

ニューラルネットワークによる土石流の流出解析

九州大学大学院 学生員 〇川原恵一郎
九州大学工学部 正 員 平野 宗夫
九州大学工学部 正 員 森山 聡之

1. はじめに

土石流の流出解析については、現象が複雑でかつ解析に必要なデータが乏しいことから研究例は少ない。これまでに、土石流流出の水理学的モデルに関しては、平野ら¹⁾の提案があるが、同定すべきパラメータが多いなどの問題がある。本論文においては、ニューラルネットワークによる流出モデルを提案し、雲仙・水無川の土石流ハイドログラフにより検証する。

2. 土石流の基礎流出モデル

土石流の流出規模に関して、平野ら¹⁾が土石流のハイドログラフに関する理論より導いた計算式は(1)式で表される。この式は土石流の流出高が直前の降雨強度と累積雨量の積に比例することを表している。

$$\frac{Q(t)}{A} = Mr(t) \int_0^t r(\tau) \cos \theta d\tau, \quad M = \frac{fs}{(fs-1)\lambda} \int_{k \tan \theta / \lambda}^{\infty} \phi(\eta_0, l) dl, \quad \eta_0 = \int_0^t r(\tau) \cos \theta d\tau, \quad fs = (1-\lambda)/(1-\lambda-c) \quad (1)$$

ここに、 Q は土石流の流量、 t は時間、 A は流域面積、 r は降雨強度、 c は土石流の濃度、 λ は堆積層の空隙率、 k は堆積層の透水係数、 θ は堆積層の斜面勾配、 l は堆積層の斜面長、 D は堆積層の厚さ、 $\phi(\eta, l)$ は $\eta = \lambda D$ および l の結合密度関数である。

しかし、(1)式の斜面に関する諸パラメータは非定常な流出場において、十分な精度で観測することは困難であるため、現地への適用は容易ではない。

3. 雲仙・水無川の土石流の流出特性

雲仙・水無川においては、いくつかの土石流の計測²⁾で表面流速と水位の実測値が得られているが、大規模な土石流としては、1993年6月12-13日の記録が唯一得られている。データは30分間隔で記録されており、これから10分平均流量を計算し、雲仙岳測候所の10分雨量とともに示したのが図-1である。図-1では、土石流の流出波形は降雨波形と良く対応している。そこで、10分平均流量 $Q(t)$ と10分雨量 $r(t)$ の相互相関係数を計算すると、図-2に示すように流出からの時間遅れは20分程度であることがわかる。

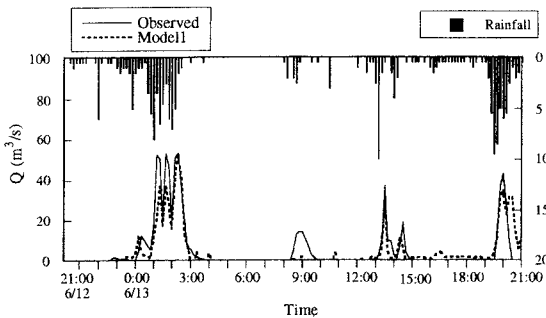


図-1 水無川における93年6月12-13日の土石流流出波形

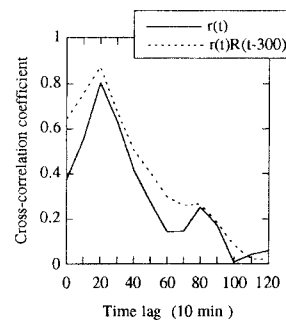


図-2 雨量と流出量の相互相関

また、式(1)によると、流量は降雨強度と累加雨量の積に比例するので、10分雨量 $r(t)$ とその時間から Δt 時間前からの累加雨量 $R(t-\Delta t)$ の積 $r(t)R(t-\Delta t)$ を計算し、10分平均流量 $Q(t)$ との相互相関係数を計算する。累加時間 Δt を変化させて、相互相関係数を比較すると、全体的に10分雨量 $r(t)$ の時よりも相関が高くなり、なかでも、図-2に破線で示す $\Delta t = 300$ (min)の時が最も相関が高かった。そこで、式(1)の斜面に関する諸パラメータを統合して一つのパラメータで置き換えて(1)式を次式のように近似する。

$$Q(t)=K \cdot r(t) \cdot R(t-\Delta t)$$

(2)

