

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

垃圾掩埋場址之治理及其土地永續利用--垃圾掩埋場址復育應用之大地安全性探討(I) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 97-2621-M-216-003-
執行期間：97年08月01日至98年07月31日
執行單位：中華大學土木與工程資訊學系

計畫主持人：吳淵洵

計畫參與人員：碩士級-專任助理人員：邱佳琪
碩士班研究生-兼任助理人員：王冠評
碩士班研究生-兼任助理人員：林義堅

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 98 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

垃圾掩埋場址之治理及其土地永續利用--垃圾掩埋場址復育應用之大地安全性探討(I)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2621-M-216-003

執行期間：97年8月1日至98年7月31日

計畫主持人：吳淵洵

共同主持人：

計畫參與人員：邱佳琪、王冠評、林義堅

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

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

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

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學土木與工程資訊系

中華民國 98 年 10 月 27 日

摘要

台灣地狹人稠，土地成本高昂，垃圾掩埋場封場復育後之治理及其土地之開發與利用是我國未來環境保護重要政策。由於早期環保法令規章不全，垃圾掩埋場相關設計與使用規範未臻完善，故台灣地區現存之垃圾掩埋場結構之穩定性亟須檢討，其結果對於垃圾掩埋場封場復育後之開發成效與安全至關重要。城市固體廢棄物種類繁多性質複雜，變異性極高，因此影響其填埋結構體穩定之因素相對亦極為眾多分析不易。國內外在此一領域之相關研究普遍不足。國內對於悠關封場復育穩定與安全分析所需之本土化工程參數目前亦極為缺乏，亟待工程界加以探討。

本研究針對台灣現有垃圾掩埋場封場復育之安全穩定問題，依據國內垃圾掩埋場設置與營運之本土特性，首先廣泛蒐集國內外垃圾掩埋場相關工程參數，建構本土垃圾掩埋場工程參數資料庫。其次參考國內外垃圾掩埋場破壞案例，以極限平衡邊坡穩定分析程式 STEDwin 及有限元素程式有限元素程式 Plaxis 數值模擬、分析之方式，針對垃圾掩埋場結構體各單元之穩定與安全加以探討，研擬具體實際可行之數值分析模式，以期建構台灣垃圾掩埋場封場復育後，場址之大地安全性評估模式。垃圾掩埋場填埋體之邊坡穩定分析探討顯示，依據極限平衡法則之電腦程式 STEDwin 所得之結果與國外文獻案例以 Talren 分析所得者相似，垃圾纖維產生之張力阻抗可以加勁格網予以模擬，惟以有限元素程式 Plaxis 分析時則發現無論是安全係數或破壞面位置均具有極大之差異。進一步以詳細的漸進式方法分別使用 STEDwin 及 Plaxis 比較不同程度破壞之安全係數，二種程式之分析結果均顯示文獻案例之邊坡破壞應係由淺層破壞開始再逐漸發育成為全面破壞模式。由此說明垃圾掩埋場填埋體邊坡穩定分析之複雜性，而著重材料變形檢核之 Plaxis 程式較能顯現填埋體邊坡之破壞模式。研究成果可提供相關單位於進行垃圾掩埋場封場復育開發與規劃設計作業之參考，同時亦有助於國家環境保護與國土永續發展之長期目標。

關鍵詞：垃圾掩埋場、都市固體廢棄物、邊坡穩定、變形、沈陷

ABSTRACT

Taiwan is a small area with congested population and costly land. The developments of all existing closure sanitary landfill sites (CSLS) thus become one of the most important policy of environment protection for this country. However, the structural safety of CSLS presents serious potential problems. This is due to the imperfectness of earlier environmental laws and acts and the possible erroneous design codes and schemes. Therefore, CSLS in Taiwan should be carefully examined to ensure its structural stability and safety. Because the engineering properties of municipal solid waste (MSW) are heterogeneous and uncertain to be determined, the safety measures for CSLS will be difficult to be estimated with confidence. Solutions are hardly found in literatures around the world and further local studies are extremely required in this field.

This research studies the safety engineering analyses for CSLS in Taiwan. The research consists of collection of engineering properties of MSW; performance of statistical analyses of all the data; and establishment of a localized engineering database. Based on several live cases of CSLS failures, this research also will conduct engineering analyses using commercial limit equilibrium program STEDwin and finite element program Plaxis to simulate slope failures for CSLS. As a result, numerical solutions and performance recommendations for CSLS safety measures will be developed for government use and ensure the safety of CSLS in future development. Based on the results of analysis, STEDwin simulate well for a failure of existing sanitary landfill and the results are similar to those found using Talren in the literature. The tension resistance provided by fibrous of the waste can be simulate using the function of geogrid in the program. However, the results of Plaxis demonstrated great different schemes both for safety and the locations of failure plane. Further studies were conducted using detailed progressive analyses for different schemes of failures. The results indicated that the slope failure of the case studied should be initiated at the shallow surface. The failure surface was then progressively moving toward to the inside body of the slope, and finally developed the total collapse. The studies demonstrated the complexity of the analysis of a slope failure for a sanitary landfill. The capability of deformation analysis given by Plaxis indicates its superiority in searching of the true failure surface. The findings of this research will improve engineering technology in the field of waste geotechnology and promote resource recovery. It is thus consistent with the national goals sustainability.

Keywords: sanitary landfill, municipal solid waste (MSW), slope stability, settlement

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究方法與步驟	4
第二章 文獻回顧	6
2.1 垃圾掩埋場構造	6
2.2 廢棄物掩埋場破壞類型	7
2.3 垃圾衛生掩埋場穩定邊坡之定義	9
2.4 國內外掩埋場的破壞案例	10
2.5 台灣垃圾掩埋場	14
2.6 垃圾掩埋場設計中的岩土問題	15
2.7 填埋場設計所需工程參數	15
2.7.1 固體廢棄物之單位重	16
2.7.1.1 單位重量測方式	22
2.7.2 固體廢棄物剪力強度參數	23
2.7.2.1 MSW 剪力強度參數量測方法	31
2.7.3 界面摩擦力	31
2.7.4 基本參數不確定因素	38
2.7.5 固體廢棄物的透水性	38
2.7.6 固體廢棄物彈性模數與柏松比	39
2.8 MSW 沉陷量分析參數	39
第三章 國內外案例彙整	41
3.1 國內外垃圾掩埋場資料彙整	41
3.2 相關材料參數統計結果	46
第四章 案例分析研討	49
4.1 垃圾掩埋場邊坡穩定分析架構及流程	49
4.2 STEDwin 程式分析簡介	50
4.2.1 STEDwin 分析基本理論	50
4.2.2 STEDwin 之特性與功能	50
4.2.3 加勁材應力計算及基本理論	52
4.2.4 STEDwin 程式分析步驟	54
4.3 有限元素程式 PLAXIS 簡介	55

4.3.1 程式基本理論.....	56
4.3.1.1 剪力強度折減法.....	56
4.3.2 PLAXIS 分析步驟說明如下：.....	58
4.4 文獻案例分析比較.....	59
4.4.1 文獻案例簡介(印尼萬隆垃圾掩埋場).....	59
4.4.2 文獻案例結果比較.....	63
4.5 實際案例穩定分析.....	77
4.5.1 實際案例簡介(山豬窟垃圾衛生掩埋場).....	77
4.5.2 實際案例分析結果比較.....	82
第五章 結論與建議.....	86
5.1 結論.....	86
5.2 建議.....	87
參考文獻.....	88

表目錄

表 2.1 廢棄物掩埋場潛在破壞類型於設計上所需之工程參數	8
表 2.2 垃圾掩埋場所填築之邊坡破壞模式	9
表 2.3 掩埋場破壞案例	11
表 2.4 分類準則與相關參數一覽表	16
表 2.5 新鮮堆置廢棄物總體單位重統計表	18
表 2.6 國內外文獻統計之固體掩埋物單位重	18
表 2.7 美國 6 個垃圾填埋場現地全尺寸試驗之單位重結果	19
表 2.8 物理參數不同成果及土壤覆蓋的數量	22
表 2.9 MSW 單位重量測方法	23
表 2.10 從文獻上統計之剪力強度參數量測案例.....	25
表 2.11 廢棄物剪力強度值.....	27
表 2.12 廢棄物剪力強度值.....	28
表 2.13 MSW 的剪力行為量測方法探討.....	31
表 2.14 平滑地工模布之界面剪力強度參數值.....	33
表 2.15 地工合成物與地工合成物界面剪力強度.....	34
表 2.16 地工合成物與土壤界面剪力強度	35
表 2.17 地工合成黏土襯墊界面剪力強度	36
表 2.18 地工合成黏土襯墊內部剪力強度	37
表 2.19 固體廢棄物彈性模數 E 與柏松比 ν	39
表 2.20 廢棄物之沉陷分析參數.....	40
表 3.1 全台灣垃圾掩埋場相關資料一覽表	41
表 3.2 國外垃圾掩埋場相關資料一覽表	46
表 3.3 單位重統計	46
表 4.1 STEDwin 之程式架構.....	51
表 4.3 文獻案例分析結果一覽表	63
表 4.4 STEDwin 分析結果一覽表	65
表 4.5 PLAXIS 與 STEDwin 淺層破壞分析結果比較.....	68
表 4.6 漸進式破壞分析結果一覽表	69
表 4.7 回饋分析結果整理表.....	71
表 4.8 邊坡穩定分析土層參數表.....	81
表 4.9 PLAXIS 與 STABL 淺層破壞分析結果比較.....	83
表 4.10 Plaxis 回饋分析結果.....	84

圖目錄

圖 1.1 垃圾掩埋場之治理及土地永續利用之策略目標示意圖	2
圖 1.2 整合研究之架構及各子計畫之連繫協調示意圖	3
圖 1.3 本計畫之研究構想與目的以及整體目標與意義	4
圖 2.1a 垃圾掩埋場之一般構造	6
圖 2.1b 垃圾掩埋場填埋作業	6
圖 2.2 廢棄物掩埋場潛在破壞類型	9
圖 2.3 無設置襯墊層的掩埋場 2D 分析剖面	12
圖 2.4 有設置襯墊層的掩埋場 2D 分析剖面	13
圖 2.5 台灣廢棄物處理場(廠)分布圖	14
圖 2.6 美國 6 個垃圾填埋場現地全尺寸試驗之單位重結果	19
圖 2.7 密度與廢棄物平均垂直應力之關係	20
圖 2.8 11 位不同學者利用現地大型尺寸試驗得到 MSW 單位重結果	20
圖 2.9 一般垃圾掩埋場之 MSW 單位重建議深度曲線	21
圖 2.10 假設參數 α 、 β 之物理意義	21
圖 2.11 單位重假設參數的影響	22
圖 2.12 設計上建議的剪力強度範圍	26
圖 2.13 MSW 有效剪力強度參數之彙整	26
圖 2.14 一般固體廢棄物強度歸納	29
圖 2.15 固體廢棄物之剪力強度	29
圖 2.16 固體廢棄物之剪力強度	30
圖 3.1 單位重統計圖	47
圖 3.2 強度參數統計圖	48
圖 4.1 案例分析流程圖	49
圖 4.2 STEDwin 程式架構圖	51
圖 4.3 STABL6 程式加勁位置、力量分佈及傾斜因素圖	53
圖 4.4 STABL6 程式加勁力模擬方向說明	54
圖 4.5 STABL 分析邊坡安全係數之流程圖	55
圖 4.6 萬隆城市位置	60
圖 4.7 萬隆大地測量協會衛星空照圖	60
圖 4.8 破壞後殘餘邊坡	60
圖 4.9 破壞現況照片	61
圖 4.10 分析幾何剖面形狀圖	62
圖 4.11 垃圾場本身構造及營運(適當排水及無火災情況)分析結果(正常狀態)	64
圖 4.12 垃圾場無火災時分析結果(暴雨狀態)	64

圖 4.13 垃圾場有火災分析結果(垃圾悶燃).....	65
圖 4.14 垃圾場本身構造及營運(適當排水及無火災情況)分析結果(正常狀態)	66
圖 4.15 垃圾場無火災時分析結果(暴雨狀態).....	66
圖 4.16 垃圾場有火災分析結果(垃圾悶燃).....	67
圖 4.17.. PLAXIS 垃圾場適當排水及無火災情況分析結果(正常狀態)	67
圖 4.18 STEDwin 垃圾場淺層破壞分析結果(正常狀態)	68
圖 4.19a 漸進式破壞示意圖	69
圖 4.19b PLAXIS 漸進式破壞分析結果	69
圖 4.19c PLAXIS 漸進式破壞分析結果(續).....	70
圖 4.20 PLAXIS 回饋分析結果($C=70$ kPa, $\phi=20^\circ$).....	72
圖 4.21 PLAXIS 回饋分析結果($C=75$ kPa, $\phi=35^\circ$).....	72
圖 4.22 PLAXIS 回饋分析結果($C=80$ kPa, $\phi=40^\circ$).....	73
圖 4.23 PLAXIS 回饋分析結果($C=90$ kPa, $\phi=40^\circ$).....	73
圖 4.24 PLAXIS 回饋分析結果($C=100$ kPa, $\phi=40^\circ$).....	74
圖 4.25 PLAXIS 回饋分析結果($C=100$ kPa, $\phi=45^\circ$).....	74
圖 4.26 PLAXIS 回饋分析結果($C=110$ kPa, $\phi=45^\circ$).....	75
圖 4.27 PLAXIS 回饋分析結果($C=120$ kPa, $\phi=45^\circ$).....	75
圖 4.28 PLAXIS 回饋分析結果($C=130$ kPa, $\phi=45^\circ$)(正常狀態).....	76
圖 4.29 PLAXIS 回饋分析結果($C=100$ kPa, $\phi=45^\circ$)(暴雨狀態).....	76
圖 4.30 PLAXIS 回饋分析結果($C=100$ kPa, $\phi=45^\circ$)(悶燃狀態).....	77
圖 4.31 地理位置圖	79
圖 4.32 現況照片圖	79
圖 4.33 分析幾何剖面形狀圖.....	80
圖 4.34 正常狀態分析結果.....	82
圖 4.35 暴雨狀態分析結果.....	83
圖 4.36 復育計畫 STABL 分析結果	84

第一章 緒論

1.1 研究背景

臺灣地區之城市生活垃圾早年大多傾倒於山谷、行水區且未經審慎妥善之處理。由於台灣山坡地陡峭、河川源短流急、地質脆弱，且山區垃圾掩埋場多置於富自然生態及原始林相區域之環境上游處，不但衝擊自然環境生態也可能是環境污染的源頭，在雨季或颱風季節時更存在著土石流、崩塌、地滑等危機，因而衍生甚多環保問題與水土災害，甚至引發後續之社會政治紛爭，惟經政府多年來訂定方案持續戮力整治已逐漸產生績效。臺灣在邁向「開發國家」之路途上，居於保護國土、維護國民健康及秉持環境永續經營之理念，政府甚為重視此等垃圾掩埋場之潛在問題，積極思考治理策略。中央政府遂於民國 92 年制訂「台灣地區垃圾處理後續計畫」，積極協助各地方政府推動垃圾處理、封場復育及滲出水處理等多項方案。預定自民國 96 年以後，除偏遠地區外，生垃圾不再進入掩埋場，而主要都會地區垃圾之處理亦以源頭減量、資源回收為主，期望逐年達成「垃圾零廢棄」目標。對於現存垃圾掩埋場之處理，上述計畫預計先行辦理 117 處掩埋場封閉復育綠化，而後續計畫亦預期移除處置再生復育棄置場 5 處、露天堆置場 12 處及焚化灰渣場 12 處。由此顯示現存垃圾掩埋場之處理將是我國未來環境復育工作執行重點之一。

台灣地狹人稠，土地成本高昂且民眾主張權益自主、環保意識高漲，因此垃圾掩埋場多必須置於位處偏遠之山坡地或河岸等地質敏感地區。此外，又因早年環保法令規章不全，垃圾掩埋場相關設計與使用規範未臻完善，故由於設計、施工不當或超限使用因而導致垃圾掩埋場發生破壞之案例在所多有。例如近年來之竹東垃圾掩埋場、五股灰渣掩埋場、八里垃圾掩埋場等案，其結果往往造成周邊地區之設施嚴重毀損甚至導致人命傷亡。顯示台灣地區現存之垃圾掩埋場結構穩定性亟須檢討，其結果對於垃圾掩埋場封場復育後之安全至關重要(范佐憲、單信瑜，2007)。

由於城市固體廢棄物(Municipal Solid Waste, MSW)種類繁多性質複雜，為變異性極高之物質，因此影響其填埋結構體穩定之因素相對亦極為眾多，分析不易，國內外在此一領域之相關研究普遍不足(鄭介眉，2004；王昱雲，2007；Jones and Dixon, 2005；Zekko et al., 2006；Gabr et al., 2007；Park et al., 2007)。國內對於悠關封場復育穩定與安全分析所需之本土化工程參數目前亦極為缺乏(鄭介眉，2004；范佐憲，2007；王昱雲，2007)。有關封場穩定分析與設計之標準作業程序，以及後續之土地使用安全考量等亦未建立，亟待工程界加以探討。鑑於 MSW 之組成與不規則異質性岩土材料尚屬類似，且垃圾掩埋場之安危與其周邊之大地性質關係亦極為密切，因此本研究擬自大地工程之角度出發，針對垃圾掩埋場之結構之穩定性與安全性加以探討，並提出垃圾掩埋場大地工程穩定分析之本土化標準作業程序建議，以供垃圾掩埋場封場復育相關單位作業之參考。

本子計畫為中華大學因應永續會研擬之議題「環 1- 環境保育相關政策與永續發展之整合籌劃策略研究」之第 4 項主題「土地資源保育及劣化土地環境之鑑定整治及復育策略」，提出之整合型研究案中之一環，提供垃圾掩埋場結構穩定性相關探討，俾與其他子計畫相互整合，藉由掩埋場址之空間資訊管理、防災管理、工程管理及土地管理之建立與強化，達到提昇掩埋場址土地永續性之目的。整合型之研究策略如圖 1.1 所示。

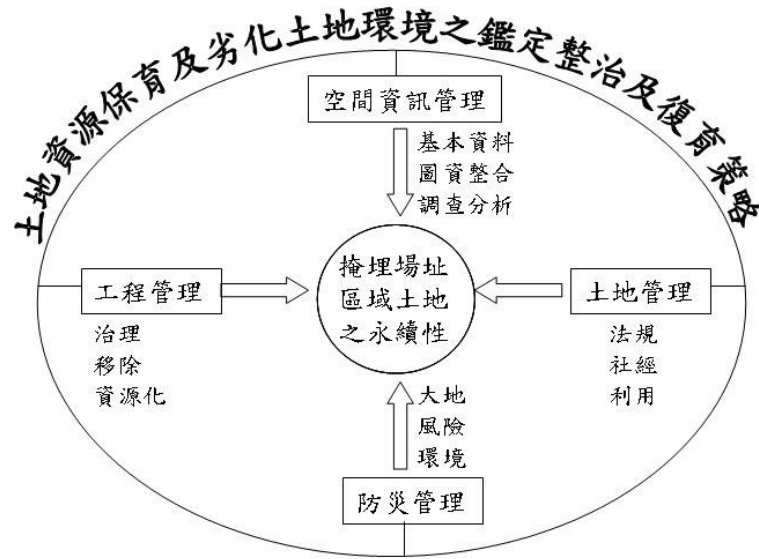
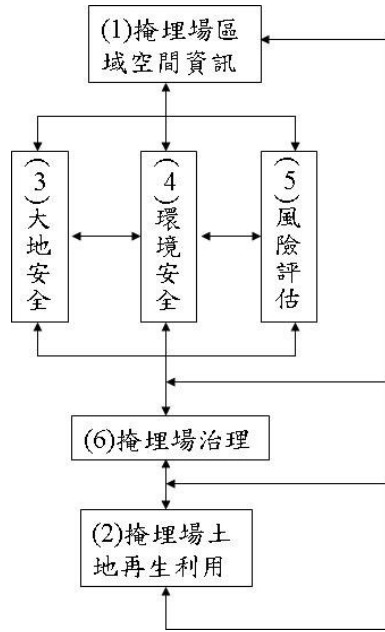


圖 1.1 垃圾掩埋場址之治理及土地永續利用之策略目標示意圖

掩埋場本屬環保設施，其規劃設計與使用，一般多著重在環境之考量，本整合型計畫則以土木工程面之角度切入，檢視氣象、水文、地質等危害因子，配合災害防治技術及工程治理原理，使掩埋場能安全而無污染，提昇場址之利用價值，必要時須予以移除、分類、回填，達到資源利用土地再生之目的。本整合型計畫除資訊、環保、土木背景人員外，也有土地行政管理專家加入研究團隊，探討掩埋場對鄰近地區土地使用之影響及場址本身再利用之法規、社經、人文等問題，研究架構如圖 1.2 所示，圖中數字代表子計畫編號，顯示各子計畫切入點不同，互可支援，總目標則一。



註：括號內數字為子計畫編號

圖 1.2 整合研究之架構及各子計畫之連繫協調示意圖

1.2 研究目的

鑑於垃圾掩埋場封場復育及其土地資源之永續開發與應用為我國政府未來既定之重要環保政策，而垃圾掩埋場之結構安全又為場址封場復育後相關設施發展成功與否之關鍵，因此本研究擬將此二項深具環境保護與民生永續發展意義之議題結合，針對台灣現有垃圾掩埋場封場復育之安全穩定可能問題，依據國內垃圾掩埋場設置與營運之本土特性，如圖 1.3 所示，廣泛蒐集國內外垃圾掩埋場相關工程參數，參考國內外垃圾掩埋場破壞案例，以數值模擬、分析之方式，針對其結構體各單元之穩定與安全加以探討，包括邊坡穩定、填埋體(landfill)沈陷，以及垃圾圍阻堰堤(containment dike)之穩定等，研擬具體實際可行之數值分析模式，以期建構台灣現有垃圾掩埋場封場復育後，場址之長期穩定性與安全性評估模式。研究成果可提供相關單位於進行垃圾掩埋場封場復育規劃設計作業之參考，同時亦有助於國家環境保護與永續發展之長期目標。

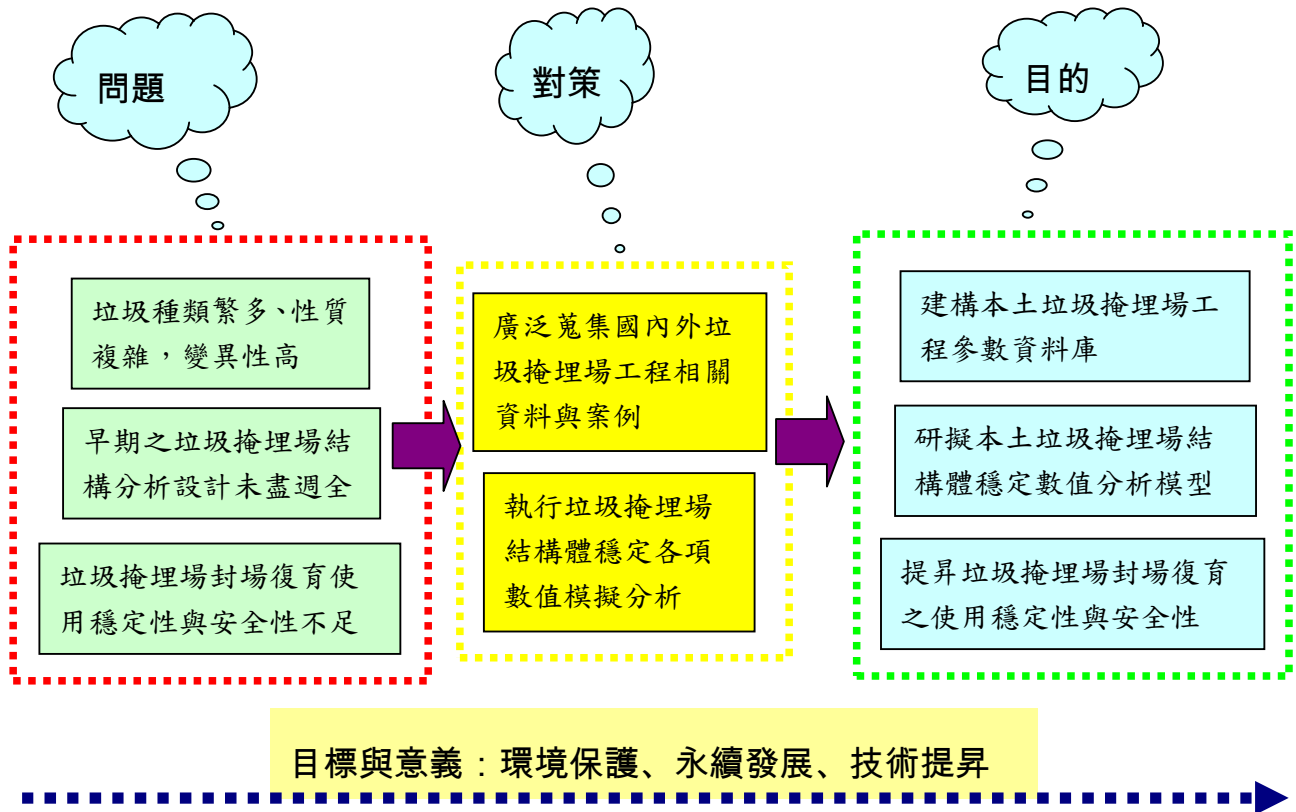


圖 1.3 本計畫之研究構想與目的以及整體目標與意義

1.3 研究方法與步驟

本研究之工作重點項目包括廣泛蒐集國內外相關論文、案例等參考資料，彙整垃圾掩埋場工程參數試驗項目包括單位重、強度與壓縮性等，做為建立本土化工程參數資料庫之依據；其次則針對垃圾掩埋場之邊坡穩定性進行分析方法、模式及工具軟體之評估與篩選；最後以文獻案例為標的，進行模擬分析並就分析結果加以比較，確認分析模式之可行性與正確性。

任何分析成果之正確性必須完全仰賴正確之輸入參數，因此欲求取正確之分析成果，首先必須得到正確之工程參數。關於垃圾掩埋場材料之工程參數，包括垃圾單位重、強度、壓縮性及滲透性等，多年來國內外相關研究曾加以探討，惟因垃圾掩埋場材料是由各類型固體廢棄物、中間覆土和地工合成材料等多種物質組成，具有多孔隙、非飽和、變異性、地域性、依時性及不連續性，各種材料間之變形亦不相容，且材料試驗樣品亦不易製備，故垃圾掩埋場所含材料之物理力學性質之測定極為不易。比較各研究結果往往發現不同時期或不同地區之垃圾工程參數亦明顯不同，顯示相關參數資料庫之建置必須長期廣泛為之，並配合統計法則加以彙整方可達到必要之正確性。

造成垃圾掩埋場結構失穩之原因甚多，其中以填埋體抗剪強度不足、MSW與地工膜布界面強度過低、地基含有軟弱地層導致承载力不足，以及超限使用負

載過度居多。依據前述之文獻探討，垃圾掩埋場失穩之分析模式無論是二維或三維方式，目前仍多以極限平衡法為主，惟此種方法無法考量變形之影響，更何況垃圾掩埋場中存在顯著之不同材料應變相容性(Strain Compatibility)問題，故極限平衡法對於變形量甚大之垃圾掩埋場穩定性預測正確性不足(Jones and Dixon, 2005)。使用有限元素程式，例如 Plaxis 程式應較為理想，不僅可以針對垃圾組成特性以組成律進行模擬，亦可以參考變形量變化評估填埋體穩定性之安全係數。

Plaxis 電腦程式係由荷蘭 Plaxis B.V. 公司所研發，為分析土壤於各類型大地工程問題之變形及應力之有限元素程式並可分析結構桿件之應力及變形行為。為目前學術及工程實務上最有效率的有限元素分析軟體之一，可應用於深開挖、地錨及土釘結構、排樁、隧道、加勁擋土結構、承载力、壓密及潛變、滲流等各類型土壤與結構之互制問題。程式並可考量五種土壤應力-應變組合律包括線彈性、Mohr-Coulomb、Soft Soil、Hardening Soil、Soft Soil Creep 等。對於土體內之水壓力亦可考慮 Hydrostatic 或 Steady State 情況，土壤強度可為 Drained 或 Undrained，孔隙水壓亦可包括超額狀況。Plaxis 程式在大地工程之應用甚為廣泛且經學術、實務驗證多年，依據全國博碩士論文網蒐尋之統計，以 Plaxis 為分析工具之我國博碩士論文已超過 50 篇，內容種類涵蓋土壤力學性質模擬、基礎應用、隧道、基樁、土石壩、深開挖、液化、橋樑以及河溪生態等。雖然尚未有垃圾掩埋場之學術探討先例，然而以此程式之能力及其眾多成功案例，以其應用於垃圾掩埋場應具有一定之可行性。

對於 Plaxis 於垃圾掩埋場填埋體邊坡穩定之適用性，本研究將以印尼巴東垃圾場災變(Koelsch et al., 2005)為分析案例加以探討。此案例災變之主因為垃圾場超限使用，以及颱風豪雨影響，且印尼之氣候、環境及其垃圾掩埋場之營運管理與我國頗為類似，因此以此案例作為探討 Plaxis 是否適用我國垃圾掩埋場之填埋體穩定分析應極為合適。此外，「失敗為成功之母」，失敗案例之探討對於邊坡穩定分析正確性之評估具有極高之學術參考價值，有助於參數以及分析模式之確認。由於我國垃圾掩埋場事故之調查機制尚未建立、資料不全，難以作為學術探討對象。此二案例之事故調查尚屬完整，故對於 Plaxis 建構分析模式正確性之評估極有助益。

由於 MSW 之性質不一，且國內垃圾掩埋場營運管理尚未制度化，故本研究建構工程參數資料庫之最大困難厥為參數之抉擇及其正確性之掌握。對此問題，本研究擬將所取得之參數與 Zekko 等人(2006)建議之 MSW 單位重之數值預測方程式，以及 Machado et al. (2002) 建議之 MSW 應力應變組成律，加以比較分析建立相關性。若因取樣試驗數量樣本不足或數據過於分散以致短期未能建立足夠統計信心，則此資料之整理與歸納對垃圾掩埋場之工程分析而言仍具有若干程度之指標性。藉由後續計畫之執行，以及國內外相關文獻資料之蒐集與彙整，持續累積試驗統計樣本，應可逐步建立我國垃圾掩埋場工程參數之資料庫。

第二章 文獻回顧

本章內容首先根據相關文獻介紹垃圾填埋場破壞類型，並彙整各破壞類型於分析上所需之工程參數、垃圾填埋場穩定安全係數；其次蒐集國內外垃圾填埋場破壞案例及分析方式；最後統計各相關文獻之工程參數以及垃圾掩埋場填埋體之沉陷性質。

2.1 垃圾掩埋場構造

垃圾掩埋場之一般構造及其垃圾填埋作業如圖 2.1 所示，包括不透水襯層、污水、廢氣蒐集系統，以及垃圾填埋作業時之每日覆土與填埋完成時之最終覆蓋層。

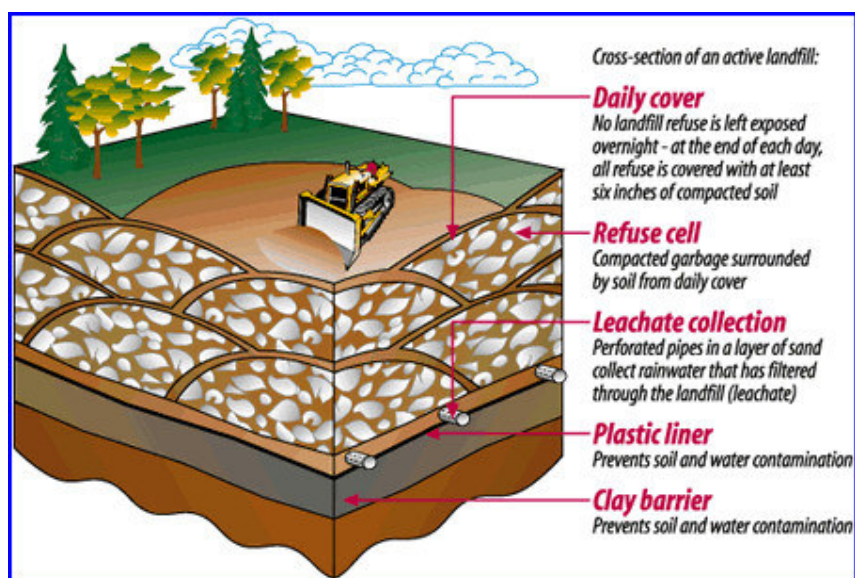


圖 2.1a 垃圾掩埋場之一般構造(www.blueenvironmental.com/landfill.html)

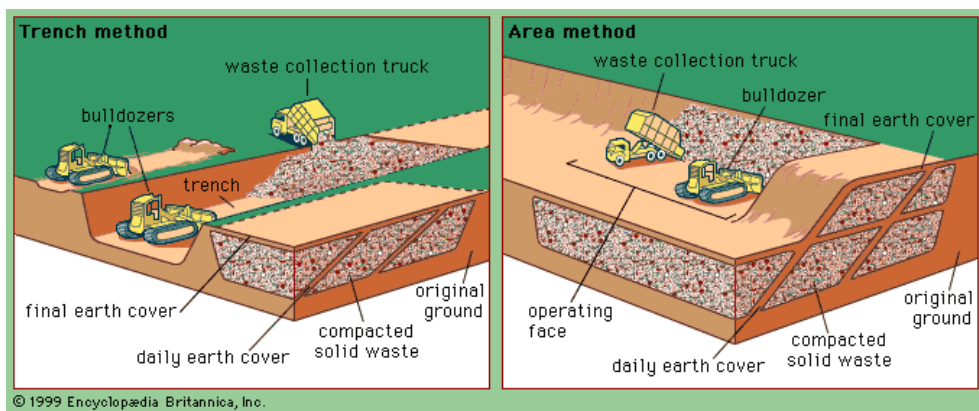


圖 2.1b 垃圾掩埋場填埋作業(<http://media-2.web.britannica.com/eb-media>)

2.2 廢棄物掩埋場破壞類型

Dixon and Jones (2005)提出 10 種廢棄物掩埋場潛在破壞類型，並針對各破壞類型彙整設計上所需之工程參數，詳圖 2.2 及表 2.1 所示。陳榮河及陳國賢(2002)針對廢棄物掩埋場破壞模式及分析方法，歸納區分為五大類(表 2.2)：

(一)廢棄物內部破壞

破壞面發生於填築廢棄物內部，主要因素為廢棄物剪力強度不足所產生之破壞模式，常發生於廢棄物填築邊坡高度較高(超高)、坡角過大(過陡)、廢棄物夯實不足或不當堆置之狀況下。此類破壞之穩定分析可採用傳統圓弧破壞穩定分析方法，如 Bishop、Janbu..等模式分析。

(二)邊坡及基礎土壤之整體破壞

破壞面由上方垃圾層開始，穿過垃圾底層之阻水襯墊層，一般多為不透水布或皂土布等。再延伸至下方基礎土壤。此類型之破壞模式，主要因為基礎下方土壤剪力強度不足而發生剪应力破壞，導致承載不足，使上層之垃圾邊坡同時誘發破壞。通常較易發生於下方存在軟弱土層之情況，尤其是軟弱黏土層。其破壞面通常呈圓弧形，可用傳統是圓弧破壞穩定分析法來進行分析，惟需考量垃圾場底部襯墊層(土工合成材料)之張力強度所提供之抵抗力。

(三)襯墊層界面之滑動破壞

主要破壞面發生於垃圾場底部襯墊層系統之內外部界面，因交界面之剪力強度不足，誌上方垃圾塊體沿此界面產生滑動破壞，常發生於掩埋場邊坡較陡時，而襯墊系統界面強度較低之情況。此類破壞之穩定分析可用塊體平衡進行分析評估。

(四)襯墊層之拉出或拉斷破壞

掩埋場於營運期間，因填埋垃圾與襯墊層界面之摩擦力所產生之向下牽引拉力，超過襯墊系統與下方土壤間之摩擦力及襯墊層之錨定力或張力時，發生襯墊被拉出或斷裂之破壞，使垃圾發生向下滑移。此類型之破壞多發生於襯墊之錨定力或張力強度不足時，其分析方法可採用 Koerner(1994)塊體平衡分析法，進行分析與評估。

(五)覆蓋層之破壞

此類破壞包括頂部覆土因與下方覆蓋襯墊層間之剪力強度不足，而導致覆土向下滑動破壞及覆蓋襯墊層內部界面間之剪力強度不足，致部分襯墊層系統發生向下滑動之破壞。此類破壞之分析法亦可採用 Koerner(1994)塊體平衡分析法，進行分析與評估。

