

鹽份傳輸砂箱模擬與對土壤力學性質影響

Salt Transport Simulation Using Sand Box Model and Effects on Soil Mechanics Properties

國立屏東科技大學土木工程系
副教授

葉一隆

Yi-Lung Yeh

國立屏東科技大學土木工程系
學生

黃致豪

Chih-Hao Huang

國立屏東科技大學土木工程系
學生

陳泰憲

Tai-Shin Chen

國立屏東科技大學土木工程系
學生

蔡宜庭

Yi-Ting Tsai

國立屏東科技大學土木工程系
學生

葉俊佑

Jui-Yo Yeh

摘要

在沿海地區因養殖業密集抽取地下水而造成海水入侵及土壤鹽化問題，因土壤鹽化將導致土壤力學性質改變。本文在探討場置性鹽水區(如海水養殖池)之鹽份傳輸與其對土壤力學性質之影響。由砂箱模擬結果可知鹽份在垂直方向之速率較水平方向大。鹽份濃度對土壤力學性質之影響，由試驗結果得知隨土樣浸泡鹽份濃度之增大土壤顆粒之凝聚力有遞減之趨勢，而壓縮係數則遞增。

關鍵詞：砂箱模擬，鹽份傳輸，凝聚力，壓縮係數。

ABSTRACT

In coastal areas, intensive groundwater pumping for aquaculture usually causes seawater intrusion and salty soil, which change the physical properties of soil. This paper investigates the influence of salt transport on the physical properties of soil by salty water percolation. From the results of sand box experiments, the velocity of salt transport in vertical direction is greater than of the horizontal direction. As for the effect on the physical properties of soil, the result indicates that when salt concentration increases, the cohesion force of soil particles decreases and the coefficient compressibility increases.

Keywords: Sand box model, Salt transport, Cohesion force, Coefficient of compressibility.

一、前言

自民國七十年代起，台灣沿海地區因養殖業的蓬勃發展，局部地區大量抽取地下水，使得地下水位急速下降，而產生海水入侵、土壤鹽化與地層下陷等災害。而在海水養殖過程中，由於業者從海中引入海水蓄存於養殖池，並將養殖用水排入排水溝，致使鹽份可自養殖池及排水溝滲透侵入土壤中，而造成土壤鹽化，土壤鹽化後對土壤力學行為改變將影響當地土壤之再利用。

鹽份在土壤中之移動與對土壤性質與力學參數之影響研究，林家棻(1964)剖視台灣若干鹽土之研究發現；當土壤溶液中的鹽份含量或土壤膠體複合物中的交換性鈉百分率超過或兩者均超過某種限度時，植物生長即受障害，具有此種問題的土壤，多形成於乾旱氣候情形，或沿海岸之排水不良區域。張仲民(1965)探討不同育化環境與耕作制度對同一土壤剖面上下層次間粘土礦物之種類與變化情形。該研究之樣本選擇以早期曾經海水浸漬，現為耕作利用之土樣為對象。分別以 X-ray、示差熱分析與脫水曲線等方法測定其含有之粘土礦物外，並記載其剖面型態，分析其重要理化學性質及建議今後土壤管理之重點。張尊國(1990)研究發現鈉是灌溉用水及土壤水分中最常具有見的陽離子，其在高濃度下會影響作物及土壤物理性質，因此控制鹽害及鈉害成為灌溉管理上重要的一環，而鹽份對土壤的影響有二，一是增加土壤滲透能力，使得作物攝取水分困難；另一為鹽份中某些特殊物質會造成作物的傷害。Moreno 等(1994)研究指出土壤之密度隨著水力傳導係數及吸附力而改變，而其交換鈉百分比於淺層土壤處迅速減少，而土壤中水之滲透程度主要由土壤裂縫及粗孔隙所控制。Armstrong 等(1996)研究指出地表有無覆蓋將影響降水對土壤之淋洗程度，受淋洗過之鹽漬土會造成土粒子膨脹並使其不穩定。所以土壤要防止土壤受降雨的衝擊而影響其結構。葉一隆(1998)利用實驗分析不同鹽份濃度對不同土壤質地之毛細管上升影響，由實驗結果得知淡水在黏土中之毛管上升高度為最高，而淡海水於黏土中之毛管上升高度

