

湖口水路における潮汐の線形解

—— 広幅員一様水深水路の場合 ——

正 員 近 藤 俣 郎*

ま え が き

外海と狭い水路でつながっている内水面があるとき、外海の潮汐によって水路および内水面の潮位、潮流がどのように変化するか調べることは水理学的に興味のある問題の一つである。そしてこの分野の研究は、運河、狭い水道で結ばれた内海さらには掘込港湾における潮汐の推算、感潮河口および湖口の改修、港湾および海岸湖沼の海水交流など海岸におけるいくつかの重要な問題に応用される。

北海道における身近な問題としてはオホーツク沿岸、東部太平洋沿岸に点在する大小の海岸湖沼を港湾、あるいは浅海養殖などの種々の生産活動の場所として開発することがあげられる。その際には砂浜海岸にあるこれら湖沼の永続的な利用をはかるため安定した湖口水路が維持される必要がある。湖口水路は波と沿岸流により外海から水路内に運ばれてくる漂砂を湖口を出入りする潮流によって水路の内部から海および湖の両方の側に掃流することによって保たれる。安定している湖口水路は、O'Brien や Bruun がしばしば指摘しているように水路断面積が外海潮汐、湖水表面積など外的条件に適合した大きさをとっているものであり、現在湖口閉塞をしている湖沼でも適切な水路断面積とその維持工法を与えることができれば常時開口の途も開ける。

一般に、自然水路の場合は水路形状が複雑であるからその潮汐の計算には、差分法、特性曲線法などの数値計算法によるのが通例である。しかし、自然水路でも特に精しく計算する必要がある場合を除いては、ここで述べるような解析的な式で計算できる。人工的な単純な形状では一層効力を発揮できるし、潮汐を支配する種々の要素の影響の度合を検討するような場合は是非必要とされる。

ここで対象とする湖口水路は水深に比べ幅員が十分大きく一様水深とするが、水路は有限の長さをもつものとする。そして、水路の海側の潮位が与えられるものとして、水路内の潮位、潮流を、水路の摩擦抵抗を線形化した不定流の基礎方程式と湖側の出口における流入条件により求めるものである。こうした解析的な解は水路の長さがきわめて

短かいとしたり、あるいは定流として扱う方法などは多く見受られるが、こうした仮定を設けることなく解く必要があると考える。ここで述べる線形解は以前に樋口^{2),3)}によって得られているが、本文ではその誘導過程を明かにしさらに位相差を求めておいた。また単純化できる 2, 3 の場合についての解も得た。

なお、本研究の一部は北海道開発局土木試験所年報 16 号(昭 43 年 8 月)に記載されているものと重複していることをおこわりする。

2. 基礎方程式と境界条件

図-1 のような表面積 S の湖沼が幅員 B 、長さ l 、水深 h の長方形水路で海と連絡しているものとする。そして原点を海側の入口にとり、 x の正方向を湖の方向とする。湖における出口は $x=l$ の位置にある。

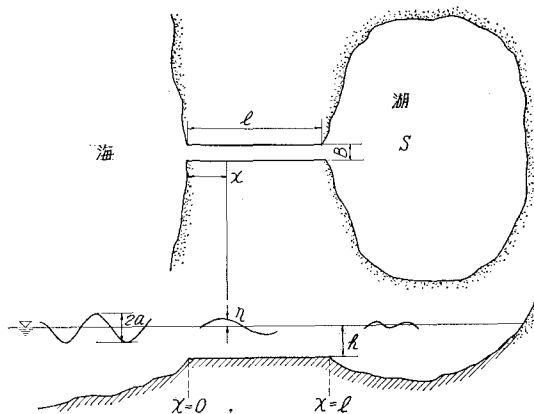


図-1

この水路における潮汐の運動の基本となる不定流の運動、連続の方程式は以下のものである。

$$u_t + uu_x = -g\eta_x - (gu|u|)/C^2R \quad (1)$$

$$\eta_t + [u(\eta+h)]_x = 0 \quad (2)$$

ここで u : 流速, η : 平均水面からの水位, g : 重力の加速度, C : Chezy の公式の係数, R : 径深, h : 平均水面か

* 室蘭工業大学 助教授 M.S.

