

徳島大学工学短期大学部 正員 〇村上仁士
 徳島大学工学部 正員 越智 勝
 徳島大学大学院 学生員 高田嘉美男

1. よねがき: 湧水振動を解明するうえで重要な防波堤開口部の水粒子速度特性を調べるために、断面が急縮および急拡する場合について、開口部の最大水平水粒子速度と静水面下5cmの位置でプロペラ式流速計を用いて測定するとともに、水粒子速度に関する若干の理論的考察を行った。実験は、幅1m、深さ90cm、長さ30mの2次元遠波水槽で行い、図-1に示す記号について、 b/B を0.3, 0.7, 1に変え、それぞれの b/B について、 D/b を0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1に変化させた。なお、実験条件は、周期 $T=2\text{sec}$ 、水深 $h=15\text{cm}$ 、入射波高は急縮の場合、 $H=1.15\text{cm}$ 、急拡断面の場合、 $H=1.35\sim 2.26\text{cm}$ である。

2. 理論解析: (a) 防波堤開口部で波の位相変化がない場合 — (a-1) 急縮断面;

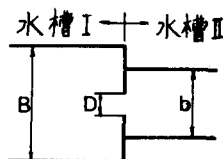


図-1 断面急変部モデル

水槽IからIIへ波が進行する場合の、入射波 η_i 、反射波 η_r および透過波 η_t は、次式で示される。 $\eta_i = a_i \sin(\omega t - kx)$ (1), $\eta_r = a_r \sin(\omega t + kx)$ (2), $\eta_t = a_t \sin(\omega t - kx)$ (3), 開口部での水平水粒子速度(以下、単に流速と呼ぶ)を V_i とすると、開口部で水槽IとIIの流速は等しいので、 $Bh(U_i + U_r) = G_1 D h V_i = b U_t h$ (4) と得る。ここに、添字付きの U は、入射波、反射波、透過波の流速を示す。ただし、これらの U は、 $U = (1/h) \int_{-h}^0 u dz$ (5) であり、 G_1 は流量係数である。また、開口部の流速は、Bernoulliの実験から、 $V_i^2/2g = \eta_i + \eta_r + (U_i + U_r)^2/2g - p/sg$ (6) で表わされる。ここで、 p は断面急変部に働く圧力で、 g は重力加速度である。 p を求めるとき、運動量方程式から、 $g b h \{ (b/C_1 D) - 1 \} U_i^2 = b h (p - sg \eta_t)$ (7) と導く。式(4)、(6)および(7)から、 V_i 、 $(U_i + U_r)$ と消去して、 $U_t = \sqrt{2g(\eta_i + \eta_r - \eta_t)/S_1}$ (8) が求められる。ただし、 $S_1 = \{ (b/C_1 D)^2 - (b/B)^2 \} + 2 \{ (b/C_1 D) - 1 \}$ (9) である。いま、透過率 α_1 と反射率 β_1 とを関係式は、 $\beta_1 = 1 - (b/B)\alpha_1$ (10) とおくと、式(1)~(4)および(10)から、透過率 α_1 は次式となる。 $\alpha_1 = \{ -[1 + (b/B)] + \sqrt{[1 + (b/B)]^2 + S_2} \} / (S_2/4)$ (11), ただし、 $S_2 = (2H/\lambda) \times (\tanh k\lambda / k\lambda) S_1$ (12), 上式において、 η_i として $H/2$ をとっている。式(4)と(8)から、開口部の流速 V_i は次式となる。 $V_i = (b/C_1 D) \sqrt{2g(\eta_i + \eta_r - \eta_t)/S_1}$ (13), 波が長波で近似できる場合には、式(11) + 透過率および開口部の最大流速 V_{max} は簡単な次式で表わされる。 $\alpha_1 = \{ -[1 + (b/B)] + \sqrt{[1 + (b/B)]^2 + (2H/\lambda) S_1} \} / \{ (H/2\lambda) S_1 \}$ (14), $V_{max} = (b/C_1 D) \sqrt{gH \{ 2 - (b/B)\alpha_1 \} / S_1}$ (15). (a-2) 急拡断面: 急縮断面に関する式において、 G_1 と G_2 に、 b と B を入れかえ式になる。

