

國立交通大學  
土木工程研究所  
碩士論文

廢棄掩埋場現地試驗與  
三維穩定分析

**In-Situ Tests on Municipal Solid Wastes and  
3-D Slope Stability Analysis**

研究生：范佐憲

指導教授：單信瑜 博士

中華民國九十六年八月

廢棄掩埋場現地試驗與三維穩定分析

**In-Situ Tests on Municipal Solid Wastes and  
3-D Slope Stability Analysis**

研究生：范佐憲

Student: Tso-Hsien Fan

指導教授：單信瑜 博士

Advisor: Hsin-Yu Shan

國立交通大學

土木工程研究所

碩士論文

A Thesis  
Submitted to Institute of Civil Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
in  
Civil Engineering

August 2007  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China.

中華民國九十六年八月

# 廢棄掩埋場現地試驗與三維穩定分析

學生：范佐憲

指導教授：單信瑜 博士

國立交通大學土木工程研究所

## 摘要

雖然台灣的廢棄物處理逐漸以焚化取代掩埋，然而無論是不可燃的廢棄物、焚化灰渣、或者是離焚化場運距較遠的鄉鎮，仍將繼續以掩埋為其主要的處理方式。台灣因為地狹人稠，所以許多掩埋場位於山坡地上，這些掩埋場破壞的可能原因就是掩埋場的設計時，並未進行嚴密的邊坡穩定分析；在營運期間也並未考量到穩定性的問題。本研究的目的是在於利用現地試驗，直接求出廢棄物的剪力強度，並利用這些參數進行邊坡穩定分析。

結果顯示，竹南及湖口掩埋場的強度參數內聚力( $c$ )、摩擦角( $\phi$ )分別為 34.9 kPa、37.9°以及 33.6 kPa、32.1°，竹南掩埋場的廢棄物雖然含有較高比例之一般事業廢棄物，其剪強度參數與湖口掩埋場所得之結果略高。另外以平鈹載重試驗求得的地盤反力係數( $k_v$ )為 875.25 kN/m<sup>3</sup> 與 494.33 kN/m<sup>3</sup>。在邊坡穩定分析方面，二維與三維的分析結果均顯示邊坡滑動的安全係數隨界面剪力強度降低、廢棄物填埋高度增加、填埋體長度減少而減少。二維與三維分析結果比較，開口型的掩埋場三維分析所得之邊坡滑動安全係數較二維者低，且二者間之區別隨開口之角度增加而減少。

關鍵詞：一般廢棄物，掩埋場，現地試驗，邊坡穩定

# **In-Situ Tests on Municipal Solid Wastes and 3-D Slope Stability Analysis**

Student : Tso-Hsien Fan

Advisor : Hsin-Yu Shan

Institute of Civil Engineering  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

Due to the limitation of population density and availability of land, a large portion of Taiwan's landfills are located in mountainous area. Current regulations do not require slope stability analysis for these landfills. As a result, almost all of the landfills were not designed to maintain a suitable factor of safety against failure. The composition of Taiwan's solid waste differs considerably from that of the United States or any other country in the world. However, the lack of data of local solid waste poses a great limitation to engineers. The objectives of this research are to collect shear strength data from in-situ tests and perform a series of stability analyses.

The results show that the cohesion and friction angle of the MSW at Chu-nan and Hu-kou landfills are 34.9 kPa and 37.9°, 33.6 kPa and 32.1°, respectively. In addition, the coefficients of subgrade reaction are 875.25 kN/m<sup>3</sup> and 494.33 kN/m<sup>3</sup>, respectively. Results of 2-D and 3-D slope stability analyses show that the factor of safety increases with lower height of wastes, longer length of waste body, smaller slope angle of the back of the excavation, and steeper face slope of final cover. In addition, 3-D analysis indicates that the factor of safety decreases with the widening of the mouth of the landfills on slopes.

Keywords: Municipal solid waste, Landfill, In-situ test, slope stability

## 誌謝

兩年的研究所生活匆匆的過去，在此非常感謝指教授 單信瑜恩師在這兩年期間，給予學生在論文研究、專業知識上的指導，幫助學生突破瓶頸以及獲得學識上的成長，除了在學識的長進之外，老師也非常關心學生平日的生活，與學生的溝通與互動關係餘裕，在此致上萬分敬意。

求學期間，承蒙方永壽教授、潘以文教授、廖志中教授、黃安斌教授、林志平教授等，給予學識上的指導，在此致上萬分敬意。

口試期間，良受廖文彬教授、賴俊仁教授、劉家男教授給予本論文指導與建議，使得本文更加完善，於此由衷感謝。

研究期間，幸蒙實驗室學長文俊、維良，同學昱雲、佩萱以及學弟政輝在各方面的協助，也感謝中毅土壤顧問公司黃政川先生在現地試驗方面的支援，還有一群總有聊不完話題，夜夜高談闊論的室友，另外陪我在球場上揮灑汗水以及吃喝玩樂的同學，真是謝謝你們，讓我在這兩年過的很充實也很快樂。

最後感謝家人對我的栽培，謝謝你們的鼓勵與支持，僅以此文獻給我最親愛的家人。

# 目錄

摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VII
圖目錄.....	IX
第一章 續論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與研究目的.....	1
1.3 章節概述與研究流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 基本概念.....	5
2.1.1 掩埋場構築型式.....	5
2.1.2 掩埋場設計之主要構件.....	6
2.1.3 破壞模式分析.....	9
2.1.4 廢棄物邊坡穩定之要求.....	12
2.1.5 垃圾層邊坡穩定參數求取困難處.....	14

2.2 廢棄物組成 .....	14
2.3 廢棄物工程性質 .....	20
2.3.1 廢棄物單位重 .....	20
2.3.2 廢棄物剪力強度 .....	24
2.3.3 地工合成材界面剪力強度 .....	29
2.4 廢棄物承載力 .....	31
2.5 CLARA-W 程式之邊坡穩定分析方法 .....	32
2.6 常見之邊坡穩定分析程式 .....	36
2.7 邊坡穩定之三向度效應 .....	39
第三章 研究方法 .....	42
3.1 掩埋場背景資料 .....	42
3.1.1 竹南掩埋場背景資料 .....	42
3.1.2 湖口掩埋場背景資料 .....	42
3.2 廢棄物基本性質試驗 .....	46
3.2.1 取樣地點 .....	46
3.2.2 廢棄物單位重試驗 .....	46
3.2.3 廢棄物組成分類 .....	51
3.3 現地直接剪力試驗方法 .....	51
3.4 平鈹載重試驗方法 .....	56

3.5 邊坡穩定分析方法 .....	59
3.5.1 CLARA-W 程式簡介.....	59
3.5.2 研究分析流程 .....	62
3.5.3 程式分析結果輸出說明 .....	68
第四章 結果分析與討論 .....	70
4.1 廢棄物基本性質試驗結果 .....	70
4.1.1 單位重、含水比試驗 .....	70
4.1.2 垃圾組成試驗 .....	74
4.2 現地試驗結果 .....	79
4.2.1 現地直剪試驗 .....	79
4.2.2 現地平鈹載重試驗 .....	83
4.3 CLARA-W 邊坡穩定分析結果.....	84
4.3.1 湖口掩埋場邊坡穩定分析 .....	84
4.3.2 模擬開口狀邊坡穩定分析 .....	88
第五章 結論與建議 .....	93
參考文獻.....	95
附錄.....	101

## 表目錄

表 2-1 廢棄物組成成份單位重含水比(Tchobanoglous et. al., 1977)...	21
表 2-2 廢棄物單位重 (陳榮河, 1990; Sharma, 1990) .....	22
表 2-3 各國廢棄物單位重 (Dixon and Jones, 2004) .....	23
表 2-4 廢棄物剪力強度值(Sadek and Manasseh, 2005).....	26
表 2-5 廢棄物剪力強度值 .....	27
表 2-6 土工膜布與土壤介面剪力強度 (劉家男, 2004) .....	30
表 2-7 地盤反力係數範圍 .....	32
表 2-8 各種切片方法之比較 (施國欽, 2001) .....	33
表 4-1 單位重含水比試驗結果 (湖口) .....	71
表 4-2 單位重含水比試驗結果 (竹南) .....	71
表 4-3 單位重含水比試驗結果 (竹南直剪試體) .....	71
表 4-4 單位重試驗結果 (湖口) .....	71
表 4-5 台灣地區廢棄物含水量(環保署, 2005) .....	73
表 4-6 湖口掩埋場廢棄物乾基組成 .....	76
表 4-7 竹南掩埋場廢棄物乾基組成 .....	77
表 4-8 竹南掩埋場廢棄物直剪試體乾基組成 .....	78
表 4-9 現地平鈹載重試驗結果彙整表 .....	83

表 4-10 湖口掩埋場安全係數.....	86
表 4-11 湖口掩埋場三向度效應.....	86
表 4-12 安全係數表 ( $\delta=10^\circ$ ) .....	91
表 4-13 安全係數表 ( $\delta=15^\circ$ ) .....	91
表 4-14 安全係數表 ( $\delta=20^\circ$ ) .....	91
表 4-15 三向度效應係數表 ( $\delta=10^\circ$ ) .....	91
表 4-16 三向度效應係數表 ( $\delta=15^\circ$ ) .....	91
表 4-17 三向度效應係數表 ( $\delta=20^\circ$ ) .....	92



## 圖目錄

圖 1-1 台灣掩埋場分佈圖（環保署，2006） .....	2
圖 1-2 研究方法流程圖 .....	4
圖 2-1 掩埋場類型 (a)平地掩埋；(b) 半挖半填掩埋； .....	6
圖 2-2 掩埋場示意圖 .....	8
圖 2-3 有害事業廢棄掩埋場底部結構 .....	9
圖 2-4 覆蓋系統結構示意圖 .....	9
圖 2-5 掩埋場破壞模式 .....	11
圖 2-6 英國一般固體廢棄物組成(Watts et al., 2002) .....	19
圖 2-7 台灣一般固體廢棄物組成(環保署，2005) .....	19
圖 2-8 歷年單位容積重之變化（環保署，2005） .....	23
圖 2-9 固體掩埋物單位重深度曲線(Kavazanjian et al., 1995) .....	24
圖 2-10 一般固體廢棄物強度歸納 (Singh and Murphy, 1990) .....	27
圖 2-11 固體廢棄物之剪力強度 (Kavazanjian et al., 1995) .....	28
圖 2-12 固體廢棄物之剪力強度 (Eid et al., 2000) .....	28
圖 2-13 土工膜布之界面強度參 .....	31
圖 2-14 土工膜布張力與界面剪應 .....	31
圖 2-15 單一切片自由體圖 .....	35

圖 2-16 單一切片自由體圖 .....	36
圖 3-1 竹南掩埋場平面圖 .....	43
圖 3-2 竹南掩埋場一景 .....	44
圖 3-3 竹南掩埋場每月平均垃圾量 (94/7~96/6) .....	44
圖 3-4 湖口掩埋場平面圖 .....	45
圖 3-5 湖口掩埋場一景 .....	45
圖 3-6 湖口掩埋場每月平均垃圾量 (95/1~96/6) .....	46
圖 3-7 木製取樣盒 .....	49
圖 3-8 取樣過程 .....	49
圖 3-9 取樣過程 .....	50
圖 3-10 量取試體體積 .....	50
圖 3-11 現直剪試驗試驗試體佈置示意圖 .....	53
圖 3-12 試坑開挖 .....	54
圖 3-13 試體修飾及紮筋 .....	54
圖 3-14 組裝模板及灌漿 .....	55
圖 3-15 架設反力牆及加呆重 .....	55
圖 3-16 鋪上細砂並放置平鈹 .....	57
圖 3-17 架設載重台 .....	58
圖 3-18 平鈹加壓系統 .....	58

圖 3-19 CLARA-W 使用範例 .....	61
圖 3-20 CLARA-W 使用範例 .....	61
圖 3-21 CLARA-W 軟體使用範例 .....	61
圖 3-22 橢圓率示意圖 .....	61
圖 3-23 分析流程圖 .....	63
圖 3-24 頭份掩埋場（縮口狀） .....	66
圖 3-25 峨眉掩埋場（開口狀） .....	67
圖 3-26 剖面示意圖 .....	67
圖 3-27 開挖底面圖 .....	68
圖 3-28 最終掩埋面 .....	68
圖 3-29 程式分析結果輸出圖形 .....	69
圖 3-30 程式分析結果輸出圖形 .....	69
圖 4-1 湖口掩埋場廢棄物狀態 .....	73
圖 4-2 竹南掩埋場廢棄物狀態 .....	74
圖 4-3 湖口掩埋場廢棄物乾基組成 .....	76
圖 4-4 竹南掩埋場廢棄物乾基組成 .....	77
圖 4-5 竹南掩埋場廢棄物直剪試體乾基組成 .....	78
圖 4-6 現地直剪試驗應力應變圖（湖口） .....	81
圖 4-7 現地直剪試驗結果曲線圖（湖口） .....	81

圖 4-8 現地直剪試驗應力應變圖 (竹南) .....	82
圖 4-9 現地直剪試驗結果曲線圖 (竹南) .....	82
圖 4-10 平鈹載重試驗之解壓再壓曲線 (湖口) .....	84
圖 4-11 平鈹載重試驗之解壓再壓曲線 (竹南) .....	84
圖 4-12 橢圓率 1 .....	87
圖 4-13 橢圓率 100 .....	87
圖 4-14 湖口掩埋場剖面圖 .....	88
圖 4-15 二維邊坡穩定分析結果圖 .....	88
圖 4-16 各種組合之安全係數 .....	92



# 第一章 續論

## 1.1 研究背景

民國 70 年以前，台灣沒有垃圾焚化爐，垃圾均以掩埋處理，但目前只剩 175 座掩埋場（94 年底止）處於營運中（圖 1-1），並預訂於 96 年以後，除偏遠地區外，垃圾將不進掩埋場，並且可能會全部封閉。在 95 年完成 34 處垃圾衛生掩埋場，117 處掩埋場復育綠美化，提升偏遠地區妥善處理率並增加公園綠地及民眾休憩場所，未來每一縣市只保留一至二座垃圾掩埋場，主要是為了處理不可燃的廢棄物，如沙發、辦公桌椅等巨大垃圾。

民國 90 年，坡面超過 50 度之竹東掩埋場崩塌，撐破底層不透水布；95 年八里掩埋場走山，主要原因為大雨造成土石鬆軟、地下水位上升，以及地面水流排放過多，台灣掩埋場破壞案例不勝枚舉，顯示台灣的掩埋場穩定性仍存在著許多問題。（聯合報，2006）

## 1.2 研究動機與研究目的

雖然台灣的廢棄物處理逐漸以焚化取代掩埋，然而無論是不可燃的廢棄物、焚化灰渣、或者是離焚化場運距較遠的鄉鎮，仍將繼續以掩埋為其主要的處理方式。台灣因為地狹人稠，所以許多掩埋場位於山坡地上，這些掩埋場破壞的可能原因就是掩埋場的設計時，並未進行嚴密的邊坡穩定分析；在營運期間也並未考量到穩定性的問題。此外，在位於各地的數百座老舊掩埋場雖陸續封場，但長期穩定性仍然是必須關切的問題。本研究的目的是在於利用現地試驗，直接求出廢棄物的剪力強度，並利用這些參數進行邊坡穩定分析。

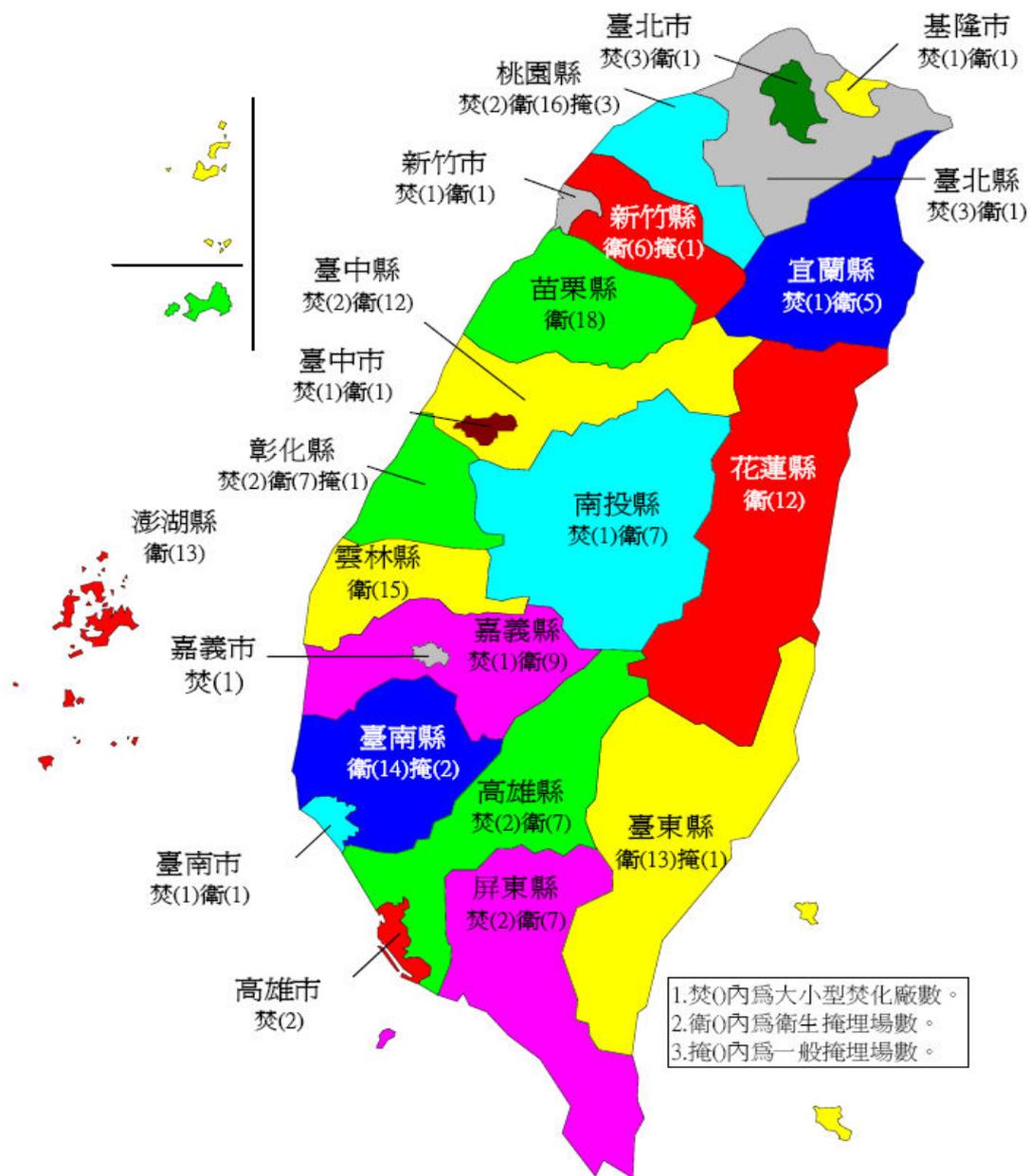


圖 1-1 台灣掩埋場分佈圖（環保署，2006）

### 1.3 章節概述與研究流程

本研究主要先搜集相關文獻，再以現地試驗求取的相關參數單位重 ( $\gamma$ )、內聚力 ( $c$ )、摩擦角 ( $\phi$ ) 及極限承载力 ( $q_u$ ) 等進行歸納探討，並利用 CLARA-W 邊坡穩定程式輸入適當的參數進行邊坡穩定分析，其內容包含下列幾項，研究流程如圖 1-2：

- (1) 蒐集相關文獻，其中包含垃圾強度參數、邊坡穩定方法及應用程式、案例掩埋場竣工圖等。
- (2) 選擇兩處掩埋場（湖口、竹南），利用現場直接剪力試驗與平鈹載重試驗求取相關強度參數內聚力（ $c$ ）、摩擦角（ $\phi$ ）及極限承载力（ $q_u$ ）等，以及現場採樣求取單位重、含水比等基本性質。
- (3) 樣品於室內進行烘乾、稱重並計算含水量，同時進行垃圾組成分類（乾基）。
- (4) 對封閉之（湖口）掩埋場部份進行測量，以及選擇以三維分析會較二維分析安全係數為低的「開口型」幾何形狀進行假設。
- (5) 利用 CLARA-W 程式輸入適當樣品資料，考量合理假設進而模擬演算。

本論文分為五章，其內容分述如下：

- 第一章 續論。說明研究背景、動機、研究目的與內容。
- 第二章 文獻回顧。對前人研究與邊坡穩定之分析作介紹。
- 第三章 研究方法。說明現地試驗場址概況、基本性質試驗與現地試驗的說明，並說明如何以邊坡穩定分析軟體作模擬與案例分析。
- 第四章 結果分析與討論。為室內試驗及現場試驗之結果判讀及綜合討論，針對判讀後合理之工程參數建議值，再進行模擬及案例分析演算，進而評析演算結果。
- 第五章 結論與建議。針對本研究需要改進真缺失提出建議，已作為後續研究之參考。

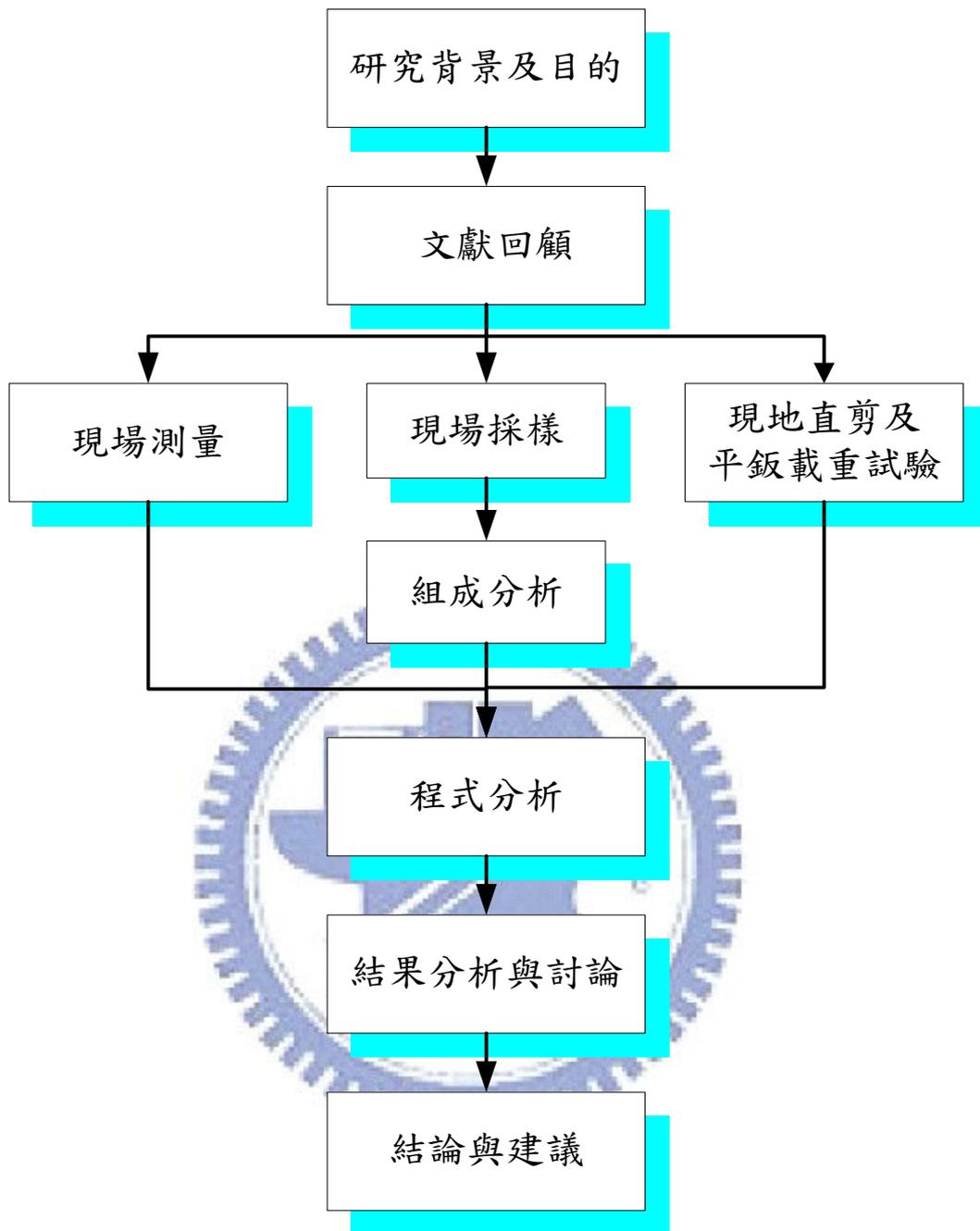


圖 1-2 研究方法流程圖

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 基本概念

#### 2.1.1 掩埋場構築型式

一般而言固體廢棄物掩埋場最主要的掩埋型式約可分為平地直接掩埋、半挖半填掩埋與完全地下掩埋三種型態(Daniel, 1993)，前述之掩埋場方法常用於廣大平原或地廣人稀處，尤其第三種方法在人口稠密或是山地地區更是少見，在山地丘陵多的地區如台灣則常常利用地形建造掩埋場，以下將台灣常見之掩埋場分為三種形態：

##### A.平地掩埋（圖 2-1(a)）

就是在地表堆一個大的垃圾堆，當堆到設計高程時再進行最終覆蓋封頂部份，掩埋過程中只有很小的開挖或不開挖，通常用於比較平坦且地下水位較淺的地區，以及地廣人稀山少平原多之地區。

##### B.半挖半填掩埋（圖 2-1(b)）

把垃圾堆入一個開挖的深坑，這在廣大的陸地或是地下水位較深的地區適用，可將開挖的土壤作為掩埋場中的覆土層，並且能夠有效利用土地，惟該場址必須注意地下水位須低於開挖面。

##### C.依天然地形構築之方式（圖 2-1(c)）

此種掩埋方式在台灣地區最為常見，把垃圾由谷地或坡地由下往上堆埋，它可能包含少許的地下開挖，此種方法適用在山地或平地取得不易之地區，若遇原本的邊坡度較陡，可能會發生在地工膜布與廢棄物間之破壞。

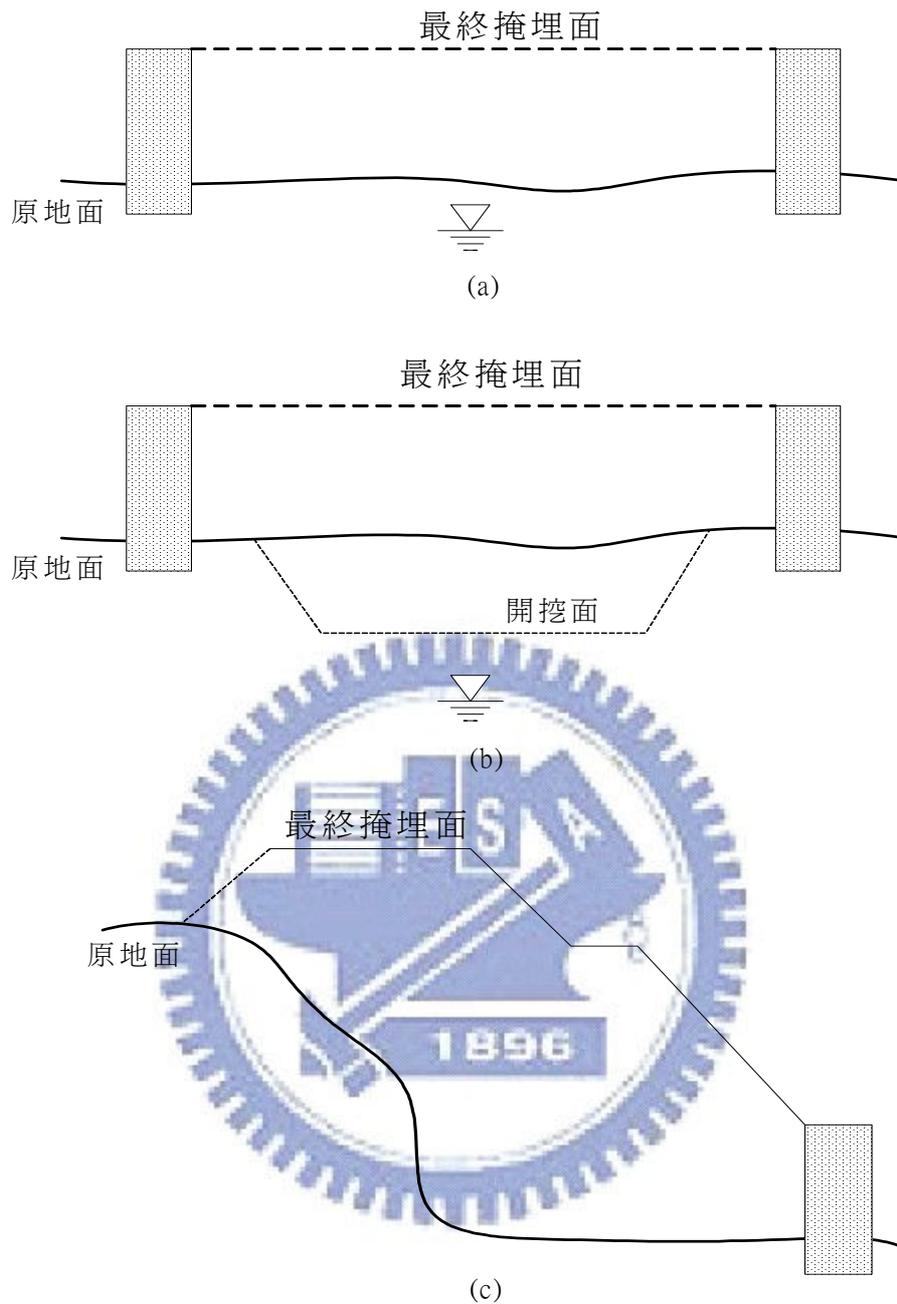


圖 2-1 掩埋場類型 (a)平地掩埋；(b) 半挖半填掩埋；  
(c)依天然地形構築之方式

## 2.1.2 掩埋場設計之主要構件

依美國土木學會定義標準廢棄物衛生掩埋，是一種無公害或對公眾健康及安全不致造成危害的廢棄物處置方法。簡言之，掩埋場即包含 3C 處理，一為局限 (Confinement)，二為壓實 (Compaction)，三

為覆土 (Covering)。局限之目的為將垃圾限制於最小範圍內，並使用工程方法使之不造成諸如污染地下水等二次公害，而壓實作業更可延長掩埋場使用年限及減少垃圾沉陷量，覆土之意義為防止垃圾飛散、火災、傳染病源之孳生、傳播、臭味、景觀美化及土地再利用等 (陳咸亨，1986)。

