

## D4-6

## 不法投棄等現場の堆積廃棄物層で留意すべき斜面崩壊に関する研究

○ (正) 山脇敦<sup>1)</sup>、(フェロー) 島岡隆行<sup>2)</sup>、(正) 大嶺聖<sup>3)</sup>、(正) 勝見武<sup>4)</sup>、(正) 川寄幹生<sup>5)</sup>、  
(正) 土居洋一<sup>6)</sup>、柴暁利<sup>7)</sup>、(正) 川井晴至<sup>8)</sup>、坂口伸也<sup>9)</sup>、小原孝之<sup>9)</sup>

<sup>1)</sup>産業廃棄物処理事業振興財団、<sup>2)</sup>九州大学大学院工学研究院、<sup>3)</sup>長崎大学大学院工学研究科、<sup>4)</sup>京都大学大学院地球環境学、<sup>5)</sup>埼玉県環境科学国際センター、<sup>6)</sup>長野県短期大学生活科学科、<sup>7)</sup>同済大学環境科学と工程学院、<sup>8)</sup>九州大学東アジア環境研究機構、<sup>9)</sup>前田建設工業株式会社

## 1. はじめに

産業廃棄物の不法投棄等現場では、不法投棄等の行為者により急勾配に盛り立てられることが多く、斜面崩壊のおそれを指摘されることが少なくない。しかし、国内の不法投棄等現場で実際に大規模な斜面崩壊を確認しているのは、傾斜地上の投棄事案で大雨後に斜面上を廃棄物層が一体的にすべり落ちた事例 1 件のみである。このような中で本研究は、国内 21 の斜面崩壊のおそれが指摘された現場の状況調査、国内外での崩壊事例調査、現場での大規模な載荷・崩壊実験等により、わが国の不法投棄等現場で留意する必要がある斜面崩壊パターンについて研究したものである。

## 2. 斜面安定性評価のための現場分類と崩壊等の状況

不法投棄廃棄物等の施設経路別の物性（直送物、一次処理物、選別残渣等）と繊維状物等の有無による強度特性の違いから、表 1 のとおりに廃棄物の形状・種類別に現場を分類した。斜面崩壊が生じた現場数は平地での投棄事案では直壁（勾配 90°）での表面くずれの 1 例のみであるが、傾斜地上の投棄事案では廃棄物の種類に関係なく半数で表層崩壊等が生じている。なお、繊維状物等を含む廃棄物堆積現場での地震による斜面崩壊は国内外で 1 件も確認していない。

## 3. 現場での大規模な載荷・崩壊実験

廃棄物斜面の安定性を把握するための大規模な載荷実験の実施は国内では難しいことから、中国・上海市廃棄物老港処理場において、国内の不法投棄等現場と廃棄物性状が似た区画（重量比でプラスチック類の混入率 16%、含水比 42%）で載荷実験を行った。強度定数に  $c$ （粘着力）、 $\phi$ （内部摩擦角）を用いる通常の土地盤の斜面安定性評価法（円弧すべり解析）で安全率が 0.56 となる崩壊が予測された斜面（写真 1：高さ 9m、斜面勾配 63°、載荷重 8.6kN/m<sup>2</sup>）を構築し、なおかつ両側面及び背面に切り込みを入れ、背後から 10m<sup>3</sup>の注水、さらにバックホウ・バケットにより力を掛けたが、崩壊はもとより、変位すら生じなかった。土地盤用の既往円弧すべり解析では廃棄物層の強靱な斜面安定性を評価できないことが確認された（表 2 中、上海（載荷実験）左列）。

次に、廃棄物層内での崩壊現象を確認するために、国内不法投棄等現場で写真 2 に示すとおりに、天端から約 0.8m を残しその下をバックホウで矩形トンネル状にゆっくり掘削した。その結果、約 0.9m 掘り進んだところで急激な変位が生じ崩壊した。このとき廃棄物層の崩壊部に働いた引張応力は 34 kN/m<sup>2</sup> で、室内での引張試験<sup>1)</sup>で堆積厚 5m 相当の垂直荷重で得られた引張応力を上回った。崩壊は、通常の土のように鉛直方向ではなく、40°の角度で流れ落ちるように崩壊した。これは繊維状物等の引張抵抗に起因していると考えられ、繊維状物等を有する廃棄物層の崩壊は、すべり面が引張抵抗の働きにくい水平方向（＝繊維の主方向）に近く、比較的緩い勾配で生じやすいことが示唆された。

