

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

以雷達干涉技術監測雲林地層下陷

Monitoring surface subsidence of Yunlin using radar

interferometry



研究生：盧玉芳

指導教授：黃金維

張中白

中華民國九十六年七月

以雷達干涉技術監測雲林地層下陷

**Monitoring surface subsidence of Yunlin using radar
interferometry**

研究生：盧玉芳

Student: Yu-Fang Lu

指導教授：黃金維

Advisor: Cheinway Hwang

張中白

Chung-Pai Chang

國立交通大學



A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Civil Engineering
July 2007
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月

以雷達干涉技術監測雲林地層下陷

學生：盧玉芳

指導教授：黃金維、張中白

國立交通大學土木工程學系

摘要

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，其中雲林地區為嚴重下陷區域之一。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 7 公分。而已通車之高速鐵路穿越雲林地層下陷區，將影響且危害鐵路之行車速率與行車安全。本研究針對雲林下陷的地區進行觀測。近幾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。針對雲林下陷區域的監測，研究利用二種方法：(1)雷達差分干涉技術(DInSAR) (2)永久散射體(Persistent Scatterers)干涉技術，其中永久散射體干涉技術，提出兩種方法研究。利用雷達差分干涉技術，可得知為雲林都市地區，地表變化趨勢；而永久散射體干涉技術可進一步解決雷達差分干涉技術的限制與可看到許多細微的變形活動。最後將永久散射體干涉技術得到較佳的結果和水準觀測資料做驗證。初步成果顯示(1)雷達差分干涉技術得到雲林地區運動趨勢，沿海西部相對東部呈現下陷趨勢。(2)在永久散射體技術方法一中，針對高鐵沿線所經過的土庫地區，相對下陷約有最大值 7 cm/yr，約與水準觀測相同。

Monitoring surface subsidence of Yunlin using radar interferometry

Student : Yu-Fang Lu

Advisor : Cheinway Hwang

Chung-Pai Chang

Abstract

In Taiwan, land subsidence due to groundwater withdrawal becomes increasingly serious in recent years. Yunlin County is one of the regions with large subsidence. The subsidence rate here has reached a maximum of 7 cm/yr around Tuku and Yuanchang, where the Taiwan High Speed Rail (THSR) passes through. Subsidence may endanger the THSR operation. In this study, the subsidence region in Yunlin was observed using the DInSAR techniques. Recently, remote sensing technique for geodesy has been significantly improved; it is able to sample observations at a high spatial resolution and a high precision. In this study, Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) and the Persistent Scatterer (PS) InSAR were used to observe subsidences in Yunlin. DInSAR gives a two-dimensional surface deformation, but the resolution and precision from DInSAR are degraded by factors such as spatial and temporal de-correlations, and atmospheric effect. PS InSAR overcomes some of the problems in DInSAR and delivers deformations at selected scatterers. The deformations from PS InSAR are compared with deformations from precision leveling. Two conclusions are drawn from this study: (1) The DInSAR result shows that surface subsidence of Yunlin tilts towards the west to the coasts (2) PS InSAR yields a maximum subsidence rate of about 7 cm/yr in Tuku of Yunlin, which is close to the rate from precision leveling .

誌謝

在這兩年研究生涯中，有許多要感謝的人，首先是我的指導教授 黃金維老師，感謝他提供了資源豐富的環境，在進行研究的同時，無須擔心器材或經費的問題，並且給予我許多關鍵性的建議與指導。感謝張中白教授、顏君毅博士不厭其煩指導我的缺失，使我從一個完全沒有基礎的情形下，變成具有解決問題的能力。此外，感謝史天元教授在相關課業的啟發與指導，不吝惜提供寶貴意見使得本論文更臻完美。

感謝信介在研究上所給予的協助和意見，解決我不時提出的問題；並且感謝偉嘉學長提供相關研究經驗與資料，使得研究可以順利完成。感謝世紀、向仁、明秀指導我Diapason軟體學習及影像訂購的幫忙及怡安在最後分析上的資料提供與指導。

感謝啟訓、雅文、清美、小閻、熱狗、Jaco、胖虎同學一起在課業上的鼓勵與幫助。感謝宣昶學長、阿伯學長、廷融學長、逸晴學妹帶給我生活上的許多歡樂。感謝蕭董、欣瑩學姊、強哥、俊廷學長、巨富學長的幫忙與鼓勵。特別感謝中大的同學：嘉貞、萬慧、勤儀、小熊、小黑、小貓、童忻、小可愛，謝謝你們的打氣與生活上的陪伴。

最後感謝養育栽培我二十幾年的家人，對我絕對的支持以及鼓勵，使我能夠克服所有的困難，完成學業。另外，得感謝宜甲常常半夜陪我回實驗室做研究，在這兩年的包容與關心。謹以此書獻給所有關心我的家人、同學、以及朋友。

