

ジオメンブレンの損傷による複合ライナーの遮水機能の劣化について

佐賀大学 理工学部 学生員○松本 明紀
同 低平地研究センター 正会員 柴 錦春
同 理工学部 正会員 三浦 哲彦

1. はじめに

近年、廃棄物の最終処理場の遮水構造として粘土とジオメンブレンの複合ライナーの適用が広がり始めた。しかし、ジオメンブレンをライナーとして敷設する場合、損傷は避けられない。従って、損傷の影響を適切に評価する手法を確立することは重要である。ジオメンブレンと土層の複合ライナーに関する研究は世界で行われ、損傷部の影響を評価する方法は幾つか提案された¹⁾⁴⁾が、その予測値の違いは大きく、また現場の条件で検証したものはない。本報では現場の状況に近い大型モデルの浸透試験を行い、損傷部からの汚染物質の漏出量と浸出メカニズムについて検討する。

2. 試験方法

試験装置は図-1 に示すように直径約 117.3cm、高さ 36.3cm と 100cm の鋼製 2 段円筒からなる。空気圧力とピストンシステムによって、ジオメンブレンと土層の間に有効応力をかけることができる。溶液に圧力かけることができるが、本試験では大気圧に開放した。試験のための汚染溶液として、毒性のない食塩水（濃度 10g/L）を用いた。また、側面に透明なガラス管を設置し、装置内部の水位を観測して、試験中は溶液の水頭 $h_w=50\text{cm}$ を一定に保った。土層に用いたまき土の試料特性および試験条件は表-1、粒径加積曲線を図-2 示す。本研究で用いたジオメンブレンは高密度ポリエチレン(HDPE)で、中心に半径 $r_0=5\text{mm}$ の穴を開けた。

表-1 土質の試料特性および条件

土質試料	試料の高さ $H_L(\text{m})$	試料作成時の 含水比 $w(\%)$	試料の透水係数 $k_L(\text{m/s})$
2mmふるい通過分のまき土	0.363	15	3.57×10^{-8}

浸透試験は、ジオメンブレン上に有効応力 $p=50\text{kPa}$ をかけ、水頭一定で試験を開始した。試験直後は漏水量が不安定なため、数日経過して漏水量が安定してから約 1 ヶ月測定を続けた。その後、載荷圧力の影響を調べるために、有効応力を 10kPa まで減少させ、試験再開後に漏水量が安定してから約 1 ヶ月間測定した。

浸透試験後の土層を 4 層（各層の厚さは約 9cm）に分け、図-3 示す配置で 1 層につき 17 箇所ずつサンプルを採取し、それらの間隙水中の塩分濃度を測定した。

3. 試験結果と考察

3-1. 漏水量

試験結果は図-4 示す。ジオメンブレン上の圧力が増加すると、漏水量が減少していることが確認できる。載荷圧力が増加すると、ジオメンブレンと土層の接触が良くなり隙間が小さくなる。そのため、漏水量が減少したと推測できる。

既存の漏水量推定式は以下の 3 つがある。式(1)は Forchheimer¹⁾、式(2)は Giroud and Bonaparte²⁾、式(3)は

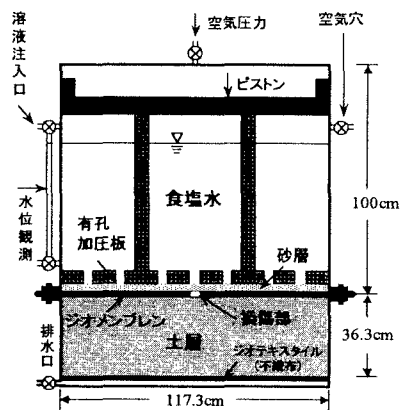


図-1 試験装置

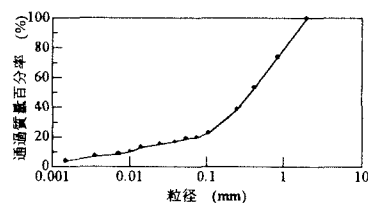


図-2 粒径加積曲線

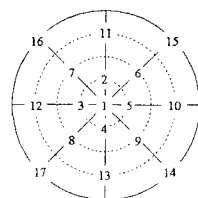


図-3 採取配置

Giroud³⁾が提案した式であるが、いずれもジオメンブレン上の圧力の影響を考慮していない。ジオメンブレンと土層の接触の条件は、式(1)(2)は完全接触、式(3)は良好な接触を前提としている。

(完全接触) $Q = 4r_o k_L h_w$ (1)

$Q = 2\pi r_o k_L h_w$ (2)

