

最終処分場斜面安定解析手法の検討

廃棄物,斜面安定, ジオシンセティック

(財) 地域 地盤 環境 研究所 正 ○ 菅茜櫻, 本郷隆夫, 福田光治
(株) ホージュン 水野克巳, 岡田朋子

1. まえがき

廃棄物最終処分場の自然斜面は整形した後薄い遮水層や保護層等の複数の材料から構成される積層体で被覆されるようになってきた。積層遮水構造の構成要素としてメンブレン等の遮水材料だけでなく、粘性土から礫質土までの幅広い土あるいは混合土が含まれる。また、廃棄物最終処分場は社会的役割が大きく、社会との関係も密接であるため、種々のレベルの意見があり、さまざまな観点からの研究が必要である。本研究では、構造の多様性を考慮して廃棄物最終処分場の造成で生じる斜面構造の特性を分類し、斜面安定の立場から検討しなければならない課題と対応方法を整理したものである。その結果、無限斜面の安定解析はすべり円法に比べ安全側の安全率を与えるとともに、薄い層の滑り解析に有効であることを示す。

2. 自然地山と遮水積層体の斜面問題

廃棄物最終処分場の斜面は規模にもよるが、図-1 のように大規模に切土・整形された自然斜面上を薄い遮水積層体に表面が被覆される。図は 1:1 に近いスケールで示したものである。この場合約 150m 高さの斜面が 1:2 で切土され、その上を不織布、ベントナイト混合土、ベントナイトシート、遮水シート、不織布、保護土砂の 6 層からなる遮水積層体が被覆している。図より広大な自然地山の斜面挙動は斜面全体に及ぶ大規模な現象になり、表面を被覆した遮水積層体は薄く、遮水積層体内に限定される斜面全体にわたるすべりは生じにくいことが考えられ、また、解析結果でも証明される。自然斜面勾配は一般に 1:2~1:3 程度で、図-1 の場合高さ 15~20m ごとに小段が設けられる。このため自然斜面の安定性が保持されておれば、何らかの原因によって斜面内で構造劣化が生じない限り、薄い遮水積層体が斜面表面を被覆したとしても自然斜面の不安定化にいたることは考えられない。また廃棄物の埋め立ては一般に谷底部から実施されるので、斜面の根元に荷重が作用することになり、滑動力に対する抑制工の役割を果たし、斜面安定安全率は埋め立てによって増加する。さらに上述したように薄い遮水積層体は、初動的なすべりとしての複数の小段にまたがる斜面全体の不安定化は考えられない。従って遮水積層体の斜面安定解析は上下の小段に挟まれた狭い区間の斜面安定で規定される。本研究ではこの斜面表層被覆層の安定性を無限斜面で検討したときの問題点、長所等を整理している。

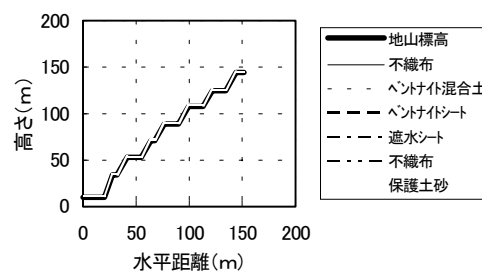


図-1 自然斜面と遮水層

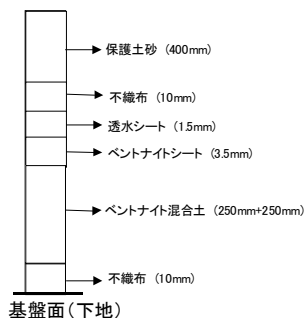


図-2 検討対象の遮水積層体

3. 遮水積層体の構造

廃棄物最終処分場で提案されている遮水層構造は一般に約 1m 厚さでジオテキスタイル、排水層、遮水層、粘土ライナー等が構成要素になる。図-2 は本研究で対象にした遮水構造モデルで、さらに複雑な構造になっている。表-1 はこの解析で用いた強度定数である。表 2~3 は図-2 の下部層のベントナイト混合土を施工した後、及び最上部層の保護層を施工した直後の条件に対して行った Fellenius 法による解析結果を示している。地下水はないものとした解析である。

表-1 解析に用いたパラメータ

土砂	湿潤密度 (g/cm^3)	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 ($^{\circ}$)
切土斜面	1.9	10	25
碎石	1.9	0	30
現地発生土	1.8	20	25
ベントナイト混合土	1.7	45	25

The research on analysis of slope stability of final waste landfill

Ximeng Guan, Takao Hongo, Mitsuharu Fukuda, Geo-Research Institute, Katsumi Mizuno, Tomoko Okada, HOJUN CO., LTD.

