

山坡地廢棄物掩埋場封閉復育之探討

張高華⁽¹⁾ 段錦浩⁽²⁾

摘要

廢棄物掩埋場封閉復育，應妥善做好二次公害防治及植生綠化，來降低周圍環境的污染，並扭轉民眾對廢棄物掩埋場之負面觀感，運用有限土地資源設置廢棄物掩埋場，只是土地生命週期上短暫的過程，建立廢棄物掩埋場為土地資源暫時使用觀念及重建土地資源永續有效利用。復育係運用科學及人為技術使封閉之掩埋場盡速恢復開發前之生態環境，不是創造新的生態系，根據生態學原理，運用植生方法進行掩埋場復育工作，植物之選擇應以本地或原生植物為原則，並具固土護坡及生態保育功能，將封閉之掩埋場復育成符合自然生態林相。

（**關鍵詞**：廢棄物掩埋場、封閉復育、生態綠化、植生）

The restoration of Waste Landfill in Hillside

Abstract

A well vegetation recovery work of closed waste landfill could prevent secondary environmental pollution, reduce possibility to pollute ambient area, and reverse the negative impressions of the public about the waste landfill. Using valuable land resources to be a waste landfill site is a temporary process within the lifecycle of the land. The closed waste landfill should be recovered and reused efficiently. Instead of recreating a new ecological system, closed waste landfill recovery should be trying to recover the original ecological environment with existing knowledge of science and technology. Based on the principle of ecology, vegetation recovery works should select local or native plants with the features of slope stability and ecological conservation, and recover the closed waste landfill to become a natural forest stands.

Key Words: *Waste Landfill, Closure Recovery, Ecological Green Construction, Re vegetation*

Gou-Hwa Jang

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

Ching-Hao Tuan

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

壹、前言

中央政府為解決日常一般廢棄物清理事宜，協助地方政府設置廢棄物衛生掩埋場，以解決廢棄物處理之問題，扭轉民眾對廢棄物衛生掩埋場之負面觀感與抗爭阻擾，當掩埋場營運年限屆滿後，即積極對封閉之掩埋場進行復育及規劃土地再利用，以期讓民眾瞭解運用土地資源設置廢棄物衛生掩埋場，只是土地生命週期上短暫的過程。然在掩埋場停止使用後，如未能妥善做好二次公害防治工作，來降低周遭環境的污染程度，將會成為另一個公害污染源。廢棄物衛生掩埋場於施工期間對地形、地貌破壞及營運期間內對附近環境衝擊，造成當地居民生活上諸多不便。當掩埋場使用期限屆滿封閉後進行土地再利用計畫，若能有效配合當地社區人文景觀特色因地制宜進行復育規劃為社區公園、綜合運動公園、遊憩公園、登山休閒公園等，將可提供當地居民休閒遊憩、運動，並兼具環保教育及宣導功能，提昇生活環境品質，回饋當地居民，定能建立廢棄物衛生掩埋場為土地資源暫時使用觀念及重建土地資源永續有效利用。

廢棄物衛生掩埋場主體工程材料多樣性及廢棄物種類複雜，且掩埋場地理位置常因地形、地質特性各有不同，封閉後掩埋場為落實永續利用，其將直接影響掩埋場封閉後之復育及再利用工作之成效，本文僅就廢棄物衛生掩埋場封閉復育主要工程內容：如邊坡穩定、截排水、滲出水收集、掩埋層沉陷、廢氣收集及植生綠化等工程加以探討，希望透過事前調查及完善規劃設計，促使封閉之廢棄物衛生掩埋場土地能有效永續使用，以供國內爾後掩埋場復育計畫進行時之參考應用。

貳、廢棄物特性與減積過程

一、廢棄物特性

廢棄物（垃圾）之種類繁多，具有高水分、有機質含量高、壓縮性高、異質性高、密度低及承載力低等特性。廢棄物來源之不同其組成、特性及處理方法均不盡相同，以下就廢棄物特性加以闡述，俾利廢棄物處理技術之選擇與規劃，同時提供最終處置技術之參考依據。

- （一）物理組成：依廢棄物採樣分析物理組成可分為紙類、纖維布類、木竹稻草類、廚餘類、塑膠類、皮革橡膠類、鐵金屬類、非鐵金屬類及玻璃類等，以掩埋法對廢棄物物理組成包容能力較廣，惟其物理組成比例對廢棄物經生物分解之速率有所影響。
- （二）化學組成：化學組成主要包括三成分分析、元素組成分析及發熱量分析，其中三成分分析包括水分、可燃分及灰分。以水分為例：水分含量多寡對廢棄物管理及處理有極大之影響，於清運、貯存及最終處置過程，倘未妥善管理則易造成環境二次污染；若焚化處理過程水分含量高，除使廢棄物發熱量降低外，亦降低焚化溫度及處理效率；至於以衛生掩埋處理過程廢棄物水分含量高，可促使廢棄物腐化分解，縮減體積加速沉陷。