為最低。黃賢統與游棫誠(1996)之研究發現，土壤抗剪強度之凝聚力參數有隨海水濃度及浸泡時間之增加而增大的趨勢，由結果推論應由土壤及海水中鹽類與有機質在土壤孔隙間造成，若以實務應用而言，此種凝聚力增加並不穩定，在淨水淋洗沖淡後其值可能又再降低。

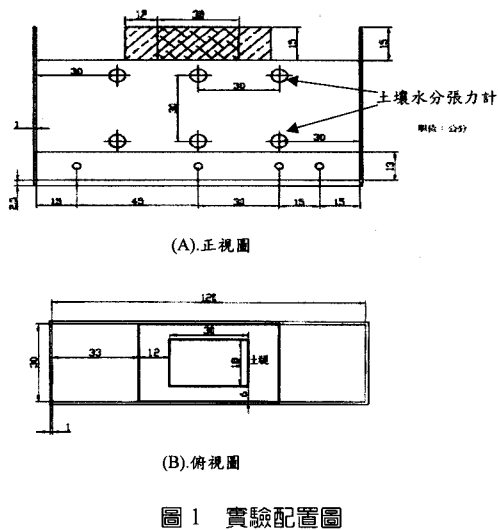
為瞭解鹽份在土壤中的移動情形，並探討其土壤力學行為之差異。本文利用砂箱來模擬場置性鹽水區之鹽份移動情形，並取樣分析其凝聚力與壓密係數隨鹽份濃度之變化，以研判對土壤沉陷量之影響。

二、實驗方法

為達到上述之目的，本文利用砂箱模擬鹽份之傳輸，實驗後自砂箱中取樣進行土壤凝聚力與壓密係數試驗，其實驗方法與步驟分別說明如下：

(一) 鹽份移動砂箱模擬

- (1)準備實驗用砂箱，其尺寸為長 120 cm，寬 33cm，高 76cm（如圖 1）。
- (2)將自田區取回之土樣以木槌敲碎，土樣過 10 號篩，以篩除土中之土塊及植物之殘餘根系。
- (3)將砂箱底部鋪一層標準砂，使下滲之水分能快速排出。
- (4)於砂箱中先放入適量的水，並將通過 #10 號篩的土樣均勻填入，將土樣及水充分混和，並待其自然沈澱，並造成自然壓密的狀態。
- (5)重複上述步驟，分層將土樣填入砂箱中，應避免裂縫與不均勻現象發生。
- (6)在土壤分兩層埋入土壤水分張力計，其位置如圖 1 所示。
- (7)在砂箱底部於標準砂附近設置四個排水孔，並接上水管，向上固定於模擬箱表面，以瞭解水分下滲情形。
- (8)填土完畢，於土體表面築一封閉土堤，以模擬養殖池。
- (9)準備妥當後，將水排掉使土體為不完全飽和狀態。



- (10) 首先模擬淡水之入滲率，在蓄水區注入淡水，定時間紀錄水位高與土壤水分張力計讀值。
- (11) 至海邊取得海水，量測其電導度值，再以海水重新模擬水份之入滲，並記錄水位高與土壤水分張力計讀值。
- (12) 實驗完成後，在砂箱中取出土樣分析土壤之電導度，取樣位置如圖 2 所示，並在砂箱邊緣區域取土樣進行力學性質分析。

(二) 土壤力學性質試驗

利用取樣管自砂箱內取出土樣，將試體置入海水濃度為 0%、20%、40%、60%、80%、100% 之水中，在土樣浸入前需量測各海水濃度之電導度值，將試體浸泡一星期，土樣取出後依照中國國際標準 CNS 規範進行土壤直接剪力試驗【CNS 11778】與土壤單向壓密度試驗【CNS 12239】，並依土壤比重試驗法【CNS 5090】，求出土壤試體之比重。

