

Crenellated Breakwater の伝達波

高 隆 二*・木 村 弘**

1. 緒 言

表題の Crenel(le) は狭間、銃眼の意であり、訳せば狭間防波堤。明石海峡に面した須磨港および垂水漁港では、海水交流

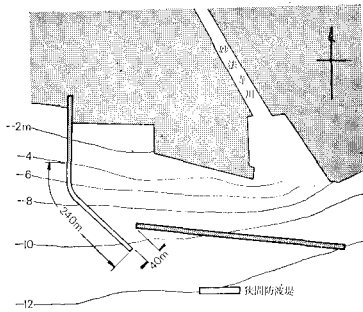


図-1 須磨港平面図

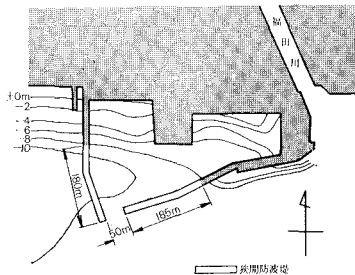


図-2 垂水漁港平面図

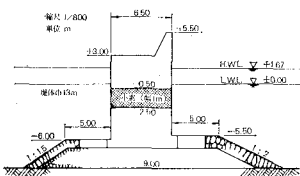


図-3 須磨港防波堤断面図

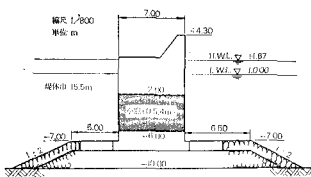


図-4 垂水漁港防波堤断面図

ならびに汚濁軽減のため、防波堤に小窓を穿って施工した。狭間に見立てた小窓は混成堤のケーソン両端にコの字型の切り欠きを付けた二堤体で構成され、その面積は堤体断面積に対し 1~10% にすぎない。基礎の洗掘および表面付近の波動の伝達を防ぐこの形式の考案ならびに波の伝達に関する水理模型実験の企画は神戸市港湾局によって行なわれた。両港の平面図および堤体断面図を 図-1~4 に示す。

2. 理 論

一様水深 h の海中に設置された防波堤 (厚さ l) の小窓は水深 $h_1 \sim h_2$ の範囲にあるものとする。入射波、反射波および伝達波にそれぞれ添字 I, R, T を付すと微小振幅波としての速度ポテンシャルは、

$$\phi_N = \frac{a_N g}{\sigma_N} \cdot \frac{\cosh k_N(z+h)}{\cosh k_N h} \cdot \cos(\sigma_N t \mp k_N x + \theta_N) \quad \dots\dots\dots (1)$$

静水面上の変位は

$$\eta_N = a_N \sin(\sigma_N t \mp k_N x + \theta_N) \quad (N=I, R, T) \quad \dots\dots\dots (2)$$

と表わされる¹⁾。ここに、 a : 波の振幅 (=半波高), $k=2\pi/L$, $\sigma=2\pi/T$, L : 波長, T : 周期, θ : 初期位相, g : 重力加速度で、() 内の負号は入射波および伝達波, 正号は反射波に対応する。

小窓前後面で、流量の連続方程式は

$$A_1(U_I + U_R) = CA_2 V = A_1 U_T \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、堤体断面積: $A_1 = Bh$ (B : 堤体幅), 小窓の面積: $A_2 = db = (h_2 - h_1)b$ (b : 小窓の幅), 鉛直断面に関する水平流速 u の平均流速 U は、

$$U_N = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 u_N dz = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \frac{\partial \phi_N}{\partial x} dz \quad \dots\dots\dots (4)$$

小窓からの噴流に関する Bernoulli の方程式は、

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{p}{w_0} = \eta_I + \eta_R - \frac{\beta'}{g} \left(\frac{\partial \Phi_I'}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_R'}{\partial t} \right) + \frac{\alpha'}{2g} (U_I' + U_R')^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$'$ は小窓に関する断面平均を表わし、

たとえば

$$U_N' = \frac{1}{d} \int_{-h_2}^{-h_1} u_N dz \quad \dots\dots\dots (6)$$

p : 噴流の縮流断面に働く圧力, w_0 : 水の単位重量, α' , β' は平均流速を用いたための補正係数で

$$\left. \begin{aligned} \alpha' &= \frac{1}{d} \int_{-h_2}^{-h_1} \frac{u^3}{U'^3} dz \\ \beta' &= \frac{1}{d} \int_{-h_2}^{-h_1} \frac{(\partial \phi / \partial t) \cdot u}{(\partial \phi' / \partial t) \cdot U'} dz \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

