測量工程
第五十四卷，年刊，第12-28頁，民國103年9月
Journal of Society Engineering
Volume 54, June 2014, pp.11-26

利用位移顯著性檢驗法進行水準點垂直變動偵測之研究

A Study of Test Method of Displacement Significance to Detect Vertical Movement of Benchmark

高書屏[1] Szu-Pyng Kao
王豐良[2] Feng-Liang Wang

摘 要

由於一等水準點位大部份皆沿著主要道路進行佈設及施測，若要形成閉合水準網型常需要很長之時間，其成果精度的保持往往只能以往返閉合差及環線閉合差來進行管制。本研究利用連續觀測3年之資料以形成3個環線包含173個一等水準點進行水準網整體平差，發現其中一個環線之觀測閉合差超過精度規範容許值，使得整體平差之點位中誤差最大達1.5cm。因此，利用內政部TWVD2001一等水準點資料與97年重測之一等水準點資料爲檢驗依據，並利用平均間隙法及t檢驗法進行水準網整體與單點位移顯著性分析，檢驗該測量單位所觀測之一等水準點資料，找出差異過大之點位區域；續進行檢補測與重新計算並探討其閉合差超過規範容許值之成因。本研究檢測出兩段不良觀測量，將檢測觀測量加入重新進行整體平差計算後，環線閉合差已符合精度規範，且點位中誤差最大值已縮減爲0.9cm，整體精度提升約40%。本研究採用之方法與流程，可有效分析誤差來源並縮小範圍，對後續水準測量相關工作具參考運用之價值。

關鍵字：一等水準測量、2001 台灣高程基準、平均間隙法、t 檢驗法

ABSTRACT

The first order leveling survey and benchmarks are often done and set up along with the main road, so it takes a long time to form a closed networks. In this situation, the only way to make sure and keep precision is monitoring the differences of forward and backward measurements and circuit measurements. This study used 173 benchmark measurements in continued 3 years to create 3 circle loops, then did network adjustment and analyzed the result. The results showed the maximum of RMS is 1.5cm. Therefore, based on Taiwan Vertical Datum 2001 and the first order leveling data of 2008, we used The method of mean gap and t-test to analyze the displacement significance of the whole networks and the single point, examining the leveling data to find out the sinking area, then resurveying and discussing the reasons of the exceeding differences of circle measurements. In this study, two bad leveling sections have been detected. We added the leveling sections data into the adjustment, and the differences of circuit measurement had been in accordance with the precision, increasing 40% with RMS maximum decreasing to 0.9cm. This study demonstrates to analyze the sources of difference and to narrow the range, worthy to the leveling survey.

Keywords: The first order leveling, Taiwan Vertical Datum 2001, The method of mean gap, t-test

---

[1] 國立中興大學土木工程學系教授
[2] 國立中興大學土木工程學系博士生

一、前言

高精度的高程測量成果在各項工程建設與相關學術領域之研究中，具有相當重要的地位，舉凡鐵公路建設、隧道開挖、捷運、高鐵、水庫建設、河川治理等等之國家重要建設，均建置在精密的高程系統上（黃玉婷，2008）。然而臺灣位處歐亞大陸板塊與菲律賓板塊交界處，受到兩板塊相對運動的影響使得臺灣地殼變動頻繁，加上臺灣平原區超抽地下水的情形非常普遍，導致西南沿海以及臺北、宜蘭地區發生嚴重的地層下陷（工研院能資所，2001）。因此，掌握臺灣地區高程變動趨勢為一重要課題。

近年來由於各項工程建設及災後復原工作所需，內政部配合需求重建高精度之基本控制點系統，並整合平面及高程控制系統，提供現代化三度空間控制資訊，便利各界使用，自88年度起至91年度止，分4年在臺灣本島施測2,065個一等水準點，並於一等水準點上加測衛星定位測量及重力測量。其中88及89年度先行辦理臺灣環島路線一等一級水準網，計1,010個一等水準點測量工作（水準路線總長度約2,020公里），90及91年度辦理一等二級水準網，計1,055個一等水準點測量工作（水準路線總長度約2,110公里）（內政部，2002）。為維持高程控制系統之完整，確保其精度，內政部自民國92年開始執行「國家基本測量發展計畫」，由國土測繪中心於民國95年8月至97年9月辦理完成全島一等水準網檢測工作，計完成2,439點之水準測量工作，施測水準路線全長約4,287km（內政部，2003）。

本研究資料是以國內某測量單位（以下稱為測量隊）每年度沿內政部埋設點位實施一等水準控制點調查及測量之作業及相關資料及成果；其資料皆採用2001台灣高程基準（Taiwan Vertical Datum 2001，簡稱TWVD2001），並依據內政部「一等水準測量作業規範」（內政部，2001）完成一等水準點點位勘選與埋設，經三個月沉陷期後，開始進行外業測量工作，外業原始觀測資料經過成果檢查、系統誤差改正、環線閉合差分析後，進行一等一級水準網之水準測量平差計算，求得各水準點之精密正高值。

由於一等水準點位大部份皆沿著主要道路進行佈設及施測，若要形成閉合水準網形常需要很長之時間，其成果精度的保持往往只能以往返閉合差及環線閉合差來進行管制，因此本研究利用連續觀測3年之資料以形成3個環線並進行整體水準網平差，發現其中有一個環線之觀測閉合差超過精度規範容許值，使得整體平差之點位中誤差最大達1.5cm。

本研究利用內政部TWVD2001一等水準點資料與97年重測之一等水準點資料為依據，並利用平均間隙法及t檢驗法進行水準網整體與單點位移顯著性分析，檢驗測量隊所測之一等水準點資料，找出差異過大之點位區域；續進行檢補測與重新計算並探討其閉合差超過規範容許值之成因，以提供後續水準測量相關工作之參考。

二、理論基礎

一等水準觀測資料雖然已有嚴謹的施測作業標準，但仍須進行系統誤差之分析與改正，以得到較高精度的水準測量成果。一等水準測量雖然可透過嚴密設計的觀測程序消除或降低大部份的系統誤差，但殘留的系統誤差量對水準網之計算成果仍有顯著影響（Bomford, 1980）。水準測量之系統誤差，Kukkam ä ki （1980）、Pelzer（1983）、劉啓清（1986）、張嘉強（1987）、曾清涼及劉啓清（1988）、內政部（2001）、蕭宇伸（2002）、蘇哲民（2003）、陳國華（2004）以及吳東軒（2006）等，均列述包括水準尺溫度改正、視率軸誤差改正、地球曲率改正、折射誤差改正、正高改正以及水準尺刻劃改正等系統誤差的改正模式。