三、實驗結果分析與討論

(一) 鹽份移動分析

為瞭解場置海水區之鹽份傳輸情形，在砂箱中 A、B、C、D、E 等五處取樣(位置如圖 2 所示)，每一取樣孔以 5cm 為一層取樣，每一孔共取 8

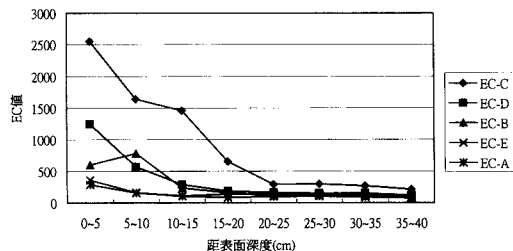
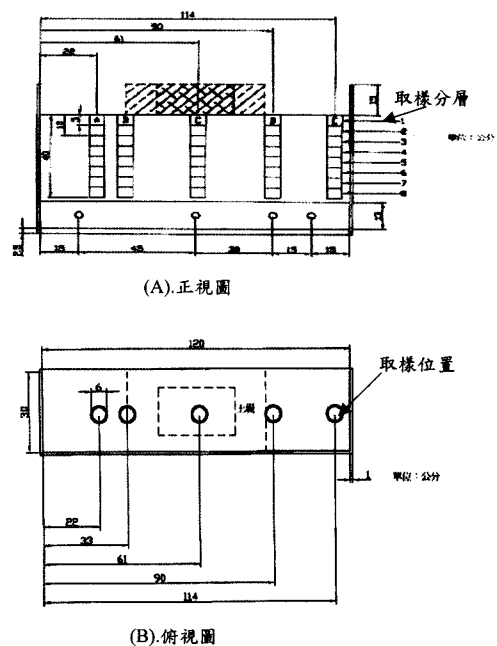


圖 3 A、B、C、D、E 等五處取樣點之土壤電導度隨深度變化圖

個土樣，全部共取 40 個土樣分析其電導度。

圖 3 為土壤電導度隨深度變化趨勢圖，由圖 3 得知 C 處之電導度為最大，其位置位於砂箱之中央，中央部分為鹽份傳輸最短也為最直接的距離，故其電導度明顯的高於其他四個取樣處，尤其是距表土 20cm 內最為明顯。B、D 取樣處距離 C 取樣處的距離大約相同，兩者在 0-5cm 這部分電導度雖有差異，但兩者在深度 5-40cm 部分其電導度之趨勢大致相同。A、E 兩取樣處距離 C 取樣處的距離也大約相同，A、E 兩取樣點因距離 C 點較遠，其所受鹽份的影響較小。將各

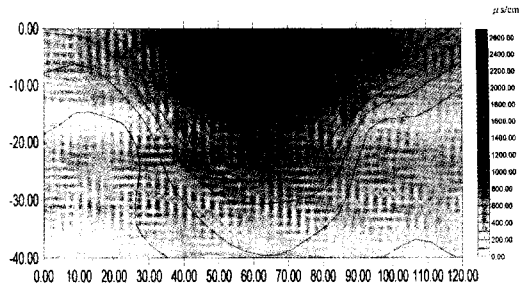


圖 4 砂箱試驗結果之電導度分佈圖

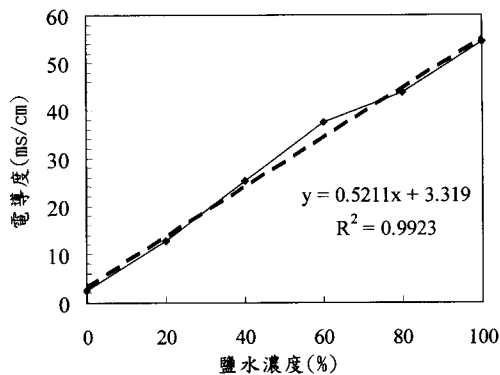


圖 5 試體浸入之鹽水濃度與電導度關係

測點之電導度值繪成等電導度曲線如圖 4 所示，由圖 4 可知鹽份係由中央垂直向下並向兩邊傳輸，但鹽份主要累積在 20cm 內，而由電導度之變化梯度知垂直之變化梯度較水平方向大。