小窓を通過する水平方向の運動量の変化は、 $\varepsilon = A_2/A_1$ を用いて、

* 正会員 日本港湾コンサルタント水理室長
** 正会員 日本港湾コンサルタント水理研究所

$$\rho C A_2 V |V| - \rho A_1 |U_T| U_T = \rho A_1 \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right) |U_T| U_T$$

(ρ : 水の密度)

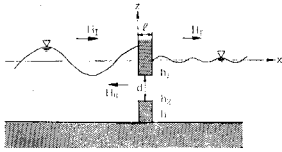


図-5 Crenellated Breakwater

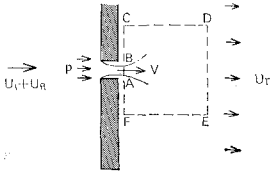


図-6 小窓を通る噴流

が作用すると見ると、圧力差は小窓の部分だけに存在する。

小窓の平均流速 V' は

$$C A_2 V = A_2 V' \quad \dots\dots\dots (8)$$

慣性長 l' ($\rho l' A_2$: 仮想質量) を用い、慣性力は、

$$\rho l' A_2 \frac{dV'}{dt} = \rho l' C A_2 \frac{dV}{dt} = \rho l' A_1 \frac{dU_T}{dt}$$

運動方程式は、

$$\begin{aligned} \rho A_1 \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right) |U_T| U_T + \rho l' A_1 \frac{dU_T}{dt} \\ = A_2 \left(p - \rho g \eta_T + \rho \beta' \frac{\partial \Phi_T'}{\partial t} \right) \\ \therefore \left(\frac{1}{C\varepsilon} - \varepsilon \right) |U_T| U_T + l' \frac{dU_T}{dt} \\ = \varepsilon \left(\frac{p}{\rho} - g \eta_T + \beta' \frac{\partial \Phi_T'}{\partial t} \right) \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

式 (5) を式 (3) により書き直すと、

$$\begin{aligned} \frac{p}{w_0} = \eta_I + \eta_R - \frac{\beta'}{g} \left(\frac{\partial \Phi_I'}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_R'}{\partial t} \right) \\ + \frac{1}{2g} \left\{ \alpha' U_T^2 - \frac{U_T^2}{(C\varepsilon)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

式 (9) と式 (10) から、

$$\begin{aligned} \eta_I + \eta_R - \eta_T - \frac{\beta'}{g} \left(\frac{\partial \Phi_I'}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_R'}{\partial t} - \frac{\partial \Phi_T'}{\partial t} \right) \\ - \frac{1}{2g} \left[\left\{ \frac{1}{(C\varepsilon)^2} - \alpha' \beta \right\} U_T^2 + \frac{2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right) |U_T| U_T \right] \\ - \frac{l'}{g\varepsilon} \frac{dU_T}{dt} = 0 \quad \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

ここで

$$\delta = \left(\frac{U'}{U} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

を用いている。

反射率と伝達率はそれぞれ、

$$K_R = \frac{H_R}{H_I} = \frac{a_R}{a_I}, \quad K_T = \frac{H_T}{H_I} = \frac{a_T}{a_I} \quad \dots\dots (13)$$

と定義される。

いま、 $k_N = k$, $\sigma_N = \sigma$ と仮定すると式 (3) は $\theta_I = 0$ として、

$$\begin{aligned} \frac{gT}{4\pi h} \tanh kh \{ H_I \sin \sigma t - H_R \sin(\sigma t + \theta_R) \} \\ = \frac{gT}{4\pi h} \tanh kh \cdot H_T \sin(\sigma t - kl + \theta_T) \\ \therefore \{ 1 - K_R \cos \theta_R - K_T \cos(kl - \theta_T) \} \sin \sigma t \\ - \{ K_R \sin \theta_R - K_T \sin(kl - \theta_T) \} \cos \sigma t = 0 \end{aligned}$$

