

一等水準點高程變化與應用

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 112 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

一等水準點高程變化與應用

研究人員：

技正	莊峰輔
技士	洪翎嘉
科長	陳鶴欽

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 112 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The elevation variance and application of
the first-order benchmarks

BY

Feng-Fu Chuang

Ling-Chia Hung

He-Chin Chen

December, 2023

目次

表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	V
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究動機與目的.....	5
第三節 文獻回顧	6
第二章 一等水準點高程系統介紹	11
第一節 一等水準點簡介.....	11
第二節 正高系統	15
第三節 橢球高系統	21
第三章 研究方法與結果.....	28
第一節 研究方法	28
第二節 橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性	31
第三節 不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響.....	43
第四章 結論與建議.....	48
第一節 結論	48
第二節 建議.....	50
參考書目	51

表次

表 2-1 不同 ITRF 框架橢球高差異.....	24
表 2-2 TWD97[2010]及 TWD97[2020]約制坐標較差表.....	25
表 3-1 GNSS 連續站估算橢球高速度場彙整表.....	35
表 3-2 橢球高速度場內部精度統計表.....	35
表 3-3 一等水準點高差較差統計表.....	39
表 3-5 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高精度統計表.....	43
表 3-6 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉正高精度統計表.....	46
表 3-7 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高精度統計表.....	47

圖次

圖 1-1 舊水準原點	1
圖 1-2 新水準原點	2
圖 1-3 臺灣地區高程變動速度場 (88~110 年)	9
圖 1-4 混合法大地起伏模型.....	10
圖 2-1 臺灣本島一等水準網.....	11
圖 2-2 一般地面一等水準點埋設側視圖	12
圖 2-3 一般地面一等水準點埋設正視圖	13
圖 2-4 一般地面一等水準點埋設結果	13
圖 2-5 岩盤及橋樑一等水準點埋設方式	14
圖 2-6 一等水準點第 1 次檢測與第 1 次公告正高較差圖.....	18
圖 2-7 一等水準點第 2 次檢測與第 1 次檢測正高較差圖.....	19
圖 2-8 一等水準點第 3 次檢測與第 2 次檢測正高較差圖.....	20
圖 2-9 一等水準點 TWD97[2010]與 TWD97 橢球高較差圖.....	25
圖 2-10 一等水準點 TWD97[2020]與 TWD97[2010]橢球高較差圖	26
圖 2-11 一等水準點 TWD97[2020]與 TWD97 橢球高較差圖.....	27
圖 3-1 一等水準點 6 小時資料點位分布圖	28
圖 3-2 6 個 GNSS 連續站點位分布圖	29
圖 3-3 橢球高速度場取代水準測量可行性研究流程圖	31
圖 3-4 GNSS 連續站及一等水準點橢球高計算流程圖	32
圖 3-5 一等水準點橢球高計算成果示意圖	33
圖 3-6 橢球高速度場線性迴歸示意圖	33
圖 3-7 一等水準點橢球高速度場計算結果	34
圖 3-8 橢球高速度場內部精度較差統計圖	36
圖 3-9 橢球高速度場內部精度點位較差圖	36
圖 3-10 點位 X306 (上) 及 X006 (下) 透空環境圖	37
圖 3-11 一等水準點高程較差圖.....	38
圖 3-12 一等水準點高程較差圖.....	39

圖 3-13、111 年全臺顯著下陷面積與最大下陷速率.....	41
圖 3-14 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高較差統計圖	44
圖 3-15 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高點位較差圖	44
圖 3-16 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉正高較差統計圖	45
圖 3-17 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉正高點位較差圖	46

摘要

關鍵詞：一等水準點、正高、橢球高、大地起伏

一、研究背景與目的

一等水準點高程依測量方式不同，獲得的高程成果包括採水準測量獲得之正高及採衛星定位測量獲得之橢球高。臺灣本島一等水準點自 91 年及 92 年第一次公告一等一級及一等二級水準網水準測量正高成果以來，受板塊運動影響，後續分別於 98 年、105 年及 111 年公告 3 次檢測成果；橢球高成果則於 91 年及 92 年公告一等一級及一等二級水準網衛星定位測量 TWD97 橢球高，101 年以 e-GPS 測量作業方式測設 TWD97[2010]橢球高，110 年至 111 年以衛星定位測量作業方式測設 TWD97[2020]橢球高供各界參考應用。

一等水準測量作業成果精度較高，高程精度可達 0.01mm，惟外業測量所需經費較多且耗時費力，本研究透過計算一等水準點橢球高速度場，評估橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性，期可有效節省測量經費與人力。

另考量目前內政部公告之 103 年臺灣地區大地起伏模型成果係使用一等水準點第 1 次公告之正高與 TWD97 橢球高建置之混合法大地起伏模型，考量最新之 TWD97[2020]與 TWD97 橢球高因國際地球參考框架與約制國際追蹤站有所差異，本研究使用一等水準點 TWD97[2020]橢球高及第 3 次一等水準點檢測正高建置混合法大地起伏模型，以分析不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響。

二、研究方法及過程

為評估以橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性，使用本中心於 104 年至 111 年期間，每年辦理 1 次約 80 點均勻分布於臺灣本島之一等水準點 6 小時靜態衛星觀測資料，以 Bernese 軟體計算其相對於金門 (KMNM) 衛星追蹤站之橢球高變化，建立一等水準點橢球高速度場，並以同時期一等水準點正高檢測成果作為

驗證，以消除點位位置及觀測時間不同對成果的影響，比較分析同一點位正高較差與橢球高速度場估算之橢球高差異。

為分析不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響，使用一等水準點 TWD97[2020]成果透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換為正高，再與第 3 次檢測成果正高比較計算轉換精度。另以 103 年臺灣地區大地起伏模型使用之重力法大地起伏模型，搭配一等水準點 TWD97[2020]橢球高及第 3 次檢測成果正高建置混合法大地起伏模型，研究分析透過 TWD97 與 TWD97[2020]橢球高建置混合法大地起伏模型計算正高之精度差異。

三、重要發現

水準測量精度為毫米等級，以橢球高速度場獲得之正高成果均方根誤差為 5.9 公分，故不適用於高精度優於公分等級的測繪工作，但可適用於公分至公寸等級精度需求之業務，如工程與管線等應用測量工作使用。

TWD97[2020]橢球高透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換正高之均方根誤差為 5.1 公分，而透過本研究建置之建置 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉換正高之均方根誤差為 3.7 公分，轉換精度提升約 27%，表示不同坐標系統橢球高透過大地起伏轉換正高之精度，受橢球高坐標系統的影響甚鉅。

四、主要建議事項

建議一

定期辦理一等水準點檢測，維護高精度高程系統：立即可行建議

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

本研究發現以橢球高速度場獲得之正高成果不適用於高精度優於公分等級的測繪工作，但可適用於公分至公寸等級精度需求之業務，如工程與管線等應用測量工作使用。

考量臺灣板塊運動劇烈頻繁，且部分業務仍有高精度公分等級高程需求，因此建議仍有必要定期辦理一等水準點檢測工作，以維護高精度高程系統，提供正確精準的正高成果供各界參考應用。

建議二

公布更新坐標系統後，應配合建置大地起伏模型：立即可行建議

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

臺灣目前公告的坐標系統包括 TWD97、TWD97[2010]及 TWD97[2020]，本研究結果發現不同坐標系統橢球高差值在-1.4 公尺至 1.2 公尺之間，且不同坐標系統橢球高透過大地起伏轉換正高之精度，受橢球高坐標系統的影響甚鉅。

臺灣受板塊運動影響，不同地區地表變化情形均不同，為維持基本控制點間相對精度，目前大約每 10 年會更新一次坐標系統。因此建議在公布更新坐標系統後，應以更新後的坐標系統橢球高及約略相同時間測量之正高資料建置混合法大地起伏模型，以確保高程轉換精度品質。

Abstract

Keywords: first-order benchmarks, orthometric height, ellipsoidal height, geoid model

A. Background and purpose

The elevation results of the first-order benchmarks vary depending on the measurement methods, including orthometric heights obtained from leveling measurements and ellipsoidal heights obtained from satellite positioning measurements. First-order first level and first-order second level benchmarks orthometric height results were announced in 2002 and 2003, and updated in 2009, 2016, and 2022 due to plate tectonics.

TWD97 ellipsoidal height results were announced in 2002 and 2003 by static GNSS method. TWD97[2010] ellipsoidal height results were measured by e-GPS method in 2012, and TWD97[2020] ellipsoidal height results were measured by static GNSS method during 2021 and 2022.

Leveling workload is heavy and costs lots of money, but the accuracy is reaching 0.01 mm. This study tried to effectively save the costs and labor force by using the velocity field of ellipsoidal heights of first-order benchmarks to replace leveling measurements for obtaining orthometric height results.

Additionally, considering that the geoid model for Taiwan were announced in 2014 by the Ministry of the Interior used a hybrid method combining orthometric heights and TWD97 ellipsoidal heights of the first-order benchmarks announced in 2002 and 2003. This study takes into account the differences between the latest TWD97[2020] and TWD97 ellipsoidal heights due to changes in the International Terrestrial Reference Frame and constraints from international Continuously Operating Reference Station(CORS). The research employs TWD97[2020] ellipsoidal heights of first-order benchmarks and the orthometric height results updated in 2022 from

the first-order benchmarks to build a hybrid geoid model, and analyzing the impact of ellipsoidal heights in different coordinate systems on the geoid model.

B. Study method and process

To assess the feasibility of using the ellipsoidal height velocity field as a substitute for leveling measurements to obtain orthometric height results, the 6-hour static GNSS measurements at approximately 80 evenly distributed first-order benchmarks in Taiwan island from 2015 to 2022 were computed by Bernese to obtain the ellipsoidal height variations relative to the Kinmen CORS (KMMN) to establish an ellipsoidal height velocity field for the first-order benchmarks. The orthometric height results of the first-order benchmarks during the same period were used for validation. To mitigate the influence of differences in point positions and observation times on the results, a comparison and analysis were conducted between the differences in orthometric heights at the same points and in ellipsoidal heights estimated from the ellipsoidal height velocity field.

In order to analyze the impact of ellipsoidal heights in different coordinate systems on the geoid model, the TWD97[2020] ellipsoidal height results of the first-order benchmarks were transformed into orthometric heights using the 2014 geoid model for Taiwan. The transformed orthometric heights were then compared with the orthometric height results updated in 2022 to estimate the converting accuracy. Additionally, a hybrid geoid model was built by combining the TWD97[2020] ellipsoidal height results of the first-order benchmarks, the orthometric height results updated in 2022, and the gravity-based geoid model used in the 2014 geoid model for Taiwan. The study aimed to analyze the accuracy differences in calculating orthometric heights using a hybrid geoid model based on TWD97 and TWD97[2020] ellipsoidal heights.

C. Important discoveries

The accuracy of leveling is at the millimeter level. The root mean square error (RMSE) of orthometric height results obtained from the ellipsoidal height velocity field is 5.9 centimeters. Thus, using the velocity field of ellipsoidal heights of first-order benchmarks to replace leveling measurements for obtaining orthometric height results was unsuitable for high precision that better than centimeter level survey tasks. However, it is suitable for other applications accuracy requirements ranging from centimeters to decimeters, such as construction and pipeline surveys.

The TWD97[2020] ellipsoidal height, when transformed into orthometric height through the 2014 geoid model for Taiwan, has an RMSE of 5.1 centimeters. However, when using the hybrid geoid model developed in this study to convert TWD97[2020] ellipsoidal heights into orthometric heights, the RMSE is reduced to 3.7 centimeters, indicating an improvement in converting accuracy of approximately 27%. This suggests that the accuracy of converting ellipsoidal heights to orthometric heights is significantly influenced by the ellipsoidal height coordinate system.

D. Recommendations

There are 2 recommendations submitted after this study:

1. This study has found that orthometric height results obtained from the ellipsoidal height velocity field are not suitable for high precision that better than centimeter level survey tasks. However, they are applicable for purposes with accuracy requirements ranging from centimeters to decimeters, such as construction and pipeline surveys.

Considering the intense and frequent tectonic movements of Taiwan and the fact that some works still have high precision that better than centimeter level elevation requirements, it is recommended to continue conducting regular first-order

benchmark re-leveling. This is crucial to maintain a high precision elevation system and to provide accurate and precise orthometric height results for reference and application.

2. Currently announced coordinate systems in Taiwan include TWD97, TWD97[2010], and TWD97[2020]. The results of this study reveal that the differences in ellipsoidal heights among different coordinate systems range from -1.4 meters to 1.2 meters. Moreover, the accuracy of converting ellipsoidal heights to orthometric heights varies significantly, being notably influenced by the ellipsoidal height coordinate system.

Due to the impact of tectonic movements, different regions in Taiwan experience distinct changes in surface conditions. To maintain the relative accuracy between basic control points, the coordinate system is updated approximately every 10 years. Therefore, it is recommended that after the announcement of an updated coordinate system, a hybrid geoid model should be established using ellipsoidal heights from the updated coordinate system and orthometric height data measured around the same time. This ensures the quality of elevation conversion accuracy.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

高程系統依其參考基準之不同，可分為以大地水準面為參考面之正高（orthometric height）系統及以參考橢球面為基準之橢球高（ellipsoidal height）系統，正高可透過水準測量作業方式獲得，橢球高則可透過衛星定位測量作業方式計算。

臺灣水準點之高程採用正高系統，高程基準係定義在 79 年 1 月 1 日標準大氣環境下，採用基隆潮位站 46 年至 80 年之潮汐資料化算而得，命名為 2001 臺灣高程基準（TaiWan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD2001）。內政部於 90 年新設臺灣水準原點，為高程控制點系統之基準，並據以辦理一等水準測量工作，為所有水準點之起源，採雙水準原點設計，一為主點（點號：K999），屬地下點位，一為副點（點號：K998），屬地面點位，均位於基隆市海門公園內（內政部國土測繪中心全球資訊網，2023）。



圖 1-1 舊水準原點

內政部為配合基隆港東岸聯外道路工程興建，於 103 年將臺灣水準原點遷移至國立海洋科技博物館對面的公園綠地，仍採雙水準原點設計，一為主點（點號：K997），屬地下點位，一為副點（點號：K996），屬地面點位，新址坐落於交通便利、視野開闊、岩盤穩固之處，將可作為測量各地海拔高度的基準，並永久保存（內政部國土測繪中心全球資訊網，2023）。



圖 1-2 新水準原點

內政部於 64 年辦理臺灣地區 904 個一等水準點之檢測工作，其高程系統係以基隆平均海水面為起算依據之正高系統，並以基隆港區內 BM7 水準點作為起算點，據以引測至各一等水準點，嗣因各項經建活動及人為破壞等因素，導致水準點樁位遺失、損毀情形嚴重。

為重建高精度之高程控制點系統，並配合各界需求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，內政部自 88 年起至 91 年止，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，衛星定位測量依三等控制點施測規範進行施測，測量成果於 91 年 5 月 8 日公告；90 及 91 年辦理一等二級水準網，計 1,055 個一等水準點測量工作，衛星定位測量則依優於三等控制點施測規範進行施測，測量成果於 92 年 11 月 11 日公告（內政部地政司衛星測量中心網站，2023），為臺灣首次公告一等水準點正高與 TWD97 成果。

因臺灣位處歐亞板塊及菲律賓海板塊交界處，板塊運動劇烈，且臺灣西南部受地層下陷影響，高程變化量明顯大於其他地區，為確保一等水準點正高精度，內政部陸續於 95 至 97 年完成第 1 次一等水準點檢測，測量成果於 98 年 3 月 10 日公告；102 至 104 年完成第 2 次一等水準點檢測，測量成果於 105 年 4 月 12 日公告；109 至 110 年完成第 3 次一等水準點檢測，測量成果於 111 年 8 月 4 日公告。

內政部於 87 年 3 月 17 日公布衛星追蹤站及一等衛星控制點 TWD97 坐標，87 年 11 月 2 日公布二等衛星控制點 TWD97 坐標供各界應用，因臺灣地區位於地殼板塊碰撞劇烈地帶，部分地區點位已產生明顯位移，致套合引用有實務上困難，無法符合目前測繪作業之精度需求，故針對大地基準及坐標系統是否變動或更新等議題，由內政邀集專家學者召開「大地基準及坐標系統更新維護機制」會議討論，確認點位成果及基準框架繼續採用 TWD97 坐標系統，於 101 年 3 月 30 日公告大地基準及一九九七坐標系統 2010 年成果（簡稱 TWD97[2010]），其測量基準定義均與 TWD97 相同，惟套合至國際固定站之 2010.0 時刻成果（內政部國土測繪中心網站，2023）。內政部國土測繪中心依據內政部公告 TWD97[2010]坐標，於 102 年以 e-GPS 測量作業方式測設一等水準點 TWD97[2010]成果。

因內政部 101 年公告 TWD97[2010]坐標成果已逾數年，內政部於 109 年 4 月 16 日邀集專家學者邀集專家學者與各直轄市、縣(市)

政府代表召開研商會議，決議採用國際地球參考框架 ITRF2014，解算一九九七坐標系統（TWD97）之 2020 年成果，內政部於 109 年 8 月 10 日台內地字第 1090263608 號公告大地基準及一九九七坐標系統 2020 年成果（簡稱 TWD97[2020]）。其測量基準定義均與 TWD97 相同，惟套合至國際固定站之 2020.0 時刻成果（內政部國土測繪中心網站，2023）。