(二) 土壤力學性質分析

為瞭解不同鹽份濃度對土壤力學性質之影響，自砂箱之邊緣處取出土樣，並將取得之海水調成不同濃度比率之溶液，溶液之鹽份濃度與電導度之關係示於圖 5，由此圖可知鹽份濃度與電導度之關係成線性關係。再將土樣浸泡於不同濃度之溶液中，浸泡時間為一星期。

由比重試驗分析可知本試驗用土樣之比重介於 2.72-2.66 之間，濕單位重介於 2.71-2.66 之間，由土壤分類得知為低壓縮性黏土(CL)。

由直接剪力試驗可得不同濃度土樣之凝聚力(C)值如圖 6 所示。由此圖可知凝聚力(C)值有隨溶液濃度之增加而減少之趨勢，但其相關係數

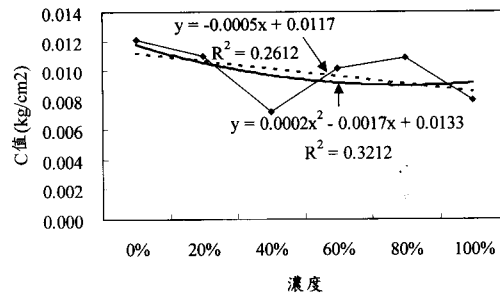


圖 6 土樣之凝聚力(C)值隨濃度之變化關係圖

並不佳，此結果與黃賢統與游械誠 (1996) 之結論相反，檢查其所得之數據，凝聚力(C)值與溶液濃度關係亦非呈現完全一致之趨勢，而且凝聚力與鹽份濃度變化之關聯性亦不佳，此現象與本文所得結果相同。

為瞭解不同鹽份濃度浸泡之土樣其受壓力之沉陷量之影響，由單向度壓密試驗可得壓縮係數(Coefficient of compressibility)與體積壓縮係數(Coefficient of volume compressibility)分別表示為

$$\alpha_v = -(e_2 - e_1) / (\sigma_2 - \sigma_1) \dots\dots\dots(1)$$

$$m_v = \alpha_v / (1 + e_1) \dots\dots\dots(2)$$

其中

e_1 表示在壓密壓力 σ_1 下之孔隙比，

e_2 表示在壓密壓力 σ_2 下之孔隙比，

α_v 為土壤之壓縮係數，

m_v 為土壤之體積壓縮係數。

而土壤受壓力之沉陷量可表示為

$$S = H(\Delta \sigma) m_v \dots\dots\dots(3)$$

由單向度壓密試驗可得壓縮係數隨濃度之關係示於圖 7，體積壓縮係數隨濃度之關係示於圖 8。由圖 7 與圖 8 可知壓縮係數與體積壓縮係數均隨濃度之增加而增加，利用線性迴歸之 R^2 分別為 0.8353 與 0.8366，二次多項式迴歸之 R^2 分別為 0.8359 與 0.8372，兩者相差不大。而土壤之沉陷量與體積壓縮係數成正比，因此，土壤之沉陷量將隨鹽份濃度之增加而增大。

