

# 種々の土質を用いた透水試験による ジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性

木幡行宏<sup>1</sup>・佐藤織絵<sup>2</sup>・島谷文卓<sup>2</sup>・弘中淳市<sup>3</sup>・平井貴雄<sup>4</sup>

ジオテキスタイルフィルターを敷設箇所の土質を考慮せずに暗渠等の濾過・分離材として使用した場合、土粒子の浸入により目詰まりが発生し、垂直方向通水性能が低下し、所定の機能を満たさないことが考えられる。

本研究では、ジオテキスタイルフィルターの垂直方向通水性能に及ぼす土質種類の影響を検討するために、愛鷹ローム・関東ローム・六戸細粒分質砂土層と礫層の間にジオテキスタイルを挟めた一連の定水位透水試験を行った。その結果、ジオテキスタイルフィルターの垂直方向通水性能は各ジオテキスタイルにおける単位体積目詰まり量と開孔径以下の粒径の通過質量百分率の関係に依存すること、また、目詰まり量及び単位体積目詰まり量はジオテキスタイルの繊維構造の影響を受けることなどが示された。

キーワード：ジオテキスタイル，目詰まり，垂直方向通水性能，透水係数，透水試験，フィルター

## 1. はじめに

ジオテキスタイルを盛土の水平排水材として使用した場合、主に問題とされるのが①土粒子の浸入・捕捉に伴うジオテキスタイルの目詰まり、②盛土荷重によって作用する拘束圧等の要因による通水性能の低下である<sup>1)~4)</sup>。一方、排水層への土砂の浸入を防止するため、グラウンド、ゴルフ場等の暗渠排水溝の周囲に垂直方向の『濾過・分離材』としてジオテキスタイルを敷設した場合、面内方向と垂直方向の通水性能は相互に関連することが知られており<sup>5)</sup>、垂直方向においてもジオテキスタイルに目詰まりが発生し、通水性能や分離機能が低下することが考えられる。一般に、『濾過・分離材』として使用した場合のジオテキスタイルはジオテキスタイルフィルターと呼ばれており、ジオテキスタイルフィルターの垂直方向通水性能に関する目詰まり現象には、ジオテキスタイルの繊維構造内に土粒子が浸入して発生する場合と、ジオテキスタイル直上部に土粒子の細粒分が貯留されて発生する場合の2つの要因が挙げられている<sup>6)</sup>。図-2(a)、(b)に目詰まり要因を模式的に示す。図-2(a)が、前者の場合で、図中の矢印で示されるように、ジオテキスタイル表面の開孔径より小さい粒径の土粒子がジオテキスタイル内部に浸入する状況を示している。図-2(b)は、後者の場合で、ジオテキスタイル表面の開孔径より大きい粒径の土粒子が多いために、土粒子がジオテキスタイル

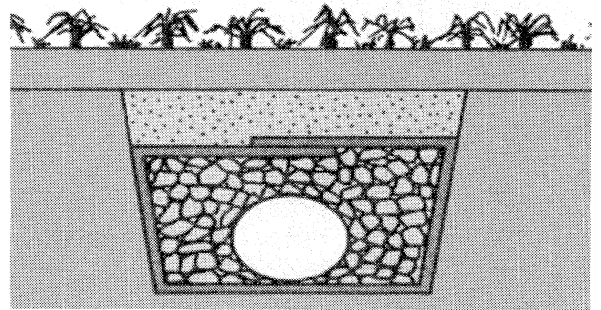
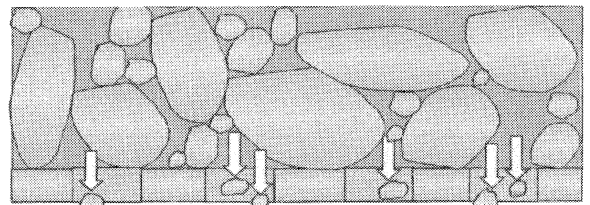
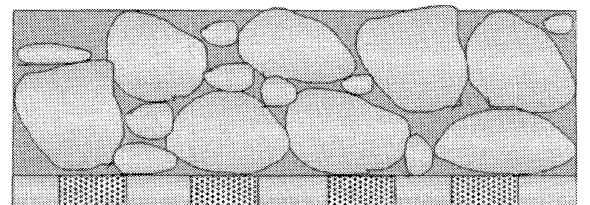


