

廃棄物堆積現場の斜面安定性評価法と低コスト対策事例

公益財団法人産業廃棄物処理事業振興財団 ○山脇 敦
長野県短期大学生生活科学科 土居洋一

1. はじめに

産業廃棄物の不法投棄等の廃棄物堆積現場は、大小重軽の多様な組成により生じる大きな摩擦抵抗や、プラスチック等の繊維状物等により生じる引張抵抗によって、高い斜面安定性を有する。一方で、斜面安定性の評価にあたっては廃棄物のサイズが土粒子に比べ遙かに大きく室内試験による評価が容易でないことから、現場で簡易に安定勾配を調べることができる安息角試験と簡易解析法を考案した。安息角試験法、簡易解析法の内容と、斜面崩壊が危惧された静岡県内の現場に適用して低コストで斜面安定対策を実施した事例を紹介する。

2. 試験・解析法

(1) 廃棄物堆積現場の斜面崩壊状況

国内 21 の斜面崩壊が危惧された不法投棄等現場の過去の崩壊（表層崩壊、くずれを含む）状況を見ると（表 1）、平地上の堆積現場では崩壊が確認されたのは 1 件（90°の直壁の厚さ 1m のくずれ）のみであるのに対し、傾斜地上の堆積現場では廃棄物の種類に関係なく半数で大規模崩壊を含めて何らかの崩壊を起こしている。

(2) 廃棄物層に働くせん断抵抗

平地での堆積廃棄物の崩壊が少ない要因として、図 1 に示すように、仮想すべり面にプラスチック等の繊維状物等による引張抵抗が働くことと、大小重軽の多様な組成によりすべり面に大きな摩擦抵抗（内部摩擦角： ϕ ）が働くことがあげられる。また、廃棄物層では粘着力（ c ）は斜面安定計算では無視できる程小さい。（表 2 参照）

(3) 堆積廃棄物の特性を踏まえた現場試験法

斜面安定性を評価するためのせん断抵抗を調べるための試験は、すべりの方向を考えると図 1 に示す一面せん断試験と引張試験により評価するのが良い。しかし、廃棄物は土粒子に比べ個々のサイズが大きいことから室内で理想的な試験を行うためには、1m~3m 規模のせん断箱や引張箱が必要になり高額な試験費を要する。このため、廃棄物層の粘着力が小さい特性を踏まえた簡易な試験法として、粘着力の無い粉体の評価に用いられる安息角試験の現場での適用性についての研究を進めた²⁾。その結果、表 2 のとおり、6 現場で実施した安息角試験による停止安息角（後述）は、現場一面せん断試験³⁾による内部摩擦角（ ϕ ）とほぼ同じ値が得られた。

(4) 安息角試験法

現場での安息角試験の方法は次のとおり。

- ① バックホウのバケットにより廃棄物を撒きこぼし、山を形成する。撒きこぼす際には、廃棄物の落下高さを同一（1.0~2.0m 程度）とし、廃棄物を常に山

表 1 国内 21 現場の過去の崩壊状況

廃棄物の形状・種類	原地形別の斜面崩壊が危惧された現場数* []内:崩壊数**		
	平地	傾斜地	計
1) 大型がれき、角材等の粗大物主体	1 [0]	2 [1]	3 [1]
2) 繊維状物等（概ね 10cm 以上）混入多	9 [1]	3 [1]	12 [2]
3) 細粒分主体（プラ、繊維分あり）	4 [0]	0 [0]	4 [0]
4) 土砂分、がれき主体（プラ等ほぼ無し）	1 [0]	1 [1]	2 [1]
計	15 [1]	6 [3]	21 [4]

