赤土等流出による地下水汚染防止を目的とした 不織布シートによるろ過層の透水性†

上原方成* 原久夫**

A Study on the Permeability Changes of Filtration Layer Made with Geotextile for the Purpose of the Groundwater Contamination Control

by

Hosei UEHARA* and Hisao HARA**

There are weathered and erosive reddish soils called “Kunigami Maaji” in the northern part of Okinawa-jima. The distribution area of the reddish soils inclines steeply toward the seashore. The running water due to the typhoon and heavy rain erode the reddish soils. The flow out soils have made the sea water contamination, and it gives us the problem of environmental geotechnics.

The non-woven sheet has been used to filter the muddy water running into the deposit pond. The purpose of this experimental study is to investigate the changes of the permeability of the filter caused by clogging of the reddish soil particles. The experiments with 3 types non-woven sheets were carried out in order to find the effect of the types of sort of sheet, for representative soils and concentration of muddy water.

Key words : Reddish soils, Geotextiles, Permeability, Filtration layer, Erosions, Soil flow out, Environmental geotechnics

1 ま え が き

沖縄島北部地域には「国頭まあい」と呼ばれる変成岩風化残積土層が分布している。その分布地域は、山地から海岸線に向け傾斜しており、台風、強雨などの気象条件とあいまって侵食土砂の流出が激しい。河川海域への土砂流出は、漁業、観光産業へ影響を及ぼし、環境問題としても大きな社会問題となっている。沖縄県による河川水の濁度調査では、最高 400ppm の例¹⁾もあり、また県内 24 地区で、海底の低質中の赤土砂濃度が 400kg/m³ 以上となっていることが報告²⁾されている。赤土砂流出防止のための条例が整備され、また各種の対策工法が開発、実行され徐々にその成果が上がりつつあるが、最近の環境庁による赤土流出防止対策検討委員会³⁾では、赤土砂流出に関連する新たな問題として、濁水による地下水汚染の恐れも指摘されるとともに、沖縄島中南部地域の島尻層泥岩土の流出も同様に問題化しつつある。

本研究は、軟弱地盤の地盤改良に使用される不織布シートのフィルター効果^{4)~6)}に着目して、沈砂池での利用だけでなく、濁水の地下水汚染防止への利用も目的とし、不織布シートの透水性に関する実験を行い、その有効性を判断する基礎的資料を得ようとするものである。不織布シートを赤土砂濁水などのフィルター材料として使う場合、濁水の透過による目詰まりが懸念される。実験では、種々の不織布シートについて、土の種類、濁水の濃度、水頭差を変え透過に伴う不織布シートの透水性変化を調べた。

2 実験概要

2・1 試料土と不織布シート

濁水に使用した土は、北部の石川市より採取した赤土と南部の島尻層泥岩土の 2 種類で、その物理的性質を Table I に示す。石川土は沖縄本島北部地域に分布する赤土の一種であり、島尻層泥岩土は本島中南部地域に分布する島尻層泥岩を破碎したものである。不織布シートはポリプロピレン繊維熱圧着シートであり、実験には材料特性の異なる 3 種類の不織布シートを用い、その材料特性を Table II に示す。不織布シートの材料番号が大きいものほど質量、厚みは大きくなり、逆に孔径は小さく、透水係数も小さくなる。なお表中のシート透水係数は本実験で得られた値である。

2・2 実験装置と条件

不織布シートの透水試験は定水位透水試験法によって行った。その試験装置の概要を Fig. 1 に示す。実験装置は、図に示すように堆積型 (Fig. 1 (a) : シートを水平に置く形式) と非堆積型 (Fig. 1 (b) : シートを鉛直に置く形式) の 2 種類である。堆積型では、実験開始直後から、有孔鋼板の厚さだけ堆積土層が作られ、この層の透水係数が全体の透水性に影響する。本実験では、有孔板の厚さは 5mm と 1mm の 2 種類でこの厚さが堆積土層の厚みとなる。非堆積型は、この堆積層の影響を取り除くためにシートを垂直に置いたものである。

不織布シートを透過した流出量は、3 ~ 5 秒おきに連続測定し、透過流量の増加による透水係数の変化を調べる

† 原稿受理 平成 11 年 4 月 7 日 Received Apr. 7, 1999

* 正会員 上原地盤工学研究所 〒900-0025 那覇市壺川, UEHARA JIBANKOUGAKU-KENKYUSYO, Tubogawa, Naha, 900-0025

** 琉球大学工学部環境建設工学科 〒903-0213 沖縄県西原町千原, Dept. of civil Eng. & Arch., Univ. of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa, 903-0213

