

計画高水シミュレーションシステムの研究開発（経過報告） ～ハツ場ダム計画地域を事例に～

青山 貞一（武蔵工業大学環境情報学部）、鷹取敦（環境総合研究所）

1. 目的

集水域に1時間単位で降る雨を元に、山岳地帯等の3次元デジタルデータ（国土地理院・数値地図 50m メッシュ(標高)等の3次元標高データを用いてメッシュ単位で与え、集水域における水の流れ、河川に流れる水の量等を計算し、最終的に中流地点の河川における基本高水を求める方法を開発することを目的とする。

2. モデルの構成

2-1 流域モデルと河道モデル

一般に基本高水の推計を行うとき、流域における降雨が河川に流入するまでの過程を予測する「流域モデル」と、河川を流下する過程を予測する「河道モデル」の2つの方法を組み合わせて行う（図2-1）。

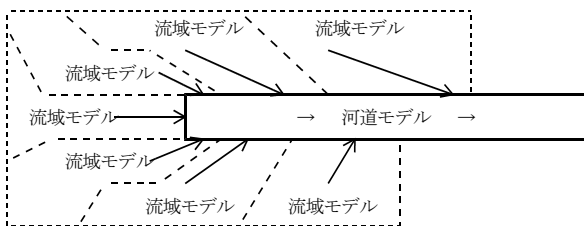


図2-1 流域モデルと河道モデル

2-2 流出モデル（流出計算法）の分類

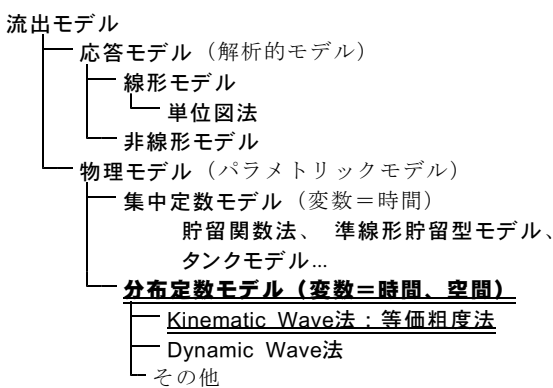


図2-2 流出モデル（流出計算法）の分類¹⁾

流域モデルの計算等に使われている流出モデルのうち、本モデルで利用できる可能性があるのは、時間と空間の双方を考慮して計算するモデル、すなわち図2-2の「分布定数モデル」に示されているモデルである。

2-3 基本的な考え方

図2-3に本検討における処理の基本的な流れを示す。図に示すように流域の計算においてKinematic Wave法を用いる。

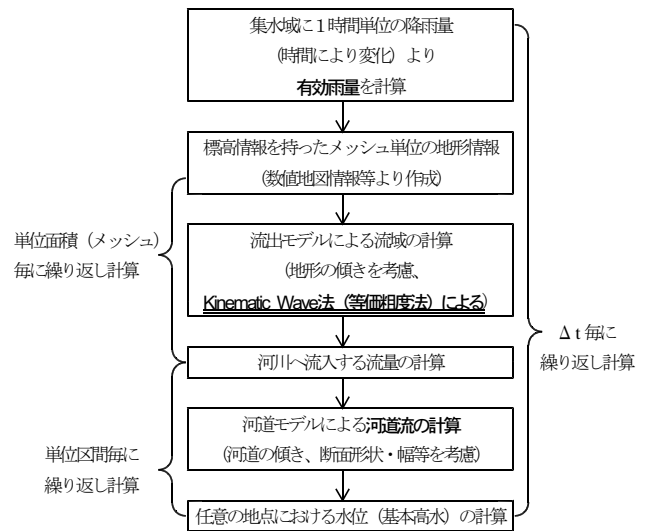


図2-3 基本処理流れ図

3. 流域モデル

3-1 Kinematic Wave法（等価粗度法）

ここでは、Kinematic Wave法（等価粗度法）について示す（参考資料²⁾）。図3-1のような仮想の斜面と河道をモデル化し、流域における流出現象を解析する。

