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

壹、前言

近年來經濟蓬勃發展，政府積極推展重大經建工程，舉凡地層下陷之監測、地下水位之監控、河川整治、隧道開挖、捷運系統、高速公路、高速鐵路、防洪系統、橋樑、水庫之興建與維護等交通、經濟工程建設，均有賴於精確之高程控制點系統，致高程資料之需求日益殷切。良好的高程控制點系統，除可促進國家各項建設之發展外，亦可有效提升國家整體競爭力。

內政部曾於民國六十四年辦理台灣地區九〇四個一等水準點之檢測工作，為目前國內一切高程控制測量之基礎。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。惟上開一等水準點自檢測迄今已逾二十年，其間因各項工程施工及人為破壞等因素影響，導致樁位遺失、損毀情形嚴重，加以受到地殼變動之影響，其高程坐標精度已不敷使用。尤其以國內目前部分地區大量抽取地下水導致地層快速下陷，河川、泥沙淤積嚴重等，若遇颱風、豪雨等天災影響，極易氾濫成災，危及人民生命財產安全。

內政部為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，於八十六年擬定「國家基本測量控制點建立及應用計畫」，報奉行政院八十七年二月二十四日台八十七內〇八四一二號函核定，自八十八年度起至九十一年度止，分四年在台灣本島施測二、〇六五個一等水準點，並於一等水準點上加測衛星定位測量及重力測量。其中八十八及八十九年度先行辦理台灣環島路線一等一級水準網，計一、〇一〇個一等水準點測量工作（水準路線總長度約二、〇二〇公里），九十及九十一年度辦理一等二級水準網，計一、〇五五個一等水準點測量工作（水準路線總長度約二、一一〇公里）。

貳、高程基準網之建立

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，內政部於八十六年十二月一日起至八十九年二月二十九日為止，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、副點及十八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。

參、台灣高程系統及高程基準之訂定

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。

台灣高程基準係定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境情況

下，並採用基隆驗潮站 1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得，並命名為 2001 台灣高程基準 (TaiWan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD 2001)。

肆、台灣水準原點之建立

內政部於九十年新設台灣水準原點，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；水準原點之高程採用正高系統，以基隆平均海水面為參考依據，主點之高程值為 5.61560 公尺，副點之高程值為 公尺，並據以訂定 2001 台灣高程基準 (TWVD2001)。主點採用震波反射之地球物理探勘法，探測地底下之地質狀況及岩盤深度，選用不銹鋼棒以接續方式植入地下十七點五公尺；副點以花崗石製作，埋設於地面，便利各界引測。

伍、訂定一等水準測量作業規範

內政部為使一等水準測量工作順利完成，經收集美國、日本、澳洲、大陸等各國之水準測量作業規範，並參酌國內外水準或高程測量相關文獻報告後，研擬完成「一等水準測量作業規範」草案，並自八十七年六月十五日起至九十年二月七日止，歷經七次會議二次修正，做為辦理一等水準點測量之依據。

本作業規範為國內辦理水準測量首創之作業規範，不僅將高程系統及基準予以定義，亦將水準測量之施測方法、等級、精度、作業流程、觀測儀器、觀測程序、資料計算與施測成果等項目，一一明確規定，且為使測量成果具有公信力，融入「國際標準組織 (ISO)」觀念，採用測量儀器檢校與檢查保養制度、資料庫系統及測量成果品質管控制度等新穎架構，為一具有現代測量科技觀念之作業規範，除作為內政部辦理一等水準點測量之依據外，並已提供國內測量各界辦理水準測量之重要參考範本，且深獲好評，預期本作業規範將可促使測量工作制度化，提高測量公信力，

促進國內測量科技水準，並提升國家競爭力。

陸、一等一級水準網之水準測量

於完成一等水準點點位勘選、埋設及外業測量等工作後，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，若未發現觀測資料含有粗差或錯誤並確定資料成果正確無誤時，即可進行一等一級水準網之水準測量平差計算工作，台灣一等一級水準網共有一、〇一〇個新設一等水準點，加上連測之重力觀測點與基隆水準原點，共有一、〇二〇個點位，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三一九點，則強制附合於新點上，得到平差結果之相關統計資料如下：