第二節 研究動機與目的

水準測量作業獲得之正高成果精度較高，精度可達 0.01mm，惟外業測量所需經費較多且耗時費力；衛星定位測量作業獲得之橢球高精度雖不及水準測量正高成果，但可以較少人力並透過連續觀測累積數據，計算獲得橢球高速度場，若可藉由橢球高變化速度取代定期辦理水準測量檢測工作，將可有效節省工作經費與人力。

本研究規劃使用臺灣本島 GNSS 連續站觀測資料及 104 年至 111 年期間約 80 點均勻分布之一等水準點靜態觀測 6 小時衛星定位觀測資料，以 Bernese 軟體計算其相對於金門 (KMNM) 衛星追蹤站之橢球高變化，建立一等水準點橢球高速度場，分析 105 年及 111 年公告之第 2 次與第 3 次一等水準點檢測正高較差與橢球高速度場估算之差異，評估以橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性。

另目前內政部於 103 年 6 月 4 日公告 103 年臺灣地區大地起伏模型成果係使用第 1 次公告之正高與 TWD97 橢球高建置之混合法大地起伏模型，考量 TWD97[2020]與 TWD97 因國際地球參考框架與約制國際追蹤站有所差異，為評估透過 TWD97[2020]橢球高及大地起伏模型計算正高之精度，本研究使用一等水準點 110 年至 111 年施測之 TWD97[2020]橢球高及 111 年公告第 3 次一等水準點檢測正高建置混合法大地起伏模型，研究分析不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響。

第三節 文獻回顧

一個國家高程控制點系統之制定程序，必須先建立在一個穩定且可長期使用之高程基準上，設置若干高程基準點（包含水準原點）之高程基準網，並採用精密水準測量連測各高程基準點後，再參考數十年驗潮站長期監測之潮汐資料計算平均海水面，以訂定高程基準。鑑於過去數次大規模的全台灣地區水準測量，引測之水準點有相當程度的不穩定，且未定期與驗潮站連測，以致於失去高程基準的意義，因此，內政部於 86 年 12 月 1 日起至 89 年 2 月 29 日為止，委託中央研究院地球科學研究所將 1957 年至 1991 年之間基隆驗潮站監測之潮汐資料重新化算，在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境（1000mbar，20°C，無風，無雨）情況下，經化算代表 1990 年代之基隆平均海水面高度為 97.323 公分（以基隆港築港標高零點起算）。另為加強高程基準之穩定性及與舊有資料之聯繫，在基隆港區附近建立一包含水準原點主、副點及 18 個水準點的高程基準網，定期檢測，使驗潮站所取得之海水面資料，是代表一個數公里方圓的地區，不會因為驗潮站本身或其中一二個水準點的不穩定，而提供錯誤的資訊（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，2002）。

臺灣水準點之高程採用正高系統。在過去，各國均以單一驗潮站之平均海水面來訂定國家高程基準，但近年來，由於對海水面長期研究，加上衛星測高儀的應用，有許多國家亦採用多驗潮站平均海水面高程的聯合平差系統，即是以水準測量連測各驗潮站之平均海水面，以求取最佳套合的平均海水面高程做為水準零點。台灣環島路線一等一級水準網測量工作業已辦理完竣，且已連測基隆、台中、高雄、蟬廣嘴、富岡、蘇澳等主要驗潮站之平均海水面，惟由連測結果得知，由於台灣地區四周之海平面，受黑潮與狹長海峽的特殊地形影響，有顯著的海面地形，台灣高程基準仍採用以基隆單

一驗潮站之平均海水面來訂定國家高程基準（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，2002）。

內政部於 64 年辦理臺灣地區 904 個一等水準點之檢測工作，其高程系統係以基隆平均海水面為起算依據之正高系統，並以基隆港區內 BM7 水準點作為起算點，據以引測至各一等水準點，嗣因各項經建活動及人為破壞等因素，導致水準點樁位遺失、損毀情形嚴重。為重建高精度之高程控制點系統，內政部於 88 年至 91 年執行「國家基本測量控制點建立及應用計畫」，分 4 年在臺灣本島施測 2,065 個一等水準點，建立一等一級、一等二級水準網，並於一等水準點上加測衛星定位測量及重力測量，相關成果分別於 91 年 5 月 8 日及 92 年 11 月 11 日公告，為目前我國高程控制點系統的主要基礎。

因臺灣位處地殼板塊活動頻繁地區，常導致地表隨時間及地震之影響而位移顯著，造成控制點間相對精度降低；另部分水準點因天然災害或各項工程施工造成點位遺失或損毀，必須長期投入人力與經費，適時重新測定公告，以維持高程控制系統之完整，並確保其精度。準此，內政部於民國 92 年起分別執行「國家基本測量發展計畫」、「基本測量及圖資測製實施計畫」、「基本測量及圖資測製後續計畫」及「邁向 3D 智慧國土—國家底圖空間資料基礎建設計畫」，並於 98 年 3 月 10 日、105 年 4 月 12 日及 111 年 8 月 4 日公告一等水準點第 1 次、第 2 次及第 3 次檢測成果提供各界使用（111 年臺灣一等水準網水準測量成果說明，2022）。

為建立完整、統一、高精度之基本控制點系統，內政部自 82 年起應用高精度全球定位系統測量技術，迄 86 年止共建立 8 個衛星追蹤站及 105 個一等衛星點及 621 個二等衛星點，以內政部 87 年 3 月 17 日台（87）內地字第 8781107 號函及內政部 87 年 11 月 2 日台（87）內地字第 8778548 號函提供各界應用，該系統定名為「1997 台灣大地基準（TWD97）」，簡稱 TWD97。後續因臺灣地區位於地殼板塊碰撞劇烈地帶，經 10 餘年後，部分地區點位已產生明顯位移，致控制點精度，無法符合測繪作業之精度需求，爰於 101 年 3

月 30 日台內地字第 1010137288 號公告大地基準及一九九七坐標系統 2010 年成果（簡稱 TWD97[2010]）。109 年時考量前次公告衛星追蹤站及各級控制點 TWD97[2010]坐標成果已逾 8 年，其間因地殼板塊移動產生地殼變動、地震及天然災害等影響，長時間累積下，部分地區點位已產生明顯之位移，已無法符合測繪作業之精度需求，爰於 109 年 8 月 10 日台內地字第 1090263608 號公告大地基準及一九九七坐標系統 2020 年成果（簡稱 TWD97[2020]），以滿足各界需求（基本測量 2020 年成果說明，2020）。

陳國華等（2004）藉由分析第 1 次公告一等水準點的觀測資料以獲得高精度的正高及 GPS 橢球高成果，並整合此二者進行高程網的聯合平差計算，獲得水準點正高成果的平均精度為 ± 8.9 mm，山區最大僅達 ± 10 mm；GPS 測量網之橢球高成果，一等一級網的平均精度為 ± 3.6 cm，一等二級網平均精度為 ± 2.5 cm。

黃玉婷等（2009）結合 2000 年至 2008 年間所蒐集的一等水準測量資料，以帶有速度量參數之最小二乘估計法（Least-Squares Estimation, LSE）求解各一等水準點的平均高程變動速度量，並利用各點位的變動速度值以最小曲率法內插獲得高程變動速度場。由臺灣地區的高程變動速度場顯示，彰化、雲林、嘉義、屏東、宜蘭地區為地勢沉陷區，並以雲林縣的沉陷最顯著，最大 -9.83 cm/yr，平均 -3.65 cm/yr，而中央山脈、海岸山脈為抬升區，抬升速度最大者位於花蓮縣，達 2.94 cm/yr，研究結果與中央地質調查所衛星定位測量估計結果大致吻合。

本中心 109 年至 111 年一等水準測量工作採購案工作報告中，結合歷次一等水準網的檢測結果，進行水準網高程變動分析，以求得水準路線經過的區域其地表變動的情形，資料的來源共有 6 個，包括一等一級水準網測量工作（內政部，2001）、一等二級水準網測量工作（內政部，2003）、94 年度一等水準網檢測工作（內政部土地測量局，2006）、95 年度一等水準網檢測工作（內政部國土測繪中心，2008）、103 年度一等水準測量工作（內政部國土測繪中心，

2015)及 109 年至 111 年一等水準測量工作(內政部國土測繪中心，2022)。依水準網高程變動分析的結果(如圖 1-3)顯示，臺灣地區各地紛呈不同的抬升及沉降的情形，抬升最大速率可達+38.39 mm/year(M1696，烏山頭清泉寺)，沉降最大速率可達-86.36 mm/year(C078，湖西國小)，顯示區域的高程變動頻繁，其中又以西南沿海一帶沉降面積範圍最大也最為嚴重。

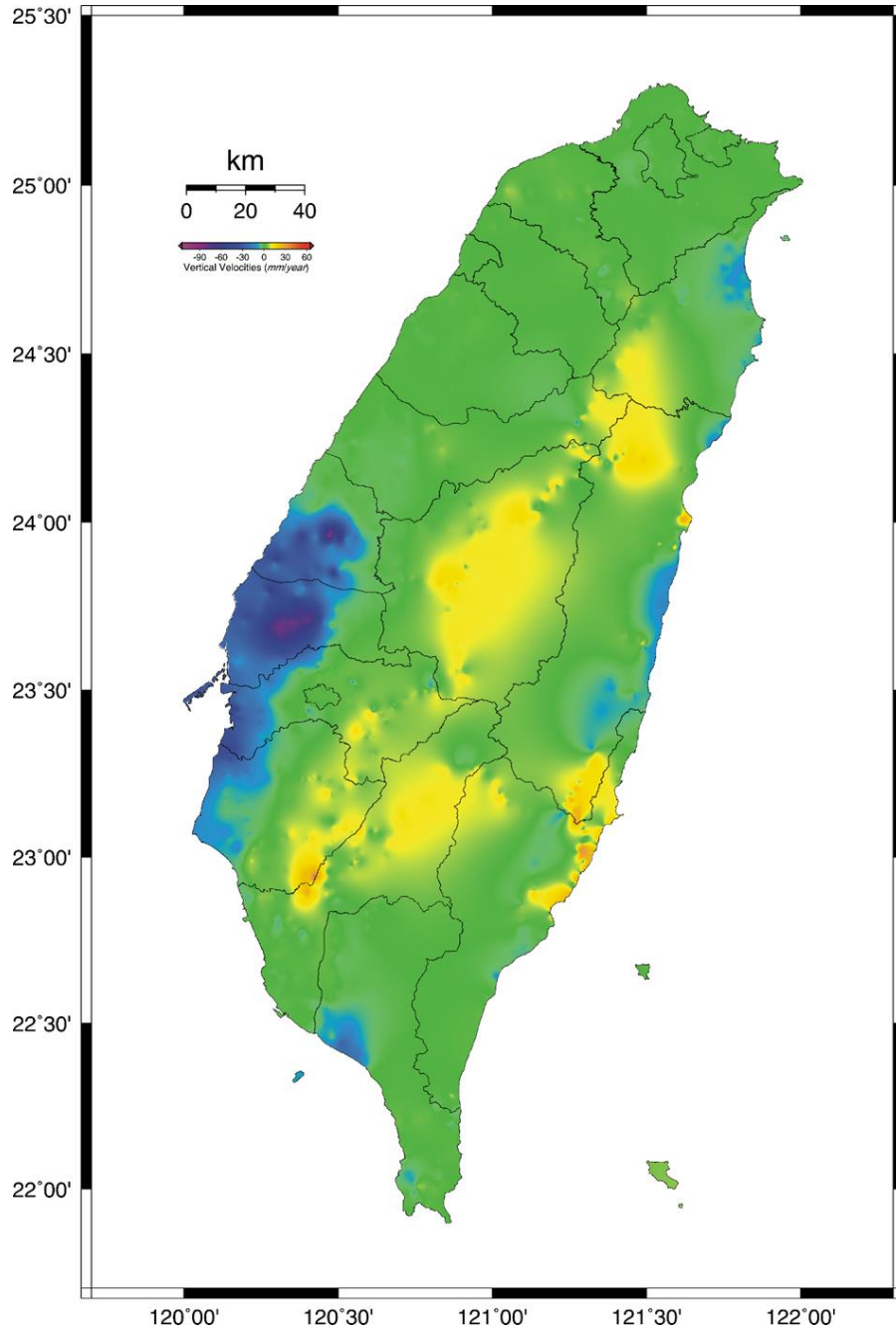


圖 1-3 臺灣地區高程變動速度場 (88~110 年)

內政部於 103 年 6 月 4 日以台內地字第 1030178307 號公告 103 年臺灣地區大地起伏模型成果，是以重力法大地起伏模型為基礎而建置。由於重力法大地起伏模型與大地水準面存在一系統性的偏移量，為解決兩者的差異，需蒐集分布均勻且具有正高及橢球高之點位，將高精度的橢球高與正高差（幾何法大地起伏）修正至重力法大地起伏模型，而得一混合法大地起伏模型（hybrid geoid model），可作為橢球高系統與正高系統轉換之用（103 年臺灣地區大地起伏模型成果說明，2014）。

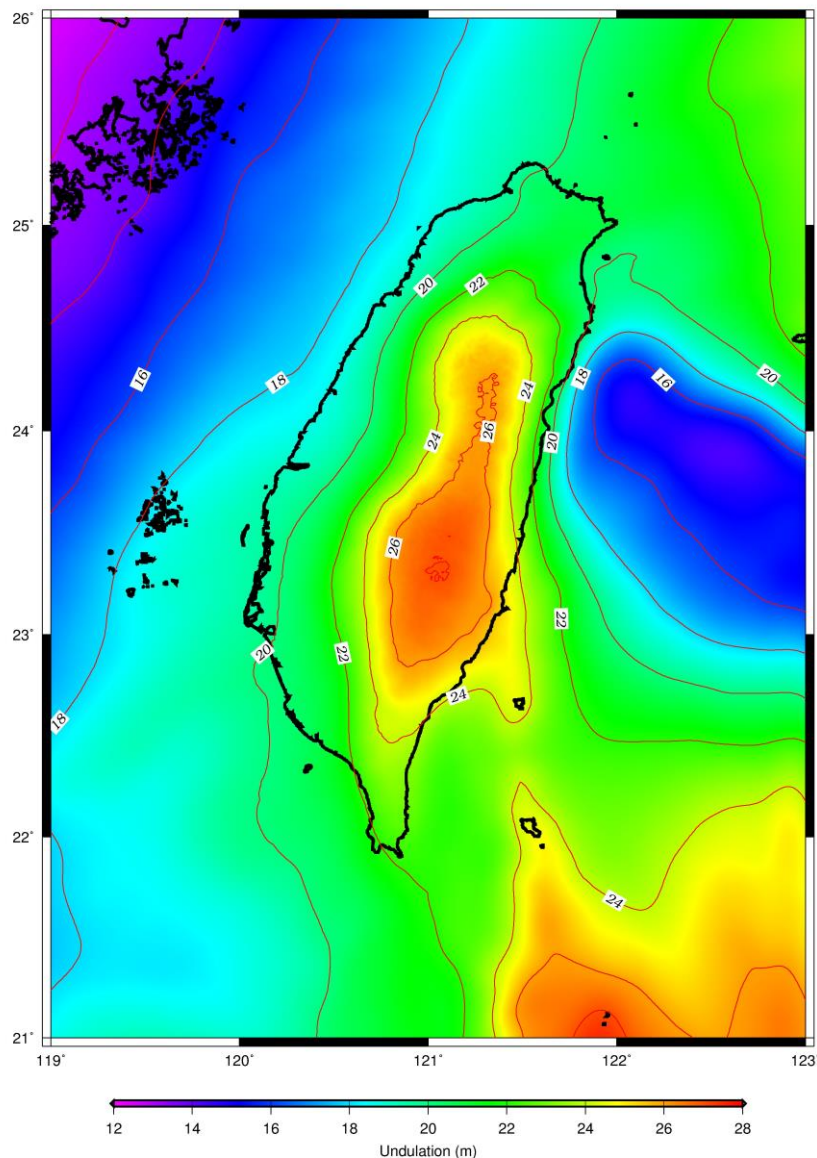


圖 1-4 混合法大地起伏模型

第二章 一等水準點高程系統介紹

第一節 一等水準點簡介

依據內政部一等水準測量作業規範規定，一等水準點平均每2km設置1點為原則，主要沿著公路（如省道、縣道）規劃水準路線布設，且以外環道路為優先。臺灣本島一等水準點組成之一等水準網如圖 2-1。

