

二、研究計畫內容（以 10 頁為限）：

（一）摘要

台灣地區由於人文社會條件的考量，掩埋場往往只能興建於城鄉邊緣的山坡地，目前台灣的掩埋場在設計之時大多未曾做過詳盡之地質調查及邊坡穩定性分析。此外，操作單位也並未根據工程計畫進行廢棄物的填埋，導致最終掩埋面往往超過預期的高度。上述情形導致坡地型掩埋場的破壞潛能提高（包含受震時），因此，其穩定性值得深入探討。

本研究將先蒐集與掩埋場邊坡穩定性相關之文獻資料，接著，將進行掩埋場邊坡穩定性之參數研究，及可靠度探討；最後，將以台中市大里垃圾掩埋場，以及新北市中和鹿寮坑垃圾掩埋場為例，進行掩埋場邊坡之穩定性及可靠度之案例分析，其成果可作為坡地掩埋場擬定防災策略，及規劃監測系統之參考。

（二）研究動機與研究問題

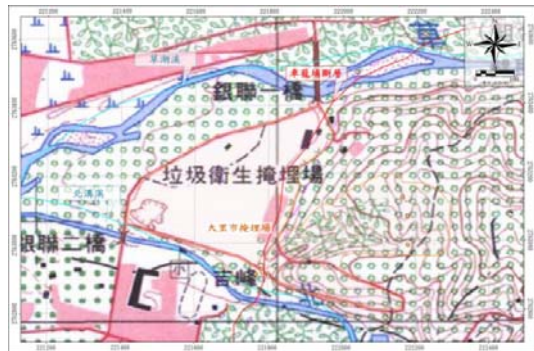
（A.）研究動機

今年寒假有機會跟黃老師到台中市大里區（圖一、圖二）和新北市中和區之垃圾掩埋場（圖三、圖四）進行斷層是否經過場址的研究調查，針對斷層錯動對掩埋場邊坡的影響程度以及現場實際的破壞情形進行了解，另外還有研究掩埋場經過地震之後是否有滑動情形，以及常時狀態下，掩埋場之邊坡穩定性。

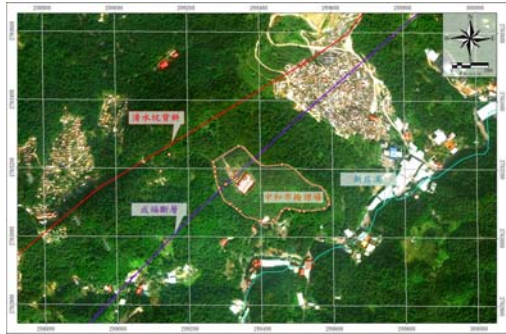
掩埋場顧名思義就是把垃圾和焚化灰爐集中的地方，以襯布和不透水布墊在底部，而垃圾滲出水和雨水會經管線把水收集起來，並經過汙水處理，若地震時斷層錯動，或因地盤振動影響而導致掩埋場變形，或邊坡因不穩定而破壞，將使集水管線破裂導致汙水流至河川，造成河川之嚴重汙染，對環境造成莫大衝擊。因此，有必要對掩埋場之穩定性及可靠度進行探討及研究，以作為防災之參考！



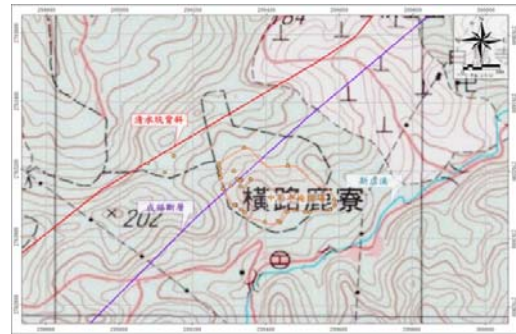
圖一 台中市大里垃圾掩埋場航照圖



圖二 台中市大里垃圾掩埋場地形圖



圖三 新北市中和垃圾掩埋場航照圖



圖四 新北市中和垃圾掩埋場地形圖

(B.) 研究問題

由於掩埋場相關法令、設計規範以及設計與施工之審查制度尚不完善，因此目前台灣的掩埋場在設計之時大多未曾做過詳盡之邊坡穩定性分析。此外，操作單位也並未根據工程計畫進行廢棄物的填埋，導致最終掩埋面往往超過預期的高度。上述情形導致坡地型掩埋場的破壞潛能提高（包含受震時），其穩定性值得深入探討。因此，本研究將針對此問題進行分析，並利用蒙地卡羅模擬(Monte-Carlo simulation, MCS) 推求掩埋場之破壞機率，進而求取其可靠度，以作為坡地掩埋場邊坡防災及規劃監測系統之參考。

