The transmissivity measuring device for geotextile and
application of its test result.

Noriaki Sugawara (OYO Corporation)

Akira Ishikawa (OYO Corporation)

SYNOPSIS.

The transmissivity measuring device, in which a cylindrical geotextile section is used, was developed. The test results show that there are a wide range of transmissivity among geotextile on the market, and that these reduce considerably with increase of normal stress. The drain efficiency of geotextile, based on the numerical analysis by Gibson et al(1968), was obtained using the Gibson's curve, and compared with the results of field observation. Both of the drain efficiency agrees well. It is very useful to estimate the drain efficiency of each geotextile according to the condition of soil, drainage length and a term of works when to make a good choice among various kinds of geotextiles.

円筒形の供試体としたジオテキスタイルの透水試験装置を開発した。その試験結果によれば、市販されているジオテキスタイルの透水係数は広い範囲にあり、そしてその値は、上載圧の増加に応じて著しく低下する。Gibson et al(1968)によって与えられた数値解析に基づいてジオテキスタイルのドレーン効率を求め、野外の実測結果と比較をした。その結果はよい一致を示した。多くの種類のジオテキスタイルの中から適切なものを選ぶためには、土の種類、状態、ドレーン長および工期に応じたそれぞれのジオテキスタイルのドレーン効率を算出することは極めて有効である。

ジオテキスタイルの平面方向の透水試験装置とその結果の応用

応用地質編 ○菅 原 紀 明

応用地質編 石 川 昭

1. まえがき

盛土施工中の斜面の安定を保つことを目的として、盛土斜面の土中にはほぼ水平に排水ブランケットを布設するが、その材料としてジオテキスタイル（以下 G.T. と呼ぶ）を用いるケースが多くなってきた。現在、2～10mmの厚さを有する各種の材質および構造をもった材料が排水ブランケットとして利用されている。各種のG.T.の透水性は、その製作会社の独自の透水試験装置を用いて測定されている。市販された各種のG.T.について、その排水層としての効果を確実に比較するためには、同一の透水試験装置を用いて、同一の上載圧下における透水量係数を比較することが望まれるが、現状のところ、そのような資料に乏しい。

一方、高含水比の土を盛土材料とする高盛土の施工時の安定を確保するために、効果的なG.T.の選択をどのようにすべきかについての解析法の研究成果が少なく、実際の盛土設計において苦慮することが多く、より簡便でしかも合理的なG.T.の選択手法の研究が望まれる。

本文では、G.T.の透水量係数を任意の上載圧下で正確に求めることのできる透水試験装置を紹介し、市販されたG.T.の平面方向の透水量係数と上載圧の関係について考察をした。次に、関東ロームの高盛土中に布設したG.T.の間隙圧の実測値に基づいて、排水ブランケット材として効果的なG.T.をどのように選択すべきかを、既往の文献による解析結果を利用して提案を行なった。

2. ジオテキスタイルの平面方向の透水試験装置

開発した透水試験装置は、厚さ10mm以下の盤状のG.T.について、任意の上載圧下で透水量係数を求め、同時に、G.T.の平均的厚さを求めることを目的とした装置である。

まず、盤状のG.T.を25×29cmの方形に裁断をして、外径9cmの円筒管に巻きつけて、両端部を糸で縫い合せて円筒形の供試体を作る。これをメンブレンを装着した2つの直径の異なるプラスチック管で挟み、メンブレンを介してガス（N₂）圧を加えてG.T.に載荷する。図-1に示すA点をゴム栓で塞ぎ、B点の排水コックを閉じ、任意の載荷圧力を加えると、供試体（D）が圧縮するが、そのときの体積変化量は、C点の排水チューブの水頭変化から測定できる。この測定値から供試体の平均厚さが決定できる。次に、A、Bの栓を開け、水道水を受水槽に注ぎ、定水位で供試体に注水をする。G.T.を通過した水量qをメスシリンダーで測定して、同時にC点のチューブの水頭と受水槽の水位差Δhを測定し、このq、ΔhおよびG.T.の浸透長Lから、透水量係数 θ_g は次式で求められる。

$$\theta_g = q / \left(\frac{\Delta h}{L} \times \frac{R_1 + R_2}{2} \right) \quad (1)$$

ここに、

- θ_G : 透水量係数 (cm^2/sec)
 q : 単位時間当りの透水量 (cm^3/s)
 Δh : G.T.の上下端面の水頭差 (cm)
 L : G.T.の浸透長 (cm)
 R_1 : 外側の円筒管の内径 (cm)
 R_2 : 内側の円筒管の外径 (cm)

また、透水係数 K_G は、次式で算出される。

$$K_G = \theta_G / t_G \quad (2)$$

ここに、

- K_G : 透水係数 (cm/s)
 t_G : G.T.の平均的厚さ (cm)

