

# 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--垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統建置及視覺化應用(II) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型  
計畫編號：NSC 98-2621-M-216-001-  
執行期間：98年08月01日至99年07月31日  
執行單位：中華大學土木工程學系

計畫主持人：邱垂德  
共同主持人：邱式鴻  
計畫參與人員：碩士級-專任助理人員：呂理成  
碩士班研究生-兼任助理人員：邱奕軒

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 11 月 03 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—垃圾掩埋場區域土地三  
維資訊系統之建置及視覺化應用(II)

Implementation of 3D Geographic Information System and  
Application of Visualization for Reclaiming Municipal Waste Landfill  
Sites (II)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2621-M-216-001-

執行期間：98年 8月 1日至 99年 7月 31日

計畫主持人：邱垂德

計畫共同主持人：邱式鴻

計畫參與人員：呂理成、邱奕軒

成果報告類型： 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

執行單位：中華大學土木與工程資訊學系

中華民國 99 年 10 月 30 日

## 中文摘要

一般治理移除掩埋場時，雖可參考掩埋場操作記錄等許多歷史資料，但大都有受限於整體描述性資料，沒有正確的位址，且對於歷史較久遠的場址，甚至有資料不完善而無法確認治理空間區域範圍、掩埋物組成、及數量的問題。台灣地區在計畫性興建垃圾掩埋場前，即以航測技術完成五千分之一的基本圖製作工作，且以每六至九年為頻率進行空拍製圖更新，空照圖資相當豐富。本研究即先以台灣地區現有的地理資訊系統，選出應優先治理移除的特定掩埋場址，再取得該場址地區的空拍立體像對，用航空攝影測量技術，製作該區域在掩埋場設置前、使用中不同時間點、及現況的數值地形模型，將同一平面區域位址不同時間點的地形(高程)資料，整合成所謂四維地理資訊系統中，計算該區域不同位置的體積變化量，搭配掩埋場操作的資料加以驗證修正，可以求得較正確的估算方法，即可將此一估算方法應用在沒有操作資料的時空模型上，據以求算掩埋場區內不同位置的垃圾組成及數量，以做為治理移除之參考。在應用四維模型將工程視覺化部份，也可以用來說明該場址地形地貌的時空演變，並模擬整治移除的環境景觀變化，對於此類具環境敏感易引發爭議的工程專案，做為瞭解專案及促進溝通使用的工具。

關鍵詞：地理資訊系統、掩埋場整治移除、環境衝擊、航空攝影測量、視覺化

## Abstract

This particular research program is a sub-project of the integrated research of “Remediation, Reclamation, and Sustainable Use of Lands around Landfill Sites,” and focuses on implementation of three dimensional geographic information system (3D GIS) together with application of visualization techniques. The aims are to help planners to implement scenario modeling, environmental impact assessment, and compliance with planning policies. This report is the results of the first year efforts and proposes to apply aerial photos of a particular landfill site at different times to perform a 4D geospatial analysis by incorporating three dimensional digital models at different times for landfill mining and reclamation. It has been proved that the volumetric change of the landfill site at different time periods obtained by using stereo measurement of photogrammetry could be used not only to offer the exact location for mining but also to estimate the quantity of wastes to be reclaimed. Visualization of engineering project was tried on the erection of a steel bridge to show an effective simulation and communication. Results of the 4-D simulation showed the different space states of the steel bridge at different points in time, effectively pointing out collisions in space that would have been disastrous before any actual hoisting. Necessary adjustments to the construction site, equipment, and lifting steps were made in time, and the lifting was completed smoothly before the deadline.

**Keywords:** Geographic Information System, Landfill Reclamation, Photogrammetry, Visualization, Municipal Solid Waste

## 計畫成果自評

本研究在以「國家地理資訊系統倉儲」做為後盾，以多準則法優選出預計進行移除整治的八里垃圾掩埋場後，取得八里掩埋場場址在1986年、1993年、2004年、2005年、及2007年共五個時間點的空拍影像，克服不同來源資料的整理問題，尤其是1986及1993年空拍立體像對的外方位元素、及比例尺、解析度的差異，也展示了地理資訊系統在同一個座標框架下的高程套疊整合功效。在定量分析的成果方面，由於八里掩埋場區內發生多次大規模邊坡崩塌災害，而使場區內的地勢因整修邊坡而變緩，此類地形變化混淆了對於掩埋量的估算；若排除此一干擾，用地形變化估算垃圾掩埋量，大約是多估40%。在定性的視覺化分析成果方面則隨著應用軟體的發展，由ArcGIS的3D Analysis，轉變為應用Autodesk系列軟體，在地形、建物、管線的模擬上，精進了許多；應用在八里掩埋場的模擬及計算上，因為由於面積過大且又缺乏當初掩埋場設計的相關高程資料，而較難顯現出效益。但，在有正確物件資訊的相關應用上，確有很好的視覺化成果。相關研究成果，系統建置及掩埋場移除模擬部份，於2009年11月的「2009年環境資訊研討會」發表，而工程視覺化部份，也分別發表於2010年6月的建築研究成果發表會、2010 IPMA營建專案理最佳實務案例研討會、2010年7月的營建工程與管理學術研討會，尤其是橋樑施工模擬及建築工程模擬部份的研究成果，又分別被收錄於2010年9月的「台灣公路工程月刊」，及Autodesk公司將於11月出版的「臺灣地區BIM技術專輯」，總計本研究之成果共發表國內研討會論文三篇，期刊論文二篇，培養三位碩士生，成果豐碩。目前正將研究成果整理為英文論文中，預計可將成果發表於國際期刊。

# 目錄

目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	X
第一章 緒論.....	11
1-1 研究計畫之背景與目的.....	11
1-2 本子計畫第一年之研究成果及第二年之研究目的.....	13
1-3 本子計畫第二年之研究流程.....	14
第二章 文獻回顧.....	16
2-1 研究計畫之背景、目的、及重要性.....	16
2-1-1 研究計畫背景及目的.....	16
2-1-2 本研究計畫之重要性.....	20
2-2 國內外有關本計畫辦理研究情況.....	23
2-2-1 我國垃圾處理政策之演進及國內掩埋場概況.....	23
2-2-2、國內外掩埋場的復育經驗.....	25
2-2-3、掩埋場的整治再利用.....	28
2-2-4、掩埋場整體環境診斷及整治開採決策模式.....	31
2-3 地理資訊支援決策及工程設計視覺化應用.....	35
2-3-1、三維城市建模技術.....	35
2-3-2、地理資訊系統分析技術.....	40
2-3-3、三維視覺化技術在公共工程之應用.....	44

2-3-4、三維環評工具 .....	48
2-4 建築資訊模型之發展 .....	51
2-4-1 國外BIM的發展概況.....	51
2-4-2 國內BIM的應用情形.....	54
2-4-3 工具發展造成的流程改變 .....	56
第三章 研究方法與流程 .....	59
3-1 研究方法、進行步驟及執行進度 .....	59
3-2 本研究採用的主要軟硬體設備 .....	64
3-3 可能遭遇困難與預定的解決方法 .....	66
3-4 工程專案視覺化的分析流程及驗證方法 .....	67
第四章 結果分析與討論 .....	71
4-1 不同時間空拍影像處理成果 .....	71
4-2 掩埋場地形變化視覺化 .....	81
4-3 工程專案視覺化的成果 .....	84
第五章 結論與建議 .....	91
5-1 結論 .....	91
5-2 建議 .....	92
參考文獻 .....	94

## 圖目錄

圖1-1、垃圾掩埋場址之治理及其土地永續利用整合型研究架構圖 .....	13
圖1-2、本研究之流程圖.....	15
圖2-1、垃圾掩埋場址之治理及土地永續利用之策略目標示意圖 .....	17
圖2-2、本整合研究之架構及各子計畫之連繫協調示意圖 .....	19
圖2-3、我國一般事業廢棄物掩埋處理演進表 .....	23
圖2-4、國外文獻中掩埋場整體環境診斷例[23].....	33
圖2-5、荷蘭產業界建議採用的掩埋場開採選址系統方法[24].....	34
圖2-6、以數值航測工作站為中心之三維城市模型建置流程圖[32].....	37
圖2-7、三維擬真模型作業耗用人力圓餅圖[32].....	38
圖2-8、整合完成之工研院中興院區三維擬真模型(正北面) [32].....	38
圖2-9、中華大學團在Google地球平臺上建置之三維擬真校園模型 .....	40
圖2-10、我國國土資訊系統預計提供的一站式資料倉儲服務示意圖[36] ..	41
圖2-11、地理資訊系統由數據、資訊、至知識之層級架構圖[35].....	41
圖2-12、以掩埋場位置範圍套疊台北縣市河川圖層找出可能位於行水區之掩埋場示意圖 .....	42
圖2-13、近50年來虛擬地理環境之發展與演進[52].....	45
圖2-14、加州Devil's Slide專案的視覺化展示效果[53].....	45
圖2-15、香港特區政府以三維環評工具收到的民眾參與建設意見例[54] ..	48
圖2-16、香港特區政府3D EIA報告納入三維分析功能示意圖[54].....	49
圖2-17、香港特區政府網站上掩埋場擴建案的3D EIA報告例[55].....	50



圖2-18、營建工程專案架構概念圖[57].....	52
圖2-19、最近10年我國營造業營動生產力指數下滑情況 .....	52
圖2-20、營建工程傳統流程與專案整合交付(IPD)流程之比較[68, 69] .....	56
圖2-21、市場需求與BIM軟體供應的循環議題示意圖[70].....	58
圖3-1、垃圾掩埋場址之治理及土地永續利用之研究特性要因圖 .....	59
圖3-2、本總計畫與各子計畫逐年進行關聯示意圖 .....	60
圖3-3、本研究第二年之進行流程及與各子計畫之關係 .....	62
圖3-4、本研究子計畫一第一年預定進度甘梯圖 .....	63
圖3-5、本研究預計採用的偏極光立體觀測數值航測設備 .....	65
圖3-6、本研究以航測圖製作內湖垃圾山的三維視覺模型之芻形 .....	66
圖3-7、本研究驗證工程專案視覺化之方法流程示意圖 .....	68
圖3-8、蘇樂橋各部份組件名稱與位置.....	69
圖3-9、依分包商之吊裝程序製作的三維吊裝步驟示意圖 .....	70
圖3-10、蘇樂橋4D動畫模擬畫面.....	70
圖4-1 本研究繪製之八里掩埋場址1986年未設場前的正射影像圖 .....	73
圖4-2 本研究繪製之八里掩埋場址1993年的正射影像圖 .....	74
圖4-3 本研究繪製之八里掩埋場址2004年的正射影像圖 .....	75
圖4-4 本研究繪製之八里掩埋場址2006年的正射影像圖 .....	76
圖4-5 本研究繪製之八里掩埋場址2008年的正射影像圖 .....	77
圖4-6、八里掩埋場的基本資料表 .....	78
圖4-7、八里掩埋場的平面位置範圍概圖 .....	78
圖4-8、八里垃圾掩埋場之掩埋量統計圖 .....	80

圖4-9、八里掩埋場址近年崩塌災害範圍圖[71].....	81
圖4-10、八里掩埋場開發前後地形對照圖 .....	82
圖4-11、八里掩埋場區域依山谷走向切出之縱橫斷面線 .....	83
圖4-12、八里掩埋場區域依山谷走向切出之各剖面地形變化圖 .....	84
圖4-13、以四維吊裝模擬針對原吊裝計畫步驟8提出的吊臂長度不足議題86	
圖4-14、桃園端上游側P11、P12、P13斜鋼柱吊裝模擬與實際吊裝情形對照 .....	88
圖4-15、宜蘭端下游側P11、P12、P13斜鋼柱吊裝模擬與實際吊裝情形對照 .....	89
圖4-16、吊裝分包商以吊臂較長的吊車及吊裝構件拆分的方式因應吊臂長度 不足議題.....	89



## 表目錄

表2-1、國內以掩埋場為題之碩博士論文探討議題分析表 .....	25
表2-2、掩埋場整治再利用可能產生的優缺點比較[15].....	29
表2-3、美國垃圾掩埋場整治再利用的案例摘要[15].....	30
表2-4、荷蘭產業界認定的掩埋場開採成本效益比對表[24].....	34
表2-5、不同版本Google地球的差異[34].....	39
表2-6、全國碩博士論文網查詢與地理資訊系統相關的論文資料筆數統計	44
表3-1、垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統建置及視覺化應用分年執行重點工作 .....	61
表3-2、本研究預計採用的主要硬體設備 .....	64
表3-3、本研究預計採用的主要軟體設備 .....	65
表4-1 本研究取得之八里掩埋場址區域土地之空拍影像表 .....	72
表4-3、以不同時間航測地形變化估算八里垃圾掩埋場之掩埋量差異分析表 .....	79
表4-4、三維建模軟體之自動衝突檢查結果及其分析表 .....	85
表4-5、傳統吊裝計畫與採用BIM製作的吊裝計畫比較表.....	87
表4-6、原吊裝計畫、四維模擬吊裝建議及實際吊裝順序比較表 .....	90

# 第一章 緒論

## 1-1 研究計畫之背景與目的


臺灣垃圾掩埋場500餘處分散各地，其中300餘處已屬掩埋完成封閉保育中。封閉保育為一消極作法，對環境有潛在污染與災害，而其掩埋物及場址如不清理，則永遠是個垃圾場，不能與自然環境相容，也影響本身及周圍土地之利用，不具土地資源之永續性。

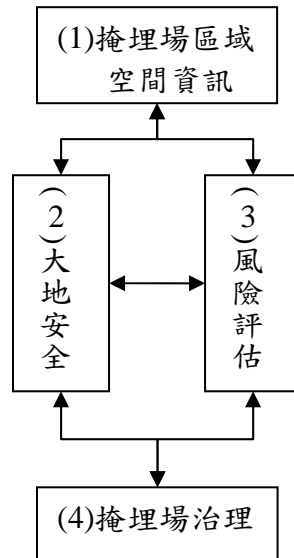
在地窄人多的臺灣，土地是一項珍貴的資源，如能將掩埋場治理再生利用，對週遭的居民的生活，土地價值的提昇將有幫助，對意外災害的預防，不明原因之風險，環境品質的改善，掩埋場的資源利用，均有實質上的裨益，國內已有掩埋場移除之案例，惟其規劃、移除缺乏基本原則，土地利用更未觸及。目前臺灣焚化廠容量頗大，常缺垃圾而未被有效利用，既有掩埋場之清理，除資源利用者外，其他有機部份可進入焚化廠發電，為一可行之一途，惟國內對此一問題並未正視，研究亦少，本整合型計畫「垃圾掩埋場址之治理及其土地永續利用」為針對永續會「土地資源保育及劣化土地環境之鑑定整治及復育策略」議題，提出之任務導向研究計畫，並整合資訊、環保、土木背景人員及土地行政管理專家，組成團隊，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1-1所示，圖中數字代表子計畫編號。

本計畫為子計畫一，負責建立垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統，並以三維分析技術支援其它子計畫在結構穩定安全分析、及風險評估之基礎工具，進而與各子計畫之研究成果整合，嚐試以三維視覺化技術，發展三維環境影響評估工具，以促進掩埋場及其它爭議性工程議題之溝通效率，甚至藉以精進工程規劃設計之品質。在行政院環保署於2007年1月完成的「垃圾掩埋場總體檢委託專案工作計畫」中，已建置完成全國537座

掩埋場的基本資料，也已納入環保署之環境地理資訊系統中，本研究計畫則將以此資料庫為基礎，利用現有三維地理資訊平臺(如Google Earth)，配合航空攝影測量技術，嚐試建立掩埋場址區域土地的三維資訊系統，以應用視覺化的方式，精進掩埋場址整治規劃設計的品質，配合納入國土地理資訊系統之屬性資料，用一般大眾認知度最高的三維模型，促進公眾對爭議性公共工程議題的參與度及溝通效果，配合達成總計畫之目標。

本子計畫以三年為期，配合總計畫分年進行(1)掩埋場區域土地三維地理資訊系統之建置方法，(2)掩埋場址區域土地之三維立體建模與視覺化，及(3)垃圾掩埋場址區域土地整治工程之視覺化等三項主要研究工作。在與各子計畫整合並順利依計畫執行完成後，將可達到本子計畫的擬定的下列六項主要目的：

- 
- 1、以現有航空影像利用航測立體測繪技術建立掩埋場區域土地三維資訊系統之技術。
  - 2、發展以不同時期之航空影像分析掩埋場區域土地資訊之技術。
  - 3、以航測三維建模開發掩埋場址區域土地之視覺化技術。
  - 4、應用視覺化技術評估掩埋場區域土地之整治工程。
  - 5、應用視覺化技術作為掩埋場整治工程之環境評估工具。
  - 6、開發本土化之三維環境影響評估工具。



註：括號中的數字代表子計畫編號

圖1-1、垃圾掩埋場址之治理及其土地永續利用整合型研究架構圖

## 1-2 本子計畫第一年之研究成果及第二年之研究目的

國內雖然已有將掩埋場移除的工程，但在選址上仍是以電話訪問、問卷調查、及部分場址現勘調查的方式進行選址，且主要針對位於河川行水區之掩埋場，在作業上仍存在許多問題，如各縣市問卷回收狀況不一及部分場址評分項目並未填妥等；地理資訊系統為結合地理資訊與科技的一門新興學科，除用於製作地圖之助益外，更將真實世界的資料相連結，可改善各項空間事物與提升環境資源的使用效率與效果，更可有效的展示空間表達的需求。本研究的第一年成果，以環保署環境地理資訊系統之資料為基礎，扣除資料不全的花東地區後，封閉復育177個及使用中135個，共得312個掩埋場，再配合內政部營建署依區域計畫法，所劃設之環境敏感地資料，以地理資訊系統軟體，進行圖層套疊分析；最後以環境條件進行加權分析方法，選出各20個對環境衝擊較大的掩埋場，搭配「垃圾掩埋場總體

檢委託專案工作計畫」體檢狀況、新聞時事、都市土地及都市計畫區、焚化廠進行評估，合理有效地選出八里掩埋場為優先模擬治理的對象。

本報告為第二年的成果報告，期望透過應用八里掩埋場場址在設置前、規劃中、及復育中，不同時間的空拍影像，重新以航測技術組成立體影像，建置地形地物模型，搭配掩埋場的操作資料，嘗試分析模擬「八里掩埋場整治移除工程」的規劃設計問題。主要目的歸納如下：

- 1、經由實作探討以不同時間空拍影像進行四維時空地理資訊分析的可行性，並以八里掩埋場場址之整治移除為例，進行定量及定性分析。
- 2、搭配掩埋場操作資料，探討以三維地形模型，轉製成掩埋場三維地理資訊系統及三維視覺化的技術問題。
- 3、以掩埋場整治移除為例，探討採用三維數值模型，做為分析模擬環境敏感具爭議工程之溝通工具的可能性及效益。
- 4、以本研究經驗，整理分析未來採用三維數值模型在工程專案生命週期各階段的應用效益。

### 1-3 本子計畫第二年之研究流程

本研究經由國內外相關文獻蒐集，瞭解掩埋場移除可改善土地的利用及減少對環境的持續污染，使國土能夠永續的發展，因此蒐集環境敏感地方面的圖層資料及現已存在之掩埋場圖層資料，然後再搭配都市土地及都市計畫區圖層資料分析掩埋場土地再利用，最後根據本研究資料分析及成果所得，提出之結論與建議，研究流程圖如圖1-2所示。

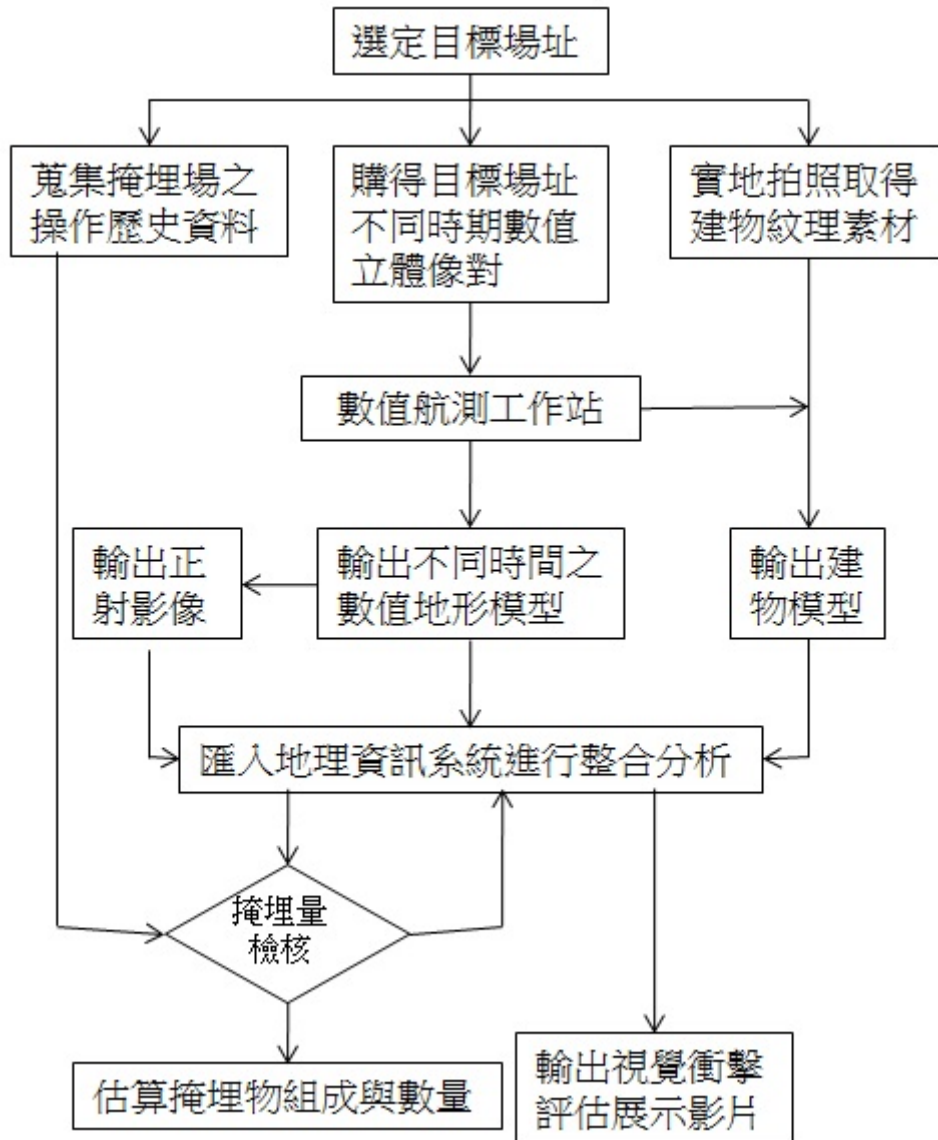


圖1-2、本研究之流程圖



## 第二章 文獻回顧

### 2-1 研究計畫之背景、目的、及重要性

近年來經濟蓬勃發展，國民所得增加及民眾生活水準提高，造成廢棄物產量激增且質亦趨複雜，加上台灣地區因地狹人稠，垃圾處理用地難求，而民眾環保意識日漸高漲，垃圾處理變成重要的問題。

#### 2-1-1 研究計畫背景及目的

約於1960年代前後，台灣之垃圾多掩埋於較偏僻之河道上，現今這些掩埋場多已成為自然河堤，也一直或多或少發揮了防洪的功能。但因近年氣象之異常，使得垃圾河堤被洪水沖毀，大量垃圾漂流入堤內保護地、河口、海岸及港口等，造成環境的二次災害，且衝擊廣泛國土的利用性。另一方面，隨著社會之發展，此等河道兩岸也被高度開發、人口密集，於洪汛期待保護程度變高，而須構築河防構造物。例如，於台中縣大里溪、台中市筏子溪之整治上，在工程設計之初即發現數處垃圾掩埋場，當地居民也強烈要求施工時一併清除。

1970年代前後，行水區濫倒式的垃圾處理已不復見，在環保署的輔導下各地方政府皆改以衛生掩埋場處理垃圾，然而因居民反對於用地難求之情況下，有些掩埋場被設置於山區之陡峭谷地或台階地上。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位置於富自然生態及原始林相區域之環境上游處，其不但衝擊自然環境也可能是環境污染的源頭，在雨季或颱風季節時亦存在著土石流、崩坡、地滑等危機。

對平原區大都會周邊之鄉鎮市政府而言，因土地開發密度高而幾乎無法在民意認同之下設置垃圾掩埋場，往往是在強制性的、急迫性的情勢下，將掩埋場設置於非都市計畫區的土地上。此類掩埋場會影響居民生活品質、污染地下水及降低土地利用價值等。每逢豪雨、颱風期，全臺山區的

土石流警戒區日漸擴大，行水區洪水氾濫成災，堤內水無法即時排除而使平原區浸水；位置於此等區位之垃圾掩埋場，將造成二度災害與污染，是環境之瘤。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，政府應重視此等垃圾掩埋場之潛在問題，未雨綢繆的思考治理策略。

本計畫乃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」，實施方法在於透過掩埋場址之空間資訊管理、防災管理、棲地環境和景觀、工程管理及土地管理之建立與強化，提昇掩埋場址之土地永續性，如圖2-1所示。

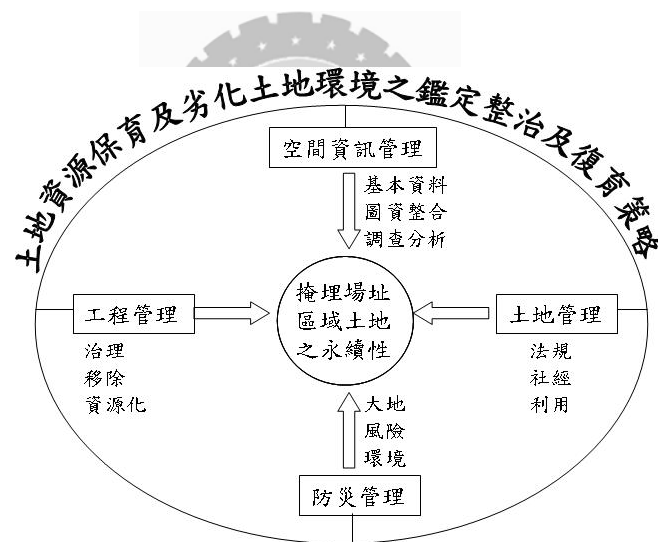


圖2-1、垃圾掩埋場址之治理及土地永續利用之策略目標示意圖

本整合型研究計畫之相關名詞界定如下：

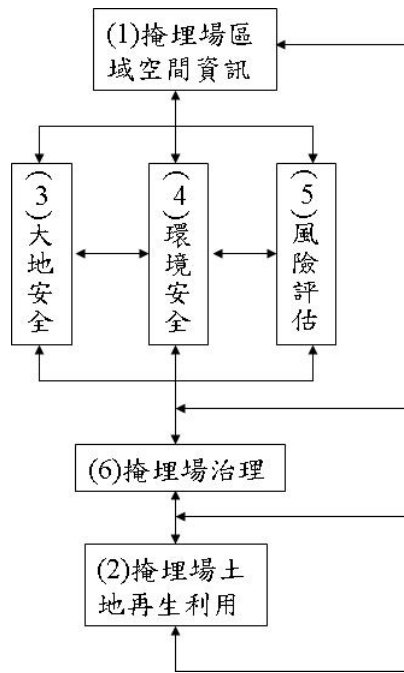
- (1)本計畫所稱之掩埋場係指一般廢棄物掩埋場已封閉，不允有垃圾進場者。

(2)所謂治理包括現場之工程改善，達到掩埋場之環境安全無慮且無潛在健康風險者，土地可作低價值利用。

(3)掩埋場移除包括掩埋場中之掩埋物清除、分類、回收、利用、遷移或焚化，使掩埋場址得以回復舊觀，削減污染源，場址土地得以高價值利用。

(4)所謂土地永續性指場址經治理或移除，可與自然環境相容，增進土地利用效益，不影響後世發展所需要之土地利用。

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，但在填埋垃圾之後，原有自然環境情況已有改變，本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2-2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2-2、本整合研究之架構及各子計畫之連繫協調示意圖

由總計畫負責的子計畫一，旨在建立垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統，並以三維分析技術支援其它子計畫在結構穩定安全分析、環境安全分析、及風險評估之基礎工具，進而與各子計畫之研究成果整合，嘗試以三維視覺化技術，發展三維環境影響評估工具，以促進掩埋場及其它爭議性工程議題之溝通效率，甚至藉以精進工程規劃設計之品質。在行政院環保署於2007年1月完成的「垃圾掩埋場總體檢委託專案工作計畫」中，已建置完成全國537座掩埋場的基本資料，也已納入環保署之環境地理資訊系統中，本研究計畫則將以此資料庫為基礎，利用現有三維地理資訊平臺(如Google Earth)，配合航空攝影測量技術，嘗試建立掩埋場址區域土地之三維資訊系統，以應用視覺化的方式，精進掩埋場址整治規劃設計的品質，配合納入國土地理資訊系統之屬性資料，用一般大眾認知度最高的三維模

型，促進公眾對爭議性公共工程議題的參與度及溝通效果，配合達成總計畫之目標。

在達成第一年的「掩埋場區域土地三維地理資訊系統」成果後，本子計畫將以二年為期，配合總計畫分年進行(1)掩埋場址區域土地之三維立體建模與視覺化，及(2)垃圾掩埋場址區域土地整治工程之視覺化等二項主要研究工作。在與各子計畫整合並順利依計畫執行完成後，將可達到本子計畫的擬定的下列六項主要目的：

- 1、以現有空照影像利用航測立體測繪技術建立掩埋場區域土地三維資訊系統之技術。
- 2、發展以不同時期之航照影像分析掩埋場區域土地資訊之技術。
- 3、以航測三維建模開發掩埋場址區域土地之視覺化技術。
- 4、應用視覺化技術評估掩埋場區域土地之整治工程。
- 5、應用視覺化技術作為掩埋場整治工程之環境評估工具。
- 6、開發本土化之三維環境影響評估工具。

### 2-1-2 本研究計畫之重要性

環境復育並非只是環境綠化而已，以仿生態的手法進行生態綠化亦稱不上環境復育，僅有綠色的外觀而沒有生態實質的演替功能，不具備環境自我回復的能力，仍稱不上環境復育；進行環境復育計畫時，應首重環境復育，直到環境復育成功之後才開始提供遊憩或教育的機會，因此進行復育工程時，應先重視環境回復，再考慮人為使用需求，才是成功第一步[1]。

掩埋場即使封閉美化，其廢氣排放仍會持續很長時間，臭味也不可避免，滲出水也未穩定，常視為河川四大污染來源之一，更有濱水掩埋場或不當場址有崩塌之虞，火災時有所聞，釋出之污染物可能具有危害性，而

掩埋場之相關設施之存在，陡峭之邊坡、階梯形之表面、田間凸起之埋堆等等，均使掩埋場址難以復原再生利用。

早期掩埋場址多在山谷、窪地、行水區、海邊、或田間，場址多有不當，設施簡陋，掩埋未分類，混有工業廢棄物，成份不確定，潛在風險高，甚至有少數場址由於時間久遠位置不確定，才有因施工挖掘而被發現的現象。目前臺灣垃圾雖多已焚化處理，然其灰渣多進入掩埋場，因會有重金屬問題，增添治理及土地再生利用之複雜性。

再者，掩埋場址之掩埋物仍可視為資源，因水分已少，低位發熱量仍高，如予分類為土石、塑膠、木竹及其它未分解之可燃物，則可予以資源化利用，無機之砂土礫石可為土石資源，有機部份可回收、堆肥或燃燒發電，故掩埋場如予清理或移除分類，則原址可以利用清理之無機土石回填，整地後可得新生地再生利用，如此，當地環境自可改觀，附近居民也可放下心中多年之疑慮，回歸正常的生活。

在地窄人多的臺灣，土地是一項珍貴的資源，如能將掩埋場治理再生利用，對週遭的居民的生活，土地價值的提昇將有幫助，對意外災害的預防，不明原因之風險，環境品質的改善，掩埋場的資源利用，均有實質上的裨益，國內已有掩埋場移除之案例，惟其規劃、移除缺乏基本原則，土地利用更未觸及。目前臺灣焚化廠容量頗大，常缺垃圾而未被有效利用，既有掩埋場之清理，除資源利用者外，其他有機部份可進入焚化廠發電，為一可行之途，惟國內對此一問題並未正視，研究亦少，本計畫為一任務導向，具有實用性與必要性，於上可見其端睨。

本子計畫以現有的國土資訊系統為基礎，搭配「垃圾掩埋場總體檢報告」，用航測技術、地理資訊系統、及Google地球三維展示系統，預計建置垃圾掩埋場區域土地的三維地資訊系統，並嚐試利用不同時間之空照影像進行立體量測分析，建立的三維圖資，可供其它子計畫分析大地結構安

全分析、淹水影響分析、環境安全分析、土地變遷分析、整治移除量的估計、整治工程的規劃與進程序模擬等。臺灣地區的掩埋場超過500處，整治再利用的工作是一項整合各項專業的工作，選址、規劃、及分析的工作應特別謹慎，需要有高品質的資料系統支援，本子計畫將充份應用現有的國土地理資訊系統，先進行分析並與各子計畫的評估整合後，選出目標場址，再以航測技術建立該場址的三維模型，以供其它子計畫進行三維的分析，以精進分析的正確性，也經由三維視覺化，減少可能的錯誤。

由於掩埋場的整治與復育，一直是有強烈鄰避現象的議題，鼓勵公眾參與並加強有效溝通才是王道，不再能用以往「決定-公告-說明防衛」的程序，反而應在工程規劃、設計、施工、維護的完整生命週期階段，都把公眾意見納入，否則失去公眾的支持將導致法律訴訟，是故本研究提出的視覺化技術開發與應用，具有很強的重要性，在時機上又有內湖垃圾山的工程正在進行中，本研究提出以內湖垃圾山工程做為觀查重點，嚐試開發垃圾掩埋場整治再利用工程的三維模擬視覺化，配合其它子計畫的大地安全模擬、環境安全模擬、土地再利用永續規劃模式，將有相當大的機會，可以開發成功本土化的「三維環評工具」。

## 2-2 國內外有關本計畫辦理研究情況

### 2-2-1 我國垃圾處理政策之演進及國內掩埋場概況

依據環保署的資料，可整理我國一般事業廢棄物處理之演進，如圖2-3所示，圖2-3並著重在與垃圾掩埋場相關的說明，由圖2-3可知垃圾掩埋場大都是在1984年起執行的三期「台灣省都市垃圾處理計畫」建置[2]，並於1997年陸續進行封場復育，而有「建立垃圾掩埋場復育工程及技術規範」專案計畫報告[3]，2000及2003分別有「封閉垃圾場復育綠美化執行成效評估」委辦計畫[4]，在整治清除方面，除了處置早期在河川行水區的垃圾棄置場，而有整治移除經驗外，大部份掩埋場的規劃，都是以封場復育及綠美化為主。