時間に無関係に成り立つためには、

$$\begin{cases} K_R \cos \theta_R + K_T \cos(kl - \theta_T) = 1 \\ K_R \sin \theta_R - K_T \sin(kl - \theta_T) = 0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$K_T \ll 1$ であるから、

$$\begin{aligned} K_R = \sqrt{1 - 2 K_T \cos(kl - \theta_T) + K_T^2} \\ \approx 1 - K_T \cos(kl - \theta_T) \\ \theta_R = \tan^{-1} \frac{K_T \sin(kl - \theta_T)}{1 - K_T \cos(kl - \theta_T)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (15)$$

K_T , $kl - \theta_T$ を測定すれば K_R および θ_R は求まる。

次に、あらかじめ式 (11) の諸項を計算する。

$$\begin{aligned} \eta_I + \eta_R - \eta_T = a_I \sin \sigma t + a_R \sin(\sigma t + \theta_R) \\ - a_T \sin(\sigma t - kl' + \theta_T) = A \sin(\sigma t + \theta) \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} A = \sqrt{\{ a_I + a_R \cos \theta_R - a_T \cos(kl' - \theta_T) \}^2 \\ + \{ a_R \sin \theta_R + a_T \sin(kl' - \theta_T) \}^2} \\ \approx \frac{H_I}{2} (1 + K_R) \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{a_R \sin \theta_R + a_T \sin(kl' - \theta_T)}{a_I + a_R \cos \theta_R - a_T \cos(kl' - \theta_T)}$$

慣性長 l' における位相は不明であるが、 $\theta \neq 0$ であるから、式 (14) で $l' \approx l$ として差し支えない。

$$\approx \tan^{-1} \frac{2 K_R \sin \theta_R}{2 K_R \cos \theta_R} = \theta_R \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\begin{aligned} \Phi' = \frac{1}{h_2 - h_1} \int_{-h_2}^{-h_1} \frac{ag}{\sigma} \cdot \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \\ \cdot \cos(\sigma t \mp kx + \theta_N) dz \\ = \frac{gHT}{4\pi h(h_2 - h_1)} \cdot \frac{\sinh k(h - h_1) - \sinh k(h - h_2)}{\cosh kh} \\ \cdot \cos(\sigma t \mp kx + \theta_N) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_I'}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_R'}{\partial t} - \frac{\partial \Phi_T'}{\partial t} = - \frac{g}{k(h_2 - h_1)} \\ \cdot \frac{\sinh k(h - h_1) - \sinh k(h - h_2)}{\cosh kh} \\ \cdot A \sin(\sigma t + \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U = \pm \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \frac{agk}{\sigma} \cdot \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \\ \cdot \sin(\sigma t \mp kx + \theta_N) dz \end{aligned}$$

$$= \pm \frac{gHT}{4\pi h} \tanh kh \cdot \sin(\sigma t \mp kx + \theta_N)$$

(+は入射波および伝達波、-は反射波と対応)

$$\begin{aligned}
 U' &= \pm \frac{gHT}{4\pi(h_2-h_1)} \cdot \frac{\sinh k(h-h_1) - \sinh k(h-h_2)}{\cosh kh} \cdot \sin(\sigma t \mp kx + \theta_T) \\
 \delta &= \left(\frac{h}{h_2-h_1} \right)^2 \frac{\{\sinh k(h-h_1) - \sinh k(h-h_2)\}^2}{\sinh^2 kh} \\
 \alpha' &= \frac{\{k(h_2-h_1)\}^2}{3} \cdot \frac{\sinh k(h-h_1) \{\cosh^2 k(h-h_1) + 2\} - \sinh k(h-h_2) \{\cosh^2 k(h-h_2) + 2\}}{\{\sinh k(h-h_1) - \sinh k(h-h_2)\}^3} \\
 \beta' &= \frac{k(h_2-h_1)}{4} \cdot \frac{\sinh 2k(h-h_1) - \sinh 2k(h-h_2) + 2k(h_2-h_1)}{\{\sinh k(h-h_1) - \sinh k(h-h_2)\}^2}
 \end{aligned}$$

