

下流端水位変化の水路内伝播特性

岡山大学工学部 正会員 名倉 宏文
岡山大学大学院 学生員 前野 詩朗
同 上 宮本 祥弘
同 上 馬久地延幸

本研究は、開水路における水位あるいは流量の制御法を確立するための基礎として、水路下流端における水位変化の上流への伝播特性、とくに、水位変化量の減衰特性を、水路粗度、上流端流入流量、および水路こう配との関係において数値的に把握しようとしたものである。対象として水路は、上流から一定の流入量がある一様水路であり、水理条件としては、感潮河川の河口部における値を対象としている。

1. 計算方法

特性曲線法によって計算をおこなったが、その基礎式はつぎのようである。

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots (1)$$

$$\text{エネルギー式} \quad \frac{\partial Qu}{\partial t} + \frac{\alpha Qu}{\partial x} + \lambda \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} = S_0 - S_f \quad \dots (2)$$

ここに、 A : 流水断面積、 Q : 流量、 q : 単位長さ当りの横流入量、 u : 平均流速、 h : 水深、 $S_0 = \sin \theta$: 水路こう配、 x : 距離、 t : 時間、 S_f : 摩擦こう配で、抵抗則として Manning 公式を用い、 $S_f = n^2 u^2 / R^{4/3}$ (n : 粗度係数、 R : 径深)、 α : エネルギー係数、 β : 運動量係数、 λ : エネルギー損失法における圧力分布係数である。

式(1)および式(2)を特性曲線表示すればつぎのようである。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\alpha + \beta}{2\beta} u \pm c \quad \text{ただし} \quad c = \sqrt{\left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} - u\right)^2 + \frac{\lambda q \cos \theta}{g\beta}}$$

に於て

$$\frac{\lambda q \cos \theta}{g\beta} \left(\frac{dA}{dt} - q \right) - \left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} u \pm c \right) \times \left(\frac{du}{dt} + \frac{q}{\beta} \left(S_f + \left(\frac{\partial z_0}{\partial x} \right)_{A=\text{const.}} \right) \right) = 0 \quad \dots (3)$$

計算は、(3)式を固定格子点に関して差分化して計算をおこなった。

2. 計算対象条件

計算で対象とした水路条件、水理条件および差分間隔は表1に示される通りである。表中には次元の基本量として、下流端平均水深 H_0 および重力の加速度 g を用いて無次元化された値も示されている。表中の無次元量、 QU' 、 N' 、 TP' および DT' 、 DX' はつぎのように表わされるものである。

$$QU' = QU / (\sqrt{gH_0} \cdot H_0), \quad N' = N \sqrt{gH_0} / H_0^{3/2}$$

$$TP' = TP \cdot \sqrt{gH_0} / H_0, \quad DT' = DT \sqrt{gH_0} / H_0$$

$$DX' = DX / H_0$$

下流端での水深の変化は、 $H = H_0 + TR/2 \cdot \sin(2\pi t/TP)$ のような正弦曲線を与えられるものとした。また、初期条件としては、下流端水深が H_0 の場合の各流量に対する不等流水面形を与えた。

表1 計算対象条件

	次元量		無次元量	
下流端平均水深	HO	5.0 (m)	HO'	1
水路幅	B	250 (m)	B'	50
上流端流入流量	QU	50 (m ³ /sec)	QU'	0.286
		200 ("		1.143
		500 ("		2.857
水路こう配	S	1/1000	S'	1/1000
		1/1500		1/1500
		1/2000		1/2000
マンニングの粗度係数	N	0.02 (m-s)	N'	0.048
		0.03 ("		0.072
		0.04 ("		0.096
下流端水位変化量	TR	0.5 (m)	TR'	0.1
		1.5 ("		0.3
水位変動周期	TP	6 (hour)	TP'	30240
		12 ("		60280
距離差分間隔	DX	200 (m)	DX'	40
時間差分間隔	DT	20 (sec)	DT'	28

3. 計算結果と考察

図1および図2は、下流端からの距離が異なる断面(X/HO が80, 800)での水位時間曲線および流量時間曲線を示したものである。ここに水位は下流端水路底を基準にしている。これらの図より、水位・流量の変動幅は上流にいくにつれて小さくなることわかる。また、流量のピークが水位のピークよりも遅れる現象は両断面とも同様であるが、水位変化の位相が断面によってほとんど変化しないのに対し、この計算条件の場合、流量変化の位相差がかなり大きく、しかも上流断面のほうがさらにピークが表れているのが認められる。

