

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

運用連續性地電阻剖面影像與感應極化法作為土壤污染復 育整治成效指標之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-041-021-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

計畫主持人：李孫榮
共同主持人：宋孟浩、張並瑜
計畫參與人員：碩士級-專任助理：陳力齊、黃亦青

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年10月30日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

運用連續性地電阻剖面影像與感應極化法作為土壤污染復育
整治成效指標之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 95 - 11 - E - 041 - 021 -
執行期間：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

計畫主持人：李 孫 榮
共同主持人：張並瑜 宋孟浩
計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

中 華 民 國 96 年 10 月 28 日

一、前言

運用地電阻剖面影像法監測現地水文與地質狀況之技術，已廣泛的被用來協助了解污染處置場址水文地質特性，以及污染物可能分佈範圍等研究上(Halihan et al., 2005)。本研究探討利用地電阻剖面影像法作為植生整治之成效評估作法，進而驗證探討其可靠性。雖然地電阻法(Geoelectric Resistivity Method)發展迄今已近百年，其理論或解釋技巧及資料處理均已發展至相當成熟階段。但對量測值之準確性與量測之解析度則隨不同地質狀況條件有所不同，因此往往造成錯估。本研究為三階段研究之第一階段，工作重點為建製一個實驗槽體，以進行中尺度之砂箱試驗，為建立背景資料，試驗前先隨機採取槽內土樣進行飽和度-電阻率試驗，建立土壤含水率與電阻率的相關曲線，接著運用實測的含水率推算出電阻率，再與地電阻法所量測的數值比較其誤差，並試圖建立校正之關係式，以做為後期研究之基本數據之用。

二、砂箱入滲中尺度試驗的結果

為了驗證地電阻作為植生整治指標的精準度與解析度，因此本研究於實驗室建立一個中尺度的槽體，並在控制土壤的性質、降雨參數等條件下進行地電阻的實驗，且在這個槽體採樣不同深度土壤樣本，分析各深度土壤的含水率，作為地電阻剖面影像精準度與解析度的比對資料。

2-1 砂箱槽體土壤的基本性質

此土壤來源是台南縣新化市某農場之耕種土，為了解土壤性質將隨機採樣槽體不同深度的土壤，將土壤風乾、磨碎，取適量土壤約兩把，經篩分析後，結果如 Fig. 2.1，砂粒(sand)比例占 96.98%，而粉粒(Silt)比例則占 3.02%。

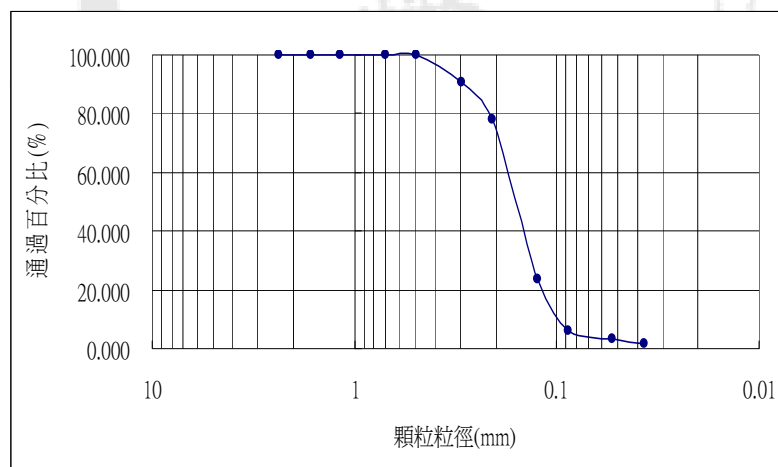


Fig. 2.1 槽體土壤粒徑分析

2-2 降雨入滲試驗並測其地電阻剖面影像

在灑水前，先量測一次地電阻剖面影像作為背景值，量測完後立即開始模擬降雨，經過一小時的降雨後，我們開始連續監測地電阻之變化，量測之參數：測線為 2 公尺、電極數目為 20 支、電極間距為 10 公分、電極排列方式為 Dipole-Dipole。監測時間為 6 分鐘、1 小時、2 小時、6 小時、12 小時、24 小時、48 小時。最後再於不同位置各深度採土樣進行含水率分析。

