

第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

近年來台灣地區因地下水超抽引發地層下陷問題日趨嚴重，目前台灣地區地層下陷涵蓋台北、桃園、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄、屏東、宜蘭這九大縣市，其中以彰化、雲林、嘉義最為嚴重（如圖1.1所示）。地層下陷之調查結果顯示(水利署，2005)，彰化縣大城鄉每年仍有10公分以上之下陷速率(如表1.1所示)。雲林縣下陷中心有往內陸之土庫、元長地區等漸移情形。雲林縣幾乎全屬農業，且由於濁水溪豐枯懸殊，枯水期或濁水溪水量不足時，圳路下游末端之灌溉或沿海地區之養殖用水往往需抽取地下水因應；同時雲林縣74萬人口之自來水亦全部由自來水公司抽取地下水供應。估計雲林地區地下水之超抽量每年高達2億噸以上，造成雲林縣三分之二地區地層下陷，局部下陷量甚至超過 2公尺，且仍持續沉陷中。甚至位於雲林中部之高鐵沿線土庫鎮及元長鄉下陷速率亦增至平均每年 10 公分。而已通車之高速鐵路穿越雲林地層下陷區，地下水超抽問題造成地層嚴重下陷，將影響且危害鐵路之行車速率與行車安全。

本研究針對雲林之高鐵沿線土庫鎮及元長鄉每年平均10公分下陷的地區進行沉陷觀測。近年來太空遙測技術應用於大地測量日趨完善，其優點為可於短時間內獲取大片面積的高密度且高精度高程資料，其資料精度也達到公分級的程度。對於敏感區域亦可獲取遙測影像，建立當地的土地覆蓋及利用之資訊，有助於後續地層下陷成因之分析。因此太空遙測已成為地表監測的一項利器。

針對雲林之高鐵沿線下陷區域的監測，本研究利用二種方法：(1)雷達差分干涉技術(differential interferometric synthetic aperture radar, DInSAR) (2)永久散射體(Persistent Scatterers, PS)干涉技術，最後將得到的結果和設於高鐵沿線水準觀測資料做驗證。利用雷達資料差分干涉結果可得到該時段內地表與衛星之間距離變化所引起的雷達波相位差，解算相位差後即可得到兩者之間對應距離的變化量，以期望得到高鐵沿線於雲林地區之地表變形。而利用永久散射體在雷達影像

