

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

整合 3D Laser Scanner、物理量測儀器及 GPS 等測量儀器進  
行變形網監測分析之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2622-E-009-013-CC3

執行期間：93 年 05 月 01 日至 94 年 04 月 30 日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：陳春盛

計畫參與人員：粘碁非、鍾易達、鄭印淞

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 94 年 7 月 20 日

## 中文摘要

三維雷射掃瞄儀是一種能快速獲取大量高精度三維點位座標的新型測量儀器，適用於規則的、規範的及標準化的目標，同時亦適用於不宜移動的、危險的、非接觸性的、不規則的、非線性的複雜目標實體或實景進行資料獲取、建模與立體貼圖。近年來由於其測距效能的增加與定位精度的提升，使可應用的領域增廣許多，不論是在古蹟維護、工程測量、變形監測以及建築規劃等作業，都可使用三維雷射掃瞄技術以達到更好的精度及效能。

在以往傳統的監測系統之中，通常僅包含了精密水準測量、三角三邊測量以及 GPS 測量；本研究除了傳統的監測方法之外，更加入了三維雷射掃瞄系統，使監測資料更為完整。三維雷射掃瞄儀可做全斷面的整體掃瞄，求得所監測區域每個點位的三維座標，與傳統監測方法進行比對分析，以增加成果的精確度及可靠度。另外本研究之中也引入了物理量測的感應器及方法，同時測量監測體的物理性質，使本監測系統除了以座標變化來分析是否變形和移位之外，並藉由物理性質的詮釋來作為另一種預測和比對變形量的方法。

本研究的實驗區選在湖口的國碩科技廠房，由於高科技廠房內部生產線與設備極為精密，如果廠房結構發生變形或下陷將很可能造成嚴重損失，因此也需要更高精度的變形監測系統來確保廠房的安全性。

## Abstract

### 1.Motive

To monitor the deformation of a civil engineering structure is getting more and more important. For example, a plant, a tunnel, an oil tank or a building is necessary to monitor its deformation for safety. Usually, a surveying instrument such as a total station, a level or a GPS receiver is applied to complete the monitoring work. This project aims to integrate the surveying instruments, the physical measuring instruments and the 3D laser scanner to promote the precision of the deformation data.

### 2.The method and target of this project

The conventional monitoring method usually applied spirit leveling and GPS surveying to analyze the deformation of a structure. In this project, the surveying instruments, the 3D laser scanner and the physical measuring instruments are integrated to complete the monitoring work. Therefore, not only the 3D coordinates' deformation can be analyzed but also the physical situation of a structure can be estimated. Consequently, the deformation of a structure can be future understood and controlled.

## 前言

台灣地區地震、颱風頻繁，雨量亦集中，因而時有土石流、地滑、房屋下陷崩塌等災情發生，造成交通中斷，人民的生命財產遭受重大的損傷；因此，建立一個完善的監測系統，便成了刻不容緩的議題。在定期測量檢查中，於災害發生前監測得變形、位移等徵兆，進而預估未來可能將有之損害，而事先加以補強工作或警示，將可使人民的損害降到最低。

在現今的工程應用上，監測工程越來越受到各方的重視；凡舉廠房、隧道、橋樑、油槽、大樓等結構物，或邊坡、山地等自然物，都需進行變形監測的作業，以確保其安全性。目前測量工程上，不論是監測的方法或使用的儀器，都逐漸在發展進步中，但大部分依然僅以 GPS 及傳統之精密水準及三角三邊測量來進行監測作業，因此將最新型的三維雷射掃瞄儀以及測量工程較不常接觸的物理量測儀器加入監測系統，將可使監測的成果大大地提升。

## 研究目的

以測量工程的方向而言，要判斷一邊坡或結構物是否變形，主要是根據點位座標是否產生位移而決定。以往監測的方法，是以全區水準測量、全區 GPS 測量、或將區域分為不同等級之重要性及危險性來分區，以決定使用 GPS 和精密水準測量來完成監測網；而近年來由於三維雷射掃瞄儀的發展，因此本計畫除了使用傳統的精密水準及三角三邊測量和 GPS 定位測量，另外將結合三維雷射掃瞄儀，使監測系統加入一個具有高精度的資料。

