

第二章 雲林地區地表變形現況及前人研究

地層下陷監測主要可分為地表下陷監測及地下地層變形監測，其中地表下陷監測主要包括水準測量及 GPS 定位測量，其功能為實際偵測地表之陷落量，此瞭解地表下陷最直接之方法；另外地下地層變形監測則是透過地層下陷監測井之設置，實際監測地下土層之變形行為，所以透過地表及地下之監測方法將可確實掌握目前地層下陷之變化與機制(康家桂，2006)。本節將回顧有關雲林地區下陷之概況及前人於雲林下陷地區的相關研究，再與本研究結果做驗證。

2-1 雲林地區地表變形現況

根據經濟部調查，台灣沿海地層下陷面積達一千七百平方公里，相當於六個台北市，主要分布在西南沿海及宜蘭沿海，其中雲林地區為嚴重下陷區域之一(工研院，2007)。雲林縣位於濁水溪沖積扇南翼，海岸地區地層組成顆粒細小，結構軟弱，容易因外力而發生變形，尤其是超抽地下水常會造成嚴重的地層下陷問題。根據 1992 年至 2003 年的統計，台灣地層下陷最嚴重的地區是屏東，累積最大下陷量達到 3.25 公尺，平均年下陷量達 14 公分。其次是雲林沿海，累積最大下陷量達到 2.20 公尺，平均年下陷量達 21.1 公分(如表 2.1 及表 2.2 說明)。

近年來雲林內部地區之元長、土庫附近之下陷速率明顯增加，但因附近無地層下陷監測井，所以無觀測資料可供解釋地層下陷之機制，但其原因仍與地下水受過量使用有關，而從地下水位之變化型態推估其與養殖業之關係較不密切，因此當地應有其他地區性之產業或民生用水大量使用地下水，使得地下水位出現異常變化，並引起地層下陷。

地層下陷中心轉移的可能原因為早期對地下水開發以淺層含水層為主，下陷發生之深度較淺，土層壓縮潛能較大，但由於地層下陷發生較早，長期的下陷已使得地層較為密實，到了晚期其下陷量會較小。

分析其沿海地區主要水準點之下陷過程，發現民國 70~75 年間，下陷主要在金湖、口湖一帶；民國 75~80 年及 80~85 年間，下陷中心移轉至雲林北部之蚊港、

台西附近。根據民國 90~94 年之下陷速率及面積分析，民國 87 年時下陷中心已出現在元長、土庫附近，到了民國 91 年更發現該下陷中心範圍向外擴展，持續下陷面積約 610.4 平方公里，民國 92 年度再加以檢測更發現持續下陷面積擴大，下陷中心範圍涵蓋土庫、元長及褒忠，持續下陷面積增至 703 平方公里，最大下陷速率增至 12.2 公分/年。民國 93 年度持續追蹤檢測，則發現下陷範圍略為縮小，持續下陷面積縮小為 516 平方公里，最大年平均下陷速率降為 10.6 公分/年，民國 94 年度雲林地區累積下陷總量已達 2.30 公尺，持續下陷面積擴大為 678.6 平方公里，最大年平均下陷速率為 11.6 公分/年，位居全台之冠(工研院，2006)。整體評估雲林地區近 13 年的總下陷量，內陸地區已超過 1 公尺的下陷量，且下陷速率並未明顯減緩，而高速鐵路正經過最嚴重的下陷區，可以預見日益嚴重的地層下陷問題將對國家百年大計之高鐵工程的行車安全、營運、維修投入不可預期的變數(如圖 2.1)。

表 2.1 1992 ~2003 年各區域地層下陷之年下陷速率統計表(單位：公分/年)

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
宜蘭	0.4	1.5	2.6	3.1	2.7	1.6	1.6	2.1	0.2	0.2	2.5	0.5
彰化	13.5	13.5	16.5	16.5	16.2	16.2	14.3	14.3	16.4	17.6	11.7	10.4
雲林	21.1	12.1	10.3	10.3	10.3	4.1	4.1	2.5	2.9	2.3	5.3	12.2
嘉義	20.2	15.9	9.3	8.2	7.8	3.8	1.9	1.5	4.5	3.2	5.3	6.8
台南	1.6	1.6	7.7	—	—	—	—	7.7	—	8.1	8.1	6.5
高雄	0.6	1.1	1.1	3.8	—	—	—	3.8	—	—	—	2.7
屏東	1.8	14.0	12.8	6.9	8.5	7.7	3.6	2.3	2.4	4.3	1.7	2.6

