

拡幅部を有する水路の洪水流解析

広島大学工学部 正員 常松 芳昭
 広島大学工学部 正員 金本 満
 計測リサーチコンサルタント 正員 ○ 尾越 公也
 熊谷組 米増 俊文

1. まえがき： 実河道は拡幅部や狭窄部などを有する水路としてモデル化することができる。このような変断面部分では流れを二次元的または三次元的に解析する必要が生じてくる。このような高度の解析では多大の労力と計算時間を費やすことになり、実用的には一次元解析法にたよっているのが現状である。そこで本報告では、二次元解析と一次元解析の差異が粗度係数の時間的、縦断的な分布に集約されるものと考えて数値計算を行ない、流れの二次元性を一次元解析に導入するための基礎的事項について検討した。

2. 基礎式および計算方法：二次元の基礎式として、(1)～(3)式に示すような浅水流方程式を用いた¹⁾。

$$\bullet \text{ 連続方程式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\bullet \text{ x 方向の運動方程式} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - gn^2 \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \quad (2)$$

$$\bullet \text{ y 方向の運動方程式} \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - gn^2 \frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \quad (3)$$

ただし、t：時間、x：縦断(主流)方向に測った距離、y：横断方向に測った距離、u、v：x、y方向の流速、M、N：x、y方向の流量フラックス、h：水深、H：水位、n：マンニングの粗度係数である。なお、高水数がないような場合を対象としたため、横断方向の速度差によって生じる水平混合項は、(2)、(3)式の各項と比べて無視できるほど小さいと考え省略した。

(1)～(3)式の差分化では、移流項についてのみ上流差分を、その他の項は中心差分を用いた。また、水際では中心差分を用いた²⁾。境界条件として、上流端はx方向の流量フラックスを、下流端では水深(一次元解析法による等流水深)を与えた。

3. 計算条件：対象とした水路は図-1に示すような単純な拡幅部を有する一定勾配(1/1000)の矩形断面水路である。上流端条件として図-2のような流量ハイドログラフと等流状態を仮定しマンニング式を適用して求めたx方向の流量フラックスの分布を用いた。その他の計算条件を表-1に示す。

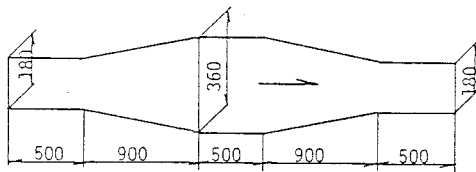


図-1 水路平面図 単位：m

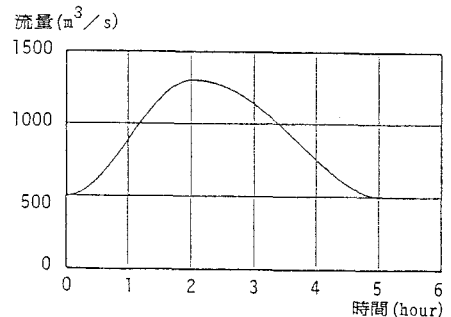


図-2 上流端条件

4. 計算結果：本報告では得られた計算結果のうち主に水面形状について考察を加える。図-3に水面形の経時変化を示す。洪水開始時(a)および洪水終了時(c)、すなわち定常流況に近いと考えられるとき、この程度の漸変水路では、一次元解析法と二次元解析法との間に差異はほとんどない。一方、ピーク流量時(b)には、二次元解析で得られた水位が一次元解析のものより10cm程度(約5%)大きくなっていることがわかる。

このような結果を生じる原因を検討するため、二次元解析法により得られた流量フラックスおよび水深を用いて(4)、(5)式から流量、断面積を求め(6)式に示すような運動量解析法に基づく一次元運動方程式に代入してマンニングの粗度係数を逆算した。

