Leakage through a geomembrane having defects

Masami Fukuoka, Science University of Tokyo
Yoshinori Imamura, Science University of Tokyo
Hiroyuki Yamanaka, Science University of Tokyo

A method of preventing leakage through the bottom of a large reservoir by adapting a geomembrane placed on the bottom. A large-scale permeability test was performed before designing this method, and the report of this test was given at the 3rd International Conference on Geotextiles. Geotextiles, which were placed under the geomembrane, were compressed by water pressure and became impermeable. Water, through defects in the geomembrane, did not flow horizontally through the geotextile which was deemed permeable. As a result of the test the following was proved: that geotextiles helped close the contact between the geomembrane and the rough ground surface, and prevented flow through cavities caused by the rough ground surface. The geotextiles had the double advantage of having a cushioning effect and preventing horizontal flow under the geomembrane. The research work was performed to investigate the leakage phenomena through the geomembrane having defects.

貯水池の底にジオメンブレンを敷いて池底からの漏水を防ぐという工法が採用された。設計前に行なった試験については1981年にウィーンで行なわれた第3回国際ジオテキスタイル会議に報告した。ジオメンブレンの下に敷いたジオテキスタイルは水圧によって圧縮されて透水性が低下し、ジオメンブレンにできた欠陥から漏った水はジオメンブレンを伝わって広く四方に拡散するというようなことはない。ジオテキスタイルはジオメンブレンと粗い土の表面を接触をよくし、もしジオテキスタイルがなければジオメンブレンの下面と粗い土の表面との間の間隙を通して水が横方向に拡散するという好ましくない現象を防止するという働きをすることがわかった。ジオテキスタイルとジオメンブレンの組み合わせによって漏水を防止しようとする場合、ジオテキスタイルは粗い土の表面によってジオメンブレンに痕がつくのを防ぐクッション作用をすると同時に、ジオメンブレンにできた孔からの漏水の拡散防止に役立つという2重の効果があることがわかった。工事が目下進行中であるが、この間において更に孔のあいたジオメンブレンからの漏水現象を実験によって確かめようとしたのが本研究の目的である。

孔のあいたジオメンブレンからの漏水について

東京理科大学理工学部 福岡 正巳

東京理科大学理工学部 今村 芳徳

東京理科大学大学院 ○山中 宏之

1. まえがき

貯水池の底にジオメンブレンを敷いて池底からの漏水を防ぐという工法が採用された。設計前に行なった試験については1986年にウィーンで行なわれた第3回国際ジオテキスタイル会議に報告した¹⁾。ジオメンブレンの下に敷いたジオテキスタイルは水压によって圧縮されて透水性が低下し、ジオメンブレンにできた欠陥から漏った水はジオメンブレンを伝わって広く四方に拡散するというようなことはない。ジオテキスタイルはジオメンブレンと粗い土の表面を接触をよくし、もしジオテキスタイルがなければジオメンブレンの下面と粗い土の表面との間の間隙を通して水が横方向に拡散するという好ましくない現象を防止するという働きをすることがわかった。ジオテキスタイルとジオメンブレンの組み合わせによって漏水を防止しようとする場合、ジオテキスタイルは粗い土の表面によってジオメンブレンに痕がつくのを防ぐクッション作用をすると同時に、ジオメンブレンにできた孔からの漏水の拡散防止に役立つという2重の効果があることがわかった。

工事が目下進行中であるが、この間において更に孔のあいたジオメンブレンからの漏水現象を実験によって確かめようとしたのが本研究の目的である。

2. 実験装置¹⁾

図-1に孔のあいたジオメンブレンからの漏水現象を調べるために作製した実験装置を示す。この装置は鋼製の上・下部タンクからなり、下部タンクには貯水池の底の土を想定した土層を作成し、その上に孔のあいたジオメンブレンを敷設する。上部タンクは水を満たし圧力を加えるものであり、貯水池の最大水深は40mであるので、タンクは400kPaの圧力に耐え得る設計となっている。土層内の間隙水压を調べるため下部タンクにピエゾメーターを設置した。土層を浸透してきた

図-1 実験装置

水は土層の底部に5cmの厚さで設けられた砂層に集められ、下部タンク底部のパイプから排水される。土層は質量 20 kgの木製ランマーを用いて3層に分け転圧して作成した。

3. ジオメンブレンの漏水に及ぼす影響の試験

土層として用いた土は筑波山の花崗岩の風化したまき土である。土質特性は表-1に示す。ジオメンブレンとしては厚さ1mmのPVCで、穴の径は20mm 50mm、ジオテキスタイルはスパンボンド法ポリプロピレン長繊維不織布、目付量 520g/m²である。不織布の透水係数は水平方向透水試験により求めたが、その値は圧力200,300kPaに対してそれぞれ 7.1×10^{-6} ないし 6.4×10^{-6} m/sであった。