資料來源：經濟部水利署

表 2.2 1992~2003 年各地層下陷地區最大累積總量統計表(單位：公分/年)

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
宜蘭	20	21	24	27	30	31	33	35	35	35	42	43
彰化	46	59	76	92	108	125	139	153	184	202	214	220
雲林	112	124	135	145	155	159	163	166	208	210	215	220
嘉義	69	85	94	102	110	114	116	117	121	124	129	134
台南	15	17	25	—	—	—	—	63	63	80	80	84
高雄	4	5	6	10	—	—	—	25	25	—	—	23
屏東	256	270	183	290	298	306	310	312	315	320	322	325

資料來源：經濟部水利署

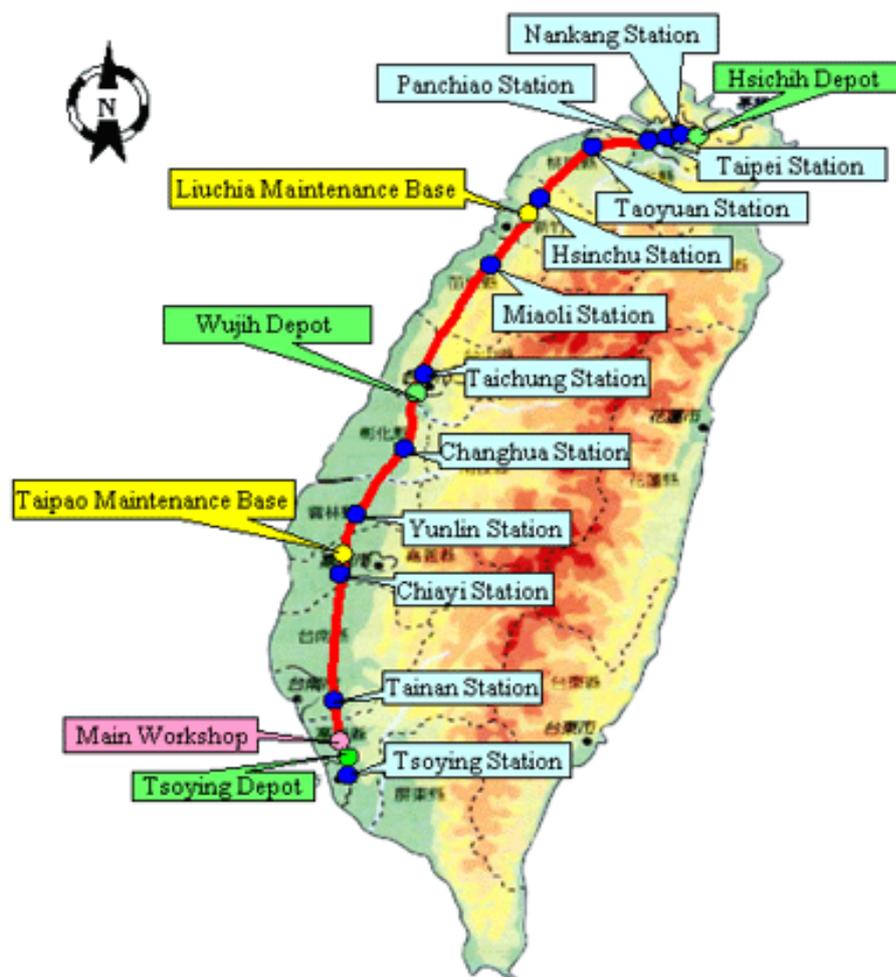


圖 2.1 台灣高速鐵路沿線於各縣市之站點(摘自 Hwang et al., 2007)。

2-2 前人研究

於雲林地層下陷區域，本節將針對精密水準測量相關研究進行回顧與說明。

1. 精密水準測量

地層下陷資料是根據一般政府機構或相關工程單位於定期時間或是需要會實施大面積或局部性之水準測量。測量方式是地層下陷區以外之一等水準點已經精密水準測量引測至地層下陷區域，並於地層下陷區設置適量之基準點，經由多次不同時間之量測結果比較，可求出地層下陷量；再由各基準點的地層下陷量，繪出等下陷量線，求出下陷中心(工研院，2007)。

