

利用聯測正高監測網進行一等水準點檢測可行性之研究

湯凱佩¹
Kei-Pei Tang

陳鶴欽²
He-Chin Chen

梁旭文³
Hsu-Wen Liang

劉正倫⁴
Jeng-Lun Liu

摘要

高程基準為國家各項工程建設之基本依據，而一等水準點則為高程基準之基礎，由於臺灣位處地殼板塊運動劇烈處，加上天災及人為因素等，致水準點高程變動大，故為維持高程基準之正確性應定期辦理水準點檢測工作，然實務上受限人力及財力，無法經常全面性辦理一等水準點的檢測作業，內政部自 90 年起計辦理完成 2 次全臺灣一等水準點檢測，約 6~8 年辦理一次，最近一次係於 96~97 年測量，並於 98 年 3 月公告，施測時間迄今已逾 5 年。

經濟部水利署為監測地層下陷情形，每年於全臺灣多個地區辦理下陷區水準網監測作業，依據該署監測成果，彰雲嘉地區屬嚴重下陷區，年下陷速率達 3-7 cm/yr，位處下陷嚴重區內之一等水準點，其高程變動累計多年必十分可觀，故檢測工作實刻不容緩。基於資源共享及節省公帑，本文嘗試引用經濟部水利署下陷監測區水準網觀測資料，將其與內政部一等水準點聯測並予以重新平差，改算至內政部公布 TWVD2001 高程系統，藉以達到檢測一等水準點之目的。

本文以實務辦理聯測作業將水利署監測網水準點成果改算至 TWVD2001 高程系統，並重點探討高程約制點的選擇及檢核，以確保成果可靠性，依水利署水準作業精度要求（測段往返閉合差小於 $3 \text{ mm}\sqrt{K}$ ），該成果已足夠於一般工程使用。

關鍵詞：高程基準、地層下陷、正高

一、前言

高程基準之建立及維護為國家重要基礎工作，屬內政部權責，相關工作則交由內政部國土測繪中心執行。內政部為建立高精度之高程控制系統，於 90 年新設臺灣水準原點，並分別於 90、92 年度辦理一等一級、一等二級水準點測量，共計完成 2065 個一等水準點測量作業，並在水準點施測 GPS 測量（含高程）及相對重力測量作業，建立一個高精度的高程控制系統（內政部，2001；曾清涼等，2001、2003），命名為 2001 臺灣高程基準（Taiwan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD2001），嗣後於訂定基本測

¹ 內政部國土測繪中心 課員，23018@mail.nlsc.gov.tw

² 內政部國土測繪中心 技正

³ 內政部國土測繪中心 課長

⁴ 內政部國土測繪中心 主任

量實施規則時定義為二〇〇一高程系統(TWVD 2001)，亦係以基隆平均海水面為起算依據之正高系統。

一等水準點為高程基準之基礎，亦為維護高程基準最重要的標的，由於臺灣位處地殼板塊交界處，地表變動較為劇烈，地震、颱風（豪雨）等天災亦較頻繁，復以人為因素如超抽地下水或重大工程建設造成地層壓縮等，均會造成水準點高程變動，故應定期辦理水準點檢測工作以維持高程基準之正確性。內政部於 96 至 97 年間辦理臺灣本島地區一等水準點正高檢測，實際檢測時間迄今已超過 5 年。

一等水準點檢測工作係以精密水準測量為之，地層因時間差有所變動，為避免施測時程太長造成測量結果誤差，須集中較多人力於短時間內辦理完成；又臺灣地區一等水準點多沿主要道路布設，日間車輛往來頻繁不利作業進行，故多採夜間觀測，作業成本相對較高，因此，在人力、時間及經費需求考量下，無法經常性針對一等水準點辦理檢測作業。

目前國內大規範進行精密水準測量單位，除內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）外，尚有經濟部水利署及中央地質調查所（以下簡稱水利署及地調所）等機關，基於業務職掌辦理國家基本框架維護、地層下陷地區監測及活動斷層監測等作業。其中地調所辦理之水準測量採線狀規劃，水準點為該所自行布設，測線橫跨於斷層線，用以監測斷層兩側之地殼高程方向變化；而水利署多年來為監測臺灣地區地層下陷情形，作為地層下陷防治執行方案實施之參考，選定全臺灣多個區域辦理下陷區水準網檢測、監測井監測、基本資料收集及加強預警機制等工作，其監測水準網亦為該署自行布設，並同時聯測監測區域內由內政部布設之一等水準點。

國土測繪中心由於受限人力及財力，無法經常性針對一等水準點辦理全面的檢測作業，基於資源共享及節省國家公帑，整合利用其他機關之水準測量資料，來達到檢測一等水準點的目的，是一可考慮的方向。因水利署監測地層下陷所辦理之監測區水準測量為網狀分布，且區域內多數的內政部一等水準點亦同時予以聯測，其水準測量之精度要求為測段閉合差需小於 $3\text{mm}\sqrt{K}$ （ K 為測段長度，單位：公里），於一般工程中應用已足夠，故若將監測水準網與鄰近穩定的一等水準點聯測，結合監測水準網測量資料及聯測資料，並以穩定水準點作為高程約制點，重新進行水準網平差，解算各點位高程值，其中屬於內政部一等水準點者，再與公告高程值比較得到高程變化，可達到檢測的目的。