(三) 文獻回顧與探討

本研究主要是探討台灣地區坡地型掩埋場之邊坡穩定性及可靠度，此處先就掩埋場及邊坡穩定性，以及可靠度分析相關之文獻資料及研究方法作說明。

(1) 台灣坡地掩埋場面臨問題

台灣地區山坡地掩埋場所面臨的問題有下列幾項(單信瑜，1999)：

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

(2) 掩埋場破壞模式

陳榮河及陳國賢(2002)將廢棄物掩埋場可能之破壞模式歸納區分為五大類：

1. 廢棄物內部之破壞

破壞面發生於填築之廢棄物內部，主要因素為廢棄物剪力強度不足所產生之破壞模式，常發生於廢棄物填築邊坡高度較高、坡角過大、廢棄物夯實不足或不當堆置之狀況下。

2. 邊坡及基礎土壤之整體破壞

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

3. 襯墊層界面之滑動破壞

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

4. 襯墊層之拉出或斷裂破壞

掩埋場於營運期間，因填埋垃圾與襯墊層界面之摩擦力所產生之向下牽引拉力，超過襯墊系統與下方土壤間之摩擦力及襯墊層之錨定力或張力時，發生襯墊層被拉出或斷裂之破壞，使垃圾發生向下滑移。

5. 覆蓋層之破壞

此類破壞包括頂部覆土因與下方覆蓋襯墊層間之剪力強度不足，而導致覆土向下滑動破壞、及覆蓋襯墊層內部界面間之剪力強度不足，致部份襯墊層系統發生向下滑動之破壞。

(3) 掩埋場損害原因

Krinitzsky et al.(1997)將掩埋場損害之原因歸納如下：

1. 地震引起的永久位移

衛生掩埋場的廢棄物材料最令人嚴重關切的就是襯墊與覆蓋層的裂縫以及設備的破壞，例如煤氣回收系統，相對較小的地震運動將會威脅這些系統的完整性。根據 Anderson and Kavazanjian(1995)提出，在這些威脅還沒有趨於嚴重的時候，永久變位在 15 到 30 公分為可容忍的範圍。

2. 垂直向運動

地震力的垂直分量影響變位相對較小，即使垂直地震係數與水平地震係數相近，就如同發生於近域之強地動，影響還是類似。Hynes-Griffin and Franklin (1984)之分析指出，垂直變位對滑動有很大的影響(具低的介面摩擦力)，但其影響還是不會超過 15%。

3. 基礎土壤的液化：

掩埋場本身主要的廢棄物纖維材料其實不容易液化，儘管如此，基礎土壤的液化還是會帶來有危害的位移。

4. 斷層導致的永久位移：

新的固體廢棄物掩埋場根據美國聯邦法規規定，不可設置於離活動斷層

200ft (60m)以內的地方，該法規所指活動斷層是全新世曾發生位移的斷層。除非活動斷層在調查之後，掩埋場的設計可以容許其威脅，否則都不適當。理由是因為在掩埋場下斷層的運動會導致永久變位的發生，即使沒有地震發生，斷層還是會有可能再沿著可辨識的軌跡運動。而現有掩埋場可能沒有經過斷層危害的評估，因此有潛在發生或是延伸發生之斷層運動的複查是相當需要考量的。

5. 喀斯特(Karst)不穩定性：

有些地區的岩層為石灰石或是其他可溶解的岩石，當其突然倒塌至溶穴時將構成特別的危險。其倒塌可能導因於地震，此現象不但會導致掩埋場變位，也會有其他地下水與污染物產生的威脅。