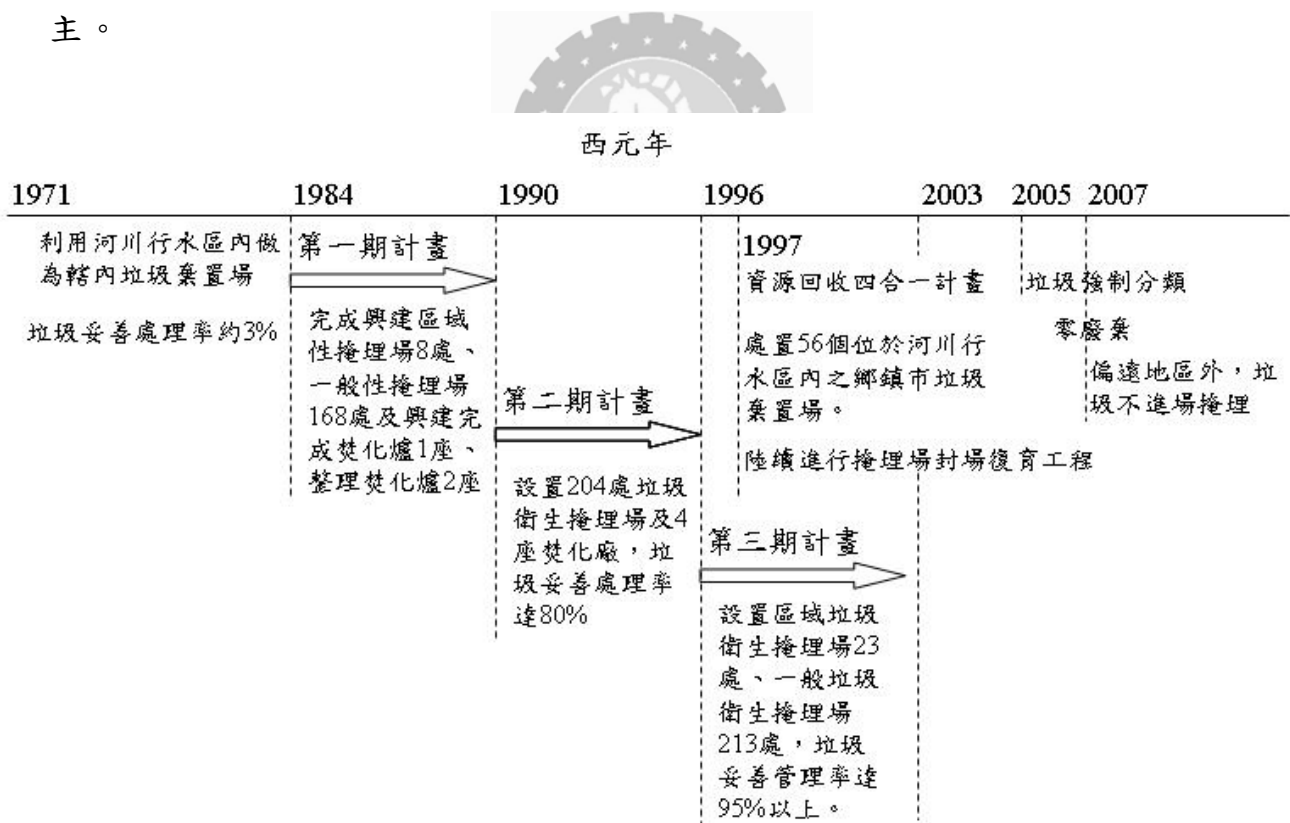


圖2-3、我國一般事業廢棄物掩埋處理演進表



依據行政院環保署於2007年3月完成的「垃圾掩埋場總體檢委託專案工作計畫」，臺灣垃圾掩埋場共537座，其中封閉復育中者有383座，營運中的有145座，待用中的有5座，興建中的有4座[5]；由於垃圾處理已由掩埋方式逐漸改為以焚化為主之中長期垃圾處理方向，垃圾妥善處理率在2004年已達98.93%；台北市、高雄縣市、台中市、新竹市、嘉義縣等焚化廠之垃圾進場量已低於可處理容量；臺北市政府環保局執行中的「台北市內湖垃圾山清除統包工程」[6]，即已將清理垃圾山所得的垃圾，就近送到內湖焚化廠與生垃圾混燒，並進行試燒確認焚化處理的安全性。

掩埋場的設置向來是高度鄰避的議題，在國內又可能因各級政府分權協調不佳而更複雜，2005年民生報「中毒的大地」系列報導「掩埋場改由縣市接管，沒想像中容易」，針對許多鄉鎮市垃圾掩埋場管理不當，衍生惡臭、滲出水等二次污染，環保署加強地方環保單位的考核評鑑，考核結果將作為地方補助款分配參考，且考評名次也將在媒體上公布，對地方首長形成壓力；拿捏補助款、公布考評結果是環保署現階段可以監督縣市政府的籌碼，但更基層的鄉鎮市公所，基於政治生態與現實利益的考量，有沒有必要理會縣市政府，是當前處理掩埋場的一道難題；掩埋場營運收入是鄉鎮公所主要財源，即使管理不專業、二次污染嚴重，也不願把管理權責交還縣市政府，部分鄉鎮市垃圾場的評鑑等級，有時甚至落到59.9分以下，被列「E級」，但由於垃圾場還可另外收取事業單位產生的廢棄物，是地方上的「金雞母」，許多鄉鎮市都不願關閉已經飽和的掩埋場。地方不願關閉垃圾場的另一原因是，鄉鎮市自有的垃圾場多半「便宜、方便、離家近」，若要改送到焚化廠處理，不僅費用較高，清運距離也較遠，對清潔隊人力、垃圾車的調配都是一大負擔。

在學術單位的研究方面，以2007年12月的國家圖書館博碩士論文網[7]，統計1984年至2007年內，以「掩埋場」為論文名稱之106篇碩博士論文

中，探討較多的議題依序為(1)場址區位民眾參與之整體環境相關，(2)垃圾分解產生氣體(甲烷)相關，(3)封閉復育及綠美化，(4)滲出水之質量及處理技術，(5)結構穩定性，(6)材料(隔離層、覆土層)與工法等，如表2-1所示；申請人研讀封閉復育綠美化相關的論文摘要，只有1篇論文題目為「廢棄地景之生態復育與再現—跨案研究掩埋場再生利用」與本整合型研究計畫之議題較相似，足見國內學術界對掩埋場整治與土地永續利用之研究較缺乏。

表 2-1、國內以掩埋場為題之碩博士論文探討議題分析表

議題類別	篇數	百分比
場址區位、民眾參與之整體環境相關	26	25
垃圾分解產生氣體(甲烷)相關	20	19
封閉復育及綠美化	17	16
滲出水之質量及處理技術	17	16
結構穩定性	12	11
材料(隔離層、覆土層)與工法	14	13
合計	106	100

### 2-2-2、國內外掩埋場的復育經驗

一般廢棄物多為有機物質，經過幾年操作營運和土壤中微生物喜氣或厭氣系統分解後，以前者分解之最終產物多為二氧化碳及水份；後者則以甲烷或二氧化硫等有機氣體居多。場體內部經生物、化學、物理反應作用後，對於底部和壁側之不透水布功能是否影響或破裂，此將攸關掩埋場公害污染物質管制效益。為確實掌控管制場區滲出水不致外漏污染土壤及地下水體，常於場區地下水流上、下游處分設地下水體採樣監測井，提供定

期或不定期採樣地下水，但若經費許可情況下，應增加監測井數量和量測不同水位之地下水，以更精確評估管制地下水質安全。

國外的經驗認為在規劃之初，就應該有完整的封閉後長期規劃(Landfill Closure and Long-Term Care)[8]，關場封閉後的大地結構穩定(沉陷)監測、以觀測井監測滲出水造成的水體污染、垃圾分解造成的空氣污染等，都仔細規劃正確處理下，要持續監測長達30年之久，因而建議掩埋場的經濟成本規劃應提出一筆「關場監測基金」，以確保掩埋場關閉後的30年內，能夠正常「持續運作」。在這樣的規範下，許多美國環保團體的意見，仍認為「沒有一個掩埋場不漏的」，著名的代表意見則認為美國環保署對衛生掩埋場之選址、規劃、設計、操作、封場及封場後的監測規範，至少有下列缺陷[9]：

- (1)單層複合隔離材大都無法抑止滲出水造成的地下水污染。
- (2)雨水大都會透入覆蓋層而流經掩埋垃圾再滲出污染地下水。
- (3)目前規範的地下水監測系統無法達到監測地下水污染的目的。
- (4)封場後為監測、保護、及整治所擬定財務規劃要求不恰當。
- (5)掩埋場週遭設置的土地緩衝帶不足以免除鄰近土地遭受臭味、粉塵、蟲害、噪音、光害的環境衝擊。
- (6)掩埋場鄰近土地的價值降低。

掩埋場經過操作營運及後續擴建工程後，因飽和或其他因素必須封閉，依國內現行環境保護法規—廢棄物清運法令相關規定[10]：「衛生掩埋場終止使用時，應覆蓋厚度五十公分以上之砂質、泥質黏土、皂土或具相同阻水功能之地工材料組合等阻水材料，覆蓋砂石者，並予以壓實。壓實後，平坦面坡度為1%以上，斜面坡度為30%以下，並應綠化植被。」；「封閉掩埋場終止使用者，應先覆以厚度15公分砂質或泥質黏土，再覆蓋透水

係數低於10-10 公分／秒、單位厚度0.2公分以上之人造不透水材料及厚度60公分以上之砂質或泥質黏土，並予壓實。」。停止廢棄物進場後，必須封閉掩埋處理，準備砂土覆蓋於場址表面，種植林木綠化。除可吸收有機廢棄物分解產生之肥料外，亦可達到綠化和行光合作用（吸收大氣中二氧化碳釋出氧氣）功能，以吸收惡臭等空氣污染物並釋放新鮮空氣，調和空氣品質及避免土壤流失，且可配合附近景觀，美化環境目標。而場區大門應深鎖，必要時設置錄影裝備，管制人員車輛進出。避免遭任意棄置廢棄物，形成髒亂點甚或造成有害性廢棄物拋棄點，污染土壤及地下或表面水體。場區內應多設甲烷排出管孔，稀釋掩埋場內部甲烷氣體濃度。

至於國內亦已有不少掩埋場封場復育經驗，以台北市最具規模的福德坑垃圾掩埋場為例，該掩埋場於1985年啟用，而於1994年封閉，封閉前未做沈陷量之監測，於1999年由環保署補助經費進進行復育工程，復育後預估會有10%之沈陷量，該工程未受到921大地震之影響，復育面積總共37公頃，有污水及滲出水監測與防治工程，廢氣及沼氣監測與防治工程及地下水監測工程，於2002年復育完工，總共花費約3億7仟萬元，且未包括採BOT方式的沼氣收集再利用系統。依據環保署提供在網站上的資料，自1997年起至2000年止，共77座掩埋場進行封閉復育工程(其中1999年有6處位於行水區及1處簡易掩埋場外，其餘70座皆為衛生掩埋場)，總復育面積達247公頃，雖不易取得經費相關資料，若以福德坑37公頃花費3億7仟萬，用面積保守估算約為25億元。若將目前所有383座，以77座25億元估算，則已花費約124億元在掩埋場復育工程上，後續的維護責任則仍是各級政府的責任。可見封閉保育耗費鉅資且為消極作法，而對環境有潛在污染與災害，掩埋物及場址如不清理，則永遠是個垃圾場，不能與自然環境相容，也影響本身及周圍土地之利用，不具土地資源之永續性。

面對掩埋場問題的較積極做法，可能是整治及清理移除，在美國的文獻上，有「掩埋場資源開採(Landfill Mining)」[11, 12]及「掩埋場整治再利用(Landfill Reclamation)」[13]，兩個技術名詞，在英文維基百科[14]中，則可視為合成一體的「掩埋場資源開採及整治再利用(Landfill Mining and Reclamation，簡稱為LFMR)，乃指將以往填埋垃圾的掩埋場，進行開挖、處理(篩選)、回收其中的資源垃圾、去除其中的有害物質、回收其中的土石資源，有可能因而清理原掩埋場被不當棄置的有害物質、整治早期設計不當的隔絕措施、或因而擴大掩埋場的容量而延長掩埋場的使用年限，最後也可能將掩埋場的土地回復舊觀甚至去除掩埋場造成的衝擊，而提高場址附近土地的利用價值。

### 2-2-3、掩埋場的整治再利用

掩埋場資源開採的觀念始於1953年以色列City of Tel Aviv的Hiriya掩埋場，由於其中填埋的垃圾有許多非鐵金屬，特別是鋁罐，而具有開採價值；有許多掩埋場內含的鋁罐，可能比開採鋁礦划算[14]。

若沒有納入掩埋場資源開採(Landfill Mining)，則掩埋場整治再利用(Landfill Reclamation)很容易與關場復育長期維護(Landfill Closure and Long-Term Care)混淆，依據美國環保署的正式文件[15]，掩埋場整治再利用為用來提高掩埋場容量的新方法，所需的花費可以經由開採回收其中可回收材料、土石方、資源垃圾(當燃料燒)而支付，並可經由這樣的整治處理，而消減封閉監測維護所需的花費與長期責任，甚至將原掩埋場週遭土地移作他用而獲利；缺點則是在整治移除過程中，可能會有甲烷等由垃圾分解產生的氣體排放污染，也可能挖出有害廢棄物而增加處理負擔，又或因開

挖工作而使鄰近土地產生沉陷，及有開挖作業較嚴重機具磨蝕成本等；綜合彙整掩埋場整治再利用的優缺點對照如表2-2所示。

表 2-2、掩埋場整治再利用可能產生的優缺點比較[15]

優點	缺點
(1)延長掩埋場的服務年限 (2)經由回收資源而獲利 (3)借由轉售土石資源而降低掩埋場操作成本 (4)回收垃圾供焚化發電 (5)降低封閉掩埋場所需的花費及將掩埋場土地移作他用 (6)修補隔絕層破損及處理誤填的有害廢棄物	(1)增加處理有害廢棄物所需花費 (2)需加強控制氣體及臭味 (3)需加強控制沉陷及崩塌 (4)提高開挖機具及焚化爐的磨蝕成本

依據美國以往掩埋場整治再利用的案例經驗，整理如表2-3所示，可知執行整治再利用的主要目的，在於降低封場的後續責任，及降低掩埋場的環境衝擊。其中賓州Lancaster County的Frey Farm掩埋場，即是負責處理垃圾的單位，在1990年興建焚化爐後，遇到垃圾量驟減，焚化爐的操作容量閒置，為了增加能源產量及效益，啟動位在旁邊的掩埋場整治再利用；該案例開挖掩埋場回收的舊垃圾的燃值為每公斤1700kcal，為了提高到每公斤2800kcal，採用新舊垃圾比為4比1混燒；該案例執行5年半期間，開挖了約22至30萬立方公尺的填埋量，其中約56%順利送到焚化爐燃燒發電，41%回收成土石，而剩餘的3%則為不可燃垃圾送回掩埋場。這個案例執行時，備有完整的安全工作計畫(safety work plan)及全職的監督官員，在整治期間全力避免挖壞掩埋場的隔絕設施，連續監測整治區及工作車內空氣中的甲烷量，使得該整治工作順利安全的完成。總結該案例獲得的利益為提高掩埋

場的容量、補充焚化廠的發電量、及回收土石及金屬；缺點則有產生粉塵污染、異味惡臭、製造交通污染、及增加機具的磨耗。

表 2-3、美國垃圾掩埋場整治再利用的案例摘要[15]

案例別	啟動時間	開挖面積(公頃)	回收材料之應用方式	主要目的
Naples Landfill (佛州Collier County)	1986年4月	4	掩埋場覆土	降低對掩埋場的責任 (該掩埋場為早期的簡易場) 回收土石方
Edinburg Landfill (紐約州Edinburg)	1990年12月 1992年8月	0.4 0.64	營建回填材	作為封閉掩埋場的替代方案 降低掩埋場的環境衝擊(footprint)
Frey Farm Landfill (賓州Lancaster County)	1991年1月至1996年7月	約開挖20至30萬立方公尺	焚化爐發電 掩埋場覆土	回收燃料 提高掩埋場容量

第一屆全球掩埋場開採會議於2008年10月9日在英國倫敦召開，共有來自20個國家的105位代表與會，會中除了發表掩埋場開採相關法規及經濟面論文外，也發表了好些個開採案例，由於不同掩埋場的「內容物」有很大的差異，要有足量金屬、塑膠、潛在燃料、及營建材料的場址，才具有開採誘因，除此以外，尚有其他社會文化相關的開採障礙有待排除，以荷蘭現有四個掩埋場開採整治案例而言，其中兩處是因為配合工業區土地開發而必須移除，第三例為防止污染周邊土地，第四例則是為擴充掩埋場容量

而移除整治，由於土地缺乏，產業界應該可以更積極地在全荷蘭約4,000處掩埋場中，找到值得開採的對象。會中的結論是掩埋場開採所需的技術已經相當完善，全世界各地有許許多多的掩埋場，各有其不同的誘因而值得進行開採，且可由開採中獲得多方面的效益，與會專家代表們也都認為具有交換經驗的需求，而預計明年(2009)年10月2在布魯塞爾舉辦第二屆年會[16]。

由以上的分析與國外案例，可知掩埋場整治再利用的工作，雖然只有開挖、篩選分類、及最後處置，但仍有賴完整的規劃及執行時的污染防治作業始能成功；此類專案的規劃作業依序如下：[15]

- (1) 進行掩埋場特性調查：地形地貌、穩定狀況、鄰近土地調查、水文狀況、及內容物分析等。
- (2) 評估可能的經濟誘因：由特性調查所得分析，直接的經濟誘因至少有掩埋場容量增加、回收資源所得、土地價值提高、消滅掩埋場封閉所而成本、甚至包括社會(政治)環境衝擊等間接誘因。
- (3) 調查現行法規限制：一般這類新作法，法規並不完善，應事先調查分析。
- (4) 研擬安全工作守則。
- (5) 評估專案成本效益。

#### 2-2-4、掩埋場整體環境診斷及整治開採決策模式

國內垃圾掩埋場超過500場，應以整體環境診斷模式選出優先整治再利用的場址。在場址優選部份，以往著重在選擇適當的掩埋場址，例如「台北市第三掩埋場場址評選計畫」建立的絕對條件與相對條件，檢討採用大



部份的準則項目後，列出不同替代方案，進行環境影響評估；以往的學術研究已建議採用電腦化輔助系統[17]，地理資訊系統[18]、以空間資訊整合技術結合多準則決策方法，並納入空間公平及空間風險分析者[19, 20, 21]，亦有進行土地適宜性分析、環境考量面評估、環境問題歸納分析者[22]，並認為「掩埋場的設施基本上是假設掩埋場的環境問題皆會發生而設，並未就何種土地區位屬性的掩埋場應該採取何種設施或操作而設計…事實上衛生掩埋場環境問題的產生，與其所在的環境屬性是息息相關的」。本研究的目的是針對封閉復育中的掩埋場進行整治再利用優選，應以該場址土地區位的整體環境診斷為主要依據，再輔以整治再利用的經濟誘因，對照整治過程產生的環境衝擊進行優選。

國內對營運中的掩埋場目前有執行中的「掩埋場體檢表」[5]，主要針對基本資料、進場管制、掩埋作業、排水、滲出水、地下水、沼氣、安全衛生、其它、及綜合等10項目，這些體檢記錄將會是日後封場復育或進行整治再利用的重要參考，但並不完全適用於優選整治對象；國外也有針對營運中掩埋場的環境診斷因子研究，例如考量掩埋場與週遭環境交互衝擊影響的E-LI指數(Global Environmental-Landfill Interaction Index)[23]，計算式如下：

$$E-LI = \sum E-LI_i = \sum (ERI_i \times EWC_i)$$

式中累加的項目(i)，則計有地下水、地表水、大氣、土壤、及健康等5項，ERI指環境風險指數(Environmental Risk Index)，EWC則指環境權重係數(Environmental Weighting Coefficient)，該研究求出的E-LI值愈高代表對環境衝擊愈大，應優先採取整治行動，並列出35分以下為低衝擊，72分以上為高衝擊，該研究舉3座掩埋場診斷的E-LI結果雷達圖如圖2-4所示。申請人認為針對本研究的需求，可修改該研究提出的診斷指數。

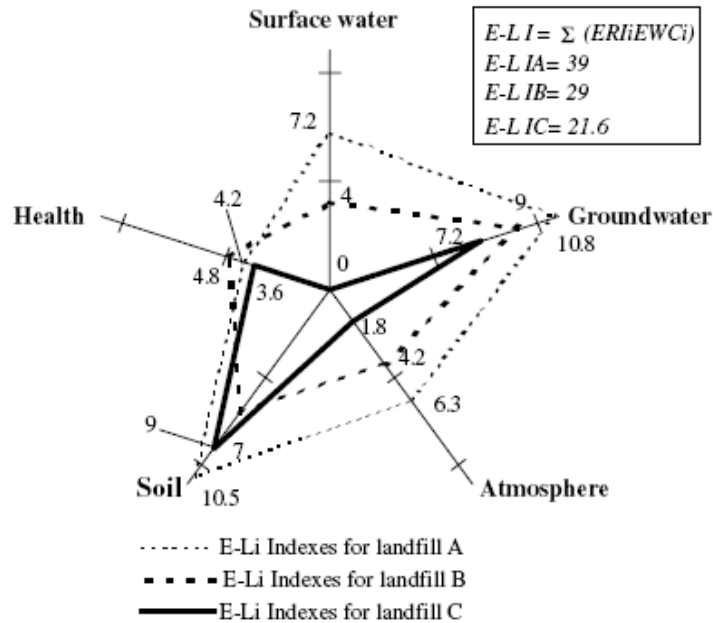


圖2-4、國外文獻中掩埋場整體環境診斷例[23]

不同掩埋場間，無論在場址範圍大小、地理環境特性、及掩埋物的質與量上，都有相當大的變異性，因此，在開採整治移除所需的成本及可能獲得效益上，也將因不同的掩埋場而有很大的差異，基於減廢政策及回收處理技術的進步，歐洲各國未來的固體廢棄物量將逐年遞減，垃圾掩埋市場緊縮，掩埋場的資源開採及整治再利用遂成為另一種機會，經由資源開採及整治，掩埋場至少可獲得有價資源、重獲土地、及消除現有缺陷的三重利益，成本效益表如表2-4所示；荷蘭的相關產業評估，就認為要在3,800座掩埋場中，決定哪一座最值得開採及整治，是相當重要的議題，但卻沒有適當的工具足以引用。荷蘭的私人企業(Essent)提出的決策法則，可在最少的研究預算下，只花數週時間就挑選出幾處值得開採及整治的掩埋場址，成本效益分析(Cost Benefit Analysis, CBA)搭配多準則分析(Multi Criteria Analysis, MCA)，用CBA做初選，挑出部份場址，再針對這些候選場址以MCA進行複選，如圖2-5所示[24]。

表 2-4、荷蘭產業界認定的掩埋場開採成本效益比對表[24]

效益	成本
因提高處理容量而得的效益 免除掉關場維護、另覓場址、及週邊土地防污整治所需成本。直接由回收資源、能源、土方及無機物所得 土地移做他用而獲得的效益	資源投入(整地準備、機具設備、人員安全規劃、運輸機具) 操作成本(人力、機具保養維護、最終處置費用、管理及法規費、人員訓練費用、運輸費用)

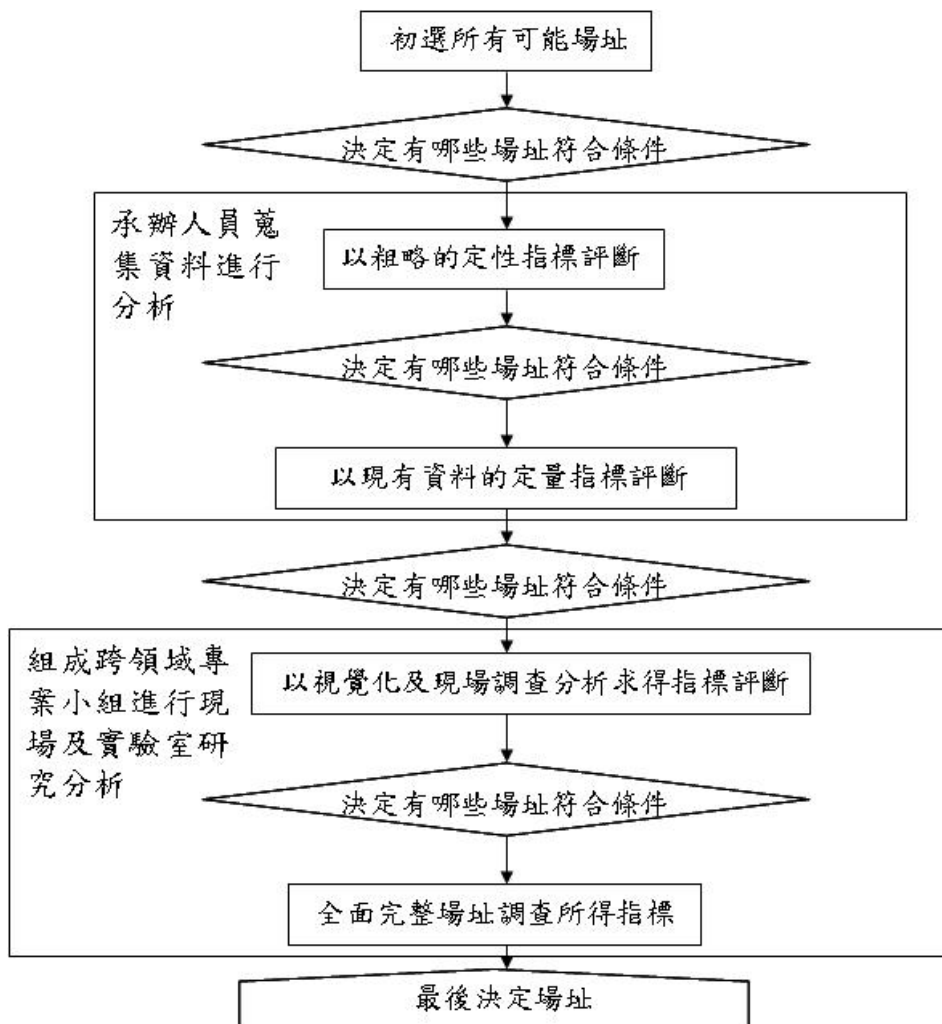


圖2-5、荷蘭產業界建議採用的掩埋場開採選址系統方法[24]

## 2-3 地理資訊支援決策及工程設計視覺化應用

地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)為結合地理資訊與科技的一門新興學科，除於製作地圖之助益外，更將真實世界的資料相連結，可改善各項空間事物與提升環境資源的使用效率與效果。所謂地理資訊，廣義而言，泛指地表上下之可見特徵及解釋空間特徵的現象或事件。結合科技是指利用電腦來完成的各項工作，如此可因應不同或特殊之需求，表現空間特徵；連結各項資料則有助於決策之擬定。雖然GIS是在1960年代才正式出現的名詞，但它的觀念早已存在，例如200多年前法國地圖學家Louis-Alexandre Berthier用套圖的技巧分析美國革命期間軍隊移動的狀況；另一例是1854年Dr. John Snow利用倫敦市地圖，套上水井的位置和因霍亂而死亡者所在位址，並分析兩者相關性；這兩個早期的例子，正足以展示現代GIS的根基，即同時將不同類型的資料依地理空間位置整合分析而做決策；在電腦科技躍進後，更造就當代GIS的能力與效益[25]。



### 2-3-1、三維城市建模技術

現今資訊發展的時代裡，傳統二維地理資訊的展現已漸漸無法滿足多元化社會的需求，因此三維地理資訊系統的研究慢慢成為空間資訊研究領域中重要的課題。三維城市模型(Three-Dimension City Models, 3DCM)是指實際的城市建物，藉由空載遙測、近景攝影、電腦繪圖軟體及地理資訊系統等軟體與技術，將其城市建物建置成具有空間資訊的數位式三維模型。目前三維城市模型在各國許多大城市中，正逐漸發展及建置且應用領域廣泛，例如都市計劃、環境影響評估、土木工程建設、運輸規劃、三維地理資訊系統、虛擬實境三維瀏覽與查詢、三維電子地圖等都應用三維城市模型來幫助問題解決並提供相關的資訊服務。三維城市模型的建置內容大致上可分為幾何建模(Geometrical Modeling)與紋理建模(Texture Mapping)兩部

份。而具體三維城市模型的組成，可分為三維地形、三維建物與其他三維景觀地物或植被等三部份。三維地形可由航空攝影之正射影像與數值高程模型組成，三維建物則藉由建物的幾何模型搭配紋理資訊所構成。而其他三維景觀地物或植被部分由於幾何形狀較為複雜且種類較多，可藉由專門的3D建模與繪圖軟體在其平台下建置後再匯入場景之中[26, 27]。由於三維城市模型建置的目的及其資料來源不同，模型建置的方式及最後展現的成果也有所不同，但就整體的三維城市模型建模而言，仍可從幾何建模與紋理建模兩個部份深入探討。

幾何建模部份包括數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)的建立、建物幾何特徵的數據取得，以及相關三維景觀地物的輪廓線萃取。目前DTM的取得大多以航空攝影測量技術為主，利用航空立體像對自動匹配，或者由專業繪圖人員繪製數值等高線透過軟體解算取得。三維建物的幾何表達與重建，為三維城市建模的研究重點，藉由航空攝影、近景攝影及光達等技術，以自動化或半自動化的方式，取得或重建三維幾何資訊[28]，為目前幾何建模的發展方向。

紋理建模乃指數值地形模型和建物模型表面的「紋理貼圖」，由於航空攝影技術的進步及正射影像製作技術日趨成熟，地形模型的紋理製作，已可由航空攝影的正射影像直接取得。另外建物模型的紋理，屋頂點可藉由航空影像取得，而建物側面可利用地面的近景攝影或影像萃取方式取得。在影像取得後，藉由彼此空間的幾何轉換或投影方式，完成紋理建模的作業[29, 30, 31]。

在工研院院區模型建構案中，為能在短時間內製作完成工研院中興院區之三維擬真模型，且除了該院區現有平面導覽圖外，沒有其它建物圖資支援的條件下，用購得的最新空照立體像對，本計畫以航空攝影測量技術為核心，執行院區三維地形模型、三維建物模型，並配合現場測量調查，

進行建物紋理敷則，最後以地理資訊系統為平台，整合完成三維擬真模型建置，進行的流程圖如圖2-6所示[32]。

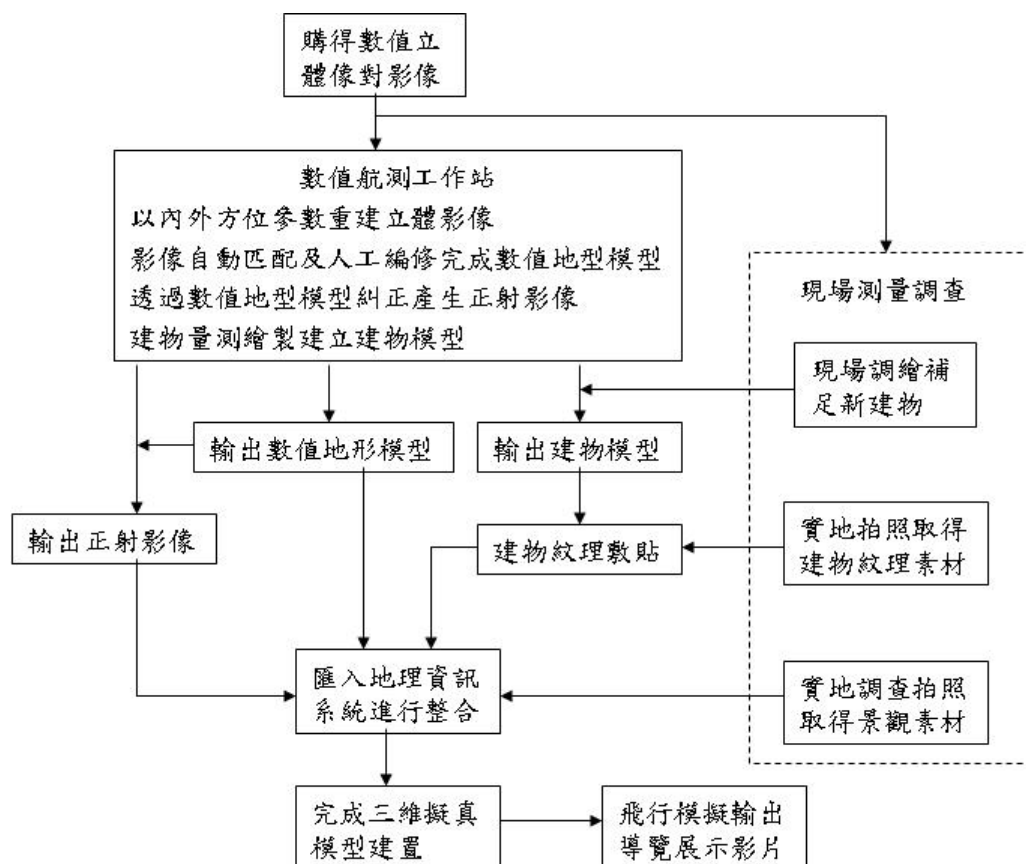


圖2-6、以數值航測工作站為中心之三維城市模型建置流程圖[32]

除了軟硬體資源外，圖2-6的三維城市模型建置流程方法，主要是靠投入的人力資源，這些人力是經訓練的數值航測製圖人員(研究生等級)，經依據申請人以往執行工研院中興院區城市建模的案例，可知耗用人力最多的三項作業項目為建物紋理萃取與敷貼、模型整合、及立體量測建物建模部份，各約佔總工時數(582)的27%、27%、及21%，若將所有作業項目區分為地形、建物、景觀、及系統整合四部份，則耗用人力百分比最多的是三維建物製作部份(50.6%)，其次為系統整合(31%)，如圖2-7所示，該案建

置的效果頗佳，如圖2-8所示，目前正由電光所整合製作動態實境導覽系統中。

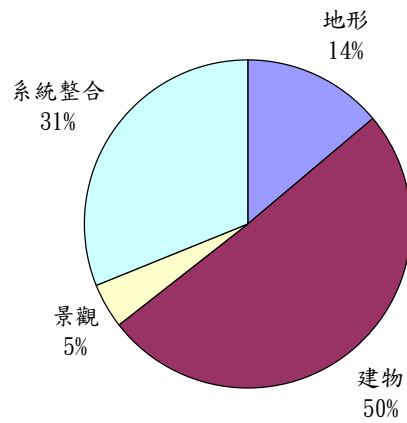


圖2-7、三維擬真模型作業耗用人力圓餅圖[32]



圖2-8、整合完成之工研院中興院區三維擬真模型(正北面)[32]

對於範圍較大的城市模型，大部份採用航測技術，自動化或半自動化匹配，製作的城市模型在平面及高程精度皆可達1公尺以內，已有商業化的服務提供，大都著眼於空間幾何位置上的正確性，只有在特別要求時，

才貼紋理素材，例如由美國老牌航測公司改組的EarthData，於2001年起提供有美國主要城市的模型可供採購應用[33]。最近幾年Google公司開發的虛擬地球儀軟體，把衛星照片、航空照相和GIS佈置在一個地球的三維模型上，世界上主要的大都市，尤其是北美、歐洲、及日本的照片清晰度較高，在開啟了「Terrain」效果的情況下可以觀察到以3D方式顯示的高原、山地等地形；2007年又將SketchUp三維繪圖軟體，充份應用Web2.0的「自由分工，共同分享」的原則，免費提供下載使用，使得Google地球成為相當受歡迎的三維地理資訊平臺[34]，雖然分析的功能較弱，如表2-5所示，但對小比例尺大範圍的應用，具有很好的三維視覺化效果。圖2-9則為中華大學團隊應用SketchUp軟體，將校園模型整合入Google地球的成果。

表 2-5、不同版本 Google 地球的差異[34]

	Google Earth	Google Earth Plus	Google Earth Pro
費用	免費	US\$20/年	US\$400/年
最大列印/儲存影像	1000 pixels	1400 pixels	4800 pixels
GPS資料匯入 即時 GPS 軌跡		◎	◎
csv 資料匯入		100 points	2500 points
地區性廣告	◎	Optional	Optional
軟體支援	website	website, email	website, email, chat
量測面積			◎
錄製飛行動畫(wmv)			◎
GIS資料匯入模組			◎
GDT交通數據資料			US\$200

註：◎代表有此功能





圖2-9、中華大學團在Google地球平臺上建置之三維擬真校園模型

### 2-3-2、地理資訊系統分析技術

地理資訊系統由(1)電腦系統(Hardware)，(2)GIS軟體(Software)，(3)創新腦力(Brainware)，及(4)基礎建設(Infrastructure)等四大部份組成[35]；其中的基礎建設乃指國土資訊系統(National Geographic Information System, NGIS)，是E化國土之模型，也是資訊時代政府所必備的資訊工具，與提高決策品質及行政效率，及強化國際競爭力息息相關，先進國家無不大力推動建置[36]；臺灣地區國土地理資訊系統從1990年起推動，也以由不同部會負責建置完成九大資料庫，並預計以資料倉儲一站式服務的方式[37, 38]，如圖2-10所示，提供公眾使用；空間資訊的應用也已由公部門的資料建置及系統開發，進展應用至全民化食衣住行育樂等各方面[39]，充份達到製圖(mapping)、量測(measurement)、監督(monitring)、模擬(modeling)、及管理(management)的所謂5M應用。目前的重點也由資料蒐集建立至資訊使用，轉化為知識庫、專家系統輔助各項決策之進行，如圖2-11所示[35]。

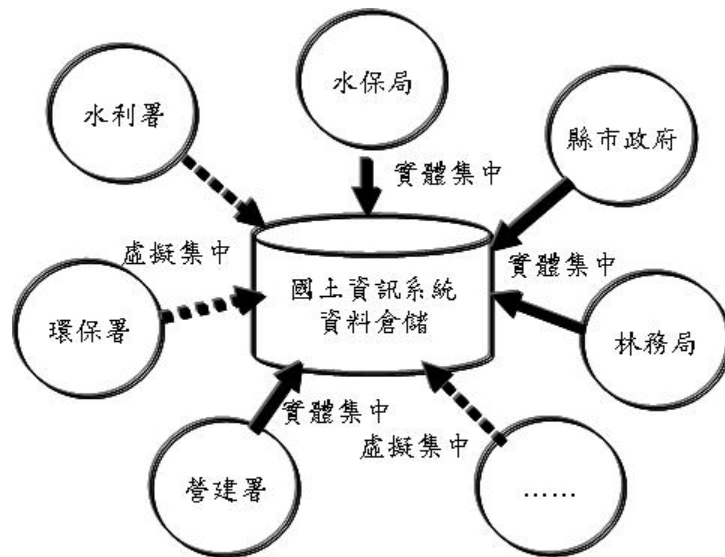


圖2-10、我國國土資訊系統預計提供的一站式資料倉儲服務示意圖[36]

