

のり面崩壊形状からの地盤強度定数の逆解析

(株)第一コンサルタンツ 国際会員 右城 猛
 正会員 矢野 光明
 ○正会員 山岡 幸弘

1. まえがき

高知県は、昨年9月24日から25日にかけて、秋雨前線の影響により記録的豪雨にみまわれ、各地で土砂災害が発生した。災害後ののり面の崩壊形状からC、φを逆解析で求める方法を開発し、実際の崩壊斜面に適用したところ極めて妥当な結果が得られた。

本論文では、逆解析の方法と適用事例について報告する。

2. せん断強度定数の逆解析

図-1に示すような地盤モデルにおいて、すべり面に沿った斜面崩壊が発生したとする。

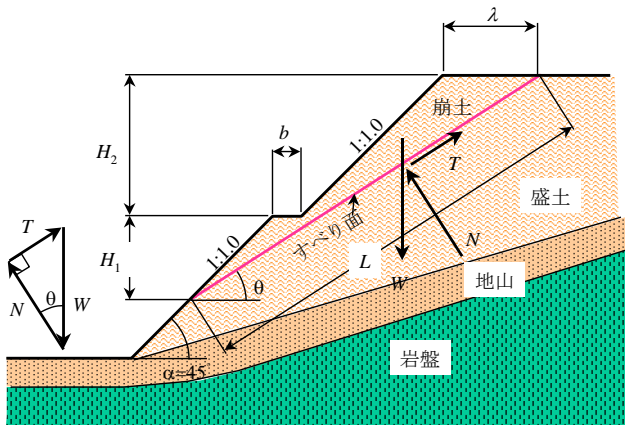


図-1 地盤モデル

盛土のり面とすべり面によって形成されるすべり土塊が、崩壊直前に受けていた力は以下の式で表すことができる。

土塊によるすべり力 $T = W \sin \theta$ (1)

土塊による垂直抗力 $N = W \cos \theta$ (2)

すべり抵抗力 $S = N \tan \phi + c \cdot L$ (3)

式(2), (3)より、すべりに対する安全率は、式(4)で表される。

$$F_s = \frac{S}{T} = \frac{W \cos \theta \tan \phi + c \cdot L}{W \sin \theta} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$$L = \frac{H_1 + H_2}{\sin \theta} \dots\dots\dots (5)$$

$$W = \gamma \left\{ \frac{1}{2} (H_1 + H_2)^2 \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) - b \cdot H_2 \right\} \dots\dots\dots (6)$$

すべり面が発生するのは、最も安全率が小さくなる面であるので、式(7)の条件式をたてることができる。

$$\frac{d}{d\theta} F_s = 0 \dots\dots\dots (7)$$

また、式(7)で求められた安全率 $F_{s \min}$ は、式(8)の条件を満たす必要がある。この条件を満たさないと土塊は破壊しないからである。

$$0.98 \leq F_s \min \leq 1.00 \dots\dots\dots (8)$$

さらに、任意のせん断強度定数 ϕ , c の下で求められた $F_{s \min}$ を与えるすべり面の角度 θ は、

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\frac{1}{\tan \alpha} + \frac{b + \lambda}{H_1 + H_2}} \right) \text{ (deg)}$$

の近傍に存在する必要がある。すなわち、式(9)の条件を満たす必要がある。

$$\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$$

$$\lambda = (H_1 + H_2) \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) - b \dots\dots\dots (9)$$

c , ϕ を力学的に矛盾なく逆算する手順を示せば、図-2のようになる。

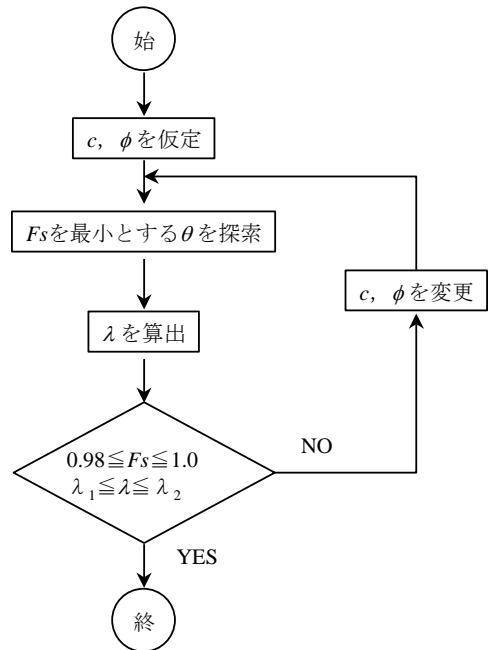


図-2 c, φ逆解析の手順

3. 適用事例

現場ののり面破壊形状は、図-3に示すとおりである。すべり面は、盛土肩の2.8m後方と小段の3.0m下方を結ぶ直線である。

盛土の単位体積重量 $\gamma = 18\text{kN/m}^3$ とした。

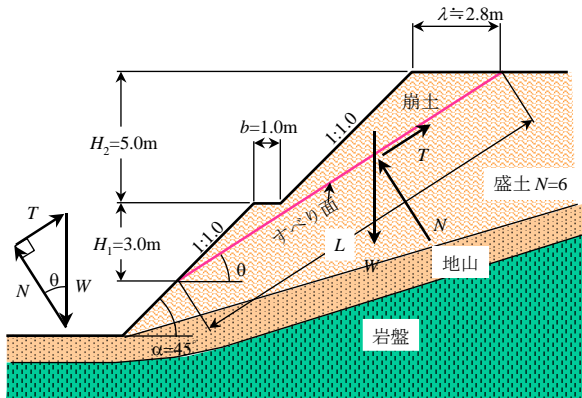


図-3 のり面破壊形状

逆解析の結果、表-1に示すように当斜面の崩壊時におけるせん断強度定数は、

せん断抵抗角 $\phi = 27\text{deg}$

粘着力 $c = 1.7\text{ kN/m}^2$

と推定することができる。

崩壊地点の盛土は、礫混じり砂質粘土であり、標準貫入試験による N 値は 5 程度である。 N 値から経験式で盛土のせん断強度定数を推定すれば、

せん断抵抗角 (Dunhan 式)

$$\phi = 20 + \sqrt{12N} = 20 + \sqrt{12 \times 5} = 27.7 \approx 27\text{ deg}$$

