II-37　入江の狭さく感潮水路部の水理特性

琉球大学理工学部　○河野二夫
〃　津嘉山正光
〃　筒井茂明

1）はじめに.

沖縄県宮古島の嘉手苅入江の潮汐変動について検討した。図-1に示すように、入江橋から海までは自然水路（幅約30m）で、入江橋で水路幅 $5m$ に狭さくし、その上流は水面積 $F=305{,}000\ m^2$ の遊水池になっている。遊水池は潮汐に影響されるが、筆者らは3月23日に入江橋における潮汐調査を実施した。

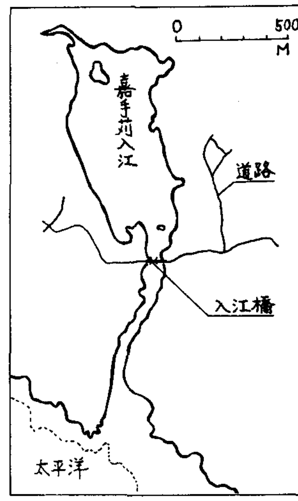

図-1 嘉手苅入江

2）理論的考察[1),2)]

図-2のように座標系をとると、運動方程式と連続方程式は近似的に次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial u}{\partial t}+g\frac{(\eta_b-\eta_a)}{l}+\left(\frac{f_o+f_e}{2l}+\frac{gn^2}{R^{4/3}}\right)\cdot u\cdot|u|=0.\\&Q=uB(h+\eta)\fallingdotseq F\cdot\frac{\partial\eta_c}{\partial t}\end{aligned}\right\}\qquad(1)$$

ここに、l；入江橋での水路長，B；水路幅，η；水面変動，u；流速，h；平均潮位（平均水位），f_e, f_o；入路入口・出口の損失係数，Q；流量である。

水路の潮位を Y とすると，

$$\left.\begin{aligned}&Y=h+\eta_o\cdot\sin\omega t,\quad 0<\omega t<\pi\\&Y=h+(mh)\cdot\sin\omega t,\quad \pi<\omega t<2\pi\end{aligned}\right\}\qquad(2)$$

ただし，ω，η_o は潮汐の角周波数，振幅である。また，$f(u)=u\cdot|u|$ は（3）式で表わされる。

$$f(u)=\pm u_o^2\cdot\cos^2\omega t\qquad(3)$$

ここに，u_o は流速の振幅（最大値）であり，＋は $0<\omega t<\pi/2$，$3\pi/2<\omega t<2\pi$，－は $\pi/2<\omega t<3\pi/2$ に対応する。式（2），（3）を Fourier 級数に展開すると，次式がえられる。

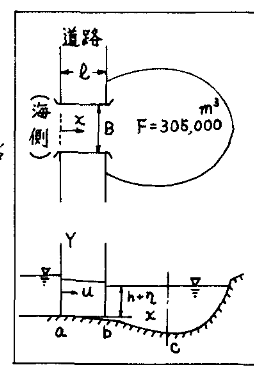

図-2 入江橋水路部(略図)

$$\left.\begin{aligned}&Y=h\left\{1+\frac{1}{\pi}\left(\frac{\eta_o}{h}-m\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{\eta_o}{h}+m\right)\sin\omega t-\frac{2}{3\pi}\left(\frac{\eta_o}{h}-m\right)\cos 2\omega t+\cdots\right\}\\&f(u)=\frac{8}{3\pi}u_o\cdot u+\frac{8}{15\pi}u_o^2\cdot\cos 3\omega t+\cdots\end{aligned}\right\}\qquad(4)$$

式（1），（4）により運動方程式は次式となる。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+\frac{u_o}{l}\cdot K_1\cdot\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{g}{l}\left\{A_0+A_1\sin\omega t-A_2\cos 2\omega t\right\}u-\frac{g}{l}A_3\cos\omega t$$

$$+\frac{g}{l}A_4\sin 2\omega t-\frac{3u_o^2}{5l}\omega K_1\sin 3\omega t=0\qquad(5)$$