ら測った水路の水深，とする。また *Suffix* x, t は偏微分を意味するものとする。

(1) 式の左辺の第2項は摩擦抵抗を Chezy の公式で表示したもので，もし Manning 公式で表わそうとするならば， $(n_M^2 g u |u| / R^{4/3})$ で置き換えれば良い。ここで n_M : Manning の粗度係数である。流速 u が小振幅の長波の伝播速度 $c_0 = \sqrt{gh}$ に比べて十分小さいときには， u_t に対し uu_x が，また η_t に対し $u\eta_x$ が無視できるし⁴⁾，さらに η が h に比べて小さいとするなら，上式は次のように簡略化できる。

$$u_t = -g\eta_x - \frac{gu|u|}{C^2 R} \quad (3)$$

$$\eta_t = -hu_x \quad (4)$$

そして $B \gg h$ であるなら R は h で置き換えることができる。

次に境界条件として次は二つを与える。

(1) 入口 ($x=0$) における潮位は次のように与えられる。

$$\eta(0, t) = a \cos \sigma t \quad (5)$$

ここで， $\sigma = 2\pi/T$ ， T : 潮汐の周期

(2) 出口 ($x=l$) の流量は湖内水位の変動による水量に等しく，しかも湖水位はいたるところ一様とする。

$$Bhu(l, t) = S \cdot \eta_t(l, t) \quad (6)$$

これには湖の水深が水路水深に比べて十分大きいことと要する。(3), (4) の微分方程式を (5), (6) の条件を満たすように解けば，所要の解が求まるのであるが (3) 式は非線形であるからこのままでは解が得られない。ここで次のように β を定義する

$$\beta = Bh/S \quad (6)'$$

3. 線形摩擦抵抗の解

水路のいたるところで流れが同期 T をもっと仮定するならば

$$u = \zeta(x) \cos(\sigma t - \alpha(x)) \quad (7)$$

とおくことができる。上式で $u|u|$ を求め，それを Fourier 級数で表示すると

$$u|u| = \frac{8}{3\pi} \zeta^2 \left\{ \cos(\sigma t - \alpha) + \frac{1}{5} \cos 3(\sigma t - \alpha) - \frac{1}{35} \cos 5(\sigma t - \alpha) + \dots \right\} \quad (8)$$

$$A = -a \left[\frac{\left\{ (n+ir) - \left(\frac{\beta}{h} \right) \right\} e^{-(ir+n)x}}{e^{(ir+n)l} \left\{ (n+ir) + \left(\frac{\beta}{h} \right) \right\} - e^{-(ir+n)l} \left\{ (n+ir) - \left(\frac{\beta}{h} \right) \right\}} \right] \quad (19)$$

$$D = a \left[\frac{\left\{ (n+ir) + \left(\frac{\beta}{h} \right) \right\} e^{(ir+n)l}}{e^{(ir+n)l} \left\{ (n+ir) + \left(\frac{\beta}{h} \right) \right\} - e^{-(ir+n)l} \left\{ (n-ir) - \left(\frac{\beta}{h} \right) \right\}} \right] \quad (20)$$

ここで (3) 式中の $u|u|$ を上式の第1項で置き換える。これは第2項以下が第1項に比べてかなり小さいから合理的な近似法と言える。この近似法はまた，流速の2乗に比例する摩擦抵抗を，1週期間にする仕事が等しくなるような線形抵抗に置き換えたものと解釈できる⁴⁾。すなわち，いま線形抵抗項を ku とすると

$$\int_{\sigma t = -\pi/2}^{\pi/2} ku u dt = \int_{\sigma t = -\pi/2}^{\pi/2} \frac{gu|u|}{C^2 h} u dt \quad (9)$$