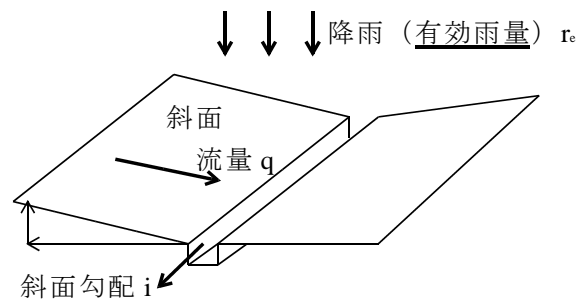


図3-1 Kinematic Wave法の考え方(1)

図3-1において、単位幅の斜面流を考え単位当たり流量をqとする。ここで、マンニングの式(式(3-1))を用いてqを表すと式(3-3)となる。

$$\text{マンニング則} : q = \alpha^m \quad \text{式(3-2)}$$

但し、 $\alpha = I^{1/2}/N$ 、 $m = 1/p$ 、 $p = 3/5$ 、q:流量

[m³/s]、I:斜面勾配、N:等価粗度[m^{-1/3}・s]

$$q = 1/N \times A \times h^{2/3} \times I^{1/2} \quad \text{式(3-3)}$$

但し、w:単位幅[m]、A 断面面積[m²]、流下水深 h[m] (A = h × w)

$$h = k \times \left(\frac{q}{w} \right)^p \quad \text{式(3-4)}$$

但し、k=(N/I^{1/2})^{3/5}

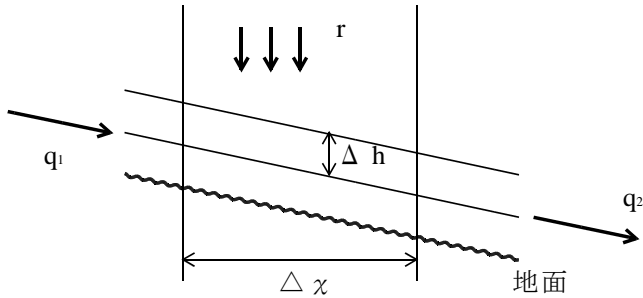


図3-2 Kinematic Wave 法の考え方 (2)

次に「Δx × w (単位幅) = Δa」というブロックにおいて、時間的にΔt時間での水収支を考える。Δt時間内でΔhだけ水位が上昇したと仮定する。Δt時間内で降雨として供給される水量(有効降雨量) r[m/s]は次式で表される。

$$r \times \Delta a \times \Delta t \quad \text{式(3-5)}$$

さらに、上流から入ってくる流量は q₁ × Δt、下流へ出ていく流量 q₂ × Δt。以上をもとに、「Δa」ブロックでの連続式を立てると以下のとおり。

$$\begin{aligned} r \times \Delta a \times \Delta t \\ = \Delta h \times \Delta a + (q_2 - q_1) \times \Delta t \end{aligned} \quad \text{式(3-6)}$$

この式の両辺を Δa × Δt で割ると、最終的に以下の微分方程式が得られる。

$$r = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial a} \quad \text{式(3-7)}$$

以上より、斜面流は式(3-7)および式(3-4)すなわち下式を連立して解くことができる。

$$\left. \begin{aligned} r &= \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial a} \\ h &= k \times \left(\frac{q}{w} \right)^p \end{aligned} \right\} \quad \text{式(3-8)}$$

但し、p=3/5、k=(N/I^{1/2})^{3/5}、N:等価粗度[m^{-1/3}・s]

式(3-8)の1つ目の式は降雨による水位の上昇、水位の時間変化、流入量・流出量の差との関係を表した式である。2つ目の式は水位と流出量の関係を表した式である。

なお、等価粗度 N の参考として、河川砂防技術基準(案)³⁾より表3-1を示す。

表3-1 等価粗度²⁾

流域の状態	等価粗度 N(m ^{-1/3} ・s)
階段状に宅地造成を行った丘陵地帯	0.05
流域の一部(15%)に宅地造成が行われた丘陵地帯	0.1 ~ 0.2
階段状田畑主体流域	0.2 ~ 0.4
上流山地、中下流に市街地を含む階段状田畑主体流域	0.3 ~ 0.5
林相のかなりよい山地流域	0.4 ~ 0.8
上流丘陵地 50%、中流市街地 20%、下流低平水田 30%の流域	0.6 ~ 1.1
排水改良の行われていない水田地帯	1 ~ 3

