

I-373

ニューラルネットによる降雨下での斜面の安全性評価システム

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡

鳥取大学工学部 正会員○松保重之

1. まえがき 我国は、地質が若くかつ激しい地質構造運動を受けており、脆弱な地質と急峻な地形から成り立っている。しかも、人口の割に国土が狭いうえに国土の3/4を山地が占めているため、危険な急傾斜地に近接して高度な土地利用がなされている。そのため一度斜面崩壊が発生すれば、甚大な被害を受ける危険性が極めて高い状況であり、従来からその現象の解明と対策に関して多くの努力が払われてきた。しかし、斜面を構成している地質・土質・地形などの素因が複雑で、誘因となる降雨・地震などが多様であるため、解明されなければならない問題が数多く残されているのが現状である。本研究では、それら複雑な問題をニューラルネットの手法を導入することにより、降雨が原因と思われる斜面崩壊に対して、その発生並びに崩壊規模の予測を行うことを試みる。

2. ニューラルネットの基本的概念 人間の脳はニューロンとシナプスという2つの基本素子からなる神経回路網で構成されている。これをモデル化したのがニューラルネットで、①膨大なデータ量を取り込んで瞬時に判断させることができ、②あいまい性を含んだデータの取り扱いが可能であり、③自己組織化能力を有する、等の特徴を有する。ニューラルネットは、ニューロンとシナプスにそれぞれ対応するユニットと結合で構成される。結合における信号は、実際のシナプスと同様に一方向にだけ伝わり、ある重みを付けられてその先のユニットに伝えられる。この重みによってユニット間の結合の強さが表わされる。重みの値は、興奮性の時には正、抑制性の時は負の値をとるように調整される。重み付けされた各入力値はその総和がとられ、応答関数による変形を受けた後、出力される。応答関数は、ニューロンに入力された多数の他からの入力信号の重み付き総和が、あるしきい値を超えた時にのみ1つの出力を出すという働きを模擬したもので、本研究ではシグモイド関数を用いた。ニューラルネットは、学習信号のフィードバックがあるもの（相互結合型その他）と無いもの（階層型）とに大きく分類することができるが、本研究では無いものを用いた。階層型のニューラルネットの学習法としては、誤差逆伝播法を用いた。誤差逆伝播法では、初期設定された重みに対して学習データを入力し、ニューラルネットの推定結果と評価基準との自乗誤差が最小となるように重みの値が調整される。この誤差の調整計算は、学習信号とは逆向きに重み付けされながら行われる。

3. ニューラルネットによる斜面崩壊予測

表1 ニューラルネットへの入力データ

(3-1) 崩壊予測システムの構築： ニューラルネットによる斜面崩壊予測システムの概要は、斜面における土質特性値等の評価項目を入力してやるとその斜面が崩壊に至る度合い（崩壊度）を出力するというものである。システム構築の際には、表1のデータ¹⁾を入力値（表中の記号については後述）とし、全てのデータについてシステムの推定結果と理想値との差が最大で7%となるまで学習させた。なお、降雨時の斜面崩壊には色々な型のものがあるが、その中でも比較的浅い部分の土砂（山土）のすべり破壊が最も多く（全体の2/3程度）、ここでも、この種のすべり破壊に限定した。さらに、斜面の安定解析はフェレニウス法による分割円法により行い、式(1)の破壊確率 P_f の計算をIFM手法により行った。式中、 Z は破壊基準関数、 W は単位幅当たりの分割片の重力による応力(t/m)、 W' は地下水位以下で浮