二、作業規劃及方式

水利署於全臺灣規劃多個地層下陷監測區，依各地區地層下陷嚴重程度每年或數年辦理監測作業，101年度辦理包括臺北、宜蘭、苗栗、臺中、彰化、雲林、嘉義及屏東等8個地區之水準網檢測，其作業範圍詳如圖1，該署101年度水準測量之精度要求，除宜蘭地區測段閉合差需小於 $2.5\text{mm}\sqrt{K}$ （ K 為測段長度，單位：公里）外，其餘地區測段閉合差應小於 $3\text{mm}\sqrt{K}$ 。而成果顯示，101年度該署計辦理水準測線距離2299公里，施測水準點1795點，每測段閉合差均小於 $3\text{mm}\sqrt{K}$ ，系統誤差改正後之自訂環線閉合差均小於 $3\text{mm}\sqrt{F}$ ，後驗中誤差約介於 $0.5\sim 1.5\text{mm}\sqrt{K}$ 間（參考表1），彰雲嘉屬嚴重下陷地區，水利署每年均辦理監測作業，比較101年度與前一年度成果，該地區下陷速率約3.0-7.4

cm/yr，惟分析歷年成果已有逐步減緩趨勢，其他地區下陷速率約在0-2 cm/yr（經濟部水利署，2012）。

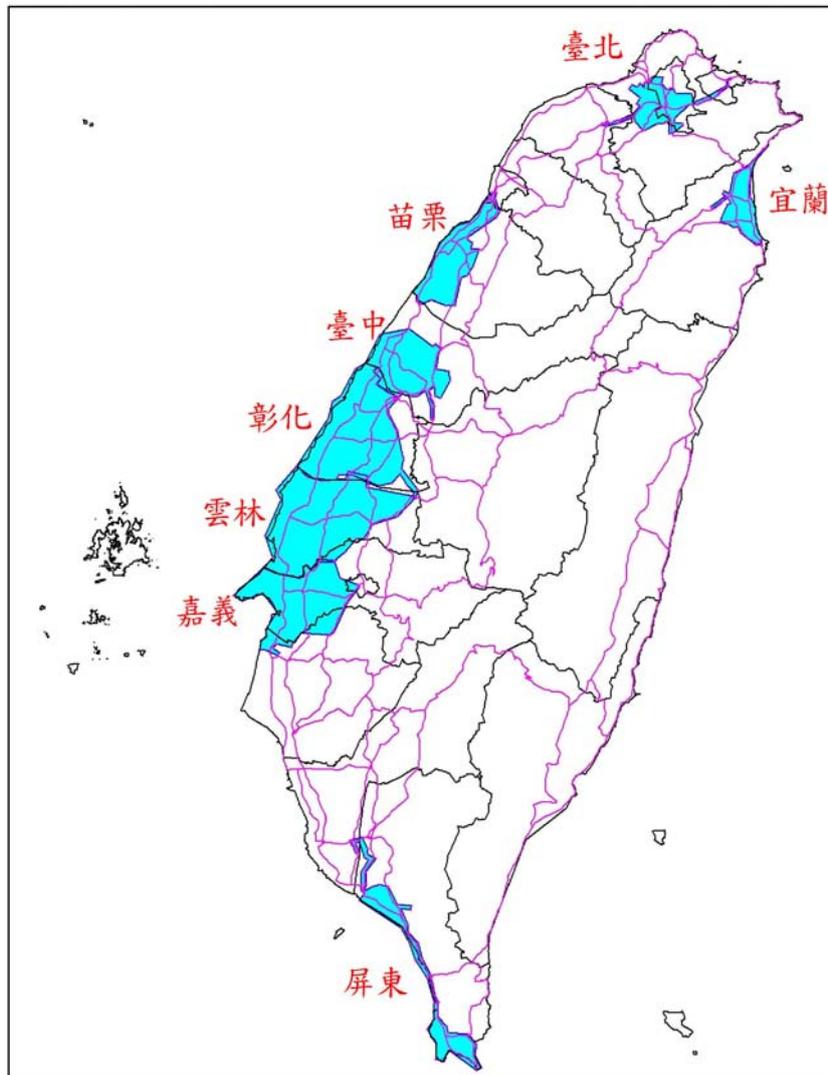


圖1：101年度經濟部水利署地層下陷監測區水準網分布示意圖

表1：101年度經濟部水利署地層下陷監測區水測量成果彙整表

範圍地區	測線距離 (KM)	點數	後驗中誤差	平均誤差	最大誤差	多餘觀測數
台北	287	251	$\pm 0.537\text{mm}\sqrt{K}$	1.45mm	2.04mm	28
苗栗	185	136	$\pm 0.786\text{mm}\sqrt{K}$	2.5 mm	3.8 mm	11
台中	160	126	$\pm 0.649\text{mm}\sqrt{K}$	2.1 mm	2.9 mm	9
彰化	383	274	$\pm 1.179\text{mm}\sqrt{K}$	4.46mm	6.28mm	17
雲林	519	385	$\pm 1.479\text{mm}\sqrt{K}$	6.40mm	8.65mm	26
嘉義	335	256	$\pm 0.781\text{mm}\sqrt{K}$	2.4 mm	3.7 mm	23
屏東	270	207	$\pm 0.979\text{mm}\sqrt{K}$	3.5 mm	6.5 mm	19
宜蘭	160	160	$\pm 0.795\text{mm}\sqrt{K}$	2.9 mm	4.1 mm	13

水利署地層下陷監測作業係著重於點位高程逐年的相對變化量，其點位絕對高程值對其作業目的意義不大，而本次聯測作業主要方式是要將水利署地層下陷區水準網與穩定的一等水準點進行聯測，聯測後以穩定的一等水準點98年公告高程為約制，重新進行水準網平差，求得水準網各點位在TWVD2001高程系統下之高程值。所稱穩定的一等水準點係參考黃玉婷等2010年研究（黃玉婷等，2010），利用內政部於90~91年、95年（僅辦理臺灣西南部地區）及96~97年共計辦理3次一等水準點正高測量，經採最小約制平差計算成果，分析各水準點最近兩次的成果，將高程變化小於5mm者視為穩定的一等水準點。部分監測水準網內已包含了可用的穩定一等水準點，若水準網內無穩定之一等水準點，則另外規劃少量測線予以聯測至鄰近的穩定一等水準點，外業觀測由內政部國土測繪中心採精密水準測量方式進行，測量精度要求為測段閉合差需小於 $2.5\text{mm}\sqrt{K}$ （K為測段長度，單位：公里），並且為減少與水利署監測水準網外業測量時間差距所造成之誤差，觀測作業時程規劃則配合水利署監測區水準網外業測量作業時間，於前後一個月內完成。