ここに、 K は長さの次元を有する流出の場に固有の値である。また、 $R(t-\Delta t)=\int_{t-\Delta t}^t r(\tau) d\tau$ である。

土石流ハイドログラフの実測値のピーク流量と $r(t)R(t-300)$ のピーク値の比により、式 (2) において、 $K=6.36 \times 10^3(\text{m})$ とした Model1 で流出量を算定すると、図-1の破線で表される。

4. ニューラルネットワークによる流出モデル

上記の手法では斜面に関するパラメータを単純化して流出モデル式を作成したが、ここでは降雨要素だけを抽出して、ニューラルネットワークを用いてモデリングを行う。ニューラルネットワークの構造は3層ネットワークで、計算アルゴリズムは、一般的なバックプロパゲーション法³⁾によるものである。中間・出力層のユニットはシグモイド応答関数を有し、各ユニットの重みは一括修正による修正モーメント法で最適化する。学習はネットワークの誤差が収束すれば終了する。

流出モデルの構成としては、降雨強度の時間変化を考慮し、図-2の相互相関が極小値を取る50分間の時系列を入力とするModel2、式 (2) を構成する二つの降雨要素である $r(t)$ 、 $R(t-300)$ をそれぞれ入力するModel3、そして降雨強度と累加雨量の積 $r(t)R(t-\Delta t)$ の累加時間 Δt を1, 3, 5時間で計算して入力するModel4を検討する。図-3に各モデルの計算結果を示す。また、表-1はModel1-4について実測値と計算値をRMS誤差と相関係数によって比較したものである。中でも降雨強度と種々の累加雨量との積を入力したModel4の流出波形は実測値と非常に良く適合している。

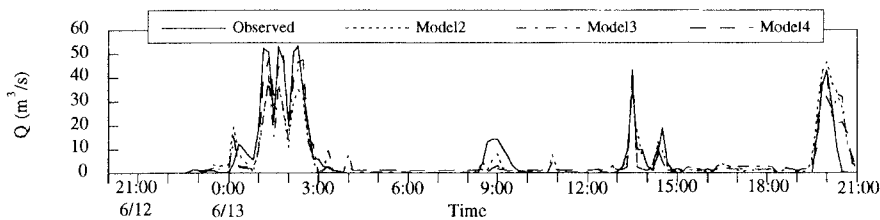


図-3 土石流ハイドログラフの計算結果

表-1 流出モデルの精度

モデル式	RMS誤差 (m^3/s)	相関係数
Model1 $Q(t+20)=K \cdot r(t) \cdot R(t-300)$, $K=6.36 \times 10^3$	6.473	0.864
Model2 $Q(t+20)=NN_3[r(t), r(t-10), r(t-20), r(t-30), r(t-40)]$	6.327	0.867
Model3 $Q(t+20)=NN_2[r(t), R(t-300)]$	6.214	0.864
Model4 $Q(t+20)=NN_2[r(t)R(t-60), r(t)R(t-180), r(t)R(t-300)]$	5.004	0.920

NNはニューラルネットを表し、添字は中間層のユニット数、|内は入力要素を表す。

5. おわりに

土石流の流出に関して、ニューラルネットワークを用いて降雨強度と累加雨量を入力することにより雲仙の土石流ハイドログラフの計算が可能であることを示した。ただし、入力の際には、基礎流出モデルの中から、種々の要素の組み合わせを考慮する必要がある。降雨強度と種々の累加時間の雨量との積による入力要素が土石流の流出解析に汎用的に利用できるかどうかは、さらに調べていく予定である。

参考文献

- 1) 平野宗夫・疋田誠・森山聡之：活火山流域における土石流の発生限界と流出規模の予測，第30回水理講演会論文集，pp. 181-186，1986。
- 2) 平野宗夫・橋本晴之・河野道斉：1993年水無川・中尾川における土石流の現地観測，文部省科学研究総合計画(A)研究成果報告書，雲仙における土石流・火砕流の調査研究，pp. 13-23，1994。
- 3) J. L. MacCelland and D. E. Rumelhart: Parallel Distributed Processing, vol. 1, pp. 318-362, MIT Press, 1986。