- (三) 單位容積重：廢棄物單位容積重量數值除可提供廢棄物處理方法之選擇外，亦為廢棄物最終處置場設施與容量設計之參考依據及廢棄物清運車輛容積及數量之選擇。
- (四) 壓密性質：廢棄物之壓密度、掩埋場之沉陷速率及沉陷量均與廢棄物組成、廢棄物分解速率、分層厚度、掩埋總深度及覆土材料等有關。掩埋場可藉由室內壓密試驗估算廢棄物處理場沉陷數據，作為掩埋場沉陷速率推算之參考。

二、減積過程：

衛生掩埋方法係將廢棄物集中侷限於一特定場所，逐層堆置經壓實、消毒及覆土等作業，為中間處理及最終處置之方法，其主要功能乃藉廢棄物本身特性與土壤微生物之分解能力，將其轉化為液體、氣體及殘餘腐植物等物質。在人為適當控制條件利用自然界中存在的土壤微生物，將廢棄物中的有機物質加以分解，促使其改變物化性質，以生物分解達到穩定安全及減積作用。生化反應分解因環境之不同，可分為好氧性分解與厭氧性分解。一般廢棄物掩埋初期屬好氧階段，當廢棄物質逐層覆蓋與空氣隔離數日，可利用之氧氣耗盡，即進入厭氧階段，開始產生甲烷、二氧化碳及微量氣體，有機物在自然情況下，分解反應速率極為緩慢，初期約 1~3 年後易分解之有機物大多已改變為腐質物，欲達穩定狀態約需 10~20 年之久。其減積穩定化過程可分下列五個反應期，各反應期所持續的時間依掩埋有機物種類、分布情形、含水量、營養源及壓實覆土之特性等相關因子有所不同，故掩埋層內可能同時有數種狀態同時進行，其各項特性及生化反應分述說明如下：

(一) 好氧分解：

於每日廢棄物掩埋層中尚存有部分空氣供好氧性微生物進行分解有機物質。

(二) 最初厭氧酸化期：

當掩埋層內氧氣耗盡後即轉化為厭氧狀態，此期厭氧微生物成為優勢菌種，掩埋層開始進行各種厭氧生物分解反應。

(三) 酸化期：

為水解菌與酸化菌生物反應，水解後之產物被酸化菌轉化為更低碳之產物，如揮化性之脂肪酸、醇類、醛類、 H_2 、 CO_2 及較小分子等有機化合物，在厭氧環境下甲烷菌開始成長，並成為優勢菌種。

(四) 甲烷發酵期

當甲烷生成菌成為優勢種，其酸化期產生之低分子量產物（醋酸、 H_2 、 CO_2 ）被甲烷生成菌轉化成甲烷及二氧化碳，其典型產氣比率，甲烷佔 50~60%，二氧化碳佔 40~60% 左右。

(五) 最終穩定期

廢棄物掩埋層經過長期厭氧分解，有機物含量逐漸減少，甲烷產氣率降低，由於大氣壓力及擴散作用關係，使得空氣再度進入廢棄物層中，阻礙甲烷菌生長，並於淺層區開始出現好氧狀態。

甲烷的生成與消耗，主要是以甲烷氧化菌與甲烷生成菌二者相互平衡的結果，其平衡過

程中如甲烷氧化菌不足以氧化，則將產生甲烷以達平衡，致造成甲烷濃度增加，溢散至大氣中。對於廢棄物掩埋場如何促進甲烷氧化菌之活性化，以減少甲烷氣排放，降低溫室氣體（甲烷及二氧化碳）排放，是另一個值得探討的主題。

叁、廢棄物掩埋場之沉陷

一、影響廢棄物衛生掩埋場沉陷因素

由於廢棄物組成複雜，各成分之性質與形狀大小有極大的差異性，而有機物與部分無機物具有生物分解作用，生物分解對掩埋場沉陷行為有極大影響，換言之，可生物分解物質含量愈高，則沉陷量與沉陷率愈大，其主要影響因素如下：

- (一) 廢棄物組成及種類：有機物含量、含水量、酸鹼值、微生物、營養源。
- (二) 掩埋場營運操作方法：單元式或三明治式、有無分層滾壓及覆土或覆蓋、好氧性或厭氧性及前處理如分類、破碎、捆扎等滲出水及廢氣收集處理、掩埋容量及使用年限等。
- (三) 環境條件：地形、地質、溫度、降雨量等。

二、掩埋場沉陷機制

廢棄物種類具高度異質性、高壓縮性及有機物質生物分解之特性，體積在壓縮過程中變化極為複雜。Sower (1973) 認為主要沉陷因子包括：廢棄物之力學壓縮、扭曲、彎曲及旋轉；有機物質腐化過程中好氧分解及厭氧分解，反覆轉化成甲烷及二氧化碳，體積縮小，小顆粒物質填充至大孔隙中。Edil 等人 (1990) 將廢棄物沉陷機制分為：