図3は、粗度係数を変化させた場合の各断面の水位変化量 Δh を示したものである。粗度係数が高いほど減衰の始まる断面は下流端に近く、また、減衰区間のほとんどの領域で減衰量も大きくなっている。しかし、減衰の終了断面($\Delta h \approx 0$)はいずれの場合も、ほぼ同じ位置とみなしてよい。

図4は、上流端からの流入流量を変化させた場合の各断面の水位変化量を示したものである。流量が大きくなるほど減衰は下流端近くから始まり、各断面における減衰量も小さくなる。ところが、この場合も図3と同様に減衰の終了断面は流量にかかわらずほぼ一定である。

図5は、水路こう配を1/1000, 1/1500, 1/2000,とした場合の水位変化量の減衰特性を表わしたものであるが、こう配に関する減衰曲線は他の2つの図と比較すると、相当異なった曲線になっている。こう配がゆるやかになるほど減衰は極端に小さくなり、水位変化も相当上流まで伝播している。水位変化のおこらなくなる断面は、こう配が、1/1500の場合には1/1000の場合の1.5倍、1/2000で2倍の位置である。

以上述べてきたように、下流端において与えた水位変化が見られなくなる断面の位置は、粗度、および上流端流入流量によってほとんど変化せず、水路こう配によって一義的に決まるようである。この断面の河床高は、ここで対象とした条件のもとでは、いずれの水路こう配の場合にも下流端における最高水位の約1.04倍になっている。また、この断面は、下流端に最高水位を与えて、上流端流入流量に対する不等流計算をおこなって得られる青木の到達断面とはほぼ等しいとみなしてよい。

参考文献

岩佐・井上・片山：京大防災年報第19号B。

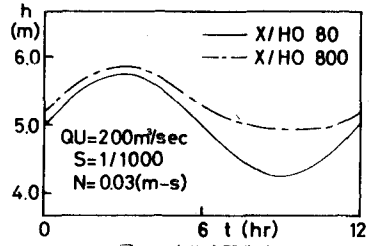


図1 水位時間曲線

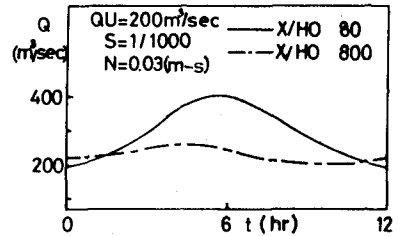


図2 流量時間曲線

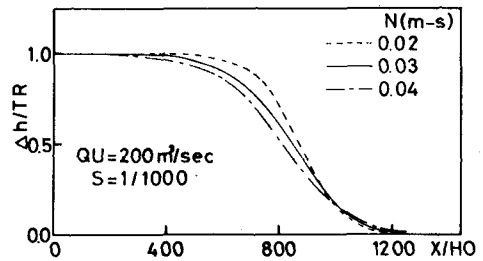


図3 水位変化量に及ぼす粗度の影響

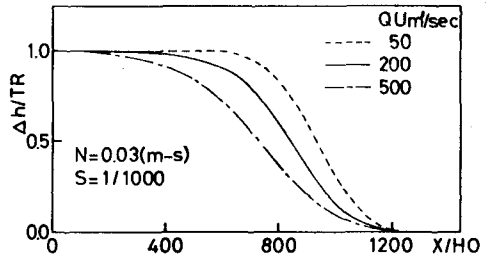


図4 水位変化量に及ぼす流入流量の影響

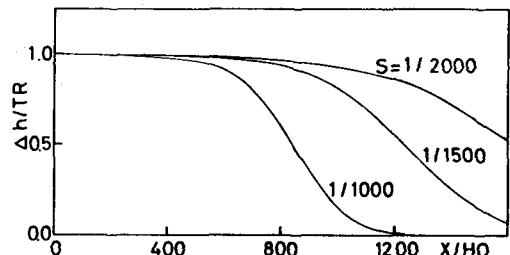


図5 水位変化量に及ぼす水路こう配の影響