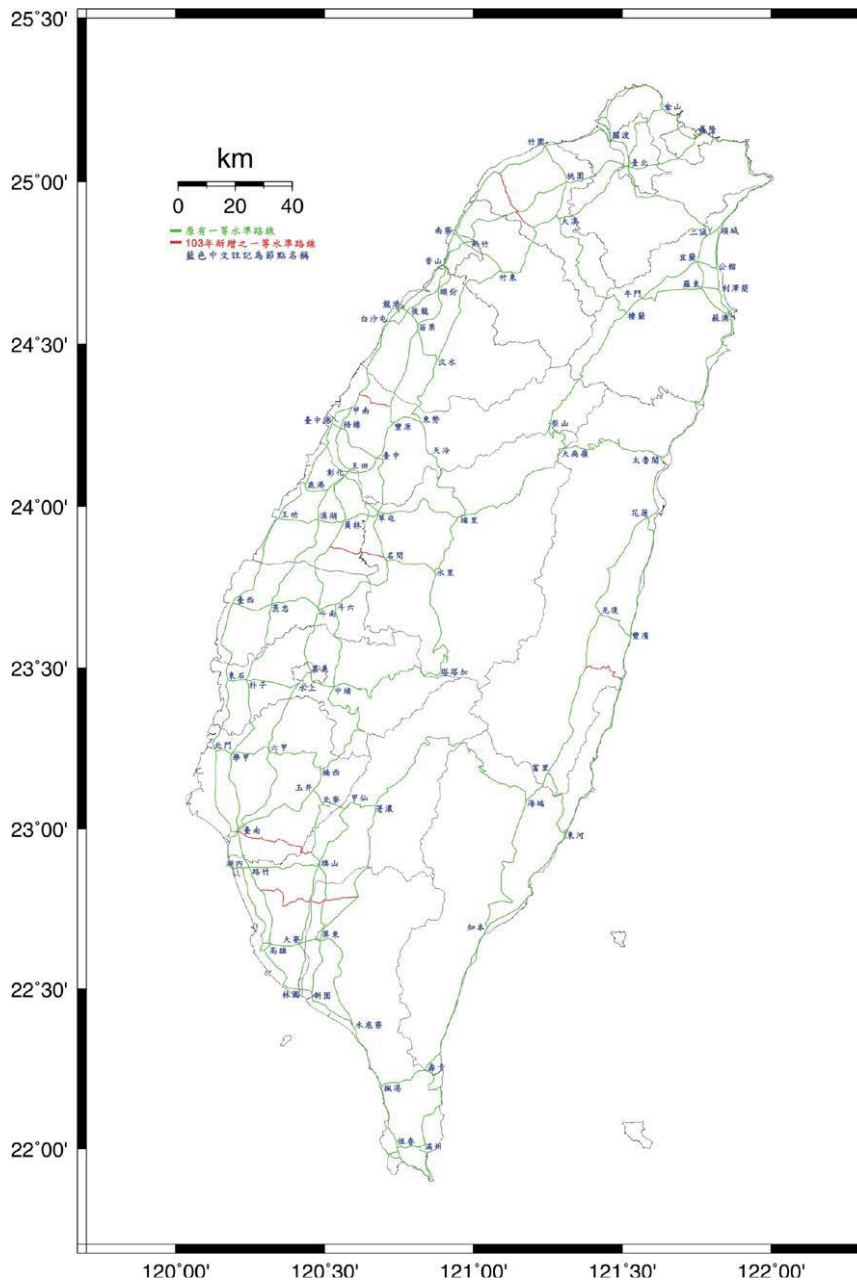


圖 2-1 臺灣本島一等水準網

一等水準點採用 #316 不銹鋼材質埋設。一般地面（包括泥土地及硬地面）點位埋設側視圖如圖 2-2，點位埋設正視圖如圖 2-3，點位實際埋設結果如圖 2-4。岩盤及橋樑點位之埋設方式如圖 2-5，惟點位位於橋樑時，應設置於橋樑之頭尾橋基上。

點位埋設施工時，應將不銹鋼棒（採用 #316 不銹鋼材質，直徑為 6/8" 約 1.90cm）套上保護銅套，以 8 磅以上鐵鎚自施工者頭頂之高度由上往下用力敲擊，至連續敲擊 10 次後不銹鋼棒均無法深入地層為止。另兩不銹鋼棒之間及不銹鋼棒與不銹鋼標之連接處，需用 AB 膠固定，並記載植入不銹鋼棒之數量及長度，故一等水準點相較於其他基本控制點在高程方向更為穩固。

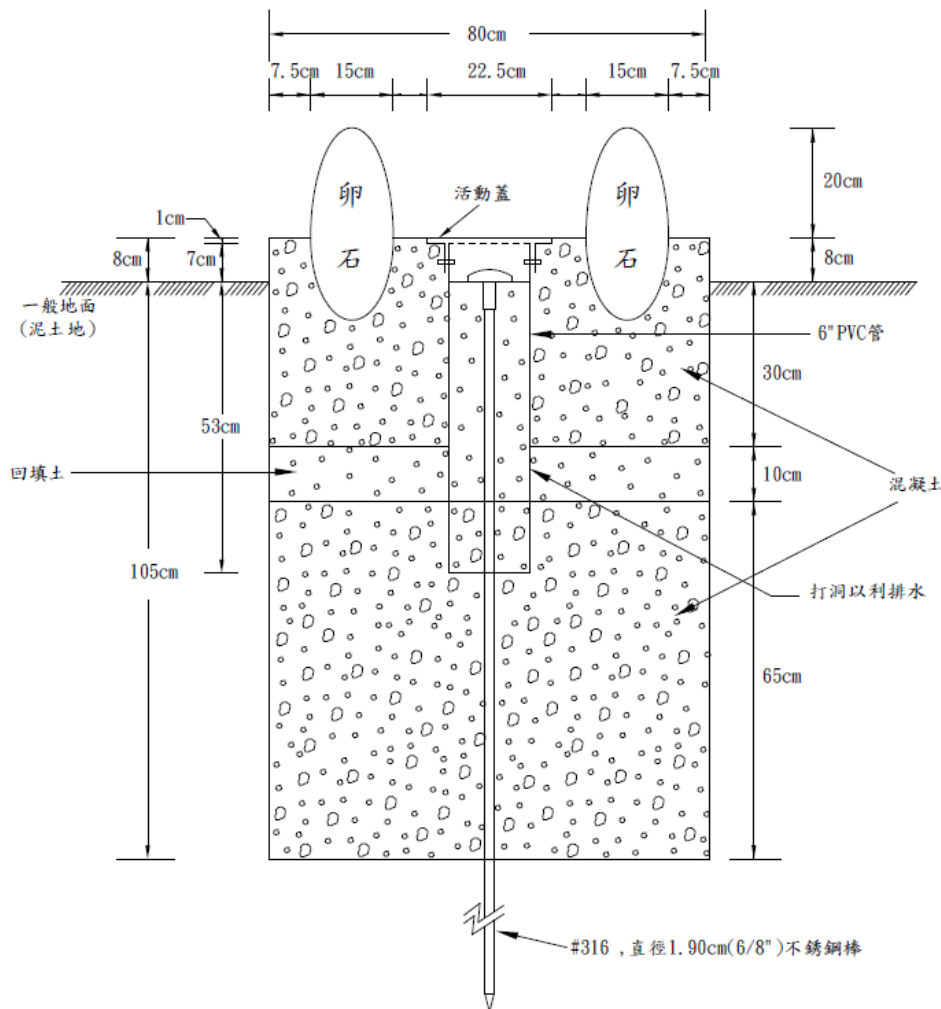


圖 2-2 一般地面一等水準點埋設側視圖

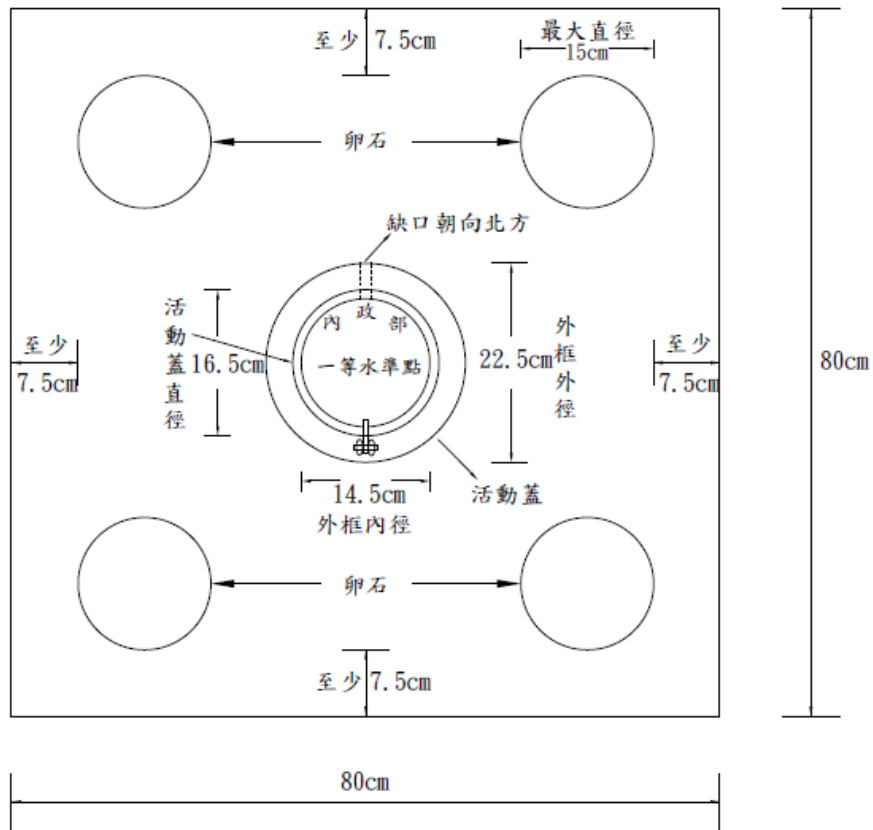
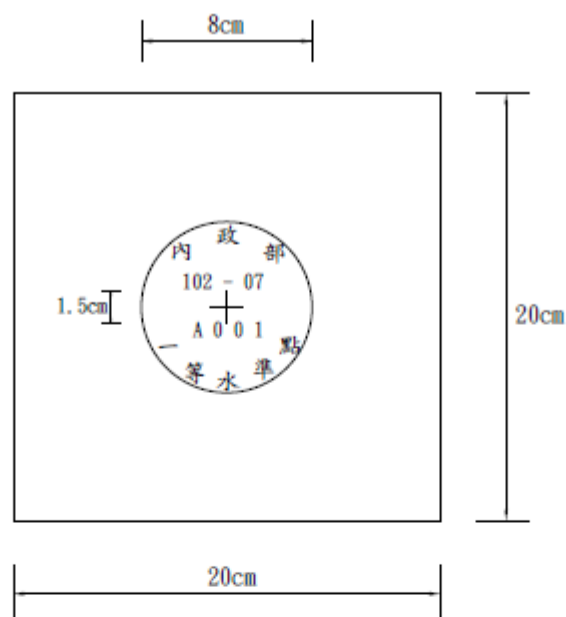


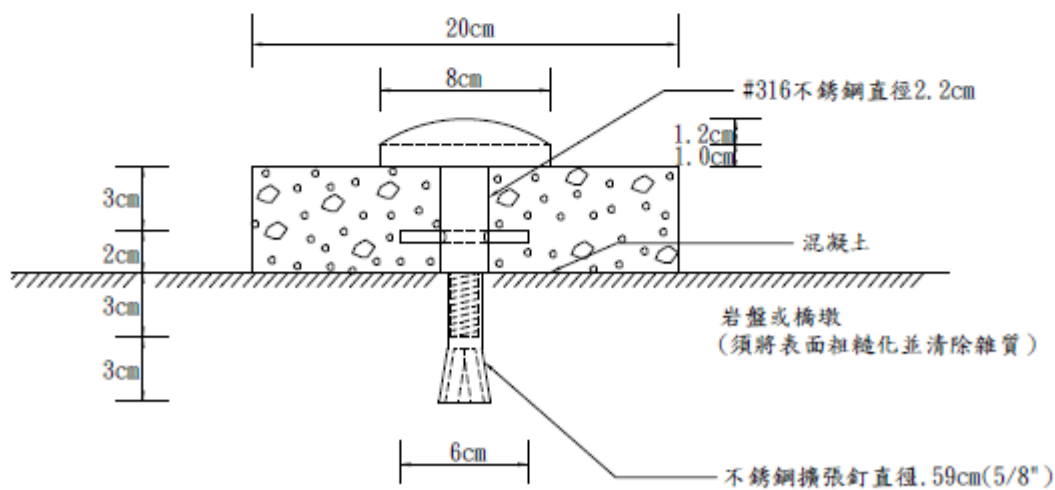
圖 2-3 一般地面一等水準點埋設正視圖



圖 2-4 一般地面一等水準點埋設結果



正視圖



側視圖

圖 2-5 岩盤及橋樑一等水準點埋設方式

第二節 正高系統

一、高程基準

按基本測量實施規則第 7 條第 1 項規定，中央主管機關應選定潮位站及水準原點作為高程基準，並將其測量成果作為訂定高程系統之依據。現行臺灣本島之高程基準說明如下：

(一) 潮位站：81 年交通部於基隆港西岸 33 號碼頭旁（光華塔西側）建置之潮位站。

(二) 水準原點

1. 水準原點 K999：91 年，內政部於基隆海門公園內新建「水準原點」，採雙水準原點設計，一為主點（點號：K999）以不銹鋼棒接續方式植入地下 17.5 公尺；另一為副點（點號：K998）以花崗石埋設。103 年「水準原點」遷移重建後，本點位不再作為水準原點，改為高程基準網之高程基準點使用。

2. 水準原點 K997：103 年，內政部依國土測繪法第 12 條第 1 項規定，同意配合交通部新建道路工程需要，於基隆國立海洋科技博物館附近基隆市「原點公園」內重建「水準原點」，本點位亦採雙水準原點設計，一為主點（點號：K997）以不銹鋼棒接續方式植入地下 14.6 公尺；另一為副點（點號：K996）以花崗石埋設於地面，便利各界引測。

(三) 高程基準網：建置作為聯繫潮位站、水準原點（正、副點）之高精度水準點觀測網，以確定潮位站附近區域地殼的穩定。

二、高程系統

按基本測量實施規則第 7 條第 2 項規定，基本控制測量之正高值計算，應以中央主管機關所定之高程系統為依據，並以二〇〇一高程系統（TWVD2001）命名，其說明如下：

- (一) TWVD2001 (TaiWan Vertical Datum 2001) 屬正高系統，係以平均海水面作為高程起算之參考基準面。
- (二) 現行臺灣本島之平均海水面，係定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境情況下，並採用基隆潮位站 1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得。

三、臺灣本島一等水準點歷年公告正高

臺灣本島一等水準點自 TWVD2001 公布之後，計公告 5 次成果，其中第 1 次及第 2 次分別公告一等一級與一等二級水準測量成果（以下統稱第 1 次公告成果），第 3 次至第 5 次是公告檢測成果（以下分別統稱第 1 次至第 3 次檢測成果），各次公告資料簡述如下：

- (一) 91 年 5 月 8 日公告一等一級水準測量成果：共有 1,010 個新設一等水準點，加上連測之重力觀測點與基隆水準原點，共有 1,020 個點位，並以距離給權方式，進行一等一級水準網最小約制網平差（固定點 K999），另連測之舊有水準點 319 點，則強制附合於新點上，得到平差結果。
- (二) 92 年 11 月 11 日公告一等二級水準測量成果：依附於一等一級水準測量成果，以 K999 等 20 個節點為約制點，進行一等二級水準網之水準測量平差計算工作，臺灣一等二級水準網共有 1,055 個新設一等水準點，加上連測 4 個重力觀測點、1 個基隆水準原點、39 個一等一級水準點以及 38 個舊有水準點，共有 1,137 個點位，並以距離給權方式，進行一等二級水準網附合約制網平差（包括水準原點 K999 在內，共約制 20 個一等一級水準點之先驗資訊，其餘 20 個一等一級水準點，則視為新點），得到平差結果。
- (三) 98 年 3 月 10 日公告臺灣一等水準網水準測量成果：臺灣一等水準網共有 2,065 個一等水準點，加上新設一等水準點、連測之潮位站水準點、重力觀測點與基隆水準原點、副點，共有 2,084 個點位，並以距離給權方式，進行一等

水準網最小約制網平差(固定點 K999),另連測之內政部舊有水準點 90 點、中央研究院水準點 119 點、經濟部中央地質調查所水準點 146 點,強制附合於一等水準網上,得到平差結果。

(四) 105 年 4 月 12 日公告臺灣一等水準網水準測量成果:完成檢測 2,140 個一等水準點(其中 75 點採共用中央研究院的精密水準點及中央地質調查所的地殼變動監測點;另連測包含基隆水準原點及副點 3 點,及內政部舊有水準點 62 點、潮位站水準點 3 點、高程基準點 2 點、中央研究院水準點 83 點、中央地質調查所水準點 422 點,合計 575 點。爰本次水準網水準點位(含一等水準點及連測水準點合計 2,715 點,並以距離給權方式,進行最小約制網平差(固定點 K999)納入全網計算,得到平差結果。

(五) 111 年 8 月 4 日公告臺灣一等水準網水準測量成果:完成檢測 1,965 個一等水準點(其中 57 點採共用中央研究院的精密水準點或經濟部中央地質調查所的地殼變動監測點);另包含基隆水準原點及副點 3 點,及連測內政部舊有水準點 58 點、潮位站水準點 3 點、中央研究院水準點 71 點、經濟部中央地質調查所水準點 430 點(合計 565 點),並以測段距離倒數為權值方式,進行最小約制網平差(固定點 K997),納入全網計算,得到平差結果。

