

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫：雨量與地下水電導度（EC）監測方法之研究（III）

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2625-Z-002-025-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：范正成

計畫參與人員：楊展源,孫偉騰

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 3 月 24 日

雨量與地下水電導度 (EC) 監測方法之研究 (三)
Monitoring Methods of Rainfall and Groundwater
Electrical Conductivity (III)

計畫主持人：范正成 臺灣大學生物環境系統工程學系教授

研究助理：楊展源 臺灣大學生物環境系統工程學系碩士班研究生

孫偉騰 臺灣大學生物環境系統工程學系碩士班研究生

委託單位：行政院國家科學委員會

執行單位：國立台灣大學

中華民國九十三年八月

謝 誌

本研究承蒙行政院國家科學委員會經費補助，研究期間承蒙台大生工系主任鄭克聲教授及師生之支持與鼓勵。並感謝經濟部水利處、行政院農委會等單位提供研究所需相關的寶貴資料。感謝國立台灣大學土木工程研究所劉格非教授、陳榮河教授、國立中興大學土木工程學研究所林炳森教授提供諸多寶貴意見，使本計畫得以順利完成，謹在此表達最深的謝意。

摘 要

本研究之主要目的是在探討地下水離子濃度、電導度與土石流發生之關係。每逢颱風暴雨過境，帶來充沛的雨量，使地下水水位升高，使得邊坡土體結構趨於不穩定，最後導致邊坡之破壞。因此，本研究進行現地土壤採樣及試驗，並設計滲流槽試驗以進行研究。

本研究以基隆八斗子為主要區域，選擇八斗子附近土壤為樣本。將採回之土樣配合因次分析進行滲流箱試驗，探討當土體破壞時，地下水離子濃度及電導度變化，以及評估地下水離子濃度及電導度觀測方式之可行性。結果顯示，當地下水水位上升土體發生崩塌時， SO_4^{2-} 及 Mg^{2+} 離子濃度會隨之上升，而 Na^+ 離子會隨崩塌的發生而逐漸變小。

(關鍵字：土石流、地下水、離子濃度、電導度、滲流、水質試驗)

ABSTRACT

The main purpose of this study is to investigate the relationships among ion concentration 、 electrical conductivity (EC) of groundwater and debris flow occurrence. During typhoon season, very frequently, heavy rainfall resulted in the rise of groundwater table, instability and the failure of the slope. Accordingly, in this study, the test site was investigated and flumes for seepage flow tests were designed.

The site of this study was selected at Ba-Dou-Tze in Keelung. Therefore, the soil samples for the tests were collected from the site. After the soil samples were prepared in the flumes, the seepage flow and slope stability tests were then conducted to investigate the variation of the ion concentration and the electrical conductivity (EC) of groundwater while the soil slopes failed. Meanwhile, the feasibility for observing the ion concentration and EC of groundwater was also evaluated. The results showed that while the groundwater table increased before the soil slope failed, the concentration of SO_4^{2-} and Mg^{2+} increased, however, the concentration of Na^+ decreased.

(Keywords: debris flow, groundwater, ion concentration, electrical conductivity, seepage flow, water quality test)

目 錄

CONTENTS

第一章 前言	1
第二章 前人研究	4
2-1 土石流之定義與特徵	4
2-2 土石流發生模式	5
2-3 滲流對土石流發生之影響	9
2-4 地下水離子濃度及電導度之觀測.....	11
2-5 地下水離子濃度變化之因素.....	15
2-6 模擬現地級配方法	15
2-6-1 剝除法.....	16
2-6-2 平行級配法.....	16
2-6-3 等重量替代法.....	17
第三章 研究方法與內容	21
3-1 研究流程	21
3-2 研究區域	24
3-3 現地採樣	25
3-4 現地土壤基本性質	26
3-4-1 篩分析.....	26
3-4-2 其他基本性質.....	30
3-5 理論介紹	30
3-6 砂箱實驗設計	33
3-6-1 砂箱實驗設計之原理.....	33
3-6-2 滲流槽之設計.....	36
3-6-3 砂箱實驗之設計.....	40
3-7 砂箱實驗儀器及試樣配置	41
3-7-1 儀器裝置.....	41
3-7-2 土樣設置.....	49

第四章 結果與討論	51
4-1 儀器之率定	51
4-1-1 電導度計之率定.....	51
4-1-2 變位計之率定.....	53
4-2 土體崩坍前後地下水電導度之變化實驗	53
4-2-1 水頭變化之情形.....	53
4-2-2 變位計分析.....	54
4-2-3 電導度分析.....	63
4-3 土體崩坍時地下水離子濃度之變化	70
第五章 結論與建議	83
5-1 結論	83
5-2 建議	84
參考文獻	85

圖目錄

圖 2.1 溪床坡度與可能發生之土石現象	6
圖 2.2 土石崩落之發生過程	8
圖 2.3 天然土石壩之三種破壞型式	8
圖 2.4 朱嘉政之試驗滲流槽	10
圖 2.5(a) 楊晁晟之試驗滲流槽	12
圖 2.5(b) 楊晁晟之試驗滲流槽	12
圖 2.6 地震發生與CI之關聯	14
圖 2.7 以剝除法求孔隙率、強度與最大粒徑之間關係	19
圖 2.8 平行級配法示意圖	19
圖 2.9 等重量替代法之示意圖	20
圖 2.10 改良式等重量替代法之示意圖	20
圖 3.1 研究流程圖	22
圖 3.2 研究區域內各雨量觀測站及 EC 監測站分佈圖	23
圖 3.3 台灣地質分區圖(中央地質調查所).....	27
圖 3.4 研究區內主要斷層圖及岩性(中央地質調查所)	28
圖 3.5 土石流堆積部與源頭部粒徑分布圖	29
圖 3.6 基隆八斗子現地粒徑分佈曲線	31
圖 3.7 有效應力法之破壞面	35
圖 3.8 滲流槽實驗及電導度計配置示意圖	37
圖 3.9 實驗水槽	43
圖 3.10 變位計連接 Data Logger	46
圖 3.11 水平、垂直變位計架設圖	46
圖 3.12(a) 電導度計	47
圖 3.12(b) 電導度計	47

圖 3.13 Data Logger 連接四組 EC Sensor	47
圖 3.14 實驗示意圖	48
圖 3.15 導水開關	48
圖 3.16 實驗示意圖	48
圖 3.17(a) 第一層夯實	50
圖 3.17(b) 第二層夯實	50
圖 3.17(c) 第三層夯實	50
圖 3.17(d) 第四層夯實	50
圖 3.17(e) 第五層夯實	50
圖 4.1 電導度計之率定	52
圖 4.2 垂直變位計位移與讀數關係圖	55
圖 4.3 水平變位計位移與讀數關係圖	55
圖 4.4(a) 第一組 90 度水平垂直變位圖	59
圖 4.4(b) 第二組 90 度水平垂直變位圖	59
圖 4.5(a) 第一組 75 度水平垂直變位圖	60
圖 4.5(b) 第二組 75 度水平垂直變位圖	60
圖 4.6(a) 第一組 60 度水平垂直變位圖	61
圖 4.6(b) 第二組 60 度水平垂直變位圖	61
圖 4.7 第一組坡度 90° 土體崩塌情形	62
圖 4.8 第二組坡度 90° 土體崩塌情形	62
圖 4.9 第一組坡度 75° 土體崩塌情形	62
圖 4.10 第二組坡度 75° 土體崩塌情形	62
圖 4.11 第一組坡度 60° 土體崩塌情形	62
圖 4.12 第二組坡度 60° 土體崩塌情形	62
圖 4.13(a) 第一組坡度 90 度時之電導度結果	64

圖 4.13(b) 第一組坡度 90 度時之 3 號電導度放大結果	64
圖 4.14(a) 第二組坡度 90 度時之電導度結果.....	65
圖 4.14(b) 第二組坡度 90 度時之 3 號電導度放大結果	65
圖 4.15(a) 第一組坡度 75 度時之電導度結果.....	66
圖 4.15(b) 第一組坡度 75 度時之 3 號電導度放大結果	66
圖 4.16(a) 第二組坡度 75 度時之電導度結果.....	67
圖 4.16(b) 第二組坡度 75 度時之 3 號電導度放大結果	67
圖 4.17(a) 第一組坡度 60 度時之電導度結果.....	68
圖 4.17(b) 第一組坡度 60 度時之 3 號電導度放大結果	68
圖 4.18(a) 第二組坡度 60 度時之電導度結果.....	69
圖 4.18(b) 第二組坡度 60 度時之 3 號電導度放大結果	69
圖 4.19 第一組坡度 90 度之陰陽離子變化圖	77
圖 4.20 第二組坡度 90 度之陰陽離子變化圖	78
圖 4.21 第一組坡度 75 度之陰陽離子變化圖	79
圖 4.22 第二組坡度 75 度之陰陽離子變化圖	80
圖 4.23 第一組坡度 60 度之陰陽離子變化圖	81
圖 4.24 第二組坡度 60 度之陰陽離子變化圖	82

表目錄

表 3.1 基隆八斗子土樣基本性質	31
表 3.2 沉水馬達規格	43
表 3.3 變位計規格	45
表 3.4 電導度計規格	45
表 3.5 數據記錄器規格	45
表 4.1 電導度計之率定	52
表 4.2(a) 第一組坡度 90 度水位時間表	56
表 4.2(b) 第二組坡度 90 度水位時間表	56
表 4.3(a) 第一組坡度 75 度水位時間表	57
表 4.3(b) 第二組坡度 75 度水位時間表	57
表 4.4(a) 第一組坡度 60 度水位時間表	58
表 4.4(b) 第二組坡度 60 度水位時間表	58
表 4.5(a) 第一組坡度 90 度之水質陰離子分析	71
表 4.5(b) 第一組坡度 90 度之水質陽離子分析	71
表 4.6(a) 第二組坡度 90 度之水質陰離子分析	72
表 4.6(b) 第二組坡度 90 度之水質陽離子分析	72
表 4.7(a) 第一組坡度 75 度之水質陰離子分析	73
表 4.7(b) 第一組坡度 75 度之水質陽離子分析	73
表 4.8(a) 第二組坡度 75 度之水質陰離子分析	74
表 4.8(b) 第二組坡度 75 度之水質陽離子分析	74
表 4.9(a) 第一組坡度 60 度之水質陰離子分析	75
表 4.9(b) 第一組坡度 60 度之水質陽離子分析	75
表 4.10(a) 第二組坡度 60 度之水質陰離子分析	76
表 4.10(b) 第二組坡度 60 度之水質陽離子分析	76

第一章、前言

台灣環境多高山峻嶺及丘陵地，山坡地面積佔了全台三分之二以上的範圍，由於人口快速增加，經濟蓬勃發展，在平原面積不足的情況下，山坡地開發成為必然的趨勢。然而台灣山坡地脆弱的地質環境，加上特殊的水文條件，一旦開發未做適當的規劃與評估，每逢梅雨及颱風季節豪雨的肆虐，崩塌、地滑、山洪爆發、土石流等坡地災害案例急劇增加，這些災害造成了許多生命財產的損失，也直接或間接的影響了交通、通訊、農業發展、環境生態....等。在這些坡地災害中，土石流的發生非常急促，且多半歷時甚短，台灣地區由於坡度較陡且流程較短，一次土石流過程大約在 15 分鐘內結束，然而其所造成的破壞，卻是無法預估的。所以對土石流災害的研究與防治，是一件刻不容緩的事。

現階段台灣發生土石流的災害日益增多，此類災害有逐年加劇之趨勢，且都分別造成重大損失與傷亡。民國 85 年 7 月 31 日至 8 月 1 日賀伯颱風，所挾帶的豪雨於全省多處山區造成嚴重的土石流災害，其中南投縣之郡坑、豐丘、同富、龍華國小與神木村等災情最為慘重，人民生活財產損失不可計數。民國 88 年 9 月 21 日凌晨 1 點 47 分，台灣中部發生芮氏規模 7.3 的大地震，造成歷年來最大的崩山，崩塌面積有 641 公頃，堀沓山頂有五戶簡姓家族 36 人，從海拔 1100 公尺

高的山上，沖移至 2.5 公里下的清水溪（海拔 560 公尺），並形成歷年最大的堰塞湖，新草嶺潭面積 180 公頃，蓄水量目前預估是 4 千 6 百萬立方公尺，水深 50 公尺。民國 90 年 9 月 16 日納莉颱風豪雨，在雲林縣古坑鄉華山村華山溪、科角溪一帶，源自大尖山的華山溪挾帶崩落約六萬立方公尺的土石，長驅直入村庄，不但沖垮華山通往松腳部落的松華橋，土石流更塞滿溪谷；而二尖山的科角溪也滾落約三萬立方公尺的土石，甚至沖毀攔砂壩護岸。根據行政院農業委員會所公佈的資料，台灣本島具有土石流災害危險性的溪流已達一千四百多條，在現階段未能全面施設硬體防治措施，以抑制土石流之發生，或降低已發生的土石流的災害威力前，適時地採用預報與警報系統，對可能發生的土石流作出預報，並對已發生的土石流發出警報，使人們有足夠的避難逃生之緩衝時間，以避免或減輕人員傷亡及貴重財產損失。因此，土石流預警系統可從土石流發生機制著手，研究其發生的相關因子及條件，並對土石流的發生及其可能危害地區做預測，以適時的對下游的保全對象做出『預報』，以增加因應的時間及果效。

本研究期望瞭解地下水水質中的離子濃度、電導度值 (Electrical Conductivity) 之濃度變化與土石流發生或崩塌之關係，增進土石流監測之功效。根據前人研究指出，當有地滑災害發生時，該區域之地下水在離子濃度、電導度值會有不同程度的變化趨

勢；故本研究針對不同區域土樣做比較，推求地下水離子濃度、電導度與土石流發生之關聯性。

第二章、前人研究

2-1 土石流之定義與特徵

土石流(Debris flow)乃是土石與水混合一體，具備高流動性，沿坡地或溪床向下快速移動之土砂災害。地質與地形為影響發生之基本因素，豪雨與足夠之土砂來源則為促成土石流發生之最大誘因。整體而言，土石流是泥、砂、礫及巨石等固態物質與雨水之混合物，受重力作用後所產生之流動現象。(何敏龍 1997)

關於土石流的定義及特徵，有許多專家學者說明，茲摘錄國內外專家學者之論述如下：

1. 土石流流動時由於土砂量與水混合之比例不同，及溪床坡度大小之影響，將使其流動狀態與流動特性有所差異，一般若粗礫含量較高時，可稱之為礫石型土石流，其流速可達 3~10m/sec 以上；而細砂等含量較高時，在日本以 0.1mm 以下之細粒土砂含量在 10% 以上者，稱之泥流型土石流，其流速在 2~20m/sec 左右。通常礫石型土石流一發生後，其流速較快，但泥流型土石流在含水量較多，亦即流動之土體濃度較小時反而愈快。至於流動時之流體密度大約在 1.2~2.1t/ml 左右。而在中國大陸所謂之泥石流，其流體之土砂礫含量可達 70~80%。(游繁結 2000)

2.堆積土體處於陡坡時，因含水量高，產生部分液化、流動，常沿溪谷往坡趾崩移。破壞區幾何形狀為長且窄，且在發生之坡頂處留下鋸齒狀或 V 型溝槽。土石滑動轉換至土石崩塌之發生，是由於堆積土石之凝聚力下降、含水量升高及坡度之變陡。

(Polubarinova-kochina, 1962)

3.土石流發生的過程包括發生部、流動部及堆積部。土石流之發生區大都在 $15^{\circ}\sim 22^{\circ}$ 之間，流動區大都在 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 之間，當坡度小於 6° 以下則為土石流之堆積區。坡度若是大於 40° ，其溪床之堆積物則多是以崩落的型式落入溪床，可歸納於土石崩落區。其土石流之發生、流動、堆積型態與溪床坡度的關係如圖 2.1 所示。(謝正倫、施邦築, 1998)

2-2 土石流發生模式

關於土石流發生模式，列舉前人研究如下；分別就土壤液化、滲流侵蝕等等方面做一個介紹。

Well (1987) 認為邊坡上小溪流的形成與流路之發展，其侵蝕作用為造成土石流發生的主要原因之一。尤其邊坡經過火災燃燒後之有機物質滲入堆積層中，而形成不透水層。當豪雨來臨，雨水入滲後遭遇不透水層，使土體中之孔隙水壓上升，造成邊界處土體因不穩定向下坡崩動，使侵蝕擴大，有引發大型土石流之可能性。

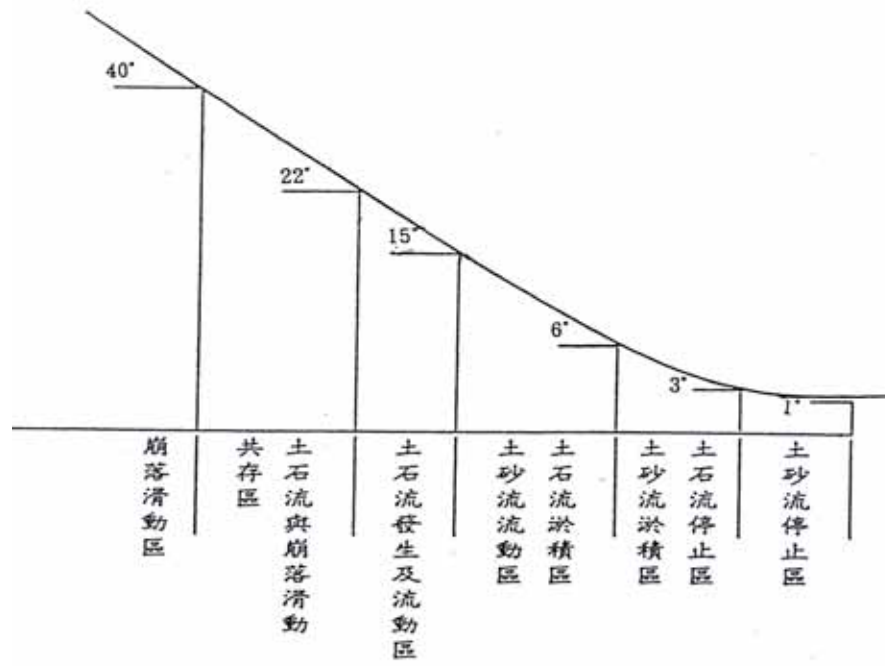


圖 2.1 溪床坡度與可能發生之土石現象(謝正倫、施邦築, 1998)

Baldwin II (1987)將土石流破壞、運動過程劃分為五個階段，如圖 2.2 所示。

- a. 發生階段，土體沿破壞面滑動，而沿已存在之張力裂縫產生分離作用，如圖 2.2(a)。
- b. 發生部之土壤發生攪動行為，使強度迅速降低，初始流動開始，如圖 2.2(b)所示。
- c. 液化發生，土體向下坡流動，如圖 2.2(c)；流動漸進加速(主流槽內)，流動範圍內之草木皆被剝除，如圖 2.2(d)。
- d. 堆積期，如圖 2.2(e)。

Takahashi (1991)以天然土石壩之破壞來說明三種土石流發生之不同型態，如圖 2.3 所示。圖 2.3(a)，壩體本身滲透性低，高強度，蓄水位高使溢流量大且溢流速度快於滲流速度。溢流之侵蝕作用將帶走壩頂處之土石材料，若坡度夠陡則終將導致土石流之發生。圖 2.3(b)，壩體具有較高之滲透性且強度低於圖 2.3(a)情況，壩後水位如上升與水之滲流同時進行，當達到臨界水位時，壩體突然滑動。由於滑動之土體未完全飽和，而堆積在坡趾，尚未形成土石流，但受潰壩後，大量水之釋放的沖擊，將形成大型土石流。圖 2.3(c)，壩體之滲透性非常高，使滲流遠達壩之下游面，造成壩趾處土體軟弱而破壞，破壞一直沿壩頂方向發展，若破壞延伸至潰壩發生瞬時釋放的

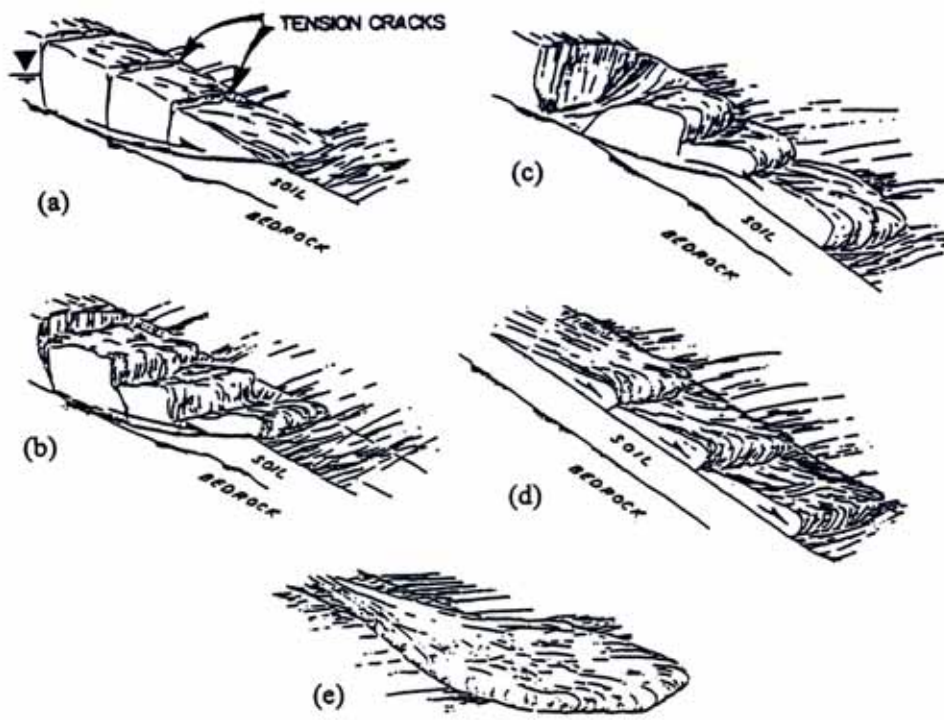


圖 2.2 土石崩落之發生過程(Baldwin II, 1987)

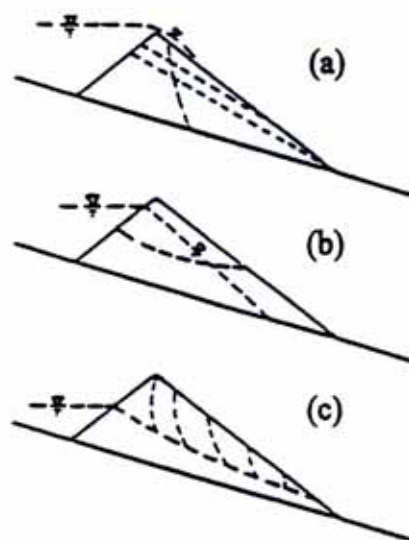


圖 2.3 天然土石壩之三種破壞型式(Takahashi, 1991)

蓄水將引發土石流。

2-3 滲流對土石流發生之影響

土石流發生機制中，較少討論到滲流對於土石流發生的影響，依照Takahashi(1991)所用天然土石壩崩潰來說明三種不同土石流發生型態(圖 2.3)，其中一種便是討論到當壩體的滲透性高並且強度較低的時候，隨著壩體後方水位的升高，便在壩體裡產生滲流的現象，隨著滲流現象的發生，土體之細顆粒便會被滲流所帶走，造成土體的不穩定，產生管湧(piping)的現象。首先，會產生局部性的破壞，隨著破壞越來越大，發生全面性崩潰，土石流因此而發生。