三維雷射掃瞄儀不同於以往測量儀器的「點」的測量，而是以「面」的方式對周圍進行全斷面的整體掃瞄，可求得所掃瞄區域的每個點位三維座標，並可將不同時間掃瞄結果作比對，分析監測區的變化，以提供全面的檢測。因為三維雷射掃瞄儀具有高精度且豐富的點位資料，因此可將掃瞄出來得到的點位資料與精密水準和 GPS 測量所得的點位座標同時加入平差，並給定較大的權值；或者將掃瞄出來的資料和使用傳統方法得到的資料進行比對分析。

此外，本計畫亦將物理量測的儀器及方法引入監測系統。以往一般的測量大多僅以幾何的座標位移分析為主，而物理模式的引入可以提供監測體的物理狀態，來進行更進一步的分析。利用沈陷計和傾斜計等物理量測儀器，可得到周圍環境及監測目標的物理狀態，使我們得知監測物整體變動趨勢。藉由幾何量測與物理量測的結合，本系統將會達到更好的監測效果。

# 研究方法

## 一、系統介紹

### 1、GPS

因本計畫監測較小區域，且不需即時性得到結果，因此不採用適用於大範圍的靜態基線測量和具有即時性但精度不足的即時動態測量 RTK，而選擇使用精度較高且適用於較短基線的快速靜態測量。快速靜態測量是採用兩部或兩部以上接收儀分別架設在施測基線的端點，同步接收衛星訊號，觀測時間的長短與基線常成正比，約為 5~20 分鐘左右，即可足夠進行基線之求解。此法接收儀在移動站轉站時，不必保持對所觀測衛星的連續追蹤，且測點迅速、精度高，適用於短邊長(如 5 公里內)的測量作業。本計畫選用的 GPS 為 Trimble 5700。

### 2、三維雷射掃瞄儀(3D Laser Scanner)

三維雷射掃瞄儀是一部精確的且對大量座標擷取的多用途儀器。它可以在短時間之內有效的擷取大區域內細部資料之座標，無須一點一點進行觀測獲取，高精度及高解析能力目前是无法匹敵的。

它利用雷射測距的原理，由儀器本身發射出雷射光束，接觸到物體表面後反射再接收所反射之訊號，經由相位或脈衝時間差的計算，可推求斜距，再配合掃瞄角度，可計算出掃瞄儀中心至測點的三維座標差，並可同時記錄回訊之強度值。雷射掃瞄儀的優點在於能在最短時間內快速地獲得物體表面大量的空間覆蓋資訊，每秒所能觀測的點位能達數千點之多，提供大量的點位座標，進而詳實描述待測點之表面。本計畫選用的三維雷射掃瞄儀為法國 Mensi 公司的 GS200 型雷射掃瞄儀。

### 3、精密水準測量

作業方法和普通水準測量相同，差別在於精密水準測量使用精度高的精密水準儀鋼鋼尺，並將所得之高程結果再加以進行數個改正，而得到精度較高的高程值。精密水準儀結構較為嚴密，水準氣泡靈敏度在  $10''/2\text{mm}$  以上，望遠鏡放大倍率為 30~40 倍，並有平行玻璃板測微器，配合鋼鋼水準尺讀數。本計畫使用的電子水準儀為 Leica 生產的 NA3003。