雲林地區利用精密水準測量之測量範圍(如圖 2.2 說明)，在雲林沿海地層下陷區檢測範圍，以往為北起濁水溪南岸，南至北港溪北岸，東迄省道十九線以西，西至沿海一帶。檢測區域涵蓋麥寮鄉、台西鄉、東勢鄉、口湖鄉、水林鄉、北港鎮等八鄉鎮，其中控制系統檢測係由林內經斗六、斗南、土庫引進，再經由西螺返回斗六進行閉合，原路線長 270 公里。但因應內陸地區之地層下陷趨勢，於土庫、元長、北港增加一水準檢測網，使得目前檢測路線里程總長增至 299 公里。路線經過鄉鎮總面積 1186 平方公里(工研院，2007)。

於量測結果上，於早期雲林地區下陷區域集中於沿海地區。分析於雲林沿海地區經由水準量測結果所示，可以發現民國 70~75 年間，下陷主要在金湖、口湖一帶，平均年下陷速率約 10cm；民國 75~80 年及 80~85 年間，下陷中心移轉至雲林北部之蚊港、台西附近，平均年下陷速率約 10~20cm。而民國 85 年以後，下陷速率逐年縮減，到民國 92 年為止，沿海地區之平均下陷速率僅約 3~5cm (工研院，2007)。

根據民國 81~83 年之年平均下陷速率圖(圖 2.3)，最大下陷速率為 15cm 位於沿海地區的麥寮鄉，而內陸地區元長鄉也約有 9~10cm 之速率；於民國 83~85 年之年平均下陷速率圖來看(圖 2.4)，沿海地區之下陷量有明顯減緩情形，其下陷量約 7cm 之下陷速率，但內陸地區元長附近能維持 6~7cm 之速率。於民國 85~91

年間(圖 2.5~圖 2.7)，可看見沿海下陷速率已大幅下降，但元長附近能有 7.5cm 之下陷速率，其下陷趨勢有往內陸移動之趨勢，而下陷中心已出現在元長、土庫地區；至民國 91~92 年(圖 2.8)發現元長、土庫之下陷中心範圍有向外發展趨勢，最大下陷速率高達-10cm。因此，雲林內陸地區之地層下陷早已存在，只是因早期沿海地區下陷情形過於嚴重，以致於我們都將重心放在沿海地區而未重視內陸區域。

再者，根據民國 81 年至 92 年之累積下陷量(圖 2.9 所示)，卻發現最大累積下陷量發生於元長及土庫附近。也依據表三所示，在民國 81 年~83 年間，最大下陷速率是位於麥寮鄉之 16cm，而到民國 88 年至 91 年，最大下陷速率卻發生於土庫附近，持續下陷面積(年平均下陷速率超過 3cm 之範圍)約有 610.45 平方公里，於民國 91 年至 92 年最大下陷速率有 12.2cm，位於元長鄉、土庫鎮、褒忠鄉，持續下陷面積增至 703.06 平方公里。可發現整個雲林地區之地層下陷趨勢在這十年間發生變化，且下陷中心恰有台灣高速鐵路通過，持續嚴重的下陷恐將影響高速鐵路之工程結構與行車安全，因此該及時採取因應措施。

