

V 字状集波堤と潜堤による越波量の増大

川村 正司*・小松 英則**・山本 敦***
中野 晋****・三井 宏*****

1. 結 言

図-1 のように南東に面する太平洋側の岩礁海岸の背後に潟湖があり、これをディンギー・ポンドに利用することが考えられているが、周辺からの農業排水や生活排水がこれに流入して水質を悪化させているので、海水導入による水質浄化が必要である。この潟湖には現在、海側へのみ開くフラップ・ゲートを取り付けた排水路が図中のA地点に1本掘られており、流水は潟湖から海への一方通行なので、湖は淡水となっている。B地点に導水路を掘削すれば干満差により一方通行で海水を導入できるが、さらに積極的に越波を利用して海水導入を促進することが可能である。しかし、通常時の波は小さいので、これを利用するためには波高を増幅してやる必要がある。波高増幅に関しては、Stannes ら(1983)のフレネル・レンズ状の潜堤、今井ら(1987)の凸レンズ状没水平板、廣瀬ら(1980)のV字状集波堤(反射堤長が小さい)などの研究がある。

本研究では、相対堤長が比較的大きいV字状集波堤により入射波高をまず増幅し、ついで導水路内に設置した潜堤と導水路開口端の間で共振してトラップされた波による越波量増大を検討する。

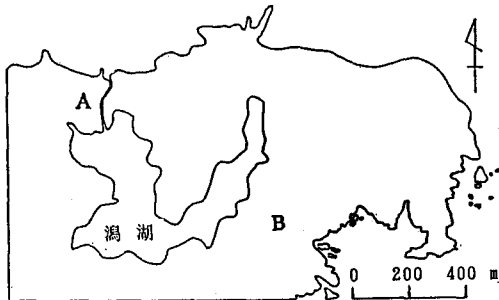


図-1 現 地 略 図

* 学生会員 徳島大学大学院土木工学科
** 東洋建設
*** 五洋建設
**** 正 会 員 工修 徳島大学講師 工学部建設工学科
***** 正 会 員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科

2. 集波堤の集波効果

(1) 集波堤の有効形状

開角度 μ の単純隅角において、図-2 に示す座標をと

$$g_0 = \{ ikr \cos(\theta - \alpha) \} \dots\dots\dots (1)$$

に対する単純凹隅角での波の漸近展開式を、三井(1978)は次式で与えた。

$$f = \sum g_n + \chi \dots\dots\dots (2)$$

$$\chi = -\frac{\mu}{\sqrt{2\pi kr}} \left\{ \frac{1}{\cos \frac{\pi(\theta + \alpha)}{\mu} - \cos \frac{\pi^2}{\mu}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi(\theta - \alpha)}{\mu} - \cos \frac{\pi^2}{\mu}} \right\} e^{-i(kr + \pi/4)} \dots\dots (3)$$

ここに、 g_n は幾何光学的波、 χ は散乱項である。式(3)において $\mu = \pi/n$ (n は整数) のとき、 $\sin$ 項は 0 になる。これは、開角度が 180° (無限長の直線壁)、 90° 、 60° 、 45° 、 36° 、 30° ……の凹隅角では、いかなる入射波でも散乱波は発生せず、幾何光学的波のみになることである。

本研究では以後、繁雑さを学けるため、隅角点で散乱項が発生しない開角度を用いる。実際のV字堤は有限長であり、集波堤端から発生する散乱波を考慮する必要がある。これらの堤端の散乱波を考慮し、計算範囲を開角度 $\mu = 30^\circ, 36^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の5種類、相対堤長 l/L (堤長/波長) $= 0 \sim 12$ として隅角点の波高比 K を計算した結果を図-3 に示す。なおこの計算法の詳細は小松

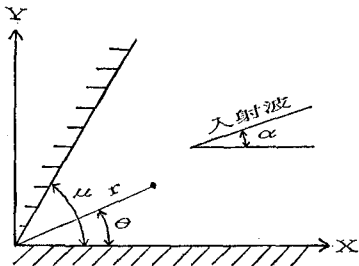


図-2 座 標 系

ら(1989)が発表している。この図より隅角点での波高が最大になる相対堤長は、いずれの開角度においても最も原点に近い極大値位置までであることがわかる。

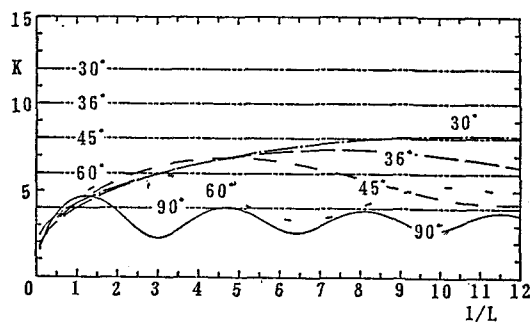


図-3 相対堤長と隅角点波高比 ($K_R=0.8$)

