

ベーンコーンせん断試験による斜面表層の安定度評価の試み

(株) 愛媛建設コンサルタント ○大嶋 正太
吉岡 崇

1. はじめに

急傾斜地崩壊危険箇所において、原位置試験（ベーンコーンせん断試験）により強度定数 c 、 ϕ を求め、力学計算で斜面表層の安定度を評価する試みについて紹介する。

2. 急傾斜地における斜面危険度判定

自然斜面や切土斜面の安定性の検討は、現地精査や地盤調査結果をもとに、従来の経験を踏まえて現場技術者の判断で行われることが多い。

急傾斜地の斜面危険度判定では、上記の定性的な手法に加え、点数法による危険度判定表やファジイ理論を用いた方法が紹介されている¹⁾。

力学計算による斜面安定解析の手法としては、すべり面に沿う応力のつり合いを検討する極限平衡法によるすべり面安定解析と歪と応力の関係から安定性を詳細に検討する有限要素法解析がある。

力学計算による斜面安定解析では、対象となる土層の物性値が必要不可欠であり、現地計測や室内試験で適切な値を求めることが課題となる。斜面の表層を構成する土層の不均一性を考慮すれば、可能な限り多くのデータを収集しバラツキを考慮した設計を行うことが望ましい。しかし、最近まで簡便に強度定数を取得できる方法がなく、力学計算による安定度評価のネックとなっていた。

3. ベーンコーンせん断試験

ベーンコーンせん断試験は土層強度検査棒を用いて行う原位置せん断試験方法である²⁾。

土層強度検査棒（以下土検棒という）とは、土木研究所が開発した斜面の表層土の調査器具である。土検棒では、先端コーン付きの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより土層強度や土層深を簡易に測定する試験（土検棒貫入試験）とともに、羽根つきコーン（ベーンコーン）に交換して、所定の深度でロッドの押し込み力

と土層のせん断に必要なベーンコーンの回転トルクを複数の荷重条件で測定することにより原位置での内部摩擦角と粘着力を測定する試験（ベーンコーンせん断試験）を行う機器である。

4. ベーンコーンせん断試験による c 、 ϕ の設定

某急傾斜地においてベーンコーンせん断試験を実施した事例を紹介する。

試験深度は0.7m～2.1m、簡易貫入試験の $N_d \leq 10$ 相当の深度で22箇所、 $10 < N_d \leq 20$ 相当の深度で7箇所、 $20 < N_d \leq 50$ 相当の深度で1箇所実施し、地区全体で30の試験データを取得した。

(1) c 、 ϕ 算出の換算式

ベーンコーンせん断試験の c 、 ϕ 算出用の換算式には土木研究所から佐々木2010の換算式²⁾と矢島ほか2019³⁾の2つの方法がある。

$$c = 15.0 \times T_{VCO} \quad \tan\phi = 62.5 \times (\Delta T_{vc} / \Delta W_{vc}) \dots \dots \dots \text{佐々木 2010}$$

$$c = 20.3 \times T_{VCO} \quad \tan\phi = 25.6 \times (\Delta T_{vc} / \Delta W_{vc}) \dots \dots \dots \text{矢島ほか 2019}$$

$\Delta T_{vc} / \Delta W_{vc}$ は、横軸に鉛直荷重縦軸に回転トルクをとったときの
回帰直線の傾き T_{VCO} は、回帰直線の y 切片

今回の試験結果を上記2つの換算式に当てはめてみると、佐々木2010では、 $\tan\phi$ が1を超えるもの（ ϕ 45度）が30点中5点で見られており、 ϕ が過大に評価されている傾向が見られた。したがって、今回の試験結果の整理としては、矢島2019の換算式による c 、 ϕ を採用した。

(2) データの傾向

図-1に示す $\tan\phi$ と粘着力の散布図は、全体に大きくばらついている。これは試験対象の地盤の不均質性に起因するものと考えられる。つまり、同一地点でも深度が異なれば、粒度構成やしまり具合、含水状態が異なることや、試験に影響を与える礫の有無、植物の根茎などが試験結果に影響しているものと考えられる。