6. 採礦所導致的活動：

採礦之坑道會影響地基的穩定。

7. 對地滑、雪崩(avalanches)及土石流敏感的地區：

掩埋場大多設置於崎嶇不平，且該地區已無其他功能的地方，而這樣的地方通常容易發生上述災害。

(4) 可靠度分析及蒙地卡羅模擬

1. 可靠度分析方法

可靠度設計 (reliability-based design, RBD)、性能設計(performance-based design, PBD) 或限度設計 (limit statedesign, LSD) 之觀念與方法，早已在結構工程領域得到充分之運用，並已納入相關設計規範之中。「可靠度」可定義為“工程系統達致其預定性能之機率”，此機率和系統之性質及所要求之性能水平或限度狀態有關，若性能函數或限度狀態函數 (limit state function)定義如下：

$$g(X) = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

式中 $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，為系統之設計變數向量，則系統之性能或狀態和 $g(X)$ 之大小有關，其限度狀態可定義為 $g(X)=0$ 。因此，若 $g(X) > 0$ 代表系統處於“安全狀態”，則 $g(X) < 0$ 即表示系統處於“破壞狀態”。此處值得注意的是，在性能設計或限度設計的概念上，“安全狀態”亦即“滿足性能要求狀態”，但“破壞狀態”並非一般工程上所指的毀滅性破壞 (catastrophic failure)，而是“不滿足性能狀態”(unsatisfactory performance state)。從幾何上看，限度狀態方程式 $g(X)=0$ 代表一個 n 維曲面，可稱為“破壞面”，破壞面之兩側即分別代表 $g(X) > 0$ 之安全狀態，或 $g(X) < 0$ 之破壞狀態。假設設計變數 X_1, X_2, \dots, X_n 之聯合機率密度函數為 $f_{X_1, \dots, X_n}(x_1, \dots, x_n)$ ，簡寫為 $f_X(x)$ ，則系統之破壞機率可表示如下：

$$P_f = \int_{g(X) < 0} f_X(x) dx \quad (2)$$

欲求得上述之積分並不容易，尤其當破壞面無法以顯函數之形式明確表示時。工程應用上，常利用一階二次矩法(FOSM法)、一階可靠度法(FORM法)等

簡化法，或蒙地卡羅模擬 (MCS法)等來推求破壞機率 P_f 。因工程系統若非處於可靠之“安全狀態”，即處於不滿足性能要求之“破壞狀態”，因此可靠度 R 與破壞機率 P_f 之關係為：

$$R = 1 - P_f \quad (3)$$

2. 蒙地卡羅模擬法 (MCS)

蒙地卡羅模擬 (MCS) 簡單地說，就是一種利用電腦來進行模擬試驗的方式。該法的基本步驟為在每一次模擬過程中，根據基本變數的機率分布特性產生一組變數，並據以輸入分析模式中，模擬分析整個系統的行為。每一次的模擬皆算是一次確值分析 (deterministic analysis)，經由大量的模擬後，系統參數之變異性對系統行為靈敏度(sensitivity) 的影響便可顯現出來。而藉由對系統反應的統計分析，更可求出結構物的破壞機率，因此蒙地卡羅模擬是從事系統可靠度分析時，一個非常有用的工具。

在蒙地卡羅模擬時，根據大數法則 (law of largenumbers)，破壞機率 P_f 之不偏估計如下式所示：

$$\hat{P}_f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(X^{(i)}) \quad (4)$$

式中， N 為總模擬次數，而 $I(X^{(i)})$ 為破壞指標：

$$I(X^{(i)}) = \begin{cases} 1 & \text{if } g(X^{(i)}) \leq 0 \\ 0 & \text{if } g(X^{(i)}) > 0 \end{cases} \quad (5)$$

因此，當 N 個獨立之具特定機率分布之隨機樣本向量 X 產生後，即可將每個樣本 $X^{(i)}$ 代入系統中評估其性能狀態；若 $g(X^{(i)}) \leq 0$ ，即表示在該次模擬中，系統係處於破壞或不可接受狀態。最後，由MCS 推估之破壞機率，可利用下式 (樣本平均值) 來計算：

