

# 應用雷達差分干涉法監測都會型地表變形：以中壢

## 工業區為例

張中白<sup>1</sup> 王志添<sup>2</sup> 王皓正<sup>3</sup> 陳錕山<sup>4</sup>

### 摘要

本研究選用八幅 ERS1/2 人造衛星所擷取的合成孔徑雷達影像，以差分干涉法進行測量，成功獲得中壢工業區過去十年內地表變形情形。研究成果顯示中壢工業區的變形以垂直下陷為主，變形區域大體呈圓形分佈。另外，本區下陷事件大約從 1996 年開始發生，至 2000 年以後方才逐漸趨緩；由於明顯的下陷速率變化，以及近圓形的變形分佈，本區的地層下陷極有可能是地下水抽取所引起。地下水抽取造成的地層下陷可以利用數值模擬加以驗證，這將是後續的研究重點。

關鍵詞：合成孔徑雷達、差分干涉法、地表變形

## 1. 前言

台灣地區地狹人稠，即使是微量的地表變形也足以造成相當程度的地質災害，因此地表變形監測在台灣是一項重要的課題。許多工程或研究單位已先後利用不同的工具或方法，投入地表變形測量工作，目前已有相當豐碩的成果（例如 Yu et al., 1997）。在監測工作中，由人為因素所造成的地表變形通常較不容易掌握，這是由於人為因素造成的地表變形分佈範圍較局部，且變形速率並不連續，不容易由地體構造推斷出可能的變形區域與速率。並且當懷疑特定地區可能發生地表變形時才開始監測，卻往往由於缺乏歷史性的觀測資料，無法估算地表實際的變形程度及變形速率的變化情形。另外，許多人為造成的地表變形都發生在人口

密集的都會區，對於目前應用最廣的地表變形測量工具—GPS（Global Positioning System）而言，接收設備極易被大樓所遮蔽，因此變形趨勢僅能以都會區外緣的監測成果內插獲得，監測效果極不理想。衛星雷達以電磁波束掃描地表，能快速提供可能發生變形區域的面狀資訊，且歷史影像資料可以回溯調閱，利用衛星雷達影像差分干涉法（Differential Interferometric SAR, DInSAR）理論上可以突破上述限制。

雷達影像差分干涉法是利用兩組（或多組）不同時間的衛星合成孔徑雷達（Synthetic Aperture Radar, SAR）資料進行精準的幾何校正，再經由資料干涉分析，得到兩影像間相對應的地表距離變化，其精密度可達到公分級以下。近十年來雷達差分干涉法在地表變形量測方面已得到重要的成果（e.g., Zebker et al., 1994; Massonnet and Feigl,

<sup>1</sup> 國立中央大學太空及遙測研究中心助理教授

<sup>2</sup> 國立中央大學太空及遙測研究中心副研究工程師

<sup>3</sup> 國立中央大學太空及遙測研究中心研究助理

<sup>4</sup> 國立中央大學太空及遙測研究中心教授

收到日期：民國 92 年 11 月 07 日

修改日期：民國 93 年 01 月 29 日

接受日期：民國 93 年 02 月 02 日

1998；Chang et al., 2003)。台灣地區中央大學太空及遙測研究中心地面接收站自 1993 年接收衛星雷達影像至今，已經累積充分的研究資料。本研究之主要目的在於以衛星雷達影像差分干涉法測量都會型地表變形，並以中壢工業區為實際案例加以討論。

## 2. 區域背景

國內目前在桃園中壢地區並無詳細的GPS觀測資料，僅有經濟部水利署90年度的委辦研究計畫—『台灣地區地層下陷之監測、調查及分析(1/4)』計畫，針對本地區進行過精密水準測量。將其測量結果與87年度經濟部水利處在同一地區所作的測量結果比較，發現多數水準點都有下陷的狀況。初步估算，桃園地區的年平均下陷速率約在1~2公分左右。在經濟部水利署90年度的研究計畫報告書中也提到『區域（桃園地區）雖呈現下陷的趨勢，但是下陷的中心並不明顯，因此建議下一年度擴大檢測區域，以進一步釐清桃園地層下陷的狀況』。

經初步研判，桃園地區的地層下陷中心雖不明顯，然而似乎以介於桃園市與中壢市之間的中壢工業區一帶較為嚴重（地理位置參看圖1），本研究因此嘗試以衛星雷達影像差分干涉法，釐清該地區的變形範圍及變形速率。中壢工業區是一個綜合性的工業園區，設置其中的廠商以金屬製品（19.4%）及電子工業（18.4%）為比例最高之產業。中壢工業區地理位置位屬於桃園中壢台地，此台地原為一個大型複合沖積扇—古石門複合沖積扇之一部分，係由大漢溪挾帶之沉積物堆積而成，面積約1,090 平方公里。桃園中壢台地表面為0~5公尺紅土，透水性差，紅土之下為20~40公尺礫石層，礫石層之下為粒土與砂之互層，礫石層含水，地下水位通常低於紅土層底部。另外，依據地層剖面資料

