

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

接觸面狀況對複合阻水層效能之影響

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2218-E-009-106

執行期間：89年7月31日至90年10月31日

計畫主持人：單信瑜

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學土木工程學系

中 華 民 國 九十年十一月二十八日

接觸面狀況對複合阻水層效能之影響

Effect of Contact Condition on the Performance of Composite Liner

計畫編號：NSC89-2218-E-009-106

執行期限：89/8/1 - 90/10/31

主持人：單信瑜 國立交通大學土木工程學系 副教授

一、中文摘要

在地工止水膜產生破洞時的滲流行為中，地工止水膜和土壤介面之輸水率扮演著重要的角色。本研究以高嶺土和 HDPE 地工止水膜作為實驗材料，以鋼珠模擬現地土壤石子，實驗變因包括：水頭、地工止水膜破洞面積、正向有效應力以及鋼珠的數目。在此研究裡，以有限元素程式 (FEMWATER) 配合試驗結果來評估輸水率。以試誤法讓 FEMWATER 所模擬出來的流量的結果能和試驗流量的結果相符合，藉以求出其輸水率。結果顯示當水頭、工止水膜破洞面積、鋼珠的數增多時，滲流量增大，乃因此時輸水率變大之故；但當正向應力增加時，滲流量將降低。而輸水率的關係顯示與滲流率關係相同。

關鍵詞：複合阻水層、地工止水膜、接觸面、掩埋場

ABSTRACT

The transmissivity of the interface of composite liner system is very important to the leakage through the defects of geomembranes. Kaolinite was used to in the experiments to represent clay component. Steel balls were used to simulate the gravel in the subgrade soil to produce gap between the geomembrane and kaolinite. The variables controlled in the experiments included hydraulic head, area of defects of geomembranes, effective stress on geomembranes, and number of steel balls. The computer program based on finite element method, FEMWATER, is used to compute the transmissivity. A virtual layer is assumed to simulate the space between the geomembrane and kaolinite. The results show that whenever the hydraulic head, or the area of defects of geomembranes, or the number of steel balls increased, the leakage discharge also increased owing to the rise of transmissivity of the interface. In addition, when effective stress on the geomembrane increased, the transmissivity as well as the leakage discharge decreased.

Keywords: Composite Liner, Geomembrane, Contact, Landfill

二、緣由與目的

掩埋場的複合阻水層就是使用地工止水膜，其下再鋪設夯實黏土層。地工止水膜為非孔隙介質，必須在現場搭接，且因厚度較小，易在施工中造成地工止水膜的損壞。且地工止水膜本身雖有完全不透水的性質，一旦遭到破壞，不但喪失其功能，甚至比地工皂土毯或夯實黏土層來的嚴重。本研究的目的是在於探討當地工止水膜發生破洞的時候，地工止水膜之上的

水頭高度、夯實黏土層接觸的良窳、垂直載重的大小、甚至地工止水膜產生破洞的大小和滲流量及輸水率的大小之間的關係。以往的研究中，除了少部分利用實驗探討複合含水層的水利性質外，多以理論推估，但這些理論式並無法獲得驗證。本研究進行試驗，並用數值模式反推介面輸水率，並探討前人之理論式之適用性。

三、研究方法及成果

3.1 試驗材料及儀器

以高嶺土來作為實驗用土壤；實驗用地工止水膜採用 2.0 mm HDPE；以直徑 10 mm 鋼珠作不同排列，置於地工止水膜和高嶺土之間形成一介面。採用自來水為實驗用液體。滲流儀器如圖 1 所示。壓克力試體室是用來填裝高嶺土，內徑為 150 mm、外徑為 170 mm、高度 100 mm，體積為 1767.15 cm³。鋁合金的氣體加壓室主要是用來提供正向的應力。氣體加壓室內另置一活塞施加正向應力。頂蓋上有一氣體的進入孔及加壓水的進入孔。施加壓力的水頭由進水孔進入，再被導引由活塞進入高嶺土試體中。藉調壓裝置調節正向有效應力的大小和模擬現地水頭的高度。

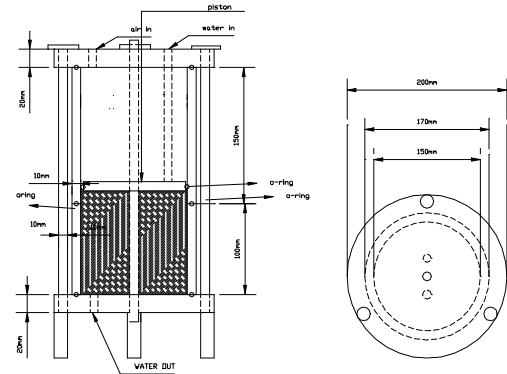


圖 1 滲流儀剖面圖(韓英信,2000)