2.1 水準測量系統誤差改正模式

本研究所獲得之數據及資料皆依上述文獻所提出之作業方法及誤差改正進行施測；水準原始觀測值經水準尺溫度改正、視準軸誤差改正、地球曲率改正、折射誤差改正和正高改正等5項改正，並以水準原點（K999）高程爲已知起算點，求得各水準點之精密正高值，其改正模式如后：

$$\text{水準尺溫度改正} = K \times (t - t_s) \times \Delta H \quad \cdots\cdots (1)$$

其中：$K = 1.26$ 爲鋼鋼水準尺的平均膨脹係數，單位：$ppm/^{\circ}C$。t 爲測站水準尺平均溫度，單位：$^{\circ}C$。t_s 爲水準尺長度檢定溫度（一般採用標準溫度20$^{\circ}C$），單位：$^{\circ}C$。ΔH 爲測站前後視高差，單位：m。

$$\text{視準軸誤差改正} = -C \times \Sigma \Delta S \quad \cdots\cdots (2)$$

其中：C 爲視準軸誤差改正參數，單位：mm/m 。ΔS 爲前後視距差，$\Delta S = S_B - S_F$；S_B 爲後視視距，S_F 爲前視視距，單位：m。

$$\text{地球曲率改正} = -(\Sigma S_B^2 \times \Sigma S_F^2)/2r \quad \cdots\cdots (3)$$

其中：S_B 爲後視視距，S_F 爲前視視距，單位：m。r 爲地球之平均半徑（6,378,137m）。

$$\text{折射誤差改正} = 6.7 \times 10^{-8} \times L2 \times \Delta H \times \Delta t \quad \cdots\cdots (4)$$

其中：6.7×10^{-8} 爲一等水準測量成果修正之折射係數，單位：$/m^{2}{}^{\circ}C$。$L2$ 爲前後視之平均視距，單位：m。ΔH 爲測站前後視高差，單位：m 。Δt 爲鋼鋼尺高度2.5m與0.5m處之溫度差，單位：$^{\circ}C$。ΔH 爲測站高差，單位：m。

由於地球重力場所定義之等位面通常不是平面，且不一定互相平行，因此，所測得的水準高差將會因路徑之不同，而測到不同的結果。假如將所測得的每二水準點間高差轉化成重力位場的差值，即：

$$\text{重力位差} = g \times \Delta H \quad \cdots\cdots (5)$$

其中ΔH爲二水準點間高差，g爲二水準點間之平均重力值。如此所得到的重力位差將代表二點間重力位的差異，與其測量路徑無關。對於相鄰二水準點間高程差之正高改正公式爲：

$$\text{正高改正} = \int_A^B \frac{g - g_0}{g_0} dH + \frac{\overline{g_A} - g_0}{g_0} H_A - \frac{\overline{g_B} - g_0}{g_0} H_B \quad \cdots\cdots (6)$$

其中 $\overline{g_A}$ 爲A點沿著垂線到Geoid路徑上的平均重力，單位：gal（cm / sec2）。$\overline{g_B}$ 爲B點沿著垂線到 Geoid路徑上的平均重力，單位：gal（cm / sec2）。g_0 爲臺灣地區之平均重力值，單位：gal（cm / sec2）。H_A與H_B分別爲A與B點之高程值，單位：cm。

airiti

一般而言，$\overline{g}_A = g_A - \frac{1}{2}\left(\frac{\partial\gamma}{\partial H} + 4\pi G\rho\right)H_A$ ……（7）

$\overline{g_B} = g_B - \frac{1}{2}\left(\frac{\partial\gamma}{\partial H} + 4\pi G\rho\right)H_B$ ……（8）

其中 $\frac{\partial\gamma}{\partial H}$ 爲正常空間梯度，單位：gal／cm（／sec2）。γ 爲理論重力值，單位：gal（cm／sec2）。G爲重力常數，單位：cm3／g・sec2。ρ 爲岩層密度，單位：g／cm3。

2.2 水準點垂直變動檢驗模式

兩期水準點觀測間的高程差，產生的原因有兩種，其一爲點位在兩期觀測之間所產生位移的影響；其二爲兩期觀測誤差所引起的。因此，在判斷點位是否有移動時，就必須考慮兩方面的大小，當移動量很大，比觀測誤差大很多的時候，就容易得出點位是否移動的結論，否則，就很難做出點位是否移動的判斷，此時可利用統計假設檢驗手段來進行分析(黃聲享，2003)。本研究進行高程值變化的對比，係採用平均間隙法及t檢驗法進行水準網整體與單點位移顯著性分析，判斷前後兩期中所求得的水準點高程的變化量是由於位移所致還是由於觀測誤差所引起。

2.2.1 平均間隙法檢驗

平均間隙法是穩定性的整體檢驗中的一種，藉由假設檢驗來判斷兩期水準網中點位平均位移是否穩定。由任意兩期的平差結果 X_1、X_2 及 Q_{11}、Q_{22} 可計算出各點兩期之高差d(間隙)及其協因數矩陣 Q_d：

$d = X_2 - X_1$ ……（9）

$Q_d = Q_{11} + Q_{22}$ ……（10）

當兩期水準網形一致時 $Q_{11} = Q_{22}$，高程差之權矩陣爲 Q_d 的僞逆矩陣，即 $P_d = Q_d^+$，則高程差之均方差爲：

$$\sigma_d^2 = \frac{d^T P_d d}{f_d} \quad \text{……（11）}$$

其中，f_d 爲相互獨立的變量數。

若d中不包含水準點垂直變動，可看成是誤差向量，依方差定義，σ_d^2 也是單位權方差的無偏估值。母體方差 σ_0^2 可由兩期觀測的聯合平差結果求得：

$$\sigma_0^2 = \frac{\left(V^T PV\right)_1 + \left(V^T PV\right)_2}{f} \quad \text{……（12）}$$

其中，$f = f_1 + f_2$，f 爲兩期觀測的自由度之合。因此，可用 σ_d^2 及 σ_0^2 兩個方差估值的比來檢驗 d 中是否變動顯著。

原假設 H_0: $\sigma_d^2 = \sigma_0^2$

對立假設 H_1: $\sigma_d^2 > \sigma_0^2$

在 H_0 成立下，統計量 $F = \frac{\sigma_d^2}{\sigma_0^2} \sim F(f_d, f)$ ……（13）

若 $F > F(f_d, f)$，則拒絕原假設 H_0，即水準網中存在變動點，否則認爲變動不顯著。

平均間隙法檢驗是相對於平均點位而言，是對監測網進行整體檢驗，不能具體判斷哪些點是變動點，因此，還需作單點檢驗。

2.2.2 t 檢驗法進行單點檢驗

t 檢驗法的前提是兩期觀測精度相同，在實際分析中，需作F檢驗以判斷兩期精度是否相同。

統計量 $F = \frac{\hat{\sigma}_2^2 / f_2}{\hat{\sigma}_1^2 / f_1}$ ……（14）

選定顯著性水平 α，查表得 $F_\alpha(f_1, f_2)$ 的值，若 $F < F_\alpha(f_1, f_2)$，可認爲兩期觀測是同精度。然後作單點檢驗；