* 現場数：支障除去事業及び既往研究¹⁾の調査・実験で把握した事案の数。

** 崩壊数：過去に崩壊、くずれが発生した事案数

一面せん断試験により ϕ 、 c を計測

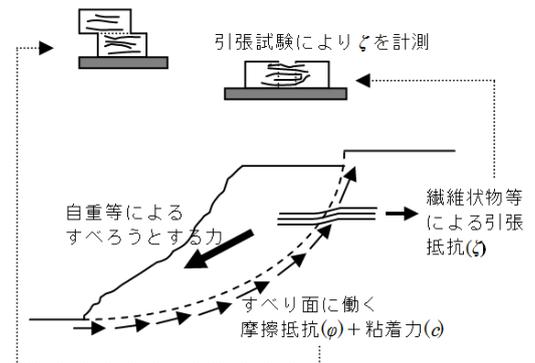


図 1 繊維状物等を含む現場の斜面モデル

表 2 不法投棄等現場における現場一面せん断試験による内部摩擦角（ ϕ ）等と停止安息角

場所	廃棄物組成 (): 重量比 (%) γ : 比重 (g/cm^3)	現場の廃棄物 斜面勾配 (°)	現場一面せん断試験		安息角試験
			ϕ (°)	c (kN/m^2)	停止安息角 (°)
不法投棄等現場 (6箇所)の値	プラスチック(0~16%) $\gamma=0.9\sim 1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$	30~60	45~51	3~5, 11*	36~52

注 1) 本表は参考文献¹⁾をもとに作成。

注 2) *: 細粒分主体(土砂が主)の現場の値

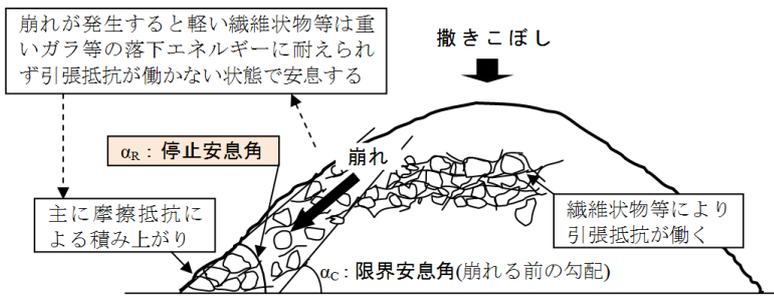


図2 安息角試験の概念図

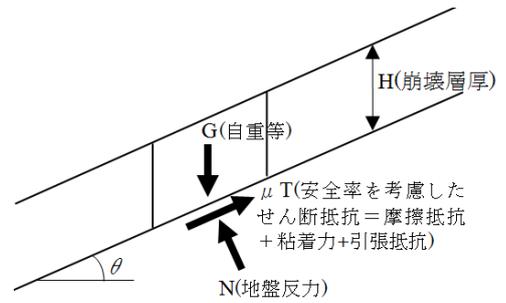


図3 無限長斜面法概念図

の頂上から同程度距離を持った高さから垂直に、かつ塊で落下しないよう出来るだけゆっくり落下させる。

- ② 山を形成した後、形成された廃棄物の法面勾配をスランートルールで角度を計測する。法面勾配は、バケットの向きに関係するため、四方向を計測する。
- ③ この際、形成された山の高さをメジャーにて計測する。
- ④ 上記①～③の作業を、バックホウ 0.4m³クラスの場合でバケット 6～7 杯程度まで実施する。

(5) 安息角試験の概念と簡易解析法

安息角には限界安息角(αc)と停止安息角(αR)があり(図2)、限界安息角は斜面が静止することが可能な最大の斜面勾配を、停止安息角はこの限界安息角を越え斜面が一旦崩れてその崩れが停止し安定状態を保っている時の斜面勾配を言う。したがって、平地上の堆積では、斜面勾配が停止安息角を下回っていれば、斜面は安定すると考えることができる。

図3の無限長斜面法⁴⁾で引張抵抗を考慮し粘着力を無視すると、斜面の安全率は(1)式で表される¹⁾。

$$F_s = \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} + \frac{\tan \zeta \cdot \sin(1.5\theta)}{\sin \theta \cdot \cos \theta} \quad \dots \dots \dots (1) \text{式}$$