なお式(11)の非線形項を Lorentz の方法²⁾に従って、一周期間に流れのなす仕事を等価するように、 $U_T|U_T| = DU_T$ と書換える。

$$\begin{aligned}
 \int_0^T \left| \frac{U_T^2}{2g} \cdot U_T \right| dt &= \int_0^T \frac{DU_T}{2g} \cdot U_T dt \\
 \therefore D &= \frac{\int_0^T |U_T^3| dt}{\int_0^T U_T^2 dt} \\
 &= \frac{\int_0^T \left| \frac{gH_T T}{4\pi h} \sin(\sigma t - kl + \theta_T) \right|^3 dt}{\int_0^T \left\{ \frac{gH_T T}{4\pi h} \sin(\sigma t - kl + \theta_T) \right\}^2 dt} \\
 &= \frac{2gH_T T}{3\pi^2 h} \dots\dots\dots (18)
 \end{aligned}$$

これらを式(11)に代入すると、

$$\begin{aligned}
 \frac{l'}{g\varepsilon} \cdot \frac{dU_T}{dt} + \frac{H_T T}{3\pi^2 h} \left\{ \frac{1}{(C\varepsilon)^2} - \alpha' \delta + \frac{2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right) \right\} U_T \\
 = A \sin(\sigma t + \theta) + \frac{\beta'}{k(h_2-h_1)} \\
 \cdot \frac{\sinh k(h-h_1) - \sinh k(h-h_2)}{\cosh kh} \cdot A \sin(\sigma t + \theta) \\
 \therefore \frac{dU_T}{dt} + BU_T = G \sin(\sigma t + \theta) \\
 \left. \begin{aligned}
 B &= \frac{\varepsilon g H_T T}{3\pi^2 h l'} \left\{ \frac{1}{(C\varepsilon)^2} - \alpha' \delta + \frac{2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right) \right\} \\
 G &= \frac{\varepsilon g A}{l'} \left\{ 1 + \frac{\beta'}{k(h_2-h_1)} \right. \\
 &\quad \left. \cdot \frac{\sinh k(h-h_1) - \sinh k(h-h_2)}{\cosh kh} \right\}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (19)
 \end{aligned}$$

$U_T = E \sin(\sigma t + \theta')$ において、 E, θ' を定めるには、

$$\left. \begin{aligned}
 E &= \frac{G}{\sqrt{\sigma^2 + B^2}} \\
 \theta' &= \theta - \theta'' = \theta - \tan^{-1} \frac{\sigma}{B}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (20)$$

とおけばよい。

ゆえに、

$$U_T = \frac{G}{\sqrt{\sigma^2 + B^2}} \sin \left(\sigma t + \theta - \tan^{-1} \frac{\sigma}{B} \right) \dots\dots (21)$$

既述のように、伝達波流速 U_T は伝達波形 η_T と同位相であり、

$$U_T = \frac{gH_T T}{4\pi h} \tanh kh \cdot \sin(\sigma t - kl + \theta_T)$$

と表わされる。伝達波の波高 H_T 、位相 $-kl + \theta_T$ (あるいは、入射波からの遅れ時間 $t' = (kl - \theta_T)/\sigma$) を測定すれば、

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{G}{\sqrt{\sigma^2 + B^2}} &= \frac{gK_T H_T T}{4\pi h} \tanh kh \\
 \tan^{-1} \frac{\sigma}{B} &= \theta + (kl - \theta_T)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (22)$$

となる。これを解いて、 B, G を算定すれば、式(19)から縮流係数 C と慣性長 l' は求められる。

式(19)で

$$\begin{aligned}
 B &= IK_T \\
 I &= \frac{\varepsilon g H_T T}{3\pi^2 h l'} \left\{ \frac{1}{(C\varepsilon)^2} - \alpha' \delta + \frac{2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right) \right\} \dots (23)
 \end{aligned}$$

とおくと、式(22)の第一式は、

$$\left. \begin{aligned}
 K_T^4 + K \cdot K_T^2 - \frac{J^2}{4} &= 0 \\
 J &= \frac{G}{I} \frac{8\pi h}{gH_T T \tanh kh} = 12\pi^2 \frac{A}{L} \left(\frac{h}{H_I} \right)^2 \\
 1 + \frac{\beta'}{k(h_2-h_1)} \frac{\sinh k(h-h_1) - \sinh k(h-h_2)}{\cosh kh} \\
 \cdot \frac{1}{\frac{1}{(C\varepsilon)^2} - \alpha' \delta + \frac{2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right)} \\
 K &= \left(\frac{\sigma}{I} \right)^2 = \left[\frac{3\pi^2}{\varepsilon} \cdot \frac{h}{H_I} \cdot \frac{l'}{L_0} \right. \\
 &\quad \left. \cdot \left\{ \frac{1}{(C\varepsilon)^2} - \alpha' \delta + \frac{2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{C\varepsilon} - 1 \right) \right\}^{-1} \right]^2 \\
 &\dots\dots\dots (24)
 \end{aligned} \right\}$$