依據前述各種破壞模式，可知控制垃圾填埋體邊坡穩定性之因素包括垃圾剪力強度、基礎地質條件與構造、填埋體結構界面剪力強度，以及垃圾填築結構形狀、尺寸、狀況等。此外，MSW 內部之依時(Time-dependent)變化、滲出水與氣體之產生，以及垃圾掩埋場之週邊環境因素如降雨量、地震、水土災害或工程行為等對於垃圾填埋體邊坡穩定性均可能具有關鍵之影響(陳榮河、陳國賢，2002；王昱雲，2007；Dixon and Jones, 2005; Stark, et al., 2000)。

表 2.1 廢棄物掩埋場潛在破壞類型於設計上所需之工程參數
(Dixon and Jones, 2005)

設計類型	單位重	垂直壓縮性	剪力強度	側向應變	現地水平應力	水力傳導係數
Subgrade stability	◎		◎		◎	
Subgrade integrity	◎		◎	◎	◎	
Waste slope stability	◎	◎	◎			◎
Shallow slope liner stability	◎		◎		◎	◎
Shallow slope liner integrity	◎	◎	◎	◎	◎	
Steep slope liner stability	◎		◎		◎	◎
Steep slope liner integrity	◎	◎	◎	◎	◎	
Cover system integrity	◎	◎	◎			
Drainage system integrity	◎				◎	
Leachate/gas well integrity	◎	◎	◎	◎	◎	◎

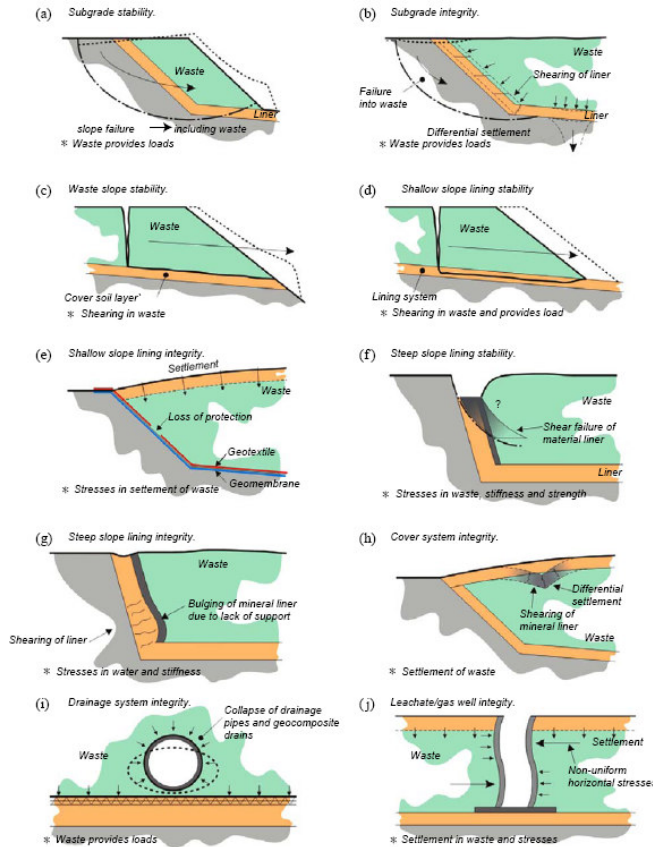


圖 2.2 廢棄物掩埋場潛在破壞類型(Dixon and Jones, 2005)

表 2.2 垃圾掩埋場所填築之邊坡破壞模式(陳榮河、陳國賢，2002)

破壞模式	圖示	發生情況	分析方法
垃圾內部之破壞		邊坡較高、坡度較陡、垃圾夯實不足	圓弧破壞分析法
邊坡及基礎土壤之整體破壞		軟弱基礎	圓弧破壞分析法
襯墊層界面之滑動破壞		坡度較陡襯墊系統之界面強度低	塊體平衡法
襯墊層之拉出或斷裂破壞		襯墊層錨定力或張力強度不足	參考 Koerner (1994)
覆蓋層之破壞		界面摩擦力不足	塊體平衡法

2.3 垃圾衛生掩埋場穩定邊坡之定義

依據既有掩埋場之觀察，下述垃圾邊坡坡度為穩定邊坡：

1. 事業廢棄物：3:1(H:V)到 4:1(H:V)
2. 包含 40%固體的污泥式廢棄物：7:1(H:V)到 6:1(H:V)
3. 飛灰沉積物(未含生垃圾)：7:1(H:V)到 6:1(H:V)

4. 砂質廢棄物和飛灰(未含生垃圾)：1:3(H:V)到 1:4(H:V)

根據環保署 2003 年委託研究單位訪視 29 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 公尺，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 3H:V。只有當掩埋場需要堆積更高時，方予酌情放緩坡度。
3. 當坡度愈趨於上方時，坡度可酌增陡峻，當坡度愈趨於下方時，坡度則勢需放緩。
4. 掩埋場高度每增加 8~10 公尺時，則須加設最少為 4 公尺寬的平台階面一座。階面內側須有排水溝設置。

劉毓胤、李琳、賀懷建(2002)指出衛生掩埋場的形式可分成 5 大類：

1. 面上堆積：填埋過程只有很小的開挖或不開挖通常適用於比較平坦且地下水埋藏較淺的地區。
2. 地上和地下堆積：填埋場由同時開挖的大單元雙向佈置組成，一旦兩個相近單元填起來了，它們之間的面積也可被填起來，通常用於比較平坦但地下埋藏較深的地區。
3. 谷地堆積：堆積的地區位於天然坡度之間，可能包括少許地下開挖。
4. 挖溝堆積：與地上和地下堆積相類似，但其填埋單元是狹窄和平行的，通常用於比較小的廢棄溝。
5. 坡地堆積：利用坡地和擋土牆擋蓄固體廢棄物，通常適用於山坡地區。

鄭介眉(2004)指出台灣掩埋場中填築最常見有以下種類：

1. 在現有地面上填築垃圾
2. 在開挖地面或山谷窪地內填築垃圾

2.4 國內外掩埋場的破壞案例

近年來國內外無論營運中或已封場之垃圾掩埋場均曾發生大規模之邊坡破壞案例，並分別造成輕重不等的損失。例如美國的 Kettleman Hill、Cincinnati Rumpke、Great Lakes Area、菲律賓的 Payatas 印尼的 Leuwigajah；以及國內的竹東、五股與八里等地之掩埋場(姚大鈞等人，2004；范佐憲、單信瑜，2007；Koerner and Soong, 2000; Stark et al., 2000; Scott et al., 2005; Koelsch et al., Chang, 2006; Yao and Tsai, 2006;)。Koerner and Soong (2000) 與 Stark et al. (2000) 探討美國掩埋場邊坡之破壞，認為破壞原因為包括基礎軟弱層之影響、MSW 與

基礎土壤因應變不相容(Strain Incompatibility)而產生之漸進破壞(Progressive Failure)、滲出水造成之孔隙水壓增加、襯層界面剪力強度不足、坡趾開挖於基礎土層中引致之額外剪應力等。此外，垃圾掩埋場營運法規對於填埋中之邊坡穩定安全並未加以規範，因此法規不週亦為導致本案填埋體於施工中發生嚴重破壞原因之一。Koelsch et al. (2005)調查印尼巴東垃圾掩埋場導致至少 147 人死亡之邊坡災變。調查結果顯示，坍塌原因主要為豪雨浸潤增加填埋體之重量並造成基礎地層產生高額孔隙水壓，以及垃圾悶燒損毀垃圾所含纖維，降低填埋體之加勁能力。

Koerner and Soong(2000)收集 1980 至 2000 年間，世界各地十個大型掩埋場的破壞案例，如表 2.3 所示，其中掩埋場底部有無設置襯墊層系統的案例佔一半。廢棄物邊坡破壞造成坍方量 $60,000\text{m}^3 \sim 1,200,000\text{m}^3$ ，主要分為兩種典型破壞模式即圓弧滑動及平面滑動，有時亦會有複合型邊坡破壞，表 2.3 中，破壞類型以平面滑動居多，有設置襯墊層的掩埋場，則全部屬於沿襯墊層界面之滑動破壞。無設置襯墊的掩埋場 2D 分析剖面如圖 2.3 所示，有設置襯墊層的掩埋場 2D 分析剖面如圖 2.4 所示其中 L-1 為美國加州著名 Kettleman Hills Landfill 破壞案例。

表 2.3 掩埋場破壞案例(Koerner and Soong, 2000)

案例資料	年	位置	類型	廢棄物坍方量(m^3)
無襯墊				
U-1	1984	北美	Single rotational	110,000
U-2	1989	北美	Multiple rotational	500,000
U-3	1993	歐洲	Translational	470,000
U-4	1996	北美	Translational	1,100,000
U-5	1997	北美	Single rotational	100,000
有襯墊				
L-1	1988	北美	Translational	490,000
L-2	1994	歐洲	Translational	60,000
L-3	1997	北美	Translational	100,000
L-4	1997	非洲	Translational	300,000
L-5	1997	南美	Translational	1,200,000

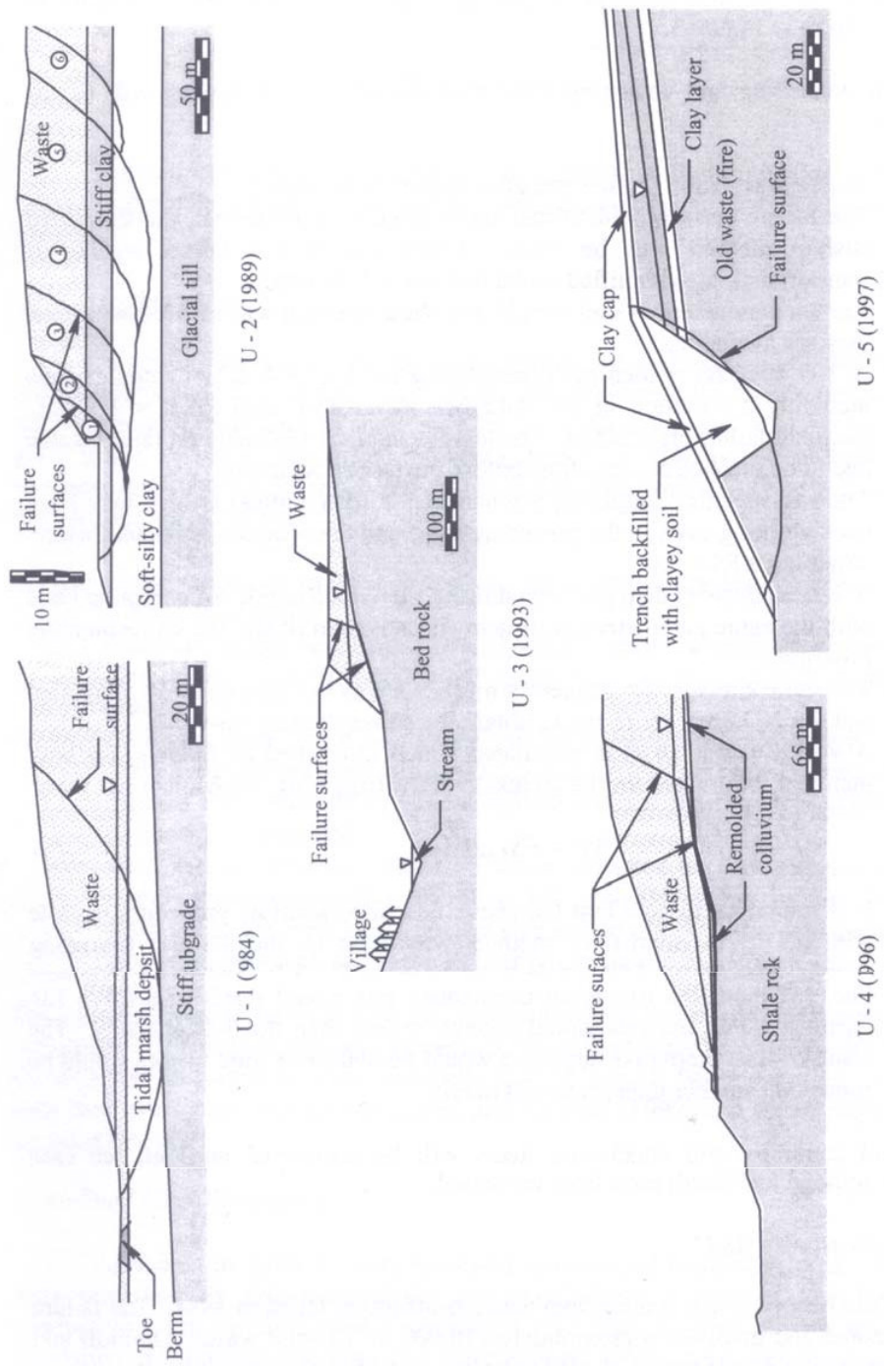


圖 2.3 無設置襯墊層的掩埋場 2D 分析剖面(Koerner and Soong, 2000)

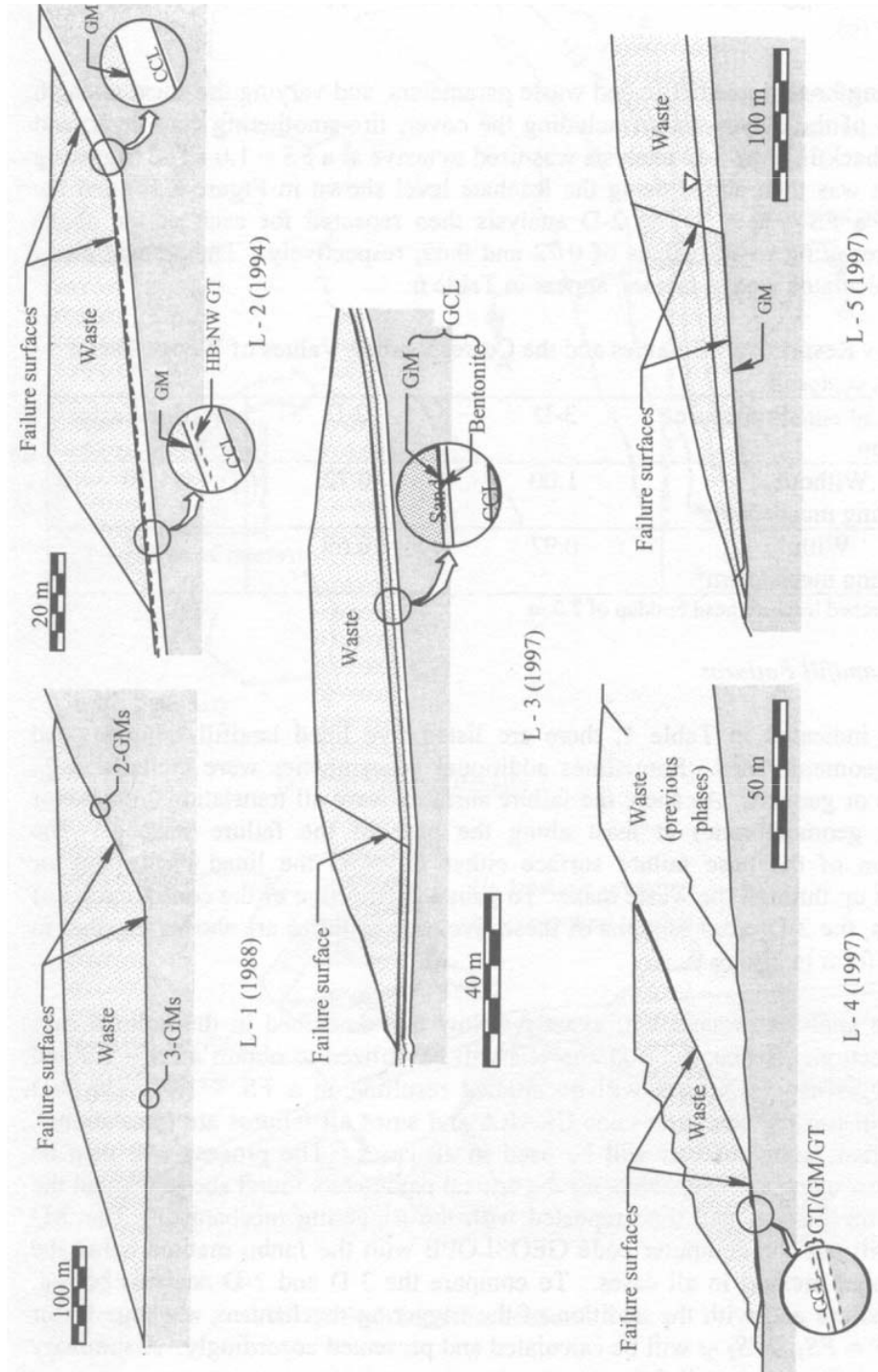


圖 2.4 有設置襯墊層的掩埋場 2D 分析剖面(Koerner and Soong, 2000)

2.5 台灣垃圾掩埋場

如圖 2.5 所示，截至民國 94 年底，台灣區營運中的廢棄物掩埋場共計 175 處(行政院環保署，2007)，其中山坡地掩埋場則約有 53 處。台灣地區山坡地掩埋場所面臨的問題有下列幾項(單信瑜，1999)：

1. 地形：掩埋場多處位於山坡地與山谷，在設計與施工上都有其困難處。
2. 工程品質：設計與施工品質不良。
3. 工程制度：受限於掩埋區設施一次發包施工完成制度。
4. 營運管理制度：掩埋場缺乏適當的人力營運管理，且未按掩埋場計畫作業。
5. 法規：國內之廢棄物掩埋場相關法規不完善，且亦無適當之官方技術文件可供參考。

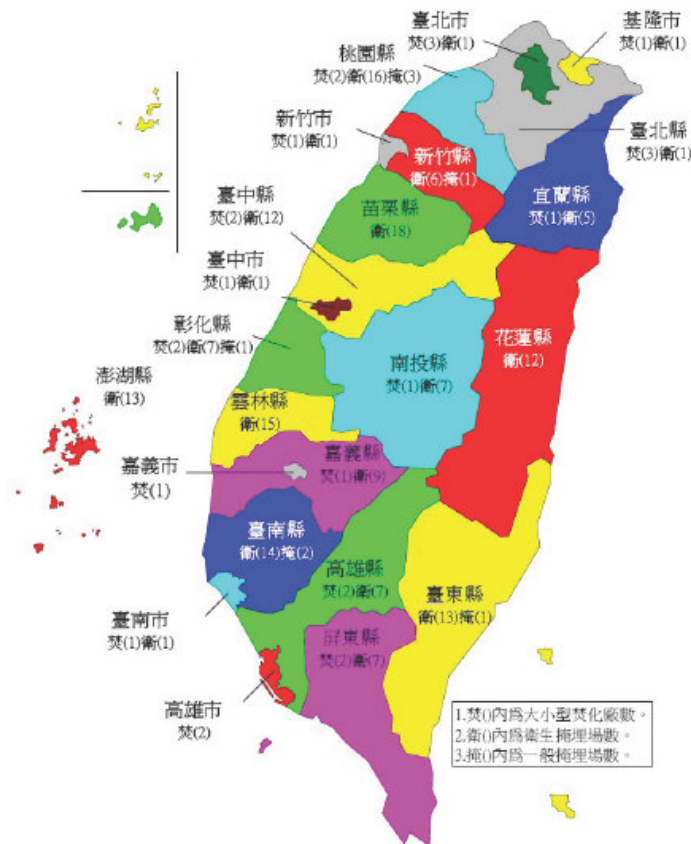


圖 2.5 台灣廢棄物處理場(廠)分布圖(環保署，2007)

2.6 垃圾掩埋場設計中的岩土問題(吳曉峰、王浩、周健，2006)

一、廢棄物堆積體的穩定性

包括外部穩定及內部穩定。外部穩定包括堆積體周圍所有臨時與永久性邊坡在運轉階段及以後潛在失穩區段的廢棄物強度與變形性能。不同抗剪強度襯墊之間，也可能發生層間剪切失穩，這與襯墊層體系的材料類型和組成有關。內部穩定指在內堆放廢棄物的推測，以避免垃圾堆積體內部失穩。

二、廢棄物堆積體的變形

設計時必須注意使廢棄物堆積體的垂直和側向變形不會導致堆積體襯墊層系統和其他組成構件損害，且於事前應先預估垃圾的差異沉陷及伸展變形。

三、密封層(襯墊層與封閉層)的設計問題

進行垃圾掩埋場設計時，應對廢棄物堆積體的密封系統(即底部襯墊層和封頂層)進行長期有效性與穩定性分析。包括密封層的截污容量、密封層的變形評估、密封料對沖刷與潛移的抵抗力及密封層的抗剪強度分析等。

四、動力問題

在地震活動區域必須考慮動力問題。地震直接危害在於破壞密封層氣液體的排放和處理系統、垃圾掩埋區排水系統。此外，地震可造成飽和砂土液化、飽和軟弱土震陷及荷重下邊坡失穩，不但危及掩埋場的安全，亦造成嚴重二次污染。

五、污染物遷移的計算分析

通常掩埋場都構築於最高地下水位以上，雖有密封措施，但仍有少量滲透液從掩埋場底部滲出。因此，實際設計時應考慮污染物在土壤和地下水介質的遷移特性。

2.7 填埋場設計所需工程參數

Dixon and Jones (2005)彙整 Turezynski 等學者，針對各掩埋場分類準則，提出設計所需之相關工程參數，詳表 2.4 所示。主要工程參數包括單位重、壓縮性、剪力強度、側向應變、現地水平應力、水力傳導係數等。

表 2.4 分類準則與相關參數一覽表 (Dixon and Jones, 2005)

作者	分類準則	參數
Turezynski(1988)	廢棄物類型	密度、剪力參數、液/塑限度、滲透性
Siegel et al.(1990)	材料群組	合成物部分
Landva and Clark(1990)	有機和無機材料	能自然分解(簡單、慢的、非)形態(孔洞、板狀、片狀、體積大的)
Grisolia et al.(1995a)	能夠自然分解、無生命、可變形材料群組	強度、可變形、能夠自然分解
Kolsech(1996)	材料群組	尺寸直徑
Manassero et al.(1996)	適合土壤及其他	性能指標
Thomas et al.(1999)	適合土壤及不適合土壤	材料群組

2.7.1 固體廢棄物(Municipal Solid Waste, MSW)之單位重

MSW 之單位重為探討垃圾掩埋場相關工程之重要參數，例如邊坡穩定分析、沈陷量計算、掩埋場容量計算等。然而 MSW 之單位重長期以來均為垃圾掩埋場工程分析中最大之不確定性。依據許多相關文獻之研究，垃圾單位重數值變化均具有極大之分歧，造成工程師在分析垃圾掩埋場相關工程時相當大之困難(Zekko et al., 2006)。

鄭介眉(2004)整理歷年文獻之 MSW 單位重，顯示夯實不良單位重為 2.9 kN/m³；夯實良好為 4.9~5.9kN/m³；最佳夯實可達 5.6~8.7 kN/m³，如表 2.5 所示。Fassett (1993)指出未壓實或未良好壓實之垃圾單位重僅為 3 kN/m³，但壓實後其單位重可增加至 17 kN/m³，如表 2.6 所示。上述顯示，夯實程度影響單位重甚鉅。

Kavazanjian (1996)以剪力波波速量測 6 個美國加州的垃圾掩埋場之單位重變化，如圖 2.6 及表 2.7 所示。研究成果指出 MSW 單位重從淺層的 10~13 kN/m³ 增加至 30m 深時之 13~16 kN/m³，具有隨深度之增加而增加之趨勢。

Powrie and Beaven(1999)由室內大型圓柱試驗，求得廢棄物單位重隨有效應力變化與深度呈函數關係，結果顯示單位重隨深度變化顯著，如圖 2.7 所示。

Zekko 等人(2006)整理 37 個掩埋場之資料，發現現地垃圾單位重介於 3~20 kN/m³ 之間，差異極大，其原因推測是影響 MSW 單位重之因素極多包括掩埋場填埋體結構之物理組成、掩埋時間、掩埋方式、掩埋年代、廢棄物之化學分解速率、堆置時之壓實程度、壓實能量、含水量、排水狀況及沉陷因素等，故造成單位重具有極大的變化。圖 2.8 為 Zekko 等人(2006)整理 11 篇相關文獻所得之大型現地試驗單位重值。由圖 2.8 可知，雖然 MSW 單位重值相當散亂，其變化介於 5 至 18 kN/m³，惟仍顯示 MSW 單位重值隨深度之增加而增加，說明此為 MSW 單位重數值變化之特性。

依據此一研究成果，Zekko 等人(2006)建立任何深度 MSW 單位重之數值預測方程式如式(1)，並繪如圖 2.9 及表 2.8 所示，其量測的含水量大概為 10%~50%。依據其建議，吾人可以較簡單而直接之方式，現地量測淺層之 MSW 單位重，在推測垃圾掩埋場之單位重深度曲線。

$$\gamma = \gamma_i + \frac{z}{\alpha + \beta z} \quad \text{式(1)}$$

式中 γ = 任何深度 z (m)處之 MSW 單位重(kN/m³)

γ_i = 淺層之現地 MSW 單位重(kN/m³)

α, β = 模型參數(m⁴/kN)，其關係變化曲線詳圖 2.10 及圖 2.11 所示。

α 為靠近地表深度與單位重增加之比值， $1/\alpha$ 為靠近地表之單位重初始斜率，其為隨深度變化的相對曲線，通常為 0~10m⁴/kN 常數。若單位重增加， α 取較小值；若單位重減少， α 取較大值。

β 為 0~1m³/kN 常數，單位重介於地表至較深的深度(侷限應力)產生 0~1 之線性漸變值，深度越深 β 值愈趨近 0，愈靠近地表 β 值愈趨近 1。若 β 值大於 1 即產生雙曲線變化形式。

依台灣大學環工所(1985)年調查台北市垃圾平均單位重(γ)約為 0.265 t/m³，含水率約為 55.3%，經掩埋壓密後，估計其平均單位重(γ)可達 0.596 t/m³，為平均值 2.25 倍。其調查再發現若經部分回收處理，其平均單位重(γ)約為 0.510 t/m³；另依鄭介眉(2004)針對台北縣八里下罟子區域性垃圾衛生掩埋場，進行取樣調查結果，顯示該區域之垃圾單位重(γ)約為 0.7~1.0 t/m³。由專家學者提供之垃圾單位重(γ)參考數據顯示，當垃圾夯壓不良之垃圾單位重(γ)約在 0.30 t/m³左右，一般夯實作業之垃圾單位重(γ)約在 0.5~0.6 t/m³左右，採標準作業最佳夯實之垃圾單位重(γ)約在 0.7~0.9 t/m³左右，其差異性可達 3 倍之多，選用參考時應多加收集現地場址之歷史資料，並配合現地採樣分析，做進一步之比對及考量，方可擇取較客觀之合理參數，進行穩定分析或沉陷量預估。

鄭介眉(2004)提出一般垃圾密度定義：

$$\text{密度}(\delta)(\text{t/m}^3) = G(\text{壓縮垃圾重})/V(\text{掩埋場所佔體積})$$

1. 壓實密度：垃圾壓實後尚未經靜力負荷、降水影響、生物分解影響所得直接之密度。
2. 堆積密度：掩埋場結束營運作之垃圾密度，因此在不同時期、不同高度位置所得一種混合數值之垃圾密度。
3. 追蹤密度：掩埋場自結束運作起，至無以掌握未來時刻間之垃圾密度。垃圾壓實密度一般重型壓實小於重型擠壓壓實，壓實次數越多則密度越高。壓密度摻入建築廢棄物則大於未摻入建築廢棄物，且含比率越高其密度越大。

表 2.5 新鮮堆置廢棄物總體單位重統計表(Fassett et al., 1994)

	不良壓實	中等壓實	良好壓實
範圍(kN/m ³)	3.0-9.0	5.0-7.8	8.8-10.5
平均數(kN/m ³)	5.3	7.0	9.6
標準差(kN/m ³)	2.5	0.5	0.8
變異係數(%)	48	8	8.0

表 2.6 國內外文獻統計之固體掩埋物單位重
(Dixon and Jones, 2005; 王昱雲, 2007; 鄭介眉, 2004)

國家	單位重量 測統計值 (kN/m ³)	註釋	參考文獻
聯合國	6	離地 2M, 用 21T 鋼輪壓土機壓實	Watts and Charles(1990)
	8	離地 0.6M, 用 21T 鋼輪壓土機壓實	
比利時	5-10	一般壓實	Manassero et al.(1996)
法國	7	新鮮的廢棄物表層(未經自然分解的)	Gourc et al.(2001)
美國	6-7	初掩埋的新鮮廢棄物	Kavazanjian(2001)
	14-20	高度分解材料	
台灣	6.4	竹南掩埋場(現場取樣)	范佐憲(2007)
	5.0	湖口掩埋場(現場取樣)	范佐憲(2007)
	6.9-9.8	八里下罟子掩埋場	鄭介眉(2004)
	9.8	八里三期規劃設計值	鄭介眉(2004)
	4.9-6.9	西青掩埋場(4m~5m)	鄭介眉(2004)
	6.3	內湖掩埋場設計值	陳榮河(1990)
	8.1	福德坑掩埋廠規劃設計值	陳榮河(1990)
	8.3	山豬窟掩埋場設計值	鄭介眉(2004)
	2.6	台北市廢棄物(不夯實)	台大環工所(1985)
5.8	台北市廢棄物(掩埋夯實後)		
	3.1	夯實不良	Bromswell(1978)
	6.3	夯實良好	
	8.6	最佳夯實	
	7.1~9.4 (飽和)	15 年後取樣	Dvinoff & Munion(1986)
	2.4~2.6	不夯實	Merz & Stone(1962)
	4.9	標準夯實(含水量 43.5%)	
	5.6	最佳夯實(含水量 80%)	
	4.1	輥壓機標準夯實(不加水)	
	3.1	夯實不良(含水量 51.9%)	
	5.4~6.8	現場單位重(含水量 30-48%)	Sargunan et al.(1986)

	2.9	夯實不良	Schumaker(1972)
	4.6	夯實尚佳	
	8.7	最佳夯實	
	1.2~2.9	不夯實	Sowers(1973)

表 2.7 美國 6 個垃圾填埋場現地全尺寸試驗之單位重結果(Zekko et al., 2006)

加州填埋場名稱	深度	單位重 (kN/m ³)	含水量(%)	備註	試驗方法
Tri-Cities	地表(淺層)	10	12-25%	-	760mm 直徑 螺旋鑽頭
	10~20m	>20		營建(混凝土)廢棄物不考慮	
	30m	16			
OII	頂部覆蓋土壤	15	15-42%	(Matasovic and Kavazanjian, 1998)	457mm 直徑 1D 壓縮試驗
Azusa	10m	12	8-50%	(GeoSyntec 1995; Zorberg et al. 1999)	-
	50m	15	平均值 25%		-
Cherry Island	地表(淺層)	8	20-50%變化 (廢棄物超過水位線)	水面下之總體單位重 (飽和單位重)為 14.5~16kN/m ³	-
	10m	12			-
Younger	地表(淺層)	7、10	-	-	-
older			-	-	-

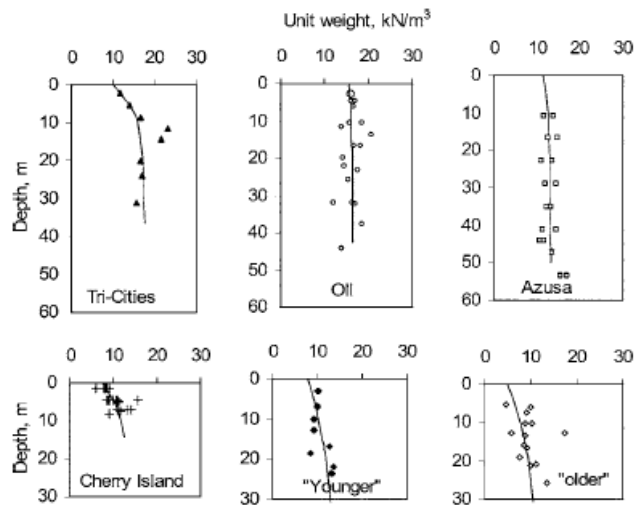


圖 2.6 美國 6 個垃圾填埋場現地全尺寸試驗之單位重結果(Zekko et al., 2006)

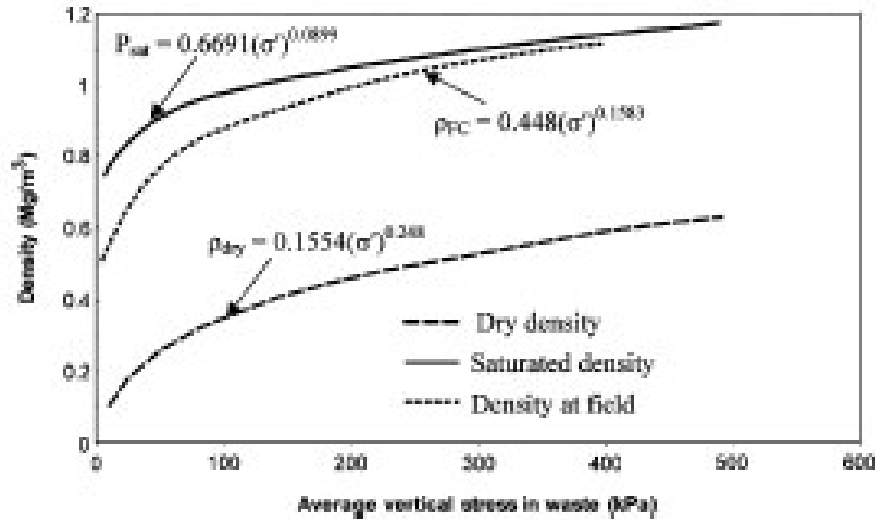
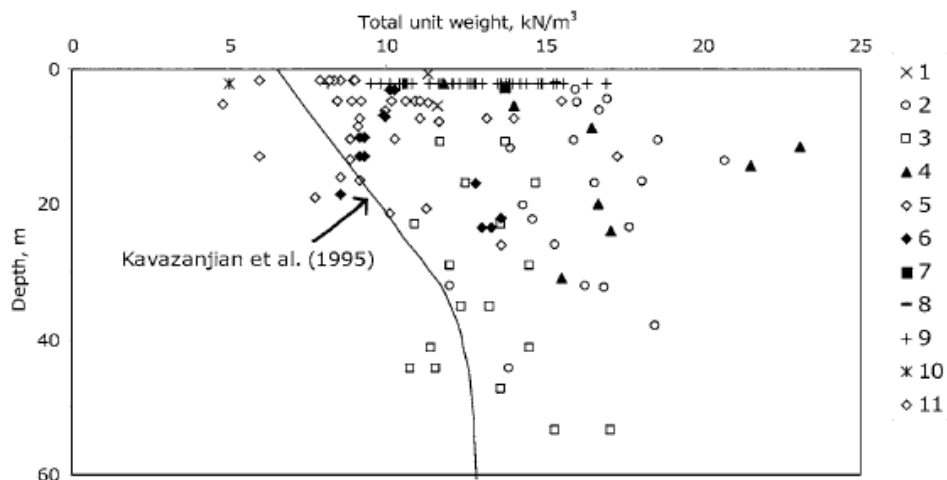


圖 2.7 密度與廢棄物平均垂直應力之關係 (Powrie and Beaven, 1999)



(1) Santo Tirso, Portugal (Gomes et al. 2002); (2) OII, California, USA (Matasovic and Kavazanjian, 1998); (3) Azusa, California, USA (Kavazanjian et al, 1996); (4) Tri-Cities, California, USA (this study), (5) no name older landfill (Oweis and Khera, 1998); (6) no name younger landfill (Oweis and Khera, 1998); (7) Hong Kong, China (Cowland et al. 1993); (8) Central Maine landfill, USA (Richardson and Reynolds, 1991); (9) 11 Canadian landfills (Landva & Clark, 1986); (10) Valdemingomez, Spain (Pereira et al. 2002); (11) Cherry Island landfill, Delaware, USA (Geosyntec, 2003);

圖 2.8 11 位不同學者利用現地大型尺寸試驗得到 MSW 單位重結果 (Zekko et al., 2006)

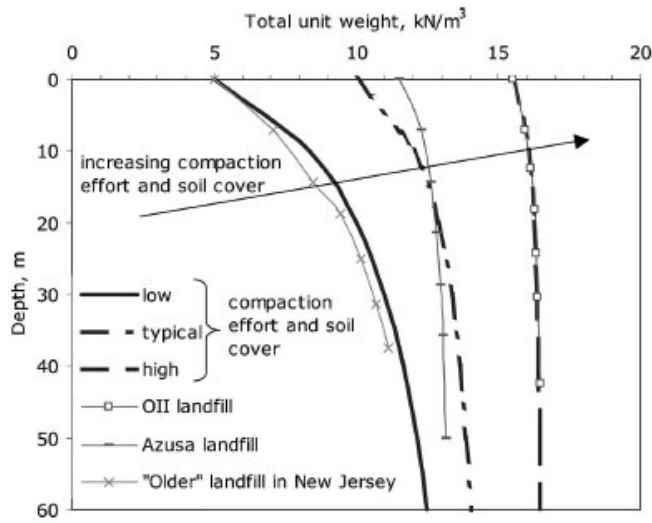


圖 2.9 一般垃圾掩埋場之 MSW 單位重建議深度曲線(Zekko et al., 2006)

