



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



ジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性

メタデータ	言語: jpn 出版者: 国際ジオシンセティックス学会 公開日: 2013-02-13 キーワード (Ja): ジオテキスタイル, 垂直方向透水性能, 目詰まり特性 キーワード (En): clogging property, geotextile, cross-plane flow performance 作成者: 木幡, 行宏 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1717

ジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性

その他（別言語等） のタイトル	CLOGGING PROPERTY OF GEOTEXTILE FILTERS
著者	木幡 行宏
雑誌名	ジオセンティックス論文集
巻	26
ページ	1-12
発行年	2011-12
URL	http://hdl.handle.net/10258/1717

doi: info:doi/10.5030/jcigsjournal.26.1

ジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性

木幡行宏¹

ジオテキスタイルをフィルター材として土中の排水工に敷設した場合、土粒子の侵入・捕捉に伴った目詰まりによる垂直方向透水性能の低下が予想される。これまで、著者の研究グループは、ジオテキスタイルをフィルター材として用いたときの垂直方向透水性を検討することを目的として、ジオテキスタイルを試料土層と礫層の間に挟んだ供試体に、動水勾配 $i=1$ 及び 4 として、定水位透水試験を実施し、ジオテキスタイルに生じる目詰まり量を単位体積目詰まり量として算出した値を用いて、ジオテキスタイルフィルターの垂直方向透水性について比較・検討してきた。本稿では、目詰まり特性を評価するための試験方法や目詰まり特性に密接に関係するジオテキスタイルの見かけの開孔径試験方法の妥当性の検討、さらに、これまで実施してきた定水位透水試験の結果に基づいてジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性について論じる。

キーワード：ジオテキスタイル，垂直方向透水性能，目詰まり特性

1. まえがき

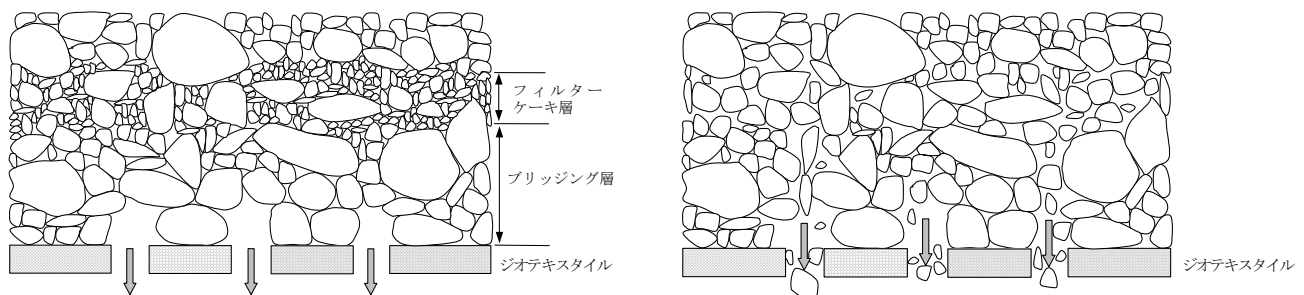
ジオテキスタイルは、地盤材料の分離機能、ろ過機能、排水機能、補強機能を有するシート状の高分子材料であり、排水層への土砂の侵入や目詰まりを防止するため、堤防・ゴルフ場・グラウンド等で多岐にわたって利用されている^{1),2)}。またジオテキスタイルには、設置が容易、品質に対する信頼性が高い等の利点がある一方で、土中に敷設した場合に透水性能の低減が考えられ、特に、ジオテキスタイルの目詰まりによる低減についてはジオテキスタイルの性質のみならず、対象となる土との相互作用によるものが大きく影響し、予測が困難であるため未解明な部分が多い^{3)~7)}。

一般に、目詰まりの現象には、図-1(a)のようにジオテキスタイル直上部にジオテキスタイル表面の開孔径より大きい土粒子が貯留されて発生する場合⁸⁾と、図-1(b)のようにジオテキスタイルの繊維構造内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侵入し

て発生する場合がある⁹⁾。図に示すように、前者では、ジオテキスタイルの直上部の細粒分が流出し、比較的、粗い粒子によりブリッジ層が形成され、その上部に細粒分土粒子が貯留してフィルターケーキ層が形成される。このフィルターケーキ層が透水性の低下をもたらし、目詰まりを生じさせるという現象で、blocking (ブロッキング)と呼ばれている。それに対し、後者は、ジオテキスタイル内に土粒子が侵入することによって発生する目詰まりであり、clogging (クロッキング)と呼ばれている。

実務では、グラウンドやゴルフ場の表面水の排水を目的として、有孔管が地中に埋設され、その際、有孔管周辺には砂礫を設置し、その外側にジオテキスタイルを敷設するケースが多い。このような用途は、ジオテキスタイルの分離機能やろ過機能を適用したものであるが、水理特性としては、垂直方向透水性能の検討が必要となる。この際に生じる透水性能の低減要因の一つが、目詰まり現象であると考えられる。

一方、このような目詰まり現象の発生には、ジオテキスタイルの開孔径と土の粒径が密接に関係することが知



(a) 土粒子がジオテキスタイルの直上部に貯留する場合

(b) 土粒子がジオテキスタイル内に侵入する場合

図-1 目詰まり現象の概念図

¹ 正会員，室蘭工業大学大学院，工学研究科，くらし環境系領域，教授（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

られている。そのため、目詰り現象が生じにくい適切なジオテキスタイルを選択する際、ジオテキスタイルの開孔径は、重要なパラメータとなる。

ジオテキスタイルの開孔径とは、ジオテキスタイルの構造に支障を来たすことなく、ジオテキスタイルの空隙部分を通過できる粒子の最大粒径である。ジオテキスタイルの開孔径を直接的に測定することは難しいため、開孔径に密接に関連するパラメータを定義することにより、見かけの開孔径として近似値を使用する。代表的パラメータは O_{90} 、 O_{95} 、 O_{98} である。例えば O_{90} は、ジオテキスタイル試験片を通過した粒状体の粒径加積曲線より、通過質量百分率の90%粒径に対応する粒径として定義されている。ジオテキスタイルの開孔径を測定する試験方法には、大別して乾式法、湿式法、及びその他の試験方法があるが、現段階で各試験方法の優劣や問題点の評価については、国際的な議論がなされていないのが現状である。

著者の研究グループは、これまで、ジオテキスタイルをフィルター材として用いた場合の垂直方向透水性能を検討するために、目詰り特性を評価するための適切な試験方法の検討、ジオテキスタイルの見かけの開孔径を求めるための開孔径試験方法の検討、さらに、ジオテキスタイルの目詰り現象のうち、上述した clogging 現象に着目して、種々の土とジオテキスタイルを用いた一連の定水位透水試験を行ってきた。

本稿では、これまで実施してきた一連の研究成果に基づいて、ジオテキスタイルフィルターの目詰り特性について論じることとする。

2. 目詰り特性を評価するための試験方法

著者の研究グループでは、ジオテキスタイルの垂直方向透水性能および目詰り特性を実験的に把握することを目的として、定水位透水試験装置を設計・作製し、その適用性を検討した。さらに、細粒分質土層と砂層の間にジオテキスタイルを挟めて定水位透水試験を行い、経過時間に対する透水量（透水係数）の変化に着目してジオテキスタイルの垂直方向透水性能を検討した。

本章では、ジオテキスタイル(GTXS-30)を挟む上部・下部モールドの土層を豊浦砂で作製した定水位透水試験とジオテキスタイルを設置しない砂層のみの定水位透水試験の結果に基づいて、目詰り特性を評価するための