為了不使地下水受污染，最直接且經濟的方法是使用土工膜布，使廢棄物滲出水不會滲漏以及地表水不會滲入，掩埋場阻水系統如圖 2-2 所示。以美國有害事業廢棄物掩埋場底部雙重阻水系統為例 (USEPA, 1985)，此系統由底而上如圖 2-3 可分為下列數層：

(1) 次要阻水層 (Secondary Liner)：

由土工膜布與夯實黏土共同組成之複合阻水層，此為掩埋場防污水滲漏的最後一道防線，並視為永久有效阻水層。以夯實黏土層阻水時，其厚度必須大於 30 cm。

(2) 滲出水偵測排除系統 (Leachate Detection and Removal System, LDRS)：

為 30 cm 厚之顆粒性土壤如礫石與粗砂構成，其導水度  $k$  須在 0.01 cm/sec 以上，也可由土工複合物 (Geocomposite) 組成，如土工流網 (Geonet) 與土工不織布 (Nonwoven Geotextile)。

(3) 主要阻水層 (Primary Liner)：

主要是以 HDPE 高密度聚乙烯製成的土工膜布為主。

(4) 滲出水收集排除系統 (Leachate Collection and Removal System, LCRS)：

如同第二層的排水層，此層除了可以保護下層的土工膜布

以外也是主要的滲出水收集層，此系統可以土工複合物代替。

(5) 土工分隔層：

分隔覆土並過濾滲出水，使集排水層不致受細粒料堵塞。

(6) 覆土：

主要是保護底下各層不被機具、工作人員意外破壞，並減少受紫外線及溫度的影響，其上即堆置廢棄物。我國衛生署規定最終覆土，在壓實後其最低厚度須在 50 cm 以上，平坦面坡度以 1%，斜面坡度以 30% 為原則。

至於一般廢棄物掩埋場的系統則僅有一套集排水層與一套土工膜布與複合黏土層。

覆蓋系統 (Final Cover) (圖 2-4) 亦在掩埋場中扮演極重要的角色，除了將掩埋場與環境隔絕外，並減少與水的入滲量。其中之土工格網加勁，可使覆蓋之坡度提高，增加掩埋空間。覆蓋系統與各構件之功能與底部阻水系統中相同。

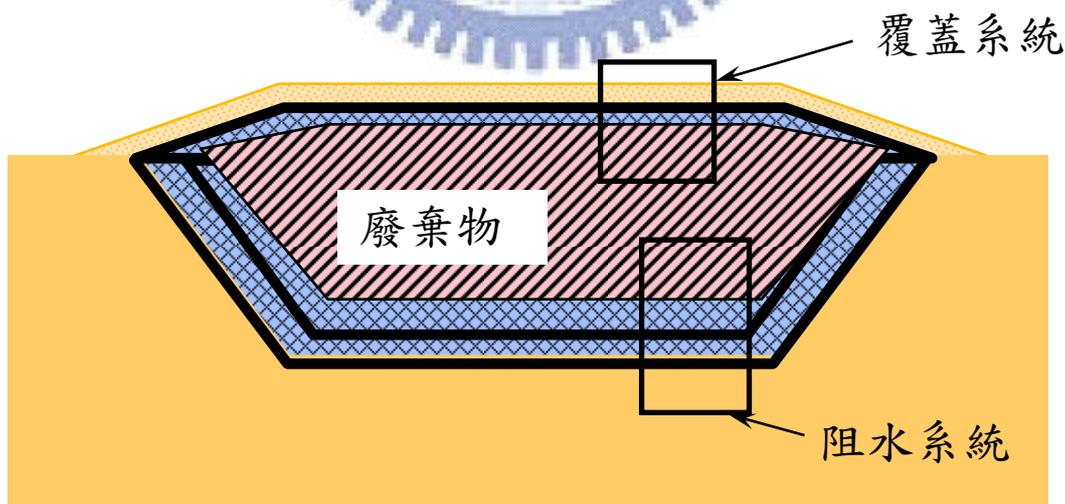


圖 2-2 掩埋場示意圖

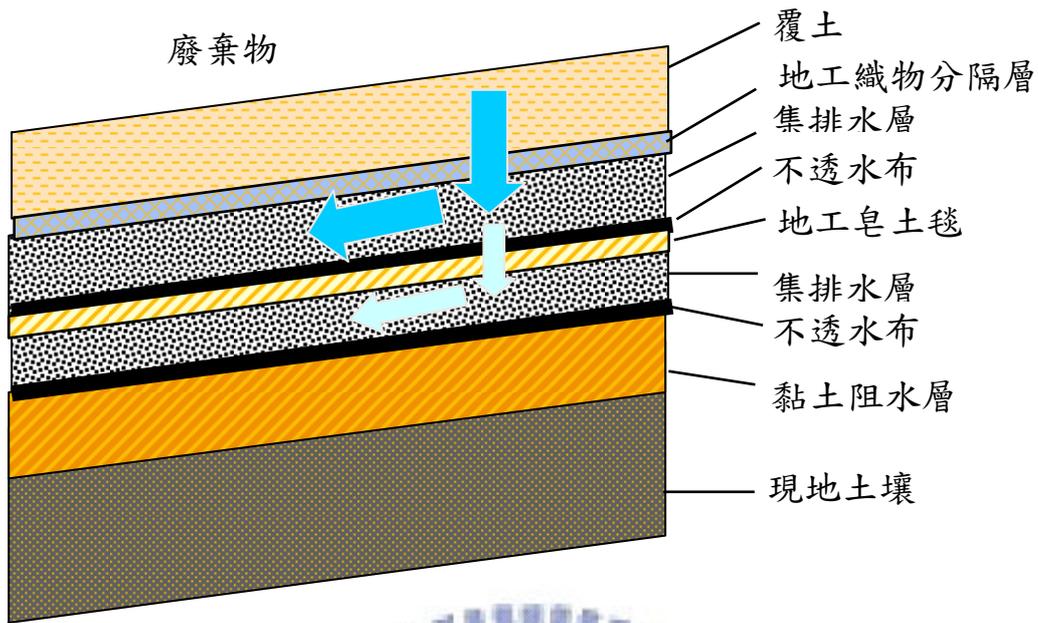


圖 2-3 有害事業廢棄掩埋場底部結構

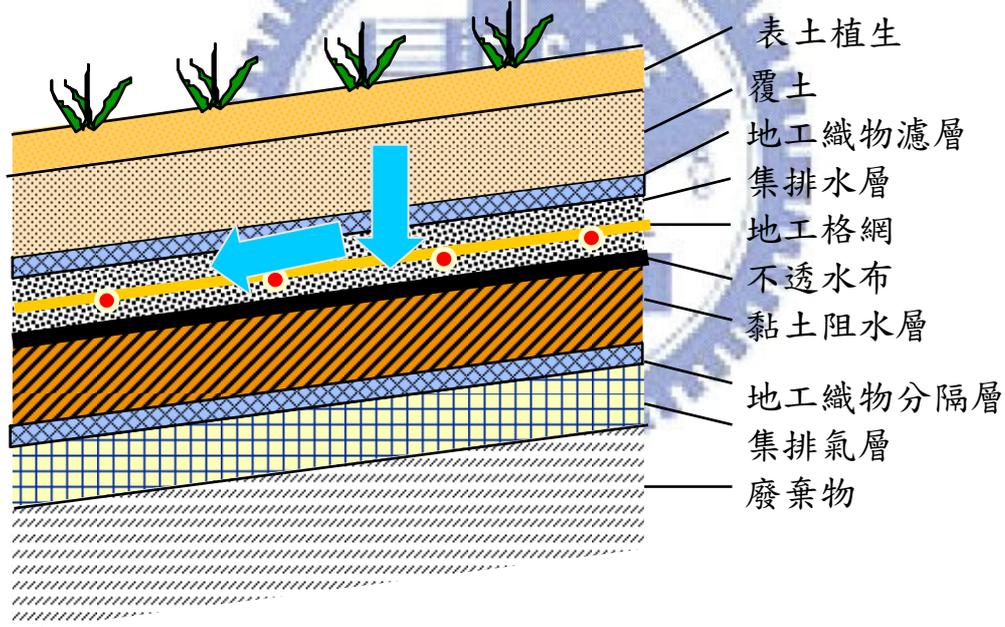


圖 2-4 覆蓋系統結構示意圖

### 2.1.3 破壞模式分析

以上的掩埋場構築型式，在開挖、填埋及封閉後可能出現各種不同的破壞模式，其破壞機制有不同，在評估下列各種破壞模式時，必需先了解掩埋場中覆土層與土工膜布組成的阻水系統，阻水系統中的

接觸面抗剪強度較低，很有可能成為潛在的破壞面，有關於掩埋場的潛在破壞模式，大致上可分為以下類型 (Mitchell and Mitchell, 1992)：

#### A. 邊坡及坡底破壞 (圖 2-5a)

這種破壞類型可能發生在開挖或鋪設阻水系統但尚未填埋時，圖中表示地基產生破壞的情形，實際是由土體本身所產生的破壞，這種破壞模式可用一般的邊坡穩定分析方法來評估。

#### B. 土工膜布錨溝中脫出向下滑動或斷裂破壞 (圖 2-5b)

土工膜布與坡面之間的摩擦力和錨定溝的錨固力無法承受土工膜布本身或其上覆土的重力，而發生脫出或斷裂的現象，這種破壞通常發生在襯墊系統鋪設時。

#### C. 沿固體廢棄物內部破壞 (圖 2-5c)

當廢棄物填埋到某一極限高度時，就可能發生破壞。填埋的極限高度與坡角和廢棄物本身強度有關。這種情況可用一般的邊坡穩定分析方法進行分析，困難處在於如何合理選取固體廢棄物的單位重與強度參數。

#### D. 穿過廢棄物和地基發生破壞 (圖 2-5d)

破壞面穿過廢棄物、土工膜布和場地地基。當地基土比較軟弱，例如軟黏土層，最容易發生這種形式的破壞。

#### E. 沿阻水系統破壞 (圖 2-5e)

廢棄物作為一個整的塊體單元，會沿著複合阻水系統內強度較低的接觸面向下滑動，這種滑動的穩定性常受接觸面的抗剪強度，掩埋物的幾何形狀及其單位重等因素所控制，通常可以降低高差或降低坡度加以避免。此類破壞之穩定分析可用塊平衡進行評估。

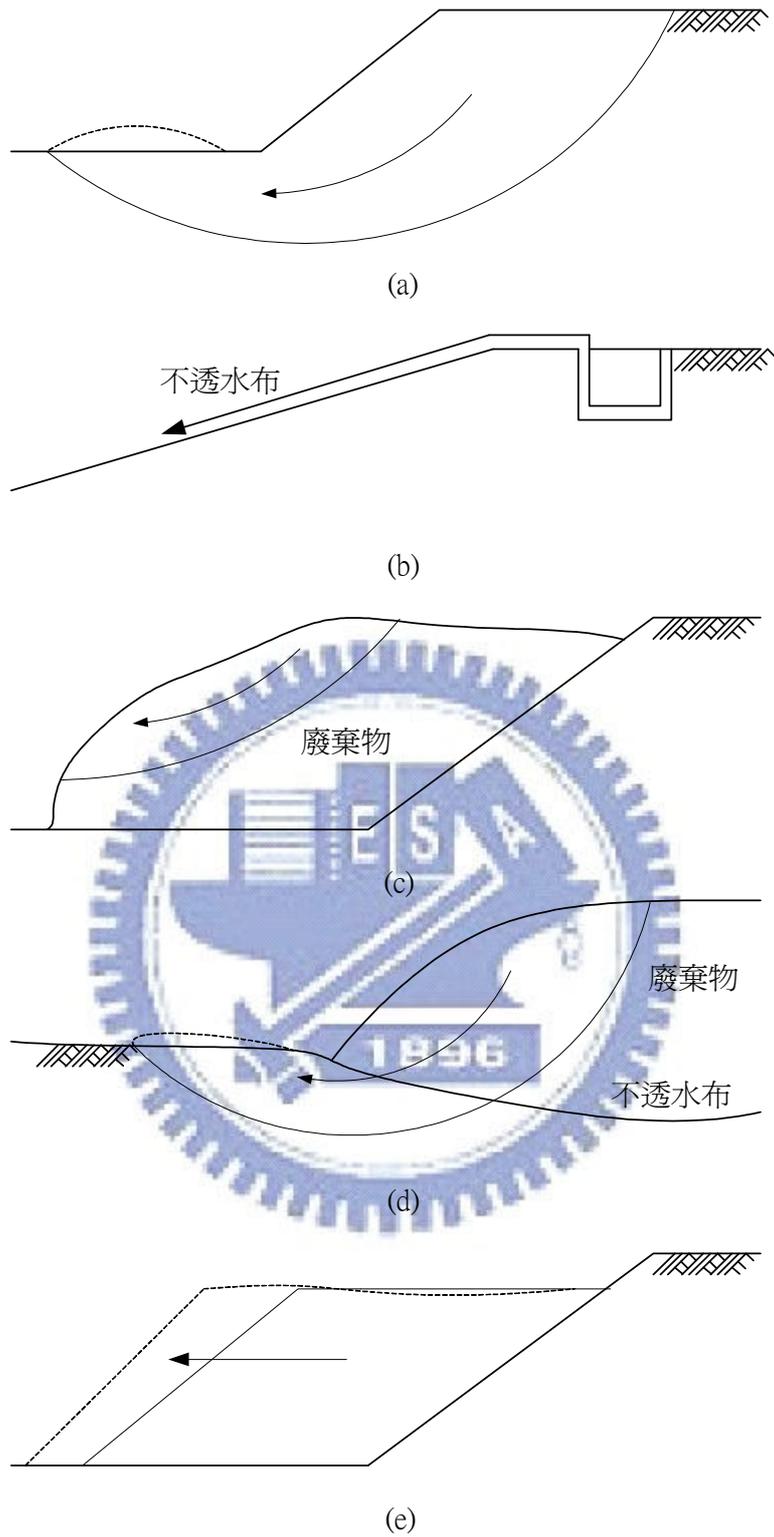


圖 2-5 掩埋場破壞模式

- (a) 邊坡及坡底破壞；(b) 阻水系統處錨溝中脫出向下滑動；  
 (c) 沿固體廢棄物內部破壞；(d) 穿過廢棄物和地基發生破壞；  
 (e) 沿阻水系統破壞 (Mitchell and Mitchell, 1992)

## F. 覆蓋層的破壞

由土或土及合成膜組成的覆蓋系統用於斜坡上時，抗剪強度低的接觸面常導致覆蓋層不穩定而沿填埋的廢棄物向下滑動。

受限於台灣地狹人稠掩埋場用地取得不易，目前台灣的掩埋場大多位於山谷或是平地直接填埋，且大部份最終覆蓋面未根據邊坡穩定分析的設計施工，造成邊坡不穩定，尤其以上列(c)及(e)型式的破壞最為常見，本研究將針對這兩部份進行實地評估及建議。

### 2.1.4 廢棄物邊坡穩定之要求

在我國一般廢棄物回收清除處理辦法(環保署, 2002)中有規定，掩埋場終止使用時，應覆蓋厚度50 cm以上之砂質、泥質黏土、皂土或具相同阻水功能之地工材料組合等阻水材料，覆蓋砂石者，並予以壓實。壓實後，平坦面坡度為1%以上，斜面坡度為30%以下，並應綠化植被。

另根據我國事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準(環保署, 2002)規定，掩埋場終止使用時，應覆蓋厚度50 cm以上之砂質、泥質黏土、皂土或具相同阻水功能之地工材料組合等阻水材料，覆蓋砂石者，並予以壓實。壓實後，平坦面坡度為1%以上，斜面坡度為30%以下，並應綠化植被。然而，因為國內掩埋場多半超量掩埋或因為於山坡地，因此多未能符合上述坡度低於30% (約為 $17.5^\circ$ ) 的要求。根據環保署2003年委託研究單位訪視29個復育掩埋場(行政院環保署, 2003)的結果顯示，『邊坡穩定性不足』名列掩埋場問題的榜首。針對這一類掩埋場的穩定問題，國內的主管機關曾提出以下建議：

1. 掩埋場在平地應不高於50 m，在丘陵則可酌量提高。當掩埋場高度愈高，其坡度則應求其平緩。

2. 掩埋場外緣坡度基本上應不小於 1V：3H。祇有當掩埋場需要堆積更高時，方予酌情放緩坡度。
3. 當坡面愈趨於上方時，坡度可酌增陡峻，當坡面愈趨於下方時，坡度則勢須放緩。
4. 掩埋場高度每增加 8~10 m 時，則須加設最少為 4 m 寬的平台階面一座。階面內側須有排水溝設置。

另一方面亦有專家提出在目前存在的掩埋場中下述的垃圾邊坡範圍已被觀察為穩定邊坡（陳榮河，1997）：

1. 事業廢棄物：4H：1V ( $\approx 14.0^\circ$ )到3H：1V ( $\approx 18.4^\circ$ )
2. 包含40%固體的污泥式廢棄物：7H：1V ( $\approx 8.1^\circ$ )到6H：1V ( $\approx 9.5^\circ$ )
3. 飛灰沈積物：7H：1V ( $\approx 8.1^\circ$ )到6H：1V ( $\approx 9.5^\circ$ )
4. 砂質廢棄物和飛灰：4H：1V ( $\approx 14.0^\circ$ )到3H：1V ( $\approx 18.4^\circ$ )

上述的邊坡角度亦同樣高於許多國內掩埋場最終覆蓋系統的現況。

美國環保署（USEPA）對掩埋場安全係數之標準均考慮地震力，但依掩埋場崩塌後對生命安全或環境是否產生重大危害程度有不同標準(USEPA,1992)，分析時所採用土壤或垃圾特性等參數之可靠度低者，其標準亦須提高。可靠度高及可靠度低之建議安全係數分別為：1、崩塌後對生命無立即危害者：1.25、1.5以上；2、崩塌後對環境無重大影響者：1.2、1.3以上；3、崩塌後對生命產生立即危害者：1.5、2.0或更高；4、崩塌後對環境產生重大影響者：1.3、1.7或更高。而台北市內湖掩埋場及福德坑掩埋場所採用之安全係數，地震時須大於

1.1，平時大於1.5（陳榮河，1990）。

### 2.1.5 垃圾層邊坡穩定參數求取困難處

一般固體廢棄物的剪力強度特性跟土壤一樣，其強度隨正向應力增加而增大，對於長期穩定分析而言，抗剪強度與單位重參數的選定將決定邊坡的穩定性，因此如何由試驗中求取相關參數並足夠代表整體廢棄物性質將是重要的課題，以下是可能遇到的困難處：

1. 由於廢棄物的高有機質含量，使它的性質不像一般的無機土壤一樣隨著時間而無明顯改變。一般固體廢棄物的固體可以保持不變，但易腐爛的有機質含量確隨時間而減少，將會影響單位重與強度參數的改變。
2. 一般固體廢棄物非常不均勻，因此在某一地點取的試體並不能充分作為其它地區的代表。
3. 以本次的取樣過程為例，廢棄物組成物形狀大小不一，無法將四周修除與取樣盒齊平，造成許多空洞，所得之單位重也較低。
4. 垃圾變形量超過 30%尚未觀察明顯破壞，其應力仍持續上升(Singh and Murphy, 1990; Machado et al., 2002)，因此 Singh and Murphy (1990)推斷用土壤的莫爾-庫倫理論可能不適合用於廢棄物上。
5. 環保署環檢所對廢棄物的採樣標準過度擾動，所得單位重較低，不適用於大地工程上的分析。

## 2.2 廢棄物組成

廢棄物組成將因經濟型態、工業發展、都市化程度、季節以及生活水準等因素而改變。不同型態之國家、城市、區域也會導致廢棄物組成之改變。綜觀以上因素，可歸納出以下幾個影響廢棄物組成之因

素（王鯤生，1995）：

### 1. 民眾態度與政府政策

民眾對於垃圾問題及資源回收之認識與瞭解，進而實際參與廢棄物分類及資源回收工作，將是廢棄物組成改變之重要關鍵。另外經由教育改變民眾自身之生活型態與習慣，減少浪費，有效達到垃圾再利用之目的。透過制定相關執行法令，強制或獎勵資源回收工作，亦是推動資源回收工作之一項重要之執行策略。例如塑膠瓶與玻璃瓶回收押金制度、限制購物用塑膠袋、塑膠類免洗餐具政策及垃圾費隨袋徵收制度等，政策上路以來將不分程度的影響廢棄物之組成。

### 2. 地理位置

地理位置之影響，主要在於氣候之差異，此將影響廢棄物之主要型式與量。例如亞熱帶氣候區，庭院廢棄物(yard and garden waste)的變化性並不明顯，而在乾旱地區庭院廢棄物產生量較高，降雨地區之庭院廢棄物產生量為低。因此氣候對廢棄物之影響極為明顯。溼度為區域性氣候影響的另一主要特性，一般而言，在高降雨地區之垃圾含水量遠高於乾旱區，且通常在乾旱地區的低溼度將影響降低原存在於廢棄物中的水分含量。

### 3. 季節性之變化

廢棄物因來源種類之不同，其排出量受季節之影響變動較大，不同之季節所排出的廢棄物型式及種類亦有所不同，例如廚餘與蔬菜、水果生長之季節有關，而庭院廢棄物的種類，在春天是以草類為主，而秋天則以落葉居多。

### 4. 生活水準與生活習慣

生活水準愈高之地區，物件重覆使用之次數降低，例如塑膠袋和保特瓶，生活水準高之地區這些種東西隨處可得，塑膠袋稍微不清潔即丟棄，較難養成重覆使用的習慣。另外外食人口的增加，亦增加只盒、紙杯與塑膠袋的用量。

影響廢棄物性質之因素，除了前述所提到的種類外，大致上而言還與都市的發展程度有關，社會愈進步，紙類含量愈多，廚餘含量愈少，單位重亦愈低。

圖 2-6 為英國之一般固體廢棄物組成，從 30 年代至今，塑膠類及紙類的比例有增加的趨向，而灰渣塵土類、鐵類及金屬類則是減少，顯示生活水準越高紙及塑膠的需求愈大，資源回收的觀念也愈好。

根據行政院環保署委託逢甲大學所作的採樣分析（環保署，2005），並採用民國 89 年至 93 年間五年之結果（圖 2-7）。塑膠含量 94 年全國平均值為 19.51%，與近三年(91~93 年)之平均值相近(19.72%)，而低於近五年(89~93 年)之平均值(20.45%)，若考量歷年(84~93 年)變動趨勢，本年度塑膠含量亦較近 10 年平均值為低(19.79%)，可見塑膠含量相較於歷年整體變化趨勢而言，呈現降低之趨勢。

紙類含量 94 年全國平均值為 38.82%，較近三年(91~93 年)之平均值為高(34.32%)，且高於近五年(89~93 年)之平均值(31.17%)，若考量歷年(84~93 年)變動趨勢，本年度紙類含量亦較近 10 年平均值為高(31.67%)，整體而言，近十年來紙類含量增加幅度約為 18%，因此，紙類含量相較於歷年整體變化趨勢而言，呈現增加之趨勢。同時紙類含量中以其他紙類(如紙製衛生用品等)居多，約佔總紙類含量之 50%。

金屬類含量 94 年全國平均值為 2.24%，比較近三年(91~93 年)、

近五年(89~93 年)及近十年(84~93 年)之金屬含量平均值，分別為 2.59%、3.0%及 4.21%，本年度金屬類比例均低於歷年平均值，呈現逐年降低之趨勢，由結果顯示，民眾對於金屬類為資源回收物質之普遍認同性較高，且其回收後之金屬具有經濟價值，均是呈現逐年下降之主要原因。

玻璃類含量 94 年全國平均值為 4.25%，比較近三年(91~93 年)、近五年(89~93 年)及近十年(84~93 年)之玻璃含量平均值（分別為 4.69%、5.28%及 5.35%），本年度玻璃類比例均低於歷年平均值，呈現逐年降低之趨勢。考量近三年之平均含量變化幅度，降幅約在 9.4%。廢玻璃容器屬於 100%可回收再利用材質，一般而言，玻璃可分為玻璃容器、平板玻璃、玻璃纖維及特殊玻璃等，其中以玻璃容器為玻璃工業中之最大產量。

廚餘類含量本年度全國平均值為 26.40%，相較於近三年(91~93 年)、近五年(89~93 年)及近十年(84~93 年)之廚餘含量平均值(分別為 25.03%、26.03%及 23.21%)，本年度廚餘類比例稍高於歷年平均值，以過去三年平均值為比較基準，廚餘比例增加之幅度僅約為 5.2%。台灣地區之廚餘含量受到居民之飲食、烹調及料理習慣影響外，居民之生活型態、外食人口數、季節農產品之消費多寡、地域性及資源回收政策等因素，均是影響廚餘含量變化之重要關鍵。

皮革橡膠類含量本年度全國平均值為 0.77%，在垃圾中所佔比例並不高，且易受到廢棄物採樣之不均質性之影響。比較近三年(91~93 年)、近五年(89~93 年)及近十年(84~93 年)之皮革橡膠含量平均值，本年度分析結果與歷年平均值差異不大，平均範圍介於 0.67%~0.84%。近年來廢輪胎回收體系之建立與落實，都市垃圾中已

不復見輪胎等橡膠製品，反倒是橡皮筋及日常生活中部份橡膠製品大量使用。

纖維布類本年度全國平均含量為 3.17%，相較於近三年(91~93年)、近五年(89~93年)及近十年(84~93年)之平均含量(分別為 3.72%、4.40%及 4.96%)，本年度纖維布類比例均低於歷年平均值，呈現逐年降低之趨勢，就比較過去三年平均含量，本年度纖維布類比例降低之幅度約在 14.8%。由於一般家庭中纖維布類主要來源為家庭丟棄之舊衣物等，而這些舊衣物一般皆具有回收之價值，因此垃圾中纖維布類含量比例甚少。

木竹落葉類本年度全國平均含量為 2.48%，比較近三年(91~93年)、近五年(89~93年)及近十年(84~93年)之平均含量可知，本年度木竹落葉類比例均低於歷年平均值，呈現逐年降低之趨勢。就比較過去三年平均含量，本年度木竹落葉類比例降低之幅度約達 27.1%。台灣地區之木竹落葉類含量主要是受到社區或家庭之庭園、都市環境中之公園綠地、道路旁之行道樹等之落葉剪枝含量多寡之影響，與季節性應有明顯之影響，此外，環保署已將「廢樹枝」列為巨大垃圾回收再利用項目之一，未來木竹落葉之種類變化，將主要受到外食人口增加所衍生之免洗木筷影響。

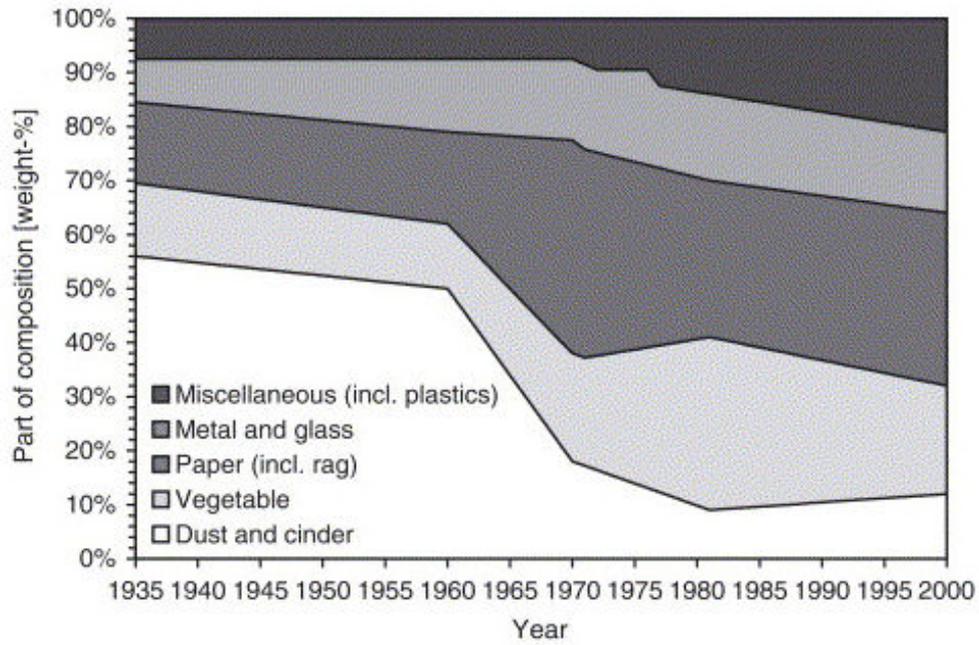


圖 2-6 英國一般固體廢棄物組成(Watts et al., 2002)

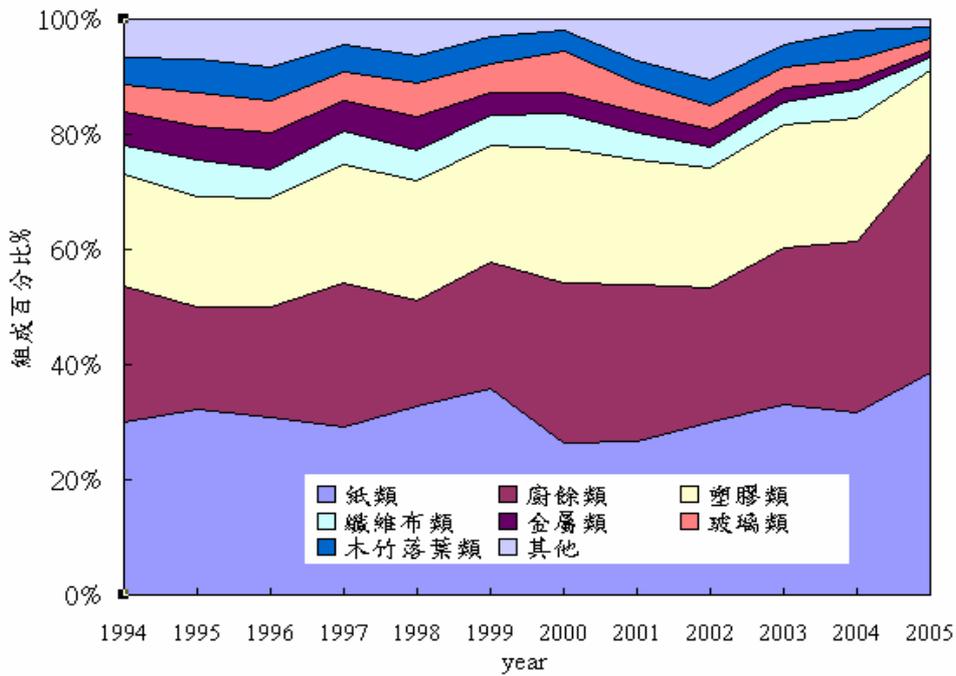


圖 2-7 台灣一般固體廢棄物組成(環保署，2005)