特に試験中に礫当たりを検知したものは ϕ が極端に大きな値をとっているものがある。また、試験深度に地下水が存在すると、試験中にベーンコーンの回転で泥濁化し、上載荷重を増加させても強度が増加しないために ϕ が極端に小さくなる傾向が見られた。

上記のような特異値を除外すれば、試験データは c が $5\text{kN/m}^2 \sim 20\text{kN/m}^2$ 、 $\tan\phi$ が $0.2 \sim 0.4$ （ $\phi = 11.3 \text{度} \sim 21.8 \text{度}$ ）の範囲に概ね収まっている。



写真-1 試験器具

表-1 ベーンコーンせん断試験結果一覧表

番号	深度	class	R ² 値	相関式(矢島ほか, 2019)による			経験式(佐々木, 2010)による		
				粘着力c(kN/m ²)	内部摩擦角φ(°)	tanφ	粘着力c ₀ (kN/m ²)	内部摩擦角φ ₀ (°)	tanφ ₀
K35	1.00	Nd≤10	0.9426	13.3	11.0	0.194	9.8	25.4	0.475
	1.10	Nd≤10	0.9351	1.1	18.5	0.335	0.8	39.3	0.81875
	1.20	Nd≤10	0.9858	4.3	18.5	0.335	3.2	39.3	0.81875
	1.90	10<Nd≤20	0.9932	0.7	13.4	0.238	0.5	30.2	0.58125
	2.00	10<Nd≤20	0.9796	9.4	25.1	0.468	7.0	48.8	1.14375
	2.10	10<Nd≤20	0.9782	19.9	23.3	0.431	14.7	46.4	1.05
K39	0.80	Nd≤10	0.9134	9.4	18.5	0.335	7.0	39.3	0.81875
	0.90	Nd≤10	0.9444	8.9	25.2	0.471	6.6	49.0	1.15
K46	1.15	Nd≤10	0.9817	5.5	12.7	0.225	4.0	28.8	0.55
	1.25	10<Nd≤20	0.9709	14.0	18.0	0.325	10.3	38.4	0.79375
	2.00	20<Nd≤50	0.9851	14.6	16.5	0.296	10.8	35.9	0.725
K47	0.80	Nd≤10	0.9141	7.0	16.4	0.294	5.2	35.7	0.71875
	1.00	Nd≤10	0.9891	6.2	13.1	0.233	4.6	29.6	0.58875
	2.40	Nd≤10	0.9617	5.9	19.8	0.360	4.4	41.4	0.88125
K51	0.80	Nd≤10	0.9373	18.0	11.6	0.205	13.3	26.6	0.5
	0.90	Nd≤10	0.9238	23.8	8.9	0.157	17.6	20.9	0.38125
	1.40	10<Nd≤20	0.9632	12.4	12.7	0.225	9.1	28.8	0.55
	1.50	10<Nd≤20	0.9966	5.4	13.0	0.231	4.0	29.4	0.5625
K59	1.20	Nd≤10	0.9435	7.8	20.5	0.374	5.8	42.4	0.9125
	1.30	Nd≤10	0.9146	13.7	26.2	0.492	10.2	50.2	1.2
	1.50	Nd≤10	0.8889	11.9	5.8	0.102	8.8	14.0	0.25
K61	0.80	Nd≤10	0.6962	21.2	14.5	0.259	15.6	32.3	0.63125
	0.90	Nd≤10	0.9592	13.0	14.8	0.264	9.6	32.8	0.64375
K64	1.00	Nd≤10	0.9635	8.9	14.1	0.251	6.5	31.5	0.6125
	0.80	10<Nd≤20	0.2699	26.4	9.0	0.158	19.5	21.2	0.3875
K68	0.70	Nd≤10	0.9721	29.1	19.8	0.360	21.5	41.4	0.88125
	0.80	Nd≤10	0.9626	14.6	35.3	0.708	10.8	60.0	1.73125
	0.90	Nd≤10	0.9848	15.4	13.5	0.240	11.4	30.4	0.5875
K75	1.00	Nd≤10	0.9709	7.6	19.3	0.350	5.6	40.6	0.85625
	1.10	Nd≤10	0.9124	8.8	16.5	0.296	6.5	35.9	0.725

