

# 地層下陷區水準網成果更新機制之研究

## A study of updating mechanism for leveling network results at land subsidence area

莊峰輔<sup>1</sup>、陳鶴欽<sup>2</sup>、梁旭文<sup>3</sup>

### 摘要

內政部105年4月12日台內地字第1051302710號公告之「104年臺灣一等水準網水準測量成果說明」中，考量臺灣西部沿海地區受到地殼變動或人為因素造成沉陷情形嚴重，若採5年更新一次該區域一等水準點高程成果，期間內各點位實際沉陷量將遠超過檢測精度，公告成果受到持續沉陷影響，無法符合測繪業務所需之精度要求。經審慎評估後將彰化、雲林及嘉義等縣沿海地區劃分為地層下陷區水準網，區域內檢測點位不納入成果公告，該等點位測量成果得洽內政部國土測繪中心提供參考使用。

為訂定地層下陷區水準網更新機制，期以較節省政府人力與經費，且成果精度符合基本測量實施規則中，以水準測量方法實施二等基本控制測量之精度規範 $\pm 5.0\text{mm}\sqrt{F}$ （F為水準環線長度之公里數）之原則，達到更新地層下陷區一等水準點正高之目的，本研究利用經濟部水利署、經濟部中央地質調查所及內政部國土測繪中心水準測量資料，並參考內政部國土測繪中心「101年度正高監測網聯測工作」作業方法與「103年度一等水準測量工作報告」建議之方法，就不同平差計算方式、約制點位及使用資料擬定4種方法，計算分析不同方法對地層下陷區水準網成果之影響，以評估建立地層下陷區水準網成果更新機制。

研究結果顯示，不同方法對水準網成果之影響量均小於1公分，遠小於地層下陷區每年沉陷量3~8公分。因此依內政部國土測繪中心「101年度正高監測網聯測工作」作業方法，並將彰化、雲林及嘉義縣等3縣市水準測量資料由各縣市獨立平差調整為3縣市一併平差計算，作為後續地層下陷區水準網成果更新機制，可以較少的人力與經費，且不影響成果精度品質，達到更新一等水準點正高之目的。

關鍵字：地層下陷、水準測量、水準網

## ABSTRACT

The Ministry of the Interior, R.O.C announced “2015 Taiwan First Order Leveling Network Result” on April 12, 2016. Considering the crustal deformation and anthropic factor result in land subsidence, the precision of benchmarks in coastland of western Taiwan cannot afford the demand for surveying applications if update the orthometric height of benchmarks every 5 years. After serious and cautious consideration, the results of benchmarks nearby coastland in Changhua county, Yunlin county and Chiayi county were defined into “leveling network results at land subsidence area”, the checking results in that area were not announced. Users can acquire the results from the National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior, R.O.C (NLSC).

The leveling data from the Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, R.O.C, the Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, R.O.C, and the NLSC were utilized to set up updating mechanism for leveling network results at land subsidence area. It is expected to comply with the laws, retrench funds, and manpower. This study referred to the method of “2012 Orthometric height monitoring survey” and the suggestions raised in the study of “2014 First order Leveling work report”. 4 methods were used to analyze the effect on leveling network results by using different adjustment methods, constraint points, and utilized data.

The results of the study showed that the effect on leveling network results by using different methods are smaller than 1 cm, the effect is smaller than the rate of subsidence 3~8cm per year. Therefore, it could achieve the objective to set up the updating mechanism for leveling network results at land subsidence area by according to the method of “2012 Orthometric height monitoring survey” and adjust the leveling network by combining the data from Changhua county, Yunlin county and Chiayi county.

Keywords: land subsidence, Leveling, Leveling network

---

<sup>1</sup> 內政部國土測繪中心課員

<sup>2</sup> 內政部國土測繪中心技正

<sup>3</sup> 內政部國土測繪中心課長

## 前言

國家各項建設皆需仰賴高精度之國家基本控制測量系統為基礎，而基本控制測量主要包括大地控制網、高程控制網、重力控制網等三大測量工作，針對高程控制網內政部於88年、90年分別進行「一等一級水準網測量工作」及「一等二級水準網測量工作」，並於92年建置完成，公布臺灣地區高程基準（Taiwan Vertical Datum 2001，簡稱TWVD2001），且廣為社會各界運用（內政部國土測繪中心，2015）。

臺灣位於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊碰撞劇烈地帶，地質活動頻繁，且西南沿海一帶因人為因素造成地層持續下陷的情況，造成92年公布之成果精度已不敷實際現況使用。因此，內政部交由內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）於95年至97年辦理臺灣本島一等水準網檢測及補建工作，計完成2,439點水準點觀測作業，並於98年3月10日公告成果提供各界使用（內政部國土測繪中心，2015）。