これに (7), (8) 式を代入して積分すると結局 k は下のようになれる。

$$k = \frac{8}{3\pi} \cdot \frac{g\zeta(x)}{C^2 h} \quad (10)$$

この k を用いて (3) 式は次のように書き改められる。

$$u_t + g\eta_x + ku = 0 \quad (3)'$$

さらに以後の便宜上次のような θ を導入する。

$$k = \sigma \tan \theta \quad (11)$$

(3)', (4) 式から次の方程式が得られる。

$$c_0^2 \eta_{xx} = \eta_{tt} + (\sigma \tan \theta) \eta_t \quad (12)$$

$$c_0^2 u_{xx} = u_{tt} + (\sigma \tan \theta) u_t \quad (13)$$

η, u はこの偏微分方程式の解でかつ (5), (6) の境界条件を満たすものでなければならない。(12) 式の特解は k が定数であれば，下のように定義した r, n により

$$r = \frac{\sigma}{c_0} \cdot \frac{\cos \theta/2}{\sqrt{\cos \theta}} \quad (14)$$

$$n = \frac{\sigma}{c_0} \cdot \frac{\sin \theta/2}{\sqrt{\cos \theta}} \quad (15)$$

次のようになる。ここで $i = \sqrt{-1}$ である

$$\eta = e^{i(\sigma t \pm rx) \pm nx} \quad (16)$$

したがって η の一般解は

$$\eta = A e^{i(\sigma t + rx) + nx} + D e^{i(\sigma t - rx) - nx} \quad (17)$$

として得られる。ここで A, D は複素定数で，(5), (6) の境界条件を満足するように決められなくてはならない。また u は (17) 式を (4) 式に代入して積分することで次のように求められる。

$$u = -\frac{ia}{h} \left[\frac{n+ir}{A} \cdot e^{(ir+n)x} - \frac{D}{(n+ir)} e^{-(ir+n)x} \right] \quad (18)$$

計算の結果 A, D は次のように得られる。

この A, D を (17) 式に代入すれば η は結局下のようになる。

$$\eta = ae^{i\sigma t} \frac{(n+ir) \left\{ e^{(ir+n)(l-x)} - e^{-(ir+n)(l-x)} \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ e^{(ir+n)(l-x)} + e^{-(ir+n)(l-x)} \right\}}{(n+ir) \left\{ e^{(ir+n)l} - e^{-(ir+n)l} \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ e^{(ir+n)l} + e^{-(ir+n)l} \right\}} \quad (21)$$

この式を有理化するために

$$\eta = aKe^{i(\sigma t - \phi)} \quad (22)$$

と表現することにする。実数部をとることにすれば

$$\eta = aK \cos(\sigma t - \phi) \quad (23)$$

となる。 K は入口における振幅と水路内の x なる位置の振幅の比であり、 ϕ は入口における潮位を基準としたとき、 x における潮位の位相を示すもので、最高潮位が訪れる時間のずれなどが求められる。

η を有理化するには、 E, F, G, H を実数として η を

$$\eta = a_0 \frac{E + Fi}{G + Hi} \cdot e^{i\sigma t}$$

の形に書き直せば、 K, ϕ は次のようにして得られる。

$$K^2 = (E^2 + F^2)/(G^2 + H^2)$$

$$\tan \phi = (EH - FG)/(EG + FH)$$

計算の結果 K, ϕ はそれぞれ次のようになる。

$$K^2 = \left[(n^2 + r^2) \left\{ \sinh^2 n(l-x) + \sin^2 r(l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh^2 n(l-x) + \cos^2 r(l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ n \sinh 2n(l-x) - r \sin 2r(l-x) \right\} \right] \div \left[(n^2 + r^2) \left\{ \sinh^2 nl + \sin^2 rl \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh^2 nl + \cos^2 rl \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ n \sinh 2nl - r \sin 2rl \right\} \right] \quad (24)$$