范正成、朱嘉政(2001) 選取土石流發生頻繁的豐丘野溪及神木村出水溪上游萬年神木附近的土壤為樣本。經過實驗室之滲流箱試驗(其尺寸為 100cm × 30cm × 30cm，如圖 2.4) 後，得到臨界水力梯度、最高滲流線，其結果發現豐丘與神木土樣之臨界水力梯度皆為 0.288，而豐丘及神木之臨界滲流角分別約為 35 及 37 度。

范正成、梁魁麟(2002) 以南投縣為主要研究區域，選取土石流發生頻繁的豐丘野溪的土壤為樣本。探討臨界水力梯度，以及計算臨界管湧公式，其結果發現坡度為 45、60、75 度之臨界水力梯度分別為 0.416、0.413 及 0.383，而臨界滲流角約為 26.4 度。

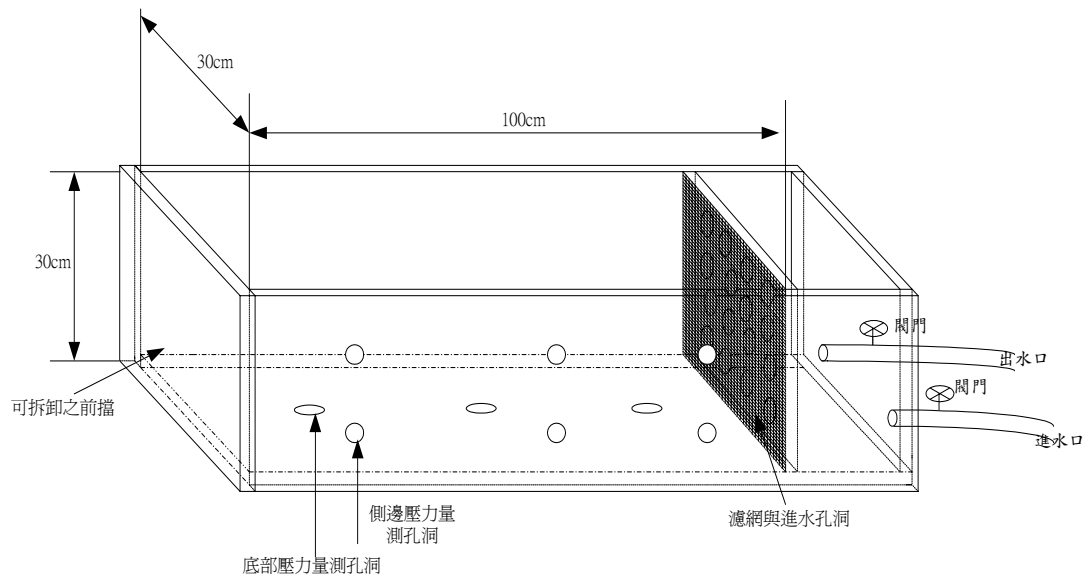


圖 2.4 朱嘉政之試驗滲流槽(范正成、朱嘉政, 2001)

范正成、楊晁晟(2003)以南投縣為主要研究區域，選取豐丘野溪上游附近土壤為樣本。探討土體崩塌時地下水電導度之變化。經過室內滲流箱試驗（其尺寸為 100cm × 30cm × 30cm，如圖 2.5）後，結果發現在電導度上升趨勢後，不久土體即會發生崩塌，且 SO_4^{2-} 濃度在土體崩塌後有明顯上升， HCO_3^- 濃度則與電導度值成正比之關係。

2-4 地下水離子濃度及電導度之觀測

對於土石流研究，土石流發生之預測甚為重要。若能夠在土石流發生前做出評估，預測土石流潛在發生時間及地點，並設法因應，可以因此減少許多災害。國外學者的研究曾指出，當有崩塌發生時，該區域之深層地下水有上升的趨勢，使得地下水離子濃度及電導度值產生變異。

青木滋(1998)在日本新瀉縣虫龜進行長期的地下水監測，發現當地滑災害發生前，深層地下水位會開始上升，而深層地下水中的碳酸氫根離子(HCO_3^-)、氯離子(Cl^-)及鈉離子(Na^+)使得EC(電導度)值提高，約(5.09 ~ 5.13 ms/cm)；也就是說，若是地下水中EC提高的話，便有可能發生地滑現象。

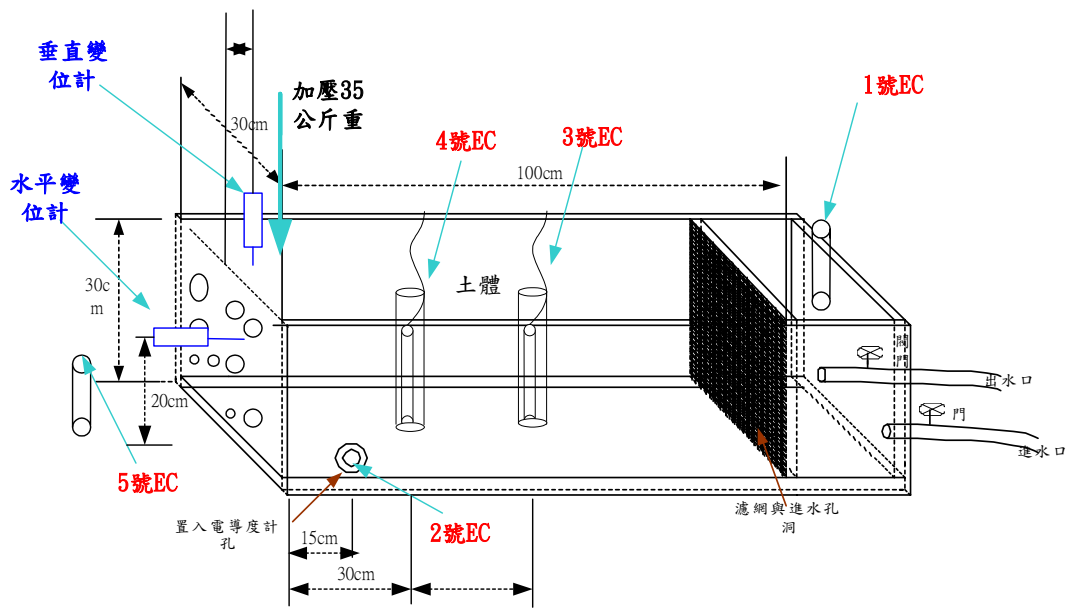


圖 2.5(a) 楊晁晟之試驗滲流槽(范正成、楊晁晟, 2003)

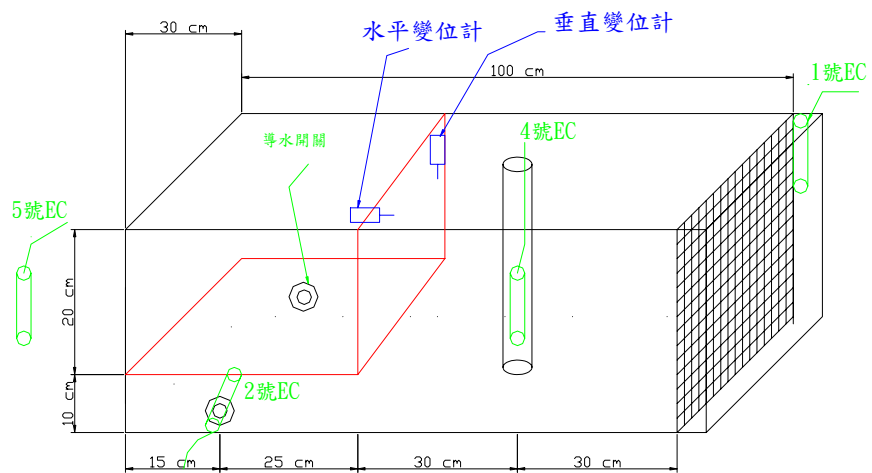


圖 2.5(b) 楊晁晟之改良試驗滲流槽(范正成、楊晁晟, 2003)

Tsunogai and Wakita (1995)對日本神戶一帶以該地水源製造之礦泉水，進行地下水化學物質的監測(1993~1995)；發現 Cl^- 與 SO_4^{2-} 離子濃度在1994年8月突然地上升，於1995年2月17日震度7.2級阪神大地震發生後，水中 Cl^- 與 SO_4^{2-} 濃度達到最高值。他們認為離子濃度的改變應該與地震發生有所關連，如圖2.6所示。

Li (1985)於1979年中國大陸天津寧河地震(M=6.9)， SO_4^{2-} 離子濃度在2個月前開始緩慢上升至地震發生， Cl^- 離子濃度則緩慢下降至地震發生，且在地震前一個月，鎂離子和鈣離子濃度震盪走高。

Toutain (1997)於1996年法國西部Pyrenees東部的地震(M=5.2)，在地震發生前約十天，顯示礦泉水中的氯離子濃度有明顯的增加，至地震發生達最高值，然後再急速的下降。

Ibe (2000)在Nigeria的Cross河，在土石流發生後，於不同河段及深度採集水樣與土樣，做一連串的環化實驗，結果發現由上游至下游 Mg^{2+} 離子濃度與 SO_4^{2-} 離子濃度呈現遞增的現象；而土壤的分析結果指出土壤中存在鉀(K^+)、鎂(Mg^{2+})、鈣(Ca^{2+})以及氯離子(Cl^-)。

宋聖榮 (2002)以埔里地區為研究區域，88年3月時，在當地所製之礦泉水水中發現硫酸根離子濃度和硝酸根離子濃度已開始有異常情況出，離子濃度上昇，但到六月中，離子濃度則有明顯下降，到發生南投埔里921地震時離子最低。

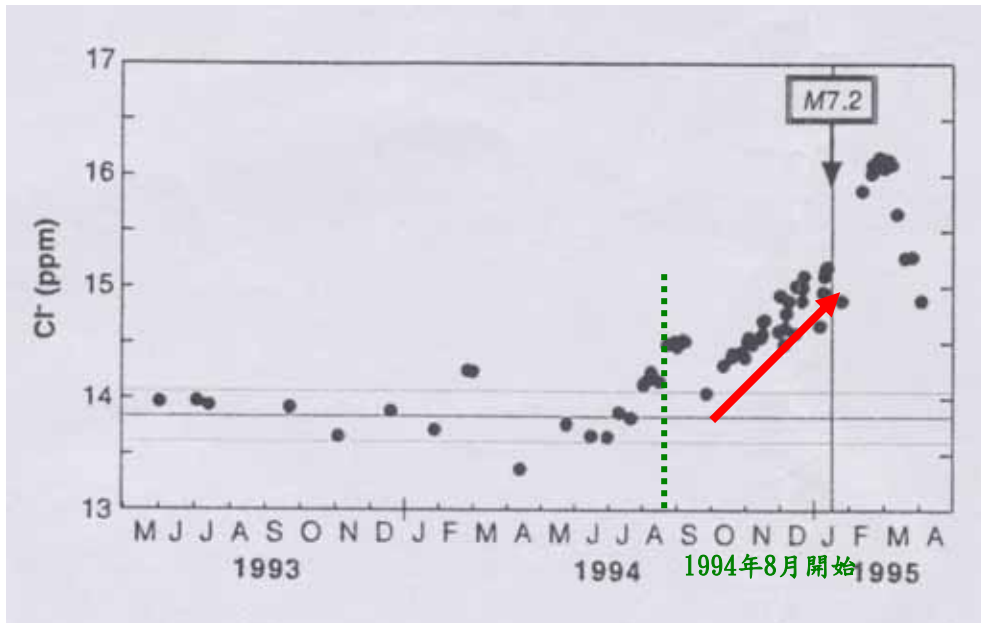


圖 2.6 地震發生與CI之關聯(Tsunogai and Wakita,1995)

2-5 地下水離子濃度變化之因素

宋聖榮(2002)對於地下水離子濃度改變原因說明如下：

1. 因季節的不同，所區域內所發生降雨量也不同，相對的雨水滲入地下水至地下儲水層，使地下水中的離子濃度發生改變。
2. 因構造作用造成應力累積，使地層產生裂縫，或地震所產生的岩層破裂，都會使離子濃度不同的兩層地下水體發生混合現象，造成水中離子濃度發生異常改變。
3. 因構造作用造成應力累積，造成地層中微顆粒間的孔隙發生崩塌，使原離子含量較高的孔隙水被排出，造成水中離子濃度發生異常改變。
4. 因地層中有其他異常的作用，如地震波、應力累積所產生的超音波和微裂隙的發生露出新鮮的岩石表面，使地層中水體與岩石作用的溶解度增加，也會造成地下水離子濃度發生異常改變。

2-6 模擬現地級配方法

本研究實驗所用土樣採自現地，現地之土樣含有巨大之礫石，這些巨大礫石常常成為土石流發生時，造成災害的主因。但是我們在進行室內實驗時必須考慮實驗室與現地之間尺寸的差距，在客觀條件下，無法利用巨大之礫石，從事室內實驗室之試驗，因此，在從事室內實驗時除了必須將實驗室裡的條件控制與現地相同之外，更須使現

地與實驗室土樣之性質差距達到最小。一般研究常用來縮小尺寸之方法，有下列三種。

2-6-1 剝除法

Zeller and Wullimann (1957)為了估計瑞士 Goschenenalp 壩殼之剪力強度，配合實驗儀器與試體要求之限制，將所需最大粒徑以上之顆粒剝除，而後在不同之最大粒徑與孔隙率下進行一系列之三軸試驗，最後將孔隙率、強度與最大粒徑繪成關係圖，如圖 2.7 所示。在已經知道現地最大粒徑與孔隙率，即可經由外插的方式推得現地強度。

劉啟鋒(1990)以剝除法進行大型直剪試驗保持與現地相同之乾密度及含水量，剪力槽之間距與試體之最大顆粒粒徑相同。由試驗結果可以得知，對於粗粒料（大於#4）而言，其摩擦角隨著最大粒徑之增加而增加；對於細粒料（小於#4）而言，並無明顯的關係存在。

2-6-2 平行級配法

此法又稱為粒徑縮尺法，為Lowe(1964)為台灣設計石門水庫時所提出的方法。當時水庫壩殼所選用的材料最大粒徑為 12 英吋，為了進行室內試驗，乃將現場的材料一律縮小 1/8。簡單的來說，就是將現場材料的粒徑分佈在粒徑分佈圖上做平行移動，如圖 2.8 所示。使

用此種方法的理由是基於「試體與現地材料之間若只是顆粒大小的不同，其剪力性質應相似」的觀念。此法最大的優點為可以得到與現地級配完全相似（均勻係數 C_u 、曲率係數 C_d ），但是此法有一缺點，便是細粒料也會因而提高，我們知道粒狀土壤與黏性土壤之工程性質並不一樣，而且因為細粒料的增加，而會使得試體的準備變得更加繁複。

曲先慎(1986)曾經對林口台地之紅土礫石進行研究，採用平行級配法作為室內材料模擬之方式，進行三軸壓密不排水試驗。

林信安(1997)為了討論礦區邊坡穩定之力學行為，對於花蓮秀林福安礦場石灰岩碎塊材料，進行直接剪力試驗，模擬材料級配方式採用平行級配法。其試驗結果為有效應力摩擦角與總應力摩擦角皆隨著最大粒徑的增加而增加。

2-6-3 等重量替代法

George(1963)認為現場材料顆粒粒徑小於 0.25 公厘(約 #40 ~ #100)時，對於輾壓效果及各層間的結合力有很大的影響。為了保持現場材料性質與模擬材料性質相似，模擬材料之細顆粒含量控制必須與現場相同。基於此項理由，將現場材料級配曲線某一尺寸以上顆粒之重量，以相同重量但是小於該尺寸之細顆粒予以取代。如圖 2.9 所示。

另外，張世勳(1993)為了改良模擬級配的分佈與現地粒徑分佈相

近，提出「改良式等重量替代法」。此法是將現地級配分佈先以一最佳曲線通過，再依此最佳曲線之幾何特性作為模擬材料級配曲線之幾何特性，級配調整由曲線 40 號篩的粒料含量開始，以給定的曲線幾何特性決定縮小級配方式。如圖 2.10 所表示之示意圖。

比較上述三種模擬現地級配方法，由於剝除法需確定所捨棄之粗粒料與實驗之細粒料對於實驗並無明顯關係，才能確保實驗的準確性。平行級配法將現場的土壤粒徑都一律縮小，完全改變土壤粒徑，但粒狀土壤與黏性土壤之工程性質並不一樣。楊晁晟(2003)所進行之南投豐丘土樣滲流箱試驗，即是利用重量替代法，為了減少變因與其結果做比較，因此本研究使用重量替代法。

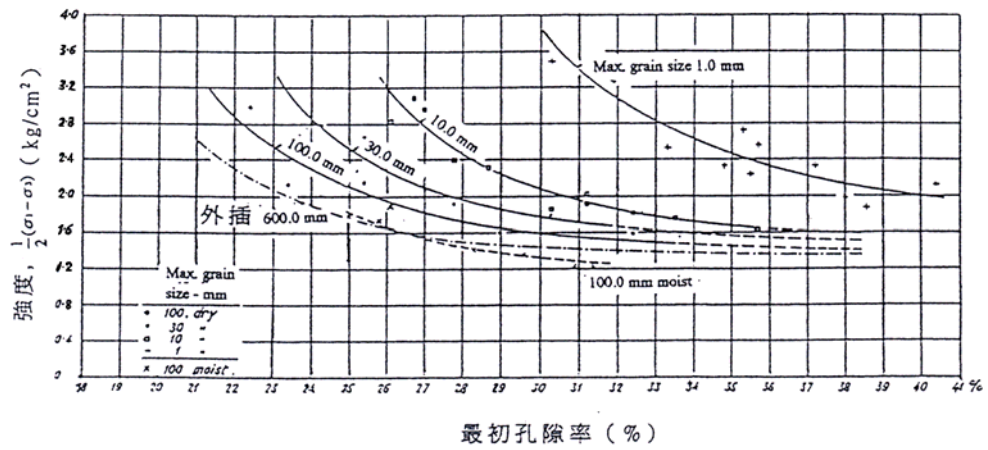


圖 2.7 以剝除法求孔隙率、強度與最大粒徑之間關係

(摘自 Zeller and Wullimann 1957)

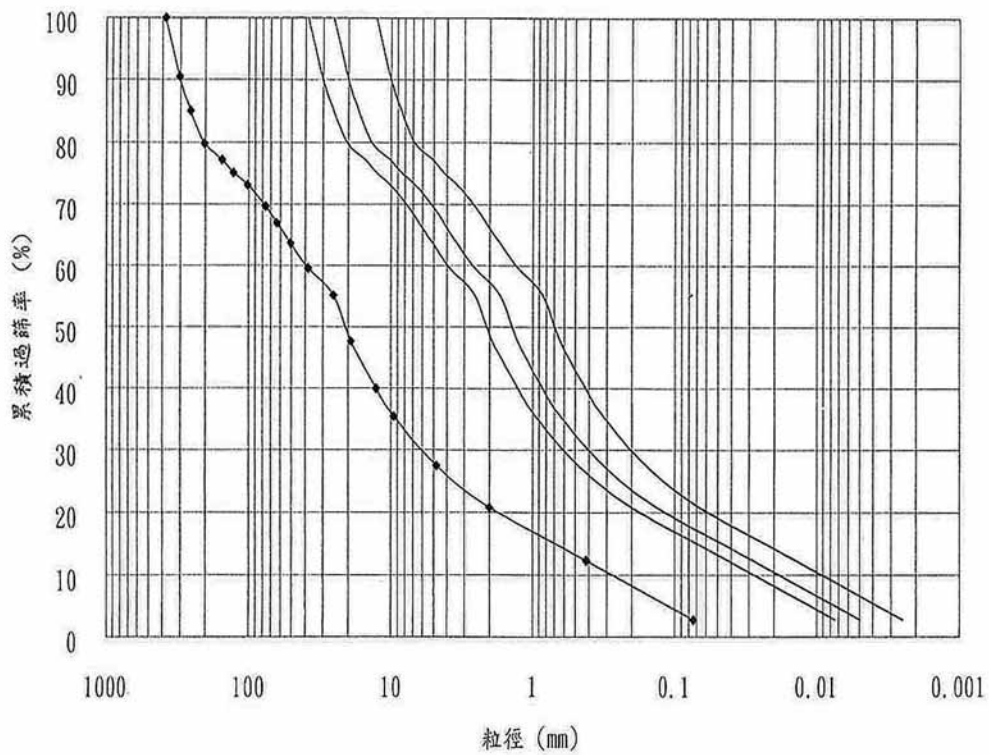


圖 2.8 平行級配法示意圖(摘自 Lowe 1964)

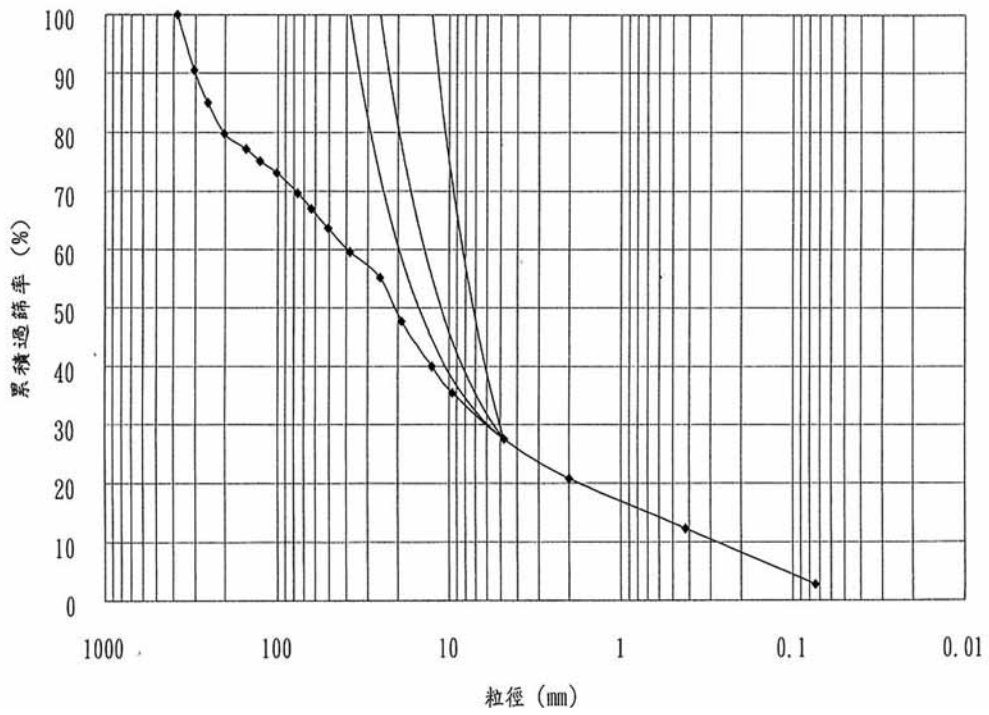


圖 2.9 等重量替代法之示意圖(摘自 George 1963)