距上次檢測成果已逾5年，為維持臺灣本島高程基準精度品質，內政部交由國土測繪中心於102年至104年再次辦理臺灣本島一等水準網檢測及補建工作，計完成2,715點水準點觀測作業，其中臺灣西部沿海地區受到地殼變動或人為因素造成沉陷情形嚴重，若採5年更新一次該區域一等水準點高程成果，期間內各點位實際沉陷量將遠超過檢測精度，公告成果受到持續沉陷影響，無法符合測繪業務所需之精度要求。經審慎評估後將彰化、雲林及嘉義等縣沿海地區劃分為地層下陷區水準網，區域內254檢測點位不納入成果公告，該等點位測量成果得洽國土測繪中心提供參考使用，故105年4月12日僅公告2,461點水準點成果供各界使用（內政部，2016）。

經濟部水利署（以下簡稱水利署）為有效監測地層下陷行為，持續減緩地層下陷之發生，目前每年定期辦理彰化、雲林及嘉義等地區水準測量工作，測量範圍涵蓋大部分地層下陷區，另經濟部中央地質調查所（以下簡稱中央地質調查所）為監測斷層帶變動，亦定期辦理地層下陷區範圍內斷層帶水準測量工作。為定期更新地層下陷區一等水準點正高成果，並節省政府人力與經費，本研究利用水利署「104年度地層下陷監測計畫」、中央地質調查所「104年度地殼變動監測計畫」及國土測繪中心「103年度一等水準測量工作」水準測量觀測資料，進行環線閉合差檢核，確認資料符合基本測量實施規則中，以水準測量方法實施二等基本控制測量之精度規範 $\pm 5.0\text{mm}\sqrt{F}$ （F為水準環線長度之公里數）後，研究分析不同檢測範圍及平差計算方式對地層下陷區水準網成果之影響，以訂定爾後地層下陷區水準網計算更新機制。

## 目前更新機制

目前有關地層下陷區水準網成果更新機制，係配合內政部約每5年辦理1次之臺灣本島一等水準網檢測成果，更新地層下陷範圍內一等水準點正高，惟該地區每年沉陷速度約3至8.5公分，每年沉陷量已遠大於一等水準網檢測精度規範，若未定期維護更新，其成果精度不僅不足以供各界參考應用，更可能因成果誤差影

響後續工程品質。有關歷年地層下陷區水準網成果更新情形說明如下（內政部地政司衛星測量中心網頁，2016；內政部國土測繪中心網頁，2016）：

- **91年5月8日公告一等一級水準測量成果**

內政部為配合各界需求，建立高精度之高程系統，於88年及89年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），測量成果於91年5月8日公告。其中89點一等水準點位於地層下陷區範圍內，點位分布情形如圖1(a)。

- **92年11月11日公告一等二級水準測量成果**

內政部於90年及91年度辦理臺灣本島一等二級水準網計1,055個一等水準點測量工作（水準路線總長度約2,110公里），測量成果於92年11月11日公告。其中113點一等水準點位於地層下陷區範圍內，點位分布情形如圖1(b)。

- **98年3月10日公告一等水準點檢測成果**

為維護一等水準點正高成果，內政部於95年至97年交由所屬國土測繪中心辦理臺灣本島一等水準網檢測工作，檢測的水準路線，基本上以88年至91年建立之一等一級、一等二級水準網施測路線為基礎，新增臺2乙線的一等水準測量工作，總計全長水準路線約4,287公里。其中220點一等水準點位於地層下陷區範圍內，點位分布情形如圖1(c)。

- **105年4月12日公告臺灣一等水準網水準測量成果**

為維護一等水準點正高成果，內政部於102至104年再次交由所屬國土測繪中心辦理臺灣本島一等水準網檢測工作，本次作業辦理的水準路線原則以95年至97年一等水準網施測路線為基礎，並新增觀音—楊梅、楊梅—龍潭、大甲—后里、北斗—名間、口湖—六腳、六腳—民雄、民雄—梅山、臺南—內門、瑞穗—豐濱、岡山—嶺口、嶺口—里港及里港—高樹等12條測線，全網總計路線全長約4,600公里。其中部分位於地層下陷區範圍內遺失之一等水準點未補建，故僅有204點一等水準點位於地層下陷區範圍內，點位分布情形如圖1(d)。

### 研究方法

為有效節省政府人力及經費，內政部105年4月12日公告之104年臺灣一等水準網水準測量成果，首次採用跨機關合作資料整合方式，部分測線採用中央地質調查所提供之103年度(地殼變動監測計畫)精密水準測量觀測資料(232個測段)及水利署提供之103年度地層下陷監測觀測資料(165個測段)，其他測線由國土測繪中心派員或委外施測。因各機關施測作業規範略有差異，成果計算時係依觀測資料估算之先驗精度，採分群給權方式一併納入全網計算，平差計算成果符合內政部「一等水準測量作業規範」之精度規範（內政部，2016）。

本研究主要係為評估建立地層下陷區水準網更新機制，參考圖2所示，可得知水利署水準路線並未完整涵蓋西南沿海地層下陷區域，故本研究依104年臺灣一等水準網水準測量成果計算方式，並更新部分資料，利用水利署提供之104年度地層下陷監測觀測資料（以下簡稱水利署104年資料）、中央地質調查所提供之