### 4、三角三邊測量

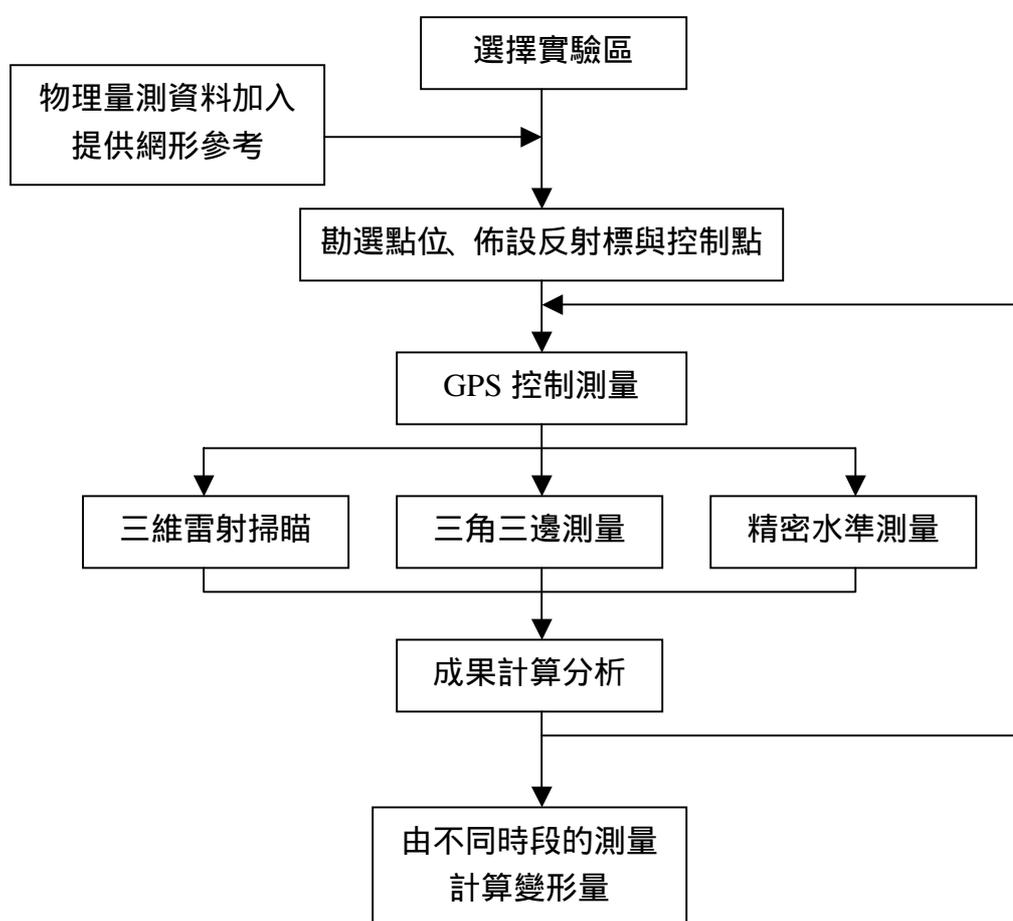
三角三邊測量內容包括三角測量及三邊測量。三角測量為大區域之控制測量，於實地上精密測定一基線之長，再由此基線擴展到一系列之三角形，並於三角形之每頂點上測定各邊所夾之水平角，由基線之長及水平角即可算得各頂點之平面座標。如果佈設的三角形，不直接測量各點之水平角而改為測量各三角形之邊長，再換算得各點之水平角，據以計算各點座標，則為三邊測量。本計畫中這部分使用的儀器是全測儀，型號為 Trimble 5000。

## 5、物理量測

在大地工程及結構工程上所採用的物理量測法，通常都可以提供極高精度的變形訊息，；雖然僅能在少數的不連續點位上做局部的資料收集，但沒有傳統測方法容易受環境條件影響的缺點，因此本計畫把物理量測加入監測系統中，使各種監測方法達到互補的效果。本計畫之中使用了基礎開挖時埋設的沈陷計以及建物傾斜計的資料。

## 二、實驗步驟

本研究的實驗場地選擇在湖口工業區的國碩科技新廠房，對廠房分別在 2005/3/17 以及 2005/4/17 兩個不同時段分別進行監測作業，進行的作業流程圖如下圖所示。



### 1. 選擇實驗區

本研究實驗區選擇在湖口工業區的國碩科技新廠房，由於高科技廠房中含有許多精密設備和儀器，所以當廠房的結構發生變形或下陷時可能將嚴重影響運作及生產，而造成大量的損失，因此也需要更高精度的變形監測系統來確保廠房的安全性。

## 2. 物理量測資料加入

本實驗先藉由廠房開挖時所埋設的沈陷計和建物傾斜計，得到物理量測成果，並根據成果將開挖時顯示沈陷量較大的區域加密控制點及水準點，加強局部的監測網之網形強度。

## 3. 勘選點位、佈設反射標與控制點

網形的設計以平均分佈為原則，並根據上一步驟的物理量測成果再次加密網形，在依網形佈設控制點，並在貼近廠房牆壁周圍處佈設水準點。另外在廠房牆壁上黏貼數個反射標，以做為雷射掃瞄與三角三邊測量觀測使用。

