

感潮部の流れの逆流条件について

神戸大学工学部 正員 神田 徹
 住宅・都市整備公団 正員 村岡めぐみ
 神戸大学大学院 学生員 ○尾寄 佳史

1. まえがき 本研究は、河川感潮部において、逆流の生ずる条件および逆流の発生領域、発生時間等が河川流量、河床勾配、河口水位変動の波高・周期といかなる関係にあるかを調べることを目的としたものである。

2. 基礎方程式および境界条件 高潮あるいは潮汐による河口水位変動を想定し、河川下流端において長周期の水位変動を与える。本研究では河川水と海水の密度差の影響は考慮に入れない。河道は、図-1に示すような様な広幅長方形断面水路とし、河川下流端を原点として上流へ向かってx軸をとる。無次元量で表した

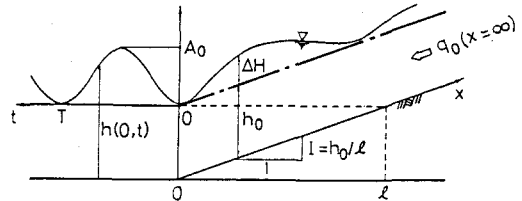


図-1 河道モデル

開水路一次元非定常流の基礎方程式および境界条件は、

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} + v' \frac{\partial v'}{\partial x'} + \frac{\partial h'}{\partial x'} + 1 + \ln \frac{v' |v'|}{h'^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h'}{\partial t'} + \frac{\partial (h' v')}{\partial x'} = 0 \quad (2)$$

$$\text{河川下流端: } h'(0, t') = (A_0' / 2) \cdot \{1 - \cos(2\pi / T' \cdot t')\} + 1 \quad (3)$$

$$\text{無限上流端: } h'(\infty, t') = 1, \quad q'(\infty, t') = -q_0' \quad (4)$$

ここに、 $t' = t / T_0$, $x' = x / L$, $h' = h / h_0$, $v' = v / \sqrt{gh_0}$, $A_0' = A_0 / h_0$,

$T' = T / T_0$, $T_0 = 1 / (\sqrt{gh_0})$, $q' = q / (h_0 \sqrt{gh_0})$, $q_0' = q_0 / (h_0 \sqrt{gh_0})$,

$\ln = g \cdot n^2 / (h_0^{1/3} \cdot L) = g \cdot n^2 / (q_0^{1/5} \cdot [9/10])$

式(1)～(4)より、河道内の水理量を規定するパラメータは、 A_0' , T' , $\ln$ の3つである。式(1)～(4)の数値解としては、水位変動開始時から十分時間が経過したときの解を採用し、河口における水位変動量が $\Delta H = 0$ である時刻を $t' = 0$ とする。

3. 逆流条件 河口で逆流が生ずる水理条件、すなわち $x' = 0$ で $v' > 0$ となるパラメータ A_0' , T' , $\ln$ の範囲を数値計算によって求め、図示すれば図-2のようになる。図に示す限界線よりも左上の領域で逆流が生じる。これより、 A_0' が大きいく、 T' が小さく、 $\ln$ が大きいほど逆流が生じやすい。この逆流条件は、初期状態において等流で流れている河川を対象としたものであるが、初期状態の河口水位が $(h_0 + h_s)$ である堰上げ背水の流れに対する逆流条件を図-3に示す。ただし、堰上げ高は、 $h_s' = h_s / (h_s + h_0) = 0.3$ である。図より、堰上げ背水の河川では逆流が生じやすいことがわかる。図-2における逆流の生ずる限界付近の無次元パラメータを有次元で表わすと表-1のようになる(ただし、粗度係数 $n = 0.025$)。低平

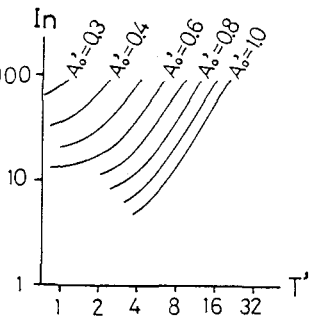


図-2 逆流条件(等流)

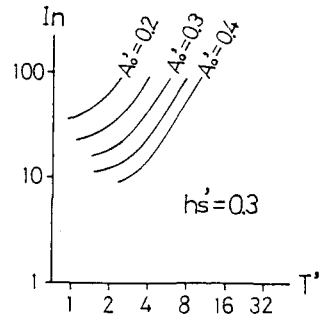


図-3 逆流条件(堰上げ背水)