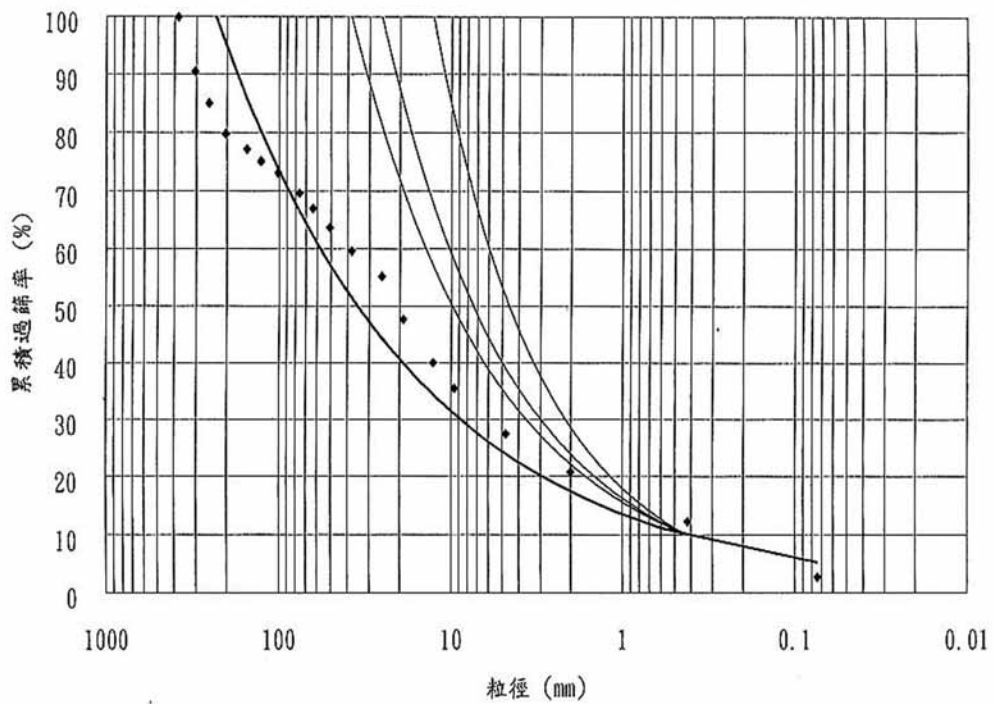


圖 2.10 改良式等重量替代法之示意圖(摘自張世勳 1993)

第三章 研究方法與內容

根據第二章所述前人之研究，當地滑等坡地災害發生時，深層地下水水位會上升，而深層地下水中的碳酸氫根離子濃度(HCO_3^-)、氯離子濃度(Cl^-)、鈉離子濃度(Na^+)及電導度值皆有不同的表現方式；也就是說，若是地下水中離子濃度或電導度值改變的話，便有可能發生地滑等坡地災害。因此研究中欲藉著長時間所收集到之地下水離子濃度及電導度資料，觀察其變化情形，希望能推導出離子濃度、電導度值與土石流發生的關係。惟目前研究區域中近期都無較大之降雨，因此所收集到的資料變化皆不大，所以希能以室內砂箱試驗來模擬土體破壞時地下水離子濃度及電導度值變化之情形。

3-1 研究流程

研究流程分為兩大部分，如圖 3.1 所示。一部份為現地地下水電導度資料的收集，另一部份為實驗室砂箱模型試驗。

現地資料收集部分：於研究區域中所設置之雨量站及電導度監測站，如圖 3.2，皆已正常運作；但研究期間內研究區域中都無明顯之降雨可導致土石流的發生。因此本研究期望能以室內實驗來評估地下水電導度觀測方式之可行性和找出導致地下水電導度值改變之主要因子。

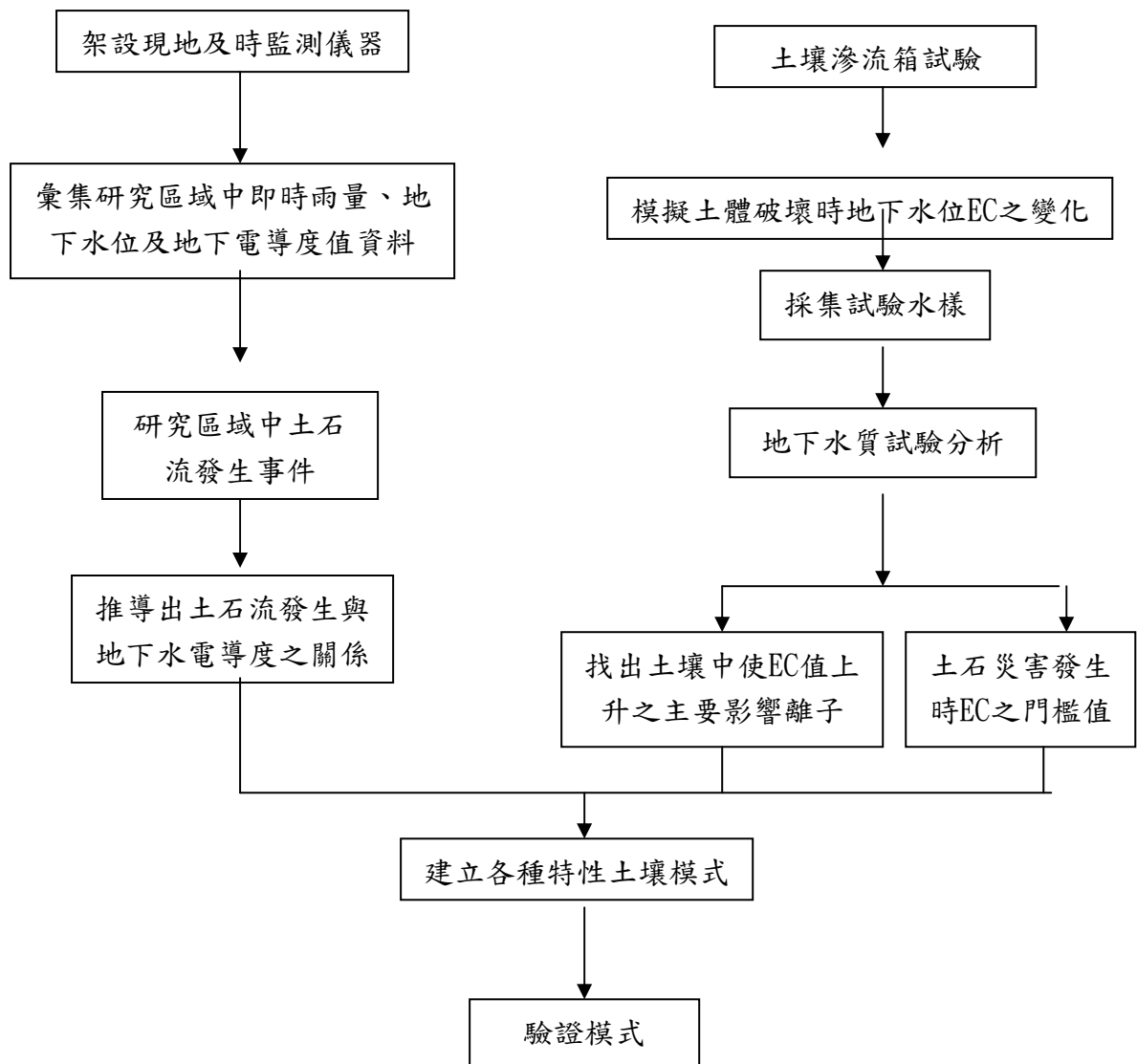


圖 3.1 研究流程圖

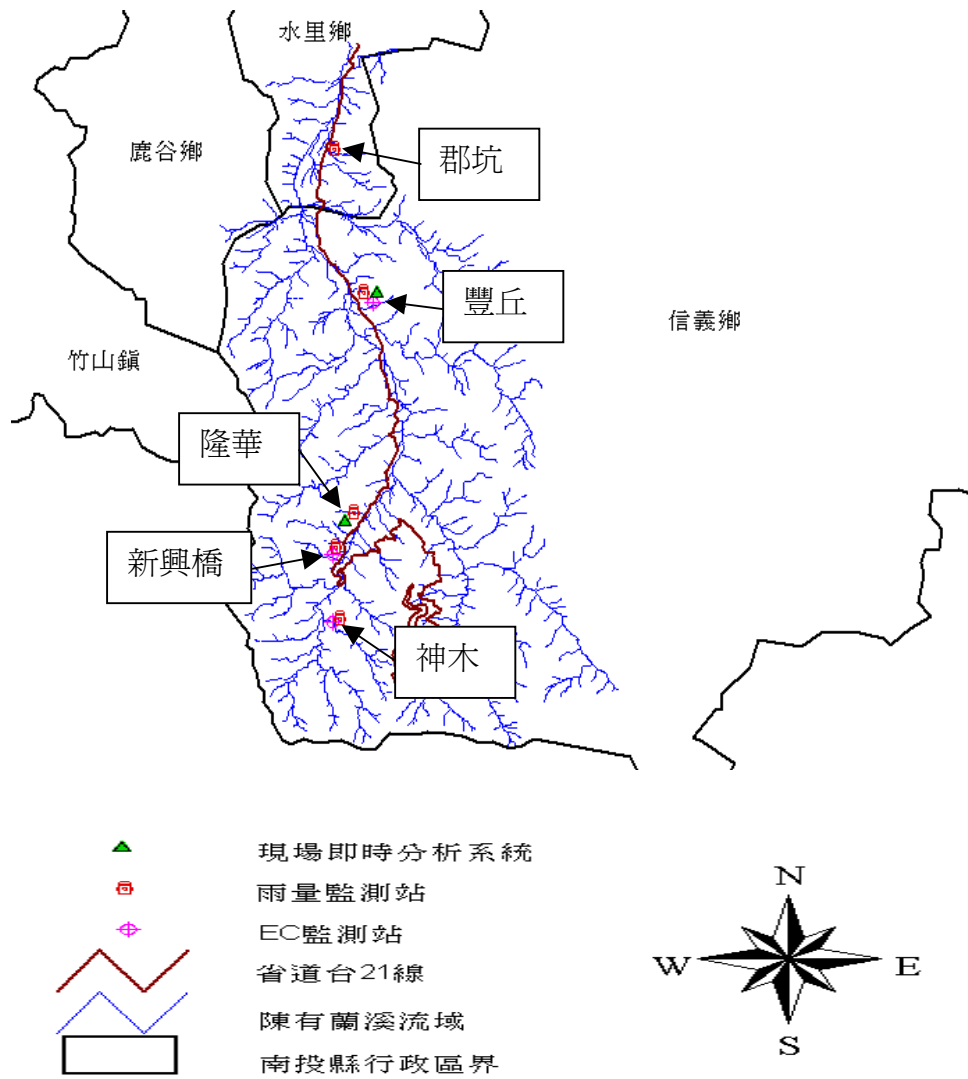


圖 3.2 研究區域內各雨量觀測站及 EC 監測站分佈圖

(摘自楊晁晟 2003)

室內砂箱試驗：在取回現地未擾動土樣後，先進行現地基本物理試驗，以取得現地之基本資料；然後，建立滲流箱試驗系統與供水系統，以便進行滲流槽試驗。砂箱實驗包括量測試體內部水位、土體變位、電導度變化之量測等等...；水質試驗方面為在滲流箱試驗時，收集地下水，再進行地下水離子檢測。

3-2 研究區域

本研究區域所採用之土樣來自基隆八斗子，採取本區土壤進行試驗原因是由於本區為 CL(USCS 分類)土壤，可與楊晁晟(2003)利用南投豐丘 GC-GM(USCS 分類)土壤試驗後所得結果作比較，研究是否不同性質土壤，在發生崩塌時，地下水離子濃度與電導度值有何不同之變化。

基隆八斗子舊有社區未經妥善規劃結果，多紊亂且緊密充塞於淺谷地，原有之自然排水系統多遭破壞，每當遇到豪雨則遭洪氾。這些舊有社區大多於煤礦業鼎盛時期，積極開發之結果，社區建築物與開挖岩壁間，多未能保持適當之安全距離，常因豪雨或地震造成山崩或土石滑落，危及當地居民生命財產。

基隆八斗子調查區域位於基隆港東側，西界自和平島南端至四腳亭，東界自庚子寮至侯硐附近之九弓橋，全區面積為 4,600 公頃；該區地形多屬低矮之單斜脊淺谷，受岩性及構造之控制，本區露出之岩

層主要為中新世地層，以砂岩及頁岩為主，見圖 3.3 及圖 3.4；地質構造線均呈東北至西南方向。地層傾斜則受局部構造控制，傾向西北或東南，傾角在北側濱海一帶較為平緩，南側地勢較高，坡度較陡的區域，傾角亦較大。由於岩層差異侵蝕之結果，地形上多呈豚背狀地形，且多順向坡。在氣候上，根據記錄(1897~1976)，侵襲臺灣之颱風，其路徑通過臺灣北部或北部海面向西或西北進行者約佔 27%，每年颱風季，常有鋒面帶來豐濱雨水；而東北季風來臨之際，少有晴天，亦常帶來不少雨水。因此本區岩層大部份時間均呈現飽和狀態，自然邊坡由於孔隙水之增加，常使安全系數趨近於 1，因此稍遇開挖不當，或外力作用，極易發生平面滑動，引起崩塌，造成損害。
(以上資料摘自臺灣坡地社區工程地質調查與探勘報告 1991)

3-3 現地採樣

Johnson and Rodine. (1984)調查美國加利福尼亞州之土石流，在源頭部與堆積部採樣，結果發現土石堆積材料在源頭部與堆積部的粒徑分部曲線相似，如圖 3.5 所示。Johnson and Rodine. (1984)認為土石流在傳輸的過程中，粒徑分佈的改變影響很小。但是若是採用堆積部的材料時，在採樣的標準上很難取捨，因為在堆積部之礫石，大者有可能跟一棟小房子一樣大，無法對其進行分析；因此決定採樣的地點原則為未受擾動之土樣，所以採樣的地點大都在地勢較高

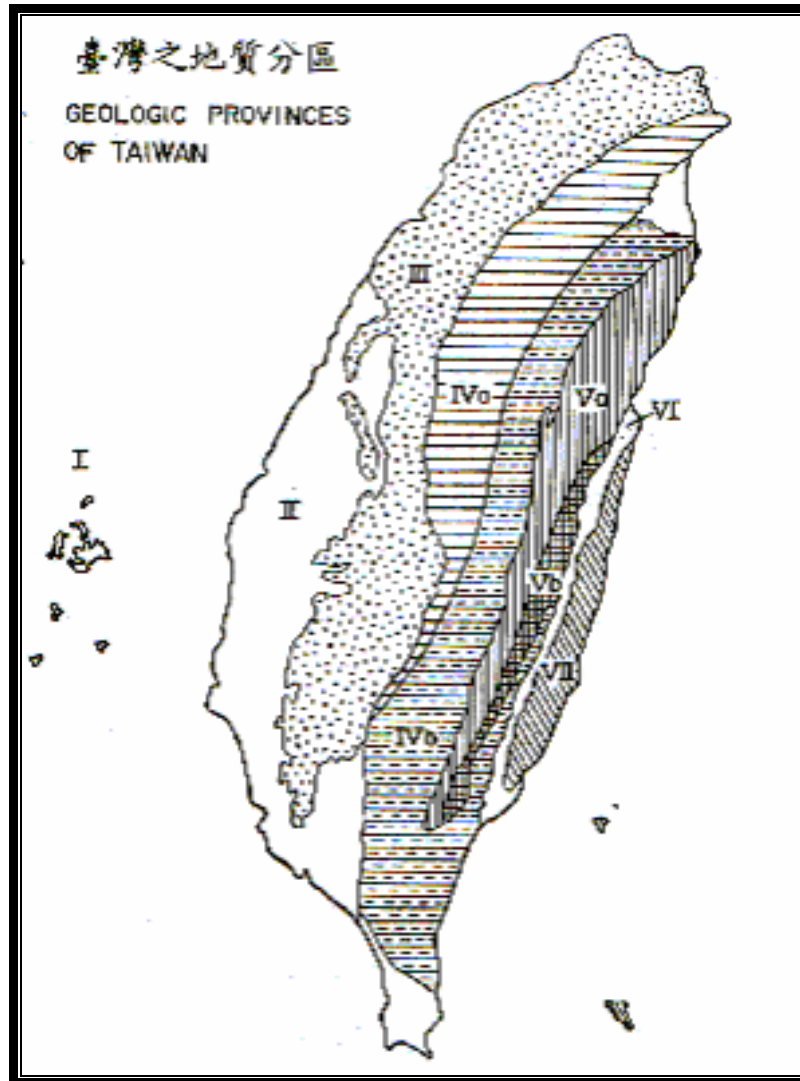
的地方，屬於土石流之發生部範圍。至於較高之地點，因為人員以及器具搬運的困難，所以也要考慮交通之因素。

3-4 現地土壤基本性質

3-4-1 粒徑分析

粒徑分析之目的為求取土壤顆粒粒徑分佈曲線，並且求得其均勻係數、曲率係數等數據，以作為土壤分類依據。在粒徑分析進行時，所採用之方法是乾篩法，但是乾篩法之缺點為細顆粒土壤容易在敲擊粗礫石飛走，或是黏附在粗顆粒上不易敲下，亦或者是因為敲擊太用力，而導致礫石破裂。所以，為了使細粒料不流失，並且容易使得粗顆粒上之細粒料容易跟粗粒料分離，並且不因為敲擊的因素使得礫石破裂，將所有採回來的土樣全部泡水，接著再利用標準篩來過篩。

為了使粒徑分析進行容易，先將所有土壤顆粒放入疊套好之篩網，篩號分別為 1"、1/2"、3/8"、#4，進行粗顆粒之分類。分類好之土壤全部泡水，浸泡時間約為一天以上，使得粗顆粒與細顆粒分離。然後，分離後之土石溶液與之前通過#4 之細顆粒土壤再用#10、#20、#40、#60、#100、#200 篩進行過篩。(採用 ASTM：C136-67 粒徑分析法)



- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| I 澎湖羣島 (洪流式玄武岩) | V 中央山脉東翼地質區 (先第三紀變質雜岩) |
| II 濱海平原 (沖積層) | Va 太魯閣帶 |
| III 西部麓山地質區 (以新第三紀碎屑岩為主) | Vb 玉里帶 |
| IV 中央山脉西翼地質區 (中新世至古第三紀硬頁岩及板岩系) | VI 東部縱谷 (縫合帶) |
| IVa 雪山山脉帶 | VII 海岸山脉地質區 (新第三紀火山質及濁流式碎屑岩覆蓋的火山弧) |
| IVb 脊梁山脉帶 | |

圖 3.3 台灣地質分區圖(中央地質調查所 1991)

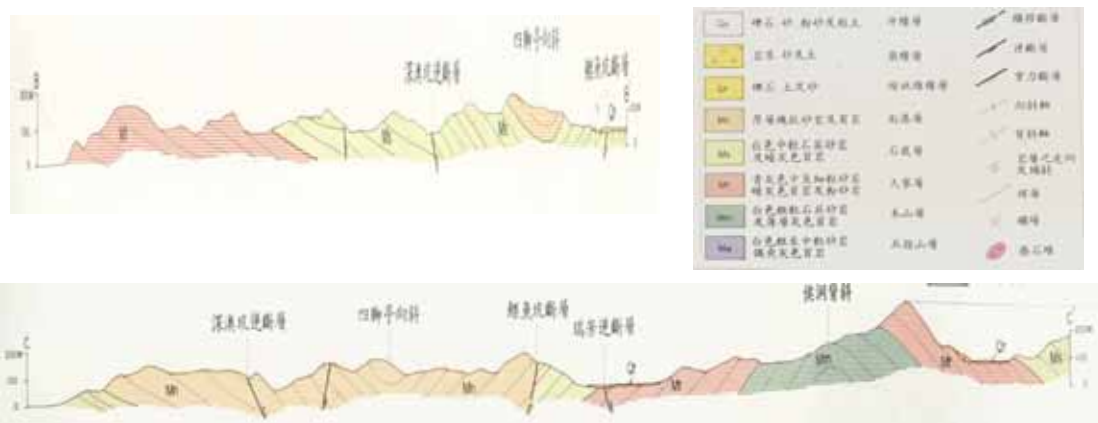


圖 3.4 研究區內主要斷層圖及岩性(中央地質調查所 1991)

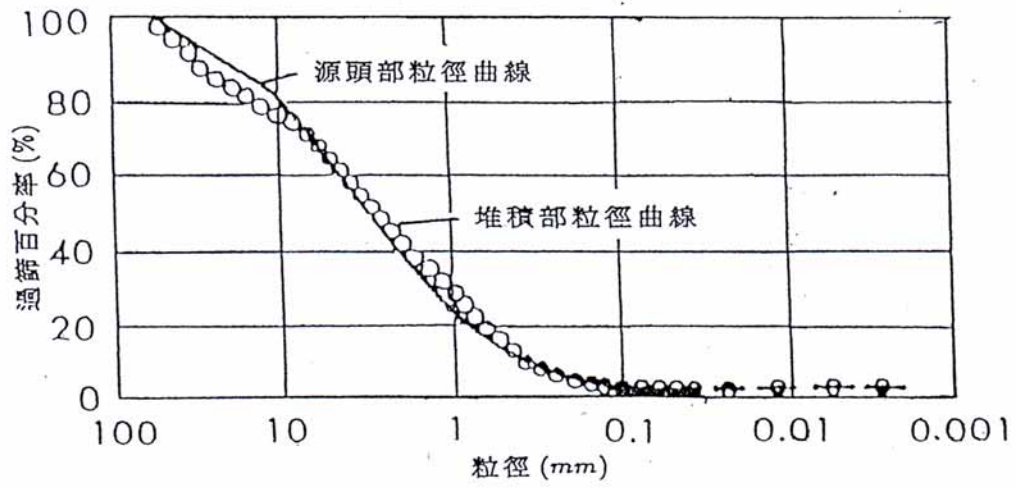


圖 3.5 土石流堆積部與源頭部粒徑分布圖
(Johnson and Rodine. 1984)

將所得之土石顆粒表面乾淨；一般用乾篩法所得之土石顆粒表面還有很多細粉，或是土壤團粒等附著在粗顆粒表面；故此粒徑分析法能得到較佳之土壤現地級配分佈曲線，而且不會低估細顆粒之含量。所得基隆現地級配曲線如圖 3.6 所示。

依據等重量替代法之觀念，基隆八斗子現地土壤顆粒粒徑皆小於 5cm，因此不以較小粒徑之土壤取代較大粒徑之土壤，而直接使用基隆八斗子現地土壤進行滲流箱試驗。

3-4-2 其他基本性質

其他土壤之基本性質皆依照實驗規範求得，包括比重含水量、阿太堡限度、土壤分類、等等，各項性質列出如表 3-1。

土壤比重之測定採用 ASTM：D854-58

土壤含水量之測定採用 ASTM：D2216-16

土壤阿太堡限度之測定採用 ASTM：T89-68

土壤分類法採用統一土壤分類法(USCS)

3-5 理論介紹

根據楊晁晟(2003)所做之邊坡穩定分析，當邊坡某一面所生的剪應力超過該土壤的抗剪強度時即發生崩坍，是為邊坡破壞。引起邊坡破壞的原因大致可分為以下兩項：

a. 剪應力增加

由於荷重的增加，如坡頂上加建房屋，堆積材料，積雪等；由於土壤重量提高，如土內含水量增加；由於邊坡部分土壤流失或挖除而失去平衡；由於坡腳支承力降低，如在坡腳下開挖隧道或坑道等；由於邊坡的表面開裂，地震或爆炸等原因增加邊坡土壤內的應力。

b. 土壤抗剪強度降低

由於吸水膨脹，孔隙壓力增大；疏鬆土壤或蜂窩結構土壤的破壞；因反覆脹縮而引起土壤的裂縫，靈敏性土壤的變形或持續性破壞（progressive failure）；解凍；膠結材料之老化或喪失等原因均能使土壤之抗剪強度降低。