(良好な接触) $Q = 1.12C_{qo} [1 + 0.1(h_w / H_L)^{0.95}] r_o^{0.2} k_L^{0.74} h_w^{0.9}$ (3)

ここに、Q：漏水量 (m³/s)、r_o：損傷部の半径 (m)、k_L：ジオメンブレン下のライナー（土層）の透水係数 (m/s)、h_w：ジオメンブレン上の水頭 (m)、H_L：ジオメンブレン下のライナーの厚さ (m)、C_{qo}：補正係数でジオメンブレンと土層の良好な接触に対しては0.21（悪い接触の場合は1.15）が与えられている。

図-4 示されている直線は、推定式で予測した数値である。式(3)で求められた漏水量は実験値に近い値を示したが、式(1)(2)では実験値より極めて小さな値を示した。これは、50kPaの載荷圧力でも完全接触にはならなかったため、良好な接触における式(3)で求められた漏水量が実験値に近くなる。しかし、載荷圧力をより大きくすると、完全接触状態の漏水量に近づくと予想される。

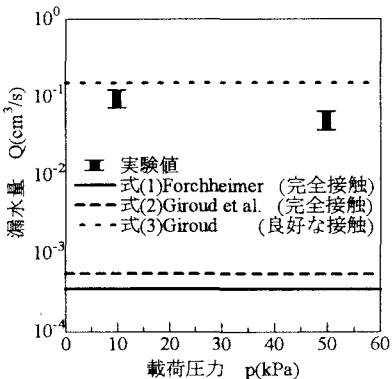


図-4 載荷圧力における漏水量

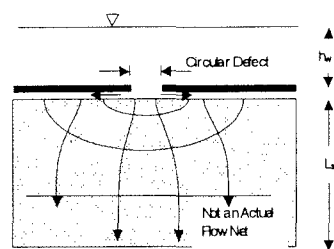


図-5 Rowe の解析モデル

図-5 示すモデルに基づき、Rowe が1つの予測式を提案した⁴⁾。これはジオメンブレンと土層の間に隙間が存在すると仮定している。その隙間の浸透度を逆計算で求めた。解析結果は表-2 示す。この結果からも、載荷圧力の増加で隙間が小さくなり、p=50kPaでの隙間の浸透度がp=10kPaの0.5倍になっていることがわかる。しかし、湿润エリアが試験装置の大きさを超えている。

表-2 解析結果

載荷圧力	p (kPa)	10	50
境界面での浸透度	T (m ² /s)	1.36 × 10 ⁻⁷	7.20 × 10 ⁻⁸
湿润エリア	R (m)	0.8776	0.6582

3-2. 濃度分布

測定した NaCl の濃度分布を図-6 示す。この図より、溶液が横方向にも浸透しているのが確認できる。図-5 示される Rowe のモデルに類似している。汚染溶液は損傷部から鉛直方向だけに浸透するのではなく、隙間から水平方向に流れながら下に浸透すると考えられる。周りに広がる濃度が低いことから、水平方向の浸透は鉛直方向よりも少ないと推測される。

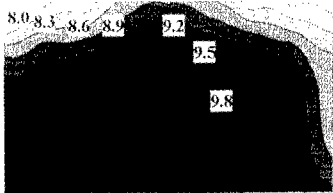


図-6 塩分濃度分布(単位 g/L)

4. まとめ

ジオメンブレンに損傷がある複合ライナーについて、損傷部からの漏水量と浸出メカニズムを大型モデル試験で検討し、その結果から以下のことがわかった。

- (1) ジオメンブレンと下の土層間の有効応力（載荷圧力）が増加すると漏水量は減少する。
- (2) 漏水量の予測について、Giroud³⁾の式（良好な接触）の適用性が高い。
- (3) 逆計算したジオメンブレンと下の土層間の浸透度は $1.36 \times 10^{-7} \sim 7.20 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ である。

<参考文献>

1)Forchheimer,P.(1930) *Hydraulik*, 3rd Edition, B.G.Teubner ed.,Leipzig und Berlin,Germany, 596p.
2)Giroud,J.P. and Bonaparte,R.(1989) "Leakage Through Liners Constructed with Geomembranes Part II. Composite Liners", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.8, No.2, pp.71-111.
3)Giroud,J.P., Khire,M.V. and McKelvey,J.A.(1997) "Rate of Leachate Migration Through a Defect in a Geomembrane Underlain by a Saturated Permeable Medium", *Geosynthetics International*, Vol.4, Nos.3-4, pp.323-334.
4)Rowe,R.K.(1998). "Geosynthetics and the minimization of contaminant migration through barrier systems beneath solid waste." *Proc., 6th Int. Conf. on Geosynthetics*, International Geosynthetics Society, Minneapolis, 27-102