

ニューラルネットワークによる不飽和強度定数 c' , ϕ' , ϕ^b の逆解析

徳島大学工学部 正会員 山上拓男
(株)仁田ワイルド 正会員○細野和博
(株)大林組 正会員 時谷正憲

1. はじめに 本研究の目的は、人間の神経細胞をモデル化したニューラルネットワークを用いて、破壊斜面を対象にFredlundの提案する不飽和強度定数 c' , ϕ' , ϕ^b の逆解析の可能性を検討する事である。本報告では、破壊実験を想定し、強制外力を加えた仮想斜面に対して安定解析を行い、得られた最小安全率を有するすべり面に対し逆解析を行った結果について報告する。

2. 階層型ニューラルネットワークを用いた逆解析法

最初に、対象とする斜面は均質・等方性であり、またすべり面の形状は円弧であると仮定する。

図-1に示す円弧AOBは強制外力を加えて発生させたすべり面を示している。このすべり面に対して逆解析を行うためには、まず安全率を仮定しなければならない。通常安全率は $F=1.0$ と仮定される。また、このすべり面周辺のサクシオン分布、単位体積重量、すべり面の位置は分かっているものとする。

このような仮定のもと、ニューラルネットワークを学習させるための学習データを作成しなければならない。学習データの作成にはFredlundの提案する不飽和土のせん断強度式(式1)をBishop法の安全率算定式に導入した式(式2)を採用する。ただし、比較的浅い斜面を想定しているため、間隙空気圧 $u_a=0$ としている。

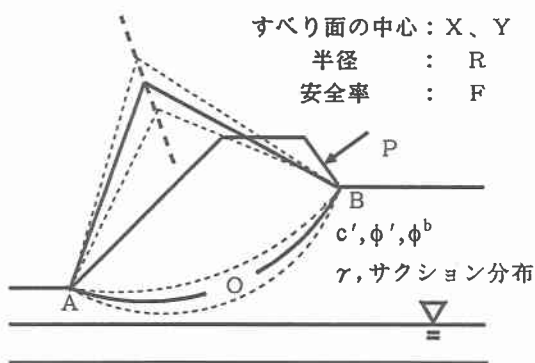


図-1 学習データの作成法

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (1)$$

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \frac{c' l \cos \alpha + W \tan \phi' - u_w l \cos \alpha \tan \phi^b}{\cos \alpha + \tan \phi' \sin \alpha / F} \quad (2)$$

今、対象とする斜面に任意に選んだ一組の c' , ϕ' , ϕ^b を与え、図-3に示すすべり面の両端A, Bを固定して安定解析を行う。そして得られた最小安全率を有するすべり面の中心座標(X, Y), 半径R, 安全率Fとそれに対応する c' , ϕ' , ϕ^b を一組の学習データとする。同様の手順で、 c' , ϕ' , ϕ^b を任意に選び必要な数の学習データを作成する。

学習はすべり面の中心座標(X, Y), 半径R, 安全率Fを例えば図-2に示すネットワークに入力し、それに対応する c' , ϕ' , ϕ^b を出力するようにバックプロパゲーション¹⁾を用いて行い、階層型ネットワークを構築する。

このようにして構築された階層型ネットワークは学習に用いなかった(X, Y), R, Fを入力した場合に対してもそれに対応する c' , ϕ' , ϕ^b を予測することができる。