最後結合監測水準網及聯測水準測量資料進行水準網平差，過程中於各地區篩選穩定的一等水準點，並經高程檢核後，選定可靠的點位作為高程約制點，解算全網各點位（包含內政部一等水準點）於TWVD2001高程系統下之正高，相關工作完成後撰寫成工作報告書（內政部國土測繪中心，2013）。

三、水準網平差約制點位選擇

聯測作業整合水利署及國土測繪中心水準測量資料後重新進行計算，將成果改算至TWVD2001高程系統，其中最重要的工作為選定高程約制點，如何選取正確的高程約制點是一項困難的工作，因在水準測量中採用的高程約制點通常僅為少數或甚至為單點，故約制點高程直接影響最後的計算成果，為確保聯測作業成果的可靠度，本文採用的方法是先篩選穩定之一等水準點為高程約制點之候選點，再由候選點進行高程檢核作業，最後再選定適當點位作為高程約制。水利署各區監測水準網原所採用之高程約制點除臺北及屏東地區使用2點外，其他地區使用1點，因該署監測作業選定之約制點並非全為穩定的內政部一等水準點，故於進行聯測解算時，全部重新選取，本次各區水準網重新選定的高程約制點為2~4個不等，實際做法詳述於後。

高程約制點為水準網平差之依據，其高程值必須可靠方可用來推算其他點位高程，達到檢測目的，目前內政部98年3月公告之一等水準點高程為96~97年度所施測，距本次作業已約5年，部分點位高程可能已有變動，部分點位則是相對穩定，而作為高程約制點必須為穩定水準點（高程變化量小），並且尚須考量點位於水準網中的分布位置。

分析內政部歷次辦理一等水準點正高測量成果，將水準點最近兩次測量高程成果變化小於5mm者視為穩定水準點，列為本次作業優先考量點位（候選點），但點位高程是否真無大變動，尚須經過檢核。本次作業中各地區高程約制點選定原則如下：

- （一）約制點為穩定之內政部一等水準點，採其98年3月公告高程值。
- （二）約制點位置須坐落水準網外側，並應儘量均勻分布。

(三) 局部區域有多點可選時，以節點為優先選擇。

高程約制點檢核之作法，主要依下列兩步驟進行。

步驟一：

針對候選為高程約制的穩定水準點，以其98年公告高程為最小約制進行水準網平差，求得網內其他一等水準點高程，並與98年公告高程比較得高程較差，其中約制點(即候選點)高程較差必定為0，而分析網內其他同屬穩定水準點高程較差，如多數較差接近於0，表示該約制點與其他多數穩定水準點無明顯相對變化，屬於可靠；倘其他穩定水準點高程較差有多數明顯同為上升或下降，表示該約制(候選)點相對其他多數穩定點水準點有明顯變化，已不可靠。此步驟主要目的是自篩選的穩定水準點中剔除已不可靠的點位。

步驟二：

考量約制點的分布狀況並藉由步驟一篩選數個可靠的穩定水準點為約制點，各點於最小約制平差後所得高程結果與98年公告高程有一較差，以下稱高程較差，本步驟即為進一步檢核任意兩點之高程較差差值是否符合設定的檢核標準。各點位的高程較差會因最小約制平差時選用之高程約制點不同而不同，但2個點位高程較差的差值則為固定值，該固定值剛好等於平差時以其中一點為固定點(最小約制)，另一點所求得之高程較差。說明如下：假設有A、B兩點，經最小約制平差計算後高程與98年公告高程較差分別為 H_A 及 H_B ，因最小約制為單一高程約制，故若改變約制點重新計算時僅是改變高程起算基準，則重新再次平差後A、B兩點高程較差將變成 $H_A + K$ 及 $H_B + K$ ，其中 K 為一常數，為兩次平差不同起算基準造成的整體偏移值，故不論起算高程如何改變，A、B兩點高程較差差值 $(H_B + K) - (H_A + K)$ 固定為 $H_B - H_A$ ，倘若重新計算係以A點為固定點進行最小約制，則 $K = -H_A$ ，計算結果A、B兩點高程較差分別等於0及 $H_B - H_A$ ，可得B點平差後高程與98年公告高程較差為 $H_B - H_A$ ，等於2點位高程較差的差值(即上述之固定值)之結果。

2點位高程較差的差值若太大，表示該2點有明顯相對變動，不適合同時作為約制點，本次作業高程較差差值的檢核標準，採用 $3\text{ mm}\sqrt{K}$ (K 為2點直線距離公里數)，係假設水準網中該2點可串連一最短測線(實際長度大於直線距離)，該測線如依作業要求的精度進行施測所能容許之最大誤差。

重複步驟一、二完成高程約制點的選擇，表2為本次作業各地區水準網選用之約制點及以其中一點為最小約制平差後之高程檢測成果，由成果顯示，各地區高程約制點之高程較差差值最大值除屏東地區約為36mm外，其他地區均在13mm之內。

表3為各地區約制點檢測高程與98年公告高程較差，兩兩高程較差之差值檢核成果，屏東測區中點位X215位處南邊，與北邊之X222及G120檢核結果均超出標準，但由於屏東地區範圍北自屏東市南至鵝鑾鼻，南北距離約100公里，如僅約制一端，則另一端將形成開放狀態；又X215與X222之直線距離超過81公里，檢核標準約為27mm，若考量公告高程自96年度檢測後約5年間高程會有些微變動，其高程較差之差值約36mm尚可接受，故仍將X215納入。

