

ジオメンブレン・粘土複合ライナー損傷による溶液浸出に関する大型試験

佐賀大学大学院 学生員 松本 将吾
同 低平地研究センター 正会員 柴 錦春
(株) 軟弱地盤研究所 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ライナー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、現場でジオメンブレンの損傷（継目、パンチング等）は避けられない。ジオメンブレンと粘土の複合ライナーに関する研究は世界中で行われ、損傷部からの溶液浸出の範囲を推定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浸透試験を行い、複合ライナーにおけるジオメンブレン損傷部の影響を検討する。

2. 試験方法

大型試験装置は図-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。大型試験は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。溶液に圧力をかけることもできるが、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。土層にはまさ土を用い、締め固め含水比は 15%（最適含水比 13%）、乾燥密度は 18kN/m^3 であった。試料特性および試験条件は表-1、土の粒径加積曲線を図-2 に示す。本研究で用いたジオメンブレンは厚さ 1.5mm の高密度ポリエチレン(HDPE)で、損傷形状は、試験-1 では中心部に半径 $r_0=5\text{mm}$ の円形、試験-2 では $1\text{mm} \times 30\text{mm}$ の長方形の切

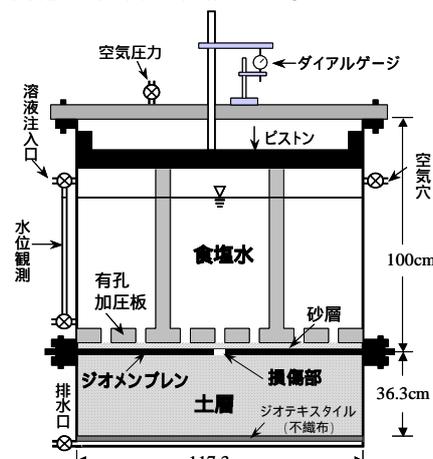


図-1 大型浸透試験装置

表-1 試料特性および試験条件

試験 No.	土質試料	損傷部形状 (mm)	試料高さ H_L (cm)	試料作成時の含水比 w (%)	試料の透水係数 k_L (m/s)
1	2mm ふるい通過分のまさ土	$R_0=5$	36.3	15	3.57×10^{-8}
2	過分のまさ土	1×30		14	

り口を設けた。

浸透試験は、ジオメンブレン上に有効応力をかけ、水頭一定で行った。試験開始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測定を行った。上載圧力の影響を調べるために圧力を変化させ、漏水量が安定してから測定した。試験-1 では上載圧力を 10、50kPa と変化させた。試験-2 では上載圧力を 50、100、200kPa と変化させ、その後 50、0kPa と除荷して各圧力における漏水量を測定した。

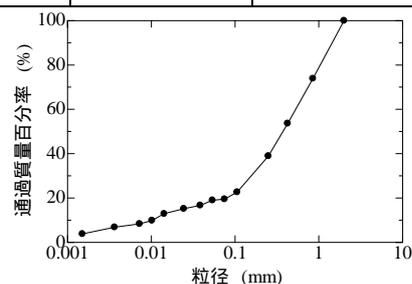


図-2 試料の粒径加積曲線

3. 試験結果と考察

試験-1 の結果を図-3(a)、試験 2 の結果を図-3(b)に示す。いずれにおいても、ジオメンブレン上の圧力が増加すると、漏水量は減少することが確認できた。上載圧力が増加すると、ジオメンブレンと土層の接触が良くなりその間の間隙が小さくなる。図-4 の浸透概念で示すように、ジオメンブレンと土の間の浸透度が減少したため、漏水量が減少したと考えられる。図-3(b)には上載圧力が 200kPa から 0 までの除荷過程における漏水量の増加も示している。しかし、同じ圧力において、載荷過程の値より小さい。その原因は二つあると考えられる。一つは圧力によりジオメンブレンと土の接触が良くなったことである。もう一つは載荷 - 除荷過程の土の塑性変形による透水係数の低下である。実験値で用いた、締め固めまさ土の塑性変形は小さいので、