假設有一黏土層厚 1m，增加之承載壓力為 1 kg/m^2 ，則因海水入侵使得土壤孔隙內之流體之

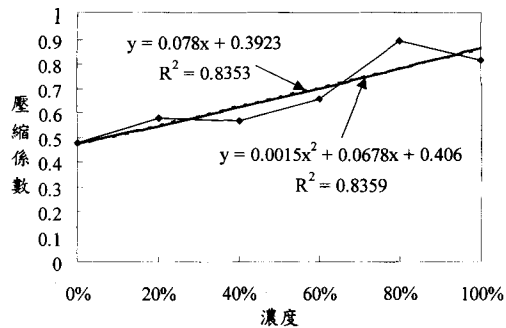


圖 7 壓縮係數與濃度之關係圖

鹽份濃度增加，若產生之土壤體積壓縮係數如圖 8 之變化，即土壤體積壓縮係數自無鹽份濃度之 0.2177 增加至鹽份濃度為 100%之 0.2610，則由式(3)可得土層之沉陷量自無鹽份濃度之 0.2177m 增加至鹽份濃度為 100%之 0.2610m，增加比率為 19.89%。因此，海水入侵之機制將使得地層下陷問題更為嚴重。

四、結論與建議

(一) 結論

經由本砂箱模型之研究成果，所得之結論，並敘述理由如下：

- (1)本實驗係模擬蓄水池或養殖池蓄水之鹽份傳輸，因水分流動方向主要在垂直方向，故鹽份傳輸速率垂直方向大於水平方向。
- (2)由直剪試驗結果得知土壤之凝聚力(C)值隨著濃度增加而有減少之趨勢。
- (3)由單向度壓密試驗結果得知土壤之壓縮係數與體積壓縮係數會隨濃度增加而增大，因此，土壤之沉陷量將隨鹽份濃度之增加而增大。

(二) 建議

- (1)由於土壤之凝聚力(C)值隨著濃度變化關係雖可得知其變化之趨勢，但其相關係數並不高，建議針對此問題增加實驗之組數，以分析土壤之凝聚力(C)與鹽份濃度之關聯。
- (2)由於鹽份存在對沉陷量有加大之效果，因

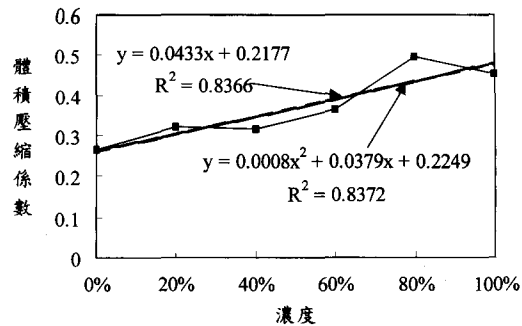


圖 8 體積壓縮係數與濃度之關係圖

此對於海水入侵區之地層下陷評估不能只考慮淡水之效應。

參考文獻

1. 林家棻，1964，臺灣若干鹽土之剖視，中國農業化學會誌，第 3、4 期，pp.91-96。
2. 張仲民，1965，台灣鹽漬土之剖面型態及粘土礦物之研究，中國農業化學會誌，第三卷，第四期，pp.85-96。
3. 黃賢統，游域誠，1996，海水入侵對土壤抗剪強度影響之研究，第八屆水利工程研討會，pp.789-793。
4. 張尊國，1990，鈉鹽在飽和及非飽和土壤中傳輸之模擬，台灣水利，第 3 卷，第 1 期，pp.11-36。
5. 葉一隆，1998，鹽份對非飽和土壤毛管上昇之影響，台灣水利，第四十六卷，第三期，pp.84-88。
6. Armstrong, A.S.B, D.W Rycroft, and T.W. Tsnton, 1996, Seasonal movement of salts in naturally structured saline-sodic clay soils, Agricultural Water Management, Vol.32, pp.15~27.
7. Moreno, F., F. Cabrera, L. Andreu, R. Vaz, J. Martin Aranda, and G. Vachaud, 1994, Water movement and salt leaching in drained and irrigated marsh soils of southwest, Spain, Agricultural Water Management, Vol.27, pp.25-44.

收稿日期：民國 91 年 2 月 1 日

修正日期：民國 91 年 4 月 30 日

接受日期：民國 91 年 5 月 17 日