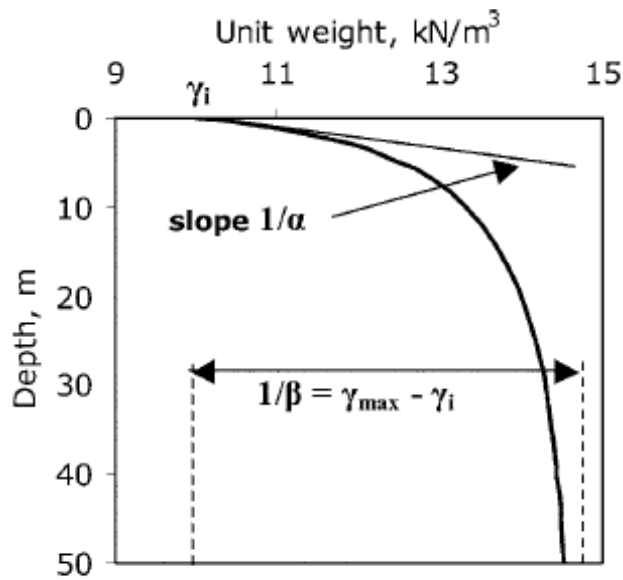


圖 2.10 假設參數 α 、 β 之物理意義(Zekko et al., 2006)

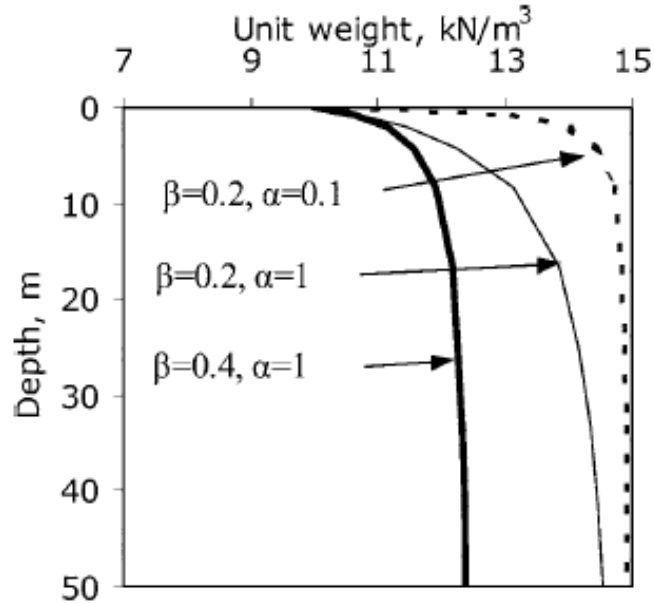


圖 2.11 單位重假設參數的影響(Zekko et al., 2006)

表 2.8 物理參數不同成果及土壤覆蓋的數量

土壤覆蓋 數量(程度)	α (kN/m ³)	β (m ³ /kN)	α (m ⁴ /kN)
低(淺層)	5	0.1	2
一般	10	0.2	3
高	15.5	0.9	6

2.7.1.1 單位重量測方式

Dixon and Jones(2005)參考 Gotteland、Kavazanjian、Gourc、Powrie and Beaven 等相關文獻，整理現地及室內試驗量測方法，詳表 2.9 所示，其中以大型尺寸現地試驗之試驗值較為準確可靠。

Zekkos et al.(2005a)蒐集及評估 37 個地區內的 MSW 單位重。主要以下列三種方法評估 MSW 單位重：

1. 填埋場的調查及記錄：填埋場紀錄各材料(包括廢棄物及土壤)含量之容許總重，包含廢棄物及土壤在填埋場配置及地形測量區的材料體積，利用這些資料可估計 MSW 平均總單位重，這些方法可得到 MSW 平均單位重整體合理估計值。
2. 未擾動樣品的單位重：可以精確量測到正確代表性的未擾動樣品單位重。但此方法不建議採用，因取得樣品的代表性及擾動程度難以判斷，易產生誤差。

3.現地大型尺寸試驗：模擬現場大型砂錐密度試驗，大型尺寸試驗於靠近地面窪坑或大直徑鑽孔、開挖，量測廢棄物材料重量。以開挖凹處的體積及重量換算 MSW 單位重。

這三個方法中，以現地大型尺寸試驗之 MSW 單位重值最接近現地評估的結果。因為填埋場代表性材料涵蓋大型體積、大尺寸顆粒及擾動性，以此方法可減少誤差。

表 2.9 MSW 單位重量測方法(Dixon and Jones, 2005)

位置	量測方法	註釋	參考文獻
現地	現地大型尺寸試驗，量測廢棄物表面	試驗結果可靠，但皆為低垂直應力試驗	Gotteland et al.(2002)
	替代性密度量測，量測鑽孔內	試驗結果可靠，得到垂直應力範圍資料	Kavazanjian et al,(1995)
	γ 放射線試驗，量測鑽孔內	因顆粒類型範圍導致變化	-
	垂直應力直接量測，廢棄物內部	顯示垂直應力改變及可靠值	Gourc et al.(2001)
	掩埋場廢棄物材料的體積及重量計算	得到平均值，較少用	-
實驗室	大型尺寸樣本量測	不規則樣本，但大尺寸與垂直應力範圍是可靠的	Powrie and Beaven(1999)
	大型尺寸樣本量測	不規則廢棄物通常預先處理及分類，試驗值不可靠	-
	量測樣本目前單獨成份重量及百分比	費時、不準確	-

2.7.2 固體廢棄物剪力強度參數

評估 MSW 之強度參數對於垃圾掩埋場之結構體穩定性具有極重要之意義。由於影響 MSW 之因素眾多，以及垃圾掩埋場結構體之複雜性，導致正確之 MSW 剪力強度參數不易決定，不同研究針對不同掩埋場求得參數之間亦未取得一致之趨勢(Gabr, 2007)。一般而言，MSW 之剪力強度參數與土壤性質類似，可用凝聚力與摩擦角表示。MSW 之剪力強度參數，受限於取樣代表性與試驗設備之限制，不易求得，一般多利用室內重模大型剪力試驗、現地大型剪力試驗、三軸試驗、反算分析(backanalysis)等方法推估。

Dixon and Jones(2005)摘錄 Jones 等(1997)彙整多數學者之直剪試驗及破壞回饋分析研究結果，得到廢棄物強度參數，詳表 2.10 所示。雖然其摘錄結果並不廣泛，但其變化範圍值，足以證實及通用。Manassero et al. (1996)建議 c 、 ϕ 值的設計範圍其破壞包絡線如圖 2.12，若無特定場所的資料可利用，即由圖可得知 c 、 ϕ 值初始設計值。這些設計值可由 A~C，3 個區間範圍定義。

Landva 及 Clark (1986)之研究，指出 MSW 之摩擦角介於 38° 至 42° 之間；凝聚力介於 16 至 19kPa 之間。然當相同試體靜置一年之後，MSW 之分解導致摩擦角降至 33° ；凝聚力亦降至 6kPa。Howland 及 Landva (1992)使用大型直剪，得知堆置 10~15 年之 MSW，其剪力強度以摩擦力為主，其結果為摩擦角為 33° 、凝聚力為 17kPa，但 Gabr 及 Valero (1995)以標準小型直剪量測 10~15 年之 MSW，發現當位移超過試樣直徑之 10%後，其剪力強度隨著位移之增加而增加。其於 20%位移時測得之摩擦角則介於 20° 至 33° 之間、凝聚力則為 0 至 28kPa 之間。

Singh 及 Murphy(1990)綜合相關文獻之剪力強度參數繪如圖 2.13 所示。由圖可知，MSW 廢棄物之摩擦角與凝聚力大致呈反比關係。此外，Gabr et al.(2007)整理 Howland 及 Landva (1992)、Kavazanjian et al.(1995)、Van Impe (1998)以及 Pelky et al.(2001)等眾多相關文獻，發現 MSW 剪力強度參數實具有相當大之歧異，除了 MSW 本身之異質性影響，亦顯示剪力強度之試驗方式與標準，包括試體之準備、試體及儀器之尺寸、應變大小，以及強度求取之標準等亦具有顯著之影響。Gabr et al.(2007)亦指出 MSW 之分解對於強度參數影響甚高，惟目前此一方面之研究仍待加強。

在國外文獻方面：Fang 等人 (1977、1983)，於室內進行夯實垃圾之強度試驗得到摩擦角 $\phi=150\sim 250$ 之間，凝聚力 $C=7.2t/m^2$ ，而這些試驗垃圾並無明顯的強度尖峰值，因此其強度定義應為應變在 15~20%時之強度。Oweis 等人 (1985)由現地推算 (垃圾在軟弱至中度軟弱之粘土層上) 得到凝聚力 $C=2.0\sim 2.5t/m^2$ 及摩擦角 $\phi=200$ 。STS 公司 (1985)由壓力計試驗，得到凝聚力 $C=1.0\sim 2.5t/m^2$ 及摩擦角 $\phi=30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之間。Dvinoff 及 Munion (1986)由一破壞實例，推算垃圾之不排水剪力強度 $CU=3.9t/m^2$ 。Lutton 等人 (1979)則相當保守，他們建議將垃圾一土壤視為一複合材料之強度，因此複合材料之強度為土壤強度乘以加權值[覆土厚度÷(垃圾厚+覆土厚) 0.2~0.5]。日本三宅宏文 (1981)，建議摩擦角 $\phi=32.2^{\circ}$ 及凝聚力 $C=4.5t/m^2$ (依福德坑衛生掩埋場規劃報告書中提及之數據反推求得)。在國內文獻方面：陳榮河 (2002)彙整國外現有各種方法 (包括室內試驗、現地試驗及反算分析等)，求得之垃圾剪力強度資料，上下界 $C(kpa)=-2.35\phi 81\pm 17$ ，提供作為初步穩定分析之參考。鄭介眉 (2004)依現地採樣資料分析，並考量垃圾成份權重，得摩擦角 $\phi=38.9^{\circ}$ 及凝聚力 $C=1.054t/m^2$

李政輝(2008)整理國外一些學者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)等方法推估求得剪力強度值，如表 2.11 及表 2.12 所示。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 $24^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 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(ϕ)

與凝聚力(c)大致呈反比關係，其摩擦角約在 12°~26°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 ϕ 值為縱軸及橫軸繪於圖 2.14 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 2.15 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°；當正向應力大於 30.0 kPa 時則取內聚力為 0 kPa，摩擦角 33°。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°，如圖 2-16 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。(李政輝，2008)

表 2.10 從文獻上統計之剪力強度參數量測案例(Jones et al.)

(Dixon and Jones, 2005)

出處	剪力強度參數		方法	註釋
	C'(kPa)	$\phi(^{\circ})$		
Jessberger(1994)	7	38	沒有指定	Gay and Kaiser(1981)報導
Jessberger(1994)	10	15	回饋分析	Spillman(1980)報導
Jessberger(1994)	10	17	回饋分析	Spillman(1980)報導
Jessberger(1994)	0	30	估計	現地觀察
Jessberger(1994)	0	40	估計	現地觀察
Jessberger(1994)	7	42	簡單剪力試驗	Gay and Kaiser(1981)報導 9 個月的老舊廢棄物
Jessberger(1994)	28	26.5	簡單剪力試驗	新鮮廢棄物； Gay and Kaiser(1981)報導
Fassett et al.(1994)	10	23	建議值	作者建議
Kolsch(1995)	15	15	建議值	作者建議
Kolsch(1995)	18	22	建議值	作者建議
Cowland et al.(1993)	10	25	回饋分析	Deep trench cut in waste Suggested values by authors
Del Greco and Oggeri(1993)	15.7	21	直接剪力試驗	Tests on baled waste Lower density bales
Del Greco and Oggeri(1993)	23.5	22	直接剪力試驗	Tests on baled waste Higher density bales
Landva and Clark(1986)	19	42	直接剪力試驗	Old refuse
Landva and Clark(1986)	16	38	直接剪力試驗	Old refuse
Landva and Clark(1986)	16	33	直接剪力試驗	Old refuse+1 year
Landva and Clark(1986)	23	24	直接剪力試驗	Fresh, shredded refuse
Landva and Clark(1986)	10	33.6	直接剪力試驗	Wood waste/refuse mixture
Golder Associates(1993)	0	41	直接剪力試驗	Project specific testing

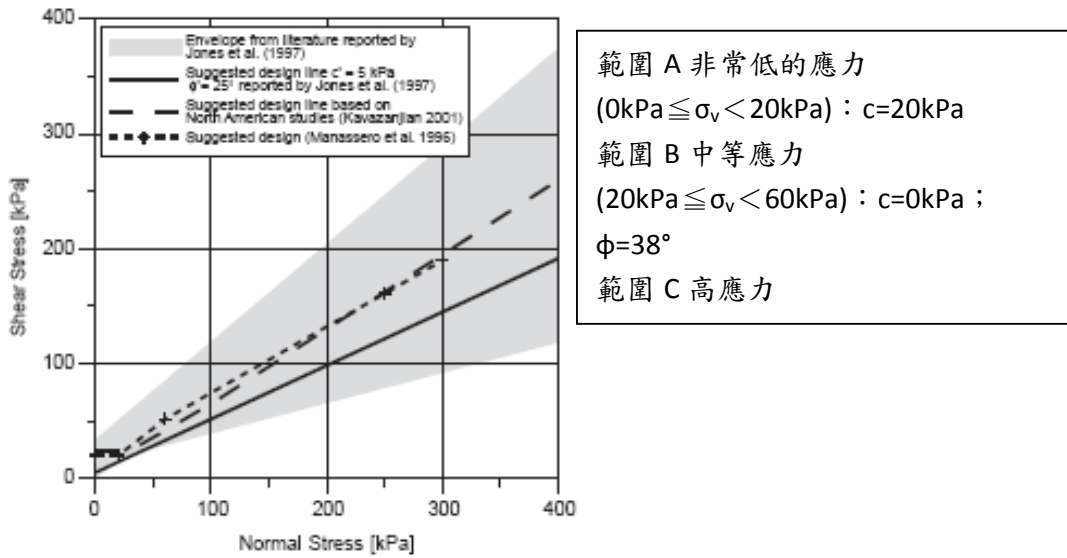


圖 2.12 設計上建議的剪力強度範圍(Dixon and Jones, 2005)

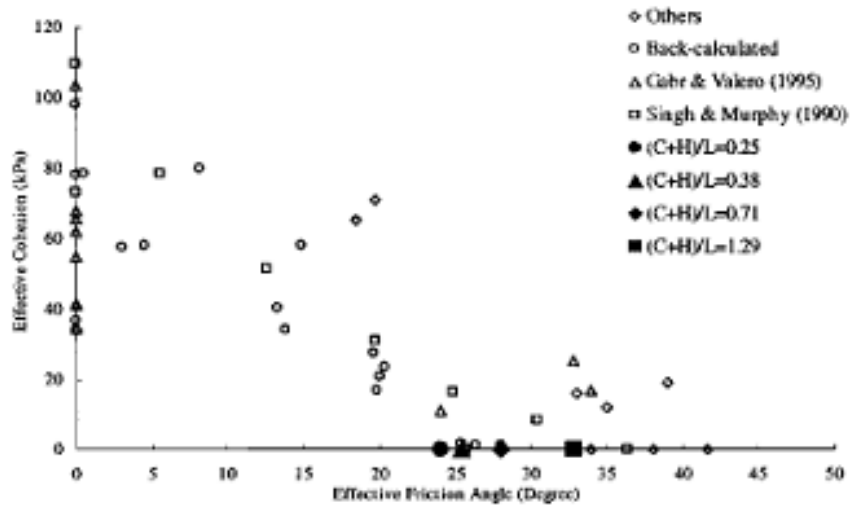


圖 2.13 MSW 有效剪力強度參數之彙整(Singh and Murphy, 1990)

表 2.11 廢棄物剪力強度值(摘自李政輝，2008)

文獻來源	摩擦角 $\phi(^{\circ})$	內聚力 c (kPa)	備註
Fang et al.(1977)	15°~25°	70.6	室內進行夯實垃圾之強度試驗
Oweis et al.(1985)	20°	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°~35°	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°	44.1	日本實際量測之資料
陳榮河(2002)	摩擦角 ϕ 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°~26°	44.1~1.962	彙整國內外文獻
鄭介眉(2004)	38.9°	10.3	依現地採樣資料分析

表 2.12 廢棄物剪力強度值(Sadek and Manasseh, 2005；摘自李政輝，2008)

剪力強度參數		文獻來源	剪力強度參數		文獻來源	
c(kPa)	ψ (°)		c(kPa)	ϕ (°)		
Direct Shear (LAB)			Back analysis			
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	60	15			
19	39	57	3			
22	24	40	13			
35	0	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)	Misc.			
0	53	Golder Assoc. (1993)	0	35	Martin & Genthe(1993)	
0	41	Del Greco & Oggeri (1993)	10	25	Cowland(1993)	
5	40		10	17	Jessberger et al. (1994)	
40	39		15	35	Singh & Murphy(1990)	
5	20		23.5	20		
24	22		0	35	Kolsh et al.(1993)	
10	25		6	23		
70	20		8	30		
23.5	22		11	32		
7	42		Jessberger et al.(1994)	10	23	Fasset et al. (1994)
28	26.5		Gabr & Valero (1995)	10	32	Jessberger et al.(1994)
27.5	20	7		38		
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)	
Field testing			Triaxial tests(LAB)			
80	1	Singh & Murphy(1990)	100	0	Gabr & Valero(1995) (c_u, ϕ_v) (c', ϕ')	
100	1					
10	18	Richardson & Reynolds (1991)	40	0		
10	43	Whitiam et al.(1995)	16.8	34		
10	30					
22	18.2	Thomas et al.(2003)				

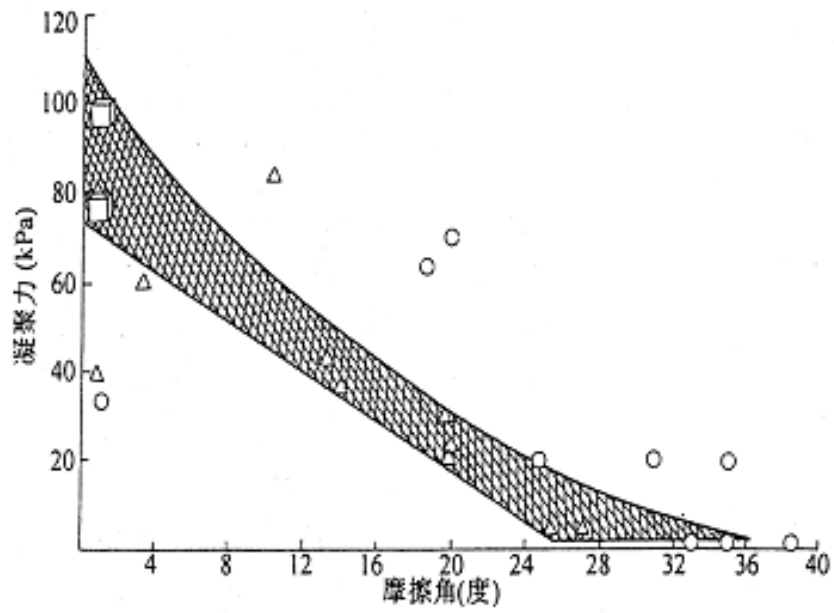


圖 2.14 一般固體廢棄物強度歸納(Singh and Murphy, 1990)

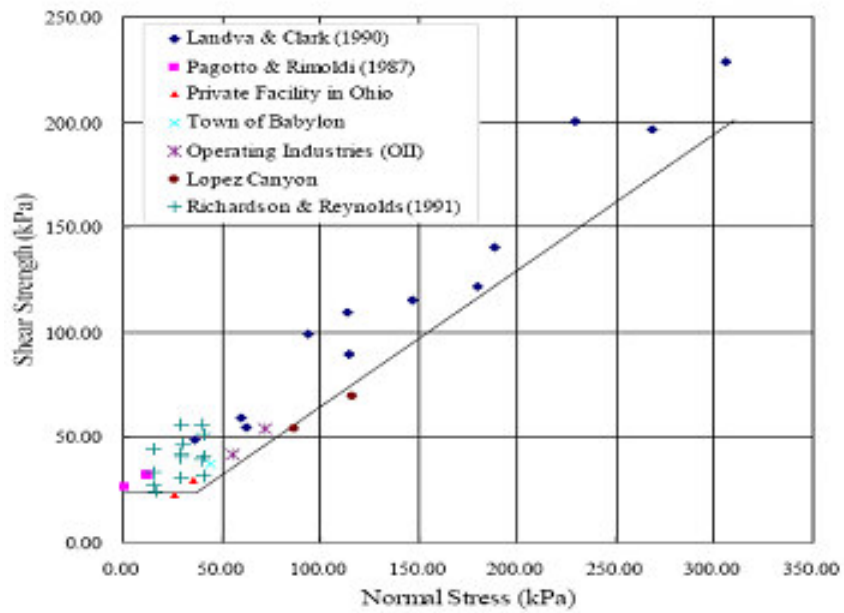


圖 2.15 固體廢棄物之剪力強度(Kavazanjian et al., 1995)

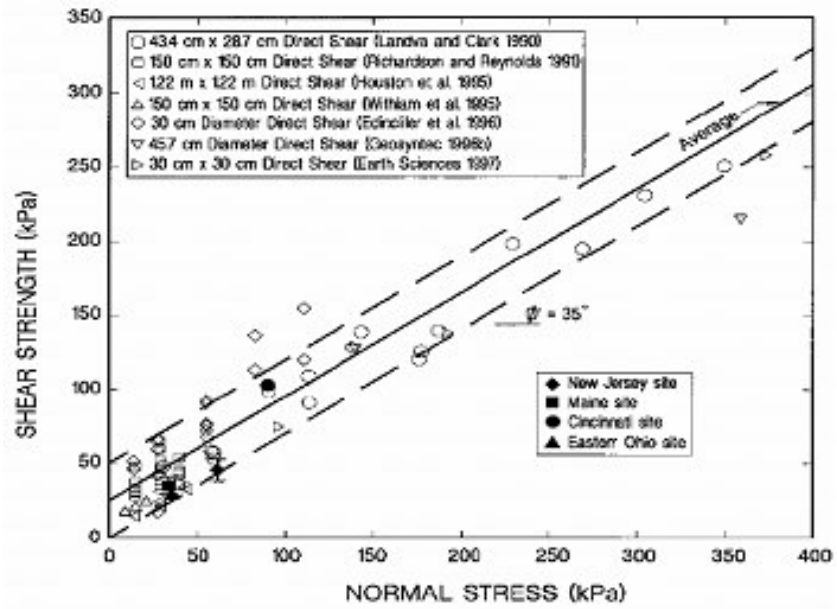


圖 2.16 固體廢棄物之剪力強度(續)(Eid et al., 2000)

2.7.2.1 MSW 剪力強度參數量測方法

Dixon and Jones(2005)摘錄多數學者探討 MSW 剪力行為的量測方法結果，詳表 2.13 所示。

表 2.13 MSW 的剪力行為量測方法探討(Dixon and Jones, 2005)

位置	量測方式	註釋	參考文獻
現地	邊坡破壞回饋分析	適當參數未知(例如孔隙水壓、剪力破壞面之形式與位置)	Koerner and Soong(2000)
	開挖邊坡試驗回饋分析	產生大變位惟未並未發生剪力破壞	Singh and Murphy(1990) , Cowland et al.(1993)
	現有穩定邊坡的回饋分析	由於廢棄物組成持續變化，現有經驗未必可預測未來性能表現	Gotteland et al.(2002)
	現地直接剪力試驗	執行不易且所得剪力強度屬低應力範圍	Jeddberger and Kockel(1993)
	SPT、CPT、十字片剪試驗	貫入阻力與 MSW 剪力強度未具有明顯關聯，僅適用於已腐化如土之 MSW	
實驗室	三軸壓縮試驗	擾動試樣，由於試樣之壓縮與緊密化，無法求得尖峰剪力強度	Jessberger(1994) , Grisolia et al.(1995b)
	直接剪力試驗	需要大型試驗儀器(例如 1*1*1m)，擾動試樣，必須極大之位移方可求得尖峰剪力強度	Kolsch(1995) , Gotteland et al.(2001)
	簡單剪力試驗	需要大型儀器，不規則樣本	Kavazanjian et al.(1999)

2.7.3 界面摩擦力

由於地工膜布(Geomembrane)具有諸多優點，例如施工簡單、成本低廉、不易腐蝕且耐久性愈益改良等，因此近年來國內外之垃圾掩埋場均偏向使用此

種材料作為止水層材料，用以分隔廢棄物與地下水，防止潛在的地下水污染(劉家男，2004；Oweis and Khera, 1998)。然而由於地工膜布之表面較為平滑，因此其界面剪力強度偏低，極易導致填埋體於斜坡處發生界面剪力破壞，因此地工止水層的界面參數選用具有關鍵性之影響。地工膜布與土壤之界面剪力強度參數隨著地工膜布表面處理方式之不同而具有極大差異，其厚度、組織與表面粗糙度均對界面剪力強度參數產生影響 (Oweis and Khera, 1998)。

Mitchell et al. (1990)之研究指出界面靜態視摩擦角受材質本身、接觸界面性質與界面濕潤度影響，而 Kavazanjian et al. (1991)與 Yegian and Lahlaf (1992)利用震動台與離心機研究地工膜布與土壤界面其動態與靜態視摩擦角差異，發現其差異有限，因此可利用靜態試驗值進行擬靜態分析。

對於複合式襯墊層中夯實黏土與地工膜布界面摩擦角，其值受黏土夯實時水分與界面濕潤度影響極大，摩擦角分佈可從 6° 至 30° ，實務上多利用此界面為滑動面時之反算值代表。另外夯實黏土襯墊層其剪力強度介於 $44\sim 83$ kPa (Augello et al. 1995)。

依據王昱雲(2007)之彙整，「Ellithy and Gabr (2000)指出平滑面之地工膜布與粘土間的尖峰剪力強度，在飽合時， $c_p = 6\sim 11$ kPa， $\phi_p = 2.2^{\circ}\sim 8.2^{\circ}$ ；未飽合時， $c_p = 3\sim 15$ kPa， $\phi_p = 4.8^{\circ}\sim 19^{\circ}$ 。粗糙面之地工膜布與粘土間的尖峰剪力強度，在飽合時， $c_p = 6\sim 10$ kPa， $\phi_p = 3.2^{\circ}\sim 14.5^{\circ}$ ；未飽合時， $c_p = 17\sim 27$ kPa， $\phi_p = 5.7^{\circ}\sim 24.5^{\circ}$ 。根據 Martin et al. (1984)的研究，HDPE 地工膜布與砂之間的摩擦角約 18° ，PVC 地工膜布與砂之間的摩擦角約 23° 。HDPE 地工膜布與地工織物之間的摩擦角約 $6^{\circ}\sim 11^{\circ}$ ，PVC 地工膜布與地工織物之間的摩擦角約 $11^{\circ}\sim 24^{\circ}$ 。其他的研究數據顯示，砂和光面地工膜布的摩擦角大約在 $17^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之間。」此外，劉家男 (2004)整理國外學者的試驗結果，求得各種土壤與光滑面高密度聚氯乙炔之地工膜布間的尖峰剪力強度如表 2.14 所示(摘自王昱雲，2007)。

劉家男、賴俊仁(2001)指出複合襯墊層與地工合成黏土襯墊層使用上最大的問題在於地工膜布與夯實黏土層或其他地工合成物間之摩擦力。這些界面間之摩擦力通常很低，尤其再有超額孔隙水壓力存在的情況下時摩擦力通常會降的更低，因此界面間之滑動破壞必須要做仔細的檢核。地工合成物/土壤界面或地工合成物/其他地工合成物界面之抗剪強度試驗結果列於表 2.15 至表 2.18。這些資料來源摘自近年來之文獻報告，包括 Carroll and Chouery-Curtis、Criley and John、Daniel et al.、Gilber et al.、GRI、Koulsourais et al.、Liu et al.、Martin et al.、Miyamori、Pavlik、Shan、UTA、Williams and Houlihan 等，綜觀這些試驗結果後可觀察出大部分的資料為較大應力作用下的試驗結果，關於低應力作用下的剪力強度資訊相當有限，然而在低應力作用下之剪力強度相當重要，因為在廢棄物掩埋場襯墊之興建過程中或處於完工後短期間內(即廢棄物堆積高度尚不高時)，這些界面所受到的應力狀態屬於低應力範圍，而且這些複合界面不只存在於襯墊層中，也普遍使用於廢棄物掩埋場之覆蓋層，覆

蓋層所受之應力狀態也屬於低應力範圍，因此在低應力作用下界面剪力強度研究具有重要性及實用性。另外地工合成物界面種類相當多種，例如地工合成物/地工合成物界面、地工合成物/土壤界面、地工合成黏土阻水層、GCL 表面/地工合成物或土壤、GCL 內部界面等。地工合成物為人工製造，惟即使是相同的地工合成物界面，剪力強度的變異性仍相當顯著。Seed et al. 曾對不同地工合成物界面進行研究，發現各界面的剪力強度有 10~25% 的不確定度。故設計上須考量施工與營運狀況，來進行剪力強度試驗。

表 2.14 平滑地工模布之界面剪力強度參數值(劉家男, 2004; 摘自王昱雲, 2007)

Geosynthetics	Soil	Test Condition	σ_a (kPa)	Shear Rate (mm/min)	c_p (kPa)	ϕ_p (°)	Reference
Sm HDPE	sand	hydrated	20-60	0.0025-0.25	26-28	0	Koutsourais et al. (1991)
Sm HDPE	sand	staurated	14-100	0.127	17-18	0	Martin et al. (1984)
Sm HDPE	sand	staurated	5-25	0.3	19-27	0.6-0.7	Williams, Houlihan (1987)
Sm HDPE	Sapolite	staurated	5-25	0.3	21	0.4	Williams, Houlihan (1987)
Sm HDPE	clay	staurated	5-25	0.3	25	1	Williams, Houlihan (1987)
Sm HDPE	sand	drain	-	-	18	0	Mitchell et al. (1992)
Sm HDPE	clay	壓實	-	-	15	-	Mitchell et al. (1992)

表 2.15 土工合成物與土工合成物界面剪力強度

Material 1	Material 2	Device* (mm)	Test Condition	σ_n (kPa)	Shear Rate (mm/min)	ϕ_p (°)	c_p (kPa)	δ_p (mm)	ϕ_r (°)	c_r (kPa)	δ_r (mm)	Reference
Nw GT	GN	-	-	-	-	10-16	0	-	-	-	-	Carroll and Chouery-Curtis (1991)
Nw GT	Sm HDPE	-	-	-	-	9-16	0	-	-	-	-	Carroll and Chouery-Curtis (1991)
Nw GT	Sm PVC	-	-	-	-	12-18	0	-	-	-	-	Carroll and Chouery-Curtis (1991)
Sm HDPE	GN	-	-	-	-	8-15	0	-	-	-	-	Carroll and Chouery-Curtis (1991)
Wv GT	PVC	DS(300x300)	hydrated	0-36	-	16.5	0.94	-	16	0.86	17	Commercial Lab. Test Data
Nw GT	GN	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	17-19	0-1.4	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Nw GT	PVC	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	18-23	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Nw GT	Rg HDPE	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	9-17	1.4-4.1	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Nw GT	Sm HDPE	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	7-8	1.7-2.6	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Wv GT	GN	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	9-18	0-1.4	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Wv GT	PVC	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	21-26	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Wv GT	Rg HDPE	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	15-16	0-17.2	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Wv GT	Sm HDPE	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	9-10	1.7-2.8	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Rg HDPE	GN	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	19	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Sm HDPE	GN	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	13	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
PVC	GN	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	13-16	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Wv GT	PVC	TT(130x130)	dry	0-20	0.5	23	0	-	-	-	-	Liu et al. (1997)
Wv GT	PVC	TT(130x130)	submerged	0-20	0.5	20	0	-	-	-	-	Liu et al. (1997)
Wv GT	PVC	TT(130x130)	clay smeared submerged	0-20	0.5	12.5	0.5	-	-	-	-	Liu et al. (1997)
Wv GT	PVC	DS(64x64)	dry	0-20	0.5	21	0.5	1-3	-	-	-	Liu et al. (1997)
Wv GT	PVC	TDISD(100x100)	dry	0-20	0.5	24	0.1	1-3	22	0.1	17	Liu et al. (1997)
Wv GT	PVC	TDISD(100x100)	clay smeared	0-20	0.5	14.6	0	1-3	12.5	0	17	Liu et al. (1997)

*: DS represents direct shear

TT represents tilt table

TDISD represents Texas Double Interfaces Shear Device

表 2.16 土工合成物與土壤界面剪力強度

Geosynthetics	Soil	Device (mm)	Test Condition	σ_n (kPa)	Shear Rate (mm/min)	ϕ_p (°)	c_p (kPa)	δ_p (mm)	ϕ_r (°)	c_r (kPa)	δ_r (mm)	Reference
Tx VLDPE	Site drainage sand	DS(300x300)	hydrated	5-19	1	29	0.7	5	29	0.2	51	Commercial Lab. Test Data
Tx HDPE	Sandy Clay	DS(300x300)	hydrated	7-35	1	25-42	0-7	-	16-41	0-7	76	Criley and John (1997)
Tx HDPE	Silty Sand	DS(300x300)	hydrated	7-35	1	33-42	0-5	-	31-41	0-5	76	Criley and John (1997)
Tx HDPE	Sandy Silt	DS(300x300)	hydrated	7-35	1	23-37	0-4	-	21-36	0-3	76	Criley and John (1997)
Nw GT	sand	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	30-40	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Wv GT	sand	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	28-40	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Sm HDPE	sand	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	26-28	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Rg HDPE	sand	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	30-41	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
PVC	sand	DS(300x300)	hydrated	20-62	0.0025-0.25	30-33	0	-	-	-	-	Koutsourais et al. (1991)
Rg PVC	sand	DS(100x100)	saturated	14-100	0.127	25-27	0	-	-	-	-	Martin et al. (1984)
Sm PVC	sand	DS(100x100)	saturated	14-100	0.127	21-25	0	-	-	-	-	Martin et al. (1984)
Sm HDPE	sand	DS(100x100)	saturated	14-100	0.127	17-18	0	-	-	-	-	Martin et al. (1984)
Nw GT	sand	DS(100x100)	saturated	14-100	0.127	25-30	0	-	-	-	-	Martin et al. (1984)
Wv GT	sand	DS(100x100)	saturated	14-100	0.127	23-26	0	-	-	-	-	Martin et al. (1984)
Nw GT	sand	DS(300x300)	dry	0-200	0.5	32-41	0-12	-	-	-	-	Miyamori, et al. (1986)
Nw GT	sand	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	25-34	0.6-1.2	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Wv GT	sand	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	35	0-1.2	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Sm HDPE	sand	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	19-27	0.6-0.7	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
PVC	sand	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	26-33	0.3-0.6	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Nw GT	Sapelite	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	29-30	0.8-1.5	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Wv GT	Sapelite	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	31	1.5	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Sm HDPE	Sapelite	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	21	0.4	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
PVC	Sapelite	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	28	0.5	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Nw GT	Clay	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	39-45	1.3-1.8	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Wv GT	Clay	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	43	2	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
Sm HDPE	Clay	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	25	1	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)
PVC	Clay	DS(300x300)	saturated	5-25	0.3	23	1.6	-	-	-	-	Williams and Houlihan (1987)

表 2.17 土工合成黏土襯墊界面剪力強度

GCL Interface	Material against GCL	Device (mm)	Test Condition	σ_n (kPa)	Shear Rate (mm/min)	ϕ_p (°)	c_p (kPa)	δ_p (mm)	ϕ_r (°)	c_r (kPa)	δ_r (mm)	Reference
Wv GT	TX HDPE	-	hydrated	2-14	1	35	0.5	-	26	1	76	Commercial Lab. Test Data
Wv GT	TX HDPE	-	hydrated	19-48	1	24	5	-	11	1	76	Commercial Lab. Test Data
Wv GT	TX HDPE	-	hydrated	7-28	1	18-21	0.2-2.5	-	19	1	76	Commercial Lab. Test Data
Wv GT	Silty Sand	DS(300x300)	hydrated	0-25	0.5	17	27	-	-	-	-	Commercial Lab. Test Data
Wv GT	PVC	DS(300x300)	hydrated	0-25	0.5	15	24	-	-	-	-	Commercial Lab. Test Data
Wv GT	Sm HDPE	DS(300x300)	fully hydrated	0-30	0.5	8	0	0.5-7	5	0	43	Gilbert et al. (1996)
Wv GT	TX HDPE	DS(300x300)	fully hydrated	0-30	0.5	32	0	6.6-15	21	0	43	Gilbert et al. (1996)
Wv GT	GN	DS(300x300)	fully hydrated	0-30	0.5	21	0	2-15	18	0	43	Gilbert et al. (1996)
Wv GT	TX HDPE	DS(300x300)	hydrated	7-28	1	19	6	1.5-3.6	11	4.5	66-79	Pavlik (1997)