試験の結果を表-2に示す。No.3,4,7,8ではジオメンブレンと土層の表面の間にジオテキスタイルを挟んである。Q_Dはジオテキスタイルとジオメンブレンの組合わせを土層上に敷かない場合の漏水量で

次式で表わされる。

$$Q_D = \frac{1}{100} k i A \quad \text{-----}(1)$$

ここで、

Q_D : 漏水量, cm³/s

k : 下層土の透水係数, m/s

i : 水頭勾配

A : 断面積, cm²

不織布を敷けば土層表面が粗い場合でも漏水量を減少させる効果があるが、土層表面が滑らかな場合には効果が認められない。欠陥径が漏水量に及ぼす影響はジオメンブレンと土層表面が密着している場合には欠陥径に比例し、もし土層が極めて透水性がよい場合には直径の2乗に比例する筈である。表-2から欠陥径と漏水量の関係を求めると表-3のようになる。直径の比は2.5、直径の2乗の比は6.25であるからジオテキスタイルをジオメン

表-1 土質特性

湿潤密度	(g/cm ³)	2.18
乾燥密度	(g/cm ³)	1.94
最適含水比	(%)	11.50
最大乾燥密度	(g/cm ³)	1.97
粒 度 特 性 (%)	4.75 mm 以上	9.00
	4.75 ~ 2.00 mm	24.30
	2.00 ~ 0.42 mm	41.80
	0.42 ~ 0.075 mm	21.40
	0.075 ~ 0.005 mm	3.50
透水係数	(m/s)	1.50×10^{-7}

表-2 透水実験結果

No	欠陥径 (mm)	ジオテキ スタイル	圧 力 (kPa)	下層土の 透水係数 ($\times 10^{-7}$ m/s)	24時間後 漏水量 Q (cm ³ /s)	Q _D (cm ³ /s)	(Q/Q _D) $\times 100$ (%)
1	20	無	200	3.7	20.8	29.4	70.7
2	50	無	200	5.2	49.4	40.4	122.3
3	20	有	200	5.4	5.17	42.6	12.1
4	50	有	200	4.8	9.75	38.0	27.1
5	20	*無	300	3.0	1.50	34.8	4.3
6	50	*無	300	3.5	2.03	41.5	4.9
7	20	*有	300	2.5	1.20	29.5	4.1
8	50	*有	300	3.9	5.75	44.5	12.9

(注) * : 土層表面の土の粒径を最大径2.5mmになるように平槽に仕上げた。
Q_D : ジオテキスタイルとジオメンブレンの組合せを土層上に敷かない場合の漏水量。
有 : ジオテキスタイルを敷いた場合。
無 : ジオテキスタイルを敷かない場合。

表-3 欠陥径と漏水量の関係

ジオテキ スタイル	土層表面	圧力 (kPa)	(Q/Q _D) $\times 100$ (%)		比 ①/②
			欠陥径 ① 50mm	欠陥径 ② 20mm	
無	粗い	200	122.3	70.7	1.73
有	粗い	200	27.1	12.1	2.24
無	平滑	300	4.9	4.3	1.14
有	平滑	300	12.9	4.1	3.15
				平均	2.07

(注) 有 : ジオテキスタイルを敷いた場合
無 : ジオテキスタイルを敷かない場合

アレンの下に敷いた場合の漏水量はほぼ穴の直径に比例するとしてよい。不織布を敷設していない場合、No.1,2では Q/Q_0 の値は100%に近く、これは漏水がジオメンブレンの穴を通り、さらに土層の粗い表面とジオメンブレンの下面の間隙を通り、全面に拡るためと考えられる。土層の表面を滑らかにした場合は不織布を敷かなくてもNo.5,6のように Q_0/Q は4.3、4.9%となる。これは、ジオメンブレンの下を土層表面の間隙を通して水が流れなくなるためであろう。

No.1,5,7で土層内の間隙水压を測定した。その結果を図-2に示す。(a)図は欠陥から流下した水が土層の表面に広がっていることを示している。(b)図は等水压線がほぼ半球状となり欠陥から流下した水が土層内に方射状に浸透していることがわかる。(c)図は等水压線が(a)、(b)図の中間になっている。これは欠陥から流下した水の一部がジオテキスタイルを伝わり、水平に流れていることを示す。しかし漏水量に及ぼす影響は、わずかであることは表-2に示す通りである。

4. 不織布の透水性の時間的变化

不織布の水平方向透水係数の時間的变化を図-3に示す透水試験機¹⁾を使用して調べた。この装置は鋼製の排水リングを下部タンクの土層上に設置したものであり、排水リングに2枚のジオメンブレンで挟んだジオテキスタイルが挿入されている。上部ジオメンブレンの中心には孔があけ

(a) Without geotextile, rough surface, pressure, 200kPa.