分析邊坡穩定情形所採用之土壤抗剪強度計有兩種。一為採用總應力，一為採用有效應力。採用前者，稱為總應力分析法（total stress analysis），採用後者稱為有效應力分析法（effective stress analysis）。

1. 總應力分析法所用之基本式為：

{	直接剪力試驗的抗剪強度	$\tau = c + \sigma \tan \phi$ (3-1)
	CU壓密不排水試驗的抗剪強度	$\tau = c_u + \sigma \tan \phi_{cu}$ (3-2)
	U-不壓密試驗的抗剪強度	$\tau = c_u, \phi_u = 0$ (3-3)
	無圍壓縮試驗的 q_u 值 貫插試驗及十字片鑽試驗的剪力值。	

2. 有效應力分析法所用之基本式為：

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{D-容許排水試驗的抗剪強度} & \tau = c_d + \sigma \tan \phi_d \quad (3-4) \\ \text{或其他剪力試驗減除孔隙壓力後的 } \tau' \text{ 值，} \\ \text{如直接剪力試驗的抗剪強度} & \tau' = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (3-5) \\ \text{CU 壓密不排水試驗的抗剪強度} & \tau' = c'_{cu} + \sigma' \tan \phi'_{cu} \quad (3-6) \end{array} \right.$$

其中 τ ：為抗剪力

c ：凝聚力

c_u ：為不排水的 C 值

c'_{cu} ：為壓密不排水的 C 值

ϕ ：內摩擦角（抗剪角）

ϕ_{cu} 、 ϕ'_{cu} ：壓密不排水抗剪角

這兩種分析方法在極限平衡（limiting equilibrium）下所得的安全係數均為 1；所謂極限平衡即指抗剪強度恰等於剪應力，此時若用總應力分析法（ $\phi_u = 0$ ），其破壞角 $\alpha = 45^\circ$ ，若用有效應力分析法，其破壞角 $\alpha = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$ 。圖 3.7 係用飽和土壤的不壓密試驗結果，在極限平衡狀態下，分別以總應力法和有效應力法分析垂直邊坡的穩定性，所得安全因數相等，但其破壞面各不相同。 ϕ 值越與真正內摩擦角接近，所得的破壞面愈與實地情形接近。

3-6 砂箱實驗設計

3-6-1 砂箱實驗設計之原理

楊晁晟(2003)曾對此做如下之說明。一般來說，對於地下水流動的解析解，大都是對含水層或是含水層系統作出可以說是嚴苛限制條

件下所求得的。如果這些限制條件，能反映出實際含水層的主要特徵，那麼解析解是可以使用的。但是我們可以確定的是對於實際的含水層而言，通常都是非均質性，有著複雜的幾何邊界，因此不允許有太多的概化，所以解析解就難以使用。

為了解決這個問題，於是很多的學者專家便利用模擬的方式來研究複雜條件下地下水流動的規律。模擬的方式一般來說分為物理模型模擬(Physical modeling)與數值模式模擬(Numerical modeling)。物理模擬的方法很多，如滲流槽的模擬、連續介質的電模擬、窄縫槽模擬以及熱模擬等等。數值模擬主要有有限差分法或是有限元素法等。在近年來更有一派學者提出使用交合模型(Hybrid Model)來模擬，所謂的交合模型是指將物理模擬與數值模擬結合在一起，多用在河口感潮河段的模擬上。

利用滲流槽來模擬，就是將自然界的水文地質實體依照一定的比例縮小製成模型，然後對模型各種運動要素進行觀測，在將所觀測到的結果按一定的比例放大，就可以得到與自然界水文地質實體相對應的運動要素。限於滲流槽的製作費用比較高，因此僅僅能模擬一些比較簡單的水文地質問題。

變位計置於有效滑動區內

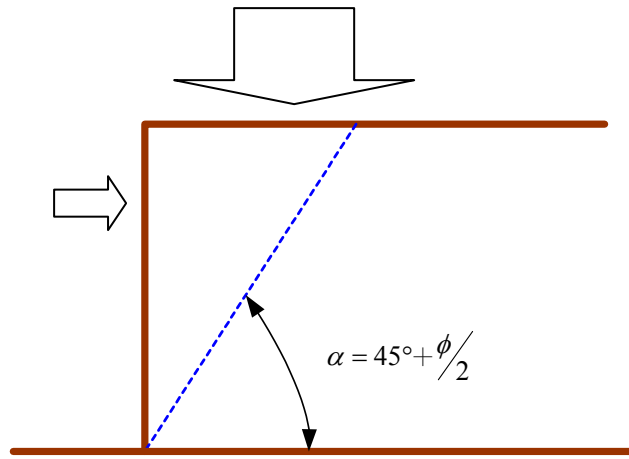


圖 3.7 有效應力法之破壞面(摘自楊晁晟 2003)

3-6-2 滲流槽之設計

滲流槽本身是由槽首、槽身、槽尾等三部份所構成，如圖 3.8 所示。滲流槽尾設有一水箱，水箱本身則裝設有一進水口與一出水口。一般來說，考慮平面滲流問題，可以採用矩形滲流渠槽，若是要分析徑向滲流渠槽，則必須採用扇形或是圓形滲流渠槽。

由以上所述，滲流槽模擬是通過對模型中各運動要素進行觀測，其結果按照一定比例放大，以獲得與現地情況相對應之運動要素。因此，模型與現地滲流情況各種物理量間必須有一定的相似關係，這種比例關係是由以下三種條件來控制：

- a. 幾何相似
- b. 幾何相似
- c. 動力相似

就本研究而言，僅考慮幾何相似以及運動相似，因為在動力相似部分必須要用到離心機原理來放大重力加速度，但是要做到相當困難，因此僅就幾何相似與運動相似進行考量。

根據一般土石流之發生紀錄考量發生影響因子，就無限邊坡來進行分析，認為土石流發生因素如下式：

$$f(\tan \phi, n, \rho_{\text{sat}}, \rho_s, \rho_w, g, D_{\text{max}}, q, h) \quad (3-7)$$

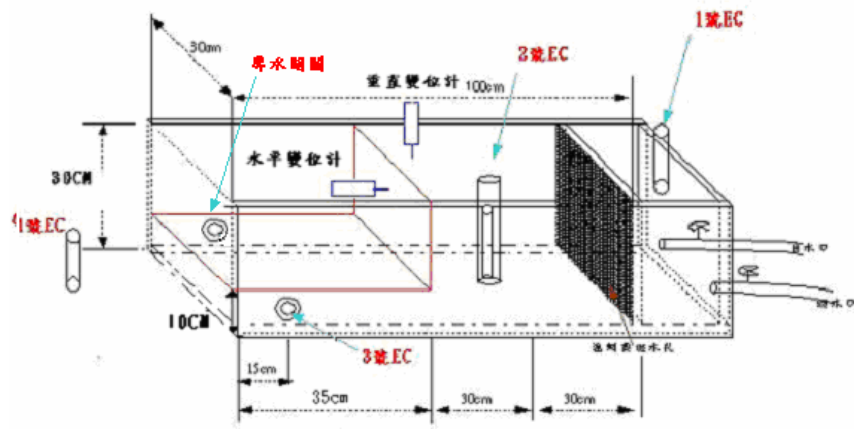


圖 3.8 滲流槽及電導度計配置實驗示意圖

其中

ϕ = 顆粒間之靜態摩擦角,

g = 重力加速度

n = 土體間之孔隙率,

D_{\max} = 土壤顆粒之最大粒徑,

ρ_{sat} = 飽和土壤之單位重,

q = 單位寬度之流量,

ρ_s = 土壤顆粒之密度,

h = 水頭高,

ρ_w = 水之密度

用因次矩陣表示如下：

	$\tan \phi$	n	ρ_{sat}	ρ_s	ρ_w	g	D_{\max}	q	h
M	0	0	1	1	1	0	0	0	0
L	0	0	-3	-3	-3	1	1	2	1
T	0	0	0	0	0	-2	0	-1	0

利用 Buckingham π Method 尋找 π 群可得：

$$\pi_1 = \tan \phi \quad (3-8)$$

$$\pi_2 = n \quad (3-9)$$

$$\pi_3 = \frac{\rho_{\text{sat}}}{\rho_w} \quad (3-10)$$

$$\pi_4 = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (3-11)$$

$$\pi_5 = \frac{q}{\sqrt{gh^3}} \quad (3-12)$$

為了使得完全滿足模型之相似律要求，則模型之 π 群必須與原型之 π 群完全相等。因此可以滿足下列相似條件：

$$(\tan \phi)_m = (\tan \phi)_p \quad (3-13)$$

$$(n)_m = (n)_p \quad (3-14)$$

$$\left(\frac{\rho_{sat}}{\rho_w} \right)_m = \left(\frac{\rho_{sat}}{\rho_w} \right)_p \quad (3-15)$$

$$\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right)_m = \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right)_p \quad (3-16)$$

$$\left(\frac{q}{\sqrt{gh^3}} \right)_m = \left(\frac{q}{\sqrt{gh^3}} \right)_p \quad (3-17)$$

針對以上因子進行討論：

1. 由(3-13)式可知，模型試驗之靜態摩擦角 ϕ 必須與現地之靜態摩擦角 ϕ 相同，此為材料因子相同。
2. 由(3-14)式可知，模型試驗之孔隙率必須控制與現地之孔隙率相同，此為材料因子相同。
3. 由(3-15)式可知，引發土石流之影響因子為水，而水密度雖會隨著溫度而改變，但是改變之幅度不大，因此可以視為相同。
4. 由(3-16)式可知，模型之土壤顆粒密度，必須與現地相同，因為所實驗之土樣，皆是從發生土石流的地點豐丘採回來的，因此土壤之顆粒密度可以控制相同。
5. 由(3-17)式可知，單位寬度流量 q 為誘發土體發生崩潰時，一項重要的影響因子，其改變為設計不同的水頭，使得流量增加，討論因為水力梯度的提高，而造成土體之不穩定，所以其決定之條件在於水頭高度 h 的增加。

6. 由周必凡(1991)所建議，試體的寬度、厚度與最大粒徑 D_{max} 之比值必須大於 5，本次研究之模型尺寸為 100cm × 30cm × 30cm，而基隆土樣最大粒徑為 4~5cm，其比值大於 5，所以尺度效應的問題可以減低而不予以考慮。

3-6-3 砂箱實驗之設計

本研究室內滲流箱試驗根據國內外研究報告，發現當地滑災害發生，地下水離子濃度及電導度值會跟著有所變化，因此本研究主要分為兩大部分，第一部分為土體發生崩坍時，地下水離子濃度變異情況；第二部分為土體發生崩坍時，地下水電導度值改變情況，並探討土體崩坍與電導度之相關性。

第一部份是以滲流箱試驗模擬土體破壞時地下水電導度值的變化，於滲流箱中設置三個監測孔，滲流箱外設置一個監測孔，以測定其滲流箱水流出、入口及孔內水體中電導度值變化情形；源頭靜水槽處放置 1 號電導度計量測入水口 EC；土體內在濾網進水孔洞後 30cm 處設置 2 號電導度計量測 EC 值變化；在滲流箱槽首部分，距開口端 15 公分處鑽出一個大小約 1 英吋的孔，放入 3 號電導度計；於出流處再利用 4 號電導度計量測滲流出試體 EC 值；同步由自動資料蒐集器 Data Logger 紀錄電導度計所量測到發生變化之 EC 值；另外本研究為了能記錄土體破壞時的情形，根據有效應力分析法，在土體邊坡處設置垂直變位計及水平變位計，以監測土體變位情形。

第 2 部份在距開口端 15 公分處，即 3 號電導度計另一側，另外鑽出一個大小約 1 英吋的孔，裝上一導水開關，由導水開關導出水來作水質分析，如圖 3.8 所示。

3-7 砂箱實驗儀器及試驗配置

3-7-1 儀器裝置

本研究室內實驗主要是探討不同水力梯度及不同土體坡度下，因滲流而產生破壞時，地下水化學離子及 EC 值之變化：

1. **供水系統**：本研究實驗都屬於是定水頭滲流試驗，因此保持固定的水力梯度，是為最重要的考量。依照定水頭實驗的精神，水頭高度不能超過土體本身的高度 30 cm，所以必須考慮小流量的沉水馬達。

實驗所採用的供水系統是將水頭由低水頭的地方抬升至高水頭，所使用之沉水馬達規格如表 3-2 所示。利用沉水馬達將水抽到儲水箱內，儲水箱的設計除了有一個出水口之外，另外裝置有一個溢流口，使多餘的水可以排除。在儲水箱出流口到試驗模型的進水口之間利用塑膠軟管將之連接。為了使流量不致於過大，在試驗箱模型本身除了有進水口之外，另外設計有一個排水口以及一個水箱，排水口的設計是為了將多餘的水排掉，使得水頭保持在固定的高度；或是在實驗進行結束後，使水分迅速排除，以利清運。另一方面，也可以利用

開關的開口大小，使得流量不會過大，無法達到所要求的水力梯度，並且可以保持在固定的水位高度，如圖 3.9 所示。而每次實驗所需之水量，隨著實驗時間拉長，需求水量越大。

2. 量測系統：本研究在探討土體破壞時地下水 EC 值變化之份，驗所要量測的數據包括有：

- (1) 總水頭高及監測孔水位
- (2) 實驗時間
- (3) 土體變位
- (4) 入水口 EC 值
- (5) 土體中 EC 值變化
- (6) 土體底部 EC 值變化
- (7) 砂箱外 EC 值變化

總水頭高度及監測孔水位量測部分，利用直尺由砂箱底部往上量測，便可以得到土體受壓之水頭高度。實驗時間以碼錶量測，確定土體因水位升高後受重力發生崩潰之時間。

土體變位的量測部分，實驗所使用之變位計(如圖 3.10)規格如表 3-3 所示。分別於土體主動滑動區架設垂直及水平變位計；垂直變位計架設於土體中央，距離出口處 7.5cm 處；水平變位計架設於土體中央，距離模型底部 7.5cm 處，如圖 3.11 所示。

土體底部、內部與砂箱外 EC 值部分，所使用的電導度計(EC Sensor)規格如表 3-4 及圖 3.12(a)，自動資料蒐集器(Data Logger)

表 3-2 沉水馬達規格

品牌：	三星
操作規格：	115 V, 50/60 Hz
最大功率：	28 W
最大流量：	12 l/min
最大高程：	1.8 m

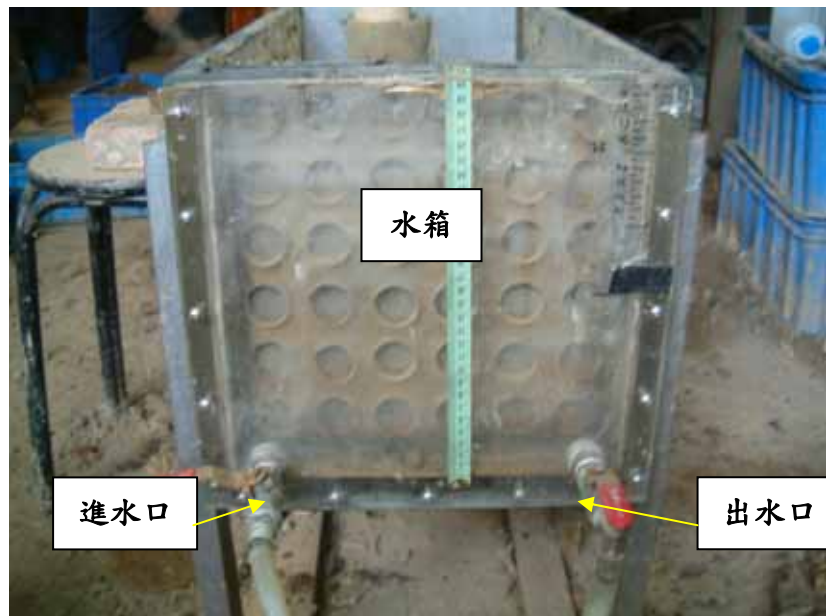


圖 3.9 實驗水槽（從供水處看過去）

規格如表 3-5 及圖 3.13 所示。在實驗前，用塑膠網套住電導度計前端，以避免在實驗時，土壤顆粒阻塞電導度計之孔隙，而導致電導度計無法正確量測電導度值，如圖 3.12(b)；在實驗時，土壤顆粒僅會卡在塑膠網外圍，在隨著地下水的流動，土壤顆粒又會被帶走，即可正常量測電導度值。在實驗過程中，利用電導度計 1 號 EC 至 4 號 EC 分別量測土體中及土體外之電導度值，電導度計皆由一台自動資料蒐集器將數據收進來，再由 E&E232C 轉接介面接入電腦，由軟體 PC208W 做控制端，操控所需執行之動作。

入水口 EC 的量測（1 號 EC）部分，是直接將電導度計架設於源頭靜水槽處；土體內部 EC 值的量測（2 號 EC）部分，將電導度計架設於利用塑膠網所形成的監測孔中（如圖 3.14）。

土體底部 EC 值之量測（3 號 EC），在裝設上較為困難，裝設位置為距離出流口側面 15 cm，高 5 cm。同一位置之另一側，有一導水開關（如圖 3.15），可在需要時蒐集水樣。如圖 3.16 所示。

流出水樣 EC 值之量測（4 號 EC），則是利用導水板導引流出水樣的同時量測 EC 值。本實驗因滲流而會產生崩坍，這些崩坍之土壤顆粒會影響出水口電導度計的量測，因此於導水板入流口處加裝一濾層，並且為了使滲流出的水樣保持為活水狀態，因此於導水板底部加裝一水龍頭，如圖 3.16。

表 3-3 變位計規格

變位計(LSCT)	
品牌：	Wykeham Farrance Eng. Ltd.
操作規格：	5.21V DC
操作溫度：	0°~70°
電壓靈敏度：	6.8 mv/v
量測範圍：	25.8 mm
精確度：	530×10 ⁻⁶ /mm

表 3-4 電導度計規格

EC Sensor	
品牌：	Global Water Quality (WQ301)
操作規格：	12V DC
操作溫度：	-40°~+55°
尺寸重量：	1" × 8" , 1 lb
量測範圍：	0 - 5,000 micro mhos
精確度：	0.01 micro mhos
反應時間：	約 2 秒鐘

表 3-5 數據記錄器規格

Data Logger	
品牌：	Earth Ground (DT12)
操作規格：	P12RB AC/DC 兩用電源模組
操作溫度：	-25°~+50°
處理單元：	8 位元運算處理器
記憶容量：	128K FLASH 及 128K SRAM



圖 3.10 變位計連接 Data Logger



圖 3.11 水平、垂直變位計架設圖



圖 3.12(a) 電導度計



圖 3.12(b) 電導度計



圖 3.13 連接四組 EC Sensor 之 Data Logger



圖 3.14 實驗示意圖



圖 3.15 導水開關



圖 3.16 實驗示意圖

3-7-2 土樣設置

計算試驗模型之體積，現地之乾密度，利用現地含水量求得到所須配置之總水重，最後將之混合在一起攪拌均勻，覆蓋後靜置三天，使得土壤得以充分的養置，讓水分均勻地將土壤濕潤；最後將攪拌好的土體取出約 500g 之土樣求其含水量，檢查含水量是否有接近現地含水量，若是差太多，則重新配置土樣。

試樣準備好以後，以定體積夯實法之方式將土體夯入滲流箱內部；此外在夯實第 2 層完成後，在離開口 35cm 處，架設一鐵模，以製作 90°、75° 及 60° 之土體模型，然後再繼續以 3 層夯實土樣，共分五層夯實，如圖 3.17(a)~3.17(e)。在夯實完成後，接著將頂部多餘的土壤利用鐵尺以及毛刷刮除乾淨，使得上端保持平整。為了模擬現地長期受地下水水位變化影響，本研究土壤皆重覆使用。



圖 3.17(a) 第一層夯實



圖 3.17(b) 第二層夯實



圖 3.17(c) 第三層夯實



圖 3.17(d) 第四層夯實



圖 3.17(e) 第五層夯實

第四章、結果與討論

實驗之前必須先將儀器率定，此部份於 4-1 節加以說明。而實驗結果則分為兩大部分，其一為土體崩坍時地下水電導度之變化，另一部份為地下水離子濃度之變化，分別於 4-2 節及 4-3 節加以說明及討論。

4-1 儀器之率定

4-1-1 電導度計之率定

在進行電導度實驗之前，每支電導度計都必須先進行率定。率定方面是依據環保署檢字第 70017 號公告水中導電度測定方法 — 導電度計法，以標準液來校正電導度計；標準液為 0.01 mol/L 之 KCl，在溫度 25°C 時，所應量測到之 EC 值為 1412 μ mho/cm。

實驗中所用的水是由自來水連接水塔後使用，在實驗前每支電導度計做過水質之空白實驗值如表 4.1 及圖 4.1；700 分鐘之平均值分別為：1 號電導度計 EC 值為 115.40 μ s/cm

2 號電導度計 EC 值為 104.78 μ s/cm

3 號電導度計 EC 值為 108.59 μ s/cm

4 號電導度計 EC 值為 105.69 μ s/cm

表 4.1 電導度計之率定

	EC1	EC2	EC3	EC4
平均數	115.40	104.78	108.59	105.69
最大值	126	107.1	110.9	111
最小值	102.6	102.9	102.7	100.7

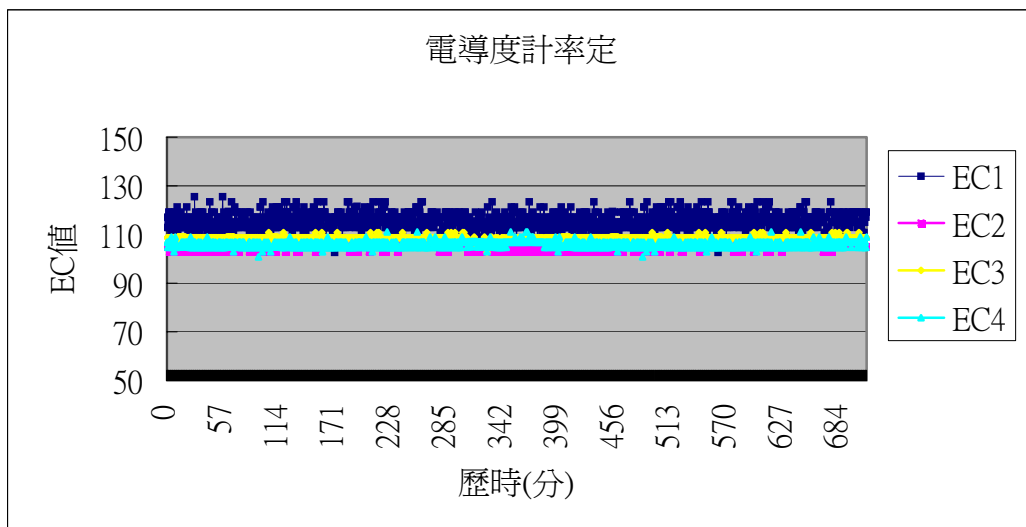


圖 4.1 電導度計之率定

4-1-2 變位計之率定

變位計的率定方面，是先將變位計固定於抗壓機上，然後抗壓機施加一固定速率之力量，使變位計產生變位，並且記錄抗壓機上之位移值與變位計讀數，即可得到位移與變位計讀數之關係圖，如圖 4.2 及 4.3 所示。