- (一) 力學行為：顆粒之變形與扭曲、彎曲、破裂及旋轉等與有機土壤壓密行為類似。
- (二) 分解重組：廢棄物分解後體積減小。
- (三) 物理化學作用：包括腐化、氧化及燃燒作用。
- (四) 生物分解作用：包括發酵腐化等好氧及厭氧作用。

三、Sower, (1973); Huitric, (1981); Morris, 與 Woods, (1990); Edil, (1990), 提出掩埋場沉陷歷程分三階段：

- (一) 即時壓縮：當廢棄物逐層堆置、覆土及滾壓作業，產生立即沉陷。
- (二) 主要壓縮：廢棄物及覆土重量加上滾壓，其孔隙中空氣與水排出及移動產生沉陷。
- (三) 次要壓縮：廢棄物壓縮變形係因有機物生物分解，轉變為水及氣體，導致體積減小物質移動產生沉陷，其壓縮沉陷持續時間較長。

前述沉陷階段歷程中，初始階段即時壓縮及主要壓縮歷時約 30~100 天為短期沉陷，佔總沉陷量約 10~30%，其沉陷量與荷重有關。次要壓縮歷時相當長，可達 30~50 年，甚至更久，其沉陷量與時間有關。Coduto, and Huitric (1990) 認為廢棄物沉陷主因為有機質生物分解產生，其沉陷量可達堆積厚度之 25%。Grisolia, and Napoleoni (1990) 廢棄物組成及變形特性，提出五個階段沉陷理論：

- (1) 初始沉陷階段：高壓縮性廢棄物變形及移動，大孔隙減少。
- (2) 初始殘餘沉陷階段：高壓縮性廢棄物之殘餘壓縮量。

- (3) 力學二次沉陷階段：廢棄物移動重組及有機物質被分解後產生沉陷。
- (4) 分解完成階段：大部分可分解之有機質已分解腐化，沉陷速率逐緩。
- (5) 殘餘沉陷階段：殘餘之廢棄物及腐植質，長期壓縮移動產生沉陷。

肆、掩埋場封閉復育基本概念

一、復育目的：

廢棄物掩埋場封閉後之復育主要目的在於減低環境負荷。由於掩埋場開發時已將地表原生植物完全或部分清除，當掩埋場使用飽和封閉後若不再適時植生復育，則場址生物種類將改變物種組成及優勢程度，甚致外來種植物入侵，佔據原生種生育地，歧異度降低，對整個生態系有影響。掩埋場停止使用，對環境仍會持續產生負面影響包括：因豪雨造成掩埋層崩塌、覆蓋層沖刷、土壤流失、滲出水外溢污染環境、廢氣溢散產生惡臭，及引發火災等，因此封閉復育為掩埋場工程對環境影響最重要一環。在封閉復育需就實際狀況審慎評估，因地制宜，依其適用性規劃為遊憩場所、運動場所或植生造林等，除可提供鄰近居民休憩使用外，並可淨化空氣、調節微氣候。其位於山坡地掩埋場封閉復育工作之主要水土保持項目如下：

- (一) 工程方法如邊坡穩定、截排水系統、滯洪沉砂設施及污染防治措施。
- (二) 植生方法如綠化植生工程。

二、復育功能

(一) 調節微氣候及淨化空氣

植物具有調節氣溫之功能，林木樹冠可阻截、反射及吸收太陽輻射，透過蒸散作用消耗熱能，其蒸散之水分可提高相對溼度，調節氣溫。植物葉片行光合作用除吸收二氧化碳並釋出氧氣外，其葉片呼吸時氣孔開啓可吸收氣狀污染物，如CO₂、CS、CN、HF、Cl₂；另固態污染物可被植物葉片及枝幹吸附，並依植物特性將其污染物質代謝為較無害之物質。林木樹冠層溼度較高，葉片本身及表皮毛狀物可降低風速，阻截或吸附空氣中懸浮固體物質，且有空氣淨化功能。根據相關試驗研究資料獲知常見具有淨化空氣功能之植物包括榕樹、黃金榕、樟樹、夾竹桃、木麻黃、相思樹、月橘、爬牆虎、白千層及羊蹄甲等。

(二) 對地表之保護功能

植物能作為保護土壤之覆蓋物，防止雨滴直接衝擊地面致土壤團粒破裂及分離、防止表土硬化，對地面具有降雨截留、蒸散、增加滲透，減少地表逕流水及土壤沖蝕等作用。

(三) 植生對邊坡穩定

植物根系對土壤具有錨定、網結及補強作用，增加土壤團粒凝聚力。

(四) 植生對生態保育

調節微氣候及淨化空氣，提供生物棲息、避敵及長期性生態演替。

三、掩埋場封閉復育規劃原則應考慮因素：

- (一) 封閉之掩埋場內層沼氣及污水應妥善處理，其相關污染防治措施需妥善維護及改善。

- (二) 掩埋場廢棄物組成複雜分解速度不一致，地表產生不均勻沉陷，不宜設置硬體結構物。
- (三) 運用水土保持方法防止土壤流失。
- (四) 植物以淺根性之地被植物及灌木為主。
- (五) 工程規劃及施工儘量採用生態工法。