## 4. GPS 控制測量

在控制點上架設 GPS 進行快速靜態測量，一次同時使用三部 GPS 進行兩小時的觀測，以得到所有控制點的點位座標。

## 5. 三維雷射掃瞄

使用 GS200 三維雷射掃瞄儀對國碩廠房進行整體性的掃瞄，並加強掃瞄牆上黏貼的反射標。不同測站掃瞄的點雲資料則透過掃瞄三個共軛球來作為測站座標系轉換的控制點，使不同測站的點雲疊合。

## 6. 三角三邊測量

本研究使用 Trimble 5000 全測儀來進行量測作業，觀測目標是黏貼於廠房牆壁上各反射標中心的十字交點位置，並藉由觀測架設於控制點上的稜鏡規標，以計算出各反射標的地面座標。

## 7. 精密水準測量

使用 Leica NA3003 電子水準儀進行水準測量作業，由廠房圍牆外設置的控制點引入圍牆內，沿著佈設的水準線對廠房周圍進行水準測量，並再引回外面的控制點閉合。

## 8. 成果計算分析

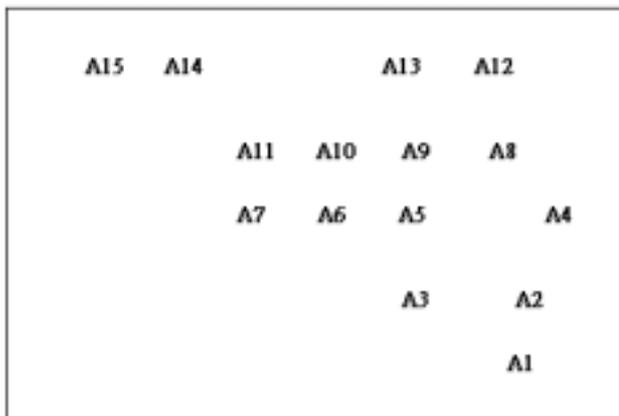
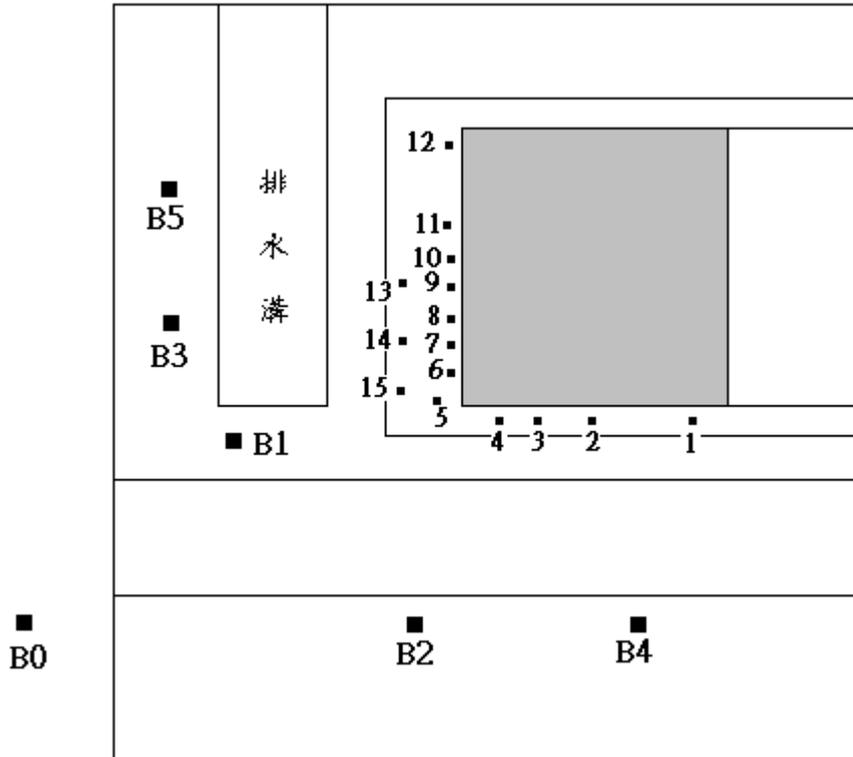
將上述的各種測量系統得到的成果整理，並各自進行解算工作。