(2) 実験

実験に用いた水槽は、長さ 30m、幅 15m、水深 $h=30$ cm の平面水槽である。実験模型は、平面水槽に設置できる大きさに限界があること、また堤長を長くしても隅角点の波高比はあまり大きくならないことから、 $\mu=30^\circ, 36^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ に対し、それぞれ $l/L=1.3\sim 4.5$ の 3 種類とし、導水路相対幅も $b/L=0.33, 0.5, 0.7$ の 3 種類とした。実験模型の概略を図-4 に示す。実験波に使用した入射波は、周期 0.9 sec、波高 2.57 cm である。なお、斜め入射（入射角 20° ）の場合に集波特性を改善できるかどうかを検討する目的で、集波堤開角水面を等分割する位置に整波堤を 1 本 ($\mu=45^\circ, 60^\circ$)、および 2 本 ($\mu=60^\circ$) 設置した模型実験も行った。この模型は、 $\mu=45^\circ, 60^\circ$ の 2 種類に対しそれぞれ $l/L=3.41, 2.0$ 、 $b/L=0.33$ である。入射波としては、周期 0.9 sec、波高 1.17, 2.57, 3.51 cm を用いた。測定項目は入射波高、導水路内波高で、容量式波高計を使用した。

導水路内の波高増幅率 K を推算するために、上述の有限凹隅角と三井・村上(1967)による河口の波高の理論を組み合わせた方法および通常の波のエネルギー保存則である Green の法則を用いた。これらはそれぞれ次式のようになる。

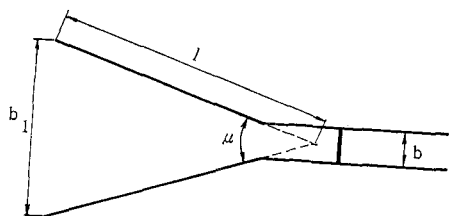


図-4 実験模型

$$K = K_0 \frac{C}{2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$K = \sqrt{b_1/b} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 K_0 は導水路がないとした隅角点波高比（図-3 の K 値）、 C は河口波高比、 b_1 は集波堤開口幅、 b は導水路幅である。以上の 2 つの方法により算出された計算値を実験値とともに図-5~9 に示す。図中の理論 1 お

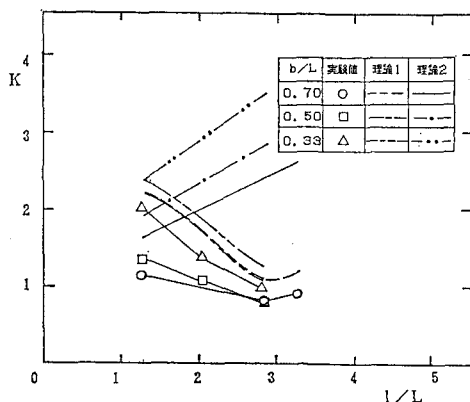


図-5 集波堤長と波高増幅率の変化 ($\mu=90^\circ$)

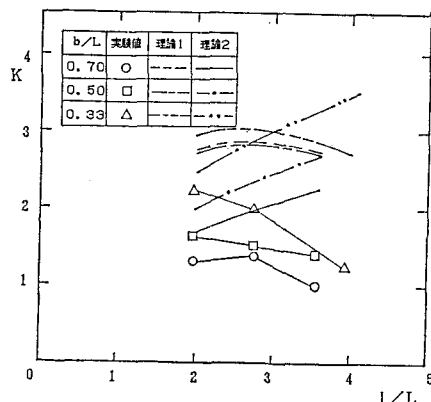


図-6 集波堤長と波高増幅率の変化 ($\mu=60^\circ$)