となる (L_0 : 沖波波長)。したがって伝達率は、

$$K_T = \sqrt{\frac{\sqrt{K^2 + J^2} - K}{2}} \dots\dots\dots (25)$$

と算定される。

エネルギー方程式は

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{8} w_0 H_I^2 C_G B &= \frac{1}{8} w_0 H_R^2 C_G B \\
 &+ \frac{1}{8} w_0 H_T^2 C_G B + \frac{\varepsilon_l}{T} \\
 \therefore \frac{1}{8} w_0 H_I^2 C_G B (1 - K_R^2 - K_T^2) &= \frac{\varepsilon_l}{T} \dots\dots\dots (26)
 \end{aligned}$$

ここで、各小窓の一周期当たりエネルギー損失 ε_l は、損失係数を f として、

$$\varepsilon_l = \int_0^T w_0 f \frac{V^2}{2g} C A_2 |V| dt$$

$$\begin{aligned} &= \int_0^T \frac{\rho}{2} f C A_3 \left| \frac{A_1 U_T}{C A_2} \right|^3 dt \\ &= \frac{2 \rho T}{3 \pi} \cdot f \cdot \frac{A_1}{(C \varepsilon)^2} \left(\frac{g T H_I K_T}{4 \pi h} \tanh k h \right)^3 \dots\dots (27) \end{aligned}$$

ゆえに式(26)は、

$$\begin{aligned} &1 - K_R^2 - K_T^2 \\ &= \frac{2 \rho}{3 \pi} \cdot f \cdot \frac{A_1}{(C \varepsilon)^2} \left(\frac{g T H_I K_T}{4 \pi h} \tanh k h \right)^3 \\ &= \frac{w_0}{8} H_I^2 C_G B \end{aligned}$$

式 (15) を参照し、

$$\begin{aligned} &2 K_T \{ \cos (k l - \theta_T) - K_T \} \\ &= \frac{f}{3 \pi^2} \cdot \frac{\tanh k h}{n} \cdot \frac{K_T^3}{(C \varepsilon)^2} \cdot \frac{L}{h} \cdot \frac{H_I}{h} \\ \therefore f &= 6 \pi^2 \frac{n}{\tanh k h} \left(\frac{C \varepsilon}{K_T} \right)^2 \frac{h^2}{L H_I} \{ \cos (k l - \theta_T) - K_T \} \dots\dots\dots (28) \end{aligned}$$

ただし、 $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2 k h}{\sinh 2 k h} \right)$

定常流であれば、エネルギー損失は、定流に関する損失係数 f_0 を用いて、

$$\begin{aligned} f_0 \frac{V^2}{2g} &= \frac{V^2}{2g} - \frac{\alpha U_T^2}{2g} \\ \therefore f_0 &= 1 - \alpha \left(\frac{U_T}{V} \right)^2 = 1 - \alpha (C \varepsilon)^2 \doteq 1 \dots\dots\dots (29) \end{aligned}$$

と見積られる。ただし、

$$\alpha = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \frac{u^3}{U^3} dz = \frac{1}{3} \left(\frac{k h}{\sinh k h} \right)^2 (\cosh^2 k h + 2)$$

を用いる。

3. 実 験

(1) 条 件

実験条件を表—1 に示す。

(2) 測 定

無堤時の防波堤設置点通過波を入射波とし、水路末端

から反射波の到達しない第 5~10 波を測定した。水路および堤体幅を考慮し、模型縮尺は須磨港 1/32.5、垂水漁港 1/19.4 とした。伝達波は、横断方向に一樣となる堤後方 3m で測定した。なお、幅 0.8m×高さ 1.0m×長さ 30m のフラップ型造波水路を用い、堤体は水路中央、造波板の 10m 前方に設置した。

4. 結 果

実験ならびに計算結果を表—2 にまとめた。伝達波高は微小で、位相の読取り誤差により、結果は若干変動している。 K_T の算出に必要な縮流係数 C および質量係数 V'/l は、

$$C, V'/l = \varphi(h/L, H/L, H/h, H/h_d, \varepsilon, h_0/h, d/b, l/R) \dots\dots\dots (30)$$