図-1 ジオテキスタイルの利用【濾過・分離材】



(a) 土粒子がジオテキスタイル内に浸入する場合



(b) 土粒子がジオテキスタイルの直上部に貯留する場合

図-2 目詰まり要因の概念図

<sup>1</sup>正会員， 室蘭工業大学， 工学部， 建設システム工学科， 助教授（〒050-8585北海道室蘭市水元町27-1）

<sup>2</sup>学生会員， 室蘭工業大学大学院， 工学研究科， 建設システム工学専攻（〒050-8585北海道室蘭市水元町27-1）

<sup>3</sup>正会員， 三井化学産資株式会社， 技術開発部（〒346-028埼玉県久喜市河原井町9番地）

<sup>4</sup>正会員， 三井化学産資株式会社， 事業本部（〒113-0034東京都文京区湯島3丁目39-10）

ルに浸入出来ず、ジオテキスタイルの直上部に粒子が引っかかって留まる、すなわち貯留している状況を示している。

本研究では、2つの要因のうち前者に着目して、3種類の細粒な土とジオテキスタイルに対する定水位透水試験結果から算出される透水係数の変化、目詰まり量、単位体積目詰まり量<sup>7)</sup>、ジオテキスタイルの開孔径に着目して通水性能を検討した。

## 2. 試料およびジオテキスタイルフィルター

### 2.1 試料

本研究に使用した試料は、原位置から採取した、関東ローム、愛鷹ローム、六戸細粒分質砂、室蘭細粒分質砂(ほとんどシルト、以下、採取土と呼ぶ)、および市販の甲州産安山岩砕石であり、これらの物理的性質を表-1に、各々の粒径加積曲線を図-3に示す。ここで、図中に示す $O_{95}$ は、ジオテキスタイル供試体を通じたガラスビーズの粒径加積曲線より通過率95%に対応するガラスビーズ径であり、一般に、見かけの開孔径と呼ばれているものである。

なお、室蘭細粒分質砂は室蘭工業大学構内で採取した土をふるい分けして、2mmふるい通過分のみを使用したものである。

### 2.2 ジオテキスタイルフィルター

本実験で使用したジオテキスタイル(不織布)は、ポリプロピレン樹脂を原料とし、スパンボンド法により製造された連続長繊維不織布であり、4種類のジオテキスタイルを用いた。表-2に比較・検討するジオテキスタイルの物性値を示す。表-2中、GTX-Sは1層構造、GTX-Dは2層構造のジオテキスタイルを表す。また、ジオテキスタイルの種類における数字は、目付けに基づいたものである。

## 3. 試験装置および試験方法

本研究で用いた試験装置は、図-4に示した定水位透水試験装置である。定水位透水試験装置は上部モールド、下部モールドから成る。以下に供試体作製方法と試験方法を示す。

### 3.1 供試体作製方法

試験装置の上部モールドに甲州産安山岩砕石(以下、礫と呼ぶ)層を、下部モールドに試料土層を作製し、その間にジオテキスタイルを挟めた。

礫層の作製は、礫が密になるように乾燥密度 $1.487 \text{ g/cm}^3$ を目標としてハンマーで上部モールドに振動を与えながら礫を充填させた。一方、試料土層の作製には $2.5 \text{ kg}$ のランマーを用い、1層の締固め回数を55回として3層締固めを行った。試験に用いるジオテキスタイルは、飽和させるためにあらかじめ水に浸しておいた。