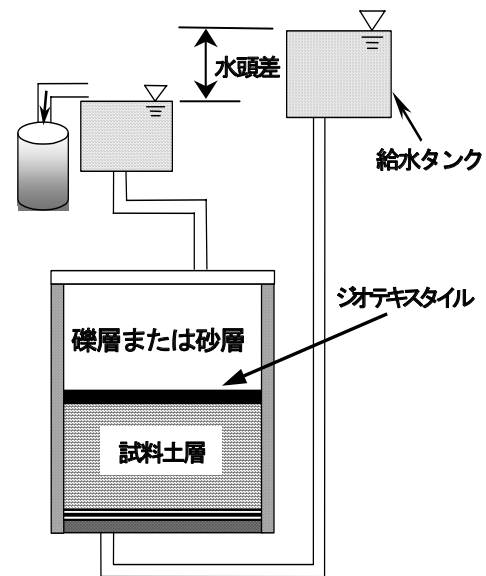


図-2 定水位透水試験装置

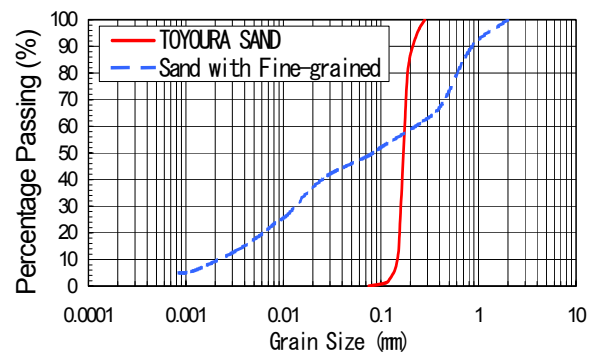


図-3 豊浦砂および採取土の粒径加積曲線
試験方法の妥当性について論じる。

(1) 試験装置

実験に用いた試験装置は定水位透水試験装置であり、概略図を図-2に示す。定水位透水試験装置は、上盤・下盤及びアクリル製の上部モールド（高さ 150 mm，内径 150 mm）・下部モールド（高さ 100 mm，内径 150 mm）から成る。本装置では下盤から上盤方向へと通水を行い、下盤は1つの給水口からポーラスメタルを通して直径全体に流れが広がり、上盤のポーラスメタルを通して、1つの排水口から流れ出る仕組みとなっている。

(2) 試料およびジオテキスタイル

試料には豊浦砂と細粒分質砂を用いた。細粒分質砂（ほとんどシルト，以下，採取土と呼ぶ）は、室蘭工業大学構内で採取した土をふるい分けして、2 mm ふるい通過

表-1 豊浦砂の物理的性質

土粒子密度： ρ_s (g/cm^3)		2.65
乾燥密度： ρ_d (g/cm^3)	Max	1.658
	Min	1.354
Gradation	D_{50} (mm)	0.18
	U_c	1.3
細粒分 (%) [$\leq 75 \mu m$]		0

表-2 採取土の物理的性質

土粒子密度： ρ_s (g/cm^3)		2.67
液性限界： w_L (%)		36.39
塑性限界： w_p (%)		31.42
塑性指数： I_p		4.97
Gradation	D_{50} (mm)	0.08
	U_c	99.13
細粒分 (%) [$\leq 75 \mu m$]		49

表-3 ジオテキスタイルの物性値

ジオテキスタイルの種類	GTXS-30	GTXS-40
目付 (g/m^2)	300	400
厚さ (mm)	3.0	4.0
開孔径 O_{95} (mm)	0.22	0.19
透水係数 (cm/sec)	垂直	1×10^{-1}
	水平	1×10^0

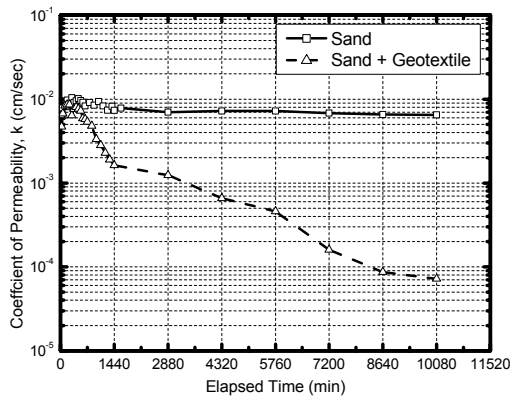


図-4 透水係数-経過時間の関係(水道水)

分のみを使用した。豊浦砂の物理的性質および採取土の物理的性質を、表-1および表-2に、両者の粒径加積曲線を図-3に示す。試験に用いたジオテキスタイルは、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る。本研究では、厚さをパラメータとして、2種類のジオテキスタイルを用いた。厚さ3 mmを GTXS-30、厚さ4 mmを GTXS-40と称し、その物性値を表-3に示す。

(3) 水道水による実験結果と考察

図-4は、水道水を使用して動水勾配 $i=1$ で定水位透水試験を行った結果を、透水係数と経過時間の関係で示したものである。砂層のみの場合を見ると、経過時間とともに透水係数はわずかに減少傾向にあり、透水開始から10080分経過時点では、最大値の1/2程度の値を示している。一方、砂層にジオテキスタイル(GTXS-30)を挟めた場合、試験開始600分以降の透水係数の減少が非常に顕著である。図-5には、飽和度と経過時間の関係を示す。砂層のみの場合を見ると、試験開始から終了までの間で経過時間に対する飽和度の減少傾向が非常に顕著であった。一方、砂層にジオテキスタイル(GTXS-30)を挟めた場合は、1440分までの飽和度の減少は顕著であるが、それ以降は一定に遷移した。

ここで、飽和度が減少傾向を示す原因を調べるため、定水位透水試験装置に豊浦砂やジオテキスタイルを設置せずに水道水だけを流した結果、図-6に示されるように、モールド周辺には気泡が付着し、定水位透水試験装置の上端には空気の水塊が確認された。

以上のように、砂層のみの場合と砂層にジオテキスタイル(GTXS-30)を挟めた場合とで、透水係数および飽和度の減少傾向には違いがみられたが、その要因としては水道水に含まれる気泡が大きな影響を及ぼしたと考えられる。したがって、水道水を使用した定水位透水試験では、ジオテキスタイルの垂直方向透水性能を正しく評価出来ないことが明らかとなった。

(4) 脱気水による実験結果と考察

図-7は、脱気水を使用して、動水勾配 $i=1$ で定水位透水試験を行った結果を、透水係数と経過時間の関係で示したものである。この場合、どちらの試験条件におい

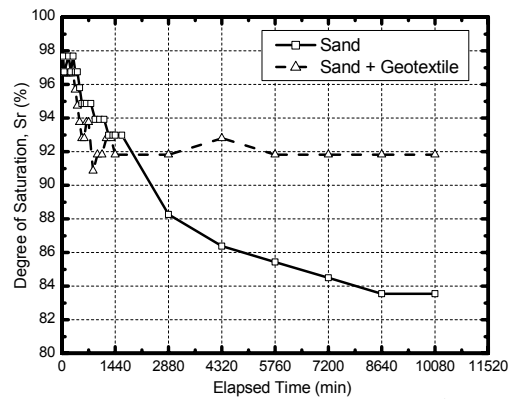


図-5 飽和度-経過時間の関係(水道水)



図-6 水道水のための透水試験

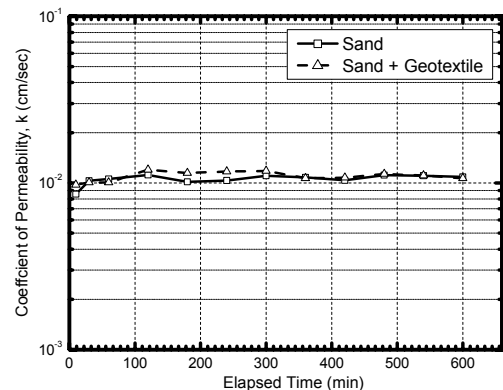


図-7 透水係数-経過時間の関係(脱気水)

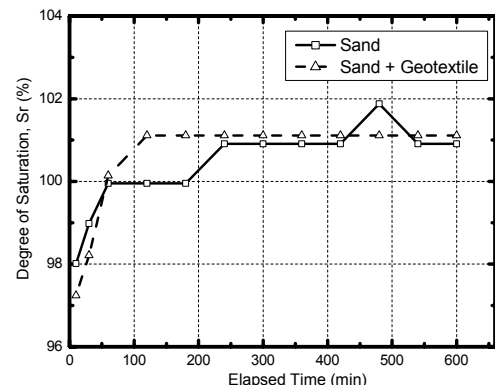


図-8 飽和度-経過時間の関係(脱気水)

ても経過時間に関係なく、透水係数はほぼ一定の値を示している。図-8には、飽和度と経過時間の関係を示す。どちらの試験条件の場合も、透水開始60分で飽和度が100%に達し、経過時間とともに飽和度はほぼ一定値を示している。なお、飽和度100%を超えている部分があ