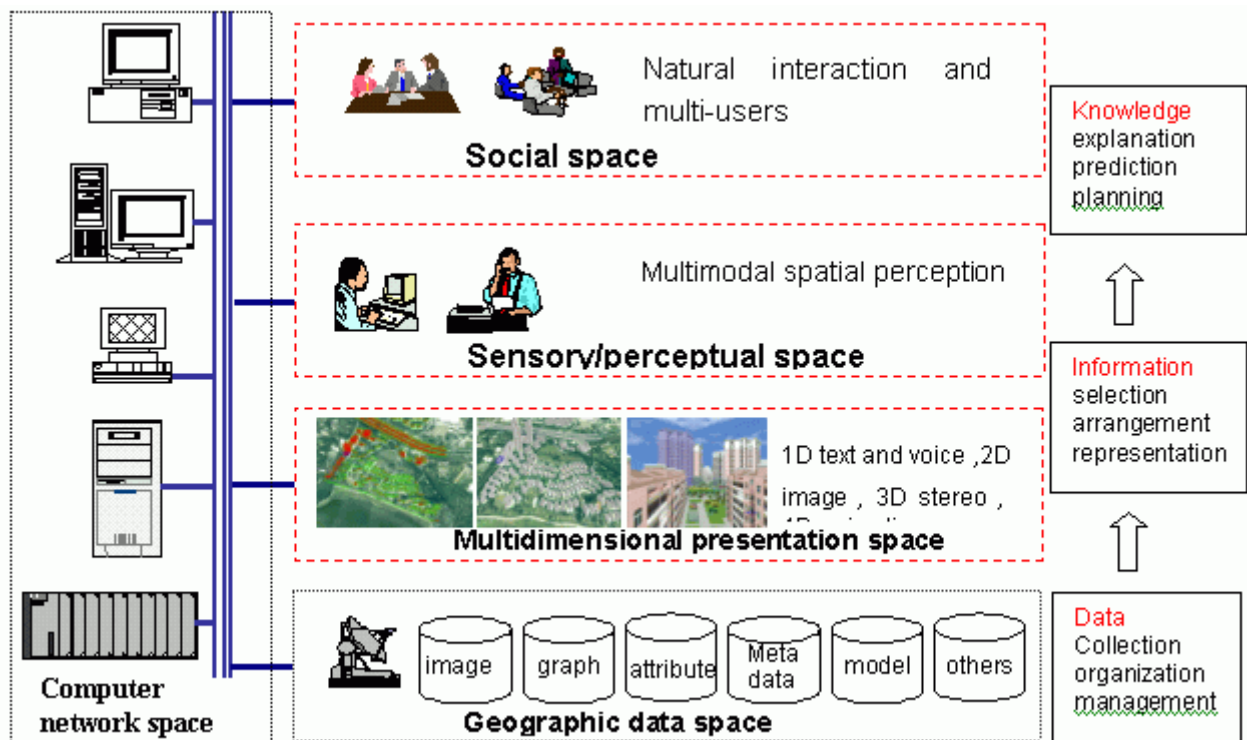


圖2-11、地理資訊系統由數據、資訊、至知識之層級架構圖[35]

依據行政院環保署於2007年3月完成的「垃圾掩埋場總體檢委託專案工作計畫」，臺灣垃圾掩埋場共537座，其中封閉復育中者有383座，營運中的有145座，待用中的有5座，興建中的有4座[5]，以環保署建置的資料

為例，針對本研究之需要，可以取得臺灣地區掩埋場址的圖層，配合「垃圾掩埋場總體檢」報告之資料，可以整合到Google地球，也可以整合到一般的地理資訊系統平臺進行分析，如圖2-12所示，將臺灣地區掩埋場範圍，配合水利署建置的各縣市河川地理資訊系統，以重疊交會區域，即可得出可能位於行水區的掩埋場，圖2-12只將台北縣市河川圖層套疊掩埋場範圍，就有八里區域衛生掩埋場一處，依本研究提出的方法邏輯，該位於行水區的掩埋場，正如臺北市環保局處理中的「內湖垃圾山清除工程」[6]，應該優先進行大地結構安全、環境安全、及土地適宜性分析。

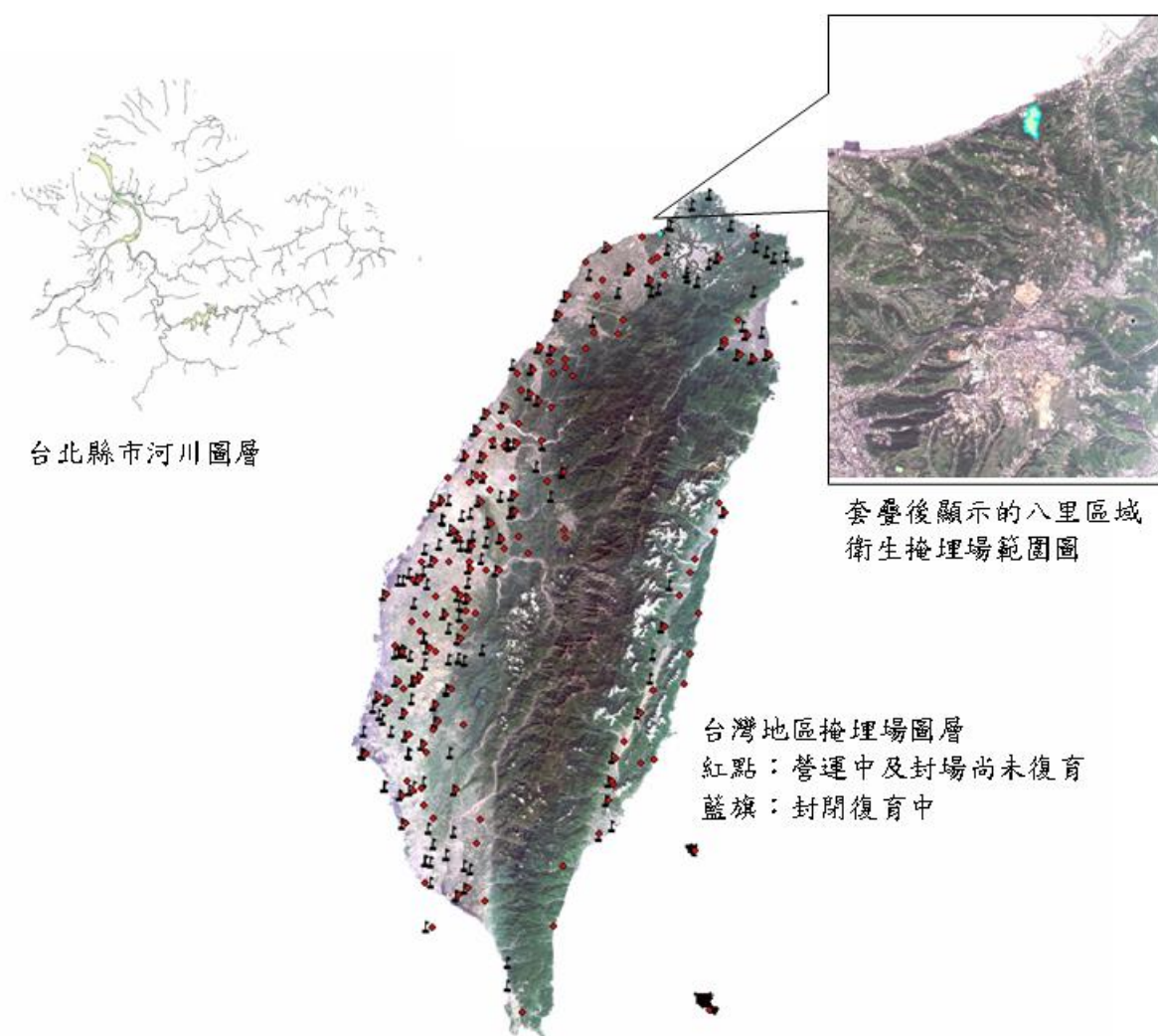


圖2-12、以掩埋場位置範圍套疊台北縣市河川圖層找出可能位於行水區之掩埋場示意圖

將三維城市建模技術整合到地理資訊系統平臺來，主要的發展在於展示及導覽[27, 30, 31, 40]，進一步地將三維模型整合入地理資訊系統後，以不同視角輸出影像視覺化，而應用在都市規劃[41]、防災規劃[42]、選址[43]、設計方案優選[44]、及市場分析等；而視覺化應用最廣的則是配合互動式虛擬實境軟體，將傳統的電腦輔助設計軟體系統如MicroStation, 3D Studio Max, 及AutoCad等，轉為VRML格式的文件，進行教育目的的應用[45, 46]。至於利用地理資訊系統進行三維分析的研究則開始起步，如應用地理資訊系統提供的分析軟體進行視域分析、鄰域分析、日照分析、體積變化分析(土方量)等，甚至結合其它專業模擬程式，建立三維風險評估[47]、交通建設衝擊[48]、邊坡穩定分析[49]、及以避免空間衝突為主的營建工程排程[50]等工程問題之解決方案上，應用Google地球為大範圍分析平臺者，亦有物流中心車輛派遣路徑能源消耗最少化的分析研究[51]。

國內的地理資訊系統應用發展亦相當迅速，幾乎函概所謂5M應用的所有領域，由全國博碩士論文網上[7]，以關鍵字及摘要查詢「地理資訊系統」相關的論文有1031筆，用「GIS」查詢則有726筆，用「航測」查詢則有118筆，「三維城市建模」則有6筆，「三維地理資訊系統」則只有5筆，申請人流覽共1900多筆論文題目，找出與本研究方向相關論文共88筆，如表2-6所示。由表2-6可知在三維地理資訊分析應用及工程視覺化方面的研究明顯較少，且這9篇論文中，只有一篇屬於建築日照應用，其它大都屬於建置方法、展示導覽及教育應用上；而在空間變異性分析的論文中，有「應用數位航測技術於三義火災山地形變遷之研究」、「偵測不同時期臺灣像片基本圖修測用航空影像內線性特徵物之變遷」、及「東埔梅山地區航照圖、衛星影像應用於土地利用變遷監測之研究」，採用的研究方法，可供本研究參考應用。

表 2-6、全國碩博士論文網查詢與地理資訊系統相關的論文資料筆數統計

研究主題方向	資料筆數
工程視覺化	6
空間變異性分析	23
建置三維城市導覽系統	17
垃圾掩埋場永續發展應用	5
數值地型模型整理及應用	8
航測影像之應用	17
三維地理資訊系統應用	9
向量式空間地理資訊系統應用	3

### 2-3-3、三維視覺化技術在公共工程之應用

隨著電腦資訊科技的進步，虛擬地理環境系統之開發已成為實證的科技，圖2-13為近50年來的演進概況[52]；藉由電腦強大的計算能力輔助工程師進行複雜的規劃與設計，一直是50年前電腦發明以來的應用方向。藉由電腦強大的計算能力輔助工程師進行複雜的規劃與設計，一直是50年前電腦發明以來的應用方向，目前工程設計時採用電腦輔助設計與繪圖(Computer Aided Design and Drafting, CADD)已是經常性且成為標準化的工作，最近幾年由於IT產業的進步，電視、電影、宣傳廣告、網路世界，日常生活中充斥電腦模擬的動畫與3D影像，一般大眾在參與公共工程建設時，很自然地預期類似的視覺化展示。許多專案工程也常為了提昇一般大眾的參與度，以合成照片或3D動化等視覺化技術，展示或說明工程專案，例如加州Devil's Slide專案[53]，如圖2-14所示，以電腦模擬加合成照片的視覺化資料，使加州海岸委員會與視覺化小組人員共同合作，將原不滿意的隧道口設計及景觀美學修改，使得延盪50年的計畫獲得核定施工中。

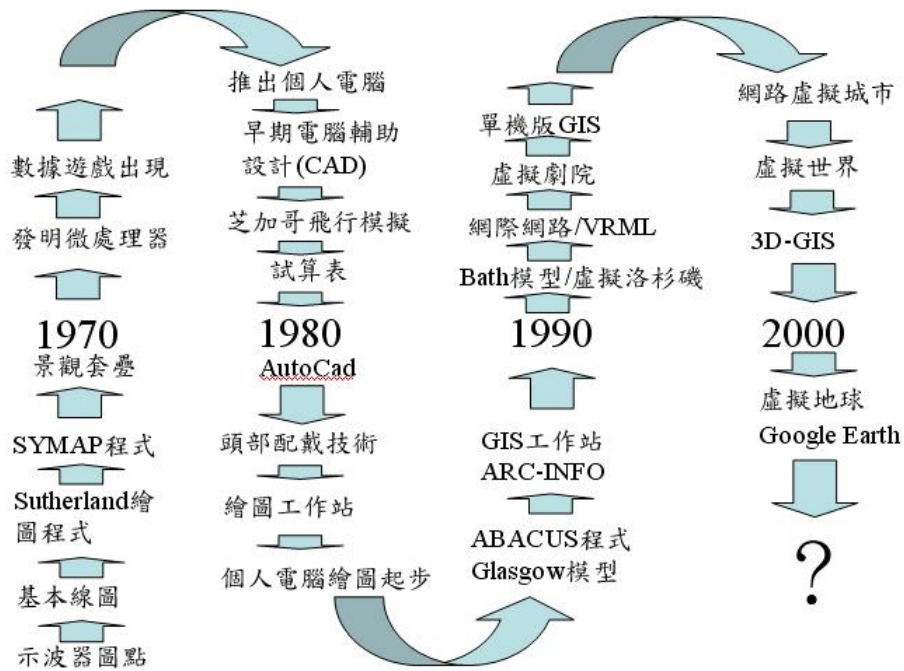


圖2-13、近50年來虛擬地理環境之發展與演進[52]

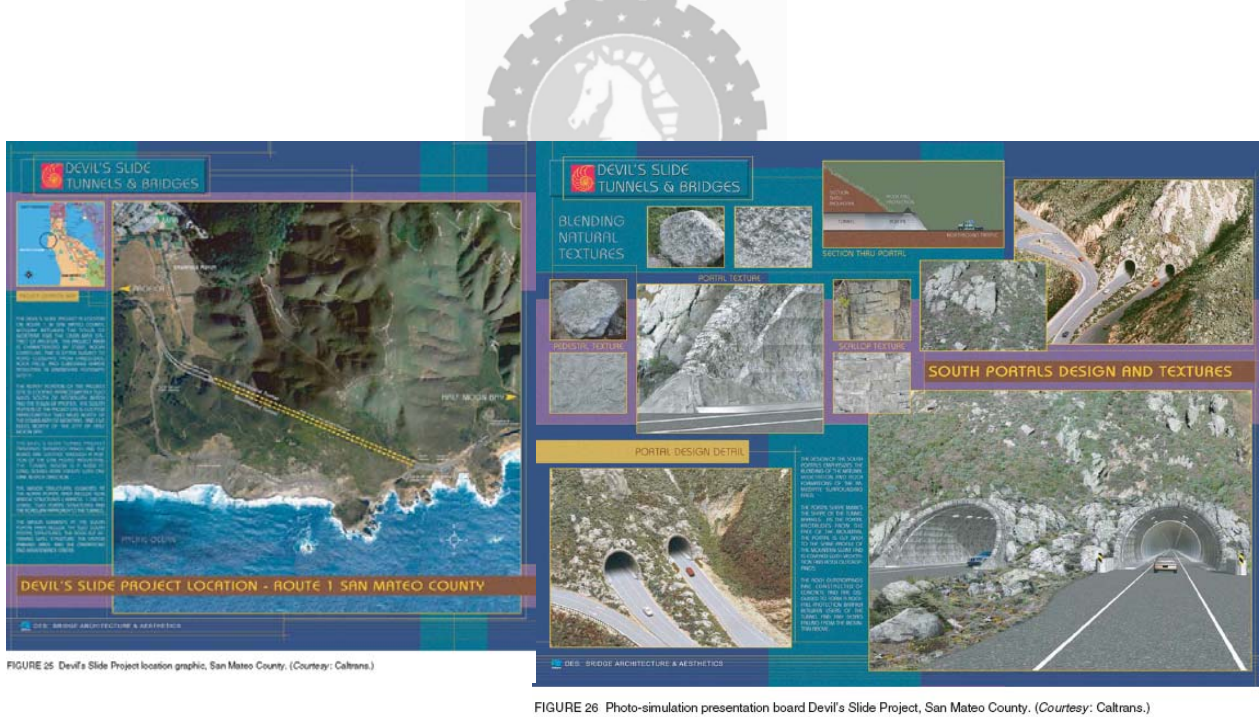


圖2-14、加州Devil's Slide專案的視覺化展示效果[53]

但若要能將設計規劃工作由現行的2D-CADD進步到3D-CADD，以便能有效率地表達設計方案的差異和理念，促使規劃設計流程更精進則似乎

需要投入更多的開發研究。美國工程界在2006年做的調查報告顯示[53]，一般工程人員認知視覺化技術的工程應用範疇至少有下列六項：

- 1、採用視覺化技術精進工程設計，更能認清視線(line of sight)及位址衝擊(site impact)等重要限制，尤其是採用三維視覺化工具展現最終的設計成果時，將可使所有參與人員更清楚工程設計的細節，甚至後續的施工流程，因而能更早發現設計缺限，而避免經常發生的變更設計與重做。
- 2、規劃設計者在真的建設完成之前用視覺化工具預先看到完成的景象，從而進行(1)環境影響說明書內容之驗證與修正，及(2)其它針對個案擬定的美學、景觀、或視覺品質綱要。視覺化工具可以用來模擬複雜的施工程序，避免產生材料、機具、或空間的衝突，降低重做或做錯產生的浪費。
- 3、根據以往的經驗，大部份的施工經費超出原規劃預算，都是因承包商宣稱真正施工所需超過原設計規劃所列出的需求，經由採用3D-CADD及視覺化，規劃設計可以更精確。將工程規劃設計以三維視覺化表達，可促進不同部門人員對計畫案的充份瞭解，從而縮短核定流程時間。
- 4、對許多需要公眾參與意見的專案，視覺化由於可以清楚表達複雜的設計，更扮演有效溝通的重要工具，避免猜忌與誤解，而使居民充份有效地參與。
- 5、將工程規劃設計以三維視覺化表達，可促進不同部門人員對計畫案的充份瞭解，從而縮短核定流程時間。對許多需要公眾參與意見的專案，視覺化由於可以清楚表達複雜的設計，更扮演有效溝通的重要工具，避免猜忌與誤解，而使居民充份有效地參與。

6、應用於國土安全提昇是視覺化工具較新的應用領域，在2001年的911事件後，更是快速發展的領域。採用三維視覺化的專案，可以使規劃人員及安全規劃單位，快速地經由視線分析及結構完整性分析，配合以地理資訊整合的資料庫系統，進行安全維護及防災分析。在這層安全等級的要求下，三維視覺化模型，反而是分析所需的主體，而不只是規劃設計工作產生的副產物。

至於可以採用的視覺化工具則至少有下列五項：

- 1、應用圖與照片的2D-CADD合成圖資，亦可結合網格資料、向量資料、文字屬性資料，甚至進行必要的數學運算。
- 2、電腦擬真輸出：3D模型建置完成後，可用適當的軟體進行不同狀況(紋理、燈光、周遭情境…等) 模擬輸出需要的情境效果。
- 3、電腦動畫：以電腦製作動態影像。電腦動畫是連串在一起的一系列電腦圖象。製作1秒動畫需要30格的影象，是相當耗時費力的工作。
- 4、即時模擬。
- 5、網站設置並配合動化、影片等多媒體製作。

然而，也因視覺化技術在工程規劃設計流程中的定位不明、視覺化技術的效益不易量化、專案經理及資深工程師對視覺化技術不夠瞭解、具視覺化技術的工程人員不足、及視覺化技術尚未標準化等原因，而尚未普遍採行。

由於人腦神經的50%對視覺反應相關，故人類思考解決問題依靠視覺的比例相當大，且因三維視覺是人所處環境及獲得資訊的常態，所以三維的視覺模擬是人與人溝通的最佳工具，例如面對以等高線繪製的二維地形



圖上的工程設計，閱讀者必須先在腦中形塑地形高低起伏的模型後，才能進一步瞭解圖中所欲表達的設計方案，既使受過專業訓練的工程師，在某些複雜的地形狀況下，都有認知錯誤發生的機會，對沒有受過訓練的一般大眾則真是苦差事而變成溝通不良；反之，三維的展示則與真實世界相同，有效地促進溝通避免出錯。套上自然期刊在介紹Google地球的三維視覺化功能時[34]的話(Life happens in three dimensions, so why doesn't science?)「我們每天都生活在三維的世界，為什麼工程圖說不是呢?」。

#### 2-3-4、三維環評工具

香港特區政府在因應永續發展的永續營建議題中[54]，說明經由三維環評工具促進了溝通，而使民眾對政府工程施工的抱怨數有效地降低，圖2-15展示三維環評工具製作團隊及放在網站上的三維視覺化環評工具，開放給所有民眾提出意見時收到的意見例。

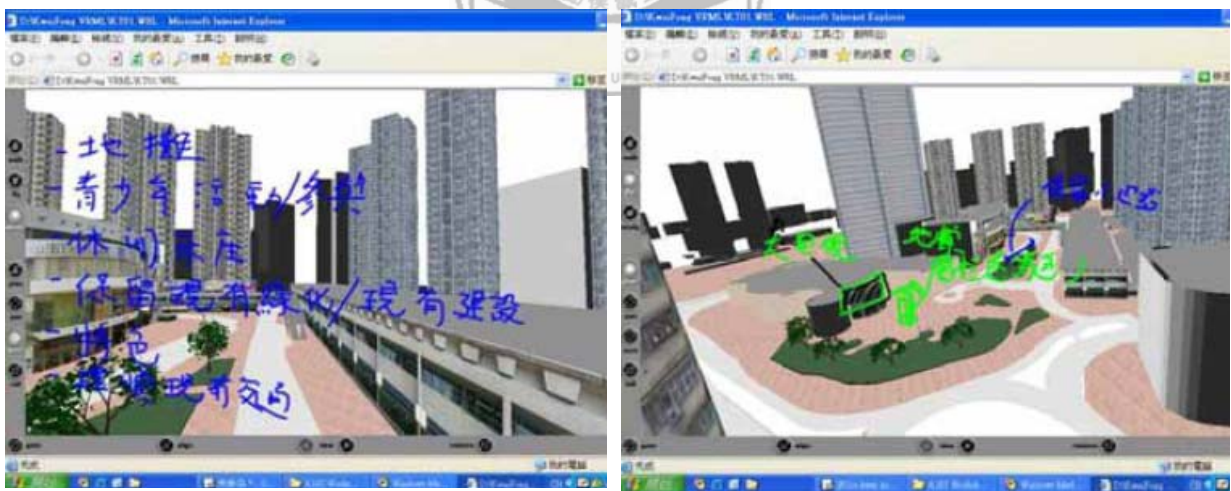


圖2-15、香港特區政府以三維環評工具收到的民眾參與建設意見例[54]

香港特區政府的這項「三維環評工具」是由澳洲的NGIS公司協助引進，於2005年起採用「三維環評工具(3D Environmental Impact Assessment technique, 3D EIA)使大眾更能清楚瞭解環評議題與各種替代方案，並依環

評基本程序列出(1)基線研究，(2)替代方案研究，(3)影響評估，及(4)緩解措施。在環評期間並開設網站公告報告環評進展，且開放接受意見。3D EIA的製作程序上，也結合了三維分析的功能，將分析的結果併入展示，如圖2-16所示。目前登錄在網站上有數個專案的3D EIA報告，圖2-17為掩埋場擴建之3D EIA案[55]。

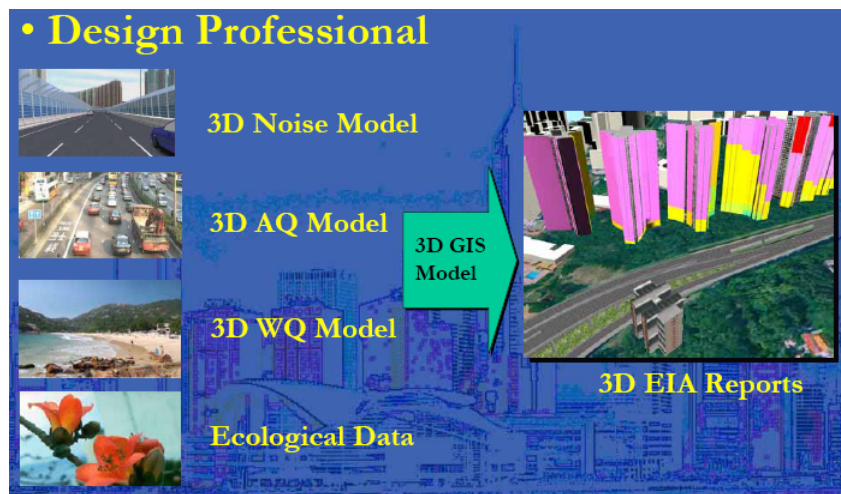
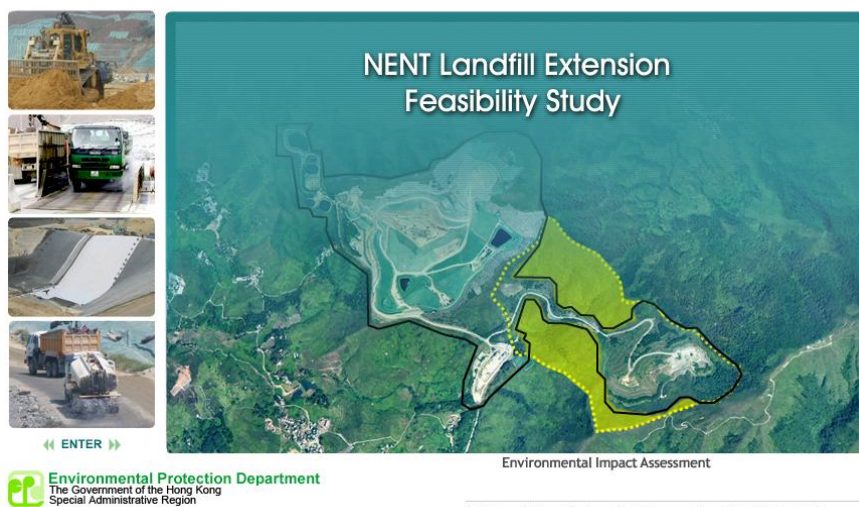


圖2-16、香港特區政府3D EIA報告納入三維分析功能示意圖[54]

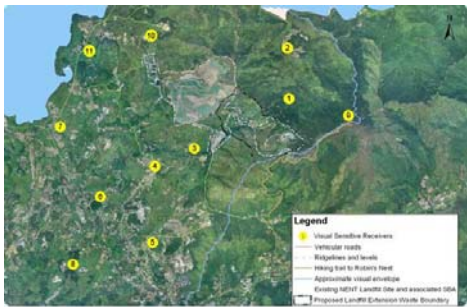




擴建區之空氣污染受體點位



擴建區之噪音污染受體點位



擴建區之景觀視覺影響點



擴建區之水污染受體分佈

圖2-17、香港特區政府網站上掩埋場擴建案的3D EIA報告例[55]



## 2-4 建築資訊模型之發展

建築工程所要完成的是三度空間的實體，又受制於建築法規，必需在有法律效益的契約中，附加許多圖說，即所謂「按圖施工」；以往受限於製圖工具，只能以圖面表達建物的適當細節，故需要用許多不同視角圖面，很容易發生錯誤，且又都是以直線、弧線、及文字的方式儲存，只有某些受過訓練的工程人員可以判讀，沒有辦法用電腦解讀。受惠於資訊科技 (Information Technology, 簡稱為IT) 的進步，近年來視覺化的三維設計，愈來愈普遍，軟體開發商間的整合，再加上物件導向和參數化資料庫技術，形成所謂「建築資訊模型(BIM)」，使得虛擬的三維物件，具有許多的參數並定義物件間相互關係，若有一物件改變，則透過參數化定義的物件間關聯性，正確地自動改變受到影響的其它物件；且因這些三維的物件可以被機器解讀，故可將建築模型的空間衝突，用自動化的方式檢查出來。有了這種能力，在設計及繪圖的層面上，減少了許多錯誤，在施作的層面上則可以事先模擬分析，而避免許多衝突重做。

### 2-4-1 國外BIM的發展概況

營建工程是集合許多專業人員，採用複雜的技術以達成共同目標的專案，如圖2-18所示[56]。在專案的執行方法上，則以程序規劃和模擬，仰賴不同專業人員的有效溝通及正確的資訊傳遞，以期能交付出符合專案目標的成果。程序溝通模擬的效率直接影響資訊傳遞能力，沒能適時地得到正確的資訊，總是耗時費力的主因，影響到參與營建專案技術人員的生產力。國外營建業有「與非農業勞動力相比，生產力指數長期持續下滑」的檢討聲音[57]，依照行政院主計處公佈的資料，國內營造業亦有相同的問題，如圖2-19所示。

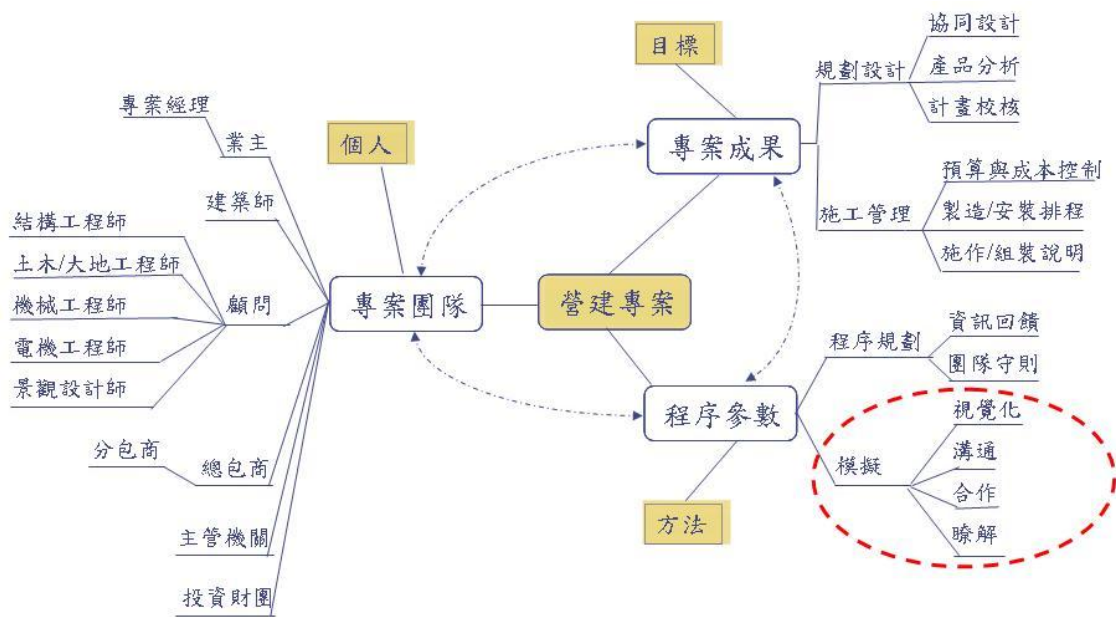


圖2-18、營建工程專案架構概念圖[57]

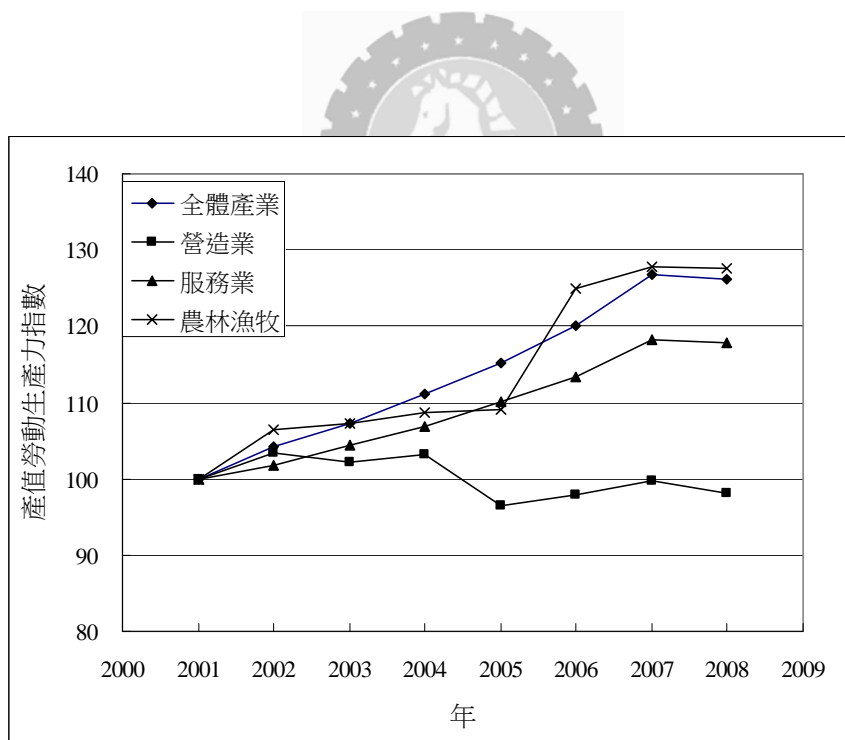


圖2-19、最近10年我國營造業營動生產力指數下滑情況

建築(Architecture)、工程(Engineering)、營建(Construction)產業(所謂AEC產業)一直都是依賴圖文資料溝通的行業，紙本文件若有錯誤或漏失，總是提高成本、展延工期、甚至到契約各方出現履約爭議，而提出仲裁或訴訟。審視有效溝通所需的(1)溝通意願、(2)相互瞭解、(3)合作精神、及(4)視覺化，四項要素[56]中，前三項是個人的主觀思維，要靠團隊建設與激勵加強，視覺化則是客觀的技術面，可以資訊科技補足。AEC產業的產品就是人類生存的環境，主要是客觀的三維世界，過去局限於科學技術與方法，不得不使用二維平面圖形表達；實務經驗證明，在複雜的環境下，把真實的三維世界簡化為二維，會帶來思維的局限性和片面性，進而引發規劃設計的不準確性，使得一些沒有三維資訊無法解決的問題被擱置，而等待耗資耗時的實地考察來確定；同時，圖形圖像的分離無法實現圖形圖像的密切配合，使決策者不能在一體化的環境中整體審視三維空間關係和景觀屬性問題，而產生決策品質不佳的缺陷[58]。

藉由電腦強大計算能力輔助工程師進行複雜的規劃與設計，一直是電腦發明以來的應用方向，目前工程設計採用電腦輔助設計與繪圖(Computer Aided Design and Drafting, CADD)已是必備工作。最近這幾年，軟體開發商甚至積極整合所謂的「交換標準格式」(如Industry Foundation Class, IFC)，搭起不同專業軟體的溝通橋樑[59]，使得設計圖與資料之流通更加順暢，再加上物件導向和參數化資料庫技術，形成所謂「建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)」，使得虛擬的三維物件具有許多的參數，並定義物件間相互關係，若有一物件改變，則透過參數化定義的物件間關聯性，正確地自動改變受到影響的其它物件；且因這些三維的物件可以被機器解讀，工程師可利用此模型自動檢查物件在空間的衝突，而進行虛擬設計及施工(Virtual Design and Construction, VDC)[60]；現正引發AEC產業一次史無前例的改變[57]。在美國加州舊金山灣區Camino醫事集團的建設專案中，

驗證採用BIM技術，應用VDC工具整合建築、結構、土建、機水電空調、消防等系統，體認以下好處[57]：

- 1、幾乎沒有發生過任何系統間衝突。
- 2、重工(Rework)降至0.2%以下。
- 3、機電包商的生產力提昇超過30%。
- 4、總包商的現場監造工作每月只花不到2小時。
- 5、在工地現場只出現過兩個「資訊要求(RFI)」的議題。
- 6、沒有因衝突而變更過訂單。