四、復育方法

(一) 植生綠化

廣義植生綠化係指以人工導入植栽技術，其雖能改變地表的景觀或形象，但必須仰賴人力維持才能存活，多數的人為植栽皆違反演替原則，無法建立後續生機及繁殖。或依據自然演替原則輔以人工植生綠化技術，改變環境因子或增減物種，誘導加速演替的速率。於廢棄物掩埋場封閉後植生綠化，因其掩埋場異質性高，覆蓋土層促使有機物質腐化分解隨時間變化逐漸穩定，以人為植栽或自然次生演替模式復育，均存有變異(如沉陷)因子，復育工作需予分階段進行。

(二) 生態復育

生態綠化係根據生態學原理，在已被擾動破壞的基地上進行符合自然生態理念的植生綠化工作，運用人工技術及科技方法重建或改善，營造生物多樣性及優質的生態環境，以加速達成植物社會最終目標極相林(Climax)，但絕不是自然生態環境的複製，環境生態條件不同，其植生綠化之方法及功能亦不盡相同，無法以同一種生態模式進行所有環境之植生綠化工程，但其最終目標是一致的。生態綠化之先決條件則必須確實了解掌握綠化基地及鄰近地區環境特性因子，著手規劃設計促進生態演替速率，縮短極相成林之演替時程。依環境調查資料，選擇當地原生樹種或適合當地氣象、水文條件、生長迅速，管理容易之植物。植栽應考慮之基本樹種可分為主導樹種、次要樹種、肥料木及當地潛在植被演替優勢種類為主要對象，並配合植物自然演替過程，選擇生命週期不同之植物分區混植，使其林相在時間上植物從無演替到有，由非耐陰性植物演替至耐陰植物；在空間上由單層林相演替成多層次之林相；由於群落分層級多樣性植物共存，在組成上歧異度高，多種植物組成，各物種互競、互剋、及互生下自成安定社會，營造生物多樣性共存生態環境。

伍、本文將以彰化縣八卦山台地某一般廢棄物衛生掩埋場復育工程計

畫為例：

一、場址基本資料：

- (一) 八卦山台地出露之地層包括第四紀更新世之頭料山層、紅土台地堆積層以及全新世之沖積層；基地地質為紅土台地堆積層，無特殊地質構造，其區內並無斷層或破碎帶通

過。從土地利用來看，八卦山台地的原生林型為香楠林型，先民將原生林砍伐後種植相思樹，作為薪材之用途，及從事經濟作物的種植，如鳳梨、荔枝、龍眼、芒果、柚子、檳榔等。但近幾十年來，有些農地廢耕，於是形成不同演替階段的林相，混生了果樹、竹林、相思樹、血桐、構樹、稜果榕、樟樹、油桐、香楠等樹種(鄭等，1996；林等，1999)。

(二) 掩埋場址範圍面積約 6.8 公頃，谷口朝北高程 EL：93m，南側高程 EL：140m，呈南高北低之狹長地形。掩埋場於 83 年 3 月啟用至 90 年 12 月封閉，使用年限約 7 年，掩埋容量約 50 萬立方公尺，廢棄物掩埋深度約 20~25m 之間。基地歷年平均年降雨量約為 1,400.5 公厘（取自氣象局彰化雨量站量測值）。

二、初步規劃有整地及邊坡穩定、截排水系統及滯洪沉砂設施、污染防治措施及植生工程。

(一) 整地及邊坡改善工程：

1. 整地範圍南側自高程 140m 起，向北傾斜至邊坡頂之高程 115m，長約 600m，寬約 60~190m 之間，整地後平均坡度約 6%。覆土深度約 1m，分三層鋪設夯實。進場道路由南向北構築長約 500m，寬約 7m 之透水性道路。(圖 5-1)
2. 邊坡改善工程，於北側現有加勁土壩高 12m 處，自壩頂高程 EL：105m 處退縮 5m，以 1：1.5（直：橫）坡度修築，每階高度 5m，再退縮 5m，坡頂高程設定為 115m。(圖 5-2)

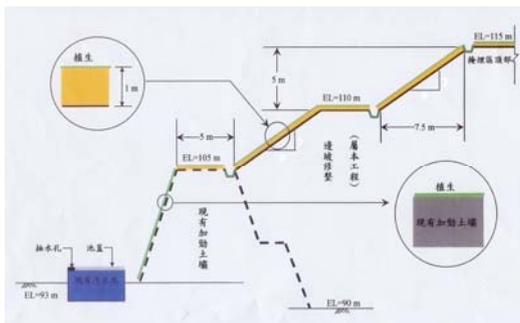


圖 5-1 整地及邊坡平面位置圖

圖 5-2 邊坡工程剖面示意圖

(二) 場址內外截排水系統及滯洪沉砂設施：

計畫於掩埋場周邊、進場道路二側、掩埋場內北端邊坡及滲出水處理場周邊等，分別設置混凝土溝、草溝等截排水設施及於北側設置滯洪沉砂設施。(圖 5-3)