(b) 防波堤開口部で波の位相変化がある場合 — (b-1) 急縮断面; Le Méhauté の方法¹⁾と同様に取り扱いとする。入射波の速度ポテンシャルは、波の振幅を a とすると、 $\phi_i = a(\omega/k) \{ \cosh k(h+z) / \sinh k\lambda \} \sin(\omega t - kx)$ (16) とおける。水槽IIにおける速度ポテンシャル ϕ_t は、透過率を α_1 、入射波に対する透過波の位相のずれを $\hat{\alpha}_1$ とすると、 $\phi_t = \alpha_1 a(\omega/k) \{ \cosh k(h+z) / \sinh k\lambda \} \sin(\omega t - kx + \hat{\alpha}_1)$ (17), と表わされる。開口部における流速 V_i 、流量係数を G_1 とすると、開口部で水槽IとIIとの流量が連続であるから、 $b \int_{-h}^0 (-\partial \phi_t / \partial x)_{x=0} dz = G_1 D h V_i$ (18), が得られる。式(17)と(18)から、 V_i は次式のようにおまる。 $V_i = b \{ a\omega / (C_1 D k\lambda) \} \{ \alpha_1 \cos(\omega t + \hat{\alpha}_1) \}$ (19), 波が長波の場合、最大流速 V_{max} を無次元化して表示すると次式となる。 $V_{max}/\sqrt{g\lambda} = \{ b / (2G_1 D) \} (H/\lambda) \alpha_1$ (20) ここに、 α_1 として著者らによる実験式を用いると、 $\alpha_1 = (D/b)^{1/4} (B/b)^{1/4}$ (21) と与えられる。(b-2) 急拡断面: 同様の考え方によって、流量係数を G_2 とすると、急拡断面における最大流速 V_{max} を無次元表示する式は次式となる。

$V_{max}/\sqrt{g\lambda} = \{ B / (2G_2 D) \} (H/\lambda) \alpha_2$ (22), ここに、 α_2 は著者らが求めた急拡断面に関する透過率で、次式で与えられる。 $\alpha_2 = (D/b)^{1/4} (b/B)^{1/4}$ (23)

3. 実験結果および考察: 図-2~図-6は、断面変遷部における最大流速の実験値を示したもので、図7(a)

には、防波堤開口部で波の位相変化がないとした解析結果、図7(b)には、波の位相変化を考慮した場合の解析結果を併記している。図中の○および●印は、それぞれ岸向きおよび沖向き流速をわしてゐる。これらの図から、急縮および急張断面にかかわらず、 b/B および D/b が小さくなるにつれて V_{max} は大きくなり、岸向きおよび沖向き流速が一致しなくなることがわかる。つまり、理論解と実験結果の比較を行う。断面変遷部で波の位相変化はないと考えた場合(以下、④と呼ぶ)および位相変化を考慮した場合(以下、⑤と呼ぶ)と比較する。図-4をみると、⑤では、 D/b が0.2の付近で、流量係数 C が小さくなるにつれて、 V_{max} が急激に大きくなる傾向を示してあり、実験結果とよく

似た傾向を示しているが、④では、同じ $D/b = 0.2$ も V_{max} が急激に大きくなるわけで、実験結果とよく一致しないことがわかる。表-1は、実験値に合う流量係数 C を図から読みとったものを④と⑤について、まとめたものである。全般に④の場合には、一定の流量係数と仮定した計算から得られる曲線の上に実験値は乗ってなくて、読みとりは困難であるが、ここでは平均的な値をとっている。この表から、 b/B が小さいほど流量係数 C は小さくなり、開口部で透過する波のエネルギーは大きくなることわかる。また、⑤は④に比べ、やや C を大きく評価することがわかる。上述したように、⑤の方が実験現象とよく説明していると思われるが、さらに、位相変化を明らかにする。式(10)は、位相変化がない場合の反射率と透過率との関係で、実験値がこの式を満足するかどうかについて検討

