

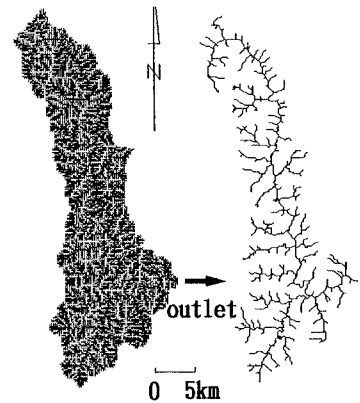
(株) アイ・エヌ・エー 正 員 福井 史応
山梨大学工学部 正 員 砂田 憲吾

1. はじめに

気象及び地形条件の相互作用を考慮し、広域を対象とした流出系のモデル化が必要とされている。流域の地形情報は地理情報システム（GIS：Geographic Information System）の整備に伴い充実してきている。地形情報のなかに、直交するメッシュの交点の標高を配列した数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）があり、DEMを利用した地形解析・流出モデルの開発に関する研究は多数行われるようになってきている。本研究では国土数値情報の標高データファイル（ks-110-1）を用いて河道網を算出すると同時に、細流を省き河道網のスケールアップ（粗視化）を試みる。ここでは粗視化に関する基礎的な情報を得るために、1）粗視化に伴う地形特性量の変化を調べる。2）流出解析によるシミュレーションから、粗視化と流域モデルパラメータの設定との関係を明らかにする。という2点から検討する。解析対象の主流域は富士川支川早川水系（509 km²）で、地形特性量については笛吹川水系（544 km²）、安倍川流域（518 km²）でも行った。

2. 流域地形のモデル化と地形特性量

DEMに基づき流域に落ちた雨水を周囲のメッシュ点8方向のうち最急勾配方向に追跡し、メッシュ点間を結ぶ追跡線（落水線）を全てのメッシュ点から流域出口まで辿ることにより擬河道網を算出する。全てのメッシュ点に設定される通過回数に河道のソースを設け、通過回数1、2、3…のメッシュ点を最上流端としてできた河道網を順に source1、2、3…とする。実際の河川網と粗視化した河道網の地形的性質を調べるために Strahler の位数理論による分岐比・河道長比などの地形特性量を算定した結果、早川流域では、1) 500m メッシュ以下の地形データから得られる地形特性量と1000m メッシュ以上のデータから得られる地形特性量は明らかな差異がある。2) 河道モデルとして、250m メッシュでは source10、500m メッシュでは source3 が実河川の地形的性質をより忠実に再現し得る。また、河道数、流域面積などと位数の関係を片対数グラフに表すと、河道のソースによらず傾きがほぼ一致することから、3) ソースにより河道モデルの地形則は損なわれないことが知れた。



250m mesh/source1 and source10

Fig. 1 Channel network
of Hayakawa River (509 km²)

3. 河道モデルの粗視化と流出応答特性

3.1 全域表面流出モデルによる解析

山地斜面系および擬河道網系からなる流域全体で表面流出をモデル化し、任意のメッシュ点におけるハイドログラフを算出する流出モデルを開発する。次に示す仮定のもとで河道網に従い斜面と河道それぞれに対して kinematic wave モデルを適用し、所与の降雨に対する流出量を上流から下流へ順次計算する。

(a) 流れ方向は擬河道網の最急勾配方向で、メッシュ間の流路は幅広矩形断面とする。(b) 流路への側方流入は10m間隔とし、メッシュ点および10m毎に斜面からの直接流入分と上流からの流入を合成する。

3.1.1 斜面流出

斜面流出は次の式に従う。 $q_i = \alpha y_i^m$ ただし、要素斜面の到達時間 t_c により以下の2通りに大別できる。

(1) $t_c \leq t_r < \infty$ の場合

$$y_i = i_c t$$

(2) $t_r < t_c$ の場合

$$(0 \leq t \leq t_c \leq t_r) \quad y_i = i_c t$$

$$y_i = i_c t$$

$$(0 < t \leq t_r \leq t_c)$$

Keywords: 擬河道網・粗視化・kinematic wave・流出応答特性

連絡先：山梨大学土木環境工学科（〒400 甲府市武田4-3）

$$y_i = \left(\frac{Li_i}{\alpha} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (t_c \leq t \leq t_r) \quad y_i = i_r t_r \quad (t_c > t_r < t \leq t_p)$$

$$L = \alpha y_i^{m-1} \{ y_i i_r^{-1} + m(t - t_r) \} \quad (t_c \leq t_r < t) \quad L = \alpha y_i^{m-1} \{ y_i i_r^{-1} + m(t - t_r) \} \quad (t_p < t)$$

$$t_p = t_r + \frac{t_c^* - t_r}{m} \cdot t_c^* = \frac{L}{\alpha(i_r)^{m-1}}$$

ここに、 q_i ：斜面から河道への側方流入量、 y_i ：水深、 i_r ：降雨強度、 t_r ：降雨継続時間、 $\alpha = \sqrt{\sin\theta/n_s} \cdot m = 5/3$ 、 θ ：斜面下流端勾配、 n_s ：斜面部のマンニングの粗度係数、 L ：斜面長（ $L=l/2$ 、 l ：メッシュサイズ）とし、 $n_s = 0.2$ とした。