ここに、Fs: 斜面の安全率 φ: 内部摩擦角 ζ: 引張抵抗角 θ: 斜面及びすべり面の勾配

表2で停止安息角が一面せん断試験のφとほぼ同じ値であることと、図2の概念図から、(1)式の右辺第1項は停止安息角(αR)と斜面勾配(θ)との正接比を、右辺第2項は引張抵抗による安全率(Fs)の増分とみることができる。このとき、限界安息角(αc)で斜面がバランスしているとし、(1)式で、φ=αR、θ=αc、Fs=1 とおけば引張抵抗角(ζ)を計算できる。

3. 低コスト対策事例

(1) 現場の概要

写真1と図4の概略断面図に示すように建設解体廃棄物(がれきが主で繊維状物等は少ない)が台形上に約4千m³投棄され、枯れ沢への廃棄物崩落が危惧された静岡県内の現場。平地上での堆積であるため、安息角試験による斜面安定性評価を行った。

(2) 安息角試験結果と考察

安息角試験による廃棄物の数量と測定された安息角の関係を図5に示す。表3の安息角試験結果一覧は、図5で杯数が少ない時のばらつきの大きい状態を経て、角度が安定してきた時の上側の勾配を限界安息角、下側を停止安息角として整理したものであり、限界安息角は42～44°、停止安息角は36～40°となった。試験結果にある程度の広がりがあるのは、試験に用いた現場の廃棄物の不均一性によるものと考えられる。廃棄物組成や廃棄物中の水分量等のデータが乏しいこともあり、安全側をみて、停止安息角の下限値(36°)を安定勾配と考えた。また、勾配38°の斜面の法肩にバックホーバケットにより載荷して崩れが発生しなかった(写真4)ことから、上述の安定勾配の妥当性が確認できた。

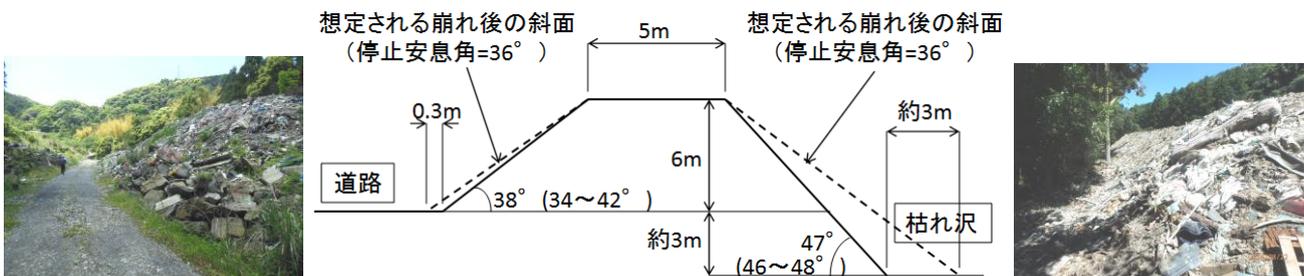


写真1 現場状況

図4 現場概略断面図と想定された崩れの範囲

写真2 対策後(枯れ沢側)