排水設施之洪峰流量計算，依水土保持技術規範第十七條規定，集水面積 1000 公頃以內，無實測資料時，得採用合理化公式 (Rational Formula) 計算。其公式如下：

$$Q_p = (1/360) CIA$$

式中，

Q_p ：洪峰流量 (立方公尺/秒)。

C ：逕流係數。

I ：降雨強度 (公釐/小時)。

A ：集水面積 (公頃)。

本場址屬丘陵地形，逕流係數之推估，依水土保持技術規範第十八條規定，無開發整地區之逕流係數為 0.5~0.75，採 0.75 估算；開發整地區整地後之逕流係數為 0.9；開發中之逕流係數為 1.0。

排水系統斷面積之計算依水土保持技術規範第八十四條規定，坡地排水渠流之平均流速得採用曼寧公式計算，其公式如下：

$$V = (1/n) R^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q = A * V$$

式中，

V ：平均流速 (公尺/秒)。

Q ：通水流量 (立方公尺/秒)

n ：曼寧粗糙係數。

R ：水力半徑 (公尺) (=A/P)

A ：通水斷面積 (平方公尺)

P ：潤周長，即與水接觸週邊之長度。

S ：水力坡降，可用溝底坡降代之。

1. 掩埋場周邊排水系統：主要為截流場外雨水，並於截流溝適當距離設置消能井。
2. 進場道路二側：主要匯集排除區內地表逕流水及路面排水，於道路二側設置混凝土 U 型溝。
3. 掩埋場內排水：主要截流區內地表逕流水，於場區東西向每格 40~60m 設置截水草溝。
4. 北端邊坡及滲出水處理場周邊：邊坡平台內斜式，於平台內側設置平台溝，收集邊坡及平台之雨水至週邊排水系統。

5. 滯洪沉砂設施：為有效降低復育施工期間洪峰流量對附近及下游水體造成衝擊，於掩埋場下游設置沉砂滯洪池一座，將掩埋場週邊及區內所收集之雨水，以暗管引至滯洪池。滯洪沉砂池之容量設計，依據水土保持技術規範第九十六條規定，利用開發前、中、後之洪峰流量繪製成三角單位歷線圖，以三角形同底不等高，依下列公式求出滯洪量：

$$V_{s1} = [t_b' (Q_2 - Q_1) / 2] 3600$$

$$V_{s2} = [t_b' (Q_3 - Q_1) / 2] 3600$$

式中：

V_{s1} ：臨時滯洪量（立方公尺），

V_{s2} ：永久滯洪量（立方公尺），

Q_1 ：開發前之洪峰流量（立方公尺/秒），

Q_2 ：開發中之洪峰流量（立方公尺/秒），

Q_3 ：開發後之洪峰流量（立方公尺/秒），

t_b' ：基期（小時），基於安全考量，設計基期至少應採一小時以上之設計（不足一小時者，仍以一小時計算）

本基地面積較小，集流時間小於一小時，基期均採一小時估算之。

依據水土保持技術規範第九十二條之規定，泥砂生產量之估算，採用通用土壤流失公式估算之，其臨時性沉砂設施之泥砂生產量估算，依通用土壤流失公式估算值之1/2。但開挖整地部分，每公頃不得小於250m³；未開挖整地或完成水土保持處理部分，每公頃不得小於15 m³。永久性沉砂設施之泥砂生產量估算，完成水土保持處理或未開挖整地部分，每公頃不得小於30 m³。

本計畫為掩埋場封閉未開挖，但於封閉覆土期間至完成植生復蓋前，如降雨將有土壤流失之虞，計畫於下游處設置滯洪沉砂池，其容量需大於200m³。



圖 5-3 水土保持措施配置圖

(三) 污染防治措施

1. 滲水收集處理：計畫於原污水處理設施中設置滲出水迴流系統返送處理，可有效降低滲出水濃度，簡化處理設施及降低處理費。
2. 沼氣收集處理：計畫於最終覆土前先於掩埋區內每隔 30~60m 鋪設 HDPE 有孔管，並於 HDPE 有孔管周圍填充礫石或廢磚瓦，以防止有孔管阻塞，沼氣收集自然排放為原則。

(四) 復育植生工程

1. 植生規劃原則：

規劃選定復育植物以淺根性地被植物及灌木為主，喬木為次。

2. 栽植種類：

- (1) 木本植物：細葉榕、草海桐。
- (2) 草本植物：假儉草、百喜草、百慕達草等混合草籽。

3. 植栽區域及方式：

掩埋場北側邊坡鋪設植生帶，面積 3,735 m²。掩埋區全面噴植混合草籽，面積約 6,8967 m²。進場道路二側種植喬木（間距不得大於 6m）及灌木（間距不得大於 3m）。