なお、(1)(2)式で算出した θ_G および K_G は標準水温 15°C に対する値に補正した値に統一する。

図-1 透水試験装置の模式図

3. 市販されたジオテキスタイルの透水量係数

(1) 試験に供したジオテキスタイル

厚さ10mm以下の盤状のG.T. 11種について平面方向の透水試験を実施した。表-1は試験に供したG.T.の種類、材質を一覧して示したものである。これらはやし繊維で作られた比較的厚い材料と、化学繊維を材料とする不織布、およびパイプまたは四角状の孔隙を組み合せ透水性を高めた“パイプ構造”を有する材料の3種に大別される。試験結果を示した各々の図において表-1の左の欄に印した番号でその材料を表わした。

(2) 載荷圧による透水性の変化

載荷圧の増加によって供試体の厚さが減少し、透水性が低下することは容易に想像される。図-2は各種G.T.の厚さと載荷圧の関係を示したもので、各種材料の厚さは載荷圧(p)の増加とともに減少している。厚さ t_G は、 $\log p$ に比例して減少しており、その低下の勾配は材料の種類によって異なっている。

図-3は、透水量係数(θ_G)と載荷圧(p)の関係を両対数目盛で示したものである。 θ_G は、 p の増加につれて著しく減少し、 $\log \theta_G$ と $\log p$ の関係は直線関係にある。また、 $p = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ にお

表-1 試験に供したジオテキスタイルの種類

	$P=0.05 \text{ kgf/cm}^2$ での平均厚 mm	1m ² 当り の重さ g	材 質
①	8.3	550	やし繊維
②	9.0	920	やし繊維
③	3.5	400	不織布・パイプ
④	6.1	380	毛布クズ
⑤	8.4	970	ポリプロピレン
⑥	3.1	330	不織布・パイプ
⑦	3.1	1,267	ポリオレフィン・パイプ
⑧	7.0	1,080	化繊・毛布クズ
⑨	3.5	420	ポリプロピレン
⑩	2.4	410	ポリエステル
⑪	3.5	430	ポリエステル

ける θ_G の値は $6 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^0 \text{ cm}^2/\text{s}$ の範囲にあり、G.T.の相違によって約500倍もの θ_G の相違があることが明らかとなった。

(3) ジオテキスタイルの種類による透水量係数の相違

載荷圧 $p = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の下での厚さと透水量係数の関係を各種のG.T.についてプロットすると、図-4に示すように、透水量係数 θ_G は厚さ(t_G)の増加とともに増加するが、それは3つに大別される。すなわち、同じ厚さで比べた時最も大きな θ_G を持つ③⑥⑦、最も θ_G の小さい⑤⑧⑪、中間の大きさの θ_G を持つ①②④⑨である。後者の2者について比べると前者は、

後者に比べて繊維が軟かく、繊維の太さが細い傾向があるが、その相違を明確に表わすことは困難である。また、③について、パイプと平行方向と直交方向の2方向について透水量係数を求めると約15倍の相違がある。このように、G.T.の材質、厚さ、載荷圧によって著しくその透水性が変化することから、実際の設計適用にあたっては、各々について同一条件下での室内透水試験の実施によって透水性を確認する必要がある。

図-2 各種ジオテキスタイルの厚さと載荷圧の関係

図-3 各種ジオテキスタイルの透水量係数と載荷圧の関係

図-4 各種ジオテキスタイルの載荷圧 $P = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 下における透水量係数と厚さの関係

4. 排水ブランケットのドレーン効率 n

施工中の盛土の安定を促すために必要な排水ブランケットを設計する場合、本来、ブランケットを挟在した盛土で、ある完成盛土高に対して間隙圧分布を予測し、安定解析結果で得た安全率が所定の値となるものを採用するのが常識的である。しかし、この一連の解析はとくにブランケットの透水係数を無限大において解く以外は大へん複雑な解析を必要とする。このような複雑な解析過程を省略して、より簡便に排水ブランケットの効果を評価する方法で設計ができることが望ましい。

Gibson et al.(1968) は粘土盛土の圧密促進をはかるための水平排水ブランケットの効果を定量的に評価するために、ドレーン効率 (drain efficiency) という概念を用い、これによってドレーンの設計を行うことを提案した。ドレーン効率 n は次式で定義される。

$$n = 1 - (u_G / u_E) \quad (3)$$

ここに、

n : ドレーン効率

u_G : 盛土奥のブランケットの末端部の間隙圧

u_E : ブランケット近傍の盛土の間隙圧

Gibson et alはこの n を、時間係数 T と排水距離係数 D をパラメータとして数値解析をし図-6に示す解析図表を提案した。ここで、 T および D は次式で定義される。

$$T = C_E \cdot t / D^2, \quad D = 8 L^2 K_E / \pi^2 \theta_G \quad (4)$$

ここで、

C_E : 盛土の鉛直方向の圧密係数

t : ブランケット布設後の経過時間

L : ブランケットの長さ

K_E : 盛土の鉛直方向の透水係数

θ_G : ブランケットの透水量係数

図-5 (3)(4)式の記号の説明

図-6 ドレーン効率 n と時間係数の関係 (Gibson et al 1968)