## 2.3 廢棄物工程性質

### 2.3.1 廢棄物單位重

由於廢棄物是由各種物質組成，各地方的生活習慣、各年代所產生的垃圾及測量的方法不同，故一般廢棄物的單位重變化很大，也沒有一定的值。想要正確的計算廢棄物的單位重困難處在於(Fassett et al., 1994)：

- (1) 掩埋的廢棄物組成成份不一致；
- (2) 想要得到足夠代表現場條件的試體很困難；
- (3) 廢棄物成份不穩定的特點使得取樣和試驗都很困難；
- (4) 廢棄物的性質隨時間而改變。

一般固體廢棄物的單位重可以透過多種方法量測，室外試驗方面如大尺寸盒量測、試坑量測、 $\gamma$ 射線量測、垃圾垂直方向應力量測及計算掩埋場的體積及進場的垃圾重量計算求得等方法；室內試驗如有用重膜的大或小試體計算、分別計算垃圾成份的單位重以及百分比加權求得。

廢棄物之單位重會因組成比例不同而改變，而含水比亦影響廢棄物之組成比例，如表 2-1 所示，含水比較高者如廚餘類及庭園廢棄物等，含水比介於 50%~80%及 30%~80%，其含水比愈高之物質將使廢棄物單位重愈重；而廢棄物高單位重組成物質愈高如玻璃、砂土及金屬類愈高者，其整體廢棄物單位重愈高。

由國內外學者曾經由各種方法求的的單位重值如表 2-2 可知，重模後夯實的單位重依夯實的程度約在 3.92~8.83 kN/m<sup>3</sup> 間，可以相差在 4.91 kN/m<sup>3</sup> 以上，大致上不超過 9.81 kN/m<sup>3</sup>；現場量測的值大約在

4.91~6.87 kN/m<sup>3</sup>，依覆土與垃圾的比例不同最大可達到 9.81 kN/m<sup>3</sup> 以上；而年代較久之垃圾層經生物分解及壓密沉陷後也可達到 9.81 kN/m<sup>3</sup> 以上，由此可知單位重的變化大是因為倒入的垃圾成份不同、含水量不同、壓實程度不同以及每天的覆土量不同等原因造成。行政院環保署委託逢甲大學所作的採樣分析得知（環保署，2005），89 年到 93 年度之單位容積重全國平均值約為 1.60±0.05 kN/m<sup>3</sup>（圖 2-8）；表 2-3 為各國文獻建議的廢棄物單位重值，其值皆在 4.91 kN/m<sup>3</sup> 以上，遠大於環保署近年調查的一般廢棄物平均單位重。以環保署規範為實驗方法，採樣過程因四分法後採集到較多之輕物質（如塑膠、紙類等），其單位重將可能偏向低值，而若廚餘或不燃物比例較高，單位重則可能偏高，這是環檢所的試驗標準所取得的數據，並不適合大地工程分析使用。

Kavanzanjian et al. (1995)等整理相關文獻，並將結果歸納成單位重深度曲線如圖 2-9 中的實線，而 Fassett et al. (1994)等也將結果顯示

表2-1 廢棄物組成成份單位重含水比(Tchobanoglous et. al., 1977)

廢棄物組成	未夯實單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	含水比 (%)	夯實程度	
			正常夯實 (kN/m <sup>3</sup> )	最佳夯實 (kN/m <sup>3</sup> )
廚餘	1.3-4.7	50-80	2.9	3.0
紙類	0.3-1.3	4-10	4.5	6.2
塑膠類	0.3-1.3	1-4	6.7	10.0
纖維布類	0.3-0.9	6-15	5.6	6.7
皮革橡膠類	0.9-2.5	1-12	3.3	3.3
庭園廢棄物	0.6-2.2	30-80	4.0	5.0
木竹類	1.3-3.1	15-40	3.3	3.3
玻璃類	1.6-4.7	1-4	1.7	2.5
金屬類	0.5-11.0	2-6	4.3	5.3
塵土及磚	3.1-9.4	6-12	1.2	1.3

於圖中之虛線，結果顯示表面的廢棄物單位重範圍相當大，約在 3.5~6.5 kN/m<sup>3</sup> 之間，其極限值約為 3.0 kN/m<sup>3</sup>，約在深度 30 m 時，單位重開始成曲線增加，50 m 後約為定值 12.5 kN/m<sup>3</sup>，常見之廢棄物平均單位重約為 8.5~10.0 kN/m<sup>3</sup>。

表 2-2 廢棄物單位重 (陳榮河, 1990; Sharma, 1990)

文獻來源	單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	備註
台大環工所 (1985)	2.55 5.89	不夯實 掩埋夯實後
Bromswell(1978)	3.14 6.28 8.63	夯實不良 夯實良好 最佳夯實
Dvinoff & Munion(1986)	7.06~9.42 (飽合)	15 年後取樣
Merz & Stone (1962)	2.35~2.65 4.91 5.59 4.12 3.14	不夯實 標準夯實，含水量 43.5% 最佳夯實，含水量 80.0% 輾壓機標準夯實，不加水 夯實不良，含水量 51.9%
Sargunan et al(1986)	5.40~6.77	現場單位重，含水 30~48%
Suhumaker(1972)	2.94 4.61~5.79 8.73	夯實不良 夯實良好 最佳夯實
日本(1974、1977)	9.12	日本實際量測
Sower(1986)	4.41~9.42	壓實程度不同
Landva 及 Clark (1986)	8.83~13.24	垃圾和覆土之比為 10:1 至 2:1
ASWMA(1985)	6.67~7.46 9.81~10.89	剛填埋時 發生分解沉降以後
NAVFAC(1983)	3.14 6.18 9.61 8.63	未粉碎，輕微壓實 未粉碎，中度壓實 未粉碎，緊密壓實 粉碎
EMCOM(1989)	7.16	垃圾和覆土之比為 6:1

表 2-3 各國廢棄物單位重 (Dixon and Jones, 2004)

國家	單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	備註	文獻
英國	5.98	使用 21 噸的夯鏈，離地 2 m	Watts and Charles (1990)
	8.04	使用 21 噸的夯鏈，離地 0.6 m	
比利時	5.00~10.01	不同的夯實程度	Manassero et al. (1996)
法國	6.97	地表的新鮮一般廢棄物	Gourc et al. (2001)
美國	5.98~6.97	新掩埋的一般廢棄物	Kavazanjian (2001)
	14.03~20.01	高度降解	

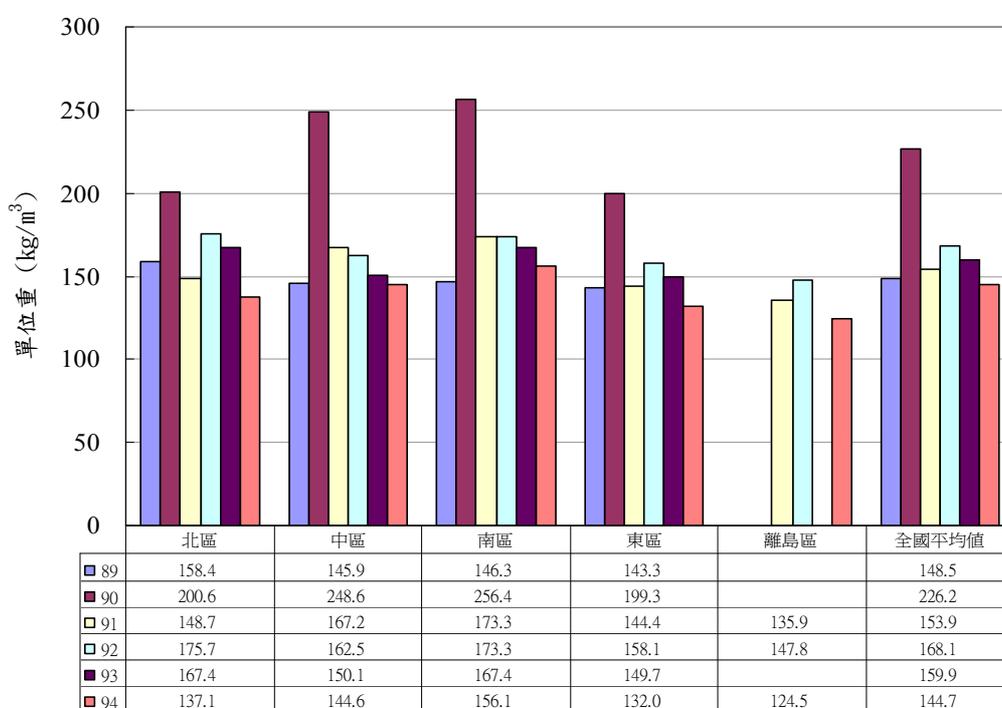


圖 2-8 歷年單位容積重之變化 (環保署, 2005)

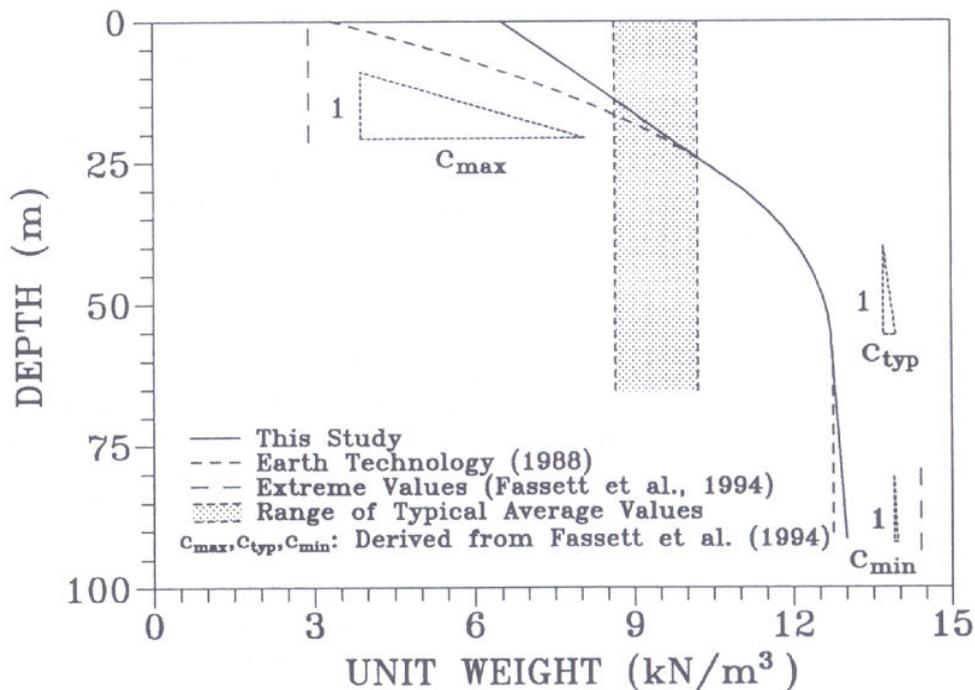


圖 2-9 固體掩埋物單位重深度曲線(Kavazanjian et al., 1995)

### 2.3.2 廢棄物剪力強度

相較於一般土壤材料，固體廢棄物成份複雜、形狀差異極大，以及長期掩埋後物理及化學變化的影響，強度將隨時間而變化，因此甚難取得具代表性之試體進行試驗。

估算廢棄物的強度參數一般利用室內大型直剪試驗(Landva and Clark, 1990)、現地大型直剪試驗、三軸試驗(Singh and Murphy, 1990)、反算分析(Singh and Murphy, 1990)等方法推估。

表2-4、表2-5為國外一些學者以上述方法求得之剪力強度值。Landva and Clark (1990)將不同時間同一地點及粉碎後的廢棄物進行室內大型直剪試驗，結果顯示其內摩擦角約在 $24^{\circ}$ ~ $42^{\circ}$ 之間，這些材料也存在0~23 kPa的內聚力。游中揚(1998)整理前人數據後指出，國外於掩埋場現地以標準貫入試驗及現場載重破壞性試驗等試驗結果顯示，垃圾之摩擦角( $\phi$ )與凝聚力( $c$ )大致呈反比關係，其摩擦角約在 $12^{\circ}$ ~ $26^{\circ}$ 之間，凝聚力約在44.1~1.9 kPa間。

Singh and Murphy (1990)根據室內及現場試驗以及通過反算得到的強度資料，分別以 $c$ 及 $\phi$ 值為縱軸及橫軸繪於圖2-10中，發現垃圾強度在本質上的極大差異性，但仍歸納出此值的範圍大致分布在圖中的陰影區內。

Kavazajian et al. (1995)依依據平鈹載重試驗反算分析、實驗室與現地大型直剪試驗，配合已知穩定之現地掩埋場反算分析結果，提出了一條折線形的強度包絡線，如圖2-11所示，當正向應力低於30.0 kPa時，取內聚力為24.0 kPa，摩擦角為 $0^\circ$ ；當正向應力大於30.0 kPa時則取內聚力為0 kPa，摩擦角 $33^\circ$ 。

Eid et al. (2000)則綜合大型直剪結果及已發生破壞之現地掩埋場反算分析結果，建議固體廢棄物之強度可取內聚力25.0 kPa及摩擦角 $35^\circ$ ，如圖2-12所示。然而Kavazajian et al. (2001)針對Eid et al. (2000)所收集的強度資料特別指出，當正向應力超過150.0 kPa後，摩擦角有明顯降低的現象，因此固體的廢棄物不適合以單一線性來描述。

Mitchell and Mitchell (1992)觀察到，當掩埋場挖一直立壁面的深溝，其溝仍然能保持長期的穩定，雖然此時的內聚力有可能是廢棄物顆粒的交疊互鎖作用造成，顯示廢棄物的“內聚力”是一個重要的特性不可忽略。

現地邊坡試驗載重結果顯示，當垃圾邊坡已產生大變型之情況下，仍未有明顯破壞現象；進行廢棄物三軸試驗顯示，當垃圾變形量超過30%尚未觀察明顯破壞，其應力仍持續上升(Singh and Murphy, 1990; Machado et al., 2002)，因此Singh and Murphy (1990)推斷用土壤的莫爾-庫倫理論可能不適合用於廢棄物上。

表 2-4 廢棄物剪力強度值(Sadek and Manasseh, 2005)

剪力強度參數		文獻來源	剪力強度參數		文獻來源
c(kPa)	$\phi$ (°)		c(kPa)	$\phi$ (°)	
<b>Direct Shear (LAB)</b>			<b>Back analysis</b>		
19	42	Landva & Clark (1986)	29	22	Pagotto & Rimoldi(1987)
19	38		78	1	Singh & Murphy(1990)
10	33.6		80	8.5	
16	33	Landva & Clark (1990)	60	15	Singh & Murphy(1990)
19	39		57	3	
22	24		40	13	
35	0	Singh & Murphy (1990)	0	35	
70	20		0	38	
65	3		35	14	
0	38		20	20	
0	42		18	20	
15	31		27	19.5	
0	39	Singh & Murphy (1990)	<b>Misc.</b>		
0	53	(1990)	0	35	Martin & Genthe(1993)
0	41	Golder Assoc. (1993)	10	25	Cowland(1993)
5	40	Del Greco & Oggeri (1993)	10	17	Jessberger et al. (1994)
40	39		15	35	Singh & Murphy(1990)
5	20		23.5	20	
24	22		0	35	
10	25		6	23	Kolsh et al.(1993)
70	20	8	30		
23.5	22	11	32		
7	42	Jessberger et al.(1994)	10	23	Fasset et al. (1994)
28	26.5		10	32	
27.5	20	Gabr & Valero (1995)	7	38	Jessberger et al.(1994)
0	39		0	30	
10.5	31	Jones et al.(1997)	0	40	
50	35	Pelkey(1997)	15	15	Kolsh (1995)
0	26		18	22	
43	31	Kavazanjian et al(1999)	5	25	Jones et al.(1997)
24	18	Mazzucato et al.(1999)	0-50	35	Eid et al.(2000)
<b>Field testing</b>			<b>Triaxial tests(LAB)</b>		
80	1	Singh & Murphy(1990)			Gabr & Valero(1995) ( $c_u, \phi_u$ )
100	1		100	0	
10	18	Richardson & Reynolds (1991)	40	0	(c', $\phi'$ )
10	43		16.8	34	
10	30	Whitiam et al.(1995)			
22	18.2	Thomas et al.(2003)			

表 2-5 廢棄物剪力強度值

文獻來源	摩擦角 $\phi$ ( $^{\circ}$ )	內聚力 $c$ (kPa)	備註
Fang et al.(1977)	15 $^{\circ}$ ~25 $^{\circ}$	70.6	室內進行夯實垃圾之強度試驗
Oweis et al.(1985)	20 $^{\circ}$	19.6~24.5	由現地推算 (垃圾在軟弱至中等軟弱之黏土層)
STS(1985)	30 $^{\circ}$ ~35 $^{\circ}$	9.8~24.5	由壓力計試驗
Dvinoff and Munion(1986)	不排水剪力強度 $C_u=38.3$ kPa		由一破壞實例推算
三宅宏文 (1981)	32.2 $^{\circ}$	44.1	日本實際量測之資料
陳榮河 (2002)	摩擦角 $\phi$ 與內聚力 $c$ 相對關係式 $c$ (kPa) = $[-2.3\phi+81] \pm 17$		彙整國內外文獻
游中揚 (1998)	12 $^{\circ}$ ~26 $^{\circ}$	44.1~1.962	彙整國內外文獻
鄭介眉 (2004)	38.9 $^{\circ}$	10.3	依現地採樣資料分析

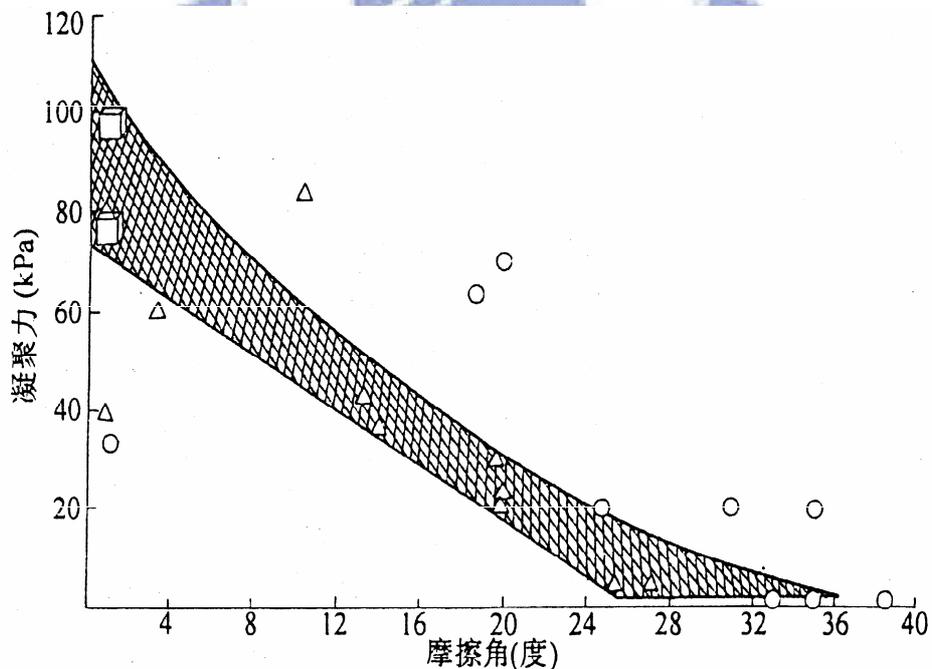


圖 2-10 一般固體廢棄物強度歸納 (Singh and Murphy, 1990)

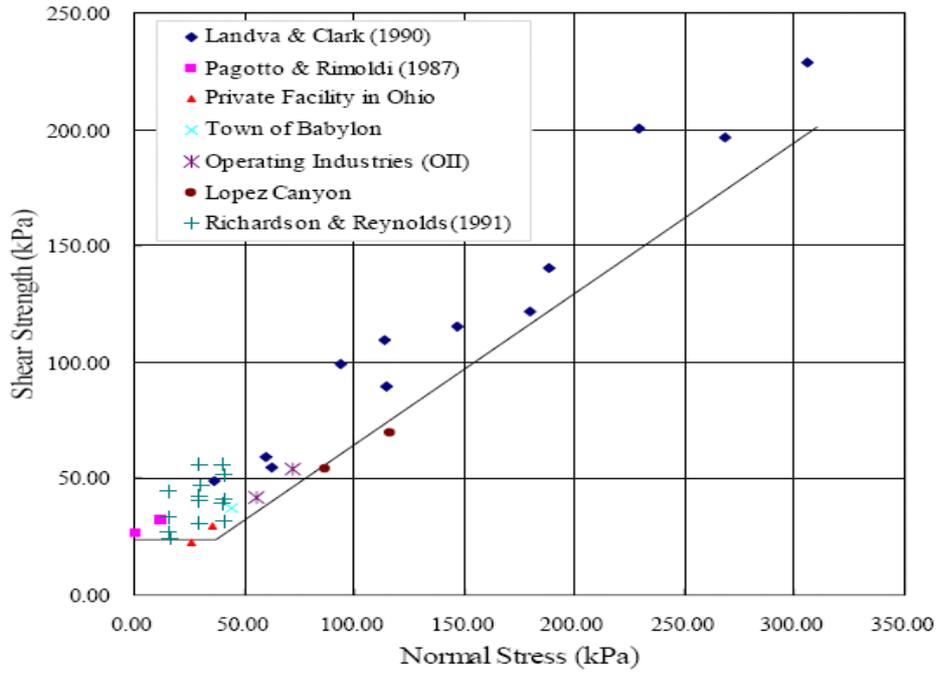


圖 2-11 固體廢棄物之剪力強度 (Kavazanjian et al., 1995)

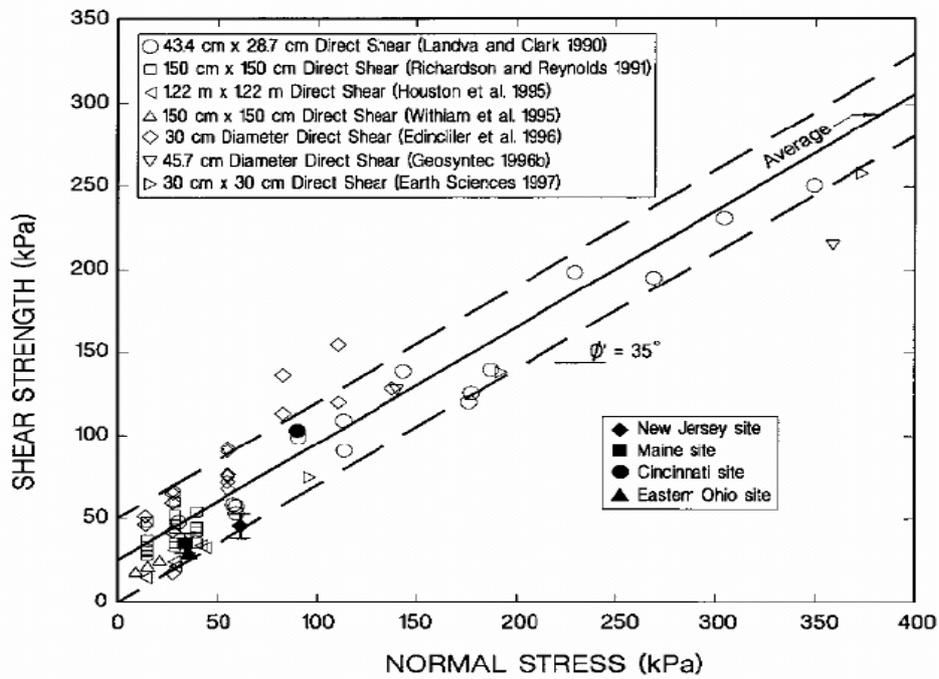


圖 2-12 固體廢棄物之剪力強度 (Eid et al., 2000)

### 2.3.3 土工合成材界面剪力強度

土工膜布通常用來分隔廢棄物與地下水，防止潛在的地下水污染，具有施工迅速、不須嚴格控制含水量及夯實度、不易因伸縮產生裂縫等優點，在現代掩埋場中已大量使用，不只要了解它們的受力情形，它們與覆土間的界面作用力，在台灣的山坡地掩埋場更是重要的技術指標，因此土工止水系統的介面參數選用是非常關鍵的，通常台灣是以光滑的高密度聚乙烯（Smooth HDPE）為阻水襯砌。

土工膜布與土壤介面剪力強度參數隨著土工膜布表面處理方式不同而差異極大，對具平滑表面之土工膜布(Smooth geomembrane)，其典型靜態摩擦角約為  $8^\circ$ ，而織物類(Textured)土工膜布其典型靜態摩擦角可達到  $25^\circ$ 。

在阻水系統中存在著可能的兩個滑動面，分別為現地土壤與土工膜布以及覆土與土工膜布如圖 2-13 所示，至於如土工膜布等土工合成材之張力  $T$  則依圖 2-14 所示，由上下二介面剪力大小決定，只有邊坡角度  $\alpha$  小於各介面間的摩擦角，所有的土工合成材構件都不會產生張力，且邊坡穩定之安全係數都大於一，但只要在上介面剪力大於下介面剪力時，土工合成材構件就會產生張力，邊坡愈長則邊坡上鋪設之土工合成材料（包括土工膜布）所受張力愈大，故邊坡長度應予以限制。

表 2-6 舉出曾經以標準之檢驗方法（ASTM D5321）土壤與 Sm HDPE 求出界面強度之參數值，其與土壤種類、是否排水、正向應力與剪動速率有關，在同樣飽和、正向應力為 5~25 kPa 及剪動速率 0.3 mm/min 下，平滑 HDPE 與砂土的  $c$  及  $\phi$  值略小於黏土，黏土約為 1 kPa、 $25^\circ$ ，砂土在 0.6~0.7 kPa、 $19^\circ$ ~ $27^\circ$  間。

Martin et al. (1984)研究發現，土與土工膜布之間的摩擦角總是低於土與土之間的摩擦角，土工膜布越光滑堅硬，它與土之間的摩擦角就越小(如 HDPE)。

表 2-6 土工膜布與土壤介面剪力強度 (劉家男，2004)

Geosynthetics	Soil	Test Condition	$\sigma_n$ (kPa)	Shear Rate (mm/min)	$\phi_p$	$c_p$ (kpa)	Reference
Sm HDPE	Sand	Hydrated	20-60	0.0025-0.25	26-28	0	Koutsourais et al.(1991)
Sm HDPE	Sand	Saturated	14-100	0.127	17-18	0	Martin et al.(1984)
Sm HDPE	Sand	Saturated	5-25	0.3	19-27	0.6-0.7	Williams and Houlihan(1987)
Sm HDPE	Sapolite	Saturated	5-25	0.3	21	0.4	Williams and Houlihan(1987)
Sm HDPE	Clay	Saturated	5-25	0.3	25	1	Williams and Houlihan(1987)
Sm HDPE	Sand	Drain	-	-	18	0	Mitchell et al.(1992)
Sm HDPE	Clay	Compacted	-	-	15	-	Mitchell et al.(1992)

Mitchell et al. (1992)指出界面摩擦角不但受材質本身，接觸面性質、土壤的含水比都有一定程度的影響。Williams and Houlihan (1987)研究在不同種類的土壤及各種濕潤度下，土壤與土工膜布的摩擦角範圍約在 17°~27°間，而土壤與織物類之摩擦角可到達 30°。

Mithell and Mithell (1992)進行各種界面之直接剪力試驗及拉出試驗，試驗結果顯示界面之尖峰摩擦角一般高於殘餘摩擦角約 1~2°，而達到尖峰剪力強度之應變值一般僅為 3~4%，故考量在施工及垃圾掩埋期間，界面之應變量應已超過此值，建議在穩定分析及設計中，界面剪力強度皆採殘餘值。

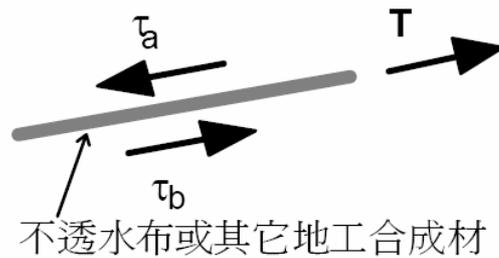
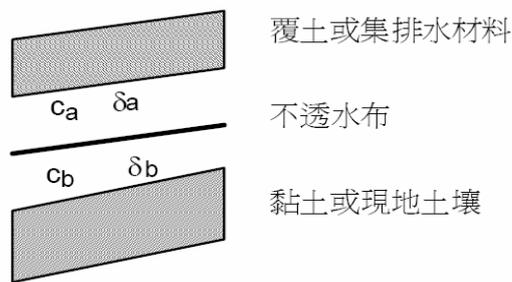


圖 2-13 土工膜布之界面強度參數 (單信瑜, 1999)

圖 2-14 土工膜布張力與界面剪應力圖 (單信瑜, 1999)

## 2.4 廢棄物承載力

在對土地資源有限的台灣，於土地的高度利用之要求下，掩埋場有愈往上堆的趨勢，日後封閉後常會興建建築物（如公園、停車場、活動中心、會議中心、購物中心等），對於場址的承載力不能忽視。

Singh et al. (1990)將掩埋場分為兩類：高度低於 60 m、坡度比 3H：1V、場址底部土壤不排水剪力強度大於 192 kPa 者，傳統土壤邊坡穩定分析可應用於此；但是對於高於 68m，坡度較陡（1.5~2H：1V），及位於軟弱土壤（ $s_u$  小於 96 kPa）上方者，除了傳統的邊坡穩定分析外，還要包括承載力分析。

推算承載力可用圓錐貫入試驗或平板載重試驗求取，不過安全容許應力由沉陷量決定。Schumaker (1972)建議容許承載力約在 24.5~39.2 kPa；Sargunan et al. (1986)根據 Meyerhof (1956)之建議取承載力  $q_a = q_c / 40$ （ $q_c$  係由靜態錐式貫入試驗而得），並得承載力為 29.4~39.2 kPa。

許多學者已針對各類土壤提出其預估之地盤反力係數範圍，近年來在國內則有謝旭昇及程日昇（1996）提出一組地盤反力係數建議值，如表 2-7 所示，並認為地盤反力係數值基本上和 SPT-N 值有一正

比關係。

表 2-7 地盤反力係數範圍

(謝旭昇及程日昇，1997)

土壤種類	$K_v$ 之範圍 ( $t/m^3$ )
粘性土壤：	
極軟	< 500
軟弱	500 ~ 1000
中等堅實	1000 ~ 2000
堅實	2000 ~ 4000
極堅實	4000 ~ 8000
堅硬	> 8000
砂質土壤：	
極疏鬆	< 800
疏鬆	800 ~ 2000
等堅密	2000 ~ 6000
緊密	6000 ~ 8000
極緊密	> 8000
承載層	8000 ~ 10000