- 一、先驗權單位中誤差：給定 $1.4 \text{ (mm} \cdot \sqrt{\text{1km}})$ 。
- 二、權矩陣 P：以測段距離的倒數為“權值”。
- 三、總觀測數目：1354 個。
- 四、水準點總數：1339 點。
- 五、已知高程水準點個數：1 個 (K999)。
- 六、多餘觀測數：16 (1354 - 1338)。
- 七、後驗權單位中誤差： $1.44 \text{ (mm} \cdot \sqrt{\text{1km}})$ 。
- 八、點位中誤差：最大值為鵝鸞鼻一等水準點 (Q019) 11.6mm。
- 九、觀測量改正數：均在 $-0.70\text{mm} \sim +0.51\text{mm}$ 之間。
- 十、網形可靠度分析：
 - (一) 觀測量的改正數大部分在 $\pm 0.4\text{mm}$ 以內，表示觀測品質佳。
 - (二) 多餘觀測數(16)及平均多餘觀測分量 ($f_0 = 0.372$)，表示整體網形結構雖不是布設密集，但尚可控制且觀測量之可靠度良好。
 - (三) 整體內可靠度參考值為 6.557，表示對於觀測量隱含粗差，且此粗差只要大於 δ'_0 倍的觀測量中誤差，即可被偵測出來。
 - (四) 整體外可靠度值為 5.196，表示未被剔除的粗差對於未知

數估值的影響量最大為 δ''_0 倍的觀測量中誤差。

柒、一等一級水準網之衛星定位測量

於一等一級水準網測量作業期間，內政部同時於一等水準點及其他點位，合計一、〇一六個點上施測衛星定位測量，本項測量作業係依三等控制點施測規範進行施測，故點位可作為三等控制點使用，其各項成果係架構在 1997 台灣大地基準 (TWD97) 上，採用 1994 年公布之國際地球參考框架 (ITRF94)，並化算至 1980 年公布之參考橢球體 (GRS80)，施測時聯測一、二等衛星控制點二四六點，採用 GPSurvey2.35 版軟體解算基線、TurboNet 網形平差軟體進行加權約制平差計算，平差成果於緯度、經度及高程方向之標準偏差平均值分別為 ± 1.4 公分、 ± 1.3 公分及 ± 10.9 公分。

捌、一等一級水準網之重力測量

於一等一級水準網測量作業期間，內政部亦於一等水準點上實施重力測量工作，採用 LCR-G 型相對重力儀施測，於檢測大溪、新竹、台中、鳳山、綠水及花蓮等六個絕對重力點及基隆、蘇澳、梨山、埔里、水上、光復、台南、荖濃、知本及楓港等十個一等重力點後，據以進行一、〇一〇個一等水準點之相對重力測量，並採用交通大學開發之軟體進行平差，於軟體中考慮率定函數、重力儀飄移改正、日月潮位引力改正、海潮改正、極移改正、壓力改正等改正，所得一、〇一〇點一等水準點重力值之標準偏差平均值為 0.07mgal ，最大值約為 0.1mgal 。

本次重力測量成果除提供一等一級水準網測量工作之正高改正所需資料外，並整合中央研究院地球科學研究所於六十九年至七十六年施測之重力資料、中國測量學會於七十五年至七十七年及於八十六年至八十八年施測之重力資料、牛津大學提供之船測重力資料及交通大學提供之衛星測高計算之重力資料，採用最小二乘配置法 (Least Square Collocation) 計算台灣地區大地起伏。此法中所需之大地起伏之長波長及短波長部分 (剩餘地形效應, RTM effect)，分別由 EGM96 及 DTM 求得。本次計算所得之大

地起伏模型，可提供作為正高系統與橢球高系統之轉換用。為得知本計畫計算所得之大地起伏模型精度，在台一號省道上，取二十六個具同步觀測六小時之靜態衛星定位測量資料及一等一級水準測量成果的一等水準點，進行實測之大地起伏與利用本計畫所得之大地起伏模型內插而得之大地起伏之比較，平均差異量為-2.7公分，RMS 值為 4.9 公分。