以上、Kinematic Wave 法を、本検討で用いるために任意の面積の流域単位を対象として計算できるように、単位幅を w[m]として示した。

3-2 2次元の単調な勾配でない地形における斜面部分の計算

1次元の斜面における Kinematic Wave 法を2次元の計算への拡張を試みた。1次元の場合、以下の計算を繰り返し行うことによって解を求めることが出来る。ただし、x-1 は x より1つ上流の地点、x=0 は最上流の地点である。

$$\begin{aligned} h_{t+1,x} &= h_{t,x} + r_{t,x} \Delta t - \frac{(q_{t,x} - q_{t,x-1})}{dA} \Delta t \\ q_{t+1,x} &= w \times \left(\frac{h_{t+1,x}}{k} \right)^{\frac{1}{p}} \end{aligned} \quad \text{式(3-9)}$$

但し、初期条件として h_{0,x}=0、q_{0,x}=0、境界条件として h_{t,0}=0、q_{t,0}=0、r_{t,0}=0。

2次元でかつ地形の起伏が一樣でない場合には、流出量 q_{t,x} および流入量 q_{t,x-1} はいずれもそれぞれ0項から4項、合計で最大でも4項存在しうる。すなわち(x+1, y)、(x-1, y)、(x, y+1)、(x, y-1)のうち、xより下流にある地点については流出量 q_{t,x} を、上流にある地点については流入量-q_{t,x-1} を計算する必要がある。

$$h_{t+1,x,y} = h_{t,x,y} + r_{t,x,y} \Delta t$$

$$- \frac{(q_{for(x+1,y)t,x,y} + q_{for(x-1,y)t,x,y} + q_{for(x,y+1)t,x,y} + q_{for(x,y-1)t,x,y})}{dA} \Delta t$$

$$+ \frac{(q_{t,x+1,y} + q_{t,x-1,y} + q_{t,x,y+1} + q_{t,x,y-1})}{dA} \Delta t$$

$$q_{t+1,x,y} = w \times \left(\frac{h_{t+1,x,y}}{k} \right)^{\frac{1}{p}} \quad \text{式(3-10)}$$

但し $q_{for(i,j)}$ は (i,j) 座標への流出量を意味し、 (i,j) の標高 GL_{ij} + 水位 $h_{i,j}$ が (x,y) の標高 $GL_{x,y}$ + 水位 $h_{x,y}$ より低い場合のみ考慮する。 $q_{i,j}$ は i,j 座標からの流入量を意味し、 (i,j) の標高 GL_{ij} + 水位 $h_{i,j}$ が (x,y) の標高 $GL_{x,y}$ + 水位 $h_{x,y}$ より高い場合のみ考慮する。

4. 河道モデル

4-1 Kinematic Wave 法

本報告では、河道モデルについても Kinematic Wave 法を採用した。河道計算に用いる式を以下に示す⁴⁾。2 つ目の式はマンニングの平均流速の公式である。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{式(4-1)}$$

但し、A:通水面積[m²]、Q:流量（流出の方が大きい時に正）[m³/s]、q:流域からの流量[m³/s]、V:流速[m/s]、n:粗度係数、I:勾配、R:径深[m]=A（通水面積）/P（潤辺長）