統計量 $t = \frac{d - (\xi_2 - \xi_1)}{\hat{\sigma}_0 \sqrt{Q_{11} + Q_{22}}}$ ……（15）

式中 ξ_1 、 ξ_2 分別爲點位在前後期之期望值。若d中不包含變動信息，則兩期高程之期望值相等，因此，進行t檢驗就是檢驗 $\xi_2 - \xi_1$ 是否爲零。

原假設 H_0: $\xi_2 - \xi_1 = 0$

對立假設 H_1: $\xi_2 - \xi_1 \neq 0$

在 H_0 成立下，統計量 $t = \frac{d}{\hat{\sigma}_0 \sqrt{Q_{11} + Q_{22}}} = \frac{d}{\sigma_d} \sim t(f)$ ……（16）

選定顯著性水平 α ，查表得 $t_{\alpha/2}(f)$ 的值，若 $| t | > t_{\alpha/2}(f)$，則拒絕 H_0 假設，點位變動顯著的概率大，反之 $| t | < t_{\alpha/2}(f)$，則接受 H_0 假設，認爲幾乎無點位變動（陶本藻，2000）。

三、研究方法與流程

本研究利用內政部97年一等水準點資料與TWVD2001一等水準網點資料相減，可得一組高程變動量，續將測量隊98年所測之一等水準點資料與TWVD2001一等水準點資料相減，可得另一組高程變動量，再以前一組高程變動量爲依據，計算後一組高程變動量之差異，並利用平均間隙法及t檢驗法進行水準網整體與單點位移顯著性分析，檢驗測量隊所測之一等水準點資料，找出差異過大之點位區域，續進行檢補測作業，研究流程如圖1。

