Measurements of geotextile opening size and clogging phenomenon

Tatsuaki Nishigata Kansai University

Ichizou Yamaoka Kansai University

Abstract

When the geotextiles are used in drainage applications, the relationship between the opening size of geotextile and soil particle size becomes a essential factor. In this paper there methods have been used to measure the opening size of geotextiles. The results indicate that the method which water drains out and washes soil particles through the geotextile is suitable for needle-punch nonwoven whose opening size is finer than $50\mu\text{m}$.

Next, the clogging tests on five geotextile samples with silty sand were carried out, and the test results were compared with the typical filter criteria already formulated by some reseachers.

和文概要

ジオテキスタイルを排水フィルターとして使用する場合には、ジオテキスタイルの開口径と土粒子径の相互関係が非常に重要となる。本研究において開口径の測定に3種類の方法を用いた結果、 $50\mu\text{m}$ 以下の開口径を持つニードルパンチ不織布に対しては、水によってジオテキスタイルを通して土粒子を流出させ、その通過土粒子の粒径から開口径を測定する方法が適していることが示された。

さらに5種類のジオテキスタイル試料とシルト質砂を用いた目詰まり試験を実施し、この結果と従来から示されているジオテキスタイルのフィルター基準と比較検討した。

ジオテキスタイルの開口径の測定と目詰まり現象

関西大学工学部 西形達明
関西大学工学部 山岡一三

1. はしがき

ジオテキスタイルがフィルター材あるいは排水材として機能する上で関与する主な性質としては、ジオテキスタイルの開口径と透水性の2つが挙げられる。とくに開口径は、従来から使用されている骨材フィルターに代わる材料としてジオテキスタイルを使用した場合、その目詰まり現象と密接な関係があるものと考えられている。そこで本研究では、ジオテキスタイルの開口径に関する試験法を示し、その結果について考察する。また限られた範囲の条件ではあるが、各種のジオテキスタイルと土試料の組合せによってろ過排水試験を実施し、透水性と目詰まりの進行について考察を行い、この結果から既往のジオテキスタイルの目詰まり基準について検討を加えることにする。

2. 開口径の測定

2. 1 目視による測定

開口径の測定に使用したジオテキスタイル試料を表-1に示す。これらの試料のうち、目視によって開口部の形状を確認できるジオテキスタイル試料に対して、開口部を拡大投影し、1試料につき任意に約200個程度の開口部の径を測定して、その分布を調べたものが図-1である。これより次に示す見かけの開口径の場合と同様にして、ほぼジオテキスタイルの最大開口径と考えることができる、 O_{95} （開口部の95%がそれより小さい径）を代表開口径とすることにした。この測定結果が表-1中に示されている。

2. 2 見かけの開口径 (Apparent Opening Size, AOS)

本方法は通常の骨材のフルイ分析手法を反対に利用したもので、粒径が既知であるガラスビーズをジオテキスタイル試料上で振るうことによって、その5%通過粒径（開口径から考えると O_{95} に相当）でジオテキスタイル

表-1 ジオテキスタイル試料と開口径の測定結果

ジオテキスタイル 試料		厚さ ■mm	重量 g/■ ²	透水性 l/sec	開口径 (mm)		
					目視による方法	AOS	土粒子による方法
ヒートポン ド不織布	HB-A1	0.74	213	3.4	0.09	0.064	0.07
	HB-A2	0.48	161		0.17	0.076	
	HB-C2	0.37	57	3.2	×	×	0.11
ニードルパンチ 不織布	NP-B2	2.64	337	1.3	×	×	0.08
	NP-C1	1.28	150	4.4	×	×	0.11
	NP-C2	1.79	239	2.5	×	×	0.10
	NP-C3	2.46	322	2.4	×	×	0.10
マルチファイ ブライマ ント織布	MULT-A1	0.53	346	0.25	0.13	×	0.14
	MULT-A2	0.31	181	0.80	0.15	0.095	0.24
	SY-A1	0.34	123		0.71	0.60	
	SY-A2	0.45	181	12.0	0.30	0.15	0.20
モノ フレーム	MONO-A	0.77	134	12.0	0.43	0.48	0.35
	MONO-B	0.40	154	0.65	0.30	0.14	0.25