3.2 高嶺土滲流試驗步驟

高嶺土最佳乾密度為 1.223 g/cm³，最佳含水量約為 35%。取 95% 最大乾密度將高嶺土分三層夯入壓克力的試體室。實驗時用的鋼珠，壓入夯實高嶺土中，使其上緣距高嶺土 5 mm。擺設鋼珠分為 0 顆、4 顆(圖 2)、8 顆(如圖 3)，最後再覆蓋上地工止水膜，加上氣壓室。進行滲流試驗。

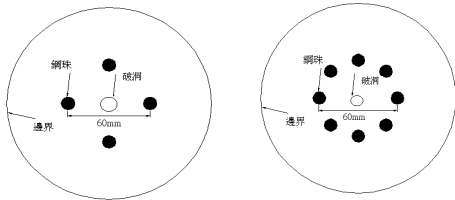


圖 2 4 顆、8 顆鋼珠的配置圖

3.3 FEMWATER 程式模擬

以 FEMWATER 模擬滲流情形，直到與實驗室所做的滲流速相同，可以找出輸水率的模擬值：

1. 先依試體尺寸及破洞面積建立 2D 格網。不平整面以 5 mm 的厚度模擬之；即輸水率在此模擬的狀況之下為 5 mm 乘以 k_{xx} (或 k_{yy})，可以藉由調整 k_{xx} , k_{yy} 模擬以彌補厚度的問題。
2. 建立 3D 的格網，三層總高度和試體的高度一樣為 10 cm 代表黏土層，3D 網格如圖 3 所示。
3. 給定土層的物理條件包含保持曲線、土壤的導水度，再給定模擬的週期，確保其模擬達到穩定狀態。
4. 改變假設層的 k_{xx} 和 k_{yy} (假設 $k_{xx}=k_{yy}$) 使程式的模擬出來的滲流率和實驗所得的滲流率相同， $k_{xx} \times 0.5 \text{ cm}$ 即為輸水率。

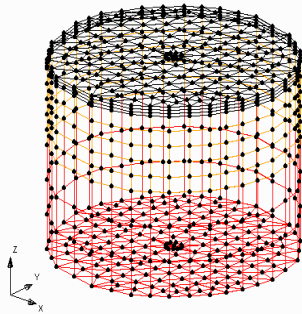


圖 3 3D 網格圖

四、結與果討論

4.1 試驗所求得之滲流率

圖 4~7 為不同水頭、鋼珠數目之分析。有裝置鋼珠情形下，其滲流率遠大於介面無鋼珠情形。4 顆及 8 顆的滲流率在加壓至 138 kPa 後，由於複合阻水層介面距離的減小，已無明顯變化。以破洞直徑 10 mm、1600 cm 之實驗，在進行 4 顆及 8 顆實驗時，所量得之滲流率近似於全斷面之滲流率，且隨正向應力之施加，滲流率亦無變化。推斷在此狀況下，介面間充滿了水，而所的滲流率則相當於只有高嶺土單一阻水層存在。

0 顆鋼珠時，800 cm 水頭滲流率為 400 cm 水頭 2 倍左右，而 400 cm 水頭又為 200 cm 水頭 2 倍左右。滲流率隨水頭趨於正比關係。4 顆鋼珠時，在加壓為 0 kPa 時，隨水頭的增加 200 cm 至 400 cm 或 400 cm 至 800 cm，滲流率增加都在 2.5 倍左右，加壓 69 kPa 之後，隨著水頭加倍，滲流量增為 3 倍左右；8 顆鋼珠變化情形大致與 4 顆鋼珠相似。

圖 8~11 為不同破洞直徑之比較。以破洞直徑 5

mm、400 cm，滲流率隨加壓無明顯變化，在 10^{-5} 數量級。4 顆鋼珠時，滲流率隨加壓階段 0 kPa 至 69 kPa，約減少 1 倍差距，加壓 69 kPa 後變化逐漸變小，加壓至 138 kPa 後，幾乎不變；且 4 顆鋼珠的滲流率為 0 顆鋼珠的 4 倍至 2 倍。破洞直徑 2.5 mm、400 cm，0 顆鋼珠亦無明顯變化，4 顆及 0 顆鋼珠變化情形近似於破洞直徑 5 mm。0 顆鋼珠時，加壓至 138 kPa 之前，破洞直徑 2.5 mm 至 5 mm，滲流率隨著破洞直徑大致成正比，而 5 mm 至 10 mm 之滲流率略低於兩倍。