ここに，$A_0=Bk_oh\left\{1+\frac{1}{\pi}(\eta_o/h-m)\right\}/F$

$A_1=Bk_oh/2F\cdot\{\eta_o/h+m\}$

$A_2=2Bk_oh/3\pi F\cdot\{\eta_o/h-m\}$

$A_3=h\omega/2\cdot\{\eta_o/h+m\}$

$A_4=4h\omega/3\pi\cdot\{\eta_o/h-m\}$

$K_1=8/3\pi\cdot\left\{(f_o+f_e)/2+gn^2l/R^{4/3}\right\}$

$k_o=\eta_b/\eta_c$，　R；径深

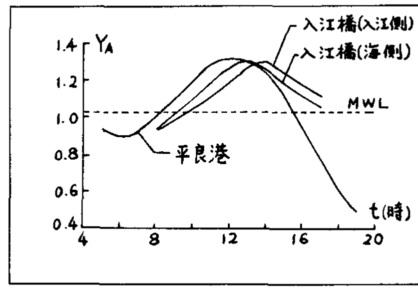

図-3 潮位（1976年3月23日）

である。　$u=u_o\cdot u_*$，$\omega t=\tau$ とすると，次のようになる。

$$u_*''+\frac{u_o}{l\omega}K_1 u_*'+\frac{g}{l\omega^2}(A_0+A_1\sin\tau-A_2\cos 2\tau)u_*-\frac{gA_3}{u_o l\omega^2}\cos\tau+\frac{gA_4}{u_o l\omega^2}\sin 2\tau\fallingdotseq 0\qquad(6)$$

ただし，$u_*'' = \partial^2 u_*/\partial\tau^2$, $u_*' = \partial u_*/\partial\tau$ である。式(6)の解を，

$$u_* = u_{*0} + \varepsilon u_{*1} + \varepsilon^2 u_{*2} + \cdots \qquad (7)$$

とすると，次式がえられる．

ε^0;
$$u_{*0}'' + \frac{u_0}{l\omega}K_1 u_{*0}' + \frac{gA_0}{l\omega^2}u_{*0} = \frac{gA_3}{u_0 l\omega^2}\cos\tau + \frac{gA_4}{u_0 l\omega^2}\sin 2\tau \qquad (8)$$

ε^n;
$$u_{*n}'' + \frac{u_0}{l\omega}K_1 u_{*n}' + \frac{gA_0}{l\omega^2}u_{*n} = -u_{*n-1}\cdot\sin\tau \qquad (9)$$
$$(n = 1, 2, \cdots)$$

式(8)の解はつぎのようになる。

$$u_{*0} = H_1\sin(\tau+\alpha_1) + H_2\cos(2\tau+\alpha_2) \qquad (10)$$

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= \frac{gA_3/(l\omega^2 u_0)}{\sqrt{\left(\frac{u_0K_1}{l\omega}\right)^2 + \left(\frac{gA_0}{l\omega^2}-1\right)^2}} \doteqdot \frac{gA_3/(l\omega^2 u_0)}{\sqrt{\left(\frac{u_0K_1}{l\omega}\right)^2+1}} \\ H_2 &= \frac{gA_4/(l\omega^2 u_0)}{\sqrt{\left(\frac{2u_0K_1}{l\omega}\right)^2+\left(\frac{gA_0}{l\omega^2}-4\right)^2}} \\ \tan\alpha_1 &\doteqdot -l\omega/u_0K_1, \quad \tan\alpha_2 = -2l\omega/u_0K_1 \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

$H_1 = |u/u_0| = 1$ と近似すると，

$$u_0^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{l\omega}{K_1}\right)^2\cdot\left\{\sqrt{(2gA_3K_1/l^2\omega^3)^2+1} - 1\right\}. \qquad (12)$$