ことができる。実験条件は、Table IIIのように設定し、濁水濃度、水頭差、透過シートの断面積をそれぞれ組み合わせて行った。なお、透水係数は式 (1) によって求めた。

$$k = \frac{1}{AH} \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

ここに、

k : シートおよび堆積層を含む全体の透水係数 (cm/s)

l : シート厚さ (cm)

Table I. Property of the Kunigami Maaji and Shimajiri clay.

soils	Ishikawado(Kunigami-maaji)	Shimajiri mudstone(Shimajiri clay))
density (g/cm ³)	2.678	2.69
liquid limit ω_L (%)	34.2	62.0
plastic limit ω_p (%)	18.7	27.7
plasticity index I_p (%)	15.5	34.3
sand(75 μ m~2mm) (%)	12.0~14.9	15.3
silt(5 μ m~75 μ m) (%)	68.9~75.5	41.3
clay(5 μ m~) (%)	12.5~17.0	43.4

Table II. Property of the non-woven sheets.

material number	#3301	#3401	#3601
diameter of the hole (mm)	0.2~0.5	0.1~0.3	0.05~0.18
density (g/m ²)	100	135	200
thickness (mm)	0.38	0.47	0.56
coefficient of permeability water	8.68×10^{-3}	8.87×10^{-3}	5.52×10^{-3}
permeability 2000ppm	5.07×10^{-5}	2.47×10^{-5}	5.16×10^{-5}
(cm/s)	2.58×10^{-5}	3.60×10^{-5}	9.41×10^{-5}
(Ishikawado: accumulation)	2.07×10^{-5}	5.74×10^{-5}	2.23×10^{-5}
10000

Fig. 1. Permeability Test apparatus, accumulation and non accumulation type.

Table III. Condition of permeability tests.

concentration of the muddy water.	water muddy water(Ishikawado) muddy water(Shimajiri clay)	0 ppm		
		2000 ppm, 5000 ppm, 10000 ppm	2000 ppm	
head of water	accumulation(5mm)	$H_L=43$ cm,	$H_u=73$ cm,	$H_u=103$ cm
	accumulation (1mm)	$H_L=27$ cm,	$H_u=56$ cm,	$H_u=86$ cm
	non accumulation	$H_L=30$ cm,	$H_u=60$ cm,	$H_u=90$ cm
Seepage area	accumulation(5mm)	0.196 cm ² ,	1.764 cm ² ,	4.116 cm ²
	accumulation (1mm)		2.011 cm ²	
	non accumulation		2.270 cm ²	

A : 透過面積 (cm²)

H : 水頭差 (cm)

ΔQ : Δt (s) 時間の透過濁水量 (cm³) である.

3 実験結果と考察

Fig. 2, 3, 4 に結果の一例として, 石川土を用いた場合の不織布材料番号 #3301 に対する堆積型 (5mm) での実験結果を示す. Fig. 2 は各濁水濃度での透過時間と透過濁水量の関係, Fig. 3 は透過時間と透水係数の関係, Fig. 4 は透過濁水量と透水係数の関係を示す. これらの結果から, 透過開始直後から透水性の低下が著しく, その後比較的早い段階で定常状態に移行することがわかる. この不織布シート材料の場合では, 濁水の濃度にかかわらず透過時間にして約 1000 秒, 透過濁水量では約 150 cm³/cm² で定常状態に至っている. その他の実験条件での, 定常状態に達する透過濁水量は, 10 ~ 200 cm³/cm² となっている. 定常状態におけるシートおよび堆積土層を含む全体の透水係数をここでは定常状態透水係数と呼ぶ. この結果から, 現場では濁水の到達とほぼ同時にこのような状態に達するものと考えられる.

またこの例の場合, 濁水濃度が大きいほど定常状態透水性も低下しているが, このことは必ずしも一般性を持つ現象ではないことを Fig. 5 によって示す.

Fig. 5 は, 各実験条件とそれに対応する定常状態透水係数を示しているが, 同図から定常状態透水係数は濃度, 水頭差, 透過面積に対して明確な関係はなく, 10⁻⁴ ~ 10⁻⁶ cm/s 程度となることがわかる. また堆積型のほうが非堆積型より若干透水性が良くなっているが, これはシート前面部にできた土砂堆積層がフィルター効果を発揮しているためと考えられる. このフィルター効果は堆積面を構成する土粒子径に依存し, 各実験ごとに異なった堆積状態となるため, 測定された全体の透水性にばらつきが生じているものと考えられる.

シート透過後の濁水はどのケースの場合もきわめて清浄であるため濁度の測定は行っていない.