番号	土質	斜面傾斜角(度)	表面厚(m)	初期Sr(%)	初期比	浸水係数(10^{-3} cm/s)	C_{max} (t/m ²)	ϕ (度)	$P_f, \dots$ (%)
崩壊斜面	1 ローム	45	2.0	66	0.9	1.6	5.0	23	13.5
	2 マサ土	45	2.0	60	0.8	5.0	2.0	30	9
	3 砂質マサ土	35	1.2	42	1.0	2.4	2.0	25	14.5
	4 マサ土	40	3.5	50	0.8	5.0	2.0	25	11.2
	5 粘土	30	2.0	50	1.2	1.0	7.0	10	10.4
	6 腐植土	45	1.4	50	1.0	5.0	5.0	10	15
	7 ローム	50	1.4	70	1.2	1.0	10.0	10	8.2
	8 砂質土	40	1.4	42	1.0	5.0	2.0	30	19
	9 粘性土	33	1.7	60	1.0	1.0	10.0	10	16.7
	10 砂質土	35	2.0	50	0.8	5.0	2.0	30	11.7
	11 砂質土	50	2.0	60	1.04	1.0	5.0	20	10
	12 砂質土	30	2.5	50	0.8	5.0	2.0	25	8.4
	13 砂質土	45	5.0	50	1.0	4.0	5.0	30	10.7
	14 砂質土	42	2.5	50	1.2	1.4	5.0	30	8.1
未崩壊斜面	15 砂質土	35	1.2	42	0.9	1.0	2.0	35	1.9
	16 マサ土	34	6.0	50	0.8	5.0	2.0	25	5.9
	17 砂質土	34	1.8	41	1.0	5.0	2.0	30	4.2
	18 砂質土	23	3.8	64	0.95	0.8	7.0	10	10.6
	19 砂質土	35	4.5	64	0.95	0.8	7.0	10	11.9
	20 砂質土	32	4.2	64	0.95	0.8	7.0	10	7.9
	21 砂質土	20	7.0	64	0.95	0.8	7.0	10	4.5
	22 砂質土	37	1.5	41	0.83	1.1	2.0	30	6.2
	23 ローム	30	5.0	66	0.9	1.0	5.5	23	2.9
	24 砂質土	45	2.0	60	0.45	1.0	10.0	57	3.5
	25 砂質土	38	2.0	60	0.45	1.0	10.0	57	7.6
	26 砂質土	47	2.7	67	0.57	8.0	9.0	55	2.7
	27 砂質土	47	2.7	67	0.57	8.0	9.0	55	2.4
	28 砂質土	44	3.0	67	0.57	8.0	9.0	55	1.7
	29 砂質土	44	3.0	67	0.57	8.0	9.0	55	1.6
	30 砂質土	29	3.3	56	1.3	1.9	2.0	27	8

力を考えた有効重量(t/m)、 α は分割片とすべり面の傾斜角(度)、 l は分割片がすべり面を切る弧の長さ(m)、 c, ϕ は土の強度係数で正規確率量である。また、 c は土中水分の飽和度 Sr と共に変化し、その確率特性は、式(2)により評価できる。式中、 m_c^* は $c^*=c/c_{max}$ の平均値、 σ_c^* は c^* の標準偏差、 $\Delta Sr=Sr-Sr^*$ 、 e_0 は初期間隙比である。以上の方法で学習を行った結果得られたネットワークを図1に示す。図中、小さな円はユニット、円を結んでいる線は結合を示している。実線は興奮性(正值)、破線は抑制性(負値)の結合を表わしている。無論実際には全てのユニットが結合されているが、重みの大きな結合(絶対値が0.6以上)のみを表示した。また、円の大小によって各ユニットのしきい値の大きさを示した。ネットワークの頂点に当たるものが、出力ユニット(出力層)であり、ここで推定される崩壊度を出力させる。図に示す最下層の1~16までのユニット(入力層)は各評価項目に対応している。各評価項目を示すと、1)~8)は土質で、1)ローム、2)まさ土、3)シルト質砂、4)粘土、5)腐植土、6)砂質土、7)粘性土、8)砂質ローム、さらに、9)斜面傾斜角(度)、10)表層厚(m)、11)初期 $Sr(\%)$ 、12)間隙比、13)透水係数($10^{-3}cm/s$)、14)最大粘着力 $c_{max}(t/m^2)$ 、15)せん断抵抗角 ϕ (度)、16)破壊確率の最大遷移速度 $P_f'_{max}(\%/h)$ である。図1より、結果に大きく影響を及ぼすと思われるものは、土質では粘土、その他の項目では表層厚、初期 Sr 、 c_{max} 、 $P_f'_{max}$ であることが分かる。

$$\left. \begin{aligned} Pf &= \text{Prob.} [Z = Mr - Ms \leq 0] \\ Mr &= \sum [c l + W' \cos \alpha \cdot \tan \phi] \\ Ms &= \sum W \sin \alpha \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} m_c^* &= 1.0 - 0.018 \Delta Sr \\ \sigma_c^* &= 0.182 \\ Sr^* &= -100.0 e_0 + 128.8 (\%) \end{aligned} \right\} (2)$$