Tohru KANDA, Megumi MURAOKA, Yoshifumi OZAKI

地河川では堰上げ背水の場合が多いが、そのときにはこれよりも逆流が起こりやすくなる。

4. 逆流発生領域 上述の河口での逆流発生条件を越えて河道内で逆流が生ずるとき、上流のどの地点まで逆流がおよぶかを調べた。図-4は、河口から逆流の生じた最遠点までの距離 x' を示したものである。 A_o' が大きく、 T' が小さく、

ln が大きいほど、逆流発生領域は広がっている。これより、河口部で逆流が生じやすいほど、逆流は上流部までおよぶと言える。

5. 逆流の発生時間 各地点における逆流の発生時間を図-5に示す。図中の実線が、その地点において逆流の生じている時間を表わしている。まず、河口 ($x' = 0$) での逆流開始時刻は、わずかの差ではあるが、 A_o' が大きく、 T' が小さく、 ln が大きいほど、早くなっていることがわかる。それに対して、 $x' = 0.1$ における逆流開始時刻は T' が小さいほど遅くなっている。また、逆流の終了時刻について見ると、 $T' = 2$ の場合、 $x' = 0, 0.1$ でほぼ同時刻に逆流が終了しているのに対し、 $T' = 1$ の場合、上流部にいくほど終了時刻は遅れ、下流部で順流のときに上流側では逆流が生ずるといいう、逆流領域の上流への伝播とも言うべき現象が見られる。図-6に堰上げ背水 ($hs' = 0.4$) の河川における逆流発生時間を示す。この場合、生起時刻は早くなり、逆流の発生範囲は広がっている。また、逆流領域の上流への伝播は等流の場合よりも大きな T' で起こっている。

6. 結語 河川流量が少なく、河床勾配が緩く、河口水位変動の周期が短く、波高が高いほど、逆流は起こりやすく、その発生領域は広くなり、発生時刻は早くなる。また、下流部が堰上げ背水であれば、さらにその傾向は増す。本文では、主として無次元化した水理量について逆流条件を示したが、次元を持つ実際の水理量についての条件は講演時に示す。

表-1 水理パラメータの値

河床勾配 I	等流流量 q_o (m^3/sec)	等流水深 h_o (m)	波高 A_o (m)			
			周期 T (hr)			
1/20000	2.4	3.6	A_o	1.1	1.4	1.8
			T	3.4	6.7	13.5
1/10000	1.1	1.8	A_o	0.6	0.9	1.1
			T	1.2	3.5	5.4

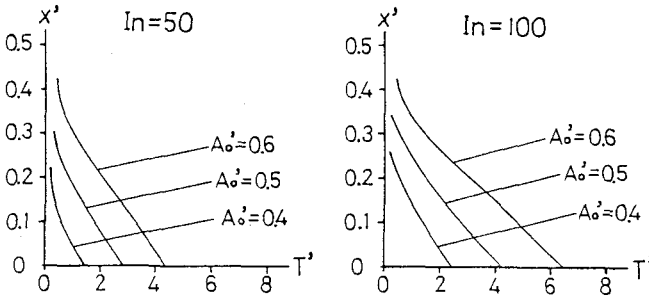


図-4 逆流発生領域

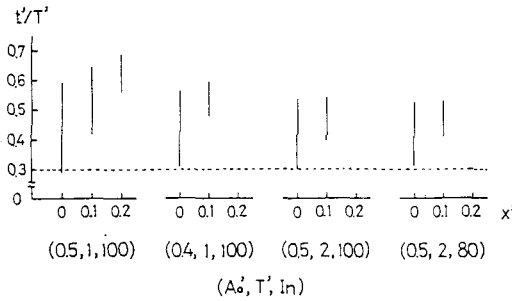


図-5 逆流発生時間 (等流)

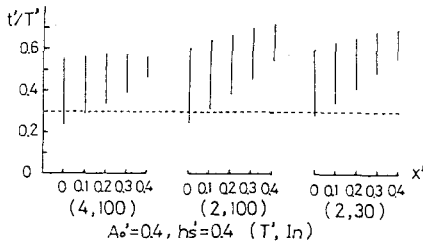


図-6 逆流発生時間 (堰上げ背水)