四、臺灣本島一等水準點歷年正高變化情形

臺灣本島一等水準點計有第 1 次公告成果及第 1 次至第 3 次檢測成果等 4 次公告正高成果,其中第 1 次檢測成果與第 1 次公告成果、第 2 次檢測成果與第 1 次檢測成果、第 3 次檢測成果與第 2 次檢測成果之較差如圖 2-6 至圖 2-8。

圖 2-6 為第 1 次檢測成果與第 1 次公告成果正高較差圖,兩者觀測時間差距約 6 年,正高差值在-0.4 公尺至 0.2 公尺之間,其中臺灣西南部沿海因地層下陷影響,正高較差為負值,

中央山脈及花東海岸山脈因板塊擠壓影響，正高較差為正值，其餘地區則無明顯變化。

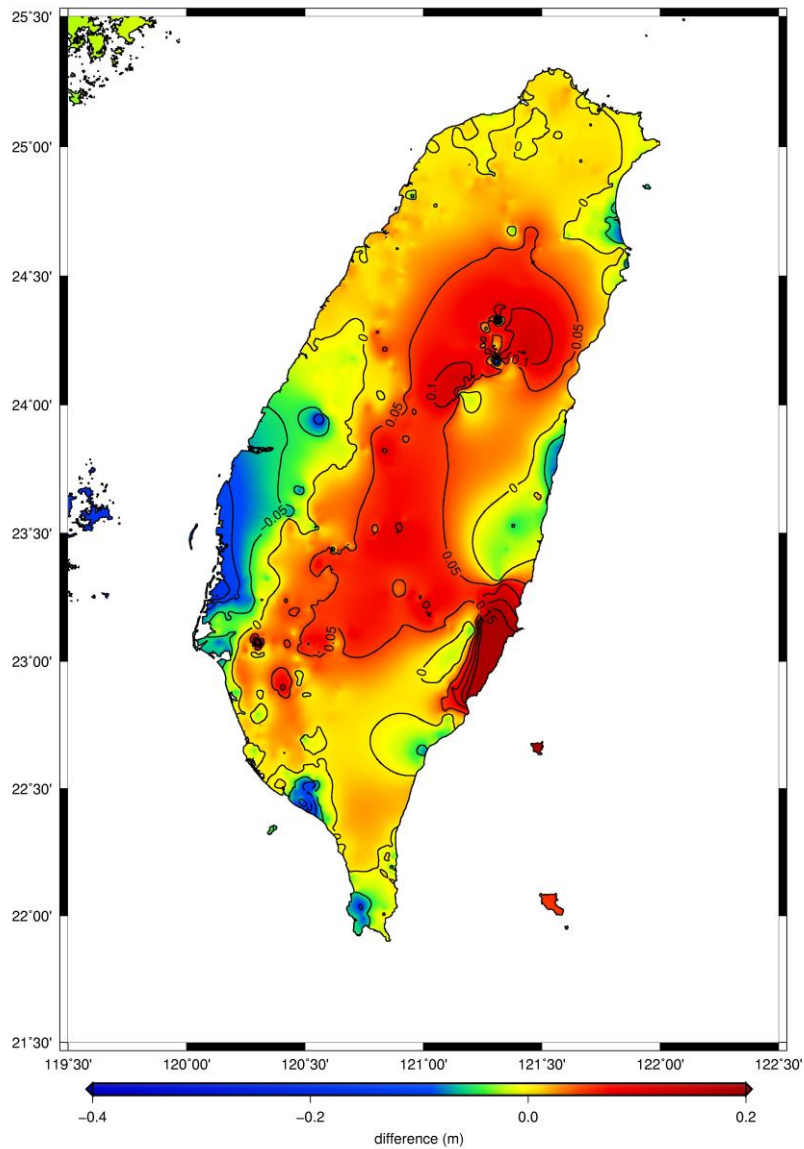


圖 2-6 一等水準點第 1 次檢測與第 1 次公告正高較差圖

圖 2-7 為第 2 次檢測成果與第 1 次檢測成果正高較差圖，兩者觀測時間差距約 7 年，正高差值在-0.4 公尺至 0.2 公尺之間，其中臺灣西南部沿海因地層下陷影響，中橫及南橫公路部分地區可能因部分點位埋設於路邊山坡，受山坡滑動影響，正高較差為負值，中央山脈及花東海岸山脈因板塊擠壓影響，正高較差為正值，其餘地區則無明顯變化。

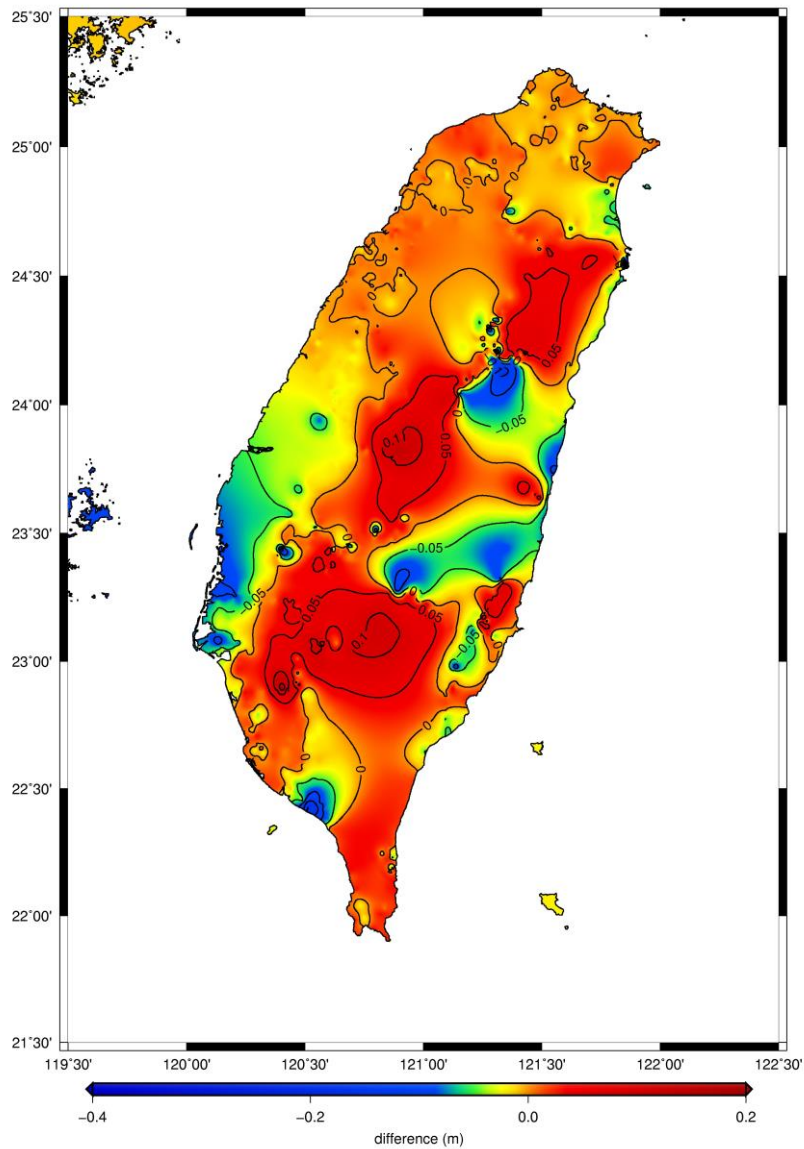


圖 2-7 一等水準點第 2 次檢測與第 1 次檢測正高較差圖

圖 2-8 為第 3 次檢測成果與第 2 次檢測成果正高較差圖，兩者觀測時間差距約 6 年，正高差值在-0.4 公尺至 0.2 公尺之間，其中臺灣西南部沿海因地層下陷影響，中橫及南橫公路部分地區可能因部分點位埋設於路邊山坡，受山坡滑動影響，正高較差為負值，中央山脈及花東海岸山脈因板塊擠壓影響，正高較差為正值，其餘地區則無明顯變化。

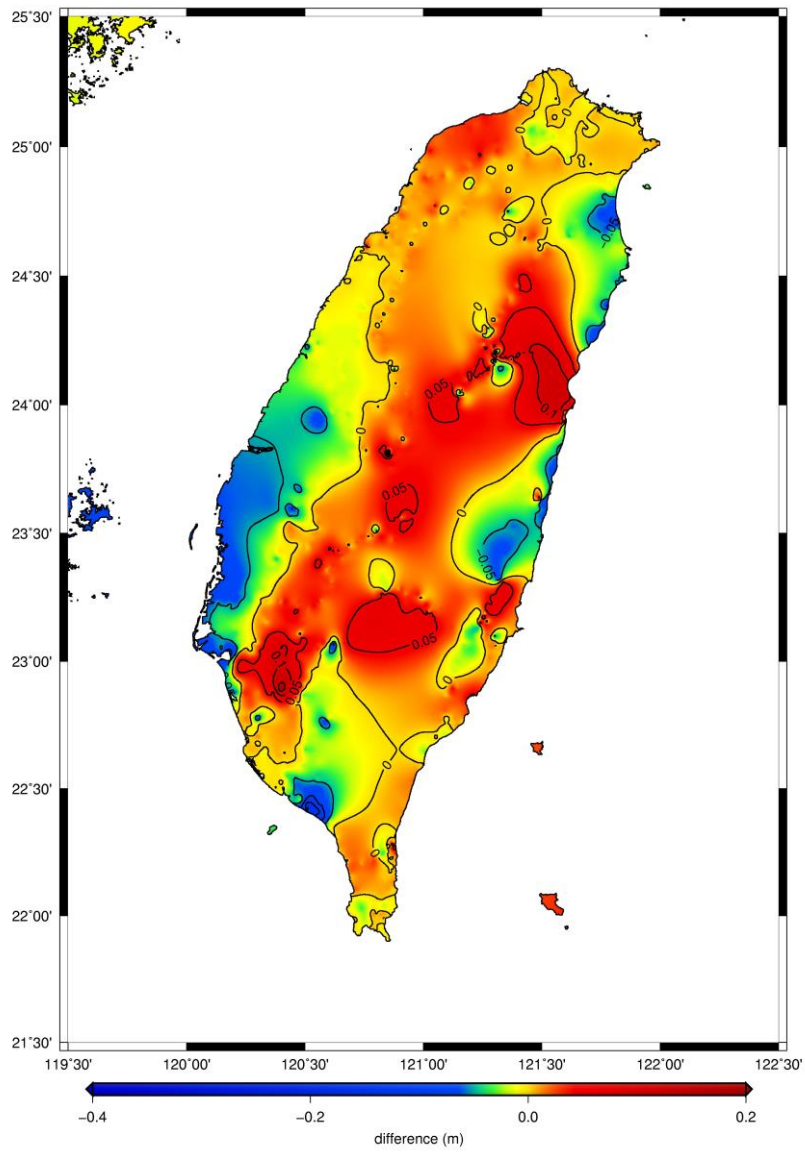


圖 2-8 一等水準點第 3 次檢測與第 2 次檢測正高較差圖

第三節 橢球高系統

一、TWD97 坐標系統

內政部於 69 年公布檢測之控制點已陸續遺失、毀損情形嚴重，各單位因業務需要，零星補建，缺乏整體規劃，且精度不一。故為建立完整、統一、高精度之基本控制點系統，自 82 年起應用高精度全球定位系統測量技術，迄 86 年止共建立 8 個衛星追蹤站及 105 個一等衛星點及 622 個二等衛星點，以供各界應用。該系統定名為一九九七臺灣地區大地基準，簡稱 TWD97，由內政部以 87 年 3 月 17 日台(87)內地字第 8781107 號函訂定，採用之測量基準如下：

- (一) 採用國際地球參考框架 (International Terrestrial Reference Frame, ITRF)。ITRF 為利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心坐標系統，其方位採國際時間局 (Bureau International de l'Heure, BIH) 定義在 1984.0 時刻之方位。
- (二) 參考橢球體採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學會 (International Union of Geodesy and geophysics, IUGG) 公布之 GRS80 參考橢球體，其橢球參數如下：
長半徑： $a = 6378137$ 公尺
扁率： $f = 1/298.257222101$
- (三) 採用橫梅氏投影經差二度分帶，其中央子午線為東經 121 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999；另澎湖、金門及馬祖等地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中央子午線定於東經 119 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。
- (四) 地籍坐標系統及 TWD67 坐標系統因早期測量技術及點位遺失率高等因素影響，於進行後續加密控制測量時，常發現較大之網形張力，影響成果精度。且 88 年九二一大地

震後，中部地區三角點多已位移，無法再提供應用，內政部遂以 90 年 5 月 2 日台內地字第 9060856 號令發布關於地籍測量實施規則第 4 條之測量基準，採用 TWD97 系統。

二、TWD97[2010]坐標系統

自內政部 87 年公布衛星追蹤站及各級控制點 TWD97 坐標已歷經 10 餘年，有鑑於臺灣地區位於地殼板塊碰撞劇烈地帶，部分地區點位已產生明顯位移，致套合引用有實務上困難，無法符合目前測繪作業之精度需求，故針對大地基準及坐標系統是否變動或更新等議題，由內政部於 98 年 10 月起邀集專家學者召開「大地基準及坐標系統更新維護機制」會議討論，確認點位成果及基準框架繼續採用一九九七坐標系統（TWD97），並於 101 年 3 月 30 日台內地字第 1010137288 號公告大地基準及一九九七坐標系統 2010 年成果（簡稱 TWD97[2010]）。其測量基準定義均與 TWD97 相同，惟套合至國際固定站之 2010.0 時刻成果。

三、TWD97[2020]坐標系統

考量 101 年公告之衛星追蹤站及各級控制點 TWD97[2010] 坐標成果已逾數年，其間因地殼板塊移動產生地殼變動、地震及天然災害等影響，長時間累積下，部分地區點位已產生明顯之位移，已無法符合測繪作業之精度需求，故內政部以 109 年 8 月 10 日台內地字第 1090263608 號公告內政部基本測量 2020 年成果（簡稱 TWD97[2020]）。其測量基準定義均與 TWD97 相同，惟國際地球參考框架改採 ITRF2014，套合至國際固定站之 2020.0 時刻成果。

四、臺灣本島一等水準點橢球高

臺灣本島一等水準點橢球高配合前述坐標系統，分別測設 TWD97、TWD97[2010]及 TWD97[2020]橢球高，各坐標系統橢球高資料簡述如下：

- (一) TWD97 橢球高：內政部於一等一級與一等二級水準網測量作業期間，同時辦理 2,103 點一等水準點及其他點位衛星定位測量，作業方式依三等控制點規範進行施測，故點位可作為三等控制點使用，作業成果併同 91 年 5 月 8 日及 92 年 11 月 11 日公告一等一級與一等二級水準測量成果時提供各界參考應用。
- (二) TWD97[2010]橢球高：本中心依據內政部 101 年公告之 TWD97[2010]成果，於 101 年以本中心「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」有關加密控制點測設相關規定，辦理臺灣本島一等水準點 e-GPS 測量工作，測量 1,991 點一等水準點加密控制測量等級精度 TWD97[2010]成果供各界參考使用。
- (三) TWD97[2020]橢球高：
1. 本中心依據內政部 109 年公告之 TWD97[2020]成果，於 110 年至 111 年辦理 2,122 點一等水準點 3 小時靜態衛星定位測量工作，其中有 63 點因透空不良無法計算，229 點位於 111 年 9 月 17 及 18 日花東地震災區範圍內，因測量成果已變動不予計算，1,797 點以衛星定位測量方式計算，33 點採電子經緯儀進行地面輔助測量辦理，總計獲得 1,830 點 TWD97[2020]成果供各界參考使用。
 2. 111 年 9 月 17 及 18 日花東地震均造成地表位移量甚大，已影響花蓮及臺東地區基本控制點成果精度品質，故本中心於 111 年 9 月 30 日至 12 月 20 日辦理 381 點基本控制點 4 小時靜態衛星定位測量工作，獲得 159 點一等水準點 TWD97[2020]成果，經內政部 112 年 5 月 1 日台內地字第 1120262551 號公告各界參考應用。

五、臺灣本島一等水準點橢球高變化情形

臺灣本島一等水準點各有 1 次 TWD97、TWD97[2010]及 TWD97[2020]橢球高成果，惟 TWD97[2020]與 TWD97、TWD97[2010]採用不同的國際地球參考框架，TWD97[2020]採用 ITRF2014，TWD97 與 TWD97[2010]採用 ITRF94，不同參考框架下是否會造成橢球高影響，挑選臺灣 6 個追蹤站在 TWD97[2020]坐標系統下透過參考框架轉換，將 ITRF2014 轉為 ITRF94 參考框架，比較橢球高的差異，惟經過框架轉換後，實近乎僅 1 公分的影響，顯示臺灣目前的坐標系統在不同的國際參考框架下，對於橢球高的影響甚小，各點結果如表 2-1。

表 2-1 不同 ITRF 框架橢球高差異

追蹤站站名	ITRF2014	ITRF94	較差(m)
陽明山 (YMSM)	783.940	783.928	0.012
竹南 (JUNA)	45.430	45.419	0.011
測繪中心 (LSB0)	121.802	121.792	0.010
成大測量 (CKSV)	59.653	59.644	0.009
太麻里 (TMAM)	58.734	58.726	0.009
北港 (PKG M)	42.588	42.579	0.010