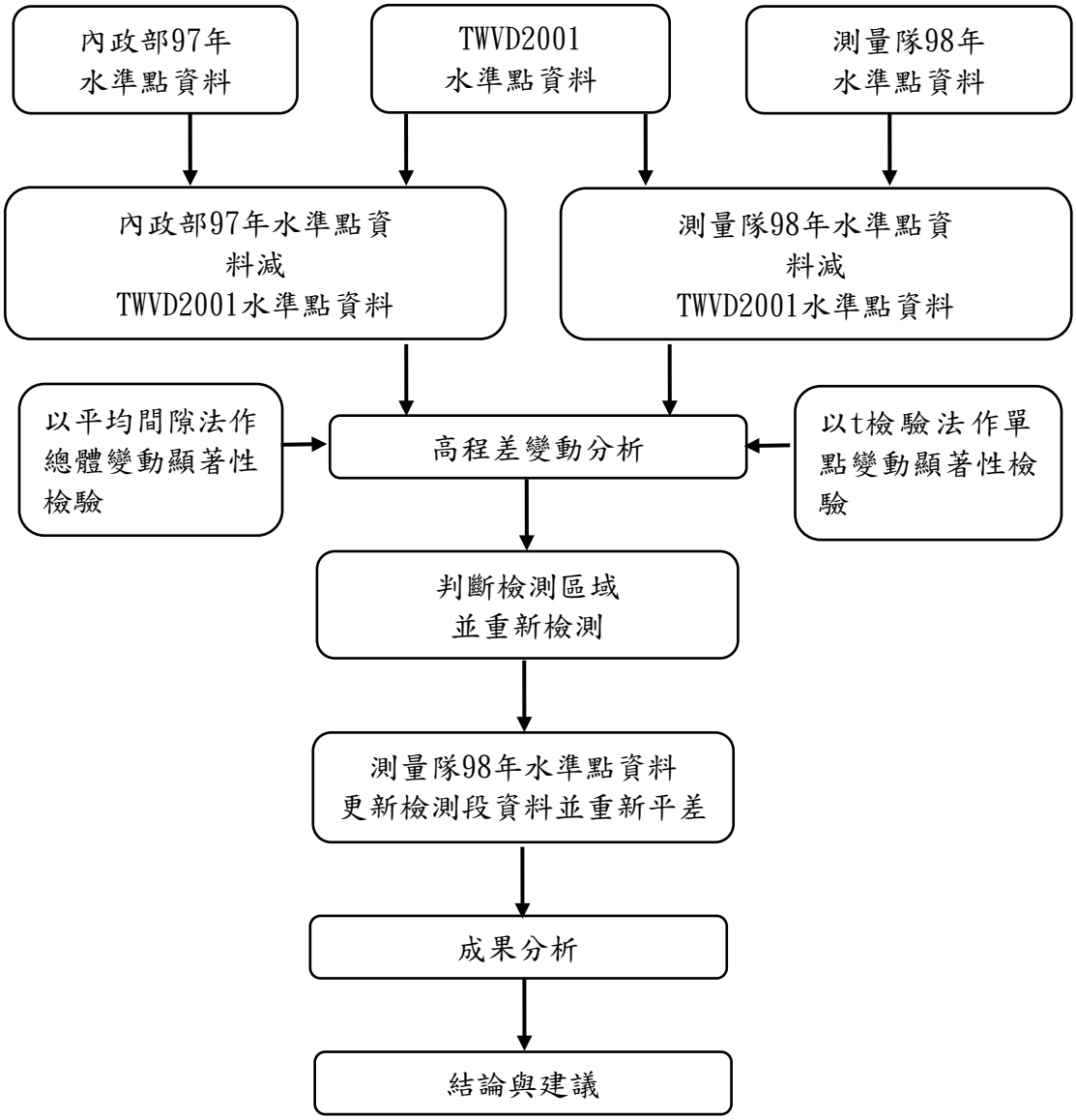

圖1 研究流程圖

本研究成果計算方式採分區分年計算，並逐年迭加各年度觀測資料，進行整體平差計算。自98年起已施測3個年度共計173點，完成3條環線及閉合差分析（如圖 2）。

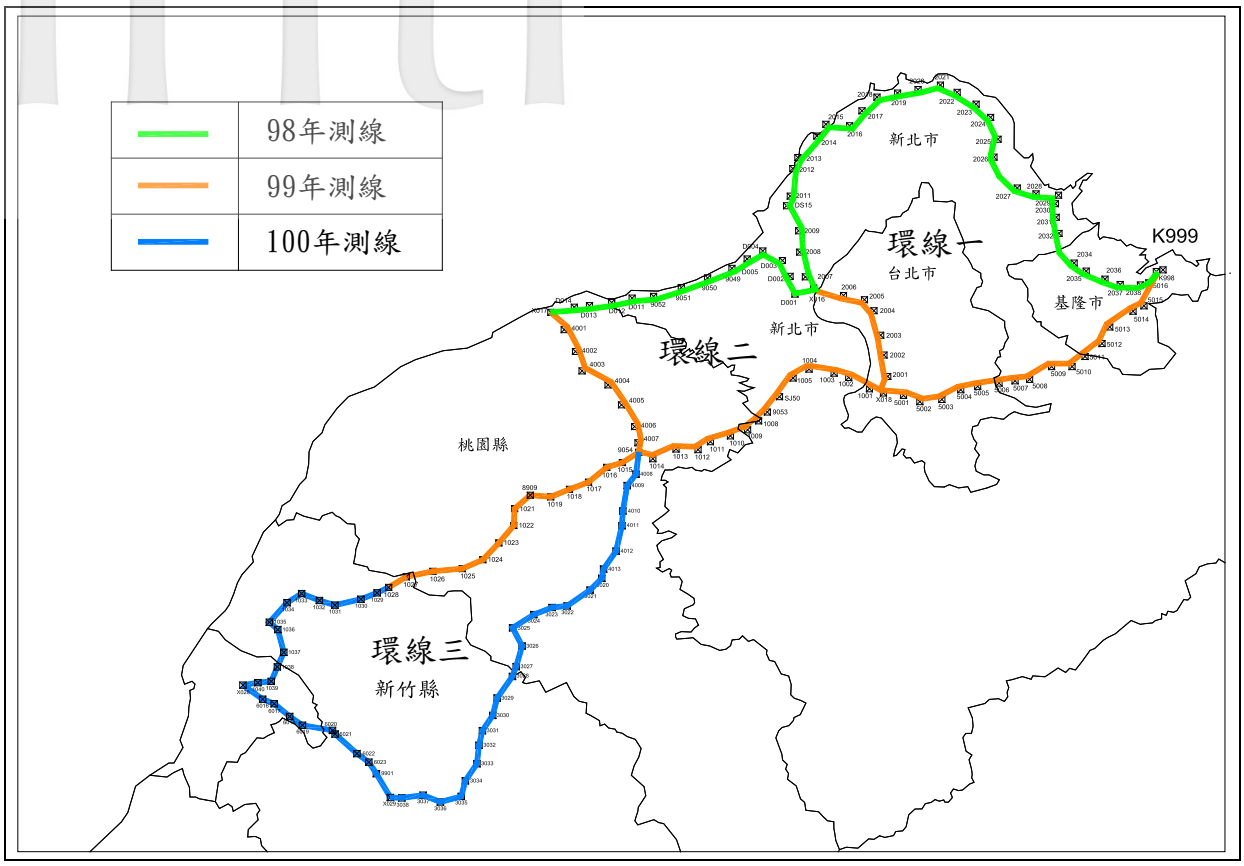

圖 2 一等水準測量環線圖

針對測量隊98、99及100年觀測資料進行環線閉合差計算及整體平差時，環線一及環線三觀測閉合差均小於容許值，但環線二之觀測閉合差超過容許值3.6703mm（如表1），使得整體平差之點位中誤差最大達1.5cm。

環線二爲跨2年度才完成，因此於99年度測量時僅檢驗其往返及測線閉合差並未進行環線平差，由環線平差成果推測其中應隱含測量誤差或點位變動，致使閉合差超出容許值。爲探求其原因，須針對該環線之原始觀測資料進行檢查及驗算並利用內政部TWVD2001及98年重測之水準點資料進行分析比較，探求誤差產生之可能區域，縮小重新檢測之作業範圍。

表 1 環線閉合差測算總表

環線名稱	水準環線長 (km)	容許閉合差 (mm)	觀測閉合差 (mm)	分析結果
環線一	115.611	±26.8806	-1.42	合格
環線二	87.907	±23.4397	27.11	不合格
環線三	118.944	±27.2654	8.91	合格

備註：容許閉合差$\pm 2.5\text{mm}\sqrt{F}$（F 為閉合水準環線長度，單位：km）

3.1 資料預處理

蒐整環線二中內政部TWVD2001公告值、97年重測值及測量隊98年成果值等3組水準資料（如表2），表中之星號”＊”爲測量隊埋設之點位（9049、9050、9051、9052、9053、9054）及台北縣政府埋設之點位（SJ50），因無內政部前期資料可供比較故先於予剔除。

表 2 環線二 3 組水準點高程表　　單位：公尺

序號	點號	測量隊 98 年測量值	內政部 97 年重測值	TWVD 2001	序號	點號	測量隊 98 年測量值	內政部 97 年重測值	TWVD 2001
1	X018	5.51022	5.51010	5.50800	23	4001	14.55881	14.54869	14.55500
2	2001	5.56593	5.56598	2.73900	24	4002	30.74029	30.73475	30.73700
3	2002	3.49360	3.49027	3.48700	25	4003	42.94425	42.94392	42.95000
4	2003	3.24945	3.24605	3.24900	26	4004	51.98249	51.98141	51.98100
5	2004	3.74007	3.72950	3.73300	27	4005	65.23147	65.23289	65.22800
6	2005	3.76689	3.77360	4.16000	28	4006	76.41191	76.41253	76.40800
7	2006	5.63336	5.64614	5.80700	29	4007	85.72873	85.73059	85.72500
8	X016	3.66403	3.66542	3.66497	30	9054	89.58632	＊	＊
9	D001	6.14708	6.14530	6.14428	31	1014	98.13093	98.13340	98.13000
10	D002	4.46181	4.46027	4.43816	32	1013	121.72465	121.72410	121.71900
11	D003	5.73275	5.73115	5.72133	33	1012	151.61280	151.61316	151.60100
12	D004	7.70060	7.69836	7.69717	34	1011	104.12232	104.12517	104.12100
13	D005	9.85653	9.85750	9.55190	35	1010	45.50188	45.50173	45.49100
14	9049	9.51576	＊	＊	36	1009	20.17664	20.18591	20.20100
15	9050	14.60163	＊	＊	37	1008	11.66610	11.67081	11.67300
16	9051	12.11995	＊	＊	38	9053	18.53937	＊	＊
17	9052	12.21013	＊	＊	39	SJ50	5.19448	＊	＊
18	D011	11.58685	11.57956	11.59313	40	1005	3.49911	3.50927	3.30300
19	D012	6.72708	6.71415	6.73417	41	1004	3.57653	3.58255	3.59800
20	D013	16.21460	16.20108	16.21533	42	1003	2.84250	2.84166	3.00800
21	D014	10.51656	10.49892	10.51410	43	1002	4.53146	4.53399	4.54300
22	X017	5.28115	5.27010	5.27533	44	1001	4.13755	4.14232	4.05000