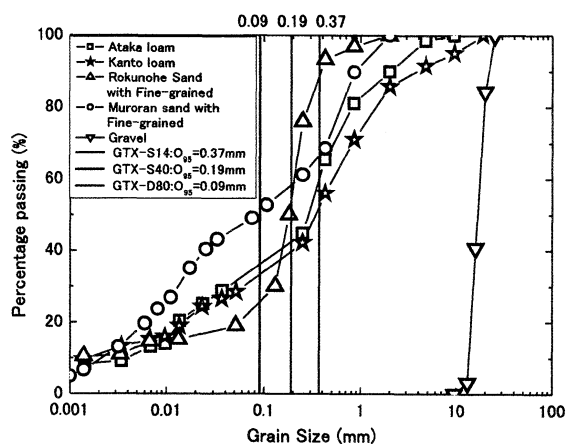


図-3 粒径加積曲線

表-1 試料の物理的特性

		愛鷹ローム	関東ローム	室蘭細粒分質砂
土粒子密度	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.7	2.74	2.67
液性限界	$w_L (\%)$	65.5	105.25	32.4
塑性限界	$w_p (\%)$	51.97	68.04	20.4
塑性指数	$I_p$	13.53	37.21	12.0
最適含水比	$w_{opt} (\%)$	58.48	38	23.71
締固め試験(B-a法)による				
最大乾燥密度	$\rho_{dmax} (\text{g/cm}^3)$	0.98	1.17	1.46
湿潤密度	$\rho_t (\text{g/cm}^3)$	1.57	1.636	1.806
Gradation	$D_{50} (\text{mm})$	0.29	0.34	0.08
	Uc	97.37	340	99.13
細粒分 (%)	$\{\ll 75 \mu\text{m}\}$	34.48	31.5	49
		六戸細粒分質砂	甲州産安山岩砕石	
土粒子密度	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.74	2.75	
乾燥密度	最大密度	1.369	1.54	
	最小密度	1.06	1.083	
最適含水比	$w_{opt} (\%)$	14	-	
締固め試験(B-a法)による				
最大乾燥密度	$\rho_{dmax} (\text{g/cm}^3)$	1.63	-	
湿潤密度	$\rho_t (\text{g/cm}^3)$	1.745	-	
Gradation	$D_{50} (\text{mm})$	0.17	16.7	
	Uc	143.88	1.32	
細粒分 (%)	$\{\ll 75 \mu\text{m}\}$	24.01	0	
本実験の供試体密度				
	$\rho_d (\text{g/cm}^3)$	1.63	1.487	

表-2 ジオテキスタイルの物性値

ジオテキスタイルの種類	GTX-S14	GTX-S30	GTX-S40	GTX-D80
目付け (g/m <sup>2</sup> )	140	300	400	800
厚さ (mm)	1.5	3.0	4	6.5
見かけの開孔径 (mm)	0.37	0.22	0.19	0.09
透水係数 (cm/sec)	垂直	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
	水平	$1 \times 10^{-0}$	$1 \times 10^{-0}$	$1 \times 10^{-0}$

### 3. 2 試験方法

定水位透水試験は、脱気水を透水試験装置の下端から給水し供試体に水を通水させ、上端から排水する方法で行った。その際、試験に要する時間を短縮するために、動水勾配は現場で想定される値 ( $i=0.1 \sim 1.0$ ) より大きい  $i=4$  に設定し、試験開始後に所定の経過時間ごとに流量を計測した。本研究では、土質種類とジオテキスタイルの種類による目詰まり特性の比較・検討を目的としていることから、その全体的傾向に動水勾配の影響は少ないと考えて実験を行った。また、定水位透水試験終了後、透水試験装置から取り出したジオテキスタイルの両面を3回ずつ濯ぎ、乾燥させてから試験後のジオテキスタイルの質量を測定して、目詰まり量を算出した。

### 4. 透水性と目詰まり量の関係

ジオテキスタイルフィルターの透水性と目詰まり量の関係を検討するため、強制的に目詰まりを発生させたジオテキスタイル（以下、目詰まりジオテキスタイル）を使用して、定水位透水試験を行った。