美國通用汽車公司(GM)在2005年執行的V6引擎廠房擴建計畫[57]，也採用BIM技術，取消傳統的2D紙本圖說，也同時改變團隊工作執行的流程，以BIM三維資訊模型進行溝通，也省掉許多分包商重覆繪製平面配置、流程規劃、審查、核可的時間，且因土建、鋼構、機電設備商，同時以一個三維模型平台進行整合工作，經由碰撞檢查(collision detection)及即時預鑄生產，也額外獲得許多的效率提昇成果。除了隨時更新修正BIM模型資訊外，所有關係人代表每週固定的會議，也逐一檢討這些修正工作且加以確認。除了專案團隊都可以在正式進行施工前就獲得「建成鋼構」的模型外，一般要花許多人力的竣工圖說製作，也因採用BIM而自動輸出。經由設計者與施工人員間反覆進行的事先模擬，有效率地將「改變訂單」幾乎降至零，而節省了許多成本。事後證實，這些即時修正更新「3D模型及其資訊」的工作，是該專案能達成精實營建(Lean Construction)典範的主因。

#### 2-4-2 國內BIM的應用情形

整理美國在BIM技術、流程及其展現的成果，可以體認到所謂建築資訊模型(BIM)，在觀念上就是應用現在已經成熟的IT科技之電腦軟體，在實體

營建工程展開之前，先以精確的三維模型在電腦上虛擬建成，並針對可能出現的問題及衝擊，事先進行模擬分析，改變以往在施工進行中倉促應變的做法，事先解決問題而不產生衝突與爭議，進而提昇AEC產業的效率與產值。台灣地區的IT產業相當進步，以台灣大學土木系為首的學術界，在工程視覺化技術上也跟緊世界潮流，甚至於與中鼎工程顧問公司共同開發視覺化4D營建管理程式「Construction Direct」及「Erection Direct」[61]，並分別成功應用在中鼎大樓興建工程及中油大林煉油廠之吊裝工程；在BIM技術的推廣教育方面，除深入剖析技術發展過程、BIM工具介紹、及成功應用的案例[62，63，64]，也成立研究及教育訓練中心，進行BIM技術人力的培訓工作。成功大學也以專案管理的角度，深入開發多維度專案資訊整合模型，供應用在建築專案施作期程中成本、工期、及品質的決策上[65]。在工程界方面，台灣世曦工程顧問公司已導入BIM技術，並受台肥公司委託，以BIM工具實際執行集合住宅開發案中的成本控制、設計檢討、及資訊整合的工作，充份發揮BIM工具的效益[66]；該公司已於2010年成立BIM中心，並與Autodesk公司合贈BIM系列軟體給三所大學，以期在教學上造就學生帶著新觀念進入產業服務。中興工程顧問公司最近兩年來，分別由研資部、建築部、結構部、機械部、軌道二部，各別導入3D設計能力並嚐試進行整合，在辦公大樓、高科技廠房、捷運場站都有不少應用經驗，除了擬定完整的BIM建模作業流程，對於模型的應用與分析效益，也已有深刻的體認，甚至對於不同BIM軟體工具的協同作業(Interoperability)模式進行探討[59，67]，並已提出「需有AEC產業環境、施工廠商、業主或使用者觀念等外部環境之配合，才能發揮BIM技術的真正效益」的務實看法建議。



### 2-4-3 工具發展造成的流程改變

由於營建工程多重專業的複雜特性，這種「分工建模、協作設計、整合分析」的所謂「BIM流程」，很有可能為營建產業帶來革命性的改變，這種制度性的變革，根據美國建築師協會(American Institute of Architects, 簡稱為AIA)的文件[68]，就是所謂專案整合交付(Integrated Project Delivery, 簡稱為IPD)，與傳統的設計/發包/施工(Design, Bid, and Build, 簡稱為DBB)比較如圖2-20所示。AIA的文件說明中，指出IPD與DBB最大的不同是施工廠商提早進入參與設計，也就是在概念形成進入要件設計(Criteria Design)階段，除了建築師外，業主要在這個階段請參與的總包商、結構技師、土木工程師、及其它專業分包商，例如機水電分包商、景觀工程分包商等，一起針對各種不同的方案進行設計與分析，共同以「對專案最佳」的觀念團結合作；在這個階段中應用BIM技術的「分工建模、協作設計、整合分析」可以促進有效溝通，反覆執行不同替代方案的有效模擬分析，這個階段的產出是專案範圍及預算，並且初估工期(即構成專案的要件)，且由業主簽核。



圖2-20、營建工程傳統流程與專案整合交付(IPD)流程之比較[68, 69]

基於業主簽核的專案要件(範圍、預算、及工期)，如圖2-20所示，專案團隊即進入細部設計階段(Detailed Design)，各不同專業人員，以共同的目標，各自以其專業發展精煉而成細部設計，並再次整合確認整個營建專案的細節。此後，進入執行文件準備階段(Implementation Documents)，實際上就是研擬專案執行計畫，也就是團隊共同聚焦在「如何執行」來擬定的施工計畫；由於是共同擬訂，且以溝通良好的BIM工具進行，這種計畫將有獨特性、動態性、彈性、時效性、及主導性；施工計畫完成後即可針對需要外購的部份進行採購(Buyout)，圖3中可以看到採購可以提早進行，機關送審部份(Agency)，也因設計的完整性，可以在適當的設計期間就執行。採用IPD的專案到了施工部份，就能充份瞭解前面團隊合作的成效，由於以整合的模型為基礎，施工時很可能可以做到「對的人在對的時間做正確的事」，施工現場也按計畫演變，不必有過多的管理需求，很少提出資訊需求(RFI)，有可能做到精實營建(Lean Construction)。最後竣工時，不必花時間繪製竣工圖，只要將更新過的三維模型交給業主，以為日後設施管理所用。IPD的理念認為團隊合作關係允許錯誤發生，才能鼓勵成員盡其所能，但若有遭訴的可能，則執行的個人難免為防禦心中的恐懼而不能盡情發揮；故在良好的IPD專案，應在多方契約內明訂「除了詐欺等犯罪行為外，契約各方間不得提出爭議訴訟」的條款，確保團隊的夥伴關係，共同分享專案效益，共同承擔專案風險[69]。

BIM不只是3D繪圖工具，軟體的學習門檻較高，又需要有豐富的工程實務經驗來搭配，在各種專業軟體的協同作業方面，也確實存有整合不易的問題，有待專業的軟體供應商協助解決。但是，在沒有充足的市場需求之前，軟體開發商不易提供完備的工具，而沒有完備的軟體工具，不易展現BIM整合流程的效益，就又很難擴充應用BIM的市場，因此而停滯在所謂「到底該先有雞?還是先有蛋?」的假議題中循環虛耗，如圖2-21所示[70]；

使得將成熟的BIM工具應用在實際的專案中驗證BIM流程績效，成為嚐試提升AEC產業生產力的重要一環。

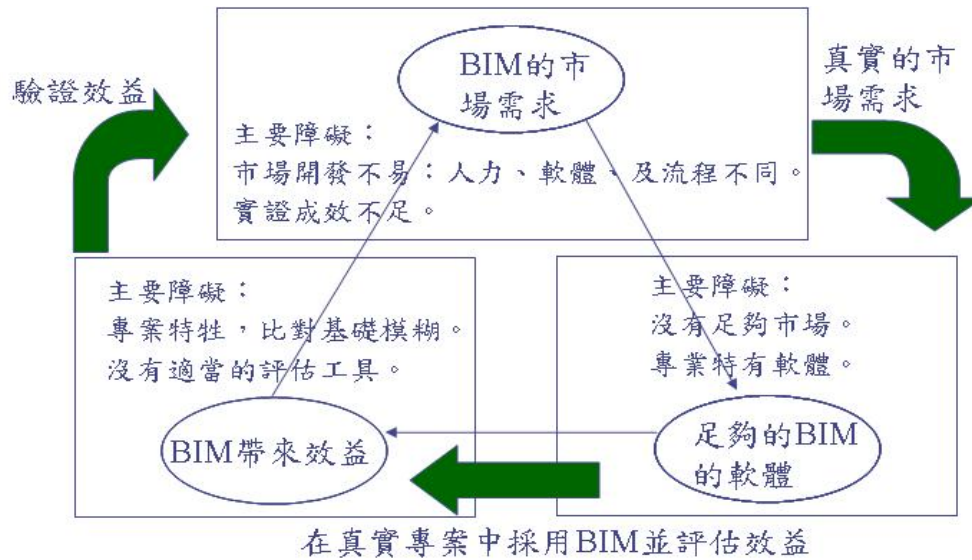


圖2-21、市場需求與BIM軟體供應的循環議題示意圖[70]



### 第三章 研究方法與流程

本章為針對本研究所使用之分析方法與步驟加以說明。

#### 3-1 研究方法、進行步驟及執行進度

掩埋場址之治理及其土地永續利用之研究策略方法，先由空間資訊之判釋，配合環境安全、大地安全、土地利用狀況、及風險評估，採用的特性要因圖如圖3-1所示。本總計畫負責規劃各子計畫的研究重點、彙整各子計畫的研究成果、修正研究方法、並促進各子計畫間的整合，以達成本整合型計畫之目標。總計畫與各子計畫逐年進行關聯示意圖如圖3-2所示。

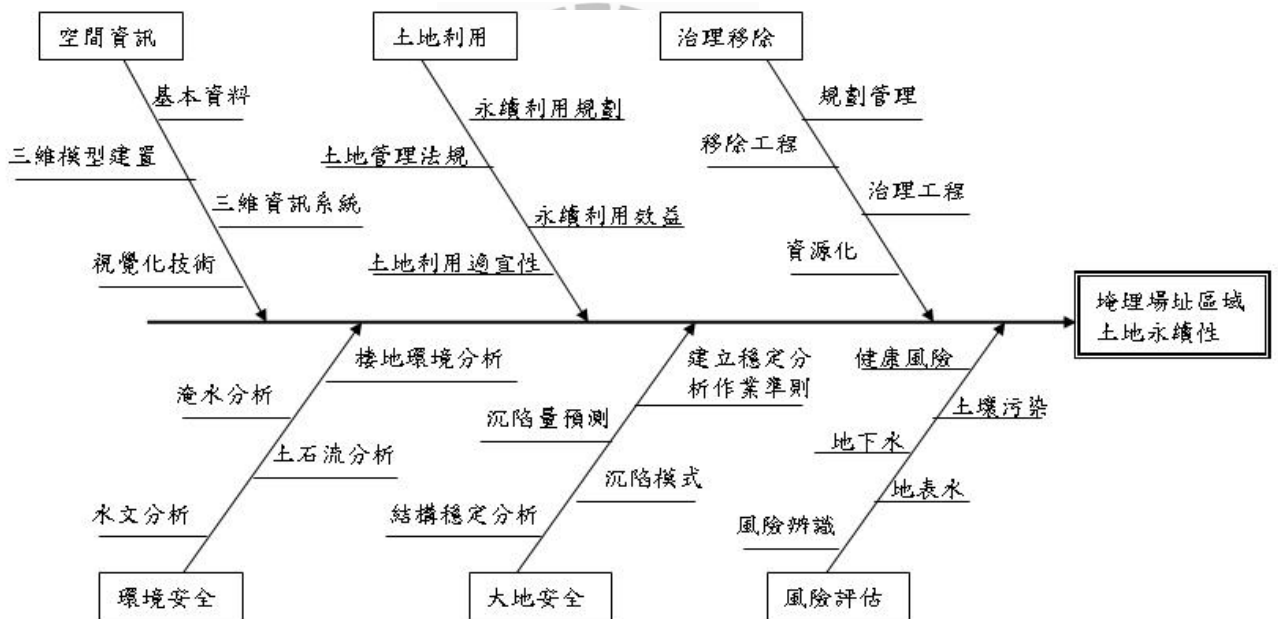
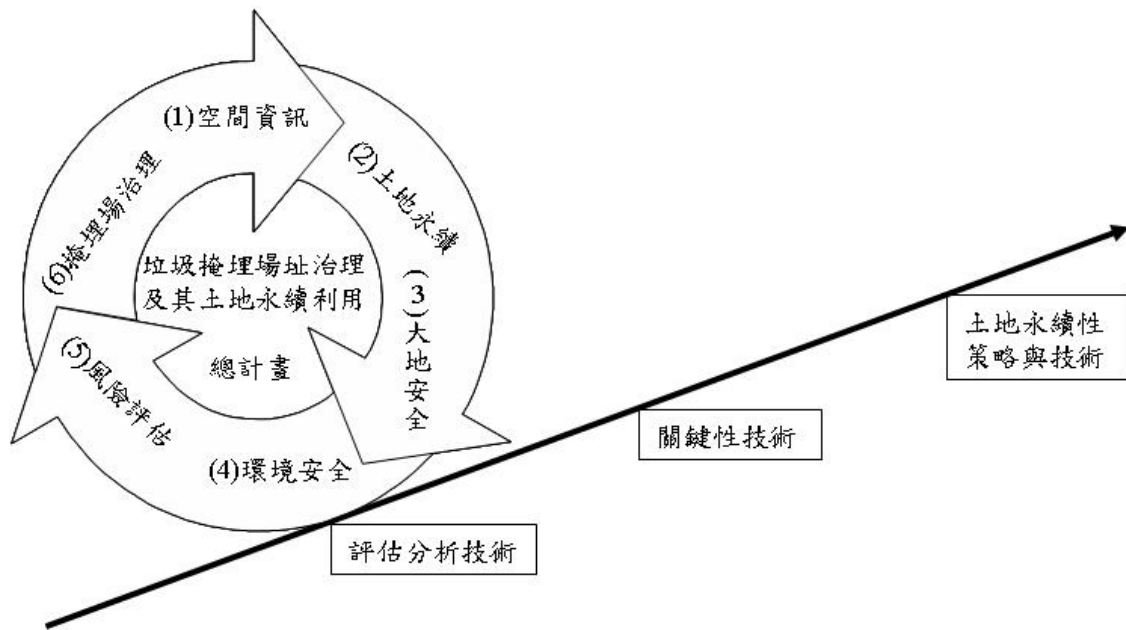


圖3-1、垃圾掩埋場址之治理及土地永續利用之研究特性要因圖



圖中括號內數字為子計畫編號

圖3-2、本總計畫與各子計畫逐年進行關聯示意圖

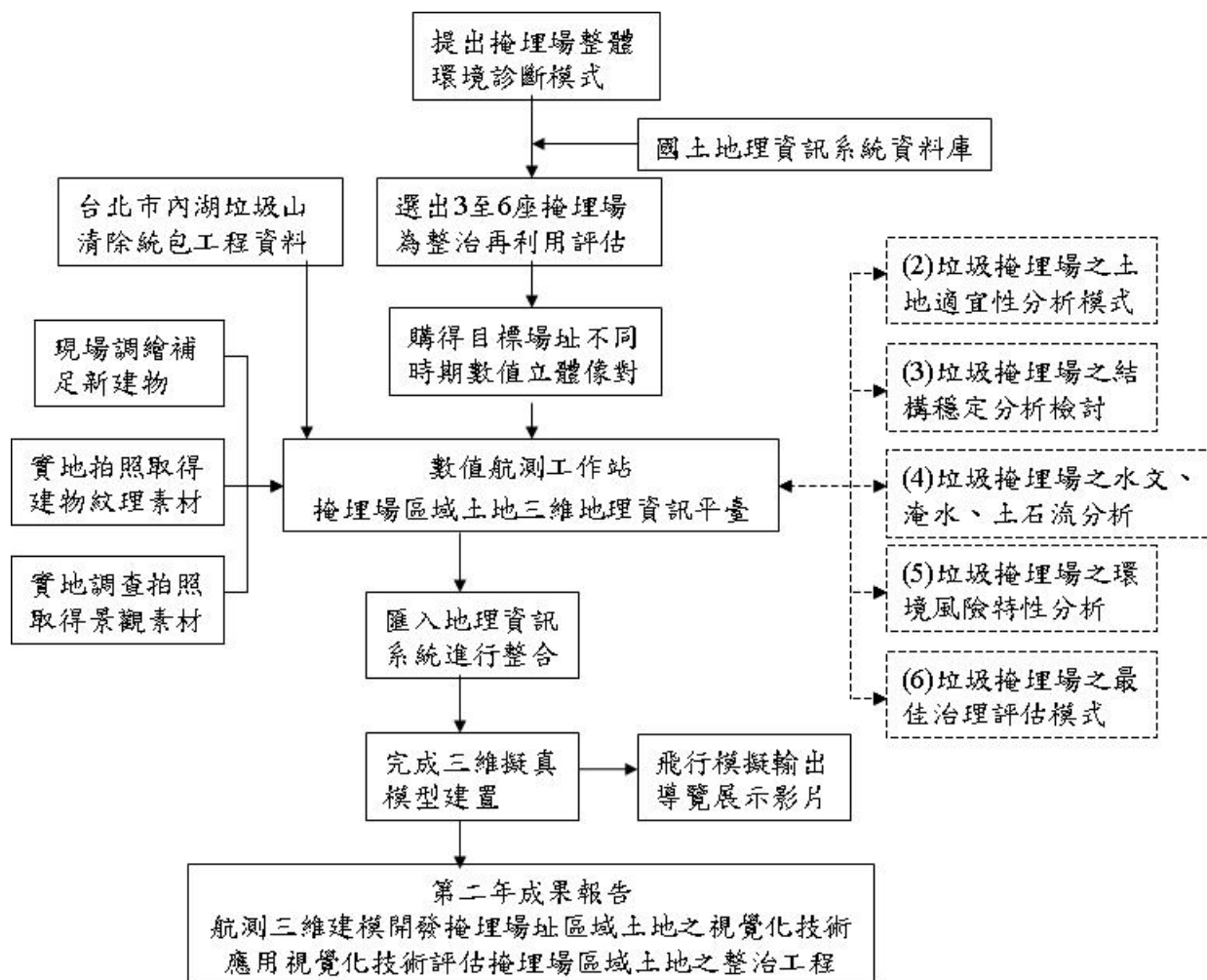
本子計畫負責建置「垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統」，除了發展本身的三維展示分析系統以外，尚需提供其它子計畫三維分析所需的基本圖資，並將其它子計畫的分析結果，以視覺化技術展示，並進行整治工程模擬，進而發展本土化的三維環評工具。本子計畫分年執行的工作項目如表3-1所示。

表 3-1、垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統建置及視覺化應用分年執行重點工作

年度	執行工作項目	採用主要方法技術	預期成果
97	以現有空照影像利用航測立體測繪技術建立掩埋場區域土地三維資訊系統之技術	(1)文獻整理分析 (2)航測立體製圖 (3)航測立體量測及分析 (4)三維城市建模技術	(1)掩埋場之三維地理資訊系統(2)掩埋場之時空地理資訊變遷分析技術
	發展以不同時期之航照影像分析掩埋場區域土地資訊之技術	(5)三維地景建模技術 (6)現場調繪衛星定位	
98	以航測三維建模開發掩埋場址區域土地之視覺化技術	(7)拍照紋理敷貼影像處理 (8)多媒體動化製作等視覺化技術	(1)掩埋場地理資訊三維分析模式及視覺化。(2)掩埋場整治工程視覺化。
	應用視覺化技術評估掩埋場區域土地之整治工程	(9)地理資訊系統整合分析平臺 (10)Google地球三維展示技術	
99	應用視覺化技術作為掩埋場整治工程之環境評估工具		(1)工程專案視覺化關鍵技術(2)開發三維環境影響評估工具
	開發本土化之三維環境影響評估工具		

本計畫所建立的三維資訊平臺，將配合提出的整體環境診斷模式，對封閉復育中的掩埋場進行分析，並優選出3至6個場址，再供本子計畫進行三維模型建置，並結合其它子計畫之土地適宜性分析、大地穩定性分析、環境安全性分析、整治工程評估、及風險評估進行分析，並針對其中的1至2個掩埋場，由總計畫提出整體環境問題分析，危害分析、整治工程之環境影響評估、及土地永續規劃，最後則交由本計畫執行三維擬真視覺化，以供展示溝通促進民眾瞭解之模擬。本子計畫的執行重點則在於(1)以航測三維建模開發掩埋場址區域土地之視覺化技術，及(2)應用視覺化技

術評估掩埋場區域土地之整治工程，進行的流程如圖3-4所示。工作拆解後共13項工作，預定進度甘梯圖如圖3-5所示。



註：括號內編號為子計畫編號

圖3-3、本研究第二年之進行流程及與各子計畫之關係

月次	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月	第12月	備註
彙整資料決定場址	*			**			**			**			
整合會議	*			*			*			*			
ArcView整合平臺	***												
Google地球平臺	**												
申請購置空照圖		***						***					
內外方位建置		*	***	***				*	***				
現場調繪補點			**	**					**				
編修數值地形模型			*	***	***				*	***			
輸出正射影像			*	*	*					*			
三維資料分析						***		***			***		
三維資料整合展示						**	***				**		
內湖垃圾山圖資處理		**						**					
撰寫報告				*			*			*		***	
預定進度累積百分比	9	16	25	41	46	52	61	72	80	90	96	100	

圖3-4、本研究子計畫一第一年預定進度甘梯圖



### 3-2 本研究採用的主要軟硬體設備

本計畫以蒐集資料、彙整各子計畫的研究成果為主，採用一般蒐集分析資料的電腦軟硬體，較特別的軟體是地理資訊系統，第二年的現場調查可能會使用到本系擁有的測量儀器。本子計畫採用的儀器設備含硬體如表3-2所示，軟體設備則如表3-3所示，這些設備大都是中華大學土木與工程資訊學系的測量實驗室原有的設備，加上最近兩年申請人在講座教授的指導下，負責執行校內的前瞻性研究重點計畫，主題為廢棄物場址污染控制及資源化研究計畫，因負責空間資訊之分析與提供，而由校方補助購置的新儀器，目前的狀況良好，如圖3-10所示，也經由開設大學部的測量學及實習，空間資訊應用，及地理資訊系統應用，而培養一批在空間資訊領域有興趣且可以執行三維立體量測及建模的學生，只要獲得適當的經費補助，申請人有信心可以順利依計畫完成工作。

表 3-2、本研究預計採用的主要硬體設備

硬體名稱	硬體介紹	本研究用途
工作站電腦	CPU : Intel(R)Core(TM)2CPU, 6600@2.40GHz, 2.40GHz 記憶體：3.50G ; 硬碟：300GB 顯示卡：NVIDIA 8600GeForce 8600GT	進行各項與電腦有關之建置作業
一般電腦	CPU：AMD Athlon(TM) 2500+ 記憶體：1.0G；硬碟：80GB 顯示卡：MSI RX9550-TD128SP	資料處理及三維繪圖軟體建模使用
偏極光立體觀測裝置	透過偏極光立體觀測裝置，可讓使用者觀測到立體影像，藉此進行相關的建置作業	立體影像觀測
Topomouse	為ERDAS航測軟體LPS模組專用之特殊功能滑鼠。	立體影像觀測時量測及繪製作業
數位相機	SONY P150七百二十萬畫素數位相機。	建物紋理萃取
電子測距經緯儀	GTS-210電子測距經緯儀，可進行角度、距離及座標量測作業。	建物或景觀模型資料欠缺時，實地進行量測作業

表 3-3、本研究預計採用的主要軟體設備

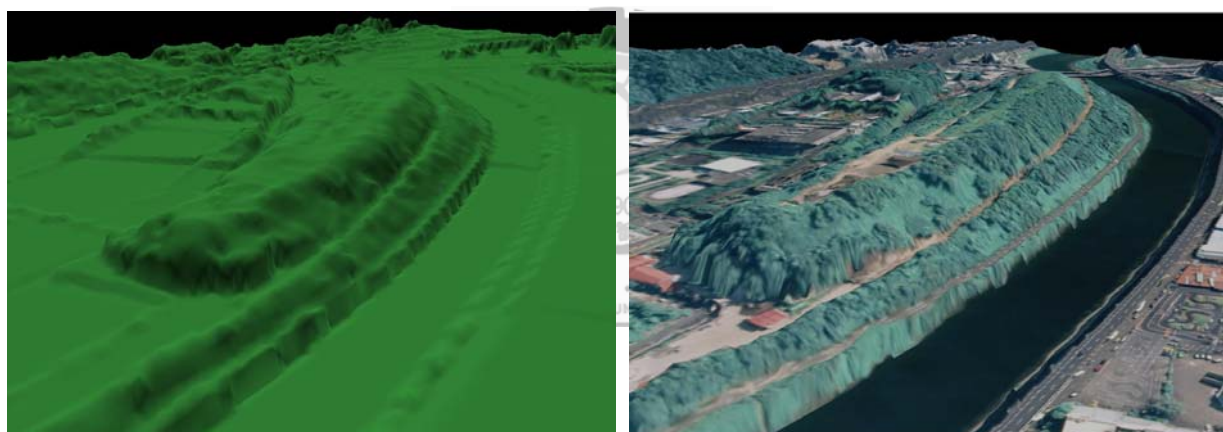
軟體名稱	軟體介紹	本研究用途
Leica Geosystems 遙感探測及影像處理軟體	本研究主要利用 Leica Photogrammetry Suite(LPS)及Stereo Analyst模組進行建模作業。並嘗試使用ERDAS影像分析功能分析掩埋場址區域土地特性。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 數值地形模型製作</li> <li>2. 正射影像產生</li> <li>3. 三維建物模型製作</li> <li>4. 建物紋理敷貼</li> </ol>
ArcGIS 9.2	ArcGIS為目前地理資訊系統使用主流之一，具有整合空間資訊及協助解決真實世界問題的決策支援系統。本研究主要以ArcGlobe模組為整合平台，並希望藉此達到更廣泛的應用。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 三維地形及建物整合平台</li> <li>2. 三維景觀建模</li> </ol>
3D Studio Max	三維繪圖軟體，可用來建立並編輯三維建物及景觀模型，以及進行相關的三維模型或動畫製作。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 三維建物模型製作</li> <li>2. 建物紋理敷貼</li> <li>3. 三維景觀建模</li> </ol>
Adobe Photoshop	影像編修處理軟體，可進行影像編修、色調調整及糾正等處理工作。	建物紋理影像糾正及編修
MicroStation	MicroStation亦為數值繪圖軟體的一種，在本研究中主要為LPS的外掛繪圖軟體。	數值高程模型製作



圖3-5、本研究預計採用的偏極光立體觀測數值航測設備

### 3-3 可能遭遇困難與預定的解決方法

掩埋場的視覺化技術在三維模型建置上不同於一般的城市建模以建物為主，而是以地形景觀為主，空照圖則只有頂面，缺少側面的景觀影像，在建物的部份乃以到現場拍攝側面影像，在回到實驗室敷貼紋理的工作，但地形景觀的「側面」不同於建築物，影像編修部份很可能遭遇困難。以本研究試執行「內湖垃圾山」的三維視覺模擬經驗，用取得的航照圖，進行數值地形模型自動匹配，製作5m數值地型模型，再將製作的正射影像敷貼後，得到的內湖垃圾山三維視覺模型如圖3-6所示，由圖3-6可知景觀的紋理不容易顯現。



內湖垃圾山5m數值地形模型

內湖垃圾山三維視覺模型

圖3-6、本研究以航測圖製作內湖垃圾山的三維視覺模型之芻形

預定解決的方法是：

- (1)投入人力進行現場拍照及調繪。
- (2)採用魚眼鏡頭影像。
- (3)探討採用近景攝影測量的可能性。

(4)改用動畫方式(部份不擬真)。

總計畫提出的模擬對像只是本研究整體分析診斷的結果，除了未有完整經驗，工法、程序、法規規定、實際環境影響狀況不明，不容易進行視覺化模擬。本研究原預定以「台北市內湖垃圾山清除工程」為對象，來觀察驗證，該計畫案預定於民國100年1月竣工完成，但卻一直處在停工狀態，致使本研究驗證的能力受限，也使得模擬目標的八里掩埋場，只能以歷年的操作數據為主。然而，此種現象正足以顯示，垃圾掩埋場的整治移除是環境敏感且具爭議性的專案，非常需要有良好的溝通工具，使得本研究轉向加強工程視覺化溝通模擬的方向上努力。

### 3-4 工程專案視覺化的分析流程及驗證方法

為了驗證採用建築資訊模型模擬工程專案的可行性與效益，本研究獲得交通部公路總局之協助，以「蘇樂橋災害改建工程」之細部設計圖、鋼構施工圖等2D圖面，利用Autodesk Revit Architecture 軟體繪製3D模型，再利用軟體內自動干涉檢查的功能進行3D模型衝突檢查，以確保3D模型的代表性，將3D模型結合甘特圖並參考吊裝分包商擬定的吊裝計畫進行吊裝空間評估，將吊裝空間評估結果利用Autodesk Navisworks Manage製作成4D模擬施工的4D動畫，並使用於由業主召集顧問公司、總承包商、吊裝分包商所召開的吊裝溝通協調會上，本研究再針對吊裝溝通協調會討論結果，從新評估本研究擬定的4D吊裝計畫，最後將4D吊裝計畫與實際吊裝情形進行比較，以証實4D吊裝計畫的效益，其流程示意如圖3-7所示。

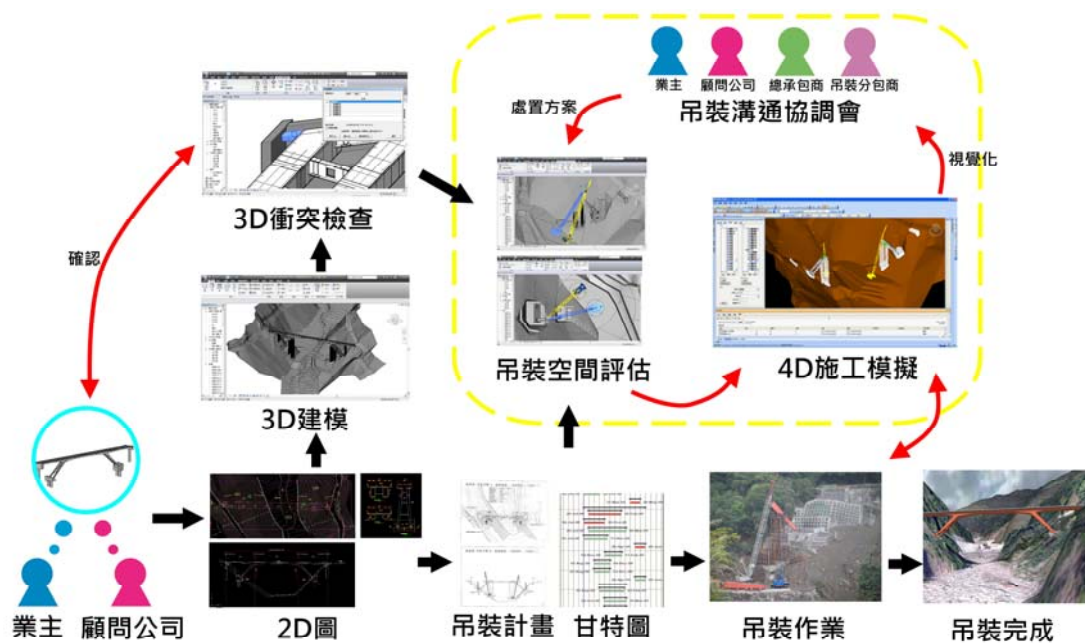


圖3-7、本研究驗證工程專案視覺化之方法流程示意圖

依據本專案鋼構分包商依契約規定提出的「鋼橋安裝施工計畫書吊裝步驟圖說」，將鋼橋構件及臨時支撐各部份系統化命名如圖3-8所示，該吊裝計畫區分為8個主要步驟，並詳細解釋預定進行的吊裝程序[8]。

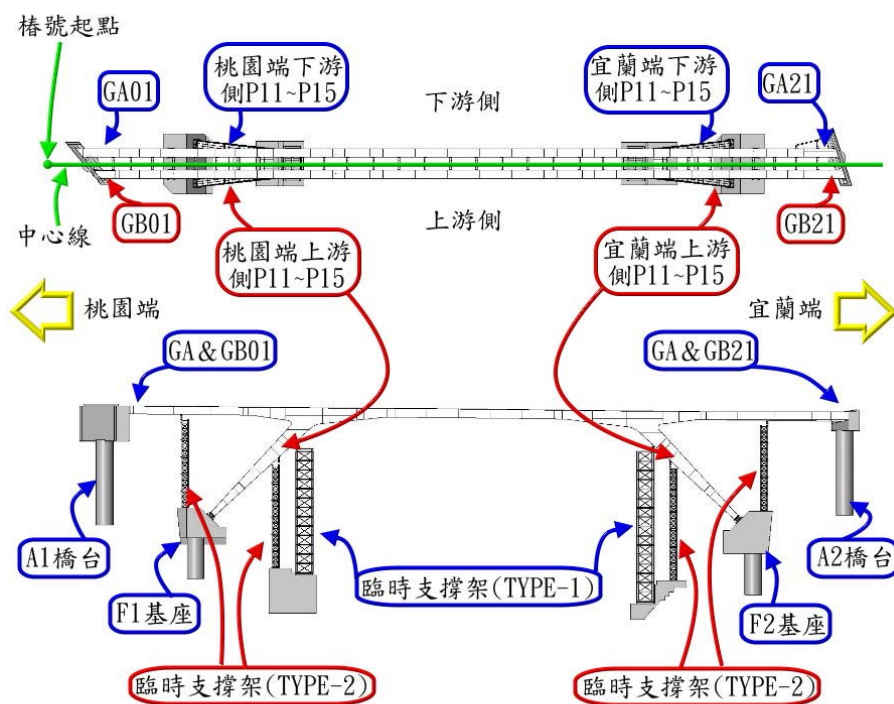
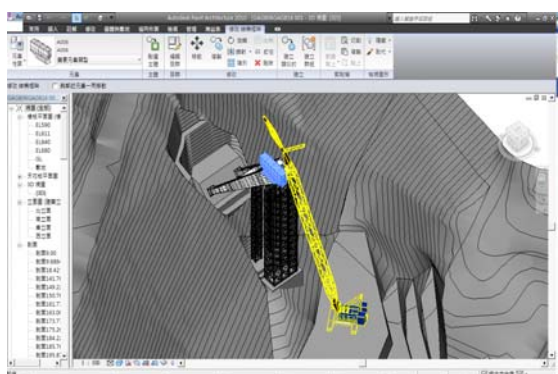
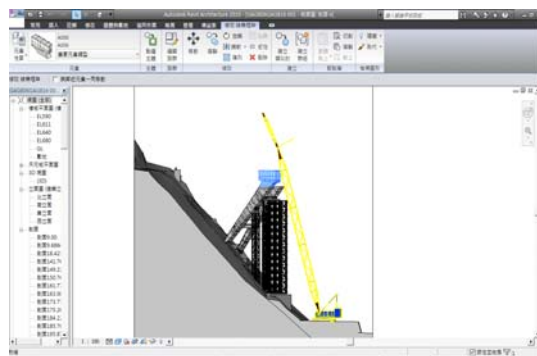
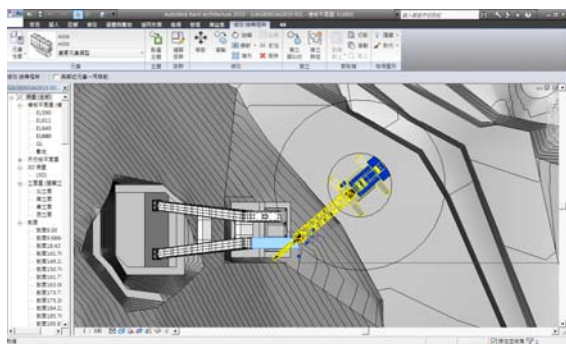


圖3-8、蘇樂橋各部份組件名稱與位置

本研究團隊於2010年1月開始採用BIM建模軟體，將結構工程師的二維設計圖面轉化為三維數值模型，再搭配由鋼構分包商提出的紙本吊裝計畫甘特圖(Gantt chart)，以相關BIM軟體轉化為四維鋼橋吊裝程序模擬，如圖3-9所示，在該專案團隊的吊裝計畫審核協調會上，以電腦模擬的成果，如圖3-10所示的動畫，展現該鋼橋在吊裝期間的不同時間點的空間狀態。