$$\tan \phi = \left[(n^2 + r^2) \left\{ \sinh n(2l-x) \cdot \sin rx - \sinh nx \cdot \sin r(2l-x) \right\} + 2 \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ n \cosh n(2l-x) \cdot \sin rx + r \sinh nx \cdot \cos r(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh nx \cdot \sin r(2l-x) + \sinh n(2l-x) \cdot \sin rx \right\} \right] \div \left[(n^2 + r^2) \left\{ \cosh n(2l-x) \cdot \cos rx - \cosh nx \cdot \cos r(2l-x) \right\} + 2 \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ n \sinh n(2l-x) \cdot \cos rx - r \cosh nx \cdot \sin r(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \cosh nx \cdot \cos r(2l-x) + \cosh n(2l-x) \cdot \cos rx \right\} \right] \quad (25)$$

同様に u についても $u = \sigma a U e^{i(\sigma t + \psi)}$ とおけるから

$$u = \sigma a U \cos(\sigma t + \psi) \quad (26)$$

なる実数部をとることにすれば U, ψ は次のようになる。

$$U^2 = \left[(n^2 + r^2) \left\{ \sinh^2 n(l-x) - \cos^2 r(l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh^2 n(l-x) - \sin^2 r(l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ r \cos 2r(l-x) + n \sinh 2n(l-x) \right\} \right] \div \left[h^2 (n^2 + r^2) \left\{ (n^2 + r^2) (\sinh^2 nl + \sin^2 rl) + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 (\sinh^2 nl + \cos^2 rl) + \left(\frac{\beta}{h} \right) (n \sinh 2nl - r \sin 2rl) \right\} \right] \quad (27)$$

$$\tan \psi = (nX - rY)/(rX + nY) \quad (28)$$

ここで

$$X = (n^2 + r^2) \left\{ \sinh n(2l-x) \cdot \cos rx + \sinh nx \cdot \cos r(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh n(2l-x) \cdot \cos rx - \sinh nx \cdot \cos r(2l-x) \right\} + 2 \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ n \cosh n(2l-x) \cdot \cos rx + r \sinh nx \cdot \sin r(2l-x) \right\} \quad (29)$$

$$Y = (n^2 + r^2) \left\{ \cosh n(2l-x) \cdot \sin rx + \cosh nx \cdot \sin r(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \cosh n(2l-x) \cdot \sin rx - \cosh nx \cdot \sin r(2l-x) \right\} + 2 \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ n \sinh n(2l-x) \cdot \sin rx - r \cosh nx \cdot \cos r(2l-x) \right\} \quad (30)$$

(22)~(30) の式が求める線形摩擦抵抗を用いた 潮口水路の潮位、潮流を与える解である。

4. 単純化される 2, 3 の場合の解

上に示した数式に含まれる変数が極端な値をとる場合とか、あるいは基礎方程式において省略できるような項がある場合には上述の解はさらに簡単な形となる。2, 3 の事例をあげる。

$$K_1^2 = \left[(n^2 + r^2) \{ (l-x)^2 + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ 1 + n^2 (l-x)^2 \right\} + 2 \left(\frac{\beta}{h} \right) (n^2 - r^2) (l-x) \} \right. \\ \left. + \left[(r^2 + n^2)^2 l^2 + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 (1 + n^2 l^2) + 2 \left(\frac{\beta}{h} \right) (n^2 - r^2) l \right] \right] \quad (31)$$

$$\tan \phi_1 = \left\{ 2nrx + \left(\frac{\beta}{h} \right) nrx (2l-x) \right\} \div \left\{ (n^2 - r^2) (2l-x) + \left(\frac{\beta}{h} \right) \right\} \quad (32)$$

$$U_1^2 = \left[(n^2 + r^2) \left\{ n^2 (l-x)^2 - 1 \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 (n^2 - r^2) (l-x)^2 + \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ r + 2n^2 (l-x) \right\} \right] \\ \div h^2 (n^2 + r^2) \left[(n^2 + r^2)^2 l^2 + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 (1 + n^2 l^2) + 2 \left(\frac{\beta}{h} \right) (n^2 - r^2) l \right] \quad (33)$$

$$\tan \phi_1 = \left[(n^2 - r^2) l + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 (l-x) + \left(\frac{\beta}{h} \right) \right] \div \left[2nrl + \left(\frac{\beta}{h} \right) nrx (2l-x) \right] \quad (34)$$