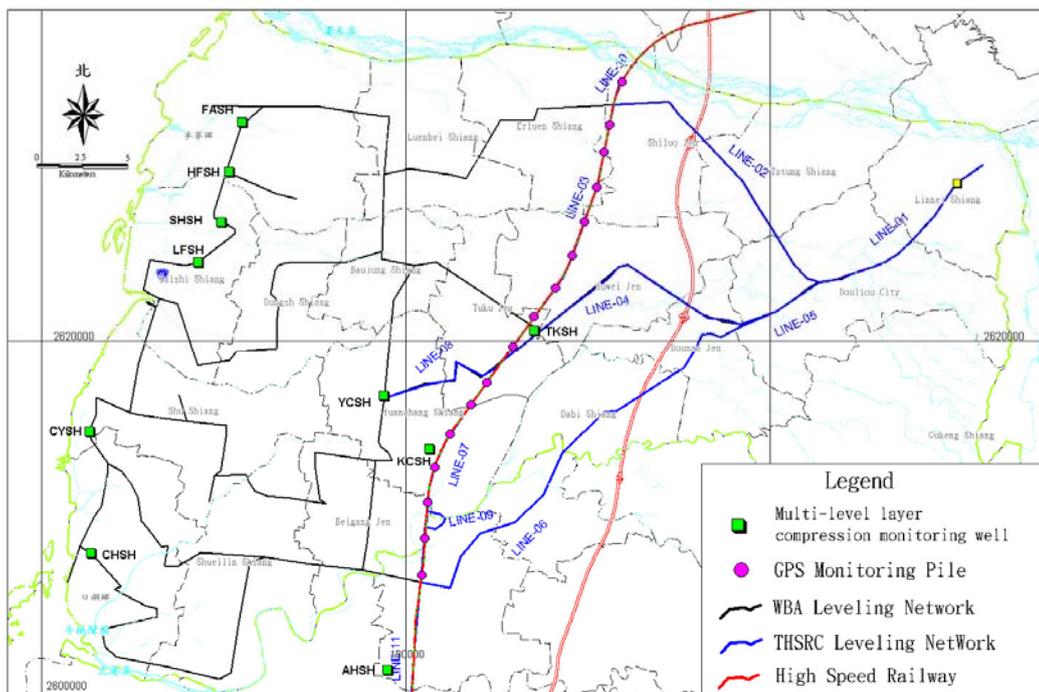


圖 2.2 雲林測區水準檢測網及路線圖(摘自 Hwang et al., 2007)。

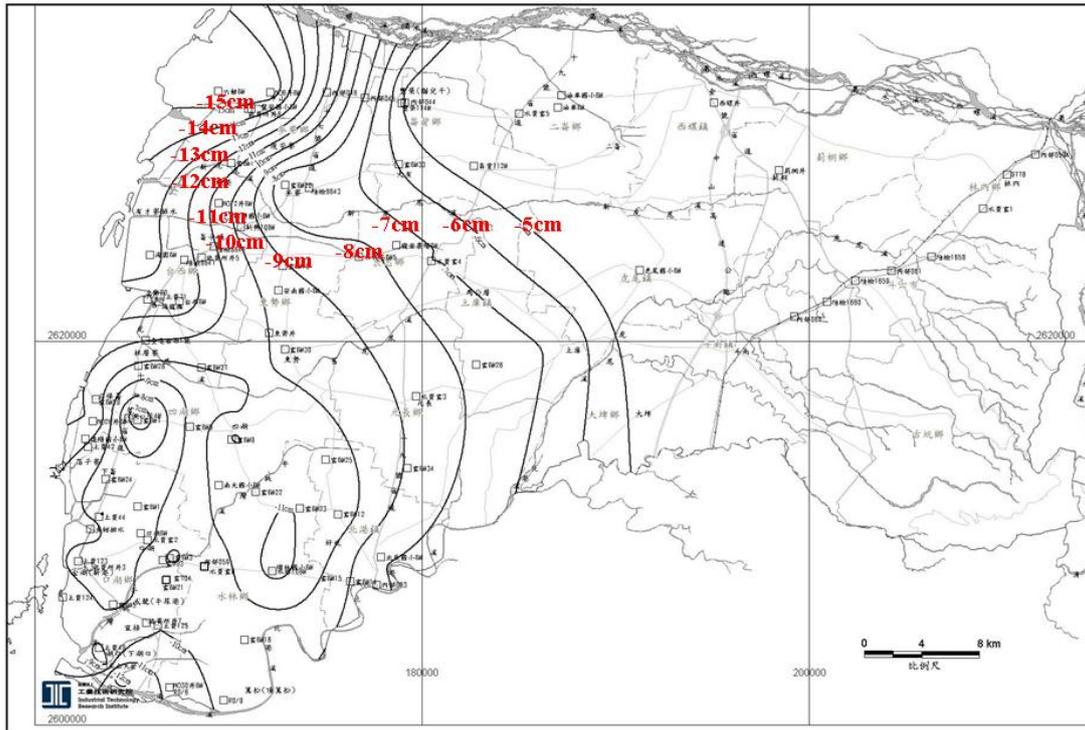