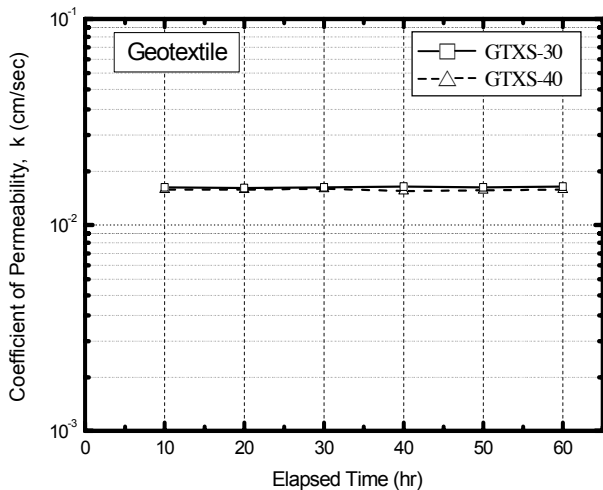


図- 9 透水係数- 経過時間の関係(ジオテキスタイル) だが、これは装置に砂層を作製する際に、締め付けリングとモールドとの間の隙間やネジ部等に詰まった砂を完全に取り除けないことが原因で、理論値と実験値の差によるものであると考えられる。

以上の結果より、脱気水を用いた場合には、透水係数の値や飽和度に減少傾向がみられないことから、定水位透水試験の実施には、脱気水を使用することが妥当であることが明らかになった。

(5) 目詰まり特性を評価するための試験方法の妥当性

ジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性を評価するための試験方法として、2種類のジオテキスタイル(GTXS-30, GTXS-40)を用いて定水位透水試験を行った。供試体は、より目詰まり現象を確認しやすい条件に設定する為に、ジオテキスタイルの開孔径 (O_{95}) に比べて細粒な粒度分布を持つ採取土層を下部モールドに、砂層を上部モールドに作製した。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 (0.1~1.0) より非常に大きい $i=4$ に設定した。また、2種類のジオテキスタイルのみの垂直方向透水性能を比較・検討するため、定水位透水試験装置の上部・下部モールドに土層を作製せず、ジオテキスタイルのみを定水位透水試験装置に設置し、 $i=4$ に設定して定水位透水試験を行った。

図- 9には、試験土槽全域にわたる透水係数(以下、透水係数と呼ぶ)と経過時間の関係について、GTXS-30とGTXS-40の比較を示す。図より、若干ではあるが、GTXS-30の方が大きな透水係数の値を示しているのがわかる。これは、わずかながらではあるが、GTXS-30の方がGTXS-40に比べて厚さが薄く、開孔径が大きいことが影響したと考えられるが、ジオテキスタイルフィルターの透水性能としては、ほぼ同程度であると考えられる。

図- 10には、上部モールドに砂層、下部モールドに採取土層とし、その間にジオテキスタイルを設置して定水位透水試験を行った結果を示す。GTXS-30は透水開始後1時間で透水係数の最大値が現われ、その後、透水係数の値は徐々に減少していき、経過時間100時間以降はほ

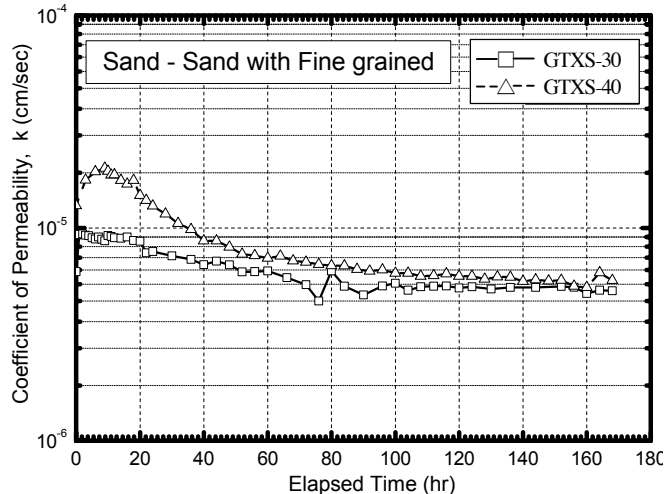


図- 10 透水係数- 経過時間の関係(砂層- 採取土層)

ぼ一定に遷移しているのがわかる。一方、GTXS-40は、透水開始時間から10時間程度まで透水係数の値が増加していき、透水開始後10時間で透水係数の最大値が現われ、その後、減少傾向に転じ、経過時間120時間以降でほぼ一定に遷移しているのがわかる。

以上より、本試験方法によれば、目詰まりが発生すると、試験土槽全域にわたる透水係数が減少する傾向が捉えられることから、本試験方法がジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性を評価するための試験方法として妥当であることが明らかとなった。

3. 見かけの開孔径試験方法の妥当性の検討

目詰まり現象の発生には、ジオテキスタイルの開孔径と土の粒径が密接に関係することが知られている。そのため、目詰まり現象が生じにくい適切なジオテキスタイルを選択する際、ジオテキスタイルの開孔径は、重要なパラメータとなる。ジオテキスタイルの開孔径を測定する試験方法には、大別して乾式法、湿式法、及びその他の試験法があるが、現段階で各試験方法の優劣や問題点の評価については、国際的な議論がなされていないのが現状である。

そこで、本章では、乾式開孔径試験、湿式開孔径試験、及び繰返し水浸式開孔径試験の優劣や問題点の評価をすするため、地盤工学会の旧基準案である「繰返し水浸式開孔径試験」¹⁰⁾、及び新基準である「JGS 0911 ジオテキスタイルの開孔径試験方法 湿式開孔径試験」^{11, 12)}、に準拠して試験を実施し、各試験から得られる見かけの開孔径、各試験における試験方法の改善点、及び開孔径の理論値との比較について述べる。なお、地盤工学会基準「JGS 0911 ジオテキスタイルの開孔径試験方法 湿式開孔径試験」は、「ISO 12956 Geotextiles and geotextile-related products - Determination of the characteristic opening size (ジオテキスタイル及びその関連製品- 見掛

けの開孔径の測定)」に整合している。

また、本章では、地盤工学会による旧基準案¹⁰⁾を参考に、見かけの開孔径として O_{95} を採用し、乾式開孔径試験による見かけの開孔径は O_{R95} 、湿式開孔径試験による見かけの開孔径は O_{P95} 、繰返し水浸式開孔径試験による見かけの開孔径は O_{95} とした。

表-5 ガラスビーズの粒径

代表粒径 (ϕ μ m)	粒径の範囲 (ϕ μ m)
50	37 ~ 63
70	63 ~ 88
100	105 ~ 125
150	149 ~ 177
200	177 ~ 250
400	350 ~ 500
600	500 ~ 710

表-4 ジオテキスタイルの物性値

ジオテキスタイルの種類	GTXS-14	GTXS-30	GTXS-40	GTXD-80
目付 (g/m^2)	140	300	400	800
厚さ (mm)	1.5	3	4	6.5
乾式開孔径試験による見かけの開孔径, O_{R95} (μ m)	370	220	190	90
透水係数 (cm/sec)	垂直	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
	水平	1×10^0	1×10^0	1×10^0

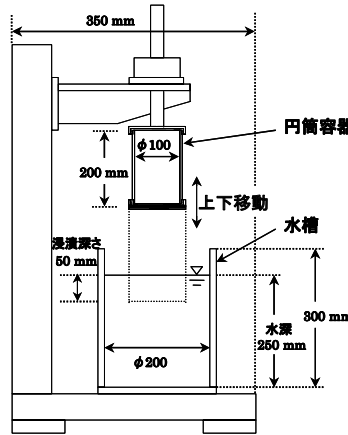


図-11 繰返し水浸式開孔径測定装置

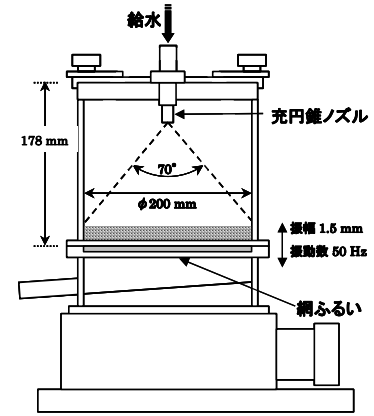


図-12 湿式開孔径測定装置

(1) 試料及び試験装置

表-4に比較・検討するジオテキスタイルの物性値を示す。繰返し水浸式開孔径試験に使用した装置を図-11に、表-5に使用したガラスビーズの代表粒径と粒径の範囲を示す。また、湿式開孔径試験に使用した装置を図-12に、図-13に使用した珪砂の粒径加積曲線を示す。