(b) Without geotextile, smooth surface, pressure, 300kPa.

(c) With geotextile, smooth surface, pressure, 300kPa.

図-2 等水压線、欠陥径20mm

図-3 ジオテキスタイルの透水試験装置

であり、ここから流入する水はジオテキスタイルを通り排水リングに集められ、さらに排水パイプを通り排水される。ジオテキスタイルの透水係数は次式により計算される。

$$k_p = \frac{0.01 q r_w}{2 \pi T (P_o - P_R)} \ln \frac{R}{r_o} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、

- k_p : ジオテキスタイルの透水係数, cm/s
- q : 排水量, cm^3/s
- r_w : 水の単位体積重量, kN/m^3
- T : ジオテキスタイルの厚さ, cm
- P_o : 欠陥での水圧, kPa
- P_R : ジオテキスタイルの端での水圧, kPa
- r_o : 欠陥径, cm
- R : ジオテキスタイルの直径, cm

ジオテキスタイルは第3項の試験に用いたスパンボンド法不織布で目付量は $520\text{g}/\text{m}^2$ である。ジオメンブレンの欠陥径は 50mm で、圧力は $100\text{kPa} \sim 250\text{kPa}$ の間で変化させた。

結果は図-4に示す。初期には透水性であつても1週間後には全く不透水性となった。また、圧力を変化させても 100kPa

図-4 透水係数の経時変化

と 250kPa では透水係数には大きな変化がなかった。これはジオテキスタイルの厚さが圧力によって大して変化しなかったためと思われる。なおこの試験では、理科大構内の井戸水を使用した。水質試験の結果の一部を表-4に示す。

透水係数の低下が水質とどのような関係

表-4 水質試験結果

	水道水	井戸水
蒸発残留物 (mg/l)	0.200	0.169
鉄 (Fe mg/l)	0.108	0.354

図-5 透水係数の経時変化

図-6 定水位試験装置

にあるかを調べるため、蒸留水、水道水、井戸水の3種類の水を使用して試験を行なった。その結果を図-5に示す。この図から蒸留水を使用しても時間と共に透水係数は低下することがわかる。ただし低下の割合は小さい。

また、水質の透水性に及ぼす影響の試験では、方向性をなくすために手で十分にもみほぐしたジオテキスタイルをサンプルとし図-6に示す定水位試験も行なった。試験は恒温室で行ない、サンプルの膨れ上がり防止のため1kgfの荷重を加えている。試験結果を表-5に示す。排水量は時間と共に低下し、特に井戸水を使用した場合は24時間の透水により50分の1程に減少することがわかった。

表-5 定水位試験結果

	時間 (hour)	ジオテキスタイル の厚さ(cm)	排水量 (cm ³ /s)
蒸留水	0	10.86	22.20
	12	10.71	19.55
	24	10.59	18.80
水道水	0	12.43	20.00
	12	12.38	12.80
	24	12.35	10.80
井戸水	0	9.08	13.65
	12	9.31	1.21
	24	8.95	0.27

5. Transmissivityに関する実験

前項にかかげた実験装置を用いてジオメンブレンの間に挟んだジオテキスタイルの透水試験を行ない、Transmissivityに水圧ならびに欠陥径がどのような影響を与えるかを調べた。文献1) p921(7)式では漏水量 q_z は次式で表わされる。

$$q_z = \frac{2\pi T k_z (h_o - h_R)}{\ln \frac{R}{r_o}}$$

ここで、 $T k_2 = \theta$ とおくことができ、この θ の値を Transmissivityという。

$r_0=20, 50\text{cm}$ に対してTransmissivityの値は次のようになる。

$$\theta_{20} = \frac{q_2}{0.51 \pi h_0} \quad \text{-----}(3)$$

$$\theta_{50} = \frac{q_2}{0.67 \pi h_0} \quad \text{-----}(4)$$

実験の結果は表-6のようになる。2種類の不織布を用いたが、何れも圧力が上昇すると排水量は減少し、Transmissivityも減少する。欠陥径が大きくなれば圧力が同一でもTransmissivityは大きくなる。この現象はどのような理由によるものかさだかではない。

表-6 Transmissivity

不織布	欠陥径 (mm)	水圧 (kPa)	24時間後 排水量 (cm^3/s)	Transmissivity ($\times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$)
A	20	100	0.247	15.42
		200	0.149	4.65
		300	0.070	1.46
	50	100	1.333	63.33
		200	0.258	6.13
		300	0.313	4.96
B	20	100	0.324	20.22
		200	0.070	2.18
		300	0.052	1.08
	50	100	1.135	53.92
		200	1.000	23.75
		300	1.220	19.32

(参考文献)

- 1) FUKUOKA, M., Large Scale Permeability Test for Geomembrane-Subgrade System,
Third International Conference on Geotextiles. 1986. Viena. Austria. pp.917-922.