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章 緒論	1
1-1 研究動機與目的	1
1-2 文獻回顧	3
1-3 研究方法	4
1-4 論文架構	5
第二章 雲林地區地表變形現況及前人研究	7
2-1 雲林地區地表變形現況	7
2-2 前人研究	10
第三章 雷達差分干涉測量	16
3-1 雷達與雷達差分干涉法	16
3-1-1 雷達影像及航空側視雷達	16
3-1-2 合成孔徑雷達 (SAR)	20
3-1-3 影響 SAR 影像成像之因素	21
3-1-4 雷達差分干涉法 (DInSAR)	26
3-1-5 雷達差分干涉之誤差來源	37
3-1-6 資料取得與使用軟體	42
3-2 永久散射體差分干涉法 (PSInSAR)	47
3-2-1 永久散射體差分干涉法原理	47
3-2-2 資料取得與分析方法	49
第四章 InSAR 推求地層下陷結果及分析	56
4-1 雷達差分干涉結果	56
4-1-1 四組影像對及三組影像對之量化分析結果	57
4-1-2 綜合分析與探討	73
4-2 永久散射體差分干涉結果：方法一	78
4-3 永久散射體差分干涉結果：方法二	90
第五章 討論	93
5-1 技術限制	93
5-1-1 雷達差分干涉之限制	93

5-1-2 永久散射體差分干涉方法一之限制.....	96
5-2 InSAR 與水準結果比較.....	97
第六章 結論與未來展望	100
參考文獻	103



表目錄

表 1.1	彰化民國 81 年至 90 年下陷速率分析表.....	2
表 2.1	1992 ~2003 年各區域地層下陷之年下陷速率統計表	8
表 2.2	1992~2003 年各地層下陷地區最大累積總量統計表	9
表 2.3	雲林地區民國 81 年至 92 年下陷面積分析表.....	15
表 3.1	雷達波段表.....	17
表 3.2	中部地區(track/frame:232/3123)干涉影像規劃表	44
表 5.1	永久差分干涉測量方法一之結果與水準測量結果相比較.....	97



圖目錄

圖 2.1	台灣高速鐵路沿線於各縣市之站點.....	9
圖 2.2	雲林測區水準檢測網及路線圖.....	11
圖 2.3	雲林民國 81~83 年等年平均下陷速率圖.....	12
圖 2.4	雲林民國 83~85 年等年平均下陷速率圖.....	12
圖 2.5	雲林民國 85~87 年等年平均下陷速率圖.....	13
圖 2.6	雲林民國 87~88 年等年平均下陷速率圖.....	13
圖 2.7	雲林民國 88~91 年等年平均下陷速率圖.....	14
圖 2.8	雲林民國 91~92 年等年平均下陷速率圖.....	14
圖 2.9	民國 81 年~92 年雲林地區累積下陷量圖.....	15
圖 3.1	航空側視雷達原理圖.....	19
圖 3.2	航空側視雷達(SLAR)架構圖.....	20
圖 3.3	合成天線陣列示意圖.....	21
圖 3.4	雷達感測器相對於目標物的幾何示意圖.....	23
圖 3.5	圖為中部 ERS-2 之 SAR 影像.....	24
圖 3.6	雷達回波對不同地表的反射情況.....	25
圖 3.7	衛載重複軌跡法之幾何示意圖.....	26
圖 3.8	空載雙天線之幾何示意圖.....	27
圖 3.9	雷達差分干涉技術法示意圖.....	28
圖 3.10	合成孔徑差分干涉雷達(DInSAR)的流程.....	29
圖 3.11	中部地區強度影像(a)及同調性影像(b).....	31
圖 3.12	說明相位解算的情形.....	32
圖 3.13	雷達成像幾何示意圖.....	33
圖 3.14	在 SIR-C/X-SAR 三種波段 L(波長 24 cm)、C(波長 5.7 cm)、X(3.1 cm) 中,大氣壓力、相對溼度與相位延遲量之關係圖.....	38
圖 3.15	L 波段在相對溼度 20% 時,相位延遲對位移模式及三軌跡法所產生之斜距位移量誤差圖.....	39
圖 3.16	ERS 衛星軌道圖.....	43
圖 3.17	影像垂直基線長及時間分布圖.....	44
圖 3.18	Diapason V4.1 軟體處理流程.....	46
圖 3.19	舊金山灣區 PS 點資料與 LandSat 立體影像.....	48
圖 3.20	Berkeley 地區的 PS 斜距變化量.....	48
圖 3.21	本文之 PS InSAR 處理流程之四階段.....	50
圖 3.22	永久散射體影像對之垂直基線長及時間差分布圖.....	51
圖 3.23	本文之永久散射體影像對(ERS-2)之垂直基線長及時間差分布圖.....	52
圖 3.24	PS 相位依據不同同調性的機率密度函數.....	53
圖 3.25	在 1m,5m,10m DEM 誤差下之基線長與相位差關係圖.....	54