2-2-1 降雨參數

根據中央氣象局公佈之降雨定義，大雨：24 小時內，累積降雨量在 50~130mm，本次入滲試驗以模擬台灣地區一次性大雨之降雨量，灑水的位置在槽體的右半邊，灑水頭

的灑水方式為均勻散佈在土壤上，進流流量從三項閥控制在 160 mL/min，經推算可算出降雨量為 100mm。Table 2.1 為本次實驗所設定之參數。

Table 2.1 降雨參數

降雨量	降雨時間	降雨面積	進流流量
100mm	1 hr	960cm ²	160mL/min

2-2-2 時間與地電阻剖面影像的變化

經過量測，在降雨發生前之槽體土壤電阻率的背景值介於 314 ~ 800 Ω·m 之間，在深度 0.8 ~ 1 公尺處為高電阻區，1.8 ~ 2 公尺處則為低電阻區(如 Fig. 2.2)。為了解儀器在槽體測量時之誤差範圍，所以需在量測時作標準偏差，其做法為：在槽體連續量測四次且並不改變位置，將這些數據之電阻率計算標準偏差，因此會在每一個位置得到一標準偏差值，並可繪出標準偏差分佈圖如 Fig. 2.3，槽體各部位之地電阻率標準偏差約在 0.005 ~ 0.39392 Ω·m。

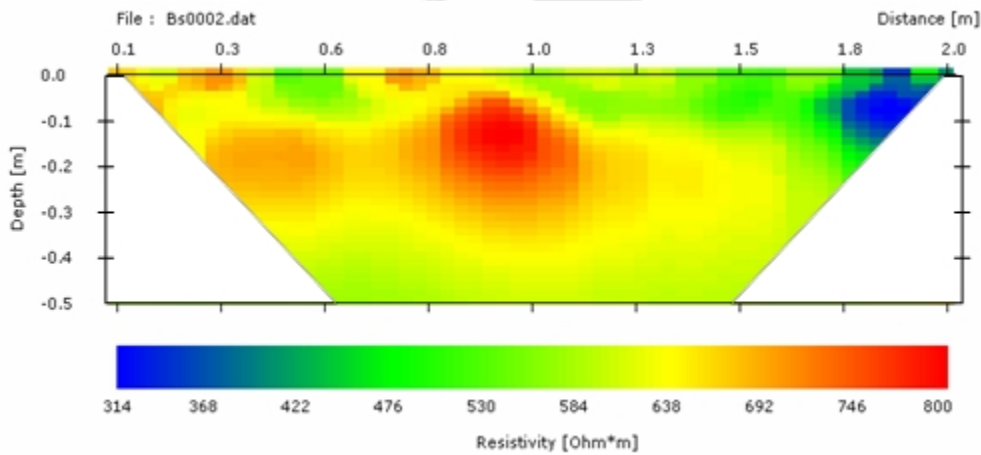


Fig. 2.2 槽體土壤之地電阻剖面影像

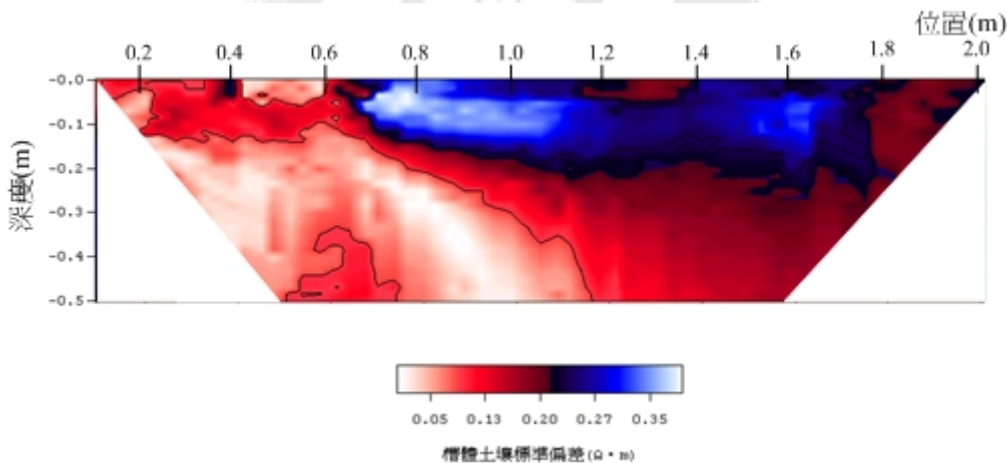


Fig. 2.3 槽體土壤標準偏差分佈圖

為了清楚分析電阻率的變化，Fig. 2.4 至 Fig. 2.10 地電阻剖面影像變化影像，為降雨後不同時間觀測值扣除降雨前的背景值所得到之差值數據。從 Fig. 2.4 可觀查出，在降雨過後之灑水區域電阻率有明顯下降，呈現綠色和藍色的部分，電阻率較降雨前下降約 200~575 Ω·m 之間，在此測線 0.8~1 公尺的附近深度約在 0.1~0.2 公尺土壤表面處為電阻率降低最多的地方，推測其原因可能是因為在槽體上方中間的位置有一支橫桿