4.2 FEMWATER 模擬之輸水率及配合公式之滲流率結果分析

FEMWATER 得出之輸水率均介於 10^{-10} - 10^{-6} 之間。以破洞直徑 10 mm、200 cm 之輸水率做比較，0 顆鋼珠的輸水率比 4 顆及 8 顆小了 1~2 個數量級。模擬中在完美接觸時所求得導水度值極小；以 FEMWATER 模擬完美接觸之介面導水度已接近數值模擬的極下限值，所以此時模擬準確度較差。

在破洞直徑 10 mm、4 顆及 8 顆鋼珠時，其輸水率對水頭的變化趨勢，同於此條件下之實驗滲流率。在非完美接觸情形下，滲流率值主要決定於輸水率，僅有少部份決定於高嶺土因加壓而改變的導水度。濕潤半徑在 0 顆鋼珠時之濕潤半徑較 4 顆及 8 顆少了 1 倍以上推估之滲流率，因為只有濕潤半徑是變數，故所得滲流率值皆為輸水率值的倍數，比例關係同濕潤半徑。

在不同水頭條件下，發現在 0 顆鋼珠情形時，所推得的滲流率都小了實際滲流率 1~2 個數量級，低估完美接觸情形之滲流率。表 1、2 中，200 cm 水頭時，4 顆鋼珠在加壓 69 kPa 之前，兩者相差在 1 個數量級以內，8 顆鋼珠則差距在 3 倍左右，更為接近。在破洞直徑為 5 mm 及 2.5 mm 時，如表 3、4，0 顆鋼珠之模擬效果較不佳，差了 1 個數量級以上。

4.3 其他相關公式分析

Brown et al. (1987) 推估結果如表 1，顯示推估值較實際模擬的輸水率代入公式的值大了一個數量級以上，高估了介面距離。Giround and Bonaparte (1987) 三維完美接觸之評估包括下限值、上限與近似值。在各水頭及破洞條件下，當鋼珠為 0 顆時，實驗值較偏向上限值，下限值都低估了一個數量級以上。此式在接觸不完美情形下有較好評估能力。Foosse et al. (1997) 評估公式結果顯示在 0 顆鋼珠的情況，在各條件下，評估值與實驗值相差在 1.5 倍範圍內，極為接近實際情形；4 顆與 8 顆則相差 4 倍左右。此公式原本就是假設以完美接觸情形為其條件，所以在鋼珠為 0 顆時較接近。Foosse et al. (2001) 又提出修正式，但結果顯示與未修正前相差極小。

五、結論

1. 在不同水頭和不同破洞條件下，鋼珠數目越多滲流率及輸水率越大，且為 0 顆鋼珠時的數倍。

2. 施加的有效應力越大，滲流率會變小，但在加壓至 138 kPa(約 13.3 m 之垃圾堆積高度)之後，滲流率幾乎不再變化。
3. 不同水頭情形，在 0 顆鋼珠狀況下，滲流率大致和加壓水頭成正比；擺設鋼珠後，正比的情形只出現在較低水頭時；超過 800 cm 水頭則較正比之比例為大。
4. FEMWATER 模擬輸水率配合公式所求得之滲流率，在完美接觸狀況下，與實際值差異較大；而在不完美接觸情形下模擬效果良好。
5. 傳統評估方法中，除了 Foose et al. (1997)所提出的評估值與實際值在完美接觸狀況下較接近，其他方法都與實際情形有極大差異。若要評估現地滲流率，以此方式進行評估將有較佳的評估值。

六、參考文獻

1. 韓英信「土工止水膜產生破洞時的輸水率模式探討」，國立交通大學，碩士論文，民國 89 年 6 月。
2. Foose, G. J., Benson, C. H., and Edil, T. B. (2001). "Predicting Leakage through Composite Landfill Liners." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engrg.*, ASCE, 127(6), 510-520.
3. Giroud, J. P., and Bonaparte, R. (1989). "Leakage Through Liners Constructed with Geomembranes-Part I. Geomembranes Liners." *Geotextiles and Geomembranes*, 8, 27-67.
4. Giroud, J. P., and Bonaparte, R. (1989). "Leakage through Liners Constructed with Geomembranes-Part II. Composite Liners." *Geotextiles and Geomembranes*, 8, 71-111.