の無次元式で表わされる。まず、図—7 はマウンドの効果を示し、碎波限界に近いマウンド水深に対しても、伝達率におよぼす影響はわずかであり、 H/h_d を省略する。 $C, V'/l$ は縮流に関する R_e 数、

$$R_e = \frac{|V| R_{\max}}{\nu} = \frac{|U_T| R_{\max}}{\nu \cdot C \varepsilon} \dots\dots\dots (31)$$

(ν : 水の動粘性係数)

の増大とともに、それぞれ増加、減少し(図—8, 9)、式(19)を参照すれば、波高の増大に伴う質量力および摩擦力の増加を表わしている。同一ケースの測定値は波の変動を、 $d/b, l/R$ 一定では $\varepsilon, h_0/h$ も大略一定であり、波の影響を表わしている。小窓の面積に左右され、 R_e による表示は適当ではないので、波の浅海性 h/L を変数として 図—10, 11 に表わした。小窓幅員の影響は少なく、堤体条件の効果を明らかにするにはいたっていない。なお、特定堤体条件下では H/L や H/h についての補正は不必要である(図—12, 13)。図—14 には式(28)を用い抵抗係数、図—15 に式(19)から質量力と摩擦力の比 σ/B を示した。 f は h/L の関数、 σ/B は 1 程度である。

表—1 実 験 条 件

港	ケース	記 号	水 理 条 件							堤 体 条 件			
			H (m)	T (sec)	h (m)	h/L	H/L	H/h	H/h_d	ε	h_0/h	d/b	l/R
須磨	1	○	5.75	5.99	12.7	0.177	0.0801	0.45	0.93	1.21	0.43	2	19.5
	2	●	3.41	7.20	12.0	0.182	0.0519	0.28	0.62	1.28	0.40	2	19.5
	3	◎	0.81	5.70	12.0	0.256	0.0174	0.08	0.15	1.28	0.40	2	19.5
	4	⊗	2.66	7.13	11.3	0.178	0.0417	0.24	0.55	1.37	0.36	2	19.5
	5	⊙	0.62	6.16	11.3	0.218	0.0117	0.06	0.13	1.37	0.36	2	19.5
	6	△	0.55	5.42	11.3	0.266	0.0128	0.05	0.11	1.37	0.36	2	19.5
垂水	1	⊖	4.20	7.17	13.7	0.201	0.0616	0.31	0.39	0.94	0.56	8	31.5
	2	◆	1.28	5.72	12.3	0.260	0.0270	0.10	0.14	1.04	0.51	8	31.5
	3	⊕	0.68	4.62	12.3	0.376	0.0209	0.06	0.07	1.04	0.51	8	31.5
	4	⊖	4.20	7.17	13.7	0.201	0.0616	0.31	0.31	7.51	0.56	1	7.0
	5	⊕	1.28	5.72	12.3	0.260	0.0270	0.22	0.14	8.41	0.51	1	7.0
	6	☆	1.07	4.53	12.3	0.390	0.0339	0.09	0.12	8.41	0.51	1	7.0

h_d : マウンド天端水深、 h_0 : 小窓中心の水深 ($= (h_1 + h_2)/2$)、 R : 小窓の径深 ($= db/2(b+d)$)