圖 4.1	雷達差分干涉結果之地區(SPOT 影像).....	56
圖 4.2	雲林地區四組雷達差分干涉圖.....	57
圖 4.3	雲林(A)區域(西螺鎮市中心)長時間地表變形速率圖.....	58
圖 4.4	測線 A1A1' 於雲林(A)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	59
圖 4.5	測線 A2A2' 於雲林(A)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	59
圖 4.6	雲林(B)區域(東邊為靠近虎尾鎮、西邊則位於土庫鎮)長時間地表變形速率圖.....	60
圖 4.7	測線 B1B1' 於雲林(B)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	61
圖 4.8	測線 B2B2' 於雲林(B)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	61
圖 4.9	雲林(C)區域(坐落於雲林縣褒忠鄉、東勢鄉及元長鄉三個地區)長時間地表變形速率圖.....	62
圖 4.10	測線 C1C1' 於雲林(C)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	63
圖 4.11	雲林(D)區域(東南半部位於雲林縣的斗南鎮、西北半部則靠近虎尾鎮)長時間地表變形速率圖.....	64
圖 4.12	測線 D1D1' 於雲林(D)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	64
圖 4.13	測線 D2D2' 於雲林(D)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	65
圖 4.14	雲林(A)區域(西螺鎮市中心)長時間地表變形速率圖.....	66
圖 4.15	測線 A1A1' 於雲林(A)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	66
圖 4.16	測線 A2A2' 於雲林(A)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	67
圖 4.17	雲林(B)區域(東邊為靠近虎尾鎮、西邊則位於土庫鎮)長時間地表變形速率圖.....	68
圖 4.18	測線 B1B1' 於雲林(B)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	68
圖 4.19	測線 B2B2' 於雲林(B)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	69
圖 4.20	雲林(C)區域(坐落於雲林縣褒忠鄉、東勢鄉及元長鄉三個地區)長時間地表變形速率圖.....	70
圖 4.21	測線 C1C1' 於雲林(C)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	70
圖 4.22	雲林(D)區域(東南半部位於雲林縣的斗南鎮、西北半部則靠近虎尾鎮)長時間地表變形速率圖.....	71
圖 4.23	測線 D1D1' 於雲林(D)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	72
圖 4.24	測線 D2D2' 於雲林(D)地區長時間地表變形圖之量化結果.....	72
圖 4.25	雲林(A)區測線 A1A1' 及 A2A2' 於兩種方法結果之差異.....	73
圖 4.26	雲林(B)區測線 B1B1' 及 B2B2' 於兩種方法結果之差異.....	74
圖 4.27	雲林(C)區測線 C1C1' 兩種方法結果之差異.....	75
圖 4.28	雲林(D)區測線 D1D1' 及 D2D2' 於兩種方法結果之差異.....	76
圖 4.29	雲林地區之強度影像.....	79
圖 4.30	雲林地區永久散射體位置圖.....	80
圖 4.31	雲林(A)地區(崙背鄉及褒忠鄉,面積為 3.36 km ²)永久散射體之年變化率.....	81

圖 4.32	雲林(A)區之 PS 年位移量統計長方圖.....	81
圖 4.33	雲林(B)地區(東勢鄉、褒忠鄉及元長鄉，面積為 12.8 km ²)永久散射體之年變化率.....	82
圖 4.34	雲林(B)區之 PS 年位移量統計長方圖.....	83
圖 4.35	雲林(C)地區(土庫鄉、虎尾鄉，面積為 8.96 km ²)永久散射體之年變化率.....	84
圖 4.36	雲林(C)區之 PS 年位移量統計長方圖.....	84
圖 4.37	雲林(D)地區(土庫鎮、元長鄉，面積 4.48 km ²)永久散射體之年變化率.....	85
圖 4.38	雲林(D)區之 PS 年位移量統計長方圖.....	86
圖 4.39	雲林(E)地區(虎尾鎮，面積為 3.84 km ²)永久散射體之年變化率.....	87
圖 4.40	雲林(E)區之 PS 年位移量統計長方圖.....	87
圖 4.41	雲林(F)(西螺鎮，面積為 17.28 km ²)地區永久散射體之年變化率.....	88
圖 4.42	雲林(F)區之 PS 年位移量統計長方圖.....	89
圖 4.43	經強度及同調性篩選後結果 PS 位置圖.....	91
圖 4.44	經相位解算後結果 PS 位置圖.....	91
圖 4.45	年位移量放大圖.....	92
圖 4.46	PS 年位移量統計長方圖.....	92
圖 5.1	雲林地區之不同幾個覆蓋區.....	95
圖 5.2	PS 結果之年平均下陷速率圖.....	98
圖 5.3	水準測量結果與 PS 結果相比較圖.....	99