(2) 試験方法

a) 乾式開孔径試験

一定の振動数および鉛直振幅を有するふるい機を用いて、一定の粒径を有するガラスビーズをジオテキスタイル供試体によりふるい、ジオテキスタイル供試体上および供試体中に留まったガラスビーズの残留質量から見掛けの開孔径 (O_{R95}) を決定する試験方法である。

b) 繰返し水浸式開孔径試験

ガラスビーズは、乾式による見かけの開孔径に応じて、GTX-S14 と GTX-S30 には代表粒径 70~600 μ m を、GTX-S40 と GTX-D80 には代表粒径 50~400 μ m の 6 種類をそれぞれ各 10 g ずつ採取し、数滴の水で団粒がなくなるまで混合後、24 時間放置する。円筒容器の底部に、水道水に 24 時間浸しておいたジオテキスタイル供試体を装着し、ガラスビーズをジオテキスタイル供試体面上にのせる。円筒容器は、1 cm/s の速度で、水槽浸漬時間 18 秒、空中引き上げ時間 30 秒、浸漬深さ 50 mm の条件で上下作動を繰返し、繰返し浸漬回数は 2000 回とした。試験終了後、水槽内に流出したガラスビーズの粒度を測定し、粒径加積曲線の 95 %通過粒径を見かけの開孔径 (O_{95}) の測定値とした。

c) 湿式開孔径試験

親水剤に 24 時間浸しておいてジオテキスタイル供試体を網ふるいに固定し、ジオテキスタイル供試体上に図

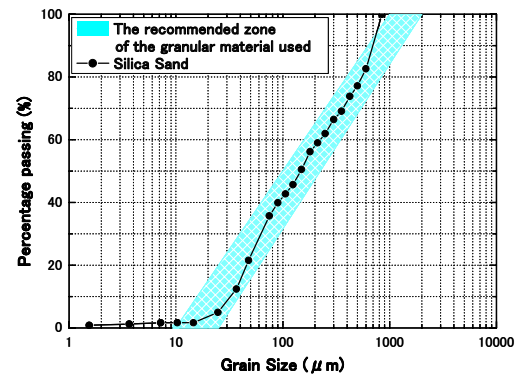


図-13 珪砂の粒径加積曲線

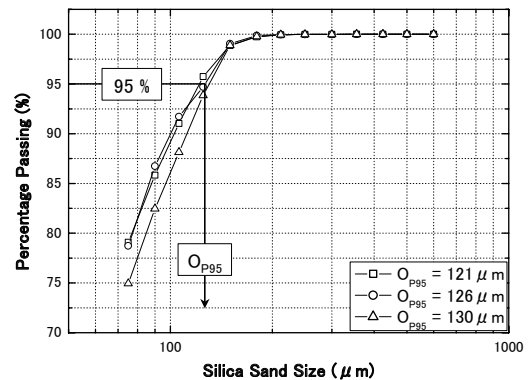


図-14 粒径加積曲線 (GTXS-14)

- 13 に示すように粒度調整した珪砂を 220 g のせる。円錐ノズルから 0.5 L/min で水を噴霧させながら、周波数 50 Hz、両振幅 1.5 mm で上下振動させ、振動時間は 600 秒間とした。試験期間中、水と共にジオテキスタイル供試体を通じた珪砂をビーカーで採取し、乾燥させた後、通過した珪砂の粒度を測定し、粒径加積曲線の 95 %通過粒径を見かけの開孔径 (O_{P95}) の測定値とした。

表- 6 繰返し水浸式開孔径試験及び湿式開孔径試験による各ジオテキスタイルの開孔径

ジオテキスタイルの種類	GTXS-14	GTXS-30	GTXS-40	GTXD-80
繰返し水浸式開孔径試験, O_{95} (μm)	133	123	88	—
湿式開孔径試験, O_{P95} (μm)	126	106	103	70

(3) 各々の見かけの開孔径試験方法による開孔径の検討

図- 14にGTXS-14を用いて実施した湿式開孔径試験の結果を示す。それぞれの開孔径には若干のバラツキがあるが、開孔径を決定する上では影響はないと判断し、3回の測定値の平均値を見かけの開孔径とした。GTXS-30, GTXS-40, GTXD-80に対しても同様に見かけの開孔径を求め、表- 6に繰返し水浸式開孔径試験、及び湿式開孔径試験より得られた開孔径の結果を示す。表- 4中の乾式開孔径試験による開孔径と比較すると、各ジオテキスタイルの開孔径の値に違いがあり、これらは、それぞれの試験方法の違いに起因するものと考えられる。

乾式開孔径試験は、最も大きいガラスビーズをジオテキスタイル供試体上にのせ、10分間の振動後、残留率が95%以下になるまで、同一供試体に対して、順次、ガラスビーズを小さくしながら、繰返し振動させる。これにより、1回目の振動時にジオテキスタイル供試体内に保持、または供試体上に貯留したガラスビーズが、2回目以降の振動時に通過するため、繰返し水浸式開孔径試験、及び湿式開孔径試験による開孔径の値より大きくなると考えられる。

繰返し水浸式開孔径試験は、円筒容器の繰返し浸漬時に発生する交互の水流によって、ジオテキスタイル供試体内に保持されたガラスビーズが移動しやすいため、湿式開孔径試験による開孔径の値より大きくなると考えられる。しかし、GTXS-40の開孔径は、湿式開孔径試験より小さく、またGTXD-80においては、計測不可能であった。これは、GTXS-40とGTXD-80の厚さが大きいため、交互水流による流体抵抗が小さく、ジオテキスタイル供試体内に保持、または供試体上に貯留しているガラスビーズが通過できないためだと考えられる。

湿式開孔径試験は、上記の2つの試験法と異なり、粒状体として一般的な土質材料を用いることとしており、本試験では珪砂を使用した。珪砂はガラスビーズに比較すると角張りがあるため、厚さが薄いジオテキスタイル供試体中に捕捉される可能性が大きくなると考えられることから、開孔径の値が小さくなると思われる。一方、湿式開孔径試験で得られるGTXS-40の開孔径は、繰返し水浸式開孔径試験より大きい値を示し、さらに、繰返し水浸式開孔径試験で計測不可能であったGTXD-80の開孔径の計測が可能であった。これは、湿式開孔径試験が、厚さが厚いジオテキスタイル供試体では、立体的な空隙の通り道が、薄い供試体に比べ大きくなることから、振動と散水により、供試体内に浸入した珪砂粒子が自由に移動して、ジオテキスタイル供試体を通過することが可能であるためと考えられる。

表- 7 ジオテキスタイルの間隙率

ジオテキスタイルの種類	GTXS-14	GTXS-30	GTXS-40
間隙率 (%)	89.7	89.0	89.0

以上から、各試験による開孔径の値が異なるのは、それぞれの試験方法の違いに起因するものと考えられ、本試験結果によれば、概ね、 $O_{R95} > O_{95} > O_{P95}$ となることが示された。

(4) 開孔径の理論値との比較

不織布ジオテキスタイルの間隙率が、開孔径に対して大きな影響を与えることから、J.P. GIROUD⁷⁾は、不織布ジオテキスタイルの間隙率として式(1)を、不織布ジオテキスタイルの開孔径の理論値として式(2)を提唱している。式(1)、(2)を用いて得られる開孔径の理論値と、各試験によって得られた開孔径の値を比較検討する。なお、2層構造のGTXD-80に対しては、これらの式が適用不可能であるため、1層構造のジオテキスタイルに対してのみ検討を行う。

$$n = \left(1 - \frac{\mu_{GT}}{\rho_f t_{GT}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$\frac{O_F}{d_f} = \frac{1}{\sqrt{1-n}} - 1 + \frac{\xi n}{(1-n) t_{GT} / d_f} \quad (2)$$