4-2 土體崩塌前後地下水電導度之變化實驗

將砂箱先夯實 10 公分厚，將土體邊坡退後 35 公分，然後以增加水頭的方式使得土體破壞，記錄土體變位與土體內外 EC 值變化，並設計土體在不同之坡度下，觀察土體因受滲流影響而產生崩潰之現象。坡度設計則採用 90° 、 75° 、 60° 三種，每種坡度各完成兩組實驗。

4-2-1 水頭變化之情形

本實驗在進行滲流實驗的同時，利用直尺量測源頭及各監測孔水位並且記錄，本實驗水位即為砂箱底部至水位線之高度；實驗設計之水位在電導度值穩定時，隨著時間的增加而變化，其水位之變化如表 4.2(a)~4.4(b)所示。結果之說明如下：

1. 土體在進行滲流實驗前有經過夯實，所以水流不會馬上滲透土體，必須經過一段時間後，其總水頭水位才能正確的反應出應該有的水位高度。

2. 實驗開始是先由低水頭（約 20 公分）滲流至 EC 值穩定後，隨後經由出水口的控制增加水頭高度，使土體產生滲流崩潰。由表 4.2(a)~4.4(b)發現，90 度、75 度及 60 度邊坡水頭皆加至 30cm 左右，土體即會產生坡角的滲流破壞。

4-2-2 變位計分析

本分析主要為探討當隨著水位上升土體發生破壞時，土體位移的狀況，實驗設計在土體出口端架設垂直及水平變位計。土體變位情形如圖 4.4(a)~4.6(b)所示。

由實驗結果可以看出，當土體變位開始產生劇烈變化後不久，土體則會發生崩塌，如圖 4.7~4.12。

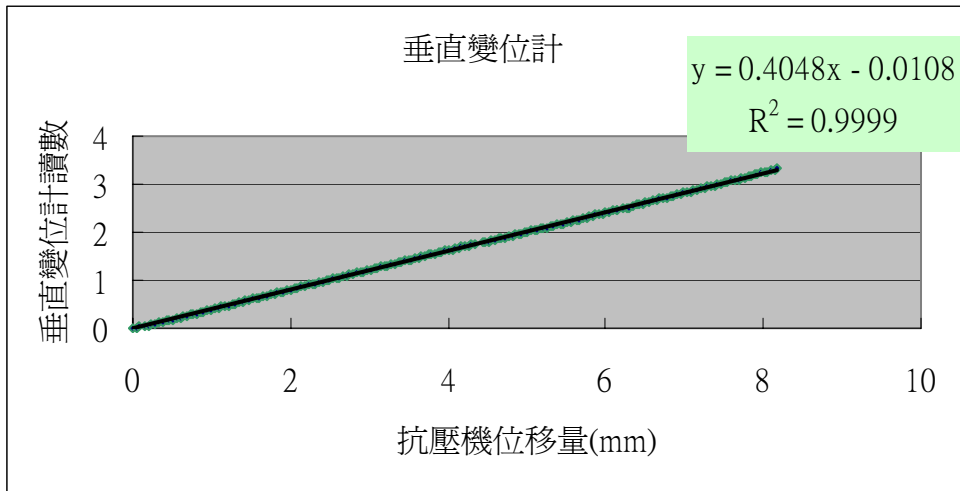


圖 4.2 垂直變位計一位移與讀數關係圖

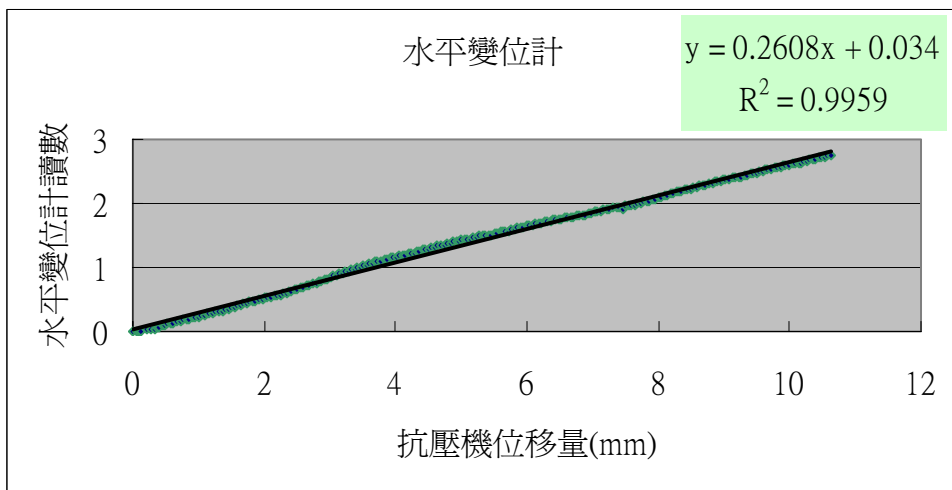


圖 4.3 水平變位計一位移與讀數關係圖

表 4.2 (a)

第一組坡度 90 度水位時間表

時間 (分)	源頭處水位 (cm)	EC2 處水位 (cm)
1	20	0
72	20.1	4.2
130	20.3	6.5
180	20.3	8.7
228	20.6	9.8
270	20.7	15.5
306	21.2	15.1
315	22.9	15.4
349	22.9	15.6
396	25.4	15.9
424	26.5	16.5
462	27.5	18.5
499	28.5	21.1
522	29.5	21.3
564	30	22
575	30	23

表 4.2 (b)

第二組坡度 90 度水位時間表

時間 (分)	源頭處水位 (cm)	EC2 處水位 (cm)
1	20.1	0
60	20.2	6.1
140	20.4	11.8
180	20.9	13.4
227	21.2	13.9
270	21.4	14
337	21	13.8
387	21.4	14
420	23.4	18.9
455	26.3	22.5
480	27.3	24.1
513	29	25.5

(表格中為紅字表示為崩塌時間)

表 4.3 (a)

第一組坡度 75 度水位時間表

時間 (分)	源頭處水位 (cm)	EC2 位置 (cm)
26	20.5	3.4
60	20.4	10.8
93	21.2	12.7
122	20.9	13.2
159	21.1	13.5
184	21.6	13.6
215	21.6	13.7
245	21.6	13.6
273	21.5	12.7
321	21.3	14.2
376	24	16.9
396	25.2	18.9
417	26.8	20
448	27.2	20.6
482	27.8	21
505	29.6	23.1
540	30	23.1
580	30	24.3
583	30	24.5

表 4.3 (b)

第二組坡度 75 度水位時間表

時間 (分)	源頭處水位 (cm)	EC2 處水位 (cm)
35	20.4	2.3
60	20.4	3.8
90	20.5	5.9
120	20.5	5.4
150	20.5	6.4
180	21.4	7.5
210	21.4	7.5
240	21.6	7.6
270	21.6	7.6
300	21.8	7.9
330	22.1	7.9
360	21.5	9.5
390	22.3	9.8
435	24	12.8
465	25	13.9
480	26.1	16.9
500	26.9	18.5
520	28.2	21.2
540	29.5	22.2
560	30	23.2
580	30	23.6
610	30	24.1

(表格中為紅字表示為崩塌時間)

表 4.4 (a)

第一組坡度 60 度水位時間表

時間 (分)	源頭處水位 (cm)	EC2 處水位 (cm)
30	19.5	2.2
60	19.8	3.2
95	20	5.5
120	20.1	8.3
150	20.5	9.8
180	21.4	12.3
210	21.4	12.5
240	21.6	12.8
270	21.9	12.8
300	21.9	13.6
330	22	13.8
360	22.4	14
390	22.9	14.2
420	24.4	16.4
450	25.1	17.1
480	26.3	18.4
510	26.8	20.5
540	27.9	21.2
570	28.5	21.2
600	30	23
630	30	24
657	30	24.3

表 4.4 (b)

第二組坡度 60 度水位時間表

時間 (分)	源頭處水位 (cm)	EC2 處水位 (cm)
30	20.1	1.9
65	20.1	3.6
60	20.7	5.1
120	21.3	8.5
150	21.3	10.1
180	21.5	10.5
200	21.7	10.5
240	21.7	11.3
270	21.8	12.2
300	22	13.1
330	22.1	13.5
360	22.5	13.9
390	23.8	15.2
420	24.3	16.8
450	25.8	18.5
480	26.4	19.4
510	27.9	20.9
540	28.8	22.3
570	29.4	22.4
590	30	23.7
612	30	24.2

(表格中為紅字表示為崩塌時間)

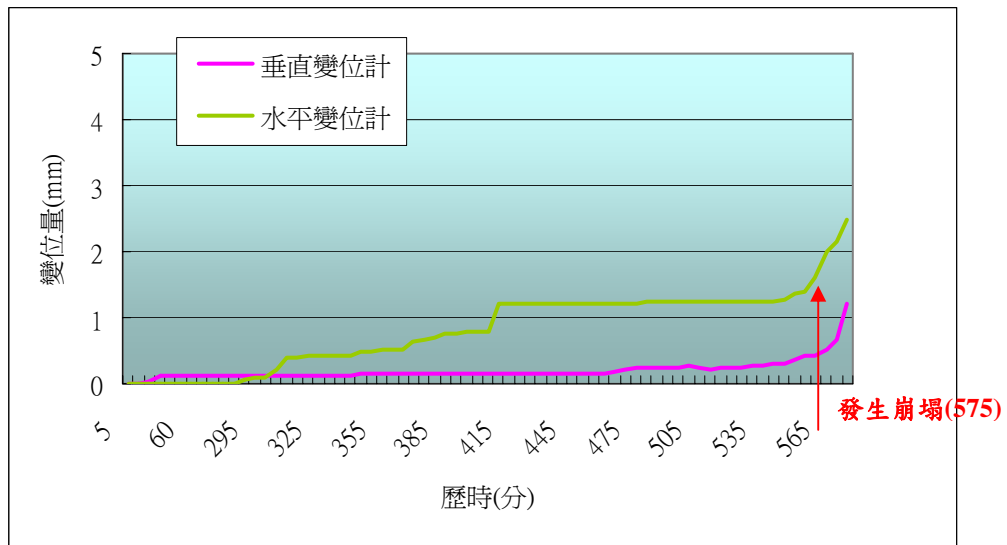


圖 4.4(a) 第一組 90 度水平垂直變位圖

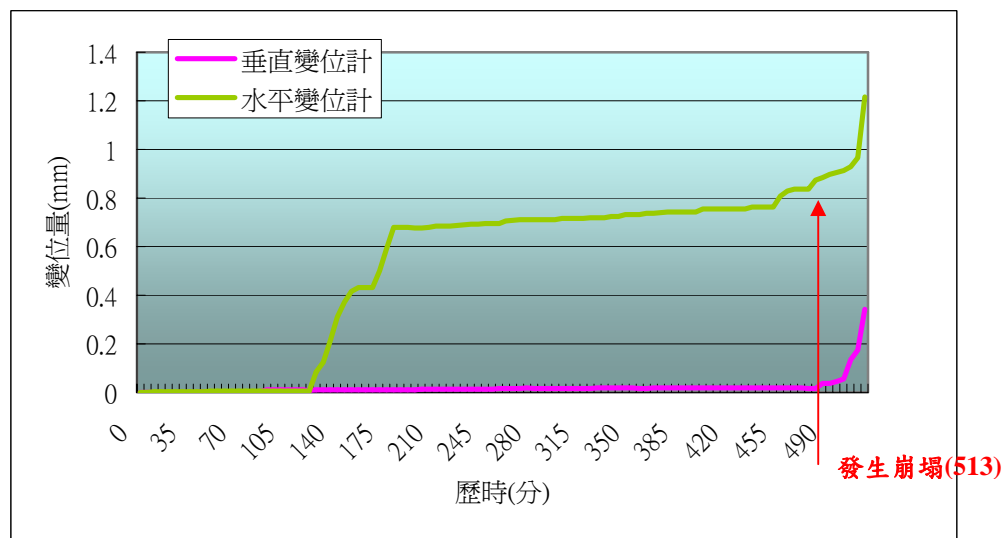


圖 4.4 (b) 第二組 90 度水平垂直變位圖

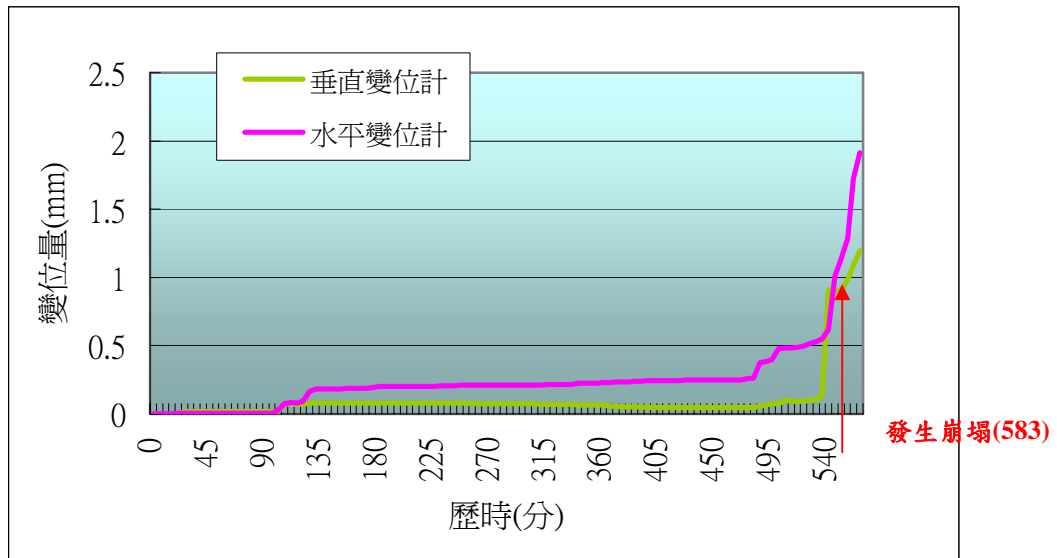


圖 4.5(a) 第一組 75 度水平垂直變位圖

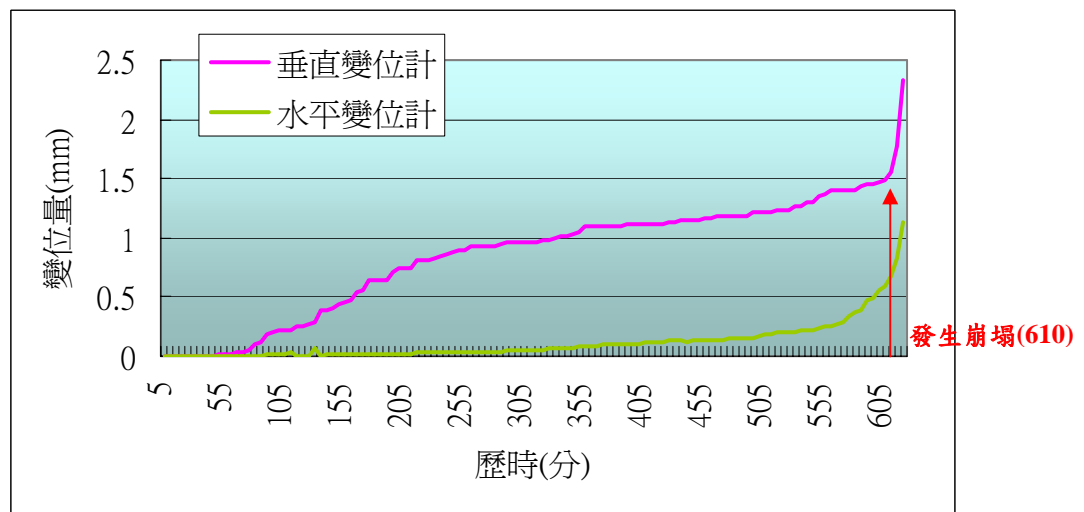


圖 4.5(b) 第二組 75 度水平垂直變位圖

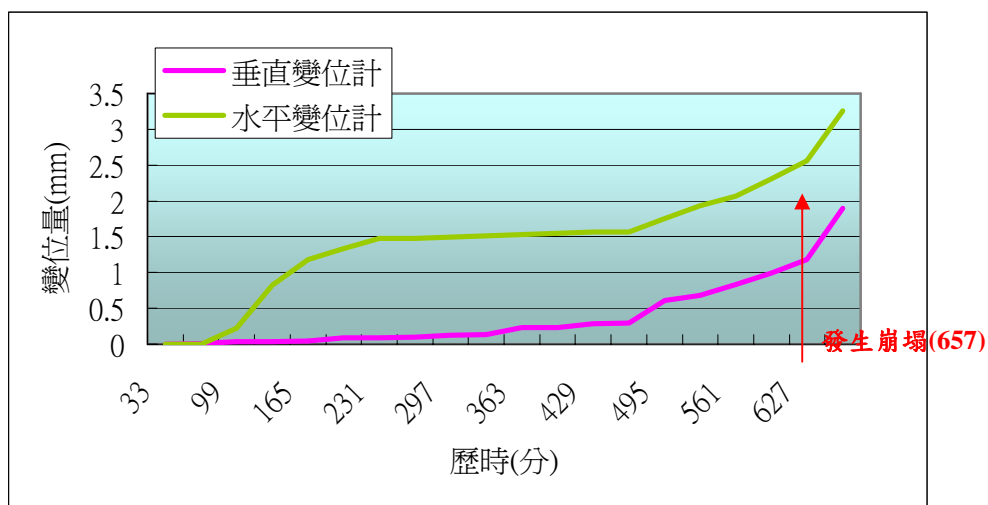


圖 4.6(a) 第一組 60 度水平垂直變位圖

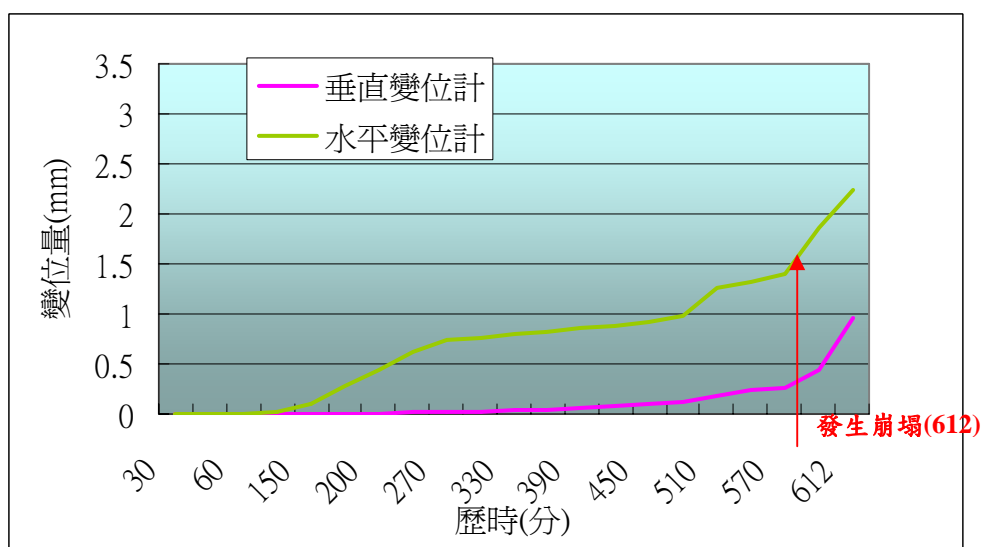


圖 4.6(b) 第二組 60 度水平垂直變位圖



圖 4.7 第一組坡度 90° 土體崩塌情形



圖 4.8 第二組坡度 90° 土體崩塌情形



圖 4.9 第一組坡度 75° 土體崩塌情形



圖 4.10 第二組坡度 75° 土體崩塌情形



圖 4.11 第一組坡度 60° 土體崩塌情形



圖 4.12 第二組坡度 60° 土體崩塌情形

4-2-3 電導度分析

由圖 4.13(a)~4.18(b)三種不同土體角度實驗結果，整理出下列幾點現象：

1. 在一開始滲流試驗後 2 號電導度值會突然升高至 $250 \mu\text{s}/\text{cm}$ 左右，隨著時間的經過，EC 值會緩慢下降，約略經過 300 分鐘的試驗後，EC 值會趨於穩定至 $150 \mu\text{s}/\text{cm}$ 左右。
2. 在提高水位使土體發生崩塌，3 號電導度值會隨著水位的提升而增大，在發生崩塌時達到最大值。
3. 在土體變位開始發生劇烈變化時，3 號電導度值會隨著變位的增加而增大，在發生崩塌時達到最大值。
4. 3 號及 4 號電導度計在實驗過程中，有時會出現較大幅度之跳動。
5. 設置在水箱之 EC1，是處在流水之狀態下，EC1 所測得之電導度值呈現穩定狀態，並無隨流水而有大規模之變化，請參見圖 4.13(a)~4.18(a)。