3.1.2 河道流と流域末端までの追跡

モデルは山地斜面系と擬河道系から構成され、10m毎に流量の伝播時間を算出し（式②、③）、伝播時刻から求めた斜面の直接流入量に上流からの流入量を加えてその地点の流量とする。これは直接流入をメッシュ点のみとしたとき、後続の流量が大きい場合に次のメッシュ点に到達する前に先行する流れを追い越すことを避けるためである。この操作を繰り返し、次のメッシュ点での流量時系列を得る。なお、合流点では流量は保存されるとし、落水線に従い流域出口まで追跡計算し、流域出口の流量時系列が得られる。

$$h = \left(\frac{nq}{B\sqrt{\theta}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (2) \quad dt = \frac{\Delta x}{\alpha m h^{m-1}} \quad (3)$$

ここに、 q ：流量、 B ：河幅、 h ：水深、 Δx ：10m、 $n = 0.035$

3.2 解析結果および考察

Fig.2 は流域出口における流量時系列（ハイドログラフ）を $\Delta t = 1(\text{min})$ で算出した結果である。降雨強度 10 mm/hr では、流域要素スケールが大きくなると到達時間が短くなるが、40 mm/hr では流域要素スケールによる応答時間の差異が小さくなる。流域要素スケールが過大になれば、流出応答特性の評価が困難になると考えられるが、流域出口における応答特性に 500m メッシュと 1000m メッシュで見掛け上は著しい相違は見られない。応答特性が流域スケールによらず見掛け上同等になる場合でも斜面流出、河道の伝播に地形条件が反映されるような流域要素モデルを設定する必要がある。

4. 結論

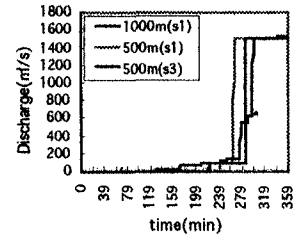
河道モデルの流出応答特性から次のような結論を得た。

- (1) 山腹斜面系、擬河道網系からなる全域表面流出モデルを開発し、任意降雨に対する全河道地点での流出シミュレーションを可能にした。(2) モデルの流域要素スケールの拡大に伴い、斜面流出の到達時間が長くなるのに対し、河道伝播時間は短縮されることを流出シミュレーションで確認した。(3) 500 m メッシュと 1000 m メッシュの流域全体の応答特性が見掛け上同等になる場合においても斜面流の時間遅れと河道の伝播時間が物理的に妥当になるような要素モデルが設定される必要がある。(4) 流域要素スケールにより流出応答特性は異なるがより強降雨の条件のもとではその差異は小さくなる。

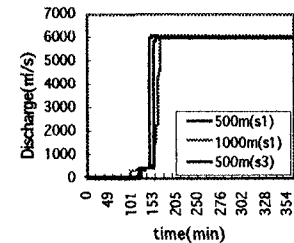
5. おわりに

本研究で開発した流出モデルはメッシュ点毎の流量近似方法に多少の問題を残している今後の課題は、笛吹川流域・安倍川流域でシミュレーションを行い、モデルを改良することが望まれる。

【参考文献】1) 日野幹雄・砂田憲吾：周期変動降雨に対する表面流出の応答特性に関する基礎的研究、土木学会論文集、1977.6、No.262、pp.56-66 2) Yoshino, F.: Runoff Characteristics of Small Urbanized Area, Proc. of Tokyo Symposium, IAHS, 1975, pp.215-220 3) S.Fukui and K.Sunada: Study on Dependence of Runoff Model Parameters on the Scale of Catchment Element, International Conference on Water Resources & Environment Research, vol. I, pp.293-300, 1996.10



(a) 降雨強度 10 mm/hr



(b) 降雨強度 40 mm/hr

Fig.2 流域末端のハイドログラフ

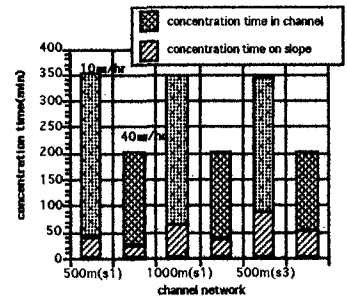


Fig. 3 Concentration time