圖 2.3 雲林民國 81~83 年等年平均下陷速率圖(工研院，2006)。

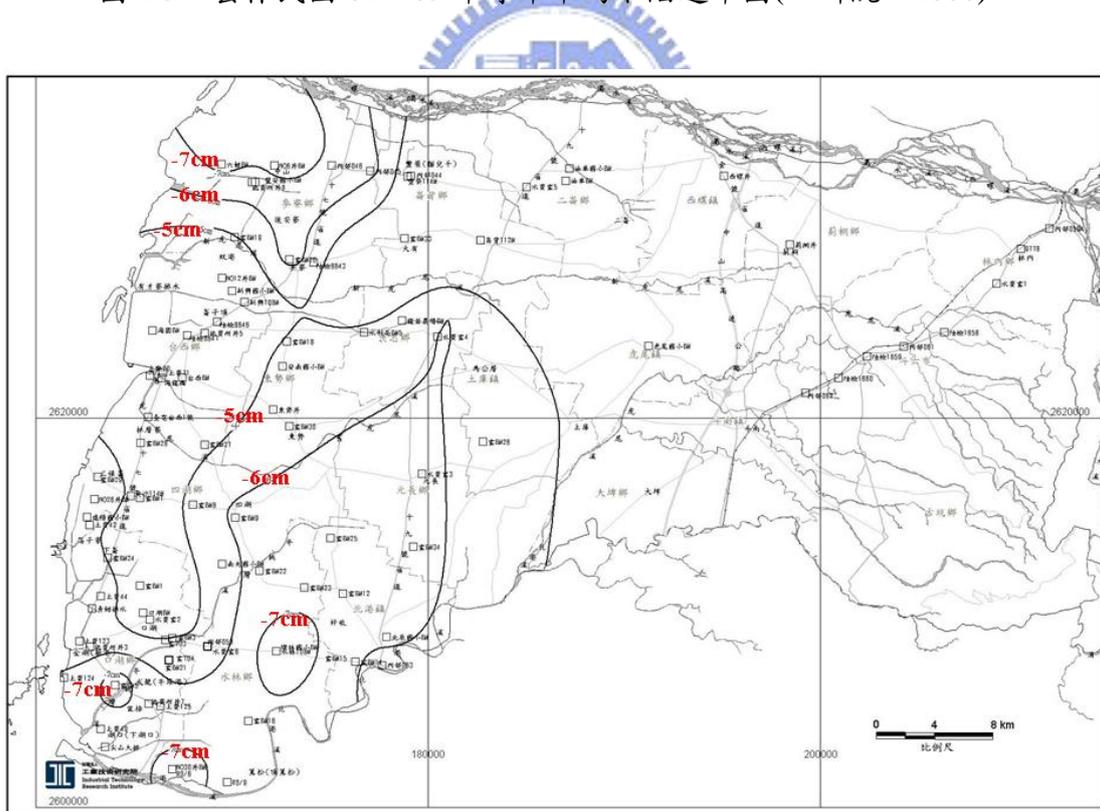


圖 2.4 雲林民國 83~85 年等年平均下陷速率圖(工研院，2006)。

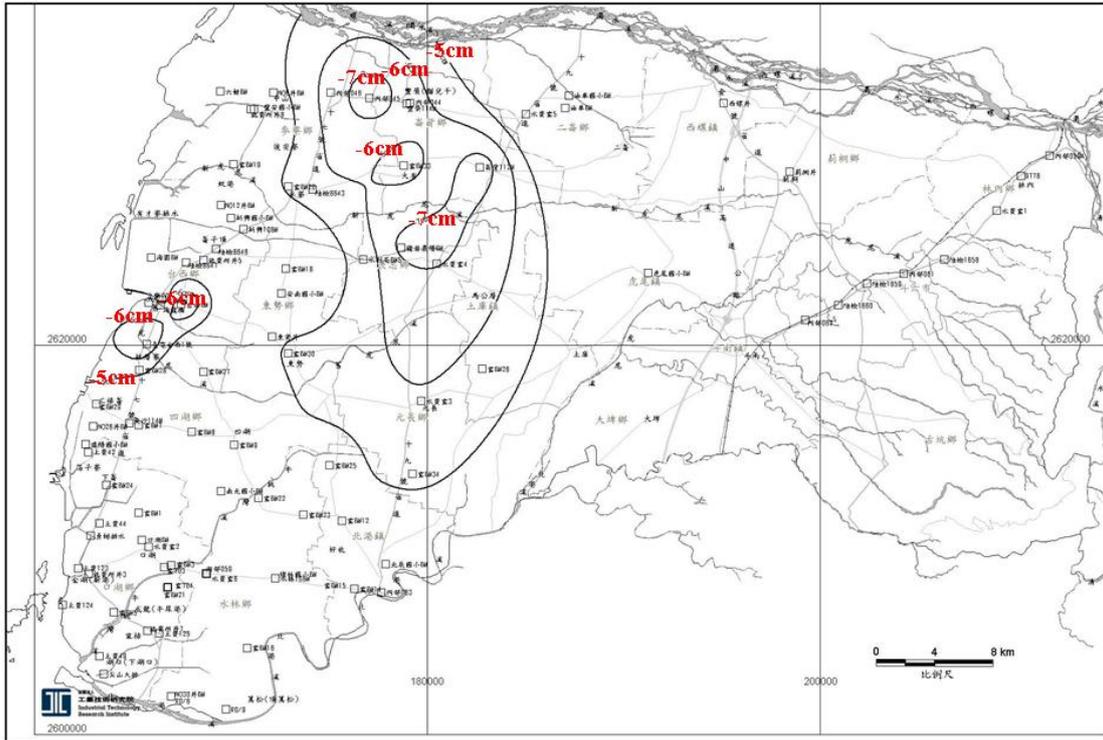