104年（地殼變動監測計畫）精密水準測量觀測資料（以下簡稱中央地質調查所104年資料）及國土測繪中心103年度一等水準測量工作水準測量觀測資料（以下簡稱國土測繪中心103年資料），進行環線閉合差檢核，確認資料應符合基本測量實施規則中，以水準測量方法實施二等基本控制測量之精度規範要求 $\pm 5.0\text{mm}\sqrt{F}$ （F為水準環線長度之公里數）後，再參考國土測繪中心「101年度正高監測網聯測工作」計算方式與「103年度一等水準測量工作報告」建議之方法，計算分析不同方法對地層下陷區水準網成果之影響，以評估建立地層下陷區水準網成果更新機制。

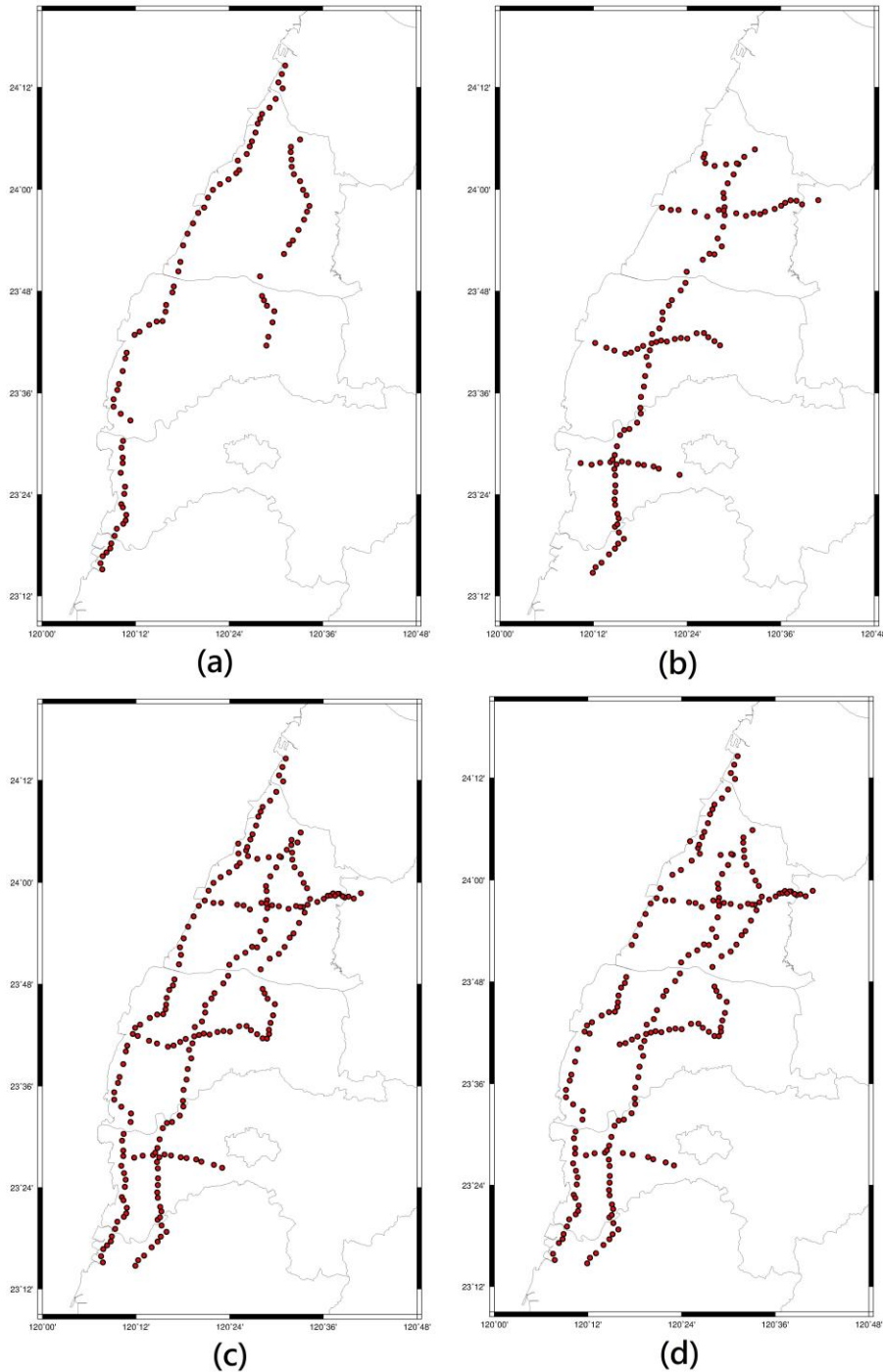


圖1 歷年地層下陷區水準網成果更新點位分布圖(a)91年(b)92年(c)98年(d)105年

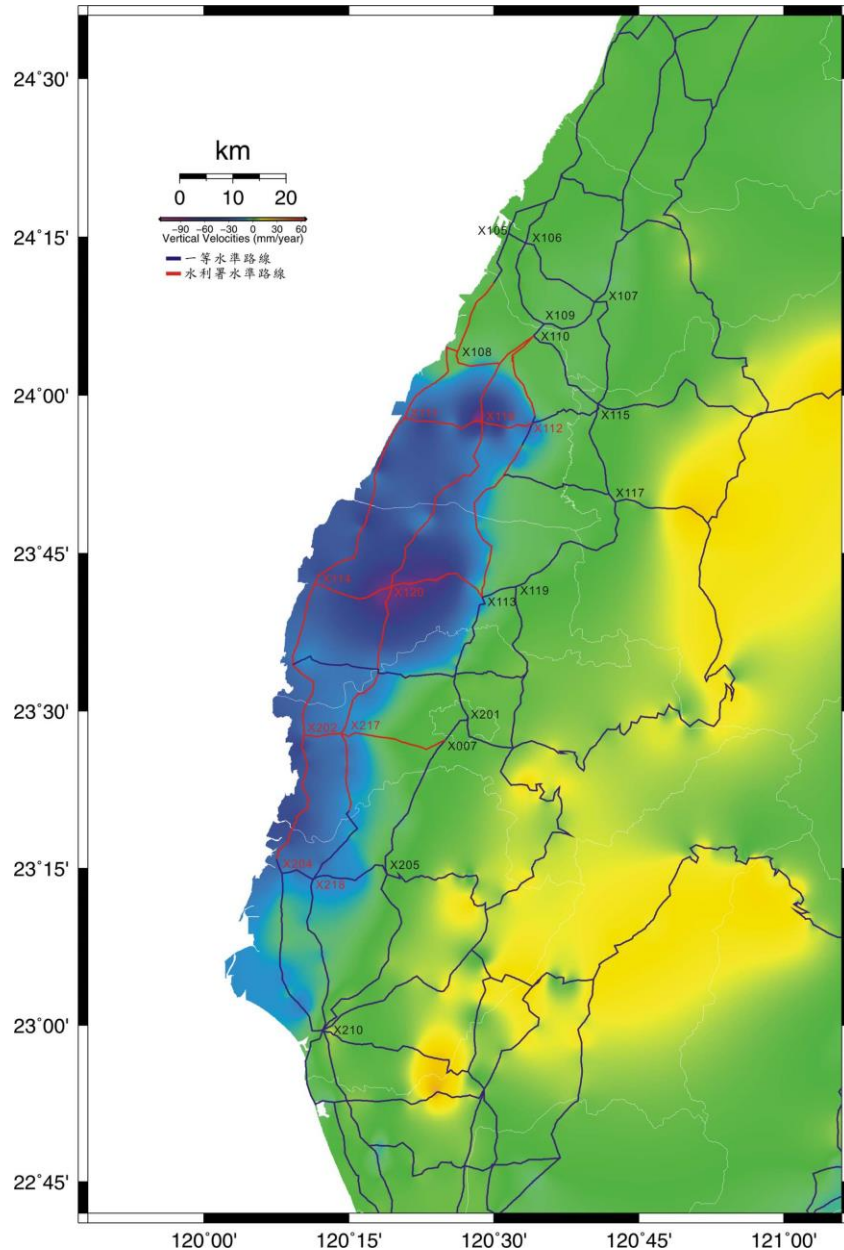


圖2 水利署水準路線與西南沿海地層下陷區示意圖（內政部國土測繪中心，2015）

本研究計使用4種不同方法計算地層下陷區水準網成果，各方法之依據、詳細作法及使用資料說明如下：

● **方法1**

- 依據：國土測繪中心「101年度正高監測網聯測工作報告」計算方式。
- 作法：
  - 將水利署104年資料以縣市為分區，各縣市選擇2至3個穩固一等水準點作為約制點位，並聯測部分水準測段至穩固一等水準點，總計共約14公里。水利署104年資料統計情形如表1，各縣市聯測水準測段（如圖3黑色線部分）及約制點位如表2。

- 進行環線閉合差檢核，檢核標準為 $\pm 5.0\text{mm}\sqrt{F}$ （F為水準環線長度之公里數）。
  - 通過環線閉合差檢核之觀測量，各縣市獨立平差計算。
- 使用資料：
- 水利署104年資料。
  - 聯測水準測段使用國土測繪中心103年資料。