表 2.18 土工合成黏土襯墊內部剪力強度

GCL	Reinforced	Device (mm)	Condition	σ_n (kPa)	Shear Rate (mm/min)	ϕ_p (°)	c_p (kPa)	δ_p (mm)	ϕ_r (°)	c_r (kPa)	δ_r (mm)	Reference
Claymax	no	DS	dry	0-25	-	52	0	-	-	-	-	Commercial Lab. Data
Gundseal	no	DS(61x61)	hydrated ($\omega=17\%$)	30-150	0.3	36	13	-	-	-	-	Daniel et al. (1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	hydrated ($\omega=50\%$)	30-150	0.3	27	15	-	-	-	-	Daniel et al. (1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	hydrated ($\omega=100\%$)	30-150	0.3	12	20	-	-	-	-	Daniel et al. (1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	hydrated ($\omega=17\%$)	30-150	0.0003	22	11	-	-	-	-	Daniel et al. (1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	hydrated ($\omega=50\%$)	30-150	0.0003	7	15	-	-	-	-	Daniel et al. (1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	hydrated ($\omega=100\%$)	30-150	0.0003	7	7	-	-	-	-	Daniel et al. (1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	hydrated ($\omega=145\%$)	30-150	0.0003	9	5	-	-	-	-	Daniel et al. (1993)
Gundseal	no	DS(100x100)	dry	0-70	0.9	26	50	-	-	-	-	GRI(1991.a)
Gundseal	no	DS(100x100)	fully hrdrated	0-70	0.9	19	4	-	-	-	-	GRI(1991.a)
Gundseal	no	DS(100x100)	fully hrdrated	0-70	0.9	18	5	-	-	-	-	GRI(1991.a)
Claymax 200R	no	DS(100x100)	fully hrdrated	0-70	0.9	0	4	-	-	-	-	GRI(1991.b)
Bentofix	yes	DS(100x100)	dry	0-70	0.9	36	60	-	-	-	-	GRI(1991.b)
Bentofix	yes	DS(100x100)	fully hrdrated	0-70	0.9	34	7	-	-	-	-	GRI(1991.b)
Bentomat	yes	DS(100x100)	dry	0-70	0.9	42	14	-	-	-	-	GRI(1991.b)
Bentomat	yes	DS(100x100)	fully hrdrated	0-70	0.9	37	6	-	-	-	-	GRI(1991.b)
Gundseal	no	DS(61x61)	dry	30-70	0.3	36	15	-	-	-	-	Shan (1993)
Gundseal	no	TT(460x460)	fully hrdrated	1-5	0.0003	25	0	-	-	-	-	Shan (1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	dry	0-30	0.0003	35	0	-	33	0	-	UTA(1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	dry	0-100	0.0003	22	9	-	17	12	-	UTA(1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	fully hrdrated	0-30	0.0003	16	0	-	7	0	-	UTA(1993)
Gundseal	no	DS(61x61)	fully hrdrated	0-100	0.0003	8	8	-	7	5	-	UTA(1993)

2.7.4 基本參數不確定因素(陳盈文、陳俶季，2005)

在垃圾邊坡之穩定分析中，需具備垃圾之基本參數，即合理之垃圾剪力強度參數（單位重（ γ ）、凝聚力（ c ）、摩擦角（ ϕ ）），以及土工材料之界面強度，但因垃圾本身具有極大不確定性，主要之不確定因素如下：

- (一) 許多有機性垃圾，在掩埋後的短短幾年，開始發生反應，起初為好氧性分解，後經覆蓋土層後，形成厭氧性分解，分解過程中排出甲烷及二氧化碳，將影響試驗準確性。
- (二) 掩埋場中腐敗性垃圾會隨時間不斷腐化，垃圾剪力強度具變化性，導致採樣時間之控制度，不易掌握具代表性採樣時間。
- (三) 部分垃圾具高度不均質性，如混雜式掩埋場，其中可能包含大型固體廢棄物，在一般採樣下（採樣試體較小），所得之試驗結果，將無法足以代表整體之垃圾性質。
- (四) 在試驗室進行垃圾壓實，有其困難度。
- (五) 除特殊性分類之掩埋場(如灰渣掩埋場、固化後掩埋場)，可得較為代表性之均質土質參數外，一般分析均假設垃圾層為均質均向，與實際土質實有某種程度上之差異性。
- (六) 不均質之垃圾，造成極為差異之孔隙比，影響垃圾之單位重（ γ ）.....等土壤性質。
- (七) 一般掩埋場在進行封閉復育階段，皆會採取植被做為綠美化之手段，有效之植被亦能提昇邊坡穩定，而植被種類之選擇，亦影響復育後之邊坡穩定度，在穩定分析時，並未能有模擬之參考數據，加以納入考量。
- (八) 近年在資源回收觀念之提倡下，掩埋場堆置垃圾之組成明顯改變，新舊垃圾層之改變，即使採用國外經驗參數或本土建置之垃圾參數，仍值得商確。

2.7.5 固體廢棄物的透水性(李政輝，2008)

固體廢棄物的滲透係數可利用現場滲出水抽水試驗，大尺寸試坑滲漏試驗或實驗室大直徑試樣的滲透試驗求得。利用美國密西根州一個進行中的掩埋場三年現場實測資料。Qian(1994)推算出主要滲出水收集系統中降雨量和滲出水產生之體積隨時間的變化關係，廢棄物的滲透係數可由滲流移動時間，水力梯度及廢棄物之厚度求得，其值約為 $9.2 \times 10^{-4} \sim 1.1 \times 10^{-3}$ cm/s。

2.7.6 固體廢棄物彈性模數與柏松比(李政輝，2008)

表 2.19 為國外學者所求廢棄物彈性模數 E 及柏松比 ν ，其中 Moore 和 Pedler(1997)是由現地試驗推求而得，Dean 等人(1995)則是實驗室求得。

表 2.19 固體廢棄物彈性模數 E 與柏松比 ν (李政輝，2008)

資料來源	E(kPa)	ν	備註
Carvalho(1999)	265×10^3	0.25	室內試驗
Dean et al.(1995)	40~55	-	室內試驗
Meanassero et al.(1997)	8×10^3	0.20	-
Moore and Peller(1997)	50~700	-	現地試驗
Wall and Zeiss(1995)	43~52	-	室內試驗

2.8 MSW 沉陷量分析參數

垃圾掩埋場封場復育後，基於土地多元利用之目的，掩埋場上方可作為休閒運動場所或作為工程設施用地，因此垃圾掩埋場可能產生之巨量沈陷對於垃圾掩埋場封場復育後之應用成敗具有關鍵影響。依據現地觀測紀錄，垃圾掩埋場之總沈陷量最大可達堆積厚度 50% 以上且往往有極大之差異沈陷。這些沈陷必然將導致上方設施之結構嚴重破壞、使用機能障礙甚或倒塌，造成財物毀損或人命傷亡事件。因此垃圾掩埋場封場復育後之土地利用必須對垃圾掩埋場之沈陷行為加以分析方可避免災害之產生(劉家男等人，2004；Park et al., 2007; Durmusoglu et al., 2006)。然而由於垃圾之組成極為複雜，具有高度壓縮性且其沈陷行為依時間而變化，故垃圾掩埋場之沈陷分析之正確性實仰賴正確之參數選擇與分析模式之應用。

Oweis and Khera (1998)建議廢棄物包括 MSW 之沈陷分析可參考傳統土壤力學壓密行為之方式並彙整廢棄物之沈陷參數如表 2.20 所示。由表可知，MSW 之壓縮指數(Cc)介於 $0.1e_0$ (初始孔隙比)至 $0.55e_0$ 之間；次要壓縮指數(Cc')則介於 $0.03e_0$ 至 $0.09e_0$ 之間，具有相當大之差異。Stlgis et al. (1995)依據現場加載實測結果繪製載重應變曲線，建議 MSW 之壓縮比(Compression Ratio, CR)為 0.16；次要壓縮比則為 0.02。劉家男等人(2004)蒐集掩埋場沈陷紀錄與垃圾材料壓縮試驗等資料，其中主要沈陷速率、次要沈陷速率與生物分解速率之值分別為 0.033~0.17、0.009~0.063 及 0.048~0.34，亦顯示極大之變化。

表 2.20 廢棄物之沉陷分析參數(Oweis and Khera, 1998)

Material	C_c	CR	C_c	C_c
Peat	$0.75e_0$			
Fifteen-year-old landfill, Boston, MA		0.26		0.24
Lab test on simulated material		0.20		0.30
Old landfill, WV		0.15		0.04
Low organic contents and conditions unfavorable to decomposition	$0.15e_0$	0.15	0.0 3 e_0	0.024
High organic contents and conditions favorable to decomposition	$0.55e_0$	0.41	0.0 9 e_0	0.072
Municipal waste, Melbourne, Australia	$0.1e_0$			0.06
Fifteen- to twenty-year-old landfill, MI		0.08		0.02
Ten-year-old landfill, Elizabeth, NJ		0.21		0.02
Landfill, Harrison, NJ	$0.25e_0$			0.04
Recompact municipal waste-soil mix				0.14-0.034
Old landfill with high soil contents		0.01-0.04		0.001-0.005
Laboratory data for landfills in Canada		0.17-0.36		
Dewatered leather manufacturing sludge, Italy		0.22-0.32		
Mixed sludge (steel mill, chrome plating, painting plant), Italy		0.32-0.47		
Gold mine tailings	0.37			
Gold mine tailings from centrifuge	0.75			
Compacted fly ash	0.02-0.25			
Ponded fly ash	0.32-0.65			0.07
Flue gas desulfurization sludge				
Sulfite	0.2-0.8			
Sulfite-lime and double alkali	0.5-1.0			
Sulfite with fly ash	0.02-0.35			
Sulfate	0.02-0.30			
Paper mill sludge				
Lab specimen				0.015
Field values				0.056
Dredged waste	0.3-0.7			0.002-0.013

第三章 國內外案例彙整

台灣土地資源有限，人口密度又高，在人民自我意識高漲的今日，為因應大量的城市固體垃圾處理，適當之垃圾衛生掩埋場用地實不易覓得及取得，地方政府所選之場址大多位於山坡地之河谷、山窪、坡腳等處。待營運年限期滿再封場復育及規劃土地再使用。然而，這些垃圾場場址封場復育後，應考量整體邊坡滑動及沉陷等的問題。以下彙整國內外垃圾掩埋場相關資料，並統計相關材料參數建置資料庫，以供日後垃圾掩埋場封場復育規劃設計及相關大地安全穩定分析之用。

3.1 國內外垃圾掩埋場資料彙整

本研究彙整全台灣 389 個及國外 4 個垃圾掩埋場之相關資料，如表 3.1、表 3.2 及附件一所示，其中國內 53 個垃圾掩埋場有詳細建檔資料，由表得知垃圾掩埋場大多建於坡地與谷地，且諸多垃圾場中部分垃圾掩埋場已經完成復育工作。

表 3.1 全台灣垃圾掩埋場相關資料一覽表(環保署，2007)

編號	國家	地區	掩埋場名稱	用地類別	總容量 (立方公尺)	總面積 (平方公尺)	掩埋面積 (平方公尺)	參數		
								γ	c	ϕ
1	台灣	基隆市	基隆市八斗子長潭里衛生掩埋場(復育)	海岸:坡地	767600	0	70000			
2			基隆市天外天掩埋場	谷地	2430000	79000	120000			
3		台北縣	台北縣三芝鄉垃圾掩埋場	坡地	8588	21134	2925			
4			台北縣汐止垃圾掩埋場	坡地	0	27000	0			
5			台北縣淡水鎮簡易掩埋場	海岸	0	13840	12000			
6			台北縣坪林鄉鶯仔嶺垃圾場(復育)		178920		9000			
7			台北縣貢寮鄉貢寮砲台山垃圾場(復育)	海岸	10000	31780	2500			
8			台北縣中和市垃圾掩埋場	坡地	920000	55740	55740			
9			台北縣坪林鄉垃圾掩埋場	坡地:坡地谷地	178920	90000	9000			
10			台北縣三峽山員潭子區域性衛生掩埋場	谷地	1260000	180000	80000			
11			台北縣樹林灰渣掩埋場	坡地	217373	36400	26000			
12			泰山鄉臨時簡易掩埋場	坡地	0	0	5399			
13			台北縣石門鄉簡易掩埋場	坡地	0	2754	0			
14			台北縣瑞芳鎮中坑垃圾掩埋場	坡地	155300	0	92858			
15			台北縣新店市貓巡坑 垃圾衛生掩埋場	谷地	0	0	0			
16			台北縣瑞芳垃圾掩埋場	谷地	155300	92858	17000			
17			台北縣瑞芳簡易掩埋場(舊場)	坡地	150000	20166	15000			
18			台北縣八里區域垃圾衛生掩埋場	谷地	5969000	680000	276000	0.6-1.0	1.054-1.52	20-38.9
19			台北縣雙溪鄉垃圾掩埋場	坡地	3500000	45024	39000			
20			台北縣貢寮鄉垃圾掩埋場	海岸	10000	31780	2500			
21			台北縣金山垃圾掩埋場	坡地	160000	58733	35000			
22			台北縣萬里鄉公所垃圾掩埋場	坡地	500000	412770	30000			
23		台北市	台北市福德坑垃圾掩埋場	谷地	8000000	980000	370000	0.91	3.38	24.2
24			台北市山豬窟垃圾掩埋場	谷地	6170000	650000	300000	0.85	0.4	24
25		桃園縣	桃園縣八德市垃圾簡易掩埋場	坡地	135000	11000	9000			
26			桃園縣龍潭鄉垃圾衛生掩埋場	坡地	0	36000	36000			
27			桃園縣平鎮市垃圾掩埋場	平地	0	14393	10000			
28			桃園縣新屋鄉永興垃圾場	河岸	48112	8405	8000			
29			桃園縣觀音鄉垃圾掩埋場	海岸	231515	58000	34070			
30			桃園縣復興鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	38835	4640	3800			
31		新竹縣市	新竹縣竹東鎮掩埋場	坡地	310000	60800	28800			
32			新竹縣新埔鎮簡易掩埋場	坡地:墳墓用地	375000	30000	15000			
33			新竹縣關西鎮垃圾掩埋場	坡地	122007	14022	14000			
34			新竹縣關西鎮公所	谷地	0	30424	14022			
35			新竹縣湖口鄉垃圾掩埋場	坡地	50000	39485	17130	5.02 kN/m ³	33.6kPa	32.1°
36			新竹縣新豐鄉區域性垃圾掩埋場	平地	150000	69915	24500			
37			新豐區域性垃圾衛生掩埋場		125808	26513	20968			
38			新竹縣橫山垃圾場	坡地	61800	49993	9950			
39			新竹縣北埔鎮簡易掩埋場	谷地	0	20000	20000			
40			新竹縣寶山鄉簡易掩埋場	平地	0	0	0			
41			新竹縣峨眉鄉垃圾掩埋場	谷地	199600	63284	13900			

42		新竹縣尖石垃圾場	谷地	26430	6500	5000			
43		新竹市南寮衛生掩埋場(復育)		3750000	0	300000			
44		新竹市浸水衛生掩埋場	海岸	1800000	370000	300000			
45	苗栗縣	苗栗縣苗栗市衛生掩埋場	坡地	237600	19800	19800			
46		苗栗縣苗栗市垃圾掩埋場(復育)		207360	0	20000			
47		苗栗縣苗栗市垃圾衛生掩埋場二期擴建	坡地	65000	19800	12200			
48		苗栗縣苑裡垃圾掩埋場	坡地	12000	2150	2150			
49		苗栗縣通霄鎮垃圾掩埋場	谷地	126146	55396	0			
50		通霄鎮垃圾衛生掩埋場	坡地	143000	55396	10800			
51		苗栗縣竹南鎮垃圾衛生掩埋場(三期)	海埔新生地	364000	49500	49500			
52		苗栗縣竹南鎮衛生掩埋場二期(復育)	海埔新生地	193500	0	55000	6.37	34.9kPa	38
53		苗栗縣竹南鎮垃圾衛生掩埋場(擴建案)	海埔新生地	175800	151990	30000			
54		苗栗縣頭份鎮垃圾衛生掩埋場	坡地	360585	34427	16200			
55		苗栗縣頭份鎮垃圾衛生掩埋場(第四期)	坡地	48000	15900	9040			
56		苗栗縣頭份鎮垃圾掩埋場		360585		34427			
57		苗栗縣後龍鎮公所緊急應變場	海岸	64800000	5000	0			
58		苗栗縣卓蘭鎮垃圾掩埋場	坡地	720000	6280	5600			
59		苗栗縣大湖鄉二期垃圾掩埋場	谷地	0	23440	57400			
60		苗栗縣公館鄉掩埋場	坡地	0	8295	0			
61		苗栗縣銅鑼鄉垃圾掩埋場	河岸	100000	60000	19300			
62		銅鑼鄉垃圾衛生掩埋場	坡地	0	0	0			
63		苗栗縣南庄鄉衛生掩埋場	平地	299000	15000	15000			
64		苗栗縣頭屋鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	11586	11586	8950			
65		苗栗縣頭屋鄉區域性一般廢棄物處理場	谷地	0	18800	108500			
66		苗栗縣三義鄉垃圾衛生掩埋場	坡地	57000	16000	10000			
67		苗栗縣西湖鄉垃圾掩埋場	谷地	57600	39796	7000			
68		苗栗縣造橋鄉垃圾衛生掩埋場	坡地;坡地谷地	85000	23600	23600			
69		苗栗縣三灣鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	9000	4500	2500			
70		苗栗縣獅潭鄉衛生掩埋場	坡地	100000	32000	8000			
71		苗栗縣泰安鄉錦水垃圾掩埋場	坡地	42420	21750	5050			
72		苗栗縣苗栗市垃圾掩埋場		207360		20000			
73	台中縣市	台中縣東勢鎮衛生掩埋場	坡地	50000	5600	4800			
74		台中縣大甲鎮二期掩埋場	河岸	268380	68460	44730			
75		台中縣大甲鎮一期衛生掩埋場(復育)		145200		25000			
76		台中縣大甲鎮垃圾掩埋場		145200		25000			
77		台中縣清水鎮垃圾掩埋場	谷地	700000	25300	25300			
78		台中縣沙鹿鎮區域衛生垃圾掩埋場	谷地	940000	94000	64000			
79		台中縣梧棲垃圾掩埋場	平地	0	0	0			
80		台中縣后里垃圾掩埋場	坡地	54750	10000	9500			
81		台中縣后里鄉垃圾掩埋場(新)	谷地	201230	18000	13415			
82		台中縣神岡垃圾掩埋場	坡地	275143	45000	4100			
83		台中縣新社鄉垃圾衛生掩埋場	坡地	97000	17500	12000			
84		台中縣外埔垃圾場	河岸	300000	8500	6000			
85		台中縣大安鄉二期垃圾場	特定目的事業用地	320000	71600	71600			
86		台中縣大安鄉一期衛生掩埋場(舊場)	特定目的事業用地	0	12900	12900			
87		台中縣大安鄉三期衛生掩埋場	特定目的事業用地	82500	18500	18500			
88		台中縣烏日鄉垃圾掩埋場	環保用地	262500	25000	19500			
89		台中縣大肚鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	240000	82135	39100			
90		台中縣大肚鄉衛生掩埋場(復育)		250000		50000			
91		台中縣龍井區域垃圾掩埋場	平地	271800	41507	35887			
92		台中縣霧峰鄉垃圾掩埋場	平地	285000	788400	47500			
93		台中縣太平市車籠埔垃圾掩埋場	坡地	288000	24476	14300			
94		台中縣大里市垃圾掩埋場	坡地	1000000	83000	35000			
95		台中縣和平鄉垃圾衛生掩埋場	原住民保留地	9000	45000	45000			
96		台中市垃圾掩埋場(南屯區)	坡地	3600000	0	110200			
97	彰化縣市	彰化市草子埔垃圾衛生掩埋場	谷地	945000	65000	63000			
98		彰化市垃圾衛生掩埋場	谷地	0	67500	44000			
99		彰化縣鹿港鎮垃圾衛生掩埋場(頂厝里)	平地	118675	26200	18803			
100		彰化縣鹿港鎮衛生掩埋場(復育)		0		12000			
101		鹿港鎮彰濱工業區灰渣掩埋場	海岸	113000	26236	26236			
102		彰化縣和美垃圾場	平地	78000	17420	13000			
103		彰化縣和美鎮區域性一般廢棄物衛生掩埋場	平地	68425	19718	0			
104		彰化縣線西鄉臨時垃圾場	海岸	50000	24000	23500			
105		線西鄉彰濱工業區臨時垃圾衛生掩埋場	海岸	50000	24000	23500			
106		彰化縣線西伸港簡易掩埋場	平地	0	1000	1000			
107		臨時垃圾衛生掩埋場	工業區綠帶	0	0	0			
108		彰化縣福興(含芳苑)地區區域性垃圾聯合掩埋	海岸	245000	86000	70000			
109		彰化縣秀水鄉垃圾場	平地	0	10294	7553			
110		彰化縣芬園鄉衛生掩埋場	平地	35000	10000	7000			
111		彰化縣員林鎮阿寶坑垃圾掩埋場	坡地	43500	44480	26550			
112		彰化縣溪湖鎮垃圾掩埋場(三期)	平地	17000	2088	2088			
113		彰化縣溪湖鎮垃圾掩埋場(二期)	平地	50435	4585	4585			
114		彰化縣田中鎮衛生掩埋場(新場)	平地	0	14491	12500			
115		彰化縣田中鎮衛生掩埋場舊場	平地	43200	14500	12000			
116		彰化縣大村鄉掩埋場	平地	0	9266	8680			
117		彰化縣埔鹽鄉垃圾掩埋場	平地	10896	6600	6432			
118		彰化縣永靖鄉垃圾掩埋場	平地	0	6416	4200			
119		彰化縣永靖鄉垃圾衛生掩埋場	平地	0	6072	4200			

120		彰化縣田尾鄉第三垃圾衛生掩埋場	平地	0	6139	6139			
121		彰化縣社頭鄉簡易掩埋場	坡地	4341	10506	4500			
122		社頭鄉垃圾掩埋場	坡地	42000	10506	10506			
123		彰化縣北斗垃圾衛生掩埋場	平地	65020	16255	16255			
124		彰化縣北斗鎮衛生掩埋場(復育)	平地	0	7850	7850			
125		彰化縣二林鎮垃圾衛生掩埋場	平地	90000	27330	26000			
126		彰化縣田尾鄉第三期衛生掩埋場	平地	0	3991	0			
127		彰化縣田尾鄉應急垃圾衛生掩埋場	窪地	21000	3680	8146			
128		彰化縣田尾鄉應急掩埋場	窪地	21000	3680	8146			
129		彰化縣埤頭鄉埔東垃圾掩埋場	平地	0	6038	5430			
130		彰化縣埤頭鄉埔東段垃圾衛生掩埋場	平地	25000	6038	6000			
131		彰化縣竹塘鄉衛生掩埋場	平地	32000	7043	7043			
132		溪州鄉區域性垃圾衛生掩埋場	河岸	610000	68000	46000			
133	南投縣	南投市垃圾場	坡地	61330	55700	55700			
134		南投市垃圾場	坡地	61330	55700	55700			
135		南投縣埔里鎮桃米里簡易掩埋場	谷地	150840	34471	34471			
136		南投縣草屯垃圾掩埋場	河岸	79264	0	11000			
137		南投縣竹山區域性垃圾衛生掩埋場	平地	251700	63848	50340			
138		竹山鎮衛生掩埋場(二期)	平地	135000	32000	27000			
139		南投縣集集鎮垃圾掩埋場	坡地	55524	26324	6900			
140		南投縣名間鄉垃圾場	坡地	53000	10500	52000			
141		南投縣名間垃圾掩埋場	平地	9000	9000	9000			
142		南投縣中寮區域性垃圾場	坡地	0	30000	30000			
143		南投縣魚池鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	52800	8000	8000			
144		南投縣國姓鄉區域性垃圾掩埋場	坡地	750000	50000	30000			
145		南投縣水里鄉簡易掩埋場	廢土貯置場	0	20000	0			
146		南投縣信義鄉簡易掩埋場	坡地	0	2000	1700			
147	雲林縣	雲林縣斗六市垃圾場	特定事業用地	0	35000	35000			
148		雲林縣斗南鎮垃圾掩埋場	平地	203358	93721	42200			
149		雲林縣虎尾鎮垃圾場	平地	217000	41017	31000			
150		雲林縣虎尾鎮垃圾場(新場)	平地	156875	48076	24400			
151		西螺區域性垃圾衛生掩埋場	河岸	380688	120000	80000			
152		雲林縣土庫鎮垃圾掩埋場		74400		18600			
153		雲林縣土庫鎮垃圾衛生掩埋場(新場)	平地	38500	45000	38500			
154		雲林縣土庫鎮簡易垃圾掩埋場	公墓用地	43200	12760	9550			
155		雲林縣北港鎮衛生掩埋場(新場)	平地	112440	19500	15700			
156		雲林縣北港應急簡易掩埋場	平地	174300	25710	24900			
157		雲林縣古坑鄉垃圾場	坡地	120000	5600	5000			
158		雲林縣麥寮鄉許厝寮垃圾衛生掩埋場		0		0			
159		雲林縣莿桐鄉垃圾掩埋場(新場)		45889	89669	41153			
160		雲林縣莿桐鄉公所簡易掩埋場(舊場)	河岸	50000	9669	9610			
161		雲林縣二崙鄉垃圾掩埋場	平地	144223	46000	26000			
162		雲林縣二崙鄉垃圾掩埋場		90090		13860			
163		雲林縣崙背鄉垃圾掩埋場	河岸	96000	19000	16000			
164		雲林縣崙背鄉衛生掩埋場(復育)		59470	0	4000			
165		雲林縣麥寮鄉垃圾掩埋場	平地	46200	17700	9000			
166		雲林縣麥寮鄉衛生掩埋場		46200		9000			
167		雲林縣麥寮鄉衛生掩埋場		0		0			
168		雲林縣東勢鄉簡易掩埋場(新場)	平地	95633	19800	16000			
169		雲林縣東勢鄉簡易掩埋場	平地	16000	4500	4000			
170		雲林縣褒忠鄉垃圾掩埋場	平地	94495	39334	23000			
171		雲林縣台西鄉垃圾掩埋場	平地	0	10000	7000			
172		雲林縣台西鄉三姓垃圾衛生掩埋場(復育)		46200		10692			
173		雲林縣台西鄉三姓垃圾衛生掩埋場		46200		10692			
174		元長鄉垃圾衛生掩埋場	平地	85000	17488	16282			
175		雲林縣元長鄉垃圾衛生掩埋場(復育)		39576		13192			
176		雲林縣四湖鄉垃圾掩埋場	平地	250087	55265	53210			
177		雲林縣口湖鄉簡易掩埋場	平地	0	10000	10000			
178		雲林縣水林鄉簡易掩埋場	平地;魚池	0	8695	8695			
179	嘉義縣	嘉義縣太保市公所白鴿層垃圾掩埋場	平地	50860	12667	12667			
180		嘉義縣太保市茄苳腳段衛生掩埋場(復育)		77400		18705			
181		嘉義縣朴子市垃圾掩埋場	平地	242450	25748	25700			
182		嘉義縣朴子市休閒公園(佳禾里竹圍段)		0		0			
183		嘉義縣朴子市佳禾里第一期垃圾衛生掩埋場		0		5394			
184		嘉義縣朴子市應急衛生掩埋場	平地	242450	25748	25700			
185		嘉義縣朴子市佳禾里第一期衛生掩埋場		0		5394			
186		嘉義縣布袋鎮簡易掩埋場	平地	40000	9000	9000			
187		嘉義縣大林鎮應急垃圾衛生掩埋場	谷地	71450	12665	8750			
188		嘉義縣民雄鄉垃圾掩埋場	谷地	1153250	79211	71000			
189		嘉義縣溪口二期垃圾掩埋場	平地	9010	9010	9010			
190		嘉義縣溪口一期衛生掩埋場	平地	9010	9010	9010			
191		嘉義縣新港鄉垃圾掩埋場	平地	0	27211	25000			
192		嘉義縣新港鄉溪北垃圾掩埋場		103000		27211			
193		嘉義縣新港鄉區域性垃圾衛生暨灰渣掩埋場	平地	0	49000	156967			
194		嘉義縣六腳鄉竹子腳掩埋場	平地	104000	18923	16000			
195		嘉義縣六腳鄉垃圾掩埋場	平地	104000	18923	16000			
196		嘉義縣東石鄉簡易掩埋場	平地	6000	2500	2000			
197		嘉義縣義竹垃圾掩埋場	平地	88000	42389	36467			

198		嘉義縣義竹鄉一期垃圾衛生掩埋場(復育)	平地	88000	42389	36467			
199		嘉義縣鹿草鄉馬稠後垃圾衛生掩埋場	平地	49910	15456	7130			
200		嘉義縣水上鄉垃圾掩埋場(區域場)	平地	240000	49950	35000			
201		嘉義縣水上鄉垃圾掩埋場	坡地	58500	5475	25000			
202		嘉義縣中埔鄉垃圾掩埋場	坡地	0	0	0			
203		嘉義縣竹崎鄉垃圾掩埋場	平地	256000	73358	36724			
204		嘉義縣番路鄉簡易掩埋場	谷地	11000	6000	5500			
205		嘉義縣大埔鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	59000	15000	5500			
206		嘉義縣阿里山鄉垃圾掩埋場	坡地	0	0	0			
207		嘉義市垃圾掩埋場(東區)	坡地	150000	13210	0			
208	台南縣市	台南縣新營市第四期垃圾場	平地	118000	27500	24600			
209		台南縣新營市第五期垃圾場	平地	425	6	43			
210		台南縣新營市掩埋場一期	平地	120000	22000	22000			
211		台南縣新營市掩埋場二期	平地	80000	18000	18000			
212		台南縣鹽水鎮一期掩埋場	平地	0	16261	0			
213		台南縣鹽水鎮二期掩埋場	平地	56530	20932	148200			
214		台南縣白河鎮垃圾掩埋場	谷地	222235	29700	19111			
215		台南縣柳營鄉六甲區域性垃圾掩埋場	谷地	496817	58792	33200			
216		台南縣後壁鄉垃圾場	平地	35000	35000	10600			
217		台南縣後壁鄉茅寮垃圾場	平地	73500	73500	72000			
218		台南縣東山鄉大坑垃圾掩埋場	谷地	195445	108000	100844			
219		台南縣麻豆鎮垃圾掩埋場	平地	240000	56029	56000			
220		台南縣麻豆鎮垃圾衛生掩埋場		13000		37327			
221		台南縣下營鄉簡易掩埋場	平地	16000	17600	17600			
222		台南縣官田鄉垃圾掩埋場	谷地	188380	80825	19350			
223		台南縣大內鄉垃圾掩埋場	坡地	66800	12200	10626			
224		台南縣佳里鎮垃圾掩埋場	平地	73500	25000	15000			
225		台南縣學甲鎮二期垃圾掩埋場	平地	0	48000	45000			
226		台南縣學甲鎮三期垃圾場	平地	0	12100	33			
227		台南縣學甲鎮垃圾衛生掩埋場(復育)		100000	50000	50000			
228		台南縣西港鄉簡易垃圾掩埋場	平地	0	5940	5940			
229		台南縣七股鄉一期簡易掩埋場	平地	0	8865	8865			
230		台南縣將軍鄉廣山簡易掩埋場	平地	5000	3024	2000			
231		台南縣北門鄉簡易掩埋場	平地	0	4100	0			
232		台南縣新化鎮垃圾衛生掩埋場(一期)	坡地	324000	69160	32340			
233		台南縣新化鎮垃圾衛生掩埋場(二期)	坡地	324000	69160	32340			
234		台南縣善化鎮垃圾掩埋場	平地	95000	30180	27000			
235		台南縣新市鄉潭頂垃圾掩埋場	平地	0	36681	220000			
236		台南縣安定鄉安定區域場	平地	16330	10800	9765			
237		台南縣山上鄉簡易掩埋場	谷地	0	143882	3880			
238		台南縣玉井鄉簡易掩埋場	谷地	0	0	0			
239		台南縣玉井鄉垃圾掩埋場	坡地	0	0	0			
240		台南縣楠西鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	346200	55000	31400			
241		台南縣南化鄉垃圾掩埋場	谷地	36000	3361	0			
242		台南縣南化鄉簡易掩埋場(舊場)	坡地	0	3981	3981			
243		南化鄉垃圾處理場	谷地	16800	3361	3361			
244		台南縣左鎮鄉山林垃圾掩埋場	谷地	100000	0	2500			
245		台南縣仁德垃圾衛生掩埋場	平地	134150	58400	42700			
246		台南縣仁德垃圾衛生掩埋場三期	平地	180000	58400	45000			
247		台南縣歸仁鄉簡易掩埋場	平地	0	1100000	110000			
248		台南縣歸仁鄉垃圾掩埋場(舊場)	坡地	0	100000	100000			
249		台南縣歸仁鄉垃圾掩埋場(新場)	平地	210000	45902	210000			
250		台南縣關廟鄉垃圾衛生掩埋場		0		21000			
251		台南縣關廟鄉簡易掩埋場	坡地	0	70000	20000			
252		台南縣永康市王田垃圾衛生掩埋場		0		26000			
253		台南縣林園鄉簡易掩埋場	谷地	266578	28263	26400			
254		台南市城西二期垃圾掩埋場	平地	852000	142000	142000			
255		台南市城西一期垃圾掩埋場		7020000	110000	108000			
256		台南市城西三期垃圾掩埋場	平地	53500	107000	107000			
257	高雄縣市	高雄縣鳳山市衛生掩埋場國泰場	公園預定地	106400	19000	19000			
258		高雄縣林園鄉垃圾衛生掩埋場	谷地	266578	8263	26400			
259		高雄縣大寮鄉垃圾掩埋場	坡地	70000	25000	20000			
260		高雄縣大寮區山區域性衛生掩埋場	坡地	150000	30000	260000			
261		高雄縣大社鄉垃圾掩埋場	平地	22500	22500	22500			
262		高雄縣仁武掩埋場	河岸	98728	16116	16000			
263		高雄縣烏松鄉垃圾掩埋場	坡地	180000	24000	1700000			
264		高雄縣岡山鎮應急垃圾衛生掩埋場	平地	0	26	26			
265		高雄縣岡山鎮華岡里(二)簡易掩埋場	河岸	0	0	0			
266		高雄縣岡山鎮協和里簡易掩埋場	河岸	0	0	0			
267		高雄縣岡山鎮港口崙應急掩埋場	河岸	12732	15986	15986			
268		高雄縣燕巢鄉垃圾掩埋場	谷地	700000	42000	42000			
269		高雄縣燕巢鄉垃圾掩埋場(二期)	谷地	700000	450000	700000			
270		高雄縣燕巢鄉垃圾掩埋場(三期)	坡地	800000	96000	0			
271		高雄縣燕巢鄉區域性一般廢棄物衛生掩埋場興	坡地	676504	91708	91708			
272		高雄縣路竹、阿蓮鄉區域性垃圾衛生掩埋場	平地	130000	51900	38000			
273		高雄縣路竹垃圾衛生掩埋場(三期)	平地	130000	51900	38000			
274		高雄縣路竹垃圾衛生掩埋場(二期)	平地	130000	51900	38000			
275		高雄縣路竹鄉舊垃圾衛生掩埋場		0		34500			
276		高雄縣湖內鄉垃圾掩埋場	谷地	231670	20600	17800			
277		高雄縣茄萣鄉垃圾掩埋場	海岸	85000	23330	23000			