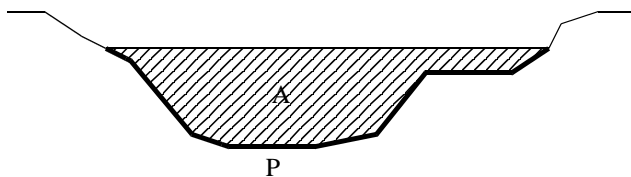


図4-1 通水断面積 A と潤辺長 P（太線）

河道における粗度係数 n については、表 4-1、表 4-2 を参考として示す。

表4-1 マニングの粗度係数（出典の表より暗渠を除いたもの）⁴⁾

水路の形式	材料および潤辺の性質	n の範囲	n の標準値
ライニングした水路	鋼、塗装なし、平滑	0.011~0.014	0.012
	モルタル	0.011~0.015	0.013
	木、かんな仕上げ	0.012~0.018	0.015
	コンクリート、コテ仕上げ	0.011~0.015	0.015
	コンクリート、底面砂利	0.015~0.020	0.017
	石積み、モルタル目地	0.017~0.030	0.025
	空石積み	0.023~0.035	0.032
ライニングなし水路	アスファルト、平滑	0.013	0.013
	土、直線、等断面水路	0.016~0.025	0.022
	土、直線水路、雑草あり	0.022~0.033	0.027
	砂利、直線水路	0.022~0.030	0.025
自然水路	岩盤直線水路	0.025~0.040	0.035
	修正断面水路	0.025~0.033	0.030
	非常に不修正な断面、雑草、立木多し	0.075~0.150	0.100

(Chow, V.T:Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill / 吉川：水理額、技報堂)

表4-2 マニングの粗度係数⁵⁾

河川や水路の状況		n の範囲	
人工水路	コンクリート人工水路	0.014~0.020	
	スパイラル半管水路	0.021~0.030	
	両岸石張小水路（泥土床）	0.025 (平均値)	
	岩盤堀放し	0.035~0.05	
	岩盤修正	0.025~0.04	
	粘土製河床、洗堀のない程度の流速	0.016~0.022	
	砂質ローム、粘土質ローム	0.020 (平均値)	
自然河川	ドラグライン掘しゅんせつ、雑草少	0.025~0.033	
	平野の小流路	雑草なし	0.025~0.033
		雑草、灌木有	0.030~0.040
		雑草多、礫河床	0.040~0.055
	山地流路	砂利、玉石	0.030~0.050
		玉石、大玉石	0.010 以上
	大流路	粘度、砂質床、蛇行少	0.018~0.035
礫河床		0.025~0.040	

5. 試みの計算

上記の方法により、実際の地形データを当てはめて試みの計算を行った。

(1) 対象範囲

ハツ場ダムが計画されている地域の流域を対象とした。具体的には、北緯 36 度 22 分 8.97 秒～36 度 38 分 3.06 秒、東経 138 度 23 分 0.4 秒～138 度 46 分 9.27 秒の東西 34.5km、南北 29.5km の範囲とした。

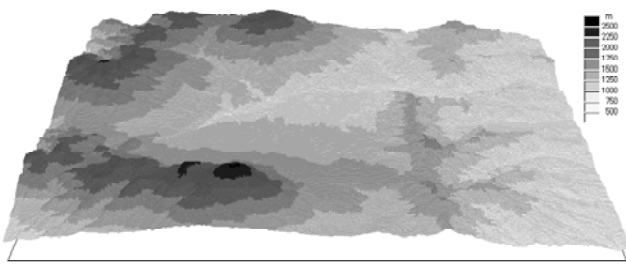


図5-1 100mメッシュ地形データ
(高さ方向を2倍強調)

標高は国土地理院が発行している「数値地図 50m メッシュ」を用いた。このデータは、緯度、経度を等分に分割することによって、おおむね 50m の格子状の標高を数値データとして示したものである。これのデータよりスプライン補間法を用いて 100m 格子上の標高データを作成した(図5-1)。