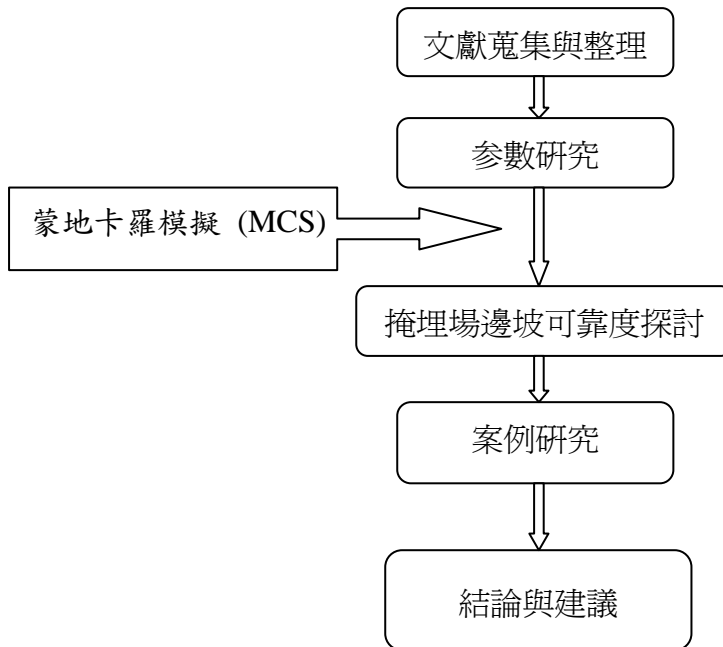
$$\hat{P}_f = \frac{N_f}{N} \quad (6)$$

式中， N_f 為系統處於破壞或不可接受狀態之模擬次數。

本研究將利用蒙地卡羅模擬，來推求掩埋場邊坡穩定性之破壞機率及可靠度，其成果可作為未來掩埋場邊坡防災及規劃監測系統之參考。

(四) 研究方法及步驟

根據本計畫之研究目的及國內外相關文獻之研究近況，茲初步擬定研究架構如下（圖五）：



圖五 研究架構圖

以下根據計劃執行流程，分別說明研究方法：

(1) 文獻蒐集與整理

本研究將先蒐集與掩埋場穩定性及可靠度評估相關之文獻資料，進行歸納及整理，作為後續研究之基礎。

(2) 參數研究

接著，本研究將採用邊坡穩定分析程式 SLOPE/W，針對下列掩埋場穩定設計因子：掩埋面坡高(H)、掩埋場底部長度(L)、掩埋場底部邊坡角度(α)、掩埋面邊坡角度(β)、廢棄物剪力強度(c 、 ϕ)及土工合成材料界面剪力強度(c_a 、 δ_a)等，進行一階與二階掩埋場一系列參數組合的參數變異性分析。分析步驟首先建立一階、二階廢棄物掩埋場標準斷面，再以二階為例，探討各種破壞面搜尋形式及各切片分析法之適用性，再分別分析參數變異性對沿界面滑動及淺層滑動破壞模式之效應，並對兩者分析結果進行比較。而地震力作用下，一階及二階廢棄物掩埋場之穩定性，也是本研究考慮的重點。

(3) 掩埋場邊坡可靠度探討

本研究接著將利用 SLOPE/W 程式之蒙地卡羅模擬法來進行垃圾掩埋場邊坡穩定之可靠度分析。分析中將探討前述各相關參數之靈敏性 (sensitivity) 及其影響程度，以及各不同機率分布型態對邊坡穩定可靠度之影響。

(4) 案例研究

在參數研究及邊坡可靠度探討之後，本研究將利用寒假期間所勘查的兩個掩埋場場址—台中市大里垃圾掩埋場，以及新北市中和（鹿寮坑）垃圾掩埋場，進行邊坡穩定性及可靠度之分析，二掩埋場之基本資料如表一所示，其中前者在1999年九二一大地震時有震損情況（照片一、照片二），而中和鹿寮坑掩埋場則於2002年三三一地震後，周邊地區有嚴重地層下陷問題、擋土牆龜裂（照片三）、樓梯沉陷傾斜（照片四）。因此，針對這兩個實際案例，進行分析及探討，格外顯得有意義，其成果可作為國內掩埋場耐震防災設計及營運與復育之參考。