顯示（經濟部水資源局，1999），本區地下水含水層大多數僅為一層，局部性偶有二層者，惟層與層之間並未完全封閉，故大多屬於自由含水層。



圖1 桃園縣 SPOT 衛星影像。(1) 桃園市；(2) 中壢工業區；(3) 中壢市。

## 3. 資料與方法

本研究選用歐洲太空總署（European Space Agency, ESA）發射之資源衛星—ERS1 與 ERS2 所擷取之合成孔徑雷達影像，採二軌跡法進行差分干涉測量。產生一張差分干涉圖需要用到兩幅不同時段擷取的影像：首先將影像的原始回波資料處理產生單觀點（single look）複數影像，然後利用此單觀點複數影像將兩張衛星影像套合。將套合好的影像去除地球曲率效應並加以干涉處理，再導入農航所製作精度 40 公尺的數位高程模型（DEM）消除地形效應後，便可得到反應地表變形的干涉圖像。在干涉圖中我們以色彩序列來代表雷達回波的相位差，每一週期的色彩序列（從紅色到紫色）代表一個完整的相位差（從 $-\pi$ 到 $\pi$ ）。ERS1/2 衛星所使用的是 C 波段雷達，其電磁波長為 5.6 公分左右，考慮雷達波往返特性，干涉圖中每一週期的色彩序列代表大約 2.8 公分的斜距距離變化量（1/2 的雷

達波長)。

本研究針對 ERS1/2 衛星軌道編號 (track) 461、圖幅 (frame) 3105 的雷達影像資料 (圖 2) 規劃觀測時段,涵蓋的時間從 1993 年 11 月到 2003 年 2 月約十年的期間。為了避免大氣條件的影響,本研究採用多組不同時段干涉影像對作交互驗證,一共規劃八張影像,共組成五組軌道基線偏差 (baseline offset) 小於 200 公尺的影像對,詳細之影像對時間與軌道參數如表 1 及圖 3 所示。

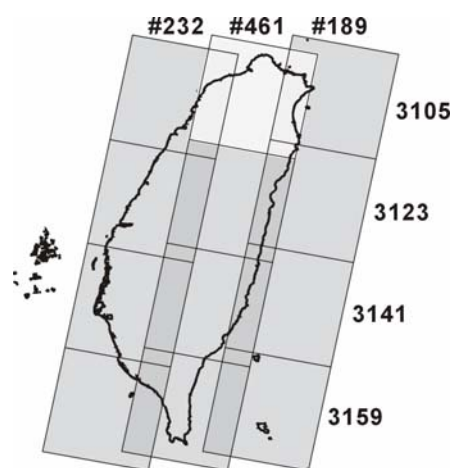


圖 2 人造衛星 ERS1/2 於台灣地區影像涵蓋圖。本研究使用 461 軌道 (track) 3105 圖幅 (frame) 的雷達影像,針對桃園地區進行差分干涉測量。



圖 3 差分干涉影像對時間規劃圖。各組影像對詳細時間與軌道參數列於表 1。

表 1 差分干涉影像對之詳細軌道參數。ERS1：ERS1 衛星所擷取的影像；ERS2：ERS2 衛星所擷取的影像；Master：主影像；Slave：副影像；Date：影像擷取的時間；Orbit：軌道編號；B//：衛星軌道水平基線；B\_⊥：衛星軌道垂直基線；Days：主副影像時間間隔 (單位：天)。

	Master	Date	Slave	Date	Orbit	B//	B_⊥	Days
第一組	E1	1995/06/16	E1	1993/11/10	12129	-8	-8	583
第二組	E2	2000/01/22	E1	1996/01/12	23495	45	0	1471
第三組	E2	1999/07/31	E2	1997/02/01	9333	-77	-11	910
第四組	E2	2000/01/22	E2	1998/03/28	15345	54	-48	665
第五組	E2	2003/02/15	E2	2000/01/22	24864	-51	73	1120

## 4. 初步成果

初步差分干涉結果如圖 4 所示。為了方便判讀,我們將公路以黑色線段套合於圖上,結果發現最顯著的地表變形確實發生在中壢工業區內,並且以工業區中心為變形中心,向外圍變形量有逐漸減小的趨勢 (圖 4)。