表-1 計算条件

Δx	100.0	(m)
Δy	30.0	(m)
Δt	3.0	(s)
n	0.025	($m^{-1/3}s$)

$$Q = \sum_j M_j \Delta y \quad (4) \quad A = \sum_j h_j \Delta y \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{g n^2 Q^2}{AR^{4/3}} = 0 \quad (6)$$

j : y 方向のメッシュ番号、 Δy : y 方向のメッシュ幅、 Q : 流量、 A : 流水断面積、 R : 径深、 β : 運動量補正係数である。

その結果図-4に示すように、逆算した粗度係数は時間的、縦断的に変動しており、二次元解析で用いた値($n=0.025$)とは異なっていることがわかる。とくに漸縮部において、粗度係数は入口付近では小さく、その下流では大きくなっており、時間的にも縦断的にも大きな変動を示していることがわかる。さらに下流(漸縮部出口付近)では、粗度係数は時間的にはほぼ一定値であるが、二次元解析で用いた粗度係数よりも大きな値($n \approx 0.030$)となっている。

このような粗度係数の時間的、縦断的变化が、一次元解析と二次元解析で得られた水面形が異なる原因であると考えられるが、さらに詳細に検討するため(4)、(5)式により計算した流量、断面積を用いてピーク流量時のエネルギーこう配を求めたものが図-5である。この図より逆算した粗度係数はエネルギーこう配が小さい区間で大きく変化している。このような背水域では一般的に速度水頭は小さく、エネルギーこう配の支配的要因としては水位の縦断的变化であると考えられ、前述のような水面形の差異をもたらしていると理解される。

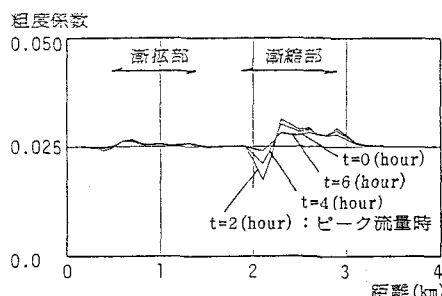


図-4 粗度係数の変化

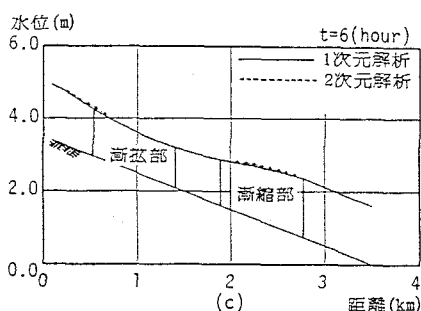
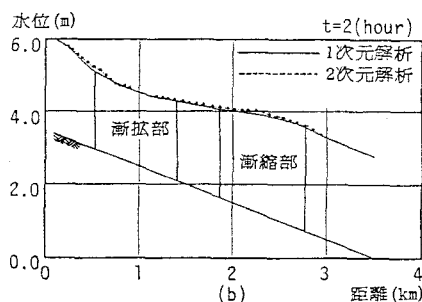
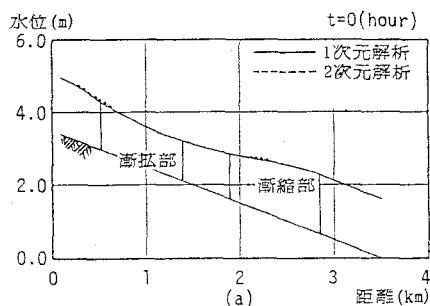


図-3 水面形の経時変化

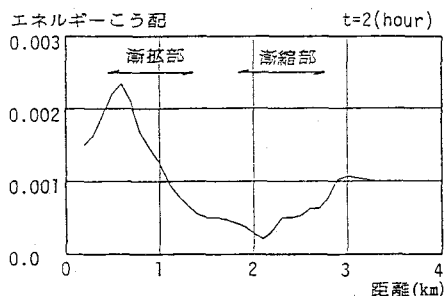


図-5 エネルギーこう配

5. あとがき: 本報告では、拡幅部における流れの一次元解析に二次元的性を導入するための基礎的検討を行った。今後は拡幅部で死水域が発生するような水路を含めて検討する予定である。

参考文献 1) 土木学会: 水理公式集、1985 2) 福岡他: 土木学会論文集、第363号、1985