## 4. 引張抵抗を考慮した斜面安定解析

廃棄物層の斜面安定性評価には特有の引張抵抗を考慮する必要がある。Koelsch（ケルシュ）<sup>2)</sup>は引張抵抗を考慮した(1)式を提示している。また、本研究でも、わが国の繊維状物混入現場では粘着力が小さいことを踏まえた易評価式(2)式を提案した<sup>1)</sup>。表 2 に(1)式、(2)式による斜面安定計算結果を、図 1 に(1)式で最小安全率をとったすべり面を示す。上海現場の安全率はほぼ 1 となり、引張抵抗を考慮することにより、載荷実験の結果が説明できるようになる。また、図 1 右図の勾配 45°、高さ 20m（5m 毎に幅 1m の小段設置）の斜

表 1 不法投棄等の廃棄物分類と崩壊現場数

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 <sup>注1)</sup>		
	[ ]内:崩壊数 <sup>注2)</sup>		
	平地	傾斜地	計
1) 大型がれき、角材等の粗大物主体	1	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	4
4) 土砂分、がれき主体（プラ等ほぼ無し）	1	1 [1]	2 [1]
計	15 [1]	6 [3]	21 [4]

注 1) 現場数：支障除去事業及び本研究の調査・実験で把握した事案の数。

注 2) 崩壊数：過去に崩壊、くずれが発生した事案数



写真 1 載荷実験（上海）（既往計算法で安全率=0.56 だが斜面は安定）  
写真 2 崩壊実験（中部①）（下側のトンネル状掘削で 40°の勾配で崩壊）

【連絡先】〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町 2-6-1 公益財団法人 産業廃棄物処理事業振興財団  
山脇 敦 Tel: 03-3526-0155 Fax: 03-3526-0156 e-mail: yamawaki@sanpainet.or.jp  
【キーワード】不法投棄, 斜面崩壊, 引張抵抗, 安息角, 無限長斜面法

面でも十分な安全率が得られた。

$$T = \frac{G \cdot \tan \phi + c \cdot b + G \cdot \tan \zeta \cdot \sin(1.5\theta)}{\mu \cdot \sin \theta \cdot \tan \theta + \cos \theta} \dots \dots (1)式$$

$$Fs = \frac{\tan \phi}{\tan \theta} + \frac{\tan \zeta \cdot \sin(1.5\theta)}{\sin \theta \cdot \cos \theta} \dots \dots (2)式$$

ここに、 $T$ : すべり面のせん断抵抗、 $G$ : 自重等による鉛直荷重、 $\mu$ : 安全率( $F_s$ )の逆数、 $b$ : すべり面長、 $\phi$ : 内部摩擦角、 $c$ : 粘着力、 $\theta$ : すべり面傾斜角、 $\zeta$ : 引張抵抗角、 $F_s$ : 安全率

5. わが国の不法投棄等現場で留意すべき斜面崩壊パターン

斜面崩壊状況(表1)や斜面安定解析結果(表2)から、平地上での繊維状物等を含む現場では、引張抵抗を含めた高いせん断強度を有することから、45°程度の斜面でも崩壊が生じにくいこと

が分かる。平地での崩壊事例は停止安息角を上回っている斜面での表層崩壊に限られており、これは法面部(厚さ1~数m程度)が表層崩壊して停止安息角になるものとして、廃棄物層全体が崩れ落ちる大規模な崩壊とは異なる。ただし、平地での投棄でも、海外の生ごみ等の堆積地での崩壊

事例のように、過剰な水分を含む場合はせん断強度が低下することを本研究でも確認しており、このような現場や、何らかの水平力等の過剰な力が加わっている場合には、廃棄物層内で、繊維の主方向に近い比較的緩い勾配で(写真2の崩壊実験参照)斜面崩壊が生じる可能性はある。

一方で、傾斜地上での大規模斜面崩壊はわが国でも生じている。傾斜地上の崩壊は谷上を廃棄物層が一体的にすべり落ちる崩壊(図2)であり、この場合は、廃棄物層と地山の境界に引張抵抗は働かない。境界面の摩擦抵抗は弱い材料の強度に支配されることが一般に知られており、廃棄物層が大きなせん断抵抗を有しても、地山が弱ければ地山側のせん断強度に支配され、大雨時に各地で発生している盛土や地山の斜面崩壊と同じように、斜面崩壊が発生し得る。

さらに、繊維状物等を含む廃棄物層の場合は浸透能が地山より大きいため大雨時には地山に浸透しきれない水が地山上(廃棄物層下)を流下することになり、境界部での摩擦抵抗の低下等により、一層、地山上のすべりが生じやすくなる。表2の斜面安定解析結果でも傾斜地上の投棄事案である九州現場の地山側の安全率は1.2と、廃棄物層側の安全率1.92より小さくなっており、地山や地山との境界部での崩壊に特に留意する必要があることが分かる。