(2) 加速店項 u_t が小さい場合

これは流速が小さく、また周期 T が大きい場合であって、その際運動方程式 (3), (3)' における u_t を 0 とおけるものとすれば、(12), (13) 式に相当する方程式は次のように簡易化される。

$$c_0^2 \eta_{xx} = (\sigma \tan \theta) \eta_t \quad (35)$$

$$K_2^2 = \left[2p^2 \left\{ \sinh^2 p(l-x) + \sin^2 p(l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh^2 (pl-x) + \cos^2 p(l-x) \right\} \right. \\ \left. + p \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ \sinh 2p(l-x) - \sin 2p(l-x) \right\} \right] \div \left[2p^2 (\sinh^2 pl + \sin^2 pl) \right. \\ \left. + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 (\sinh^2 pl + \cos^2 pl) + p \left(\frac{\beta}{h} \right) (\sinh 2pl - \sin 2pl) \right] \quad (38)$$

$$\tan \phi_2 = \left[2p^2 \left\{ \sinh p(2l-x) \cdot \sin px - \sinh px \cdot \sin p(2l-x) \right\} + 2p \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ \cosh p(2l-x) \cdot \sin px \right. \right. \\ \left. \left. + \sinh px \cdot \cos p(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh px \cdot \sin p(2l-x) + \sinh p(2l-x) \cdot \sin px \right\} \right] \\ \div \left[2p^2 \left\{ \cosh p(2l-x) \cdot \cos px - \cosh px \cdot \cos p(2l-x) \right\} + 2p \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ \sinh p(2l-x) \cdot \cos px \right. \right. \\ \left. \left. - \cosh px \cdot \sin p(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \cosh px \cdot \cos p(2l-x) + \cosh p(2l-x) \cdot \cos px \right\} \right] \quad (39)$$

$$U_2^2 = \left[2p^2 \left\{ \sinh^2 p(l-x) - \cos^2 p(l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh^2 p(l-x) - \sin^2 p(l-x) \right\} \right. \\ \left. + p \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ \cos 2p(l-x) + \sinh 2p(l-x) \right\} \right] \div \left[2p^2 h^2 \left\{ 2p^2 (\sinh^2 pl + \sin^2 pl) \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 (\sinh^2 pl + \cos^2 pl) + p \left(\frac{\beta}{h} \right) (\sinh 2pl - \sin 2pl) \right\} \right] \quad (40)$$

$$\tan \phi_2 = (X_2 - Y_2) / (X_2 + Y_2) \quad (41)$$

ただし、

$$X_2 = 2p^2 \left\{ \sinh p(2l-x) \cos px + \sinh px \cdot \cos p(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \sinh p(2l-x) \cdot \cos px \right. \\ \left. - \sinh px \cdot \cos p(2l-x) \right\} + 2p \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ \cosh p(2l-x) \cdot \cos px + \sinh px \cdot \sin p(2l-x) \right\} \quad (42)$$