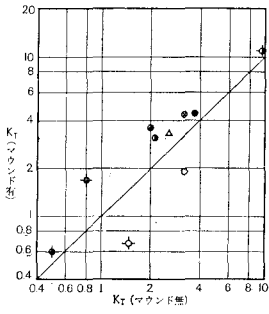


図-7 マウンドの効果

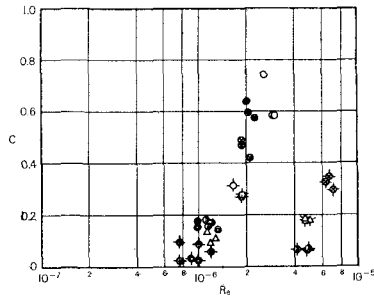


図-8 縮流係数

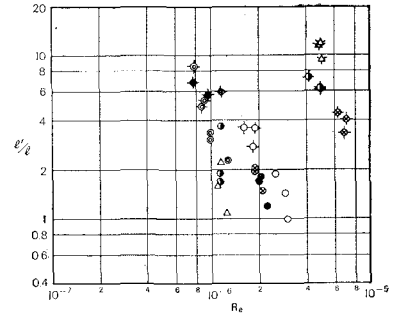


図-9 質量係数

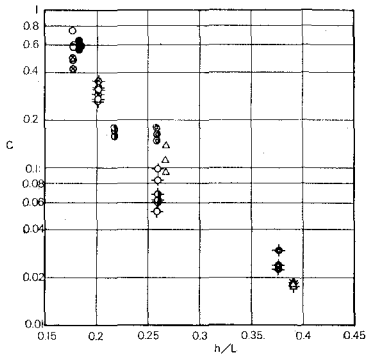


図-10 縮流係数

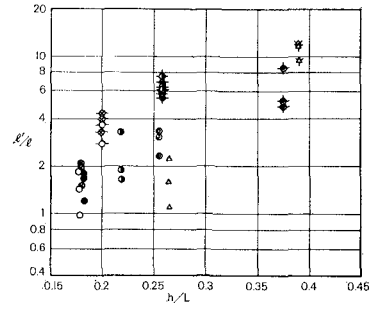


図-11 質量係数

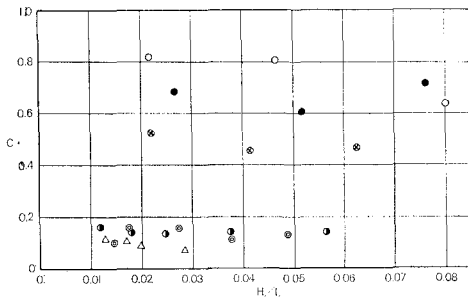


図-12 波形勾配の影響

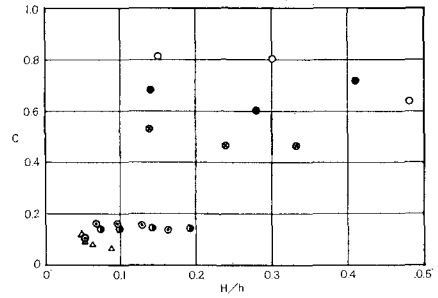


図-13 波高水深比の影響

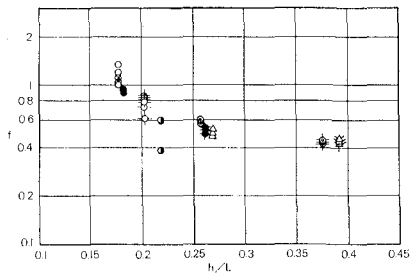


図-14 抵抗係数

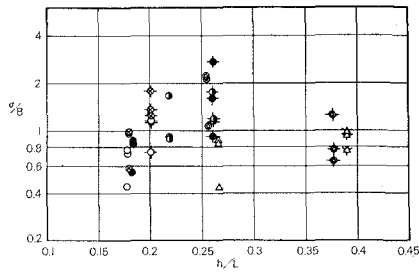


図-15 質量力と摩擦力の比

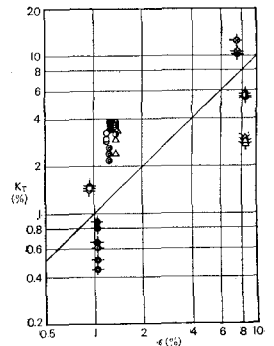


図-16 開口比と伝達率

表-2 結果一覧表

港名	ケース	K_T	$kl-\theta_T$	K_R	θ	σ/B	C	l'/l	f	Re ($\times 10^{-6}$)
須磨	1	0.032	0.623	0.974	0.0192	0.748	0.743	1.9	1.32	2.55
		0.029	0.623	0.976	0.0173	0.745	0.585	1.0	1.00	2.96
		0.029	0.411	0.973	0.0119	0.449	0.586	1.4	1.14	2.89
	2	0.038	0.686	0.971	0.0248	0.861	0.639	1.7	0.94	2.00
		0.038	0.463	0.966	0.0176	0.552	0.575	1.2	0.89	2.22
		0.036	0.687	0.972	0.0235	0.860	0.597	1.8	0.92	2.05
	3	0.026	0.794	0.982	0.0189	1.057	0.147	2.3	0.54	1.27
		0.022	1.108	0.990	0.0199	2.109	0.159	3.4	0.56	0.99
		0.024	1.107	0.989	0.0217	2.114	0.176	3.1	0.57	0.98
	4	0.035	0.741	0.974	0.0242	0.960	0.471	2.1	1.02	1.87
		0.035	0.516	0.970	0.0178	0.591	0.422	1.5	0.97	2.08
		0.036	0.741	0.973	0.0250	0.962	0.493	2.0	1.06	1.85
	5	0.032	0.711	0.976	0.0214	0.899	0.155	1.9	0.58	1.13
		0.036	0.711	0.973	0.0241	0.904	0.177	1.7	0.60	1.11
		0.036	0.990	0.980	0.0307	1.632	0.168	3.3	0.38	1.17
	6	0.033	0.683	0.974	0.0214	0.849	0.137	1.6	0.52	1.09
		0.030	0.392	0.972	0.0118	0.428	0.110	1.1	0.49	1.24
		0.024	0.683	0.981	0.0154	0.839	0.094	2.2	0.47	1.16
垂水	1	0.015	0.852	0.990	0.0112	1.169	0.315	3.6	0.83	1.62
