

岐阜大学教授 正員 工博 増田重臣
名港管理組合 正員 ○大林 隆

1. まえがき ここでは狭い開口部を有する海域でよく問題にされる開口部附近の流速について述べる。こういった流速については、潮位が正弦的に変化し又開口部の中の水面が常に水平であると仮定すれば、簡単な計算式を導くことができる。いま開口部通水断面積を A 、開口部内の海域面積を S 、潮差を δ_i 、潮汐の周期を T とすれば、干潮から満潮に至る（又はその逆の）半周期における空間的且つ時間的的平均流速 $\bar{v}$ は、 $A\bar{v}T/2 = S\delta_i$ (1)

を満足する。次に時間変化に対する開口部流速（空間的に平均流速）の簡略式を紹介しよう。

(A) 水流の連続性から直接導く場合

平均水位を H 、時刻を t とし、開口部内の水位 h_i を、 $h_i = (\delta_i/2) \sin(2\pi t/T) + H$ (2)

で表わせば、開口部の流量 Q 及び流速 v は各々

$$\left. \begin{aligned} Q &= (\pi S \delta_i / T) \cos 2\pi t / T \\ v &= Q/A = (\pi S \delta_i / AT) \cos 2\pi t / T \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

また(1)式との関係から v は次のようになる。

$$v = (\pi/2) \bar{v} \cos 2\pi t / T \quad (4)$$

従って時間的的最大流速 $v_{\max}$ は、

$$v_{\max} = (\pi/2) \bar{v} = 1.57 \bar{v} \quad (5)$$

(B) Torricelliの定理から導く場合¹⁾

開口部の外部及び内部の水位 h_o 及び h_i を各々、

$$\left. \begin{aligned} h_o &= (\delta_o/2) \sin 2\pi t/T + H \\ h_i &= (\delta_i/2) \sin 2\pi(t - \Delta T)/T + H \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

で表わせば開口部の外部と内部との水位差 Δh は、

$$\Delta h = \left\{ \left(\frac{\delta_o - \delta_i}{2} \right)^2 + \left(\frac{\pi \delta_i \Delta T}{T} \right)^2 \right\}^{1/2} \sin \frac{2\pi}{T} (t + \varphi') \quad (7)$$

ここに δ_o 、 δ_i は各々、開口部の外部及び内部における潮差、 t は時刻、 ΔT は時差、 φ' は流速の

位相の遅れ、即ち $\varphi' = T/4 - \Delta T$ である。さて C を流速係数とし、開口部流速を $v = \pm C \sqrt{2g |\Delta h|}$ で表わすならば、

$$v = \pm C \sqrt{2g} \left\{ \left(\frac{\delta_o - \delta_i}{2} \right)^2 + \left(\frac{\pi \delta_i \Delta T}{T} \right)^2 \right\}^{1/4} \sqrt{\sin \frac{2\pi}{T} (t + \varphi')} \quad (8)$$

この場合の空間的且つ時間的的平均流速 $\bar{v}$ は、

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{1}{T/4} \int_{-\varphi'}^{T/4 - \varphi'} v dt = \frac{2C}{\pi} \sqrt{2g} \beta^{1/4} \int_0^{T/2} \sqrt{\sin t} dt \\ &= C \sqrt{2g} \beta^{1/4} \frac{\Gamma(3/4) \Gamma(1/2)}{\pi \Gamma(3/2)} = C \sqrt{2g} \beta^{1/4} \times 0.763 \quad (9) \end{aligned}$$

但し、 $\beta = \left(\frac{\delta_o - \delta_i}{2} \right)^2 + (\pi \delta_i \Delta T / T)^2$ である。

尚(9)式は同時に(1)式を満足するものとする。

またこの場合の時間的的最大流速 $v_{\max}$ は、

$$v_{\max} = \bar{v} / 0.763 = 1.31 \bar{v} \quad (10)$$

次に開口部の外部と内部の水位 h_o 及び h_i が等しくなる時刻に h_i が極値をとると仮定すれば、

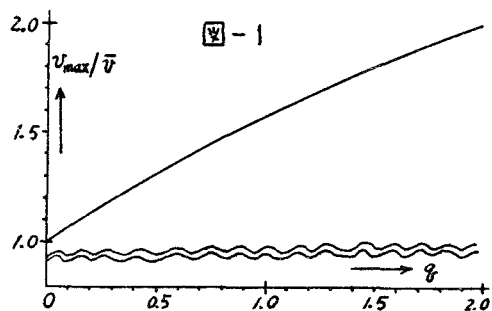
$$\Delta T = (T/2\pi) \cos^{-1} \delta_i / \delta_o \quad (11)$$