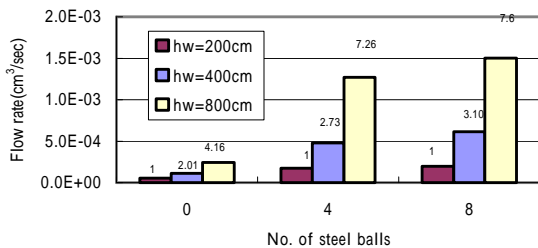


圖 4 破洞直徑 10 mm、正向應力 0 kPa

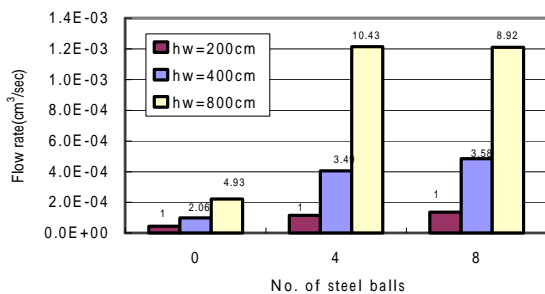


圖 5 破洞直徑 10 mm、正向應力 69 kPa

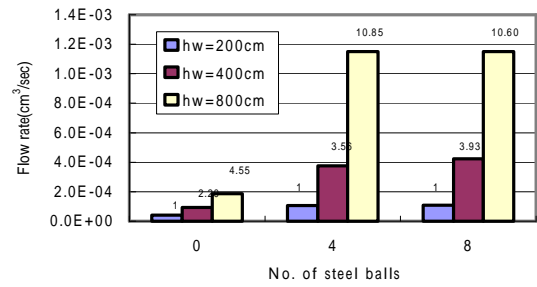


圖 6 破洞直徑 10 mm、正向應力 138 kPa

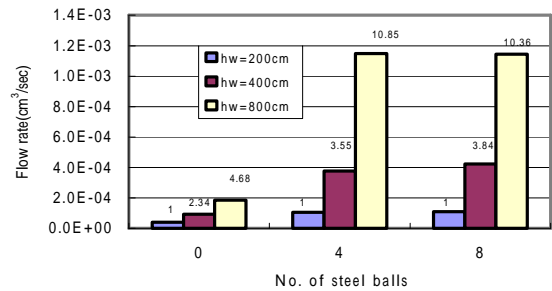


圖 7 破洞直徑 10 mm、正向應力 207 kPa

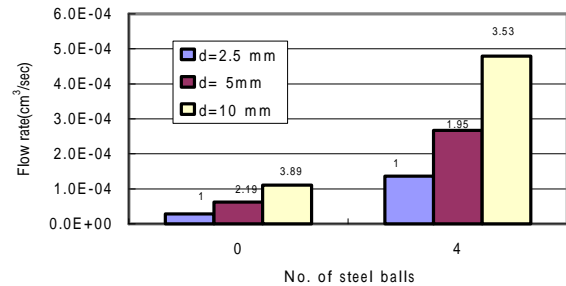


圖 8 水頭 400 cm、正向應力 0 kPa

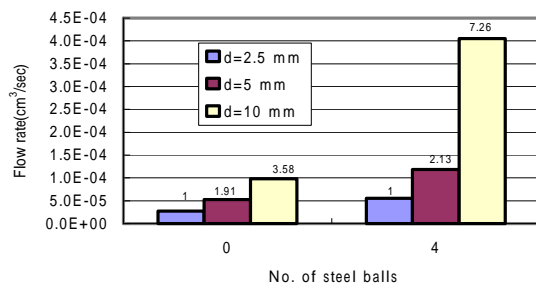


圖 9 水頭 400 cm、正向應力 69 kPa

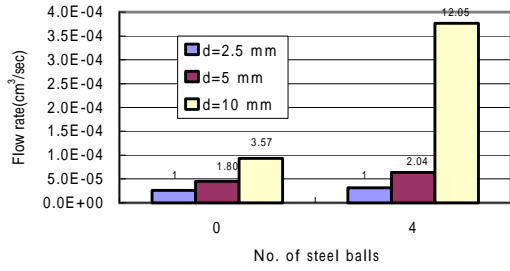


圖 10 水頭 400 cm、正向應力 138 kPa

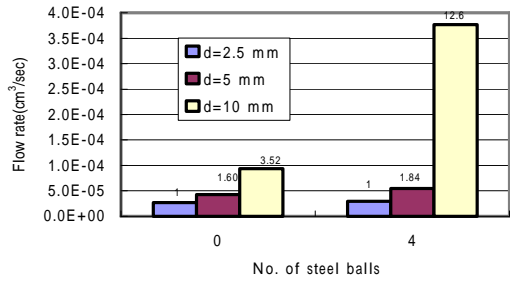


圖 11 水頭 400 cm、正向應力 207 kPa

| | | | | |
|-----|----------|----------|----------|----------|
| 207 | 8.88E-07 | 4.25E-05 | 3.71E-06 | 5.47E-05 |
|-----|----------|----------|----------|----------|

表 4 d=2.5 mm、400 cm 水頭之滲流(cm³/sec)

| 水頭 | 400cm、 d=2.5 mm | | | |
|-----|-----------------|----------|----------|----------|
| | 0 ball | | 4 balls | |
| 鋼珠數 | 公式 Q | 實驗 Q | 公式 Q | 實驗 Q |
| 0 | 9.28E-07 | 2.83E-05 | 4.57E-05 | 1.37E-04 |
| 69 | 7.78E-07 | 2.75E-05 | 2.86E-06 | 5.58E-05 |
| 138 | 2.73E-07 | 2.61E-05 | 1.21E-06 | 3.11E-05 |
| 207 | 2.73E-07 | 2.67E-05 | 1.07E-06 | 2.97E-05 |

表 1 200 cm 水頭之滲流率(cm³/sec)

| 水頭 | 200 cm、 d=10 mm | | | | | |
|-----|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 ball | | 4 balls | | 8 balls | |
| 鋼珠 | 公式 Q | 實驗 Q | 公式 Q | 實驗 Q | 公式 Q | 實驗 Q |
