

河道特性は河川毎に異なり、単純な場合は少い。これが、シミュレーションモデルの適用にあたって問題となる。海水の遡上現象は、河川の形状が水路幅漸変の直線状長方形断面形状から遠ざかるに従い、複雑となる。多くの場合に河川で問題となる現象は、a)混合形態、b)水理量の縦断変化、c)侵入長、およびこれらの時間変化などであるが、これらの基礎となる現象は、a)内部渦、b)平面内の流速分布、およびc)らせん流などの三次元流速分布などである。まれには躍層面の横断変化も考える。これらの現象は、境界条件としての河道特性と水理量などによって生起する。水理量としては、低水流量程度を扱うものとし、かつ風浪の影響などを無視しうるものとすれば、月令および潮位曲線が支配的となる。したがって、河道特性の影響を考察するに当たっても、月令や潮位変動の効果を考慮しておくことが必要である。

河道特性としては、平面特性としてa)水路幅の変化、b)わん曲、c)砂洲による蛇行、d)中洲の存在、e)合流および分岐、縦断特性としてf)河床勾配、g)河床の凹凸、およびh)堰、また横断特性としてj)複断面形状、およびk)みおの発達状況、などに分類される。海水遡上現象に対する以上の事項の効果について、潮位変動の少ない日本海側の最上川、阿賀野川、および信濃川、また潮位変動のある太平洋側の長良川および那珂川などの実測資料、ならびに100m水路による不定流実験潮位のみ変化結果などに基づいて考察した。今回は、そのなかから、注目すべき現象としてa)絞波、b)主要ジャンプ渦、c)複断面水路内の混合、およびd)その他の現象をとりあげる。

a)絞波、流路幅変化の影響は成層しているときには二層流の基礎式中の波長のオーダー比較を行うことにより重要度が知れるが、無視しえないのが一般である。特に、局部的に顕著な狭窄部が存在する場合には、潮位変動に基づく退潮流量と水位の変化の不定流効果により絞波の発生がみられることがある。この絞波は内部絞波とも呼ばれるべきもので、成層流の内部境界面の高さの急変部があって、それが伝播する。これは、上流側の断面の水理量にダッシュを付して表現すると、 $(|u_1| - |u_2|) / |u_1| > |u_2| / |u_1|$ 、 $(-c = \sqrt{g(h_2 - h_1)})$ のとき発達し、いったん内部絞波の発生をみると、その影響が持続するところに問題がある。急激な潮位上昇によって絞波が発生し、それが上流へ伝播する場合を考えると、理論計算値に近い波速で移動するが、やがて絞波の内部境界面形状が変形して波状を呈するようになり、次第にこのような孤立波の数が増大する。この波は、塩水くさびの先端付近で下層水深が小さいところに侵入すると、急速に波高と波速を減少させるが、下層水深がなくなってもさらに前進し、結果として塩水くさびの侵入長を大幅に増大させることがある。図-1は、原因は絞波のみではないが、先端位置が閉じずに発散している実験例である。河川においても、内部境界面が波状を呈することは長良川や利根川で観測されている。これは成層化の進行とともに顕著なものとなる。図-2は長良川における弱混合状態時の内部境界面

形状の時間変化の傾向を示す。内部境界面の波うち傾向は、逆流時に顕著であり、順流時には解消する方向である。このような波状模様は出現する原因として、内部渦、河道縦横断形状の影響、および絞波などが考えられる。資料をみると、

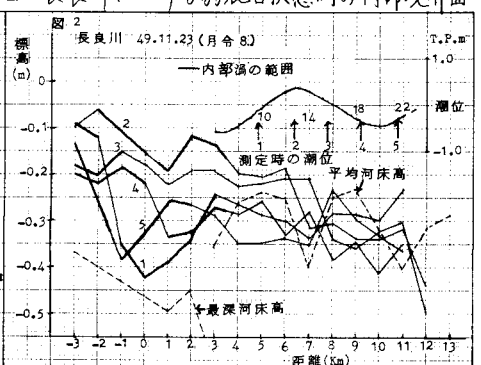
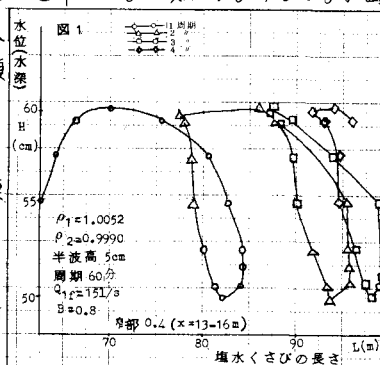


図-1 塩水くさび先端位置の変化

図-2 内部境界面位置の時間変化

初動しているように見られること、および内部渦の影響が強ければ引潮時に強く波うつはずであることなどにより、段波現象の存在が示唆される。なお、いわゆる内部波と呼ばれる現象とは波長や周期のオーダーが異なる。

