II－10　　泊地における潮汐の混合作用について

名古屋大学工学部　正員　足立 昭平
同　学生員　○ 木村 稔
同　学生員　森 章

1. まえがき　近年，産業経済の発展に伴ない，各地に臨海工業地帯が造成されつつあり，港湾汚濁の問題が重要視されている。これらの懸濁物質の拡散現象は河川，湖などと比較して，港湾においては潮汐による周期流が存在し，条件の異なった拡散が生じる。本研究において，名古屋港程度の水表面積を持つ港湾を対象として，港内水面が潮汐により一様に上下運動すると仮定して，水粒子の水平移動距離の概念を導入し，拡散方程式の定常解を求めた。

2. 潮汐による海水の挙動　実際の港湾は複雑な地形環境であるが，理論解析を進めるために次のように理想化する。1.) 港湾は長方形断面の一定幅形状。2.) 海底勾配は無視，外海と港内の水深は等しい。3.) 潮位差は水深に比べて充分小さい。4.) 摩擦項は無視。5.) 港口部での流速はエネルギー式から $u=\pm C\sqrt{2g|\Delta\zeta|}$ となるが，$\Delta\zeta$ が充分小さいことから第一近似を採り，定数Kを用いて $u=K\Delta\zeta$ とおく。

以上の仮定に基いて，一次元での連続式と運動方程式を解いて，

$$\zeta(x,t)=\frac{a_0}{1+\gamma^2}\frac{\cos\{\theta(1-x/L)\}}{\cos\theta}(\sin\omega t-\gamma\cos\omega t) \tag{1}$$

を得る。ここに，ζ は平均水深からの変位，a_0 は潮汐の振幅，L は港内奥行，x は港口からの距離，$\theta=\frac{\omega L}{\sqrt{gH_0}}$，$\gamma=\frac{1}{K}\sqrt{\frac{g}{H_0}}\tan\theta$，$\omega=\frac{2\pi}{T}$，$H_0$ は平均水深である。(1)式から港内の水面勾配を求めると，

$$I=-\frac{1}{1+\gamma^2}\frac{a}{L}(\sin\omega t-\gamma\cos\omega t)\frac{1-\cos\theta}{\cos\theta} \tag{2}$$

となり，$L=12^{km}$，$a=1^{m}$，$\theta=0.99$，$\gamma=0.014$ の程度の値に対して，$I\simeq 10^{-6}$ が得られる。このオーダーなら水面が一様に上下するとしても，大きな誤りは生じないと考えられる。

次にKに港口部の断面積(一定と仮定)を乗じた定数Kを用いて，港口部に振幅一様な三角関数の振動を与えて，港内の無限時間後の水面の振動を求めれば，

$$\eta=\frac{\zeta}{H_0}=\frac{k^2}{k^2+1}r\left(\sin\tau-\frac{1}{k}\cos\tau\right) \tag{3}$$

ここに，$k=\frac{K}{S\omega}$，$\tau=\omega t$，$r=\frac{a_0}{H_0}$，S は港内面積である。これを同様に $S=1.56\times10^{7\,m^2}$ 等の数値を代入すると，$\eta\fallingdotseq r\sin(\tau-0.02)$ となり，位相のズレとして2%程度が認められるが，潮汐周期が12時間であることから，港内の水面は外海とほぼ一緒に振動していると考えられる。

3.) 拡散方程式と水粒子の水平移動距離の概念　港内水域を港奥($x=0$)から港口($x=L$)まで水路幅 $b(x)$ の長方形断面水路として取扱い，港内水域への陸水の流入は無く，潮汐によってのみ海水交換が港口部で行なはれるとする。懸濁物質の供給源は港奥にあり，その生物学的化学的変化は無視して，分布は濃度勾配による拡散と潮汐による混合とにより決定されるものとする。

以上の仮定に基いて，懸濁物質の連続方程式を時間平均して，各特性量で無次元化を施すと，

$$0=f_1(x^*)\frac{d^2\overline{C}}{dx^{*2}}+f_2(x^*)\frac{d\overline{C}}{dx^*} \tag{4}$$