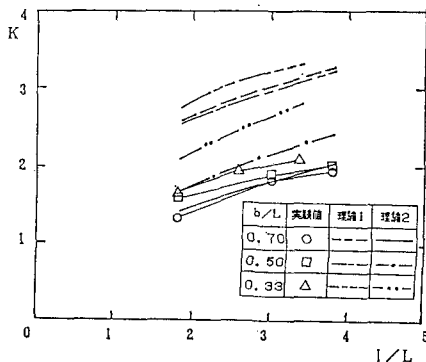
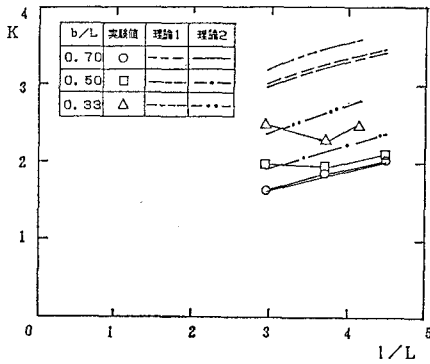
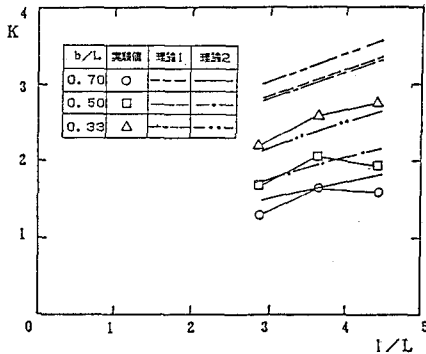


図-7 集波堤長と波高増幅率の変化 ($\mu=45^\circ$)

図-8 集波堤長と波高増幅率の変化 ($\mu=36^\circ$)図-9 集波堤長と波高増幅率の変化 ($\mu=30^\circ$)

および2とは、それぞれ式(4)および(5)による計算値である。 l/L の変化に伴って K の実験結果は増減するが、 $\mu=60^\circ, 90^\circ$ の場合には理論1が変化傾向と一致し、 $\mu=30^\circ, 36^\circ, 45^\circ$ の場合には理論2が変化傾向と一致する。整波堤による集波改善効果の実験結果を図-10, 11に示す。図中の No. 1, 2, 3 は $\mu=60^\circ$ の場合で整波堤がそれぞれ無, 1本, 2本の実験結果であり, No. 4, 5 は $\mu=45^\circ$ の場合で整波堤がそれぞれ無, 1本の実験結果である。斜め入射に対する整波堤の集波改善効果は、 $\mu=45^\circ$ の集波堤では見られない。しかし、 $\mu=60^\circ$ の場合、理由は不明だが、整波堤を1本設置したほうが2本設置したよりも効果がある。

3. 導水路内潜堤における越波量

図-12に示す座標系をとり、河口を水門で締め切った場合に波が共振状態となる位置 l_R を三井(1986)による次式を用いてまず求めた。

$$kl_R = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\pi k \bar{I}_1}{(k \bar{I}_1)^2 + (k \bar{I}_2)^2 + \left(\frac{\pi}{2}\right)} + \frac{2n+1}{2} \pi \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 $k \bar{I}_1$, $k \bar{I}_2$ は相対河幅 kb の関数である。

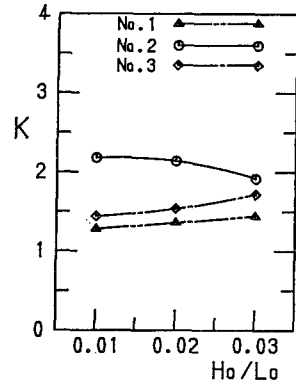
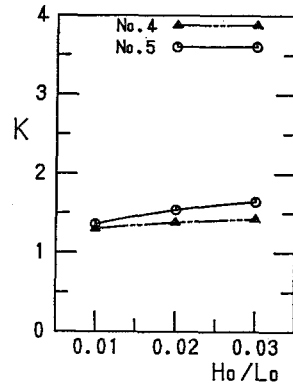
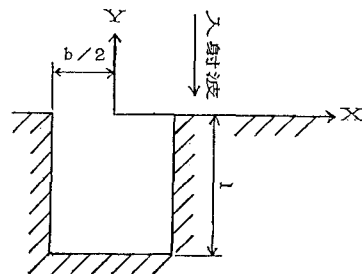
図-10 斜め入射に対する整波堤の効果 ($\mu=60^\circ$)図-11 斜め入射に対する整波堤の効果 ($\mu=45^\circ$)