圖 5 是針對中壢工業區地表變形的量化成果,各組干涉圖之範圍如圖 4 中白框所示,各量化剖面的經緯座標詳列於表 2。從量化結果中我們可以明顯觀察到中壢地區的地表變形,不論是速率或分佈範圍都有隨時間變化的趨勢。時間最早的第一組干涉圖中並無明顯的干涉環 (圖 4a),初步推論在 1995 年中之前地表尚未開始變形,或僅有非常微量的變形 (圖 5 之量化結果顯示,在 1993 年底至 1995 年中僅有未達 1 公分的變形)。時間分佈在 1996 年到 2000 年間的第二、三、四組的干涉圖中 (圖 4b、c、d),則有明顯的到干涉環,推測這段時間內地表正在發生變形。量化結果顯示此時段的變形是近圓形分佈的快速地層下陷,下陷中心四年內的總下陷量超過 5 公分 (圖 5)。

第五組干涉圖中干涉環已不如前三組明顯，推測在 2000 年以後地表變形的速率可能趨緩。並且一反先前的觀測結果，在 2000 年以後中壢工業區的地表非但沒有下陷，反而略為抬昇。圖 5 之量化結果顯示，在 2000 年初至 2003 年初的兩年時間中，有約 1 公分的抬昇量。

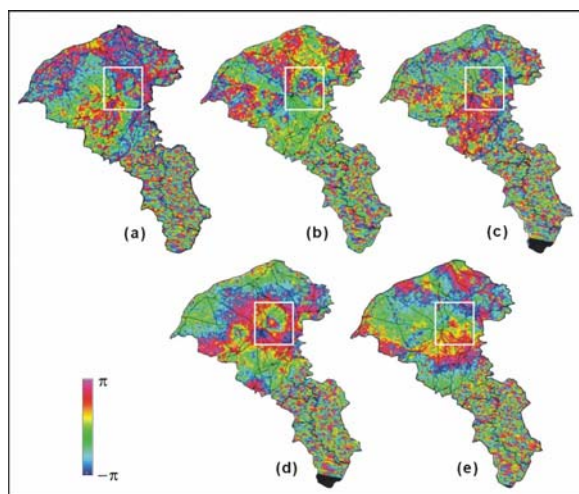


圖 4 桃園地區差分干涉測量結果。(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 分別代表第一組至第五組影像對之干涉圖，各組影像對時間與軌道參數見圖 3 與表 1，各組干涉圖中之白框標示主要變形發生區域。

表 2 量化剖面各端點之經緯座標（座標系統為 TW67）

	經度	緯度
A	121°13'20"	24°59'28"
A'	121°15'05"	24°59'28"
B	121°13'09"	24°58'57"
B'	121°16'03"	24°58'57"
C	121°13'06"	24°58'10"
C'	121°15'46"	24°58'10"

## 5. 討論與結論

本研究成功的解析出中壢工業區在過去數年中隨時間變化的變形情形。根據經濟部水利署的研究成果，在 1998 年至 2000 年間，桃園中壢地區有

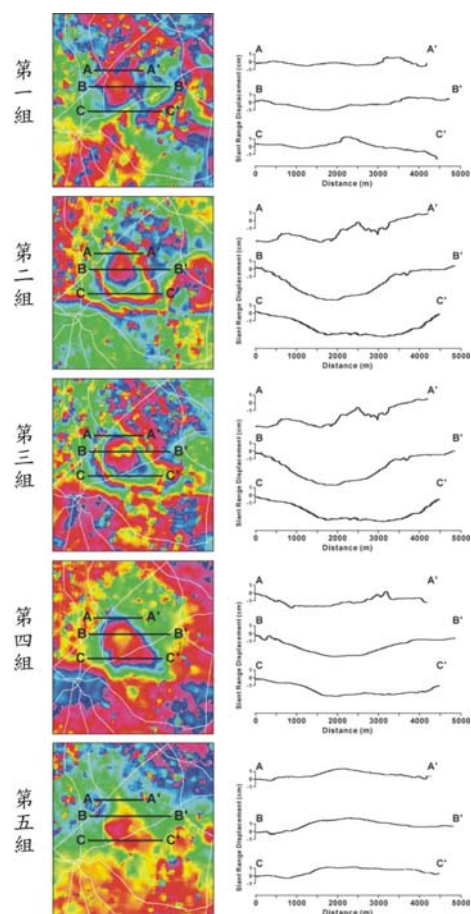


圖 5 中壢工業區地表變形量化剖面。各組影像對時間與軌道參數見圖 3 與表 1，各組干涉圖之範圍如圖 4 中白框所示，各量化剖面的經緯座標詳列於表 2。

局部地層下陷的趨勢，但是下陷中心並不明顯。我們將水利署的水準網套合到與水準施測大約同時段的差分干涉圖上（第四組，1998 年至 2000 年），結果發現所謂的下陷中心—中壢工業區恰巧被其中三條水準測線所包圍（圖 6）。由於水準測量是以施測點為測量基礎，除非佈設密集的施測點，建構成精度足夠的水準網，否則很難掌握整個區域整體的變形趨勢。本研究使用衛星雷達影像差分干涉測量，迅速提供該區域面狀的地表資訊，可以補足水準測量不足之處。