TWD97、TWD97[2010]及 TWD97[2020]歷次坐標系統約制的國際固定站也不盡相同，如 TWD97[2010]約制 COCO、GUAM、SHAO、TSKB 及 WUHN 等 5 個國際 IGS 站，TWD97[2020]約制 BJFS、CUSV、GUAM、PIMO 及 TSKB 等 5 個國際 IGS 站，其中兩次坐標系統中有 GUAM 及 TSKB 站國際 IGS 站相同，惟約制的時刻不同，不同時刻下的 N、E、h 較差值如表 2-2，其中位於日本的國際 IGS 站 TSKB 變動量橢球高差約 0.5 公尺，研判坐標系統的國際約制點對於歷次坐標系統的解算結果影響甚鉅。

表 2-2 TWD97[2010]及 TWD97[2020]約制坐標較差表

IGS 站名	N 較差	E 較差	h 較差
GUAM	-0.029	0.012	-0.009
TSKB	0.004	0.263	-0.506

圖 2-9 至圖 2-11 分別為一等水準點 TWD97[2010]與 TWD97 橢球高較差圖、TWD97[2020]與 TWD97[2010]橢球高較差圖及 TWD97[2020]與 TWD97 橢球高較差圖，觀測時間差距分別約 10 年、10 年及 20 年，橢球高差值在-1.4 公尺至 1.2 公尺之間，橢球高變化情形與正高變化情形大致相符。惟受坐標框架及衛星定位測量高程精度影響，橢球高差在量級上明顯大於正高差。

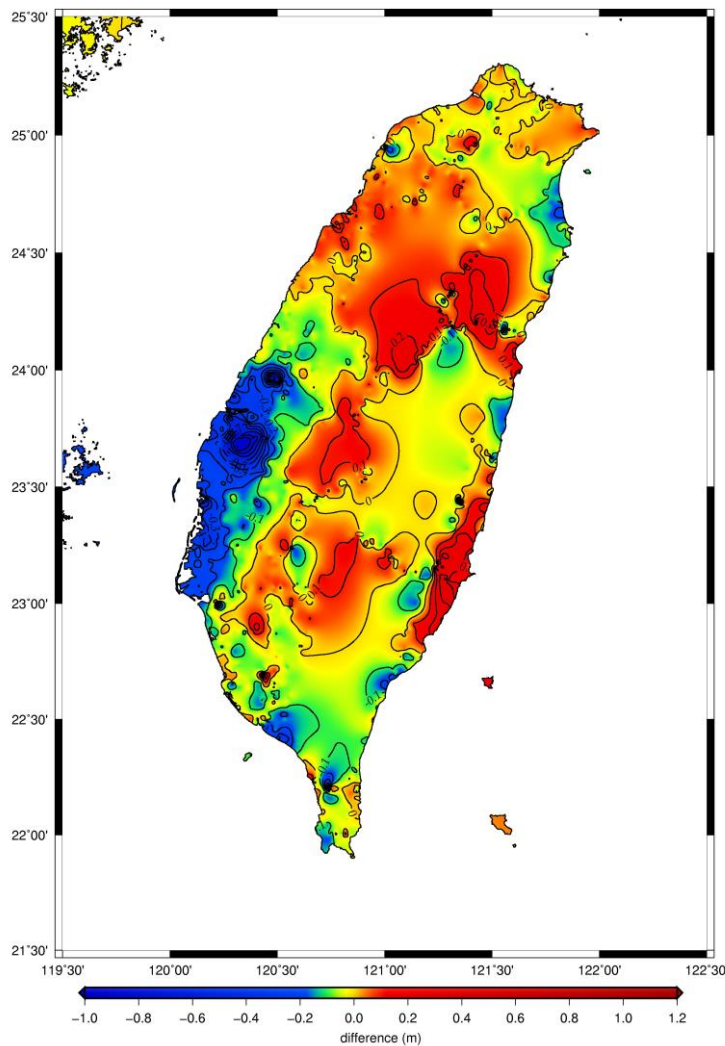


圖 2-9 一等水準點 TWD97[2010]與 TWD97 橢球高較差圖

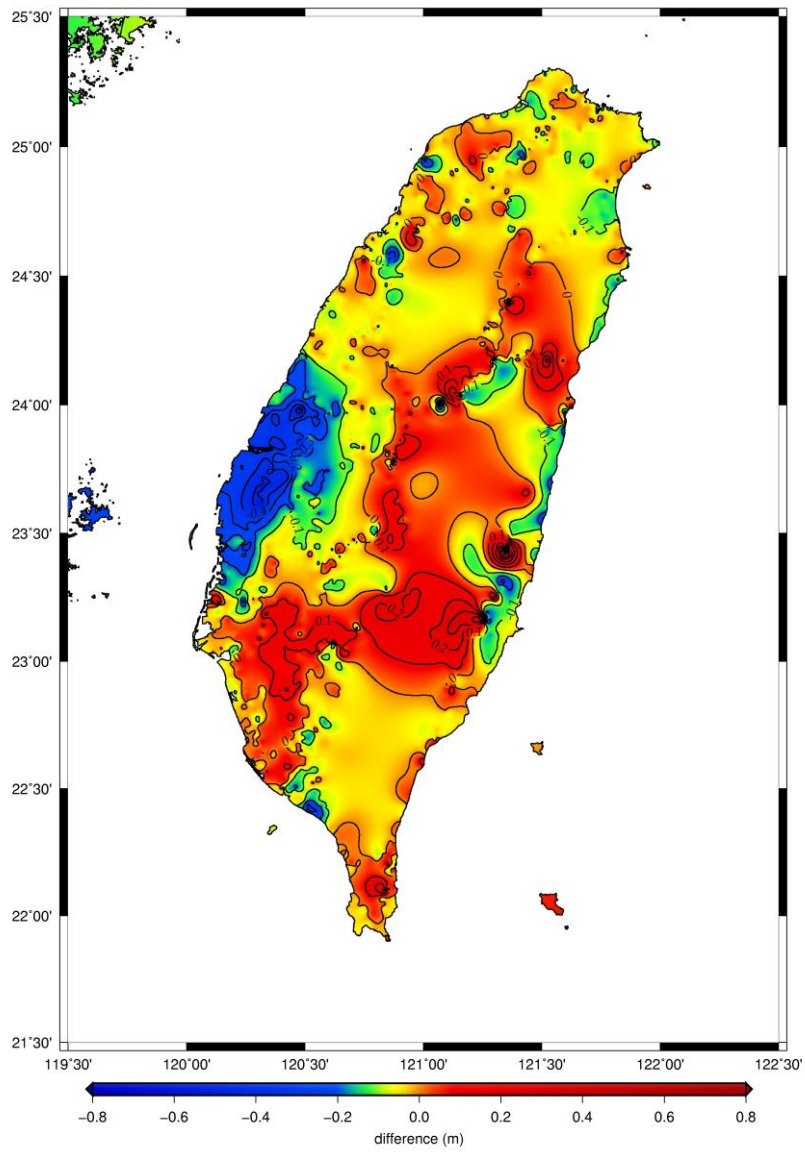


圖 2-10 一等水準點 TWD97[2020]與 TWD97[2010]橢球高較差圖

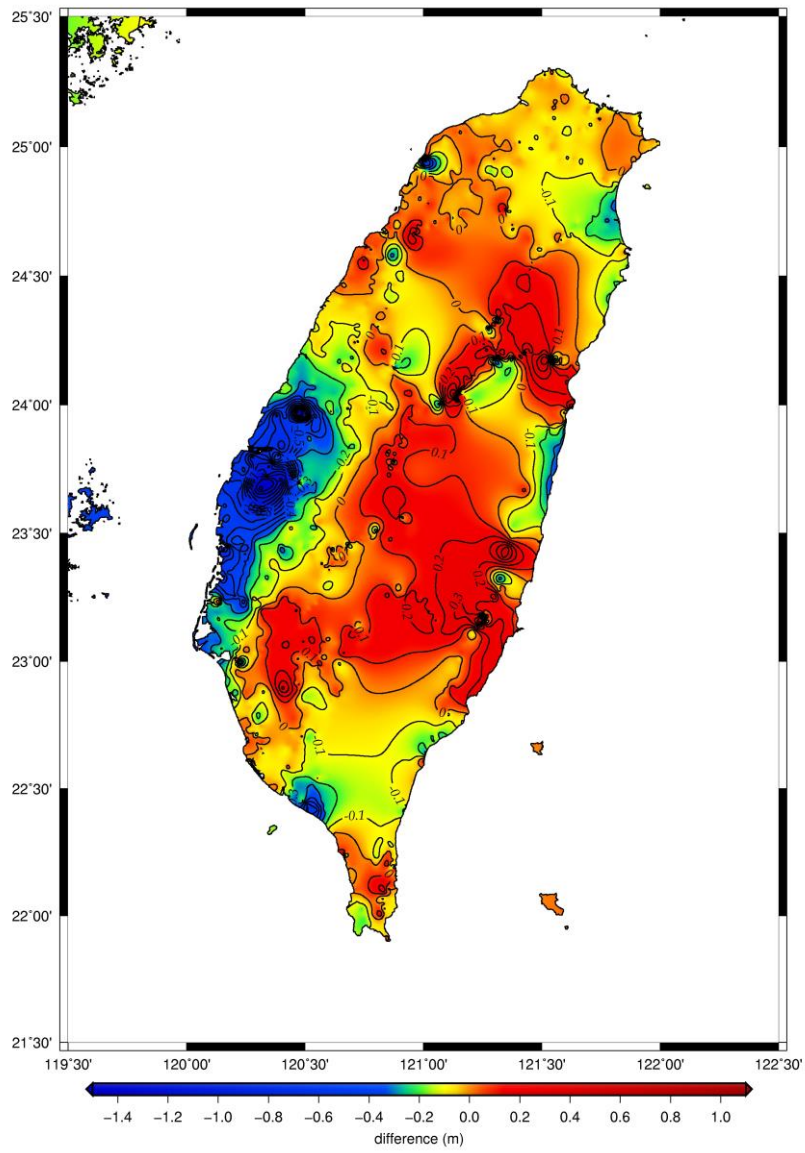


圖 2-11 一等水準點 TWD97[2020]與 TWD97 橢球高較差圖

第三章 研究方法與結果

第一節 研究方法

本研究主題包括橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性及不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響等 2 項，研究方法說明如下：

一、橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性

使用本中心於 104 年至 111 年期間，每年上半年辦理 1 次約 80 點均勻分布於臺灣本島之一等水準點 6 小時靜態衛星觀測資料（以下統稱一等水準點 6 小時資料，點位分布情形如圖 3-1，觀測點位以水準節點及均勻分布為優先考量），以 Bernese 軟體計算其相對於金門（KMNM）衛星追蹤站之橢球高變化，建立一等水準點橢球高速度場，並以一等水準點 105 年第 2 次及 111 年第 3 次檢測正高成果作為驗證，以消除點位位置及觀測時間不同對成果的影響，比較分析同一點位正高較差與橢球高速度場估算之橢球高差異，評估以橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性。

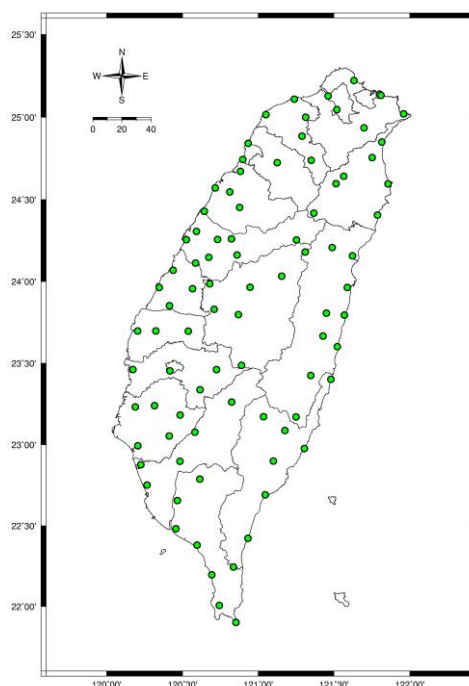


圖 3-1 一等水準點 6 小時資料點位分布圖

考量建立一等水準點橢球高速度場之資料量較少，其計算成果可靠性較低，本研究挑選臺灣本島北部陽明山 (YMSM)、中部竹南 (JUNA) 及測繪中心 (LSB0)、南部成大測量 (CKSV)、東部太麻里 (TMAM) 與西南部地層下陷區北港 (PKG M) 等 6 個 GNSS 連續站 104 年至 111 年每個月 1 日之衛星觀測資料 (點位分布情形如圖 3-2)，同樣以 Bernese 軟體計算其相對於金門 (KMN M) 衛星追蹤站之橢球高變化，分別以不同週期之資料建立一等水準點橢球高速度場，分析橢球高資料數量對速度場之影響。

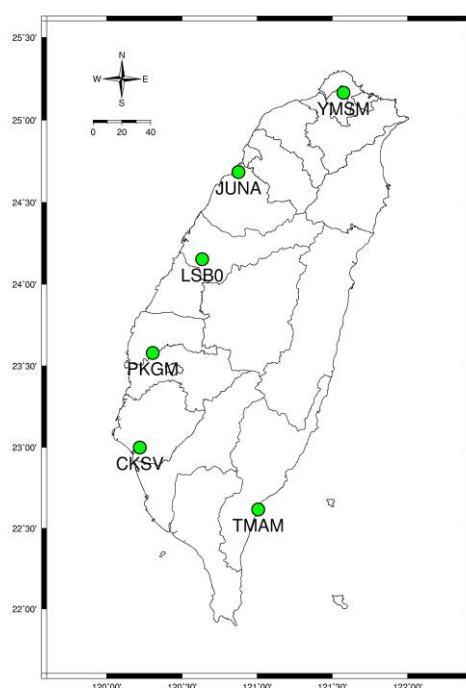


圖 3-2 6 個 GNSS 連續站點位分布圖

二、不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響

內政部於 103 年 6 月 4 日公告 103 年臺灣地區大地起伏模型，係以重力法大地起伏模型為基礎，使用第 1 次公告成果正高與 TWD97 橢球高建置之混合法大地起伏模型。考量 TWD97[2020]與 TWD97 因國際地球參考框架與約制國際追蹤站有所差異，本研究將一等水準點 TWD97[2020]成果透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換為正高，再與第 3 次檢測成果正高比較計算轉換精度。

本研究另以 103 年臺灣地區大地起伏模型使用之重力法大地起伏模型，搭配一等水準點 TWD97[2020]橢球高及第 3 次檢測成果正高建置混合法大地起伏模型，建置模型時將一等水準點 6 小時資料點位作為轉換精度驗證點，不納入建置模型，研究分析透過 TWD97 與 TWD97[2020]橢球高建置混合法大地起伏模型計算正高之精度差異。

第二節 橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性

有關橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性研究流程如圖 3-3，研究項目包括觀測資料蒐集、計算橢球高成果、計算橢球高速度場、分析速度場計算方法可靠性、分析橢球高速度場內部精度及分析橢球高速度場取代水準測量之可行性，各流程研究內容及成果說明如下：

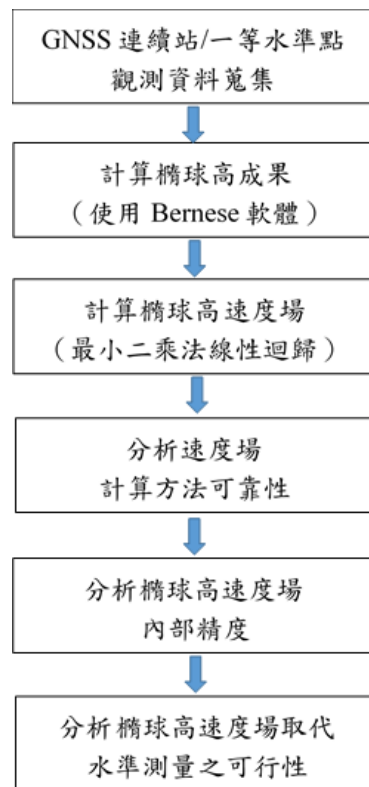


圖 3-3 橢球高速度場取代水準測量可行性研究流程圖

一、觀測資料蒐集

蒐集臺灣本島一等水準點歷年公告正高與橢球高成果，包括 91 年 5 月 8 日及 92 年 11 月 11 日第 1 次公告一等水準點正高與 TWD97 成果，98 年 3 月 10 日、105 年 4 月 12 日及 111 年 8 月 4 日公告一等水準點第 1 次、第 2 次及第 3 次檢測成果，本中心 111 年一等水準點衛星定位測量 TWD97[2020]成果。

蒐集金門衛星追蹤站 (KMNM) 及臺灣本島北部陽明山 (YMSM)、中部竹南 (JUNA) 及測繪中心 (LSB0)、南部成大測

量 (CKSV)、東部太麻里 (TMAM) 與西南部地層下陷區北港 (PKGM) 等 6 個 GNSS 連續站 104 年至 111 年每個月 1 日之衛星觀測資料。