278		高雄縣永安鄉垃圾掩埋場	平地	51464	22691	22691				
279		高雄縣梓官區域性垃圾及不可燃廢棄物掩埋場	平地	33850	10840	5700				
280		高雄縣梓官鄉新建垃圾衛生掩埋場	平地	0	0	0				
281		高雄縣旗山鎮垃圾掩埋場	坡地	945000	159915	87000				
282		高雄縣美濃應急簡易掩埋場	平地	60000	20000	10000				
283		高雄縣六龜垃圾掩埋場	坡地	140400	23000	10000				
284		高雄縣甲仙鄉簡易掩埋場	谷地	15000	5000	5000				
285		高雄縣杉林鄉應急簡易掩埋場	坡地	160000	56010	8000				
286		高雄縣內門鄉垃圾掩埋場	谷地	152300	50000	17800				
287		高雄縣茂林鄉簡易掩埋場	坡地	0	45440	45440				
288		高雄縣桃源鄉垃圾掩埋場	坡地	30000	19400	17200				
289		高雄市大林蒲灰渣掩埋場	海岸	1992000	300000	50000				
290		高雄市楠梓區西青埔垃圾衛生掩埋場		10000000		440000	0.7-1t/m ³	4t/m ²		24
291	屏東縣市	屏東縣屏東市垃圾掩埋場	平地	113000	70000	15900				
292		屏東縣潮州鎮垃圾掩埋場	平地	0	12000	12000				
293		屏東縣東港一、二期垃圾掩埋場	平地	140000	40000	38000				
294		屏東縣東港鎮區域性衛生垃圾掩埋場	平地	0	0	0				
295		屏東縣恆春鎮垃圾掩埋場	坡地	490000	100000	65000				
296		屏東縣萬丹鄉簡易掩埋場	平地	201600	18474	16800	1.7t/m ³	0.5t/m ²		32
297		屏東縣九如鄉第二期垃圾掩埋場	平地	56234	22000	13525				
298		屏東縣鹽埔鄉垃圾掩埋場	平地	30000	0	6600				
299		屏東縣高樹鄉垃圾掩埋場	平地	35000	9000	7000				
300		屏東縣萬巒鄉簡易掩埋場	平地	0	5000	5000				
301		屏東縣竹田鄉管垃圾掩埋場		25200	0	10000				
302		屏東縣枋寮鄉垃圾掩埋場	平地	1000000	166181	138000				
303		屏東縣南州來義垃圾掩埋場	平地	62600	18000	13000				
304		屏東縣東港三期垃圾掩埋場	平地	100000	40000	38000				
305		屏東縣滿州鄉簡易掩埋場	坡地	350000	100000	70000				
306		屏東縣三地門鄉垃圾掩埋場	谷地	0	10000	10000				
307		屏東縣霧台鄉簡易掩埋場	谷地	3000	20000	1000				
308		屏東縣獅子鄉簡易掩埋場	坡地	0	8000	8000				
309		屏東縣牡丹鄉垃圾掩埋場	坡地	85000	0	0				
310		牡丹鄉衛生掩埋場	坡地	18000	3	17000				
311		牡丹鄉衛生掩埋場	坡地	18000	26000	17000				
312	台東縣市	台東縣台東市知本掩埋場	特農	335309	44488	32540				
313		台東縣台東市海濱公園		264000		66000				
314		台東縣台東市建興垃圾掩埋場	平地	335309	44488	32540				
315		台東縣台東市豐原衛生掩埋場	平地	0	105000	105000				
316		台東縣成功鎮都歷垃圾掩埋場	平地	176000	50900	44000				
317		台東縣關山鎮簡易掩埋場	平地	50000	10000	8000				
318		台東縣卑南鄉垃圾衛生掩埋場	河岸	79917	219	9872				
319		台東縣鹿野鄉垃圾掩埋場	河岸	85500	17000	15000				
320		台東縣鹿野鄉第一期垃圾衛生掩埋場		30000		11620				
321		台東縣池上鄉垃圾掩埋場	河岸	78500	76825	13083				
322		台東縣東河鄉公所掩埋場		0	11	2				
323		台東縣長濱鄉簡易掩埋場		0	50780	0				
324		台東縣太麻里鄉簡易掩埋場	谷地	6000	1200	1200				
325		台東縣大武壠鄉簡易掩埋場	坡地	4	28	4				
326		台東縣綠島鄉簡易掩埋場	谷地	350000	23633	23633				
327		台東縣海端鄉簡易垃圾掩埋場	坡地	6000	15330	500				
328		台東縣延平鄉鷲山簡易掩埋場	坡地	0	14852	1				
329		台東縣延平鄉延平衛生掩埋場	原住民保留地	45143	14160	14000				
330		台東縣金峰鄉垃圾衛生掩埋場	坡地	12900	5800	5800				
331		台東縣金峰鄉垃圾掩埋場	坡地	12900	5800	5800				
332		台東縣達仁鄉臨時垃圾掩埋場	河岸	0	0	0				
333		台東縣蘭嶼垃圾掩埋場	平地	22742	8715	5765				
334	花蓮縣市	花蓮縣花蓮市垃圾掩埋場	海岸	344976	46238	34500				
335		花蓮縣鳳林鎮垃圾掩埋場	平地	120440	290000	50139				
336		花蓮縣玉里鎮長良衛生掩埋場	平地	1850000	49915	47500				
337		花蓮縣新城鄉垃圾掩埋場	海岸	159000	29750	15000				
338		花蓮縣新城鄉垃圾掩埋場	海岸	40990	9062	8600				
339		花蓮縣吉安鄉垃圾掩埋場	平地	311310	6029300	5425297				
340		花蓮縣吉安鄉垃圾掩埋場	河岸	129500	1620536	1620536				
341		花蓮縣壽豐鄉垃圾掩埋場	平地	62500	25000	25000				
342		花蓮縣壽豐鄉垃圾掩埋場	平地	104000	17400	17400				
343		花蓮縣光復鄉垃圾掩埋場	平地	75451	23127	7545				
344		花蓮縣豐濱鄉三富橋簡易掩埋場	谷地	28500	11500	9500				
345		花蓮縣豐濱鄉小港簡易掩埋場	坡地	5400	2000	1800				
346		花蓮縣瑞穗鄉垃圾掩埋場	平地	25000	7000	7000				
347		花蓮縣瑞穗鄉衛生掩埋場(復育)		14250		22390				
348		花蓮縣富里鄉垃圾掩埋場	坡地	66462	18327	18000				
349		花蓮縣萬榮鄉簡易掩埋場	平地	0	1	0				
350		花蓮縣卓溪鄉垃圾掩埋場	坡地	0	900	900				
351		花蓮縣卓溪鄉衛生掩埋場(復育)		0	0	8000				
352	宜蘭縣市	宜蘭縣宜蘭市金六結臨時垃圾場(復育)	平地	0	15000	15000				
353		宜蘭縣宜蘭市建蘭段垃圾掩埋場	平地	290000	45050	40000				
354		宜蘭縣羅東鎮垃圾掩埋場	平地	338223	50639	28600				
355		宜蘭縣蘇澳鎮區域性垃圾掩埋場	海岸	175000	40000	35000				
356		宜蘭縣蘇澳區區域性衛生掩埋場	平地;國有保安林地	175000	40000	140000				
357		宜蘭縣頭城簡易掩埋場	坡地	0	21000	21000				
358		宜蘭縣礁溪鄉衛生掩埋場	平地	76900	17282	10200				

359		宜蘭縣壯圍鄉臨時簡易垃圾掩埋場	海岸	0	5000	5000			
360		宜蘭縣員山鄉掩埋場	坡地	0	38198	30000			
361		宜蘭縣冬山鄉衛生掩埋場	平地	170000	49800	36000			
362		宜蘭縣五結鄉垃圾衛生掩埋場	平地	260600	49800	22000			
363		宜蘭縣五結鄉垃圾掩埋場	平地;低窪地	270000	90000	80000			
364		宜蘭縣三星鄉垃圾掩埋場	平地	105000	30000	15000			
365		大同鄉嘉蘭垃圾場	坡地	0	6590	3000			
366	澎湖縣	澎湖縣馬公市垃圾掩埋場	海岸	73000	41225	12000			
367		澎湖縣馬公市簡易掩埋場(舊場)	海岸	0	0	0			
368		澎湖縣馬公市草蓆尾垃圾衛生掩埋場		525000		25000			
369		澎湖縣湖西鄉東石垃圾掩埋場	海岸	14000	11300	10000			
370		澎湖縣湖西鄉青村舊垃圾堆置點(復育)		1000		4000			
371		澎湖縣白沙鄉岐頭垃圾掩埋場	平地	38000	11014	10000			
372		澎湖縣白沙鄉吉貝垃圾掩埋場	海岸	25714	8049	7800			
373		澎湖縣白沙鄉馬嶼垃圾掩埋場	坡地	11034	5182	5000			
374		澎湖縣白沙鄉大倉垃圾掩埋場	海岸	5590	2249	1140			
375		澎湖縣西嶼鄉竹灣垃圾掩埋場	海岸	378848	8000	7730			
376		澎湖縣望安鄉水垵垃圾掩埋場	坡地	25500	5200	5000			
377		澎湖縣望安鄉將軍垃圾掩埋場	平地	28800	5300	5000			
378		澎湖縣七美鄉垃圾掩埋場	特定事業用地	42242	16200	15646			
379	金門縣	金門縣金城鎮赤山垃圾掩埋場	平地	5000	20500	20000			
380		金門縣金沙鎮鸞山垃圾衛生掩埋場	平地	37611	22783	8358			
381		金門縣金沙鎮大洋垃圾場	平地	40000	20000	8000			
382		金門縣金湖鎮新塘垃圾掩埋場	谷地	100278	56140	16713			
383		金門縣金湖鎮新塘衛生掩埋場(復育)		144000		28000	1.9	4.5	36
384		金門縣金寧鄉簡易掩埋場	蝕溝	22000	76921	30			
385		金門縣金寧鄉簡易掩埋場	蝕溝	22000	76921	30			
386		金門縣烈嶼鄉垃圾掩埋場	坡地	37800	6000	3800			
387	連江縣	連江縣南竿掩埋場	坡地	0	5000	3000			
388		連江縣北竿鄉垃圾場	谷地	0	4000	0			
389		連江縣北竿鄉衛生掩埋場	坡地	28000	10000	7260			

表 3.2 國外垃圾掩埋場相關資料一覽表

編號	國家	地區	掩埋場名稱	用地類別	總容量 (立方公尺)	總面積 (平方公尺)	掩埋面積 (平方公尺)	參數		
								γ	c	ϕ
1	印尼	西爪哇省會	印尼萬隆垃圾掩埋場	谷地	65000	-	-	11	10	20
2	美國	俄亥俄州	美國俄亥俄州辛辛那提市垃圾掩埋場	坡地	486000	-	-	10.2	40	35
3	菲律賓	馬尼拉 Quezon 城市	payatas 垃圾掩埋場	坡地	127000	-	-	10.2	19	28

3.2 相關材料參數統計結果

彙整相關文獻及國內外垃圾掩埋場相關參數，統計結果如表 3.3 及圖 3.1，台灣單位重平均介於 2.6~22.62 kN/m³ 間。國外單位重平均介於 6~15 kN/m³ 間。剪力強度部分 c 介於 5~40kPa， ϕ 介於 12~40°，如圖 3.2 所示。各參數均具有極高之變異性，顯示 MSW 之材料特性。

表 3.3 單位重統計

項目	單位重(kN/m ³)
木柵焚化廠	18.65
內湖焚化廠	20.8
北投焚化廠	26.25
竹南掩埋場	6.4
湖口掩埋場	5
八里下厝子掩埋場	6.9
八里三期規劃設計值	9.8
西青掩埋場	4.9
內湖掩埋場設計值	6.3

福德坑掩埋廠規劃設計值	8.1
山豬窟掩埋場設計值	8.3
台北市廢棄物(不夯實)	2.6
台北市廢棄物(掩埋夯實後)	5.8
89年台灣全區平均	14.85
90年台灣全區平均	22.62
91年台灣全區平均	15.39
92年台灣全區平均	16.81
93年台灣全區平均	15.99
94年台灣全區平均	14.47
聯合國	6
比利時	5.00
法國	7
美國	6
Tri-Cities	10
OII	15
Azusa	12
Cherry Island	8

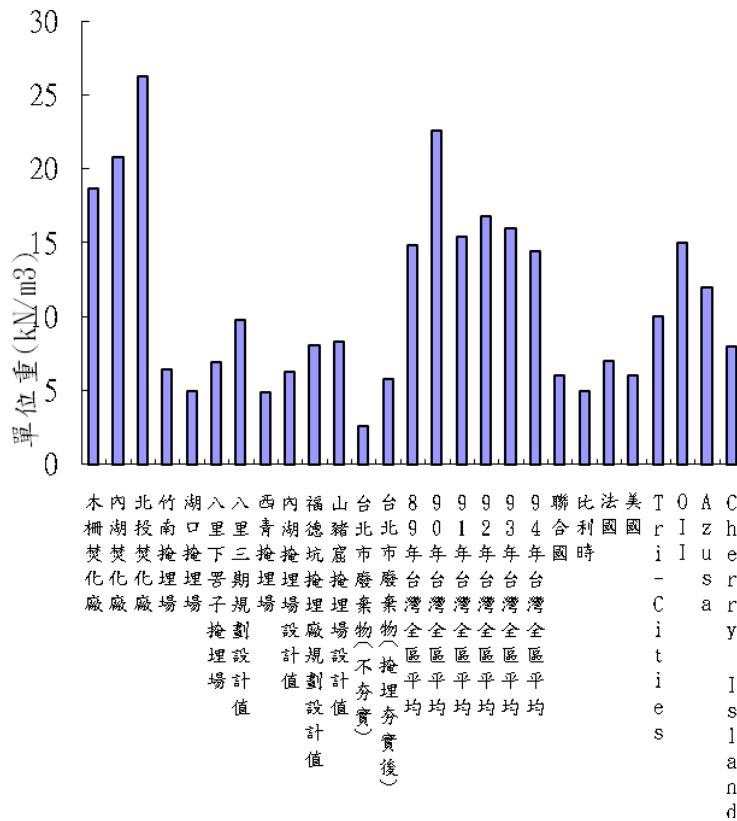


圖 3.1 單位重統計圖

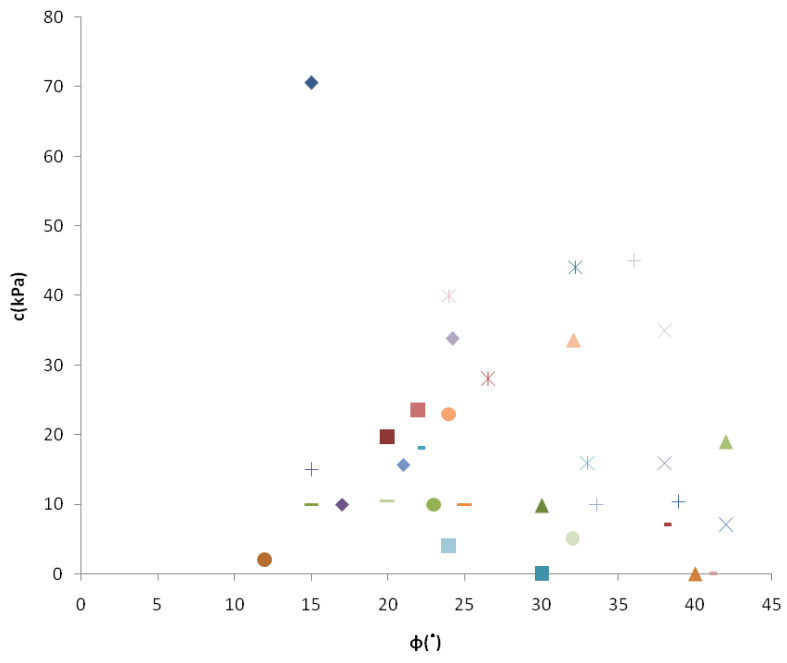


圖 3.2 強度參數統計圖

第四章 案例分析研討

4.1 垃圾掩埋場邊坡穩定分析架構及流程

本研究於第三章建置國內外各垃圾掩埋場相關說明及工程參數資料庫，並從中挑選分析案例。本章節分別以 PLAXIS 及 STEDwin 程式計算整體邊坡穩定之安全係數，並與文獻案例結果作一比較及驗證，此外，參閱山豬窟垃圾衛生掩埋場規劃及復育等相關報告，以回饋分析求得垃圾掩埋場封場復育之安全穩定最佳解，分析流程如圖 4.1 所示。

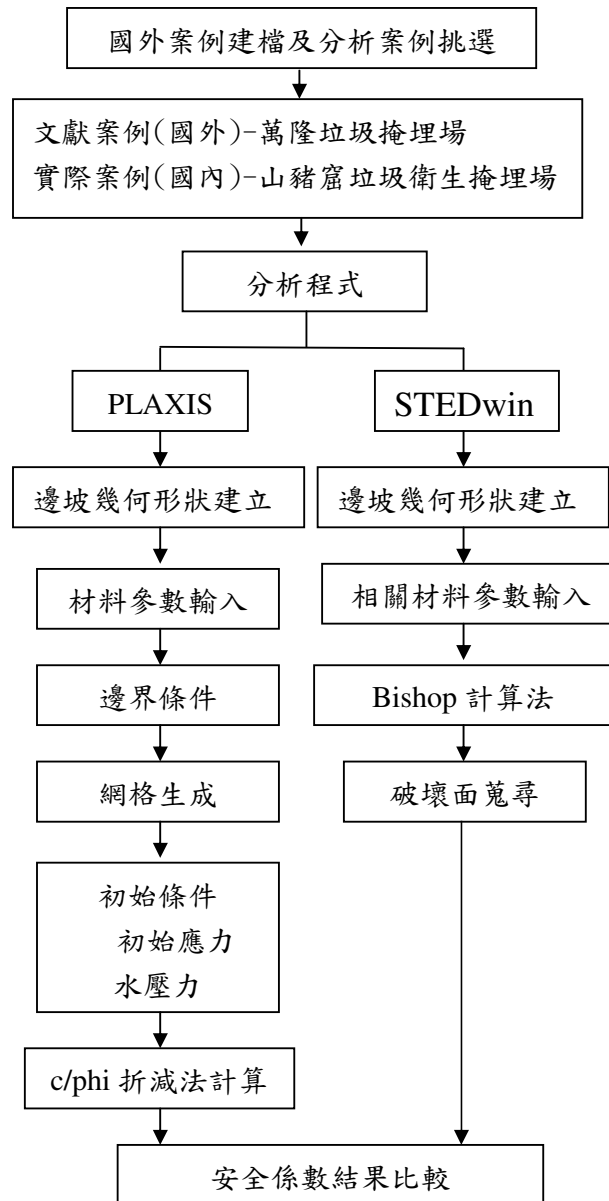


圖 4.1 案例分析流程圖

4.2 STEDwin 程式分析簡介

STEDwin 分析程式，包含 PC STABL6 程式及前/後處理器程式 STEDwin。PC STABL 程式最早由普渡 (Purdue) 大學 Siege 於 1975 年所研發，經十餘年之修改增訂，至 1989 年由美國 FHWA(聯邦公路局)委託普渡大學增修完成 STABL 6 程式，而此版程式更增加了加勁土壤邊坡的分析功能。STEDwin 程式係以 Visual Basic 4.0 撰寫，其主要功能乃將 PC STABL 之相關資料輸入、分析模式與執行分析等完全以視窗化處理，俾簡化作業步驟、減少指令記背及增進作業效率。同時其輸出結果亦可直接顯示與列印，因此目前國內工程界在邊坡穩定分析與研判上皆廣為應用(堅尼士工程顧問有限公司，2004)。

4.2.1 STEDwin 分析基本理論

PC STABL 程式係以 FORTRAN 電腦程式語言撰寫，其理論依據二維極限平衡法處理一般邊坡穩定分析問題，以切片法進行邊坡分析與安全因子計算，切片法乃簡化問題為靜定狀態，將滑動體分成許多個垂直片段，利用力與力距之平衡求得臨界安全係數。此分析軟體可計算圓弧、不規則形、楔形滑動及平面滑動破壞之邊坡安全係數，使用之邊坡穩定分析方法有 Bishop、Janbu、Spencer、Simplified Bishop、及 Rankine Block 等。本研究採用 Bishop 簡化法分析，其應用在國內外使用均相當普遍，通常用於破壞面近似圓弧型之計算。而 Bishop 簡化法並未考慮水平方向力之平衡，故在加勁材為水平方向之配置時，實質上忽略加勁材應力與潛在破壞面上之應力相互作用現象。

4.2.2 STEDwin 之特性與功能

STABL 依據二維極限平衡理論(Limit Equilibrium Method)，應用於分析邊坡穩定問題，且以切片法計算安全係數。其主要功能係將設計邊坡之幾何形狀、各地層之材料參數輸入於程式中，程式架構如圖 4.2 及表 4.1 所示。STABL 程式具有不同的滑動面分析方式，若邊坡潛在滑動面屬於圓弧型時，以 Bishop 法(CIRCL2)進行邊坡穩定分析；而一般滑動面，則採用 Janbu 法(CIRCL)及 Spencer 分析；分析各構造物單元間之潛在滑動面或塊狀滑動面則可利用 Sliding Block 分析法。此外，以 Random 指令可得任意滑動面，至於對一特定滑動面或已知弱面時，則可使用 SURFACE 或 SURBIS 指令進行分析。

除上述之功能外，對於異向性土壤(ANISO)、邊坡內的地下水位(WATER)、坡面或坡頂上的外加载重(LOADS)及邊坡上地錨或岩錨的設置(TIES)、加勁材料的運用(REINF)等都能加以分析。而對於地震力的作用，亦可以擬靜態的方式而加以分析，且可迅速分析出模擬的邊坡問題。

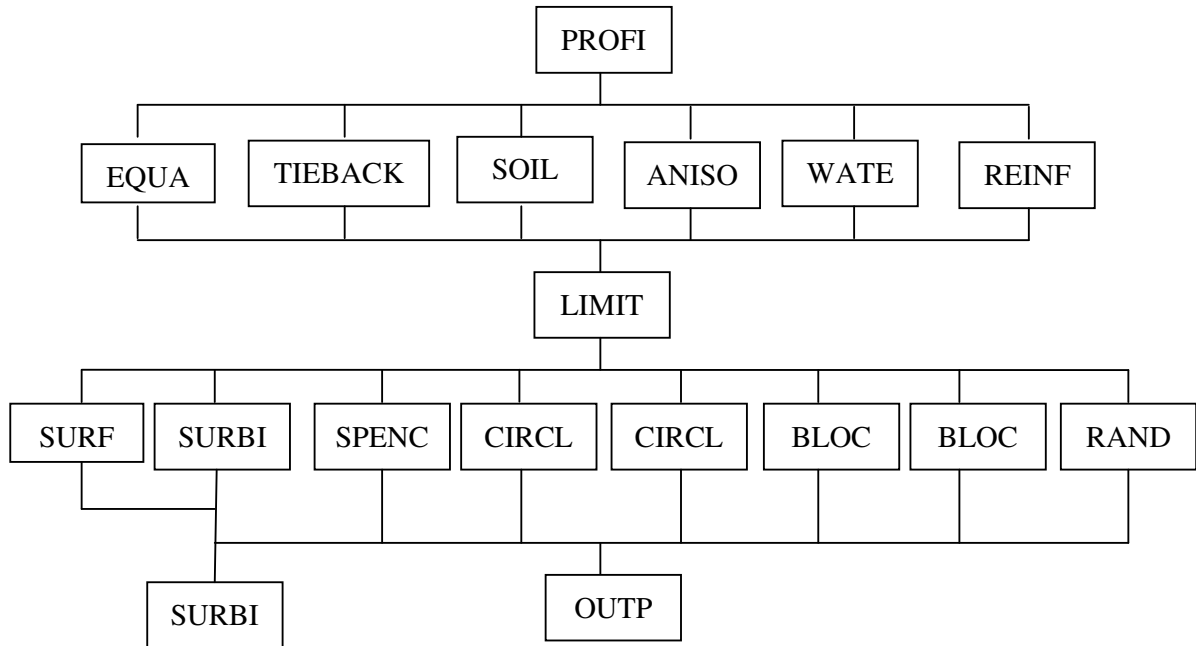


圖 4.2 STEDwin 程式架構圖

表 4.1 STEDwin 之程式架構 (整理自潘如蕙, 2007 等)

輸入參數		使用限制與說明
PROFIL: 定義地表及內部材料邊界		<ol style="list-style-type: none"> 各邊界於輸入時, 邊界線須連續, 且座標必須由左而右, 內部邊界線須由上而下輸入。例如垂直邊坡, 理論上 $X1=X2$, 但輸入值則為 $X2 \geq X1+0.01$ 以邊界現正下方來宣告不同土壤材料類別。
SOIL	SOIL: 定義等向(isotropic)土壤參數	<ol style="list-style-type: none"> 砂性土壤採用有效應力分析黏土採用總應力分析 RU 為水壓係數, 此水壓僅考慮覆土壓力所造成, 不考慮超額孔隙水壓。 在邊坡穩定分析時, 孔隙水壓一般可考慮兩種方式, 一為地下水位面, 一為孔隙水壓比(Ru); 但於分析時盡可能不採用 Ru, 因以切片法分析時, 較易產生誤差。
	ANISO: 定義異向(anisotropic)土壤強度參數	
WATER: 定義地下水位邊界(或飽和土層位置)		<ol style="list-style-type: none"> 以多段現段由左而右來描述地下水位 地下水位線至少為 2 點構成, 最多為 40 點且水位線點值須為正值。
SURFACE		定義不規則滑動面

SURBIS		定義特定之圓弧滑動面
REINF：定義加勁材料		1. 加勁層數須小於 40，定義該加勁層時所需之點數介於 2~40 點，而該點之單位寬度力須大於 0。
LOADS	Boundary Load：定義外部邊界之外加荷重	1. 地表上之荷重以水平分佈力表示 2. 外部荷重數目須小於 10 3. 荷重位置須於第一象限，並應由左而右依序輸入。
	EQUAKE：定義擬靜態地震係數	鍵入虛擬地震加速度時，地震加速度係數 R_h 、 R_v 值依地區之地震強弱有所不同，一般而言 R_h 值約為最大地震加速度(amax)之 1/2~2/3，而 R_v 取 1/2 R_h
	TIEBACKS：地錨荷重/點荷重	1. 錨釘層數須小於 10(超過 10 層，則建議以合力計算) 2. 錨釘與水平夾角須介於 0~180°且間距需大於 1.0。
EQUAKE：定義擬靜態地震係數與空穴壓力		
LIMITS：定義滑動面產生之限制條件		
分析命令(Analysis Cammands)		
控制命令		主要功能
EXEXUT		執行特定滑動面分析
CIRCLE		圓弧滑動面分析(利用 Janbu 切片分析法)
CIRCLE2		圓弧滑動面分析(利用 Bishop 切片分析法)
RANDOM		不規則滑動面分析
BLOCK		塊狀滑動分析
BLOCK2		塊狀滑動分析(以 Rankine 理論之主被動區分析)

4.2.3 加勁材應力計算及基本理論

在加勁邊坡穩定分析時，加勁材所提供之力量，主要由兩種方式來決定：

1. 加勁抗拉強度
2. 破壞圓弧外，加勁材與土壤間之摩擦力

加勁材之抗拉強度為材料本身性質，為埋設加勁材之材料廠商所提供之該加勁材的容許拉力強度。而加勁材與土壤間之摩擦力大小，則參考 STABL 6H 使用手冊，對加勁材料之計算方式，由下式計算之。

$$T_{\text{GEOSYN}} = 2 \sum_{\text{S}}^{\text{L}_{\text{GEOSYN}}} \sigma_v' \mu, \tan \phi' \Delta L$$

式中：

$T_{\text{GEO SYN}} =$ 土壤與加勁材的摩擦力

$\sigma_v' =$ 加勁材上方之覆土應力

土壤與加勁材間互制能力之評估，通常以直剪試驗與拉出試驗進行，而評估的方法則以互制係數為之。互制係數的基本概念下式所示：

互制係數 = (土壤與加勁材間剪力強度)/(土壤與土壤間剪力強度)

一般簡單的評估方式乃以摩擦比(friction ratio)：亦可稱為效率因子(efficiency factor)表示。定義如下：

$$f_e = \tan\delta / \tan\phi$$

式中：

δ ：土壤/加勁材界面摩擦角

ϕ ：土壤摩擦角

此外，加勁材位置、加勁力的分佈及加勁力作用方向的輸入，亦會影響加勁擋土牆的安全係數。加勁材抗張力分佈，其方向定義示於圖 4.3 所示，加勁力可模擬為介於加勁材方向及破壞面切面上，其定義如圖 4.4 所示。(陳力維，2006)

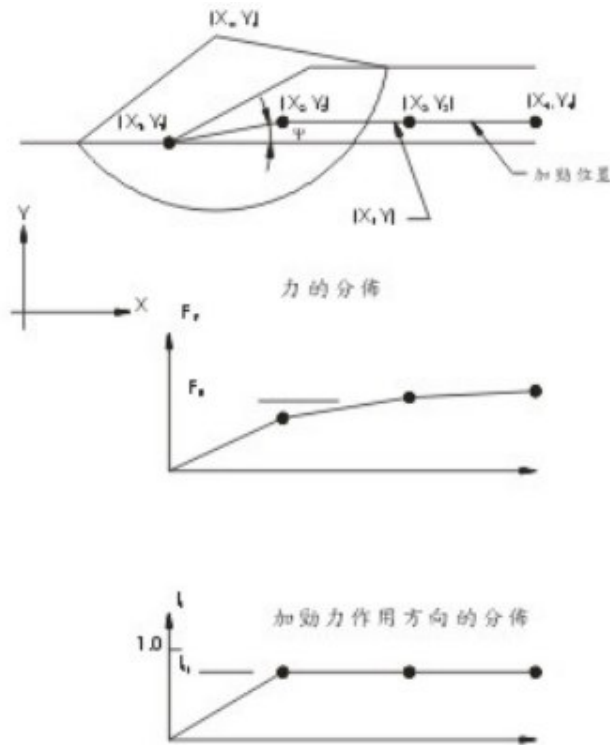


圖 4.3 STABL6 程式加勁位置、力量分佈及傾斜因素圖(陳力維，2006)

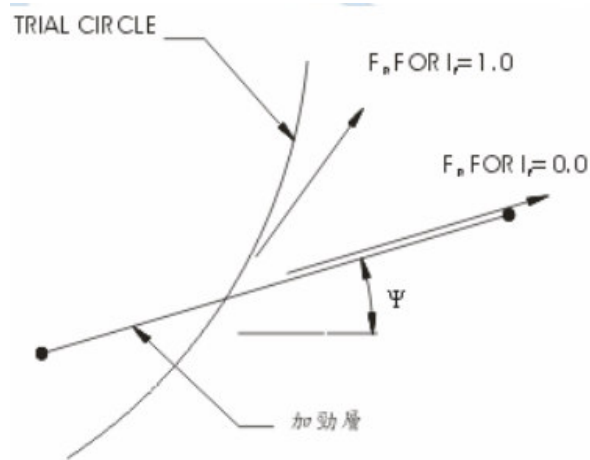


圖 4.4 STABL6 程式加勁力模擬方向說明(陳力維，2006)

4.2.4 STEDwin 程式分析步驟

本研究以實際案例驗證各軟體於垃圾掩埋場邊坡整體滑動分析時，其分析方法與安全係數成果之差異。STEDwin 分析步驟說明如次，流程圖如圖 4.5 所示：

1. 選定設計參數為公制或英制單位 (Units)
2. 輸入邊坡幾何形狀與邊界條件 (PROFIL)
輸入邊坡邊界條件之起始座標與終止座標
3. 輸入土層/材料參數 (SOIL)
輸入材料參數有土壤單位重 γ (kN/m³)、土壤凝聚力 c (kPa)、土壤內摩擦角 φ ($^{\circ}$)。
4. 定義地下水位面 (WATER)
5. 設計加勁格網 (REINF)
輸入材料設計強度、埋設深度及鋪設間距。
6. 設定破壞模式 (ANALYSIS)
7. 設定破壞邊界範圍及切片條件。
可評估數值模型大小，定義出破壞面之起始區域至結束區域範圍。而切片條件一般以 20~30 切片為宜。
8. 執行邊坡穩定分析 (RUN)
程式可設定輸出 10 個最小安全係數的臨界滑動破壞面，每一臨界滑動破壞面上之每一點均為同時破壞，而其安全係數皆相同。
9. 分析成果處理
分析成果資料以文字檔或以圖形化呈現，可將資料轉存為圖形檔(.BMP)或 AutoCAD 圖形交換檔(.DXF)，利於文書編輯使用。

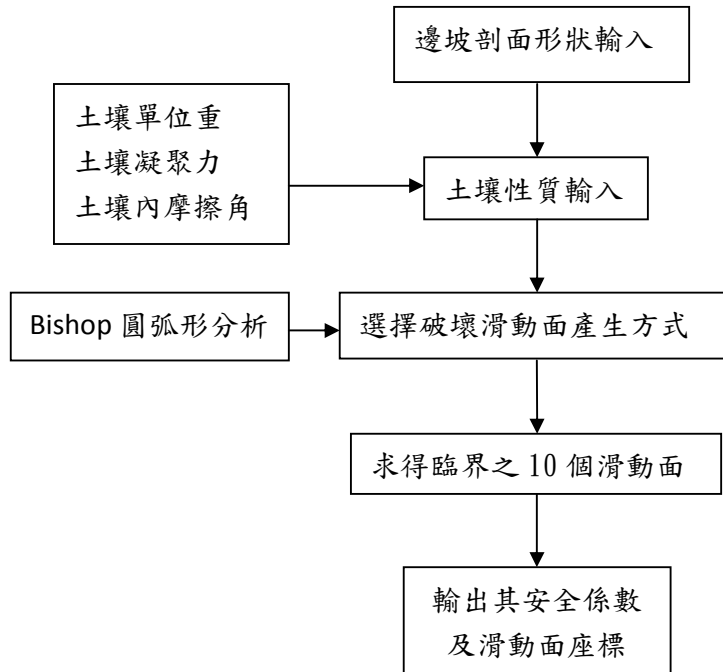


圖 4.5 STABL 分析邊坡安全係數之流程圖(潘如蕙，2007)

4.3 有限元素程式 PLAXIS 簡介

PLAXIS 有限元素程式，最初為荷蘭 Delft 科技大學於 1987 年，為荷蘭公共工程及水處理部所發展之一套應用程式，用以分析河堤於軟弱土壤上之行為。其後，未能應用於大地工程中各種類型之問題，此程式經過後續不斷的更新，專門研究發展相關於土壤變形行為的數值模式，並將發展出之數值模式應用於 PLAXIS 有限元素程式中。

PLAXIS 有限元素程式非常適用於大地工程項目中，有關於變形和穩定性問題的分析。舉例來說，PLAXIS 有限元素可分析路堤、土壩穩定、隧道、基礎、地錨、土釘、加勁擋土結構、槽溝、及參開挖等之應力與變形問題。此外，亦適合分析滲流、壓密沉陷、潛變及孔隙水壓等類型之問題。

PLAXIS 有限元素程式之前處理部分，對於土壤層次、結構物、施工順序、荷重和邊界條件的輸入，皆基於方便的繪圖程序(電腦輔助設計)，如此可對實際狀況進行細緻且精確的模擬。有限元素網格可由電腦螢幕繪製或區域性的網格疏密調整選項。

至於建造及開挖之過程，PLAXIS 可經由啟動及停止某區域內之元素來模擬。這個階段性施工程序，可以讓使用者評估於建造加勁擋土結構物，或進行伸開挖等工程時，每個施工階段之應力及位移量之變化。

PLAXIS 有限元素之後處理部分，主要以圖形來展示計算結果。變形之圖形表達可為網格變形圖、總的或者單一步驟的變形量、以及總的或者單一步驟的應變量。變形量和應變量，皆可分別由箭頭、輪廓線或者輪廓強調色彩來給予表示。變位應力及結構物內力等之精確值，則可由輸出表格中得到。在 PLAXIS 中，上有特別之工具可進行荷重變位曲線、應力路徑和應力-應變關係圖之繪製。在研究土壤行為之計算過程中，各應力支應力路徑的繪製，尤其能提供有用的內部資訊。

運用有限元素分析法進行邊坡穩定分析，乃將邊坡分割成許多小元素 (Element)，依據實驗所得或設定之土壤應力-應變模式，可得到每一元素之勁度矩陣，組合諸元素之勁度矩陣，則可由邊坡之外力作用情形，求得邊坡內各點之應力及應變，進而分析其穩定性。此法之優點在於考慮了土壤之變形性，亦可考慮邊坡在各施工階段之穩定性及變形性，同時可求得沿假設滑動面各點之安全因數，為一合理之分析方法。但由於自然土壤之應力-應變關係相當複雜，要能簡單而準確地描述殊為不易，因此，降低了有限元素在邊坡分析之實用性 (林四川，1987)。

4.3.1 程式基本理論

4.3.1.1 剪力強度折減法(潘如蕙，2007)

剪力強度折減方法(strength reduction factor, SRF)決定安全係數為土壤之實際剪力強度折減至破壞發生時之剪力強度兩者之比值。此方法由 Zienkiewicz 等人(1975)首先提出剪力強度折減(shear strength reduction)之觀念，並據此以評估邊坡之安全係數，在其研究中分別探討自重施加及開挖等方式形成之初始應力，隨著凝聚力的折減。而 Matsui and San(1988)提出說明，邊坡穩定之數值模擬是以剪力強度折減技術折減剪力強度參數 c 、 ϕ 值，直至邊坡破壞發生為止，所謂邊坡破壞可定義成破壞時之剪應變由坡趾處延伸至坡頂之行為過程(完全剪力破壞)。但在數值模擬分析中，無法由應力-應變破壞準則得到邊坡破壞滑動位置。而很多的室內實驗所得結果證明，破壞時的剪應變等值區和邊坡破裂相符合(Roscoe,1970)，因此，可以假定邊坡破壞機制和剪應變在剪力強度折減技術中的發展過程有直接關聯。同樣地，可以假定剪力強度是依靠剪應變量而存在，所以邊坡穩定性可以表示為材料之剪力強度與邊坡破壞區之破壞時的剪應變值成函數關係。而剪力強度折減技巧求取邊坡穩定安全係數時，係連續對土壤強度參數凝聚力 c 值及摩擦係數 $\tan\phi$ 進行折減，使邊坡土壤抗剪強度無法承受土體自重及外加荷重，最後導致邊坡發生破壞，此時得到之強度折減因子 SRF 即為邊坡穩定之安全係數 FS，折減後之強度參數定義如下(潘如蕙，2007)：

$$c_r = \frac{c}{SRF}$$

$$\phi' = \tan^{-1}(\tan\phi / \text{SRF})$$

式中：

SRF：強度折減因子(strength reduction factor)