表 2：聯測作業各地區高程約制點及其檢測結果表

地區	編號	點號	98 年公告 高程(M)	檢測成果 高程(M)	高程較差 (mm)	高程較差差值 最大值(mm)
宜蘭	1	9049	12.97334	12.97334	0.00	11.12
	2	9048	21.97803	21.97384	-4.19	
	3	9034	60.04073	60.04766	6.93	
臺北	1	5012	20.60996	20.60996	0.00	8.44
	2	1013	121.72410	121.72870	4.62	
	3	9005	19.14698	19.14316	-3.82	
	4	D001	6.14530	6.14455	-0.75	
苗栗	1	X031	14.54651	14.54651	0.00	4.84
	2	6007	88.20908	88.20785	-1.23	
	3	1046	9.21514	9.21875	3.61	
臺中	1	1093	17.64943	17.64943	0.00	12.90
	2	G004	4.51497	4.52279	7.82	
	3	3088	243.06264	243.05756	-5.08	
彰化	1	C086	232.66110	232.66110	0.00	9.68
	2	G013	3.83553	3.84496	9.43	
	3	3126	102.72810	102.72790	-0.25	
雲林	1	F032	40.03537	40.03537	0.00	3.84
	2	3127	83.64841	83.65225	3.84	
嘉義	1	1129	26.56354	26.56354	0.00	2.79
	2	1140	19.10514	19.10793	2.79	
屏東	1	X222	19.00750	19.00750	0.00	36.03
	2	G120	3.71058	3.71376	3.18	
	3	X215	19.40999	19.44602	36.03	

表 3：聯測作業各地區約制點檢測高程與 98 公告高程較差之兩兩差值檢核成果

地區	點位 1	點位 2	距離(KM)	高程較差 差值(mm)	$3.0 \text{ mm}\sqrt{K}$ (mm)	通過檢核
宜蘭	9034	9048	27.73	-11.12	15.80	是
	9034	9049	29.17	-6.93	16.20	是
	9048	9049	2.36	4.19	4.61	是
臺北	5012	9005	20.57	-3.82	13.61	是
	5012	1013	37.45	4.62	18.36	是
	5012	D001	25.72	-0.75	15.22	是
	9005	1013	20.33	8.44	13.53	是

	9005	D001	19.26	3.07	13.16	是
	1013	D001	17.45	-5.37	12.53	是
苗栗	1046	X031	21.34	-3.61	13.86	是
	1046	6007	27.96	-4.84	15.86	是
	X031	6007	10.96	-1.23	9.93	是
臺中	1093	G004	19.64	7.82	13.30	是
	1093	3088	27.24	-5.08	15.66	是
	G004	3088	21.75	-12.90	13.99	是
彰化	C086	G013	23.31	9.43	14.48	是
	C086	3126	23.17	-0.25	14.44	是
	G013	3126	43.48	-9.68	19.78	是
雲林	3127	F032	12.36	-3.84	10.54	是
嘉義	1140	1129	23.67	-2.79	14.60	是
屏東	X215	X222	81.75	-36.03	27.13	否
	X215	G120	69.84	-32.85	25.07	否
	X222	G120	15.65	3.18	11.87	是

四、成果計算與分析

經前述方法選定各地區之高程約制點後，進行各地區之水準網平差，各地區選定之高程約制點為2~4點不等，在計算過程中，針對每一地區採不同數量和不同組合的約制點進行計算，其成果整理如表4，表中顯示採用約制點較多時成果稍差（此為強制附合所造成），但不論採用約制點數為何，所有的成果每公里標準誤差均小於1.5mm，部分地區多點約制與單點約制的成果差距很小，本次作業各地區最終的成果則是採用最多點約制的計算成果。

表 4：聯測作業各地區水準網平差計算成果

地區	觀測數	總點數	高程約制點	多餘 觀測數	每公里標準 誤差 (mm)	備註
宜蘭	175	162	9049	14	0.770	最小約制自由網
			9034、9048	15	1.037	2點強制附合
			9034、9049	15	0.866	2點強制附合
			9034、9048、9049	16	1.274	3點強制附合
臺北	262	231	5012	32	0.662	最小約制自由網
			9005、D001	33	0.666	2點強制附合(南北向)
			1013、5012	33	0.668	2點強制附合(東西向)
			1013、5012、9005 D001	35	0.706	4點強制附合

苗栗	146	136	1046	11	0.786	最小約制自由網
			1046、6007	12	0.818	2點強制附合
			1046、6007、X031	13	0.786	3點強制附合
臺中	141	131	3088	11	0.593	最小約制自由網
			3088、1093	12	0.642	2點強制附合
			3088、1093、G004	13	1.042	3點強制附合
彰化	295	280	C086	16	1.155	最小約制自由網
			C086、3126	17	1.120	2點強制附合
			3126、G013	17	1.200	2點強制附合
			C086、G013	17	1.216	2點強制附合
			C086、3126、G013	18	1.204	3點強制附合
雲林	410	386	3217	26	1.472	最小約制自由網
			317、F032	27	1.462	2點強制附合
嘉義	287	265	1129	23	0.781	最小約制自由網
			1129、1140	24	0.773	2點強制附合
屏東	228	210	X222	19	0.899	最小約制自由網
			X222、X215	20	1.229	2點強制附合
			X222、G120、X215	21	1.238	3點強制附合

各地區之成果簡述如下：

(一) 宜蘭地區

對於確認約制點部分，先採用單點約制(最小約制自由網)，且不加入新增測線時，後驗精度成果為 $0.795\text{mm}/\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，與水利署成果相同；加入新增測線後，單點約制之結果為 $0.770\text{mm}/\sqrt{K}$ ，2點約制之成果為 $0.87\text{mm}/\sqrt{K} \sim 1.04\text{mm}/\sqrt{K}$ ，3點約制之成果為 $1.274\text{mm}/\sqrt{K}$ 。最後水準網內一等水準點採 3 點約制平差之高程成果與公告高程比較，全區 40 點中有 16 點較差大於 20mm，均呈現下陷，16 點中有 5 點超過 30mm，最大者為 2082 較差約為 48.2mm。整體結果顯示該區域水準點高程略微呈現下陷變化，各點位高程較差示意圖如圖 3。