		0.015	0.852	0.990	0.0112	1.169	0.269	3.6	0.61	1.90
		0.015	0.734	0.989	0.0100	0.736	0.276	2.8	0.72	1.85
	2	0.0067	0.741	0.995	0.0046	0.923	0.053	6.0	0.49	1.16
		0.0088	1.005	0.995	0.0075	1.601	0.084	5.7	0.52	0.96
		0.0082	1.209	0.997	0.0077	2.704	0.098	6.8	0.53	0.77
	3	0.0045	0.881	0.997	0.0035	1.222	0.024	8.6	0.43	0.79
		0.0051	0.568	0.996	0.0028	0.642	0.024	5.3	0.43	0.91
		0.0062	0.654	0.995	0.0038	0.773	0.030	4.9	0.43	0.88
	4	0.106	0.949	0.938	0.0921	1.708	0.329	4.4	0.82	6.30
		0.106	0.836	0.929	0.0847	1.315	0.294	4.0	0.78	7.03
		0.126	0.795	0.912	0.0986	1.244	0.358	3.3	0.84	6.86
	5	0.056	1.002	0.970	0.0487	1.746	0.068	7.3	0.50	4.21
		0.058	0.810	0.960	0.0440	1.148	0.061	6.1	0.49	4.87
		0.057	0.810	0.960	0.0432	1.146	0.060	6.2	0.49	4.87
	6	0.024	0.622	0.981	0.0143	0.983	0.018	11.4	0.46	4.66
		0.023	0.735	0.983	0.0157	0.933	0.018	11.7	0.43	4.77
		0.025	0.622	0.980	0.0149	0.740	0.018	9.4	0.43	5.01

5. 結 言

広島県阿多田漁港に例を見る³⁾透過性直立堤は、今後多用されるとしても、施工上開口比を自由に選べるとは限らない。

従来二、三の perforated breakwater に関し定数と見られた²⁾⁴⁾縮流係数および慣性長は、開口比の極端に低い crenellated breakwater においては堤体条件を定めれば、式(30)は、

$$C, l'/l = \varphi(h/L, \text{堤体条件}) \dots\dots\dots (32)$$

と書き換えられ、大略浅水度により規定される。

現地ならびに模型上で小窓周辺の圧力および流れを測定し、各要素の効果を系統的に調べることも有用である

う。ただし、図-1~4を参照すれば、荒天時に両港の静穏を乱すのは、明らかに防波堤先端からの回折波および越波であり、実用上传達率は開口比と同程度と見なしても支障はない(図-16)。

参 考 文 献

- 1) 服部昌太郎: 多孔壁式防波堤の水理特性, 第18回海岸工学講演会論文集, 1971
- 2) Terrett, F. L., Osorio, J. D. C. and Lean, G. H.: Model Studies of a Perforated Breakwater, Proc. 11th Conf. on Coast. Eng. ASCE 1968
- 3) 全国漁港協会: 阿多田漁港の穴あき防波堤, 漁港13巻3号 1971
- 4) Richey, E. P. and Sollitt, C. K.: Wave Attenuation by Porous Walled Breakwater, Proc. of ASCE WW. Vol. 96 No. 3, 1970