

## Ⅱ-72 長良川における塩水楔の消長について

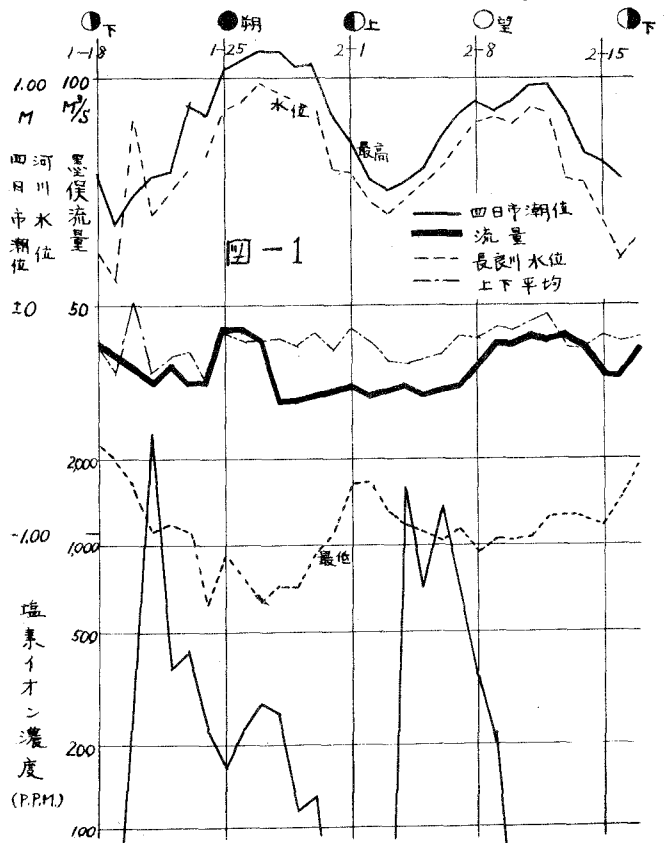
東京大学工学部 正員 工博 嶋 祐之

### 1. 序言

北伊勢工業用水道第二期計画は昭和33年から実施され、一部取水が昭和37年5月から開始されたが、同年10月海水の遡上による塩害を受け始め、取水を中止することがしばしばであった。これに対処するため、現象に関与すると考えられる諸因子について連続的調査観測が行われ、それらの遡上現象との相関性について検討し、更に淡水と海水との交換規模を評価する水理計算を行った。

### 2. 潮位、流量等の相関性

昭和37年10月から翌年3月までの現地観測資料から、取水点における一日毎の最高塩素イオン濃度、最高、最低及び平均水位、河川流量、四日市港最高潮位をグラフにしたものが図-1である。これから潮位との相関性については、先づ塩素イオン濃度は、月齢10~13日の上弦より望に至る時と、月齢24~27日。下弦より朔に至る時高くなる事が認められる。即ちそれが高くなるのは大潮時ではなく、むしろ小潮から大潮に移る張潮時である。次に、取水口が河口に近いため河川水位と潮位はほぼ同じ大きさで、位相も変らず、取水点での塩素イオン濃度と河川水位の関係は図-2のように示される。即ち塩素イオン濃度はほぼ高潮時に最高となり、低潮時には消失する。この事は塩分が潮汐による順流、逆流と共に流下、遡上することを示す。但し高潮時の潮位が同一でも、低潮時の潮位が高い場合の直後にあらわれる塩素イオン濃度は低い場合より小さい。これは一見常識に反する現象と考えられるが、引潮が強力なほど河道内での縦混合が活発になって塩水領域が増加するとも考えられるし、又引潮



時に上流側の淡水が河口に大きく流失するためとも考えれば上記の事項は困難なく理解出来る。また流量との相関性については、流量が大であれば河川水位及び流速が大となり感潮による影響は少なくなる。即ち長良川では $50 \text{ m}^3/\text{秒}$ 以上では塩素イオンは取水口で検出されず、 $30 \sim 45 \text{ m}^3/\text{秒}$ では潮位の影響があらわれ、満潮時は取水停止、干潮時は可能となる。又 $25 \text{ m}^3/\text{秒}$ 以下では取水可能時間は非常に短くなる。流量、潮汐以外に、例えば伊勢湾台風復旧工事による土砂淤塞あるいは地下水のくみ上げによる地盤沈下が経年的に見た塩水楔の潮上原因とも考えられるが、本文では特に触れぬこととする。

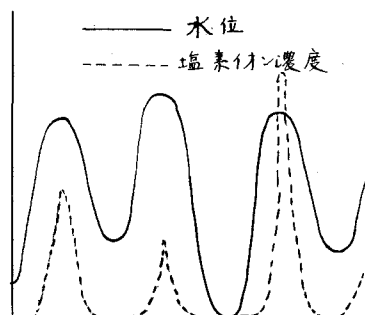


図-2

### 3. 塩水楔の變動状況と履歴現象

塩水楔の実態や運動機構について、潟水期の塩素イオン濃度の縦断分布資料によって検討した。これによると等濃度曲線は濃度が小さくなるに従って勾配は急角度になり、水面と河床を結んだ等濃度曲線の水平距離は $500 \text{ ppm}$ で $800 \sim 1,700 \text{ m}$ 、 $1,000 \text{ ppm}$ では $1,300 \sim 2,100 \text{ m}$ 位である。また小潮時では同一地点の上層と下層との濃度差は非常に大きく、上下二層より成る成層密度流に近い状態となっていることが想像される。そして潮差が大きい期間は上下層の濃度差が小さく強混合型に近い状態となっている。