(二) 臺北地區

對於確認約制點部分，先中採用單點約制(最小約制自由網)且不納入新增測線時，其後驗精度為 $0.481\text{mm}/\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，納入新增測線後，單點約制之結果為 $0.662\text{mm}/\sqrt{K}$ ，東西向 2 點(1013、5012)約制之成果為 $0.668\text{mm}/\sqrt{K}$ ，南北向 2 點(D001、9005)約制之成果為 $0.666\text{mm}/\sqrt{K}$ ，4 點約制之成果為 $0.706\text{mm}/\sqrt{K}$ 。最後水準網內一等水準點採 4 點約制平差之高程成果與公告高程比較，全區 32 點，其中點位 3007 為 99 年度重新埋設，其高程已與原公告值不同，除此之外計有 5 點較差大於 20mm，均呈現下陷，最大者為 3002 較差約為 27.4mm。整體結果顯示，該區域內一等水準點高程較差多數在 20mm 以內，高程變化相對穩定，各點位高程較差示意圖如圖 4。

(三) 苗栗地區

對於確認約制點部分，採用單點約制計算後驗精度成果與水利署成果相同，為 $0.786\text{mm}\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，採 2 點 (1046、6007) 約制後驗精度成果為 $0.818\text{mm}\sqrt{K}$ ，採 3 點約制後驗精度成果為 $0.786\text{mm}\sqrt{K}$ 。最後水準網內一等水準點採 3 點約制平差之高程成果與公告高程比較表，全區 68 點中點位 6005 為 99 年度重新埋設，高程已與公告值不同，除此之外計有 2 點較差介於 20~30mm，最大者為 B005 較差約 27.2mm，53 點較差小於 10mm。整體結果顯示，該區域水準點高程變化相對穩定，各點位高程較差示意圖如圖 5。

(四) 臺中地區

對於確認約制點部分，採用單點約制計算後驗精度成果為 $0.593\text{mm}\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，採 2 點約制計算成果為 $0.642\text{mm}\sqrt{K}$ ，採 3 點約制計算成果為 $1.042\text{mm}\sqrt{K}$ 。最後水準網內一等水準點採 3 點約制平差之高程成果與公告高程比較表，全區 50 點中較差大於 10mm 者有 5 點，最大者為點位 3093 較差約為 19mm。整體結果顯示，該區域水準點高程變化相對穩定，各點位高程較差示意圖如圖 6。

(五) 彰化地區

對於確認約制點部分，採用單點約制計算成果後驗精度為 $1.155\text{mm}\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，採 2 點及 3 點約制計算成果後驗精度約為 $1.2\text{mm}\sqrt{K}$ 。最後水準網內一等水準點採 3 點約制平差之高程成果與公告高程比較表，全區 55 點中點位 1109 較差最大為 235mm，I008 及 C078 較差亦超過 200mm，另有 I009 及 I015 較差超過 100mm，該 5 點均呈現下陷。整體結果顯示，區域內部分水準點高程已與公告值有明顯差異，且多數呈現下陷，各點位高程較差示意圖如圖 7。

(六) 雲林地區

對於確認約制點部分，採用單點約制計算成果後驗精度為 $1.472\text{mm}\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，採 2 點約制計算成果後驗精度為 $1.462\text{mm}\sqrt{K}$ 。最後水準網內一等水準點採 2 點約制平差之高程成果與公告高程比較表，全區 56 點中有 6 點較差超過 200mm，另有 12 點較差介於 100~200mm 之間，均呈現下陷。整體結果顯示，區域內多數水準點高程已與公告值有明顯差異，且多呈現下陷，各點位高程較差示意圖如圖 8。

(七) 嘉義地區

對於確認約制點部分，採用單點約制計算成果後驗精度為 $0.781\text{mm}\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，採 2 點約制計算成果後驗精度約為 $0.773\text{mm}\sqrt{K}$ 。最後採 2 點約制計算所得水準網內一等水準點新高程與公告高程比較表，全區 60 個點位中除 H059 上升超過 855mm，研判點位已被移動外，另有 14 點較差超出 100mm (皆為下陷)，其中 1135 下陷超過 200mm，其餘 13 點則介於 100~160mm 之間。整體結果顯示，區域內部分水準點高程已與公告值有明顯差異 (38 點超過 50mm)，多數呈現下陷，各點位高程較差示意圖如圖 9。

(八) 屏東地區

對於確認約制點部分，採用單點約制計算成果後驗精度成果為 $0.899\text{mm}\sqrt{K}$ (K 測線為公里數)，採 2 點約制計算成果後驗精度為 $1.229\text{mm}\sqrt{K}$ ，採 3 點約制計算成果

後驗精度為 $1.238\text{mm}/\sqrt{K}$ 。最後採 3 點約制計算所得水準網內一等水準點新高程與公告高程比較表，全區 70 個點位中，除 G128 與 Q012 為 99 年度重新埋設，高程值與 98 年公告值完全不同外，計有 4 點較差超過 100mm 且皆為下陷，最大者為 G127 約 134mm，另有 8 點較差介於 50~100mm 亦皆為下陷。從較差成果顯示，區域內部分水準點高程已與公告值有明顯差異，多數呈現下陷，各點位高程較差示意圖如圖 10。