## 2.5 CLARA-W 程式之邊坡穩定分析方法

一般常用之邊坡靜態穩定分析方法，常用者多以極限平衡法概念所衍生之方法，此次將以三維的穩定分析方法來分析之，其理論基礎大致與二維的假設相同。

CLARA-W 是視窗板的三維邊坡穩定分析軟體。本程式可選擇四種常用的邊坡穩定分法：Bishop 簡化法、Janbu 法、Spencer 法及 Morgenstern-Price 法，以下就上列四種方法介紹其原理，並將各切片法特點列於表 2-8 中：

表 2-8 各種切片方法之比較 (施國欽, 2001)

分析種類	切片側力之考慮	切片力平衡	適用性
Simplified Bishop	作用力為水平向 不考慮剪力	$\Sigma F_y=0$	圓弧形破壞
Spencer	側力互相平行	$\Sigma F_y=0$ $\Sigma F_x=0$ $\Sigma M=0$	圓弧形破壞 非圓弧形破壞
Morgenstern-Price	剪力、正向力及壓力 均考慮	$\Sigma F_y=0$ $\Sigma F_x=0$ $\Sigma M=0$	圓弧形破壞 非圓弧形破壞
Janbu	$T$ 、 $E$ 均考慮，簡化分析 時，先不考慮側力，最 後依經驗乘以修正係數	$\Sigma F_y=0$ $\Sigma F_x=0$ $\Sigma M=0$	圓弧形破壞 非圓弧形破壞

### (1) Bishop 簡化法

Bishop (1955) 提出了兩個假設：(a) 在平衡方程式中，每個切片作用在縱向及橫向的垂直剪應力可以被忽略；(b) 每個切片垂直力和整體的力矩平衡方程式有充足的條件去解未知數。此兩個假設使得分析時較為簡化，方便應用。由 Bishop (1955) 提出安全係數為 (圖 2-15)：

$$W = N_z + S_z = N \cos \gamma_z + \left[ \frac{(N - uA) \tan \phi}{F} + \frac{cA}{F} \right] \sin \alpha_y \quad (2-1)$$

式中  $W$  為切片的總重， $u$  為孔隙水壓， $A$  為底面積， $c$  為凝聚力為摩擦角， $F$  為安全係數。整理得：

$$N = \frac{W - cA \sin \alpha_y / F + uA \tan \phi \sin \alpha_y / F}{m_\alpha} \quad (2-2)$$

其中

$$m_\alpha = \cos \gamma_z \left( 1 + \frac{\sin \alpha_y \tan \phi}{F \cos \gamma_z} \right) \quad (2-3)$$

Hovland (1977) 導出切片的底面積  $A$  為：

$$A = \Delta x \Delta y \frac{(1 - \sin^2 \alpha_x \sin^2 \alpha_y)^{1/2}}{\cos \alpha_x \cos \alpha_y} \quad (2-4)$$

$\gamma_z$  為正向力  $N$  與垂直線的夾角

$$\cos \gamma_z = \left( \frac{1}{\tan^2 \alpha_y + \tan^2 \alpha_x + 1} \right)^{1/2} \quad (2-5)$$

力矩平衡方程式。

$$\sum_{i=1}^j (N - uA) \frac{\tan \phi}{F} + \frac{cA}{F} = \sum_{i=1}^j W \sin \alpha_y \quad (2-6)$$

$$F = \sum_{i=1}^j [(W - uA \cos \gamma_z) \tan \phi + cA \cos \gamma_z] / m_\alpha \times \left( \sum_{i=1}^j W \sin \alpha_y \right)^{-1} \quad (2-7)$$

將式 2-1、式 2-3 至式 2-6 代入式 2-7 即可得 Bishop 簡化法分析之公式，因式中等號兩邊都含安全係數 ( $FS$ ) 值，故須採用試誤法計算。

如圖 2-15 當  $\alpha_x=0$  時 (圓柱破壞面)，式 2-7 將是二維的 Bishop 簡化法，二維及三維進行同一案例分析比較，三維分析方法較二維為小。

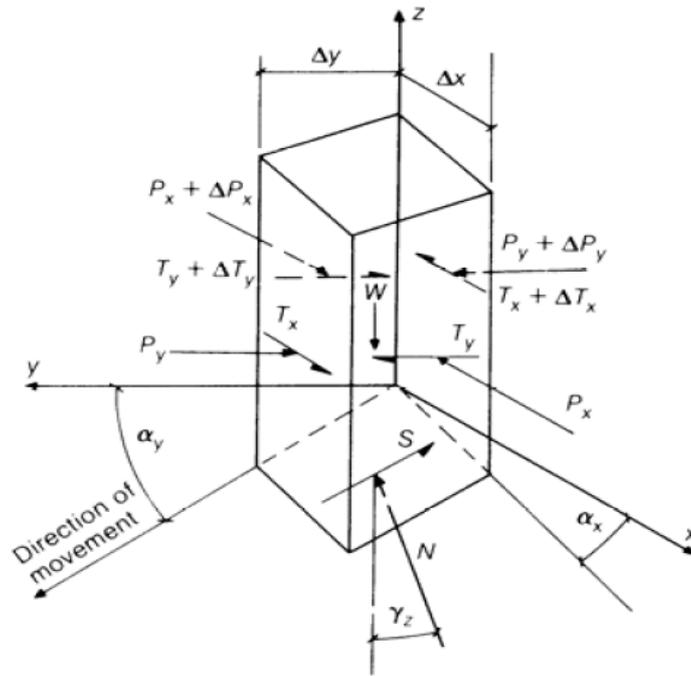


圖 2-15 單一切片自由體圖

(2) Janbu 法

可處理較複雜之土層情況，切片之各作用力如圖 2-16 所示，而安全係數為：

$$F = \frac{\sum [cA \cos \alpha_y + (N - uA) \tan \phi \cos \alpha_y]}{\sum N \cos \gamma_z \tan \alpha_y + \sum kW + E} \quad (2-8)$$

(3) Morgenstern-Price 法與 Spencer 法

Morgenstern and Price (1965) 定義，切片在 Y 軸方向的垂直剪應力  $X_y$  與正應力  $E_y$  為一個函數的關係 (圖 2-16)：

$$X_y = \lambda f(x) E_y \quad (2-9)$$

其中  $\lambda$  為常數， $f(x)$  為切片間作用力的函數值。當  $f(x)$  等於一常數時為 Spencer 法；當  $f(x)$  等於一半正弦函數時則為 Morgenstern-Price 法。

其分析步驟為：

- (1) 假設  $\lambda$  值；
- (2) 計算每一切片之水平加速度值；
- (3) 計算正應力  $E_y$  值；
- (4) 計算剪應力  $X_y$  值；
- (5) 以 Bishop Simplified 法反覆求解，增加  $X_y$  求得切片重；
- (6) 改變  $\lambda$  值，直到水平力平衡。

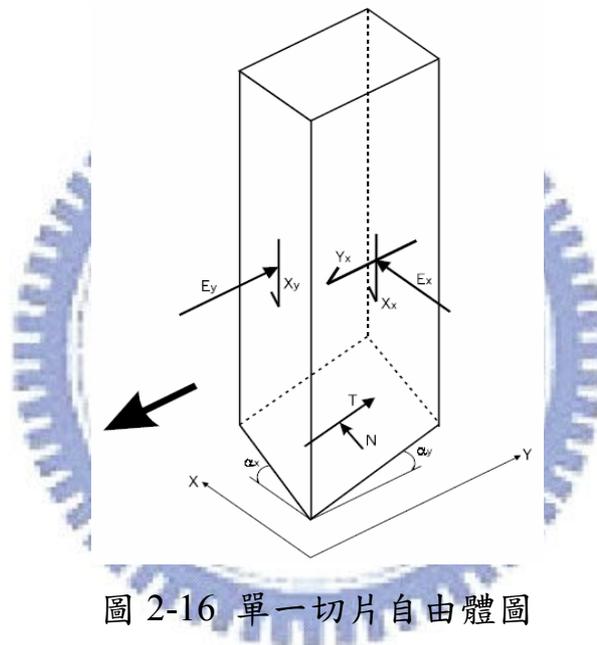


圖 2-16 單一切片自由體圖

## 2.6 常見之邊坡穩定分析程式

前述各項理論皆需大量計算過程，無法用手算分析須以電腦輔助分析，由於分析方法本身的多樣性使得同一分析方法尚可能衍生數個不同的電算程式，故一般使用的邊坡穩定分析程式非常多，以下將介紹其中較著名且廣泛使用的極限平衡法程式與主要功能說明：

1、STEDwin：

- a.功能強大的邊坡穩定前後處理程式，可搭配 STABL4、4M、5、5M、6H、GSTABL、PASTABLE 等分析 2D 之邊坡穩定問題。
- b.可考慮加勁材料 (with 6H、GASTABL、PASTABLE)。
- c.可考慮樁、張力裂縫。(with GSTABL6)
- d.7 種分析模式。(with STABL5M)
- e.可即時檢視邊坡剖面之建立。
- f.可將分析結果圖示輸出成 CAD 圖檔。

## 2、STABLPRO for Windows

- a.以 STABL 4/4M 為基礎所發展出之 Window 版邊坡穩定分析程式。
- b.本程式特點乃將原先 STABL4/4M 以指令方式輸入法改為對話交談式視窗顯示法，可在視窗上直接鍵入資料並立即顯示修改內容。
- c.1999 年 7 月加入 STABL6M 為計算核心，且增加剖面即時檢測功能。

## 3、TALREN 97：

- a.工程應用可分析自然邊坡、土壩、堤岸及挖填邊坡於平時及地震之極限平衡安全穩定問題。
- b.可考慮之擋土結構型態：地錨、土（岩）釘、基樁或微形樁、壓力支撐構材、土工合成（或金屬）加勁材。
- c.可分析圓弧及平面型滑動模式之安全係數。
- d.土（岩）釘、微形樁（或基樁）之破壞模式可為：抗拉、抗剪及抗彎。
- e.多種邊坡幾何設計、水位面設定方式。
- f.土壤及結構桿件之力學性質可考慮以部份安全係數（Partial safety factor）予以折減
- g.可考慮不同擋土結構型態同時作用之安全穩定分析

- h.可於水位面設定後考慮額外之水壓力作用
- i.可考慮外加均佈載重、集中載重及彎矩於邊坡安全穩定係數之計算，其中集中載重可考慮作用面的寬度及分佈角度

### 3、CLARA：

- a.提供三種方法，產生一般式軸對稱之幾何形狀網格
- b.交談式螢幕具自動編輯及檢核功能
- c.不當滑動面及條件之警示功能
- d.三種材料模型：(a)Coulomb 等向性材料(b)Coulomb 不等向性材料  
(c)Hoek & Brown 非線性材料
- e.節理面或弱面兩側可具有不同強度及水力條件
- f.水壓輸入方式：(a)孔隙水壓比  $r_u$ (b)直接輸入壓力水頭
- g.滑動面形狀：(a)橢圓面(b)球面(c)柱狀(d)複合形(e)多面楔形(f)非旋轉滑動面
- h.可自三維輸入資料中進行二維分析
- i.可考慮：外加點荷重、張力裂縫、水平地震加速度
- j.可選擇由螢幕、繪圖機、印表機輸出縱、橫剖面、三維及柵欄圖，其中三維之圖形可旋轉，並可以標準 Auto Cad 圖檔儲存
- k.五種解題模式：(a)單一滑動面分析 (b)臨界滑動面分析(單一網格)  
(c)臨界滑動面分析(任意) (d)多平面楔形滑動分析 (e)任意形狀滑動面分析
- l.錯誤訊息說明

### 4、SLOPE for Windows

- a.土層部份可考慮(a)多層 (b)部份飽和 (c)不連續分佈以及 (d)乾或濕之張裂縫。
- b.滑動面之形狀包括：(a)自訂圓心、半徑或滑動面 (b)複合形狀 (c)

折線。

- c. 孔隙水壓條件輸入包括：(a) 孔隙水壓係數 (b) 水位線 (c) 孔隙水壓等值線 (d) SEEP/W 計算值。
- d. 材料模型包括：(a) 莫耳-庫倫模型 (b) 雙直線應力應變關係 (c) 不飽和土壤強度 (d) 非等向性強度 (c) 曲線應力應變關係。
- e. 外載重型式：(a) 回填超載 (b) 集中荷重 (c) 錨碇力 (d) 加勁力 (e) 振動及地震力。
- f. 繪圖功能：(a) 採用類似 CAD 交叉之功能繪出邊坡穩定之剖面及著色，並顯示各切片之作用力 (b) 可能滑動面彎矩旋轉中心之 FS. 等值線。
- g. 應用範圍：(a) 自然土/石坡 (b) 斜坡開挖 (c) 土堤 (d) 錨碇擋土結構之邊坡穩定問題
- h. 可能性分析：不需侷限於機率分析的正規分布參數。每個參數現下能有它自己的分發。
- i. 敏感性分析：由參數的選取變化了解安全係數變化的敏感度。
- j. 可自動定位張力裂縫深度。

上述每一個程式的發展均有其特定的需求、限制及過程，因此在功能上也有所不同，大致上程式發展愈晚，其功能上就愈趨完整。

## 2.7 邊坡穩定之三向度效應

傳統的邊坡穩定分析通常是以二維空間為考量，例如對一個寬度遠大於縱向長度的土堤或邊坡而言，此假設將可被允許，然而，對某些問題，這種分析方式將不甚合適。例如，在橫向的地表或地形有顯著的差異時，三向度效應始有其重要性。

現實世界中邊坡滑動破壞均是以三向度呈現，過去許多研究顯

示，在許多情況下，三向度效應通常可以提升二度空間分析的結果，有助於分析穩定性的增加，亦即傳統的二度空間分析結果是保守的。然而在某些特殊情形下卻得相反結果，使得二度空間分析趨於不保守，張睦雄（2002）曾經以三維分析探討滑動面幾何形狀可能造成之三向度效應（ $E_3$ ），以及對邊坡的穩定性之影響。其中，定義三向度效應：

$$E_3 = (F_3 - F_2) / F_2$$

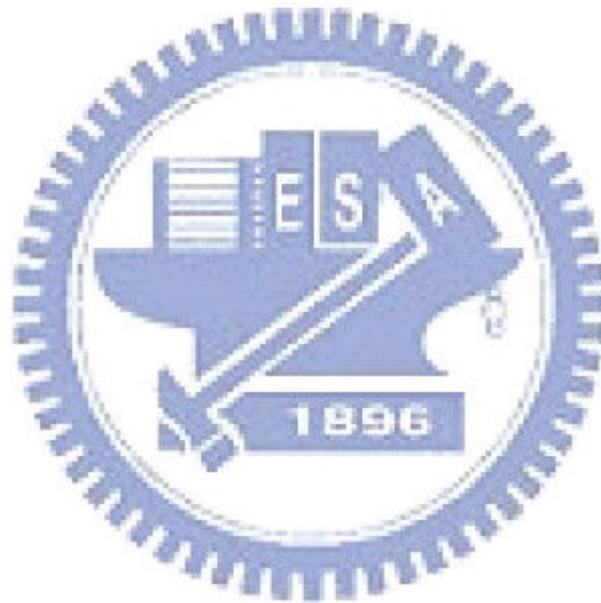
其中  $F_3$  表示三向度安全係數，或是邊坡實際上之穩定性； $F_2$  則是最大斷面之二向度安全係數。若為對稱之滑動面，最大斷面即為中央對稱斷面。一般而言，當邊坡地形在垂直於二向度分析剖面之方向上不變、且包含最大滑動面之剖面，即所謂中央最大剖面。當  $E_3 > 0$  時，表示邊坡實際上之安全性大於二向度分析結果，或是邊坡三向度效應有助於二向度穩定性之增加；反之，若  $E_3 < 0$  時，表示邊坡實際上之安全性小於二向度分析結果，亦即三向度效應將使其二向度穩定性減少。

他提出了下列結論：

1. 影響三向度效應源自於滑動幾何參數：滑動體寬/高比、兩側面展開角與其傾角；材料參數之影響可忽略。
2. 當滑動面寬度小於 5~10 倍高度時，三向度效應開使產生。當寬度大於 10 倍高度時，三向度效應不明顯，可視為二向度問題。
3. 當滑動體兩側面閉合、平行乃至微開時，三向度效應為正，表示邊坡之穩定性較二向度分析為高。當兩側開口過大（如開口型或畚箕型），其傾角約  $10^\circ \sim 75^\circ$  範圍時，出現負效應，顯示邊坡穩定

性較二向度分析為低。

4. 三向度效應在某些情況下造成傳統二度空間分析不利之影響。對正向分析而言，負效應的產生將使傳統分析高估邊坡穩定性；對反向分析而言，正效應的形成會使傳統分析高估材料強度。
5. 對於凝聚型之滑動面強度特性而言，其三向度效應將大於摩擦型滑動面材料之三向度效應。
6. 滑動體之寬/高比產生的三向度效應較顯著，而長/高比之影響則十分輕微。



## 第三章 研究方法

### 3.1 掩埋場背景資料

#### 3.1.1 竹南掩埋場背景資料

竹南垃圾衛生掩埋場佔地約 31.5 公頃左右，土地原屬於國有財產局，於民國 76 年獲准同意規劃為垃圾掩埋場。民國 80 年開始使用，第一期的掩埋區封閉後於 88 年規劃為「環保公園」，園內有休閒設施與生態復育區；第二期掩埋區也已封閉，目前正在使用的是第三期，原訂可使用至 91 年底，但目前仍在繼續使用中，因鄰近中港溪及台灣海峽故地下水位非常淺，掩埋場的型式屬於 2.1.1 節中的平地掩埋方式。(圖 3-1、圖 3-2)

由圖 3-3 可知，近二年(94/7~96/6)之每日平均廢棄物量為 290.8 t/day，包含事業廢棄物、修繕工程廢棄物及一般廢棄物，不含資源回收物，其中事業廢棄物之平均每日廢棄物量為 191.1 t/day、其他類為 99.7 t/day 且變化範圍不大，95 年 9 月出現較大值，主因該月修繕公共工程產生之廢棄物較多所致，修繕公共工程及一般廢棄物只佔所有廢棄物之 34.3%，竹南掩埋場之廢棄物三分之二來自於事業廢棄物。95 年 9 月及 7 月達到平均每日產生廢棄量最高峰，分別為 376.2 與 366.8 t/day，而平均每日產生最低廢棄量 194.8 t/day 在 96 年 2 月發生，96 年以前平均每日產生廢棄量大致上平均分配約為 275.1 t/day，96 年 1 月後平均每日產生廢棄量明顯降低，徹底執行資源回收政策為最主要原因。

#### 3.1.2 湖口掩埋場背景資料

湖口鄉衛生掩埋場乃 82 年起位於湖口鄉長安村祥湖段第 0172 號

等八筆登記為國有財產局，管理人為湖口鄉公所之公有土地規劃成為本鄉之垃圾衛生掩埋場，其面積總共約為 3.96 公頃其使用已逾十四年之久，期間於 84 年左右完成二期工程之規劃及施工，至今也逾十年時間之久，因本鄉屬新竹縣之第三大鄉鎮，不論人口密度或區域面積均屬大型鄉鎮結構，加上轄區內之新竹工業區、營區等，外來人口數亦為不少，隨之所產生之垃圾量亦隨之增加，垃圾產生之速度遠超過垃圾衛生掩埋場容納之容量，鄉公所已盡其所能之容量傾倒，現有之垃圾衛生掩埋場已無法負荷。故於 95 年 4 月正式封閉，目前本鄉之垃圾處理乃於原場址進行垃圾轉運至新竹市焚化場焚燒。此掩埋場位山坡地但坡度並不大開挖後掩埋面為水平，屬於 2.2.2 節中依天然地形構築之方式。(圖 3-4、圖 3-5)

因 95 年 11 月新竹市焚化爐歲修，廢棄物轉由他處，因此造成當月份資料不健全。圖 3-6 顯示，近一年 (95/1~96/6) 之每日平均廢棄物量為 39.0 t/day，其中包含修繕工程廢物及一般廢棄物，不包含資

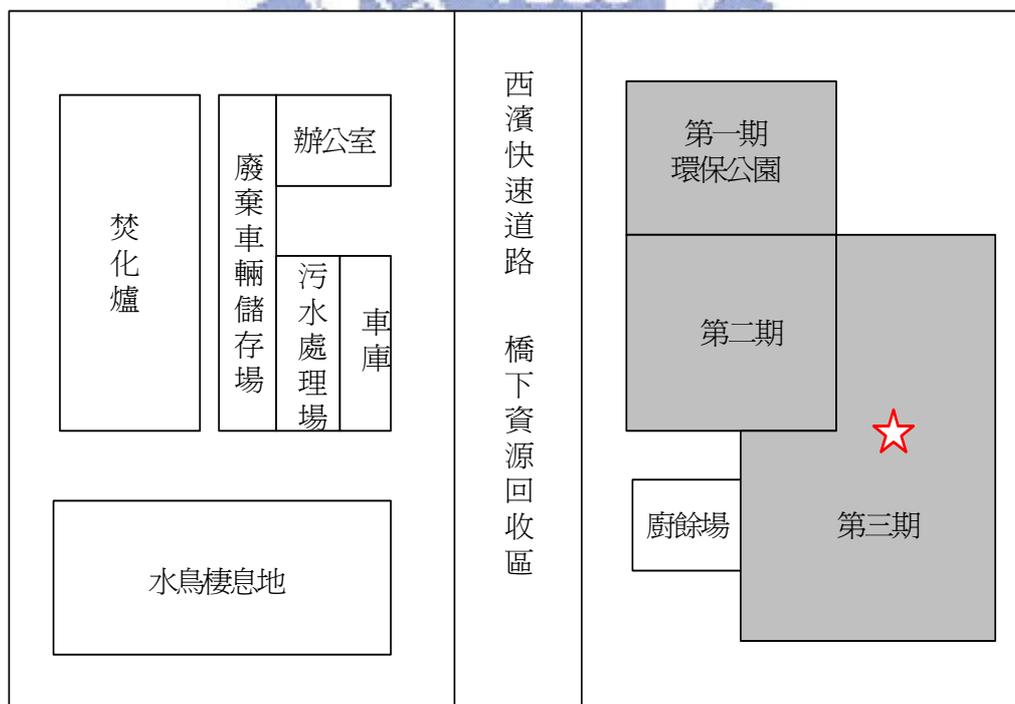


圖 3-1 竹南掩埋場平面圖



圖 3-2 竹南掩埋場一景

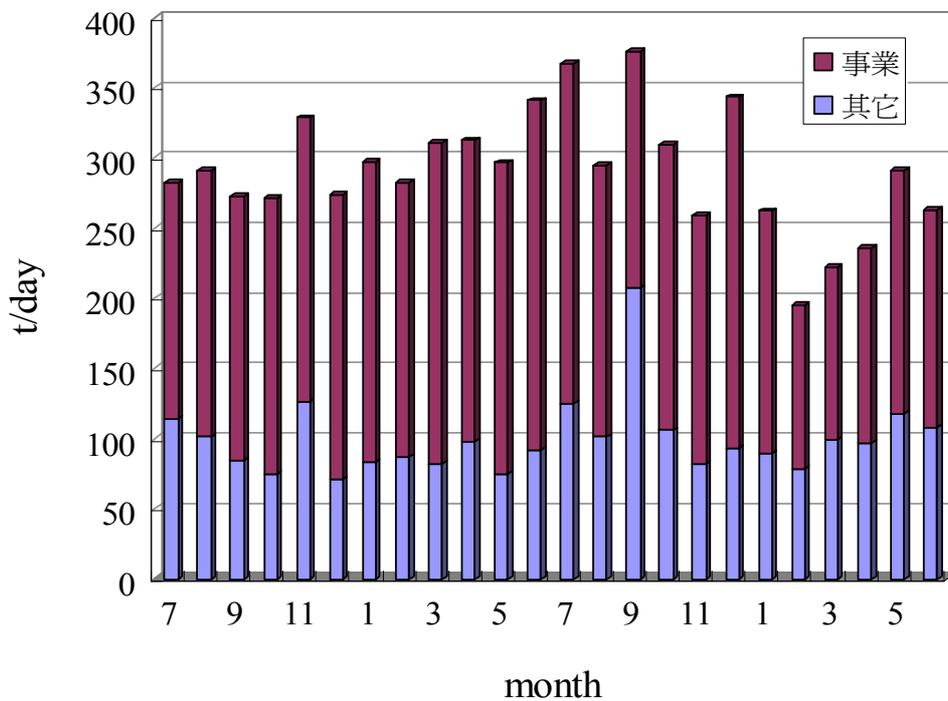


圖 3-3 竹南掩埋場每月平均垃圾量 (94/7~96/6)

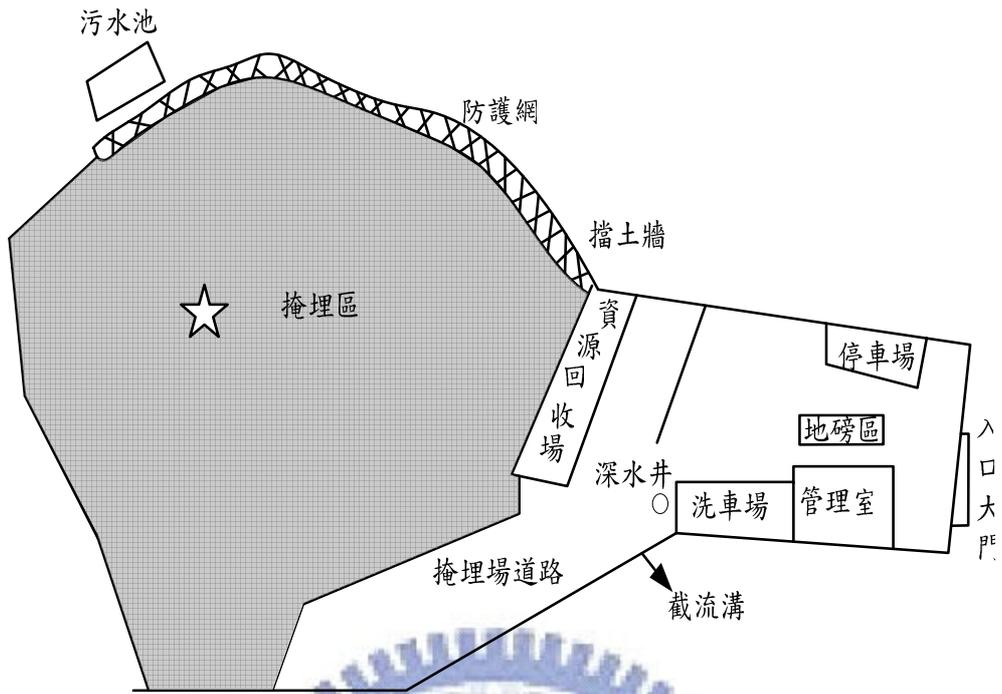


圖 3-4 湖口掩埋場平面圖



圖 3-5 湖口掩埋場一景

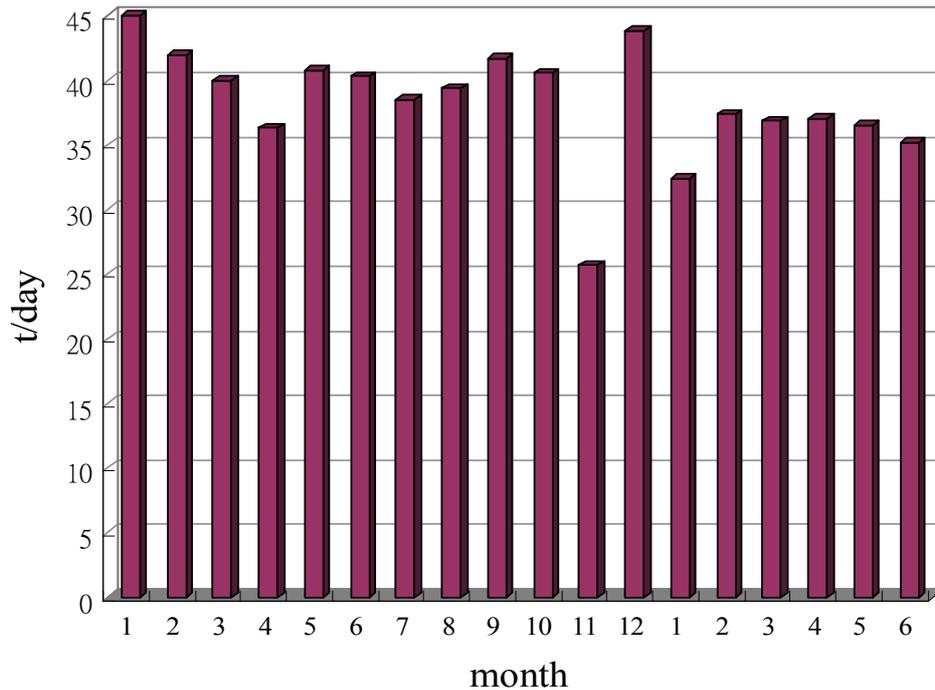


圖 3-6 湖口掩埋場每月平均垃圾量 (95/1~96/6)

源回收物與事業廢棄物。95年1月達到平均每日產生廢棄量最高峰，分別為45.0 t/day，而平均每日產生最低廢棄量32.4 t/day在96年1月發生，湖口地區平均每日產生廢棄量大致上分佈平均，在96年2月後平均每日產生廢棄量逐漸減少，徹底執行資源回收政策為最主要原因。

## 3.2 廢棄物基本性質試驗

### 3.2.1 取樣地點

本次的試驗試體主要是取得湖口及竹南的垃圾，由於垃圾掩埋場深處垃圾取得不易，故試驗主要取樣於地表下一米處，此處的垃圾至少經過二年以上的覆土掩埋期，如圖3-1及圖3-4之「★」處。

### 3.2.2 廢棄物單位重試驗

一、方法概要

樣品之重量除以其外觀體積即為樣品之外觀密度。本方法係使用一固定容積之下空容器盛裝樣品，經適當之修飾並將多餘之樣品刮除後使容器自然落下，再將容器中之樣品取出，最後以樣品重量除以容器體積而求得樣品之單位容積重。此取樣方法使試體為低擾動狀態，有別於環保署環檢局所規定「一般廢棄物（垃圾）採樣方法」的重度擾動重模試體，預期將可得到較高之單位重。本實驗以低擾動方式在湖口及竹南掩埋場兩處各取四個樣品，以高擾度方式在湖口取十個樣品，另外竹南直剪試體內廢棄物四個樣品共取二十二個樣品。

## 二、試驗設備

- (1)  $0.1 \text{ m}^3$  之立方體容器（為三夾板製成），如圖 3-7。
- (2) 磅秤，可精稱至  $0.1 \text{ kg}$ 。
- (3) 耙子、鏟子、手套等工具。
- (4) 可密封之大容器（如大垃圾袋）。