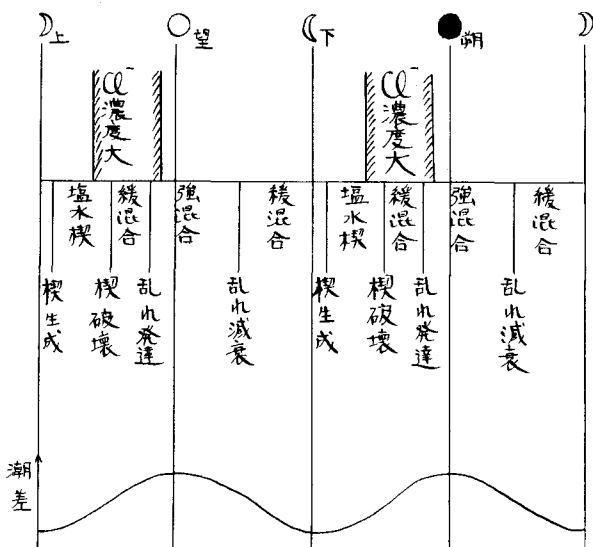


図-3

この事を考慮して潮汐と塩水楔の状態を月齢的に見ると図-3の如く表わされる。即ち月齢が上下弦時よりやや遅れて塩水楔が生成され、3~4日間、中程度の混合となり、更に朔望時を以て乱れは発達し、5~6日間強混合状態となる。やがて乱れは潮差の減少に伴って減衰し2~3日間の中混合状態を経過し、上下弦時に安定な楔が再び生成される。潟水期の流量がほぼ一定であればこのような周期現象は潮汐が原因であると見られる。更に注目すると、潮差の大小と、混合の強弱とは完全には位相が一致せず、後者の方が前者に比し3~4日遅れているがこれは河道内の乱れの発達や減衰の機構が管路におけるそれとほぼ同様な一種の履歴現象によるものと考えられる。即ち一旦楔が形成されればその状態は維持しやすく、かなりの潮差による攪乱がないと楔は破壊されにくく、また強混合状態が一旦形成されると潮差による攪乱が充分小さくならない限り楔は形成され難いことになる。塩水楔の移動距離については等濃度曲線は潮位の上下に伴い、それぞれ上流側、下流側に移動するが、その距離は小潮時で $3,000 \text{ m}$ 、大潮時で $6,000 \text{ m}$

程度である。また塩水楔の侵入距離については、成層密度流における塩水楔の長さは強混合時の所定の濃度の値を示す有効長より大きいと考えられる。これは成層の場合はその先端がかなり上流側まで達するが、強混合時では乱れのため、縦断方向には水平拡散に見合う範囲しか侵入出来ないものと思われる。しかしいずれの場合でも塩水楔の長さは潮位が大きいほど、塩水楔の長さは大きくなると見られる。

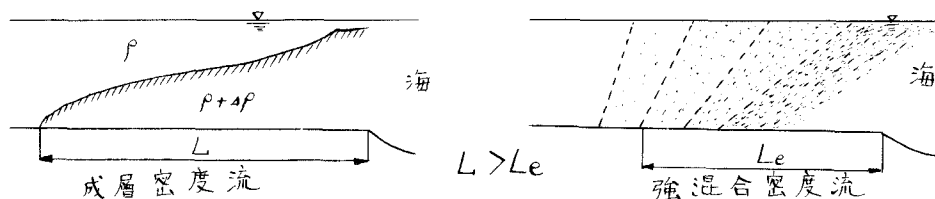


図-4

#### 4. 塩水楔の変動に関する水理計算

成戸・油島・千本松原・長島の各地点での同時水位記録から水面形は、最干潮時の水面形を基準水面とすると、感潮部の水面は殆んど水平である。したがって河口、油島間は水平とし、また成戸地点は感潮域の終端と考えられるので、油島、成戸間の水面形は直線的に変化すると仮定する。又前述のように長良川は強・弱混合が併存するので、傾斜した塩水楔を仮定するのは労力の割に精度が上らないので、ここでは鉛直な境界面を持つ塩水楔を想定し、適当な濃度に相当する断面を選定し、そこを便宜的な淡水と海水との境界面とした。この境界面(塩水楔)と潮汐の水収支の体積計算によって関連付けるため、或る時刻の水面①が大時間後の水面②に変化した時、斜線部分の淡水の体積 $V(1)$ は境界面によって上の斜線部分 $V(2)$ に移動するので、河川流量を $Q$ とすると