### GB06斜鋼柱吊裝



使用 SCX 2800吊車，吊臂長67.05公尺，作業半徑16公尺，吊車起重能力56.2噸，鋼樑重量36噸，吊車起重能力大於鋼樑重量，可順利完成吊裝任務。

圖3-9、依分包商之吊裝程序製作的三維吊裝步驟示意圖

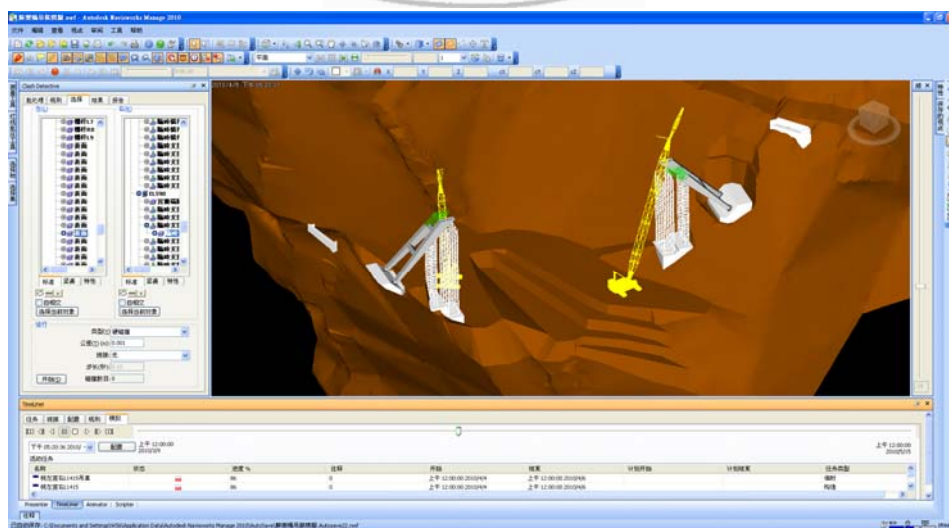


圖3-10、蘇樂橋4D動畫模擬畫面

## 第四章 結果分析與討論

本研究之成果，可區分為以航空攝影測量重組三維時空地理資訊系統對八里掩埋場進行整治移除資訊分析模擬部份，及以建築資訊模型對工程專案進行視覺化分析模擬兩大部份。各分別以兩節整理如下。

### 4-1 不同時間空拍影像處理成果

本研究取得八里掩埋場場址在1986年、1993年、2004年、2005年、及2007年共五個時間點的空拍影像，拍攝時間及相關資料彙整如表4-1所示。由於航空攝影測量在早期是類比影像搭配光學機械式的製圖儀，逐漸發展成數值航測，最近則是高解析度數位攝影機；因此，1986及1993年的立體像對沒有外方位元素，而且比例尺與2000年以後的數位攝影機拍得的影像有很大的差異。針對沒有外方位元素的問題，本研究在2007年的像對重組後，選擇測區內明顯可辨的老民宅或地物，有些地方甚至是墓碑，以該地物的點位在2007年的座標做為在1986或1993年的影像中的控制點，再執行空中三角平差反算得外方位元素，經重覆檢測，確認點位的座標誤差可以控制在2公尺以內。



表 4-1 本研究取得之八里掩埋場址區域土地之空拍影像表

空拍時間	影像類別來源	備註
1986年6月30日	類比像機，高階掃瞄，黑白影像，農林航測所提供	無外方位元素
1995年11月9日	類比像機，高階掃瞄，黑白影像，農林航測所提供	無外方位元素
2004年11月7日	數位影像，民間公司購得，彩色影像	
2006年3月30日	數位影像，民間公司購得，彩色影像	
2008年3月30日	數位影像，民間公司購得，彩色影像	

五個不同時間點的立體像對重組完成後，即分別以航空攝影測量解算軟體，自動配對再加人工編修，輸出不同時間點的數值地形模型及正射影像圖，分別如圖4-1、圖4-2、圖4-3、圖4-4、及圖4-5所示。

# 民國75年台北縣八里衛生掩埋場址正射影像

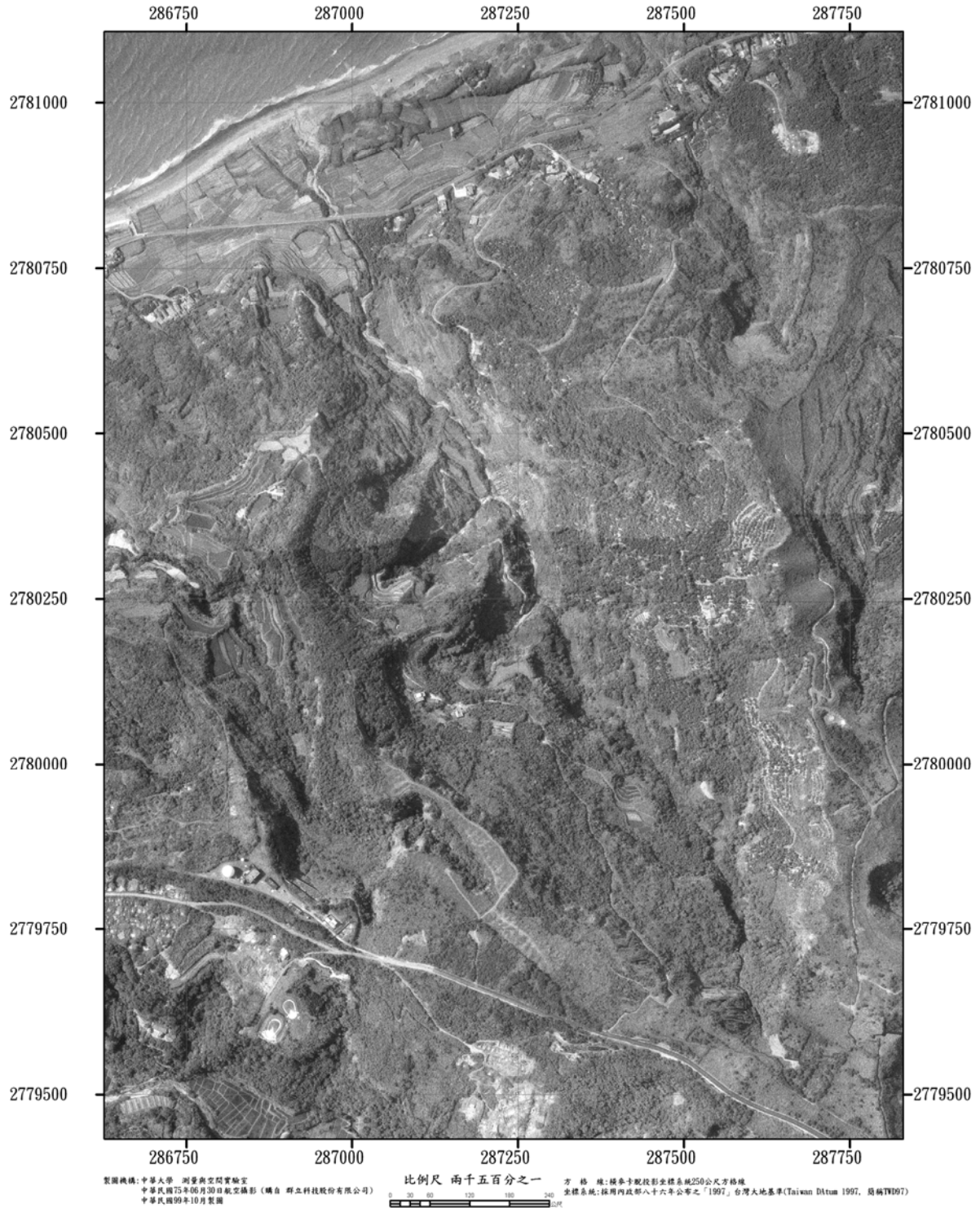


圖4-1 本研究繪製之八里掩埋場址1986年未設場前的正射影像圖

# 民國84年台北縣八里衛生掩埋場址正射影像

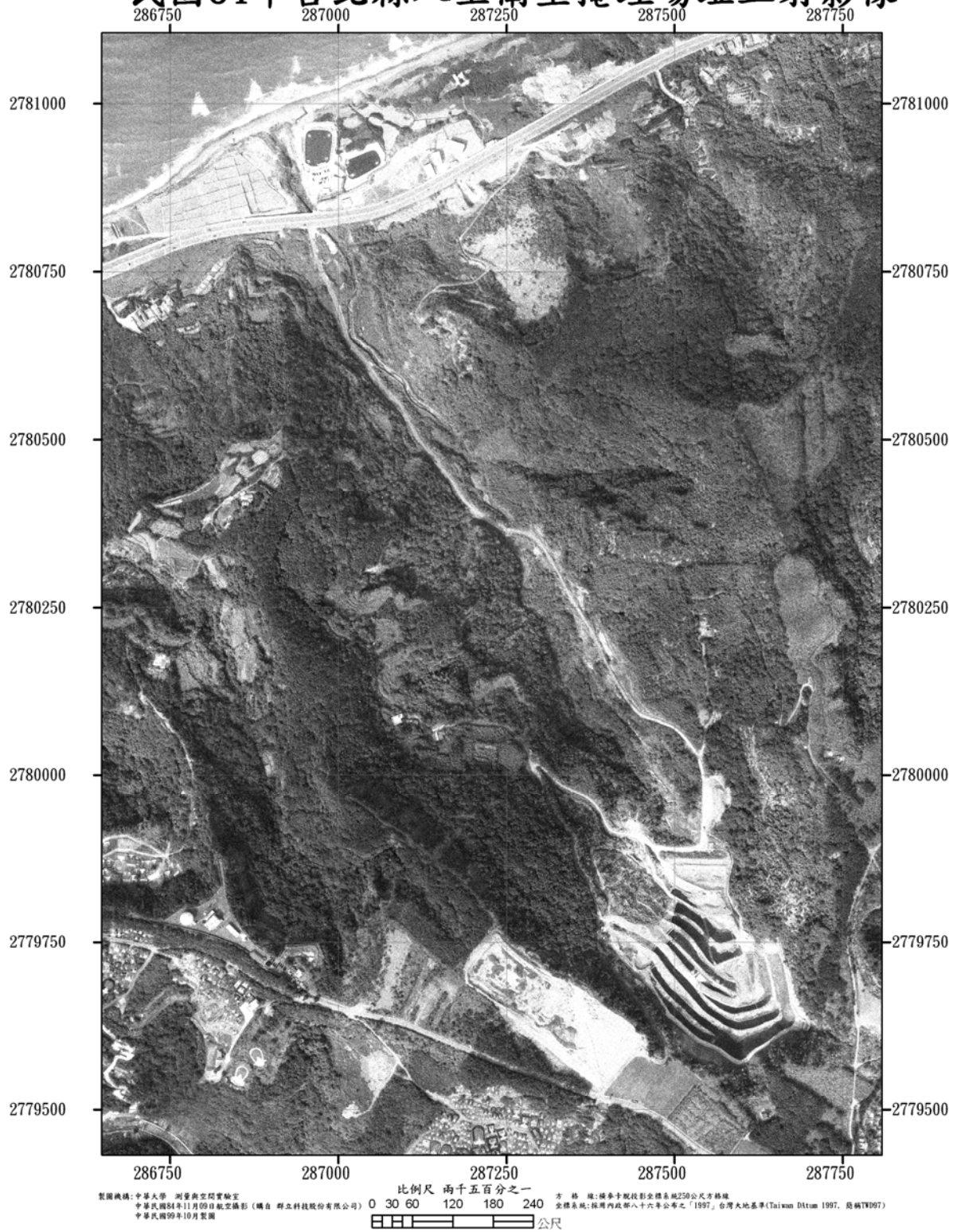


圖4-2 本研究繪製之八里掩埋場址1993年的正射影像圖

# 民國93年台北縣八里衛生掩埋場址正射影像

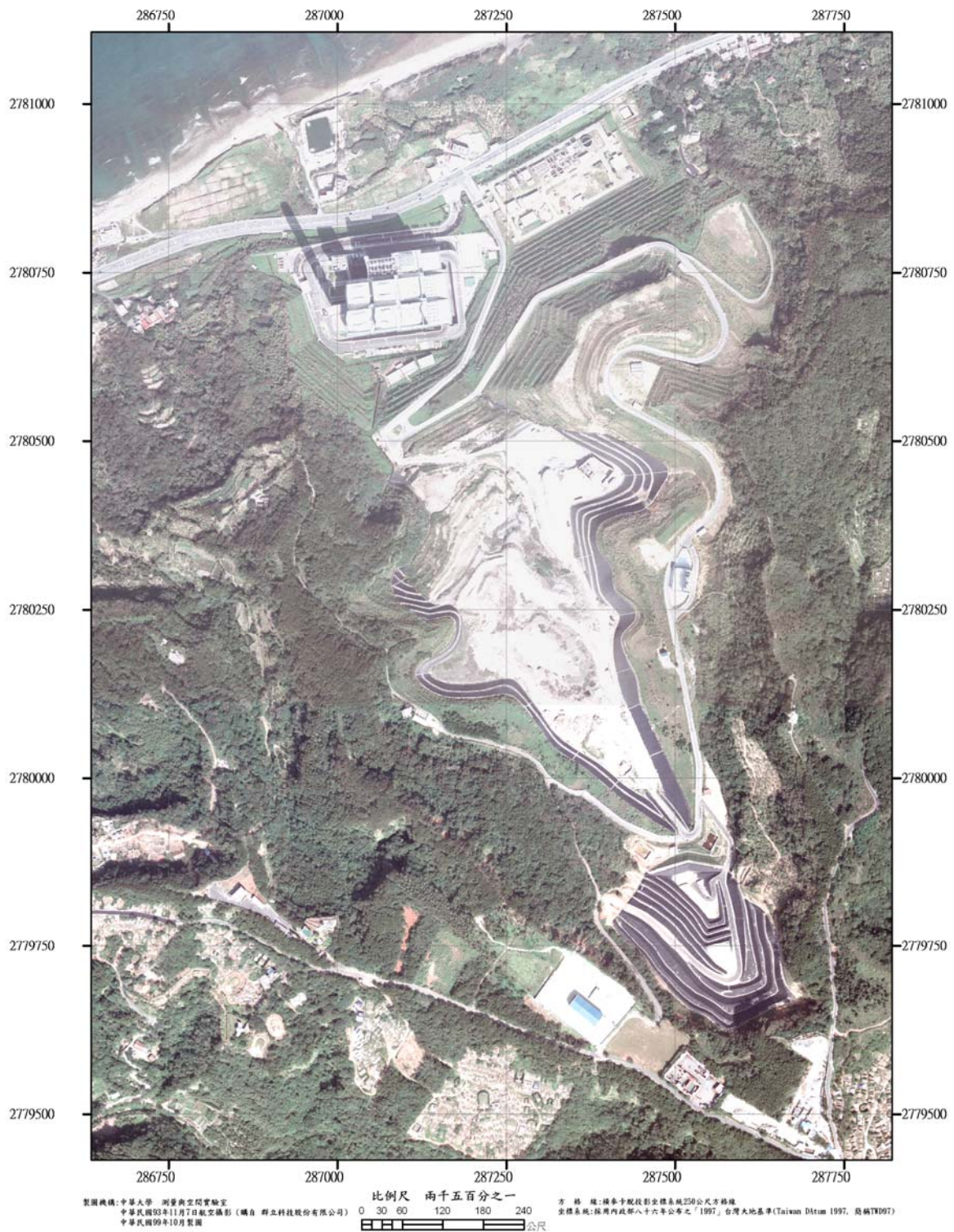


圖4-3 本研究繪製之八里掩埋場址2004年的正射影像圖

# 民國95年台北縣八里衛生掩埋場址正射影像

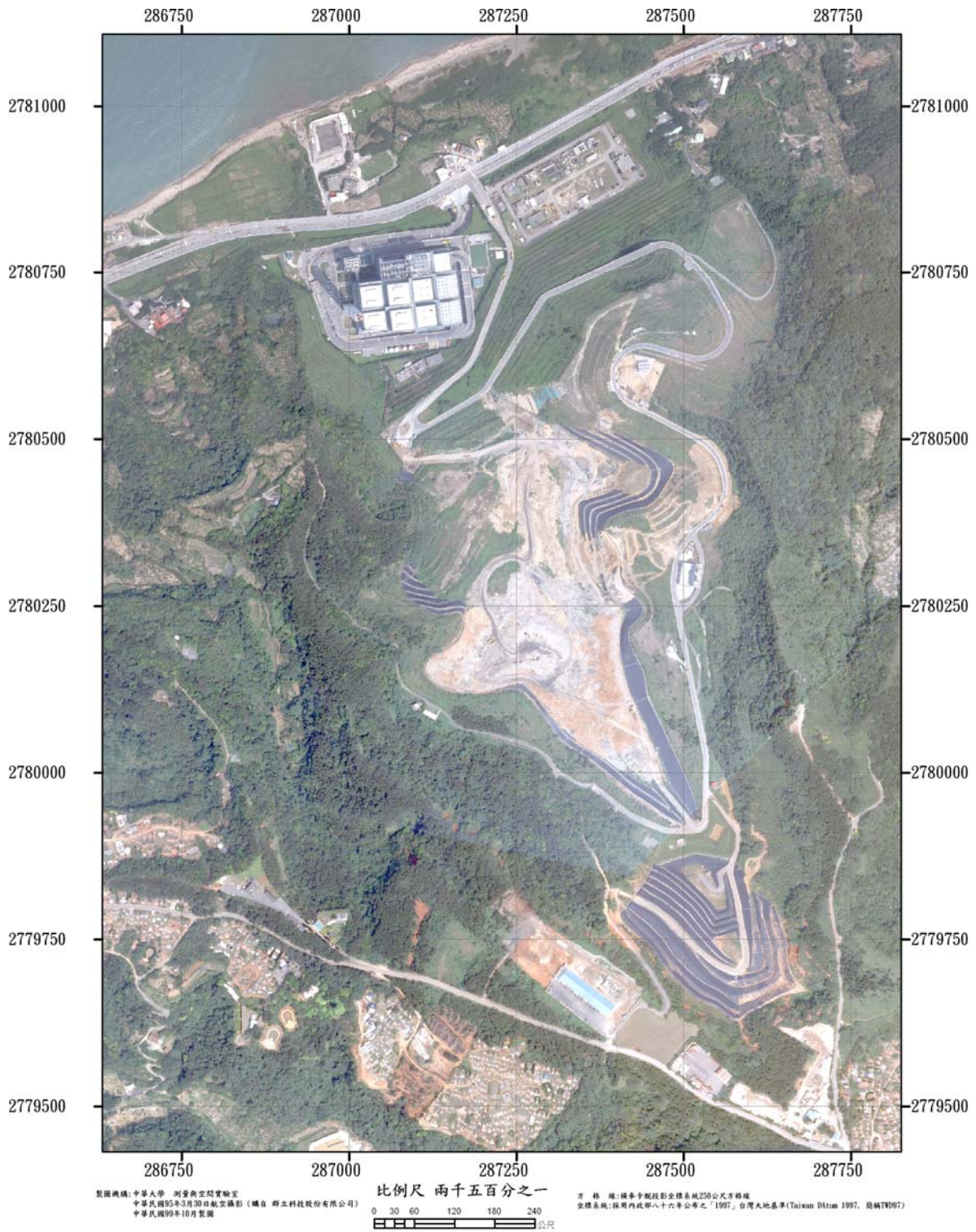


圖4-4 本研究繪製之八里掩埋場址2006年的正射影像圖

# 民國97年台北縣八里衛生掩埋場正射影像

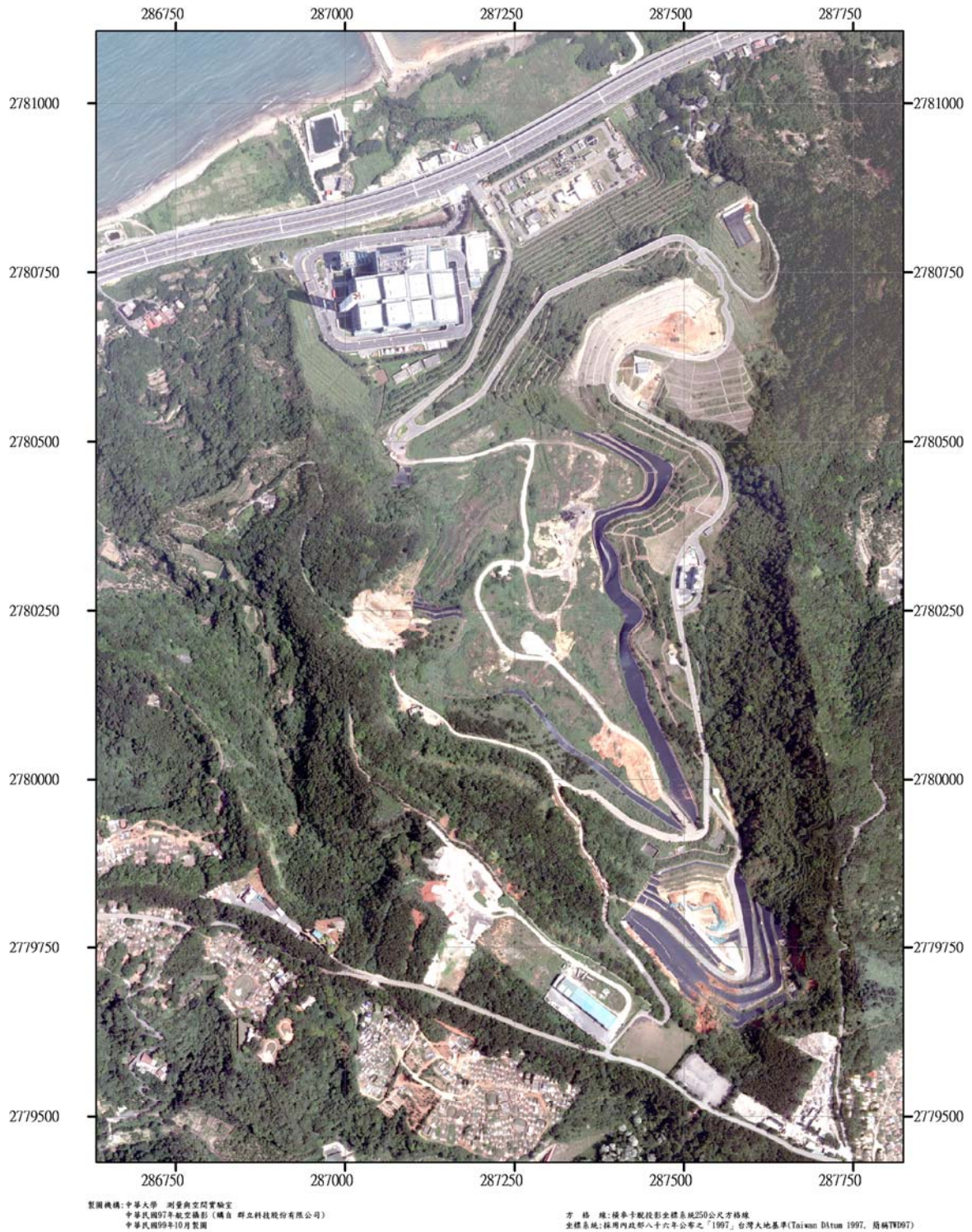


圖4-5 本研究繪製之八里掩埋場址2008年的正射影像圖

八里掩埋場的基本資料，如圖4-6所示，平面圖範圍如圖4-7所示。

- 全場面積：811,589 m<sup>2</sup>
- 掩埋場容量：6,133,000m<sup>3</sup>
- 啟用日期：86年7月1日
- 已使用年數：13年

項目	第一期工程 (應急掩埋場)	第二期工程	第三期工程	第三期後續 開發工程
可掩埋面積(ha) (全場區共27.6ha)	3.1	4	20.5	5.9
可掩埋容積 (立方米)	386,400	243,000	5,340,000	550,000 (承諾380,000)
可掩埋量 (噸)	173,000	127,570	2,803,500	288,750
目前平均日進廠量(噸)	-	-	30~50	90~110
使用現況	已封閉	87.7.1啟用 89.01封閉 沼氣收集後燃燒處理	89.1.10啟用 已使用將近80%容量	95.11啟用

圖4-6、八里掩埋場的基本資料表

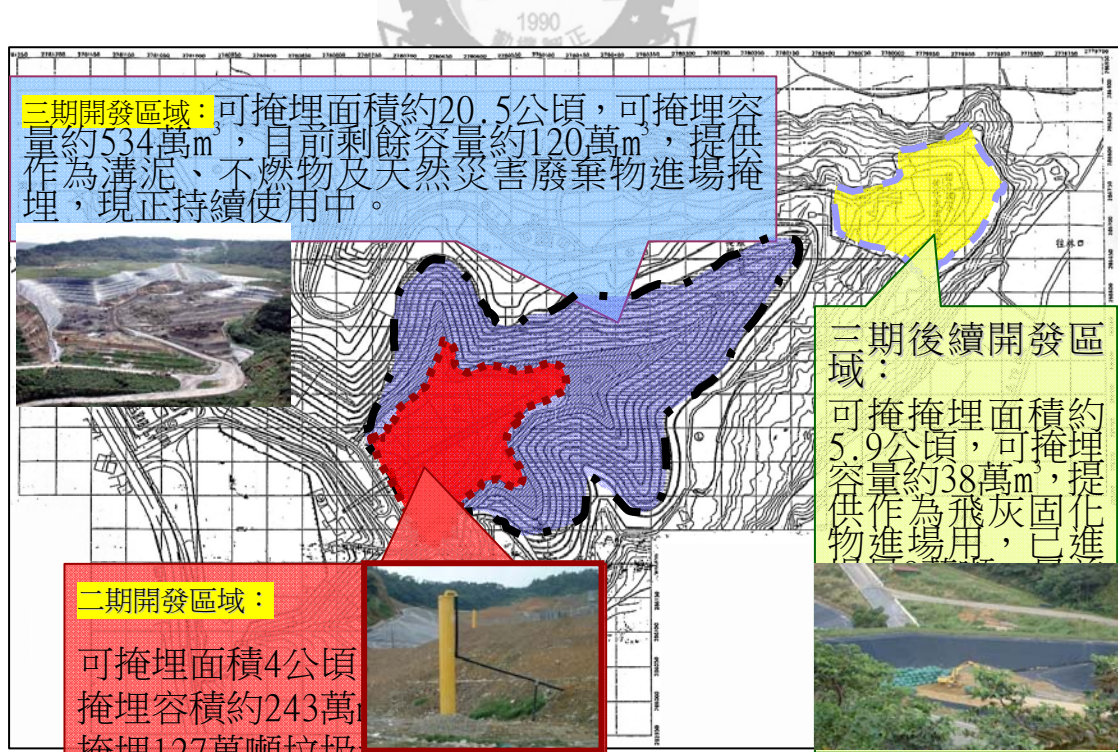


圖4-7、八里掩埋場的平面位置範圍概圖

掩埋量核算部份，則先獲得八里掩埋場的場址設計平面圖及歷年來掩埋量的統計資料，如表4-2所示，搭配匯入地理資訊系統進行分析，可繪製得圖4-8。圖4-8中的直方圖是八里掩埋場自1999年1月有操作紀錄(即第二期以後，第一期為沒有紀錄的緊急掩埋)以來，每個月的進場掩埋垃圾量，單位為公噸，尺度標示在左側座標軸。連結線則是累積的掩埋量，單位則改用一般掩埋場設計估算掩埋量的密度值(每立方公尺0.44公噸)換算而得的立方公尺，尺度標示在右側的座標軸。圖中的三條垂直虛線，則分別代表2000年後拍攝的空照時間，這三個時間點的數值地型模型，在圈選分析的區域內，地形變化的量與圖4-8中顯示的實際掩埋垃圾量之間的差異如表4-3所示。

表 4-3、以不同時間航測地形變化估算八里垃圾掩埋場之掩埋量差異分析表

時間差	地形變化量(m <sup>3</sup> )	實際垃圾量(公噸)	換算實際填埋體積(m <sup>3</sup> )	相差(m <sup>3</sup> )	差異百分比
2004至2006	792,168	234,901	546,281	227,887	41.7%
2006至2008	80,148	64,945	151,035	-70,887	-46.9%
2004至2008	872,316	299,846	697,316	175,000	25.1%

由表4-3可知2004至2006年間以地形變化估算的掩埋體積比進場垃圾量高出約42%，若考慮垃圾掩埋時的覆土來看，地形的變化量高於實際進入的垃圾量是合理的。但用2006至2008年的地形變化，估算的掩埋體積比進場垃圾量反而少了約47%，相當不合理。經查相關資料顯示2006至2008年間，八里垃圾掩埋場發生多處大範圍的崩塌，如圖4-9所示。崩塌災害發生後將挖除掩埋區外土方進行掩埋區內邊坡整治，而使掩埋區內地形變緩，也就是2008年與2006年間的掩埋區內地形變化變小，誤以為填入場區內的垃圾量較少。



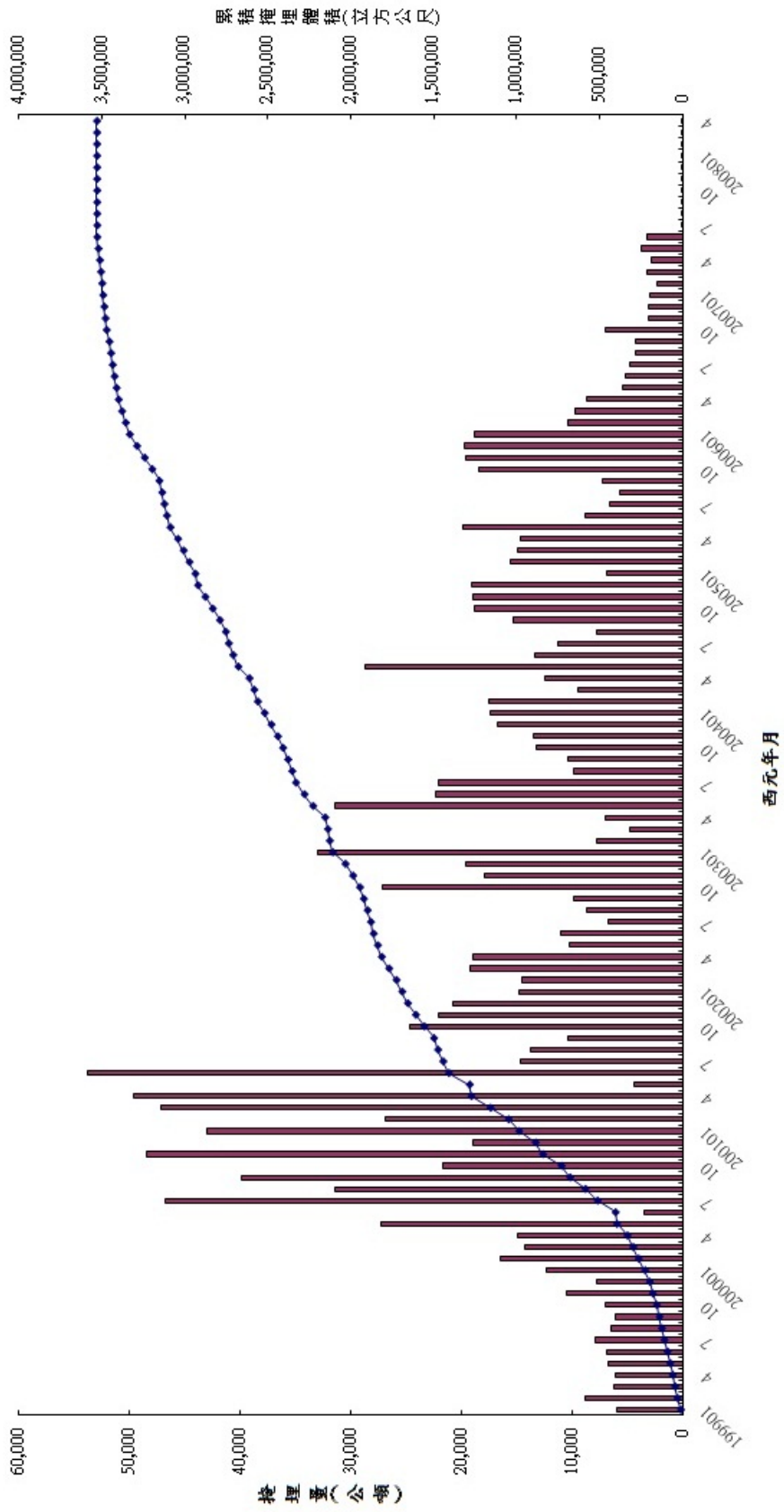


圖4-8、八里垃圾掩埋場之掩埋量統計圖

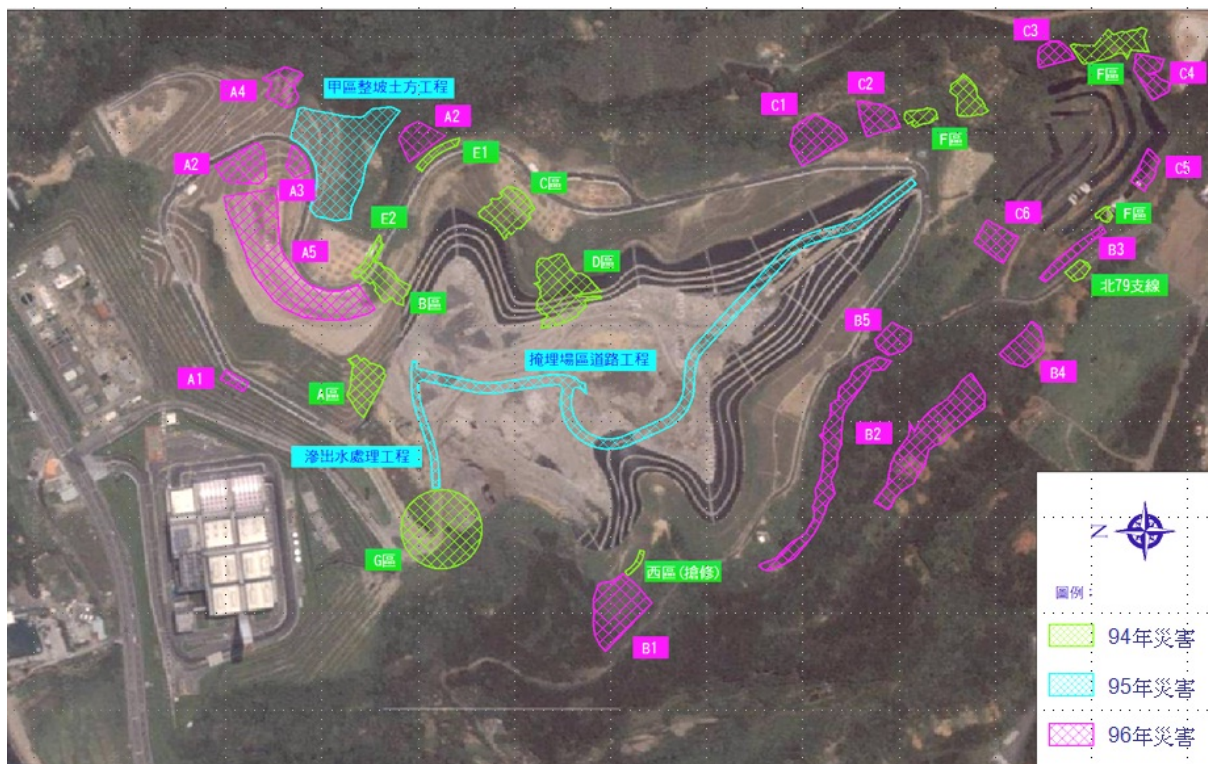


圖4-9、八里掩埋場址近年崩塌災害範圍圖[71]

## 4-2 掩埋場地形變化視覺化

將八里掩埋場的時空地理資訊系統，製做成不同角度的視圖，沿著1986年時，尚未開發成掩埋場的山谷，往上飛行模擬，可以輸出視圖如圖4-10所示。圖4-10的左方為1986年尚未有掩埋場的狀況，圖的右方則量2008年的狀況。由於整個山谷的面積廣大，高程的變化雖超過70公尺，但水平距離確有約1000公尺，因此輸出的視圖上雖有30%的垂直誇大，仍不易看出左右兩邊的體積變化。但因為是由立體像對重組的影像，在航測工作站上，可以有高精度的量測，若有需求時，可以在航測工作站上，以重組的立體影像，進行量測，確實做到回到開發前的地形狀況的要求。