## 三、試驗步驟

- (1) 精確訂製一個（ $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ ）木盒容器，其長寬高實際尺寸至  $1 \text{ mm}$ ，並計算出其實際的體積（ $V$ ，本次試驗定為  $0.1 \text{ m}^3$ ）。
- (2) 修飾垃圾試體形狀，使木盒容器自由落下，並使垃圾試體與木盒上緣齊平，多餘試體則刮除，如圖 3-8。
- (3) 將容器中垃圾取出，直至與木盒底部齊平，並立即量測淨重（ $W$ ）。

$$\text{單位重} = W / V$$

$W$ ：樣品之淨重。

$V$ ：容器體積。

註：可參考環保署環檢所之「一般廢棄物（垃圾）採樣方法」（NIEA R124.00C）規定，它使用網格法或四分法取得初步樣品，再配合四分法進行縮分，取得最終樣品，將所得之樣品裝入 $0.1\text{ m}^3$ 之鐵盒或木盒中，於八分滿時，由兩人提至離地三十公分，令其自由落下，使垃圾夯實，再填滿樣品，重覆三次。在進行四分法過程中，已嚴重擾動試體，根據國內文獻以此標準所得的單位重（ $0.4\text{ t/m}^3$ 以下）並不符合現況，由此可判斷這項標準不適用於大地工程的分析，故本研究使用上述之方法，以降低擾動造成的誤差。圖 3-9 中之試體乃採用環保署之規定量測，所得之平均單位重為 $0.27\text{ t/m}^3$ 。

另外，此次試驗將求取直剪試體內之單位重，其步驟如下：

- (1) 將已完成之直剪試體開口朝上，並保持開口水平，再修飾試體內的垃圾與試體齊平。
- (2) 取出試體內之垃圾，並立即秤重（ $W$ ）。
- (3) 將水注入試體內與試體齊平，並計算水之體積（ $V$ ），圖 3-10。

$$\text{單位重} = W/V$$

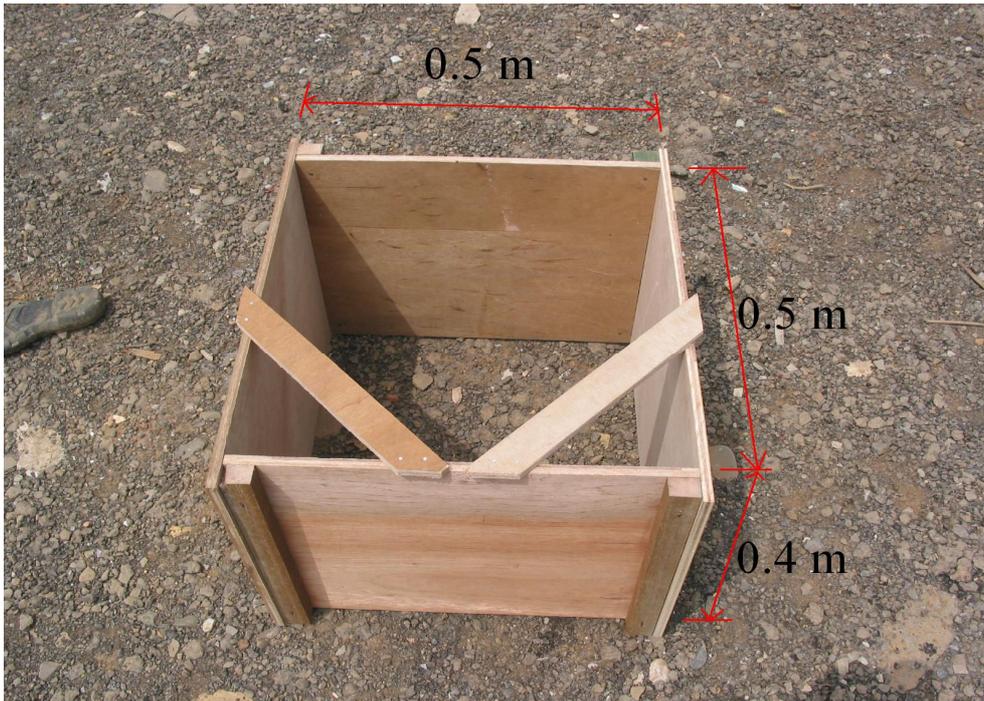


圖 3-7 木製取樣盒



圖 3-8 取樣過程



圖 3-9 取樣過程



圖 3-10 量取試體體積

### 3.2.3 廢棄物組成分類

本試驗以上述之單位重與直剪試體進行廢棄物之乾基分類，使用烘箱110°C乾燥24小時再進行分類，其中可燃物垃圾分為塑膠類、紙類、木竹類、纖維類；不可燃物分為金屬類、玻璃類及其它類(含5 mm以下之雜物、碎屑)等。

## 3.3 現地直接剪力試驗方法

### 一、目地

現場直剪試驗(In-Situ Direct Shear Test)本試驗主要是為了求得現地層之剪力強度參數。本實驗現地直接剪力試驗採“傾斜載重直接剪力試驗”(Inclined load direct shear test)，此一試驗原本目地為求得岩體弱面之強度參數。試驗配置及建議剪力施加傾斜角度。試驗流程可參考國際岩石力學協會(ISRM)建議之岩體節理試驗方法(Lama and Vutukuri, 1978; Brown, 1981)，ASTM關於現地直剪試驗規範為D4554-90 亦可參考(ASTM,1993)。

### 二、試驗設備

- (1) 正應力加壓設備。以 12 支 0.4 m×0.4 m×6-9 m 之型鋼及鐵筒(3 m×2.2 m×1.5 m-5 個)成反力牆及載重台(圖 3-11)。
- (2) 剪應力加壓設備。衝程 15 cm (6")之千斤頂，加壓能力 100 t 2 個。
- (3) 精度達 0.01 mm 之位移感測計(LVDT)—6 只，量測試體之剪位移、正向位移及側向位移，此位移感測計分別裝設於固定之量測架上，其中剪位移、正向位移及側向位移計各按裝 2 支。
- (4) 電子式壓力荷重計(Load cell) 2 台，測讀油壓千斤頂壓力，量測

範圍 0-50 t，其中 1 台用於測讀正應力，1 台用於測讀剪應力。

- (5) 即時顯示之測讀系統，隨時顯示應力及應變，記錄之時間間隔、記錄試驗面剪位移量、試驗面沉陷量、加壓系剪應力及加壓系正應力、側向位移量，並在螢幕上顯示其變化情形。

### 三、試體製作

- (1) 以挖土機開挖試驗壕溝至指定試驗深度，則將壕溝尺寸酌予適當增大。在壕溝內將試體位置標示清楚，先以挖土機約略修出試體雛形，並小心操作以避免擾動試體（圖 3-12）。
- (2) 以人工修裁出底面積為 80 cm×80 cm，高 40 cm 之試體，將靠近壕溝壁之試體面修飾成傾斜面，使合力能通過試體受剪面之中心線（圖 3-13）。
- (3) 於試體之頂部及四週澆置一層厚約 12 cm 之鋼筋混凝土，澆注混凝土之前，在試體底緣四週鋪墊一層厚約 5 cm 之保麗龍，以分隔混凝土帽與地面，預留剪力槽，於試驗前再將其剝除之（圖 3-14）。
- (4) 試體後側以長 0.4 m×0.4 m×8 m 之型鋼，作為試體受剪時阻抗下方土體移動之反力牆（圖 3-15）。

### 四、試驗步驟

試體製作完成，並待混凝土硬化 7 天之強度後進行試驗。

- (1) 按所需之垂直正應力大小，以鐵筒及型鋼組成之載重台，並以千斤頂及荷重計控制應力大小。
- (2) 將位移感測計安裝於試體後側、上側及側向，以量測其剪位移、

沉陷量、側向位移。架設儀器之固定桿需固定於距離試體 80 cm(一倍試體寬度)以上位置，避免垃圾層因受壓力推擠而移動固定桿，導致無法測得試體之真正位移量。

- (3) 將位移感測計及壓力傳感器連接完成後，即開始以手控油壓機將正向應依序分別加壓應力，後開始加剪應力，每隔 30 秒記錄剪應力與各位移量一次。
- (4) 剪應力到達尖峰值後，千斤頂所施壓力即逐漸下降，位移量仍持續增加，至剪力下降已趨平緩，即視為已達殘餘強度。

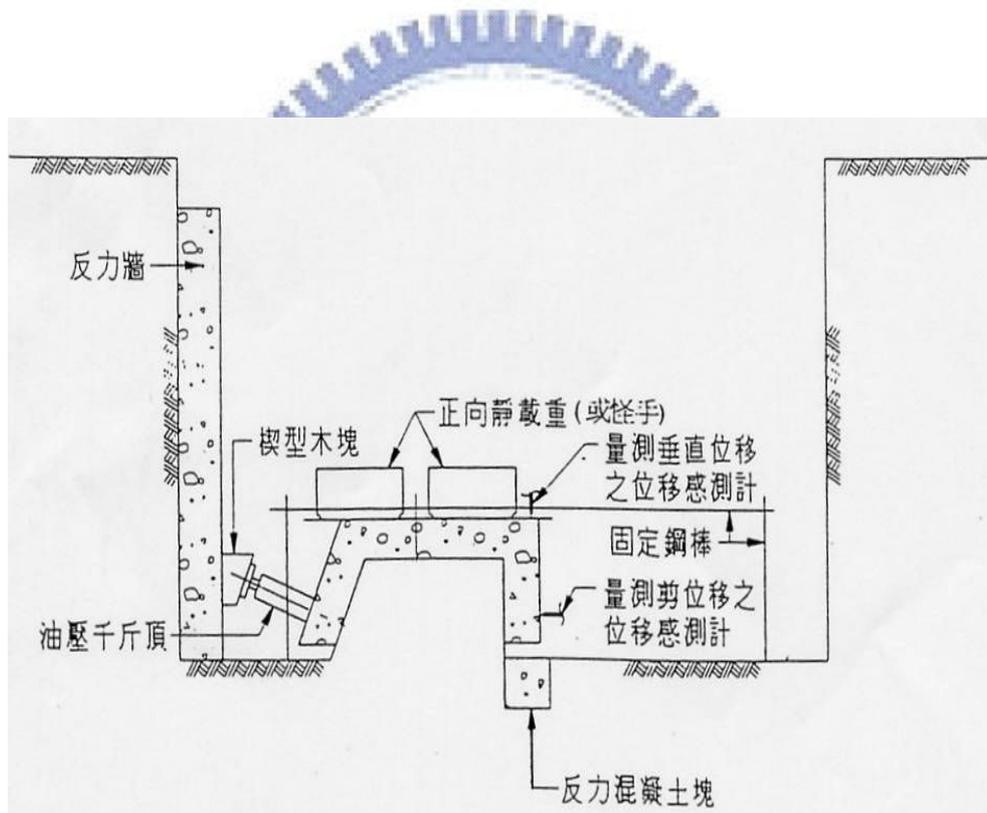


圖 3-11 現直剪試驗試驗試體佈置示意圖



圖 3-12 試坑開挖



圖 3-13 試體修飾及紮筋



圖 3-14 組裝模板及灌漿



圖 3-15 架設反力牆及加呆重

### 3.4 平板載重試驗方法

#### 一、試驗設備

- (1) 加壓設備。衝程為 15 cm(6")，加壓能力 100 t，經率定之油壓千斤頂 1~2 個；三個圓形鐵板，厚 1"(2.5 cm)以上，直徑為 45 cm、60 cm、75 cm 各一只；球形承座一組，不同長度之承壓支柱數支。
- (2) 量測設備。精度達 0.01 mm 之 50 mm 電子式位移感測計(LVDT) 連同磁座共三組，可量測試驗面之位移量；電子式荷重計，測讀油壓千斤頂加壓荷重，量測範圍 50 噸，量測精度為 2%以內；測讀系統，即以顯示器聯接各電子式位移感測計及電子式荷重計，記讀試驗面位移量及加壓系統之荷重。
- (3) 其他設備。載重台，每支長 8 m，重約 1300 kg 之 0.4 m×0.4 m H 型鋼樑總共 3 支及 8 m<sup>3</sup> 鐵筒 2 個；參考樑，三支長 3 m。

#### 二、試驗步驟

- (1) 以挖土機開挖壕溝至指定深度並選定試驗點。
- (2) 試驗面以人工整平，鋪上一層約 2 cm 厚之細砂，放置 75 cm 圓型平板，並調整使保持水平且完全與地面接觸之狀態(圖 3-16)。
- (3) 架設載重台，以每支長 9 m，重約 1300 kg 之 0.4 m×0.4 m H 型鋼樑總共 3 支，及 8 m<sup>3</sup> 鐵筒 2 個提供呆重(圖 3-17)。
- (4) 架設參考樑，參考樑之支點距離試驗點至少 5 ft (1.5 m) 以上。
- (5) 由下而上依序裝置方型平板(採用 75 cm、60 cm、45 cm 之平板疊成，荷重傳遞於 75 cm 直徑之墊板，以減小彎曲之產生)。

油壓千斤頂、荷重計、球形承座及適當長度之承壓支柱（圖 3-18）。

- (6) 裝設電子式位移感測計(LVDT)三組，以適當距離平均裝置，於方形平板邊緣約 3 cm 處，並歸零。
- (7) 設備完畢後啟動記讀系統，並開始加壓。依據實際載重與沉陷量相對關係，微壓操作油壓千斤頂至變形，並記讀平板位移量與荷重變化情形，每次加壓至少記錄共約 15 分鐘，且連續 3 分鐘沈陷率小於 0.02 mm/min 方可進行下一階載重，過程中千斤頂之荷重維持穩定；記讀於加壓後 1、2、4、6、8、10、12 及 15 min 記讀測微錶讀數。
- (8) 施加預定荷重增量，重複上述步驟，至預定最大荷重約二分之一時，荷重解壓。
- (9) 再重新施加荷重至荷重達預定最大荷重後，所有荷重平分 3 次解，每次解壓同加壓步驟記讀荷重、時間及沈陷量三者之關係。



圖 3-16 鋪上細砂並放置平板



圖 3-17 架設載重台



圖 3-18 平鈹加壓系統

## 3.5 邊坡穩定分析方法

### 3.5.1 CLARA-W 程式簡介

目前通用的邊坡穩定分析程式多為二維分析程式，亦即假設平片應變狀況，然而由於台灣地貌的狀況複雜，邊坡穩定常涉及三度空間的考量。因此在使用二維電腦程式分析三維邊坡穩定度時，如何選定須要分析的臨界剖面是對工程師作經驗與專業知識的一大考驗。

CLARA-W 為一種應用於邊坡穩定分析的程式，適合二維及三維寬幅的幾何形狀，它能夠模擬複雜的三維問題，包括目前棘手的垃圾掩埋場邊坡穩定問題，同時在二維及三維之間的轉換也是非常容易上手。CLARA-W 也可以用 SURFER 輔助設計，透過 SURFER 軟體創造想要的幾何圖形，透過等高線圖及立體圖讓使用者可以輕鬆了解地貌，代入 CLARA 將相關參數一併輸入，即可求出邊坡穩定最低安全係數，下節將分別介紹此次研究的分析流程。

CLARA-W 為加拿大 O. Hungr Geotechnical Research, Inc. 所發展之三維邊坡穩定分析軟體。其理論依據極限平衡法處理邊坡穩定分析問題，可計算圓弧狀、楔形狀、不規則狀、平面滑動等之安全係數，可採用之分析方法包括：Bishop's Simplified Method、Janbu Simplified、Spencer's Method 以及 Morgenstern-Price Method。上述之各種方法中之前三者推展到三維分析時，各直條元素上之側向力方向均假設為與元素之底部平行。此外 Morgenstern and Price 法的側向力均採用 half-sine 函數，並不考慮其他的假設方式。

CLARA-W 具視窗化之輸入輸出界面，圖 3-19 為建立新的分析項目畫面，此時須進行單位的選定，設定 X 軸、Y 軸的範圍及解析度，也可以變成二維的分析方法圖 3-20 中顯示在三維地形時有三種

內插的方法可供選擇（如正交、非正交、軸對稱）。圖 3-21 為剖面的輸入畫面，輸入順序為地層、剖面，先將某一斷面的地層輸入後，再進行下一剖面，為了便於建立三維地層，也可使用功能選單中，copy 項的 copy layer 及 copy section 來簡化步驟。

在破壞面形狀的選擇上有四種破壞面型式：

(1) Ellipsoid：可用自動搜尋及給定範圍搜尋破破壞面及安全係數。給定切線間距、圓心、橢圓率 ( $Re$ ,  $X$  向直徑/ $Y$  向直徑，圖 3-22) 等；(2) Wedge：須指定破壞面。給定走向，傾向、傾角等；(3) General：須指定破壞面輸入方法；(5) Composite：複合型，為上列方法之組合。

分析步驟說明：

- (1) 將預先設定好的材料參數、地層數、剖面數、使用單位等依照指示一步一步輸入相關位置。
- (2) 設定剖面。直接在此軟體畫出，但也可使用 GRD 檔案輸入。
- (3) 選擇分析方法。
- (4) 選擇破壞模式。
- (5) 指定破壞面。
- (6) 分析結果輸出。

CLARA-W 程式在邊坡穩定應用上也有一些限制及困難處：

- (1) 因為設定的斷面必須按序排列連接，無法繪製外凸內凹如漏斗狀之地形。
- (2) 滑動方向必須平行  $Y$  軸方向，對不同座標系統須先轉換。

(3) 圓弧滑動之橢圓率須自行假設，無法縱向自動搜尋。

(4) 若搭配 SURFER 軟體繪圖，無法繪製人工折線形邊坡，軟體將會自動內插為曲線形，與現況不符。

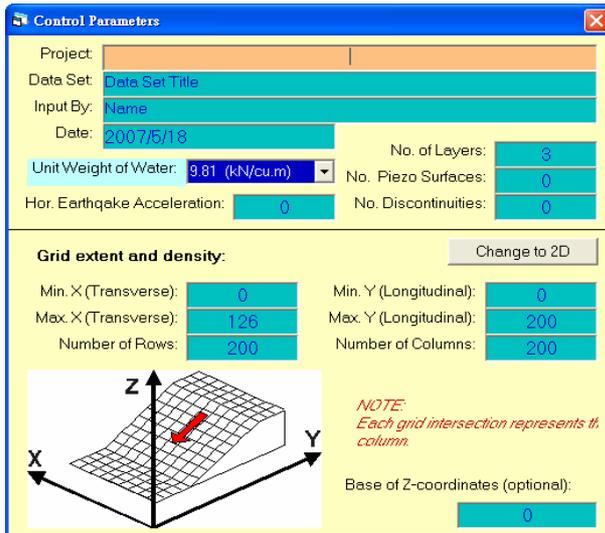


圖 3-19 CLARA-W 使用範例

-建立分析項目

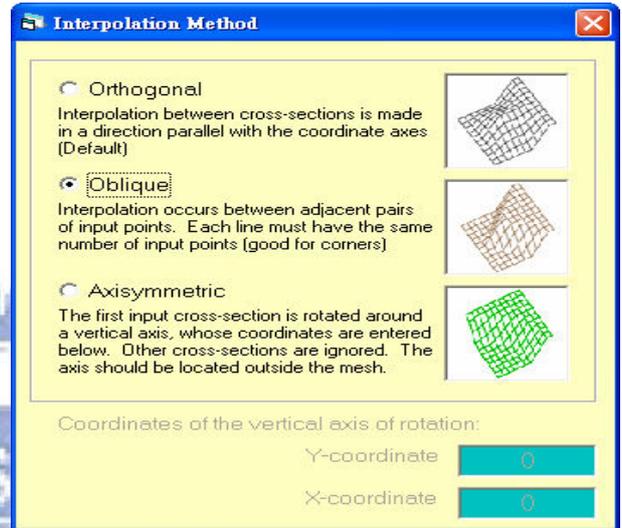


圖 3-20 CLARA-W 使用範例

-地形內插方式

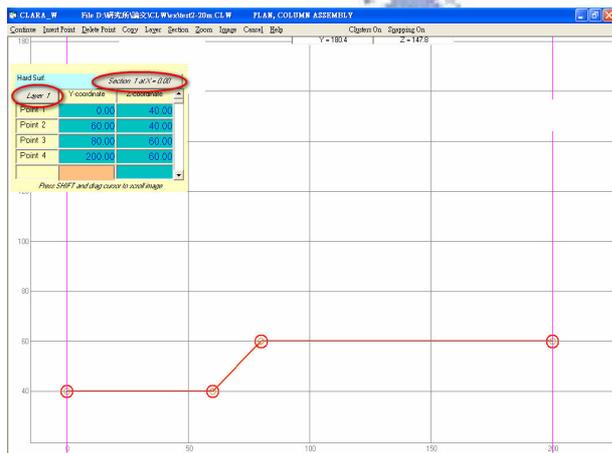


圖 3-21 CLARA-W 軟體使用範例

-剖面輸入

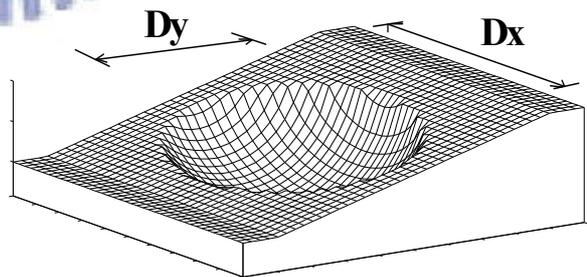


圖 3-22 橢圓率示意圖

### 3.5.2 研究分析流程

本研究將以實地分析的方式以湖口掩埋場為例，初步判斷因為土層坡度較小、廢棄物坡高較高加上垃圾邊坡離內側遠，因此極有可能沿固體廢棄物內部破壞之方式破壞，並且為圓弧滑動，其分析流程為圖 3-23 所示之左側藍色路徑。

另一方面，國內掩埋場如頭份掩埋場或峨眉掩埋場（圖 3-24、圖 3-25）等興建在山谷中，一些開口呈現開口狀或是縮口狀，通常這類掩埋場既深又陡，若是不透水布錨定端後方的防水未處理好，雨水或地下水極容易滲入土工膜布周圍，並降低土壤與不透水布間之摩擦力，此類的掩埋場容易沿阻水系統破壞，其分析流程為圖 3-23 所示之右側黃色路徑。這部份的重點在於探討三維分析和二維分析之差異性，因為掩埋場的形狀和三維分析與二維分析的差異有直接的關係，因此在假設掩埋場形狀時，選擇以三維分析會較二維分析安全係數較低的「開口型」掩埋場進行比較。

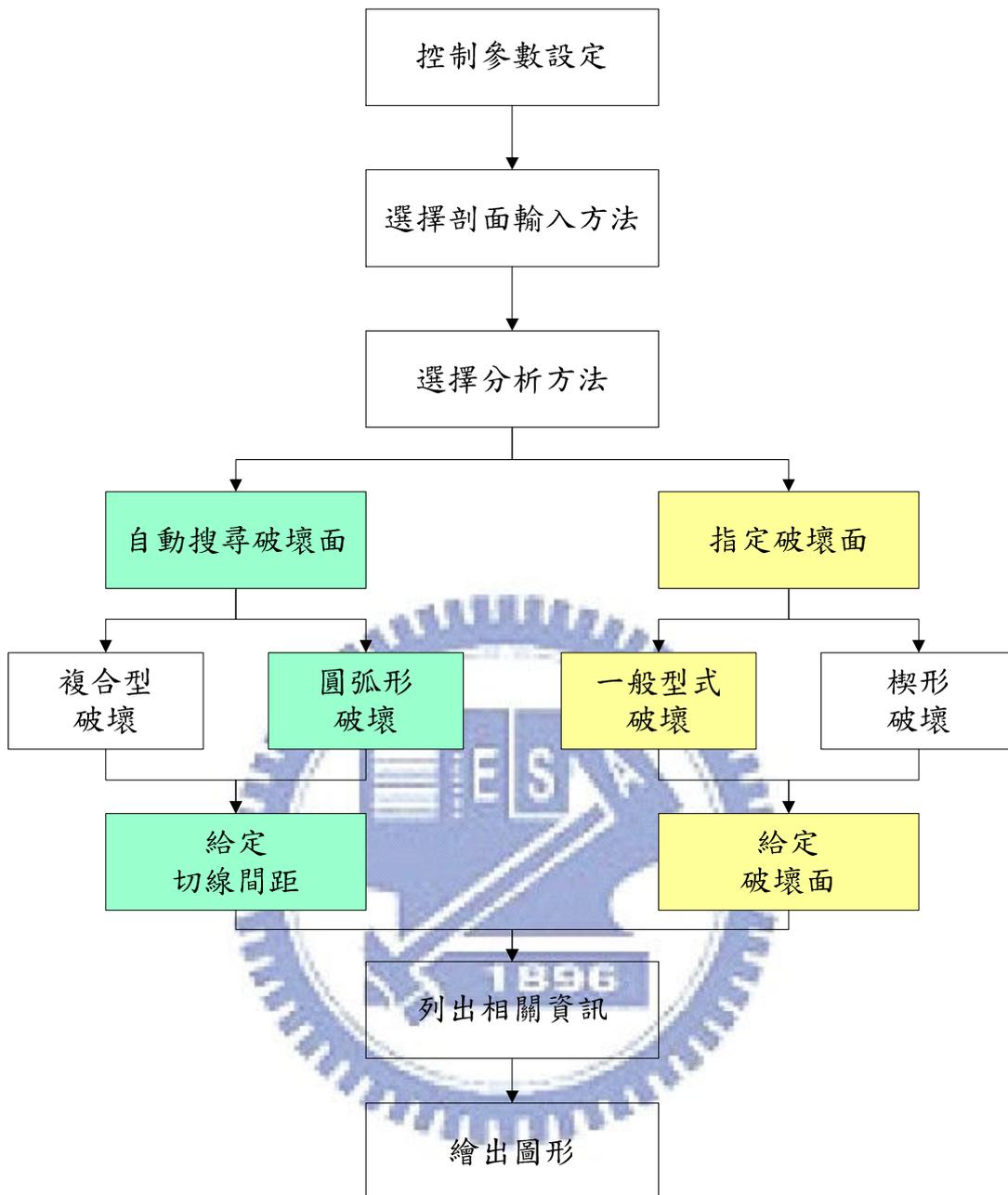


圖 3-23 分析流程圖

以下分別為上述二項穩定分析之說明：

### (1) 模擬開口狀邊坡穩定分析

A. 基本剖面假設說明：

1. 以對稱的分法切成八個斷面，於圖 3-26(a)(b)假設可能滑動面形狀下，幾何控制參數包括：掩埋場開口大小 $\beta$ 、掩埋場縱向深度  $L$ 、

內側寬度  $B$ 、坡高  $H$ ，其中假設垃圾邊坡及開挖土坡為  $45^\circ$ ， $B$  為  $20\text{ m}$ 。

2. 由於立體的形狀設定不易，斷面 2 與斷面 3、斷面 6 與斷面 7 之間距設為  $0.2\text{ m}$ （土工膜布之覆土厚）。
3. 廢棄物最終掩埋形狀與外側地表一致，圖 3-26(c)。
4. 假設破壞面介於掩埋場底部的廢棄物或土工膜布與土壤的介面之間，也就是土工膜布與土壤、土工膜布與土工皂土毯、土工膜布與土工織物的等界面。此處掩埋場背靠土坡視為堅硬層，破壞面不會通過，如圖圖 3-26(c)之虛線。

#### B. 參數假設說明：

1. 考慮垃圾和覆土的比例以及長期掩埋發生分解沉降以後，垃圾層趨於穩定狀態，垃圾層之單位重從地表以下假設為  $10\text{ kN/m}^3$ （約  $1\text{ t/m}^3$ ）。
2. 一般土壤之單位重約為  $16\text{ kN/m}^3 \sim 18\text{ kN/m}^3$ ，因為土工膜布鋪於斜面夯實不易，故假設土壤與土工膜布夯實後未達最緊密狀態取單位重為  $16\text{ kN/m}^3$ 。
3. 廢棄物強度參數之決定乃參考一般民生固體廢棄物之結果(Singh and Murphy, 1990)，以及假設填料之行為較近似於鬆砂，對此研究根據文獻及本次試驗結果取垃圾之摩擦角  $\phi$  為  $30^\circ$ ，並不考慮  $c$  值的影響，此參數的假設偏向保守。
4. 分別考慮土工止水膜與覆土界面間的摩擦角  $\delta$  為  $10^\circ$ 、 $15^\circ$  及  $20^\circ$ ；掩埋長度  $H$  為  $20\text{ m}$ 、 $40\text{ m}$ 、 $60\text{ m}$ ；開口角度  $\beta$  為  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 。

### (2) 湖口掩埋場邊坡穩定分析

本場址乃依天然地形之構築方式，採分階開挖掩埋場後方長度甚長，故整體坡度不大，掩埋場底部裝置土工膜布且有滲出水設備，以鄰近擋土牆側開始填埋，最深填埋高度約 15 m 高，初期並無實施垃圾分類後再行掩埋，近期分類則不確實，垃圾層性質分佈複雜且不均勻。本研究將以現場實際觀察坡度較陡及較緩之邊坡，進行三維及二維分析，並比較此二者間之關係。首先將取得原始竣工圖並繪製如圖 3-27 所示，並以實際測量求得最終掩埋面，如圖 3-28。以下為本實驗所作說明及假設：

A. 斷面假設說明：

1. 掩埋場開挖面與擋土牆隨著地形呈北高南低的走向，掩埋場的南側、北側及東側為原地形並未開挖，西側則是擋土牆，滑動方向與邊坡一致同為向西滑動。此次分析的範圍南北寬度 100 m (橫向)、東西長度 150 m (縱向)，圖 3-27。
2. 開挖面為階梯狀，分為四階，每階高度二公尺，邊坡水平總長度為 80 m 到 110 m 不等。分析的邊坡規模 (深度與前後方距離為邊坡高度一倍的距離之外) 遠小於實際的掩埋範圍，可以忽略左右邊界效應對分析結果之影響，否則實際邊界狀況皆應予以模擬，但開挖底面以及最終掩埋面為不規則型，則考慮以三維分析之。
3. 擋土牆為重力式擋土牆，由南至北分別由高度 6 m 增加到 7 m，並假設此擋土結構無止滑榫等增加摩擦力之系統。
4. 廢棄物的邊坡形狀以現場測量取得，由於掩埋年代久遠，基準點已被移除或埋沒，斷面形狀經由擋土牆頂點反推算，如圖 3-28。
5. 僅在  $x=0$  m、25 m、45 m、100 m 等轉折處剖面，除了此四個剖面位置外，其他剖面形狀以內差法完成。