中提供長期穩定的散射特性，對多組的干涉影像做分析，我們可以估算這些點精確的變形量，其精確度可達公厘級(Ferreti et al, 2000)。

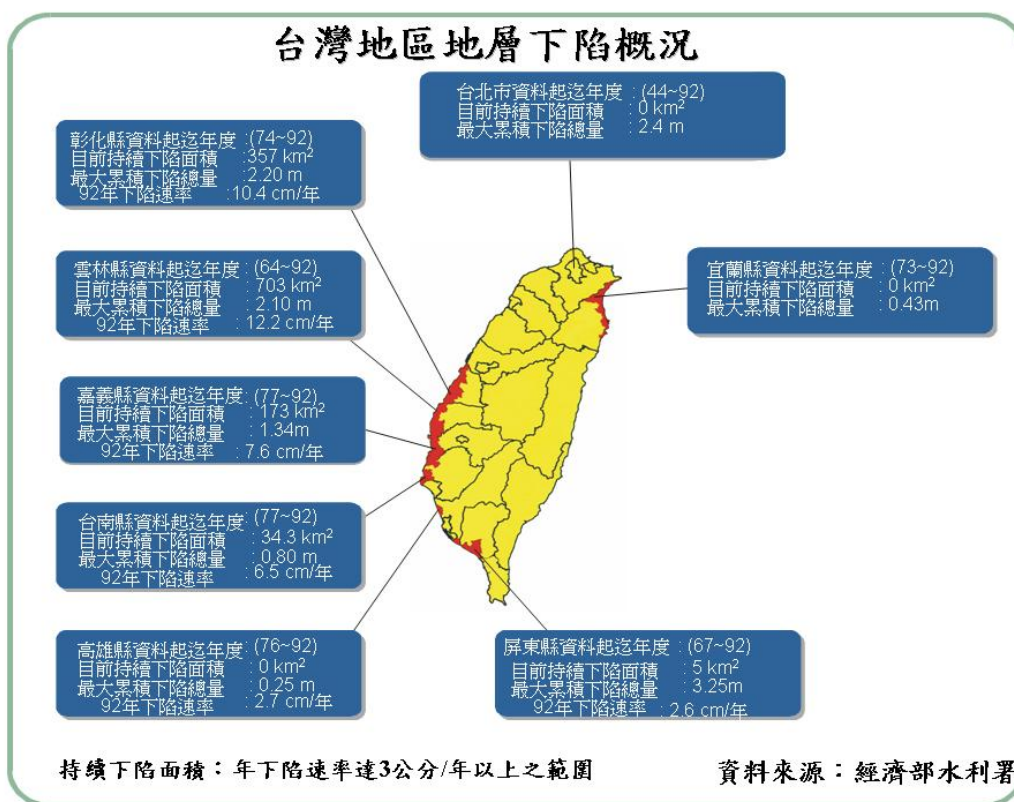


圖 1.1 台灣地區地層下陷涵蓋縣市。(摘自水利署，2005)

表 1.1 彰化民國 81 年至 90 年下陷速率分析表(修改自水利署，2005)

觀測期距	81.10~82.08	82.08~84.08	84.08~86.08	86.08~87.08	87.08~89.06	89.06~90.08	81.10~90.08 平均下陷量
最大下陷速率發生地點	大城鄉	大城鄉	大城鄉	大城鄉	大城鄉	大城鄉	大城鄉
最大下陷速率(cm/年)	17.1	21.7	23.6	19.3	16.4	17.6	17.72

1-2 文獻回顧

雷達差分干涉技術為近年來相當受到重視的研究課題。在1970年代初期，美國國家航空暨太空總數署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)利用干涉技術獲得地面高程資料(Graham,1974)。1986年，Zebker et al.(1986)利用空載SAR系統進行DEM製作，獲得一幅面積約11×10平方公里的DEM資料。Gabriel et al. (1988)以兩個分離軌道的 SIR-B(Spaceborne Image Radar-B)系統，成功以單一天線、重複軌道(Repeat-pass)方式建立數值地型模型。以上皆利用兩幅同一地區不同時間(位置)所拍攝的影像作干涉處理，來產生高精度的數值地形模型(Digital Elevation Model, DEM)。

歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)分別於1991年與1995年發射兩顆以合成孔徑雷達為主的衛星-ERS-1/2資源遙測衛星。兩顆衛星皆搭載了C-Band波段，衛星飛行高度為約為785公里，軌道與赤道傾斜角為98.5°，以每35天週期通過同一地區。此二顆規格相似的衛星，以特殊的「Tandem Mission」方式提供了僅僅差一天的影像對，而獲得及時的地表資訊。

日本國家太空發展署(National Space Development Agency of Japan NASDA)於1992年發射JERS-1衛星，其具L-Band波段。波長為23cm的L-Band波段，可提供更優於C-Band波段的地表穿透能力的影像，可提供更多元的應用。

加拿大太空署(Canadian Space Agency, CSA)於1995年，與美國合作發射RADARSAT遙測衛星，搭載了C-Band波段，其特點為擁有多種視角與解析力之操作模式，可提供更豐富的觀測。

該項技術目前主要應用於火山監測 (Massonnet et al.1995 ; Lu et al., 1998)、冰川移動 (Joughin et al., 1995 ; Rignot et al., 1995)、地震變形測量 (Massonnet, et al., 1993 ; Gilles et al., 1994 ; Massonnet and Feigl, 1995 ; Meyer, et al, 1996 ; Murakami et al, 1996 ; Rigo and Massonnet, 1999) 等。

InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar)技術於國外發展上已相當完

備，而台灣地區而言，國立中央大學太空遙測中心及國立成功大學衛星資訊研究中心在民國86~88年進行嘉南地區及彰化沿海地區地層微變動的監測（王志添等人, 2000），初步都可在高程變化上達公分級的精度。民國88年9月21日台灣中部地區發生集集大地震，有須多研究利用InSAR技術於地震變形測量上。如應用差分合成孔徑干涉雷達於偵測集集地震地形變之研究(陳卉瑄, 2001)、以雷達干涉技術偵測地表變形研究(謝嘉聲, 2006)、以合成孔徑雷達干涉法研究台灣之地殼變形(黃孟涵, 2006)，將其成果與現地精密測量、GPS等比較，皆可證明該方法於地表變形偵測之適用性。

衛載SAR系統多繞行於固定軌道而具有長時間觀測的能力。於地層下陷速度較慢，且需長時間觀測的地表或地貌變化，提供相當有效及便捷的技術。T. Strozzi et al.(1999)以DInSAR技術對墨西哥程式下陷問題進行監測、Liang et al.(2001)以DInSAR技術偵測台灣西海岸之地層下陷、張中白等人(2002)針對桃園工業區、東港沿海地區之地層下陷做研究，以上研究皆可獲得與傳統測量方法所得結果有相同趨勢。