5. 実盛土の間隙圧測定から算出されるドレーン効率

図-8は関東ロームを盛土材として使用し、排水ブランケットを布設した盛土斜面部の間隙圧分布を示したものである。排水ブランケットとして表-1の②のG.T.を採用し、図-8に示すように3深度(A, B, C)に布設した。A, B, Cの載荷圧がことなることから、同一のG.T.に対して図-3より、透水量係数 θ_g を求める。A, B, Cの長さLはそれぞれ1400, 2200, 3300cmである。図-8のブランケット布設完了した日から、盛土が完成した日の間の日数もはA, B, Cそれぞれ10, 60, 90日であった。

当地の関東ローム盛土の透水係数 K_E はキャサグランデ型の間隙水圧計を用いた変水位透水試験から、 $K_E = 5 \times 10^{-6} \text{ cm/s} = 0.43 \text{ cm/d}$ 、また、盛土の鉛直方向の平均圧密係数 C_E は、別の盛土の間隙圧の消散曲線から逆算して $C_E = 60 \text{ cm}^2/\text{d}$ である。また、ブランケットの鉛直布設間隔 $2h$ は、
$$2h = \frac{500 + 300}{2} = 400 \text{ (cm)}$$
とおく。図-7は、図-8の盛土完成時のブランケット端部での間隙圧分布(u_g)を示したものである。G.T.の布設深度での盛土中の間隙圧 u_E は、実測するにこしたことはないが、G.T.の布設深度の中間に入れた間隙圧計の値からも推定することができる。

以上の各諸数値を基にして、Gibson解によるドレーン効率 n を求めたのが表-2である。Aの実測 u_g 、 u_B は小さく、実測の n を求めることは困難であるが、表-2の算定値 $n=0.82$ はドレーンが良い効果を示したことを意味している。

表-2 Gibson解で得たドレーン効率

No	θ_g (cm^2/d)	L (cm)	D	t (d)	T	h/D	n
A	2.2	1,400	0.36	10	46	111	0.82
B	0.5	2,220	39.2	60	2.3	10.2	0.47
C	0.25	3,300	176.5	90	0.17	2.3	0.12

図-7 ジオテキスタイル端部の間隙圧

図-8 関東ローム高盛土の間隙圧分布とジオテキスタイルの配置

また、B、Cの実測ドレーン効率それぞれ0.48、0.14が得られる。この値は表-2の算定値と極めて良い一致をしている。

以上、事例は少ないが、Gibson et alの解いた図は、関東ロームの盛土の実測例とよく一致することから、G.T.の種類を決定する有力な解析図であることを示している。

6. 効果的ジオテキスタイルの選択

高含水比盛土に使用する排水ブランケットとしてどの種類のG.T.が効果的であるかを判定するには上述のように、盛土の土性（透水係数 K_E 、圧密係数 C_E および単位重量 γ_E ）、必要ブランケットの長さ L 、および盛土完成までの工期 t を設定することが必要である。そして、必要なドレーン効率 n を満足するためのG.T.の透水量係数 θ_E を求め、G.T.の種類を決定しなければならない。そこで、効果的と判定する基準となるドレーン効率 n をどの程度にすべきかが問題となる。

しかし、盛土の安定を得ることを目的とした場合のドレーン効率の定量的基準の設定はそれに関する要素が多く極めて困難である。Gibson et al(1968)は、大略、 $n=0.5$ を目安として効果的であると述べており、著者も、実際の多くの盛土の中の間隙圧の実測値と盛土斜面の変状観測の経験から、 $n \geq 0.5$ を設計の目安と考えるべきであると考えている。図-3の透水量係数の値から、たとえば、 $t=150$ 日、 $h=200$ cmにおいて、上述の関東ロームの盛土の土性を適用した場合、 $n \geq 0.5$ となる排水ブランケットの長さ L を土被り厚さの関係を表-1の②、④、⑩のG.T.について図式的に求めて表わしたものが図-9である。透水量係数 θ_E は土被り圧の増大によって減少することから、 $n \geq 0.5$ を満足するためのブランケットの長さは、布設する土被り深さによって限界のドレーン長さがあることを示している。

図-9 $n \geq 0.5$ を満足する方ケットの長さ
と土被り厚さの関係

7. まとめ

現在市販されたG.T.は、その材質、構造のちがいによって広い範囲の透水量係数をもつ。いずれのG.T.も載荷圧の増加に対して著しい透水性の減少を示すので、設計に適用するときは一一つ一つの製品に対して透水試験を行なってその性能を確認する必要がある。実際の設計において、G.T.を選択する場合には、Gibson et al(1968)の提案したドレーン効率 n の値から決定されるべきであり、経験的には $n \geq 0.5$ が効果的の半別基準と思われる。

8. 参考文献

- 菅原紀明(1986) “関東ロームを使用する高盛土の実用的な設計法” 応用地質年報 No8 PP1~21
Gibson, R.E. and Shefford, G.C.(1968) “The efficiency of horizontal drainage layers for accelerating consolidation of clay embankments” Geotechnique. Vol.18, PP.327~335