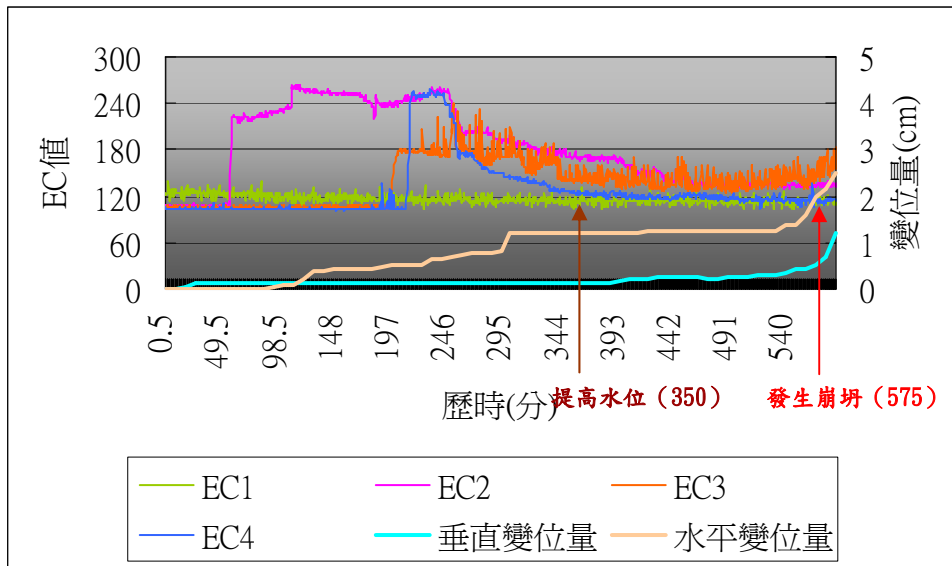


圖 4.13(a) 第一組坡度 90 度時之電導度結果

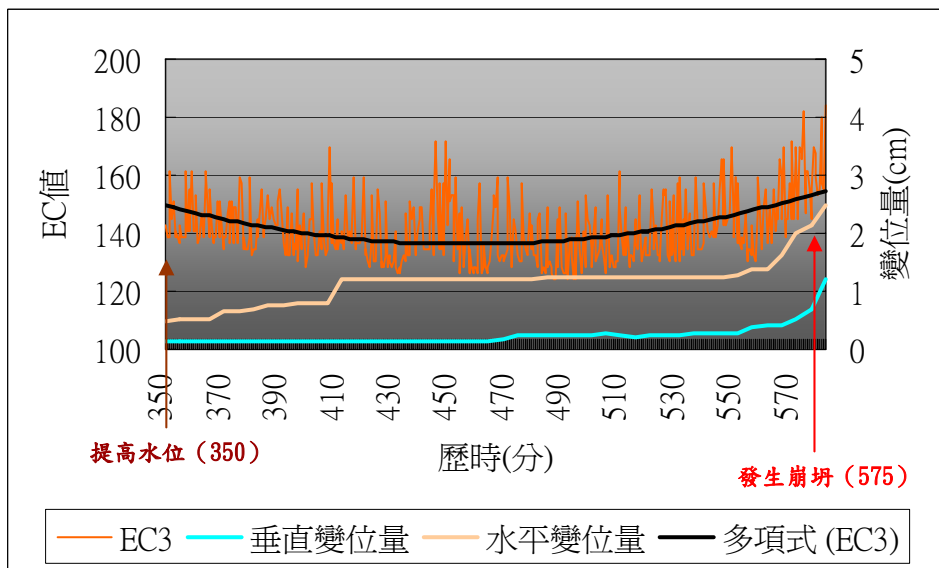


圖 4.13(b) 第一組坡度 90 度時之 3 號電導度放大結果

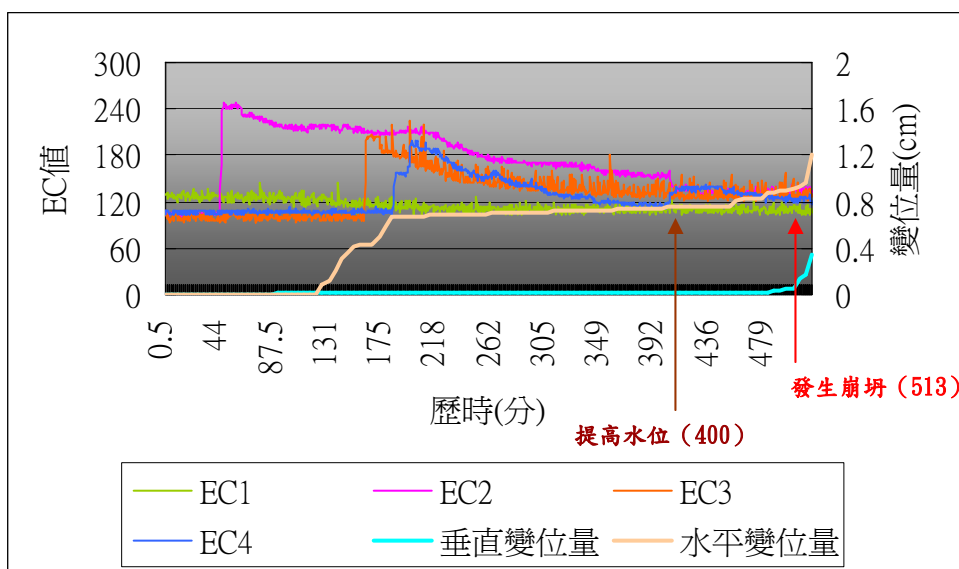


圖 4.14(a) 第二組坡度 90 度時之電導度結果

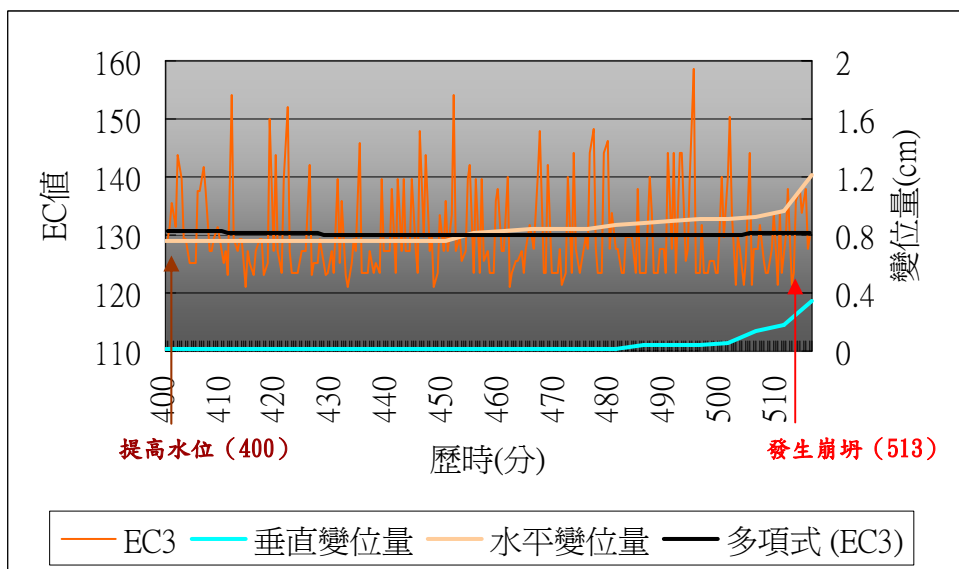


圖 4.14(b) 第二組坡度 90 度時之 3 號電導度放大結果

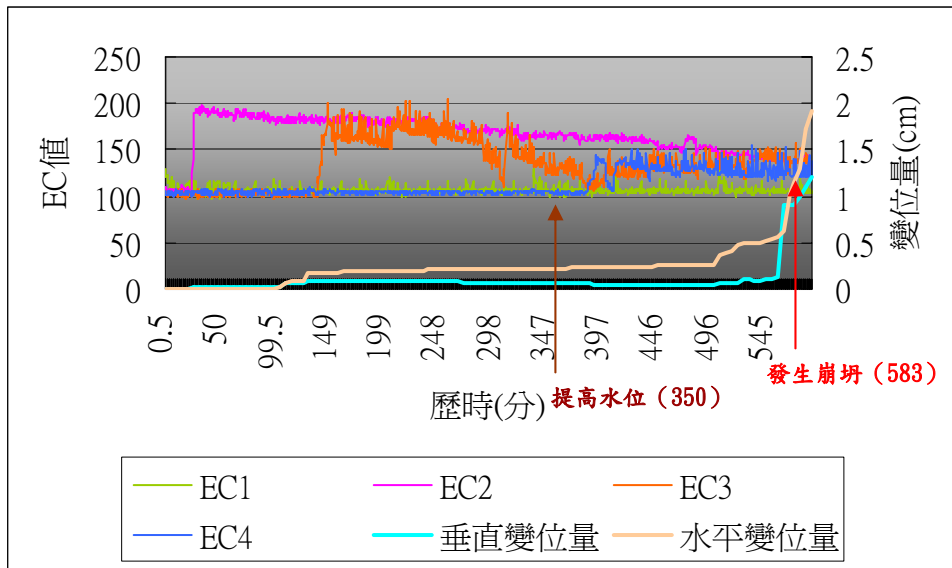


圖 4.15(a) 第一組坡度 75 度時之電導度結果

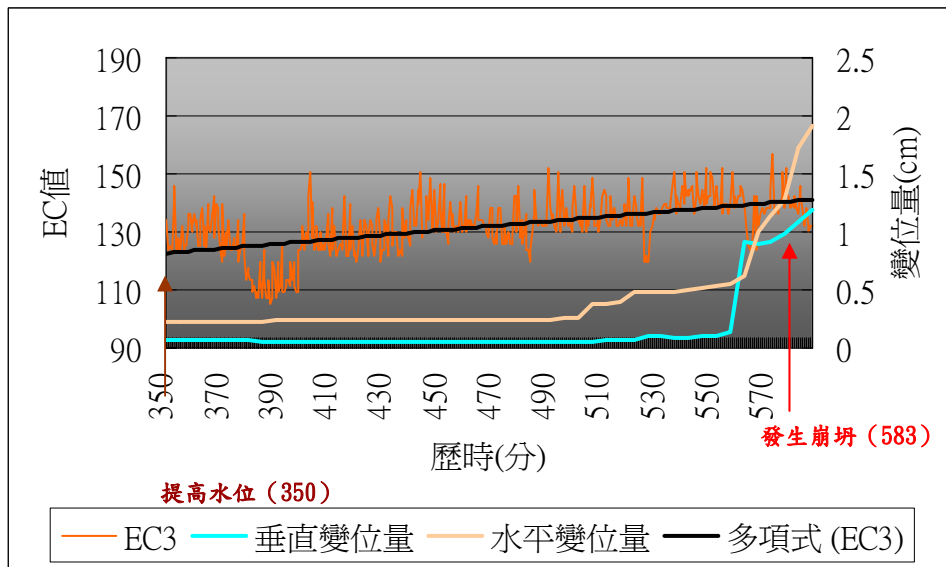


圖 4.15(b) 第一組坡度 75 度時之 3 號電導度放大結果

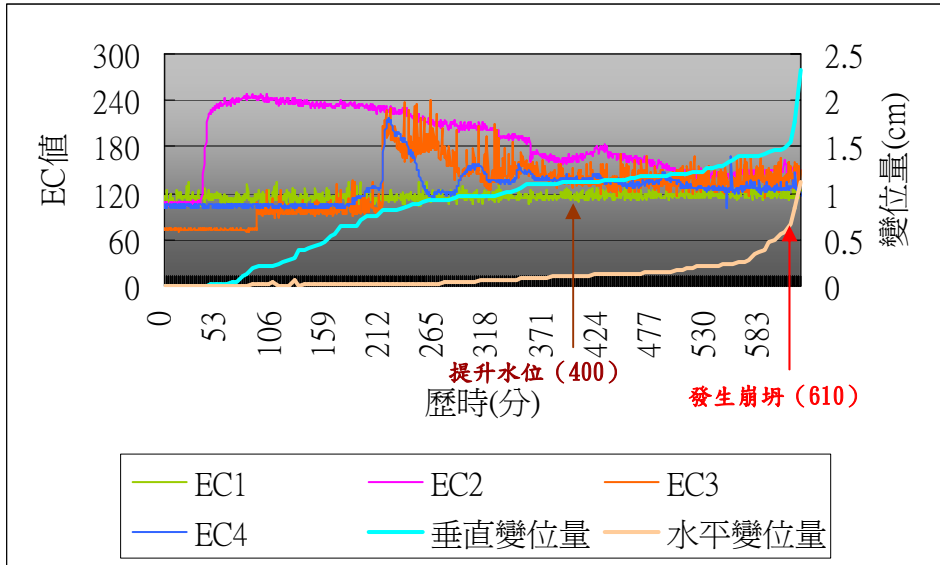


圖 4.16(a) 第二組坡度 75 度時之電導度結果

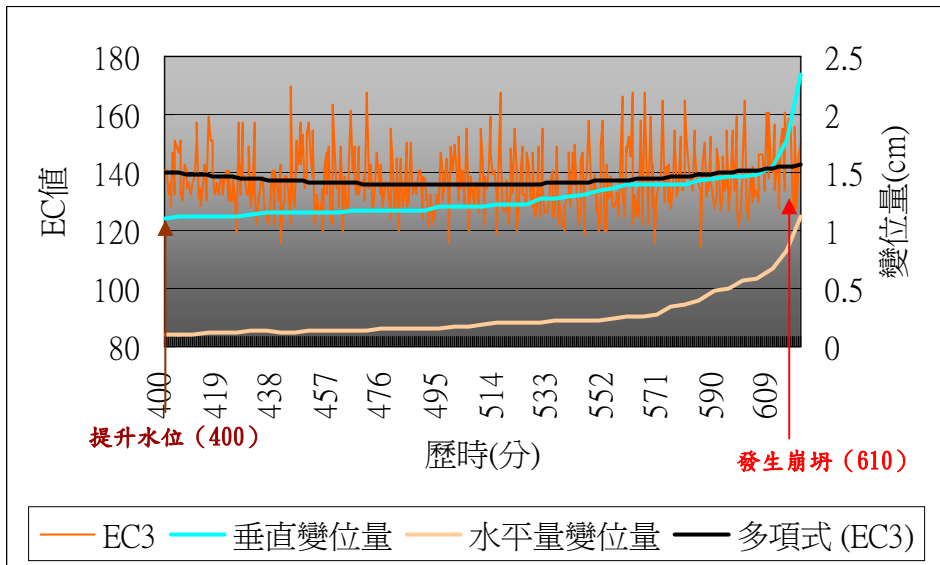


圖 4.16(b) 第二組坡度 75 度之 3 號電導度放大結果

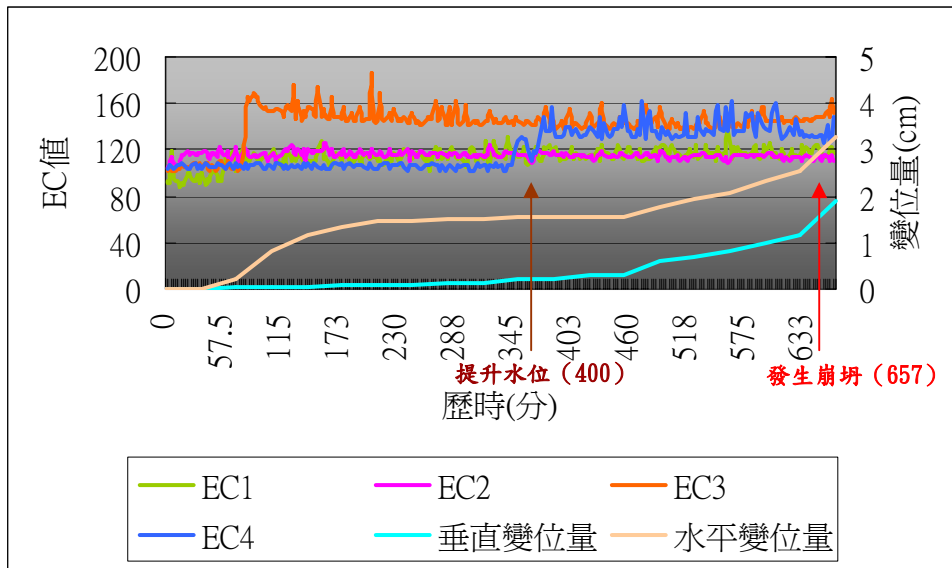


圖 4.17(a) 第一組坡度 60 度時之電導度結果

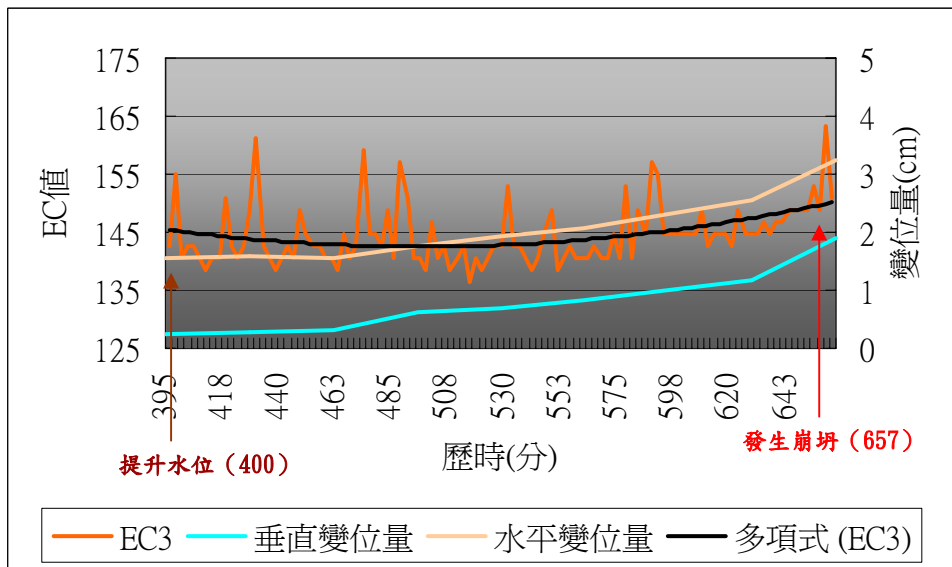


圖 4.17(b) 第一組坡度 60 度時之 3 號電導度放大結果

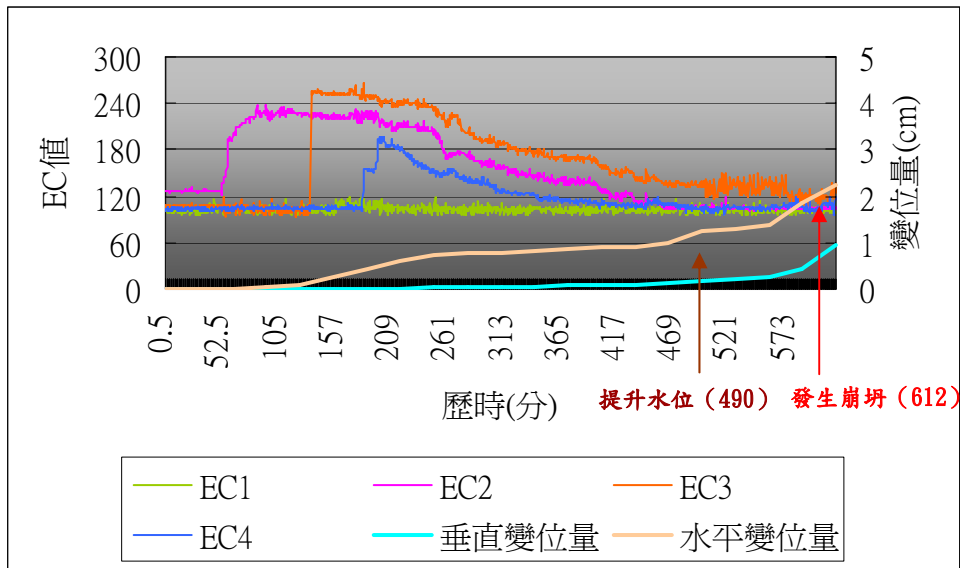


圖 4.18(a) 第二組坡度 60 度時之電導度結果

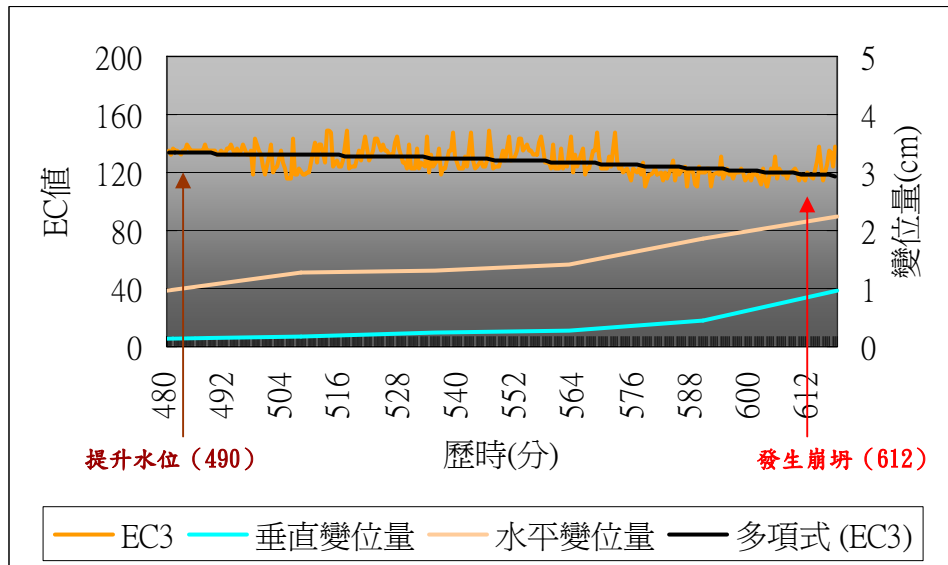


圖 4.18(b) 第二組坡度 60 度時之 3 號電導度放大結果

4-3 土體崩坍時地下水離子濃度之變化

為了瞭解當土體崩坍時地下水離子濃度變化，本研究於距砂箱出口處 15 公分處，以導水開關於每隔一段時間取水樣做一連串的水質試驗。水質分析方面考量專家建議以及實驗室設備共做了 8 項檢測，其試驗之項目及方法包含：鹼度 (HCO_3^-) 試驗滴定法、氯鹽 (Cl^-) 試驗硝酸銀滴定法、硫酸鹽 (SO_4^{2-}) 試驗濁度法、硝酸鹽 (NO_3^-) 馬錢子鹼比色法及金屬離子 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+) 試驗火燄式原子吸收光譜法。

(化學試驗方式參考行政院環境保護署環境檢驗所)

結果如表 4.5(a)~4.10(b)以及圖 4.19~4.24 所示。由結果可以看出：

1. SO_4^{2-} 濃度隨時間而升高，且在土體變位開始產生劇烈變化時， SO_4^{2-} 濃度有明顯的上升，從 300mg/L 升至 400mg/L； HCO_3^- 、 Cl^- 及 NO_3^- 濃度變化則與土體崩塌無關聯。
2. Mg^{2+} 離子在土體變位開始產生劇烈變化時，濃度會突然的增加； Na^+ 離子濃度會隨時間而逐漸變小； Ca^{2+} 及 K^+ 離子濃度變化則與土體崩塌無關聯。
3. 因此在監測基隆八斗子土體崩坍前，應該可以注意 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 離子濃度與 Na^+ 離子濃度的變化。

表 4.5(a) 第一組坡度 90 度之水質陰離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位量	水位變位量	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
210	0.11	0.004	2.14	4	21.64	0.21
270	0.11	0.004	14.78	3	19.70	17.70
300	0.122	0.153	14.22	4	18.12	16.21
330	0.122	0.427	16.11	3	13.55	18.82
390	0.143	0.795	18.22	3	10.03	17.80
420	0.147	1.208	25.68	3	14.57	16.36
450	0.148	1.214	30.68	3	16.13	14.52
480	0.238	1.225	32.27	3	12.81	12.29
510	0.248	1.24	31.59	3	12.66	10.13
540	0.292	1.255	31.43	5	7.49	7.40
570	0.678	2.152	31.58	4	5.56	5.64
575	1.205	2.492	46.32	1	7.89	7.76

表 4.5(b) 第一組坡度 90 度之水質陽離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	Ca ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
210	0.11	0.004	5.30	11.2	12.50	3.68
270	0.11	0.004	4.86	9.6	12.70	3.44
300	0.122	0.153	4.42	8.7	11.90	3.37
330	0.122	0.427	3.36	7.4	10.70	2.93
390	0.143	0.795	2.53	7.6	8.46	2.41
420	0.147	1.208	1.94	8.1	7.03	1.39
450	0.148	1.214	2.16	8.2	7.19	2.34
480	0.238	1.225	1.95	8.3	6.79	2.28
510	0.248	1.24	1.94	8.1	5.59	2.34
540	0.292	1.255	1.92	9.5	5.54	1.97
570	0.678	2.152	1.86	9.8	5.51	1.63
575	1.205	2.492	1.92	13.6	4.17	0.96

表 4.6(a) 第二組坡度 90 度之水質陰離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
165	0.01	0.477	5.26	10	14.60	0
210	0.013	0.681	9.12	10	14.70	3.325
300	0.017	0.713	12.98	8	14.09	13.511
360	0.018	0.735	17.19	6	16.10	11.235
420	0.018	0.756	22.11	6	7.40	6.017
480	0.028	0.879	21.40	6	6.60	9.403
513	0.342	1.215	34.04	8	4.10	3.02

表 4.6(b) 第二組坡度 90 度之水質陽離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	Ca ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
165	0.01	0.477	3.37	1.64	6.42	3.18
210	0.013	0.681	3.31	1.64	6.36	3.3
300	0.017	0.713	3.10	1.68	6.09	3.06
360	0.018	0.735	2.63	1.88	5.36	3.14
420	0.018	0.756	2.54	2.5	5.34	2.52
480	0.028	0.879	2.39	2.61	4.98	2.69
513	0.342	1.215	1.71	3.16	4.97	3