(如圖 1.1)，在模擬降雨時，水灑到此橫桿並累積較多的水從此處滴至此處的土壤中，因而使此區域附近的土壤含水率較高，電阻率因而降低較多。

從 Fig. 2.4 ~ Fig. 2.10，可發現低電阻區域漸漸變小(圖中顯示藍色區域)，電阻率漸漸升高(途中顯示深綠色區域)，在 48 小時後，如 Fig. 6.10，代表電阻率持續升高(綠色)；灑水區 1.3 ~ 2 公尺處由綠色漸漸轉成黃色，代表電阻率漸漸升高。可能造成電阻率在降雨後升高之因素，推測為蒸發散及水分向深處滲透所影響。表面蒸發使得淺處土壤含水量減少，造成電阻率升高；而過多水分可因重力逐漸滲透至底部，造成 0.5 公尺以上的土壤含水率降低，電阻率升高。

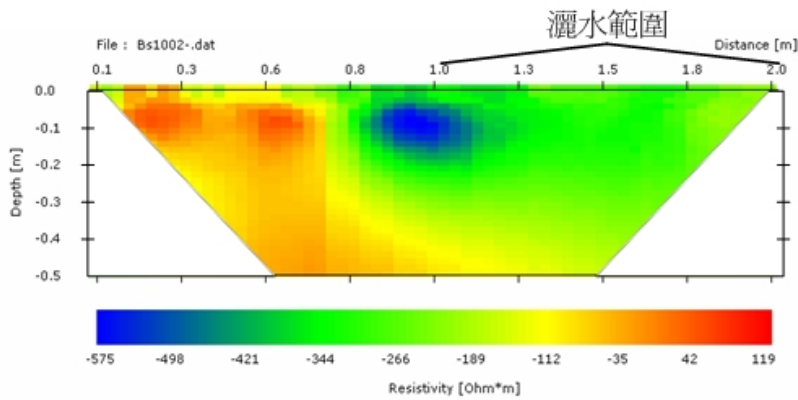


Fig. 2.4 降雨後立即測量之地電阻剖面影像

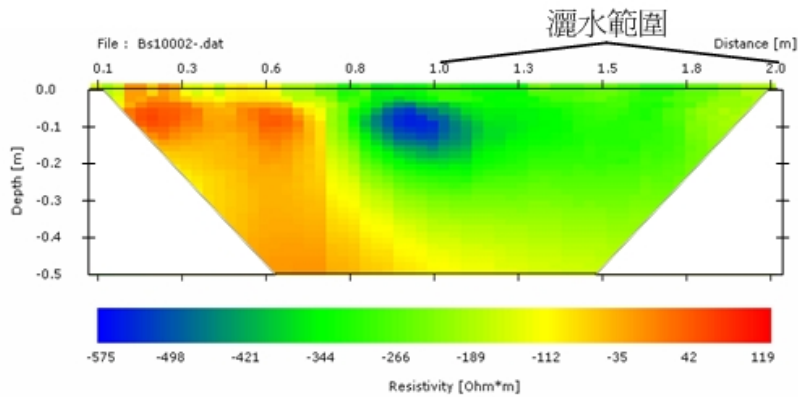


Fig. 2.5 降雨後 1 小時後測量之地電阻剖面影像

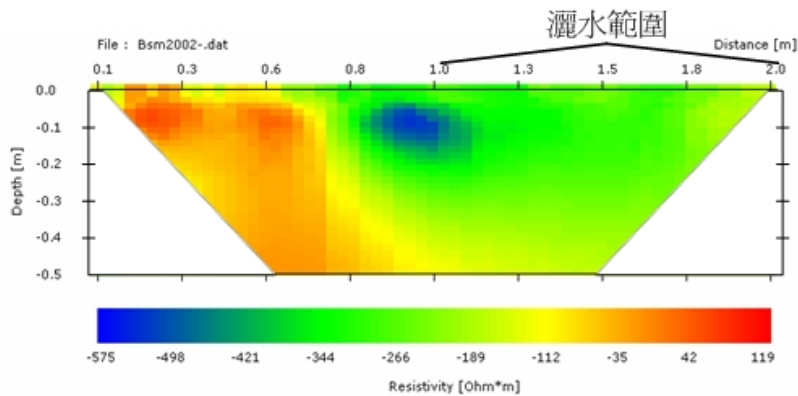


