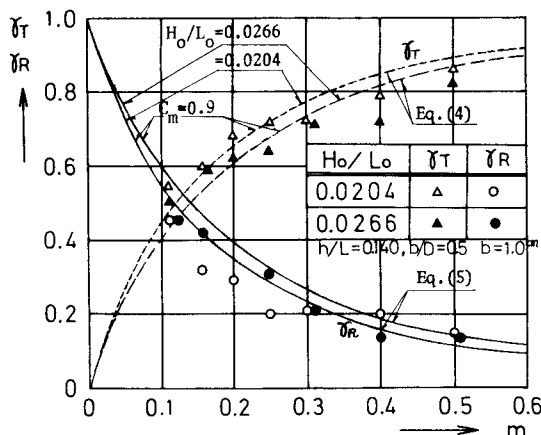


図-2 δ_T と δ_R と m の関係

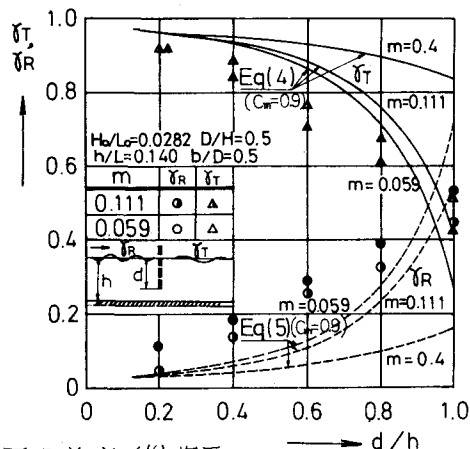


図-3 δ_T と δ_R と (d/h) の関係