#### 4. 1 目詰まりジオテキスタイルの作製方法

目詰まりジオテキスタイルは次の手順で作製した。

1) ジオテキスタイルを十分に水浸させてから定水位透水試験装置に設置し、ペースト状の採取土をジオテキスタイルの全面に塗り付け、透水試験を行う。また、ジオテキスタイルの目詰まり量をパラメータとするために、塗り付けるペースト状採取土の質量を大・中・小の3種類とした。2) ペースト状の採取土の土粒子がジオテキスタイル上に残留し、通水が困難な状態とな

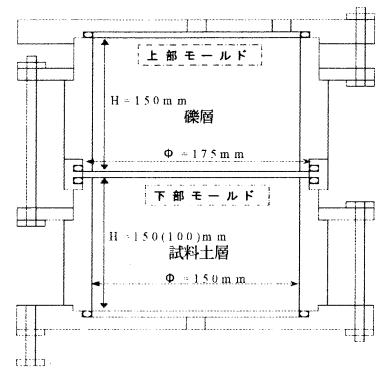


図-4 定水位透水試験装置

ればジオテキスタイルを取り出す。3) 取り出したジオテキスタイルの両面を3回ずつ濯ぎ、表面に付いた土を取り除き、自然乾燥させる。その後、試験後のジオテキスタイルの質量を計測し、試験前のジオテキスタイルの質量から差し引くと目詰まり量として、GTX-S40では、2.58g、3.38g、4.26gの目詰まりジオテキスタイルが得られた。GTX-S30では、1.83g、2.80g、4.98gの目詰まりジオテキスタイルが得られた。

#### 4. 2 目詰まりジオテキスタイルの定水位透水試験

定水位透水試験は、試験装置に目詰まりジオテキスタイルを設置し、上部及び下部モールドを脱気水で満たした後、装置の下端から脱気水を流入させることにより行った。試験終了後、ジオテキスタイルを取り出し、自然乾燥させてジオテキスタイルの質量を計測することにより、目詰まり量を計測した。

図-5、6には、ジオテキスタイル GTX-S40、GTX-S30の透水係数と経過時間の関係をそれぞれ示している。

図-5より、GTX-S40については、目詰まりジオテキスタイルの透水係数の値(図中、△、◇、□印)が時間の経過と共に増加傾向を示していることが分かる。経過時間10分での透水係数の値に注目すると、目詰まりジオテキスタイルの透水係数の値は目詰まりさせていないジオテキスタイルの値よりも小さく、経過時間30分くらいから一定値に近づく。これは、透水試験終了後の目詰まり量が、透水試験前よりも減少していたこ

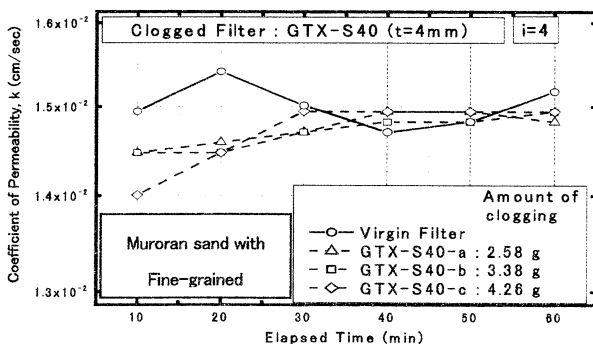


図-5 透水係数-経過時間 (目詰まり GTX-S40)

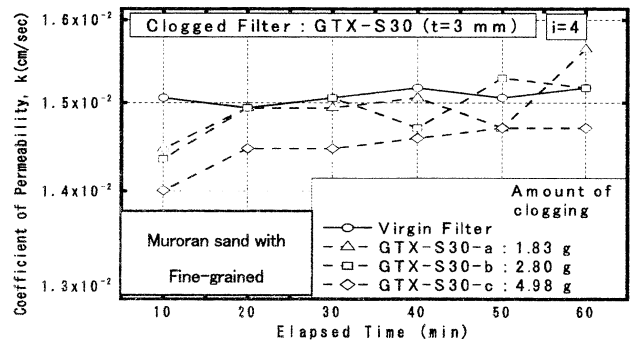


図-6 透水係数-経過時間 (目詰まり GTX-S30)