利用測量隊98年成果值及內政部97年重測值等兩組資料分別與TWVD2001公告值相減（如表 3），其中可發現，兩組水準點高程差異量均在±0.025m內，但水準點2001、2005、2006、D005、1005、1003及1001等7個點位之高程差異量均大於±0.08m，最大甚至達到2.8m，因該等點位公告值距今約有9年，期間可能已遭人爲或環境之因素使其產生劇烈變動，超出測量誤差及地殼變動等因素所造成之影響量，故先於予剔除。

表 3 環線二水準點高程差比較表　　單位：公尺

序號	點號	測量隊 98 年測量值 | TWVD2001	內政部 97 年重測值 | TWVD2001	高程差>±0.08剔除	序號	點號	測量隊 98 年測量值 | TWVD2001	內政部 97 年重測值 | TWVD2001	高程差>±0.08剔除
1	X018	0.00222	0.00210		20	4002	0.00329	-0.00225	
2	2001	2.82693	2.82698	剔除	21	4003	-0.00575	-0.00608	
3	2002	0.00660	0.00327		22	4004	0.00149	0.00041	
4	2003	0.00045	-0.00295		23	4005	0.00347	0.00489	
5	2004	0.00707	-0.00350		24	4006	0.00391	0.00453	
6	2005	-0.39311	-0.38640	剔除	25	4007	0.00373	0.00559	
7	2006	-0.17364	-0.16086	剔除	26	1014	0.00093	0.00340	
8	X016	-0.00094	0.00045		27	1013	0.00565	0.00510	
9	D001	0.00280	0.00102		28	1012	0.01180	0.01216	
10	D002	0.02365	0.02211		29	1011	0.00132	0.00417	
11	D003	0.01142	0.00982		30	1010	0.01088	0.01073	
12	D004	0.00343	0.00119		31	1009	-0.02436	-0.01509	
13	D005	0.30463	0.30560	剔除	32	1008	-0.00690	-0.00219	
14	D011	-0.00628	-0.01357		33	1005	0.19611	0.20627	剔除
15	D012	-0.00709	-0.02002		34	1004	-0.02147	-0.01545	
16	D013	-0.00073	-0.01425		35	1003	-0.16550	-0.16634	剔除
17	D014	0.00246	-0.01518		36	1002	-0.01154	-0.00901	
18	X017	0.00582	-0.00523		37	1001	0.08755	0.09232	剔除
19	4001	0.00381	-0.00631						

3.2 水準資料檢驗

首先利用測量隊98年與內政部97年間之高程差值進行統計分析，再利用平均間隙法進行水準網總體位移顯著性檢驗，採用 F 值統計檢定，顯著水準值取α＝5%，經計算所得樣本統計量F＝58.6522，大於其相應的理論值 $F_{0.05}(1,2)$=18.51之值，顯示兩期點位高程有大於量測誤差之變動發生，續以單點位移顯著性檢驗進行 t 值統計檢定，顯著水準值取α＝5%，其相應的理論值$t_{0.025}(1)$=12.71，經計算所得樣本統計量$|t| > t_{0.025}(1)$ 之點位計有2004(10.57mm)、D012（12.93mm）、D013（13.52mm）、D014（17.64mm）、X017（11.05mm）及4001（10.12mm）等6點，將水準點高程比較以折線圖方式展繪如圖3，得知點位D004至4003間有明顯偏移量，預判可能隱含測量誤差或點位變動。

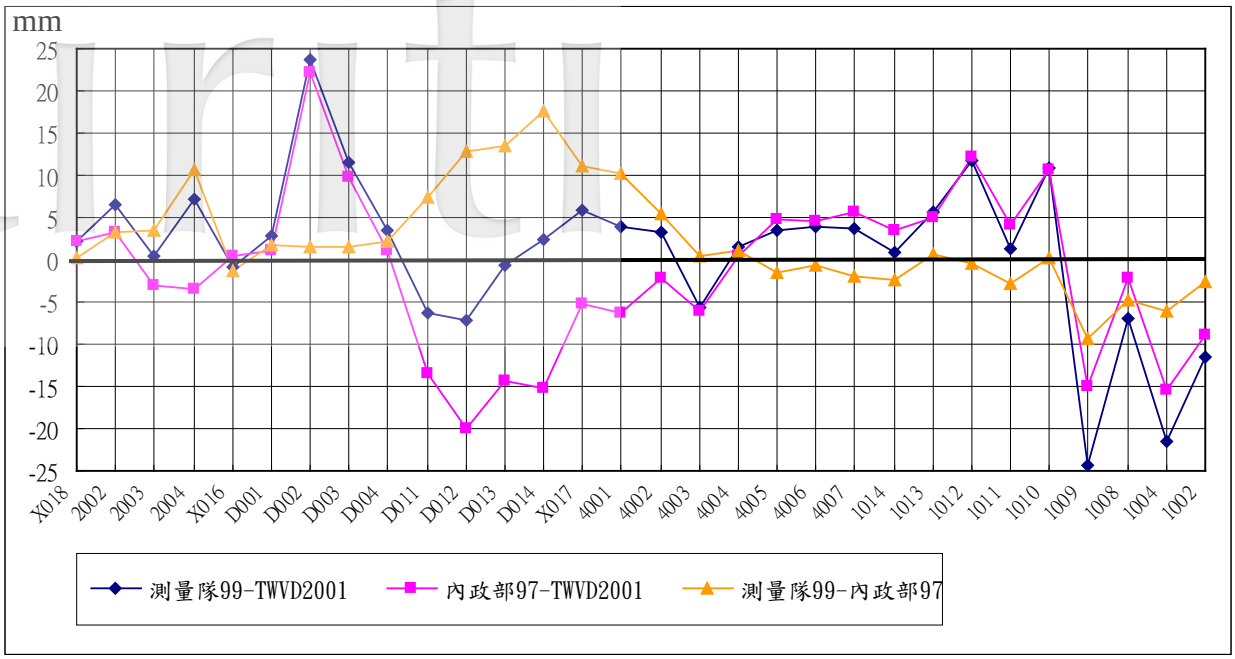

圖 3 水準點高程值變動分析圖

3.3 檢補測作業規劃

經前述檢驗結果規劃檢補測路線（如圖4），全長27.3公里，其中包含14個水準點（13個測段）。檢測作業採單趟方式測量，並與舊成果進行比較，其閉合差檢核標準依據「內政部國土測繪法規彙編」，最大閉合差爲±2.5mm$\sqrt{K}$（K爲測段距離，單位：km），若超過此規範值，其中應含測量誤差或點位變動，則加測返測值，以更新該段觀測資料，提升整體平差精度。