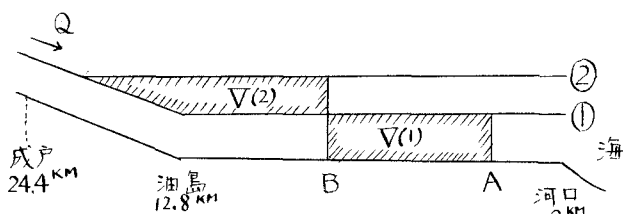


図-5

$$V(2) = V(1) + Q \cdot \Delta t \quad (1)$$

となる。しかし時間変化及び潮位の変動があるので淡水の流失程度を示す係数 $\eta$ を導入し、(1)を改めて

$$V(2) = V(1) + \eta \cdot Q \cdot \Delta t \quad (2)$$

とする。即ち $\eta \geq 0$ では上流からの流量が賄えられ、 $\eta < 0$ では海へ流失することになる。 $\eta$ のとりうる値の範囲は、上流から供給される淡水が海水と混合する量がほぼ1日で収支がゼロになると見られるので、 $-1 \leq \eta \leq 1$ となる。また $\eta$ の値と種々変化させると降雨によって塩水楔が河口に退く時や、反対に温水によってそれが上流に前進する時などの様子が計算される。こゝで行った計算対象となった12月1日～5日では潮汐の昇降によって $\eta = 1, 0, -1$ 、または、 $\eta = 1, -0.5, -1$ と変化させた場合にほぼ実状と一致する様に見える。また計算された塩水楔の移動距離は $5.6 \text{ km}$ 位となり、これは塩素イオン濃度の縦断

分布資料から求めたそれとほぼ一致する。

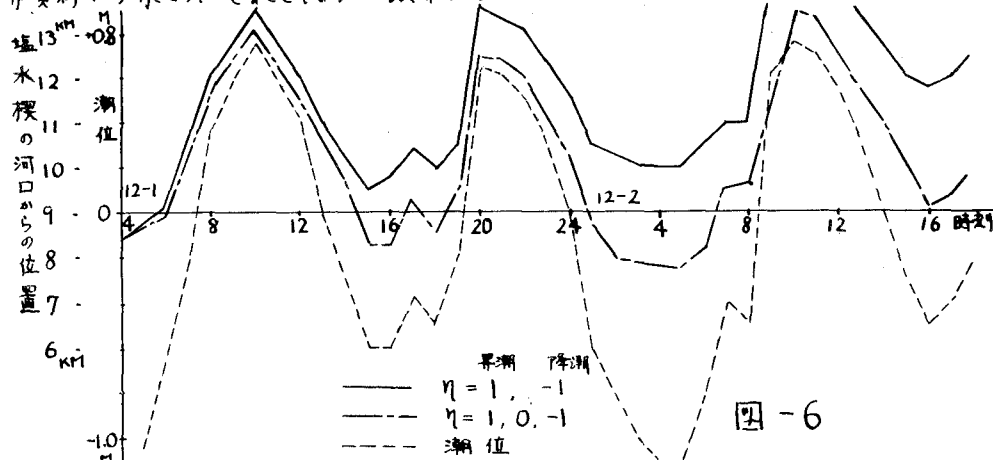


図-6

### 5. 塩水楔の侵入防止工法

前述のように分析され、計算された塩水楔が取水口に侵入することを防止するために、早急に実現可能と思われる工法として水流又は空気ジェットを用いる方法と流水抵抗を手える方法が考えられるが、こゝでは後者について検討した。これは流水抵抗による攪乱と、生じる水位差によって塩水楔の侵入を防止するものである。即ち構造物を通過する流水への抵抗係数を $C$ とすると(2)は変形されて

$$V(2) = Q \cdot t + \int_0^t A \cdot C \cdot \sqrt{2g(h_d - h_u)} dt \quad (3)$$

但し  $A$  は抵抗位置における下流側の面積

$h_d$  は 水深

$h_u$  は 上流側の "

更に(4)を $t$ で微分して

$$dV/dt = Q + A \cdot C \sqrt{2g(h_d - h_u)} \quad (4)$$

とし、(4)を数値積分することによって上流側と下流側の水深が一致する時刻およびその時の潮位が求められ、抵抗を設置した場合の塩水楔の侵入限界がわかり、抵抗の効果が判定出来る。この計算結果は図-7の通りである。

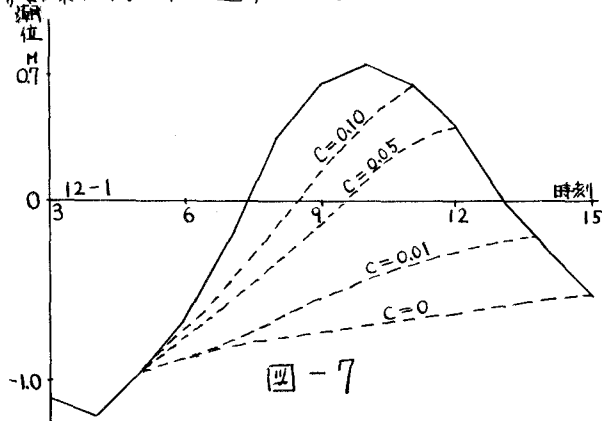


図-7