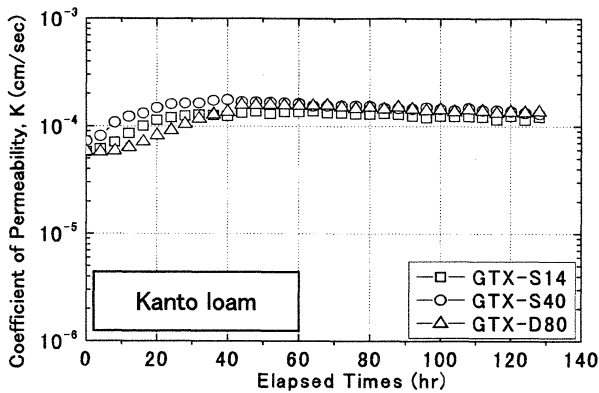


図-7 透水係数-経過時間の関係  
(関東ローム)

とから、定水位透水試験中にジオテキスタイルから土粒子が流出しているものと考えられる。

図-6に示す GTX-S30 については、GTX-S40 と同様に目詰まりジオテキスタイルの透水係数の値が時間の経過と共に増加傾向を示している。また、経過時間 10 分においても GTX-S40 と同様に、目詰まりジオテキスタイルの透水係数の値は目詰まりさせてないジオテキスタイルの値よりも小さい。したがって、GTX-S30 の場合においても GTX-S40 と同様に、定水位透水試験中にジオテキスタイルから土粒子が流出しているものと考えられる。また、GTX-S30-c は GTX-S30-a と GTX-S30-b よりも、全体的に透水係数が低くなった。これは、GTX-S30-c が GTX-S30-a と GTX-S30-b よりも目詰まり量が多く、ジオテキスタイル内に留まる土粒子が多くなったためであると考えられる。

以上より、ジオテキスタイルの目詰まり量が多いほど、透水係数が小さくなることが確認された。

## 5. 透水係数と目詰まり評価の検討

### 5. 1 種々の土に対する透水係数の検討

種々の土に対して実施した定水位透水試験による

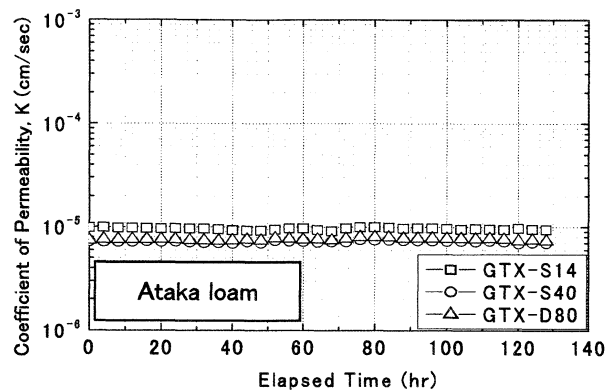


図-8 透水係数-経過時間の関係  
(愛鷹ローム)

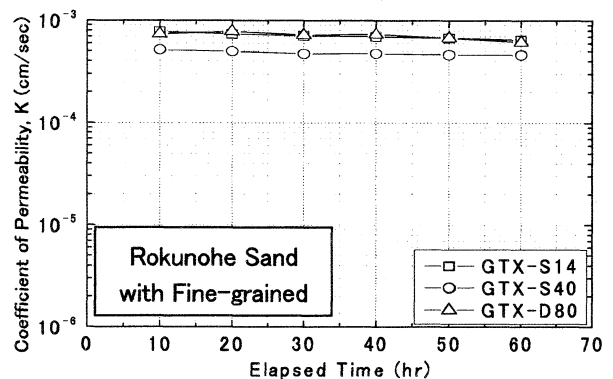


図-9 透水係数-経過時間の関係  
(六戸細粒分質砂)

装置全体にわたる透水係数と経過時間の関係を図-7～9に示す。それぞれ、図-7は関東ローム、図-8は愛鷹ローム、図-9は六戸細粒分質砂の結果である。なお、対象としたジオテキスタイルは GTX-S14、GTX-S40、GTX-D80 である。GTX-S30 は GTX-S40 に類似したジオテキスタイルであるため試験には用いていない。