となる。式(12)を才1近似とすると式(10)より

$$\frac{u}{A_5} = \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\left[\frac{1}{\sqrt{1+\left\{\frac{ghK_1}{(l\omega)^2}\left(\frac{\eta_0}{h}+m\right)\right\}^2}+1}\right]^{1/2}\cdot\sin(\tau+\alpha_1) \qquad (13)$$

がえられる。ただし，$A_5 = gh(\eta_0/h+m)/(l\omega)$ である。

$$\tan\alpha_1 = -\left[2/\left\{\sqrt{(K_1gh(\eta_0/h+m)/(l^2\omega^3))^2+1} - 1\right\}\right]^{1/2} \qquad (14)$$

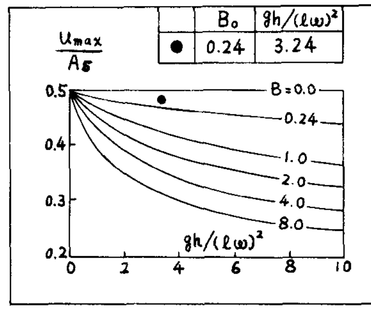

図-4. 最大流速（u_{max}）

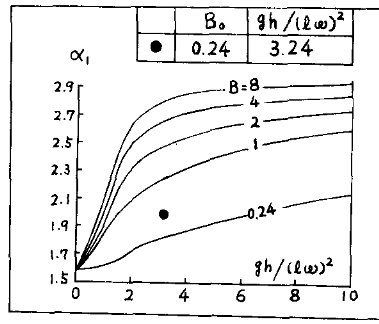

図-5 位相（α_1）曲線

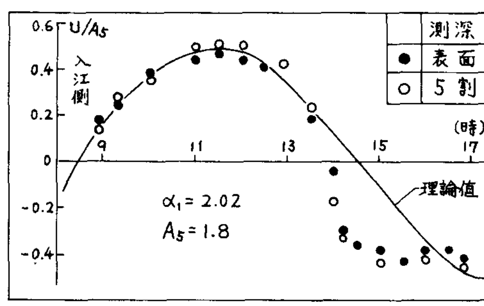

図-6 流速（u）変動

3) 実験結果と考察

このような問題については過去に研究がなされているが，[3),4),5)] 流体抵抗の項を線形化し，かつ平均水深に対し，潮汐変動を微小と仮定した。本文で特に平均水深が潮汐変動に対し小さい場合の影響（式(2)のmの値）を考え，さらに流体抵抗を流速の2乗に比例すると仮定した。図-3には3月23日の潮汐の実測値が示してある。図-4には最大流速に関し，式(13)の振幅 $|u/A_5| = u_{max}/A_5$ と実測値を示した。ただし，$l = 4.5^m$, $B = 5^m$, $F = 305{,}000\ m^2$, $\omega = 0.523$ rad./hr., $n = 0.03$（マニング係数），$f_0 + fe = 1.5$, $m = 0.08$, $\eta_0 = 0.29^m$, $h = 1.83^m$, $R = \frac{1}{T}\int_0^T \gamma_a\, dt$ とした。図-5には式(14)と実測値を示した。ここで，$B_0 = gK_1h\cdot(\eta_0/h+m)/(l\omega)^2$ である。図-6に流速変動を示した実線は式(13)で与えてある。最大流速の実測値は $u_{max} = 0.88\ ^m/sec.$ である。

参考文献；1) 河野・新里・仲村；久米島の海中道路計画に伴う諸問題，土木学会第30回年講概要集，1975.

2) 河野；感潮水路の水理計算，琉球大学理工学部紀要才11号，1976

3) 楠・宗道；感潮水路の水流に就て，土木学会誌，第17巻，第3号，1931.

4) 岡本元治郎；応用水理学，中Ⅱ，pp. 285～286，丸善.

5) 近藤俶郎；感潮狭口水路の流速，内水感潮位および最大流速水深の一解法，土木学会論文集，No. 206，1972.