- n : 間隙率 (%)
- μ_{GT} : ジオテキスタイルの単位面積質量
- ρ_f : ジオテキスタイルの繊維密度
- t_{GT} : ジオテキスタイルの厚さ
- O_F : ジオテキスタイルの開孔径
- d_f : ジオテキスタイルの繊維直径
- ξ : フィッティングパラメータ($\xi=10$)

式(1)を用いて求めた間隙率の値を表- 7に示す。それぞれのジオテキスタイルの間隙率は、およそ89%となっている。また、各試験によって得られた開孔径とジオテキスタイルの相対厚さの関係を図- 15~17に示す。図中の実線は、間隙率89%で式(2)を使用して示された開孔径の理論値曲線である。それぞれ、図- 15は乾式開孔径試験、図- 16は湿式開孔径試験、図- 17は繰返し水浸式開孔径試験によって得られた開孔径の値を用いている。

図- 15より、乾式開孔径試験によって得られた開孔径の値は、間隙率89%で式(2)を使用して示される理論値曲線から大きく離れていることから、乾式開孔径試験では、ジオテキスタイルの開孔径を適切に測定できないと考えられる。

図- 16、図- 17より、湿式開孔径試験と繰返し水浸式

開孔径試験によって得られた開孔径の値は、間隙率 89 % で式(2)を使用して示される理論値曲線とほぼ一致していることから、湿式開孔径試験と繰返し水浸式開孔径試験は、ジオテキスタイルの開孔径を測定する試験法として、妥当な開孔径の値を求められる試験方法であると考えられる。

4. 定水位透水試験による目詰まり特性の検討

著者の研究グループでは、不織布系ジオテキスタイルの垂直方向透水性能の検討を行うため、ジオテキスタイルの目詰まり現象のうち、上述した clogging 現象に着目して、3 種類の細粒な土とジオテキスタイルを用いた一連の定水位透水試験を行ってきた。その結果、不織布系ジオテキスタイルの垂直方向透水性能は、不織布系ジオテキスタイルにおける単位体積目詰まり量と見かけの開孔径以下の粒径の通過質量百分率に依存すること、不織布系ジオテキスタイルの厚さが薄いほど目詰まりが生じやすくなることなどが明らかになった⁹⁾。しかし、最近、ジオテキスタイルの厚さが薄くかつ引張強度が大きい織布系ジオテキスタイルが開発され、我が国においても、その導入が検討され始めているが、織布系ジオテキスタイルの垂直方向透水性能に及ぼす様々な要因については、明らかにされていない部分が多い。実務において、この織布系ジオテキスタイルをろ過・分離材として使用する上では、このジオテキスタイルの垂直方向透水性能を検討し、目詰まり現象を適切に評価する必要がある。

そこで、本章では、まず、製造方法や厚さが異なる種々のジオテキスタイルを試料土層（千葉ローム）と礫層の間に挟んだ供試体に、動水勾配 $i=1$ 及び 4 として、定水位透水試験を実施し、種々のジオテキスタイルの垂直方向透水性能に及ぼす諸要因についての検討について論じ、さらに、種類や構造の異なるジオテキスタイルを用いた定水位透水試験を行い、実験結果を比較・検討した上で、開孔径や種類・構造の違いが垂直方向透水性に与える影響について論じることとする。

(1) 試料

実験に使用した試料は、原位置から採取した千葉ローム、関東ロームおよび市販の甲州産安山岩砕石である。これらの物理的性質を表-8に、各々の粒径加積曲線を図-18に示す。なお、本研究で使用した千葉ロームは目詰まり現象を確認しやすい条件に設定する為にジオテキスタイルの見かけの開孔径 (O_{95}) に比べて細粒な粒度分布を持つ試料である ($\rho_s = 2.59 \text{ g/cm}^3$, $w_L = 158.1 \%$, $w_p = 112.61 \%$, $I_p = 45.49$)。

(2) ジオテキスタイル

一般に、ジオテキスタイルは形状と製法から織布と不織布に大別されており構造的に異なることが知られてい

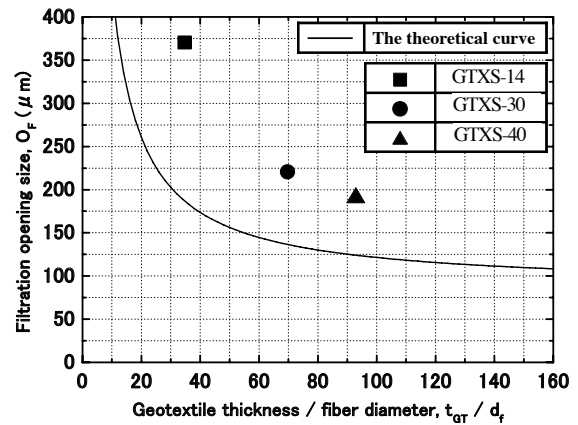


図-15 乾式開孔径試験における開孔径と相対厚さの関係

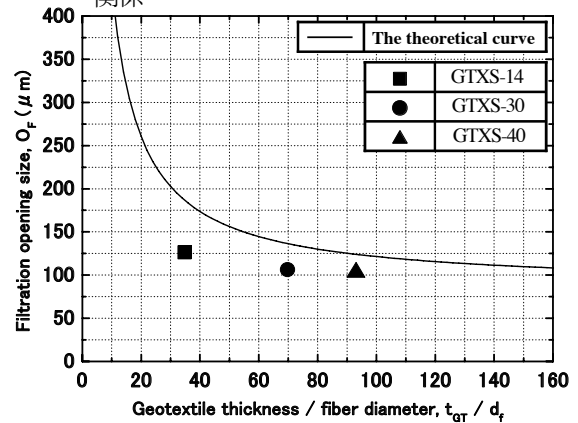


図-16 湿式開孔径試験における開孔径と相対厚さの関係

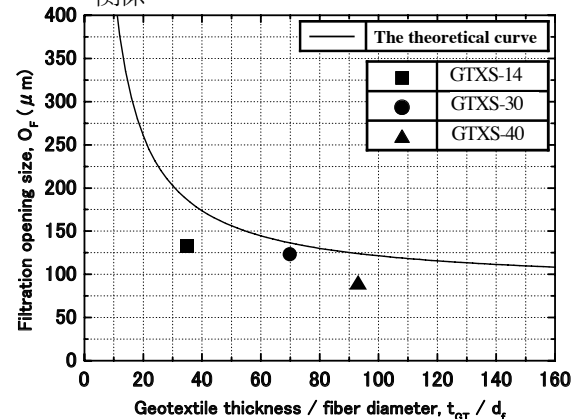


図-17 繰返し水浸式開孔径試験における開孔径と相対厚さの関係

る。不織布は、繊維を接着・融着、あるいは機械的にからませることにより、織り目のない布状にしたものであり、排水機能は高いが一般に剛性は低い。不織布系ジオテキスタイルは、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(GTXS)とニードルパンチ法で製造された短繊維不織布(GTXN)である。一方、織布は繊維を直交2方向に織ったもので、一般的には排水機能は低いが強度が高いと言われている。しかし、本研究で使用した織布系ジオテキスタイル(GTXW)は、プラスチック製のモノフィラメント(単繊維)系織布で特殊な繊維加工技術によって製造されており、高い透水性能を有している。

表-8 土試料の物理的性質

(a) 千葉ローム及び関東ローム

試料	千葉ローム	関東ローム	
土粒子密度: ρ_s (g/cm ³)	2.59	2.65	
液性限界: w_L (%)	158.1	124.1	
塑性限界: w_P (%)	112.61	65.65	
塑性指数: I_P	45.49	58.47	
最適含水比: w_{opt} (%)	54.4	68.7	
最大乾燥密度: ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.08	0.85	
Gradation	D_{50} (mm)	0.12	0.06
	U_c	19.73	-
細粒分 (%) [< 75 μ m]	41.88	13.91	

(b) 甲州産安山岩砕石

試料	甲州産安山岩砕石	
乾燥密度	最大密度	1.54
ρ_d (g/cm ³)	最小密度	1.083
Gradation	D_{50} (mm)	16.7
	U_c	1.32
細粒分 (%) [< 75 μ m]		0
本実験での供試体密度		1.487
ρ_d (g/cm ³)		