透水係数の低下の要因として、ジオテキスタイルの目詰まり量だけでなく、試料土層の透水性の低下も報告されていることから<sup>6)</sup>、本研究では目詰まり現象が試料土層、ジオテキスタイル、礫層にわたる全体の透水係数  $k$  の減少傾向として現れると考えた。

表-3 目詰まり量及び単位体積目詰まり量

	ジオテキスタイルの種類	試験前の質量 (g)	試験後の質量 (g)	目詰まり量 (g)	単位体積目詰まり量 (g/cm <sup>3</sup> )
六戸細粒分質砂	GTX-S14	4.01	4.74	0.73	0.0202
	GTX-S40	10.78	12.36	1.58	0.0164
	GTX-D80	20.62	21.06	0.44	0.0028
関東ローム	GTX-S14	3.84	4.66	0.82	0.0227
	GTX-S40	10.3	11.06	0.76	0.0079
	GTX-D80	20.92	21.29	0.37	0.0024
愛鷹ローム	GTX-S14	3.49	4.18	0.69	0.0191
	GTX-S40	11.14	12.23	1.09	0.0113
	GTX-D80	17.2	17.42	0.22	0.0014

表-4 開孔径以下の粒径に対する試料土層の質量と粒子の通過質量百分率（割合）

	六戸細粒分質砂		関東ローム		愛鷹ローム	
	質量 (g)	割合 (%)	質量 (g)	割合 (%)	質量 (g)	割合 (%)
GTX-S14	2650.62	86	1473.69	51	1580.62	57
GTX-S40	1695.16	55	1184.73	41	1247.86	45
GTX-D80	801.35	26	953.56	33	1026.05	37

図-7に示す関東ロームの場合には、透水開始から40時間までは、各々のkの値は異なるが、すべてのkが上昇傾向を示している。これは、関東ロームに含まれる結合水の排出によるものと思われる。すなわち、本研究ではモールド内の試料を締固めて供試体を作製したので、関東ロームは乱されていることになり、関東ロームの物理的性質から考えると、もともと土粒子構造内に保持されている水が、自由に排出される状態になり、結果として、透水試験開始による脱気水の浸入により自由水が排出されたと考えられる。したがって、40時間以降について着目すると、透水係数は、すべてのジオテキスタイルで減少傾向にあることから、時間とともに目詰まりが生じていると考えられる。

図-8での愛鷹ロームについては、GTX-S40のkが最も小さい。また、いずれのジオテキスタイルもkにわずかな減少傾向が見られ、各々に目詰まりが生じたと推測される。

図-9での六戸細粒分質砂については、GTX-S40のkがGTX-S14とGTX-D80のkより小さい値を示しているが、各々減少傾向を示していることから目詰まりが生じていると考えられる。しかし、これらの結果からは種々の土質に適するジオテキスタイルの評価は判断出来ない。そこで、定水位透水試験後のジオテキスタイルの単位体積目詰まり量を表-3に、試料土層に含まれるジオテキスタイルの開孔径以下の粒径に対する試料土層の質量と通過質量百分率を表-4に示す。単位体積目詰まり量とは、ジオテキスタイルの圧縮量がわずかであると仮定して無視することにより、各々のジオテキスタイルの製品仕様に表示される厚さを用いて、目詰まり量をジオテキスタイルの体積で割って求めたものである。表-3より、単位体積目詰まり量は、いずれの試料においてもGTX-S14>GTX-S40>GTX-D80である。一般に、不織布は厚くなるほど開孔径は小さくなることが知られている<sup>8)</sup>。開孔径が小さくなると土粒子の浸入量が減り、目詰まり量も小さくなると考えられる。本研究で得られた単位体積目詰まり量の大小関係は、上記の不織布の厚さと開孔径の関係に矛盾していないことから、単位体積目詰まり量を用いて、目詰まり評価を行うことは妥当な方法であると考えられる。