×: 測定不可のもの

図-1 目視による開口径分布

の代表開口径とする方法である。この試験方法の詳細については、すでに報告されている¹⁾のでここでは省略することにする。図-2には本方法によって測定が可能であったジオテキスタイル試料について、そのフルイ曲線が示されており、またそれぞれ求められた見かけの開口径の値が同様に表-1に示されている。本方法でも開口径が測定できるジオテキスタイルは限られており、とくに厚さが厚いニードルパンチ系の不織布の開口径を、ガラスビーズのような乾燥材料の振りい手法によって測定することは非常に困難なようである。また拡大による目視の結果と比較すると、わずかに小さい値を示しているようである。

2. 3 土粒子による開口径の測定

現実には土中水によって細粒土分が輸送されることを考慮すると、水の流れによって土粒子をジオテキスタイルを通して流出させ、これより開口径を推定する方法が望ましいものと考えられる。そこで図-3に示すような装置を試作した。これは底にジオテキスタイル試料を固定した円筒 ($\phi=100\text{mm}$) に土粒子 (100gf) を入れ、これを上下移動させることによって水中に出し入れして、土粒子を水とともにジオテキスタイル試料を通して流出させる。その後、流出した土粒子の粒径分布を測定することによってジオテキスタイルの開口径を推定するものである。なお土粒子の粒径は細砂～シルトの範囲に分布するものを使用した。また容器の上下移動速度は 1cm/sec とし、1回の実験に容器を上下させる回数は100回とした。測定結果が同じく表-1に記されているが、見かけの開口径の測定結果と比べてみると全体的にほぼ等しい値を示しているようである。さらに本方法によると、前方法では測定し得なかったニードルパンチ不織布においても一応の値が得られており、全試料とも 0.1mm 付近の等しい値を示している。また数値的にはヒートボンド不織布よりニードルパンチ不織布の方が大きい開口径の値を示していることも興味深い。しかし本試験法には、試験条件や流出土粒子の粒径分布の測定上の精度など、試験法として今後検討すべき点が多く残されている。

3. 目詰まり試験

3. 1 試験方法

ジオテキスタイルがフィルター材として機能するとき、ジオテキスタイル直上部には土粒子の細粒分が流出して、わずかに径の粗い土粒子からなるブリッジング層が形成され、その上部に細粒分が貯留されてここにフィルター層が形成されると言われている。すなわち透水性の低下は、ジオテキスタイルの

図-2 ビーズ振りい曲線 (見かけの開口径)

図-3 土粒子による開口径測定装置

内部に目詰まりが生じるためではなく、その上部に透水性の低いフィルターケーキ層が形成されることによるのである。そこでこの目詰まり特性を考察するために、図-4に示されるような試験装置によって透水試験を行った¹⁾。試料土としては定性的な目詰まり現象をできるだけ短時間のうちに観察するために、2mm以下の砂にシルト分を7~45%の含有率で混合したものを使用した。またジオテキスタイル試料としては、不織布には表-1に示す HB-A1, NP-B2 の2種類を、織布には MULT-A2, SY-A2, MONO-A の3種類を用いた。さらに試験時の全水頭は200cmとしており、試験継続時間は700時間(約1カ月)を目標とした。

3.2 試験結果

目詰まり試験の一例として、図-5はHB-A1について試料土のシルト含有率を変化させたときの透水係数の経時変化を調べたものである。また図-6には6種類のジオテキスタイル試料について、シルト分含有率が7%と45%の場合の試験結果が示されている。いずれも時間の経過と共に透水係数が徐々に低下しているが、これには試料中の目詰まり現象が少なからず影響を与えているものと考えられる。またわずかであるが、シルト分含有率の少ない試料の方が透水係数の低下率が大きくなっている。これはシルト含有率が低いと試料土の透水係数が大きいいため、試料中の微細粒子の輸送が活発になり、透水性の相対的な変化が大きくなったものと思われる。しかし図-6を見る限り、各ジオテキスタイル間の定性的な相違点はほとんど見られないようである。