（圖 5-4）

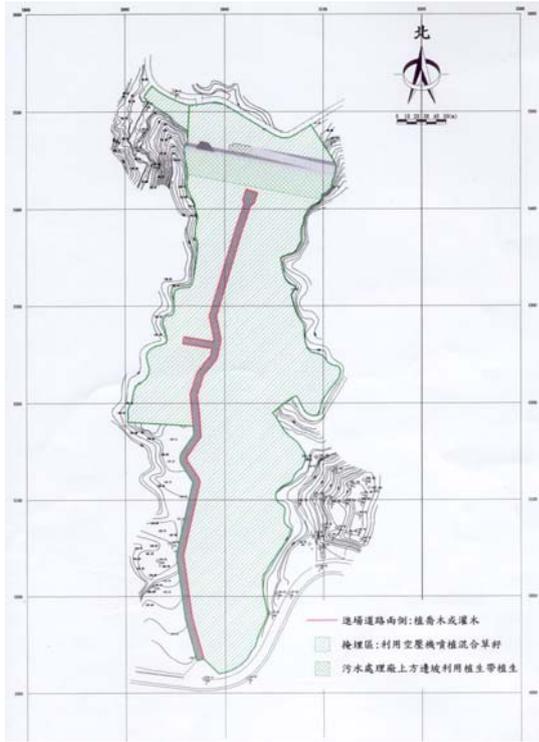


圖 5-4 植生工程平面位置圖

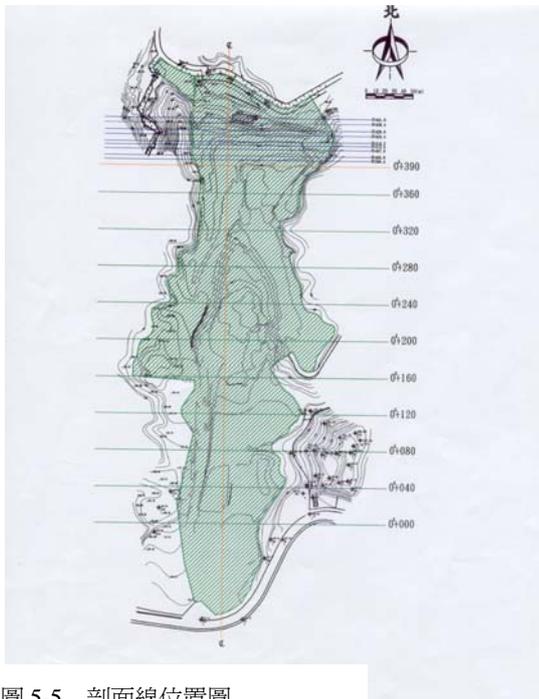


圖 5-5 剖面線位置圖

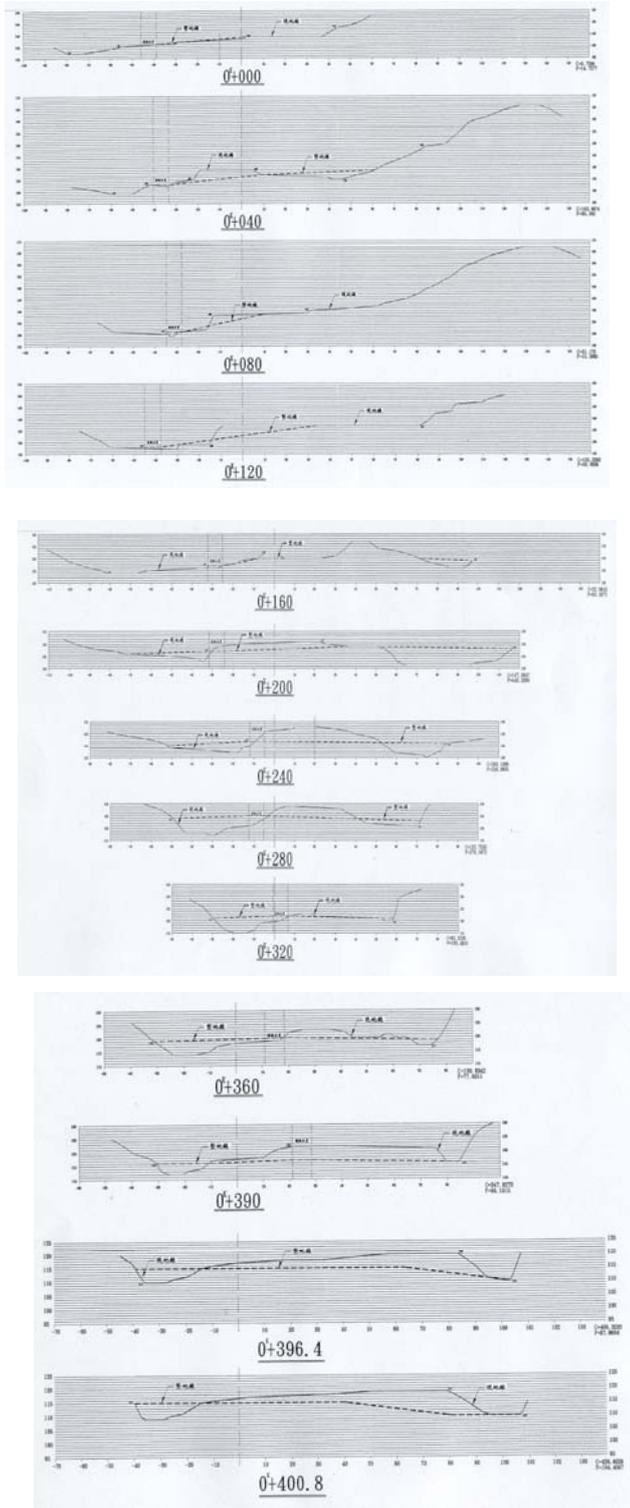


圖 5-6 剖面圖

陸、結果分析與討論

(一) 掩埋場於 83 年 3 月啓用至 90 年 12 月封閉，廢棄物中之有機物質呈厭氧生物分解反應，

初期約 1~3 年沼氣產氣量達到高峰，後因易分解之有機物減少而使沼氣產氣量下降，惟產氣時間長達 10~25 年以上，故該封閉之掩埋場已蓄積大量沼氣。依目前國內掩埋場沼氣處理方式分為被動式及主動式處理兩大類，被動式係於廢棄物掩埋層中埋設沼氣收集井，將沼氣直接排放至大氣中；主動式集氣處理係於沼氣收集管設置鼓風機主動抽取，送至燃燒塔處理或收集後燃燒發電再利用。本計畫最終覆土前於區內鋪設 HDPE 有孔管，將廢棄物層貯留之沼氣以 HDPE 有孔管引導排放致大氣中，惟其沼氣未經適當處理，任其自然排放擴散至大氣，將造成鄰近地區環境空氣污染，且沼氣隨大氣擴散，導致全球性氣候異常。

- (二) 計畫於原污水處理設施中設置滲出水返送系統，以簡化處理流程及降低處理費，將其污水反覆於掩埋場中循環，雖可降低滲出水濃度，惟將污水直接返送至地表後自然滲入掩埋層中，其返送回流之污水滯留於地表面，因曝曬蒸發而產生惡臭，致造成空氣污染並影響植物生長。
- (三) 由於廢棄物組成複雜，各成分之性質與形狀大小有極大的差異性，而有機物與部分無機物具有生物分解作用，其分解速率對掩埋場沉陷行為有極大影響，且欲達穩定狀態約需 10~20 年，或更長時間。本計畫於基地上設置混凝土 U 型溝，可能因掩埋層尚未達穩定階段，造成地表面不均勻沉陷，導致混凝土溝結構損壞斷裂，無法有效發揮截排水功能。