入力層 中間層 中間層 出力層

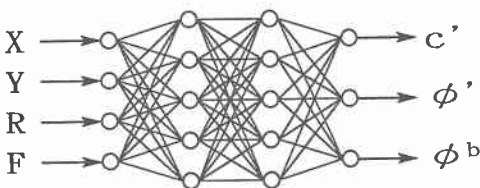


図-2 階層型ネットワーク

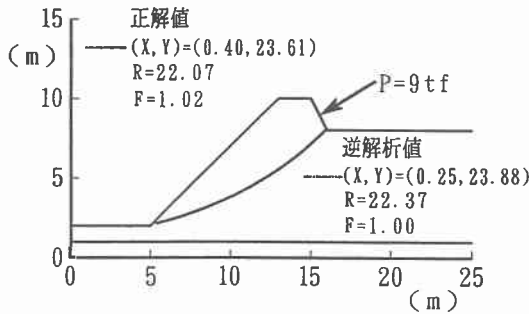


図-3 斜面形状と臨界すべり面の情報

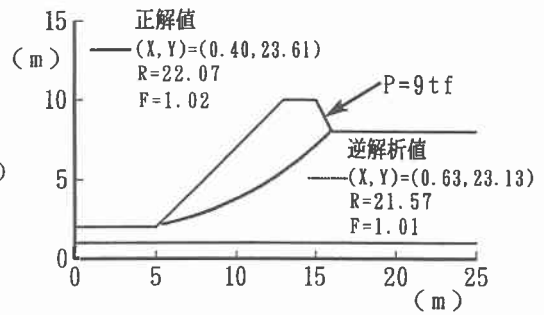


図-4 逆解析結果の検証

3. 適用例

図-3に対象とした斜面と臨界すべり面の情報、及びサクシオン分布を示す。この斜面の単位体積重量は $\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ 、強制外力は $P = 9 \text{ tf}$ であり、不飽和せん断強度定数は $c' = 0.4 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi' = 25.0^\circ$ 、 $\phi^0 = 11.0^\circ$ である。臨界すべり面の位置は中心座標(0.40, 23.61)、半径 $R = 22.07 \text{ m}$ 、最小安全率 $F = 1.02$ である。

この斜面において不飽和強度定数 c' 、 ϕ' 、 ϕ^0 が未知で臨界すべり面の中心座標、半径、安全率のみ分かっているものとして逆算を行った。解析に用いたネットワークは先の図-2に示した4層の階層型ネットワークである。このネットワークに対し表-1に示す33個の学習データを用いて学習させた。学習回数は100万回、出力結果と教師信号の二乗誤差は0.01、学習に要した時間はPentium75搭載機(Acer TS-Power)において3h43m37secであった。

学習終了後、構築したネットワークに図-3に示すすべり面の中心座標、半径、及び安全率を入力し c' 、 ϕ' 、 ϕ^0 を予測させた。その結果 $c' = 0.14 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi' = 26.32^\circ$ 、 $\phi^0 = 13.06^\circ$ となった。これらの妥当性を検証するために、この結果を用いて図-3に示す斜面の安定解析を行った。得られたすべり面を図-4に示す。すべり面の位置、安全率共によく一致しており力学的に矛盾のない値だとみてよからう。よって強制外力を加えた場合に関してニューラルネットワークを用いた不飽和強度定数の逆解析は十分可能だと考えられる。

参考文献

1) 中野 編(1989):ニューロコンピュータ、技術評論社、2) 山上拓男, 細野和博, 時谷正憲:ニューラルネットワークによる不飽和強度定数 c' 、 ϕ' 、 ϕ^0 の逆解析、平成7年度地盤工学会四国支部発表論文集pp41, 42

表-1 学習データ

No.	入力データ				教師信号		
	X	Y	R	F	c'	ϕ'	ϕ^0
1	3.67	17.60	15.63	0.20	0.10	6	5
2	6.68	12.07	10.17	0.43		16	13
3	-2.96	20.79	28.88	0.53			5
4	3.30	18.28	16.34	0.71			13
5	5.25	14.70	12.67	0.87		26	21
6	-10.35	43.37	44.11	0.79			5
7	0.21	23.96	22.45	0.98			13
8	3.14	18.58	16.65	1.17		36	21
9	-20.00	61.11	64.16	1.09			5
10	-3.35	30.51	29.68	1.30			13
11	0.86	22.77	21.15	1.50	0.30	6	5
12	4.17	16.68	14.68	0.36		16	13
13	6.56	12.29	10.37	0.50			5
14	-1.03	26.24	24.96	0.61			13
15	3.57	17.79	15.82	0.78		26	21
16	5.20	14.62	12.59	0.94			5
17	-6.08	36.63	36.52	0.87			13
18	0.79	22.90	21.29	1.06		36	21
19	3.32	18.25	16.30	1.24			5
20	-13.77	49.06	51.20	1.17			13
21	-2.30	28.74	27.72	1.37	0.50	6	5
22	1.19	22.16	20.40	1.57		16	13
23	4.50	16.08	14.05	0.43			5
24	6.47	12.46	10.52	0.57			13
25	0.21	23.96	22.45	0.68		26	21
26	3.80	17.36	15.38	0.85			5
27	5.33	14.55	12.52	1.01			13
28	-4.37	32.38	31.77	0.95		36	21
29	1.26	22.03	20.35	1.13			5
30	3.48	17.95	15.99	1.31			13
31	-10.01	42.75	43.41	1.25	0.10	6	5
32	-1.62	27.33	26.15	1.45		16	13
33	1.48	21.63	19.92	1.65			21