(3) 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。

下部モールドの試料土層は、以下のように作製した。まず、定水位透水試験装置の底盤のポーラスメタル上に濾紙を載せる。その際、濾紙を水で濡らすとともに、ポーラスメタルの間隙を水で満たして、空気を追い出す。次に、締め固め試験(B-a 法)結果に基づいて、2.5 kg のランマーで1層の締め固め回数を55回として、3層の締め固めを行った。この時、千葉ロームの場合には、最適含水比 $w_{opt} = 54.4\%$ 、最大乾燥密度 $\rho_{dmax} = 1.08 \text{ g/cm}^3$ を目標に、締め固めを行い、下部モールドの試料土層を作製した。

一方、上部モールドの礫層は、以下のように作製した。下部モールドの試料土層を作製後、下部モールド上に外径175 mm にカットしたジオテキスタイルを置き、その上に上部モールドを設置する。その際、上部・下部モールドとジオテキスタイルはOリングガイドで固定し、漏水を防止するようになっている。また、ジオテキスタイル供試体の通水に偏りが無いように、あらかじめジオテキスタイルを水浸し(24 hr 以上)、湿潤状態で使用した。ジオテキスタイル設置後、礫が密になるように、供試体作製条件である $\rho_d = 1.487 \text{ g/cm}^3$ 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ることにより、上部モールドの礫層を作製した。

(4) 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通水させ、上端から排水する方法で行った。現場で想定される動水勾配の値は $i=0.1 \sim 1.0$ であるが、本研究では、試験結果に及ぼす動水勾配の影響を検討するため、試験に要する時間短縮を考慮して、著者の研究グループのこれまでの研究^{9), 13), 14)}で用いてきた $i=4$ と、現場で想定される値に近く、かつ使用する試料が透

表-9 ジオテキスタイルの物性値

ジオテキスタイルの種類	スパンボンド供試体		ニードルパンチ供試体		
	GTXS-30	GTXS-40	GTXN-27	GTXN-37	GTXN-50E
目付 (g/m ²)	300	400	270	370	500
厚さ (mm)	3	4	3	4	10
垂直方向の透水係数(cm/sec)	1×10^{-1}	1×10^{-1}	2×10^{-1}	2×10^{-1}	1×10^{-1}
見かけの開孔径 (mm)	0.22	0.19	-	-	-

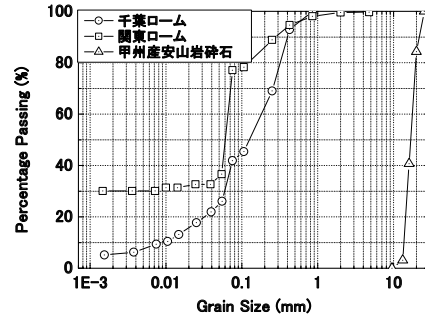


図-18 土試料の粒径加積曲線

水性の低いロームであることを考慮して、 $i=1$ の2種類の動水勾配を設定した。試験開始後に、それぞれ所定の経過時間ごとに流量を計測した。

定水位透水試験終了後、試験装置からジオテキスタイルを取り出し、水を張った容器の中で片面3回ずつ軽く濯ぎ、表面に付いた砂や土を取り除く。ジオテキスタイルを自然乾燥させた後、ジオテキスタイルの質量を計測し、『目詰まり量』を求める。

ここで、本研究では、『目詰まり量』を以下のように定義した。

$$\text{『目詰まり量』} = \text{『試験後のジオテキスタイルの質量』} - \text{『試験前のジオテキスタイルの質量』} - \text{『試験後取り除いたグリースの質量』} \quad (1)$$

ここで、グリースは上部・下部モールド間の接合部に設置するOリングガイドに使用した。

(5) 目詰まり特性に及ぼす諸要因の検討

本節の検討に用いたジオテキスタイル供試体の物性値を表-9に示す。なお、表中、ジオテキスタイルの種類名における数字は、目付に基づいたものである。

a) 透水係数

定水位透水試験から得られた透水係数と経過時間の関係を、図-19(a)~(c)に示す。図-19(a)において、 $i=1$ と $i=4$ の場合を比較すると、 $i=1$ の場合は k が減少傾向を示している。一方、 $i=4$ の場合は、GTXS-40 が110時間まで k が減少傾向を示しているが、その後はほぼ一定傾向を示しており、GTXS-30 は試験開始から終了まで k はほぼ一定傾向を示している。これは、動水勾配が小さい場合 ($i=1$) には、土粒子がジオテキスタイル内に貯留するのに対して、大きな動水勾配 ($i=4$) では、浸透圧によりジオテキスタイル内を通過したためと考えられる。また、GTXS-30 と GTXS-40 を比較すると、GTXS-40 の方が高い透水係数を示している。図-19(b)において、GTXN-27、GTXN-37 は k が減少傾向を、GTXN-50E は増加傾向を示している。また、 k の値は、GTXN-50E > GTXN-37 >

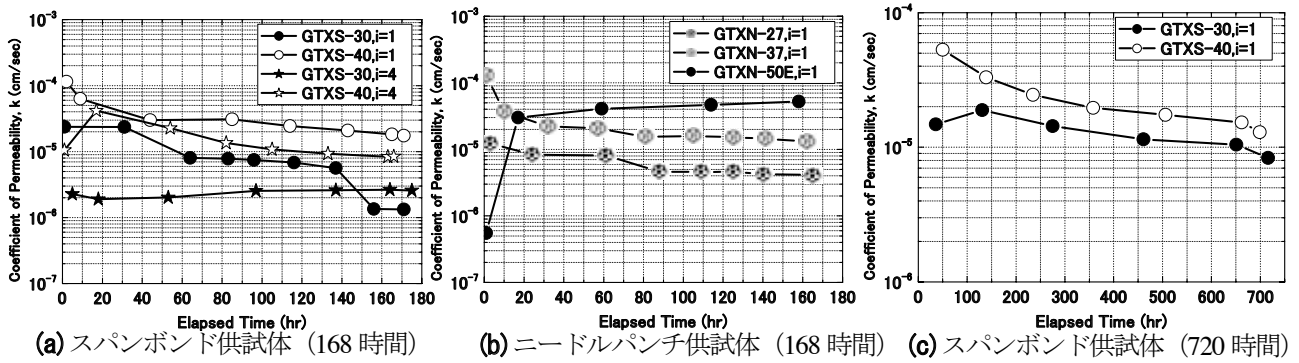


図-19 透水係数と経過時間の関係

GTXN-27 となっている。図-19(c)では、GTXS-30、GTXS-40 ともに k は減少傾向を示しており、GTXS-40 のほうが大きな値を示している。以上より、厚いジオテキスタイルのほうが大きな透水係数の値を示していることがわかる。これは、薄いジオテキスタイルでは、繊維に土粒子が捕捉され、厚いジオテキスタイルでは、開孔径が小さいことから、ジオテキスタイルに土粒子が入り込まず、水のみが多く通過したためであると推察される。

b) 目詰まり量および単位体積目詰まり量

各ジオテキスタイル供試体の目詰まり量及び単位体積目詰まり量を表-10(a)~(c)に示す。表-10(a)において、 $i=1$ と $i=4$ の場合を比較すると、 $i=4$ よりも $i=1$ の方が単位体積目詰まり量が多いことがわかる。このことから、動水勾配が大きい場合には浸透圧により、土粒子がジオテキスタイル内に貯留せず、通過したと考えられる。また、 $i=1$ と $i=4$ のどちらの場合においても、GTXS-40 よりも GTXS-30 の方が単位体積目詰まり量が多い値を示している。表-10(b)では、単位体積目詰まり量は、GTXN-27>GTXN-37>GTXN-50E となっている。表-10(c)においても、GTXS-40 よりも GTXS-30 のほうが単位体積目詰まり量が多い。これらより、すべてのジオテキスタイルにおいて、厚さが薄いほうが、単位体積目詰まり量が多いことがわかる。これは、薄いジオテキスタイルでは繊維に土粒子が捕捉され、目詰まり現象が生じているのに対して、厚いジオテキスタイルでは開孔