表一 案例探討之國內掩埋場基本資料（環保署，2011）

名稱	縣市	住址	管理單位	面積 (公頃)	說明	狀態	用地 類別
台中縣大里 垃圾掩埋場	臺中市	大里區建民段 852 地號(台 中縣大里市健東路 181 號)	大里區公所	8.30	921 震災	復育中	坡地
新北市中和 垃圾掩埋場	新北市	中和區中正路 637 巷 60 弄 5 號之 2	中和區公所	5.57	91.03.31 地震後周邊 地區地層下陷嚴重。	已封閉	坡地



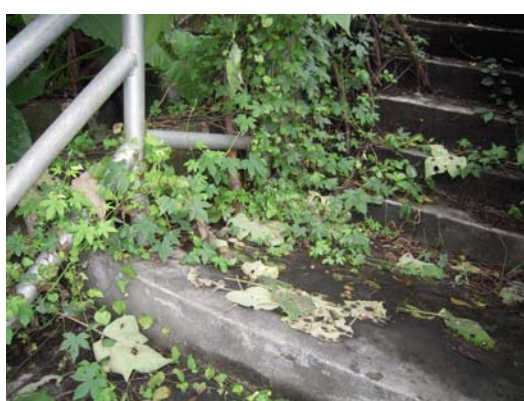
照片一 大里垃圾掩埋場入口之道路受
逆斷層抬升約 2 公尺情形
(地調所，2000)



照片二 大里垃圾掩埋場往復育公園
的階梯有明顯變位



照片三 中和垃圾掩埋場之擋土牆龜裂



照片四 中和垃圾掩埋場之樓梯沉陷傾斜

(5) 結論與建議

綜合前述研究成果，當各個影響垃圾掩埋場之穩定性與可靠度的問題逐一探

討及釐清後，本研究將會彙整出一個具體的結論與建議，作為往後垃圾掩埋場防災之參考，而這也正是本研究之目的所在。

(五) 預期結果

本研究計畫完成後，預期將可獲致下列成果：

(A) 學術、工程及防災方面：

1. 建立國內歷年來掩埋場坡地災害發生與未發生之數據資料庫，並進行篩選分析。質與量俱佳之資料庫為建立可信賴之掩埋場邊坡災害風險評估成果之基礎。
2. 建立適用於以設計因子評估掩埋場邊坡災害發生之機率的方法。
3. 建立適用於評估掩埋場邊坡穩定性及可靠度的方法。
4. 研究成果可釐清影響垃圾掩埋場之穩定性與可靠度的關鍵因素，作為掩埋場後續維護的依據。
5. 研究成果可作為坡地掩埋場擬定防災策略，及規劃監測系統之參考。

(B) 個人方面：

1. 使自己對掩埋場有更進一步的涉略及了解，並增進更深入的專業知識。
2. 增加對統計理論、可靠度及風險分析與應用的專業知識之了解。
3. 增加對災害風險評估方式、防災實務應用的了解。
4. 拓展學習運用電腦軟硬體及設備的技能及知識。
5. 提昇資料之分析與詮釋能力；培養及精進學術研究之技能。
6. 提升自己資料蒐集和處理文書報告的整理、統計、整合等邏輯觀念。

(六) 參考文獻

1. Anderson, D. G., and Kavazanjian, E. Jr. (1995). "Performance of Landfills under Seismic Loading," Proceedings, Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Rolla, MO.
2. Hynes-Griffin, M. E., and Franklin, A. G. (1984). "Rationalizing the Seismic Coefficient Method," Miscellaneous Paper GL-84-13, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
3. Krinitzsky, E. L., Hynes, M. E., and Franklin, A. G. (1997). "Earthquake Safety Evaluation of Sanitary Landfills," Engineering Geology, Vol. 46, pp. 143-156.
4. 行政院環保署 (2011), <http://www.epa.gov.tw/>
5. 林獻山(2009),「廢棄物掩埋場不透水布電子偵漏系統設置及應用」, 蘭陽技