図5-2に計算中の画面表示例を示す。

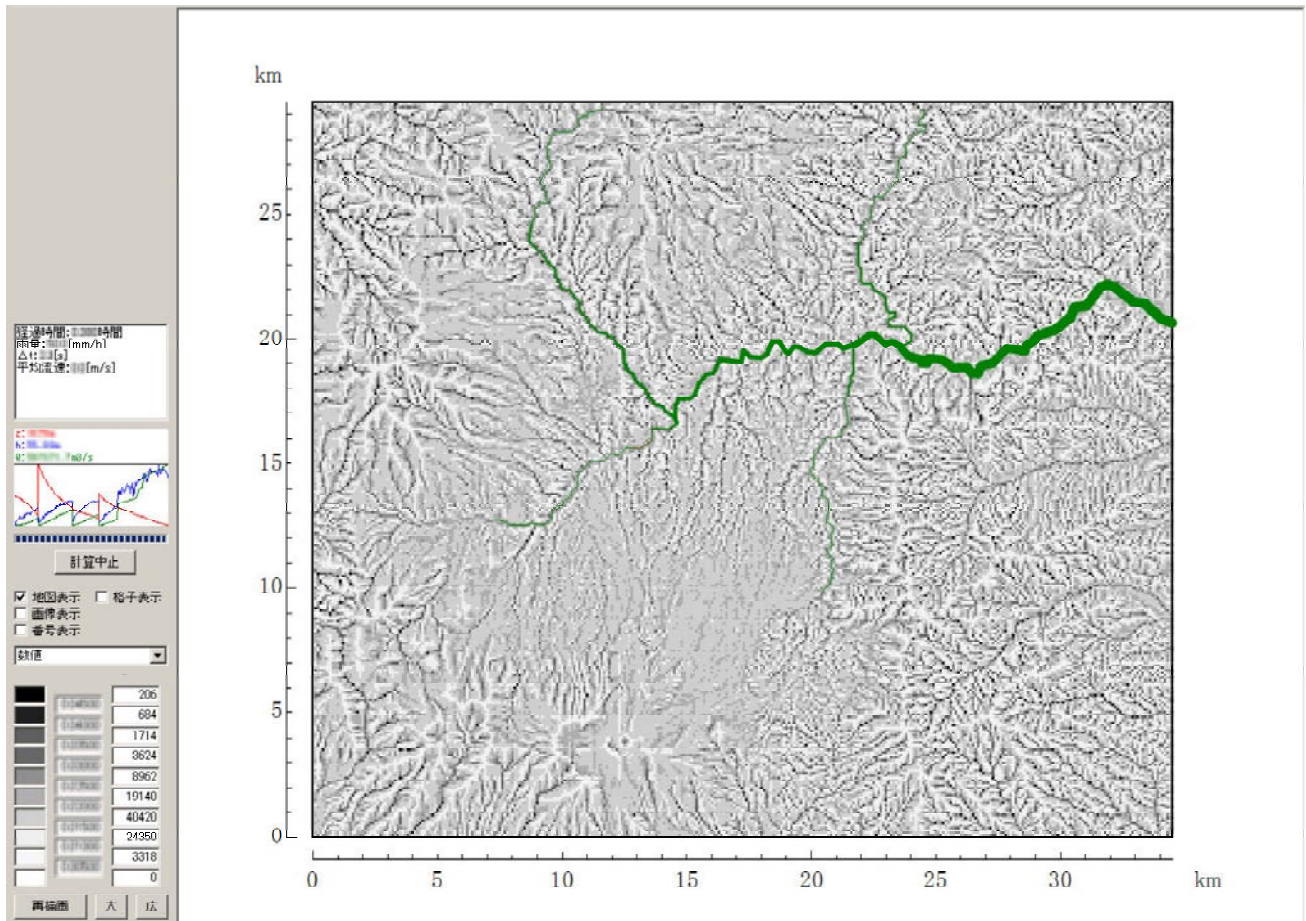


図5-2 計算経過画面表示例

6. 参考資料

- 1) 第 16 回武庫川流域委員会 資料 2-1 流出モデル(流出計算法)の比較、資料 2-2 各流出計算について
- 2) 「第 8 回紀の川流域委員会」資料-1 スライド集・紀の川河川整備計画について(目標流量の検討) 洪水流出計算について(Kinematic Wave 法)
- 3) 河川砂防技術基準(案)
- 4) 土木学会、水理公式集[平成 11 年度版]
- 5) 二訂 建設省河川砂防技術基準(案)調査編