Fig. 2.6 降雨後 2 小時後測量之地電阻剖面影像

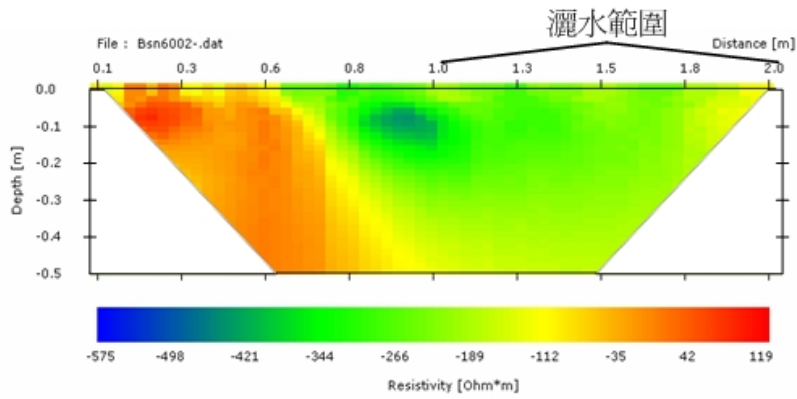


Fig. 2.7 降雨後 6 小時後測量之地電阻剖面影像

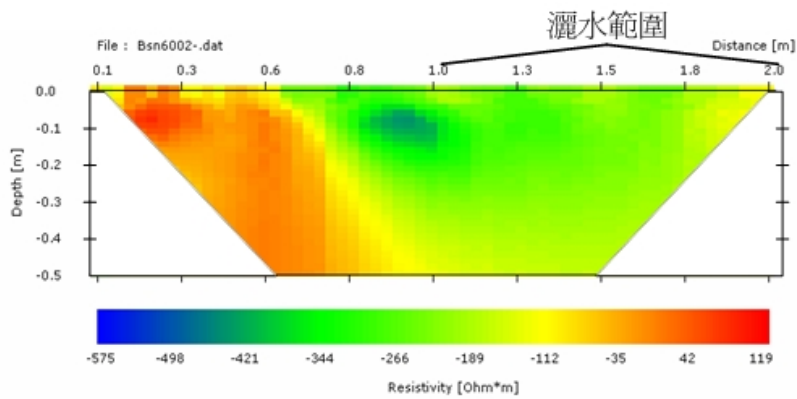


Fig. 2.8 降雨後 12 小時後測量之地電阻剖面影像

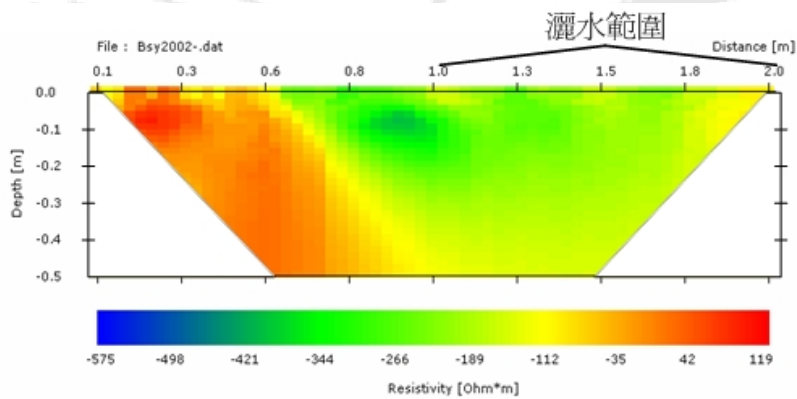


Fig. 2.9 降雨後 24 小時後測量之地電阻剖面影像

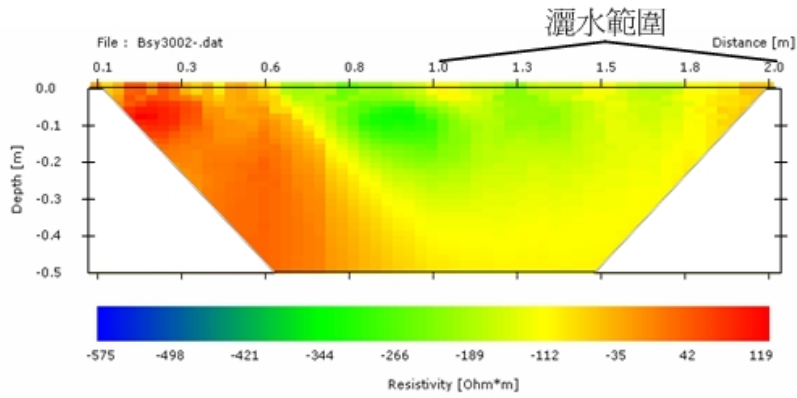


Fig. 2.10 降雨後 48 小時後測量之地電阻剖面影像

2-3 推估砂箱槽體土壤含水率分佈結果

砂箱入滲中尺度試驗為了對照實測含水率，因此以 48 小時後的分佈圖作為代表，將上述測得之地電阻剖面的電阻率代入擬合出之地電阻-含水率關係式($y = 2473.6x^{-1.0182}$)，可換算出含水率，推估槽體土壤含水率為 3.16 ~ 10.67 %，分佈圖如 Fig. 2.11。