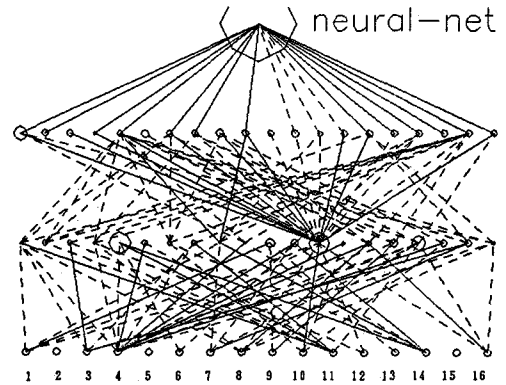


図1 斜面崩壊予測ニューラルネット

(3-2) 実斜面の崩壊予測: 表1のデータには含まれない例として、昭和58年7月に島根県西部を中心とした記録的な集中豪雨によって斜面の崩壊を起こした島根県浜田市市の斜面の1つについて判定を行った。入力データは、土質は粘性土、斜面傾斜角36度、表層厚4m、初期 $Sr=50\%$ 、間隙比0.89、透水係数 $1.0 \times 10^{-3}cm/s$ 、 $c_{max}=5.9t/m^2$ 、 $\phi=30$ 度、 $P_f'_{max}$ は約8.7%/hである。 $P_f'_{max}$ を求める際に用いたハイレートグラフを図2に、 P_f の時間遷移速度図を図3に示す。図において遷移速度 P_f' が最大となる時刻は7/24日の11時であり、実際の崩壊時刻とほぼ一致している。そしてニューラルネットによる判定結果は崩壊度92%となった。また、崩壊の約3時間前の時刻における $P_f'_{max}$ は約2.2%/hであり、ニューラルネットによるこの時の崩壊度は0%となった。これは $P_f'_{max}=8 \sim 20\%$ の時に破壊例が多いと一般に言われている事実と一致している。次に斜面崩壊の規模を予測する問題を考え、それを求めるシステムを建設省による 崖くずれ災害実態調査データを用いて構築した。その結果、本崩壊規模予測システムで、崩土到達距離をある程度予測できることが分かった。

【参考文献】1)建設省土木研究所急傾斜地崩壊研究室:急傾斜地…その対策,土木研究所資料,第801号,1973.

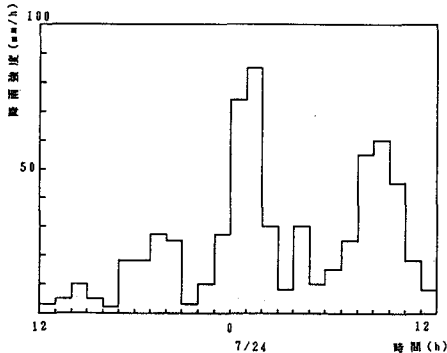


図2 ハイレートグラフ

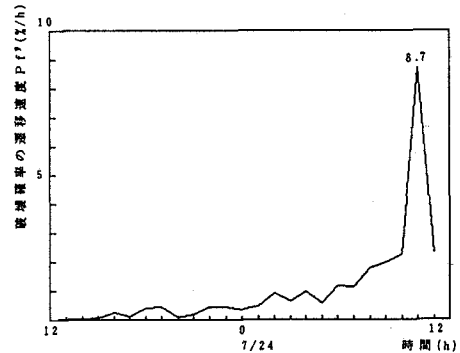


図3 破壊確率の遷移速度