C' ：邊坡土壤有效凝聚力

ϕ' ：邊坡土壤有效內摩擦角

c_r ：折減後邊坡土壤有效凝聚力

ϕ_r ：折減後邊坡土壤有效內摩擦角

Ugai(1989)以疊代方法尋求整個系統的安全係數：

(1)針對材料之強度(c 和 ϕ)，先假設一個很小的系統安全係數 F (如 0.1)；(2)以轉換過之材料強度(c_r 和 ϕ_r)輸入有限元素分析，檢核系統是否不穩定(即發散)。Brinkgreve 與 Bakker(1991)利用其所發展之有限元素程式 PLAXIS 以求取邊坡安全係數與所對應之破壞滑動面位置，其除了利用剪力強度折減技巧外，並配合弧長控制技巧的使用以建立一更為方便之求取邊坡安全係數之方法。

有限元素可用以模擬探討各種結構物之力學行為機制，並針對各種不同情況之案例進行模擬分析。PLAXIS 有限元素程式則是專門用以研究發展於土壤變形行為的數值模式，以及有關於變形和穩定性問題的分析。其中，亦提供了分析結構物安全係數(FS)之特殊功能，簡稱為折減法，其說明如下(陳力維，2006)：

於結構工程領域，安全係數通常被定義為使結構毀壞強度與結構物能抵抗強度之比值，其大多數通用的數學式可表示為：

$$\text{Safety factor} = S_{\text{maximum available}} / S_{\text{needed for equilibrium}}$$

式中：

Safety factor = 安全係數

$S_{\text{maximum available}}$ = 有效的最大剪力強度

$S_{\text{needed for equilibrium}}$ = 平衡狀態時所產生之剪力強度

而土壤之剪力強度是由凝聚力(c)與摩擦角(ϕ)所組成，因此可將上式寫成：

$$\text{Safety factor} = (c + \sigma_n \tan\phi) / (c_r + \sigma_n \tan\phi_r)$$

式中：

c = 土壤凝聚力

ϕ = 土壤之摩擦角

σ_n = 潛在破壞面之平均正向應力

c_r = 加入折剪係數之土壤凝聚力

$\phi_r =$ 加入折減係數之土壤摩擦角

然而將上式簡化則為：

$$c/c_r = \tan\phi/\tan\phi_r = \Sigma M_s f$$

因此，由上列之各數學式可知，將土壤凝聚力與土壤摩擦角逐一折減計算，即可與原土壤凝聚力與原土壤摩擦角做一比值，亦即此結構物之安全係數值。

4.3.2 PLAXIS 分析步驟說明如下：

1. 一般設置

在這視窗中主要包括兩個頁面設定：(1)項目：輸入文字敘述、單元(15或6節點)、模型形式(平面應變、軸對稱)選擇及用於動力分析的擬靜力分析的加速度。(2)尺寸：輸入長度、力、時間基本單位及繪圖區尺寸。

2. 幾何模型建立

由點、線、類組(面)構成，幾何直線以輸入座標或滑鼠移動點選方式，在繪圖區內任意位置建立。

3. 邊界條件

一般輸入標準固定邊界做為正常邊界條件(規則詳 PLAXIS 使用手冊)，應用於大多數土工應用項目。

4. 材料性質建置(相關材料參數設定規則，可參見 PLAXIS 使用手冊)

PLAXIS 中，岩土和結構的材料性質參數，皆存於材料類型庫中，可分為土和界面、板、土工格柵、錨桿，一般於施加邊界條件後輸入。視窗中主要包括三個頁面設定：(1)一般：輸入材料名稱、材料模型(線彈性、莫耳-庫倫、節理岩石、強化岩土、軟土等)、材料類型(排水、不排水、非多孔性)、一般性質(γ)、滲透性(k_x 、 k_y)；(2)參數：輸入剛度(E 、 ν)、強度(c 、 ϕ 、 Ψ)、替代參數、速度；(3)界面：強度(剛性或手動)、實際界面厚度。

5. 網格生成

自動生成三角形網格。有限網格生成過程中，類組被分成三角形單元，其中有 15 和 6 節點單元可選擇。15 節點單元用來精確計算應力及失效荷重，而 6 個節點單元可以快速計算正常使用狀態。

6. 初始條件

由兩個不同模式組成：(1)生成初始水壓(水力條件模式)；(2)定義初始幾何構造和初始有效應力場(幾何構造模式)。

7. 執行計算

計算類型區分為三種塑性計算、固結分析和 Phi-c 折減(安全分析)。

8. 顯示輸出結果

4.4 文獻案例分析比較

4.4.1 印尼萬隆垃圾掩埋場

(一)概述

本研究參考 Kölsch et al.(2005)之研究案例以印尼萬隆 (巴東)垃圾掩埋場為探討對象。萬隆為印尼西爪哇省會，人口約 6 百萬，其城市位置如圖 4.6 所示。垃圾場位於芝馬墟界內郊區峽谷，垃圾場面積 6.5 公頃，每天有 4500t 固體垃圾傾倒於此。垃圾場底部岩層上有一層 1m 厚淤泥及黏土薄層($k = 3.8 \times 10^{-10}$ m/sec)有如天然屏障，每當雨季(10 至 4 月)來臨時，小河流穿越峽谷冲刷表面，且降雨量非常高，每年平均降雨量 1500~2000mm，明顯分佈不均，雨季期間常伴隨暴雨及雷雨。

垃圾場在峽谷頂端邊緣傾倒垃圾，現場雖見壓實機，但明顯有夯實不佳的狀況。山谷底部有一約 5-10%小邊坡及高處有一略高邊坡，在破壞未發生前，垃圾場最大高度為 60-70m，據當地專家表示，這開放山谷前坡面角度為 30~45°。

(二)災害發生描述

垃圾場連下三天暴雨後，於 2005 年 2 月 21 日 2:00 發生崩滑，目擊者描述當天聽見爆炸聲，隨後垃圾如雪崩似的快速崩滑，死傷人數高達 147 人被掩埋。

從上邊坡處下看猶如懸崖，下邊坡觀察破壞範圍 300 x 900 m (27 ha)。10 m 垃圾層，垃圾覆蓋 200-250m 寬在長 900m 範圍，由萬隆大地測量協會衛星空照破壞區域，如圖 4.7 所示。山谷下方有一半以上有小沉陷，其它村落表面有輕微破壞。

滑動下的長期垃圾廢棄物有明顯礦化作用，在山谷被覆蓋區域可發現原始形態的垃圾塊體，未破壞的塊體從左上方綠色地面崩落好幾百米，破壞現況如圖 4.8、圖 4.9 所示，垃圾部分考慮加勁纖維及箔紙顆粒，估計 20-25%分類固體廢棄物分解，觀察礦化作用程度，生物分解明顯發生在長期垃圾廢棄物上，由此可表示不飽和長期垃圾掩埋場周圍環境條件。山谷垃圾的滑動破壞不是浸潤的地下水造成，但會發生於 30-40%含水量中。剛傾倒的上層垃圾層出現明顯地下水滲透現象，表示水在垃圾層中滲透很快。垃圾掩埋場要在雨季期間暴雨下，產生規則的高地下水位似乎不太可能。

現場破壞幾何形狀觀察出垃圾在淤泥層上移動，觀察結果與垃圾強度一致，內部垃圾剪力強度非常高，介於垃圾與軟弱土層間的表面自動轉變為關鍵的剪力面。底層土至垃圾界面受孔隙水壓影響。地表水溢流及地下水形成小溪谷在山谷中合併成小溪，地下水及雨水滲透增加軟弱土層之孔隙水壓及降低有效應力。

專家懷疑，破壞原因可能因垃圾幾個月規律悶燃造成，且可於開放的垂直邊坡看出燃燒跡象。



圖 4.6 萬隆城市位置(Kölsch et al., 2005)



圖 4.7 萬隆大地測量協會衛星空照圖(Kölsch et al., 2005)



圖 4.8 破壞後殘餘邊坡(Kölsch et al., 2005)



圖 4.9 破壞現況照片(Kölsch et al., 2005)

(三)邊坡破壞分析說明

山谷底部有一約 5-10%小邊坡及高處有一略高邊坡，在破壞未發生前，垃圾場最大高度為 60-70m，據當地專家表示，這開放山谷前坡面角度為 30~45°。

ITB 專家應用德國垃圾填埋場穩定專家 Kölsch(2005)建議，並於 3 月 18 日到萬隆垃圾掩埋場現勘後，提出垃圾性質參數及破壞的幾何類型。年久的垃圾整體滑動穩定分析計算由德國地工協會(DGGT,1997)建議，計算方法考慮由垃圾纖維及箔紙產生張力之加勁效應，張力仰賴纖維上的正向應力發展，拉應力與正向應力與線性函數有關，利用數學原理描述張應力之內角。剪力強度部份產生之張力為纖維凝聚力，此先為凝聚力由張應力內角計算而得，傳導因數及函數考慮異向性(纖維及剪力面間的方向)。計算採用 Bishop 公式(Koelsch, 1996)。地下水於地表面溢流，內部水位低無滲流。由觀察得知，垃圾內部強度非常高，強度性質與德國固體廢棄物分解等級相似，剪力強度不受高水位的水壓影響。

(四)程式建構過程

(1)分析幾何形狀建立

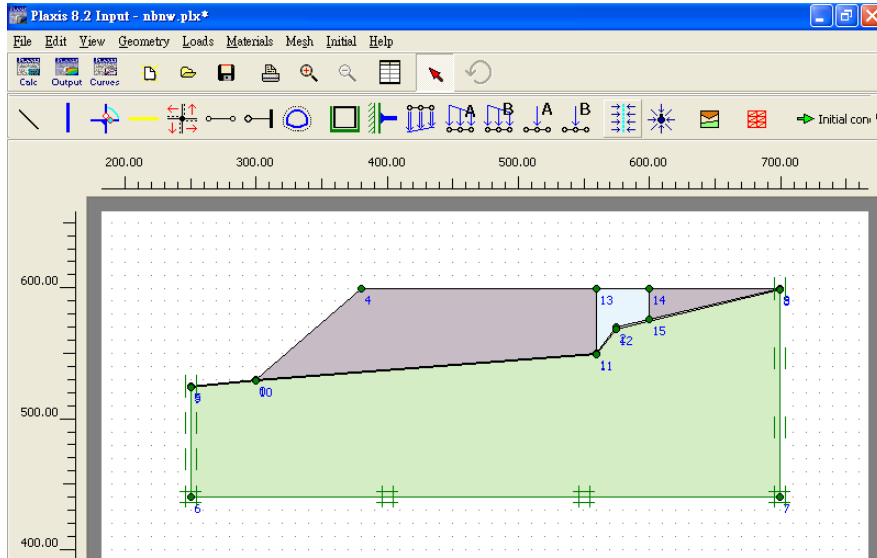


圖 4.10 分析幾何剖面形狀圖

(2)材料參數

(i)土層材料參數

材料名稱	ϕ	c	γ	pw	Ru	Pressure Head	Piez Surface#	k	E	ν
Rcok	45	20	20	0	150	0	1	0	10000	0.25
Clay	12	10	18	0	150	0	1	3.8×10^{-10}	10000	0.33
Waste1	20	10	11	0	150	0	1	1.1×10^{-3}	700	0.2
Waste2	20	10	11	0	150	0	1	1.1×10^{-3}	700	0.2
Waste2 (燃燒後)	20	0	11	0	150	0	1	1.1×10^{-3}	700	0.2

(ii)土工格網(加勁材)參數

土工格柵為具有軸向剛度且無彎曲剛度的細長形結構。土工格柵只能承受拉力，不能承受壓力。STABL 分析時允許最多 40 層土工格網數。

輸入參數	輸入值	
	STEDwin	PLAXIS
剛度(EA)	-	6000
加勁長度	4m(下層)、40m(上層)	-
加勁間距	2m	- 備註：2m(直接於繪圖區描繪)
加勁材拉力強度	104.2	-

(3)分析計算

步驟	程式	
	STEDwin	PLAXIS
滑動面搜尋	<ul style="list-style-type: none"> ● Bishop 圓弧分析法 ● 設定搜尋範圍自動搜尋至安全係數最小 	-

網格生成	-	設定節點數跟網格疏密後，有限元素三角形網格自動生成
初始條件	-	<ul style="list-style-type: none"> ● 水壓力 ● 初始應力分析
壓密	-	
c/phi 折減	-	● Msf 設為 0.1

4.4.2 文獻案例結果比較

本研究分別以 STEDwin 及 PLAXIS 兩種程式驗證及比較文獻結果之差異。以下分別敘述分析過程及結果：

(一)文獻案例結果

文獻中以 Forensic analysis 法模擬分析垃圾掩埋場邊坡穩定之安全係數，分析結果如表 4.3 所示，垃圾場本身構造及營運(適當排水及無火災情況)狀態(即正常狀態)，安全係數 FS 為 1.63，如圖 4.11 所示。垃圾場無火災時，暴雨狀態孔隙水壓位於底層土壤孔隙水壓力約 150kPa，有效應力減小，滑動圖形與現地相符，選擇 100 個滑動面計算，剪力面形狀穿過垃圾層，安全係數 FS 為 1.13，如圖 4.12 所示。垃圾場有火災(垃圾悶燃)，悶燃現象導致上層加勁纖維(顆粒)破壞，所有剪力阻抗構成之張力假設降至 0，加勁材之摩擦角不考慮，安全係數由 1.13 降至 1.00，垃圾場呈現不穩定狀態，觀察滑動面圖形已找不到比此更小的安全係數。剪力阻抗變化繪於切片底部，顯示火災的影響。殘餘剪力阻抗位於滑動圖形上部尾端切片 2 及切片 3，火災後因摩擦力消失而消失，如圖 4.13 所示。文獻案例中說明，萬隆垃圾掩埋場主要破壞原因為垃圾悶燃影響。

表 4.3 文獻案例分析結果一覽表

分析情況	安全係數 FS
正常	1.63
暴雨	1.13
垃圾悶燃	1.00

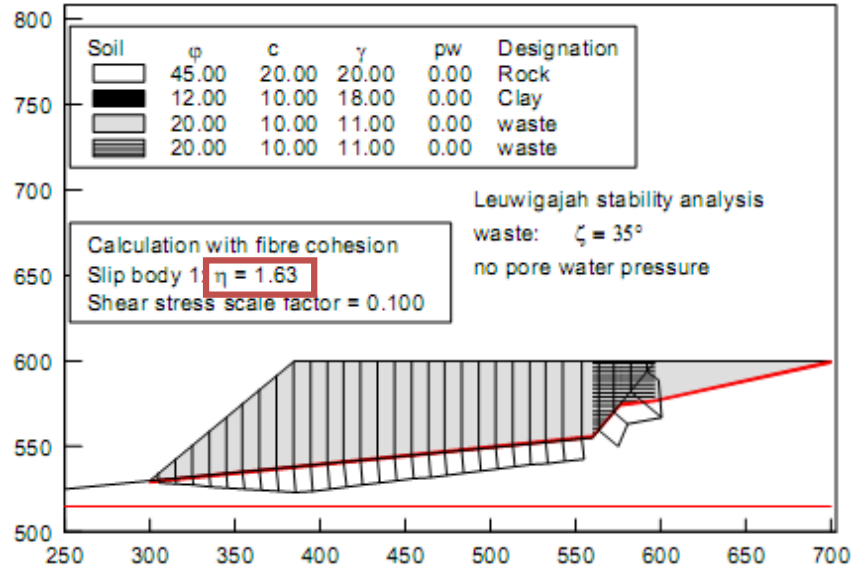


圖 4.11 垃圾場本身構造及營運(適當排水及無火災情況)分析結果(正常狀態)

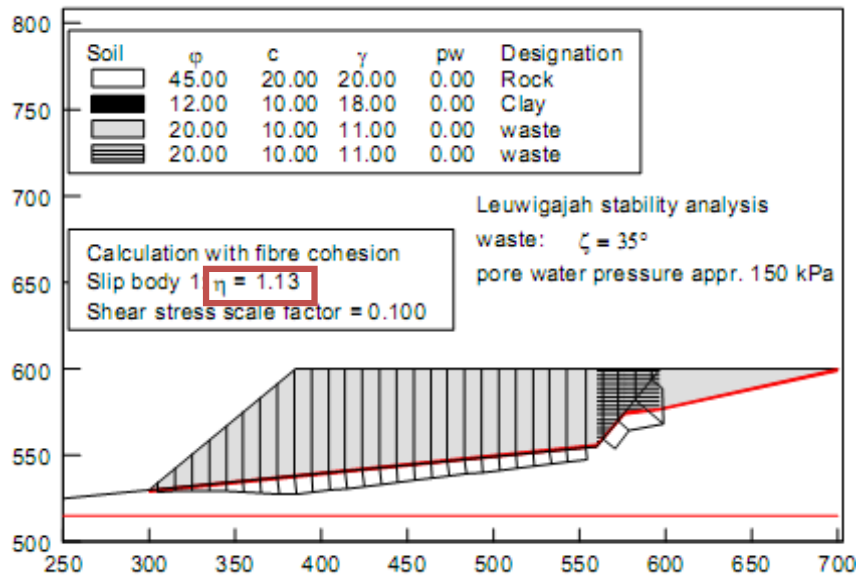


圖 4.12 垃圾場無火災時分析結果(暴雨狀態)

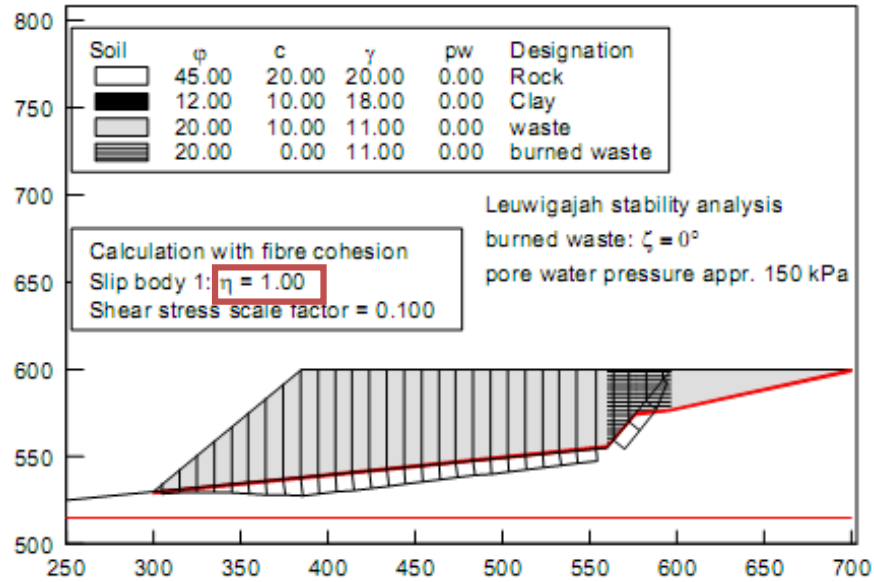


圖 4.13 垃圾場有火災分析結果(垃圾悶燃)

(二)STEDwin 分析結果

利用 STEDwin 程式驗證文獻案例之分析結果，以極限平衡原理之 Bishop 圓弧分析法。為考量垃圾加勁的影響，將文獻中提供的加勁材摩擦角轉換成加勁材的抗張強度，此外，因 STEDwin 分析加勁時，最多允許 40 層地工格網數，故輸入的間距假定為 2m。文獻案例中雖無顯示破壞面，惟由破壞現況照片推估可能為深層的破壞面，STEDwin 分析時，假設文獻結果無誤，判定深層滑動，依此條件自動搜尋破壞滑動面，分析結果如表 4.4 所示。於垃圾場本身構造及營運(適當排水及無火災情況)狀態(正常狀態)，安全係數 FS 為 1.59，如圖 4.14 所示。垃圾場無火災時，安全係數 FS 為 1.01，如圖 4.15 所示。垃圾場有火災(垃圾悶燃)，悶燃現象導致上層加勁纖維(顆粒) 破壞，安全係數 FS 為 0.82，如圖 4.16 所示。上述分析結果顯示，以 STEDwin 程式之極限平衡法，模擬萬隆垃圾掩埋場現況破壞情形與文獻案例分析結果大致相符。

表 4.4 STEDwin 分析結果一覽表

分析情況	安全係數 FS
正常	1.59
暴雨	1.01
垃圾悶燃	0.82

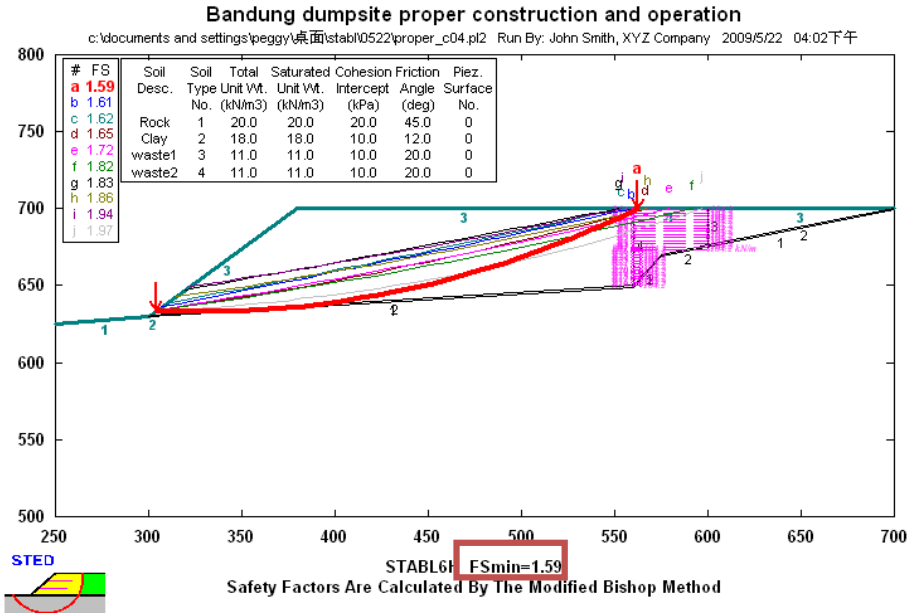


圖 4.14 垃圾場本身構造及營運(適當排水及無火災情況)分析結果(正常狀態)

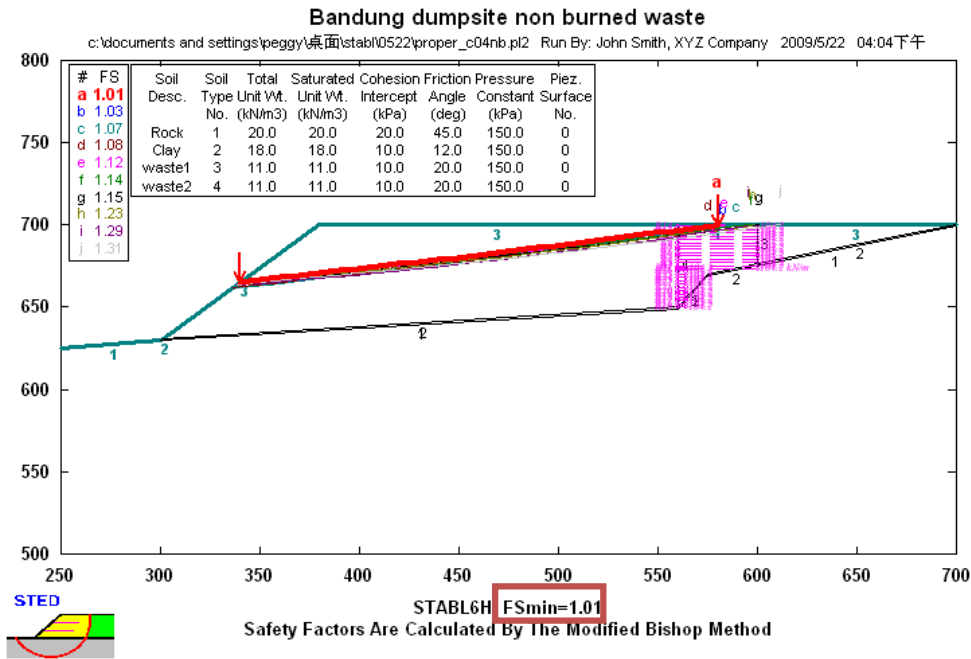


圖 4.15 垃圾場無火災時分析結果(暴雨狀態)

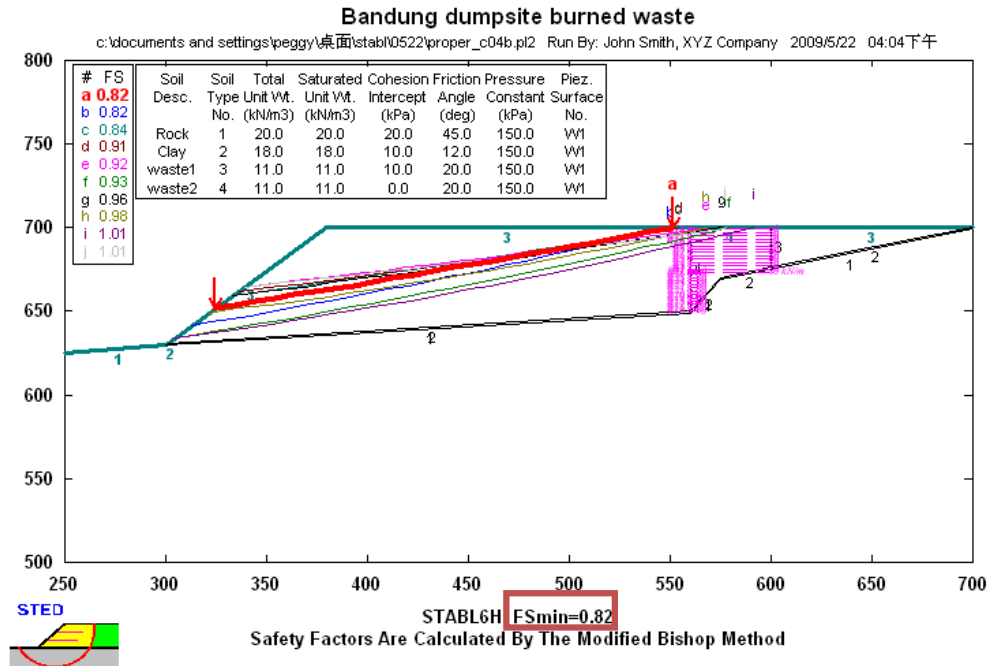


圖 4.16 垃圾場有火災分析結果(垃圾悶燃)

(三) PLAXIS 分析結果

PLAXIS 基於有限元素法之剪力強度折減原理，並配合間接位移控制，建立整體邊坡破壞之安全係數及破壞滑動面位置。當剪力強度折減至臨界狀態時，此折減值為邊坡之安全係數，與 STEDwin 程式差別於無法指定或自動搜尋破壞面位置，而以變形(位)趨勢模擬可能滑動破壞面之結果。PLAXIS 分析結果顯示皆屬表面淺層破壞，安全係數 FS 為 0.581，表示在垃圾悶燃或暴雨前，極可能已發生淺層破壞，如圖 4.17 所示。比較文獻案例、STEDwin 及 PLAXIS 等上述分析結果，PLAXIS 分析與文獻案例之結果不符，因此，不免懷疑實際破壞是否真如文獻結果僅為深層破壞？抑或於整體深層破壞前，曾有淺層破壞情況？這些疑點都值得再加以探討。

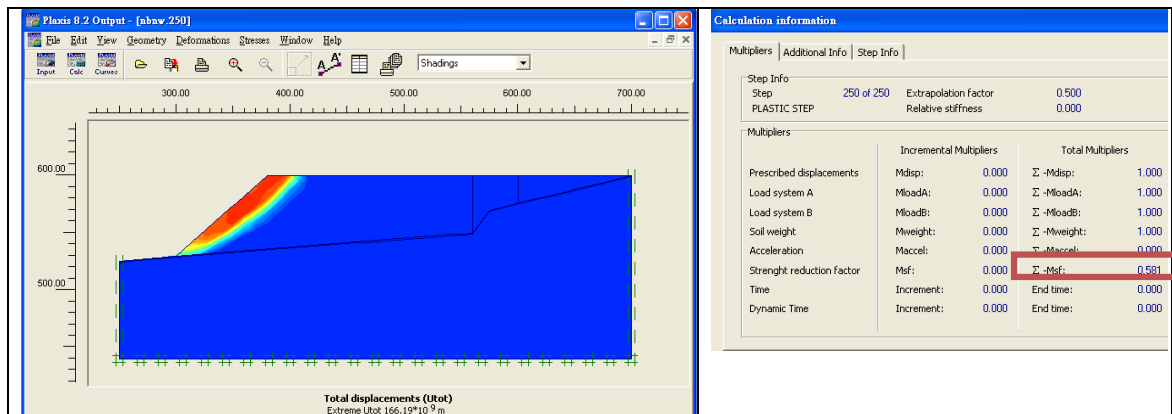


圖 4.17 PLAXIS 垃圾場適當排水及無火災情況分析結果(正常狀態)

(四) PLAXIS 與 STEDwin 淺層破壞分析結果比較

由上述 PLAXIS 分析結果得知，文獻案例可能為淺層破壞，為驗證其結果是否合理及釐清文獻案例實際破壞面之疑點，故再以 STEDwin 針對淺層破壞部分加以分析，安全係數 FS 為 0.69，如圖 4.18 所示。分析結果與 PLAXIS 相符，如表 4.5 所示，由此得知，萬隆垃圾場極可能在暴雨及垃圾悶燃前，已發生局部淺層滑動破壞。與文獻案例災害描述中，山谷下方有一半以上有小沉陷，其它村落表面有輕微破壞較符合實際狀況，極可能先發生淺層破壞後，最後再大規模破壞。

表 4.5 PLAXIS 與 STEDwin 淺層破壞分析結果比較

分析情況	安全係數 FS	
	PLAXIS	STEDwin
正常狀態	0.581	0.69

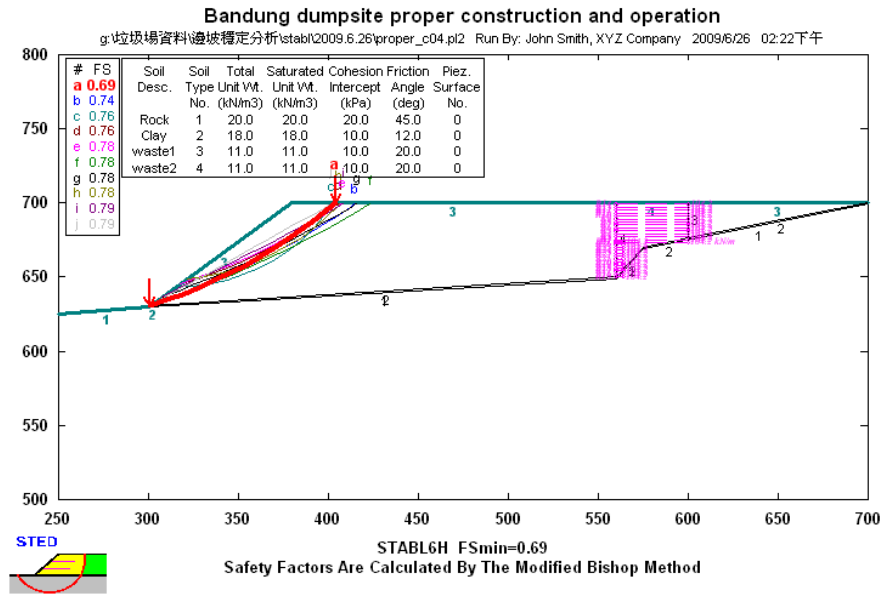


圖 4.18 STEDwin 垃圾場淺層破壞分析結果(正常狀態)

(五) PLAXIS 漸進式分析結果

大地工程邊坡破壞實例很多都為漸進式破壞，如台灣阿里山著名之五彎仔地區曾發生坍滑，吾常可於坡頂坡面附近一些表面徵兆之觀察，判定滑動破壞跡象。本研究除分析淺層滑動破壞外，為更了解實際現況破壞情形，以 PLAXIS 模擬分析漸進式破壞，據此研判文獻案例是否有漸進式破壞之可能。分析結果如表 4.6 及圖 4.19 所示，假定淺層破壞後產生滑動面坍滑，並將坍滑破壞的部分移除繼續分析，依此規則漸進式破壞分別為 I~VI，安全係數 FS 為 0.581~0.866 的淺層破壞變化，此一狀況亦可能發生。

表 4.6 漸進式破壞分析結果一覽表

漸進式破壞階段	安全係數 FS
I	0.581
II	0.741
III	0.882
IV	0.866
V	0.866
VI	0.699

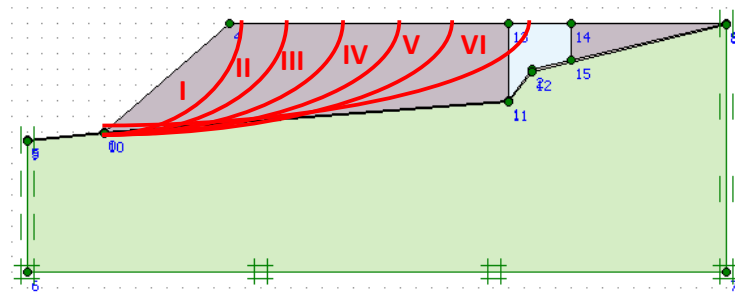


圖 4.19a 漸進式破壞示意圖

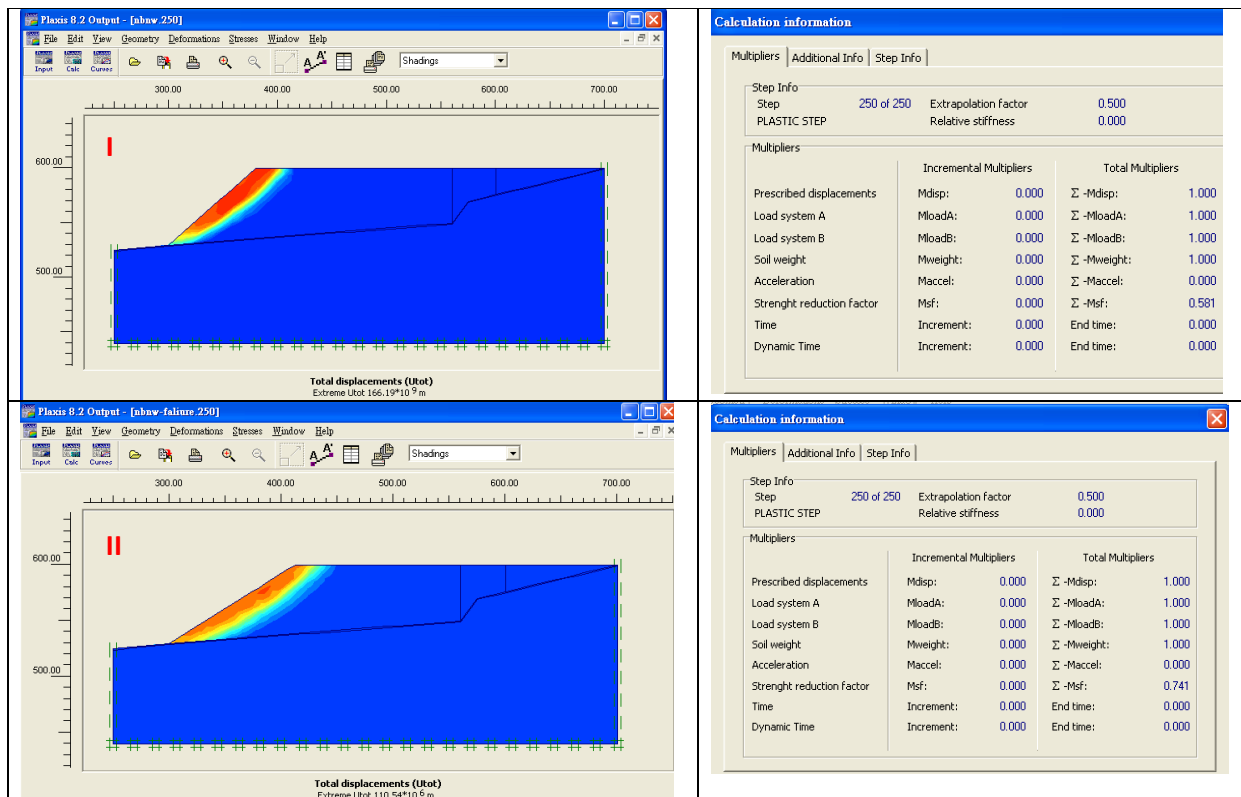


圖 4.19b PLAXIS 漸進式破壞分析結果

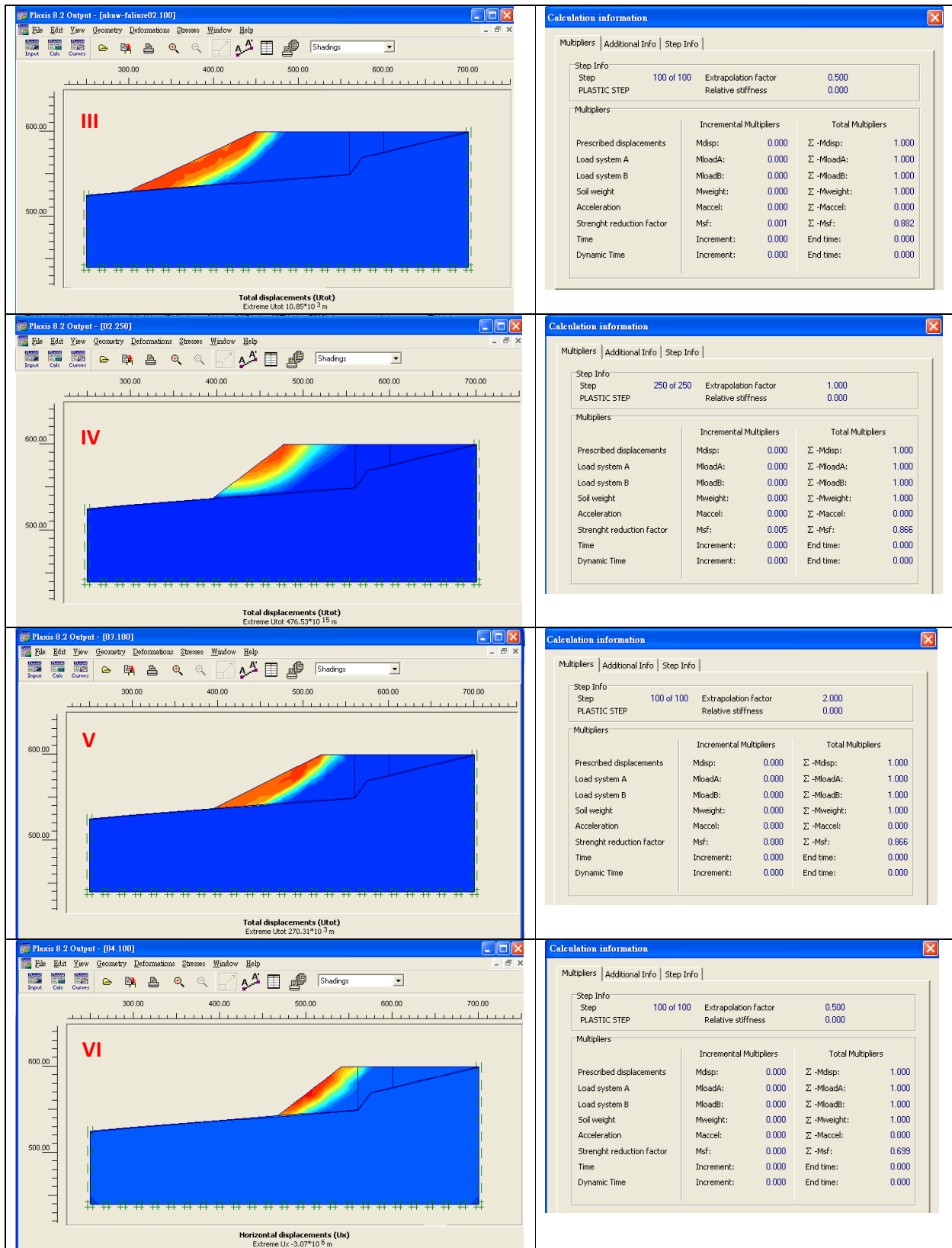


圖 4.19c PLAXIS 漸進式破壞分析結果(續)