さて以上述べた(a)と(b)との相違は開口部流速が(a)では(4)式のように正弦的に変化するのに對して(b)では(8)式が示すように正弦曲線の平方根に比例した変化をする。その結果は平均流速から最大流速を予想する(5)式と(10)式の相違となって現われてくる。そこで一般に開口部の空間的・時間的・平均流速を、

$$v = v_{\max} \left\{ \sin \frac{2\pi}{T} (t + t') \right\}^{1/2} \quad (12)$$

(但し t' は、流速が開口部の外の潮位より $T/4 - \Delta T$ だけ進んでいることに注目すれば $t' = T/4 - \Delta T$ である。)のように正弦曲線の指数関数で表わせるものとするれば、 $v_{\max}$ と $\bar{v}$ が何らかの方法で分かれば β が $v_{\max}/\bar{v}$ から決まり、任意の時刻における流速を簡単に表わすことができるであろう。参考ま

で(12)式の $v_{max}/\bar{v}$ と g との関係を図-1に示す。



もし実際の潮位が n 個の正弦曲線の合成された歪んだ形で与えられていれば流速も一般に、

$$v = V_0 + V \sum_{i=1}^n \left\{ \sin \frac{2\pi}{T_i} (t + t_i') \right\}^2 \quad (13)$$

のように表わされるであろう。

本報告は、開口部の内部の海域面積 S 、開口部通水断面面積 A をいろいろ変化した場合の最大流速と平均流速との比を矩形海域の模型実験より求めて、開口部の $v_{max}/\bar{v}$ 即ち流速の形を A/S から予想しようとする1つの試案を提供するものである。尚、実験の対象とした海域の規模は $400,000 \text{ m}^2$ から $1,000,000 \text{ m}^2$ 程度である。

2. 実験概要²⁾ 模型は、水平縮尺 $1/250$ 、鉛直縮尺 $1/80$ とし海底は mortar 仕上げの固定床とした。従って歪度 α は、 $\alpha = 3.125$ である。

不定流の運動方程式；

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U^2}{2g} \right) = i - \frac{\tau}{\rho g R} \quad (14)$$

から相似律を導くと、

$$U_r = h_r^{1/2} = 8.945 \quad (15)$$

$$t_r = \alpha h_r^{1/2} = 27.953 \quad (16)$$

$$n_r = \alpha^{-1/2} h_r^{1/6} = 1.199 \quad (17)$$

上式中、 h は水深、 x は水平方向座標、 g は重力の加速度、 U は流速、 t は時刻、 i は海底勾配、 τ は底面の摩擦力、 ρ は水の密度、 R は径

深、 n は海底の粗度である。又添字 r は実物と模型との比を意味する。(例えば $x_r = x_p/x_m$)

模型水槽の平面図を図-2に示す。この水槽内の仕切りを適当に取り除いて海域面積 S を、

$$S_A = \square ABCD = 400,000 \text{ m}^2 \text{ (実物換算)}$$

$$S_B = \square AEFD = 550,000 \text{ m}^2 \text{ (")}$$

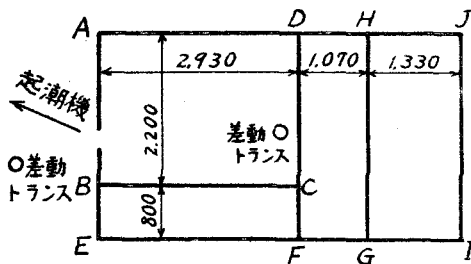
$$S_C = \square AEGH = 750,000 \text{ m}^2 \text{ (")}$$

$$S_D = \square AEIJ = 1,000,000 \text{ m}^2 \text{ (")}$$

又開口部幅も各々 14 cm (35 m)、 18 cm (45 m)、

22 cm (55 m) の3種類に、いずれも変化させて比較実験を行なった。又潮汐現象は Float 式起潮機によって発生させ、正弦的潮位変化を与えることにした。

図-2



潮位測定

Linear trans' 研究所の超直線型差動変圧器、日本光電工業 K.K. の直結2段直流増幅器 AD-22 及び ink 書 oscillograph WI-260 を使用。