そこで、Haliburton²⁾は、試料中の目詰まり現象を定量的に検討するために、ジオテキスタイル直上部の動水勾配と試料中央部の動水勾配との比を動水勾配比と定義している。これを図-4中の記号で表すと次式のようにになる。

$$\text{動水勾配比} = \frac{(H_1 - H_2) / L_{12}}{(H_4 - H_2) / L_{24}}$$

これより動水勾配比が大きくなると、ジオテキスタイル

図-4 目詰まり試験装置

図-5 透水係数の経時変化

図-6 透水係数の経時変化

図-7 動水勾配比の経時変化 (HB-A1)

図-8 動水勾配比の経時変化 (NP-B2)

図-9 動水勾配比の経時変化 (SY-A2)

図-10 動水勾配比の経時変化 (MONO-A)

の直上部 (L₁₂間) の透水性が相対的に低下したことを表しており、この部分に目詰まりが発生しつつあるかどうかの指標として用いることができる。図-7～10は各ジオテキスタイル試料における動水勾配比の経時変化を示したものである。挙動はそれぞれまちまちであるが、大きく分けると動水勾配比が時間とともに増加するものと、比較的安定して一定値に留まるものの2つが存在することがわかる。Haliburton は、この動水勾配比の値が 3.0 を越えるとその後の増加率が大きくなり、目詰まりの進行が著しくなると推論しているが、全体的には図-7～10の結果からも、同様の結論を導き出すことが可能ようである。しかし(1)式による動水勾配比は、あくまで試料の各部分における透水性の相対的な変化を示すものであり、絶対的な透水性の低下を表すものではないことに留意する必要がある。したがって動水勾配比がある一定の値を上回することは、将来、機能上重大な目詰まりに進展する危険性があることを示していると理解するべきであろう。さらにMONO-Aのように、開口径の大きいジオテキスタイルでは動水勾配比の増加はほとんど見られず、とくにMONO-Aではシルト含有率の少ない場合において土粒子の細粒分がジオテキスタイルを通過して流出する現象がみられた。

3.3 フィルター基準に関する考察

目詰まり試験の結果から、その挙動をまとめると、次の3つの状態に分類することができるものと思われる。

- ① 被ろ過土がジオテキスタイルを通過して流出し、パイピング現象につながる恐れのあるもの。
- ② 有効なフィルターケーキが生成され、定常的な透水特性の得られるもの。

③ 完全な目詰まりが進行するもの。

まず①の現象について考察することにする。これはジオテキスタイルによる被ろ過土の保有性にかかわるものと考えることがでる。混合粒径からなる土質材料に対するフィルター基準は、一般にジオテキスタイルの O_{95} と土の D_{85} （あるいは D_{50} ）の比と、均等係数の関数として与えられている。その代表的なものには、Ogink³⁾、FHWA⁴⁾、Giroud⁵⁾ によるものがあり、これらの基準をそれぞれ示したものが図-11である。これらの基準はいずれも基準線の下側の状態で使用すれば、パイピングが生じないことを意味している。また図には前項の目詰まり試験の条件も記入されており、ここで*記号の付いたものは、被ろ過土の細粒分の定常的な流出が顕著に見られたものを示している。

今回実施された実験条件はすべて $O_{95}/D_{85} < 1$ の範囲にあり、パイピングに対して最も安全側にある Giroud の基準をも下回るものであったため、顕著なパイピング現象が生じることはなかった。しかし図-11のようにフィルター基準における被ろ過土の粒径を表すファクターとして D_{85} を用いると、被ろ過土の均等係数が小さく、かつジオテキスタイルの開口径が大きい場合において一部見られるような、細粒土分の流出を抑制できない場合が存在する。（各基準曲線の下に細粒分が流出した場合の実験条件が存在する。）