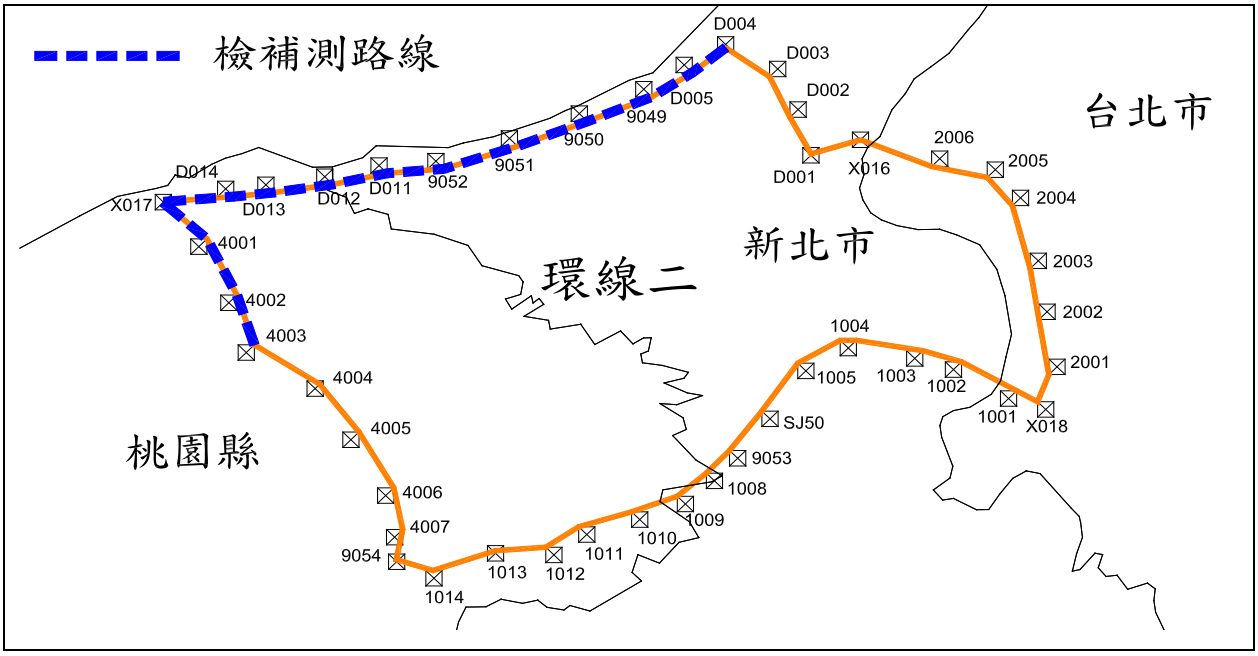

圖 4 檢補測路線規劃圖

四、檢補測成果分析

4.1 檢測段閉合差分析

本次檢測資料與測量隊98年成果值相較（如表4），由表中得知，檢測結果除測段2（D005至9049）及測段5（9051至9052）較差達4.1至8.4mm，誤差超出容許值外，其餘各段檢測資料之較差均在容許值內，由此可知，98年成果中測段2及5之觀測資料中應含測量誤差或點位變動，而點位變動之來源可能爲地殼變動或點位下陷或上升，須加以探求其肇因。

表 4 環線二檢測段閉合差分析表

測段	水準測段	單段距離（km）	測量隊 100 年檢測值高程差(m)	測量隊 98 年測量值高程差(m)	較差（mm）	容許值（mm）	備考
1	D004-D005	1.965	2.15537	2.15655	-1.18	±3.50	
2	D005-9049	1.32	-0.34446	-0.34035	4.11	±2.87	超出規範
3	9049-9050	2.414	5.08764	5.08664	1	±3.88	
4	9050-9051	2.977	-2.47878	-2.48073	-1.95	±4.31	
5	9051-9052	3.113	0.08278	0.09117	-8.39	±4.41	超出規範
6	9052-D011	1.287	-0.62046	-0.62287	-2.41	±2.84	
7	D011-D012	1.776	-4.85858	-4.85921	-0.63	±3.33	
8	D012-D013	2.132	9.49177	9.48820	3.57	±3.65	
9	D013-D014	1.592	-5.69739	-5.69753	-0.14	±3.15	
10	D014-X017	2.504	-5.23354	-5.23461	-1.07	±3.96	
11	X017-4001	2.221	9.27969	9.27836	1.33	±3.73	
12	4001-4002	2.174	16.18275	16.18218	0.57	±3.69	
13	4002-4003	1.838	12.20604	12.20454	1.5	±3.39	

首先檢查98年成果中測段2及5之原始觀測量，其閉合差均在容許值範圍內，可排除測量誤差過大或人爲錯誤之因素；續利用經濟部中央地質調查所2000年公佈之台灣活動斷層分布圖（如圖5），將環線二之水準點展繪於該圖上（如圖6），由圖中可知，環線二正好位於金山斷層、山腳斷層及南崁斷層等區域，但測段2及5並未位於斷層交界處，故可排除地殼變動造成之點位變動。