## 9. 計算變形量

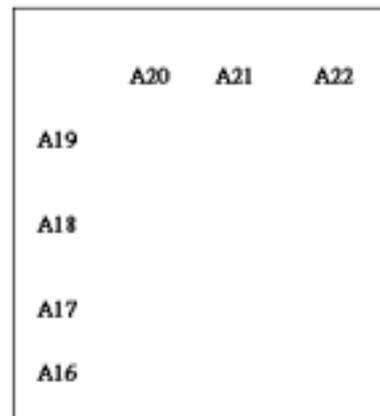
分別將 2005/3/17 與 2005/4/17 兩天所計算得到的成果進行比較分析，可得到一個月廠房的變形量，由此變形量可提供後續作為安全性評估的參考。

## 成果分析

依照各種不同的測量系統的監測成果，可將觀測資料經過計算後分項整理列出，下圖為實驗區略圖與控制點和水準點的示意圖。圖上灰色區域即為本研究所監測的國碩廠房，B0~B5 是 GPS 控制點，1~15 為水準點，A1~A22 是貼在廠房牆壁上的反射標。



國碩廠房側面



國碩廠房正面

## 一、GPS 測量部分

佈設的控制點位置及編號如上圖所示，由 GPS 測量得到的資料經過 Bernese 5.0 計算之後，可求得兩個不同日期測得的各控制點座標，並將 B0~B5 在兩個日期的座標差值列於下表。

	x	y	z
B0	0.006	0.008	0.022
B1	0.011	0.006	0.036
B2	0.008	0.003	0.029
B3	0.014	0.013	0.074
B4	0.009	0.012	0.038
B5	0.015	0.017	0.053

(單位：公尺)

## 二、水準測量部分

以下是兩次水準測量得到各點的相對高程值以及兩次的差值，單位是公尺。因為主要是在測量兩個不同時段的高程是否有變動或沈陷，因此我們可令基準點 B0 的高程值為 0 公尺去計算各點的相對高程，每個高程值均有往返測，並將資料進行曲率改正和距離配賦後的結果。。

	2005/3/17	2005/4/17	h
B0	0	0	0
B1	0.53963	0.54004	0.00141
B2	0.76622	0.76725	0.00103
B3	0.87354	0.87609	0.00255
B4	1.01971	1.02067	0.00096
B5	0.99419	0.99121	-0.00298
1	1.61783	1.61919	0.00136
2	1.57326	1.57648	0.00322
3	1.57330	1.57297	-0.00033
4	1.57900	1.58211	0.00311
5	1.65145	1.65294	0.00149
6	1.67840	1.67628	-0.00212
7	1.67268	1.67075	-0.00193
8	1.68156	1.68224	0.00068
9	1.65407	1.65589	0.00119
10	1.68547	1.68645	0.00098
11	1.68143	1.68244	0.00101

12	1.66589	1.66476	-0.00113
13	1.58602	1.58324	-0.00278
14	1.61026	1.60894	-0.00132
15	1.58120	1.58213	0.00093

(單位：公尺)

### 三、三角三邊部分

我們利用三角三邊測量來觀測建築物上的反射標，利用兩個不同時段測量得到的反射標座標差值，來判定建築物本身是否有變形。下表即是使用全測儀對 22 個反射標進行兩個時段觀測的成果差值。

	x	y	z
A1	0.036	0.024	0.028
A2	0.021	0.025	0.031
A3	0.035	0.032	0.041
A4	0.066	0.057	0.068
A5	0.064	0.072	0.062
A6	0.054	0.068	0.063
A7	0.048	0.062	0.056
A8	0.072	0.065	0.071
A9	0.062	0.073	0.051
A10	0.082	0.069	0.083
A11	0.071	0.064	0.068
A12	0.086	0.075	0.103
A13	0.092	0.088	0.093
A14	0.116	0.117	0.125
A15	0.107	0.112	0.134
A16	0.032	0.031	0.027
A17	0.034	0.040	0.041
A18	0.042	0.037	0.045
A19	0.062	0.055	0.071
A20	0.053	0.058	0.075
A21	0.072	0.064	0.063
A22	0.065	0.069	0.078

(單位：公尺)

#### 四、三維雷射掃瞄部分

在三維雷射掃瞄的部分,我們同樣在 2005/3/17 以及 2005/4/17 兩個不同的時段對廠房進行掃瞄,下圖分別為第一次掃瞄成果、第二次掃瞄成果以及兩次成果套合比較圖。