(六) PLAXIS 回饋分析結果

假定文獻案例無誤，忽略淺層破壞，再以 PLAXIS 進行回饋分析，調整剪力強度參數，結果顯示，為得到近似文獻案例分析之安全係數結果，剪力強度參數須調高至 $C=130\text{kPa}, \varphi=45^\circ$ ，此一強度參數結果如同軟岩，而垃圾層極不可能出現如此大的強度，回饋分析結果如表 4.7 及圖 4.20~圖 4.30 所示，正常狀態 FS 為 1.516；暴雨狀態 FS 為 1.018；悶燃狀態 FS 為 0.984。且第二章文獻中，剪力強度最大值為 Singh & Murphy(1990)於現地試驗求得之剪力強度參數 $C=100\text{kPa}, \varphi=1^\circ$ 。所以，文獻案例中，垃圾層剪力強度 $C=10\text{kPa}, \varphi=20^\circ$ ，這麼小材料參數於 60、70m 邊坡，分析之安全係數正常狀態達 1.63，似乎不太可能，研判此安全係數下之材料參數可能不正確。

表 4.7 回饋分析結果整理表

項目	剪力強度參數條件	FS
1	$C=70\text{kPa}, \varphi=20^\circ$	0.925
2	$C=75\text{ kPa}, \varphi=35^\circ$	1.176
3	$C=80\text{ kPa}, \varphi=40^\circ$	1.267
4	$C=90\text{ kPa}, \varphi=40^\circ$	1.299
5	$C=100\text{ kPa}, \varphi=40^\circ$	1.339
6	$C=100\text{ kPa}, \varphi=45^\circ$	1.42
7	$C=110\text{ kPa}, \varphi=45^\circ$	1.455
8	$C=120\text{ kPa}, \varphi=45^\circ$	1.479
9	$C=130\text{ kPa}, \varphi=45^\circ$ (正常)	1.516
10	$C=130\text{ kPa}, \varphi=45^\circ$ (暴雨)	1.018
11	$C=130\text{ kPa}, \varphi=45^\circ$ (悶燃)	0.984

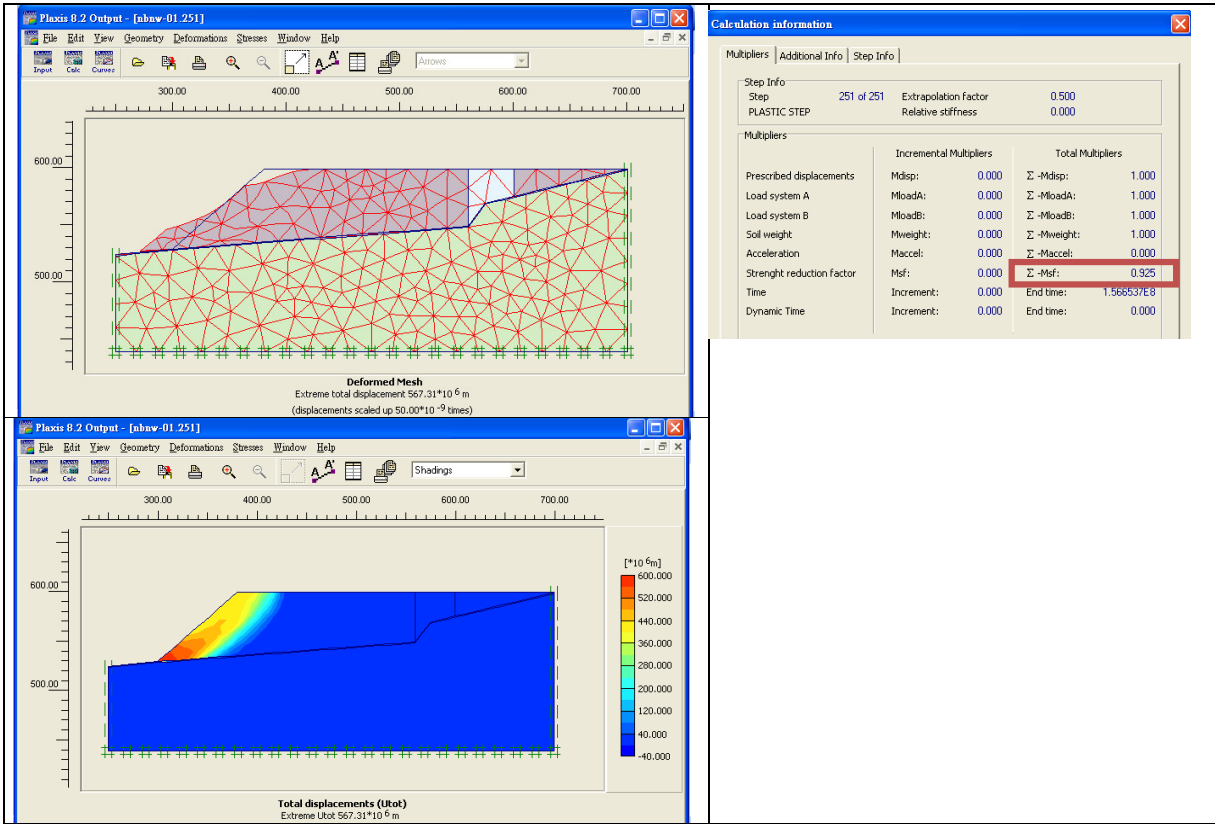


圖 4.20 PLAXIS 回饋分析結果($C=70 \text{ kPa}, \phi=20^\circ$)

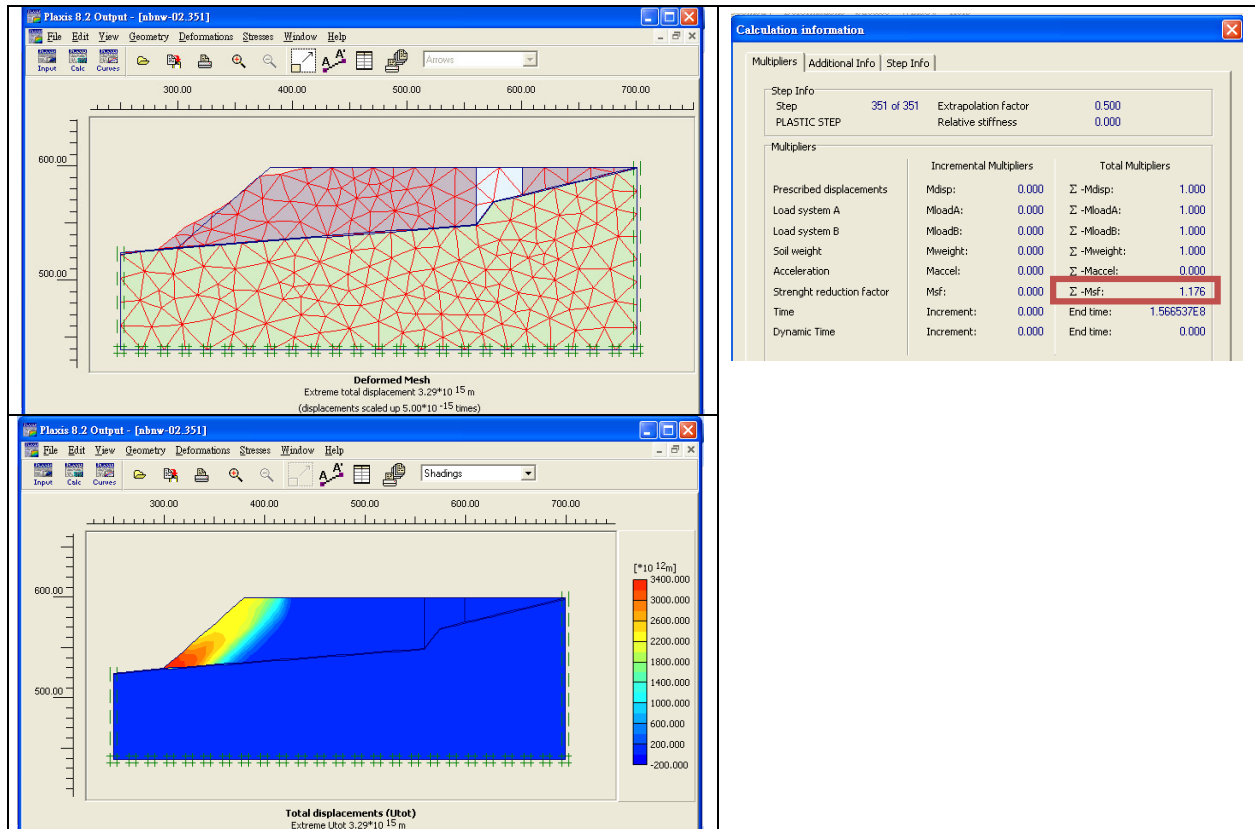


圖 4.21 PLAXIS 回饋分析結果($C=75 \text{ kPa}, \phi=35^\circ$)

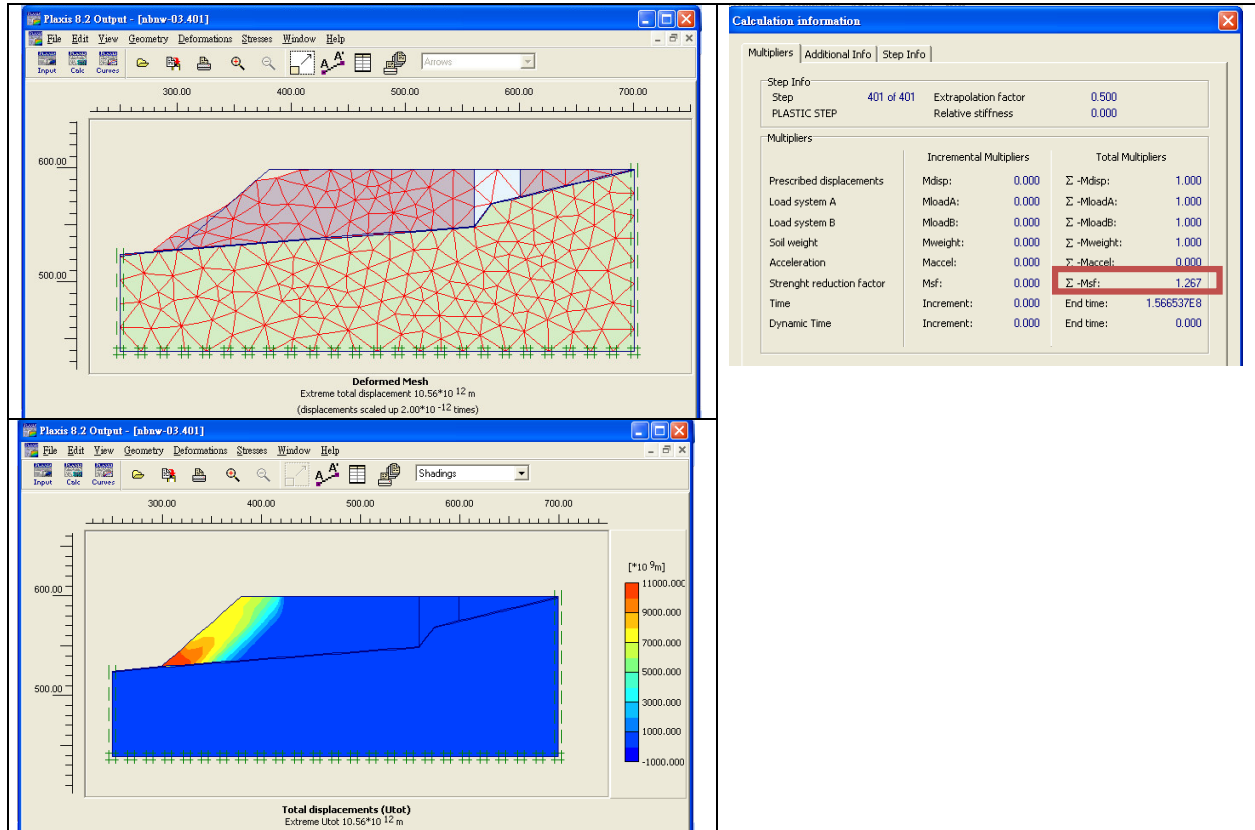


圖 4.22 PLAXIS 回饋分析結果($C=80 \text{ kPa}$, $\phi=40^\circ$)

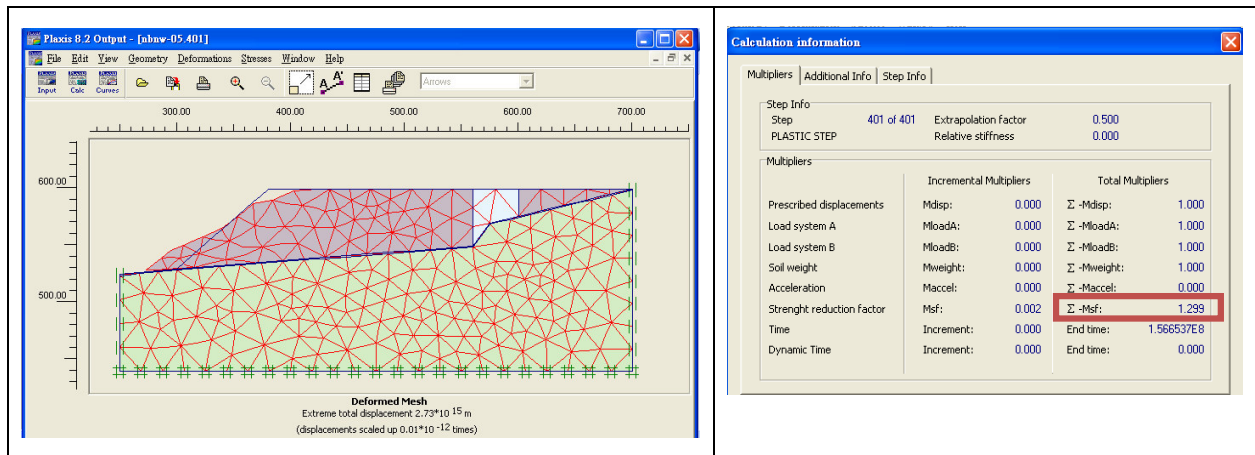


圖 4.23 PLAXIS 回饋分析結果($C=90 \text{ kPa}$, $\phi=40^\circ$)

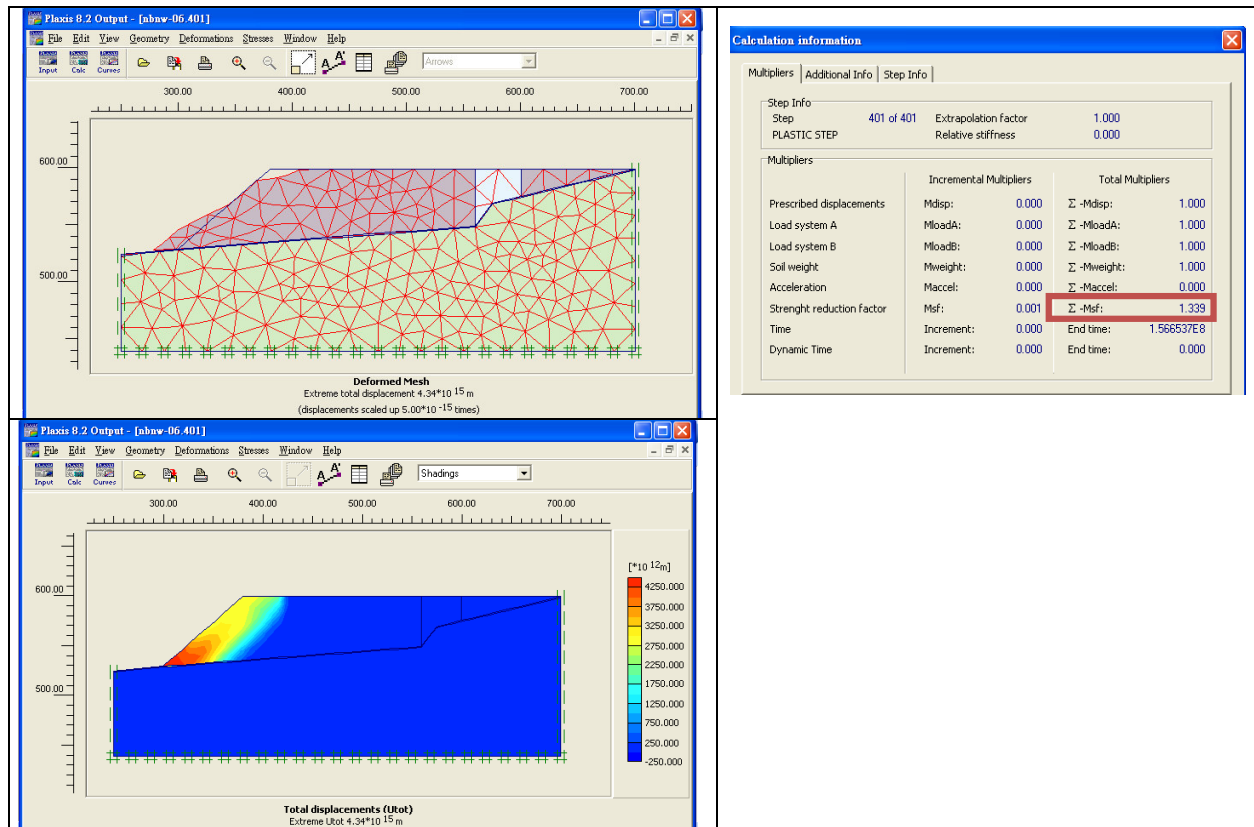


圖 4.24 PLAXIS 回饋分析結果($C=100 \text{ kPa}$, $\phi=40^\circ$)

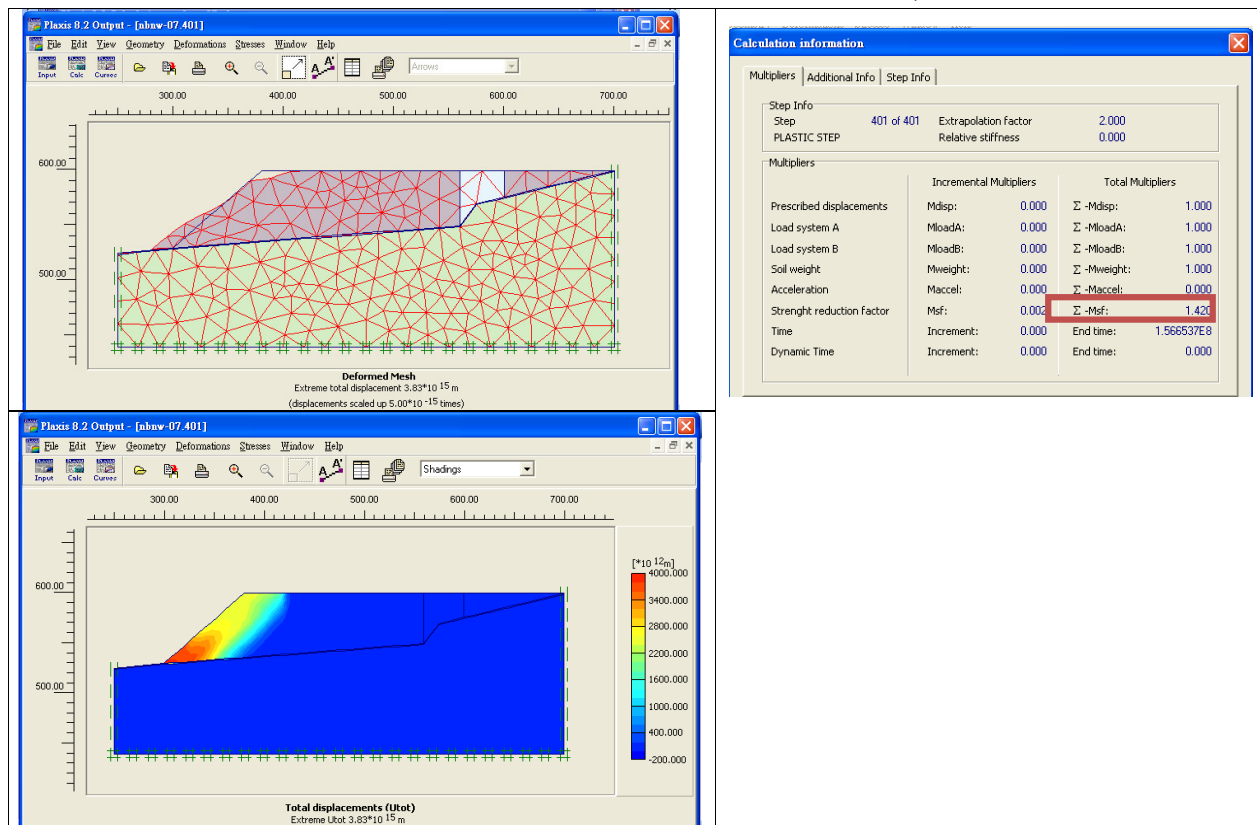


圖 4.25 PLAXIS 回饋分析結果($C=100 \text{ kPa}$, $\phi=45^\circ$)

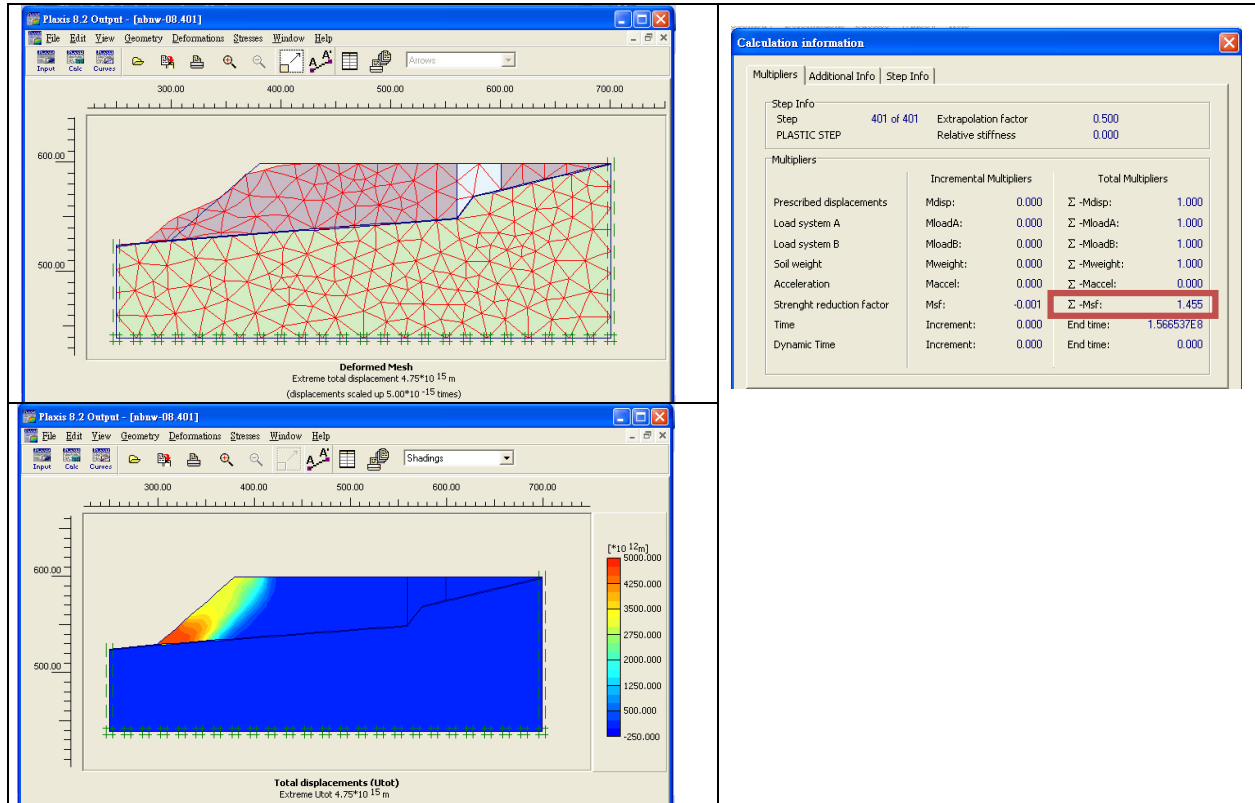


圖 4.26 PLAXIS 回饋分析結果(C=110 kPa,φ=45°)

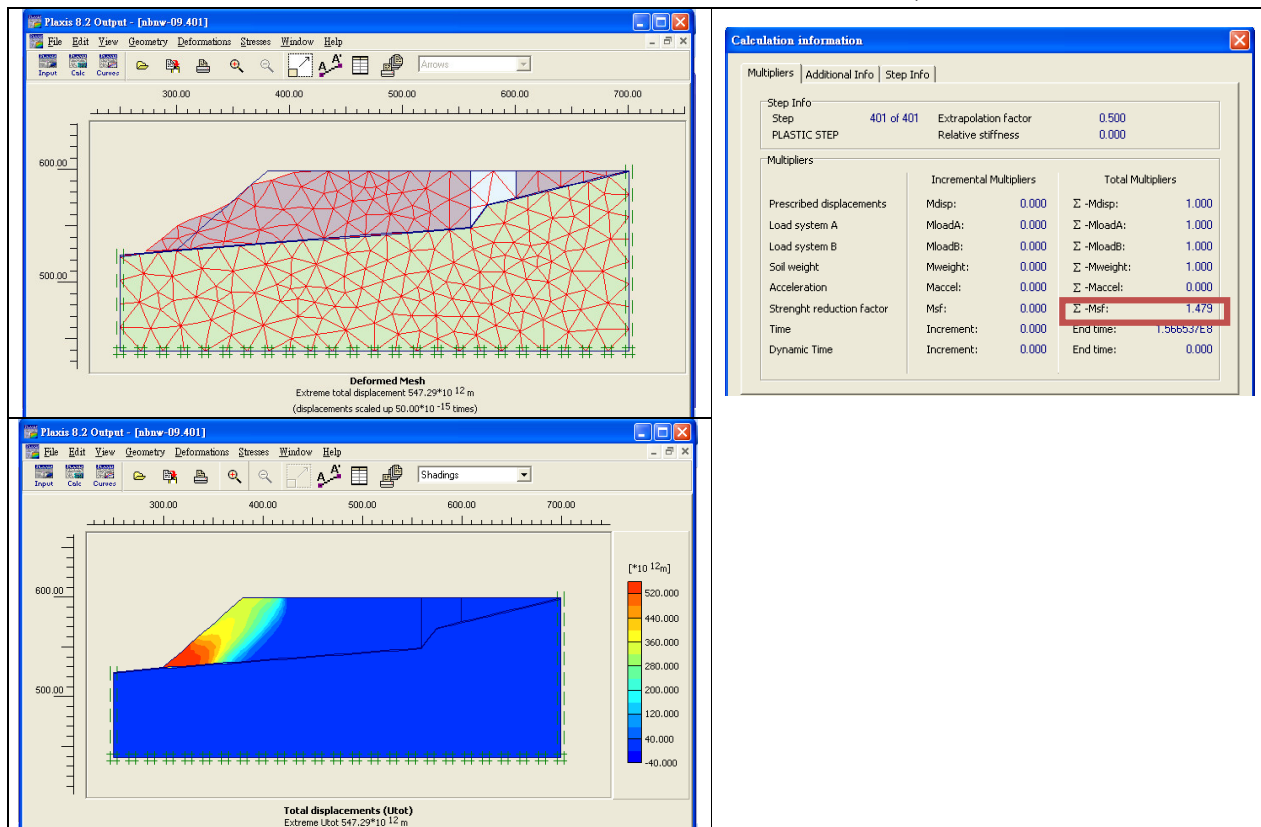


圖 4.27 PLAXIS 回饋分析結果(C=120 kPa,φ=45°)

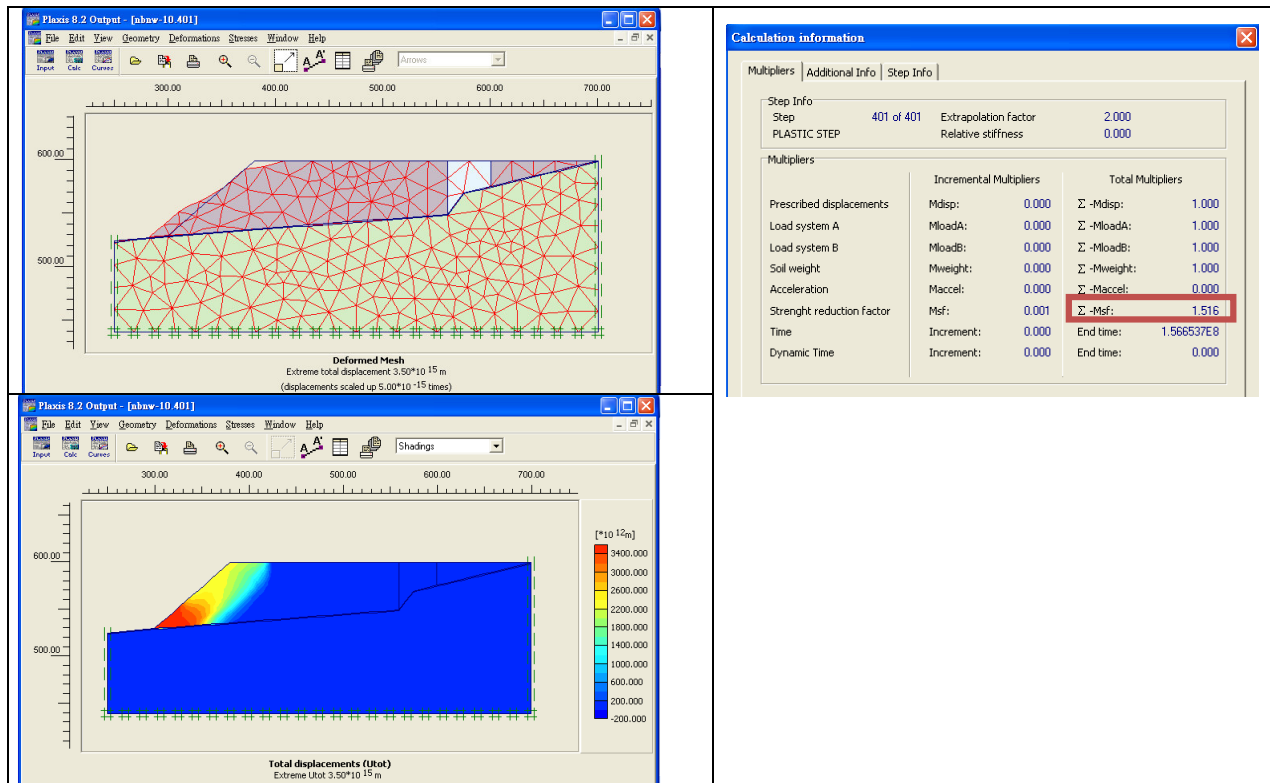


圖 4.28 PLAXIS 回饋分析結果(C=130 kPa, $\phi=45^\circ$)(正常狀態)

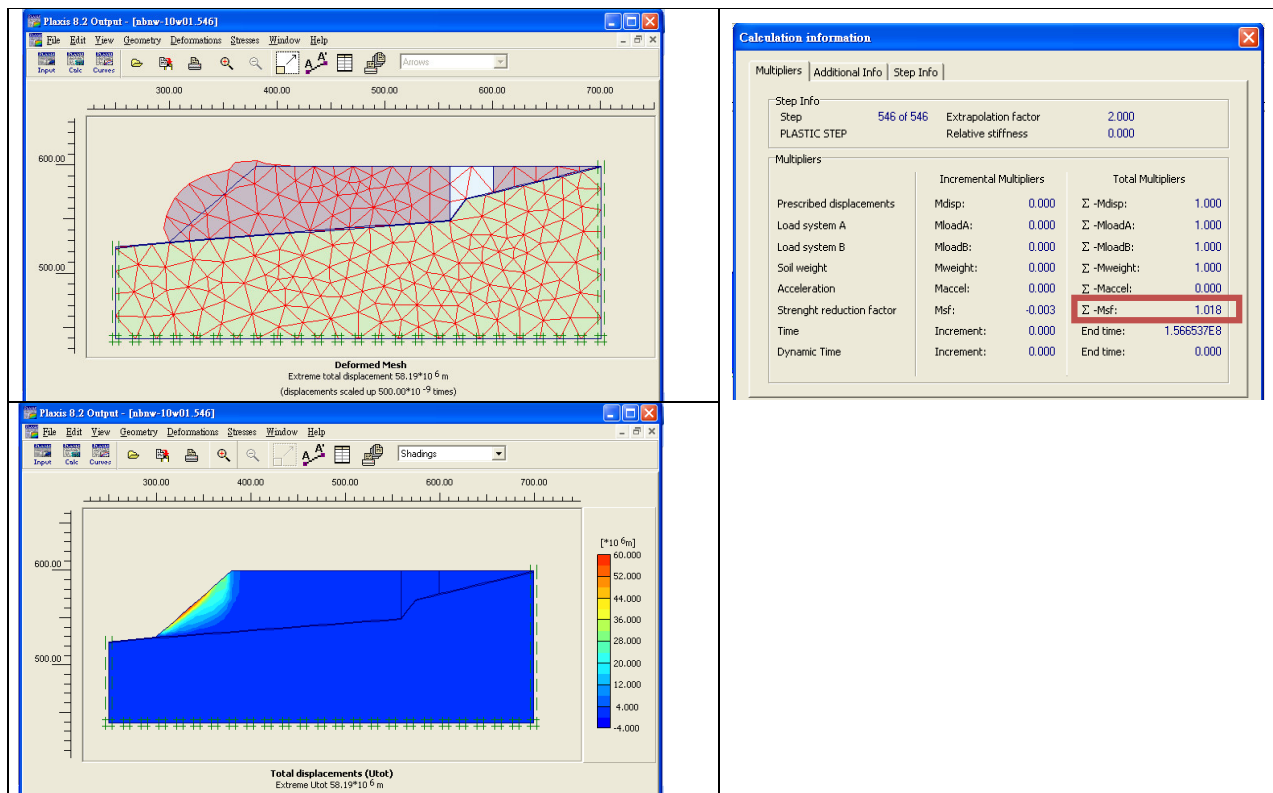


圖 4.29 PLAXIS 回饋分析結果(C=100 kPa, $\phi=45^\circ$)(暴雨狀態)