4. 斜面安定解析における無限斜面解析の意義

上記の考慮より、小段に囲まれた単位斜面に対して安定解析を行った。対象に無限斜面の釣合条件より式 (1) が得られる。ここで W_i : 各層の鉛直方向重量, γ_i : 単位体積重量, ϕ_i : 内部摩擦角, c_i : 粘着力である。ここでは 2 層構造を考え、下部層のすべりを評価している。式 (1) は図の下部層を対象にしているが、同様の式が上部層にも拡張でき、地下水条件も含めることも出来る。この式はよく利用される式であるが、本研究条件下での適用条件を点検しておく必要がある。このため *Fellenius* 法による解析結果に対する式 (1) の精度を評価した。その結果が図-4, 5 である。

$$F_s = \frac{(W_1 + W_2) \cos \theta \tan \phi_1 + c_1 L_1}{(W_1 + W_2) \sin \theta} \quad (1)$$

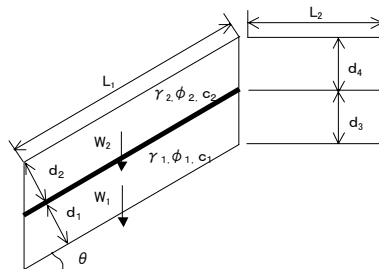


図-3 無限斜面安定解析

なお、解析は表-2,3 に示すように斜面勾配 1:2, 1:0.5 及び斜面高さ 5, 10m とした。さらに図はベントナイト混合土層 1 層の場合、及びベントナイト混合土層の上に遮水シートと現地発生土で構成される 3 層構造の例を示した。図よりいずれの条件でも *Fellenius* 法による安全率が高いことを示している。これは根元部の小段の受動土圧等は安全側を考えて無視しているためと考えられる。従って、無限斜面を想定した式 (1) による評価は安全側になる。なお、図-3 では層境に太い実線が挿入してある。図-5 はこの太い実線を遮水シートとして解析したもので、土とシートの摩擦係数 $\tan \phi = 0.4$ として計算している。厚さ約 1cm で行っているが、*Fellenius* 法ではこのような層での滑りを評価することは困難である。従って無限斜面による解析は単純な釣合条件ではあるが、*Fellenius* 法など簡便法との関係を知っておれば、薄い層の滑りも考慮することが出来、有利になる。

5. 遮水積層帯の安定性

無限斜面の安定解析手法はさらに小段における引っ張り力を含めるように発展させることができる。式 (2), (3) が斜面の長さを L_1 とし、小段の長さを L_2 とした 2 層構造における関係を与えている。なお、ここでは粘着力 C は無視している。

$$(D_1 \gamma_1 L_1 + D_2 \gamma_2 L_1) \sin \theta \leq (D_1 \gamma_1 L_1 + D_2 \gamma_2 L_1) \cos \theta \cdot \tan \phi_1 / F_s \quad (2)$$

さらに、この関係が満足されないならば、小段上の滑り抵抗力を加味しなければならない。この場合、必要な小段幅 L_2 とすれば式 (3) から求められる。ただし、この式には引張力が期待できる遮水シート等を含む場合に適用される。

$$L_2 \geq \frac{(d_1 \gamma_1 + d_2 \gamma_2) \sin \theta - (d_1 \gamma_1 + d_2 \gamma_2) \cos \theta \tan \phi_1 / F_s}{(d_3 \gamma_1 + d_4 \gamma_2) \tan \phi_1 / F_s} L_1 \quad (3)$$

6. おわりに

廃棄物最終処分場の斜面安定問題は、埋立前の形状条件が最も不安定になる。また、自然斜面の安定性が確認されておれば、遮水積層体の安全性は斜面全体の安定性ではなく、小段に挟まれた斜面の安定性で評価できることを示した。この部分の安定性評価には根元をすなわち、無限斜面安定式が有効であり、*Fellenius* 法に比べて安全側の安全率を与えることを示した。また、この式を発展させた小段長評価式も示した。

表-2 ベントナイト混合土の安全率

斜面高さ (m)	斜面勾配 (V:H)				
	1:2				1:0.5
	厚さ (mm)				厚さ (mm)
	250	500	750	1000	500
5	39.3	21.3	16.3	11.8	11.3
10		20.7			8.7

表-3 現地発生土の安全率

斜面高 (m)	斜面勾配 (V:H)					
	1:2					1:0.5
	厚さ (mm)					厚さ (mm)
	500	750	1000	1250	1500	750
5	9.3	7.4	5.5	5	4.3	3.5
10		7.4				3.5

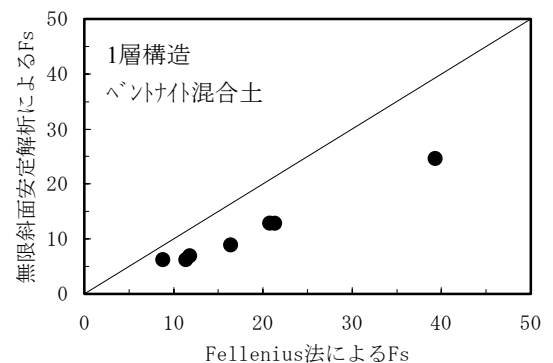


図-4 無限斜面安定解析と *Fellenius* 法 (1)

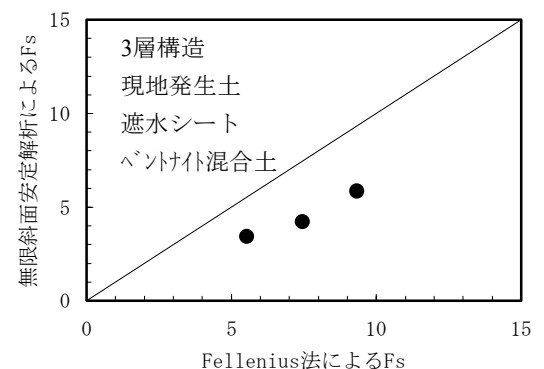


図-5 無限斜面安定解析と *Fellenius* 法 (2)