(1) nl, rl が小さい場合

これは水深 h が大きい、周期 T が長く、水路長 l が小さいような場合である。 $nl \ll 1, rl \ll 1$ であるときには

$$\sinh nl = nl, \quad \cosh nl = 1, \quad \sin rl = rl, \quad \cos rl = 1$$

のようにおくことができるから、 K, ϕ, U, ψ はそれぞれ次のようになる。以下 *suffix* を付して前節のものと区別する。

$$c_0^2 u_{xx} = (\sigma \tan \theta) u_t \quad (36)$$

この解は次のように定義された p を

$$p = \frac{\sigma}{c_0} \sqrt{\frac{\tan \theta}{2}} \quad (37)$$

前節で得た解における、 n, r の位置に置き換えることで得られる。

$$Y_2 = 2p^2 \left\{ \cosh p(2l-x) \cdot \sin px + \cosh px \cdot \sin p(2l-x) \right\} + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \left\{ \cosh p(2l-x) \cdot \sin px - \cosh px \cdot \sin p(2l-x) \right\} + 2p \left(\frac{\beta}{h} \right) \left\{ \sinh p(2l-x) \cdot \sin px - \cosh px \cdot \cos r(2l-x) \right\} \quad (43)$$

(3) 摩擦抵抗が無視できる場合

流速 u が小さく、かつ水深 h がきわめて大きい水道のような場合は、摩擦抵抗項を 0 としても近似できることもある。この場合の方程式は次のようになる。

$$c_0^2 \eta_{xx} = \eta_{tt} \quad (44)$$

$$c_0^2 u_{xx} = u_{tt} \quad (45)$$

この解は前節における解について、 $\theta=0$ ($r=\sigma/c_0$, $n=0$)、として得られる。ここで混同を避けるため、あらためて

$$q = \frac{\sigma}{c_0} = \frac{2\pi}{T\sqrt{gh}} \quad (46)$$

と定義すれば所要の K , $\tan \phi$, U , $\tan \psi$ は下記になる。

$$K_3^2 = \left[q^2 \cdot \sin^2 q(l-x) + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \cos^2 q(l-x) - \frac{\beta}{h} q \cdot \sin q(l-x) \right] \div \left[q^2 \sin^2 ql + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \cos^2 ql - \left(\frac{\beta}{h} \right) \sin 2ql \right] \quad (47)$$

$$\tan \phi_3 = 0 \quad (48)$$

$$U_3^2 = \left[-q^2 \cdot \cos^2 q(l-x) - \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \sin^2 q(l-x) + q \left(\frac{\beta}{h} \right) \cos 2q(l-x) \right] \div \left[q^2 h^2 \left\{ q^2 \sin^2 ql + \left(\frac{\beta}{h} \right)^2 \cos^2 ql - q \left(\frac{\beta}{h} \right) \sin 2ql \right\} \right] \quad (49)$$

$$\tan \phi_3 = 0 \quad (50)$$

この他、 $\beta \rightarrow 0$ の場合の解も簡単に計算できる。

5. 計算例

ここで得られた線形解の応用性については水理模型実験、現地観測などによって広い範囲にわたり検討される必要がある。ここでは、若干の観測資料がある⁵⁾ 能取湖の湖口水路について計算した結果を示す。

能取湖の表面積は $S=5.85 \times 10^7 \text{ m}^2$ で、その湖口水路は現在、春に人口的に開口され秋には漂砂により閉塞してしまうので年毎に、また季節毎に変動するが、ここでは $B=100 \text{ m}$, $l=500 \text{ m}$ としてみる。水深 h は 2.0 m 以上となることはまずないのでそれ以浅として考える。このように浅い水路であるから水路内の潮汐は非線形性が強く、例えば Manning の粗度係数 n_M は満潮時と干潮時とでは前者が後者の約 $1/2$ である。ここでは平均値として $n_M=0.04$ を採用する。日週潮が卓越しているから $T=24 \text{ h } 50 \text{ m}=89,400 \text{ sec}$ を用いる。

前節までに記した諸数式においては ζ が与えられなくては所要の K , U が求まらない。しかし ζ は (7) 式で定義

されているように流速 u の最大値を与えるものである。したがって a が与えられたら ζ を仮定して U を求め、それより計算された $u_{\max}$ が ζ と等しくなるような Trial な方法を採用する必要がある。通常、湖口水路では $u_{\max}=1.0 \sim 1.2 \text{ (m/sec)}$ であるのがほとんどであるから⁶⁾ ζ の推定は決して面倒ではない。湖口水路の長さは一般に潮波の波長に比べてかなり小さいものが通例であるから、 u は水路内でほとんど一様であり ζ も簡単に推定できる。図-2 a, 2 b は上記の数値を用い、 $h=1.0 \sim 2.0$, $\zeta=0.6 \sim 2.0$ で変化させた、水路中央 ($x=0.5l$) と湖えの出口 ($x=l$) についての K , $\tan \phi$ の計算結果である。図-3 は $x=0.5l$ における U , $\tan \psi$ である。