ここに $f_1(x^*)$，$f_2(x^*)$ は拡散係数，水路幅，水深，潮汐振幅などを一定と仮定すると，水粒子の水平

移動距離$l(x)$の関数となる。(4)式を２つの境界条件で解く。ここに$F(x^*)=\frac{f_1(x^*)}{f_2(x^*)}$と置くと，

$$C(x^*)=C_0-(C_0-C_L)\frac{\int_0^{x^*}F(x^*)\,dx^*}{\int_0^1 F(x^*)\,dx^*} \qquad (5)$$

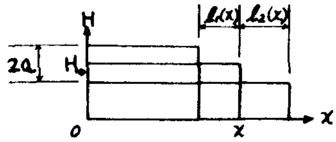
境界条件：$C(0)=C_0$(一定) at $x=0$，$C(L)=C_L$(一定) at $x=L$

$l(x)$の算定には，水面が一様に上下運動すると仮定して，

$$l(x)=l_1(x)+l_2(x)=2\left(\frac{a}{H}\right)\left\{1-\left(\frac{a}{H}\right)^2\right\}x \qquad (6)$$

となる。したがって定数項Aで$f_1(x^*)$，$f_2(x^*)$を表わせば，

$$f_1(x^*)=1+Ax^{*2},\quad f_2(x^*)=Ax^* \qquad (7)$$

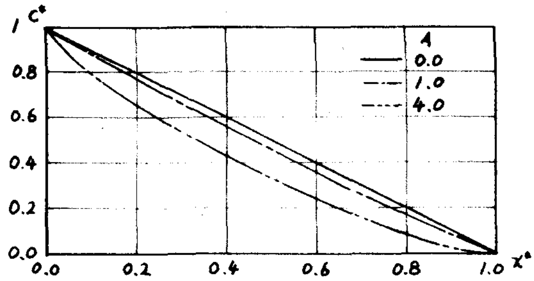


図－１　水平移動距離の概念

となり，(5)式の積分を行なえば濃度分布が求まる。結果は図－２に示される。しかし現実には，水平横方向及び鉛直方向の流れが無視できない時があり，それらを時間平均の変動項に見積れば，

$$f_1(x^*)=1+Ax^{*2},\quad f_2(x^*)=Bx^* \qquad (8)$$

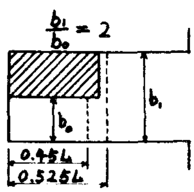
(8)式を(5)式に代入して積分を行なえば，濃度分布が求まる。



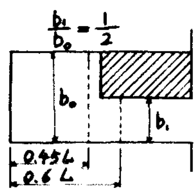
図－２　濃度分布

4) 断面変化水路の計算　図－２は一定水路幅の長方形断面水路の濃度分布であるが，ここに埋立てによる幅bの変化が生じれば，(6)式の$l(x)$は断面変化影響部においてbの関数となる。筆者らは例として，$x=\frac{1}{2}L$に幅の比が$\frac{b_1}{b_0}=2$，$\frac{1}{2}$となる水路について，$C_0b_0=$一定，$\frac{a}{H_0}=0.1$，$A=B=1.0$の場合の濃度分布を求めてみた。結果は図－５に示してある。ここで断面変化部において濃度が不連続なのは，近似計算によることと実際には断面変化部においては２次元流となるが１次元流と仮定して解を求めたことに原因がある。

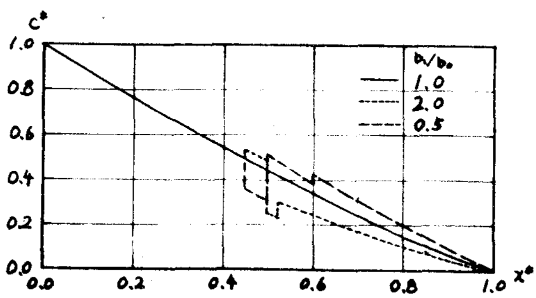
5) むすび　本研究においては，水粒子の水平移動距離$l(x)$の概念を導入して，潮汐とそれによる拡散現象とを結びつける仮説を提起した。この仮説に従えば，図－２に示されるように濃度分布はAが大きい程，つまり流速が大きい程，速やかに低減される。また，図－５において明らかなように，水路の埋立てによる濃度分布の変化は港口を埋立てた場合よりも，港奥を埋立てた場合のほうが，速やかに低減されることになる。これらの結果に対する実証については，引続き実験的に検討する予定であるが，潮汐運動による拡散現象に対する一考察として御討議頂ければ幸いである。



図－３



図－４



図－５　濃度分布