

市街地の一次元地表面はんらん流流出解析モデル

愛媛大学大学院 学生員 ○萩原雅貴 南海測量設計(株) 正会員 友近榮治
愛媛大学大学院 学生員 中野寛隆 愛媛大学大学院 正会員 渡辺政広

1. はじめに

市街地の地表面が、道路（流水域）とその両側に接続する間地（貯留域）から成るとし（図-1）、道路面上の流れを緩こう配道路面では一次元 dynamic wave 流れ、急こう配道路面では一次元 diffusion wave 流れとして取り扱う、地表面はんらん流流出解析モデルとその適用性について、検討を進めてきている。本報告では、常流、射流、段波、移動跳水、せき上げ背水、低下背水などの流れが時空間的に変動して出現する地表面はんらん流を、本解析モデルにより、安定的にかつ精度高くシミュレートできるか検討した結果を述べる。

2. 地表面はんらん流れの基礎式とその数値計算法

道路面上の流れを、緩こう配道路面では一次元 dynamic wave 流れとして、一方急こう配道路面では一次元 diffusion wave 流れとして取り扱う。また、流れの基礎式の数値解析には、特性曲線法を用いる。

2.1 地表面はんらん流れの基礎式

急こう配道路面上の流れは、dynamic wave 流れの運動方程式における場所的加速度項を省略した運動方程式を用いる diffusion wave 流れとして取り扱う。すなわち、次式 (1)、(2) により記述できるとする。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \left(1 + \frac{V^2}{gy} - \frac{V^2}{gy} \frac{B}{B+B'} \right) \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{B}{B+B'} y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{B}{B+B'} V \frac{\partial y}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここに、 V ：流速、 y ：水深、 R ：径深、 B ：道路幅、 B' ：貯留域幅、 n ：マンニングの粗度係数、 S_0 ：道路面こう配、 g ：重力加速度、 x ：距離、 t ：時間。なお、降雨 r_e と横流入流量 q は、ここでは、存在しないとしている。

2.2 基礎式の数値計算法

特性曲線法を採用し、式 (1)、(2) を連立させて数値解析する。両式を特性曲線・特性方程式表示すると、次式が得られる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = V + \alpha^- \cdot c = c \cdot \left(\frac{V}{c} + \alpha^- \right) : \text{特性曲線 } \Psi^+ \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} + \frac{\beta^+}{c} \frac{dy}{dt} - S_0 + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = V - \alpha^+ \cdot c = c \cdot \left(\frac{V}{c} - \alpha^+ \right) : \text{特性曲線 } \Psi^- \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} - \frac{\beta^-}{c} \frac{dy}{dt} - S_0 + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

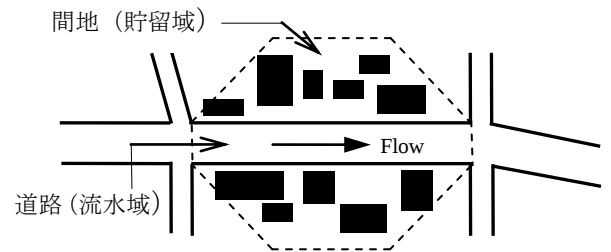


図-1 市街地地表面

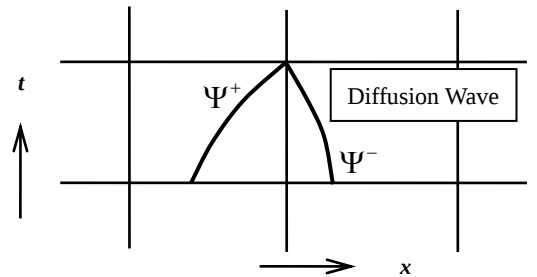
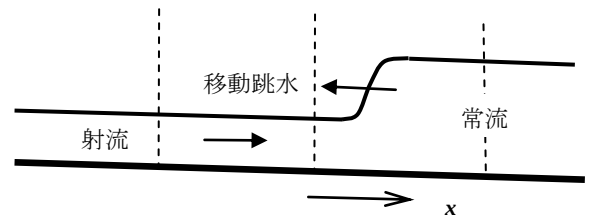