6. 最後一階高度 6 m 到 10 m 不等，坡角約為  $45^\circ$ ，忽略掩埋前土壤本身的邊坡穩定問題。

B. 參數假設說明：

1. 場址位於湖口台地在地層上屬於紅土卵礫石層，見圖 3-5，假設土壤  $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$ 、 $c=0 \text{ kPa}$ 、 $\phi=33^\circ$ ；重力式擋土牆  $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$ 、 $c=30 \text{ kPa}$ 、 $\phi=35^\circ$ ；垃圾  $\gamma$  為  $10 \text{ kN/m}^3$ 、 $c=30 \text{ kPa}$ 、 $\phi=30^\circ$ 。

2. 擋土牆後邊坡高差 6 m，假設排水良好，忽略地下水的影響。

3. 不計水平地震力加速度。



圖 3-24 頭份掩埋場（縮口狀）



圖 3-25 峨眉掩埋場（開口狀）

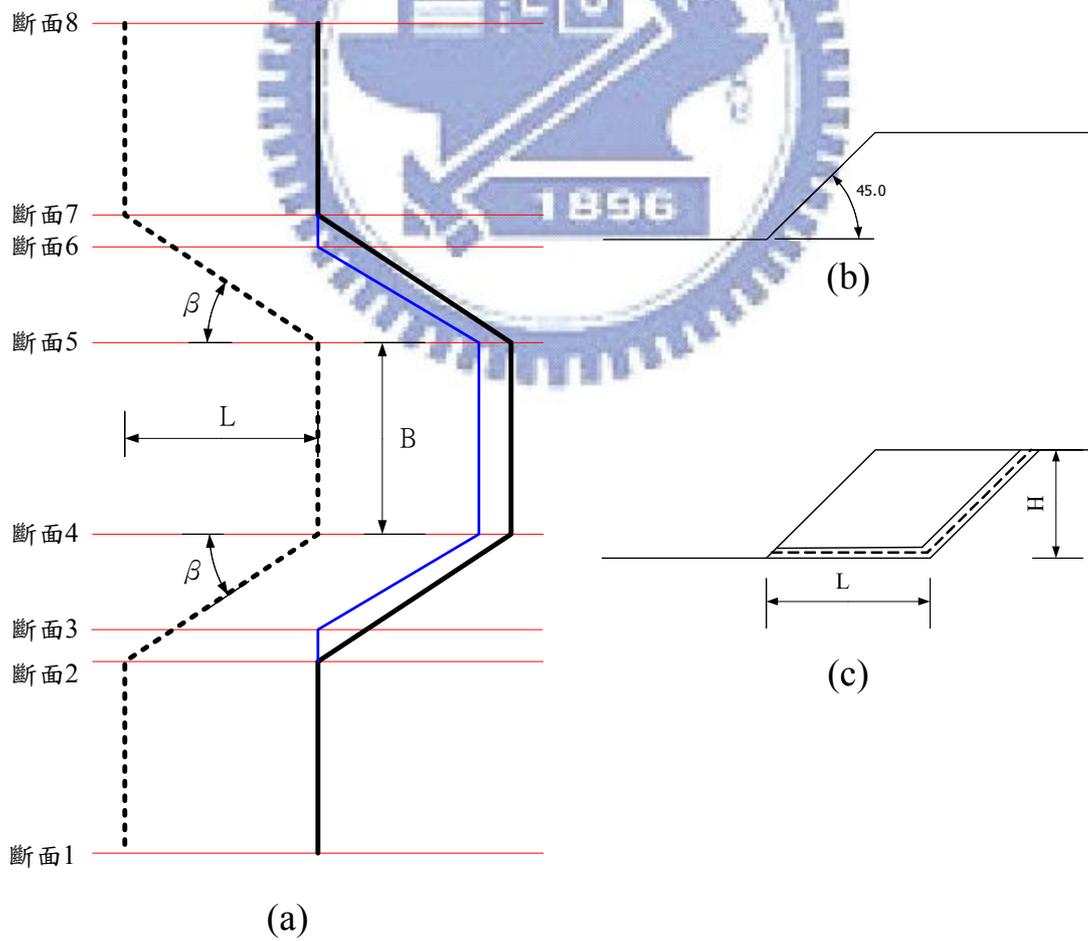


圖 3-26 剖面示意圖

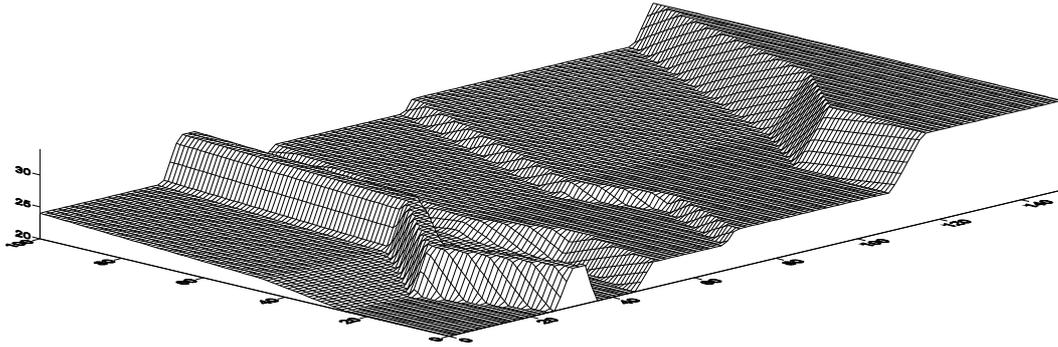


圖 3-27 開挖底面圖

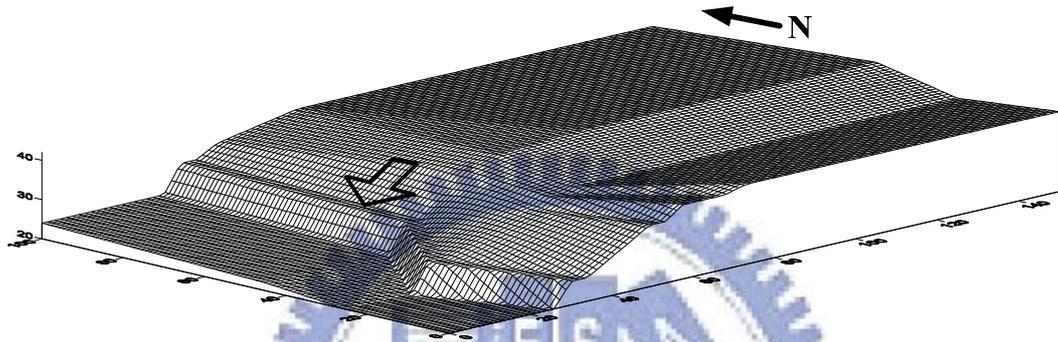


圖 3-28 最終掩埋面

### 3.5.3 程式分析結果輸出說明

圖 3-29、圖 3-30 為使用各種方法輸出的結果顯示，如破壞形狀、破壞體積、破壞邊坡重量、破壞面積、安全係數等相關資訊。另外也可用 GRD 檔案的形式將邊坡的形狀表現出來，使操作者更一目了然。

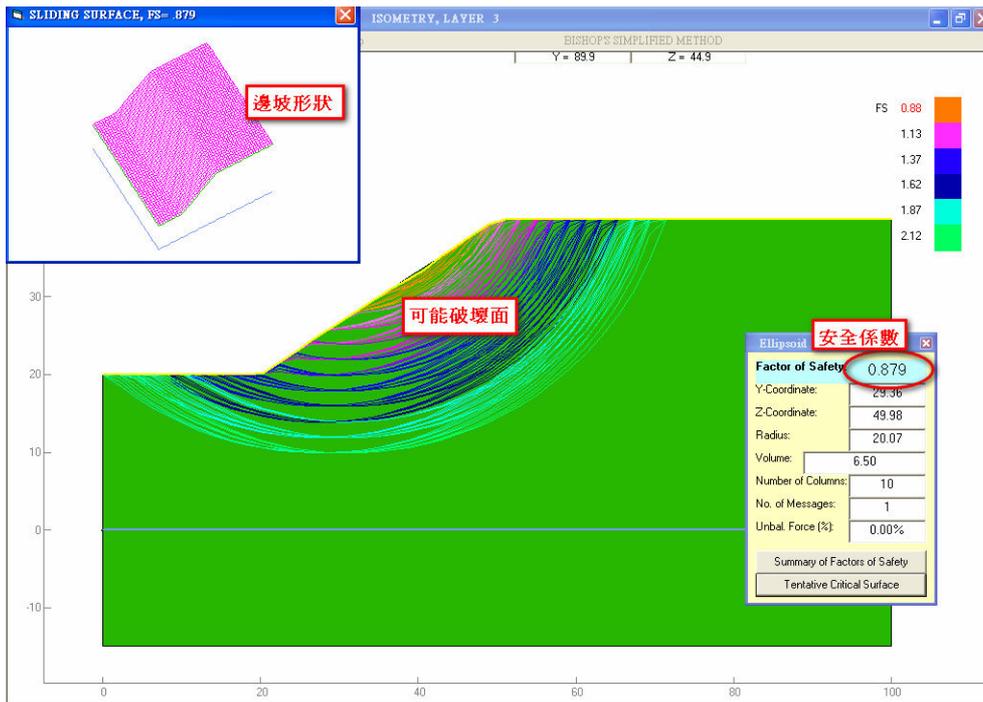


圖 3-29 程式分析結果輸出圖形

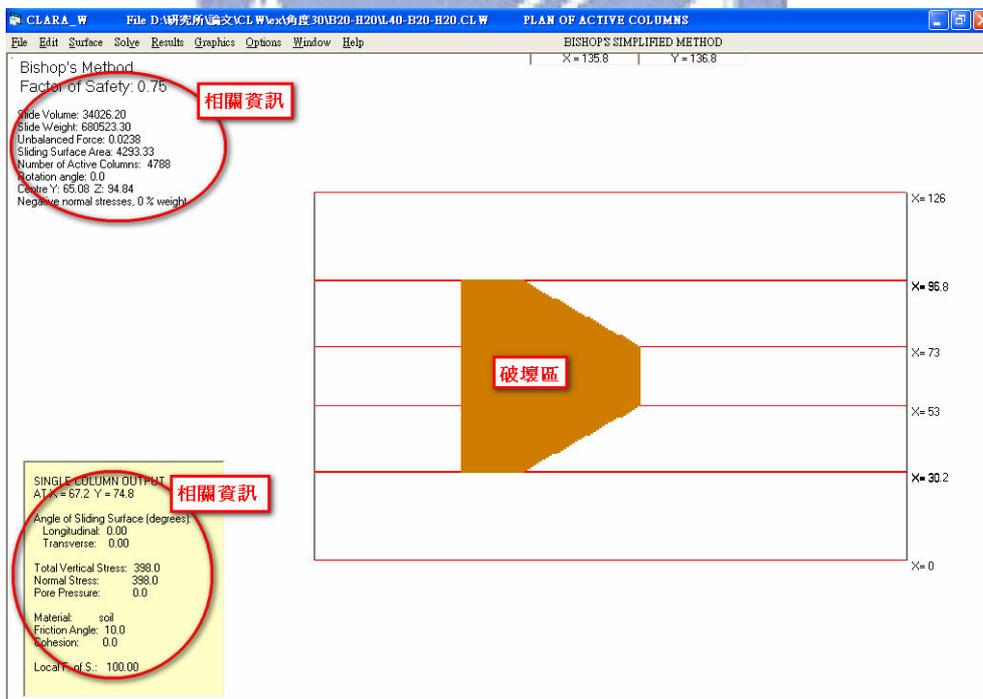


圖 3-30 程式分析結果輸出圖形

## 第四章 結果分析與討論

### 4.1 廢棄物基本性質試驗結果

單位重為採樣過程中測定的項目，瞭解垃圾之單位重，可作為垃圾掩埋場貯存設施容量設計、垃圾運輸車量容積及數量的選擇以及最終處置設施容量設計等之參考，就文獻及現場採樣經驗而言，單位重容易受到垃圾物理組成之影響。

水份含量的多寡對於垃圾管理及處理層面有極大之影響，以貯存及清運過程而言，垃圾之高含水量易形成滲出水，若未妥善管理則易造成臭味逸散及環境衛生等問題；掩埋場處理過程中，垃圾超過保水量(filled capacity)之水分含量則易形成滲出水，增加滲出水處理的成本，因此水分含量的之分析結果，對於垃圾管理及處置技術有極為重要之參考價值。此外，水分含量變化情形與垃圾組成、季節性、濕度及氣候條件有關，其中以雨天之影響最為明顯，然而本研究之採樣過程均在晴天進行，以增加其代表性。

#### 4.1.1 單位重、含水比試驗

試驗所得之單位重、含水比隨著組成及深度而改變，此次以地表覆土下一公尺處為取樣處表 4-1 至表 4-3 列出了湖口及竹南掩埋場廢棄物的單位重與含水量值。另外以環保署環檢所規定之「一般廢棄物（垃圾）採樣方法」（NIEA R124.00C）實施採樣，結果如表 4-4。經過量測後，湖口掩埋場的單位重大致在 4.46~5.39  $\text{kN/m}^3$  之間，平均單位為 5.02  $\text{kN/m}^3$ ；竹南掩埋場廢棄物單位重最高可達到 7.40  $\text{kN/m}^3$ ，平均單位重為 6.37  $\text{kN/m}^3$ ；而以標準採樣法求得之平均單位

重為  $2.60 \text{ kN/m}^3$  以下，甚至大於環保署統計的  $1.60 \text{ kN/m}^3$ 。

表 4-1 單位重含水比試驗結果（湖口）

試體	濕重(kg)	乾重(kg)	單位重( $\text{kN/m}^3$ )	含水比(%)
A	45.518	18.560	4.46	145.2
B	52.270	27.218	5.22	92.0
C	54.850	32.309	5.39	69.8

體積= $0.1 \text{ m}^3$

表 4-2 單位重含水比試驗結果（竹南）

試體	濕重(kg)	乾重(kg)	單位重( $\text{kN/m}^3$ )	含水比(%)
A	72.253	54.936	7.09	31.5
B	75.403	60.060	7.40	25.5
C	47.000	31.592	4.61	48.8

體積= $0.1 \text{ m}^3$

表 4-3 單位重含水比試驗結果（竹南直剪試體）

試體(kPa)	體積( $\text{m}^3$ )	濕重(kg)	乾重(kg)	單位重( $\text{kN/m}^3$ )	含水比(%)
30	0.106	43.256	28.954	4.00	49.4
50	0.091	31.740	21.584	3.42	47.1
100	0.083	31.704	22.312	3.75	42.1
150	0.083	21.168	13.432	2.50	57.6

表 4-4 單位重試驗結果（湖口）

試體	總重量 $W_1$ (kg)	淨重(kg)	單位重( $\text{kN/m}^3$ )
1	26.466	22.058	2.16
2	31.092	26.684	2.62
3	29.870	25.462	2.50
4	34.182	29.774	2.92
5	29.116	24.708	2.42
6	29.094	24.686	2.42
7	27.026	22.618	2.22
8	32.678	28.27	2.77
9	35.496	31.088	3.05
10	34.616	30.208	2.96
容器重 $W_0=4.408 \text{ kg}$ 體積 $V=0.1 \text{ m}^3$		平均單位重= $2.60$	

由文獻回顧指出，固體廢棄物的單位重除了壓密程度的影響外，組成及取樣方法也決定其大小，在此二處的採樣結果也顯示，湖口試體較輕質的物質，如塑膠佔了一半以上，較重的組成物如砂、土、礫石，相對之下所佔比例則低；反之，竹南試體則包含了大量的砂土及事業廢棄物，權衡下單位重則高；而以直剪試體內廢棄物所求得之單位重，由於混凝土流入保麗龍以上之廢棄物表面孔隙間，使得凝固後無法完全將廢棄物與混凝土分離，造成體積與重量上量測上的誤差，但並不影響剪力面之剪力強度，故以試體內測得之單位重較不具代表性。

在採樣的方法上，以環保署環檢所公告之標準採樣方法（NIEA R124.00C）經由慣性將廢棄物夯實，在進行四分法過程中，已嚴重擾動試體，根據國內文獻以此標準（NIEA R124.00C）所得的單位重並不符合現況，與低擾動試體或壓密試體所得結果差異甚大，由此研判所得之結果在大地工程上的分析較不具代表性。

Sowers (1968) 指出，固體廢棄物的原始含水量一般為 10%~35%，而根據環保署（2005）所作統計，86 年至 94 年之水份含量均在 46%~56% 之間。一般來說，含水量之多寡受到垃圾組成及有機含量之影響甚鉅，根據 94 年物理組成含水量分析結果顯示如表 4-5，其中廚餘含量最高，約在  $69.48 \pm 7.66\%$  左右。湖口試體含水量約在 70%~145% 間，觀察到湖口廢棄物形狀，廢棄物依然呈現原始袋狀的堆疊（圖 4-1），雖然塑膠本身含水量不高，一旦水份進入垃圾袋中將難以排出，袋中的果皮、廚餘等高含水量的垃圾其水份，可能比「塑膠袋」更重，在湖口試體 A 中可發現，含水量甚至大於一，說明此現象。竹南試體含水量約在 25%~48% 間，砂石含量高、單位重較重、廢棄物破碎（圖 4-2），相較之下有機含量較低，含水比自然比較低。

表 4-5 台灣地區廢棄物含水量(環保署，2005)

廢棄物組成	含水比(%)
紙類	54.17±8.22
塑膠類	34.29±9.01
纖維布類	35.99±17.08
木竹落葉類	32.72±11.35
廚餘	69.48±7.66
皮革橡膠類	8.50±9.80



圖 4-1 湖口掩埋場廢棄物狀態



圖 4-2 竹南掩埋場廢棄物狀態

#### 4.1.2 垃圾組成試驗

表 4-6 至表 4-8 與圖 4-3 至圖 4-5 為本實驗分析之湖口與竹南廢棄物乾基組成。由歸納之結果可發現，湖口場與竹南場之塑膠類約佔 72%及 26%，依據現場採樣結果發現，垃圾之塑膠材質除飲料用容器類外，各項盛裝容器種類亦相當多，同時使用於塑膠袋之含量亦佔相當之比例。在 4.1.1 節描述，湖口掩埋場大部份袋裝垃圾未破碎（圖 4-1），垃圾分類時未確實把塑膠袋中的其它物質取出，或是附著於塑膠上的其它物質（如鐵類）無法分類（如電話、遙控玩具等），另外有些家庭把廚餘直接放入塑膠袋中丟棄，烘乾後附著在袋中，無形中增加塑膠類重量，此將造成湖口掩埋場塑膠類佔 72%之原因。根據竹南清潔隊所作之統計，約有三分之二之廢棄物來自事業廢棄物，與現場觀察塑膠類破碎一致（圖 4-2）。

廢棄物組成之其它類，包含砂土、廚餘及 5 mm 以下之雜物及碎

屑，其中砂土可能來自於覆土。湖口掩埋場取樣並未取自覆土層，因此 5 mm 以下之雜物於其它類佔相當之比例，約佔總體之 20%。竹南掩埋場約佔 71%，根據統計一部份來自於修繕工程，並觀察廢棄物及大量砂土混合，研判採樣時採集一部份之修繕廢棄物及覆土。

垃圾中之紙類包括範圍甚廣，其中近年來廣告紙之氾濫，鋁箔包、利樂包、紙餐盒及紙杯等之大量使用，同時許多速食店或餐飲業改以紙袋作為食物之盛裝，雖然紙類回收甚早推動，但垃圾中紙類含量比例卻有增加之趨勢（環保）。根據觀察湖口及竹南掩埋場以紙裝衛生用品等非回收項目之其它紙類佔大多數，有甚少部份之利樂包及鋁箔包裝，紙類所佔之比例皆小於 2%。

民眾對於金屬類為資源回收物質之普遍認同性較高，且其回收後之金屬具有經濟價值，均使得二地低於 3% 之主要原因。廢玻璃容器屬於 100% 可回收再利用材質，一般而言，玻璃可分為玻璃容器、平板玻璃、玻璃纖維及特殊玻璃等，觀察二地試體皆以玻璃容器為玻璃類之最大部份，玻璃類占 2% 以下。由於一般家庭中纖維布類主要來源為家庭丟棄之舊衣物等，而這些舊衣物一般皆具有回收之價值，因此垃圾中纖維布類含量比例甚少，根據現場觀察可知，大多數的纖維布類以無回收價值之毛巾、抹布、工作手套等種類居多，結果顯示纖維布類所佔比例介於 0.1%~1.4% 間。觀察試體木竹落葉之種類變化，惟外食人口增加所衍生之免洗木筷所佔比例最高，只有少部份為庭園、行道樹之落葉剪枝，木竹落葉類所佔比例介於 1.5%~4% 間。

本實驗所得之分類結果與環保署統計之垃圾組成分類尚有程度上之差距，分析可能原因如下：

- 1、本實驗以乾基作為分類，而環保署以濕基作為分類，高含水量之物質如廚餘、紙類等經過乾燥重量大幅下降，若以乾基分類則降

低其種類在整體之比例。

2、本實驗未將廚餘歸為一類，將它視為其他類，在濕基之組成分類，廚餘所佔比例甚大不可忽略。

3、未將皮革橡膠類分為一類，將橡膠歸為塑膠類，而皮革歸為纖維布類。

表 4-6 湖口掩埋場廢棄物乾基組成

組成(乾基)		A		B		C	
		重量(kg)	百分比(%)	重量(kg)	百分比(%)	重量(kg)	百分比(%)
可燃物	塑膠類	14.612	78.728	19.222	70.622	22.366	69.225
	紙類	0.127	0.684	0.484	1.778	0.385	1.192
	木竹類	0.069	0.372	1.523	5.596	0.427	1.322
	纖維布類	0.490	2.640	0.312	1.146	0.289	0.894
不燃物	金屬類	0.148	0.797	0.326	1.198	0.896	2.773
	玻璃類	0.295	1.589	0.515	1.892	0.086	0.266
	其他	2.819	15.189	4.836	17.768	7.860	24.328
合計		18.560	100.000	27.218	100.000	32.309	100.000

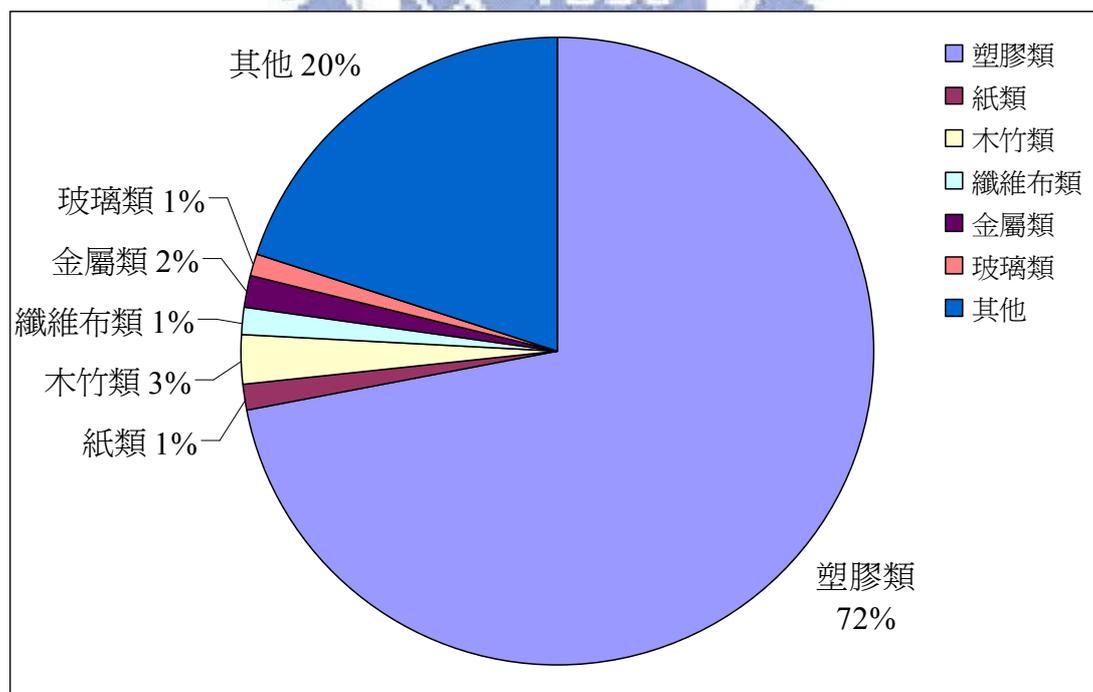


圖 4-3 湖口掩埋場廢棄物乾基組成

表 4-7 竹南掩埋場廢棄物乾基組成

組成(乾基)		A		B		C	
		重量(kg)	百分比(%)	重量(kg)	百分比(%)	重量(kg)	百分比(%)
可燃物	塑膠類	10.968	19.965	9.118	15.181	18.044	57.116
	紙類	0.174	0.317	0.018	0.030	0.552	1.747
	木竹類	1.168	2.126	0.366	0.609	0.132	0.418
	纖維布類	0.000	0.000	0.056	0.093	0.016	0.051
不燃物	金屬類	0.610	1.110	0.744	1.239	0.000	0.000
	玻璃類	0.322	0.586	0.122	0.203	0.026	0.082
	其他	41.694	75.896	49.636	82.644	12.822	40.586
合計		54.936	100.000	60.060	100.000	31.592	100.000

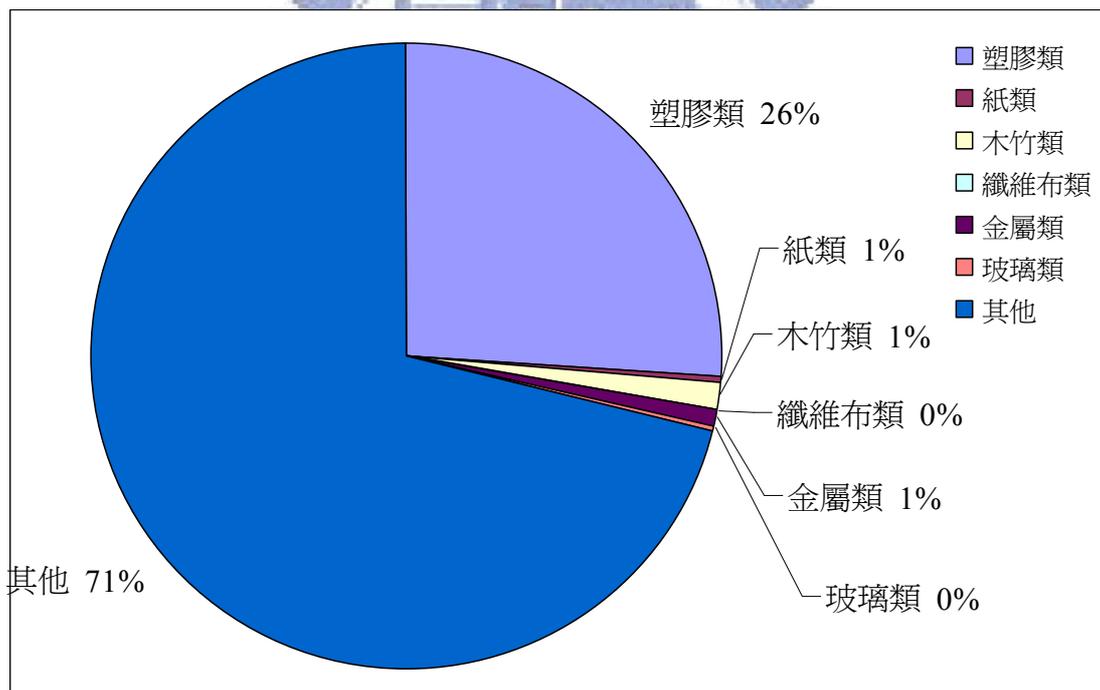


圖 4-4 竹南掩埋場廢棄物乾基組成

表 4-8 竹南掩埋場廢棄物直剪試體乾基組成

組成(乾基)		30 kPa		50 kPa		100 kPa		150 kPa	
		重量 (kg)	百分比 (%)	重量 (kg)	百分比 (%)	重量 (kg)	百分比 (%)	重量 (kg)	百分比 (%)
可燃物	塑膠類	11.030	38.095	16.180	74.963	11.604	52.008	4.270	31.790
	紙類	3.110	10.741	1.258	5.828	2.230	9.995	1.524	11.346
	木竹類	2.784	9.615	0.086	0.398	0.096	0.430	0.582	4.333
	纖維布類	1.560	5.388	0.260	1.205	0.678	3.039	2.346	17.466
不燃物	金屬類	1.028	3.550	0.450	2.085	0.544	2.438	0.032	0.238
	玻璃類	0.608	2.100	0.640	2.965	0.298	1.336	0.116	0.864
	其他	8.834	30.510	2.710	12.556	6.862	30.755	4.562	33.964
合計		28.954	100.000	21.584	100.000	22.312	100.000	13.432	100.000

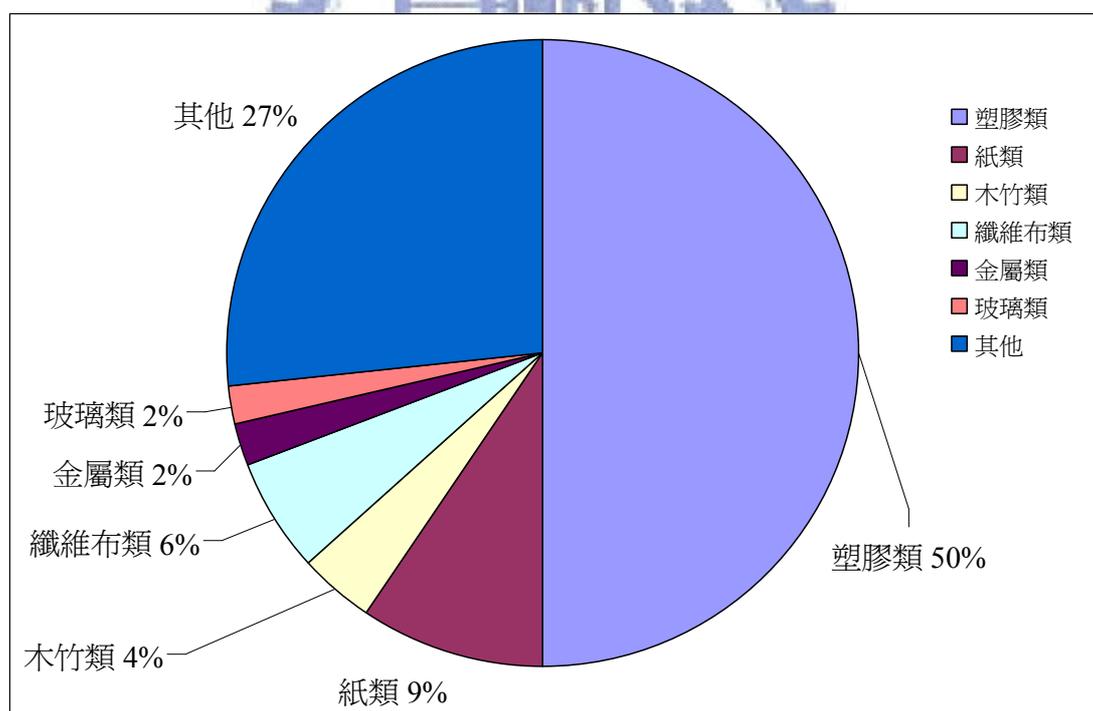


圖 4-5 竹南掩埋場廢棄物直剪試體乾基組成

## 4.2 現地試驗結果

### 4.2.1 現地直剪試驗

現地直剪試驗所得之應力-應變曲線如圖 4-6、圖 4-8 所示。為因應廢棄物之特性，本實驗之剪位移達 20 cm 以上，原本設定之正向應力，因現場廢棄物本身壓縮性較大導致試體剪動過程中的沉陷和傾斜，因此試體破壞時之正向應力與原本設定者有所出入。