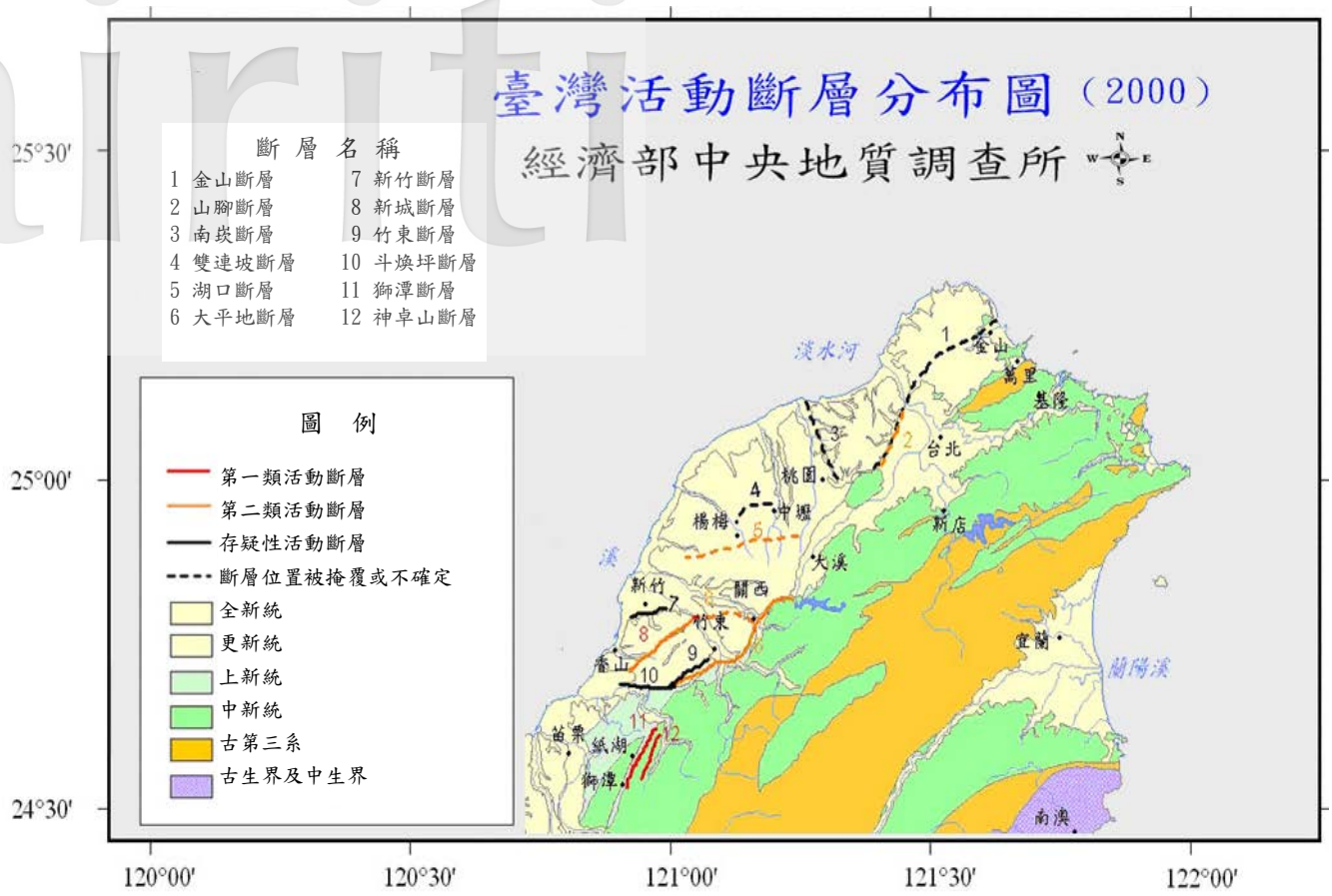

圖 5 台灣活動斷層分布圖(經濟部中央地質調查所，2000年)

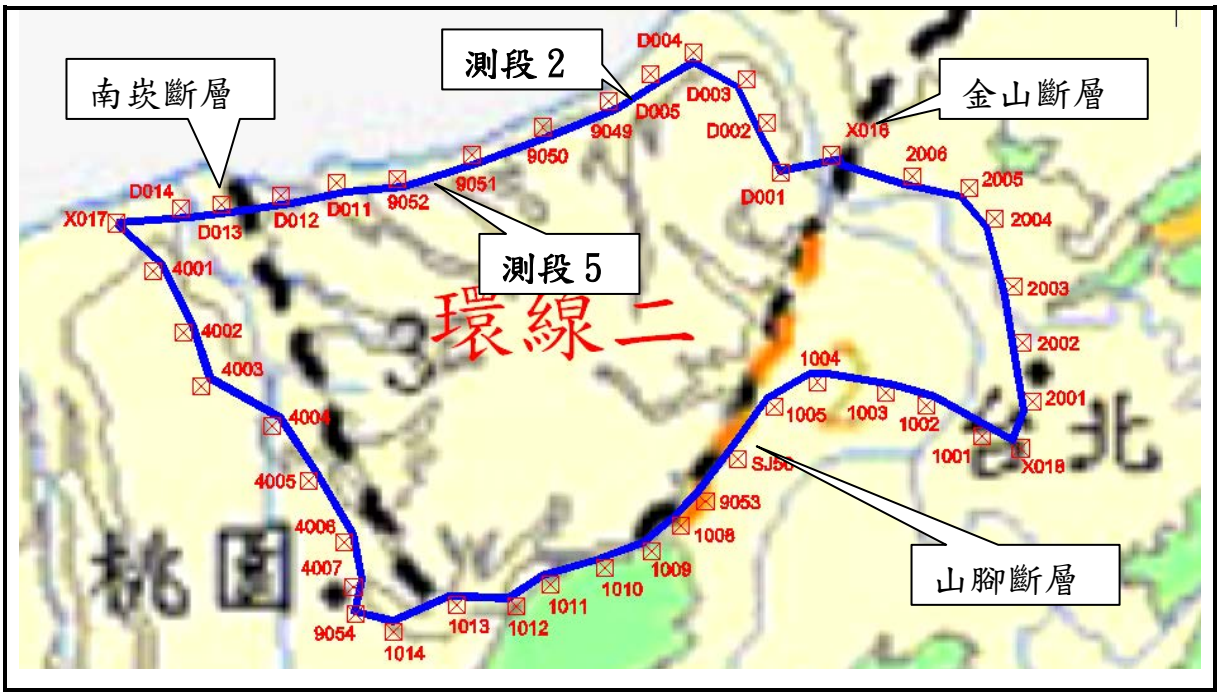

圖 6 水準點套繪圖

最後，檢視點位埋設及環境狀況，測段2及5中之水準點除D005爲內政部點位外，點位9049、9051及9052等3點爲測量隊於98年1月份埋設（如圖7），其中9049及9051等2點均埋設於重新整地或土質鬆軟處，且於當年度4月份即開始施測，中間等待期僅3個月，經本次檢測結果，該兩段資料之高程差差異量達4.1至8.4mm，顯見點位仍處於未穩定狀態，雖98年成果中測段2及5之原始觀測量往返閉合差均能符合規範，但新埋設之點位仍不斷微量下陷，在測量過程中因每段往返測量時間均在1天內完成，故不易察覺，然而，最後將各段資料相接形成環線時，便會造成環線閉合差超過規範之情況。

圖 7 水準點埋設及環境狀況圖

4.2 檢測成果分析

將測段2及5之檢測資料加入環線閉合差分析計算，其環線二閉合差爲14.61mm優於舊資料（如表5），符合規範值（±23.44mm），續將檢測之資料加入整體水準網平差計算，點位中誤差最大值爲0.9cm亦優於舊資料（1.5cm），顯示本次檢測規劃及測量作業已確實將造成不良觀測量之點位找出並剔除。

表 5 環線閉合差測算總表

環線名稱	水準環線長（km）	容許閉合差（mm）	觀測閉合差（mm）	分析結果
環線二-舊值	87.907	±23.43968	27.11	不合格
環線二-新值	87.907	±23.43968	14.61	合格