整理本中心於 104 年至 111 年期間，每年辦理 1 次 87 點均勻分布於臺灣本島之一等水準點 6 小時靜態衛星觀測資料。

二、計算橢球高成果

使用 Bernese 軟體計算陽明山 (YMSM)、竹南 (JUNA) 測繪中心 (LSB0)、成大測量 (CKSV)、太麻里 (TMAM) 與北港 (PKGM) 等 6 個 GNSS 連續站及一等水準點 6 小時資料最小約制於金門衛星追蹤站 (KMNM) TWD97[2020] 坐標，以獲得 TWD97[2020] 橢球高，計算流程圖如圖 3-4。

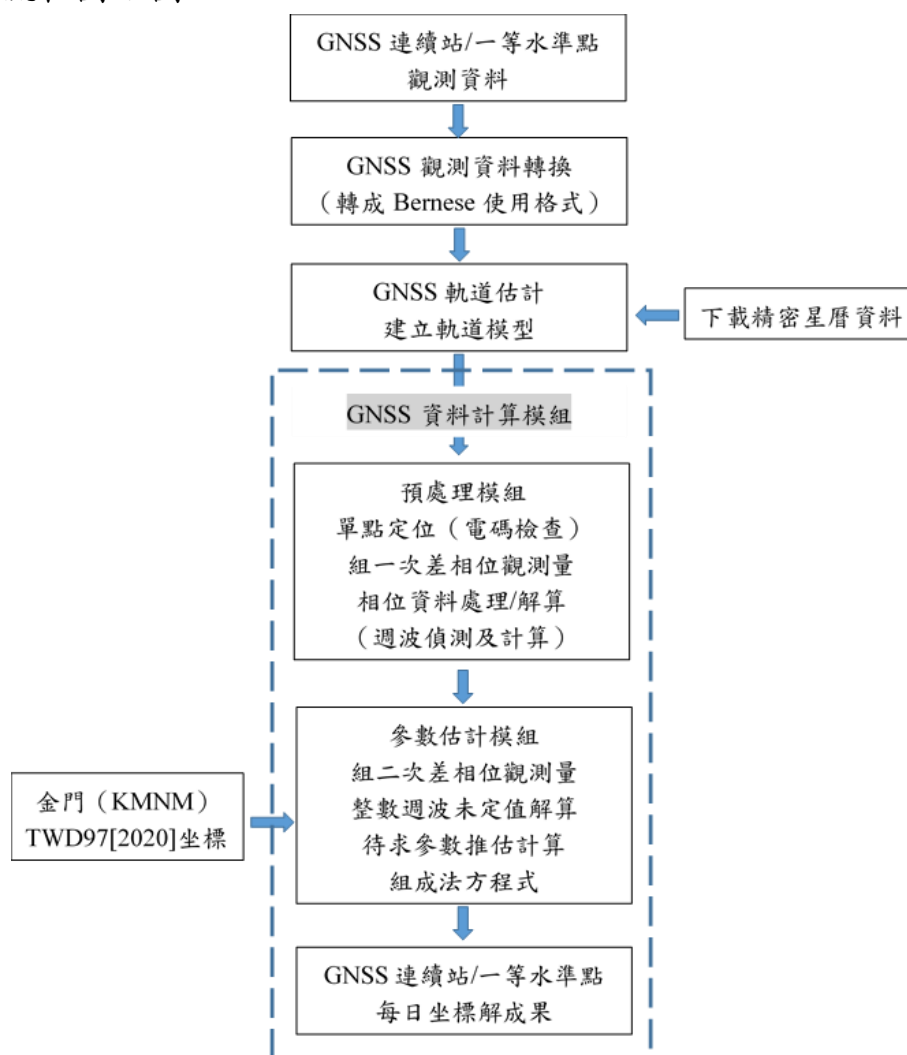


圖 3-4 GNSS 連續站及一等水準點橢球高計算流程圖

因一等水準點 6 小時資料觀測時間為 104 年至 111 年，期間部分點位如因故遺失或損毀，則改挑選其鄰近透空較好之點位替代，故點位最多觀測次數為 8 次，部分點位觀測次數未達 3 次，計算成果示意圖如圖 3-5。

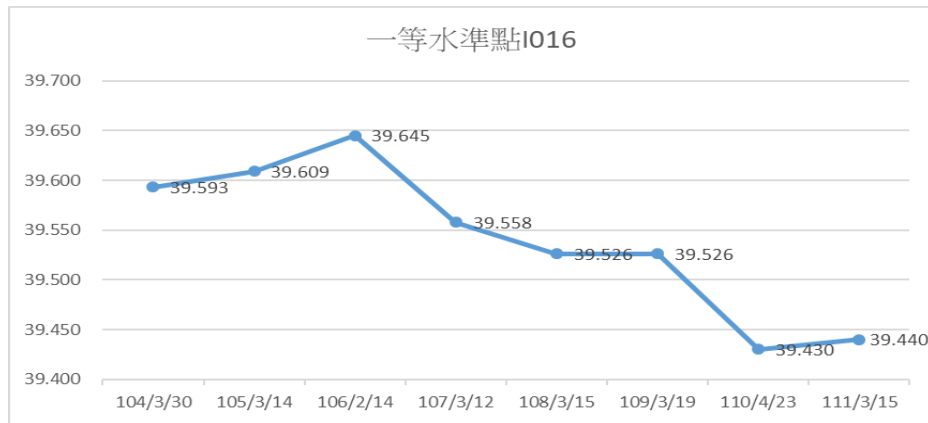


圖 3-5 一等水準點橢球高計算成果示意圖

三、計算橢球高速度場

將各一等水準點 104 年至 111 年計算之橢球高，採用最小二乘法分別對各點位 TWD97[2020]橢球高進行線性迴歸求解速度場，計算公式如 3-1 式，其中未知數為 y_0 (截距) 及 v (速度場)，故每個點位至少須有 3 筆觀測資料才可求解，點位橢球高線性迴歸計算範例如圖 3-6，其中求得之速度場單位為 m/day，各點位求得之速度場 (化算為 mm/yr) 如圖 3-7。

$$y(\Delta t) = y_0 + v \cdot \Delta t \quad (3-1)$$

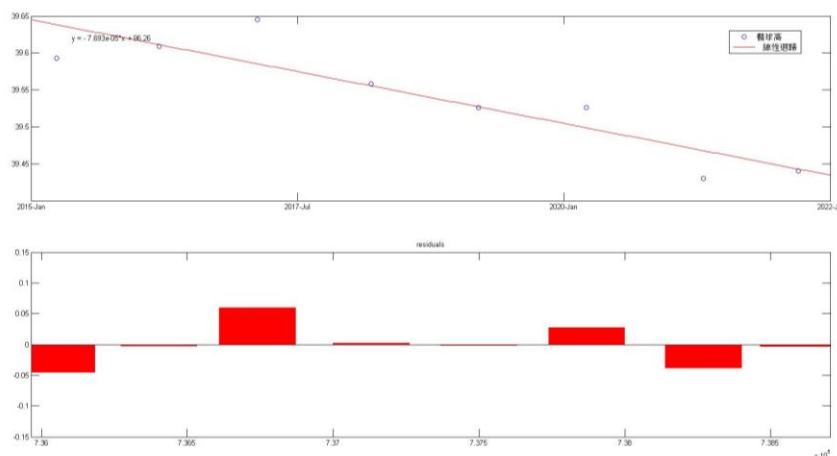


圖 3-6 橢球高速度場線性迴歸示意圖

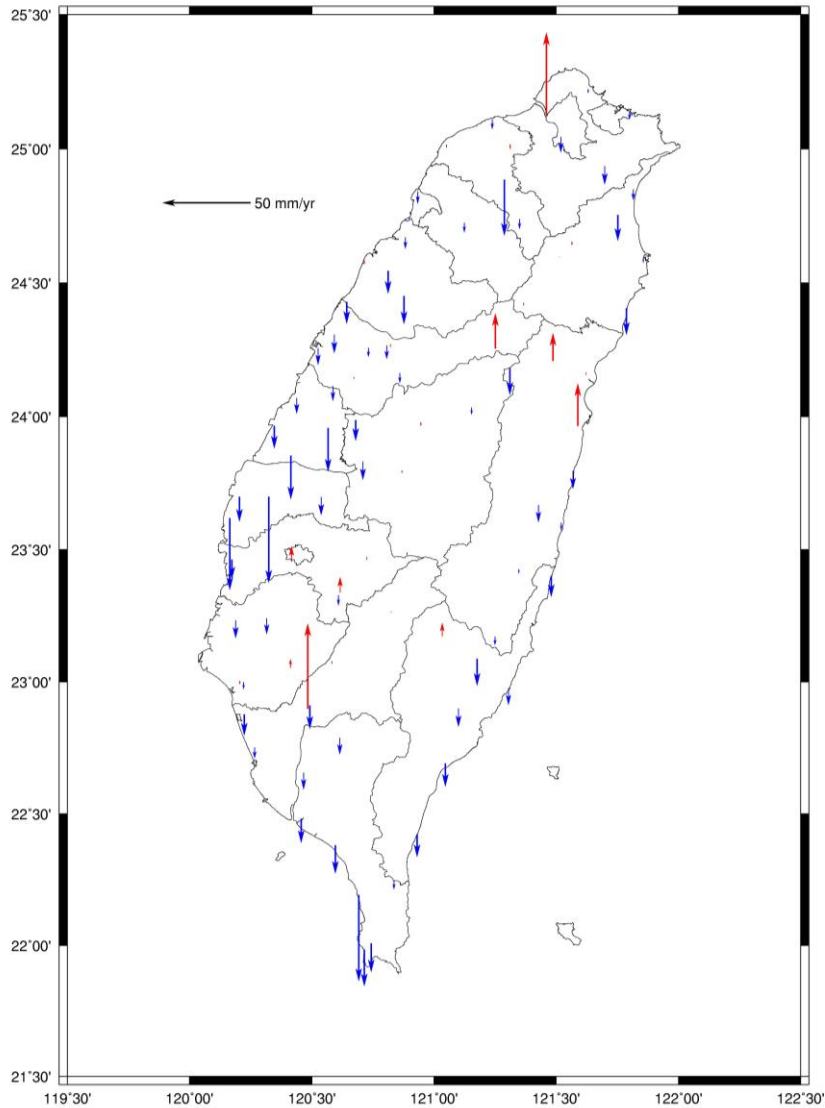


圖 3-7 一等水準點橢球高速度場計算結果

四、分析速度場計算方法可靠性

使用 6 個 GNSS 連續站 104 年至 111 年每個月 1 日之衛星觀測資料計算橢球高，總計可獲得 96 筆計算成果。為分析橢球高資料筆數對估算速度場之影響，分別以每月 1 日、每季（1、4、7、10 月）1 日及每年（1 月）1 日之橢球高進行線性迴歸，估算 6 個 GNSS 連續站年估（96 筆資料）、季估（24 筆資料）及月估（8 筆資料）橢球高速度場如表 3-1，數據顯示 3 者估算之橢球高速度場大致相符，若僅看年估及月估橢球高速度場，最大差異量為 0.750mm/yr，表示以 8 筆資料月估速度場應為可靠。

表 3-1 GNSS 連續站估算橢球高速度場彙整表

站名	年估速度場(mm/yr)	季估速度場(mm/yr)	月估速度場(mm/yr)
CKSV	3.288	3.369	3.465
JUNA	-1.198	-2.389	-1.749
LSB0	-4.924	-4.145	-4.174
TMAM	-5.087	-5.933	-5.359
YMSM	-1.225	-2.076	-1.290
PKGM	-24.767	-24.789	-24.564

五、分析橢球高速度場內部精度

使用一等水準點 104 年及 111 年計算之橢球高差作為驗證值，比較其與一等水準點橢球高速度場乘以各一等水準點 104 年與 111 年觀測日期間隔天數得到的橢球高之較差，比較結果如表 3-2，較差統計情形如圖 3-8，點位較差如圖 3-9，其較差表示各點位橢球高速度場估算 104 年至 111 年之橢球高差，與 104 年及 111 年實際計算橢球高之差異，差值越小代表該點位橢球高速度場計算結果與實際橢球高變化情形越相符。

比較結果顯示，較差最大值為 7.5 公分，最小值為-9.1 公分，平均值為-0.3 公分，中誤差為 3.3 公分，均方根誤差為 3.3 公分，大部分點位較差值落在±5 公分之間，其較差與衛星定位測量橢球高精度大致相符。在點位分布情形上，臺灣本島西南部地層下陷區點位較差值無顯著趨勢，較差值較大點位經檢視點位現況後，發現大多為透空較差之點位（如圖 3-10），因點位透空影響橢球高計算成果品質，進而影響橢球高速度場精度。一等水準點主要提供正高成果，供各界使用，衛星定位測量所得到橢球高為次要。

表 3-2 橢球高速度場內部精度統計表

估算與實際橢球高差較差(m)	
最大值	0.075
最小值	-0.091
平均值	-0.003
中誤差	0.033
均方根誤差	0.033

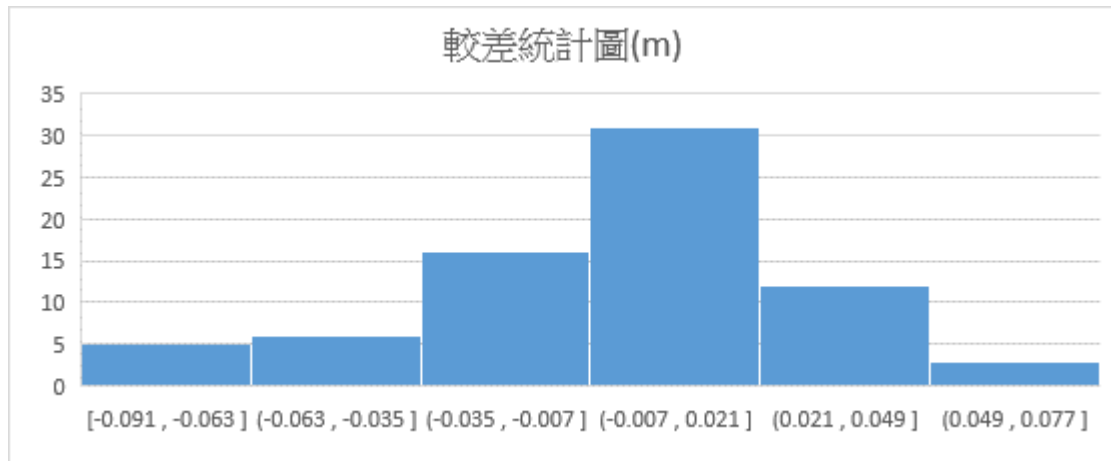


圖 3-8 橢球高速度場內部精度較差統計圖

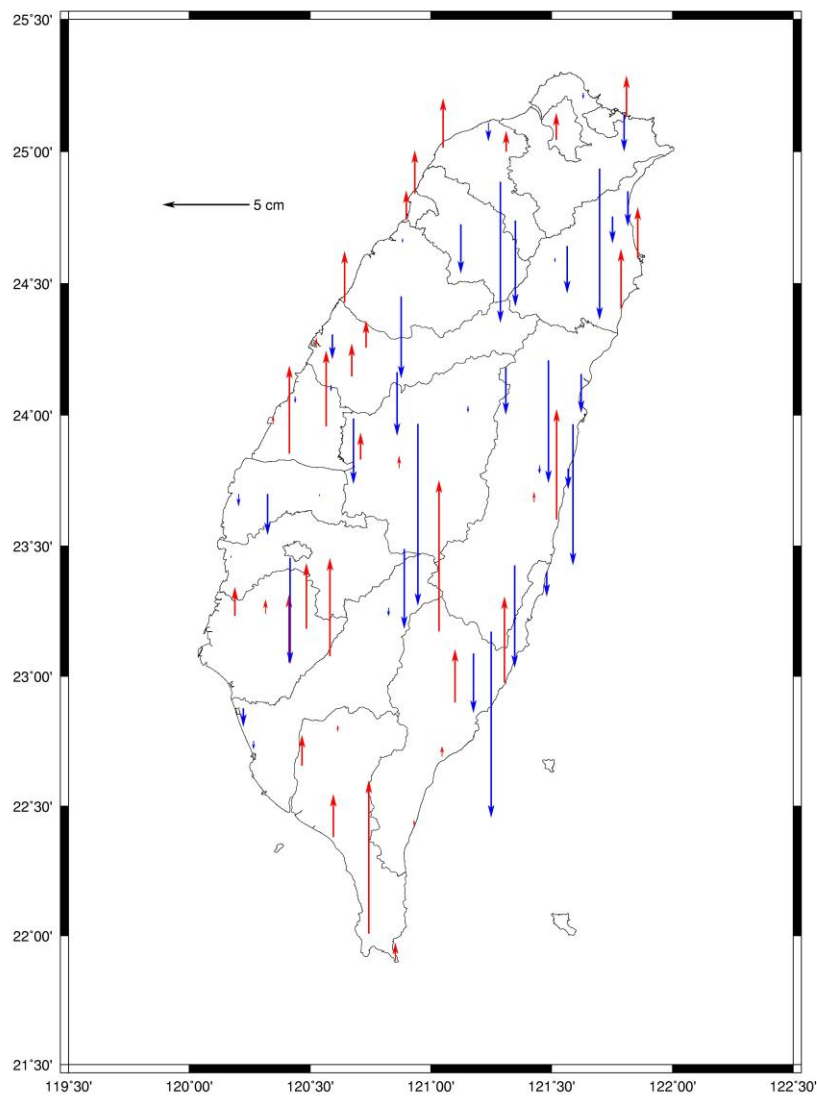


圖 3-9 橢球高速度場內部精度點位較差圖



圖 3-10 點位 X306 (上) 及 X006 (下) 透空環境圖

六、分析橢球高速度場取代水準測量之可行性

使用一等水準點第 3 次檢測與第 2 次檢測之正高差作為驗證值，比較其與一等水準點橢球高速度場乘以各一等水準點第 2 次檢測與第 3 次檢測日期間隔天數得到的橢球高之較差，比較結果如表 3-3，較差統計情形如圖 3-11，點位較差如圖 3-12，因相同點位的大地起伏值是不變的，故可以此橢球高差與正高差之較差，評估橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性。