①内部渦。成層化と共に内部渦は頻りに発生し、発達初動する。この内部渦は内部境界面位置の縦断曲線に変化を与え、渦より下流部では上層濃度を高め、下層では水深方向に深くまで乱れさせる。また、渦より上流部においては、中間層の発達や抵抗係数ならびに連行係数の変化などをもたらす。内部渦では最下流端のものに特に注目するとよい。それは、下流端境界条件と関連し、海水と接する位置にもなるからである。ここでは、内部渦のポンプとしての役割について述べる。はじめに、ひとつの実験例を示す。長さ100m、幅0.8mで底勾配 $\bar{c}_0=0$ の水路において、図-3に示す位置に0.4mの狭窄部を設け、全水深 $h_1+h_2=0.55m$ の定常状態で、密度がそれぞれ $\rho_1=0.9991$ 、 $\rho_2=1.0053$ の淡水と塩水を通水しておくと、上流端における淡水補給量 $Q_{if}=175\%$ および $Q_{if}=15.0\%$ のとき、塩水と淡水の先端位置はそれぞれ22mおよび15mであった。内部境界面形状の実験曲線と計算曲線は図-3のようである。計算曲線は通常の場合には非常によく合うものであるが、今回の実験結果では前者では勾配が急であり、後者では上流の方で特にゆるやかになっている。原因は種々検討の結果、狭窄部の下流部に発生する内部渦による下層の圧力上昇作用の結果であると推論された。このとき、下層に対するエネルギー式は、

$$\frac{\partial}{\partial x}(1-\varepsilon)h_1 + \frac{\partial h_2}{\partial x} - \frac{P_0}{\rho_2 g} \frac{\partial h_2}{\partial x} + \frac{u_2}{g} \frac{\partial u_2}{\partial x} + \bar{c}_{f2} - \bar{c}_0 = 0 \quad (1)$$

となる。ここに、 P_0 は付加圧力で、 $\frac{\partial h_2}{\partial x} > 0$ であるから、 x 方向(河口方向が正)に圧力上昇が存在するという意味である。 P_0 が正のときは、見掛け上、内部抵抗係数が減少したようにみえる。図-3に示すように、 $P_0=0$ として逆算した P_0 は通常値の $1/4$ であった。内部境界面位置を示す表示式($\frac{\partial h_2}{\partial x}$)は、 $\rho_2 = \text{const}$ 、 $u_2 = 0$ とすると、

$$\left[\varepsilon(1-F_1^2) - \frac{P_0}{\rho_2 g} \right] \frac{\partial h_1}{\partial x} = -(\bar{c}_{f1} - \bar{c}_{f2}) + \frac{P_0}{\rho_2 g} \bar{c}_{f1} + \left[1 - (1 - \frac{P_0}{\rho_2 g}) F_1^2 \right] \varepsilon \frac{E}{u_1} - \frac{P_0}{\rho_2 g} \bar{c}_0 + (1 - \frac{P_0}{\rho_2 g}) \frac{u_1^2}{gB} \frac{\partial B}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

であり、 $P_0=0$ とすれば、微少項を省略した定常流の塩水と淡水の式と一致する。さて、内部渦内がポンプ作用について前者の実験では $P_0 < 0$ 、後者では $P_0 > 0$ であった。これは、内部渦の下層の水深が小さいと前者のように圧力が減少し、ポンプ作用が最大となる適度の水深があって、その後水深の増大と共に P_0 は0に近づくものと思われる。

②横断面水路内の混合。内部境界面位置が低水路内に存在するとき、その特性が顕著になる。この場合、上層の粗度が高水敷と内部境界面とで異なり、上層塩水濃度も異なる。長良川における流向観測結果によると横断方向の流れが生じており、逆流時には低水路から高水敷へ、また順流時にはその逆の流れが存在している。このとき、潮位曲線との時差もある。理想的な複断面でない場合にも、以上のような流れと混合の性質は有しており、これが下層濃度の縦断変化を与える大きな原因となっている。一般に、みおの発達している河道の方が $\frac{\partial h_2}{\partial x}$ は大きい。

③その他。二層流の場合に内部境界面の横断勾配は小さく、二次元性が強い。しかし、わん曲部などではかなりの影響は観測資料に現れる。また、中州が存在すると、一般に左右の分岐水路で状態が異なり、分流や合流が存在すると一層複雑になる。また、河床の凹凸も内部渦などに関係するようである。

以上、顕著な特異現象をとりあげたが、シミュレーションのときの問題点であろう。特に、内部渦の特性は河道条件によってかなり異なるので、今後の一層の調査研究を必要とする。ここで紹介した現象は、現地観測のときにも、留意すべきと思われる。

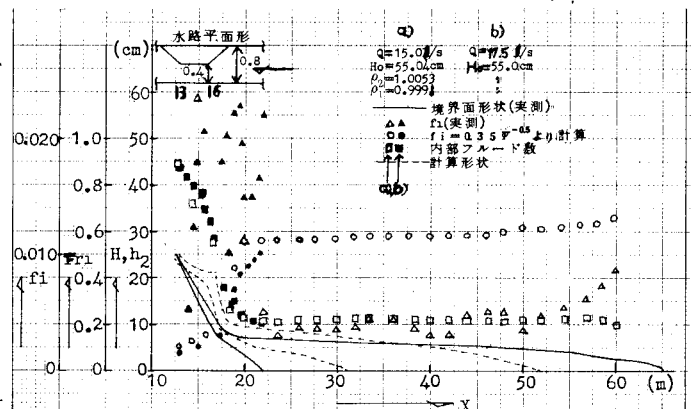


図-3 塩水と淡水の形状と内部渦のポンプ作用の関係を示す実験例