

建設省 土木研究所 正員 須賀 堯三
建設省 土木研究所 正員 高橋 晃

1. 河口において内部ジャンプが起る理由

塩水くまびの遡上状況を求める場合に、通常河口において内部フルード数 F_{ri} の条件が与えられるが、現象論的に不明な点を感じられ、考察の必要があろう。定常状態では、河口付近で内部フルード数 F_{ri} が1以上であれば塩水の遡上は困難であり、密度噴流の状態では海部へ流出するのであろう。 $F_{ri} < 1$ では塩水の遡上が可能であり、塩水の遡上量と淡水層への混入により海部へ還元される量とが釣り合った状態で安定する筈である。このとき、 $F_{ri} = 1$ の条件は河川の上流から下流に向って x 軸を定義するとき、上層水深の変化率 $\frac{dh}{dx}$ が $-\infty$ になることのみか、上層への塩水混入量が急激に増加することに重大な意義が存在すると思われる。なお、 $\frac{dh}{dx} > 0$ および $\frac{dh}{dx} > 0$ は上層水深を增大させる作用を有する⁽¹⁾。河口付近において、流路巾が拡大し、上層密度が急増することは、 h を増大させることになり、河口における $F_{ri} = 1$ の条件といっけん矛盾する。これに対し、次のように考えた現象を説明できるであろう。まず、非定常あるいは過渡的な状態ではいろいろな段階が存在し、いずれの場所においても内部ジャンプは可能であるが、安定する場所は限定されるであろう。流路巾や河床が一様変化区間においては、内部ジャンプが安定する理由はない。ジャンプの条件の一つにジャンプ後、その下流でそれを受けいれるスペースが必要である。上流に局部的な狭窄部があると、そこで内部ジャンプする場合は別として、一様変化の河道では河口でジャンプしなければ、塩水はとんとん遡上することになるであろう。塩水遡上に伴うエネルギー損失により逆流量の限界はあるが、淡水層への混入量より逆流量が多ければ塩水くまびは遡上する。日本の河川のように下流部が短い場合は、ジャンプするスペースの存在する河口部でジャンプしなければ塩水の遡上量と混入量とが釣り合って塩水くまびが安定することにはならないであろう。

2. 内部ジャンプの安定に関する実験とその考察

上流から河口に向って単調にゆるやかに川巾が減少する状態では、淡水深は下流に向って減少するが、内部ジャンプが安定することはない。河口において流路巾が急減する場合は、計算上は h が増大するが、塩水の補給を十分にしてあげれば実験水路においても安定したジャンプが得られる。こゝで制離などが主として一時的な有効流路巾の減少がみられない場合でもジャンプする。河口において海水と接する流路両端で一時的加速し、横へ広がる現象は、流路巾が極端に狭くない限り全体のジャンプの現象を左右するほどの影響は与えないようである。

底勾配を有する水路では、図1に示す限界水深となるA点より上流では $F_{ri} > 1$ で塩水は遡上にくく、A点より下流では $F_{ri} \leq 1$ であるが、A点の直下流C点でジャンプする場合が最も安定する。すなわち、こゝで距離のおくれが生じる。ジャンプする直上においては、淡水深が徐々に減少していくことが必要であるが、くまびの先端のB点とA点と一致することは困難であり、かつ内部ジャンプの現象が多量の塩水混合に伴うものであるからそれに必要な塩水が下層から補給できるだけの下層水深が必要となるからであろう。水路巾80 cm、河床勾配 $1/200$ の水路における実験を、淡水深と流量を変えてテストを行った。系統的な検討には不十分であるが、いずれのテストにおいても、AB間の距離は存在し、その必要性が確認された。内部フルード数はA点をすましてより連続的に小さくなり、B点において最小値をとったのち、塩水くまびが上へ逐次増加しながら流下し、C点において1になるのであるが、限界水深の小さい場合の方が塩水くまびの勾配がゆるいので、内部ジャンプの生じるC点は下流側になる。ただし、実験においては図1にも示すような底勾配の急変点が水路末端部にあり、この点において最も安定したジャンプが得られた。このことはジャンプ後に十分な水深が存在するほうが安定することとを示すものと思われる。この実験により底勾配のある場合の内部ジャンプに対する考え方がある程度裏づけされ