備註：容許閉合差$\pm 2.5mm\sqrt{F}$（F 為閉合水準環線長度，單位：km）

另將整體水準網平差計算之最新成果與TWVD2001公告值及內政部97年重測值相比較(如圖 8），分析如后：

1. 點位D004至4003間之偏移量有明顯縮小，且較貼近於內政部97年重測成果之趨勢(高程值差異均在±5mm之內)，但是，點位2004及D014經本次檢測結果顯示，有抬升約10mm之現象，而點位1009約下陷12mm，判斷該等點位確實發生垂直變動。
2. 點位D004至D011之偏移量，經本次檢測結果顯示，其中確實含有不良觀測量，肇因爲埋石至施測之等待期不足及點位地基不穩，經重新平差計算後，該點之新高程值與內政部97年重測值非常接近，而其餘各點檢測結果與測量隊98年成果值之趨勢一致並無不良觀測量。

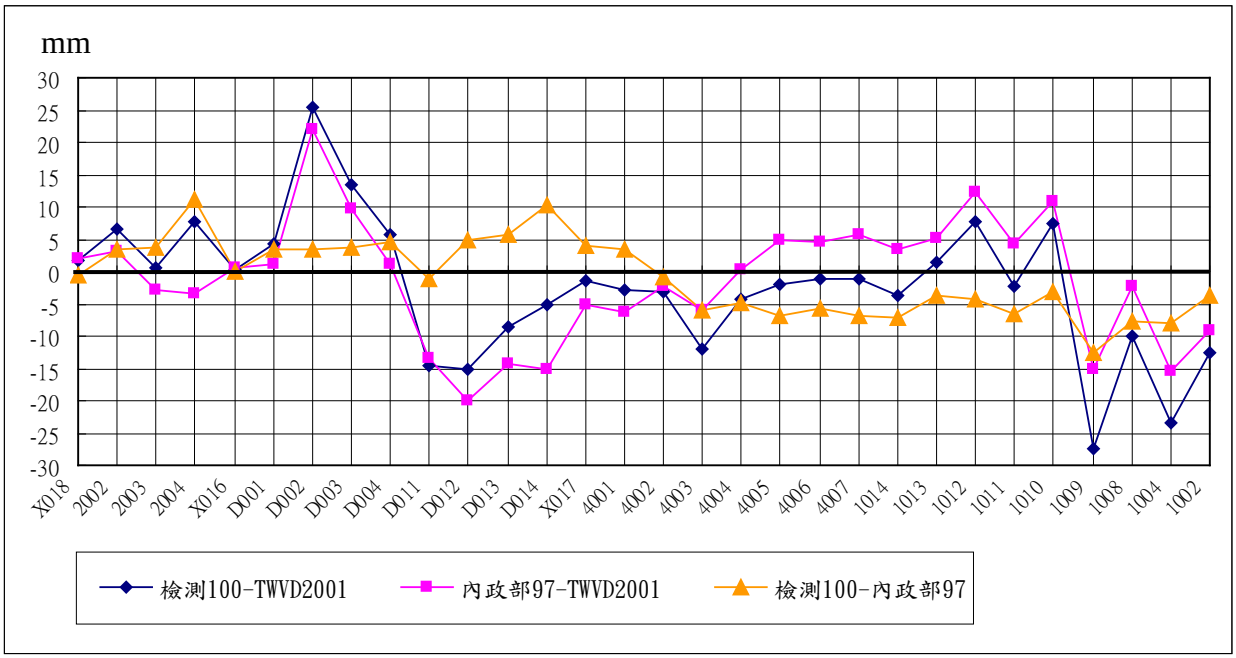

圖 8 水準點高程值變動分析圖

五、結論

透過檢測作業過程及成果計算分析，提出幾項結論以供後續執行之參考。

1. 利用內政部兩組水準測量成果來檢驗後續水準測量觀測量誤差，可有效尋找誤差來源並縮小範圍，本次檢測規劃及測量作業確實將造成不良觀測量之點位找出並剔除，本研究之方法與流程可供後續水準測量相關工作參考運用。
2. 利用平均間隙法可有效檢驗前後兩期水準網整體位移顯著性，確定水準網整體確實存在不穩定點後，利用 t 檢驗法進行單點位移顯著性分析，可於水準網中搜尋發生位移之不穩定點，進而探討發生變動之原因。
3. 本研究將檢測資料加入環線閉合差分析計算，其環線二閉合差爲 14.61mm 優於舊資料，符合規範值（±23.44mm），整體水準網平差計算，點位中誤差最大值爲 0.9cm 亦優於舊資料（1.5cm），整體精度提升約 40%。
4. 本次檢測出兩段不良觀測量，係因埋石至施測等待期不足及點位地基不穩，可將埋石等待期拉長至 6 個月並避開重新整地之區域，以確維水準點位之穩固與品質。

六、參考文獻

1. 工研院能資所（2001），臺灣地區地層下陷之監測、調查及分析期末報告，經濟部水資源局，臺北。
2. 內政部（2002），台灣一等一級水準網之水準測量、衛星定位測量及重力測量成果說明，內政部，臺北。
3. 內政部（2003），台灣一等二級水準網之水準測量、衛星定位測量及重力測量成果說明，內政部，臺北。
4. 內政部（2001），一等水準測量作業規範，內政部，臺北。
5. 吳東軒（2006），精密水準網量誤差分析：轉點沉陷效應之探討，國立成功大學測量及空間資訊學系項士論文，臺南。
6. 陳國華（2004），整合 TWVD2001 水準及 GPS 資料改進臺灣區域性大地水準面模式以應用於 GPS 高程測量，國立成功大學測量及空間資訊學系博士論文，臺南。
7. 黃玉婷（2008），利用 TWVD2OO1 水準資料推估臺灣地區高程變動速度場之研究，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文，臺南。
8. 黃聲享、尹暉、蔣征（2003），變形監測數據處理，武漢大學出版社。
9. 曾清涼、劉啓清（1988），水準測量的折射誤差分析（Ⅰ)(Ⅱ），國科會專題研究報告，臺

南。

10. 陶本藻（1982），自由網平差與變形分析，測繪出版社。
11. 張嘉強（1987），精密水準測量中重力與大氣折射之系統誤差研究，國立成功大學航空測量研究所碩士論文，臺南。
12. 劉啓清（1986），精密水準測量之系統誤差，第五屆測量學術及應用研討會論文集，臺南。
13. 蕭宇伸（2002），嚴密正高改正，國立交通大學土木工程學系碩士論文，新竹。
14. 蘇哲民（2003），TWVD2001 一等水準觀測資料之系統誤差分析，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文，臺南。
15. Bomford, G.（1980）, “Geodesy”, 4th Edition. New York, Oxford University Press.
16. Kukkam ä ki, T. J.,（1980）, “Error Affecting Levelling”, Proc NAD Symposium, Ottawa, pp.1-10.
17. Pelzer, H.,（1983）, “Systematic Instrumental Error in Precise Levelling”, Bonn, Fred. Dummler’s Verlag.