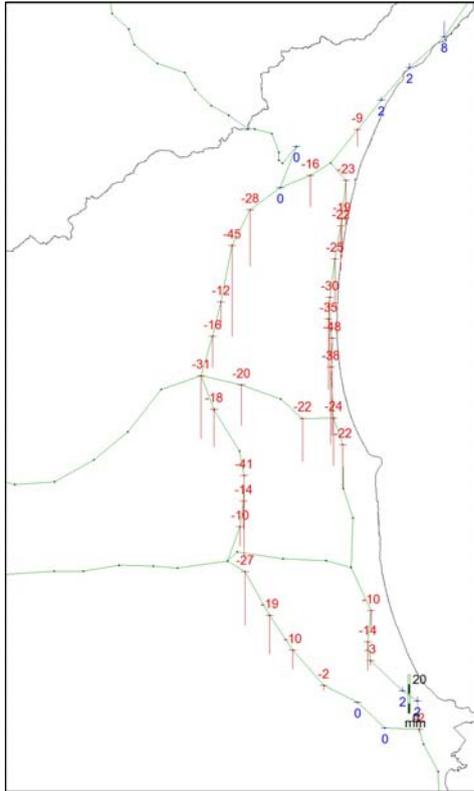


圖 3：宜蘭地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

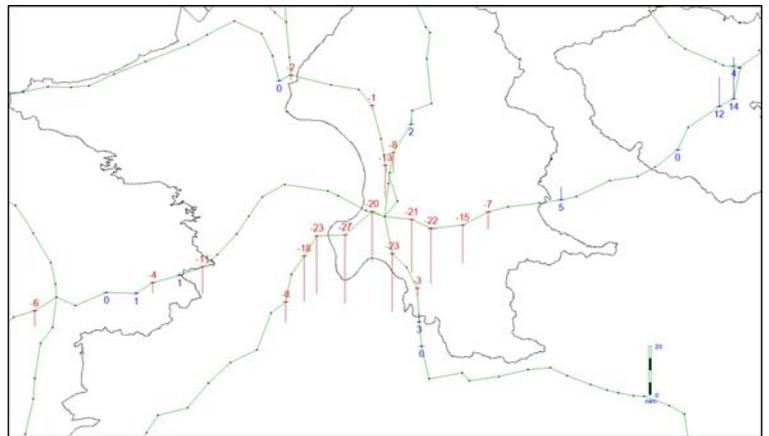


圖 4：台北地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

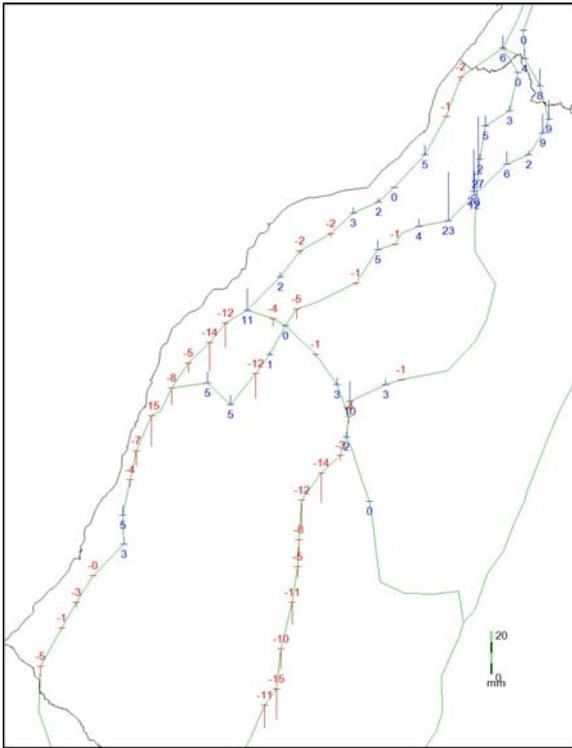


圖 5：苗栗地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

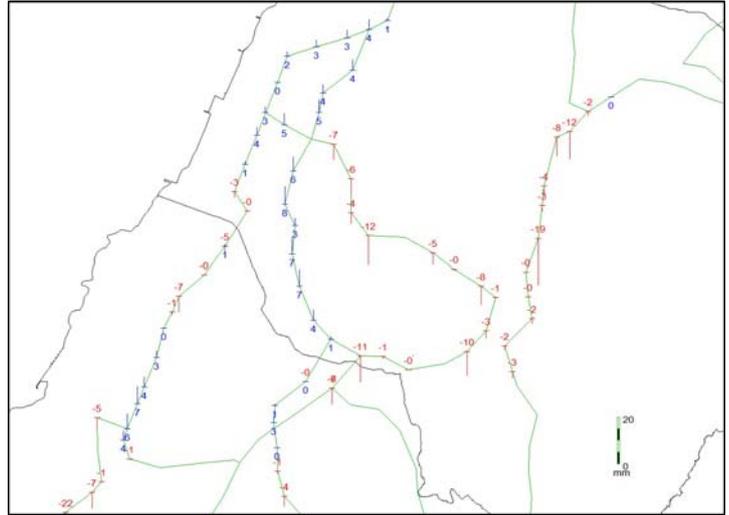


圖 6：台中地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

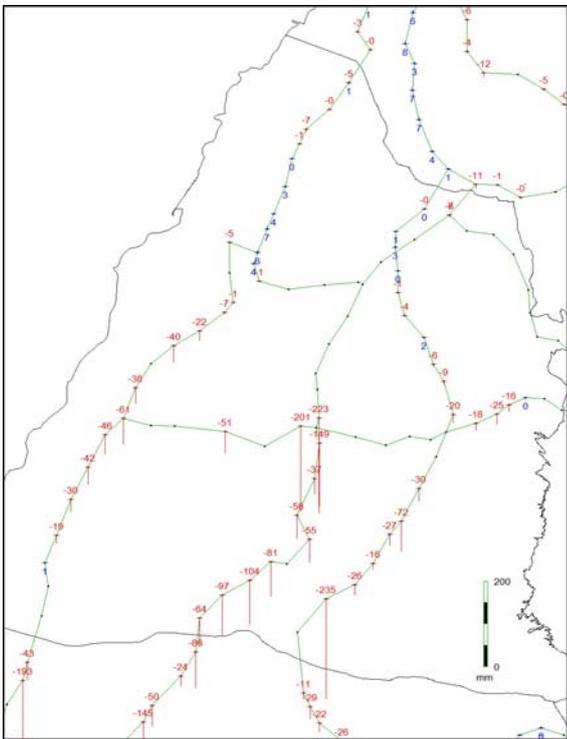


圖 7：彰化地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

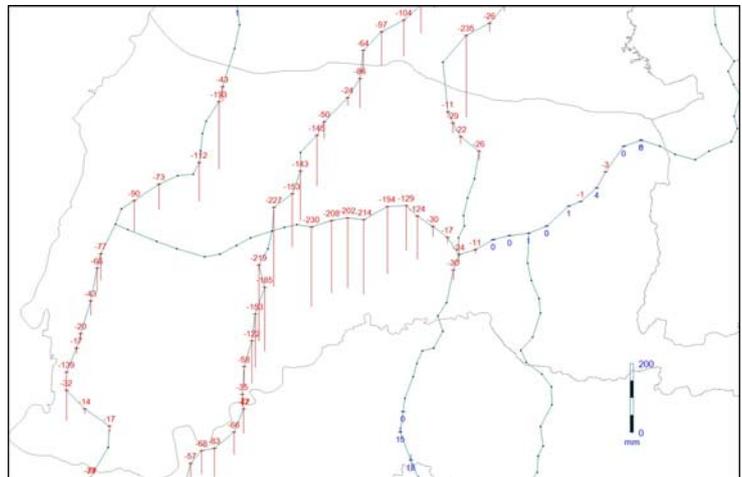


圖 8：雲林地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

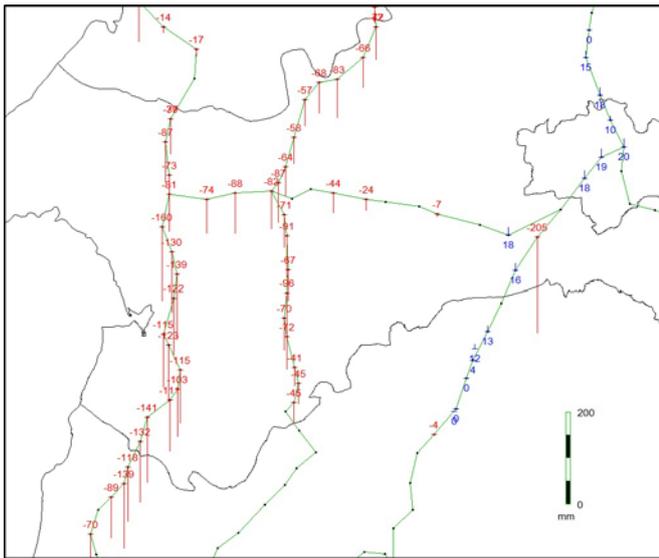


圖 9：嘉義地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