## 5. 2 開孔径に基づいた目詰まり評価の検討

本研究では目詰まり評価を行うために、ジオテキス

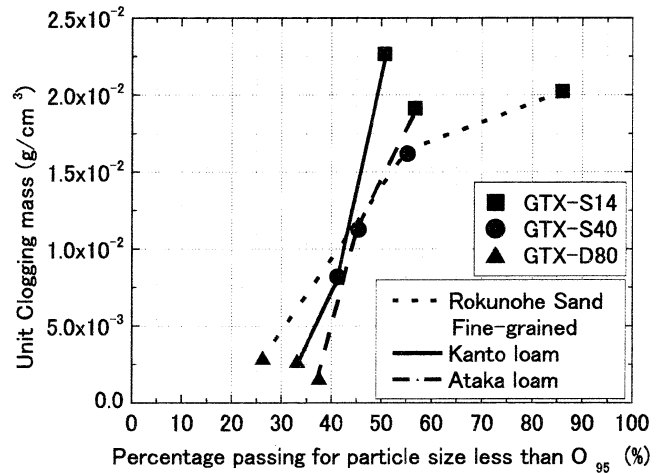


図-10 単位体積目詰まり量－開孔径以下の粒径の通過質量百分率の関係

タイルの繊維構造内に土粒子が浸入することで目詰まりが発生すると仮定して、試料土層に含まれる開孔径以下の粒径の通過質量百分率と目詰まり量の関係に着目して検討する。

表-3と表-4に基づいて、図-10に各ジオテキスタイルにおける単位体積目詰まり量と開孔径以下の粒径の通過質量百分率の関係を示す。ジオテキスタイルに対する単位体積目詰まり量と開孔径以下の粒径の通過質量百分率は、関東ローム、愛鷹ローム、六戸細粒分質砂いずれも、GTX-S14>GTX-S40>GTX-D80となっている。また、GTX-D80について開孔径以下の粒径の通過質量百分率に着目すると、六戸細粒分質砂が26%、関東ロームが33%、愛鷹ロームが37%の値となり、六戸細粒分質砂<関東ローム<愛鷹ロームの関係となる。次に、図-7～9でのGTX-S14の試験終了時の透水係数kに着目すると、愛鷹ロームは $9.43 \times 10^{-6}$  cm/sec、関東ロームは $1.03 \times 10^{-4}$  cm/sec、六戸細粒分質砂は $6.44 \times 10^{-4}$  cm/secの値となり、愛鷹ローム<関東ローム<六戸細粒分質砂の関係となることがわかる。この結果から、開孔径以下の粒径の通過質量百分率が小さければ目詰まりが生じにくくなり、透水係数が大きくなることが考えられる。

図-10において、六戸細粒分質砂におけるGTX-S14の開孔径以下の粒径の通過質量百分率の値は、他のデータより大きい値となっている。これは、図-3の粒径加積曲線に示されているように、六戸細粒分質砂の粒径が0.1～0.4 mmの範囲に多く分布しているためであ

る。一方、関東ロームと愛鷹ロームが同様の傾向であるのは、図-3からわかるように関東ロームと愛鷹ロームの粒径加積曲線がほぼ一致しているからであると考えられる。すなわち、図-10に示す六戸細粒分質砂の傾向が関東ローム、愛鷹ロームと異なるのは、図-3に示す六戸細粒分質砂の粒径加積曲線が他の試料の粒径加積曲線と異なっていることが大きく影響していると言える。

本研究に用いた2層構造のジオテキスタイル(GTX-D80)は、フィルター層とプロテクション層から成っている。フィルター層は細径フィラメントで構成されていて、開孔径が小さいために細粒分の浸入を防ぎ、目詰まりを抑える機能があるとされている。一方、プロテクション層は太径フィラメントで構成されていて開孔径が大きいので目詰まりが生じず、さらに、敷設による損傷を防ぐ機能があるとされている。図-10の GTX-D80を見ると、単位体積目詰まり量及び開孔径以下の粒径の通過質量百分率の値が、他のジオテキスタイルのデータに比べて、すべての試料土層でほぼ同程度の値を示していることから、GTX-D80 は本研究で用いたすべての土質に対して目詰まりが生じにくく、それぞれの土質に適したジオテキスタイルであると考えられる。これは上述した2層構造特有の繊維構造に起因するものであると思われる。