そこで被ろ過土の粒径を D_{50} によって表し、ジオテキスタイルの O_{95} との関係を調べたものが図-12である。同様に実験結果が図中に記されているが、 O_{95}/D_{50} を用いると、 D_{85} による基準では阻止することのできなかった被ろ過土の細粒分の流出を、抑制することが可能なようである。

以上のより、ジオテキスタイルによるフィルター基準としては、被ろ過土の D_{85} とジオテキスタイルの O_{95} との関係だけではなく、 D_{50} と O_{95} の関係を調べることによって、細粒土分の定常的な流出を抑制しうるものと考えられる。

次に上記の、②と③の現象について考えてみる。現在のところ③の完全な目詰まりの発生の指標としては、前述したとうり目詰まり試験から動水勾配比が3以上になる場合であると考えられている。しかし試験結果の動水勾配比の値からは、②の有効なフィルターケーキが生成されたものと、不都合な目詰まりの発生とを正しく区別することは難しい。フィルターケーキ層の生成は、土のセルフシーリング (self-sealing) 機能によるものと考

図-11 既往の目詰まり基準と試験結果の比較

図-12 既往の目詰まり基準と試験結果の比較

えられ、この意味ではジオテキスタイルの開口径よりも、被ろ過土自身の物理化学的性質が大きく影響を及ぼすものと考えることができる。

図-11、12に示された実験結果において、記号中に斜線の施されたものが目詰まり試験において動水勾配比が3以上となりその後も増加傾向にあったものであり、また白ぬきの結果が動水勾配比にほとんど増加が見られなかったものを示している。これより全体的に O_{95}/D_{85} （あるいは O_{95}/D_{50} ）の値が小さい場合（とくに不織布の場合）に、動水勾配比が増加する傾向にあることがわかる。また図に示された基準線付近の条件のものでは、動水勾配比に顕著な増加が見られなかったことから、この範囲の条件でジオテキスタイルを使用すれば極度の目詰まりを回避できるような思われる。このようにジオテキスタイルフィルターによって被ろ過土を保有することと、目詰まり現象を抑制することとは、非常にデリケートな境界を持ち、設計時には十分な注意を必要とすることがわかる。

4 まとめ

(1) ガラスビーズのように乾燥材料のフルイによる方法は、厚さの厚い不織布の開口径の測定には不適である。このようなジオテキスタイルには、土粒子を水とともにジオテキスタイル試料を通過させることによって、測定する方法に頼るしかないものと考えられる。

(2) 目詰まり試験の結果から、フィルター層の経時的な透水性の低下は、ジオテキスタイル上に輸送される微細土粒子によるものと考えられ、この目詰まり現象の定量的な確認方法として、Haliburton が示した動水勾配比が指標になりうるものと考えられる。

(3) パイピングあるいは目詰まり現象の進行に対しては、ジオテキスタイルの開口径と被ろ過土の粒径分布の関係が大きく影響を及ぼす。パイピング現象に対する既往の基準では、土の代表粒径に D_{85} が使用されているが、細粒土の流出に対しては D_{50} を用いた検討を行う必要がある。

参考文献)

- 1) 山岡・西形・坪井：ジオテキスタイルのろ過機能と目詰まり現象，第30回土質工学シンポ，1985.
- 2) Haliburton, T.A. and P.D. Wood : Evaluation of the U.S. Army Corps of Engineers Gradient ratio test for geotextile performance, 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, pp.97-101, 1982.
- 3) Ogink, H.J.M. : Investigations on the hydraulics characteristics of synthetic fabrics, Delft Hydraulics Laboratory, 1975.
- 4) Christopher, B.R. and R.D. Holtz : Geotextile Engineering Manual, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1984.
- 5) Giroud, J.P. : Filter criteria for geotextile, 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, pp.103-108, 1982.