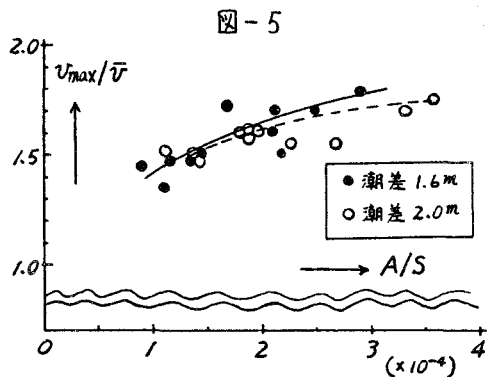
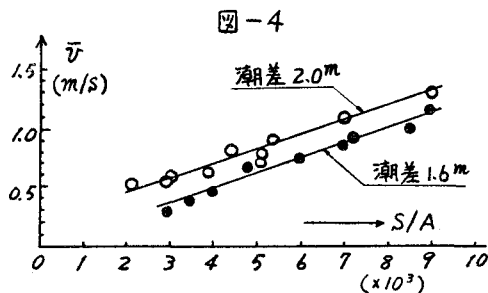
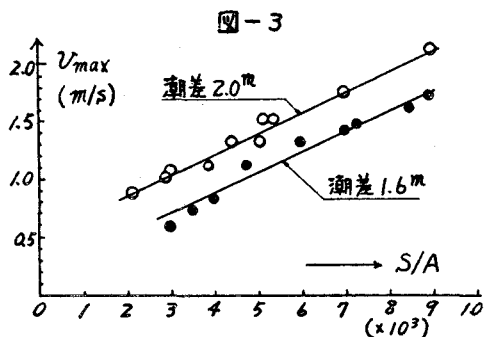
流速測定

小さな浮子と stopwatch で開口部を中心に 10 cm の区間における平均流速を測定し、Pitot 管及び wire strain gauge を応用したもの等で修正した。

3. 実験結果及び考察 開口部を中心に 10 cm の区間における平均的表面流速(浮子を使用して)の測定結果を参考までに図-3及び図-4に示す。図-3は時間的的最大流速と S/A 、図-4は時間的平均流速と S/A との関係を示している。しかしこれらの考察

は本報告の主目的ではないので省略する。

次に時間的 U_{max} と時間的平均流速 $\bar{v}$ との比 $U_{max}/\bar{v}$ と A/S との関係を図-5に示す。



さて、この記録は前述のように表面流速であり且つ開口部そのものの流速ではなく開口部を中心とする前後10cmの区間の平均流速であるので、はじめに予想した $U_{max}/\bar{v}$ が1.3~1.6程度に納まらず、かなり大きな値となった。

表面流速からその鉛直断面内の平均流速を予

想することはある程度可能であるが^③開口部をはさんで前後10cmの区間の平均流速から最大流速を予想することはかなり困難であるので実測値のままで図-5は表わしてある。従って実測結果と理論による簡略式とは条件が異なるので比較することはできないが、実際にこのような構造物を設計する場合には図-5に見られるように平均流速の2倍近くの流速も起り得ると考えた方が安全であろう。しかし A/S が非常に小さい場合には、 $U_{max}/\bar{v}$ も小さいと考えて危険はないであろう。

さて、このような構造物の開口部流速を予想する場合には、潮位変化によって開口部通水断面積 A が多少変化するが大体平均値的な A を仮定して(1)式から $\bar{v}$ を求め、次に A/S から図-5を参考にして $U_{max}/\bar{v}$ を求め、更に図-1から ϕ を決めれば、流速は(2)式で表わすことができるであろう。

尚、開口部における空間的平均流速は、理論的には A/S が0に近づく時、 $U_{max}/\bar{v}$ は1に近、 A/S が十分に大きくなると $U_{max}/\bar{v}$ は $\pi/2$ に各々収束すべき性格のものであるから、今後の実験により図-5は更に改正されていくものであろうと思われる。

最後に実験を担当していただいた林博一、萩下紀男、山本保興、久保田領一郎、田中純平の各氏に心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 沿岸海洋研究ノート 第3巻第1号
日本海洋学会
- 2) 埋立地外周を築堤にて締切の際の最終閉塞部
流況の模型実験による研究 (未発表)
潮流に關する実験的研究 (未発表)
- 3) 昭和38年版「水理公式集」 P.13
日本土木学会