術學院，宜蘭。

6. 徐和成(2000)，「屏東縣不明廢棄物棄置場管理方案之探討」，碩士論文，國立屏東科技大學，屏東。
7. 張高華(2005)，「應用水土保持於廢棄物掩埋場復育」，碩士論文，國立中興大學，台中。
8. 陳介眉(2004)，「垃圾衛生掩埋場垃圾層邊坡穩定研究」，碩士論文，朝陽科技大學，台中。
9. 陳榮河(1987)，「邊坡穩定之分析方法」，土工技術，第 17 期，第 70-84 頁。
10. 陳榮河(1990)，「衛生掩埋場之穩定分析」，土工技術，第 31 期，第 6-21 頁。
11. 陳榮河、陳國賢(2002)，「垃圾填築邊坡之穩定分析」，土工技術雜誌，第 94 期，第 53-60 頁。
12. 陳盈文(2006)，「掩埋場復育邊坡穩定分析之工程參數探討」，海洋大學海洋工程系碩士論文。
13. 單信瑜(1995)，「廢棄物掩埋場邊坡穩定分析」，第六屆大地工程學術研討會，嘉義。
14. 單信瑜(1999)，「土工合成材料於山坡地掩埋場之應用」，土工技術雜誌，第 73 期，第 57-66 頁。
15. 單信瑜(2009)，「掩埋場阻水層效能簡易評估方法」，交通大學土木工程系，新竹。
16. 經濟部中央地質調查所(2000)，九二一地震地質調查報告。

(七) 需要指導教授指導內容

本研究計畫之目的主要在探討掩埋場邊坡之穩定性及可靠度。計畫中，擬先蒐集有關國內外之相關文獻，加以分析、彙整，並進行參數研究及案例分析，藉由蒙地卡羅模擬(MCS)來評估掩埋場邊坡之穩定性及可靠度，希望研究成果可以作為坡地掩埋場擬定防災策略，及規劃監測系統之參考。

而在這次研究的過程中，除了自己投入學習研究方法外，其中最重要的部分則是在於向指導教授黃富國老師學習、請教的部分。由於以往尚未有作研究、撰寫論文的經驗，故除了在專業領域之研究需要老師的指導外，在文章內容編排及撰寫格式上皆需要老師的協助，才能從中學習到學術研究的方法，以及學術論文的撰寫方式。

另外，在這個研究計畫中，由於所研究的內容—機率（可靠度分析）及風險分析，正好是黃老師的研究專長，而以往亦常在學刊、雜誌上看到黃老師所發表之文章，尤其在921大地震之後，老師亦應大地技師公會之邀，進行災區土壤液化評估之工作，且發表了不少的文章。之後，黃老師亦利用可靠度分析法進行軟弱地盤深開挖設計之可靠度分析(黃富國&王淑娟，2007)，以及邏輯迴歸法進行土壤液化機率之評估（黃富國，2008）。因此，若能藉由此研究計畫，向老師學

習有關大地工程與可靠度及風險分析方面相關研究的專業知識，實在是增進自己研究能力的一個很好的機會。

現將需要指導教授黃富國老師指導的內容條例如下：

1. 學生本人雖對大地工程與可靠度及風險分析具有強烈的研究興趣，然而對於掩埋場邊坡穩定性及可靠度分析的內容、步驟及方法，只有初步的認知。故須藉由老師的引導，讓我在這方面能有更深入的瞭解與認識。
2. 由於學生本人尚無研究經驗，對於數據分析及資料處理方面之能力尚嫌粗淺，對於分析結果之判釋能力仍不足。故在此方面急須老師的指導，方能在研究方法，及對分析結果的詮釋能力方面力圖精進，並有所收穫。
3. 由於老師在大地工程領域上的專業，可以使我能有更多的機會接觸到許多大地工程相關的專業知識；除了可以由老師身上得到最新的資訊外，亦可藉由老師的指導，大大地提昇自己在專業知識上的不足。
4. 學生本人在學術論文撰寫方面缺乏經驗，在章節結構之安排、撰寫格式及用字遣詞之表達方面，恐有不當、考慮欠周之處；因此，學生擬請經驗豐富的黃老師在這一方面多加指導，以使本研究計畫能更具學術內涵，以及工程實務上之應用價值。