本案之截排水系統規劃原則，可將進場道路之路基提高約 1m，以道路為中心線向東、西二側傾斜，並配合於場區南北向每格 40~60m 設置截水草溝，其平均坡度小於 5%，可有效將地表逕流水截引至二側周邊排水系統排至滯洪沉砂池。其排水設施依水土保持技術規範第八十四條及八十五條之規定，於東、西二側設置排水溝，寬度約 0.6 m，深度約 0.9 m (含出水高)，及配合地形設置消能設施降低流速。
- (四) 本計畫從事整地及覆土作業，應視屬於從事開挖整地行為，為確保施工期間及日後之安全，依水土保持技術規範第十七條、第九十六條規定設置永久性滯洪設施及臨時性滯洪設施，其容量分別為 2,374 m³及 3,074 m³。另依水土保持技術規範第九十二條及第九十三條規定，應設置永久性沉砂設施及臨時性沉砂設施，其容量分別為 306 m³及 4,029 m³。前述之滯洪及沉砂設施共構時，永久性滯洪沉砂設施及臨時性滯洪沉砂設施容量分別為 2,680 m³及 7,103 m³。本案計畫於場址下游處設置容量 200m³以上之滯洪沉砂池與水土保持技術規範所規定之容量差異甚大。
- (五) 植生木本植物僅規劃細葉榕及草海桐二種植物，植物生態種類過於單純，物種歧異度太低，無法互競、互生，容易引發病蟲害。依調查鄰近地區環境生態資料，選擇當地原生樹種或適合當地日照、溫度、濕度、土壤特性等條件，生長快速、移植容易、管理簡單之植物。或經潛在植被調查後選擇具發達之水平根系或側根系，且較抗污染之木本植物。依八卦山台地周邊植物種類混生了果樹、竹林、相思樹、血桐、構樹、稜果榕、樟樹、油桐、香楠等樹種，林下蕨類植物較少。故計畫場址復育栽植之主、次要樹種需選擇具備耐乾旱、根系發達、萌芽力強、枯枝落葉量大之陽性植物；適宜樹種：如台灣五葉松、台灣二葉松、馬尾松、華山松、日本黑松、台灣赤楊、野桐、血桐、黃連木、水柳、楓香、相思樹、山黃麻、朴樹、銀合歡、構樹、山鹽菁、苦楝等。