## 6. まとめ

種々の地盤材料に対する垂直方向通水性能を検討するために一連の定水位透水試験を実施した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 本研究で対象とした土質については、土質種類に関わらず、単位体積目詰まり量は、 $GTX-S14 > GTX-S40 > GTX-D80$  となった。この傾向は不織布の厚さが厚くなればなるほど開孔径が小さくなるという不織布の厚さと開孔径の一般的な関係に矛盾していないことから、本研究で示した単位体積目詰まり量による目詰まり量の評価は妥当な方法であると考えられる。
- 2) 開孔径以下の粒径の通過質量百分率が小さければ、目詰まりが生じにくくなり、透水係数が大きくなると考えられる。

- 3) 関東ロームと愛鷹ロームは粒度、単位体積目詰まり量、開孔径以下の粒径の通過質量百分率がそれぞれ類似していることから、ジオテキスタイルに対する適性も類似すると考えられる。
- 4) 本研究の範囲内では、2層構造の GTX-D80 が試験に用いたすべての土質で、他のジオテキスタイルに比べて目詰まりが生じにくいことから、それぞれの土質に適したジオテキスタイルであると考えられる。

本研究では、短期的な定水位透水試験を行い、垂直方向通水性能を検討したが、現場での使用条件等の問題から、今後、長期的かつ継続的な垂直方向通水性能等を検討する必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) 宮田喜壽, 木暮敬二, 谷澤芳郎, 落合英俊: 目詰まり不織布の通水性能に関する実験的考察, 土木学会論文集, No. 596/III-43, 123-130, 1988. 6
- 2) 林英雄, 森麟: 盛土中に敷設するジオテキスタイル排水材の目詰まりによる透水性低下の予測に関する研究, 土木学会論文集, No. 510/IV-26, 57-67, 1995. 3
- 3) 林英雄, 森麟: 地山から流出する土粒子による不織布排水材の目詰まり量と排水性に関する実験的研究, 第 28 回土質工学研究発表会, pp. 2437-2440, 1993. 6
- 4) 山田貴史, 伊藤秀行, 片岡昌裕, 浅田貢: 不織布の面内方向透水性の低減に関する実験, 第 32 回地盤工学研究発表会, pp. 2027-2028, 1997. 7
- 5) 巻内勝彦, 峯岸邦夫, 塩野真康, 増田貴之: ジオドレーンシート・盛土複合体における水理特性, ジオシンセティックス論文集 第 17 巻, pp. 173-176, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, 2002. 12
- 6) 西形達郎, 岩崎高明, 須永誠, 新井克彦: 「ジオテキスタイルの水理特性試験方法」について, ジオテキスタイル試験方法に関するシンポジウム発表論文集, pp. 9-16, 1994. 6
- 7) 木幡行宏, 田中雅史, 佐藤織絵: ジオテキスタイルフィルターの目詰まりによる透水性低下に関する実験的研究, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp. 1949-1950, 2005.
- 8) J.P.Giroud: Granular Filters and Geotextile Filter, Proc. of Geofilters' 96, pp. 565-680, 1996.

## Clogging properties of Geotextile filter on permeability test for various geomaterials

Yukihiro KOHATA, Orié SATO, Fumitaka SHIMAYA,

Junichi HIRONAKA and Takao HIRAI

A series of constant head permeability test was performed by putting in a geotextile between a geomaterial layer and a gravel layer in order to evaluate an effect of geomaterial on the cross-plane flow performance of geotextile filter. As the geomaterials for this study, Ataka loam, Kanto loam, Rokunohe sand with fine-grained and Muroran sand with fine-grained were prepared. Based on test results, it was found that the cross-plane flow performance of geotextile depended on the relationship between an amount of clogging per unit volume on each geotextile and a percentage passing by mass of soil particle size less than an opening size of geotextile. It is expected that a clogging mass and an amount of clogging per unit volume are affected by a fiber structure of geotextile.