以微觀看垃圾之破壞曲線發現，湖口試驗應力-應變曲線(圖 4-6)並非成平滑曲線，最低的正向應力快速達到穩定，應變量達到 10% 之後的增量不多，惟試體三(正向應力為 133.7 kPa)其剪應力小於試體二(正向應力為 106.6 kPa)及試體一(正向應力為 64.6 kPa)之剪應力。觀察破壞面狀況，研判廢棄物之不均質特性，使得試體三之破壞面沿著垃圾袋與袋之間破壞，而試體二及試體一之破壞面破碎且粒徑尺寸較大。圖 4-8 為竹南直剪試體，其中顯示低正向應力的兩個試體之剪應力較快速達到穩定，應變量達到 10% 之後的增量不多，但在正向應力為 173.64 kPa 之試體其剪應力隨剪應變之增加而持續上升，直至剪應變逼近 25% 才停止此一趨勢；另一方面，最大正向應力之試體則因沉陷量過大導致試體下沉，在剪應變較大時過度傾斜，因此試驗僅進行至剪應變約 10% 為止。

第二章的內容中有提到，曾經有學者發現垃圾在變形量超過 30%(Singh and Murphy, 1990; Machado et al., 2002)，應力仍有上升的趨勢，此次的實驗範圍內，應力-應變的曲線為無明顯尖峰點的塑性破壞，在土壤力學理論上，軟弱黏土及鬆砂會出現此種曲線，根據 ASTM 的建議，以剪應變到達 10% 所對應的剪應力為破壞剪力，本實驗廢棄物在剪應變達 20% 以上時，剪應力仍然持續增加，結果顯

示尚在文獻(Singh and Murphy, 1990; Machado et al., 2002)所述之範圍內。故本實驗在沒有明顯尖峰強度值下，採用剪應力趨為一定值之殘餘強度。

如圖 4-1，湖口掩埋場現場觀察垃圾袋保持良好的狀態下，垃圾受剪時，造成大尺寸粒徑的滾動及滑動，部份垃圾必須越過另一袋垃圾的最高點後才產生滑動，在越過一袋垃圾前，必須提高剪力強度，產生應力集中，之後只要增加少許的剪應力就可提供足夠的位移，因此在固定的剪應變速率下，此兩種行為反覆發生，造成湖口試體的剪應力-剪應變曲線為非平滑曲線；反之，竹南掩埋場含大量的破碎垃圾及覆土，組成較湖口試體「均質」，造成竹南試體應力-應變曲線較為平滑的原因。

圖 4-7 及圖 4-9 為兩處現地直剪所求出之莫爾庫倫破壞包絡線，線性迴歸湖口及竹南所得之凝聚力及摩擦角分別為  $c=33.6$  kPa、 $\phi=32.1^\circ$  及  $c=34.9$  kPa、 $\phi=37.9^\circ$ ，所得結果尚在前人研究所歸納之範圍內。前小節有說明，湖口試體較為「鬆散」，垃圾的互制力靠每一袋垃圾間的摩擦力產生；竹南試體較為「緊密」，研判試體的剪力強度包含了砂石與破碎垃圾（包括塑膠製品、紙袋、包裝材料等）提供的互制力，因此剪力強度較高。

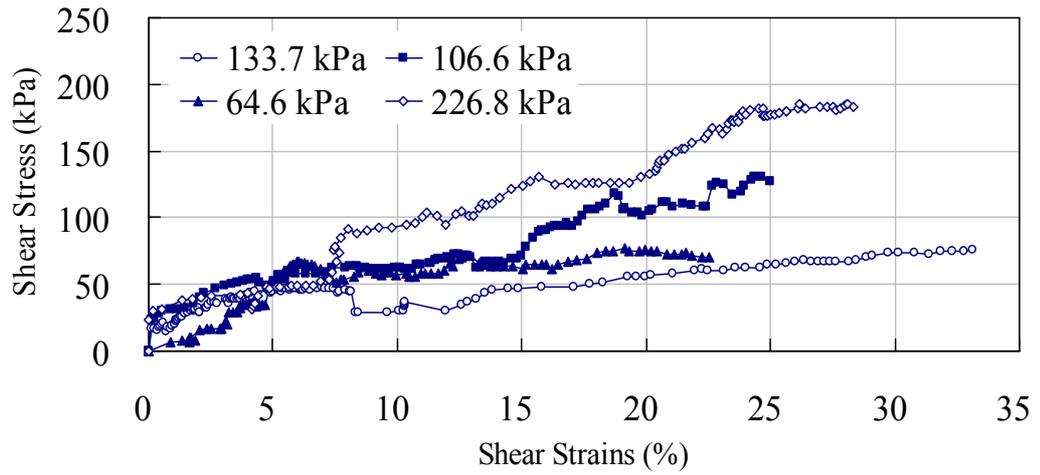


圖 4-6 現地直剪試驗應力應變圖 (湖口)

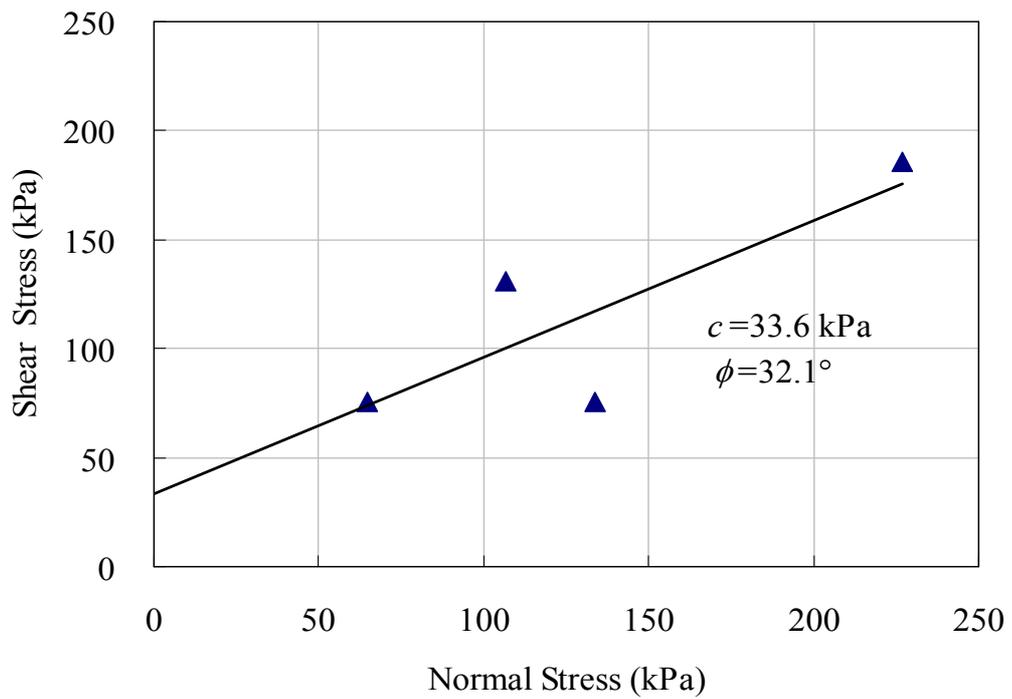


圖 4-7 現地直剪試驗結果曲線圖 (湖口)

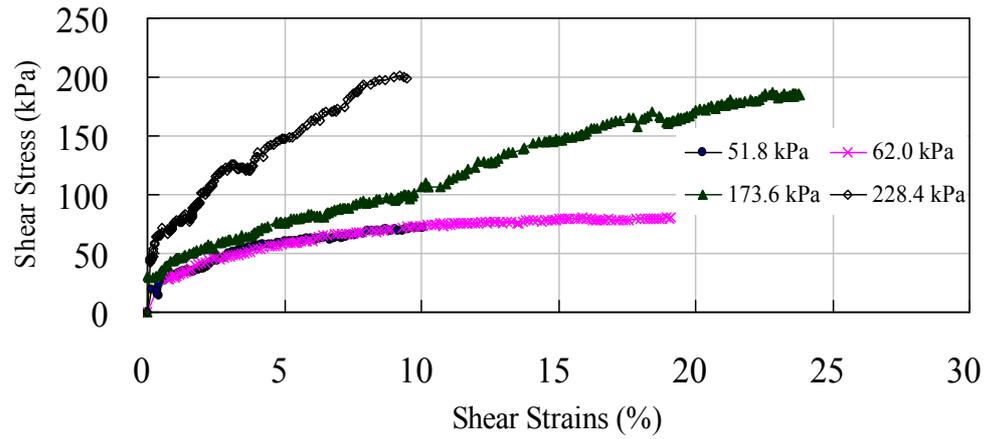


圖 4-8 現地直剪試驗應力應變圖 (竹南)

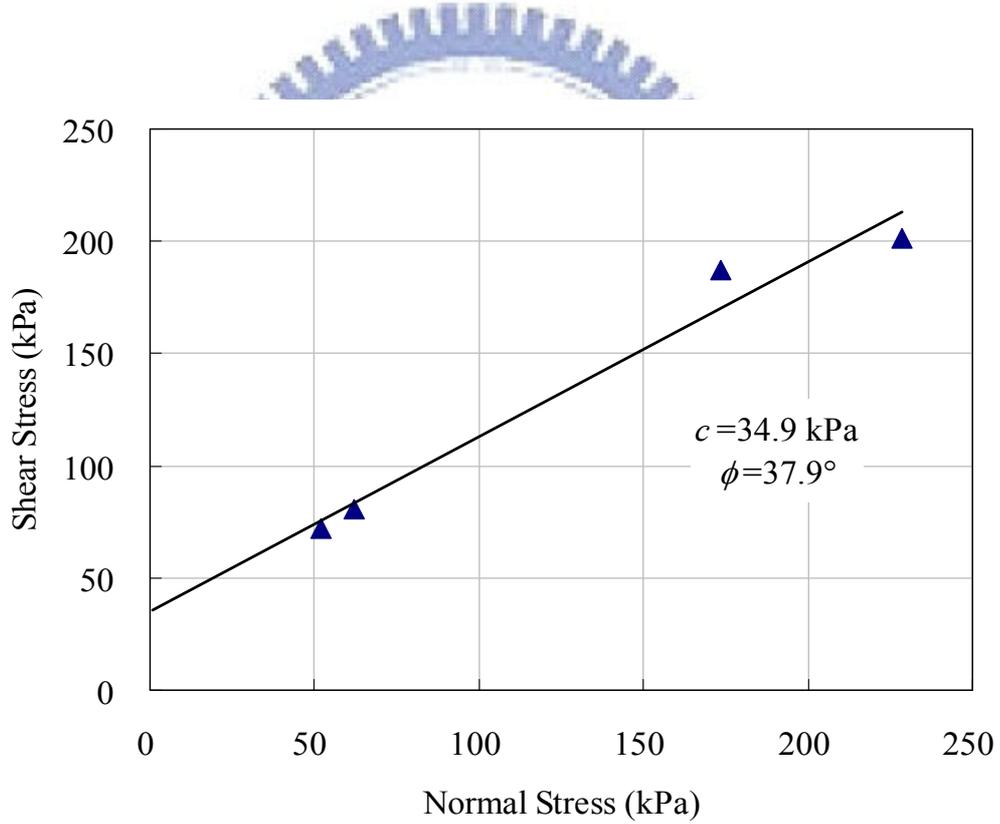


圖 4-9 現地直剪試驗結果曲線圖 (竹南)

## 4.2.2 現地平鈹載重試驗

圖 4-10 與圖 4-11 為載重-沉陷量曲線，根據 ASTM 建議，載重-沉陷量曲線無明顯破壞點，取試驗沉陷量等於 0.5”所對應試驗載重作為極限承載力，並取其安全係數為 2，為容許承載力，分別得到湖口及竹南的極限承載力  $q_u$  為 5.69 kPa、11.87 kPa（表 4-9），有學者研究指出，主要壓縮發生的時間短，大約佔總沉陷量的 10%~30%；次要壓縮發生時間長，產生沉陷量可達 25%，以土壤力學的觀點，試驗總沉陷偏大，若以 0.5”沉陷量作為判斷極限承載力的標準，並不適用於廢棄物的分析，在生物分解持續降到一定值之前，建築物的容許承載力應由沉陷量控制。

此次取試驗沉陷量等於 1”所對應試驗載重計算地盤反力係數，分別得到湖口及竹南的極限承載力  $q_u$  為 11.38 kPa、22.17 kPa，日後並可依據工程特性訂定工程容許沉陷量，由載重與沉陷量互制關係決定容許承載力。

表 4-9 現地平鈹載重試驗結果彙整表

項目 位置	極限承載力 $q_u$ (kPa)	容許承載力 $q_a$ (kPa)	地盤反力係數 $K_v$ (kN/m <sup>3</sup> )	描述
湖口	5.69	2.84	494.33	曲線無明顯破壞點，取試驗沉陷量等於 0.5”所對應試驗載重作為極限承載力
竹南	11.09	5.59	845.25	

若取沉陷量 1”時，所對應竹南試驗載重計算地盤反力係數  $K_v$  約為 875.25 kN/m<sup>3</sup> (89.22 t/m<sup>3</sup>)，依謝旭昇及程日昇 (1996) 提出的地盤反力係數建議值，屬於極疏鬆砂土或極軟弱黏土。

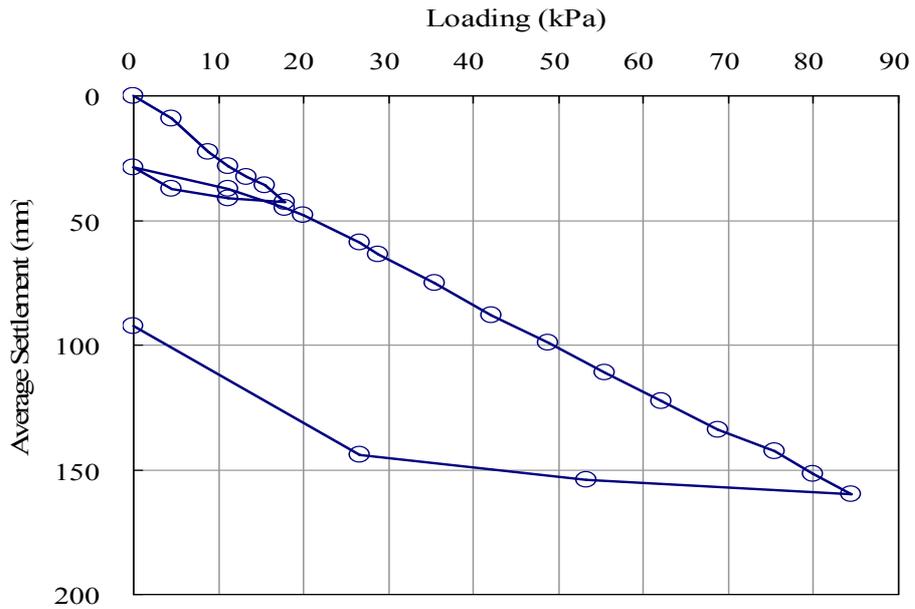


圖 4-10 平板載重試驗之解壓再壓曲線 (湖口)

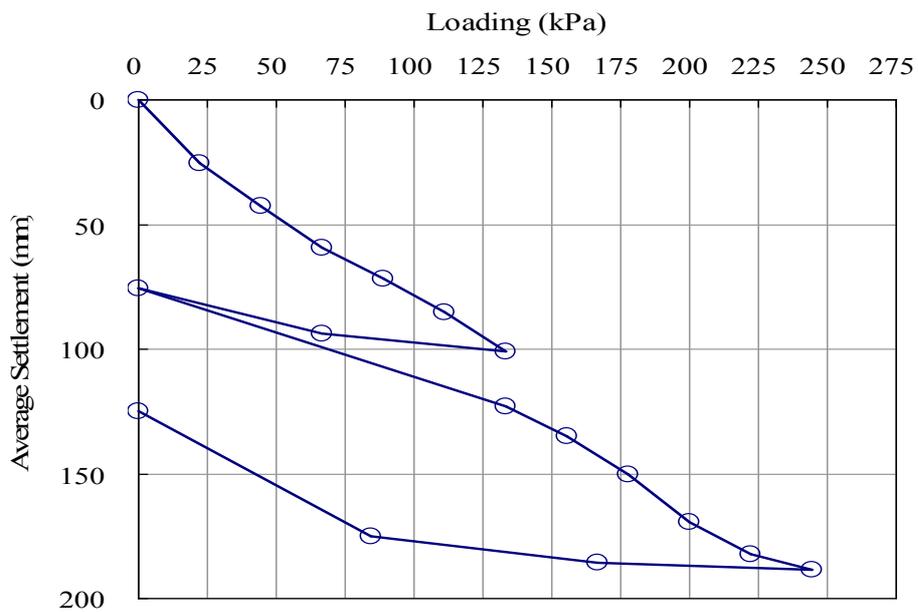


圖 4-11 平板載重試驗之解壓再壓曲線 (竹南)

## 4.3 CLARA-W 邊坡穩定分析結果

### 4.3.1 湖口掩埋場邊坡穩定分析

受限軟體無法在橫向 (X 軸方向) 自動搜尋最佳破壞對稱中心，

此處自動搜尋的方法僅能在給定的橫斷面（Y-Z 平面）上操作，可以選擇最陡的斷面為對稱中心，以各種不同的橢圓率（ $Re$ ，X 向直徑/Y 向直徑）分析比較（圖 4-12、圖 4-13），掩埋場剖面如圖 4-14，分析結果如圖 4-15。

表 4-10 列出不同條件之安全係數，在二維邊坡穩定當中，當坡度愈緩時，安全係數愈大，此趨勢與邊坡穩定理論一致；另外，經過最陡斷面（ $X=50\text{ m}$ ）與最緩斷面（ $X=25\text{ m}$ ）之二維及三維分析後得知，安全係數皆在 2.0 以上，在未考慮地下水及地震力之影響下，此掩埋場呈現安全穩定狀態。由結果顯示，在陡斷面以三維分析，結果較二維分析大；反之，在緩斷面以三維分析之，較二維分析結果小，一般邊坡之二維穩定分析常選在最陡斷面處，顯示其分析結果偏向保守。

跟據黃慶松（1984）研究在圓弧形破壞，破壞底部愈寬，亦即橢圓率（ $Re$ ）值愈大，端點效應減小， $F_3/F_2$  值將會愈小。以湖口掩埋場的穩定性為例，橢圓率  $Re$  對安全係的影響，在緩斷面分析時最大影響約為 8.8%，在陡斷面約為 4.6%，三維邊坡穩定分析在自動搜尋圓弧形破壞時，必須將圓弧破壞寬度列入考慮，尤其受不規則坡面影響甚大。

如表 4-11 顯示，三向度效應在緩坡為對稱中心時影響較小，以三維分析偏向保守，最大影響未超過 10%，其原因係以三維分析在緩坡產生破壞面時，此破壞面通過陡坡的破壞面並非原本在此處最有可能的破壞面，二者權衡之結果，反而比二維在緩坡分析小；反之，三向度效應在陡坡為對稱中心時影響較大，當三維分析在陡坡產生破壞面時，其破壞面在緩坡更為保守，權衡下陡坡之三維分析比二維分析偏

向不保守，影響範圍約在 14%~20%之間，故一般二維分析常在最大斷面處或最小安全係數斷面。

表 4-10 湖口掩埋場安全係數

Re \ X	25 m	50 m	Re \ X	25 m	50 m
1.0	2.52	2.67	2.4	2.42	2.72
1.2	2.43	2.64	2.6	2.43	2.72
1.4	2.43	2.64	2.8	2.45	2.70
1.6	2.37	2.66	3.0	2.52	2.69
1.8	2.41	2.66	4.0	2.49	2.68
2.0	2.40	2.69	100.0	2.60	2.60
2.2	2.42	2.71	2-D	2.63	2.27

表 4-11 湖口掩埋場三向度效應

Re \ X	25 m	50 m	Re \ X	25 m	50 m
1.0	-3.82	17.62	2.4	-7.63	19.82
1.2	-7.25	16.30	2.6	-7.25	19.82
1.4	-7.25	16.30	2.8	-6.49	18.94
1.6	-9.54	17.18	3.0	-3.82	18.50
1.8	-8.02	17.18	4.0	-4.96	18.06
2.0	-8.40	18.50	100.0	-0.76	14.54
2.2	-7.63	19.38			

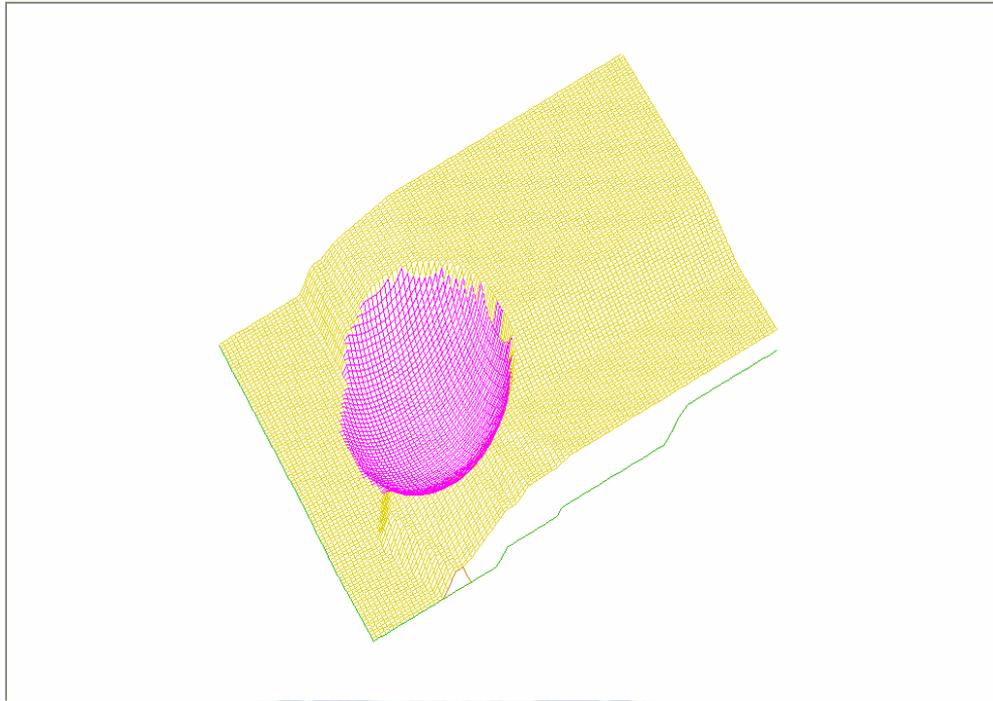


圖 4-12 橢圓率 1

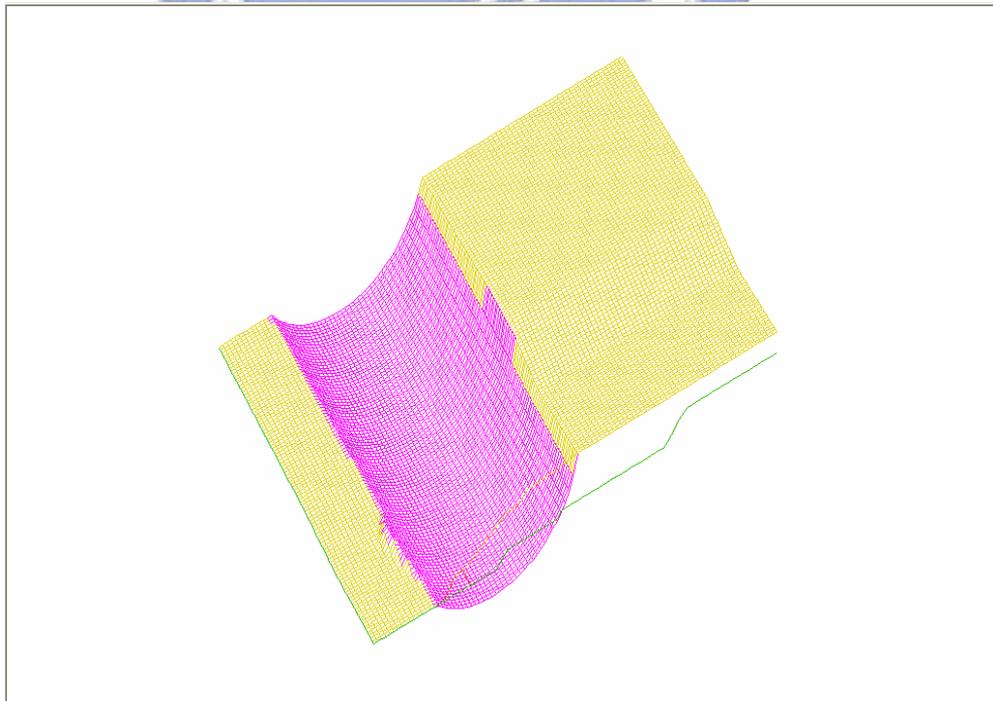


圖 4-13 橢圓率 100



圖 4-14 湖口掩埋場剖面圖

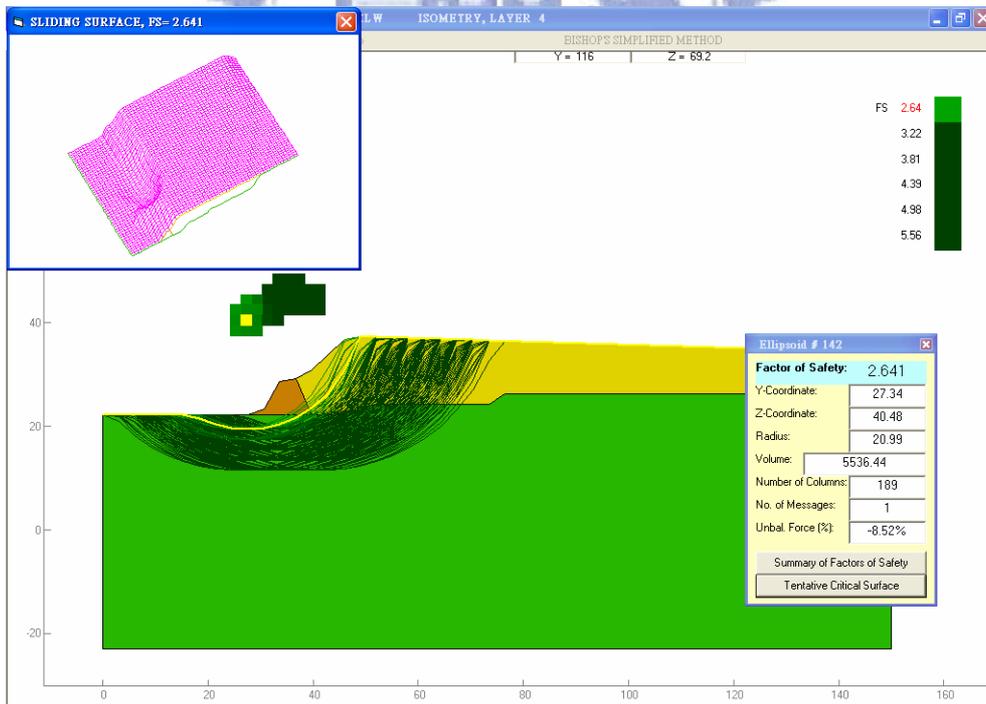


圖 4-15 二維邊坡穩定分析結果圖

### 4.3.2 模擬開口狀邊坡穩定分析

在分析掩埋場開口大小 $\beta$ 對於邊坡之影響時，將開口分為

30°~60°，邊坡高度 ( $H$ ) 為 5 m~20 m，縱向深度 ( $L$ ) 為 20 m~60 m，廢棄物單位重為 10 kN/m<sup>3</sup>，而剪力強度  $c=0$  kPa、 $\phi=30^\circ$ ；土工膜布與土層弱面單位重為 16 kN/m<sup>3</sup>，剪力強度  $c=0$  kPa、 $\delta=10^\circ\sim 20^\circ$  等改變不同條件來進行研究。表 4-12 至表 4-14 說明掩埋場開口大小 ( $\beta$ )、縱向深度 ( $L$ )、坡高 ( $H$ ) 及弱面摩擦角 ( $\delta$ ) 關係之安全係數值。

### A. 幾何參數影響

根據表 4-12 至表 4-14 中可知三維分析所得之安全係數結果與二維分析結果是一致的，亦即當掩埋高度  $H$  增高時，安全係數隨之降低；當掩埋場的長度  $L$  增加時，安全係數增大；而界面摩擦角  $\delta$  對於安全係數更是有關鍵的影響。安全係數隨掩埋高度  $H$  為 5 m 增高到 20 m 快速遞減，三維分析約降低 63%~66%，二維分析則降低約 70%，在長度  $L$  愈短、開口  $\beta$  愈大增加的幅度愈小，反之，長度  $L$  愈長、開口  $\beta$  愈小增加的幅度愈小；安全係數隨長度  $L$  為 20 m 增加到 60 m 遞增，安全係數增加幅度在長/高比 ( $L/H=4$ ) 高較長/高比 ( $L/H=1$ ) 低為大，分別約為 128%~138%與 116%~122%，惟長/高比大的安全係數增加幅度隨著長度  $L$  增加而增加，而長/高比小隨著長度  $L$  增加而減少；安全係數隨掩埋場開口  $\beta$  為 30°增高到 60°遞減，研判在滑動方向之塊體受到側向摩擦力減少之影響，惟在長度  $L$  大高度  $H$  低及長度  $L$  小高度  $H$  高影響較小。由圖 4-16 中則可得知開口型坡地掩埋場之開口角度對於安全係數之影響，開口角度愈大則安全係數愈低，但就已分析之開口角度範圍 30°~60°而言，當安全係數愈大時（亦即  $H$  愈小與  $L$  愈大），開口角度影響愈大；反之，當安全係數愈小時（亦即  $H$  愈大與  $L$  愈小），開口角度的影響愈小。但在開口為 30°~60°範圍內，安全係數變化最大約 20%。表 4-15 至表 4-17 說明滑動體之寬/高比 ( $B/H$ ) 產生的三向度效應，在此次的分析範圍內，三向度效應相當