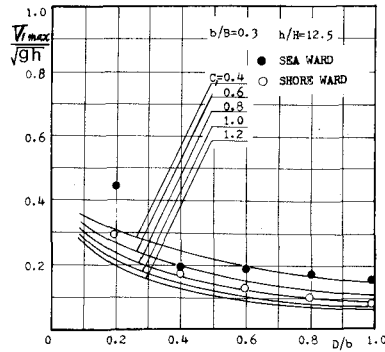


図-2 (a) 水粒子速度(急縮)

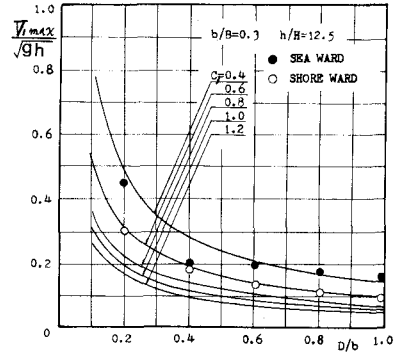


図-2 (b) 水粒子速度(急縮)

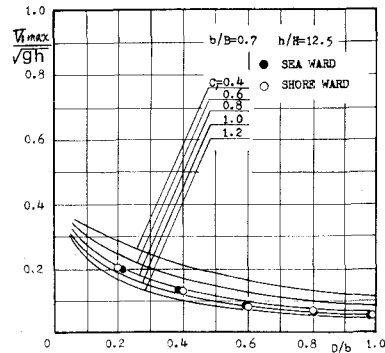


図-3 (a) 水粒子速度(急縮)

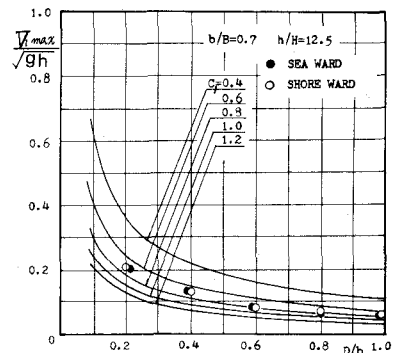


図-3 (b) 水粒子速度(急縮)

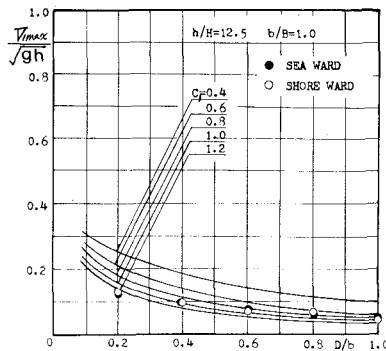


図-4 (a) 水粒子速度

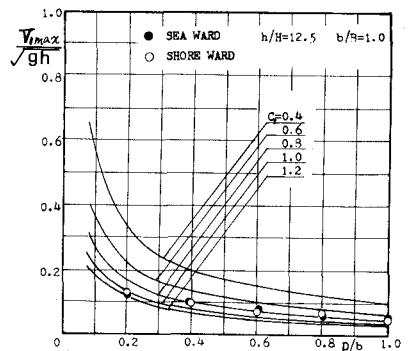


図-4 (b) 水粒子速度

する。図-7 は、透過率および反射率の実験結果を示したものの一例で、図中の実験値は式(17)および(10)から計算したものである。

実験値もばらつきはあると考えられるが、透過率と反射率に關する流量係数が実験値に対して等しい値をとっていることが明らかで、さらに、式(10)および(17)をもとにして得られる流速に關する流量係数とも値が等しいという結果が生ずる。したがって、これらのことから、開口部における波の位相変化が無視できることがわかる。

4. 必ずび：断面系変形の水粒子速度の実験から、開口部における波の位相変化が無視できることを明らかにするとともに、開口部の水粒子速度を求める理論式(20)および(22)と導き、流量係数に關する考察も含めて行い、流量係数は b/B が小さくなるほど大きくなることを示した。今後、急縮および急拡断面の重ね合わせである透過に關する水粒子速度特性を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) LeMehaute, B.: Periodical gravity wave on a discontinuity, Proc. ASCE, vol. 86, Hy 9, pp. 11-41, Nov., 1960.
- 2) 村上正二, 越智裕, 島田嘉美男: 断面急変形における波のエネルギー速度について, 昭和50年度学術講演会一般講演概要, 工学会中国四国支部, pp. 33-34, 1975.