粘着力 (Terzaghi 式)

$$c = 6N = 6 \times 5 = 30\text{ kN/m}^2$$

となる。

せん断抵抗角は逆算値とほぼ一致するが、粘着力は逆算値の約 18 倍も大きな値が与えられる。

ちなみに、 N 値から推定される c 、 ϕ を用いて盛土のすべりに対する安全率を計算すれば、以下のようになる。

$$\theta = 24.6\text{deg}, L = 19.2\text{m}$$

$$W = 590.6\text{kN/m}, F_s = 3.45$$

崩壊したのり面は、通常の状態では $F_s=3$ 程度の安全率を有していたが、豪雨によって盛土が飽和し、粘着力が低下 (ほとんど消失) し、その結果崩壊に至ったものと判断される。

4. まとめ

盛土のせん断強度定数 c 、 ϕ の逆解析は、災害後ののり面の崩壊形状を判断条件として取り込むことによって、極めて妥当な値を簡単に算出することが可能である。

表-1 c 、 ϕ の逆解析結果

ϕ (deg)	c (kN/m ²)	F_s	λ (m)	L (m)	W (kN/m)	θ (deg)
25	1.00	0.821	2.33	13.87	149.75	35.23
25	1.25	0.859	2.57	14.06	166.82	34.67
25	1.50	0.895	2.78	14.24	182.09	34.18
25	1.75	0.929	2.97	14.40	195.99	33.75
25	2.00	0.962	3.15	14.55	208.78	33.36
25	2.25	0.993	3.31	14.69	220.67	33.01
25	2.50	1.023	3.47	14.82	231.80	32.68
25	2.75	1.052	3.61	14.94	242.28	32.38
25	3.00	1.080	3.75	15.05	252.18	32.10
26	1.00	0.851	2.28	13.83	146.52	35.33
26	1.25	0.890	2.52	14.02	163.25	34.78
26	1.50	0.927	2.73	14.19	178.22	34.31
26	1.75	0.961	2.91	14.35	191.84	33.88
26	2.00	0.994	3.09	14.50	204.40	33.50
26	2.25	1.026	3.25	14.63	216.07	33.14
26	2.50	1.056	3.40	14.76	227.00	32.82
26	2.75	1.086	3.55	14.88	237.29	32.52
26	3.00	1.114	3.68	14.99	247.03	32.25
27	1.00	0.882	2.24	13.80	143.43	35.44
27	1.25	0.922	2.47	13.98	159.84	34.89
27	1.50	0.959	2.67	14.15	174.52	34.42
27	1.75	0.994	2.86	14.31	187.89	34.00
27	2.00	1.027	3.03	14.45	200.21	33.62
27	2.25	1.059	3.19	14.58	211.67	33.28
27	2.50	1.090	3.34	14.71	222.41	32.96
27	2.75	1.120	3.48	14.82	232.52	32.66
27	3.00	1.149	3.61	14.94	242.10	32.39
28	1.00	0.913	2.20	13.76	140.49	35.53
28	1.25	0.953	2.42	13.95	156.57	35.00
28	1.50	0.991	2.62	14.11	170.98	34.54
28	1.75	1.026	2.81	14.26	184.10	34.12
28	2.00	1.060	2.97	14.40	196.20	33.75
28	2.25	1.093	3.13	14.53	207.46	33.40
28	2.50	1.124	3.28	14.65	218.01	33.09
28	2.75	1.154	3.42	14.77	227.95	32.79
28	3.00	1.184	3.55	14.88	237.37	32.52
29	1.00	0.945	2.16	13.73	137.67	35.63
29	1.25	0.986	2.38	13.91	153.45	35.10
29	1.50	1.024	2.58	14.07	167.59	34.64
29	1.75	1.060	2.76	14.22	180.47	34.23
29	2.00	1.094	2.92	14.36	192.35	33.86
29	2.25	1.127	3.08	14.48	203.42	33.53
29	2.50	1.158	3.22	14.61	213.79	33.21
29	2.75	1.189	3.36	14.72	223.56	32.92
29	3.00	1.219	3.48	14.83	232.82	32.65
30	1.00	0.977	2.12	13.70	134.96	35.72
30	1.25	1.018	2.34	13.88	150.45	35.20
30	1.50	1.057	2.53	14.04	164.33	34.75
30	1.75	1.093	2.71	14.18	176.98	34.34
30	2.00	1.128	2.87	14.31	188.66	33.98
30	2.25	1.161	3.02	14.44	199.53	33.64
30	2.50	1.194	3.16	14.56	209.72	33.33
30	2.75	1.225	3.30	14.67	219.34	33.05
30	3.00	1.255	3.42	14.78	228.45	32.78

参考文献

- 1)道路土工, のり面工・斜面安定工指針, 平成 11 年 3 月 社団法人日本道路協会
- 2)中継ポンプ所背面法面地質調査及び設計委託業務報告書, 平成 11 月 3 月 高知市水道局