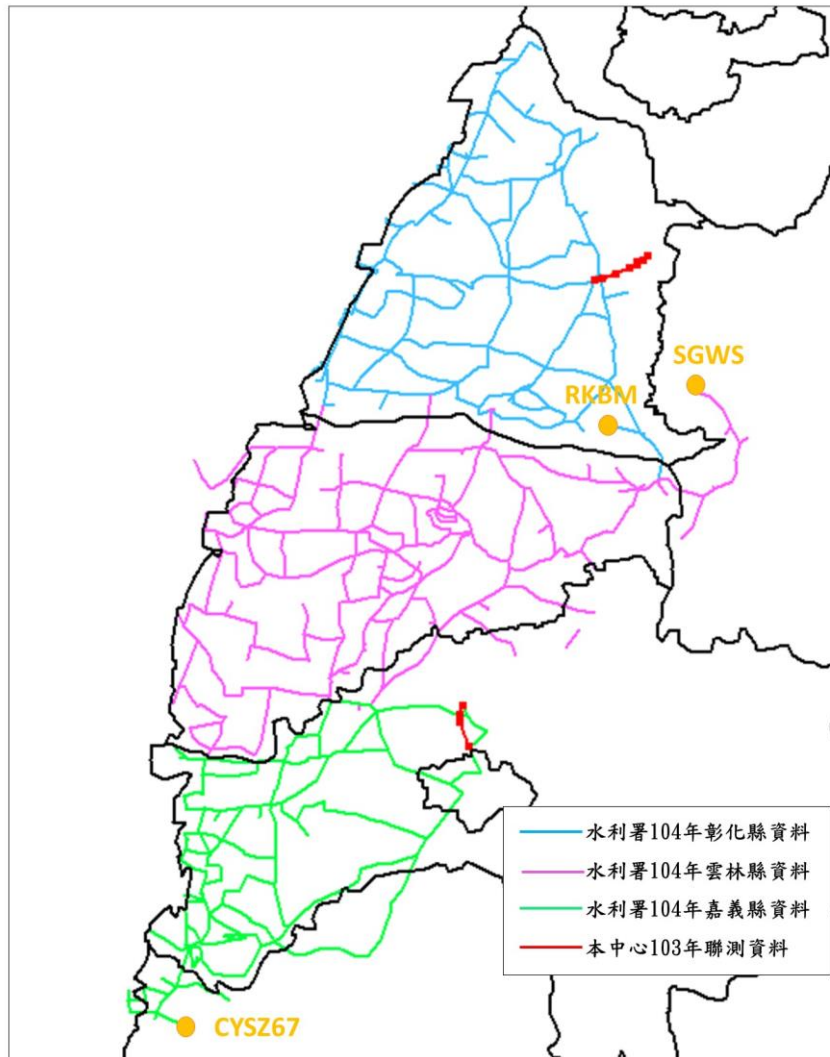


圖3 國土測繪中心「101年度正高監測網聯測工作報告」聯測水準路線示意圖

表 1 水利署 104 年資料統計表

縣市	點數	測段數	里程數(KM)
彰化縣	321	343	441
雲林縣	467	500	642
嘉義縣	272	295	376
總計	1,060	1,138	1,459



表 2 各縣市聯測水準測段及約制點位表

縣市	聯測水準測段	點數	距離(KM)	約制水準點
彰化縣	X112-M1491-C083- C084-M1618-C085- M0270-C086	7	8.6	C086(-0.17mm/year)、 3126(-1.41mm/year)、 G013(-0.36mm/year)
雲林縣	無	0	0	3127(-0.68mm/year)、 F032(-1.07mm/year)
嘉義縣	1129-N8108-1130- T8106-1131	4	5.3	1129(-0.62mm/year)、 1140(-1.45mm/year)

● 方法2

- 依據：國土測繪中心「101年度正高監測網聯測工作報告」計算方式。
- 作法：資料處理及約制點位與方法1相同，惟方法1是3個縣市分開獨立平差，本方法則是3個縣市一併平差計算，強制附合於8個約制水準點。
- 使用資料：
  - 水利署104年資料。
  - 聯測水準測段使用國土測繪中心103年資料。

● 方法3

- 依據：國土測繪中心「103年度一等水準測量工作報告」建議方法1。
- 作法：
  - 選定高程變動速率較小的一等水準點X105、X107、X115、X117、X119、X201、X205及X210等8個節點作為約制點（地層下陷區附近一等水準點節點高程變動速率情形如表3）。
  - 使用水利署104年資料，並以單一測線聯測至8個約制點上（如圖4中綠色水準路線），必須聯測包括1A、1B、1E、1F、C1、C7、C8、F4、F5、F6、I5、I6、I7、G7等14條測線，及部分的1C、1D、I4、G6等4條測線，總計共約275公里。
  - 進行環線閉合差檢核，檢核標準為 $\pm 5.0\text{mm}\sqrt{F}$ （F為水準環線長度之公里數）。
  - 通過環線閉合差檢核之觀測量，3個縣市一併平差計算。
- 使用資料：
  - 水利署104年資料。
  - 聯測水準測段使用中央地質調查所 104 年資料（C8、F5 及 F6）及國土測繪中心 103 年資料。



表 3 地層下陷區附近一等水準點節點高程變動速率表

序號	點號	高程變動速率 (mm/year)	序號	點號	高程變動速率 (mm/year)
1	X007	1.09	12	X116	-83.22
2	X105	0.32	13	X117	-2.87
3	X106	-3.47	14	X119	-0.93
4	X107	-1.42	15	X120	-81.59
5	X108	-1.32	16	X201	1.08
6	X109	-4.49	17	X202	-24.26
7	X111	-23.77	18	X204	-17.02
8	X112	-16.90	19	X205	0.90
9	X113	-6.66	20	X210	4.29
10	X114	-26.73	21	X217	-15.70
11	X115	-1.36	22	X218	-12.79