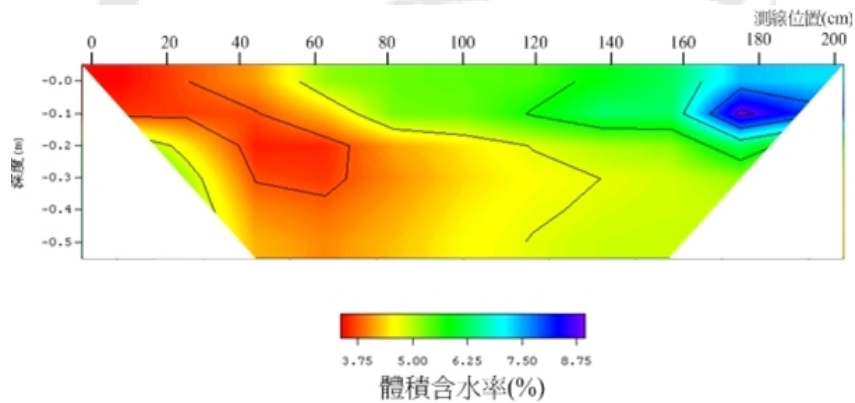


Fig. 2.11 砂箱入滲中尺度試驗 48 小時後之推估含水率

2-4 實測槽體土壤含水率之分佈

為比對地電阻率量測值與實際含水量差異性，在灑水後 48 小時，監測結束後立即於槽體內不同深度部位進行土壤取樣，分析含水率。採樣的位置在測線上起始位置開始，以間距 20 公分至測線末端，每個位置分別取表層、深度 10 公分、深度 20 公分、深度 30 公分、深度 40 公分、深度 50 公分的土壤。其結果如 Fig. 2.12。

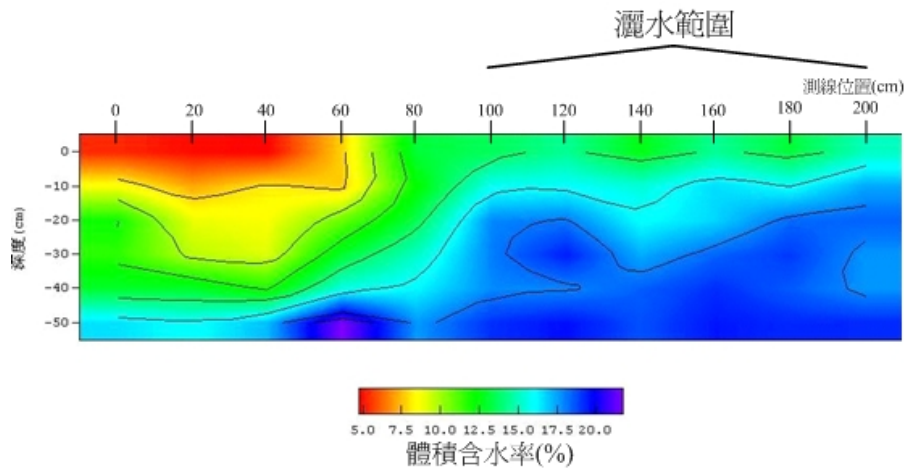


Fig. 2.12 槽體實測含水率分佈圖

實測土壤的含水率範圍約在 4.96% ~ 21.73% 之間，槽體右半部含水率較左半部高，這表示在灑水區域的含水率較高，未灑水區域的含水率較低，整體而言隨深度越深含水率也越高。這也代表水的流動一開始會先以垂直擴散為主，到大概深度 40 公分處開始有水平的擴散。因此在未灑水區槽體的左半邊，在深部之處含水率也會漸漸上升。