其中綠色點雲是第一次掃瞄的成果，黃色點雲是第二次掃瞄的成果。

另外由於環境因素不良，使能夠架設三維雷射掃瞄儀的位置非常有限，因此在可掃瞄的距離下，大部分的反射標因為距離過長以及角度過大而無法利用程式判定出點位中心座標，只有在 A1 點能夠確實判定反射標位置，因此我們就 A1 點成果特別列出，如下表所示。

	X	y	Z
第一次掃瞄	-6.720	76.367	6.604
第二次掃瞄	-6.712	76.378	6.585
差值(絕對量)	0.008	0.011	0.019
三角三邊差值	0.036	0.024	0.028

(單位：公尺)

## 結論與建議

本研究嘗試把傳統的測量方法和新進的測量技術加入監測系統之中，在綜合上述的實驗成果之後，我們可以歸納出以下幾點結論：

1. 在 GPS 測量的部分，使用 Bernese 5.0 軟體進行解算作業，並引入交大固定戰資料以及精密星曆來加入計算，使成果較為可靠；由成果可以看出選定的控制點並沒有太大的變動，而起伏較大的高程部分亦可由精度較高的電子水準測量補高程方面的不足，兩個時段得到的座標值些微的變化均在 GPS 測量精度範圍之內，因此控制點可視為沒有變動。
2. 經過曲率改正和距離配賦之後的水準測量成果精度極高，可以達到公釐級的精度，我們將水準點選擇在廠房牆面的周圍，因各水準點的高程變動極小，因此可得知廠房沒有沈陷的情況。
3. 由兩次三維雷射掃描的點雲套合成果，發現點雲幾乎可以完全重疊，因此判定廠房並沒有變形的情形，如有變形也是極小，僅在三維雷射掃描的精度範圍之內。
4. 三維雷射掃描的精度極高，可達到 6 公釐左右的精度。本研究以三維雷射掃描系統為主軸，由 GPS 提供控制點座標，使掃描得到的點雲座標轉換成真實的地面座標；而水準測量部分進行兩次時段水準成果比較廠房的沈陷量，並提供控制點的高程方面成果，提高三維雷射掃描轉換為地面座標的高程座標正確度；而三角三邊的部分，因為精度與三維雷射掃描的精度相差太大，難以同時進行資料整合；加上由於地理環境受限，三維雷射掃描對掃描角度過大的反射標無法進行定位，因此能與三角三邊進行比對的反射標座標也僅有一個。
5. 由於各種測量方法觀測的目標與形式都不同，因此在整合上有相當的困難。例如 GPS 適合觀測外圍無遮蔽的地面點；水準測量雖然沒有遮蔽問題，但也是僅能觀測地面點；三維雷射掃描與三角三邊測量雖然能觀測廠房本身，但兩者的精度等級相差過大而難以進行整合分析；物理量測本身主要以埋設在廠房結構內部，精確的位置無法由其他測量系統進行外部的量測得知，因此僅能作為網形分佈的參考。
6. 在實際的監測作業之中，可依成本考量，選擇是否選用物理量測以及三角三邊測量；但建議仍使用三維雷射掃描來進行監測，並配合 GPS 系統以及水準測量來使掃描座標轉換為地面座標。
7. 本研究由於受限於計畫的時程，因此無法進行更多次的測量作業。建議後續的工作仍然要持續進行，定時對廠房進行監測作業，以確保廠房本身的安全性。