| 0 | 1.37E-06 | 5.47E-05 | 4.87E-05 | 1.75E-04 | 6.64E-05 | 1.98E-04 |
| 35 | 1.34E-06 | 4.92E-05 | 2.46E-05 | 1.42E-04 | 3.74E-05 | 1.58E-04 |
| 69 | 1.10E-06 | 4.53E-05 | 1.03E-05 | 1.16E-04 | 1.77E-05 | 1.36E-04 |
| 104 | 1.02E-06 | 4.36E-05 | 7.83E-06 | 1.06E-04 | 1.03E-05 | 1.17E-04 |
| 138 | 9.35E-07 | 4.11E-05 | 7.83E-06 | 1.06E-04 | 8.23E-06 | 1.08E-04 |
| 173 | 9.35E-07 | 4.14E-05 | 7.83E-06 | 1.04E-04 | 8.23E-06 | 1.09E-04 |
| 207 | 9.35E-07 | 4.00E-05 | 7.83E-06 | 1.06E-04 | 8.23E-06 | 1.10E-04 |

表 2 400 cm 水頭之滲流率(cm³/sec)

| 水頭 | 400 cm、 d=10 mm | | | | | |
|-----|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 ball | | 4 balls | | 8 balls | |
| 鋼珠 | 公式 Q | 實驗 Q | 公式 Q | 實驗 Q | 公式 Q | 實驗 Q |
| 0 | 2.45E-06 | 1.11E-04 | 2.12E-04 | 4.79E-04 | 3.75E-04 | 6.13E-04 |
| 69 | 1.69E-06 | 9.83E-05 | 1.38E-04 | 4.05E-04 | 2.17E-04 | 4.86E-04 |
| 138 | 1.41E-06 | 9.31E-05 | 1.15E-04 | 3.77E-04 | 1.56E-04 | 4.24E-04 |
| 207 | 1.41E-06 | 9.36E-05 | 1.15E-04 | 3.77E-04 | 1.54E-04 | 4.23E-04 |

表 3 d=5 mm、400 cm 水頭之滲流率(cm³/sec)

| 水頭 | 400 cm、 d=5 mm | | | |
|-----|----------------|----------|----------|----------|
| | 0 ball | | 4 balls | |
| 鋼珠數 | 公式 Q | 實驗 Q | 公式 Q | 實驗 Q |
| 0 | 2.16E-06 | 6.22E-05 | 1.42E-04 | 2.67E-04 |
| 69 | 1.29E-06 | 5.25E-05 | 1.38E-05 | 1.19E-04 |
| 138 | 8.88E-07 | 4.50E-05 | 6.47E-06 | 6.36E-05 |