図-12 狭い河口の座標系

$b/L=0.33$ に対し、最初に共振の起きる相対堤位置 $l/L_R=0.378$ を式(6)より得た。

導水路内の進行波の波高増幅率が大きいと考えられる模型を前述の平面水槽に設置して、越波量を測定した。この模型は、整波堤を1本持つ開角度 45° 、相対堤長 3.41 の集波堤に潜堤を設置した相対幅 $b/L=0.33$ の導水路を開口させたものである。潜堤の位置は、前述の位置 $l/L=0.378$ を中心として、その前後1/15波長の範囲内で変化させた。相対潜堤高 d/h (潜堤高/水深) は0.1刻みに0.7から1.2まで変化させた。実験に用いた入射波

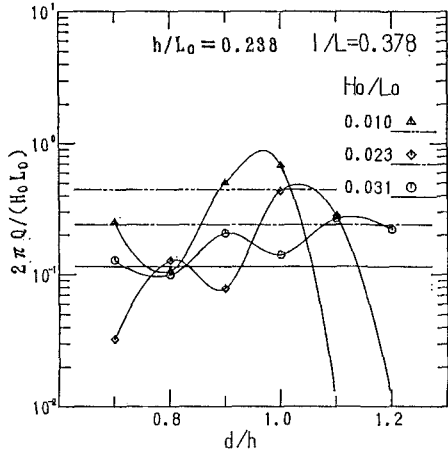


図-13 潜堤高と越波量の関係

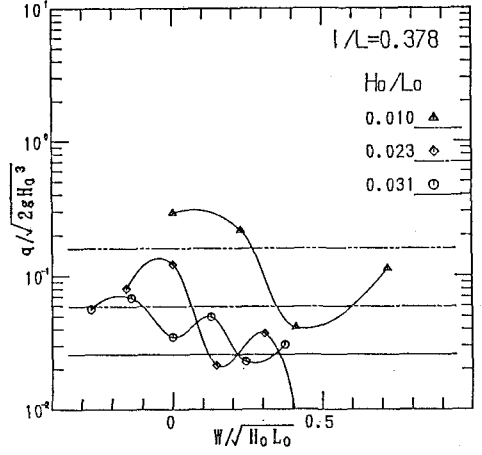


図-16 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ と越波流量の関係

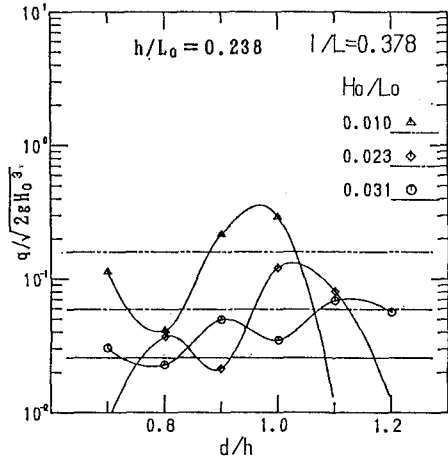


図-14 潜堤高と越波流量の関係

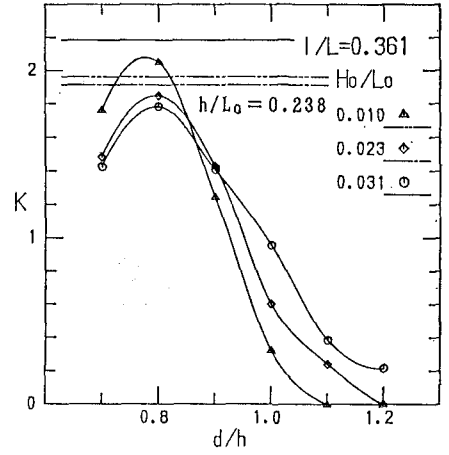


図-17 潜堤高と通過波高比の関係

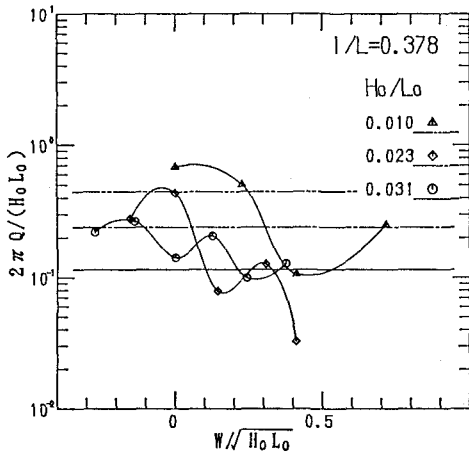


図-15 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ と越波量の関係

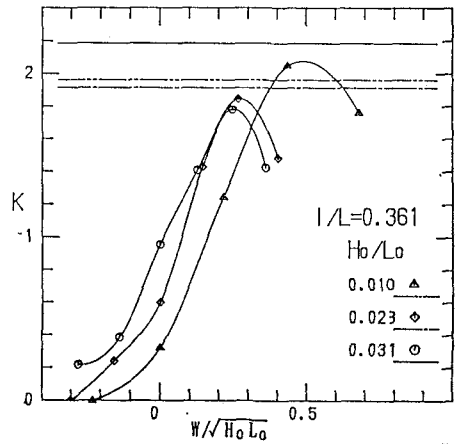


図-18 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ と通過波高比の関係

は、周期 0.9 sec, 入射波高 1.17, 2.57, 3.51cm の 3 種類である。測定項目は、入射波高、導水路内波高および越波により生じた潜堤背後の導水路内流速である。なお、導水路内の流速は電磁流速計で測定した。

流速の測定値に流水断面積を掛けて求めた流量から次の 2 種類の越波流量を算出した。一つは潜堤単位長さ、1 波当りの越波量 $Qm^3/(m \cdot \text{波})$ 、もう一つは潜堤単位長さ、毎秒当りの越波流量 $qm^3/(m \cdot \text{sec})$ である。

相対潜堤高と無次元越波量の関係を、図-13, 14に示す。

図中の横軸に平行な直線は無潜堤の場合の無次元越波量である。無次元越波量は潜堤の天端が静水面よりやや高いときに最大となり、無潜堤の場合の約 2 倍となっている。また、沖波波形勾配が大きくなるにつれて越波量が最大となる d/h の値も大きくなる傾向が認められる。

適用範囲を広げるため三井ら(1974)による天端上水深 W 、沖波波高 H_0 、沖波波長 L_0 を使った $W/\sqrt{H_0 L_0}$ により整理すると図-15, 16 のようになる。整理結果はあまり良くないが、 $W/\sqrt{H_0 L_0} \approx -0.2 \sim 0$ のとき、無次元越波量は最大になっている。