6. まとめ

これまで、不法投棄等現場で斜面安定対策を講ずる場合は盛土の安定勾配にならって1:2勾配(約27°)や、それよりも緩い勾配で整形されることがほとんどであったが、本研究により、平地での繊維状物等を含む一般的な不法投棄等現場ならば、1:1勾配(45°)でも斜面安定が説明されるようになり、行政代執行により投入される対策工事費の大幅な削減が期待できる。一方で、傾斜地上の投棄現場では、廃棄物層の前面斜面勾配や廃棄物種類に関係なく大規模崩壊が生じ得るため、詳細な現場評価(地山側を含めた試験、解析)や雨水排水対策等が必要になる。

本研究で繊維状物等を含む廃棄物地盤が高いせん断強度特性を示すことを把握できたことから、例えば、プラスチック等を含む安定型処分場の設計や、未利用廃棄物地盤に重量物を設置しようとする場合等、廃棄物力学を必要とする際に、本研究成果を応用することにより、経済的な設計等に資することが期待できる。なお、本研究結果をもとに、自治体等向けの「不法投棄等現場の堆積廃棄物の斜面安定性評価マニュアル(案)」を刊行する予定である。

表2 斜面安定解析結果

計算条件と計算結果	上海(載荷実験)	九州(内:地山)	45°標準的断面
平均斜面勾配(°)	63(平地上)	約30(20)	41(小段を含む)
斜面高(m)	9	40	20
単位体積重量(kN/m³)	11.5	14(18)	9*
$\phi$ (°)	38	45(0)	40*
$c$ (kN/m²)	5	3(60)	3*
$\zeta$ (°)	0	15*	0(0)
$F_s$ : (1)式	0.56	0.93	1.92(1.2)
$F_s$ : (2)式	0.40	1.06	1.88(---)

※: 想定値(実験結果等に基づく標準的な値)

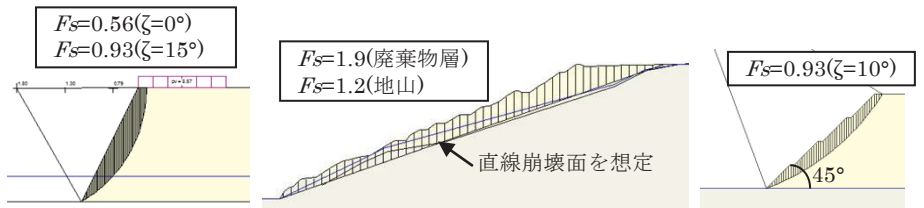


図1 円弧すべり解析結果(左:上海現場 中:九州現場 右:標準的断面)

注) 円弧すべり計算は“GGU-STABILITY VERSIN9”<sup>3)</sup>による

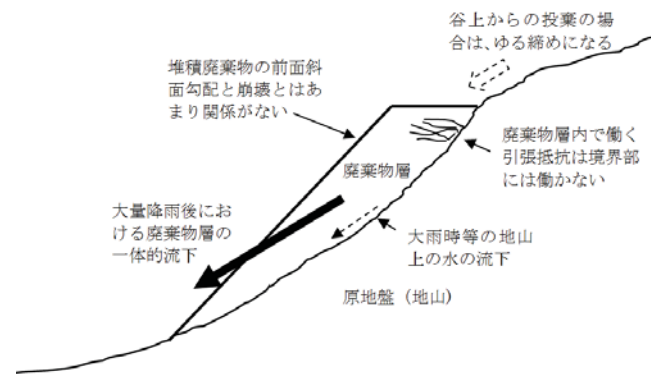


図2 不法投棄等現場で特に留意が必要な崩壊パターン

[謝辞] 本研究は平成22年度「循環型社会形成推進科学研究補助金」(課題番号 K22033)、平成23年度「環境研究総合推進費補助金」(課題番号 K2304)、平成24年度「環境研究総合推進費補助金」(課題番号 K2402)の支援を受けて行われた。

[参考文献] 1) 山脇敦、島岡隆行、大嶺聖、勝見武、川寄幹生、土居洋一、柴暁利、川井晴至、坂口伸也、小原孝之: 不法投棄等現場の堆積廃棄物の斜面安定性評価のための試験・解析法に関する一考察、平成25年度資源循環学会研究発表会(原稿提出)

2) Florian Koelsch: Toolkit Landfill Technology Chapter 4.6 Static Stability of Landfills, 2009

3) Civilsolve GmbH, Steinfeld: GGU-STABILITY VERSION9 User Manual, June 2010