## 參考文獻

- 何維信，2000。航空攝影測量學，國立編譯館，大中國圖書公司。
- 張明政，2003。三維雷射掃瞄技術應用於戶地測量之研究-以建物為例，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
- 郭朗哲，2004。地面光達於崩場地地形製圖之應用，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
- 郭朗哲、曾義星、史天元，2003。地面雷射掃瞄儀測量作業問題探討，第二十二屆測量學術及應用研討會。
- 陳國永，2004。3D雷射掃瞄技術應用於隧道變形量測之研究，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
- 曾義星、史天元，2002。三維雷射掃瞄技術及其在工程測量上之應用，第二十一屆測量學術及應用研討會。
- 黃文杰，2004。利用 3D 雷射掃瞄儀進行油槽形變監測之研究，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
- 黃偉城，2004。利用地面三維雷射掃瞄儀研究斷層變形之可行性-2003 年 Mw6.5 台東成功地震池上斷層之同震及震後變形，國立成功大學地球科學研究所碩士論文。
- 劉燈烈，2004。地面光達點雲資料的平差結合與影像敷貼，國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
- 賴志凱，2004。地面雷射掃瞄儀的分析與檢定，國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
- Boehler, W., G.Heinz, A. Marbs, 2001. The Potential of Non-contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording, Proceedings of CIPA International Symposium, Potsdam, Germany, 2001.
- Gordon, S., Lichti, D., and Stewart, M., 2001. Application of a high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements, The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurement. 19-21 March, 2001.
- Jaakko SANTALA and Vahur JOALA, On the Calibration of a Ground-Bsaed Lsaer Scanner, FIG Working Week 2003, Paris, France, April 13-17, 2003.
- Johansson M., 2002. Explorations into the Behaviour of Three Different High-Resolution Ground-Based Laser Scanners in the Built Enviroment, ISPRS Commission V, Symposium 2002 September, 2002, Corfu, Greece.
- Lichti, D. D., M. P. Stewart, M. Tsakiri and A. J. Snow, 2000. Benchmark Testing on a Three-Dimensional Laser Scanning System, Geomatics Research Australasia, 72:1-23, 2000.

- Nagihara, S., Hargis, J., Goss, R., Wright, J., Hill, G., 2002. Sub-Centimeter-Resolution Digital Topography and Surface Lithology Models Obtained from 3-D Laser Scanner Survey in the South prong Canyon, Texas Panhandle, CSM-ASPRS Conference and Technology Exhibition, XXII.FIG, Washington. 2002.
- Ono, N., Tonoko, N., Sato, K., 2000. A Case Study on the Landslide by the 3D Laser Mirror Scanner, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam 2000, pp. 593-598.
- Stafne, M. A., Mitchell, L. D. and West, R. L., 2000. Positional Calibration of Galvanometric Scanner Used in Laser Doppler Vibrometers, 18. Measurement, vol. 28 pp.47-59, 2000.
- Tucker C., 2002. Testing and Verification of the Accuracy of 3D Laser Scanning Data, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa 2002.
- Wehr, A. and Lohr, U., 1999. Airborne Laser Scanning- An Introduction and Overview, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol.54, pp. 68-82, 1999.

## 計畫成果自評

1. 由於實驗區的周圍地理環境不佳，建築物密集，而且在緊鄰廠房的側面有一條大排水溝，使得我們在進行監測時測量儀器難以架設在適當的位置；以三角三邊測量和三維雷射掃瞄為例，因為種種地理環境的限制，儀器只能架設在距離目標物約 30 公尺處，因此常常需要觀測極大的角度而導致測量成果精度品質的降低。
2. 在本研究的監測目標國碩廠房的側面，由於只有排水溝和鬆軟的泥土地，因此在這一側控制點的埋設的位置選擇非常有限，並且埋設困難，因此測量品質也比廠房正面的控制點差。
3. 三角三邊測量的部分由於環境因素導致測量作業不易進行，使觀測的誤差增加，甚至同一點的正倒鏡觀測都有 10" ~30" 的誤差，因此量測得到的成果較難與其他測量系統整合計算。
4. 三維雷射掃瞄的精度極高，可達到 6 公釐左右的精度。本研究以三維雷射掃瞄系統為主軸，由 GPS 提供控制點座標，使掃瞄得到的點雲座標轉換成真實的地面座標；而水準測量部分進行兩次時段水準成果比較廠房的沈陷量，並提供控制點的高程方面成果，提高三維雷射掃瞄轉換為地面座標的高程座標正確度；而三角三邊的部分，因為精度與三維雷射掃瞄的精度相差太大，難以同時進行資料整合；加上由於地理環境受限，三維雷射掃瞄對掃瞄角度過大的反射標無法進行定位，因此能與三角三邊進行比對的反射標座標也僅有一個。
5. 由於各種測量方法觀測的目標與形式都不同，因此在整合上有相當的困難。例如 GPS 適合觀測外圍無遮蔽的地面點；水準測量雖然沒有遮蔽問題，但也是僅能觀測地面點；三維雷射掃瞄與三角三邊測量雖然能觀測廠房本身，但兩者的精度等級相差過大而難以進行整合分析；物理量測本身主要以埋設在廠房結構內部，精確的位置無法由其他測量系統進行外部的量測得知，因此僅能作為網形分佈的參考。