

東京都庁 正員 半沢敏彦
 東京工業大学工学部 正員 福田建二
 東京工業大学工学部 正員 角田 学
 東京工業大学大学院 学生員 鈴木研司

1. はじめに 三次元的な河道の洪水流に一次元解析法を用いる場合、三次元性に伴う種々の影響をどのような形で一次元方程式に取り込むかは解の精度に直接関係する。漸拡河道の洪水流では河道貯留と横方向の拡がりが生ずるので、少なくとも二次元解析が望ましい。本研究では、平面二次元流の数値解析を行ない、その結果に水理学的考察を加える。さらに、それと同等の一次元解析結果を得るに必要な粗度係数の特性を検討する。

2. 計算方法 水深方向に積分した浅水方程式を $\Delta x, \Delta y$ の長方形領域内で積分すると、岩佐らの用いた基礎方程式を得る¹⁾。

○連続方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} M \Big|_x^{x+\Delta x} + \frac{1}{\Delta y} N \Big|_y^{y+\Delta y} = 0 \quad (1)$$

○運動方程式

$$x) \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} u M \Big|_x^{x+\Delta x} + \frac{1}{\Delta y} v M \Big|_y^{y+\Delta y} = -g h \frac{\Delta H}{\Delta x} - g n^2 \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2)$$

$$y) \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} u N \Big|_x^{x+\Delta x} + \frac{1}{\Delta y} v N \Big|_y^{y+\Delta y} = -g h \frac{\Delta H}{\Delta y} - g n^2 \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (3)$$

ここに、 u, v : x, y 方向の平均流速、 h : 水深、 H : 水位、 $M = uh, N = vh$: x, y 方向の流量フラックスであり、水平混合によるせん断力は無視する。

離散化にあたり、各変数を図-1のように配置し、岩佐らの計算スキーム¹⁾を次のように修正する。非線形項を時間ステップの中心で評価してステップ内で繰返し収束計算を行ない、 x 方向の移流項のみ風上差分を用いる。その他の項は岩佐らと同様に中心差分を用いる。また水際を図-1の斜線で示すように階段状に近似し、格子内の水際までの横断距離 d_i を用いて内点とは別の差分式を求める²⁾。

計算の対象とする漸拡河道の縦横断面形状を図-2に示す。横断面形状は複断面形状を理想化して放物線形断面とする。底面の粗度は図-3に示すように、一様とした場合(Run1)と、分布を持たせた場合(Run2)の二種類を考える。河床の縦断勾配は $1/3000$ である。上流端の境界条件としては、ピーク流量を境に対称な流量ハイドログラフ(出流流量 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, ピーク流量 $6800 \text{ m}^3/\text{s}$, 継続時間 10 時間)を、下流端の境界条件としては水位ハイドログラフを与える。水際は横断方向の流量フラックスを零とする。初期条件は、一次元解析により u, h を求め、これと $v = 0$ を与え、境界条件を一定とし収束計算して得た定常解を用いる。

3. 二次元計算結果と考察 図-4はRun1で得られた河道中心線沿いの縦断水面形を示す。貯留効果のため、増水時と減水時で水面形が異なる。Run2では、粗度が大きい場合全体的に水位が上がるが、同様な水面形が得られる。図-5は、漸拡部において断面中央の水位を基準に

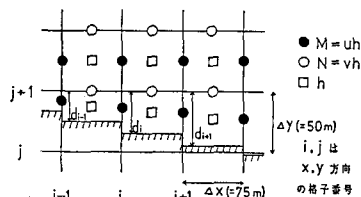


図-1 変数の配置と水際

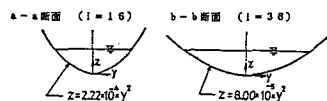
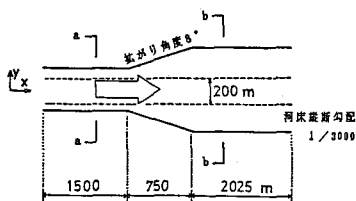


図-2 河道縦横断面形状

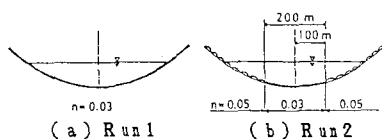


図-3 底面の粗度分布

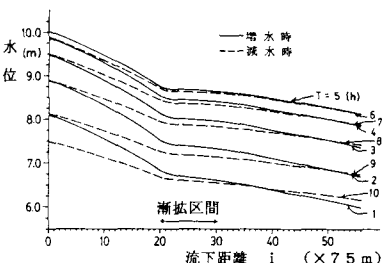


図-4 縦断水面形 (Run1)