表 4.7(a) 第一組坡度 75 度之水質陰離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
180	0.08	0.187	20.59	10	26.49	0.36
240	0.08	0.203	20.74	18	17.65	15.11
330	0.073	0.213	21.76	26	13.70	9.18
360	0.069	0.222	24.85	14	14.50	4.59
390	0.055	0.232	24.26	14	12.40	5.21
430	0.049	0.246	24.26	12	11.40	5.41
480	0.048	0.248	28.09	18	11.30	4.39
520	0.086	0.482	29.71	12	10.80	3.52
570	0.945	1.212	31.47	22	8.90	2.80
583	1.198	1.915	33.53	16	10.10	2.67

表 4.7(b) 第一組坡度 75 度之水質陽離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	Ca ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
180	0.08	0.187	2.20	3.02	9.95	2.35
240	0.08	0.203	2.50	2.04	7.84	1.89
330	0.073	0.213	3.32	1.75	6.4	1.74
360	0.069	0.222	2.10	1.78	6.46	1.61
390	0.055	0.232	1.85	1.76	6.39	1.74
430	0.049	0.246	1.74	1.64	6.47	1.64
480	0.048	0.248	1.70	1.51	6.27	1.64
520	0.086	0.482	1.72	1.85	5.89	1.50
570	0.945	1.212	1.54	2.01	5.04	1.52
583	1.198	1.915	1.84	3.39	4.33	1.42

表 4.8(a) 第二組坡度 75 度之水質陰離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
200	0.72	0.024	4.64	1	23.69	0.24
260	0.913	0.031	8.79	2	29.09	2.61
330	0.991	0.067	13.75	2	13.6	8.15
390	1.105	0.103	20.32	2	12.9	12.65
450	1.154	0.133	25.92	2	8.1	14.95
490	1.186	0.153	26.96	2	7.5	16.761
530	1.258	0.213	32.52	2	3.2	15.27
560	1.397	0.253	34.68	2	3.6	8.61
590	1.444	0.486	39.47	2	3.7	6.65
610	1.547	0.674	43.86	3	3.2	7.92

表 4.8(b) 第二組坡度 75 度之水質陽離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水平變位計	Ca ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
200	0.72	0.024	5.33	4.2	17.4	3.67
260	0.913	0.031	3.58	3.54	13.3	3.85
330	0.991	0.067	2.37	2.92	11.4	3.13
390	1.105	0.103	2.10	2.59	10.2	3.07
450	1.154	0.133	1.82	1.92	9.0	2.79
490	1.186	0.153	1.48	1.43	6.4	2.69
530	1.258	0.213	1.24	1.33	5.8	1.90
560	1.397	0.253	1.14	1.448	5.4	1.88
590	1.444	0.486	2.06	1.7	5.0	1.30
610	1.547	0.674	2.58	3.69	5.7	1.03

表 4.9(a) 第一組坡度 60 度之水質陰離子分析

各時間點水樣 (分)	垂直變位計	水平變位計	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
225	0.087	1.406	13.49	12	18.467	0.16
390	0.29	1.547	21.13	10	16.284	2.35
500	0.606	1.753	23.02	9	12.364	11.21
550	0.758	2.001	23.40	8	7.524	8.95
630	1.183	2.564	27.93	8	5.256	7.72
657	1.896	3.257	32.46	8	6.914	4.35

表 4.9(b) 第一組坡度 60 度之水質陽離子分析

各時間點水樣 (分)	垂直變位計	水平變位計	Ca ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
225	0.087	1.406	2.60	5.37	6.42	3.19
390	0.29	1.547	2.76	4.08	5.86	3.37
500	0.606	1.753	2.89	3.58	4.58	3.86
550	0.758	2.001	2.78	3.64	4.46	3.81
630	1.183	2.564	2.76	3.97	4.27	3.29
657	1.896	3.257	3.01	4.92	3.79	3.44

表 4.10(a) 第二組坡度 60 度之水質陰離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
255	0.018	0.68	7.27	14	20.26	0.03
330	0.034	0.793	14.35	13	18.37	1.67
380	0.058	0.847	16.75	11	17.52	7.85
420	0.081	0.886	20.89	11	14.73	13.89
500	0.152	1.126	25.98	10	10.86	11.45
530	0.207	1.291	28.97	8	8.42	7.82
600	0.694	2.054	33.98	7	6.94	4.68
612	0.951	2.246	39.46	7	8.37	6.94

表 4.10(b) 第二組坡度 60 度之水質陽離子分析

各時間水樣 (分)	垂直變位計	水位變位計	Ca ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
255	0.018	0.68	1.86	4.89	8.23	2.89
330	0.034	0.793	1.94	4.08	7.87	3.14
380	0.058	0.847	1.74	3.67	7.64	3.26
420	0.081	0.886	1.68	3.53	6.81	3.07
500	0.152	1.126	1.66	3.48	6.55	2.78
530	0.207	1.291	1.74	3.86	6.49	2.82
600	0.694	2.054	1.62	4.01	5.67	2.75
612	0.951	2.246	1.66	4.99	5.23	2.64

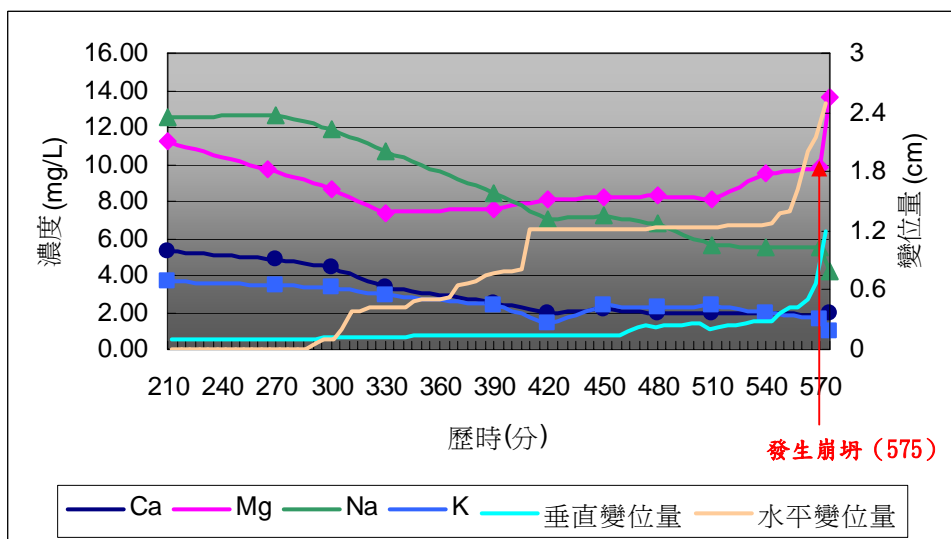
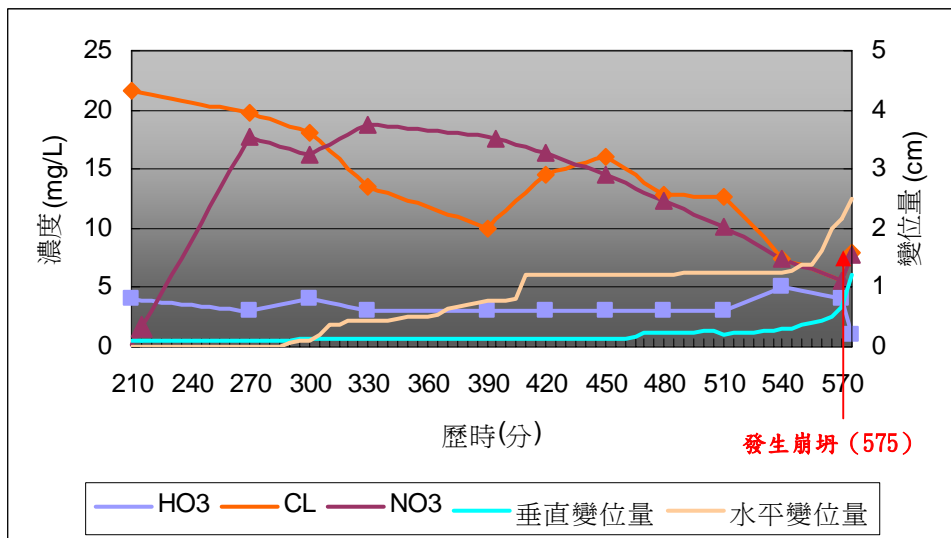
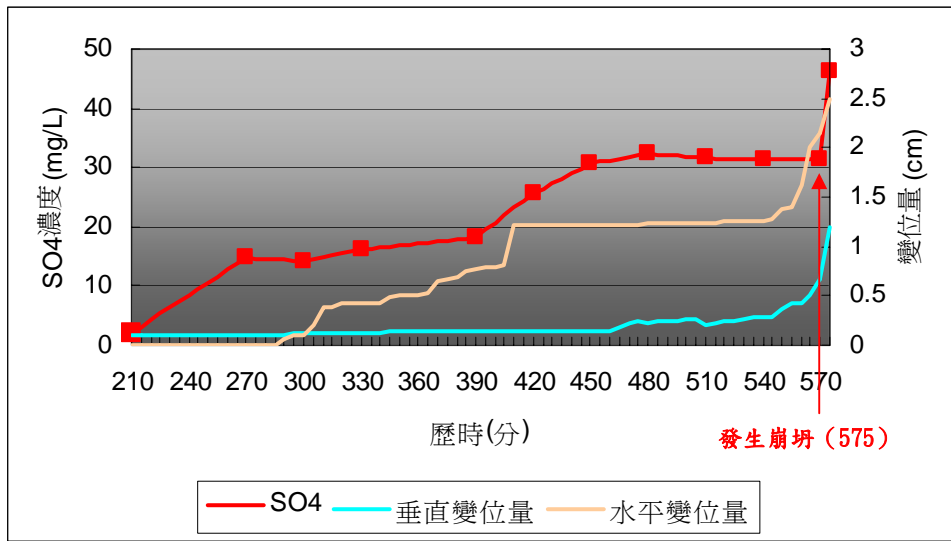


圖 4.19 第一組坡度 90 度之陰陽離子變化圖

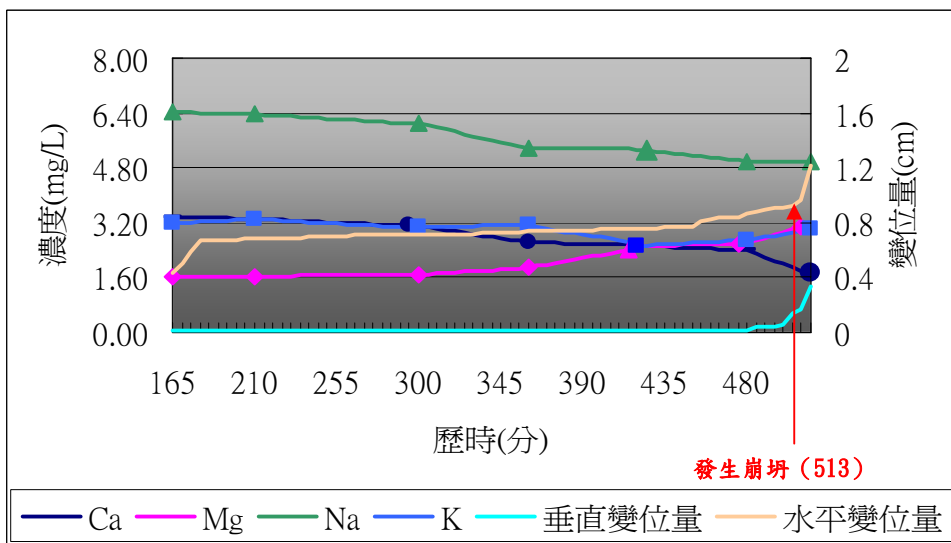
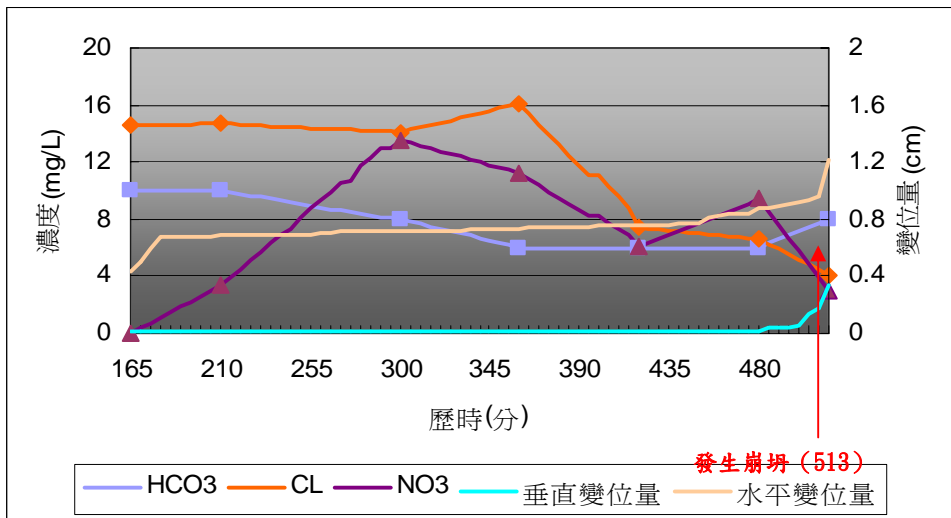
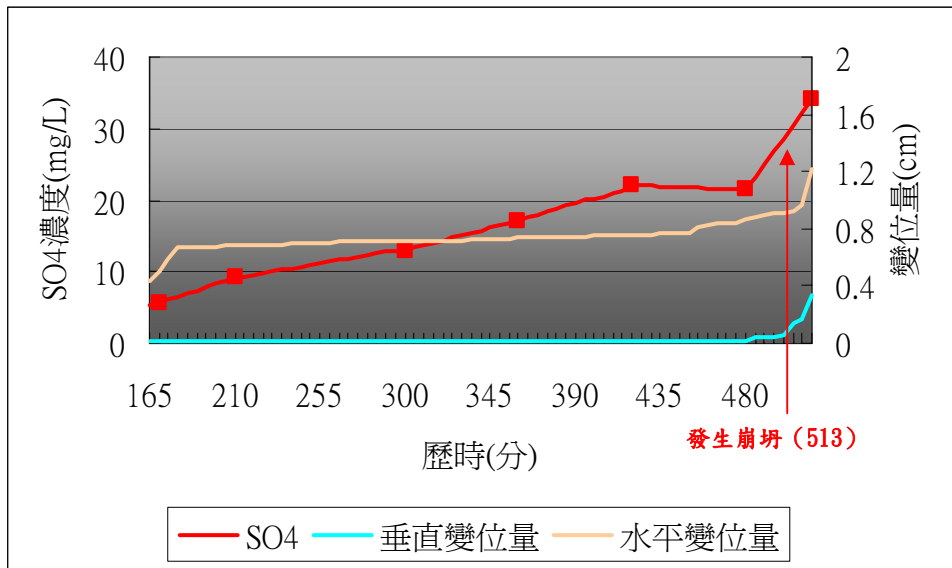


圖 4.20 第二組坡度 90 度之陰陽離子變化圖

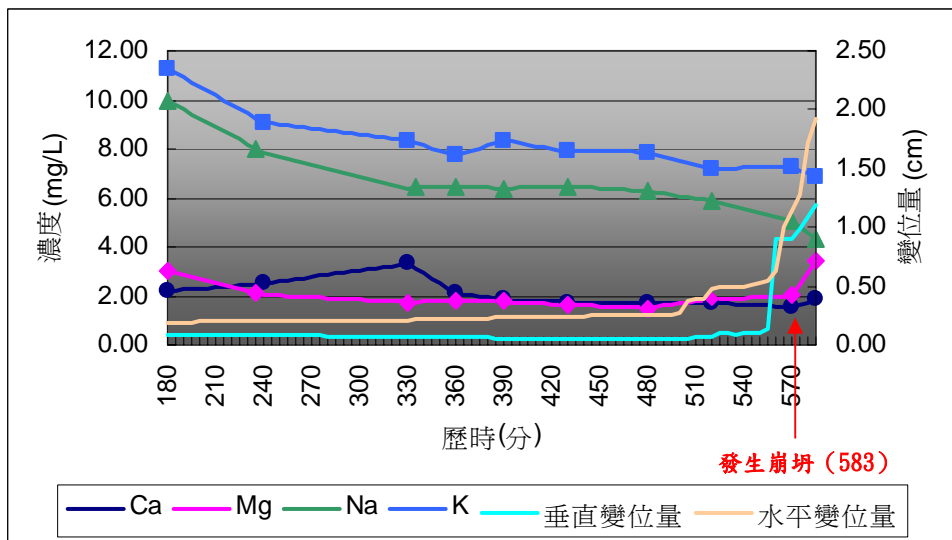
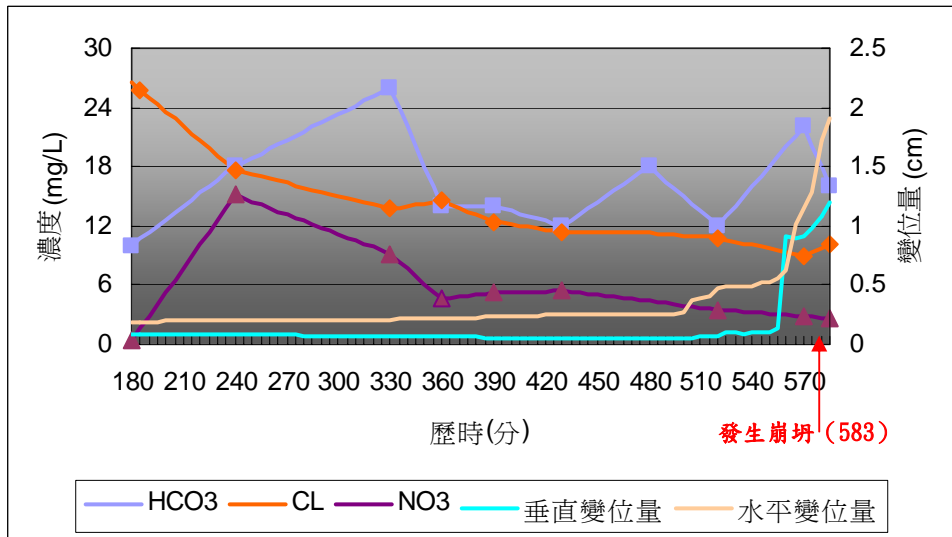
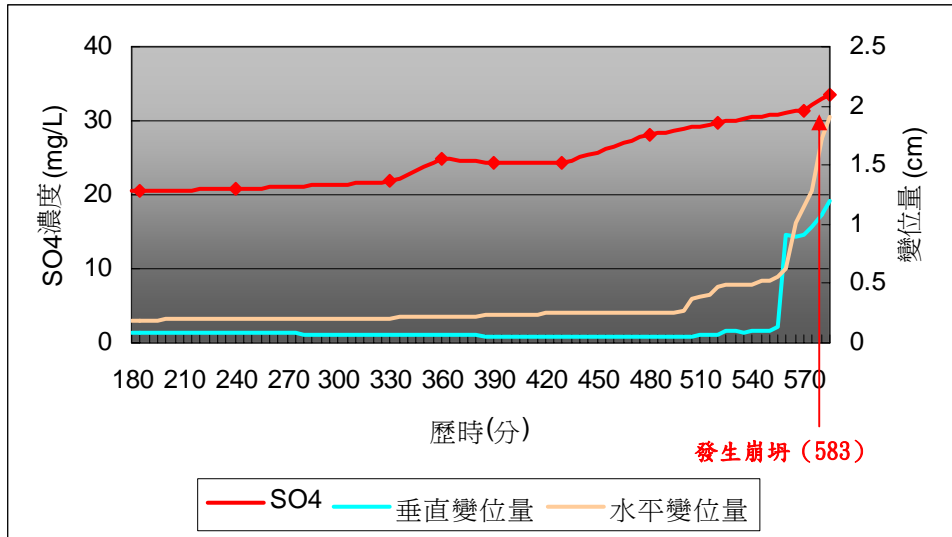


圖 4.21 第一組坡度 75 度之陰陽離子變化圖

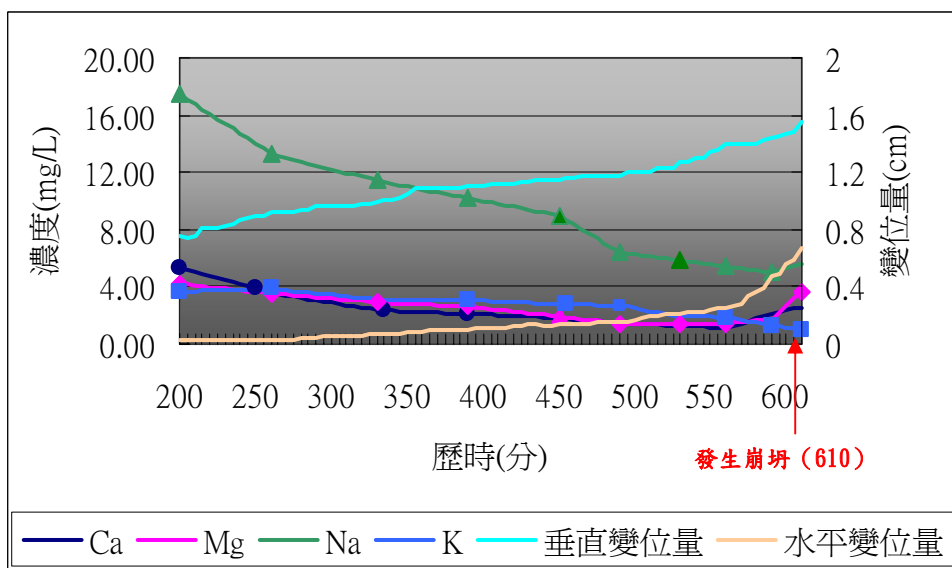
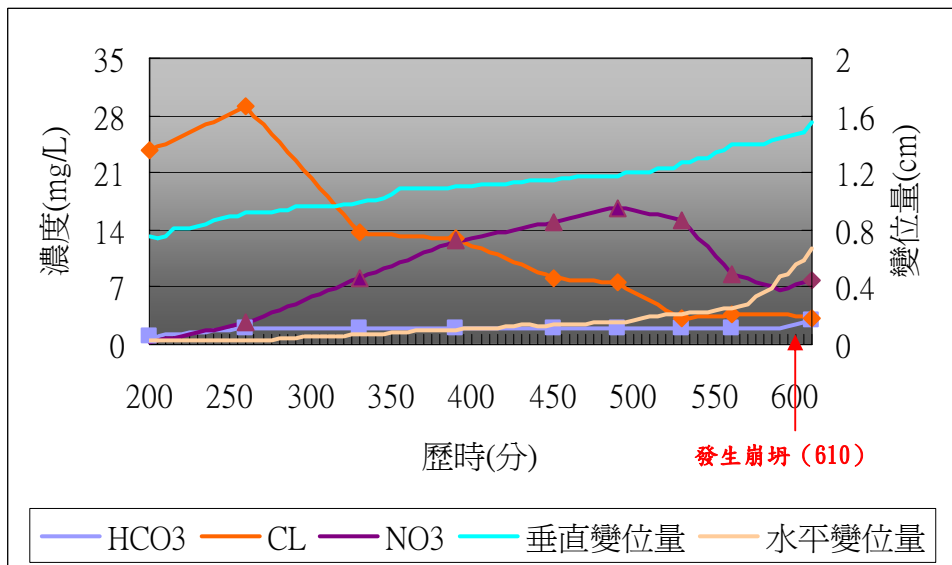
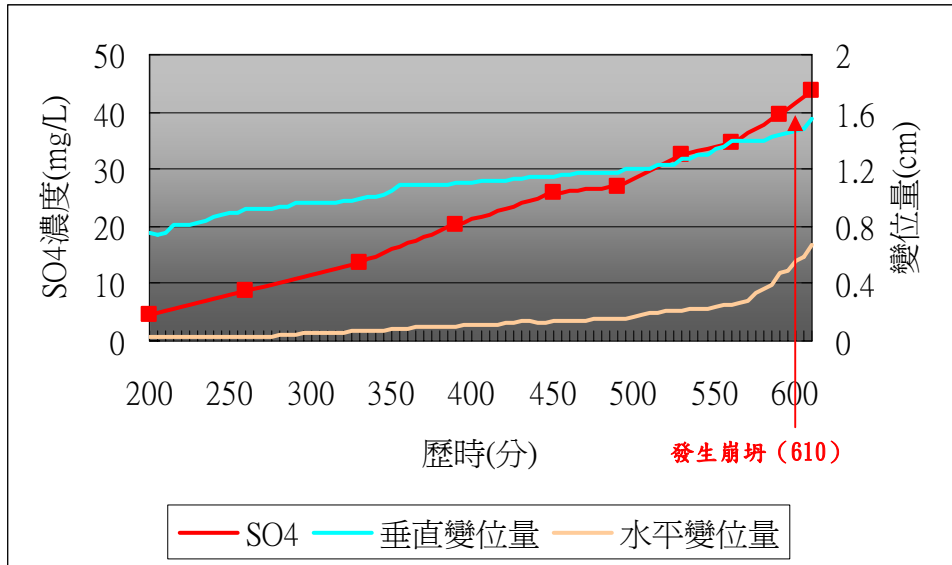