分析結果顯示，速度場計算橢球高差與 2 次正高檢測高差之較差最大值為 9.8 公分，最小值為-15 公分，平均值為-4 公分，中誤差為 4.4 公分，均方根誤差為 5.9 公分，其較差明顯大於水準測量公厘等級精度需求，研判多筆橢球高資料經過線性迴歸後雖可獲得公厘等級精度之年速度場，但因橢球高計算精度為公分等級，且本研究係使用 104 年至 111 年 8 個年度期間，每年觀測 1 天 6 小時之衛星定位資料，最多計 8 筆橢球高資料推估點位速度場，若其中 1 筆資料品質不好，或點位在 8 個年度期間受地震或板塊運動有較明顯位移，則透過橢球高速度場計算之橢球高差會有較大誤差，故與正高較差亦會有較大差異。

另外本研究結果發現，速度場計算的橢球高變化量大部分均大於正高實際的變化量，研判係因橢球高計算精度不及正高實測數據，故透過橢球高速度場估算的高程變化量會放大所致。

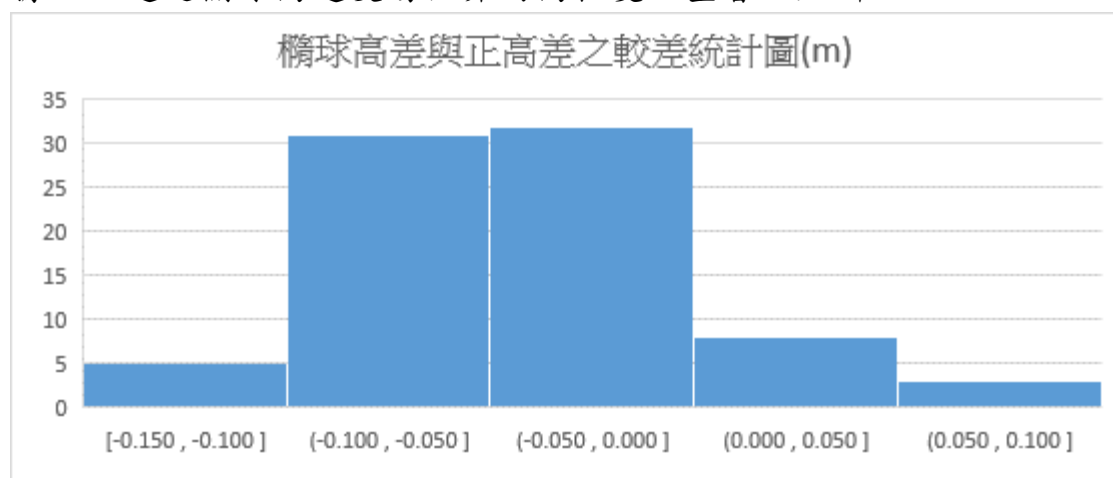


圖 3-11 一等水準點高程較差圖

表 3-3 一等水準點高差較差統計表

橢球高差與正高差之較差(m)	
最大值	0.098
最小值	-0.150
平均值	-0.040
中誤差	0.044
均方根誤差	0.059

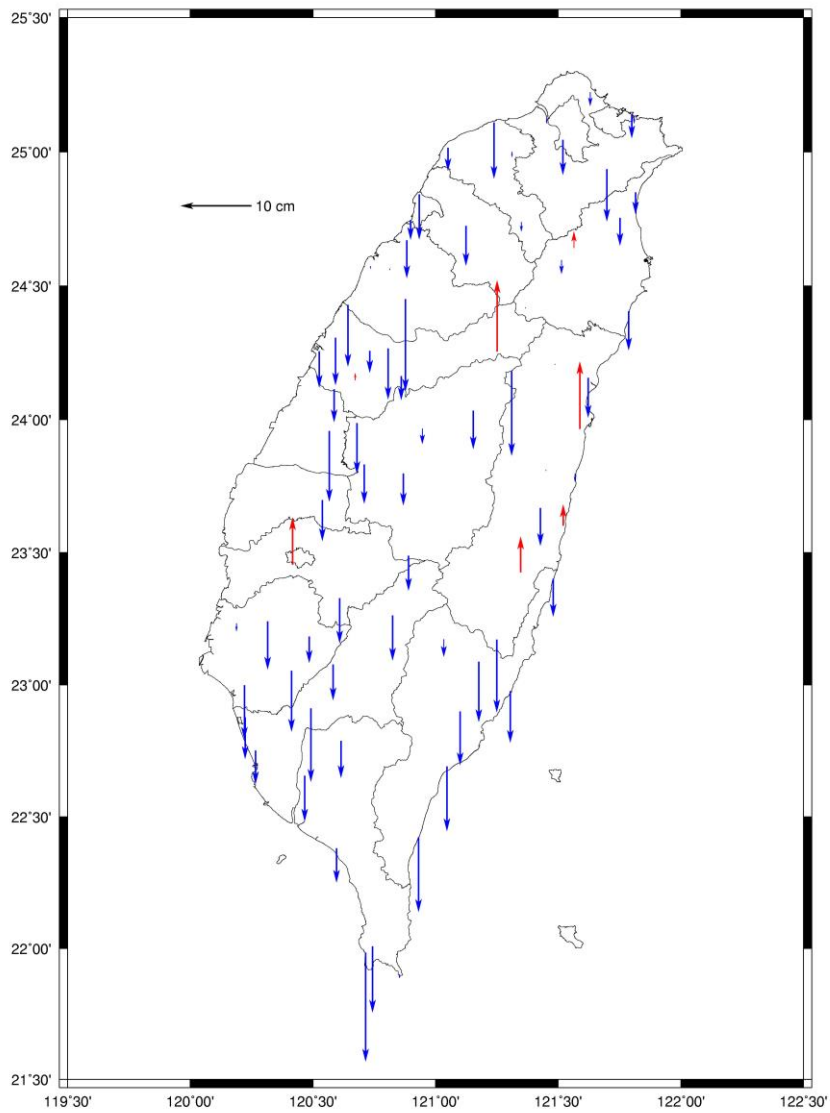
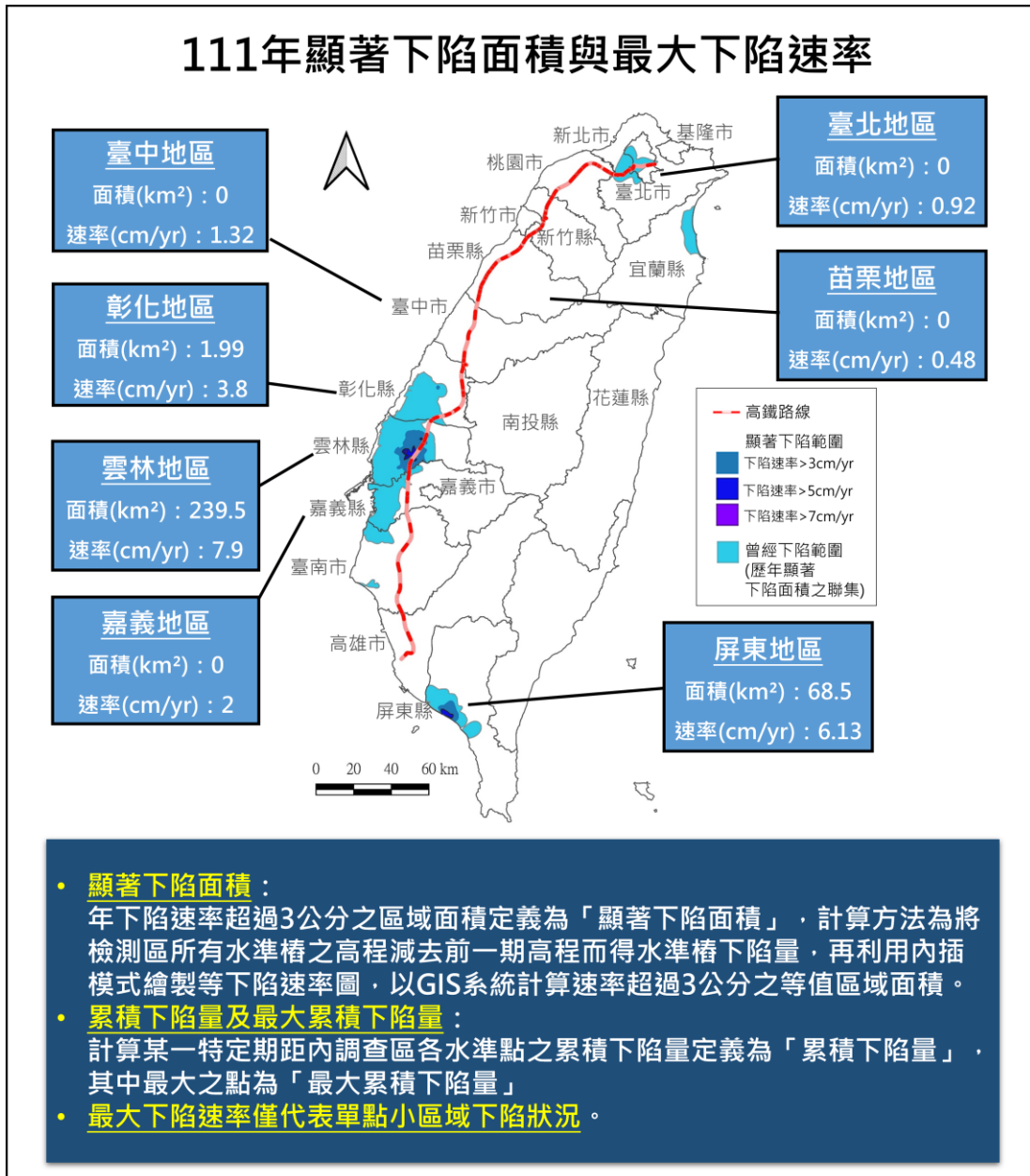


圖 3-12 一等水準點高程較差圖

七、分析地層下陷地區多年期的水準成果與橢球高差值

內政部自 91 年公告各一等水準點正高總計僅 91、92、98、105 及 111 年共計 5 次，而水利署自民國 81 年起每年於地層下陷嚴重區（如：彰化縣、雲林縣）執行水準測量工作，其餘區域平均約 3 至 5 年定期一次，111 年度全臺顯著下陷面積與最大下陷速率圖如圖 3-13（地層下陷監測資訊整合服務系統，2023）。而水利署地層下陷區檢測點位部分為內政部所埋設之一等水準點（如：彰化縣埔鹽鄉一等水準點 I007，崑崙橋），根據地層下陷防治資訊網—歷年地層下陷面積中臺灣各區的地層下陷資料所示，自 81 年起至 111 年彰化縣年平均最大下陷速率點位為埔鹽鄉（點號：I007，點名：崑崙橋）年下陷速率為 3.8 cm/yr，累積下陷量 83.9cm；雲林縣最大下陷點位於元長鄉（點號：I027，點名：蔥仔寮）年下陷速率為 7.9 cm/yr，累積下陷量 198cm（地層下陷防治資訊網，2023）。上開點位皆為內政部所建置之一等水準點，如增加水準測量檢測次數是否可得與橢球高較為接近之速度場，內政部所辦理一等水準測量第 3 次檢測成果與第 1 次公告成果正高差值（表 3-4），I007 較差 118cm，I027 較差 134 公分，彰化地區 81 年至 111 年的累積下陷量少於第 1 次水準正高公告成果與第 3 次檢測正高差值，而橢球高速度場與水利署歷年檢測速度場部分點位的趨勢不同（如：雲林縣 I027），推測為測量約制的基準不同所致，如能獲取水利署 91 年至 111 年地層下陷區域實際每年各點的水準成果，便能更進一步以較相近的時間區間進行分析。

111年顯著下陷面積與最大下陷速率



- **顯著下陷面積：**
年下陷速率超過3公分之區域面積定義為「顯著下陷面積」，計算方法為將檢測區所有水準樁之高程減去前一期高程而得水準樁下陷量，再利用內插模式繪製等下陷速率圖，以GIS系統計算速率超過3公分之等值區域面積。
- **累積下陷量及最大累積下陷量：**
計算某一特定期距內調查區各水準點之累積下陷量定義為「累積下陷量」，其中最大之點為「最大累積下陷量」
- **最大下陷速率僅代表單點小區域下陷狀況。**

圖 3-13、111 年全臺顯著下陷面積與最大下陷速率

表 3-4 地層下陷嚴重地區相同檢測點位較差表

區域	鄉鎮	點號	點名	年平均 下陷速率 ^{註1} (cm/yr)	81~111年 累積下陷量 ^{註1} (m)	正高差 ^{註2} (m)	橢球高 差 ^{註3} (m)
彰化	埔鹽	I007	崑崙橋	3.8	0.84	1.18	1.33
		I006	埔鹽國小	2.7	0.65	0.78	0.93
	溪湖	I008	光平里	2.5	1.13	1.17	1.35
	埤頭	I013	水菜籃	1.6	0.71	0.42	0.61
雲林	元長	I027	蔥仔寮	7.9	1.98	1.34	1.56
	崙背	I022	崙背國小	4	1.44	1.00	1.14
	褒忠	X120	褒忠節點	4.3	1.87	1.23	1.47
		I024	王厝寮	3.9	1.55	0.89	1.09

註 1.數據來源：地層下陷防治資訊網

(<http://www.lsprc.ncku.edu.tw/zh-tw>)

註 2.正高差為 92 年公告正高與 111 年正高差值。

註 3.橢球高差為 TWD97[2020]與 TWD97 橢球高差值。

第三節 不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響

TWD97[2020]與 TWD97 坐標系統之測量基準定義均相同，惟在國際地球參考框架改採 ITRF2014，套合至國際固定站之 2020.0 時刻計算成果。一等水準點 TWD97[2020]與 TWD97 橢球高的差異如圖 2-11 所示，較差值大部分在-1.4 公尺至 1.2 公尺之間。

臺灣目前公告供各界參考應用的大地起伏模型為 103 年 6 月 4 日公告之 103 年臺灣地區大地起伏模型成果，以重力法大地起伏模型為基礎，使用第 1 次公告成果正高與 TWD97 橢球高建置之混合法大地起伏模型。

為分析 TWD97[2020]橢球高透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換正高之精度品質，本研究使用 103 年臺灣地區大地起伏模型，將一等水準點 TWD97[2020]橢球高（110 年至 111 年觀測）轉換為正高後，再與第 3 次檢測成果（109 年至 111 年觀測）比較，比較結果如表 3-5，較差統計情形如圖 3-14，點位較差如圖 3-15，其較差平均值為-0.2 公分，中誤差為 6.6 公分，大部分點位較差值在±10 公分之內，轉換結果相較於 103 年臺灣地區大地起伏模型成果說明評估 TWD97 轉換正高較差平均值 0.8 公分，中誤差 3.1 公分來說，中誤差明顯變大，顯示 TWD97[2020]橢球高透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換正高之精度已不符該成果說明所述精度，即不同坐標系統橢球高透過大地起伏轉換正高之精度，受橢球高坐標系統的影響甚鉅。