例えば $a=0.5 \text{ m}$, $h=1.7 \text{ m}$ のときは図-3 において $\zeta=1.2 \text{ m/sec}$ とすれば $u_{\max}=U\sigma a$ とほぼ等しくなるから、この ζ により K , ϕ , ψ を任意の x において計算できる。図-2~3 のような図を作成しておけば、水深の変動、外海潮差の変化による水路潮汐の状態を推定できる。

これらの数値は昭和 41 年 8 月 29 日の状態にあてはまるものである⁵⁾。外海潮汐が複雑な合成波形をしているから、

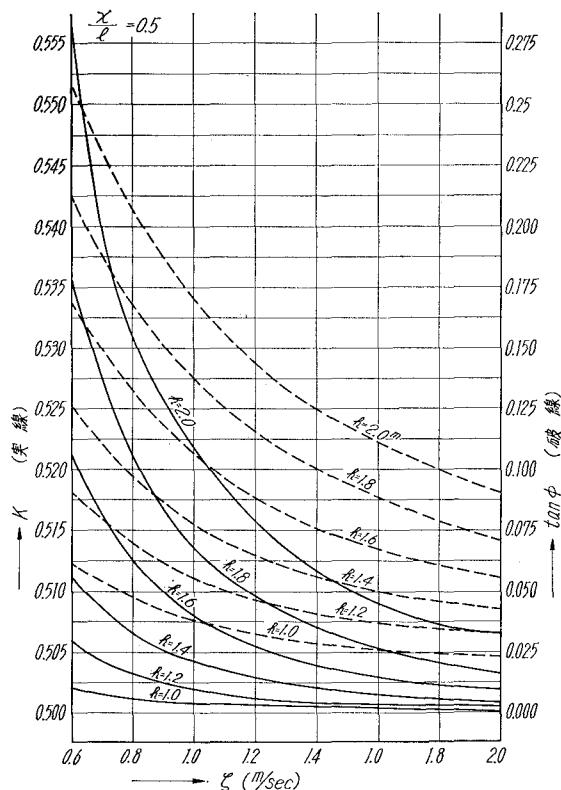


図-2 a 振幅比 K

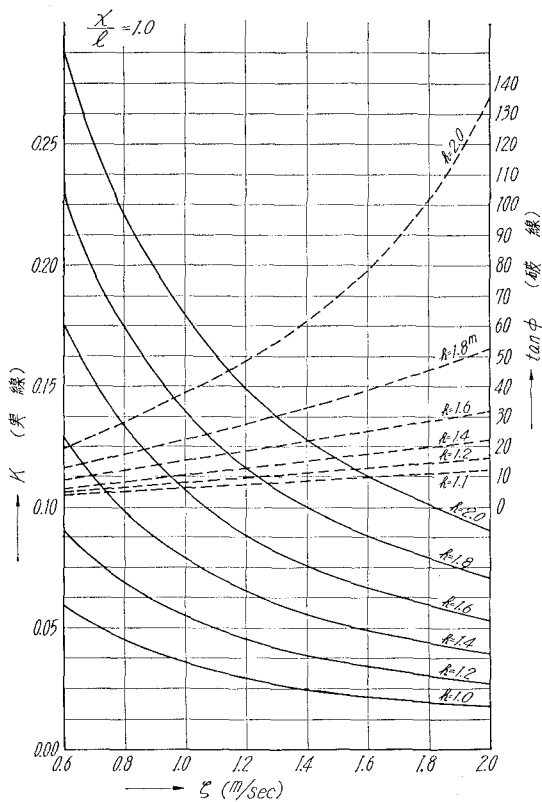


図-2b 振幅比 K

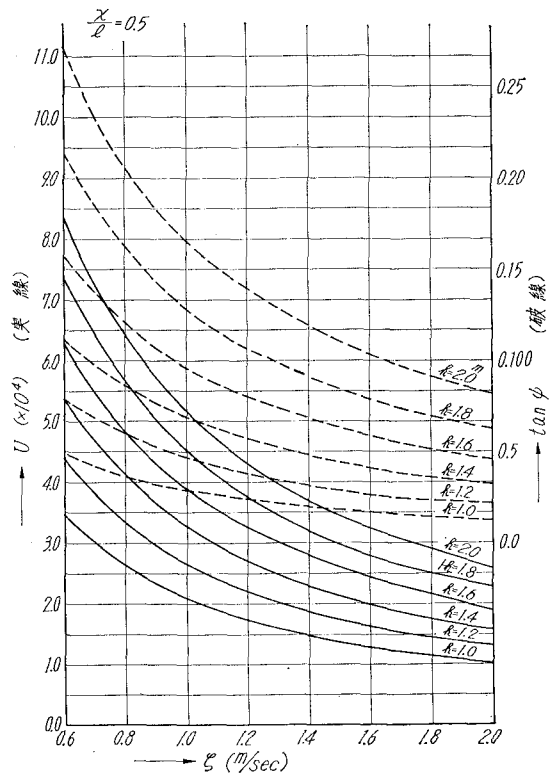


図-3 無次元流速 U

表-1

$\frac{x}{l}$	K	$\tan \phi$	v	$\tan \phi$
0.5	0.507	0.10	3.5×10^4	0.93
1.0	0.100	23.0	3.5×10^4	0.88

観測資料と簡単に比較できないが K は理論値が大きくなっている。今後もっと精して比較を行なう所存である。

6. むすび

湖口水路の潮汐を対象とした線形解を求め、2, 3の簡略化を試み、計算例も述べた。今後は、複合潮の場合その適用法などについて検討を加えることが必要である。一方もつと基本的な問題としては、このような線形解の適用限界を明らかにするための実験的研究、さらに別の数学的なモデルによる解法なども考慮されなくてはならない。