以上の結果は, 濁水透過による透水性の評価が, シートおよびその前面に構成されるフィルター層を含めて行なわれるべきであることを示唆している. したがって, 地下水汚染防止工にこのような不織布シートを利用する際にはこの特性を考慮しておく必要がある.

次に濁水土が島尻層泥岩土である場合の結果を示す.

島尻層泥岩土での実験条件は, 非堆積型, 濁度 2000

Fig. 2. Relationship between duration time and quantity of filtered water (non woven sheet #3301, Accumulation, 5mm).

Fig. 3. Relationship between duration time and coefficient of permeability (non woven sheet #3301, Accumulation, 5mm).

Fig. 4. Relationship between quantity of filtered water and coefficient of permeability (non woven sheet #3301, Accumulation, 5mm).

ppm のみであり, Fig. 6 に透過濁水量と透水係数関係を, Table IV に各不織布シート材料の定常状態透水係数を示す. 島尻層泥岩土に対する定常透水係数は 10⁻⁶ cm/s の

Fig. 5. Relationship between concentration and coefficient of permeability.

Table IV. permeability of non woven sheets non woven sheet (non accumulation, Shimajiri clay, 2000ppm).

material	coefficient of permeability
#3301	1.19×10^{-6} (cm/s)
#3401	2.46×10^{-6}
#3601	1.19×10^{-6}

オーダーとなり石川土（赤土）より約 10 倍透水性が低下する結果となっている。島尻層泥岩土の分布域は地下水利用地域である沖縄本島南部地域と重なり、その濁水による地下水汚染防止においては、不織布シート単体ではなく、砂、割栗石などをフィルターとして併用する必要がある。

以上の実験結果をまとめると、以下のようである。

(1) 不織布シートおよびそれに付着する土層全体の透水性は、濁水の透過直後から低下し、その後、透水係数にして $10^{-4} \sim 10^{-6}$ cm/s 程度のオーダーで定常状態を保つ。濁水が島尻層泥岩土の場合、定常透水係数は 10^{-6} cm/s 程度となる。

(2) 定常状態に達する濁水透過量は、 $10 \sim 200 \text{ cm}^3 / \text{cm}^2$ 程度であるが、現場での使用を考えるとわずかの透過量であり、現実的には使用直後からこの定常透水係数に達していると考えられる。

(3) 定常状態の透水性能を向上させるため、沈砂池フィルターで透水性能向上の実績がある砂層、割栗石などの併用が必要である。

4 あとがき

従来、不織布シートは軟弱地盤における表層安定処理等の補助手段の一方として使用される一方、土地造成や掘削・切盛土など土工では土砂流出対策工におけるフィルター材としても使用されてきた。

沖縄県では、赤土（国頭まあじ）や島尻粘土などの降雨に伴う河川海域への流出防止手段としての沈砂池において効果的なフィルター材または補助材としても使用例があり、広域的な農地造成・改良やダム工事などで使用されるほか、降雨に備えての道路橋下部構の土工でも随時使用が試みられて効果を上げつつある。ただ、フィルター機能の基礎的特性（持続性、反復利用性なども含めて）や沈砂池等での設計資料としての調査研究は未解の

Fig. 6. Relationship between quantity of filtered water and coefficient of permeability (Shimajiri clay).

ところがある。今回の試みは、河川海域の汚染問題もさることながら汚濁水の地下浸透による地下水汚染ひいてはその海中流出問題も懸念されることから、地盤環境保全の意味でフィルター利用として基礎的研究を行った。

赤土等による汚濁水の地下浸透が降雨時に自然的にも人為的にもおこることをも視野に入れた赤土砂等流出抑止および防止のため、フィルター材の開発利用が望まれる。今後フィルター機能のより詳しい解明やその有効利用方法のあり方（たとえば、他材、砂層などとの併用）を室内実験および現場実験によって確かめ、実用化促進を図っていききたい。

謝辞：本研究において、蝶理(株)、合資会社 導プランニングには不織布シート材の提供など多大な協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 沖縄県環境保健部, 赤土汚濁に関する流域解析調査報告 (1992).
- 2) 沖縄県環境保健部, 赤土流出防止対策の手引き (1991).
- 3) 環境庁平成 9 年度赤土流出防止対策検討委員会資料 (1997).
- 4) 黒崎靖介, 高田 徹, 和宇慶ミツ子, 平成 9 年度赤土等流出防止技術交流会事例集, 31 (1997).
- 5) 鄭 明亮, 原 久夫, 上原方成, 秋田雄一郎, 野原博豪, 第 10 回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, 73 (1997).
- 6) 原 久夫, 上原方成, 高田 徹, 和宇慶ミツ子, 第 33 回地盤工学研究発表会, 平成 10 年度発表講演集, 2355 (1998).