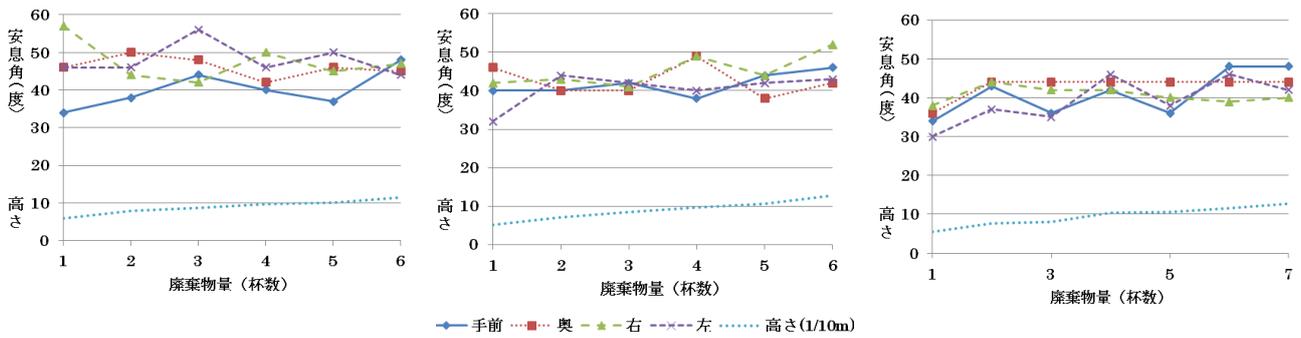


図5 安息角試験結果（左から1箇所目、2箇所目、3箇所目）

表3 安息角試験結果のまとめ

場所	限界安息角	停止安息角
	α_C (°)	α_R (°)
1箇所目	44	40
2箇所目	42	38
3箇所目	43	36



写真3 安息角試験(2箇所目) 写真4 法肩(勾配38°)への載荷

(3) 簡易解析結果と考察

(1)式で $\varphi = \alpha_R = 36^\circ$ 、 $\theta = \alpha_C = 43^\circ$ 、 $F_s = 1$ とおけば、当該現場の引張抵抗角は $\zeta = 7^\circ$ となる。さらに、(1)式で斜面勾配 $\theta = 36^\circ$ のとき、この引張抵抗を考慮した安全率は $F_s = 1.21$ となり、斜面を $\theta = 36^\circ$ にすることで既往基準等による安全率の必要値1.2を上回り、斜面安定が得られる結果となる。

(4) 対策の実施

安息角試験結果等をもとに、静岡県の要請により、静岡県産業廃棄物協会伊豆支部が斜面勾配を 36° 以下とする暫定対策工事を行った(写真2:県では暫定対策実施後も行為者に全量撤去を求めている)。なお、カットされた廃棄物は現場内の堆積高の低い場所等へ埋め戻し、場外搬出は行われていない。このため、県負担は安息角試験時の重機借用費のみの低コスト暫定対策となった。

4. まとめ

これまで廃棄物斜面の安定性評価法が確立されていなかったことから、本事案のような小規模不法投棄等事案であっても、三軸圧縮試験や円弧すべり解析等が実施され、対策も盛土地盤にならって1:2勾配(27°)以下に整形されることがほとんどで、多額の費用が投じられてきた。平地上の堆積事案であれば、本稿に示した安息角試験等による簡易な評価や、停止安息角での斜面安定対策が可能であり、今後、予算不足等により未対応な類似事案での斜面安定評価・対策が進むことを期待している。

謝辞

- ・当該現場の斜面安定性評価について、支援の依頼をされ、実験実施に便宜を図って頂いた静岡県環境局廃棄物リサイクル課に謝意を表す。
- ・本研究は平成26年度「環境研究総合推進費補助金研究事業補助金」(研究代表者:山脇敦、課題番号3K133011)の支援を受けて行われた。

参考文献

- 1) 山脇敦(研究代表者):平成24年度環境研究総合推進費補助金研究事業総合報告書 不法投棄等現場の堆積廃棄物の斜面安定性評価(K2402,K2304,K22033, pp.1-70, 2013年3月)
- 2) 土居洋一、山脇敦、川寄幹生:不法投棄等現場の廃棄物を用いた安息角試験による簡易法面安定評価手法, 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp.553-554, 2012年10月
- 3) 大嶺聖、山脇敦、川寄幹生、宮本慎太郎、安福規之:国内の不法投棄等廃棄物の一面せん断試験によるせん断強度特性, 廃棄物資源循環学会第22回研究発表会講演論文集, pp.481-482, 2011年11月
- 4) 社団法人地盤工学会:斜面の安定・変形解析入門, pp.25-27, 2006年8月