相対潜堤高と通過波高比の関係を図-17に示す。通過波高比は $d/h \approx 0.8 \sim 0.9$ で最大となり、これより大きな d/h では急激に小さくなる。

越波量と同様に、 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ と通過波高比の関係を図-18に示す。通過波高比は $W/\sqrt{H_0 L_0} \approx 0.3 \sim 0.5$ で最大となり、これより大きな $W/\sqrt{H_0 L_0}$ では急激に小さくなる。

なお、実験条件で述べたように、潜堤の位置と越波量

の関係を調べようとしたが、潜堤位置の変化範囲が狭すぎたため、この実験ではそれらの関係を知ることができなかった。

4. 結 言

V字状集波堤と潜堤による越波量増大を理論と実験により検討した結果、整波堤を 1 本持った開角度 60° 集波堤が集波効率が良く、導水路内の潜堤の天端が静水面に等しいか、やや高いときに越波量が最大になることがわかった。一方この最大越波量を生じる潜堤天端高では通過波高比は急激に減少する好都合な性質を持つこともわかった。最後に、この研究は文部省科学研究費補助金一般研究(B)による一部であることを明記して感謝する。

参 考 文 献

- 今井貫爾・秋山義信・池谷 毅 (1987): 波浪制御技術に関する研究, 鹿島建設技術研究所年報第 35 号, pp. 149~154.
- 小松英則・中野 晋・三井 宏 (1989): 集波用 V 字型堤の集波特性, 第 14 回海洋開発論文集,
- 廣瀬 学・小森修蔵・関本秀夫 (1930): 波浪揚水発電構造物の越波量に関する実験的検討, 第 35 回年講概要集第 2 部, pp. 45~46.
- 三井 宏 (1966): 海岸構造物不連続部の波高分布について (第 1 報), 第 13 回海岸工学講演会論文集, pp. 80~86.
- 三井 宏 (1987): 沿岸構造物からの反射波問題とその対策, 土木学会関西支部昭和 53 年度講習会テキスト, pp. 21~37.
- 三井 宏・筒井茂明・竹内哲司 (1974): 潜堤の高波防止効果について, 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp. 387~391.
- 三井 宏・村上仁士 (1967): 海岸構造物不連続部の波高分布について (第 2 報), 第 14 回海岸工学講演会論文集, pp. 53~69.
- Stamnes, J. J., O. Lovhaugen and B. Speikavik (1983): Nonlinear focusing of surface waves by a lens-theory and experiment, J. Fluid Mech., Vol. 135, pp. 71~94.