就變形特性而言，一般自然因素（地殼內營力）造成的地表變形，除了火山活動外大都速率平穩，呈線型分佈且具有相當程度的水平位移分量。

雷達差分干涉測量結果顯示本區的地表變形速率變化頗大，呈圓形分佈且以垂直下降為主（圖 4、5、6）。前文中曾提及，中壢工業區內的工廠主要以金屬工業及電子工業為主，這些都是需要大量用水的工業。另外，此區之地下含水層以礫石層為主，礫石層的孔隙率高，地下水抽取後地層支撐力減小，岩層的壓密作用極易引發地層下陷。就中壢工業區的環境特性推測，人為的地下水抽取造成地層體積改變，極有可能是地層下陷的主因。

由於傳統測量技術必須到實地施測才能獲致變形資訊，對於測量網佈設之前發生的變形無法回溯，只能以後的測量結果推估。這種方法應用於人為因素所造成的地表變形會有很大的限制；因為人為因素造成的地表變形分佈範圍較局部，且變形速率並不連續，不容易由地體構造推斷出可能的變形速率。差分干涉測量因為可以調閱歷史影像進行作業，歷史變形在事後依然能被計算出來，本研究觀察到中壢工業區變形速率在過去數年中隨時間變化的情形，就是一個成功的例子。

地下水抽取造成的地層下陷，可以利用數值模擬的方法加以驗證。然而因為缺乏地下水抽取資料，模擬的假設會較多，可信度會降低。相關資料的收集與整合，以及進一步的模擬驗證將是本研究後續的研究重點。

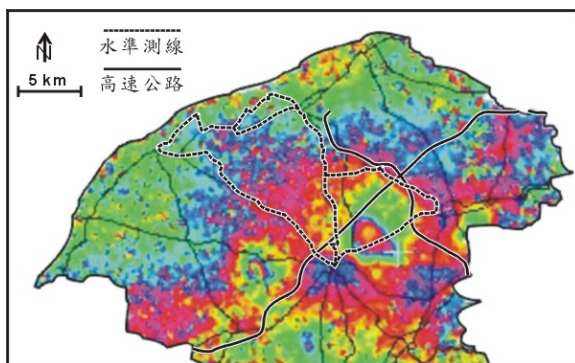


圖 6 經濟部水利署於桃園於測區之水準網（根據經濟部水利署，2000）。底圖為與水準施測同時段的差分干涉圖（第四組）。

## 參考文獻

- Chang, C.P., C. T. Wang, T. Y. Chang, K. S. Chen, L. S. Liang, E. Pathier and J. Angelier (2003). Application of SAR interferometry to a large thrusting deformation: The 1999 Mw=7.6 Chichi earthquake (Central Taiwan), *Geophysical Journal International* (revised).
- Massonnet, D. and K. L. Feil (1998). Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface, *Rev. Geophys.*, 36, 441-500.
- Yu, S.B., H. Y. Chen and L. C. Kuo (1997). Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Zekber, H. A., P. A. Rosen, R. M. Goldstein, A. Gabriel and C.L.Werner (1994). On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake, *J. Geophys. Res.*, 99,19,617-19,634.
- 經濟部水利署(2000)「台灣地區地層下陷之監測、調查及分析 1/4」計畫報告書，委託工業技術研究院能源與資源研究所辦理。
- 經濟部水資源局(1999)「台灣地區地下水補注量估算」。

# Application of DInSAR in Monitoring the Metropolitan Land-Surface Deformation: Jungli Industry Park as an Example

Chung-Pai Chang<sup>1</sup>   Chih-Tien Wang<sup>2</sup>   Hao-Cheng Wang<sup>3</sup>   Kun-Shan Chen<sup>4</sup>

## ABSTRACT

Eight ERS1/2-SAR images recorded in the last ten years are used for determining the land-surface deformation in the Jungli Industry Park area by differential interferometric method. The interferometric results reveal a circular-shape subsidence of which the center is situated within the Jungli Industry Park center. Moreover, the subsidence event of this area occurred from 1996, and tended to cease after 2000. The rapid change of subsidence rate and the circular-shape of subsidence distribution illustrate that the artificial influences, for example, groundwater pumping may be important factors for the land subsidence of the Jungli area. Numerical simulation of land subsidence in terms of discharge/recharge of groundwater can substantiate in advance the relationship between the land deformation and the groundwater influence for the Jungli area in the future.

**Key Words:** Synthetic Aperture Radar, Differential Interferometry, Land-Surface Deformation

---

<sup>1</sup>Assistant Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

<sup>2</sup>Associate Research Engineer, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

<sup>3</sup>Research Assistant, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

<sup>4</sup>Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

Received Date: Nov. 07, 2003

Revised Date: Jan. 29, 2004

Accepted Date: Feb. 02, 2004