註：表中紅字部分表位於地層下陷區

● 方法4

- 依據：國土測繪中心「103年度一等水準測量工作報告」建議方法2。
- 作法：
  - 約制點位與方法3相同。
  - 使用水利署104年資料及方法3聯測的測段，再聯測各高程約制點間的水準測線（如圖4中藍色水準路線），包括19、1G、1H、37、38、39、3A、85、F7、H1等10條測線，共約240公里，總計聯測里程數約515公里。
  - 進行環線閉合差檢核，檢核標準為 $\pm 5.0\text{mm}\sqrt{F}$ （F為水準環線長度之公里數）。
  - 通過環線閉合差檢核之觀測量，3個縣市一併平差計算。
- 使用資料：
  - 水利署104年資料。
  - 聯測水準測段使用中央地質調查所104年資料（F7）及國土測繪中心103年資料。

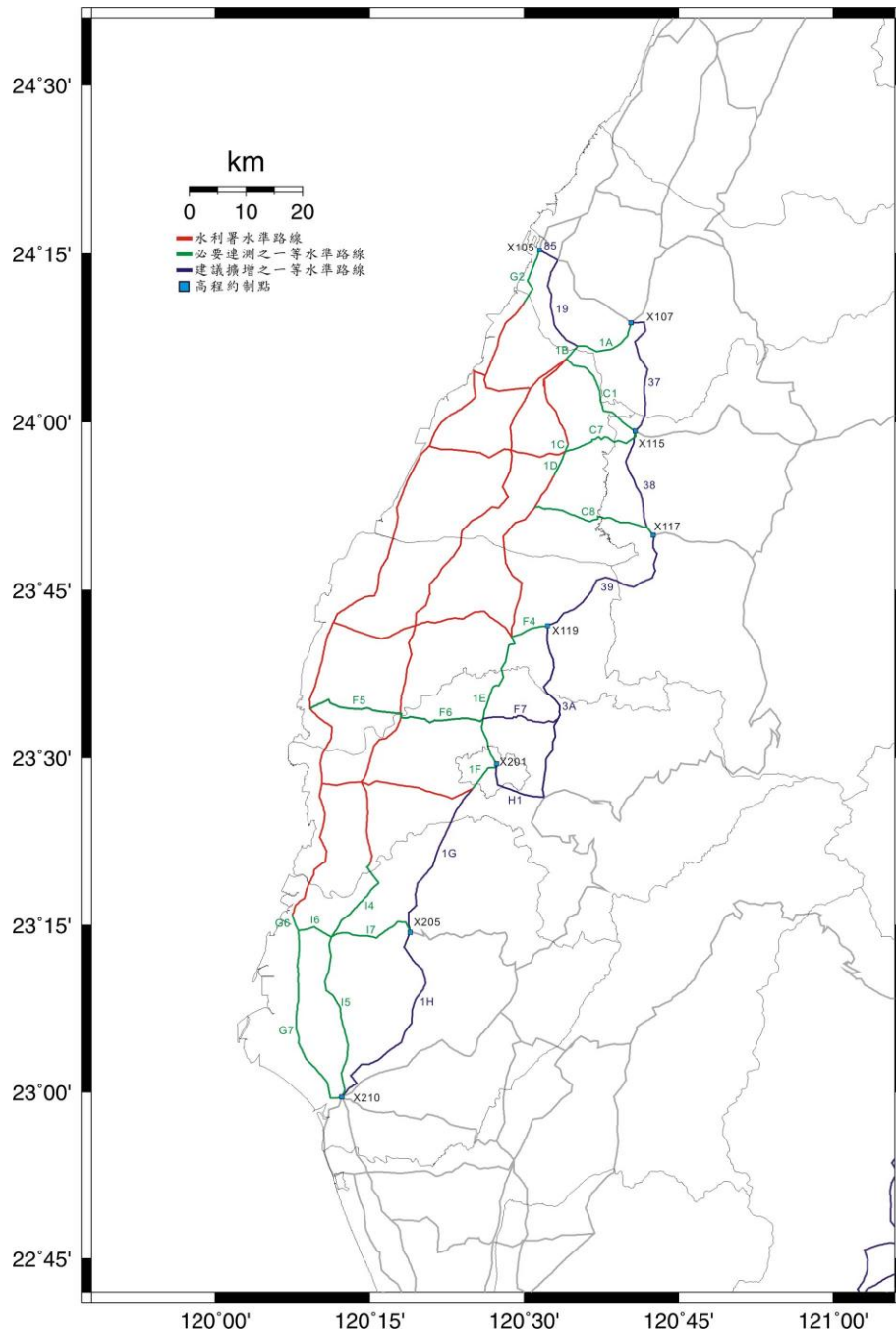


圖4 國土測繪中心「103年度一等水準測量工作報告」建議聯測水準路線圖（內政部國土測繪中心，2015）

### 計算成果與分析

本研究使用之觀測資料包括水利署104年資料、中央地質調查所104年資料及國土測繪中心103年資料，不同計算方式使用的資料量不同，約制點位也不同，方法1與方法2所需使用觀測量最少，方法4所需使用觀測量最多，各方法平差計算成果統計資料如表4，平差後點位標準偏差最大值點位分布情形如圖2中橘色點位所示，因均位於各水準網開放水準測線最末端，故其點位標準偏差會較其他位