顯著且皆為負值，根據張睦雄(2002)指出，當三向度效應出現負值，滑動體兩側端將有損其中段之穩定性，顯示開口在  $30^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$  範圍內，長度 20 m 到 60 m，寬/高比為 1 到 4 間之開口型掩埋場，邊坡實際的安全係數小於二維分析結果，亦即中央部份之穩定性，將會受其左右邊坡有所損害，進而降低整體之穩定性，以二維分析較三維分析保守；由表 4-15 中可得知掩埋場長度  $L$  對三向度效應的影響，當寬/高比值高，掩埋場長度  $L$  愈長與開口愈大，三向度效應愈大，在分析範圍內最高可 40%，但增加的幅度較小；而在寬/高比值低時，掩埋場長度  $L$  與開口大小對三向度效應之增加幅度較大但約略相等、三向度效應較小。另外，在表 4-15 中愈往左下三向度效應愈低，愈往右上三向度效應愈高，亦即掩埋場長度愈短、坡度寬/高比與開口愈小，在三向度分析中愈可視為二向度分析。

## B. 滑動界面參數影響

由材料參數之探討如表 4-12 至表 4-14 可發現，安全係數隨著界面摩擦角  $\delta$  增加而增加，顯示界面摩擦角的增加有助於二維及三維分析的穩定性，大致上增加 106%~108%，掩埋場高度、開口、長度影響增加的幅度變化很小。

由材料參數之探討如表 4-15 至表 4-17 表可發現，摩擦型特性的界面 ( $\delta \neq 0$ 、 $c=0$ )，當界面摩擦角  $\delta$  從  $10^{\circ}$  增加為  $20^{\circ}$  對於三向度效應而言，影響十分些微。

綜合以上討論可知，掩埋場的穩定性與滑動的幾何因子與界面強度參數息息相關，而三向度效應似乎僅與滑動幾何因子有關，而與界面強度參數無關，在此次的研究中，「開口型」之掩埋場其三向度效應皆為「負」值，意指滑動體之兩側將降低整體掩埋場之穩定性。

表 4-12 安全係數表 ( $\delta=10^\circ$ )

$\beta$ $H$	L=20 m				L=40 m				L=60 m			
	30°	45°	60°	2D	30°	45°	60°	2D	30°	45°	60°	2D
5m	1.35	1.24	1.15	1.70	2.26	2.08	1.96	3.16	3.08	2.89	2.73	4.60
10m	0.81	0.75	0.70	0.95	1.34	1.23	1.15	1.72	1.79	1.66	1.59	2.45
20m	0.48	0.45	0.43	0.52	0.81	0.74	0.69	0.96	1.07	0.98	0.93	1.35

表 4-13 安全係數表 ( $\delta=15^\circ$ )

$\beta$ $H$	L=20 m				L=40 m				L=60 m			
	30°	45°	60°	2D	30°	45°	60°	2D	30°	45°	60°	2D
5m	2.05	1.89	1.75	2.58	3.43	3.16	2.97	4.80	4.69	4.39	4.14	6.99
10m	1.23	1.14	1.06	1.45	2.03	1.86	1.74	2.61	2.72	2.52	2.38	3.72
20m	0.74	0.69	0.65	0.79	1.23	1.12	1.05	1.46	1.63	1.49	1.41	2.06

表 4-14 安全係數表 ( $\delta=20^\circ$ )

$\beta$ $H$	L=20 m				L=40 m				L=60 m			
	30°	45°	60°	2D	30°	45°	60°	2D	30°	45°	60°	2D
5m	2.79	2.57	2.38	3.51	4.66	4.29	4.04	6.52	6.37	5.96	5.63	9.49
10m	1.67	1.55	1.44	1.97	2.76	2.53	2.37	3.55	3.69	3.43	3.24	5.06
20m	1.00	0.94	0.88	1.07	1.67	1.53	1.43	1.99	2.21	2.03	1.91	2.80

表 4-15 三向度效應係數表 ( $\delta=10^\circ$ )

$\beta$ $B/H$	L=20 m			L=40 m			L=60 m		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°	30°	45°	60°
4	-20.59	-27.06	-32.35	-28.48	-34.18	-37.97	-33.04	-37.17	-40.65
2	-14.74	-21.05	-26.32	-22.09	-28.49	-33.14	-26.94	-32.24	-35.10
1	-7.69	-13.46	-17.31	-15.63	-22.92	-28.13	-20.74	-27.41	-31.11

表 4-16 三向度效應係數表 ( $\delta=15^\circ$ )

$\beta$ $B/H$	L=20 m			L=40 m			L=60 m		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°	30°	45°	60°
4	-20.54	-26.74	-32.17	-28.54	-34.17	-38.13	-32.90	-37.20	-40.77
2	-15.17	-21.38	-26.90	-22.22	-28.74	-33.33	-26.88	-32.26	-36.02
1	-6.33	-12.66	-17.72	-15.75	-23.29	-28.08	-20.87	-27.67	-31.55

表 4-17 三向度效應係數表 ( $\delta=20^\circ$ )

$\beta$ B/H	L=20 m			L=40 m			L=60 m		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°	30°	45°	60°
4	-20.51	-26.78	-32.19	-28.53	-34.20	-38.04	-32.88	-37.20	-40.67
2	-15.23	-21.32	-26.90	-22.25	-28.73	-33.24	-27.08	-32.21	-35.97
1	-6.54	-12.15	-17.76	-16.08	-23.12	-28.14	-21.07	-27.50	-31.79

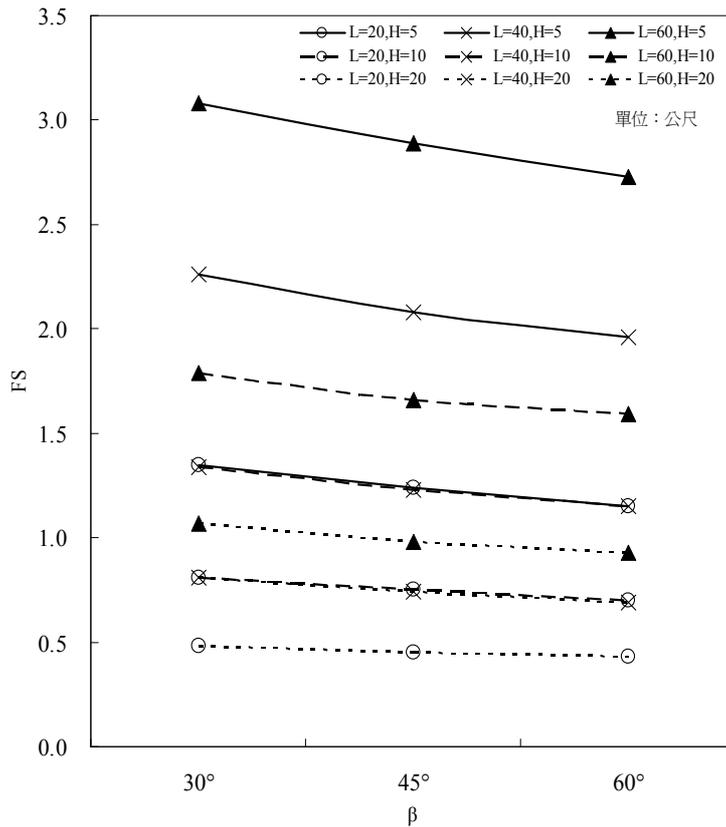


圖 4-16 各種組合之安全係數

## 第五章 結論與建議

多年來廢棄物的性質持續探討，至今仍未有一套適合量測地工分析用之標準，採樣主要以環保署公佈之方法進行採樣，並不適用大地工程上的分析，而邊坡穩定主要以土壤力學理論為分析工具，本研究經由環保署的標準方法進行改良，建立一套較能反映現場廢棄物單位重之方法，另外以一套較能合理反映現實三維幾何和滑動機制之理論分析方法，同時以湖口掩埋場為例用三維和二維方法進行實際分析，所得之結論如下：

1. 經過湖口掩埋場實驗後發現，以本實驗方法比標準取樣方法約高 93%，標準試體又比近五年全國平均單位重高 62%，不過仍略低於過去國外文獻之平均單位重，顯示實驗的方法對廢棄物單位重值有極大的影響。
2. 台灣的廢棄物因混合許多事業廢棄物，因此剪力強度較國外文獻略高，直剪試驗顯示廢棄物之剪力強度與土壤相當，惟其壓縮性較高、承载力較低，較近似鬆軟土壤，剪力強度必須在較大剪應變下才能發揮。
3. 平板載重結果顯示在試驗進行之沉陷範圍內，沉陷與荷重曲線並無明顯之彎曲點，故不易求出極限承载力與反算剪力強度參數。
4. 三維邊坡穩定分析結果顯示，掩埋場開口角度愈大則安全係數愈小，在  $30^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$  範圍內，影響最高可達 20%。
5. 滑動體之寬／高比 ( $B/H$ ) 愈大、開口的角度 ( $\beta$ ) 愈大、掩埋場的長度愈長 ( $L$ )，三向度效應的影響愈明顯；破壞面之影響則可

忽略。顯示影響該效應主要為滑動之幾何參數。

6. 此研究範圍內發現，開口角度在在  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$  內之滑動破壞，其三向度效應使得三維分析安全係數低於二維安全係數，顯示滑動體兩側界面降低整體邊坡之穩定性。
7. 湖口掩埋場案例分析中，安全係數皆在安全範圍內。最緩斷面三向度效應為負值，顯示在此斷面以三維分析較為保守；反之，在最陡斷面三向度效應為正值，顯示三維分析偏向危險，而橢圓率的影響不超過 6%。

藉由本研究之實際試驗與分析結果所得之初步見解與建議如下：

1. 政府應委託學術單位研究廢棄物之  $c$  值與  $\phi$  值，制定適合作為土工分析之標準方法，並建立本土化之參數，供爾後掩埋場之規劃設計、操作營運等重要參數。
2. 由於台灣地貌的狀況複雜，邊坡穩定常涉及三度空間的考量，CLARA-W 邊坡穩定程式在輸入地形幾何仍有困難，如何選定須要分析的臨界剖面，將是對工程師經驗與專業知識的一大考驗。
3. 本實驗以現場直接剪力試驗求取廢棄物強度參數，因廢棄物壓縮性大，加壓後並非成水平滑動，恐造成剪力強度增加，影響正確性。
4. 廢棄物掩埋場之高度不均質性，且隨時間不斷改變安全性質，使得分析時無法確實掌握實際工程參數，在多項無法確定的因素下所作的假設，在經濟效應許可下，應適度提高安全數值，以確保安全。

## 參考文獻

1. 行政院環境保護署(2006)，「中華民國環境統計年報」。
2. 陳咸享、胡文德(1986)，「垃圾之衛生掩埋場」，科學月刊，第204期。
3. 單信瑜(1999)，「地工合成材於山坡地掩埋場之應用」，地工技術第73期，pp.57-66。
4. 行政院環境保護署(2002)，「一般廢棄物回收清除處理辦法」，中華民國九十一年十一月二十七日發文字號：環署廢字第○九一〇〇八一六二八號。
5. 行政院環境保護署(2002)，「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」，91.09.25 環署廢字第0910064717 號令修正發布。
6. 行政院環境保護署(2003)，「九十二年度一般廢棄物衛生掩埋場封閉復育綠化及再利用維護管理工程成效評估」，EPA-92-Z102-02-103。
7. 陳榮河(1997)，「垃圾掩埋場復育工程：垃圾掩埋場之公害防治-大地工程」，行政院環境保護署「建立垃圾掩埋場復育工程及技術規範」第二次技術研討會，環保署廢管處主辦。
8. 陳榮河(1990)，「衛生掩埋場之穩定分析方法」，地工技術，第31期，pp.6-21。
9. 王鯤生(1995)，「都市垃圾排出量與性質預測模式之研究」，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。

- 10.行政院環保署(2005),「台灣地區垃圾採樣及樣品分析工作」, EPA-94Z102-02-101。
- 11.游中揚(1998),衛生掩埋場復育技術與實例探討,「第一屆廢棄物清理實務研討會論文集」,行政院環境保護署與台北市政府論文集。
- 12.劉家男(2004),「地工合成材於環境地工之應用」,地工技術雜誌,第102期,pp.5-14。
- 13.謝旭昇、程日昇(1996),「論筏基設計用地盤反力係數」,地工技術,第53期,pp.45-54。
- 14.施國欽(2001),「大地工程學(二)基礎工程篇」,文笙書局,pp.2-59~2-60。
- 15.張睦雄(2005),「邊坡穩定三向度效應之初步探討」,中國土木工程學刊,第17卷,第2期,June,pp.195-204。
- 16.錢學德、郭志平、施建勇、盧廷浩(2000),「現代衛生填埋場的設計與施工」,中國建築工業出版社。
- 17.黃慶松(1984),「滑動之三向度穩定分析」,私立淡江大學,碩士論文。
- 18.鄭介眉(2004),「垃圾衛生掩埋場垃圾層邊坡穩定分析之研究」,私立朝陽科技大學,碩士論文。
- 19.陳盈文(2006),「掩埋場復育邊坡穩定分析工程參數探討」,國立台灣海洋大學,碩士論文。

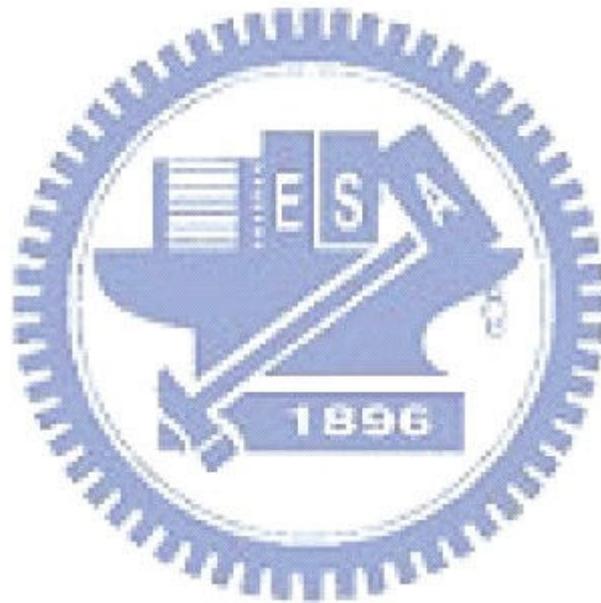
20. Bishop, A. W. (1955), "The use of the slide circle in the stability analysis of slopes", *Geotechnique*, 5:7-17.
21. Daniel, D. E. (1993), "Geotechnical Practice For Waste Disposal", pp.101.
22. Dixon, N and Jones, D. R. V. (2004), "Engineering properties of municipal solid waste".
23. Eid, H. T., Stark, T. D., Evans, W. D. and Sherry, P. E. (2000), "Municipal solid waste slope failure. I: Waste and foundation soil properties." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 5, pp.397-407.
24. Fassett, J., Leonards, G. A. and Repetto, P. (1994), "Geotechnical Properties of Municipal Solid Wastes and their Use in Landfills". WASTETECH '94.
25. Hovland, H. J. (1977), "Three-dimensional slope stability analysis method", *ASCE journal of the Geotechnical Engineering Division*, 103:971-986.
26. Hungr, O. (1987), "An extension of Bishop's Simplified Method of slope stability analysis to three dimensions", *Geotechnique*, 37:113-117.
27. Hungr, O., Salgado, F. M. and Byrne, P. M. (1989), "Evaluation of a three dimensional method of slope stability analysis", *Geotechnique*, 37:679-685.
28. Kavazanjian, E., Jr., Matasovic, N. Bonaparte, R. and Schmertmann, G. R. (1995), "Evaluation of MSW Properties for Seismic Analysis," In: *Geoenvironment 2000*, ASCE Geotechnical Special Publication No. 46, Vol. 2, pp. 1126.

29. Kavazanjian, E., Jr., E., Beech, J. f. and Matasovic, N. (2001). Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering, ASCE, Vol. 127, No.9, pp. 1126.
30. Landva, A. O., and Clark, J. I. (1990), "Geotechnics of Waste Fill," Geotechnics of Wastefills—Theory and Practice, ASTM STP 1070, pp. 86–103.
31. Mitchell, R. A. and Mitchell, J. K. (1992), "Stability Evaluation of Waste Landfills", Proceedings of ASCE Specialty Conference on Stability and Performance of Slope and Embankments-II, Berkeley, CA, June 28-July 1, pp.1152-1187.
32. Machado S. L., Carvalho M. F. and Vilar O. M. (2002). "Constitutive model for municipal solid waste". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, V.128, No.11, pp. 940-951.
33. Mitchell, R.A. and J.K. Mitchell. (1992), "Stability Evaluation of Waste Landfills", Stability and Performance of Slopes and Embankments, II: Proceedings of a Specialty Conference; Berkeley, California, June 29-July 1, 1992 (Geotechnical Special Publication 31). Raymond B. Seed and Ross Boulanger, eds. New York: American Society of Civil Engineers, 1992, volume 2, pp. 1151-1187. SEL TA760.S73 1992 v.2.
34. Martin, J. P., Koerner, R. M., and Whitty, J. E., (1984), "Experimental Friction Evaluation of Slippage between Geomembranes, Geotextiles, and Soils," Proc. Intl. Conf. Geomembranes, St. Paul, MN: IFAI, pp. 191 – 196.
35. Meyerhof, G. (1956), "Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils", ASCE, Journal of Soil Mechanics and

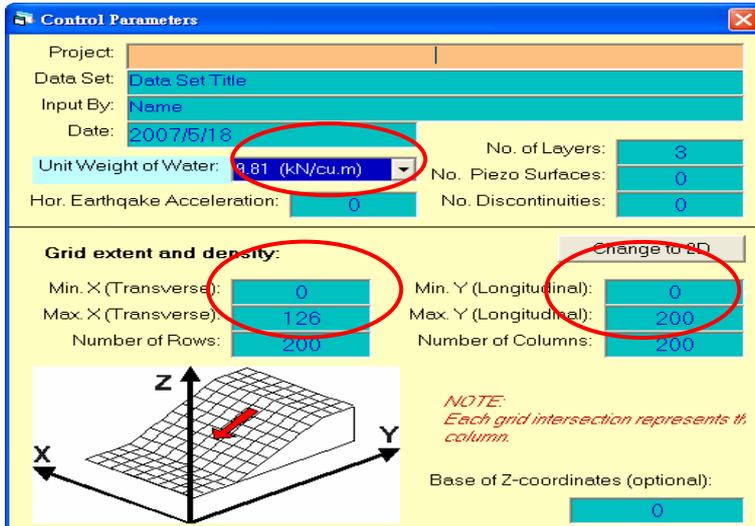
Foundation Division, Paper No. 866.

36. Singh, S. and B. Murphy (1990), "Evaluation of the Stability of Sanitary Landfills", *Geotechnics of Solid Waste Fills: Theory and Practice*. Arvid Landva and G. David Knowles, eds. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1990, pp.240-258. SEL TD795.7 G46 1990.
37. Schumaker, N. B. (1972), "Construction Techniques for Sanitary Landfill", *Waste Age*, March/April.
38. Sargunan, A., Mallikarjun, N., and Ranapratap, K. (1986), "Geotechnical Properties of Refuse Fills of Madras, India", *Proceeding International Symposium on Environmental Geotechnology*, pp.197-204.
39. Sadek, S. M. and Manasseh, C. G. (2005), "A Large Direct Shear Apparatus For Testing Solid Waste And Waste-Liner Interfaces".
40. Sowers, G. F., (1968), "Foundation Problem in Sanitary Landfills", *Journal of Sanitary Engineering, ASCE*, Vol. 94, No. 1, pp.103-116.
41. Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Eilassen, R., (1977) "Solid Waste Engineering Principles and Management Issues", McGraw - Hill.
42. USEPA (1985), "Minimum Technology Guidance on Double Liner Systems for Landfills and Surface Impoundments: Design, Construction, and Operations, EPA/530-SW-84-0143.
43. Watts, K. S., Charles, J. A., Blaken, N. J. R. (2002). Settlement of landfills: measurements and their significance. *Waste 2002, Integrated Waste Management and Pollution Control: Research, Policy and Practice*, pp. 673–682.
44. Williams, N. D. and Houlihan, M. R. (1987), "Evaluation of interface

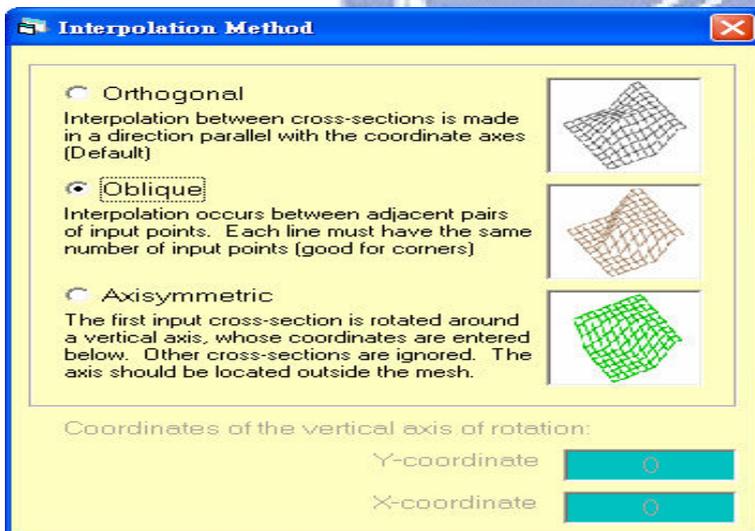
friction properties between geosynthetics and soils”, Geosynthetics 1987, IFAI, Mnneapolis, MN, 2, 616-627.



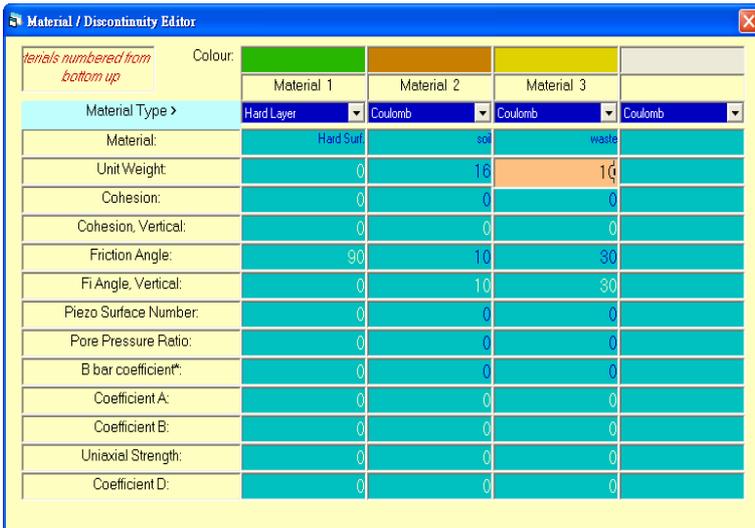
# 附錄



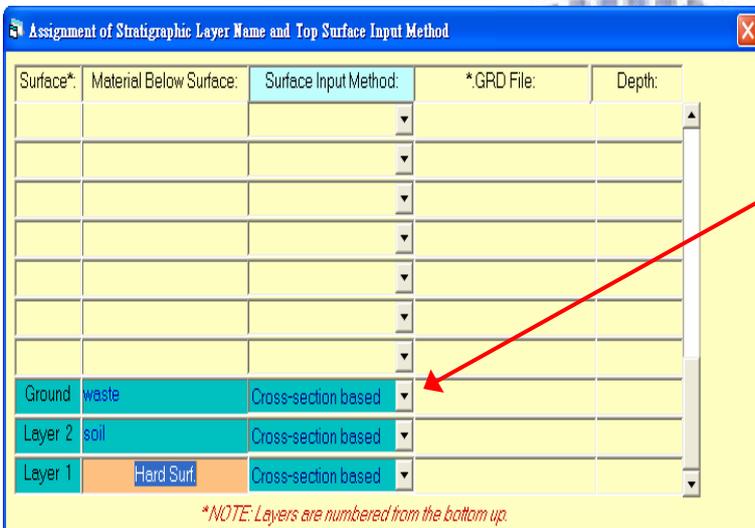
單位的選定，設定 X 軸、Y 軸的範圍及解析度，按 **Change to 2D** 則以變成 2D 的分析方法。



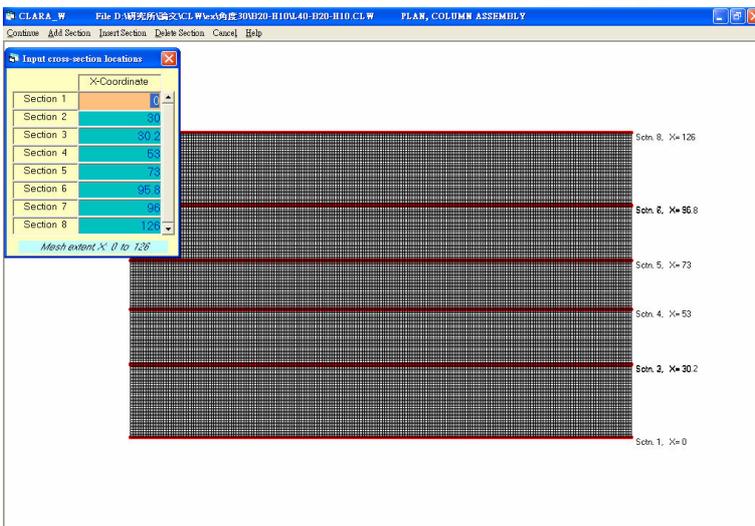
有三種內插的方法可供選擇（如正交、非正交、軸對稱）。



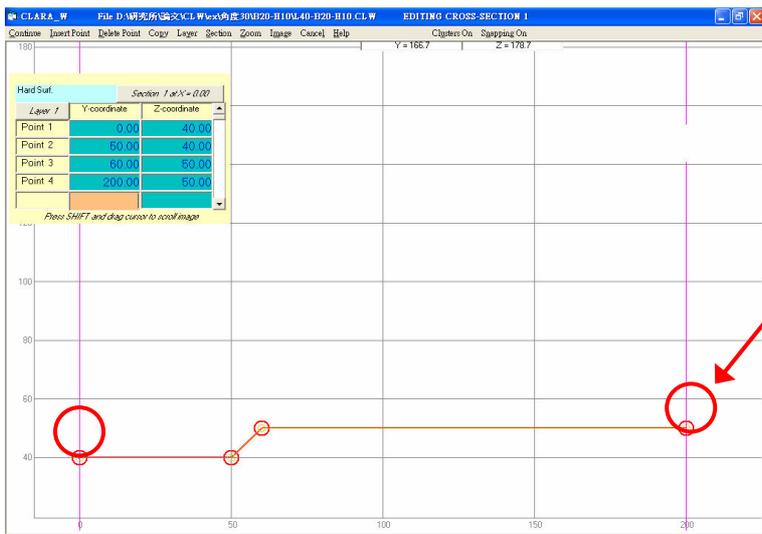
由下層往上層依序設定。若為岩層或不破壞面可選擇 Hard Layer。



地層由下往上設定名稱還資料來源，選擇 Cross-section based 鍵是由此軟體輸入；選擇 Elevation grid .GRD file 鍵則可以由.grd 檔輸入。

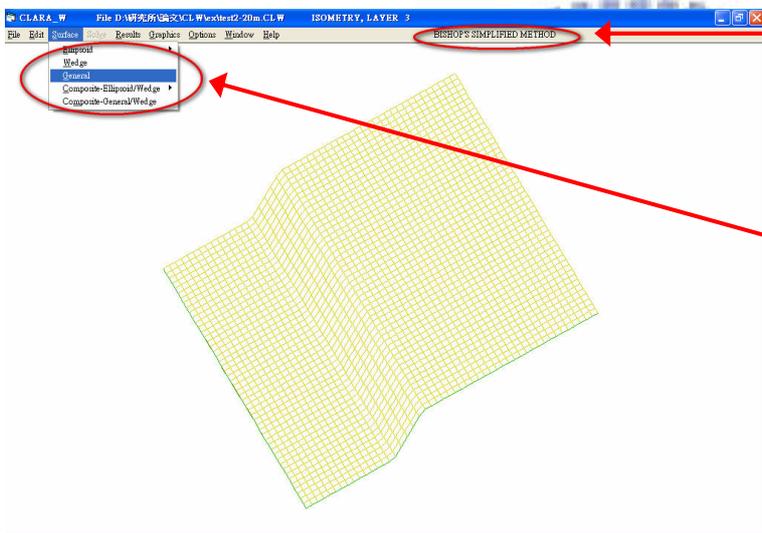


此項的設定與 X 範圍設定有關，在 min. x 與 max. x 範圍內可以任意選擇想要剖的剖面。



輸入順序為地層、剖面，先將某一斷面的地層輸入後，再進行下一斷面。

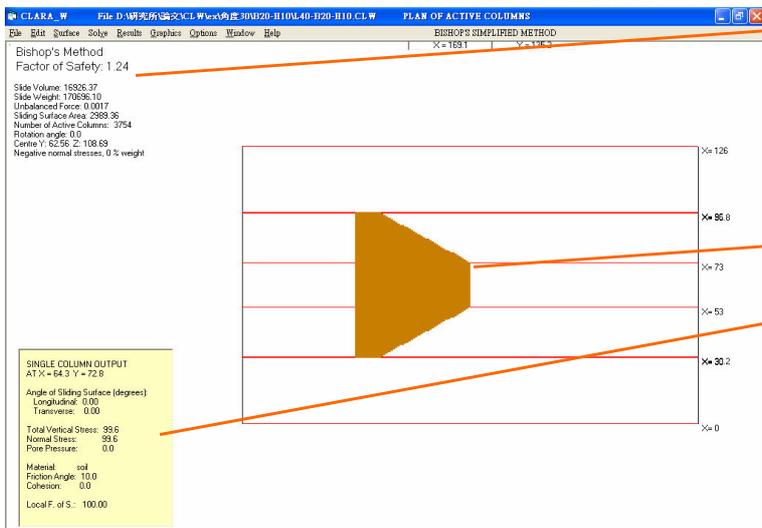
可使用 copy 項中的 copy layer 及 copy section 來簡化步驟。每層必須經過 Min. Y 與 Max. Y。



選擇分析方法：Janbu、Bishop simplified、Spencer、Morgenstern-Price。

Ellipsoid：可用自動搜尋及給定範圍搜尋破壞面及安全係數。  
Wedge：須指定破壞面。給定走向，傾向、傾角等，較不易想像。  
General：須指定破壞面輸入方法如 step4 兩種等。

Composite：複合型，為上列方法之組合。



分析結果相關資料（如安全係數、滑動土方、滑動面積、滑動中心等）。

破壞區（上視圖）

此區顯示破壞區某一點（用用滑鼠在破壞區內點選）的滑動面角度、垂直應力、孔隙水壓及滑動面強度參數等。