三、結論與建議

在中尺度砂箱槽體的降雨試驗中，探討模擬台灣地區一次性大雨降一小時後，電阻率的變化，發現灑水區電阻率較降雨前下降約 $200\sim 575\ \Omega \cdot m$ ，並隨時間增加，電阻率升高。造成此原因主要為蒸發散、水分滲透，表面蒸發使得淺處土壤含水量減少，造成電阻率升高；而過多水分可因重力逐漸滲透至底部，造成 0.5 公尺以上的土壤含水率降低，電阻率升高。

在 48 小時後採集槽體各位置與不同深度的土壤，進行含水率分析，得到含水率範圍約在 4.96% ~ 21.73 % 之間，在槽體右半部含水率較左半部高，這表示在灑水區域的含水率較高，未灑水區域的含水率較低，整體而言隨深度越深含水率也越高。比對推估含水率與實測含水率在分部圖上顯示的結果有所差異，並分析電阻率-實測含水率相關係數的平方僅僅 0.0763。為找出其原因，我們分析各個深度與含水率的相關性，發現在表層和最深部的數據相關性較低，20 公分至 40 公分處的數據相關性高。不同深度之含水率-地電阻率關係式中，可推知砂箱中之各部位體積含水率分佈若僅用一個關係式代表計算，將產生較大之誤差。因此建議在推估土壤含水率時，可以採集各深度的土壤分別做電阻率-飽和度試驗，擬合出各個深度的關係式，分別推算各深度的含水率，這樣的精準度相對用單一個關係式來的高。

四、參考文獻

1. Archer, G. E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Trans. Am. Inst. Metal. and Petro. Eng., Vol.146, pp.54~62.
2. Burger, H.R., 1992, Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, pp.241~307.
3. Halihan, T., Paxton S., Graham, I., Fenstemaker, T., Riley M., 2005, Post-remediation

- evaluation of LNAPL site using electrical resistivity imaging. J. Environ. Monit., 7, pp.283~287.
4. Kalinski, R.J., Kelly, W.E., 1994, Electrical-resistivity measurements for evaluating compacted-soil liners, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 2, pp.451~457.
 5. McCarter, W.J., 1984, The electrical resistivity characteristics of compacted clays, Geotechnique, 34, No.2, pp.263~267.
 6. Rauen. A., 2005, Geotest Manual, pp.1~46, Germany.
 7. Ward, S.H., 1990, Geotechnical and Environmental Geophysics, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, pp.148~151.
 8. 唐成, 1998, 大地工程學土壤力學篇, 鼎茂圖書出版, 台北市, pp. 2-8-2-25。
 9. 郭魁士, 1973, 土壤物理學, 中國圖書出版, 屏東市, pp. 93~100。
 10. 郭魁士, 1976, 土壤實驗, 中國圖書出版, 屏東市, pp. 9~65。

五、計劃成果自評

本研究探討利用地電阻剖面影像法作為植生整治之成效評估作法，進而驗證探討其可靠性。雖然地電阻法(Geoelectric Resistivity Method)發展迄今已近百年，其理論或解釋技巧及資料處理均已發展至相當成熟階段。但對量測值之準確性與量測之解析度則隨不同地質狀況條件有所不同，因此往往造成錯估。本研究為三階段研究(三年期計劃)之第一階段，工作重點為建製一個實驗槽體，以進行中尺度之砂箱試驗，為建立背景資料，試驗前先隨機採取槽內土樣進行飽和度-電阻率試驗，建立土壤含水率與電阻率的相關曲線，接著運用實測的含水率推算出電阻率，再與地電阻法所量測的數值比較其誤差，並試圖建立校正之關係式，以做為後期研究之基本數據之用。而在推估土壤含水率時，可以採集各深度的土壤分別做電阻率-飽和度試驗，擬合出各個深度的關係式，分別推算各深度的含水率，如此可提高其相對精準度。相關研究成果刻正整理中以便發表。