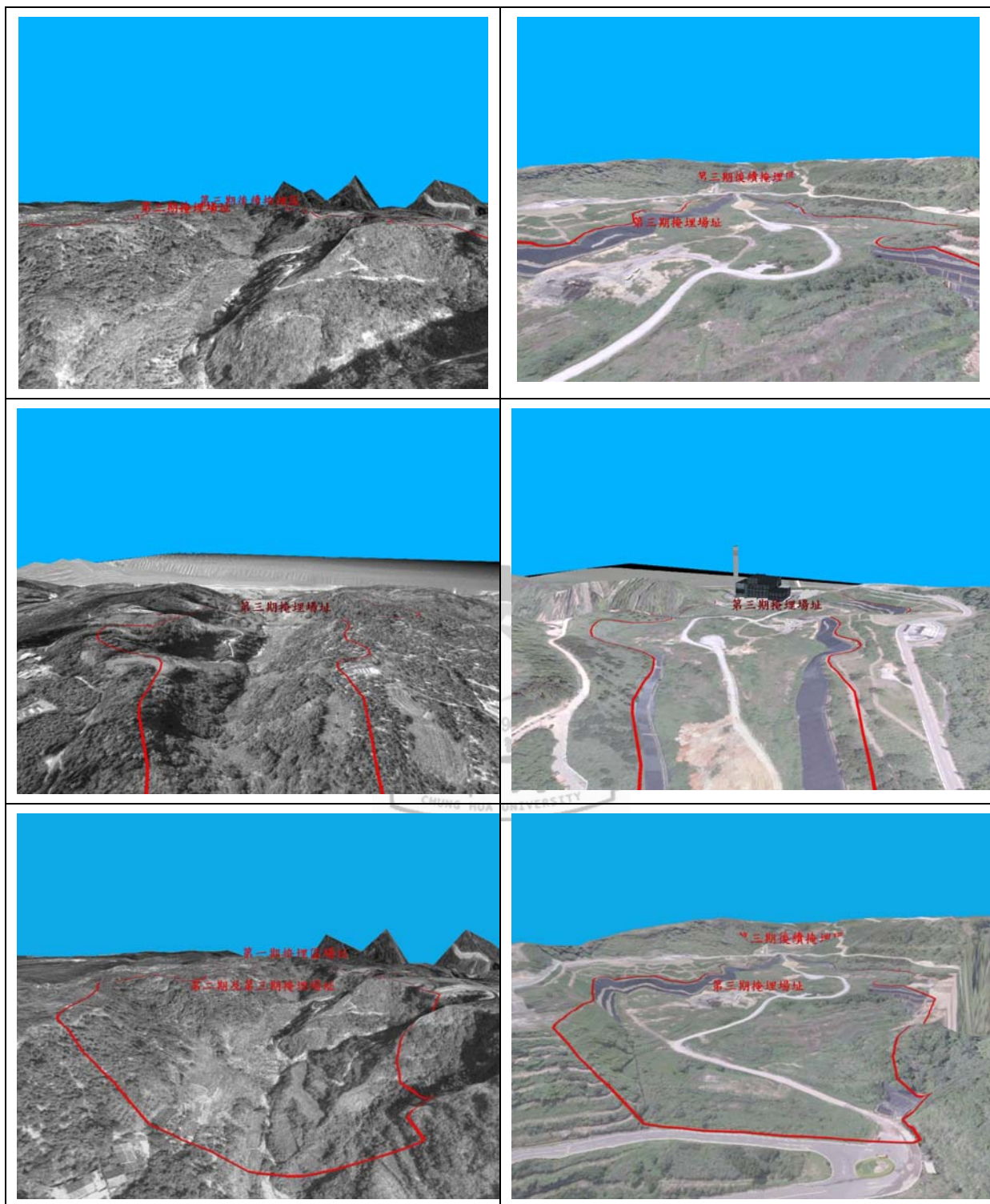


圖4-10、八里掩埋場開發前後地形對照圖

利用Civil3D軟體，分別將1986年及2008年的地形輸入，可以用傳統的剖面圖來展示該區域的地形變化狀況。圖4-11為將八里掩埋場區域依山谷走向切出之縱橫斷面線，圖4-12則為各個剖面圖。

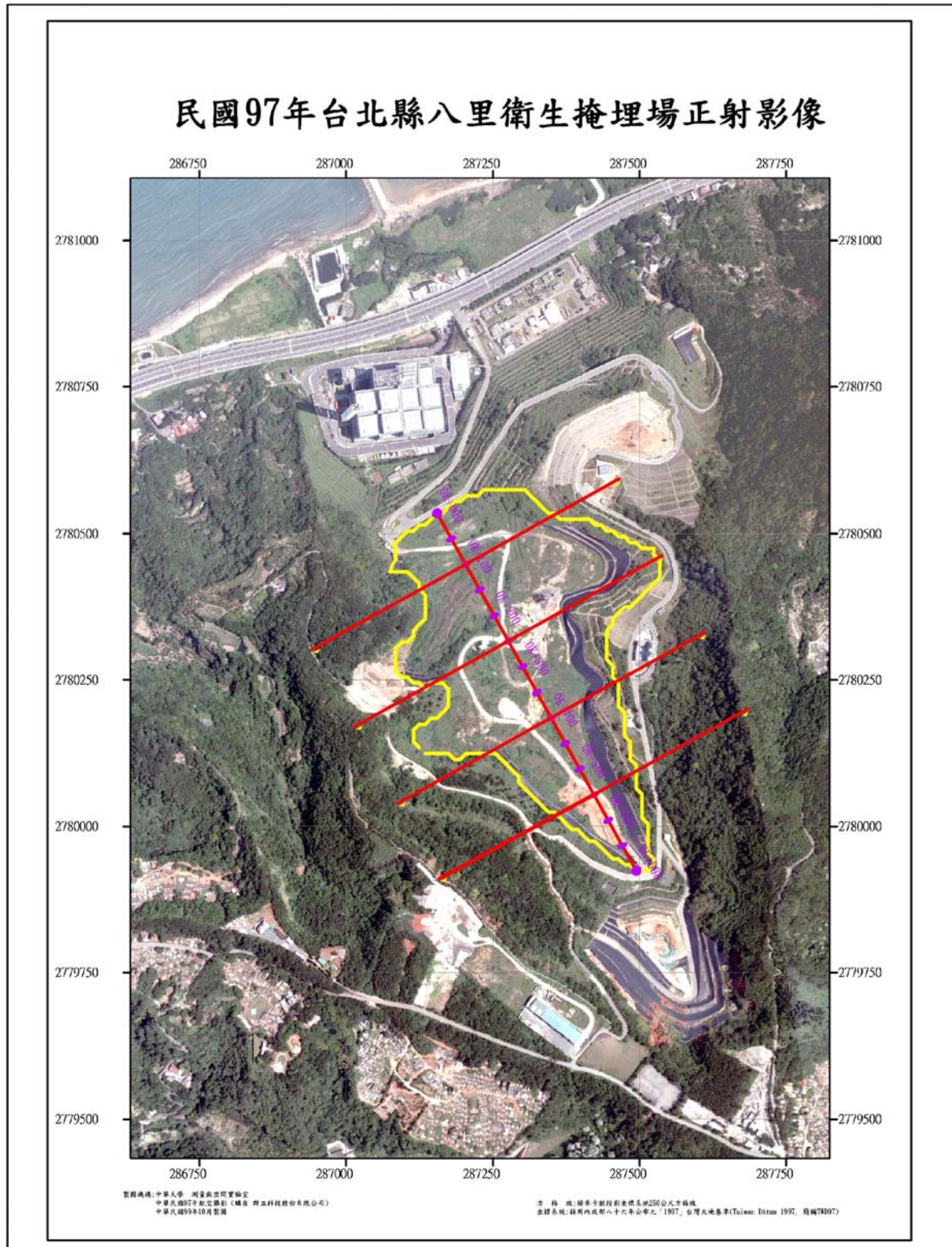


圖4-11、八里掩埋場區域依山谷走向切出之縱橫斷面線

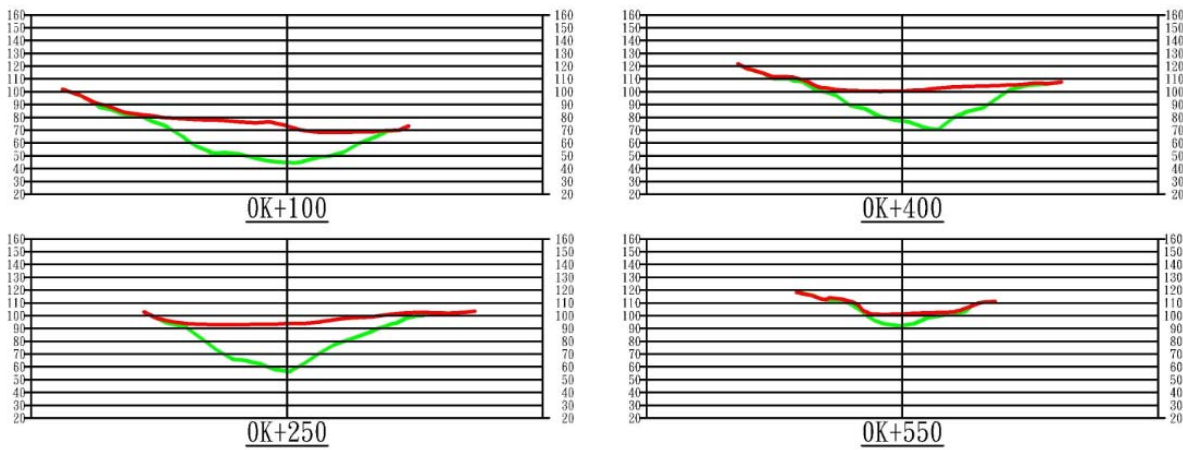
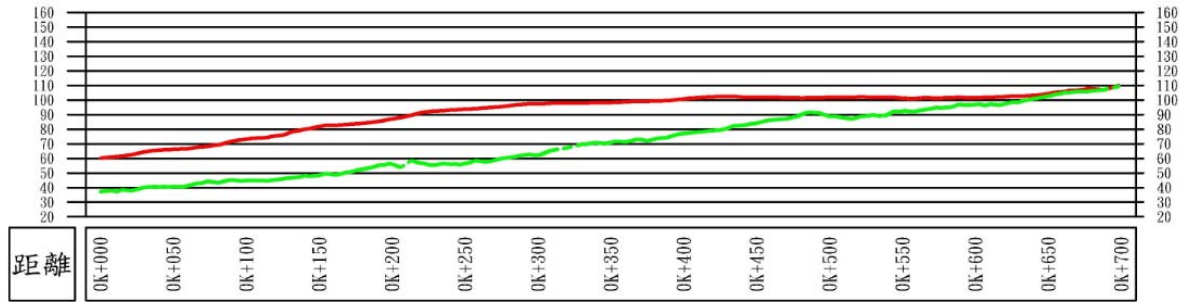


圖4-12、八里掩埋場區域依山谷走向切出之各剖面地形變化圖



### 4-3 工程專案視覺化的成果

本研究利用軟體的自動衝突檢查功能，對完成的三維模型進行衝突檢查，共輸出6個衝突點如表4-4所示，由表4-4可知，衝突1到衝突4都是斜撐柱底部與基座上的斜撐柱底座頂端有重疊碰撞的問題，經過量測重疊量皆在10mm以下，發生原因可能是構件造型過於複雜，3D模型建立誤差累積所致。衝突5是宜蘭端的A2混凝土橋台與GB21鋼樑高程差了25公分，經查採用的圖面沒有問題，而相同組合方式的上游側GA21鋼樑與A2橋台則沒有衝突問題，此乃因該處為彎道之外側，在設計上以混凝土橋台的高程來控制超高，由鋼樑的變形能力達成；但此種物理性質還沒有辦法以現用的軟體

模擬，故產生組合完成之鋼樑低於混凝土橋台之狀況，在實務上不會有此問題產生。衝突6是A1橋台與GB01鋼樑發生碰撞，此衝突可能會造成GB01鋼樑無法順利吊裝，經與業主討論確認此處的衝突，原因可能是橋台與鋼樑細部設計屬於不同設計單位負責，使用傳統2D設計圖確實很難發現；針對此一衝突，業主決定A1橋台頰牆頂部混凝土延後澆鑄，待GB01鋼樑吊裝完成後，再視狀況修改A1橋台之頰牆。

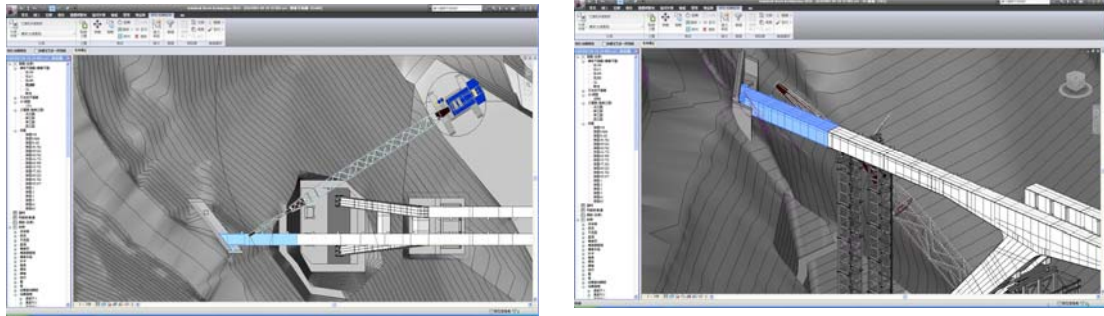
表 4-4、三維建模軟體之自動衝突檢查結果及其分析表

編號	衝突構件說明	發生原因	處置方法	衝突點分類
1	F1 基座與桃園端下游側 P15 斜撐柱重疊	構件造型過於複雜，3D 模型建立之累積誤差，誤差量在 10mm 以下。	忽略	模型誤差
2	F1 基座與桃園端上游側 P15 斜撐柱重疊	同上	忽略	模型誤差
3	F1 基座與宜蘭端下游側 P15 斜撐柱重疊	同上	忽略	模型誤差
4	F1 基座與宜蘭端上游側 P15 斜撐柱重疊	同上	忽略	模型誤差
5	GB21 鋼樑高程低於 A2 混凝土橋台。	該處為彎道外側，在設計上以混凝土橋台控制超高，造成不同介面誤差。	將模型修改至設計高程。	模型無法模擬鋼樑物理性質
6	A1 橋台與 GB01 鋼樑碰撞衝突(橋台先完成則鋼樑無法置入)。	因橋台與鋼樑細部設計由不同設計單位所負責，使用傳統 2D 設計圖確實很難發現衝突。	A1 橋台頰牆頂部混凝土延後澆鑄。	設計衝突

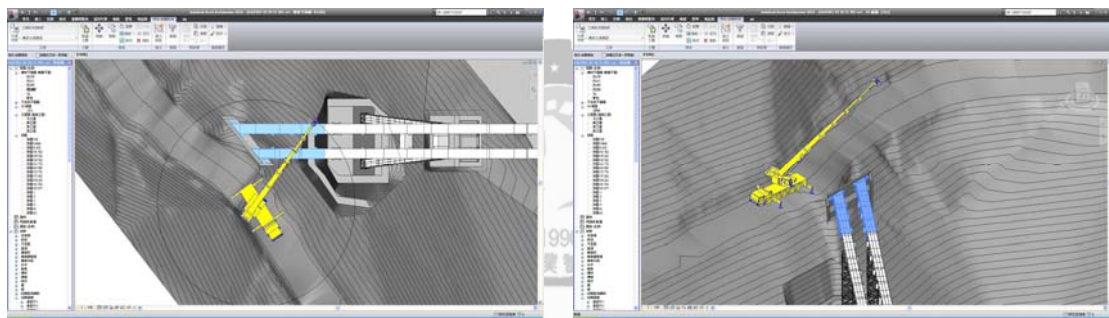
負責吊裝計畫研擬的專業工程人員有超過10年的鋼橋吊裝經驗，而負責四維排程模擬的人員，則為沒有橋梁工程實務經驗的土木系碩士生，以一般工程專業知識在經驗豐富的監造工程人員指導下，即可以空間關係搭配吊車特性表，分析審視分包商提出的吊裝計畫，並提出四項議題，其中的議題四如圖4-13所示，這些議題在正式的審查會上，獲多數參與該會議的

人員認可，且充份引用該四維吊裝資訊，進行有效率的溝通，協助該案於正式吊裝之前，發現吊裝空間衝突，適時調整施工場地、機具、與吊裝步驟，順利於2010年4月上旬完成「吊裝計畫審核」。

#### GB01~GB02鋼樑吊裝、GA01~GA02鋼樑吊裝

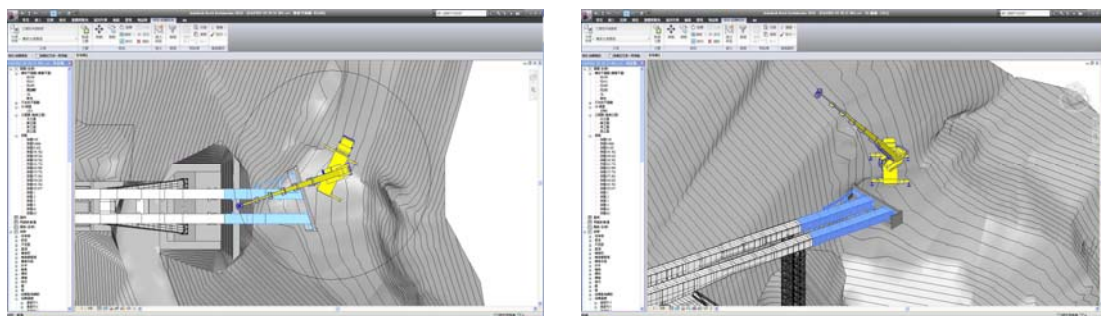


使用 SCX 2800吊車，吊臂長67.05+12.2公尺，作業半徑48公尺，吊車起重能力11.6噸，鋼樑重量11噸，吊車起重能力大於鋼樑重量，但吊臂可能有高度不足難以吊裝之疑慮。



如使用AC 395吊車，吊臂長36公尺，作業半徑21公尺，吊車起重能力11.9噸，吊車起重能力大於鋼樑重量，但吊車置於台七線上進行吊裝作業，因路幅不寬將會影響當地交通。

#### GA20~GA21鋼樑吊裝、GB20~GB21鋼樑吊裝



如使用AC 395吊車，吊臂長36公尺，作業半徑21公尺，吊車起重能力10噸，吊車起重能力大於鋼樑重量，但吊車置於台七線上進行吊裝作業，因路幅不寬將會影響當地交通。

圖4-13、以四維吊裝模擬針對原吊裝計畫步驟8提出的吊臂長度不足議題

若詳細比較二種吊裝計畫，如表4-5示，可知四維吊裝計畫製作成本較高，但將以往由經驗豐富的工程人員，在大腦中整合認定的抽象作業，經由電腦視覺化，轉化為較客觀且不易出錯的視覺檢視，未來尚有機會轉變為自動化作業，提高效率，而這些四維排程非常容易修改，在促進吊裝計畫的溝通審核效率後，尚可延用隨時依工地狀況更新，作為施工控制的依據。

表 4-5、傳統吊裝計畫與採用 BIM 製作的吊裝計畫比較表

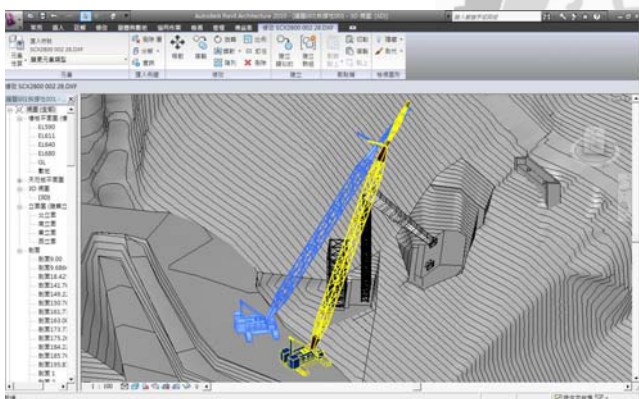
比較項目	傳統吊裝計畫	採用BIM製作的吊裝計畫
呈現與溝通方式	2D圖、表格	3D圖、表格、4D動畫
製作方法及成本	傳統2D製圖，較簡易，成本低。	三維建模製圖，軟體學習門檻較高，製作成本較高。
空間衝突評估	以圖表及工地測得資料，由擬計畫者依經驗在大腦中整合與認定有否空間衝突。	完整評估構件、吊裝機具、地形相互關係，由電腦模擬後輸出四維動態影片，供反覆操弄檢視有否空間衝突。
吊車起重能力與安全評估	僅能評估概略作業半徑與各構件重量，由擬計畫者依經驗在大腦中整合與認定。	能評估每一構件受地形影響可使用之作業半徑，依各構件不同作業半徑與構件重量評估起重能力。並具有自動評估能力。

針對本研究提出的吊臂長度不足議題，在實際吊裝工作進行時，額外增加二部吊車，且其中一部採用吊臂較長的吊車；以吊裝步驟1桃園端上游側P11、P12、P13斜鋼柱吊裝為例，本研究模擬的情形與實際吊裝的照片對照如圖9所示，由圖9可知，除了使用的SC1500吊車不同於本研究模擬的SCX2800吊車外，模擬圖與實際施工狀態一致性相當高；宜蘭端下游側P11、P12、P13斜鋼柱吊裝，也有類似的比對成果，如圖10所示。在本研究針對步驟6、步驟7、與步驟8所提出的吊臂長度不足議題，分包商除了改用



吊臂較長的吊車外，也將施工便道擴寬及提高承载力，使得配合的吊車可以在較高處的便道上吊裝，並因應作業半徑變大可能出現的載重能力不足問題，將GB01~GB02鋼樑、GA01~GA02鋼樑、GA20~GA21鋼樑、GB20~GB21鋼樑4個吊裝任務，拆分成8個吊裝任務，以減輕吊車載重能力需求，照片如圖4-14所示。

本研究將原吊裝計畫、四維模擬建議吊裝順序、及實際吊裝之吊裝順序進行比較如表4-6所示，由表3可知在初擬吊裝計畫時，只有二維的圖資及吊裝人員的經驗，列出的計畫較為簡略，由本研究以四維吊裝模型評估後的吊裝計畫，比原吊裝計畫更接近實際吊裝情形，其中步驟1至步驟5與實際吊裝情形一致；實際吊裝步驟6、步驟7與步驟8，則為因應本研究提出的吊臂長度不足議題進行的調整，與原吊裝計畫的吊裝順序大不相同。

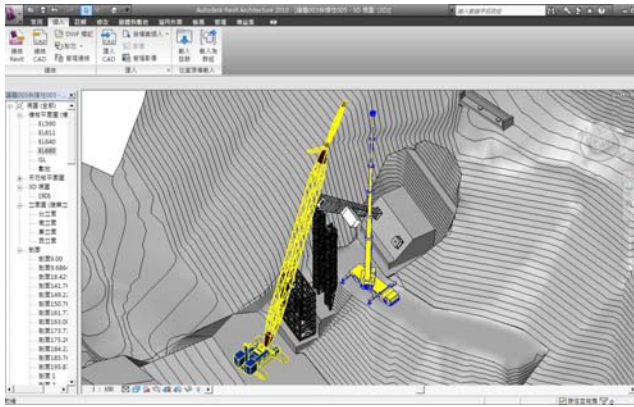


三維吊裝模擬



實際吊裝照片

圖4-14、桃園端上游側P11、P12、P13斜鋼柱吊裝模擬與實際吊裝情形對照



三維吊裝模擬



實際吊裝照片

圖4-15、宜蘭端下游側P11、P12、P13斜鋼柱吊裝模擬與實際吊裝情形對照



GB01鋼樑吊裝情形



GA21鋼樑吊裝情形

圖4-16、吊裝分包商以吊臂較長的吊車及吊裝構件拆分的方式因應吊臂長度不足議題

表 4-6、原吊裝計畫、四維模擬吊裝建議及實際吊裝順序比較表

步驟	原吊裝計畫	四維模擬建議吊裝順序	實際吊裝順序	差異說明
1	P11、P12、P13	(1)桃園端上游側P11、P12、P13 (2)桃園端下游側P11、P12、P13 (3)宜蘭端下游側P11、P12、P13 (4)宜蘭端上游側P11、P12、P13	同左	無
2	P14、P15	(1)桃園端上游側P14、P15 (2)桃園端下游側P14、P15 (3)宜蘭端下游側P14、P15 (4)宜蘭端上游側P14、P15	同左	無
3	GA&GB06 GA&GB16	(1)GB06、(2)GA06、(3)GA16、 (4)GB16	同左	無
4	GA7~GA15	(1)GA07、(2)GA15、 (3)GA08~GA14	同左	無
5	GB7~GB15	(1)GB07、(2)GB15、 (3)GB08~GB14	同左	無
6	GA&GB05 GA&GB17	(1)GB05、(2)GA17	(1)GB05、(2)GA05 (3)GA17、(4)GB17	以長吊臂吊車吊裝，配合擴寬加強施工便道，使另一部吊車可在較高的便道處吊裝，沒有阻礙GB03之顧慮。
7	GA & GB03~04 GA & GB18~19	(1)GB03~GB04、(2) GA05、(3)GA03~GA04、 (4)GA18~GA19、(5)GB17、 (6)GB18~GB19	(1)GB03、(2)GA03、 (3)GB04、(4)GA04、 (5)GA18、(6)GB18、 (7)GA19、(8)GB19	以長吊臂吊車，配合擴寬加強施工便道，使另一部吊車可在較高的便道處吊裝，並分節吊裝以降低作業半徑變大增加的風險。
8	GA & GB01~02 GA & GB20~21	(1)GB01~GB02、(2)GA01~GA02 、(3)GA20~GA21、 (4)GB20~GB21	(1)GB01、(2)GA01、 (3)GB02、(4)GA02、 (5)GA20、(6)GB20、 (7)GA21、(8)GB21	同上

## 第五章 結論與建議

本研究以台灣地區現有的地理資訊系統，選出應優先治理移除的特定掩埋場址，再取得該場址地區的空拍立體像對，用航空攝影測量技術，製作該區域在掩埋場設置前、使用中不同時間點、及現況的數值地形模型，將同一平面區域位址不同時間點的地形(高程)資料，整合成所謂四維地理資訊系統中，計算該區域不同位置的體積變化量，搭配掩埋場操作的資料加以驗證修正，可以求得較正確的估算方法，即可將此一估算方法應用在沒有操作資料的時空模型上，據以求算掩埋場區內不同位置的垃圾組成及數量，以做為治理移除之參考。在應用四維模型將工程視覺化部份，也可以用來說明該場址地形地貌的時空演變，並模擬整治移除的環境景觀變化，對於此類具環境敏感易引發爭議的工程專案，做為瞭解專案及促進溝通使用的工具。經分析結果後提出以下結論與建議。

### 5-1 結論

- 1、由於航空攝影測量技術工具的演進，不同時期的空拍影像，可能出現早期立體像對沒有空三資料及比例尺不一的問題；若能在測區內找到足夠的控制點(歷經不同時間而沒有空間變化的明顯點位)，則可以新進的點位座標做為控制點，進行空三計算，求出早期立體像對的外方位元素，重組立體影像。
- 2、不同時間點的立體像對重組完成後，可分別以航空攝影測量解算軟體，自動配對再加人工編修，輸出不同時間點的數值地形模型及正射影像圖，比對同一測區的不同正射影像，可以獲得時空變化的正確二維資訊。
- 3、在定量分析的成果方面，由於八里掩埋場區內發生多次大規模邊坡崩塌災害，而使場區內的地勢因整修邊坡而變緩，此類地形變化混淆了

對於掩埋量的估算；若排除此一干擾，用地形變化估算垃圾掩埋量，大約是多估40%。

- 4、在定性的視覺化分析成果方面則隨著應用軟體的發展，由ArcGIS的3D Analysis，轉變為應用Autodesk系列軟體，在地形、建物、管線的模擬上，精進了許多；應用在八里掩埋場的模擬及計算上，因為由於面積過大且又缺乏當初掩埋場設計的相關高程資料，而較難顯現出效益。但若以傳統的二維剖面展現時，則可以有良好的成果。
- 5、在有正確物件資訊的相關應用上，工程視覺化可以有很好的成果。將二維鋼構設計圖資搭配吊裝計畫甘特圖，用電腦輔助進行虛擬設計施工(VDC)，充份達到以三維視覺化溝通的目的，協助鋼橋吊裝計畫之擬定與審核。總計採用BIM技術在三維建模程序中，發現一處二維圖面不易發覺的空間衝突，即時以延後部份橋台混凝土澆置而避免；在溝通協調會上提出的四項吊裝議題中，二項為專業吊裝分包商可預見，但苦於無法正確表達，另二項則沒有事先預知，經由本模擬而提前因應；比對實際施工時的吊裝情形，充份顯示電腦模擬的狀況與實際狀況的差異不大，驗證以建築資訊模型模擬鋼橋吊裝的可行性。

## 5-2 建議

- 1、建置完整的掩埋場時空地理資訊系統，需要掩埋場址的設計資料，以八里掩埋場為例，由於沒有設置時的挖填方資料，光以設置前後的地形變化做估算時，掩埋量估算的誤差較大。
- 2、建置完整的掩埋場時空地理資訊系統，也需要掩埋場發崩塌災害的地形變化資料，以八里掩埋場為例，2006至2008年間發生的崩塌災害，很可能是造成以地形變化估算掩埋量不合理的原因。

- 3、 應用四維模型將工程視覺化也可以用來說明該場址地形地貌的時空演變，並模擬整治移除的環境景觀變化，對於此類具環境敏感易引發爭議的工程專案，做為瞭解專案及促進溝通使用的工具。在有良好的建模工具之後，應該多加推廣。



## 參考文獻

- 1、陸國先，方偉達，沈立，「台灣環境復育之新方向」，國政研究報告，永續(研)091-014號，財團法人國家政策研究基金會，2002年7月。
- 2、行政院環保署網站資料，「臺灣省都市垃圾處理計畫」，進站時間，2007年12月。
- 3、游以德、陳榮河、林鎮洋、劉志堅、陳玉峰、楊明德，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)。
- 4、林獻山等，2000，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。
- 5、行政院環保署，EPA-95-Z102-02-201，「垃圾掩埋場總體檢委託專案工作計畫」，受託單位：惠元環境資源股份有限公司，中華民國96年3月。
- 6、臺北市政府環境保護局，「內湖垃圾山清除監督計畫」，臺北市內湖社區大學全民督工論壇，中華民國96年10月31日。
- 7、國家圖書館，「全國碩博士論文網」，進站時間，2007年12月。
- 8、Phillip O'Leary and Patrick Walsh, "Landfill Closure & Long-Term Care," Landfill Continuing Education Course #12, University of Wisconsin, Website: [www.wasteage.com](http://www.wasteage.com).
- 9、Lee, G. F., "Flawed Technology of Subtitle D Landfilling of Municipal Solid Waste," Updated January 2007, <http://www.gfredlee.com>
- 10、陳建良，「廢棄物掩埋場各期程污染管制之探討」，資源與環境學術研討會論文集，2008，花蓮。
- 11、Harvey Fisher and David M. Findlay, "Exploring the Economics of Mining Landfills," Waste Age, July 1, 1995.

- 12、Murphy, R. J., "Optimizing of Landfill Mining," August, 1993, Department of Civil Engineering & Mechanics, University of S. Florida, Tempa, FL 33620.
- 13、Aquino, J. T., 1994, "Landfill reclamation strtracts attention and question," Waste Age, December 63-65 & 68.
- 14、Landfill Mining from Wikipedia, the free encyclopedia, entry time: 2007/12/10.
- 15、United States Environmental Protection Agency, "Landfill Reclamation," Solid Waste and Emergency Response (5306W), EPA530-F-97-001, July 1997.
- 16、Global Landfill Mining Conference 2008 - Reviewed, <http://www.propubs.com/glm/glm08reviewed.html> , 入站時間2008年12月。
- 17、郭壽吉，輔助掩埋場選址電腦化系統，國立交通大學環境工程研究所碩士論文
- 18、謝敏文，衛生掩埋場場址初選模式之建立—以ARC/INFO地理資訊系統為分析工具，國立臺灣大學地理研究所碩士論文，
- 19、劉暉廷，事業廢棄物處理廠優選廠址之決策技援系統，國臺灣大學環境工程研究所碩士論文
- 20、曾玉津，「掩埋場模糊多準則決策選址法之研究」，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，2002年7月。
- 21、Hung-Yueh Lin and Jehng-Jung Kao, "A vector-based spatial model for landfill siting," Journal of Hazardous Materials 58 (1998), pp.3~14.
- 22、呂登隆，「台北地區掩埋場區位適宜性及環境問題之探討」，國立台北大學碩士論文，2003年7月。



- 23、Calvo, F. et. al., “Environmental diagnosis methodology for municipal waste landfills,” Waste Management 25 (2005), pp. 798~779.
- 24、D. J. van der Zee, M. C. Achterkamp and B. J. de Visser, “Assessing the Opportunities of Landfill Mining,” SOM-theme B: Innovation and Interaction.
- 25、Paul R. Wolf and Charles D. Ghilani, Elementary Surveying--an Introduction to geomatics, 11th edition, Chapter 28, Pearson/Prentice Hall, 2006
- 26、陳曉寧、彭海龍，「三維虛擬城市模型可視化」，長安大學學報(自然科學版)第22卷第5期，2002年。
- 27、林后駿，「三維房屋模型實景紋理影像製作與敷貼之研究」，國立中央大學土木工程研究所，碩士論文，2005年。
- 28、Fisher Andre et. al., “Extracting Buildings from Aerial Images Using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D,” Computer Vision and Image Understanding, Vol. 72, No. 2, November, pp. 185~203, 1998.
- 29、Chengzhi Peng, “In-situ 3D concept design with a virtual city,” Design Studies, Volume 27, Issue 4, July 2006, Pages 439-455.
- 30、李宗仰，「探索Google Earth於三維校園環境之模擬」，第五屆數位地球國際研討會，2007年。
- 31、陳建凱，「三維擬真校園建置績效之研究」，中華大學碩士論文，2007年7月。
- 32、邱垂德、曾偉鈞、廖偉成，「應用航測技術發展三維城市建模技術」，工研院電光所，FY96, 2007年10月。
- 33、EarthData Website: <http://www.earthdata.com/>，入站時間2007年12月。

- 34、Nature Publishing Group, The Web-Wide World, Nature Vol. 439, 16 February 2006.
- 35、Paul A. Longley, Michael F. Goodchild, David J. Maquire, David W. Rhind, "Geographic Information System and Science," Wiley, 2nd edition, April, 2005.
- 36、國土資訊系統推動叢刊，摘要版，國土資訊系統網站資料，入站時間：2007年12月。
- 37、台灣世曦工程顧問有限公司地理資訊部整理資料，國土資訊系統之發展，2006年4月。
- 38、袁嵐焜，服務導向架構(SOA)之國土資訊系統流通供應服務平台，逢甲大學地理資訊系統研究中心，2007年4月。
- 39、周天穎編著，「地理資訊系統理論與實務」，儒林圖書公司發行，2003年1月。
- 40、饒見有，「建構像真城市模型之研究」，台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集，2005年。
- 41、Wang, H., et. al., "Urban Information Integration for Advanced e-Planning in Europe," Government Information Quarterly (2007), doi:10.1016/j.giq.2007.04.002
- 42、Atsuhi Nara and Paul M. Torrens, "Spatial and Temporal Analysis of Pedestrian Egress Behavior and Efficient," In Association of Computing Machinery (ACM) Advances in Geographic Information Systems, Samet, H.; Shahabi, C.; Schneider, M. (Eds) New York, ACM, pp.284~287
- 43、David V. Pullar and Margo E. Tidey, "Coupling 3D Visualization to Qualitative Assessment of Built Environment Designs," Landscape and Urban Planning, Vol. 55, 2001, pp. 29~40.

- 44、Lim, En-Mi, et. al., “The Validity of VRML images as a Stimulus for Landscape Assessment,” *Landscape and Urban Planning*, Vol. 77, 2006, pp. 80~93.
- 45、Ramasundaram, V., et. al., “Development of an Environmental Virtual Field Laboratory,” *Computers & Education*, Vol. 45, 2005, pp. 21~34.
- 46、Luca Chittaro and Roberto Ranon, “Web3D Technologies in Learning, Education, and Training: Motivations, Issues, Opportunities,” *Computers & Education*, Vol. 49, 2007, pp. 3!18.
- 47、易逸波、鍾清泓、張志維，「三維風險分析技術在石化廠製程區火災應變之研究」，2007第五屆環境資訊研討會論文集。
- 48、Xinhao Wang, “Integrating GIS, Simulation Models, and Visualization in Traffic Impact Analysis,” *Computers, Environment and Urban System*, Vol. 29 (2005), pp. 471~496.
- 49、Xie, M., et. al., “Geographical Information System-based Computational Implementation and Application of Spatial Three-dimensional Slope Stability Analysis,” *Computers and Geotechnics*, Vol. 33, 2006, pp. 260~274.
- 50、Stephaen E. Poku and David Arditi, “Construction Scheduling and Progress Control Using Geographical Information Systems,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, September/October 2006, pp. 351~360.
- 51、Pearce, J. M., et. al., “3D-Mapping Optimization of Embodied Energy of Transportation,” *Resource, Conservation and Recycling*, Vol. 51, 2007, pp. 435~453.
- 52、Batty et. al. , “New Developments in Urban Modelling: Simulation, Representation, and Visualization,” in S. Guhathakurta (Editor), *Integrated Land Use & Environmental Models*, Springer-Verlag, Berlin, 13-43.