於閉合水準環線中點位大。考量其開放水準測線中之點位未位於地層下陷區，不屬本研究規劃更新點位，故未聯測其他水準點，將其組成閉合水準環線。

表 4 各方法平差計算成果統計表

計算方式	方法1			方法2	方法3	方法4
縣市	彰化縣	雲林縣	嘉義縣	彰雲嘉3縣市一併平差計算		
測段每公里觀測精度(mm)	0.95	0.8	0.72	1.04	0.95	0.93
先驗權單位中誤差	1					
權矩陣P	以測段距離的倒數為權值					
總觀測數目	350	500	298	1148	1323	1456
水準點總數	328	467	276	1058	1219	1328
已知高程水準點個數	3	2	2	7	8	8
多餘觀測數	25	35	24	97	112	136
後驗權單位中誤差	1.045	1.015	1.033	1.004	1.096	1.110
平差後觀測量改正數最大值(mm)	1.64	1.12	0.84	2.44	3.69	2.95
平差後點位標準偏差最大值(mm)	±8.18 (RKBM)	±8.76 (SGWS)	±3.46 (CYSZ67)	±11.09 (SGWS)	±8.79 (RKBM)	±8.60 (RKBM)

本研究總計可更新179點位於地層下陷區之內政部一等水準點，為分析不同方法間計算成果之差異，以評估建立地層下陷區水準網成果更新計算方式，有關各方法交叉比較分析結果彙整如表5，較差示意圖如圖5，說明如下：

- 方法1與方法2：兩方法使用之資料與約制點位均相同，計算方式不同，計算結果較差示意圖如圖5(a)，較差最大值為7.14mm，最小值為-8.38mm，平均值為-0.22mm，中誤差為3.92mm。兩方法計算結果較差在彰化縣與嘉義縣較差值為正值，雲林縣較差值為負值，主要係因方法1採3個縣市獨立平差計算，方法2採3個縣市一併平差計，故在不同縣市間會有因約制點位不同造成的系統差，方法1之計算結果對於後續在縣市交界處之點位應用會有較大之影響。

表 5 各方法平差計算成果統計表 (單位：mm)

計算方式	1與2	1與3	1與4	2與3	2與4	3與4
較差最大值	7.14	6.79	5.94	3.43	2.54	-0.17
較差最小值	-8.38	-8.23	-9.08	-5.38	-5.85	-1.32
較差平均值	-0.22	-0.03	-0.85	0.19	-0.63	-0.82
較差中誤差	3.92	3.51	3.44	1.36	1.26	0.24