圖 4.22 第二組坡度 75 度之陰陽離子變化圖

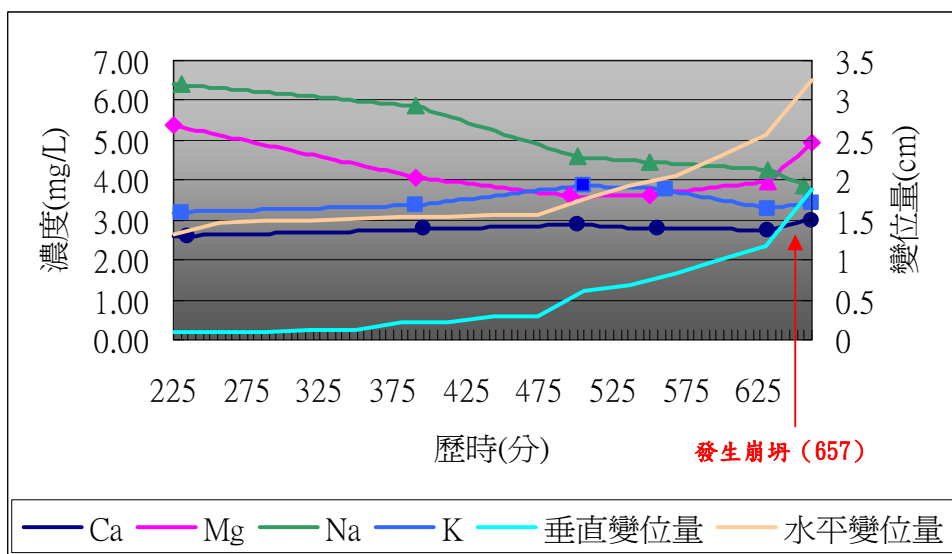
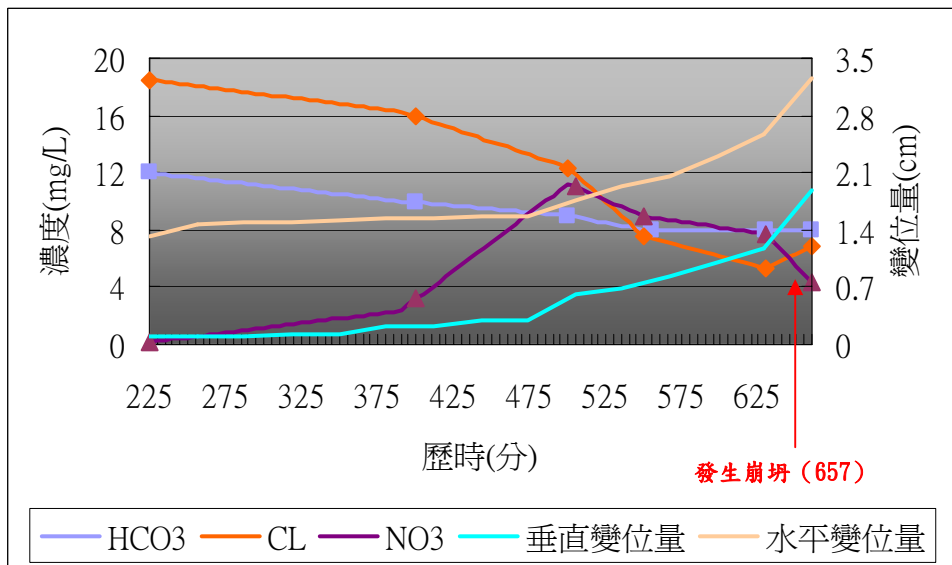
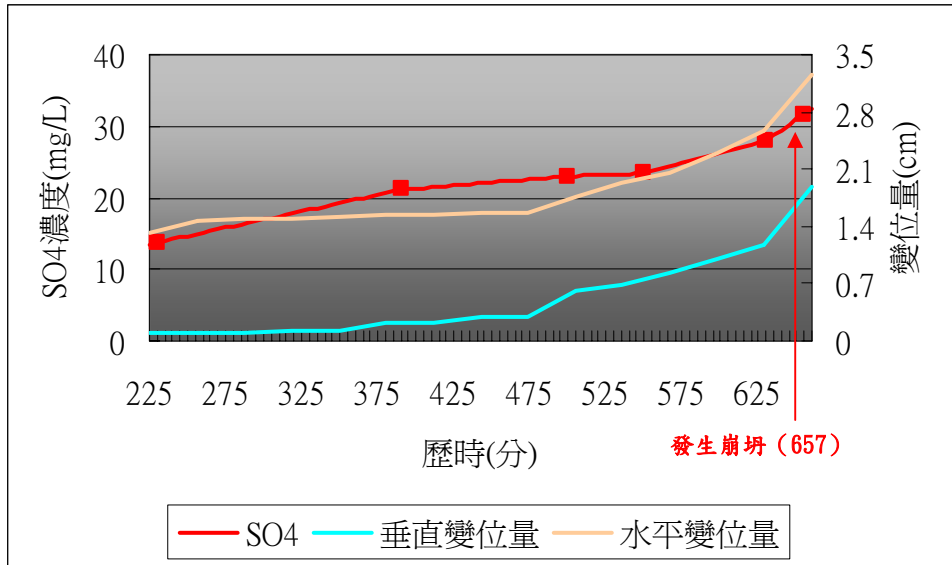


圖 4.23 第一組坡度 60 度之陰陽離子變化圖

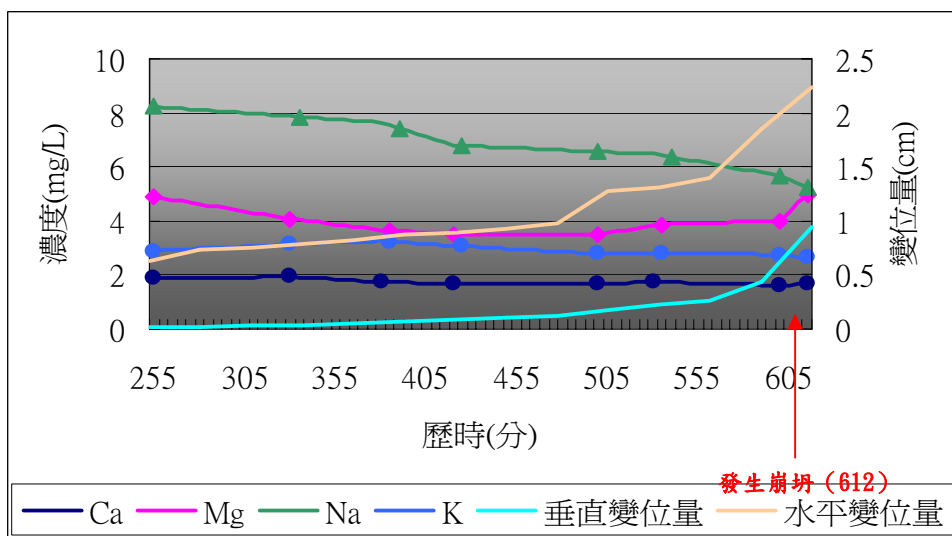
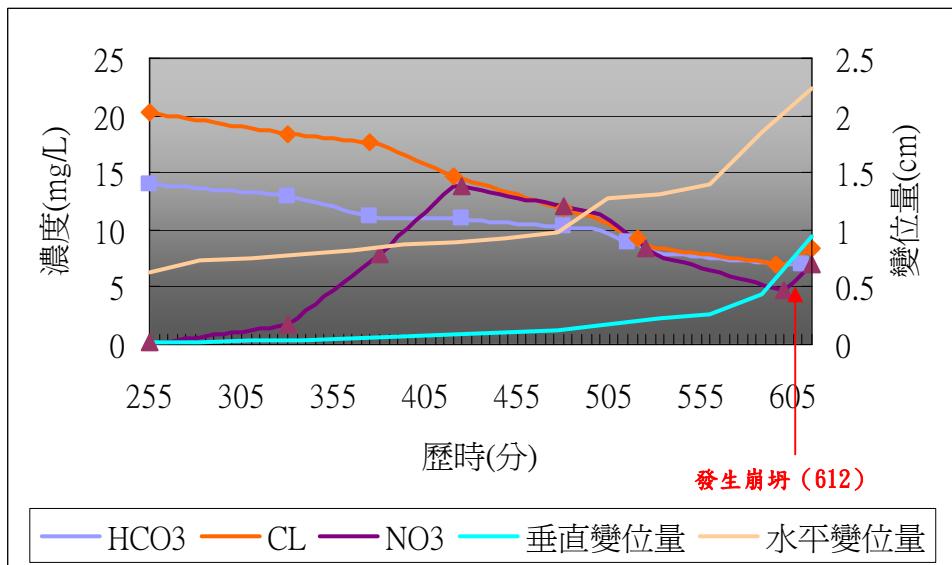
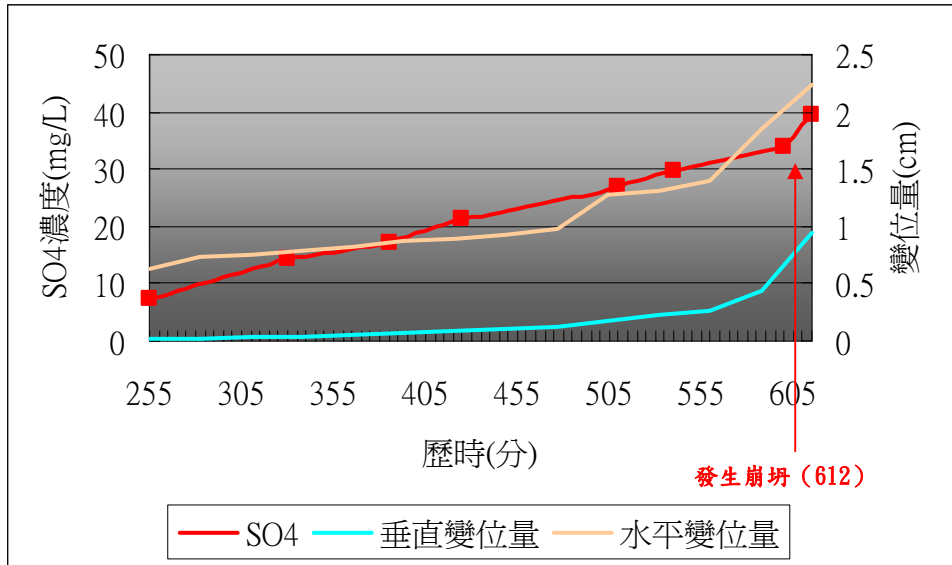


圖 4.24 第二組坡度 60 度之陰陽離子變化圖

第五章、結論與建議

5-1 結論

1. 在開始進行滲流試驗時電導度值會突然升高，隨著時間的經過，EC 值會緩慢下降，約略經過 300 分鐘的滲流後，EC 值會趨於穩定，這個結果推測是因為剛開始試驗時，由於地下水滲流造成土體中的未穩定細顆粒，受到水流的影響而流動，促使地下水中電導度，也受到影響。然而隨著時間的增加此種現象逐漸減小，使得土體內之地下水 EC 值趨於穩定。
2. 在提高水位使土體發生崩塌，3 號電導度值會隨著水位的提升而增大；隨後土體變位開始發生劇烈變化時，3 號電導度值會隨著變位的增加而增大，在發生崩塌時達到最大值。
3. 在實驗中，3 號及 4 號電導度計在實驗過程中會有較大幅度的變化，其原因可能是由於電導度計孔內有細粒料堵塞，但隨著地下水的流動，土壤顆粒又會被帶走，電導度計即可正確量測電導度值。
4. 由變位計分析結果可以看出，當土體變位開始產生劇烈變化後不久，土體則會發生崩塌。
5. 與崩塌時間及土體垂直水平變位量做比較，結果發現 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 離子濃度在土體崩塌前有明顯的上升， Na^+ 離子會逐漸變小；因此換

言之在監測基隆八斗子崩塌、地滑或土石流時， SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 離子與 Na^+ 離子之濃度變化可能是重要之監測指標。

5-2 建議

1. 本研究與楊晁晟(2003)所做之結果有相似之趨勢，亦即地下水電導度值與 SO_4^{2-} 濃度在發生崩塌時，有明顯的上升。但是對不同成份之土壤，在發生崩塌時，地下水電導度值與離子濃度是否也有相似之趨勢。這方面，則有待未來進一步研究。這些研究可能應包含土壤化學試驗、現地岩石組成或現在地層年份等微觀之研究。
2. 最近一、二年研究區域中並無發生崩塌及土石流，因而無法討論室內滲流箱實驗與現地崩塌之結果做比較。建議繼續對崩塌及土石流之地區進行現地監測，以便在未來崩塌，則可做一比對，進而推導出模式。
3. 發生崩塌時，地下水離子濃度及 EC 值改變之原因及機制，以及離子濃度的改變是否有其門檻(亦即超過此門檻即會發生崩塌、地滑及土石流)，這些課題都建議在未來作進一步之研究與探討。

參考文獻

- [1] 丁伯欣(1999)，「土石流模擬材料之力學性質與透水特性研究」，國立台灣大學土木工程研究所，碩士論文。
- [2] 曲先慎(1986)，「夯實紅土礫石力學特性之初步研究」，國立中興大學土木工程研究所，碩士論文。
- [3] 江志俊(1987)，「超額孔隙水壓與地盤運動相關性之研究」，國立台灣大學土木工程研究所，碩士論文。
- [4] 江秉龍(1984)，「邊坡漸進式破壞之極限平衡分析法」，國立台灣大學土木工程研究所，碩士論文。
- [5] 朱嘉政(2001)，「滲流對管湧式土石流發生影響之研究」，國立台灣大學農業工程研究所，碩士論文。
- [6] 沈茂松(1994)，「填方壩滲流路徑與管湧破壞之研究」，國立台灣工業技術學院營建工程研究所，博士論文。
- [7] 何敏龍(1997)，「土石流發生機制與流動制止結構物之研究」，國立台灣大學土木工程研究所，博士論文。
- [8] 吳素慧(1997)，「南投縣信義鄉神木村出水溪土石流動現象之探討」，國立台灣大學地理學研究所，碩士論文。
- [9] 周文孝(1994)，「土石流發生的穩定分析」，國立台灣大學土木工程研究所，碩士論文。
- [10] 周必凡、李德基、羅德富、呂儒仁、楊慶溪(1991)，「泥石流防治指南」，中國科學院水利部—成都山地災害與環境研究所。
- [11] 林信安(1997)，「高陡邊坡填土區之力學特性調查與穩定性分析研究」，國立屏東技術學院土木工程技術研究所，碩士論文。
- [12] 林炳森、馮賜陽、李俊明(1993)，「礫石層土石流發生特性之研究」，中華水土保持學報，第 24 卷，第一期，第 55-64 頁。

- [13]林柏壽(2000),「河岸邊坡土體崩滑形成土石流之流出特性」,逢甲大學土木及水利工程研究所,碩士論文。
- [14]林基源(1992),「花蓮銅門村土石流災區堆積材料之研究」,國立台灣大學土木工程研究所,碩士論文。
- [15]林聖琪(2000),「灰渣與地工防水膜介面摩擦特性之探討」,國立台灣大學土木工程研究所,碩士論文。
- [16]洪如江 (1992),「坡地災害防治(一) 重點科技叢書第六輯」,行政院國科會編印,32 頁。
- [17]高至華(1999),「利用大型單剪儀量測卵礫石土剪力強度可行性之評估」,朝陽科技大學營建工程研究所,碩士論文。
- [18]梁魁麟(2002),「滲流、電導度與管湧式土石流發生之關係」,國立台灣大學生物環境系統工程研究所,碩士論文。
- [19]張石角 (1988-1992), 台灣過去二十年重大崩山災害及其對受影響地區之自然和社會環境之影響(一~五),行政院國科會防災科技報告 77-42、78-89、79-56、80-25、81-49。
- [20]張世勳(1993),「花蓮地區土石流物理模型初步研究及其材料之模擬」,國立台灣大學土木工程研究所,碩士論文。
- [21]陳進發(1990),「洩降下土壩滲流縮小模型研究」,國立台灣大學土木工程研究所,碩士論文。
- [22]黃漢誠(1999),「擋土牆排水砂箱試驗與數值模擬之研究」,國立台灣大學農業工程研究所,碩士論文。
- [23]游繁結(1990),「崩落型土石流之機制研究(II)-土石流衝擊力之探討」,行政院國家科學委員會,防災科技研究報告, NSC-79-0414-P005-04B。
- [24]游繁結(2000),「國立台中圖書館 2000 年春季大眾科學講座報告」
- [25]游叡研(1999),「飽和孔隙水壓激發行為之模擬」,國立台灣大學土木工程研究所,碩士論文。

- [26]楊晁晟(2003)，「地下水電導度與土石流發生關係之研究」，國立台灣大學生物環境系統工程研究所，碩士論文。
- [27]詹錢登(1997)，「土石流理論教材大綱」，行政院教育部顧問室，No-86-土木-教材-C011。
- [28]鄭乃元(2000)，「土石流材料破壞之研究」，國立台灣大學土木工程研究所，碩士論文。
- [29]劉啟鋒(1990)，「中橫公路崩積土坡地穩定性之研究」，國立中興大學土木工程研究所，碩士論文。
- [30]謝正倫、施邦築(1998)，「土石流特定水土保持區之判識」，土木技術—水利工程專輯（創刊號），第 200-211 頁。
- [31]趙國華、洪如江、王中村、林永德（1974），「土壤力學」，中國土木工程學會。
- [32]陳信雄(1995)，「崩塌地調查與分析」，渤海堂。
- [33]臺灣坡地社區工程地質調查與探勘報告(1981)，經濟部中央地質調查所。
- [34]地質震害報告調查報告(2002)，921 集集大地震，國家地震研究中心。
- [35]青木 滋(1998)“地すべり地の地質，地下水調査”，地層滑動之規劃與整治工法研討會論文集。
- [36]Cedergren, H. R. (1997),“Seepage, Drainage, and Flow Nets,” John Wiley and Sone, 2nd Edition, pp.39-138.
- [37]Chi-Yu King, N. Koizumi and Y. Kitagawa (1995), “Hydrogeochemical Anomalies and the Kobe Earthquake” Science Vol.269 No.5220 pp.38-39
- [38]George, E. B. (1963), “Field Tests for Compected Rockfill, “Proceedings of the 2nd Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering”, Vol. I . (Indirectly cited)

- [39]Igarashi, G., S. Saeki, N. Takahata, K. Sumikawa, S. Tasaka, K. Sasaki, M. Takahashi and Y. Sano(1995), “Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan” *Science* Vol.269 No.5220 pp.60-61
- [40]Ibe, K. M. Sr. and A. M. Ebe (2000), “Impacts of debris-flow deposits on hydrogeochemical processes and the development of dryland salinity in the cross-river catchment, SE, Nigeria” *Environmental Monitoring and Assessment*, v 64,pp.449~456.
- [41]Li, G., F. Jiang, J. Wang and P. Zhang (1985), “Preliminary result of seismo-geochemical research in China.” *Pure and Applied Geophysics*, v 122, pp.218-230.
- [42]Jain, S. C., F. M. Holly and T. H. Lee (1988), “Head Loss Through Porous Dikes,” *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 15, No. 5, October, pp. 766-775.
- [43]Johnson, A. M. and Rodine J. R. Rodine (1984), “Debris Flow,” *Slope Instability*, John Wiley & Sons Ltd., pp. 257-361.
- [44]Jumikis, A. R. (1962), “Soil Mechanics,” New Brunswick, New Jersey, pp.305-349.
- [45]Kerr, A. D. (1959), “A Study of The Effect of the Capillary Zone on The Flow Through Homogeneous Earth Dams,” *Geotechnique* Vol. 9, No. 2, *The International Journal of Soil Mechanics*, pp.59-61.
- [46]Lowe, J. (1964), “Shear Strength of Coarse Embankment Dam Materials,” *Proceedings of the 8th Congress on Large Dams*. pp.745-761. (Indirectly cited)
- [47]Polubarinova-kochina, P. Y. (1962), “Theory of Groundwater Movement translated by R. J. M. Dewies from the 1952 Russian edition,” Princeton University Press, Princeton, N. J.
- [48]Sidle, R., C. H. Kitahara, T. Terajima and Y. Nakai (1995), “Experimental studies on the effect of pipeflow on through partitioning,” *Journal of Hydrology* Vol.165 pp.207-219.
- [49]Sugisaki, R., T. Ito, L. Nagamine and I. Kawabe(1996), “Gas

geochemical changes at mineral springs associated with the 1995 southern Hyogo earthquake (M = 7.2), Japan” EPSL Vol.139 pp.239-249

- [50] Sugisaki, R. and T. Sugiura (1985), “Geochemical Indicator of Tectonic Stress Resulting in an Earthquake in Central Japan, 1984” Science Vol.229 No.4719 pp.1261-1262
- [51] Singh Alam (1975), “Soil Engineering in Theory and Practices,” ASIA Publishing House, pp.153-160.
- [52] Takahashi, T. (1991), “Debris Flow,” International Association for Hydraulic Research, Published by A. Balkema, Rotterdam and Brookfield. U.S. A, pp.63-75.
- [53] Tschebotarioff, G. P. (1973), “Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures,” Princeton University 1st, Edition, pp.79-82.
- [54] Tsunogai, U. and H. Wakita (1996), “Precursory Chemical Changes in Ground Water Kobe Earthquake.” Science Vol.269 No.5220 pp.61-69
- [55] Zeller, J. and R. Wullimann (1957), “The Shear Strength of Shell Materials for the Goschenalp Dam, Switzerland,” Proceedings, 4th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, pp.399-404.