図-2 移動跳水和特性曲線

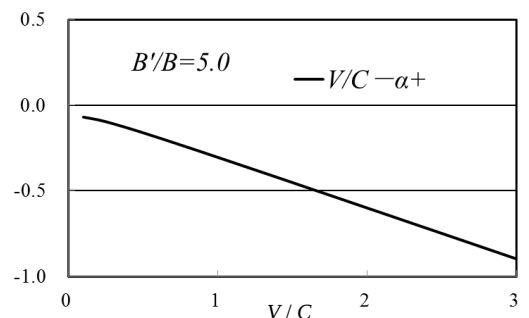


図-3 特性曲線 Ψ^- の傾き（負値）

$$; \alpha^{\pm} = \pm \frac{1}{2} \frac{V}{c} \frac{\gamma_2}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_1} \sqrt{\frac{1}{\gamma_1} + \gamma_3 \cdot \left(\frac{1}{2} \frac{V}{c} \right)^2}, \quad \beta^{\pm} = \pm \frac{1}{2} \frac{V}{c} + \sqrt{\gamma_1} \sqrt{1 + \frac{V^2}{c^2} \left(1 - \frac{3}{4} \frac{1}{\gamma_1} \right)}, \quad c = \sqrt{g y},$$

$$\gamma_1 = 1 + B'/B, \quad \gamma_2 = 1 + 2B'/B, \quad \gamma_3 = 1 + 4B'/B \quad (7)$$

図-2、-3 および式 (5)、(7) より明らかなように、特性曲線 Ψ^- の傾きは流れのいかんに関わらず常に負値をとり、したがってこの diffusion wave 流れではたとえ流れが射流であっても微小擾乱は下流から上流へと伝播する。これより、移動跳水現象を数値解析上の特別の工夫をしなくても普通に追跡計算できることになる。

3. 地表面はんらん流 (Diffusion Wave 流れ) 流出解析モデルの適用性に関する検討

実験水路 (図-4) での移動跳水流れに、上述した diffusion wave 流れの基礎式とその数値計算法を適用し、それらの市街地地表面氾濫流れへの適用性について検討した。実験水路は、幅 15cm、深さ 10~30cm の透明塩ビ製の矩形水路で、こう配は 5/1 000、粗度係数は $0.0090 \text{ s/m}^{1/3}$ である。初期の定常等流流れ (単位幅流量 $0.0035 \text{ m}^3/\text{s/m}$ 、等流水深 1.0cm、 $F_r=1.12$) において、下流端を急閉塞して移動跳水が上流へと伝播してゆく地表面氾濫流れを発生させ、水位ハイドログラフおよび水面形について、解析結果と実験結果を比較した (図-5)。