径が小さいため、ジオテキスタイルに土粒子が入り込まず、水のみが多く通過したことによると考えられる。

c) 温度

図-20は、経過時間168時間における平均水温約21℃と約10℃の場合の透水係数と経過時間の関係を示している。平均水温約21℃の場合は、どちらの供試体とも減少傾向を示している。一方、平均水温約10℃の場合は、どちらの供試体ともほぼ一定傾向を示し、平均水温約21℃の場合と比べ、透水係数は小さい値を示している。水の粘性係数は、15℃付近では水温が5℃~10℃変化するだけで大きく差が出てしまうが、透水係数を算

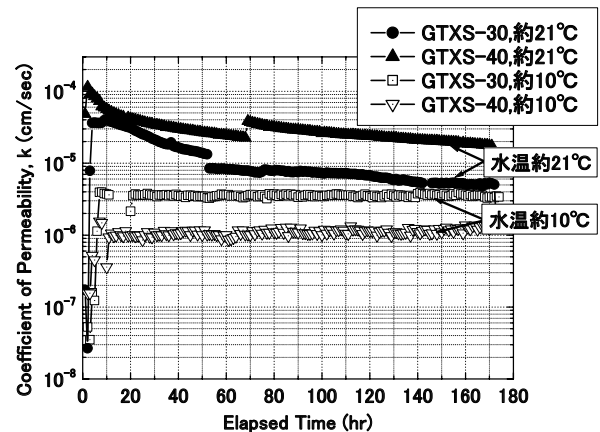


図-20 透水係数-経過時間の関係

表-10 目詰まり量及び単位体積目詰まり量

(a) スパンボンド供試体 (168時間)

動水勾配	i=1		i=4	
	GTXS-30	GTXS-40	GTXS-30	GTXS-40
目詰まり量 (g)	2.35	2.28	1.36	1.50
単位体積目詰まり量 (g/cm^3)	3.26×10^{-2}	2.37×10^{-2}	1.89×10^{-2}	1.56×10^{-2}

(b) ニードルパンチ供試体 (168時間)

動水勾配	i=1		
	GTXN-27	GTXN-37	GTXN-50E
目詰まり量 (g)	3.93	1.51	0.64
単位体積目詰まり量 (g/cm^3)	5.45×10^{-2}	1.51×10^{-2}	0.266×10^{-2}

(c) スパンボンド供試体(720時間)

i=1		
GTXS-30	GTXS-40	
目詰まり量 (g)	2.06	2.00
単位体積目詰まり量 (g/cm^3)	2.86×10^{-2}	2.08×10^{-2}

表-11 織布系ジオテキスタイルの物性値

ジオテキスタイルの種類	織布系						
	GTXW-275	GTXW-276	GTXW-350	GTXW-275.2	GTXW-333	GTX-108	GTX-294
目付 (g/m ²)	275	276.3	350.0	275.0	333.3	108	294
厚さ (mm)	-	0.4	0.9	0.7	0.9	0.37	0.77
垂直方向の透水係数(cm/sec)	5×10^{-1}	2×10^{-1}	9×10^{-1}	10×10^{-1}	3×10^{-1}	6.1×10^{-3}	1.3×10^{-2}

表-12 不織布系ジオテキスタイルの物性値

ジオテキスタイルの種類	不織布系			
	GTXS-300	GTXS-400	GTXN-270	GTXN-370
目付 (g/m ²)	300	400	270	370
厚さ (mm)	3	4	3	4
垂直方向の透水係数(cm/sec)	1×10^{-1}	1×10^{-1}	2×10^{-1}	2×10^{-1}

表-13 ジオテキスタイルの開孔径試験結果

ジオテキスタイルの種類	GTXW-350	GTXW-275.2	GTXW-333
目付 (g/m ²)	350.0	275.0	333.3
垂直方向の透水係数(cm/sec)	9×10^{-1}	10×10^{-1}	3×10^{-1}
開孔径O ₉₀	カタログ値	0.35	0.30
	計測値	0.32	0.23

出する際に水温による粘性係数の違いに対する補正を行っているため、この透水係数の違いは下部モールドに作製した千葉ローム層の飽和度の違いに起因するものと思われる。

以上をまとめると、動水勾配 $i=1$ の場合は、GTXN-50Eを除き、透水係数が減少する傾向が見られたこと、厚さが薄いジオテキスタイルが低い透水係数を示し、単位体積目詰まり量が大きくなる傾向が見られたこと、千葉ロームに対して目詰まりが生じにくいジオテキスタイルは、GTXS-40及びGTXN-37であると考えられること、平均水温約21℃と約10℃の場合の透水係数に差が見られたが、水温による水の粘性係数の違いに対する補正を行っているため、この透水係数の違いは試料土層の飽和度の違いに起因するものと思われることが明らかとなった。

(6) 織布系ジオテキスタイルの目詰まり特性の検討

本節では、織布系ジオテキスタイルの目詰まり特性を検討するために、織布系ジオテキスタイルの開孔径試験を実施するとともに、種類や構造の異なるジオテキスタイルを使用した定水位透水試験を行い、実験結果を比較・検討した上で、開孔径や種類・構造の違いが垂直方向透水性に与える影響について検討した。

本節の検討に用いたジオテキスタイルの種類、および物性値を表-11、表-12に示す。表中のジオテキスタイルの種類の数値は、目付の値に基づいている。また、本節の検討で、透水性を評価するにあたり、透水性を表すパラメータとして増減率を用いた。増減率とは、ジオテキスタイルに目詰まりが生じていない時の透水係数を基準値1.0として、各透水係数を基準値1.0との割合で表したものであり、各経過時間に対する透水係数を試験開始

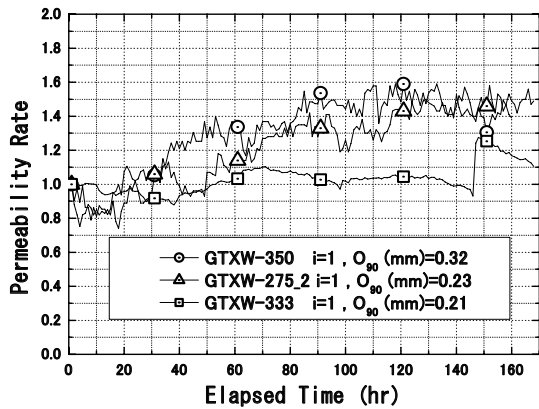
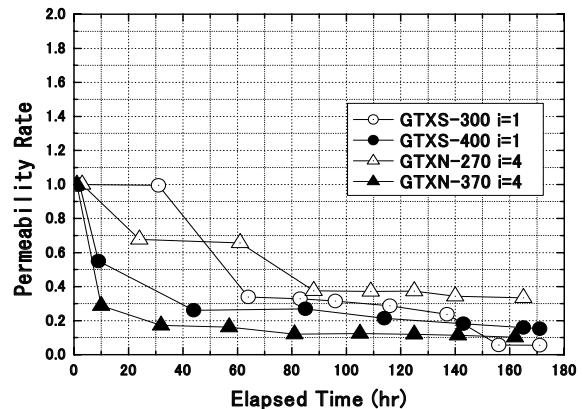


図-21 開孔径の違いによる比較



(a) 不織布系 $i=1,4$

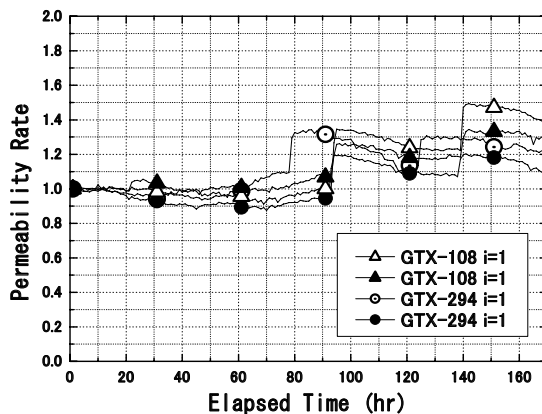
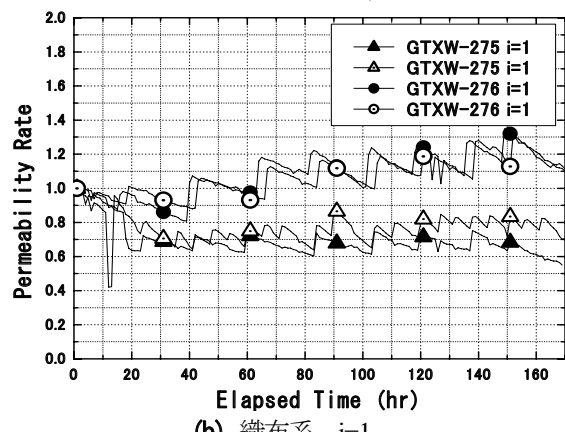