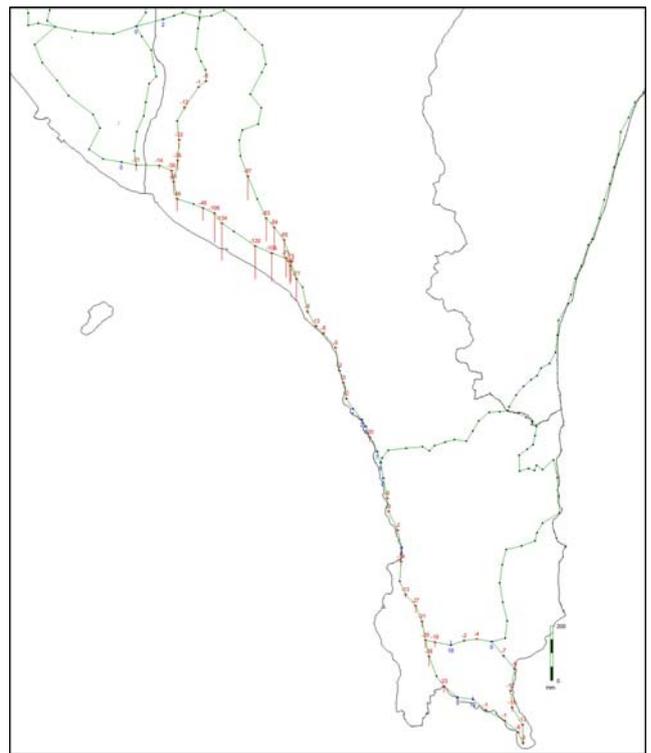


圖 10：屏東地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

聯測作業主要目的為檢測一等水準點高程，各地區水準網經平差計算後可得點位高程，將其中屬內政部一等水準點者再與98年公告高程進行比較，獲得高程差值。表5為本次聯測工作各一等水準點高程檢測成果與98年公告高程較差統計表，其高程較差示意圖則如圖11所示。

表 5：一等水準點高程較差統計表

地區	宜蘭	臺北	苗栗	臺中	彰化	雲林	嘉義	屏東	總計	
高程約制點	9034	1013	1046	1093	3126	3127	1129	X215		
	9048	5012	6007	3088	C086	F032	1140	X222		
	9049	9005 D001	X031	G004	G013			G120		
一等水準點數	40	32	68		55	56	60	70	431	
99 年度埋設點數	0	1	1	0	0	0	0	2	4	
較差範圍 (mm)	-200 以上	0	0	0	0	3	6	2	0	11
	-100~-200	0	0	0	0	2	12	13	4	31
	-100~-50	0	0	0	0	7	7	23	8	45
	-50~-20	16	5	0	0	11	14	5	12	63
	-20~+20	24	26	65	50	32	17	17	44	275
+20~+50	0	0	2	0	0	0	0	0	2	
較差最大值(mm)	-48.2	-27.4	+27.2	-19.1	-235	-230	-856	-134		