この研究は筆者が北海道開発局土木試験所に在任中、港湾研究室において、宇田居吾一(前)、鴻上雄三(現)室長の指導のもとに行なったものが端緒であることを記して、こ

こに感謝の意を表わします。

なお、この研究は昭和43年度文部省科学研究費補助金を受けた「小河川の流入する海岸湖沼の水理と湖口処理に関する研究」(担当者 隆雄教授)の一部であることを付記する。計算および図面の作成は大学院学生寺島拓郎君、学部学生青木祐司君の労になるものである。

参考文献

- 1) 宇田居吾一：湖口処理に関する一考察。土木試験所報告第46号、北海道開発局土木試験所、p. 1, 昭43年1月。
- 2) 樋口明生：境水道の水位変化に関する模型実験について。第6回海岸工学講演会講演集、p. 29, 1959年11月。
- 3) 樋口明生：境水道の水位変化に関する模型実験について(2)。第8回海岸工学講演会講演集、p. 119, 1961年9月。
- 4) Einstein, H. A., and J. A. Harder: Analytic and Numerical Methods for the Prediction of Tidal Elevations and Tidal Flows in Canals and Estuaries, Committee on Tidal Hydraulics, Corps of Engineer, U. S. Army, December 1960.

- 5) 近藤椒郎・佐藤 功・田中義一：能取湖の湖口閉塞調査．土木試験所報告第46号，北海道開発局土木試験所，p. 45，昭43年1月．
- 6) Per Bruun：Tidal Inlets Housekeeping. Jr. of the Hydraulic Division, Proc of ASCE. HYS, 5 September 1967.