キーワード：ジオメンブレン、複合ライナー、ジオメンブレンの損傷、大型モデル浸透試験、漏水量

連絡先：〒840-8502 佐賀市本庄町 1 佐賀大学理工学部都市工学科 TEL/0952-28-8580

二つ目の原因の影響は小さいと考える。

円形損傷の場合の既存の漏水量推定式は式(1)¹⁾、式(2)²⁾、式(3)³⁾がある。ここで、式(1)(2)は完全接触、式(3)は良好接触を前提としている。また、式(4)⁴⁾（完全接触）式(5)⁵⁾（良好接触）は損傷部が長さ 1m 当りの長方形の場合の予測式である。すべての式はジオメンブレン上の圧力の影響を考慮していない。

$$\text{(完全接触)} \quad Q = 4r_o k_L h_w \quad (1)$$

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

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

$$\text{(完全接触)} \quad Q = \frac{1}{0.52 - 0.76 \log(w / H_L)} k_L h_w \quad (4)$$

$$\text{(良好な接触)} \quad Q = C_l \left[1 + 0.2 \left(\frac{h_w}{H_L} \right)^{0.95} \right] w^{0.1} h_w^{0.45} k_L^{0.87} \quad (5)$$

ここに、 Q ：漏水量 (m^3/s)、 r_o ：損傷部の半径 (m)、 k_L ：ジオメンブレン下の土層の透水係数 (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土層の厚さ (m)、 C_{qo} ：補正係数で良好な接触に対しては 0.21（悪い接触の場合は 1.15）³⁾、 w ：長方形損傷部の幅、 C_l ：補正係数で良好な接触に対しては 0.52（悪い接触の場合は 1.22）⁵⁾が与えられている。

損傷部が円形である試験-1の漏水量予測には式(1)(2)(3)を用いた。また、損傷部が長方形である試験-2の漏水量予測には図-5に示すモデルを用いて、損傷部が半円2つと長方形を組み合わせたものと仮定し、完全接触については式(2)+(4)、良好な接触については式(3)+(5)として漏水量を予測した。

図-3に示している直線は、推定式で予測した数値である。図-3(a)には式(3)で求めた漏水量が実験値に近いことを示したが、式(1)(2)では実験値よりかなり小さな値を示した。これは、50kPaの上載圧力でも完全接触にはならなかったこと、および試験条件が良好な接触に近いこと、を示している。しかし、図-3(b)からわかるように上載圧力が高いと、完全接触状態の漏水量に近づくと考えられる。

4. まとめ

複合ライナーの、ジオメンブレン損傷部からの漏水量を大型モデル試験で検討した。その結果、1) ジオメンブレンと下の土層間の有効応力（上載圧力）が増加すると漏水量は減少すること、2) 上載圧力が小さい場合（10kPa以下）Giroudの良好接触状態の予測式（式(3)(5)）が適用できること、3) 予測式に上載圧力の影響を考慮する必要があること、を明らかにした。

<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 . 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) Foose, G.J., Benson, C.H. and Edil, T.B. (2001). "Predicting Leachate through Composite Landfill Liners" , *J. Geotech. and Geoenviron. Eng.*, ASCE, 127(6):510-520.

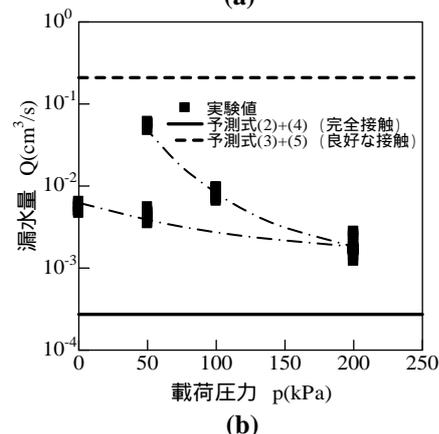
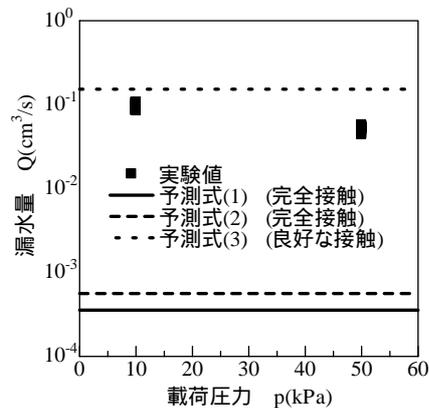


図-3 載荷圧力における漏水量

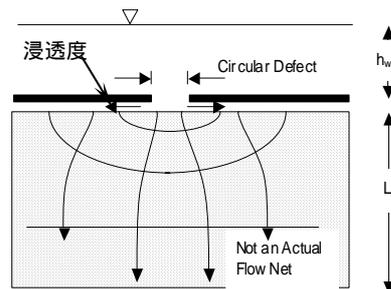


図-4 損傷部からの浸透概念



図-5 漏水量予測モデル