- 53、Charles L. Hixon III, “Visualization for Project Development,” NCHRP Synthesis 361, Transportation Research Board, Washington D. C., 2006.
- 54、Mike Chiu, “Corporate Responsibility towards Sustainable Construction,” Environmental Protection Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- 55、NENT Landfill Extension Environmental Impact Assessment, Website: [http://202.128.236.109/pub/nent/Introduction/Preface\\_header.htm](http://202.128.236.109/pub/nent/Introduction/Preface_header.htm)
- 56、Willem Kymmell, Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations, McGraw Hill Construction, 2008.
- 57、Charles Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston, BIM Handbook—a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, and Contractors, John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- 58、James Swanson, “The Three Dimensional Visualization & Analysis of Geographic Data,”  
[http://maps.unomaha.edu/Peterson/gis/Final\\_Projects/1996/Swanson/GIS\\_Paper.html](http://maps.unomaha.edu/Peterson/gis/Final_Projects/1996/Swanson/GIS_Paper.html).
- 59、鄧挺發，建築BIM 3D設計整合之應用，中興工程40週年工程技術論文集，2010。
- 60、Martin Fischer and John Kunz, The Scope and Role of Information Technology in Construction, CIFE Technical Report #156, Stanford University, February 2004.
- 61、中鼎工程(股)公司，視覺化4D營建管理之應用，<http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/0181792871.pdf>
- 62、康仕仲、蔡孟涵，建築資訊模型之技術發展過程，營建知訊316期，2009/05。

- 63、康仕仲、蔡孟涵，建築資訊模型之工具介紹，營建知訊321期，2009/10。
- 64、康仕仲、蔡孟涵，建築資訊模型之運用案例，營建知訊329期，2010/06。
- 65、陳怡兆，專案知訊整合模型之建構與專案管理資訊系統之應用，國立成功大學博士論文，2009/06
- 66、李萬利、盧祥偉，台北市南港區R13地段集合住宅新建工程以BIM參與專案管理，2010 IPMA營建專案管理最佳實務案例研討會，2010/6.
- 67、周頌安、蔣繼忠、鄧挺發、林柏宏、陳志文、林明星、王承順，3D協同設計作業模式初探，九十八年電子計算機於土木水利工程應用研討會，2009/9
- 68、The American Institute of Architects, Integrated Project Delivery: A Working Definition, 2007.
- 69、林志錚、邱垂德，專案綜合交付(IPD)經驗—Autodesk AEC HQ專案，2010 IPMA營建專案管理最佳實務案例研討會，2010/6.
- 70、Arto Kiviniemi, “A Survival Strategy – How to Integrate Design Systems and Processes in a Fragmented Industry?” First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions, CIB IDS 2009.
- 71、八里掩埋場官網資料：<http://ecolife.epa.gov.tw/blog/ac9230>
- 72、邱顯硯，建築資訊模型應用於施工作業檢討—以蘇樂橋吊裝作業為例，中華大學土木與工程資訊學系碩士論文，2010年6月。
- 73、黃士種，建築資訊模型(BIM)應用研究—以埔里工務段辦公大樓興建工程為例，中華大學營建管理研究所碩士論文，2010年6月。

## 出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC98-2621-M-216-001
計畫名稱	垃圾掩埋場址之治理及其土地永續利用-垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統建置及視覺化應用(II)
出國人員姓名 服務機關及職稱	邱垂德，中華大學土木與工程資訊學系教授
會議時間地點	2009年11月1日至4日，江蘇南京，中國
會議名稱	Asphalt Rubber 2009
發表論文題目	Taiwan's Experiences of Using Asphalt Rubber on Road Pavements

### 一、參加會議經過

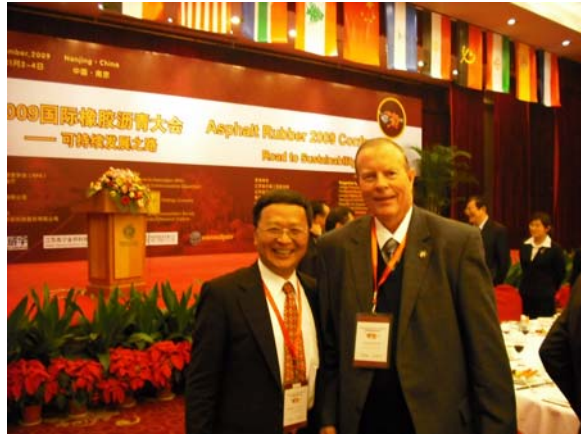
本人於11月1日上午由桃園機場經香港於下午到達南京祿口國際機場，並由大會接待人員及車輛送往位於中山陵下的南京國際會議大酒店，辦理完報到，正式參加 Asphalt Rubber 2009 會議。Asphalt Rubber 國際研討會由美國橡膠鋪面協會(Rubber Pavement Association)主辦，主要協辦單位如圖 1 所示，每三年舉辦，自 2000 年在葡萄牙(Portugal)舉辦第一屆、2003 年在巴西(Brazil)第二屆、2006 年在加州第三屆、本次 AR2009 是第四屆，主要是針對廢輪胎橡膠應用在瀝青路面的各項議題做國際性的研究成果及意見交換。中國大陸在 2006 年由江蘇省交通廳 搭配港商金邦公司爭取本次主辦，重申廢輪胎橡膠瀝青的環保與工程雙贏意義，且又更寄望採用後的其它諸如噪音及都市熱島效應的舒緩效果。總計本次研討會的參加人數共約 320 人，分別來自 20 個不同的國家，主會場並懸掛參與會議之各國國旗，如圖 1 所示，並闢有 25 個廠商產品展示攤位，主要展示產品為工程顧問服務、廢輪胎切割研磨機具、及橡膠瀝青拌合設備以來的的主要進展，現場照片如圖 2 所示。



圖 1、Asphalt Rubber 2009 的主協辦單位



報告人在大會會場拍照留念



報告人在晚宴會場與發起人 George Way 合影



報告人在台上發表論文之情形



報告人與 Rubber Pavement Association 的 Douglas Carlson 及 William Thornton 合影



報告人擔任分場會議主席之情形



會場展示攤位一角



會場之室外展場一角



會場之室內攤位一角

圖 2、報告人參加之會議照片

AR2009 國際橡膠瀝青大會，以「可持續發展之路材」為主題，會議於 2009 年 11 月 1 日報到，11 月 2 日正式開始，到 11 月 4 日結束，共 3 天時間，進行 2.5 天的學術論文報告，最後一個半天則進行實地參訪。學術論文按照 Asphalt Rubber 2009

(<http://www.consulpav.com/ar2009/>) 和 Rubber Pavement Association 的審稿系統，由會議技術委員會進行嚴格篩選。大會的傳統將論文區分為理論性(Conference Program)與實務性 (Application Tracks Program)兩個場地發表，本次的實務性論文，也接受中文論文以中文發表，並由江蘇省交通科學研究院組織技術委員會，納入東南大學、同濟大學、石油大學、長安大學、哈爾濱工業大學、石油科學研究院、重慶交通科研設計院、及重慶交通大學的教授專家組成。表 1 為大會的三天議程表。報告人除在第二天下午的應用會場發表論文外，並受大會聘為第二天上午應用會場的主席。

表 1、AR2009 會議程表

2009 年 11 月 1 日 星期日 下午		
14:00-22:00	会议注册, 领取会议资料	
18:00-19:30	晚餐	
2009 年 11 月 2 日 星期一 上午		
8:30-12:00	大会开幕式和主旨演讲	
12:00-13:00	午餐 Lunch	
2009 年 11 月 2 日 星期一 下午		
技术会场 1 (13:00-15:00)		
13:00-13:30	A. Zareh	Asphalt-Rubber 40 Years of Use in Arizona
13:30-14:00	J. B. Sousa	Treatment Performance Capacity – A Tool to Predict the Effectiveness of Maintenance Strategies
14:00-14:30	R. Cao	Evaluation of New Generation of Gap Graded Asphalt Rubber Mixtures
14:30-15:00	D. Carlson	Noise Characteristics and Field Performance of Five Different Wearing Courses in Arizona
14:50-15:30	茶歇 Break	
技术会场 2 (15:30-17:30)		
15:30-16:00	BAI Q.	Research on Mix Design Method and Application of Asphalt Rubber Open-graded Friction Course
16:00-16:30	L.N.Mohammad	Characterization of HMA Mixtures Containing High Reclaimed Asphalt Pavement Content With Crumb Rubber Additives
16:30-17:00	Tian Qi.	The application of Semi-flexible Pavement with Asphalt -Rubber on heavy traffic road
17:00-17:30	I. Antunes	Analysis of environmental sustainability in the rehabilitation of existing pavements using Asphalt Rubber hot mixes
18:00-20:30	晚宴	



2009年11月3日 星期二 上午					
技术会场 3 (8:30-10:10)			应用会场 1 (8:30-10:10)		
8:30-8:50	Qian Zhendong	Experimental Study on Strength Developing Law of Epoxy Asphalt Mixture during its Curing Reaction	8:30-9:00	孙祖望	TOR 沥青-橡胶的应用研究
8:50-9:10	F. Canestrari	Asphalt Rubber: policy disclosure in Italy	9:00-9:30	杨军	荷载型反射裂缝室内模拟试验研究
9:10-9:30	F. Milani	On the Correlation Between De-Icing Properties of Rubberized Asphalt and Surface Tension	9:30-9:50	凌晨	废塑胶改性沥青及混合料技术参数研究
9:30-9:50	C. Thodesen	Evaluation of current modified asphalt binders using the multiple stress creep recovery test	9:50-10:10	董雨明	机场南线橡胶沥青 SMA 配合比设计与性能研究
9:50-10:10	S. Neto	Asphalt Rubber Hot Mixes Produced with Crumb Rubber from Cryogenic and Ambient Grinding Processes			
10:10-10:30	茶歇 Break				
技术会场 4 (10:30-12:00)			应用会场 2 (10:30-12:00)		
10:30-11:00	M.C. odezno	Implementation of Asphalt Rubber Mixes into the Mechanistic Empirical Pavement Design Guide	10:30-11:00	孔宪明	废胶粉及改性橡胶沥青技术
11:00-11:20	L. Fontes	Evaluating Permanent Deformation in Asphalt Rubber Mixtures	11:00-11:20	H. Barry Takallou	Scrap Tire Recycling Overview
11:20-11:40	G. Way	Performance of California Rubberized Asphalt Concrete High Binder Open Graded Mixes	11:20-11:40	William Thornton	A Provincial Approach to Scrap Tire Management
11:40-12:00	K. E. Kaloush	Laboratory Evaluation of Asphalt Rubber Gap Graded Mixture in Sweden	11:40-12:00	John Shi	A Provincial Approach to the Use of Crumb Rubber in Pavements
12:00-13:00	午餐				
2009年11月3日 星期二 下午					
技术会场 5 (13:00-15:00)			应用会场 3 (13:00-15:00)		
13:00-13:20	J. X. Reed	Evaluation of Alternative Laboratory Aging Methods of Asphalt Rubber Friction Courses	13:00-13:30	邱垂德	以橡胶沥青铺筑路面之台湾经验
13:20-13:40	L. Fontes	LABORATORY PERFORMANCE OF ASPHALT RUBBER MIXTURES	13:30-13:50	刘伟	橡胶沥青降噪沥青路面设计方法研究
13:40-14:00	K. E. Kaloush	Asphalt Rubber Mixtures Susceptibility to Moisture Damage	13:50-14:20	凌天清	橡胶沥青半柔性路面在重载交通道路工程中的应用
14:00-14:20	T. Nordgren	Asphalt Rubber - a new concept for asphalt pavements in Sweden	14:20-14:40	王民	橡胶粉复合改性沥青浇筑式沥青混凝土性能研究
14:20-14:40	J. Peralta	Chemical and Rheological Changes in Bitumen Caused by Aging and by the Interaction with Rubber	14:40-15:00	陆忠义	高剪切技术在橡胶沥青上的应用
14:40-15:00	Zhang X.	Mechanism Research of Crumb Rubber Modified Asphalt			
15:00-15:30	茶歇				
技术会场 6 (15:30-17:35)			应用会场 4 (15:30-17:35)		

15:30-15:50	J. Sousa	Environmental, Energy Consumption and CO2 Aspects of Recycled Waste Tires Used in Asphalt-Rubber	15:30-16:00	郝培文	橡胶沥青应用中注意的问题
15:50-16:10	J. Rizzutto	Asphalt Rubber Chip Seal Construction Evaluation	16:00-16:20	H. Barry Takallou	Asphalt-Rubber Binder Design and Mix Design
16:10-16:30	J. Smith	The Development of a Design Procedure and Usage Criteria for Hot Applied Chip Seal Applications	16:20-16:40	Douglas D. Carlson	Asphalt-Rubber Manufacturing and Placement
16:30-16:50	I. Widyatmoko	Characteristics of Rubberised Bitumen Blends	16:40-17:00	Shawn Rizzutto	Best Practices on A-R Binder Design and Mix Design
16:50-17:05	E. Fung	THE USE OF ASPHALT RUBBER IN A MOTORWAY SECTION PAVEMENT REHABILITATION	17:00-17:15	孙雪伟	Application of Asphalt Rubber Stress Absorbing Membrane Interlayer in the Rehabilitation of Tunnel Concrete Pavement
17:05-17:20	Cao P.	Study on the Reduction of the Viscosity of Asphalt Rubber	17:15-17:35	冯海平	橡胶沥青生产施工中的配套设备
17:20-17:35	J. Kudrna	Testing asphalt-rubber according to European standards and its use in the Czech Republic			
18:00-19:00	晚餐				

2009年11月4日 星期三 上午 Wednesday Morning Nov 4					
技术会场 7 (8:30-10:00)			应用会场 5 (8:30-10:00)		
8:30-8:50	J. V. Kirk	The Production and Placement of Asphalt Rubber Hot Mix Using Warm Mix Asphalt Technology	8:30-9:00	黄卫东	橡胶沥青应用与实验室研究结果解决方案
8:50-9:10	J. Shen	Comparison of the Properties of Laboratory and Field Prepared CRM Binders	9:00-9:20	郑南翔	废轮胎胶粉改性沥青及胶浆高低温性能研究
9:10-9:30	P. Sebaaly	Properties of HMA Mixtures Produced with polymer-Modified and Terminal Blend Rubber-Modified Binders	9:20-9:40	郭兆立	橡胶沥青应力吸收层在隧道水泥路面改造中的应用
9:30-9:50	A. Zborowski	A Fracture Energy Approach to Model the Thermal Cracking Performance of Asphalt Rubber Mixtures	9:40-10:00	张宇定	工厂化橡胶改性沥青技术研究与应用
9:50-10:10	G. Martinez	4 years of Performance of a test track using crumb rubber asphalt and other modifiers			
10:10-10:30	茶歇 Break				
技术会场 8 (10:30-12:00)			应用会场 6 (10:30-12:00)		
10:30-10:50	P. Ullidtz	Reflection Cracking and Permanent Deformation of Overlays with Recycled Tire Rubber and Polymer Modifiers Under HVS Loading	10:30-10:50	黄文元	温拌橡胶沥青混合料技术研究
10:50-11:10	L. Zhengzhong	Research on the gradation of AR mixtures based on the GTM design method	10:50-11:10	唐建亚	RAC 橡胶沥青混合料在养护工程中的应用
11:10-11:30	R. Barros	Pavement Monitoring Results After Seven Years of Using Crumb Rubber Modified Asphalt in Brazil	11:10-11:30	汪太龙	橡胶粉沥青的加工工艺研究
11:30-12:00	闭幕式				
12:00-13:00	午餐				
2009年11月4日 星期三下午					
13:00-17:00	现场考察				

本人受大會籌備委員會副秘書長，江蘇省交通科學研究院股份有限公司道路工程研究所所長曹榮吉博士之邀請，在第二天的應用會場主持一場，也發表「以橡膠瀝青鋪築路面之台灣經驗」，部份投影片如圖 2 所示，會場上共有約 150 位學術界及工程界人員聆聽，並加入討論。大體認為廢輪胎橡膠瀝青是可以達到環保與工程雙贏的路面材料，若拌合技術上沒問題，則應可持續推廣。



圖 2、報告人在大會上發表的部份投影片

第三天下午則參觀江蘇省交通科學研究院的道路工程研究所的瀝青混凝土研究相關設備，該研究所位於東南大學附近，場地面積廣大，主要研究區分為路面與橋樑兩大部份，在橋樑方面除了基本試驗設備外，室外大型構件試驗及風洞模擬室，都相當完備；路面部份，則除了有完整的 SHRP 設備外，也備有很昂貴的瀝青直剪試驗機等大型設備，所有的場地都擺放整齊，相當乾淨，專為本次的參觀展示，一定花費不少的時間清理，反而不像是做實驗的場所。參觀完研究院的實驗室後，專車開往鋪設廢輪胎橡膠瀝青的高速公路，這條高速公路的車輛不多，AR 路面也已完成通車一段時間，為了這次參觀特別封閉一個方向三個車道(封閉長度約有 10 公里)，也不是一般國家可以做到的。完成的路面狀況沒有什麼特別的地方，倒是回程時參觀高速公路的休息站，偌大的現代化休息區，有亭園、餐廳、特產販售區，但除了我們以外，似乎沒有其它的用路人停下來休息。

## 二、與會心得

本次研討會主要由美國亞利桑納州的 Rubber Pavement Association 主辦，該協會結合的幾家顧問公司像 Consupave 等，在世界各地推動採用廢輪胎橡膠瀝青，主要的商業考量是廢輪胎的切割研磨及與瀝青拌合的設備，其中主要的人員像大會主席 Dr. Jorge Sousa 及 Dr. George Way 也似乎與基地在香港的金邦公司合作密切，另在江蘇省成立「燕寧金邦公司」，與江蘇省的「交通科學研究院(JSTRI)」有密切的合作關係，也在高速公路已完成有試鋪路面，在橡膠瀝青路面的工程實績上已經超過台灣地區。針對未來中國大陸汽車工業的發展，各大都市皆有廢輪胎處理的問題，因此本研討會受到廣泛的注意，也吸引了超過 300 位人員的參與，更有許多高切力拌合機具商參與展出。國際人士部份，除了來自美國的文章發表者外，則有許多亞洲國家的人員出席參與，像韓國、日本、泰國、越南、菲律賓、印度、巴基斯坦、斯里蘭卡等，其餘百餘位則大都為中國大陸各地區的代表。主辦的江蘇省交通科學研究院則更是全員動員，停下手邊的工作，專為本次研討會的參觀準備。其它比較有學術味的像同濟大學、東南大學、上海交通大學、長安大學、山東中國石油大學及哈爾濱工業大學都有代表出席，具有相當高的活動力，具有相當成熟具高品質的研究成果。

由於大陸地區正進行大規模的公路建設，原來不發達的石化工業也正興起，位於山東的中國石油大學因為有中海油公司為後盾，此方面的研發經費相當充裕，目前正依照美國 Western Research Institute 的模式，以超過一億人民幣的經費，建置相關研究中心。山東石油大學以瀝青的化學性質的研究較深入，本次代表發表的論文及看法就與正統的橡膠瀝青科技較不相同，比較代表改質瀝青的看法，很可能是北方的意見，未來在橡膠瀝青的應用發展上，長江以南地區與北京方面的溝通有可能要再加強，才能有一致的推動方式，否則沒有公部門的力量，要推動廢輪胎橡膠瀝青，會像在台灣的狀況一樣，很難正常地進行。

最後是大會的後勤能力相當強，除了採用同步翻譯外，參加研討會的人有相當舒適的研討環境，茶水點心、早午晚餐、音效控制、活動進行、及會場詢問與服務，足可做為國人未來主辦相關研討會之參考。

## 三、建議

本次活動報告人自認收穫很大，對未來教學及研究方向有相當大的幫助，以自身的經驗認為這種國際性的研討會，從事專業研究的大學教授應多多參與。對於國內廢輪胎橡膠瀝青之推廣，則經由本次參與研討會的心得，有下列四點建議：

- 1、進行橡膠瀝青開放級配之噪音降低效果研究。
- 2、進行以添加劑降低橡膠瀝青施工溫度的相關研究。
- 3、進行溫拌瀝青(Warm Mix Asphalt)的相關研究。
- 4、加強公部門推動採用廢輪胎橡膠瀝青之宣導，以期能落實廢輪胎應用於鋪面工程之目標。

#### 四、攜回資料名稱及內容

1、本次研討會的論文集(英文部份)：Asphalt Rubber 2009-Road to Sustainability, Proceedings, Nanjing-China, 2<sup>nd</sup> to 4<sup>th</sup> of November 2009， 9940 頁，共分為八章(Performance Evaluation and Design, Mix Properties, Binder Properties, Case Studies, Function, Environmental and Aspects, Evaluation and Design of Chip Seals, Terminal Blend Binders, Invited papers on related aspects)內含 62 篇橡膠瀝青材料與鋪面相關的論文。

2、本次研討會論文集(中文部份)：2009 國際橡膠瀝青大會—可持續發展之路，AR2009 論文集，2009 年 11 月 2 日-4 日，中國南京。內含共 39 篇橡膠瀝青材料與鋪面相關的論文。

# 以橡胶沥青铺筑路面之台湾经验

邱垂德

中华大学土木与工程信息学系教授

吕理成

中华大学土木与工程信息学系专任研究助理

汤富生

吉利丰沥青工业股份有限公司总经理

## 摘要

在国科会、环保署、工程会、及公路总局的协助下，橡胶沥青在2000年自美国引进台湾，由实验室之橡胶粉性质分析、橡胶沥青拌制及性质检测、橡胶沥青混凝土之配合比设计、乃至橡胶沥青路面之试铺与成效分析，执行完整的研发工作。并以自制的橡胶沥青拌合机具，于2000年12月及2002年5月以间断级配及开放级配铺筑完成两段橡胶沥青试验路面，目前的服务时期已分别接近9年及超过7年，显示废轮胎橡胶沥青路面优于对照的传统沥青路面，将废轮胎用回公路铺面上，不仅可使废轮胎进入沥青路面的再利用循环而免除此部份的环境问题，更可能因废轮胎橡胶的加入而改善沥青路面的质量，达到环保与工程双赢的成果。本研究除了详细介绍在台湾地区以橡胶沥青铺筑路面之经验成果外，并尝试以纳入环境冲击的生命周期评估法，比对橡胶沥青铺面与其它沥青铺面，最后，再对推动采用废轮胎橡胶沥青遭遇到的环保政策困难点，尝试提出适当的应对方法建议。

**关键词：**废轮胎；橡胶沥青；试铺路面；生命周期评估

第一作者簡歷：邱垂德，1962年生，男，台灣桃園，美國佛羅里達大學土木工程博士，現任中華大學土木與工程訊息學系教授，主要研究方向在土木工程材料、鋪面工程、再生材料、空間訊息、及項目管理。

聯系地址：台灣新竹市東香里五福路二段707號

電話：886-35186715，傳真：886-35372188，電子信箱：[ctc@chu.edu.tw](mailto:ctc@chu.edu.tw)

# Taiwan's Experiences of Using Asphalt Rubber on Road Pavements

Chui-Te Chiu, Li-Cheng Lu, Fu-Sen Tang  
Department of Civil Engineering and Engineering Informatics,  
Chung Hua University, Taiwan

## Abstract

Asphalt rubber (AR) was introduced from the United State to Taiwan in 2000. By blending and measuring binder properties, designing AR mixes with different gradation, the potential performance of AR was evaluated in the laboratory. In December, 2000 and May, 2002, with the assistance of the Taiwan Highway Bureau, two AR pavement test sections were constructed as the pilot projects: one with Gap-Graded design and the other with Open-Graded design. The nine-year and seven-year field evaluation results demonstrate their satisfactory performance and the potential to replace modified asphalt in domestic usage. The field data collected from the demonstration projects indicated the suitability of using the wet process AR blend method in Taiwan with local asphalt and ground tire rubber (GTR). Using GTR on pavements could not only be economically beneficial through the improvement of pavement performance but also be environmentally favorable through offering a better life-cycle for scrap tires. This particular article also introduced results of using proposed recycled material formula and service record combined with the data base provided by the Eco-indicator 99 to study the eco-burden presented by using AR to rehabilitate asphalt pavements. At last the opinions on relative environmental policies for using AR on pavements were proposed.

**Key Words:** Ground Tire Rubber, Asphalt Rubber, Field Trials, Life Cycle Assessment

## 1、绪论

公共工程使用材料数量庞大，而使用材料之质量要求亦可有许多弹性，将废轮胎衍生的资源再利用于公共工程上，一直是世界各国处理废轮胎的方向之一；依美国各州公路工程单位之经验，废轮胎可以原型作为公路边坡之挡土墙、防落石栅栏，以捆包块利用于路堤、及河川护岸工程，以切割后的碎片形式用作轻质填方材、用在公路底层作为隔离材料、破碎成颗粒状作为排水滤材，及将研磨之粉末用作路面沥青改质剂、压制橡胶路面砖及各式橡胶制品等，其中又以常温研磨之废轮胎橡胶粉，用湿式制程拌制橡胶沥青，再与集料拌合、滚压成为沥青路面，从而进入沥青路面的再生循环，最具有可行性。

台湾地区于2000年起正式进行废轮胎橡胶再利用于沥青混凝土路面之相关研究，选择采用美国文献的湿式制程，在实验室以本土切割研磨的废轮胎橡胶粉末，拌制出符合美国ASTM规范之橡胶沥青产品，再以本土石材进行试拌与配比设计，并仿照美式自制橡胶沥青拌合机具，再配合公路管辖单位之协助，在主要干道上铺筑完成二段废轮胎橡胶沥青试验路面；第一段于2000年12月以间断级配(Gap-Grade)铺筑厚度5公分总长约为2.0车道公里，约使用2,000条废轮胎，这段试验路面如今已服务接近9年，除了部份断面因地下管线扩充需求遭挖掘破坏外，没有一般承受重载交通量路面常有的变形与龟裂，整体成效相当良好，已明显超越传统的沥青混凝土路面；第二段于2002年5月以开放级配摩擦层(Open Grade Friction Course, OGFC)铺筑厚度2公分总长亦约为2.0车道公里，约使用1,000条废轮胎，该段路面也已服务超过7年，尚未有开放级配较常出现的松散剥落，整体成效亦相当良好；这两段试验路面充份验证美国路面工程界部份人士对废轮胎橡胶沥青的正面看法，那就是「将来自公路使用产生的废轮胎用回公路上去，不仅可使废轮胎进入沥青路面的再利用循环而免除此部份的环境问题，更因废轮胎橡胶的加入而改善沥青路面的质量，可说是环保与工程双赢的最佳典范。」

废轮胎橡胶沥青路面的价格较高，且需提高施工温度，虽然服务年限可能增长，但在一般工程尚未进行整体生命周期成本分析(Life Cycle Cost Analysis, LCCA)之前，因初置成本较高而推广不易，由于废轮胎的回收再利用为重要的环保议题，本研究除了详细介绍在台湾地区以橡胶沥青铺筑路面之经验成果外，并尝试以纳入环境冲击的生命周期评估法(Life Cycle Assessment, LCA)，比对橡胶沥青铺面与其它沥青铺面，最后，再对推动采用废轮胎橡胶沥青遭遇到的环保政策困难点，尝试提出适当的应对方法建议。

## 2、废轮胎橡胶沥青的拌制与性质检测

依ASTM的定义，所谓橡胶沥青(Asphalt Rubber, AR)，乃由一般铺路沥青和回收废轮胎橡胶粉末，有时视需要另加添加剂，均匀拌合而成，用



作为铺筑路面的黏结料。此种黏结料中的橡胶粉末，应与高温的沥青充分接触拌合，使橡胶颗粒的体积膨胀后才加以使用。

大部份像废轮胎橡胶颗粒这一类的亲油性高分子聚合物，在浸入低分子液体油品中，都会有不同程度的体积膨胀量，这种高分子内部架构的膨胀，主要导源于低分子量的油类，经由物理性的扩散而进入高分子橡胶的架构内，由于橡胶分子有较强的连结链，低分子液体进入虽可使橡胶分子因膨胀而变形，但还不致于使橡胶失去其原有的特性，影响较大的可能是含有橡胶颗粒的液体，会因较低分子的油类进入橡胶颗粒内，而使含橡胶颗粒液体的黏度增加，较不容易流动变形，且又因橡胶的本性，混合液会有一定程度的弹性性质。传统的沥青胶泥受此种改质作用后，高温黏度将增加而有利于抗变形，低温时则仍有适当的柔性，而有利于抗低温龟裂，因此，经废轮胎橡胶粉改质后的橡胶沥青所拌制而成的沥青混凝土，很可能会有因感温性降低的明显成效而达到改进的效果；再加上一级石油沥青为黏弹性材料，时常受限于较弱的弹性特性而有严重的疲劳现象，使得路面的寿命较短，需要时常维修，经由废轮胎橡胶改质的沥青混凝土，可能因拥有较佳的弹性性质而使寿命增长，节省养路所需的经费。

废轮胎橡胶粉与沥青反应后产生的特性，是采用废轮胎橡胶于沥青路面上的主要优势，也是过去40年来，许多研究人员花费大量的时间探讨橡胶沥青路面使用成效的重要方向；由于这种反应是否能顺利进行，端视沥青内的低分子油品是否移动进入废轮胎橡胶颗粒内，因此主要由橡胶与沥青间的相容性、橡胶颗粒的表面积、浸泡在沥青内的温度高低、时间长短、及沥青本身的黏度而定；然而，沥青与废轮胎橡胶粉二种材料都只是工业副产物，成份较为复杂且使用者对成份的主导性较低，因此，依据反应的原理，恰当的选择适当的材料，进行必要的制程控制修正，例如拌合温度、时间、及添加量，是应用废轮胎橡胶粉于沥青混凝土路面成败的重要关键。

美国文献上对用于沥青路面之废轮胎橡胶粉(Crum Rubber Modifier, CRM)的规定，可汇整如表1所示。本研究于台湾地区废轮胎磨粉厂取得的废轮胎橡胶粉，物理与化学性质检测结果，则可整理如表2以供比对。首先是在橡胶粉的含水率方面，佛罗里达州与ASTM D6114-97皆规定需小于等于0.75%，本研究测得的三种CRM含水率皆在1.1%~1.2%；作者认为与切割磨粉制程有关，若能加强去除纤维以及维护研磨厂空气质量的抽气控制，将可降低本土CRM的含水率；含水率较高可能造成拌合时产生橡胶沥青起泡甚至满溢的现象，本研究于拌制橡胶沥青时，即有出现起泡的现象，随着橡胶粉的加入，拌制中的橡胶沥青体积会一直的膨胀，且随着CRM添加的速度增快，膨胀现象愈为明显，而且此一现象并不会因为停止加温与搅拌而马上停止，于实际拌合时应该谨慎小心，尤其是废轮胎橡胶粉可能因存放或天候关系而含水量偏高时，需特别加以留意。

表 1 美国规范对废轮胎橡胶粉(CRM)的性质规定[1]

物理性质									
试验项目		亚利桑纳州		加州	佛罗里达州			纽泽西州	ASTM D6114
筛号	网径 (mm)	Type A	Type B		Type A	Type B	Type C		
No.8	2.360	100	-	100	-	-	-	-	建议小于8号筛
No.10	2.000	95-100	100	95-100	-	-	100	100	
No.16	1.180	0-10	65-100	40-80	-	-	-	75-100	
No.20	0.850	-	-	-	-	100	85-100	-	
No.30	0.600	-	20-100	5-30	-	-	-	25-100	
No.40	0.425	-	-	-	100	85-100	20-60	-	
No.50	0.300	-	0-45	0-15	-	-	-	-	
No.80	10.18	-	-	-	90-100	10-50	5-20	0-20	
No.100	0.150	-	-	-	70-90	5-30	-	0-5	
No.200	0.075	-	0-5	0-3	35-60	-	-	-	
比重	1.15±0.05		1.15±0.05		1.10±0.06			1.15±0.05	1.15±0.05
含水量	无规定		无规定		≤0.75%			无规定	≤0.75%
金属含量	无规定		≤0.01%		≤0.01%			无规定	≤0.01%
纤维含量	≤0.1%	≤0.5%	≤0.05%	无规定			无规定	≤0.5% (黏、封层洒布≤0.1%)	
滑石粉添加量	≤4%		≤3%	≤4%			≤4%	≤4%	
化学性质									
天然橡胶	无规定			22%~39%	16%~45%			无规定	无规定
丙酮萃取量				6%~16%	≤25%				
碳氢成份含量				42%~65%	40%~55%				
灰份含量				≤8%	≤8%(Type A ≤10%)				
碳黑含量				28%~38%	20%~40%				

对于废轮胎橡胶粉的粒径分布部份，因ASTM D6114只规定小于2.36mm，故皆可符合外，与美国主要的三个采用橡胶沥青的州规范相比较，可知本研究取得的CRM级配中，两种30号筛产品的粒径分布相当接近，皆落在亚历桑纳州规范的上限位置，而20号筛产品则落在亚历桑纳州规范的下限；相较于加州的规范，本土产制的CRM粒径分布则有明显较细的现象，而相对于佛罗里达州的规范，则有明显较粗的现象。文献中较少提及CRM的比重对拌制橡胶沥青过程的影响，但限制CRM的比重，可以当作是对CRM之来源与性质的一种确认，根据本土橡胶粉的比重试验结果，三种CRM皆符合大部份规范在1.1~1.2的规定。

表 2 台湾地区废轮胎橡胶粉末(CRM)性质汇整[4]

试样别			大车胎30号筛	小车胎30号筛	小车胎20号筛
粒径分布(过筛百分比)	筛网号数	网径(mm)			
	No.10	2.000	-	-	100.0
	No.16	1.180	-	-	97.7
	No.20	0.850	100.0	100.0	62.6
	No.30	0.600	98.8	97.7	24.3
	No.40	0.425	59.2	61.1	8.1

	No.50	0.300	32.4	33.9	3.3
	No.80	0.180	12.7	12.5	0.9
	No.100	0.150	7.9	7.5	0.5
	No.200	0.075	0.0	0.0	0.0
	含水率试验	含水率,%	1.2	1.1	1.0
	比重试验	比重	1.131	1.161	1.163
化学分析	橡胶主成份		NR/BR/SBR	NR/BR/SBR	NR/BR/SBR
	丙酮萃取分%		9.0	11.0	11.5
	碳氢类橡胶总含量%		55.0	50.5	51.5
	碳黑总含量%		28.0	32.5	31.0
	灰分总含量%		8.0	6.0	6.0
	天然橡胶含量%		43.0	34	26.0

只有佛罗里达州对CRM的化学成分有较完整的规定，本土产制的三种CRM与佛罗里达州的规范比较，则皆符合要求，但在大车胎30号筛的部分碳氢类橡胶总含量与灰分总含量皆偏向规范的上限，拌制成的橡胶沥青可能会较富有弹性且有较高的黏度，对于弹性部份本研究中的实验设备并没有能力检测，但在黏度增加方面亦已得到证实。加州仅于CRM添加量较高且有添加其它油品时，才限定CRM的天然橡胶含量，本研究取得的三种CRM亦符合该规范要求。

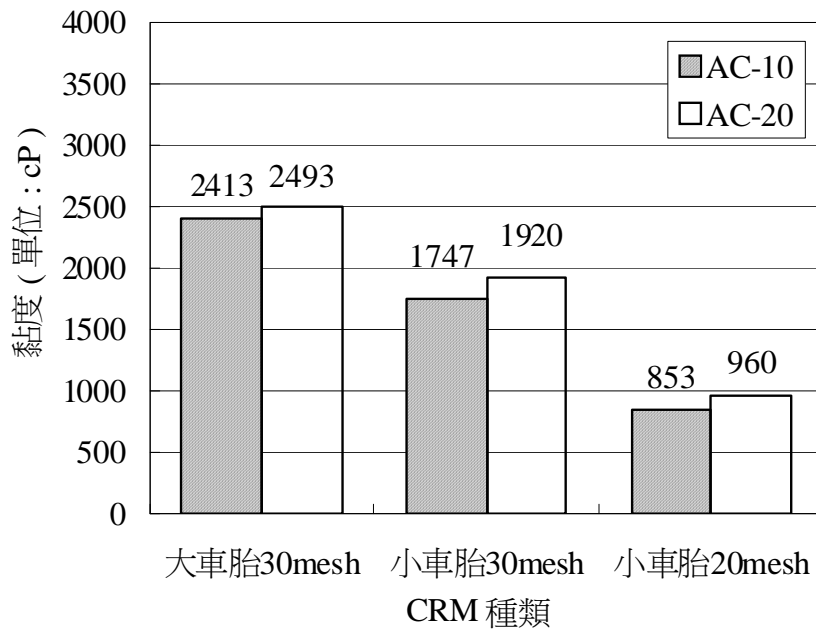
若将三种CRM材料与二种基底沥青在175~190℃的温度条件下，于实验室内以高剪力拌合机用3,000RPM拌制一小时，如图1所示，拌制出共六种不同的橡胶沥青，经拌制后依ASTM D2669的方法，如图2所示，量测175℃黏度，数据整理如图3所示。