にと思われる。なお、必ずしも塩水くまびの計算値が実験と合致しないのは、塩水くまびの内端付近で形状変化の大きい部分は、抵抗係数が中央部分と異なるからである。

3. 内部ジャンプの流況

これまでの考察により、ジャンプの安定条件はかなり微妙なものがあり、ジャンプ後の条件にも注目すべきことが推定される。実験観察によると、内部ジャンプといっても $\frac{d\eta}{dx}$ が ∞ になることは不可能である。 F_{r1} が 1 に近づくにしたがい、急激に塩水の混入量が増え、境界面から同尺的に渦が発生して、それが流下する現象がみられる。この渦は発生後ともなく急激に成長して、いわゆるジャンプ現象となる。これは塩水の混入量がわかれば運動量の関係により明らかにされるが、下流側では上層密度および流路中の拡大により上層の水深が拡大する。図-3 はジャンプした H 場合、および図-2 はジャンプしない場合の境界面形状の実験例である。これよりジャンプする場合も F_{r1} の 1 よりわずかに小さいときの境界面の形状が尊重されることがわかる。下流水路中の拘束条件がない場合のジャンプ後の流路中については別途研究が必要である。

ジャンプ後も表面流速は急変しないが、大きな渦が消えて流速分布が一様になる下流領域に達すると流速は急激に減衰する。一様流速分布まで復する距離は限界水深なども関係すると思われる。

ジャンプ後も二層流であり、再度ジャンプすることも可能であろう。しかし、海に出てジャンプする場合には、上層水深の増大に伴い、横断方向の運動量の釣り合いから表面付近において上層流が横方向へずり流れとなつて広がっていくことになるであろう。したがって、河口より十分以遠では側面下より海水に押しあげられ、再び薄い流れとなつて流路中も比較にならなくらい広がる筈である。

4. おわりに

緒についたばかりであり、定性的記述に終始した。しかし、この考察により多くの問題点を指摘することができ、今後系統的に検討を継続する予定である。

(参考文献) (1) 須賀・高橋 水論 49

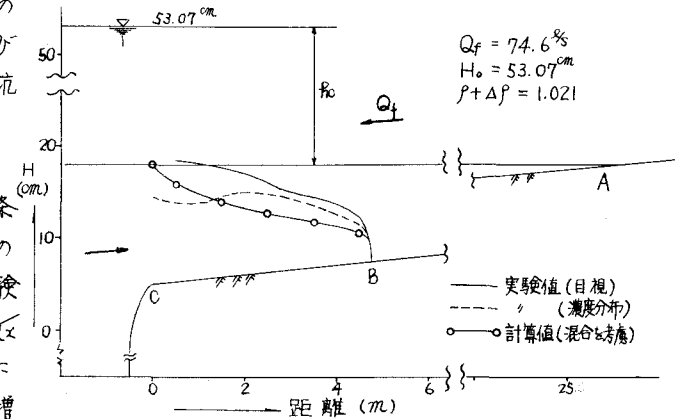


図-1 底勾配を有する水路における内部ジャンプ

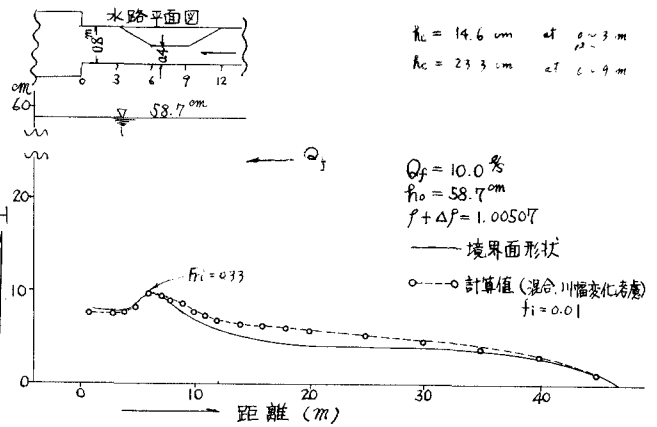


図-2 漸拡水路における塩水くまび形状

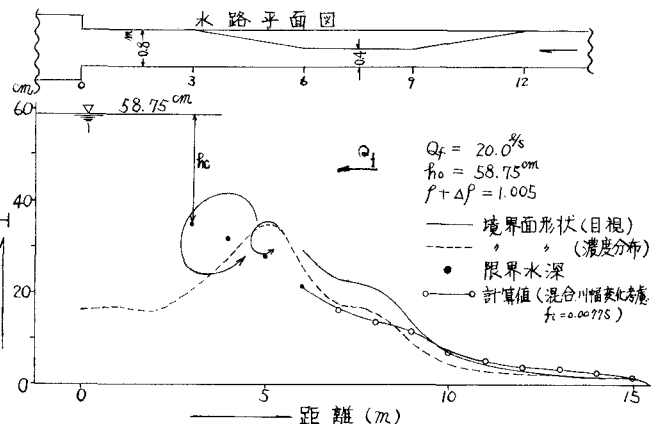


図-3 漸拡水路における内部ジャンプ