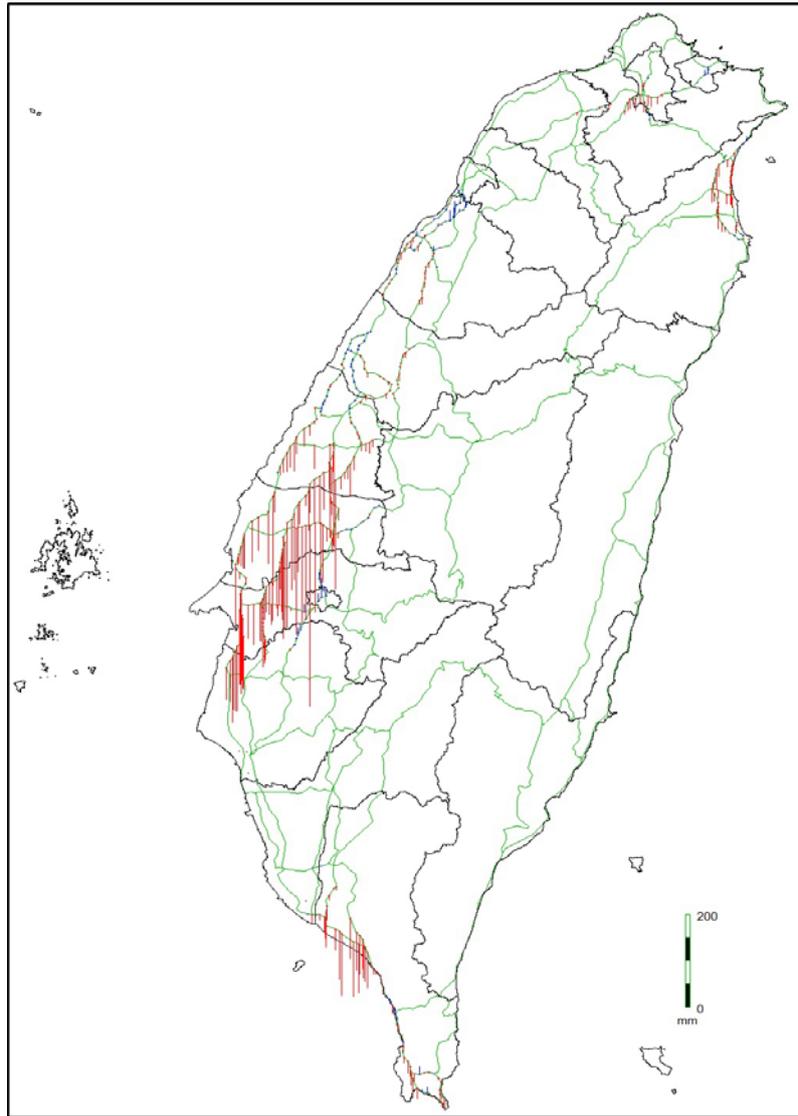


圖 11：聯測作業地區一等水準點檢測高程與公告高程較差示意圖

五、結論與建議

經由本聯測實際作業過程及其成果，獲致以下結論與建議：

- 一、本次聯測作業計完成431個一等水準點（含內政部舊水準點4點）高程檢測，其中4點為99年度重新埋設，不納入分析，檢測結果顯示高程變動大者均為下陷。本次高程成果與98年公告值較差超過-200mm計有11點，較差介於-200~-100mm計有31點，累計較差超過-100mm者達42點，比例接近1成，而較差超過-50mm累計達87點，比例已超過2成，集中在彰化、雲林、嘉義及屏東地區；宜蘭、臺北、苗栗及臺中地區之點位則相對較穩定。
- 二、一等水準點檢測因人力及經費問題無法經常全面性辦理，透過聯測方式，以較少量的水準測量工作，聯結水利署監測水準網測量成果，可得到監測區內一等水準點之檢測結果，相較大規模水準檢測作業，可節省大量人力及經費。本項利用聯測方式，

結合水利署水準測量成果，共享資源並節省公帑之作業模式，可作為辦理監測區內一等水準點檢測的作業方式。本次作業獲得部分一等水準點之檢測成果，其與98年公告高程之差值顯示點位自公告以來的可能變動情形，可提供未來聯測規劃之參考。

- 三、本次作業過程中顯示，高程約制點之選擇對檢測成果影響甚鉅，因此，如何利用資料分析及檢核機制選出可靠的約制點十分重要，本文提出一可行的方式。本次聯測作業中挑選及檢核高程約制點之方式，能檢查並排除約制點位相對高程變化較大之情形，惟在極少數的情形下，倘所選取用來相互分析檢核的點位同為上升或同為下降時，則無法檢驗，後續作為高程約制，將會造成平差結果各點位高程隱含一偏移量（誤差）。
- 四、為避免第三點所述之情況發生，未來可進一步採取挑選一些點位建立穩定的高程資訊來源，其方式是於點位上定期施以長時間GPS衛星定位測量，獲取點位高精度的幾何（橢球）高差，依現代化高程概念，在短時間（數年）內幾何高差可視為正高差相同（ $h=H+N$ ， $\Delta h=\Delta H$ ， h 表幾何高， H 表正高），可用來修正點位高程。而另一種方式，則是可於GPS連續站附近同時設置水準點，在相差數十公尺範圍內的平坦地區，水準點幾何高差變化可視為與連續站相同，惟水準點的初始正高必須先經由其他的方式得到。如此的點位，搭配其幾何高變化可得穩定的高程資訊，用以作為高程約制點或檢核其他點位，可增加檢測成果的可靠度。這些點位可視為局部地區的水準原點，在人力經費不足無法辦理全面性檢測時，可利用這些點位辦理局部性檢測，而無須聯測至基隆水準原點K999，惟檢測的成果精度屬何種等級，則是另一值得討論的課題。

致謝

本研究所使用資料由經濟部水利署提供，特此致謝。

參考文獻

- 內政部，2001，一等水準測量作業規範。
- 內政部，2001，一等等級水準網工作總報告書。
- 曾清涼、楊名、劉啟清、余致義、林宏麟，2001，《一等等級水準網測量督導查核工作》報告書，內政部。
- 曾清涼、楊名、劉啟清、余致義、林宏麟，2003，《一等等級水準網測量督導查核工作》報告書，內政部。
- 黃玉婷、陳國華、楊名，2010，利用 TWVD2001 水準資料推估臺灣地區高程變動速度場之研究，台灣土地研究，第十三卷第一期，pp. 25~52。
- 經濟部水利署，2012，101 年度多元化監測及整合技術應用於台北、彰化及雲林地區地層下陷監測報告書。
- 經濟部水利署，2012，101 年度多元化監測及整合技術應用於宜蘭、苗栗、台中、嘉義及屏東地區地層下陷監測報告書。
- 內政部國土測繪中心，2013，101 年度正高監測網聯測工作報告書。