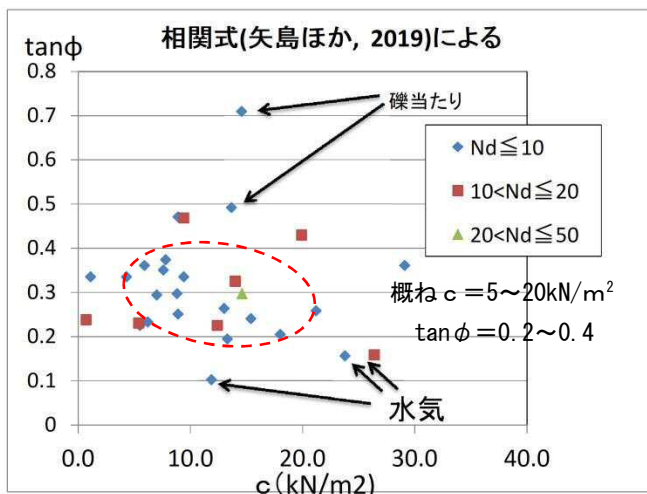


図-1 矢島他2019の換算式による c, tanφ の分布

5. すべり面安定解析による斜面安定度評価

(1) 対象断面

表土・不安定土塊が比較的厚く、斜面勾配も急であり、地表踏査によって不安定と判断された斜面について試算した。

(2) 方法

①ベーンコーンせん断試験とボーリング結果から設定した土質定数 ($\gamma_t = 17\text{kN/m}^3$, $c = 7.3\text{kN/m}^2$, $\phi = 17.5^\circ$) を与え、繰り返し円弧すべり計算 (フェレニウス法) により安全率が最小となる円弧すべりの形状を検索する。なお、今回の検討では地下水位は

考慮していない。

②上記①で求めた円弧すべりに対して、掘削時の安全率及び必要抑止力を算出する。

(3) 解析結果

①繰り返し円弧すべり計算により求まる最小安全率円弧は、長さ12.26m、最大深さ1.5m、平均傾斜角度41.39度、安全率 $F_s = 1.03$ 、計画安全率1.20に対する必要抑止力23.4kN/m (最大抑止力) が得られた。

②掘削時の安全率は、 $F_s = 0.93$ で、仮設時の目標安全率を1.10とした場合の必要抑止力として、20.4kN/m が得られた。

5. 考察

現況斜面における最小安全率円弧の安全率は、わずかに1.0を超える程度である。現況斜面は、不安定な形状を示しているが、崩壊に至っていないことから、現況斜面の状況と安全率は矛盾しないため、解析に使用した土質定数の値は妥当と判断する。

このことは、原位置せん断試験の一種であるベーンコーンせん断試験により求めた c , ϕ が急傾斜地の表層崩壊を対象としたときの斜面安定度の指標となる可能性を示唆している。今後、事例を蓄積し妥当性を検証する必要がある。

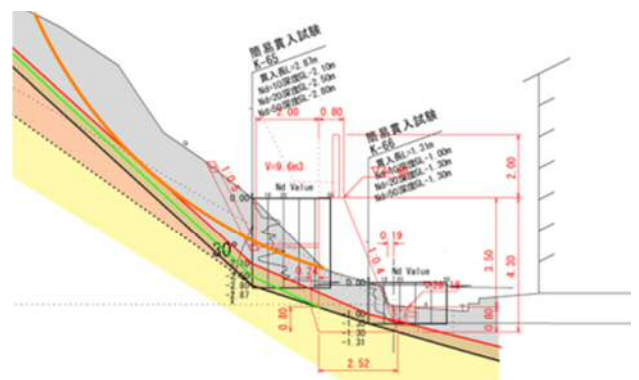


図-2 解析対象斜面

《参考文献》

- (一社) 全国治水砂防協会: 新斜面崩壊防止工事の設計と実例-急傾斜地崩壊防止工事技術指針-本編, pp28-33, 2019.
- 佐々木靖人: 土層強度検査棒による斜面土層調査マニュアル(案), 土木研究所資料第4176号, 2010.
- 矢島ほか: 土層強度検査棒による地盤のせん断強度評価に関する考察, 日本応用地質学会令和元年度研究発表会講演論文集 pp.239-240, 2019.