表 3-5 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高精度統計表

實際正高與轉換正高較差(m)	
最大值	0.370
最小值	-0.471
平均值	-0.002
中誤差	0.066
均方根誤差	0.066

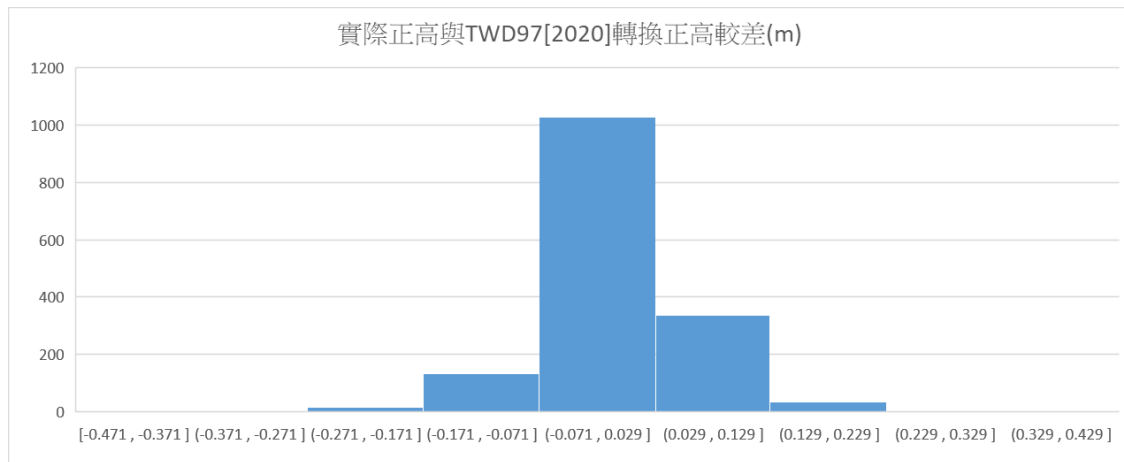


圖 3-14 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高較差統計圖

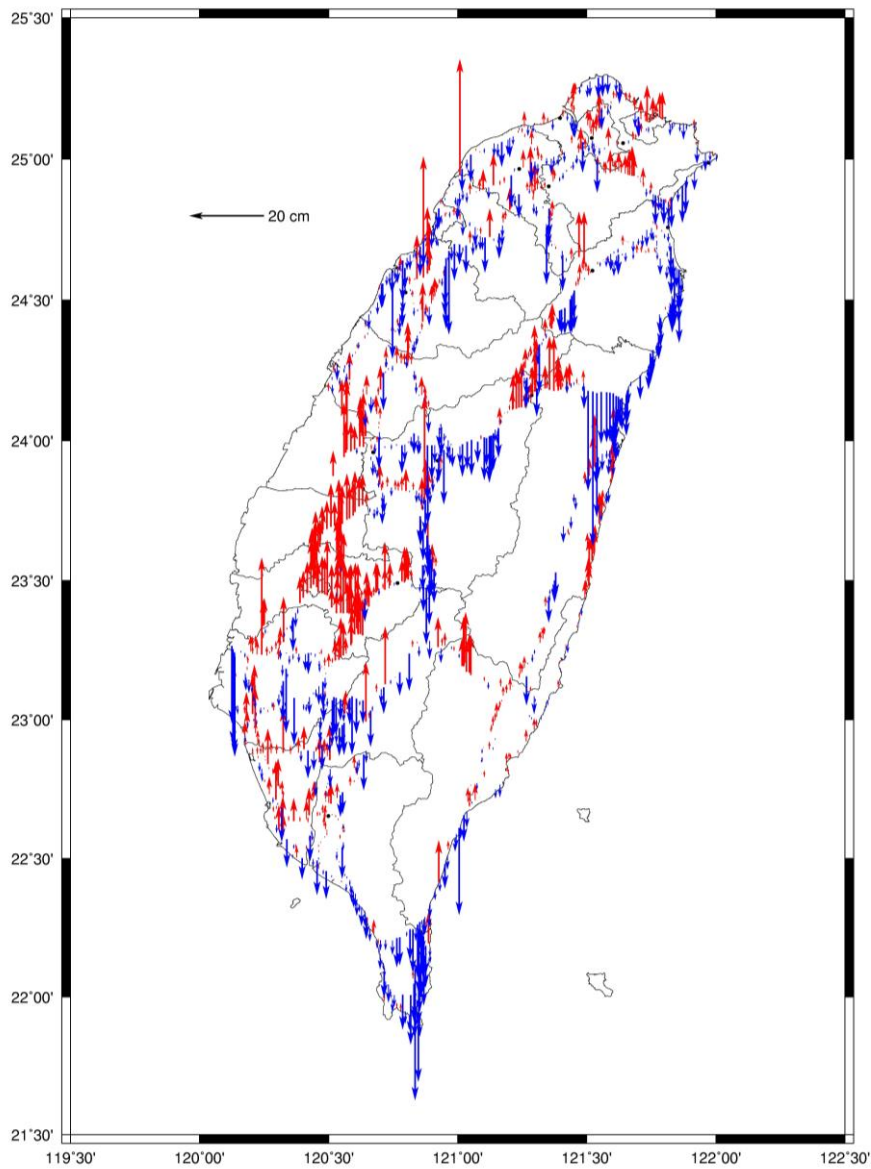


圖 3-15 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高點位較差圖

為進一步研究 TWD97[2020]橢球高透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換正高精度不符 103 年臺灣地區大地起伏模型成果說明之原因，本研究以 103 年臺灣地區大地起伏模型使用之重力法大地起伏模型，搭配一等水準點 TWD97[2020]橢球高及第 3 次檢測成果正高建置混合法大地起伏模型，建置模型時將一等水準點 6 小時資料點位作為轉換精度驗證點，不納入建置模型，大地起伏模型建置方式與 103 年臺灣地區大地起伏模型相同，即是將一等水準點 TWD97[2020]橢球高與第 3 次檢測成果正高差減去對應相同位置上的重力法大地起伏模型內插值，再組成一修正面，接著將此修正面加入重力法大地起伏模型，得到本研究混合法大地起伏模型（以下簡稱 TWD97[2020]混合法大地起伏模型）。

建置 TWD97[2020]混合法大地起伏模型後，使用一等水準點 6 小時資料點位之 TWD97[2020]橢球高及該模型轉換為正高，再與第 3 次檢測成果進行比較，以評估轉換精度是否提升。比較結果如表 3-6，較差統計情形如圖 3-16，點位較差如圖 3-17，其較差平均值為 -0.1 公分，中誤差為 3.7 公分，均方根誤差為 3.7 公分，大部分點位較差值在±5 公分之內，轉換精度明顯提升。

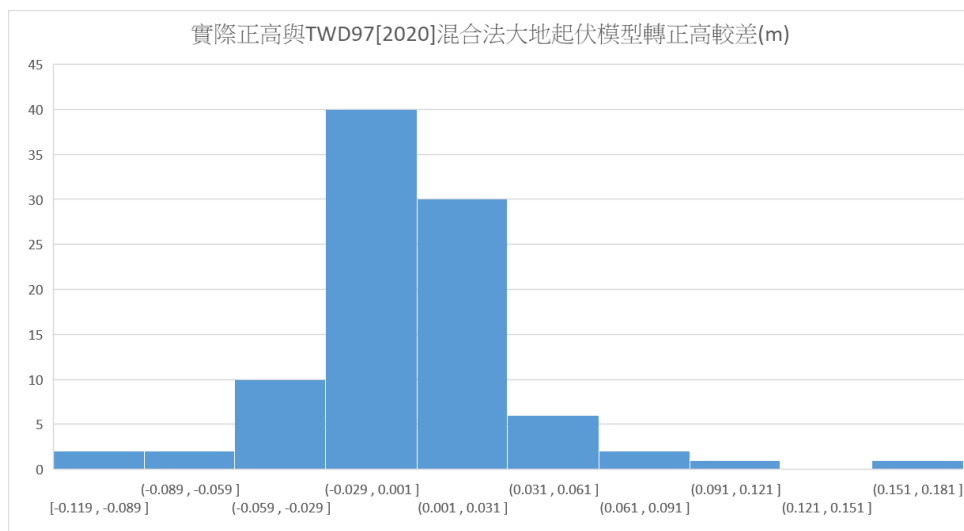


圖 3-16 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉正高較差統計圖

表 3-6 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉正高精度統計表

實際正高與轉換正高較差(m)	
最大值	0.152
最小值	-0.119
平均值	-0.001
中誤差	0.037

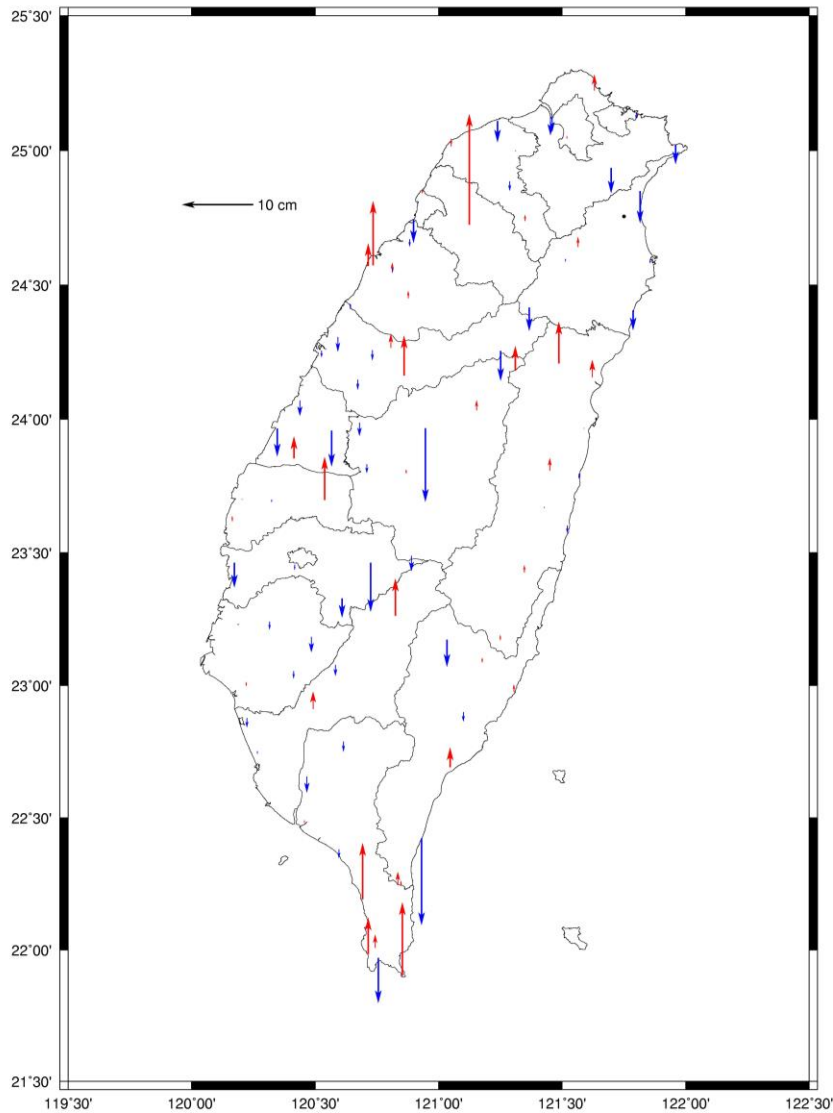


圖 3-17 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉正高點位較差圖

為評估轉換精度提升比率，統計一等水準點 6 小時資料點位之 TWD97[2020]橢球高透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換正高精度統計結果如表 3-7，其較差平均值為-0.3 公分，中誤差為 5.1 公分，均方根誤差為 5.1 公分，即使用一等水準點 6 小時資料點位之

TWD97[2020]橢球高，分別透過 103 年臺灣地區大地起伏模型及 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉換為正高的轉換精度，由 5.1 公分提升為 3.7 公分，轉換精度提升約 27%。

表 3-7 103 年臺灣地區大地起伏模型轉正高精度統計表

實際正高與轉換正高較差(m)	
最大值	0.139
最小值	-0.166
平均值	-0.003
中誤差	0.051

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究透過一等水準點正高與橢球高變化情形，探討橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性，並分析不同坐標系統橢球高對大地起伏的影響，研究結果獲得以下結論：

- 一、使用 Bernese 軟體及陽明山 (YMSM)、竹南 (JUNA) 測繪中心 (LSB0)、成大測量 (CKSV)、太麻里 (TMAM) 與北港 (PKG M) 等 6 個 GNSS 連續站 104 年至 111 年每個月 1 日之衛星觀測資料計算橢球高，再分別以每月 1 日、每季 (1、4、7、10 月) 1 日及每年 (1 月) 1 日之橢球高進行線性迴歸，估算 6 個 GNSS 連續站年估 (96 筆資料)、季估 (24 筆資料) 及月估 (8 筆資料) 橢球高速度場，研究數據顯示 3 者估算之橢球高速度場大致相符，若僅看年估及月估橢球高速度場，最大差異量為 0.750mm/yr，表示以 8 筆資料月估速度場應為可靠。
- 二、使用一等水準點 6 小時資料 104 年及 111 年計算之橢球高差作為驗證值，比較其與一等水準點橢球高速度場乘以各一等水準點 104 年與 111 年觀測日期間隔天數得到的橢球高之較差，以分析橢球高速度場內部精度。比較結果顯示，較差均方根誤差為 3.3 公分，大部分點位較差值落在±5 公分之間，其較差與衛星定位測量橢球高精度大致相符，惟部分較差值較大點位經檢視點位現況後，發現大多為透空較差之點位，因點位透空影響橢球高計算成果品質，進而影響橢球高速度場精度。
- 三、使用一等水準點第 3 次檢測與第 2 次檢測之正高差作為驗證值，比較其與一等水準點橢球高速度場乘以各一等水準點第 2 次檢測與第 3 次檢測日期間隔天數得到的橢球高之較差，以評估橢球高速度場取代水準測量獲得正高成果之可行性。分析結果顯示，2 次正高檢測較差與速度場計算橢球高差之較差均方根誤差為 5.9 公分，其較差明顯大於水準測量毫米等級精度需

求。故以橢球高速度場獲得之正高成果不適用於高精度優於公分等級的測繪工作，但可適用於公分至公寸等級精度需求之業務，如工程與管線等應用測量工作使用。

四、使用 103 年臺灣地區大地起伏模型，將一等水準點 TWD97[2020]橢球高（110 年至 111 年觀測）轉換為正高後，再與第 3 次檢測成果（109 年至 111 年觀測）比較，以分析 TWD97[2020]橢球高透過 103 年臺灣地區大地起伏模型轉換正高之精度品質。比較結果均方根誤差為 6.6 公分，大部分點位較差值在 ± 10 公分之內，分析結果相較於 103 年臺灣地區大地起伏模型成果說明評估 TWD97 轉換正高精度 3.2 公分來說，誤差明顯變大，表示不同坐標系統橢球高透過大地起伏轉換正高之精度，受橢球高坐標系統的影響甚鉅。

五、以 103 年臺灣地區大地起伏模型使用之重力法大地起伏模型，搭配一等水準點 TWD97[2020]橢球高及第 3 次檢測成果正高建置 TWD97[2020]混合法大地起伏模型，研究是否可提升 TWD97[2020]橢球高轉換正高之精度。研究結果顯示，以一等水準點 6 小時資料點位作為驗證點，將其 TWD97[2020]橢球高分別透過 103 年臺灣地區大地起伏模型及 TWD97[2020]混合法大地起伏模型轉換為正高的轉換精度，由 5.1 公分提升為 3.7 公分，轉換精度提升約 27%。

第二節 建議

建議一

定期辦理一等水準點檢測，維護高精度高程系統：立即可行建議

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

本研究發現以橢球高速度場獲得之正高成果不適用於高精度公分等級的測繪工作，但可適用於公分等級精度需求之業務，如工程與管線等應用測量工作使用。

考量臺灣板塊運動劇烈頻繁，且部分業務仍有高精度公分等級高程需求，因此建議仍有必要定期辦理一等水準點檢測工作，以維護高精度高程系統，提供正確精準的正高成果供各界參考應用。

建議二

公布更新坐標系統後，應配合建置大地起伏模型：立即可行建議

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

臺灣目前公告的坐標系統包括 TWD97、TWD97[2010]及 TWD97[2020]，本研究結果發現不同坐標系統橢球高差值在-1.4 公尺至 1.2 公尺之間，且不同坐標系統橢球高透過大地起伏轉換正高之精度，受橢球高坐標系統的影響甚鉅。

臺灣受板塊運動影響，不同地區地表變化情形均不同，為維持基本控制點間相對精度，目前大約每 10 年會更新一次坐標系統。因此建議在公布更新坐標系統後，應以更新後的坐標系統橢球高及約略相同時間測量之正高資料建置混合法大地起伏模型，以確保高程轉換精度品質。

參考書目

1. 內政部，2001，一等一級水準網測量工作總報告書。
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。
3. 內政部，2003，一等二級水準網測量工作總報告書。
4. 內政部，2006，國家基本測量控制點建立及應用計畫總報告。
5. 內政部，2010，基本測量及圖資測製實施計畫。
6. 內政部，2014，一等水準測量作業規範（103年修正本）。
7. 內政部，2014，103年臺灣地區大地起伏模型成果說明。
8. 內政部，2015，基本測量及圖資測製後續計畫。
9. 內政部，2020，邁向3D智慧國土-國家底圖空間資料基礎建設計畫。
10. 內政部，2020，基本測量2020年成果說明。
11. 內政部，2022，111年臺灣一等水準網水準測量成果說明。
12. 內政部地政司衛星測量中心網站，2023，網址：
<https://gps.moi.gov.tw>。
13. 內政部土地測量局，2006，94年度一等水準網檢測工作報告。
14. 內政部國土測繪中心，2008，95年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作水準測量工作報告。
15. 內政部國土測繪中心，2012，辦理加密控制點衛星測量作業手冊。
16. 內政部國土測繪中心，2015，103年度一等水準測量工作報告。
17. 內政部國土測繪中心，2022，109年至111年一等水準測量工作採購案工作報告。
18. 內政部國土測繪中心全球資訊網，2023，網址：
<https://www.nlsc.gov.tw>。
19. 地層下陷防治資訊網，2023，網址：
<http://www.lsprc.ncku.edu.tw/zh-tw>
20. 地層下陷監測資訊整合服務系統，2023，網址：
https://landsubsidence.wra.gov.tw/water_new/Home/IndexReNew

- 21.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。
- 22.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。
- 23.經濟部中央地質調查所，2021，臺灣活動斷層分布圖。