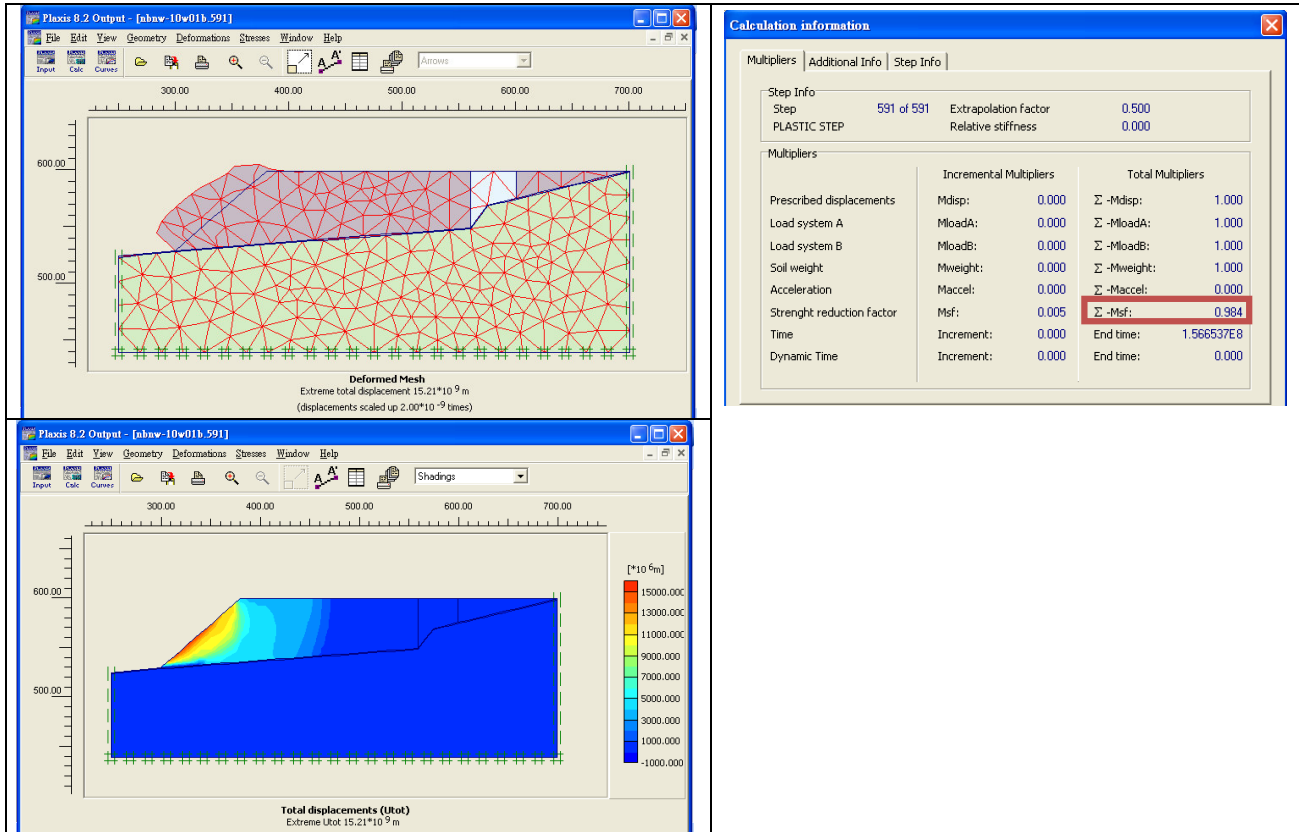


圖 4.30 PLAXIS 回饋分析結果(C=100 kPa,φ=45°)(悶燃狀態)

4.5 實際案例穩定分析

4.5.1 實際案例簡介(山豬窟垃圾衛生掩埋場)

(一)概述(台北市環境保護局，2000)

山豬窟垃圾衛生掩埋場，行政區隸屬台北市南區舊庄里，位於台北市南港區東南角，與台北縣深坑鄉交界處之山豬窟山谷。距中央研究院約 1.5 公里，距台北火車站約 11 公里，位置圖詳圖 4.31 所示。掩埋場用地面積 65 公頃，掩埋區面積約 30 公頃，其餘為掩埋處理必要設施用地及綠地使用，分為一、二期掩埋區，設計掩埋容積約為 617 萬立方公尺，現況照片如圖 4.32 所示。

山豬窟山谷為南北走向，中段略區、三面環山南高北低之長條型袋狀山谷。高程變化自南端山稜線約 120~308 公尺，至北端谷底下游出口約 20~25 公尺為止。北端於距舊庄社區約 700 公尺處，山谷兩側恰有一西北東南，及東北西南走向之山脊向谷底延伸，地形及地質上均適合築堤，以阻隔及安全貯存填埋之垃圾與灰爐。

基礎地質系由新第三紀中新世之碎屑性沉積岩所組成。場址內出露之木山層、公館凝灰岩及大寮層，均屬堅實岩盤，岩體變形性小，適合做為掩埋場之

基礎。場址內地覆土一般約為 5 公尺，局部地區地表為崩積堆或煤渣堆，最大厚度達 10 公尺以上，由於堆積年代已久，安全性尚可。啟用後進場掩埋係自谷底開始，此掩埋作業程序，有助於煤渣邊坡之安定性。場址外西北側 400 公尺、北側 100 公尺，推測各為成福斷層及台北斷層經過，非為活斷層，對場址無影響。場址北側有猴洞背斜斜入，受其影響岩層節理可能較為發達，對場址地質稍有影響，但可藉鋪設不透水布之處理方式，防止污水滲入地下水。

場址附近有台北、石碇兩個長期雨量觀測站，經統計以台北站資料所得安全係數較高，因採台北站雨量資料作為排水系統規劃設計之依據，因地形關係常有地形雨，降雨頻率較台北市區大，年平均降雨量 2251 公釐，降雨集中在 5-9 月，降雨日數約為全年 167 日。

本區地勢南高北低，自南側山坡順流而下之山豬窟溪，為一狹小溪流，僅供場址地區少部分之灌溉用水。此外，擇取鄰近水井之地下水位歷年紀錄，地下水深度約為 3.5 至 35.8 公尺。

本區垃圾掩埋種類為家戶垃圾、巨大垃圾、焚化灰燼。闢建順序及掩埋分區分為兩期：第一期下游護堤往上至谷底攔水堤間面積 11 公頃；第二期谷底攔水堤以上至掩埋場最上游端面積約 19 公頃。掩埋開始日期為 83 年 6 月 18 日，依台北目前每日三千多噸，及未來逐年自然增加之垃圾量估算，除由台北市北投、木柵、內湖焚化廠處理後多餘之垃圾及焚化灰渣進場掩埋作業，進行覆土中間覆土及最終覆土外，預定使用年限可使用 7 至 10 年。

掩埋方法採厭氧性單體衛生掩埋法，以推土機及壓實機將垃圾勻鋪，並逐層壓實每層厚度約 60 公分。先期估模以兩個單體交互作業，每一單體高度累積至 3-5 公尺左右之後，再覆以 15~30 公分厚之每日覆土，若覆土後之平面須暴露一週以上，則需以 30-50 公尺之中間覆土，按此方法反覆進行，至達到預定之掩埋完成面，再覆以 1 公尺以上之最終覆土。



圖 4.31 地理位置圖



圖 4.32 現況照片圖

(二) 程式建構過程

(1) 分析幾何形狀建立

依護堤之設計型式選取下游護堤中央邊坡最高一處剖面進行分析。其中分析剖面為護堤施工完成但已填築廢棄物。護堤坡高約 70 公尺(EL30M~110M)，坡度平均約為 23.9° ，其坡度皆為 1V:2H，如圖所示。為減少土壩堤面遭雨水表面逕流沖刷，土壩堤面自堤頂起高程每下降 10 公尺即設置平台一處，所有坡面平台寬度均採 3 公尺，以供設置排水溝及種植灌木類植物，坡頂上方為聯絡道路。

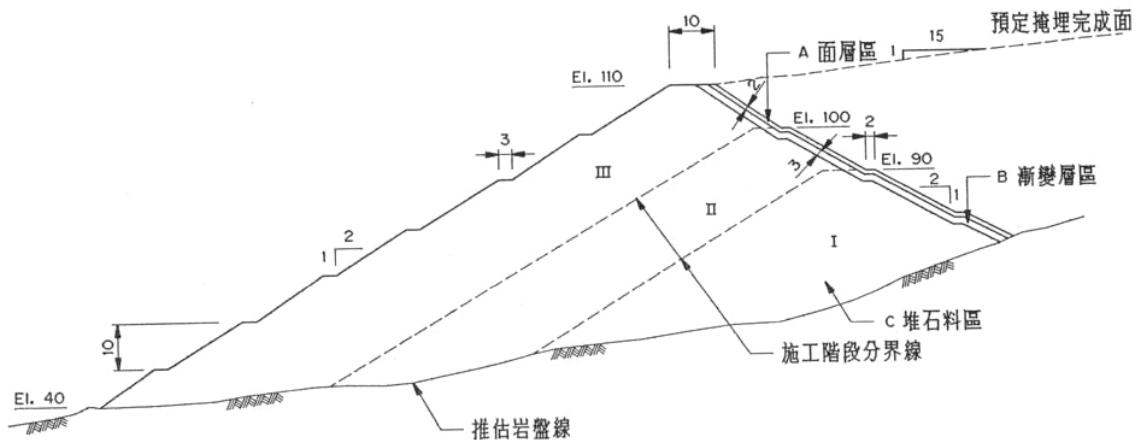


圖 4.33 分析幾何剖面形狀圖

(2) 材料參數

(i) 土層材料參數

本基地之地層主要堆石料組成。由於堆石料其組織較為破碎且膠結性差，再者土壩長寬尺寸甚大，破碎的堆石料其尺寸遠小於土壩規模，故判斷本基地破壞形式應為圓弧形滑動。依中興工程顧問公司及現場試驗結果資料顯示，將本土壩基地地質土層分為五種，分別為面層材料、漸變層堆石料廢棄物及基礎岩層，所採用之土層強度參數如表 4.8 所示。面層材料為土壩最外層材料，主要材料以黏性細粒土壤為主，水平厚度約為 2 公尺，面層材料下方為漸變層區，主要材料為土石材料，其水平厚度約為 3~5 公尺，主要係以級配砂及礫石或原石滾壓而成，以提供面層與堆石料之間材料顆粒及工程性質之漸變層次。堆石料之材料由原石料滾壓填築而成，主要目的是要安定土壩邊坡。

因垃圾性質複雜，掩埋場穩定分析所引用參數或資料、以垃圾之單位重，凝聚力及摩擦角最難取得，本場址亦無相關之廢棄物材料參數，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，垃圾之摩擦角與凝聚力大致呈反比關係，摩擦角約在 $12^\circ\sim 26^\circ$ 間，凝聚力約在

0.02~0.45kg/cm² 間，其所建議可採用之範圍，以關係曲線 $\phi+35.1c=26\sim30.5$ 表示。垃圾經掩埋壓實後單位重依壓實程度不同約在 0.4~0.9T/m³。本復育計畫參考福德坑掩埋場之相關參數，基礎岩層參數則參考實際鑽探之材料參數。

表 4.8 邊坡穩定分析土層參數表

材料名稱	ϕ (°)	c (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	k	E	ν
A 區-面層	32	14	20	20	0	1000	0.2
B 區-漸變層	28	20	18.5	19	0	1000	0.2
C 區-堆石料	40	5	21	21	0	1000	0.2
廢棄物	24	40	9	9	0	1000	0.25
基礎岩層	40	150	22	23	0	2000	0.3

(資料來源：台北市山豬窟垃圾衛生掩埋場工程規劃報告，台北市政府環境保護局)

(3) 土壩邊坡地下水與荷重型式

地下水位設定為保守分析，於平時狀況及地震作用狀況，假設地下水位沿坡址逐漸上升至坡頂 4H 處相交，進行分析。一般年代較久之垃圾因多已分解，垃圾層滲透係數較高(約 $10^{-2}\sim10^{-3}$ cm/s)，因此水位較低。此外，最終覆蓋層阻水效果佳者，因雨水滲入量少可假設較低之水位(鄭光炎，2003，一般廢物衛生掩埋場復育美化技術會議)。由於本場址水土保持功能甚佳，故假設平時地下水位與廢棄物底部高程相同；然若為暴雨降水後，地表水滲流而下，因場區土壩兩旁水土保持設施功能發揮良好，故假設地表水並非完全滲透至地表下，地下水位沿坡趾逐漸上升至坡頂，且水位高程均低於剖面 2 公尺進行分析。

穩定分析時之荷重狀況，因坡頂為聯絡道路(重型垃圾車通行)，故分析中設定坡頂車行荷重為 $2t/m^2$ 。

(4) 分析計算

步驟	程式
	PLAXIS
滑動面搜尋	-
網格生成	設定節點數跟網格疏密後，有限元素三角形網格自動生成
初始條件	1.水壓力；2.初始應力分析
壓密	
c/phi 折減	● Msf 設為 0.1

4.5.2 實際案例分析結果比較

(一)Plaxis 分析結果

選用山豬窟垃圾衛生掩埋場復育規劃邊坡護堤中央最高一處剖面進行分析，為與規劃設計報告之結果比較，利用 Plaxis 程式進行分析，結果顯示，正常狀態安全係數 FS 為 1.603，暴雨狀態安全係數 FS 為 1.137，結果如圖 4.34~圖 4.35 所示。

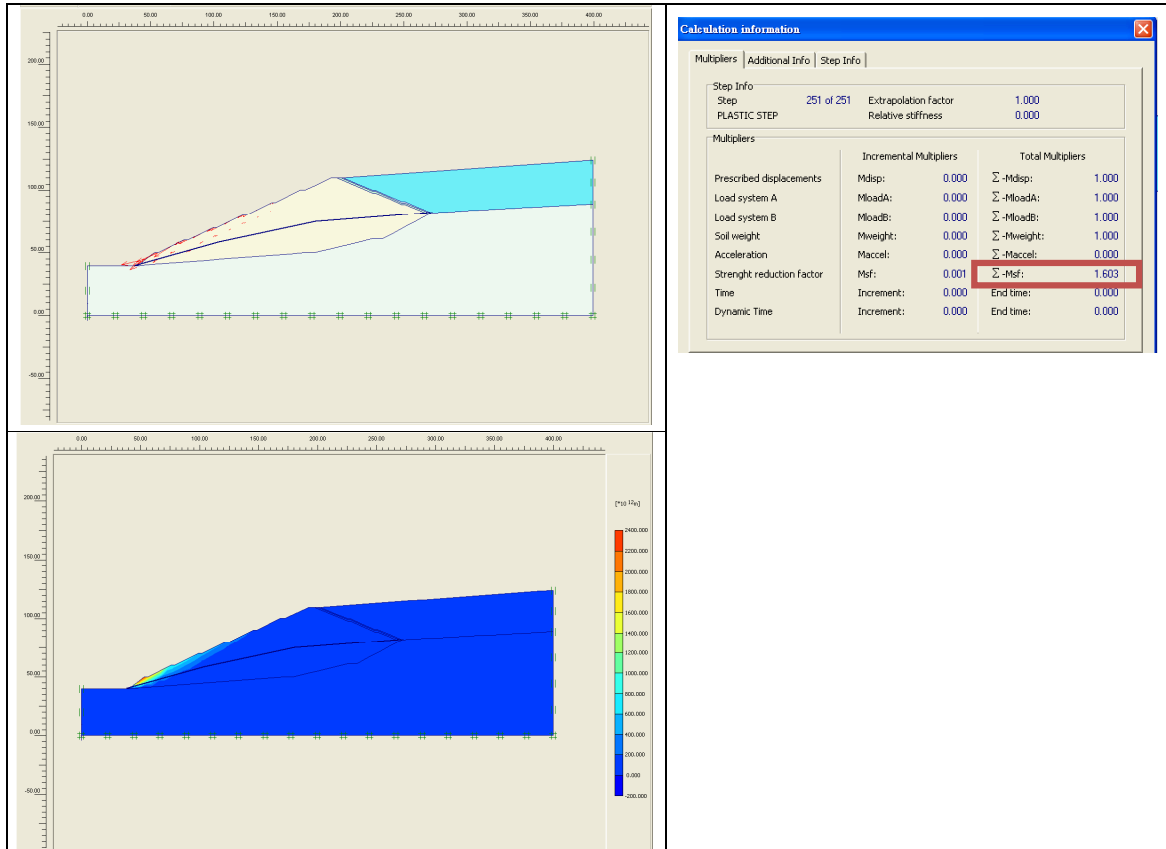


圖 4.34 正常狀態分析結果

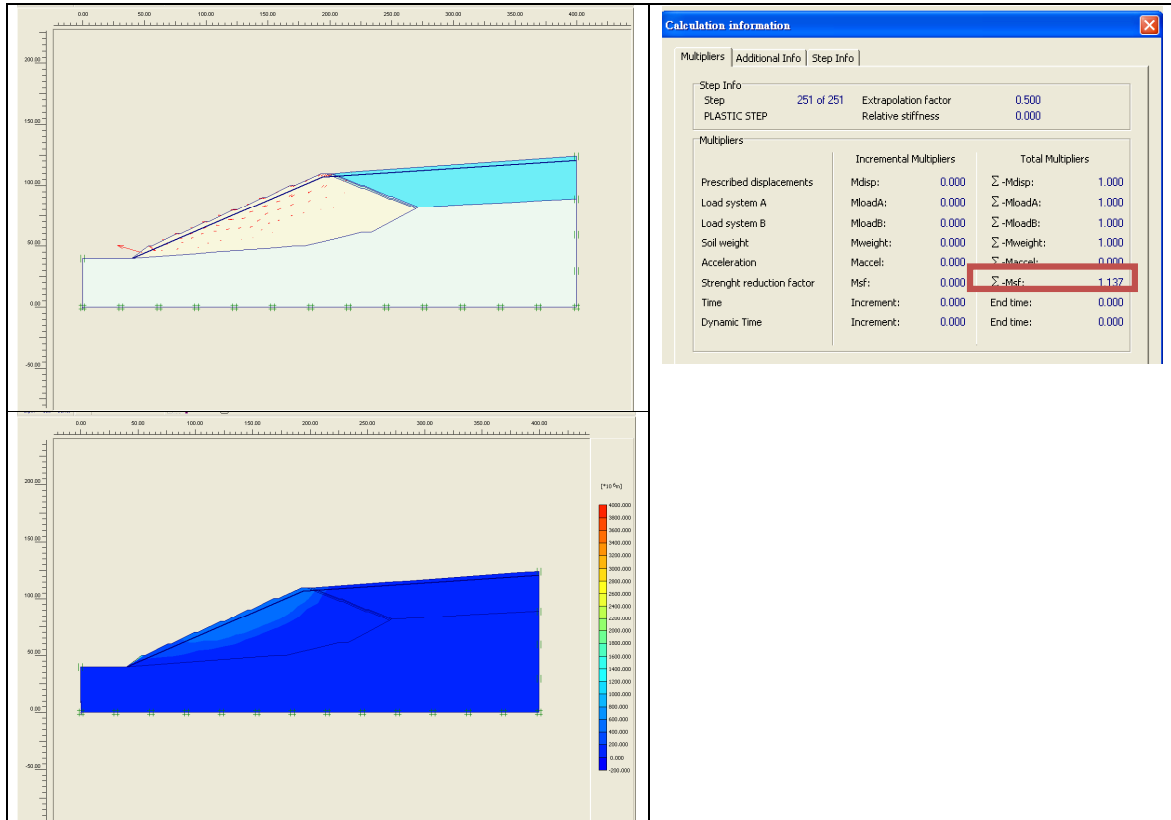


圖 4.35 暴雨狀態分析結果

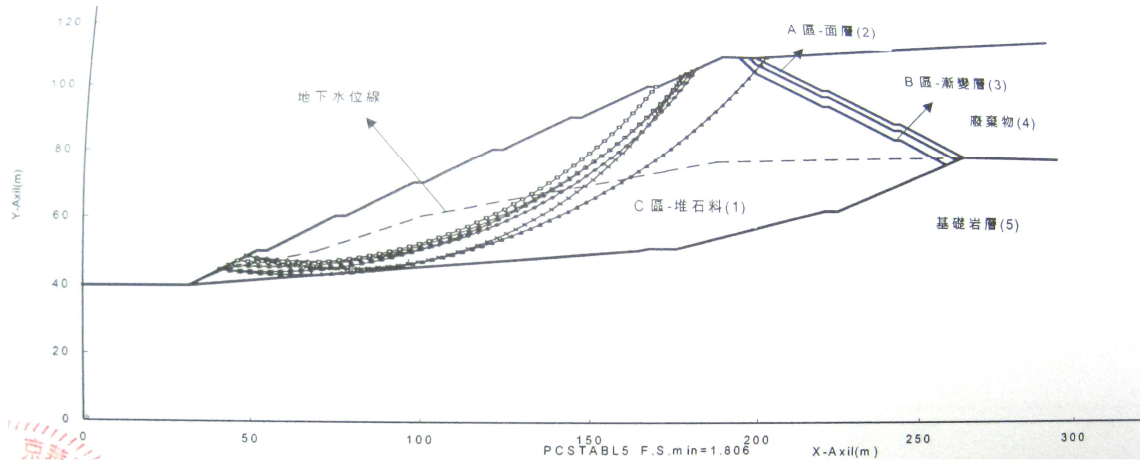
(二) Plaxis 與 STABL 分析結果比較

Plaxis 相較 STABL 分析結果安全係數較低，但在平時或者特殊狀況時，此邊坡上尚有不錯之穩定性。STABL 分析結果如圖 4.36 及表 4.9 所示。

表 4.9 PLAXIS 與 STABL 淺層破壞分析結果比較

分析情況	安全係數 FS	
	PLAXIS	STABL(規劃報告)
正常狀態	1.603	1.806
暴雨狀態	1.137	1.219

正常狀態



暴雨狀態

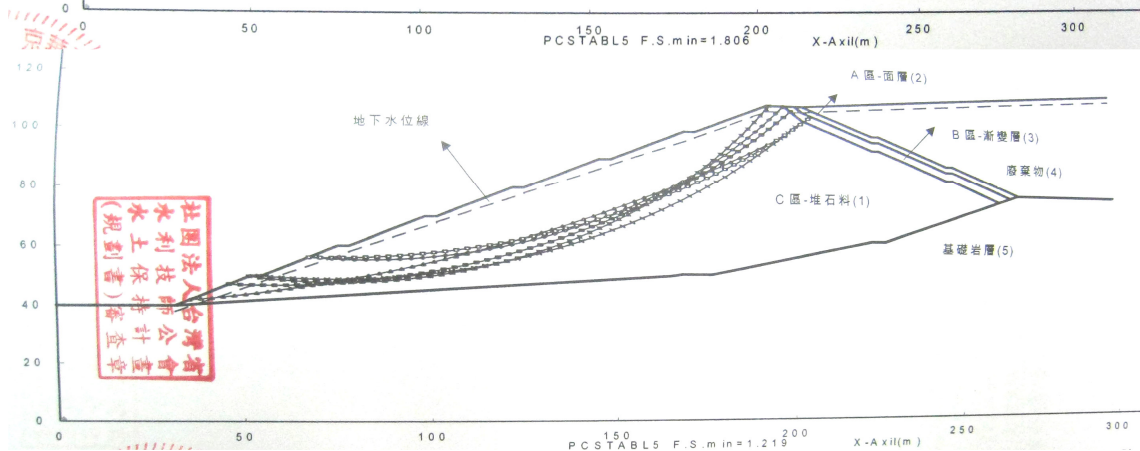


圖 4.36 復育計畫 STABL 分析結果

(山豬窟垃圾衛生掩埋場復育計畫工程，台北市政府環境保護局，京華工程顧問有限公司，2006)

(三) Plaxis 回饋分析

(1) 改變廢棄物材料參數

因垃圾性質變化性大，為尋求垃圾參數合理性，利用回饋分析找出垃圾掩埋場廢棄物強度參數之最適值。由回饋分析得知，無論廢棄物的 c 、 ϕ 如何改變，其整體邊坡的正常狀態之安全係數尚於 1.6 上下，變化性不高，暴雨狀態之安全係數於 1.1 左右，如表 4.10 所示，故復育計畫及規劃報告廢棄物所選用之參數 c 約於 40kN/m^2 ， ϕ 約於 24° 左右屬合理。

以此邊坡而言，整體邊坡穩定強度來自於廢棄物前堆石料之強度，堆石區配置若完善，加上廢棄物與堆石區間有良好的漸變排水面層，廢棄物堆置夯實良好將提高邊坡穩定性。

表 4.10 Plaxis 回饋分析結果

$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$c(\text{kN/m}^2)$	ϕ	正常狀態 FS	暴雨狀態 FS	備註
9	40	24	1.603	1.137	原復育計畫報告設定之參數
	60	24	1.597	1.126	
	40	30	1.599	1.138	
	40	40	1.599	1.138	
	10.3	38.9	1.599	1.139	(鄭介眉，2004)

(2)改變廢棄物填置區的坡度

垃圾掩埋場規劃設計掩埋容量，在使用年限期滿前，廢棄物堆置高度可能隨時間及掩埋處理需求增高，隨著高度增加之廢棄物掩埋作業對於整體邊坡穩定安全性有極大影響性，由圖 4.37 所示，結果顯示當廢棄物堆置坡角超過 30 度，此邊坡穩定性下降

坡角 (度)	正常狀態 FS	暴雨狀態 FS	備註
4	1.603	1.137	原復育計畫報告設定
15	1.640	1.139	
30	1.353		

第五章 結論與建議

5.1 結論

台灣幅員狹小，土地價值高昂，垃圾掩埋場封場復育之永續利用，對於國土開發及土地永續利用深具應用價值。然而任何垃圾掩埋場之復育應用前提均必須是場址之安全無虞，方可望展開後續相關設施之開發與規劃，鄰近地區才可望繁榮發展，土地價值持續增值。此外，國內外垃圾掩埋場於營運中或封場後均曾發生大規模的坍塌事故且不少案例造成嚴重財損與傷亡，環保署(2003)調查 29 個復育掩埋場之結果亦顯示「邊坡穩定性不足」為掩埋場治理之首要問題，因此垃圾掩埋場結構體之穩定與安全分析對於社會經濟效益與國土環境保護均具有相當大之重要性。

本研究完成之工作項目如下：

- 蒐集國內外垃圾掩埋場相關論文、案例等參考資料
- 建置垃圾掩埋場之工程參數資料庫，並與國外文獻比較，建立相關性
- 有限元素程式 Plaxis 對於垃圾掩埋場填埋體邊坡穩定分析適用性之評估
- 有限元素程式 Plaxis 之操作學習與訓練
- 分析案例建置與分析模式之研擬與考量
- 完成案例模擬分析與研討
- 分析結果之彙整、歸納與探討，評估 Plaxis 於垃圾掩埋場結構邊坡穩定分析之正確性
- 建立 Plaxis 之垃圾掩埋場填埋體結構邊坡穩定分析模式
- 依據研究成果提出垃圾掩埋場填埋體結構邊坡穩定分析之結論與建議

依據本研究關於垃圾掩埋場邊坡穩定之探討可獲致以下之結論：

1. 國內外城市固體廢棄物種類繁多性質複雜，其工程參數無論是單位重、剪力強度或壓縮性變異性均極高。然而比較國內外垃圾掩埋場工程參數，國內數值普遍較國外所得者為高，推測可能是我國垃圾掩埋場垃圾分類較差之故。
2. 垃圾掩埋場填埋體之邊坡穩定分析探討顯示，依據極限平衡法則之電腦程式 STEDwin 所得之結果與國外文獻案例以 Talren 分析所得者相似，垃圾纖維產生之張力阻抗可以加勁格網予以模擬，惟以有限元素程式 Plaxis 分析時則發現無論是安全係數或破壞面位置均具有極大之差異。進一步以詳細的漸進式方法分別使用 STEDwin 及 Plaxis 比較不同程度破壞之安全係數，二種程式之分析結果均顯示文獻案例之邊坡破壞應係由淺層破壞開始再逐漸發育成為全面破壞模式。由此說明垃圾掩埋場填埋體邊坡穩定分析之複雜性，而著重材料變形檢核之 Plaxis 程式較能顯現填埋體邊坡之破壞模式。

5.2 建議

本研究所得結果僅為垃圾掩埋場填埋體邊坡之初步分析，研究深度與廣度尚不足以完全證實其破壞模式，而依據本研究之探討，國內外對於垃圾掩埋場結構穩定分析之學術研究均有所不足。由於廢棄物之特殊性質與研究困難度，全球「廢棄物力學(Waste Mechanics)」之發展仍屬起步階段，因此建議後續研究應針對台灣廢棄物之力學性質進行整體之探討，了解單位重以及強度參數之變異性，進而增加垃圾掩埋場填埋體邊坡力學行為之預測正確性，方可確實保障垃圾掩埋場封場復育後之安全。

參考文獻

- 王昱雲，「坡地型廢棄物掩埋場邊坡穩定分析」，碩士論文，交通大學土木工程研究所，2007。
- 台北市環境保護局，「山豬窟垃圾衛生掩埋場簡介」，2000。
- 台北政府環境保護局，「山豬窟垃圾衛生掩埋場復育計畫」水土保持計畫」，京華工程顧問有限公司，2006。
- 台北政府環境保護局，「台北市山豬窟垃圾衛生掩埋場環境影響評估保報告書」第三次環境影響差異分析」，2007。
- 台北市政府環境保護局，「內湖垃圾山清除監督計畫」，台北市內湖社區大學全民督工論壇，2007。
- 行政院環境保護署，「台灣地區垃圾採樣及樣品分析工作」，逢甲大學環境工程與科學系，2004。
- 行政院環境保護署，「計畫執行成果(一)」。
- 行政院環境保護署，「九十二年度台灣地區垃圾採樣及分析工作期末報告」，逢甲大學，2004。
- 李政輝，「滲出水淤積對掩埋場穩定及掩埋場變形之影響」，國立交通大學土木工程研究所，碩士論文，2008。
- 全國碩博士論文網，<http://etds.ncl.edu.tw/theabs/index.jsp>，200/12/08 瀏覽。
- 呂登隆，「台北地區掩埋場區位適宜性及環境問題之檢討」，碩士論文，國立台北大學資源管理研究所，2003。
- 林獻山等人，「封閉垃圾掩埋場復育綠美化執行成效評估」，行政院環保署委辦計畫，2000。
- 范佐憲、單信瑜，「廢棄掩埋場現地試驗與三維穩定分析」，第十二屆大地工程研討會論文集，南投，第 C1.11.1-11 頁。
- 范佐憲，「廢棄掩埋場現地試驗與三維穩定分析」，碩士論文，交通大學土木工程研究所，2007。
- 姚大鈞、蔡淵堯、李維峰，「一般廢棄物掩埋場之邊坡破壞案例分析」，土工技術，第 102 期，第 15-24 頁，2004。
- 陳榮河、陳國賢，「垃圾填築邊坡之穩定分析」，土工技術，第 94 期，第 53-60 頁，2002。
- 游以德等人，「建立垃圾掩埋場復育工程及技術規範」，環保署計畫研究報告，1997。
- 黃鎮棋，「加勁邊坡之分析與電腦程式開發」，朝陽科技大學營建工程系，碩士論文，2004。
- 劉家男，「土工合成材料於環境地工之應用」，土工技術，第 102 期，第 5-14 頁，2004。

劉家男、陳榮河、陳國賢，「垃圾掩埋場沈陷行為與預估」，*地工技術*，第 102 期，第 25-34 頁，2004。

劉毓胤、李琳、賀懷建，「城市固體廢棄物填埋場的岩土問題」，*岩土力學* 2002 年 10 月，第 23 卷第五期。

鄭介眉，「垃圾衛生掩埋場垃圾層邊坡穩定之研究」，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，2004。

潘如蕙，「剪力強度折減法應用於層狀土壤邊坡之穩定性研究」，國立成功大學資源工程學系，碩士論文，2007。

環保署，「臺灣省都市垃圾處理計畫」，<http://www.epa.gov.tw/main/index.asp>，2007/12/10 瀏覽。

環保署，「垃圾掩埋場總體檢委託專案工作計畫」，EPA-95-Z102-02-201，惠元環境資源股份有限公司，2007。

Chang, M., "Three-dimensional stability analysis of the Kettleman Hills landfill slope failure based on observed sliding-block mechanism," *Computers and Geotechnics*, Vol. 32(8), pp.587-599, 2005.

Dixon, N. and Jones, D.R.V., "Engineering properties of municipal solid waste," *J. of Geotextile and Geomembrance*, Vol. 23(3), pp. 205-233, 2005.

Durmusoglu, E., Corapcioglu, M. Y., and Tuncay, K., "Landfill settlement with decomposition and gas generation," *J. of Environmental Engrg.*, Vol. 131(9), ASCE, pp.1311-1321, 2005.

Durmusoglu, E., Corapcioglu, M. Y., and Tuncay, K., "Modeling of settlement in saturated and unsaturated municipal landfills," *International J. of Geomechanics*, Vol. 6(4), ASCE, pp. 269-278, 2006.

Edil, T.B., Ranguette, V. J., and Wuellner, W.W., "Settlement of municipal refuse," *Geotechnics of Waste Fills – Theory and Practice*, ASTM STP 1070, pp.225-239, 1990.

Gabr, M.A., Hossain, M.S., and Barlaz, M.A., "Shear strength parameters of municipal solid waste with leachate recirculation," *J. of Geotech. and Geoenvironmental Engrg.*, Vol. 133(4), ASCE, pp.478-484, 2007..

Jones, D.R.V. and Dixon, N., "Landfill lining stability and integrity:the role of waste settlement," *Geotextile and Geomembrance*, Vol. 23(1), pp.27-53, 2005.

Koerner, R. M. and Soong, T.Y., "Stability assessment of ten large landfill failures," *Proceedings, Advances in Transportation and Geoenvironmental Systems Using Geosynthetics*, ASCE, GSP 103, pp. 1-38, 2000.

Koerner, R.M., "Designing with geosynthetics," 4th Ed., Prentice Hall, New Jersey, 1999.

- Kölsch, F., Fricke, K., Mahler, C., and Damanhuri, E., "Stability of landfills – The Bandung disaster," Proceedings of the 10th International Landfill Symposium, Cagliari, Italy., CD-ROM, 2005.
- Merry, S.M., Kavazanjian, E., and Fritz, W.U., "Reconnaissance of the July 10, 2000, Payaatas landfill failure," J. of Performance of Constructed Facilities, Vol. 19(2), ASCE, pp. 100-107.
- Oweis, I.S. and Khera, R.P., "Geotechnology of waste management," PWS Publishing Co., Boston, 1998.
- Park, H. II, Lee, S.S, and Do, N.Y., "Evaluation of decomposition effect on long-term settlement prediction for fresh municipal solid waste landfills," J. of Geotech. and Geoenvironmental Engrg., Vol. 128(2), ASCE, pp.107-118, 2002.
- Stark, T.D., Eid, H.T., Evans, W.D., and Sherry, P.E., "Municipal solid waste slope failure. II: Stability analysis," J. of Geotech. and Geoenvironmental Engrg., Vol. 126(5), ASCE, pp.408-419, 2000.
- Stulgis, R.P., Soydemir, C., and Telgener, R.J., "Predicting landfill settlement," Proceedings, Geoenvironment 2000, ASCE GSP 46, pp. 80-994, 1995.
- Yao, D.T.C. and Tsai, Y.Y., "Case study on slope failure of municipal solid waste landfill," Proceedings, Advances in Earth Structures: Research to Practices, ASCE GSP 151, CD-ROM, 2006.
- Zekko, D., Bray, J.D., Kavazanjian Jr., E., Matasovic, N., Rathje, E.M., and Strokoe, K.H., "Unit weight of municipal solid waste," J. of Geotech. and Geoenvironmental Engrg., Vol. 132(10), ASCE, pp.1250-261, 2006.