儘管DInSAR技術在地表變形監測上，與其他監測方法相比，具備不可忽視的優勢。然而一般而言只能應用於平原都會地區，而山區及植被較厚的地區，由於地表覆蓋物會隨著時間而變化、及大氣的變動，使得結果的準確度仍有待評估。於是Ferretti於2000年提出永久散射體的概念(Ferreti et al, 2000)。利用多組影像對干涉成果，辨識出其中高相關性的點位，這些點集定義為永久散射體。分析其相位改變，分別由DEM誤差與地表變形的組成比例，以得到長時間地面位移量。結果顯示出即使在干涉圖上沒有明顯干涉條紋的區域，也已經有成功獲得高程變化的實例。

1-3 研究方法

本研究利用雷達差分干涉測量於雲林地區地層下陷之高鐵沿線之研究。分別以雷達差分干涉技術及永久散射體差分干涉技術兩種方法來研究。最後將雷達差

分干涉測量結果與精密水準資料做驗證。因此本研究將探討雲林地區地層下陷情形，利用精密水準測量上的結果與利用雷達差分干涉測量來比較其精度。

首先在雷達差分干涉技術上，以 ERS-2 衛星影像為本研究的影像資料，影像擷取時間為 1996 年 2 月至 1999 年 9 月這期間所有影像。影像取自 ERS-2 之 track232, frame3123，此範圍為台灣中部地區，但因本研究針對高速鐵路所經過雲林地區，因此研究區域著重於雲林地區。所套用的數值地型模型資料則是由農航所提供的 25m 解析度之 DEM。最後取出其中較好的五組干涉結果來進行量化分析及說明雲林地區地層下陷的趨勢。

而在永久散射體雷達差分干涉技術中，因雲林地區為高稻田區域。對 DInSAR 有許多先天的條件限制，而其中影響最大的則為大氣效應，空間性及時間性的誤差。利用永久散射體在雷達影像中提供長期穩定的散射特性，對多組的干涉影像做分析，可以估算這些點精確的變形量。

1-4 論文架構

本研究分為三大部分，第一部份為雷達差分干涉測量，包含雷達差分干涉技術及永久散射體差分干涉技術，而內容為此兩種技術的理論、流程架構及資料處理部份。第二部份針對雷達差分干涉測量的結果進行分析與說明。第三部份則是將雷達差分結果資料與精密水準資料做驗證來進行討論。

論文架構分為六章，第一章為緒論；第二章為雲林地區地表變形現況及前人研究；第三章為雷達差分干涉測量；第四章為雷達差分干涉技術推求地層下陷結果及分析；第五章為討論；第六章為結論與未來展望。以下將對內容做說明：

第一章 緒論

說明研究動機與目的，並回顧國內外相關研究及敘述本論文之研究方法。

第二章 雲林地區地表變形現況及前人研究

對雲林地區地層下陷區域概況做簡介，以及前人於雲林地區地層下陷區域做過的研究做整理說明。

第三章 雷達差分干涉測量

本章對研究所使用之雷達差分干涉技術及永久散射體差分干涉技術之方法與原理做介紹。在雷達差分干涉技術中，說明雷達技術的演變，及雷達差分干涉技術中的方法流程，最後說明資料來源；而在永久散射體差分干涉技術中，本研究區域因位於雲林多稻田及低建物區域，對雷達差分干涉技術造成一些誤差因素，針對雷達差分技術中所造成的誤差附於說明，提出永久散射體雷達差分方法原理來說明及修正。

第四章 雷達差分干涉技術推求地層下陷結果及分析

根據上述兩種方法得到研究方法之結果，分析結果一為雷達差分干涉結果，在結果中藉由以上四/三組影像對之結果進行疊加運算，再求其平均，可得研究區之長期變形速率；進而分析短時間間隔是否有大氣效應誤差存在；分析結果二為永久散射體干涉結果，於本研究分為兩種方法來分析，說明永久散射點之分布位置，其中利用方法二較佳結果，進一部針對高鐵沿線於雲林地層下陷區域，求出此區域的永久散射點位分布及變形速率。

第五章 討論

將分為技術限制及永久散射體差分干涉方法二結果驗證與討論，這二大部分。其中在技術限制中，探討利用雷達差分干涉技術於雲林地區無法產生良好干涉影像的原因、說明永久散射體差分技術與雷達差分干涉技術相比較的優勢以及永久散射體差分干涉方法一之誤差與改進；最後進而利用永久散射體差分干涉結果與精密水準做驗證。

第六章 結論與未來展望

對於本研究內容作一統整結論，並對研究之技術及結果討論其未來可改進的空間。