4. おわりに

Diffusion Wave 流れとその数値解析法 (特性曲線法) の市街地地表面流れへの適用性について検討し、実用上、十分に適用可能であることが確かめられた。

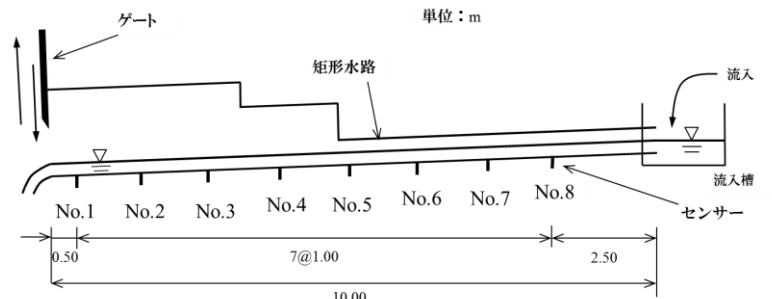


図-4 実験水路

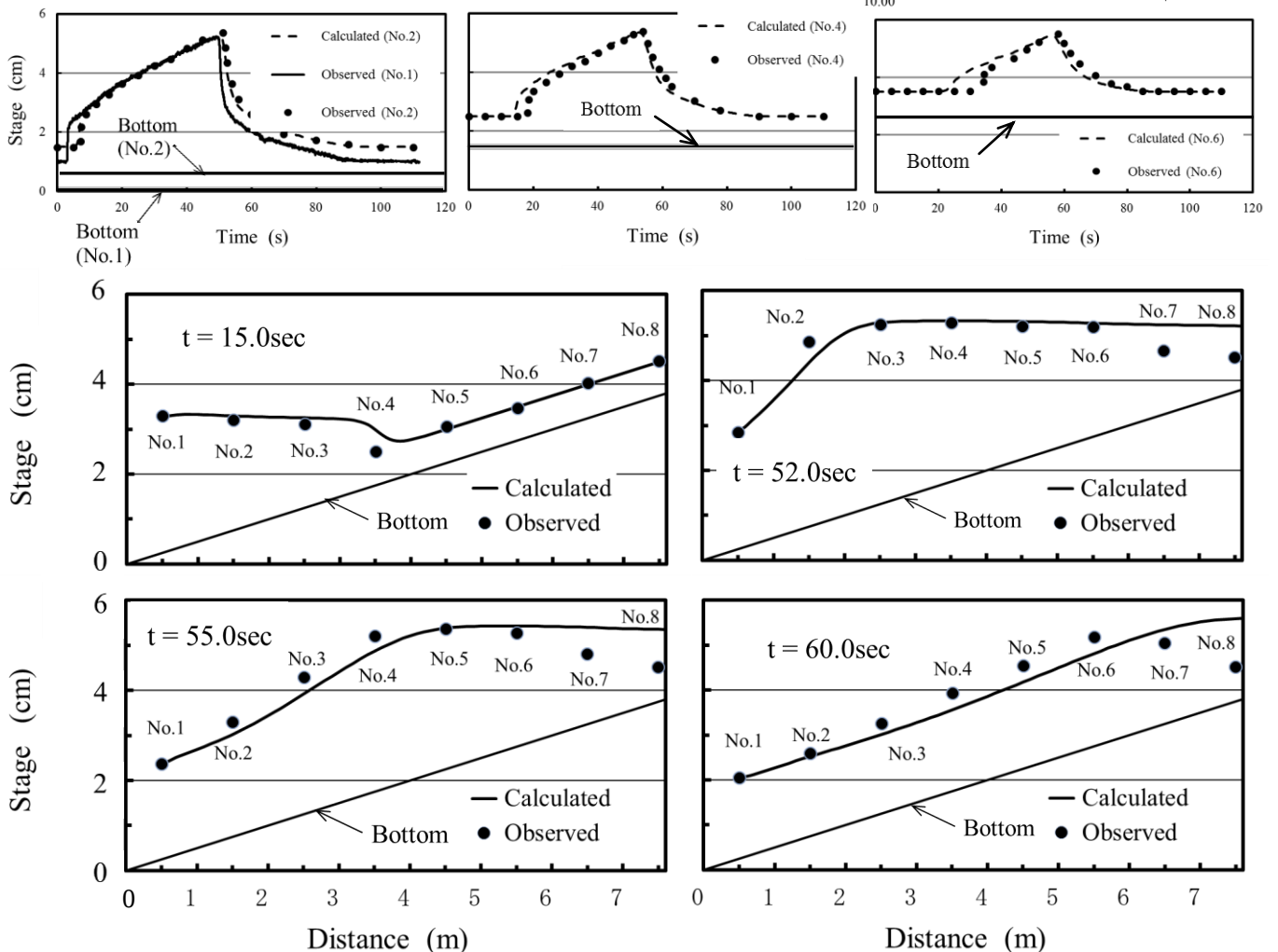


図-5 水位ハイドログラフと水面形の時間的変動の実験結果と解析結果の比較