图1 本研究拌制橡胶沥青所用的高剪力拌合机与加热设备



图2 本研究依ASTM D2669组装的橡胶沥青175℃视黏度量测设备



注：AC-10 指 60°C 黏度為 1000poises 之瀝青膠泥，AC-20 則指 60°C 黏度為 2000poises 之瀝青膠泥，CRM 添加量皆為瀝青重量的 20%。

图3 本研究拌制之六种橡胶沥青的175°C黏度数据比较

由图3观察可知，使用不同等级的基底沥青，并没有造成很大的差距，CRM种类的影响则较具关键。大部份橡胶沥青规范皆规定175°C黏度需在1,500~4,000 poises之间，以小車胎20号筛拌制的二种橡胶沥青因黏度太低而不符合ASTM D6114之黏度要求，颗粒较细的30号筛CRM拌制的四种橡胶沥青，则皆可符合规定；本研究将各式橡胶沥青的黏度和比重检测结果，换算为动黏度，再依文献计算感温性参数(Viscosity-Temperature Susceptibility, VTS)如表3所示，由表3可知各式橡胶沥青的感温性参数VTS皆小于3.0，可见橡胶沥青的感温性明显较一般传统沥青和改质沥青低，具有作为改质沥青替代品的条件。经由橡胶沥青试拌及检测的结果，本研究选择使用台湾地区废轮胎磨粉业者产量较大的「小車胎30号筛」与惯用的AC-10沥青，以沥青重量的20%作为剂量，拌成的橡胶沥青后，依ASTM D6114检测之性质如表4所示，由表4可知本研究拌制之橡胶沥青的特性可以符合ASTM D6114之规定。

表 3 本研究拌制之橡胶沥青性质与感温性计算结果

沥青胶泥类别		AC-10		
橡胶粉种类		大车胎30号筛	小车胎30号筛	小车胎20号筛
绝对黏度 (单位cP)	60℃	1,370,873	931,891	875,700
	135℃	7,343	5,759	2,893
比重	25℃	1.037	1.041	1.041
	60℃	1.060	1.064	1.064
	135℃	1.112	1.116	1.116
动黏度 (单位cSt)	60℃	1293092	875640	822840
	135℃	6603	5159	2591
VTS*		2.31	2.32	2.71
沥青胶泥类别		AC-20		
橡胶粉种类		大车胎30号筛	小车胎30号筛	小车胎20号筛
绝对黏度 (单位cP)	60℃	1,945,201	1,450,593	1,569,467
	135℃	11,211	8,912	5,634
比重	25℃	1.033	1.041	1.04
	60℃	1.056	1.064	1.063
	135℃	1.108	1.116	1.115
动黏度 (单位cSt)	60℃	1,841,939	1,363,031	1,476,148
	135℃	10,120	7,983	5,052
VTS*		2.20	2.23	2.51

注：依美国文献，VTS值愈大表示感温性愈高，一般沥青的VTS值在3.3至4.0之间。

表 4 本研究拌制橡胶沥青之特性及与 ASTM D6114 规范之比较

类别*	本土橡胶 沥青	ASTM D6114规定		
		Type I	Type II	Type III
视黏度, 175℃, cP	1762	1500~5000	1500~5000	1500~5000
针入度, 25℃, 100g, 5s, 0.1mm	51.7	25~75	25~75	50~100
针入度, 4℃, 200g, 60s, 0.1mm最小	26.3	10	15	25
软化点, °C, 最小	56.9	57.2	54.4	51.7
回弹率**, 25℃, %, 最小	未施测	25	20	10
闪火点, °C, 最小	>232.3	232.3	232.2	232.2
薄膜烘箱试验后之样品 4 °C残余针入度%, 最小	99	75	75	75

注：本表参照ASTM D6114  
\*：Type I, II, III分别适用于平均气温较高、中等、及较低的地区。  
\*\*：试验方法为ASTM D5329之12

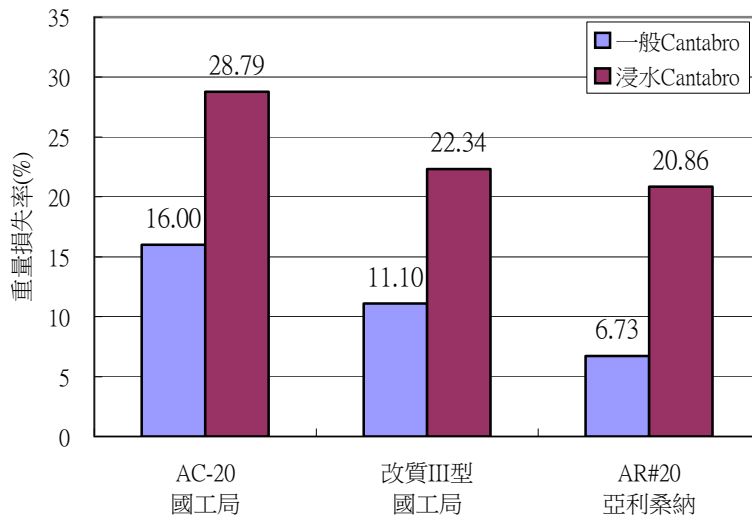
### 3、废轮胎橡胶沥青混合料的配比设计及性质检测

本研究在实验室用AR拌制密级配(Dense Grade, DG)、间断级配(GG)、及开放级配三种AR混合料, 及用AC-10拌制的对照材料, 共五种混合料配比设计的成果汇整于表5, 由表5中的数据可知采用AR将可以提高混合料的用油量, 间断级配与AC-10沥青的组合之用油量最低, 代表沥青耐久性的「沥青填满孔隙百分比(VFA)」只有约65%, 若再提高用油量, 虽可符合VFA高于70%的规定, 但将使空隙率降低, 而不符合沥青混凝土体积关系之需求; AR与密级配组合的混合料空隙率最高, VFA也只有约60%, 且稳定值低于680公斤, 很可能会是非常难压密的混合料; 为了达到沥青混凝土配比设计上考虑的体积关系需求, AR混合料, 可能必须要选择间断级配才恰当, 这种组合之用油量为8.0%, 空隙率接近4.0%, VFA达80%。

表 5 实验室拌制五种沥青混合料之马歇尔配比设计结果汇整表

沥青胶泥种类		AR			AC-10	
级配种类		DG	GG	OG	DG	GG
夯打次数		75	50	50	75	50
最佳用油量(%)		7.0	8.0	6.0	6.3	5.5
最佳含油量时基本性质	稳定值(kg)	635	831	-	2315	1114
	流度值(mm)	3.40	3.10	-	3.00	3.30
	单位重(Mg/m <sup>3</sup> )	2.191	2.248	1.936	2.239	2.284
	空隙率(%)	8.03	3.62	18.6	3.1	5.34
	VMA(%)	20.0	18.7	-	17.7	15.1
	VFA(%)	59.8	80.6	-	80.1	64.6
	VCA(%)	-	-	38.3	-	-
VCA <sub>dir</sub> (%)	-	-	39.9	-	-	

美国使用废轮胎橡胶于路面上相当成功的亚利桑纳州就主张不要将橡胶沥青用在密级配, 应将其用在间断级配结构层, 或是开放级配摩擦层, 台湾地区路面较少间断级配的设计, 但在高速公路上, 则普遍有开放级配摩擦层的设计, 且近几年来有在开放级配摩擦层采用高分子改质沥青的趋势, 将废轮胎橡胶沥青用在OGFC, 还可以考虑使用较粗的CRM, 以降低磨粉的成本。本研究执行多次试验及探讨后, 提出完整的橡胶沥青摩擦层配比设计流程, 并将台湾地区现行OGFC与仿照亚利桑纳州的橡胶沥青OGFC之一般及浸水Cantabro试验结果汇整于图4。亚利桑纳州的级配能够加入更高的沥青含量, 但却保有足够的空隙率, 且由图4又可以看出亚利桑纳州的橡胶沥青比现行开放级配更具有抗松散的能力, 所以亚利桑纳州的级配搭配废轮胎橡胶沥青应是既符合环保、经济又兼具路面成效的一个理想选择。由于橡胶沥青高温黏度相当高, 采用橡胶沥青时, 用量高达11%时, 垂流量仍在0.3%以下, 没有沥青流失的顾虑。



含油量(%)	5.0	5.5	9.0
空隙率(%)	16.7	15.1	19.0

图4 台湾地区现行开放级配与亚利桑纳州的橡胶沥青开放级配之比较

将AR用作为石胶泥沥青混凝土(Stone Matrix Asphalt, 简称为SMA)之黏结料, 除了改质的作用外, 因AR的高温黏度较大, 在拌合及运输过程中, 不会有沥青流失的现象, 可不必使用纤维材料而有经济效益; 本研究依据AR-SMA及SMA试体的体积关系分析结果, 显示只要使用0.6mm以下的废轮胎橡胶颗粒, 将可成功拌制AR-SMA, 不需要进行集料的调整即可保持良好的骨材架构; 在实验室绩效评估方面, AR-SMA的抗水侵害能力等同于对照的一般SMA试体; 以轮迹试验仪在60°C测得的车辙变形率, 则显示AR-SMA比SMA有明显较佳的抗变形能力, 如图5所示。



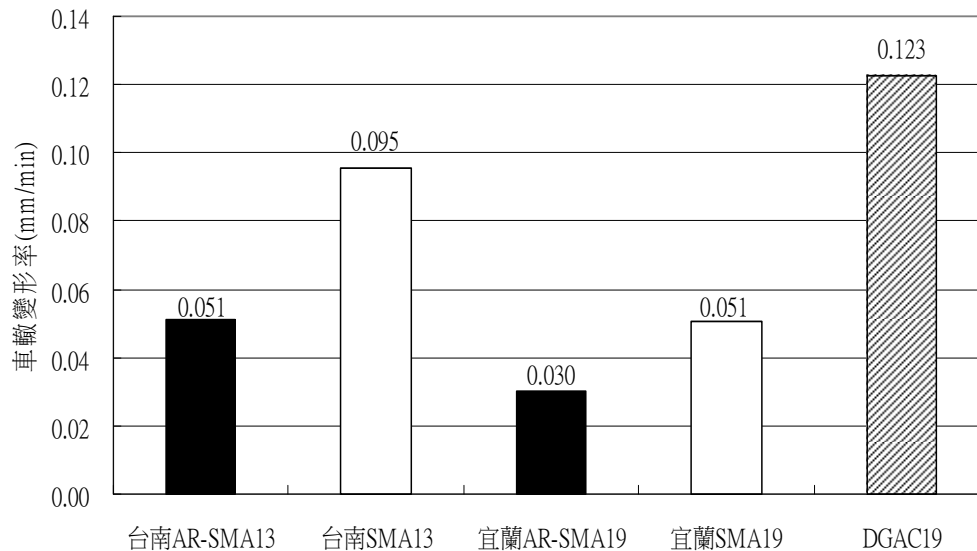


图 5 在实验室中拌制五种混合料的车辙变形率比较[6]

#### 4、以自制拌合设备生产橡胶沥青

由于CRM与沥青之间的交互反应是湿式制程的主要关键，依据美国加州、亚利桑纳州、及佛罗里达州的实务经验，及本研究以本土材料于实验室试拌的结果，必须在175℃以上的沥青温度下，将CRM加入拌合均匀，并持续搅拌约一个小时，使CRM与沥青在高温下反应，达到所需的黏结料特性；然因，一般热拌厂的沥青油槽只将沥青加热至最高约140℃，且这些油槽都没有搅拌设备，因此必须针对废轮胎橡胶沥青，设计特殊的沥青与废轮胎粉的拌合设备。研究人员参访的亚利桑纳州AR铺筑工作，在产量较大的情况下，以三部半拖车组成AR拌合设备，第一部为纯沥青油槽，第二部为加热及计量拌合设备，第三部则为AR反应槽，第二部拖车的加热设备可连接至纯沥青槽，以便将沥青的温度提升至175℃以上，将高温纯沥青计量后送入第二部车的拌合槽内，缓缓加入经计量的废轮胎粉，搅拌均匀后，送入第三部反应槽内持续搅拌反应，此反应槽的管线连接至热拌厂的沥青计量箱，橡胶沥青经计量后，加入集料拌制成橡胶沥青混凝土。

像亚利桑纳州那样的拌合设备需要相当大的投资，台湾地区尚属研究试作阶段，而且热拌厂的产量较低，应该考虑采用较为简易的拌合设备。本研究进行期间，自行依国外的经验，与相关厂商进行拌制机具的改装工作，以两个约5公吨的沥青油槽加装搅拌叶片，由于拌合温度的控制相当重要，这两个拌合油槽除了需分别与热拌厂的油槽和拌合机相连外，且有额外的加热器，如图6所示。表6为在OGFC试铺的工程案例中，产制AR的黏度检测记录，由表6可知，在A槽的沥青经加热提高温度至超过185℃后，加入CRM而使温度降至约160℃，送入B槽再将温度提高至超过175℃，取样进行175℃黏度检测合格后，送到拌合机拌制AR混合料，以本研究的经

验，如表6所示，AR的175℃黏度可以获得有效的控制。

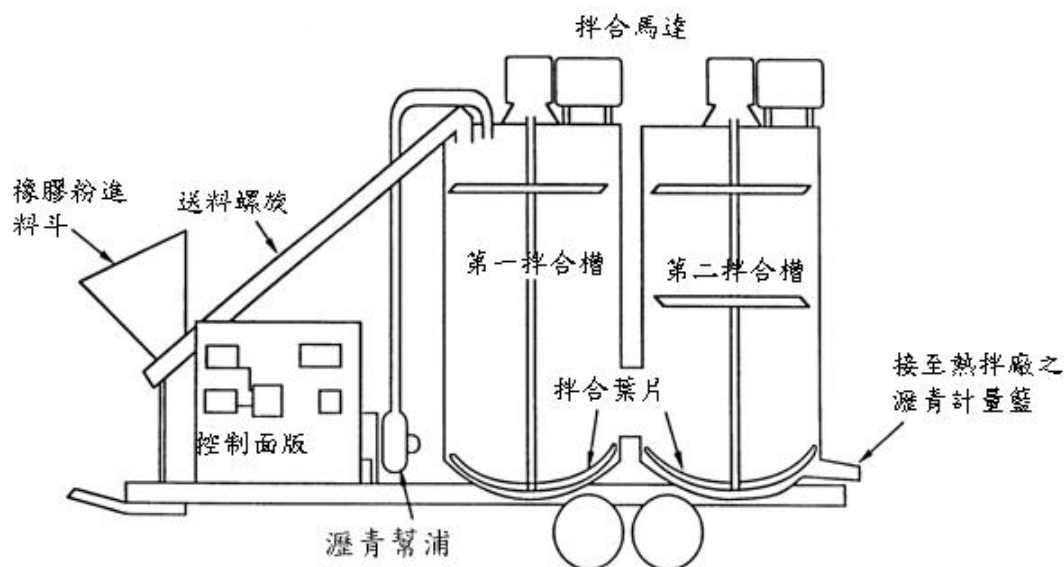


图6 本研究自制AR拌合设备简图

表6 橡胶沥青试铺案中AR的检测记录表

生产日期 (年月日)	AC-10用 量(公斤)	橡胶粉末用 量(公斤)	加入橡胶粉 前AC-10之 温度(℃)	加入橡胶粉 后胶泥温度 (℃)	B槽橡胶沥 青胶泥温度 (℃)	检测之黏度 值(cp)
2002/05/20	4,770	954	185	162	175	3,169
2002/05/20	5,035	1,007	192	169	180	3,125
2002/05/20	2,650	530	192	166	182	3,115
2002/05/24	5,300	1,042	181	161	178	2,700
2002/05/24	2,120	392	193	169	189	2,442
2002/05/24	3,445	656	194	161	183	2,559
2002/05/24	2,120	410	194	162	178	2,622
合计	25,440	4,991				

## 5、橡胶沥青试验路面铺筑成果

本研究获环保署及公路总局之协助，采用间断级配铺设完成废轮胎橡胶沥青路面，该橡胶沥青试铺路面于2000年12月7日正式开始铺筑，由于橡胶沥青的拌制设备不够顺畅，无法将拌制橡胶粉前的沥青温度提高，因此生产速度较慢，连续进行7天，共生产间断级配橡胶沥青混凝土约1,156公吨，消耗掉约15公吨废轮胎粉末，大约是2,000条废轮胎；铺筑完成两个长1000公尺的车道。该试验路面每年进行一次包括平坦度、空隙率变化、彭

柯曼梁弯沉值、英式摆锤抗滑性、铺砂法宏观纹理、及噪音等评估项目之评估工作，成果可汇整如表7所示。

表 7 橡胶沥青试铺路面开放交通四年后综合评估表

评估项目	传统沥青路面	橡胶沥青路面	评断
空隙率(%)	≐6.8	≐2.9	两段路面皆未出现明显的空隙率变化
平坦度(高低差标准差)	由第一年之 1.5mm 降至第四年之 1.25mm	由第一年之 1.0mm 降至第四年之 0.85mm	橡胶沥青路面较平坦
弯沉值	最大弯沉值稍大受挠曲线较陡	最大弯沉值稍低受挠曲线较缓	橡胶沥青路面劲度较大
轮迹处宏观纹理深度	由第一年之 0.41mm 降至第四年之 0.36mm	由第一年之 0.68mm 降至第四年之 0.35mm	前三年橡胶沥青路面抗滑性较优，第四年后相近
行车噪音	前三年橡胶沥青路面低约 1 至 2 分贝，第四年则呈现高约 2 分贝，降低行车噪音之效果不明显		
外观	一至三年完整，第四年出现颗粒剥落及局部裂纹	一至三年完整，第四年开始出现轻微颗粒剥落没有裂纹出现	橡胶沥青路面较佳

由表7可知该试验路面的施工质量良好，平坦度维持相当高的水平，空隙率也相当稳定，采用间断级配的废橡胶沥青混凝土不但没有施工困难的问题，不采用胶轮压路机，只用两部钢轮压路机进行压密(初压温度135℃，在降至105℃前终压完成)，空隙率可压至3.0%附近，且不会有受交通荷重再压密的现象。连续四年的评估数据显示橡胶沥青路面的弯沉值较低及纹理较深，表示橡胶沥青路面的劲度较高且因采用间断级配而抗滑性较佳；至于在噪音部份，则测得的最大降低量约为2分贝，由于人可辨别的噪音量差异在3到5分贝之间，故本橡胶沥青路面并没有明显降低噪音的效果，可能要采用开放级配才会有可分辨的噪音降低量。第四年评估时发现传统沥青路面的部份路段已有龟裂产生，且有集料剥落之状况，废轮胎橡胶沥青路段则明显较轻微，由于两段路面的交通与环境状况皆相同，作者认为已足以认定橡胶沥青路面优于传统沥青路面。

第二段AR试验路面改采OGFC设计，于2002年5月铺筑厚度2公分总长亦约为2.0车道公里，约使用1,000条废轮胎。开放通车一个月后的综合评估如表8所示，本工程的配比设计沥青含量(对混合料)为9.0%，经试铺检测结果，实际沥青含量高达9.8%，比一般密级配沥青含量约5.0%高出甚多，在沥青混合料运输卡车高温运送过程中并未有垂流现象，及于试铺完工后一个多月之现地检视结果，并未发现有冒油情形，综合试验结果及文献资料，

因橡胶沥青保油效果极佳，橡胶沥青开放级配在符合空隙率的要求下，可以尽量提高橡胶沥青含量，将有助于增加耐久性，这是国内第一次也是唯一采用湿式制程之废轮胎橡胶沥青开放级配摩擦层相当成功之案例。

表 8 橡胶沥青开放级配铺面开放通车一个月后综合评估表

评估项目		评估结果	评断
空隙率 (%)		14~15	未达设计值 (16.4%) 尚可
平坦度	最大高低差标准差	北上车道 0.866mm 南下车道 0.744mm	低于标准值 (4mm) 路面平坦
	最大高低差值	北上车道 -3mm 南下车道 +5mm	低于标准值 (5mm) 路面平坦
抗滑特性	英式摆锤 (抗滑数)	北上车道 $R_{20}=54\text{BPN}$ 南下车道 $R_{20}=62\text{BPN}$	高于标准值 (45BPN) 行车安全
	铺砂法 (宏观纹理深度)	北上车道 $\text{MTD}=0.84\text{mm}$ 南下车道 $\text{MTD}=0.70\text{mm}$	比一般密级配深 属于中等纹理铺面 车速可达 120Km/hr
现地透水量		北上车道 118~398 ml/15sec 南下车道 344~726 ml/15sec	未达日本道路协会规范 900 ml/15sec
外观		完整	试铺成功

这两段路面目前(2009年9月)的服务期限已分别为接近9年及超过7年，间断级配的路面除了部份路段因地下管线扩充需求而遭挖掘破坏外，大体上仍相当完整；OGFC路段则仍然保持相当良好的状态，没有一般OGFC在超过4至6年后即有松散剥落的情况。

## 6、橡胶沥青路面的生命周期评估

本研究以近年来推动采用的再生材料配比及服务绩效数据，配以生命周期评估法Eco-indicator 99提供的数据库，分析再生沥青混凝土、废轮胎橡胶沥青混凝土、及废玻璃沥青混凝土等，三种再生材料在沥青路面养护作业中，生产及施工过程对环境造成的负荷量，并与一般热拌沥青混凝土之环境负荷量比较。研究的结果显示[5]，以一般沥青路面每6年刨除及重铺5cm为标准作业，假设所有材料的服务年限均为6年且做为评估周期，用每1车道公里对环境生态的负荷量计，一般沥青混凝土为3.45kPt.，改用再生沥青可降低23%环境负荷量，改用橡胶沥青反而增加16%负荷量，废玻璃沥青则只降低不到1%负荷量，如图7所示。

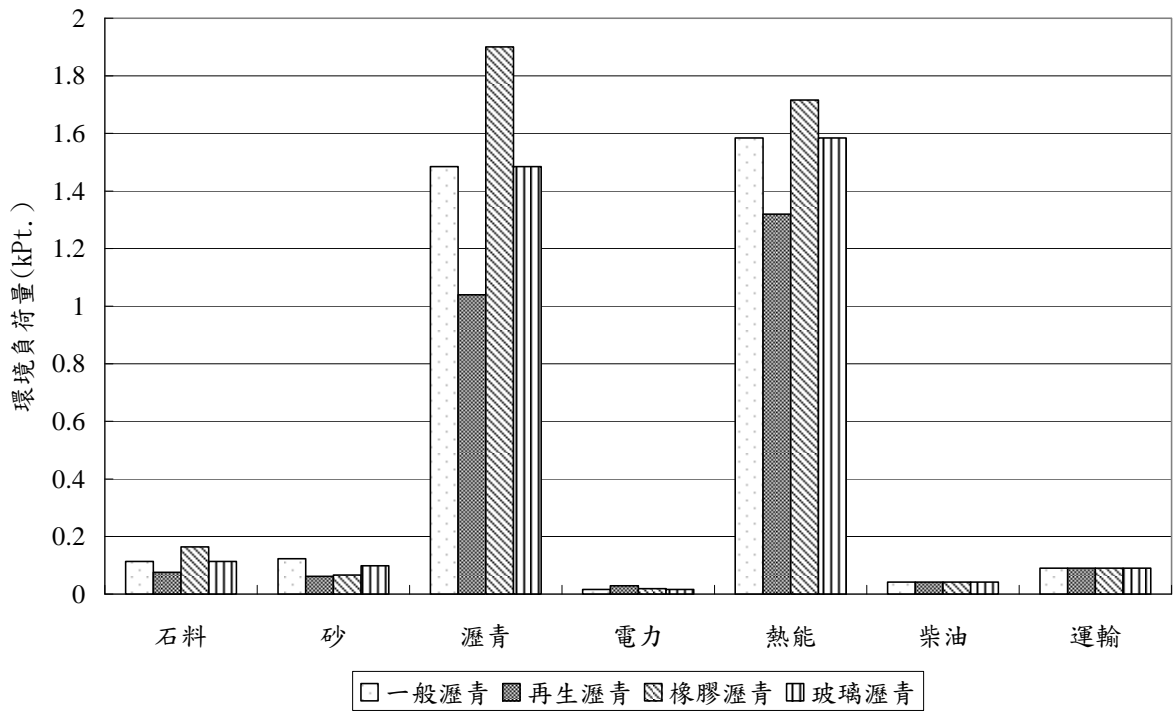


图7 路面养护作业对环境产生的负荷量比较图(1车道公里)[5]

若考虑不同材料的服务年限不同，假设再生沥青的服务年限同为6年，橡胶沥青增长为9年，废玻璃沥青则因剥脱顾虑缩短为5年，则一般沥青混凝土1车道公里养护40年之环境负荷量为23.03 kPt.，改用橡胶沥青与再生沥青皆可降低23%环境负荷量，改用废玻璃沥青则反而提高19%环境负荷量，如图8所示。

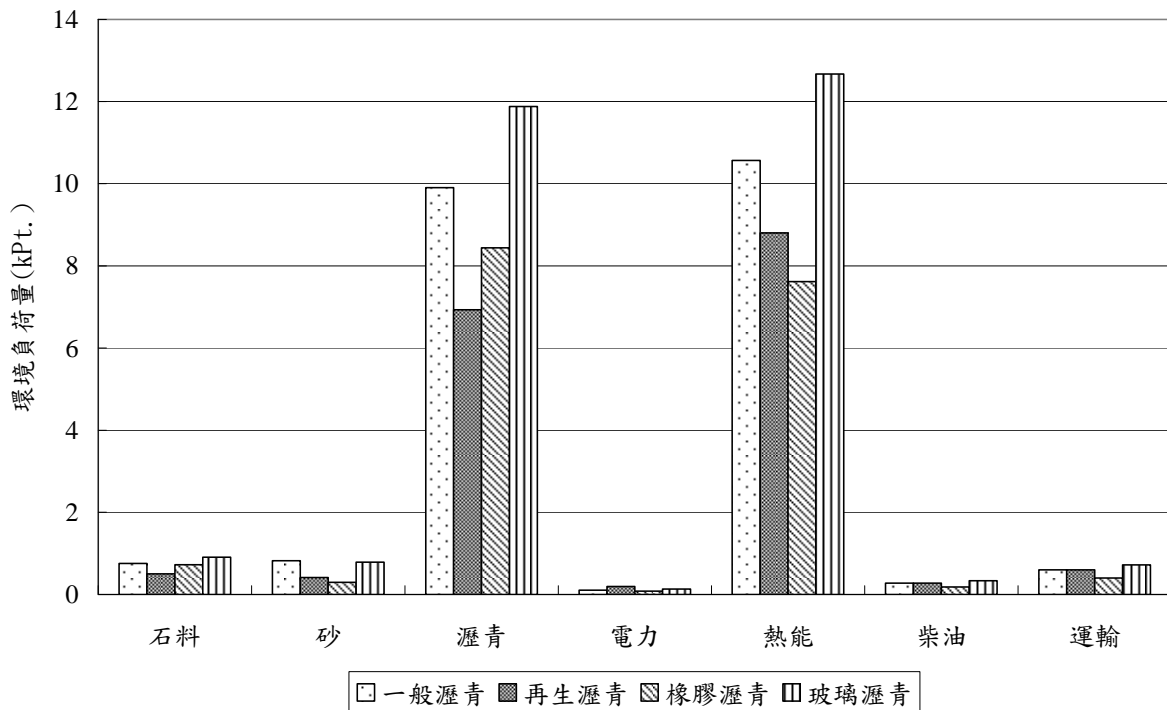


图8 路面养护作业对环境产生的负荷量比较图(1车道公里，40年)[5]

若分析生产施工之不同过程对环境的负荷量，则四种养护材料皆以沥青为原料及采用高热源，为主要的二大环境负荷产生源，分别占总负荷之39%~48%及42%~50%，远高于砂石、电力、运输、及施工机具的影响量，故除了确保养护铺面的质量以延长服务年限外，设法降低生产热拌沥青路面养护材料的热源需求，例如降低拌合及滚压的温度，则是减少环境负荷较有效的方法。

## 7、推动废轮胎铺路的策略建议

废轮胎的资源化路径与实行的管理策略密切相关；由于轮胎本身不会经由生物分解而腐化，废轮胎的弃置会产生许多问题，除了堆置造成环境景观的破坏外，又因质轻体积庞大，严重影响垃圾掩埋场的使用年限，若再加上蚊害、火灾等，在环保意识较高的国家而言，废轮胎是既头痛又重要的处理问题。以美国而言，大部份的州政府都是以在新轮胎或是新车购置费用中额外征收处理费的方式，部份用以支付废轮胎清除所需费用，部份经费则用以打通废轮胎的资源化通路。

目前大部份的管理策略都是纯粹以解决废轮胎的问题为着眼点，尚未有永续的市场做后盾，故公部门必须介入以协助市场开发，甚至补助仪器设备的投资，并确保投资厂商足以获利，以降低投资风险，所以总是受限于经费而必须集中力量在推展单项产品市场上，导致忽略其它许多潜在性产品市场，而无法顺利成功且完整地解决废轮胎的问题；再加上相关业者

为争取补助而产生的不良竞争方式，反而形成许多的僵持退化而无法促进处理技术的发展；由于一直没有以废轮胎衍生的精致产品可以独自形成稳定的市场，投资风险因而较高，故虽已有良好的切割及磨粉技术和设备，愿意投资的厂商却不多。

既使在有稳定的技术与产品进入市场时，又时常出现大量废轮胎涌入而超出该项技术的处理能力，要不就是硬要把远方的废轮胎运至特定的地点处理，使运费大量增加而使该项处理方案变成不经济。以往台湾地区推动的水泥窑辅助燃料及热解处理，都看得到这些缺陷，再加上附近居民的反对，纵使像作为水泥窑辅助燃料，这种经证实不产生二次污染的废轮胎处理方式，也与美国相同有无法持续推展而减缓的趋势。

台湾地区虽自1990年10月起即正式展开废轮胎回收清除处理工作，其间亦产生许多管理上的困难，但在1997年成立「资源回收管理基金管理委员会」(简称为基管会)以后，废轮胎的回收处理改采「责任回收处理制度」，将市面上废轮胎回收后直接送责任处理厂处理，一方面减少废轮胎贮存可能导致的环境问题，另一方面则降低废轮胎贮存成本的浪费，此种制度将使台湾地区废轮胎资源化处理架构上的资源确保及资源供应正常化，唯对资源的利用，则尚有待多元化的市场开发。

目前废轮胎预定的处理机制期望以磨粉为核心，但因回收清除处理机构基于回收清理成本差异、机具设施规模不足、或因物品质量差异、以及地方执行机关限于人力、机具、经费不足参与回收意愿较低等因素，磨粉所需的机具设备价格较高，若没有适当的橡胶粉卖出利益，大部份的所谓磨粉业者，仍以切割后作为煤的替代燃料为主。在回收处理基金的调配上，则尚未有足够的弹性，以鼓励、刺激新产品的开发。以用在橡胶沥青路面为例，由于初期的建置成本较高，且产品的主要市场为公共工程，公部门若没有以补助或确保工程量的方式来承担部份风险，民间厂商的投资意愿不高。

美国在1994年推行废轮胎橡胶再利用于路面上时，即规定联邦政府经费补助铺筑的路面中，必需有一定的百分比是使用橡胶沥青路面，这种政策使得加州、亚利桑纳州、及佛罗里达州的橡胶沥青铺面工法获得相当多的经验，而终获成功；佛罗里达州和亚利桑纳州目前都有数家大型的磨粉业者，明显出现市场竞争而有降低回收处理费用的情形。因此，公部门应整合环保与公路工程单位，拟订试办方法、选择试办区域，拨入专款在一定的期限内铺筑一定数量的橡胶沥青路面，则公路单位将有上级交办的特定任务与专门经费，可以进行橡胶沥青路面之铺筑，并从中获得足够的经验，而部份厂商则因有公部门的政策为后盾，可以降低投资的风险，购置施工机具与设备以提升质量，则轮胎回收业者也将因看见橡胶粉的经济效益而增加磨粉的比率。由于成功的橡胶沥青铺面具有较佳的成效，公部门的专款补助与推行只是暂时性的措施，待公路部门获得足够经验与信心，可以回到正常的市场机制。

## 8、结论

台湾地区于2000年起正式进行废轮胎橡胶再利用于沥青混凝土路面之相关研究，选择采用美国文献的湿式制程，在实验室以本土切割研磨的废轮胎橡胶粉末，拌制出符合美国ASTM规范之橡胶沥青产品，并仿照美式的橡胶沥青拌合机具，自制设备拌制间AR沥青混凝土，在主要的省道上，分别于2000年12月及2002年5月以间断级配及开放级配铺筑完成两段橡胶沥青试验路面，目前的服务时期间已分别接近9年及超过7年，显示废轮胎橡胶沥青路面优于对照的传统沥青路面，将废轮胎用回公路铺面上，不仅可使废轮胎进入沥青路面的再利用循环而免除此部份的环境问题，更可能因废轮胎橡胶的加入而改善沥青路面的质量，达到环保与工程双赢的成果。

## 9、参考文献

- [1] 邱垂德、潘昌林，「以废轮胎橡胶拌制沥青混凝土之台湾经验」，上海公路(季刊)，2005年第1期，2005年3月31日出版，第41~49页。
- [2] Hicks, R. G., J. R. Lundy, R. B. Leahy, D. Hanson, and J. Epps, "Crumb Rubber Modifiers (CRM) in Asphalt Pavement: Summary of Practices in Arizona, California, and Florida," Report FHWA-SA-95-056. FHWA, September 1995.
- [3] Rubber Pavement Association, "How to Sell Asphalt-Rubber," Marketing Workshop, June 7, 2000, Paradise Valley, Arizona.
- [4] Chui-Te Chiu, "Use of Ground Tire Rubber in Asphalt Pavements: Field Trial and Evaluation in Taiwan," Resources, Conservation and Recycling, Vol 52, Issue 3, January 2008, pp 522-532.
- [5] Chui-Te Chiu, Tseng-Hsing Hsu, and Wan-Fa Yang, "Life Cycle Assessment on Using Recycled Materials for Rehabilitating Asphalt Pavements," Resources, Conservation and Recycling, Vol 52, Issue 3, January 2008, pp 545-556 .
- [6] Chui-Te Chiu and Li-Cheng Lu, "A Laboratory Study on Stone Matrix Asphalt Using Ground Tire Rubber," Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 5, pp. 1027~1033, May 2007.
- [7] Epps, Jon A. "Uses of Recycled Rubber Tires in Highways", NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 198, Transportation Research Board, Washington, DC, 1994.
- [8] 邱垂德、张运鸿，「公路局快速公路采用开放级配橡胶沥青铺面之探讨」，台湾公路工程，第二十八卷第十期及第十一期，2002年4、5月。
- [9] 邱垂德、张春贵、潘昌林，「公路局废轮胎橡胶沥青试铺路面研究」，台湾公路工程，第二十八卷第一期，页2~19，2001年7月。



無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：邱垂德		計畫編號：98-2621-M-216-001-					
計畫名稱：垃圾掩埋場址之治理及其土地永續利用--垃圾掩埋場址區域土地三維資訊系統建置及視覺化應用(II)							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	1	2	50%	篇	
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	3	3	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	1	1	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	



# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

## 1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

## 2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

## 3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究取得八里掩埋場場址在 1986 年、1993 年、2004 年、2005 年、及 2007 年共五個時間點的空拍影像，克服不同來源資料的整理問題，尤其是 1986 及 1993 年空拍立體像對的外方位元素、及比例尺、解析度的差異，也展示了地理資訊系統在同一個座標框架下的高程套疊整合功效。在定量分析的成果方面，由於八里掩埋場區內發生多次大規模邊坡崩塌災害，而使場區內的地勢因整修邊坡而變緩，此類地形變化混淆了對於掩埋量的估算；若排除此一干擾，用地形變化估算垃圾掩埋量，大約是多估 40%。在定性的視覺化分析成果方面則隨著應用軟體的發展，由 ArcGIS 的 3D Analysis，轉變為應用 Autodesk 系列軟體，在地形、建物、管線的模擬上，精進了許多；應用在八里掩埋場的模擬及計算上，因為由於面積過大且又缺乏當初掩埋場設計的相關高程資料，而較難顯現出效益。但，在有正確物件資訊的相關應用上，確有很好的視覺化成果。總計本研究之成果共發表國內研討會論文三篇，期刊論文二篇，培養三位碩士生，成果豐碩。目前正將研究成果整理為英文論文中，預計可將成果發表於國際期刊。