図-22 種類の違いによる比較



(b) 織布系 $i=1$

図-23 構造の違いによる比較

初期の透水係数で除した値で示される。透水係数そのものの代わりに透水係数の増減率を用いることで、異なる条件の各透水性の推移の比較が容易になる。また同条件で透水試験を複数回行った場合、その試験結果の透水性の傾向には大差がないものの、実験値としては再現性が低いとされる透水試験の難点も解消される。

a) 見かけの開孔径による検討

開孔径試験により得られた粒径加積曲線から算出した開孔径とカタログ値を表-13に示す。すべてのジオテキスタイルの開孔径において、計測値とカタログ値が近いことから、両者の結果は妥当であるといえる。定水位透水試験から得られた透水係数を用いて算出した増減率と経過時間の関係を、図-21に示す。開孔径の違いに関わらず、どれも一定あるいは増加の傾向を示している。過去の研究によれば¹⁴⁾、不織布系ジオテキスタイルの場合、ジオテキスタイルの厚さが薄くなると開孔径が大きくなることから土粒子が入り込み、目詰まりしやすくなる傾向があった。しかし、本研究による織布系ジオテキスタイルの場合は、厚さと開孔径の間に明確な相関性がないため、そのような傾向は表れなかった。また、不織布系ジオテキスタイルの開孔径に関する過去の検討¹³⁾では、開孔径と同じ粒径と開孔径を1.5倍した粒径の範囲に入る土の質量百分率の割合が大きいほど、ジオテキスタイルの流路を妨げることになり、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るという知見が得られている。今回使用した土試料（関東ローム）は、開孔径以下の粒径の通過質量百分率が非常に大きかったため、土粒子が流路を妨げることはなかったと思われる。また、織布系ジオテキスタイルの厚さが不織布系に比べて極端に薄いため、開孔径以下の粒径を持った土粒子はジオテキスタイルに補足されず通過していったと考えられる。

b) 構造の違いによる検討

定水位透水試験から得られた透水係数を用いて算出した増減率と経過時間の関係を、図-22及び図-23(a)、(b)に示す。図-22では2種類の織布系ジオテキスタイルを比較しているが、様々な物性値の違いに関わらず、どちらも増減率は一定の傾向を示しているがわかる。このことから、織布系ジオテキスタイルに関しては、垂直方向透水性に及ぼす物性値の影響は小さいと考えられる。図-23(a)は不織布系ジオテキスタイルを用いた場合の増減率を示しており、動水勾配はそれぞれ $i=4.0$ と $i=1.0$ である。また、図-23(b)は織布系ジオテキスタイルを用いた場合の増減率を示しており、動水勾配は $i=1.0$ である。図-23(a)の不織布系ジオテキスタイルは、全ての場合において経過時間とともに透水性が著しく減少しているが、これは繊維に土粒子が捕捉され、目詰まり現象が生じたことが原因であると考えられる。一方、図-23(b)における織布系ジオテキスタイルの透水性は、どれも一定あるいは増加の傾向を示している。また、試験後のジオテキスタイルを確認したところ、土粒子の目詰まりがほとんど生じていなかった。これは、本研究で使用した

織布系ジオテキスタイルがプラスチック製のモノフィラメント（単繊維）系織布であり、また、厚さが極めて薄いため、土粒子が捕捉されにくかったことが原因であると考えられる。

5. まとめ

本稿では、ジオテキスタイルをフィルター材として用いた場合の垂直方向透水性能を検討するために、著者の研究グループが、これまで実施してきた一連の研究成果に基づいて、ジオテキスタイルフィルターの目詰まり特性について論じた。これまで得られた知見をまとめると以下のようである。

- (1) ジオテキスタイルの通水性能を検討するための定水位透水試験においては、水道水の使用は装置内に気泡が蓄積し、透水係数や飽和度の算出に影響を及ぼすため、ジオテキスタイルの垂直方向透水性能を適切に評価出来ず不適であり、脱気水を使用することが妥当である。
- (2) 湿式開孔径試験から得られた見かけの開孔径の値をJ.P. GIROUDの開孔径の理論値と比較すると、本研究の範囲内では、どのジオテキスタイルに対しても適用可能な試験方法であると考えられる。
- (3) 湿式開孔径試験と繰返し水浸式開孔径試験は、ジオテキスタイルの開孔径を測定する試験法として、適切な開孔径の値を求められる試験方法であると考えられる。
- (4) $i=1$ の場合、同種類の不織布系ジオテキスタイルにおいては、厚さが薄いほうが、単位体積目詰まり量が大きいの。
- (5) 本研究で用いた織布系ジオテキスタイルは、従来の不織布系ジオテキスタイルに比べて、経過時間とともに垂直方向透水性能は、ほとんど減少傾向を示さず、目詰まりが生じにくいことから、垂直方向透水性能が優れていると考えられる。
- (6) 垂直方向透水性能を評価するために、透水性能を表すパラメータとして増減率を用いた検討は有効であると考えられる。

参考文献

- 1) ISO 10318, Geosynthetics – Terms and Definitions, p.11, 2005.
- 2) 国際ジオシンセティックス学会日本支部編：ジオシンセティックス入門, pp.6-8, 2001.
- 3) 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, pp.123-130, 1988.6.
- 4) 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, pp.57-67, 1995.3.
- 5) 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.
- 6) 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能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.
- 7) J.P.Giroud: Granular Filters and Geotextile Filter, Proc. of Geofilters'96, pp.565-680, 1996.
- 8) 西形達明, 岩崎高明, 須長誠, 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.
- 9) 木幡行宏・佐藤織絵・島谷文卓・弘中淳市・平井貴雄: 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, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, ジオシンセティックス論文集, 第21巻, pp. 327-332, 2006.
- 10) 木暮敬二, 軽部大蔵: 新規制定の学会基準案「ジオテキスタイルの見かけの開孔径試験方法」について, 土と基礎, Vol.42, No.3, pp.101-105, 1994.3.
- 11) 「JGS 0911: ジオテキスタイルの見かけの開孔径試験方法」の改正案について, 土と基礎, Vol.56, No.2, pp.44-45, 2008.
- 12) JGS 0911: ジオテキスタイルの開孔径試験方法 湿式開孔径試験, 「新規制定の地盤工学会基準案について」, 地盤工学会 HP, 2008.
- 13) 木幡行宏, 島谷文卓, 弘中淳市, 平井貴雄: ジオテキスタイルの垂直方向透水性能に及ぼす見掛けの開孔径の影響についての検討, ジオシンセティックス論文集, 第22巻, pp.147-152, 2007.
- 14) 木幡行宏・神智子・弘中淳市・平井貴雄: 種々の不織布による垂直方向透水性能に関する諸要因の検討, ジオシンセティックス論文集, Vol.24, pp.43-pp.48, 2009.

CLOGGING PROPERTY OF GEOTEXTILE FILTERS

Yukihiro KOHATA

Key Words : clogging property, geotextile, cross-plane flow performance

When a geotextile as filter is set in a ground for drainage, a decreasing of cross-plane flow performance of geotextile is expected due to a clogging associated with a intrusion and capture of soil particle. The objective of this paper is to consider a suitable geotextile filter to be hard to arise a clogging for fine-grained soils at a field site. This study was performed to focusing on a change of coefficient of permeability normal to plane on a kind of geotextile filter. A series of constant head permeability test on various geotextile filter was performed sandwiching in a geotextile filter between fine-grained geomaterial and gravel layer. This paper is discussed on a test method for an evaluation of the clogging property of geotextile filter, apparent opening size tests of geotextile and clogging properties of geotextile filters based on test results of a series of constant head permeability test on various geotextile filter.