した横断方向の水位差を示す。Run 1, Run 2とも拡張部入口付近($i=23$)で中央部の水位が高く、出口付近($i=32$)で低くなっているが、Run 2では、底面粗度の大きい側岸付近で水が流れにくいので、横断方向の水位差は小さく保たれる。しかしいずれの場合も、水位差は水深および川幅に比べて十分小さい。図-6は拡張部入口および出口付近の断面内の u と v の時間変化を示す。図中 $j=9$ は流路中心線上の位置を表わし、数字の大きい方に向かい水際に近づく。Run 1の場合は、 u/v がそれぞれの位置でほぼ一定の関係があり、かつ水際に近づくほど洪水全期間中、 u 成分に比し v 成分は相対的に大きくなっている。これに対しRun 2では、中心付近で増水期、減水期それぞれ一定の u を保ちつつ v が変化し、水際に近づくほど大きな底面粗度の上の流速 u は極端に小さい。

4. 等価粗度係数の算定 図-5の結果より断面内の水面はほぼ水平であり、水位は断面中央部の値で代表しうる。そこで二次元解析による水面形を一次元解析のそれに、粗度係数を介して関係づけることを試みる。二次元解析で得た結果が正しいと仮定し、それを次の一次元不定流方程式

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

$$R = \frac{A}{S} \div \frac{A}{B} = \frac{A}{\sum \Delta y} \quad (5)$$

(Q :流量, A :断面積, S :断面平均水深, B :水面幅)

に代入する。このとき得られる粗度係数を等価粗度係数と呼ぶ。図-7は等価粗度係数の時間的・距離的变化を示す。Run 1に関して、 n の値は時間的变化に比べて距離的变化が大きい。漸拡部入口付近では、水面勾配が大きいことによりエネルギー勾配が大きいため、 n の値は極端に大きくなる。一方、出口付近ではそれらが小さいため n の値も小さくなる。Run 2の場合には、漸拡部から下流側にかけ底面粗度の大きい部分が拡がっており、断面全体の摩擦抵抗は流下方向に大きくなる。また、流量の増減とともに大きな底面粗度の部分を通過する流量が変化するため、漸拡部の上・下流側で n の値も時間的に変化する。これらの変化とRun 1で見られた漸拡部の変化とが重なりあい、図(b)の分布となっている。

図(a), (b)より、一樣河道部分では、底面の粗度が既知であれば、各時間ごとの等価粗度係数は一定となり、一次元解析が適用できる。変断面河道部分においても、洪水流の等価粗度係数の分布が明らかとなれば、一次元解析でも二次元解析結果と同程度の結果を得ることができる。

参考文献 1) 若佐・井上ら、京大防災研年報第23号B-2, 1980. 2) 若佐・井上ら、京大防災研年報第25号B-2, 1982. 3) 橋本・藤田ら、土研資料第208号, 1984.

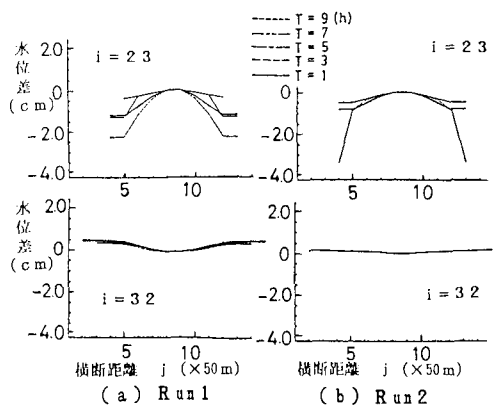


図-5 断面内の水位変化

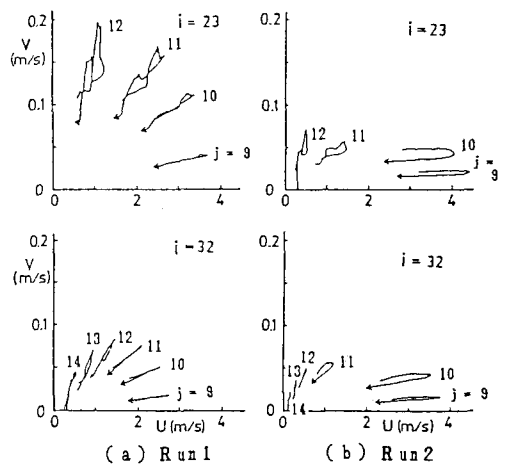


図-6 洪水期間中の流速 u , v の変化

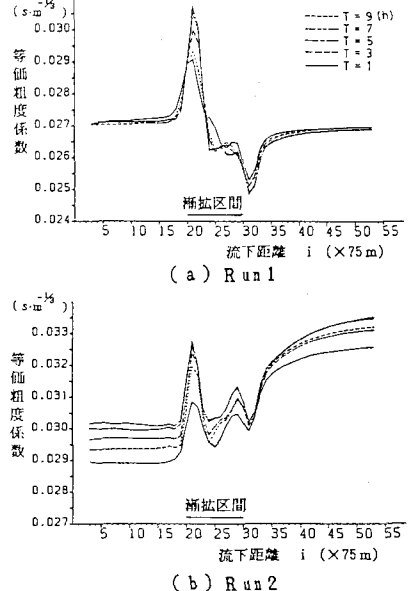


図-7 等価粗度係数の時間的・距離的变化