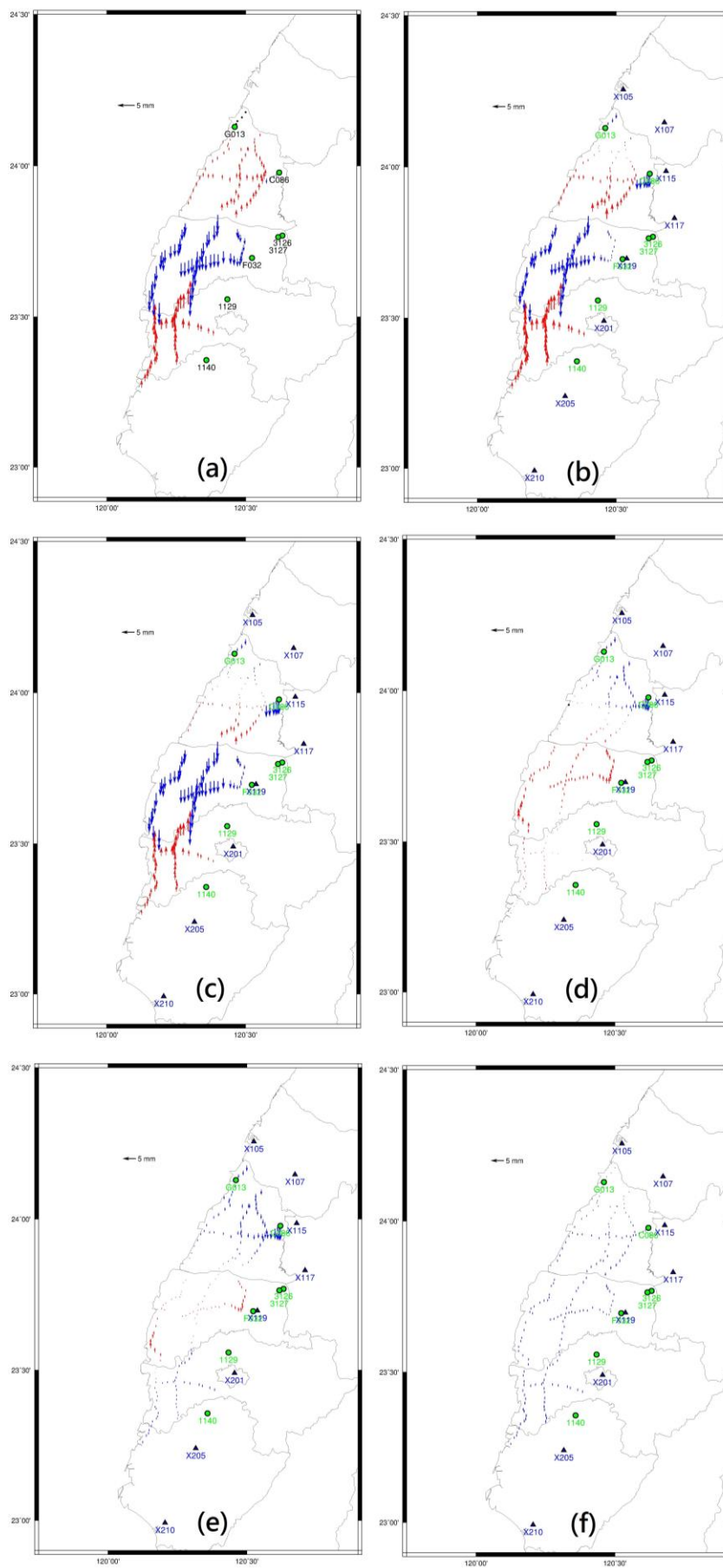


圖5 各方法交叉比較較差示意圖

- 方法1與方法3：兩方法使用之資料、約制點位與計算方式均不同，計算結果較差示意圖如圖5(b)，較差最大值為6.79mm，最小值為-8.23mm，平均值為-0.03mm，中誤差為3.51mm。兩方法計算結果較差和方法1與方法2較差大致相符，在彰化縣與嘉義縣較差值為正值，雲林縣較差值為負值，但在彰化縣約制點位C086附近差異較大，應係約制點位C086 (-0.17mm/year) 與X115 (-1.36mm/year) 每年沉陷量不同所致。
- 方法1與方法4：兩方法使用之資料、約制點位與計算方式均不同，計算結果較差示意圖如圖5(c)，較差最大值為5.94mm，最小值為-9.08mm，平均值為-0.85mm，中誤差為3.44mm。兩方法計算結果較差和方法1與方法3較差大致相符。
- 方法2與方法3：兩方法使用之資料與約制點位不同，計算方式都是採3縣市一併平差計算，計算結果較差示意圖如圖5(d)，較差最大值為3.43mm，最小值為-5.38mm，平均值為0.19mm，中誤差為1.36mm。兩方法計算結果較差明顯較前述3組方法小，主要係因此兩方法計算方式相同，其差異是由約制點位造成，故在C086 (-0.17mm/year) 與X115 (-1.36mm/year) 附近較差較大。
- 方法2與方法4：兩方法使用之資料與約制點位不同，計算方式都是採3縣市一併平差計算，計算結果較差示意圖如圖5(e)，較差最大值為2.54mm，最小值為-5.85mm，平均值為-0.63mm，中誤差為1.26mm。兩方法計算結果較差和方法2與方法3較差大致相符。
- 方法3與方法4：兩方法使用之資料不同，約制點位與計算方式相同，計算結果較差示意圖如圖5(f)，較差最大值為-0.17mm，最小值為-1.32mm，平均值為-0.82mm，中誤差為0.24mm。兩方法計算結果較差明顯較前述5組方法小，主要係因此兩方法約制點位與計算方式相同，使用之資料雖然不同，但其差異部分僅在地層下陷區外圍，故雖然方法4聯測水準測線較方法3增加240公里，其平均差異量未達1mm。

### 結論

為訂定地層下陷區水準網成果更新機制，本研究利用水利署104年資料、中央地質調查所104年資料及國土測繪中心103年資料，就不同平差計算方式、約制點位及使用資料擬定4種方法，分別以此4種方法計算分析地層下陷區一等水準點正高更新結果，並比較分析各方法計算成果差異，大致獲得以下結論：

- 3縣市獨立平差計算結果(方法1)與3縣市一併平差計算結果(方法2-4)明顯有系統差存在，且在縣市交界處差異更明顯，因此方法1不利後續成果檢核應用。
- 方法2、方法3及方法4採3縣市一併平差計算，其計算結果在縣市交界處無明顯差異。但方法2約制點位及使用資料與方法3、方法4不同，其計算結果在彰化縣約制點位C086 (-0.17mm/year) 與X115 (-1.36mm/year) 附近差異最多，惟其差異量僅約6mm，遠小於地層下陷區每年沉陷量3~8公分。
- 若考量不同方法間所需增加之水準測量工作成本與對其計算結果之影響，以

方法2作為後續地層下陷區水準網成果更新機制，可以較少的人力與經費，且不影響成果精度品質，達到更新一等水準點正高之目的。

### 致謝

本研究目的為以較節省人力與經費之方式，訂擬爾後地層下陷區水準網更新機制，研究資料中使用水利署與中央地質調查所提供之水準測量觀測成果，謹此感謝水利署與中央地質調查所之協助。

### 參考文獻

1. 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。臺中。
2. 內政部國土測繪中心，2015。103年度一等水準測量工作報告。臺中。
3. 內政部，2016。104年臺灣一等水準網水準測量成果說明。臺北。
4. 內政部地政司衛星測量中心網頁，2016。網址：<http://gps.moi.gov.tw/sscenter/>。臺北。
5. 內政部國土測繪中心網頁，2016。網址：<http://www.nlsc.gov.tw>。臺中。