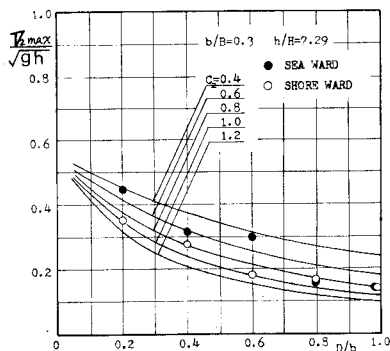


図-5 (a) 水粒子速度(急縮)

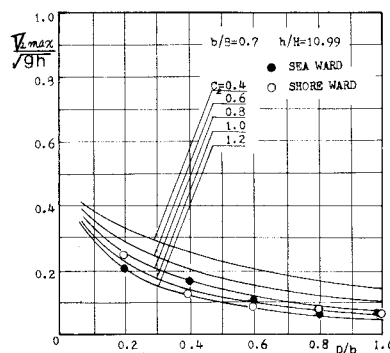


図-6 (a) 水粒子速度(急縮)

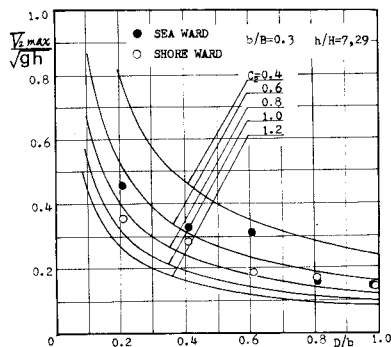


図-5 (b) 水粒子速度(急拡)

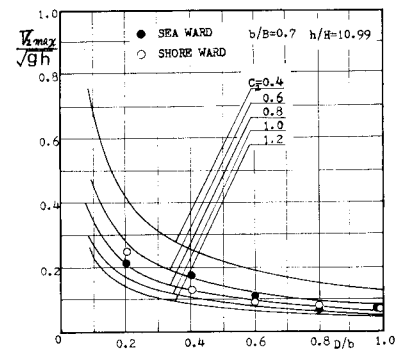


図-6 (b) 水粒子速度(急拡)

表-1 流量係数 C_f の値

	b/B	①		②	
		岸向き	沖向き	岸向き	沖向き
急縮	0.3	0.8	0.4	0.6	0.4
	0.7	1.0	1.0	0.7	0.7
	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9
急拡	0.3	0.9	0.6	0.7	0.6
	0.7	1.0	1.0	0.8	0.7

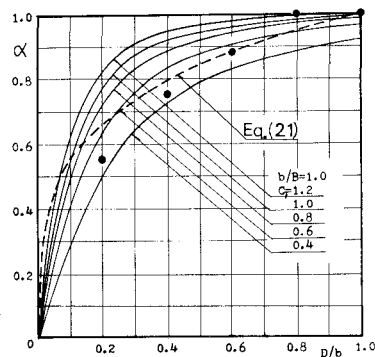


図-7 (1) 透過率

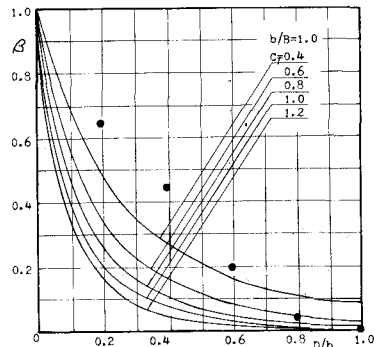


図-7 (2) 反射率