柒、結論與建議

(一) 結論：

1. 本研究選定之彰化八卦山掩埋場於 83 年 3 月啓用至 90 年 12 月封閉，掩埋容量約 50 萬立方公尺，深度約 20~25m，停止使用迄今約三年，惟其廢棄物中之有機物質仍持續分解中，其選擇之植物種類，應考慮廢棄物層中沼氣、溫度及沉陷等問題。
2. 廢棄物之妥善處理有其急迫性及用地取得困難，為順利取得廢棄物衛生掩埋場用地及降低當地居民抗爭，多採小規模開發，或避免辦理環境影響評估作業或申辦水土保持計畫書等程序，未適時於開發前調查及建立開發地區之動、植物生態相關資料，掩埋場封閉時未依照立地條件及特性進行植生復育。
3. 復育基地完成整地及截排水設施後，需儘速植生導入撒播草種及維護管理，以增加成活率，使基地形成覆蓋，以減少土壤流失，增加地表安定，已達水土保持功效。一般植生綠化為求速效，多以造園景觀美化方式栽植成木及大量使用外來植物，於移植前適度修剪枝葉及斷根作業，致根系遭破壞，移植後新根及枝葉生長緩慢，甚至枯死。復育是以恢復施工前之生態環境，不是創造新的生態系，故植物樹種之選擇應優先使用當地原生物種或適合當地之鄉土植物，復育成的自然生態境林相。

(二) 建議：

1. 廢棄物衛生掩埋場開發前應適時調查，將工程範圍內動、植物之種類、數量、分布情形納入調查，並建立相關資料，供日後掩埋場封閉復育時參考運用。
2. 衛生掩埋場封閉後之進場道路二側不宜設置混凝土 U 型溝，其地表逕流水之排除，以進場道路為中心線，提高道路路基高程及配合整地工程，闢設草溝將地表逕流水導引至二側之周邊排水系統。
3. 為確保掩埋場封閉施工期間及日後之安全，應設置容量 2,680 m³ 以上之永久性滯洪沉砂設施及容量 11,136 m³ 以上之臨時性滯洪沉砂設施，因應暴雨有效降低洪峰流量。
4. 掩埋層中之沼氣採被動方式處理，即於沼氣收集管上端設置點火罩，將沼氣直接燃燒處理或進行監測沼氣產氣量燃燒發電再利用可行性評估。
5. 掩埋場滲出污水應經二級處理，並經檢驗符合灌溉水質標準後，再返送供作灌溉用水。
6. 以生態綠化方式進行掩埋場復育工作，所採用之植物應以本地或馴化適合當地之植物為原則，可以容器育苗後種植，以減低移植費用，且小苗栽植根系伸展較為自然，存活率較高，復育成多樹種及多層次的自然生態環境林相。
7. 本案掩埋場址復育植栽之樹種應以相思樹、血桐、構樹、稜果榕、樟樹、油桐、香楠等為主。並配合種植生長快速、纖維組織細嫩易腐爛、無病蟲害、固氮固土之肥料木或綠肥覆蓋植物，如田菁、賽芻豆、羽扇豆、虎爪豆、營多藤、三葉草、黑麥草、狼尾草、盤固拉草、太陽麻等。

主要參考文獻

1. 中華民國環境綠化協會，1993 工業區綠化技術。

2. 水土保持技術規範。
3. 林信輝 (2001), 水土保持植生工程, 高立圖書有限公司。
4. 中華水土保持學會, 1990, 水土保持手冊, 農地篇、工程篇、植生篇, 台灣省水土保持局編印。
5. 顏正平、林信輝, 1993, 保育植物學, 國立中興大學編印。
6. 黃榮良, 「垃圾掩埋場沈陷之理論模式」, 碩士論文, 國立台灣大學土木工程研究所, 台北, 2001 年。
7. 周瑞生, 「廢棄物掩埋場覆蓋系統之變形分析」, 碩士論文, 國立台灣大學土木工程研究所, 台北, 1997 年。
8. 張祖恩、阮寶發、林健三、杜方裕, 「垃圾掩埋層穩定化之調查研究」, 中國土木水利工程學會第三屆廢棄物處理技術研討會論文集, 第 263 頁~277 頁, 1988 年。
9. 游以德、楊明德、余惠華, 「封閉掩埋場之復育工程」, 行政院環境保護署與台北市政府環境保護局合辦之「第一屆廢棄物清理實務研討會論文集」, 台北, 1998 年 3 月。
10. 游以德、陳榮河, 「建立垃圾掩埋場復育工程及技術規範」計畫 (EPA-86-FA51-09-09), 行政院環境保護署。
11. 一般廢棄物衛生掩埋場封閉復育綠化、再利用維護管理及成效評估計畫 (EPA-91-Z102-02-103), 行政院環境保護署。