圖 2.5 雲林民國 85~87 年等年平均下陷速率圖(工研院，2006)。

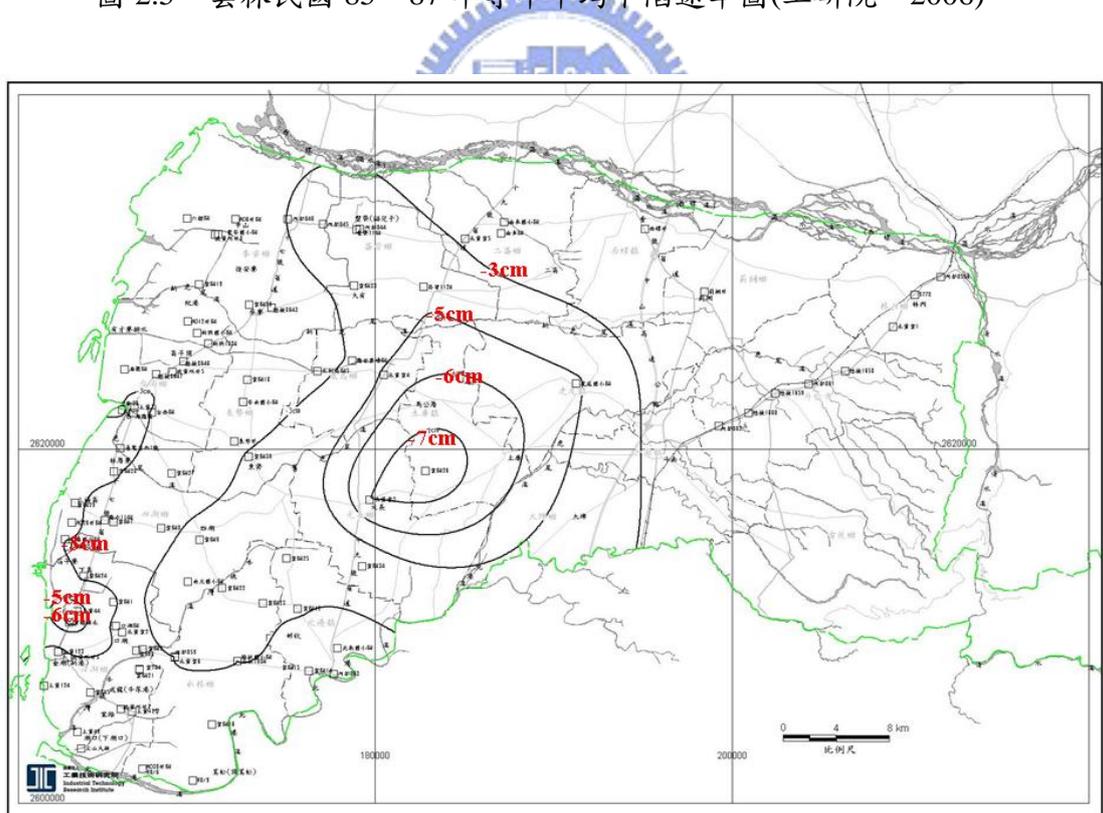


圖 2.6 雲林民國 87~88 年等年平均下陷速率圖(工研院，2006)。

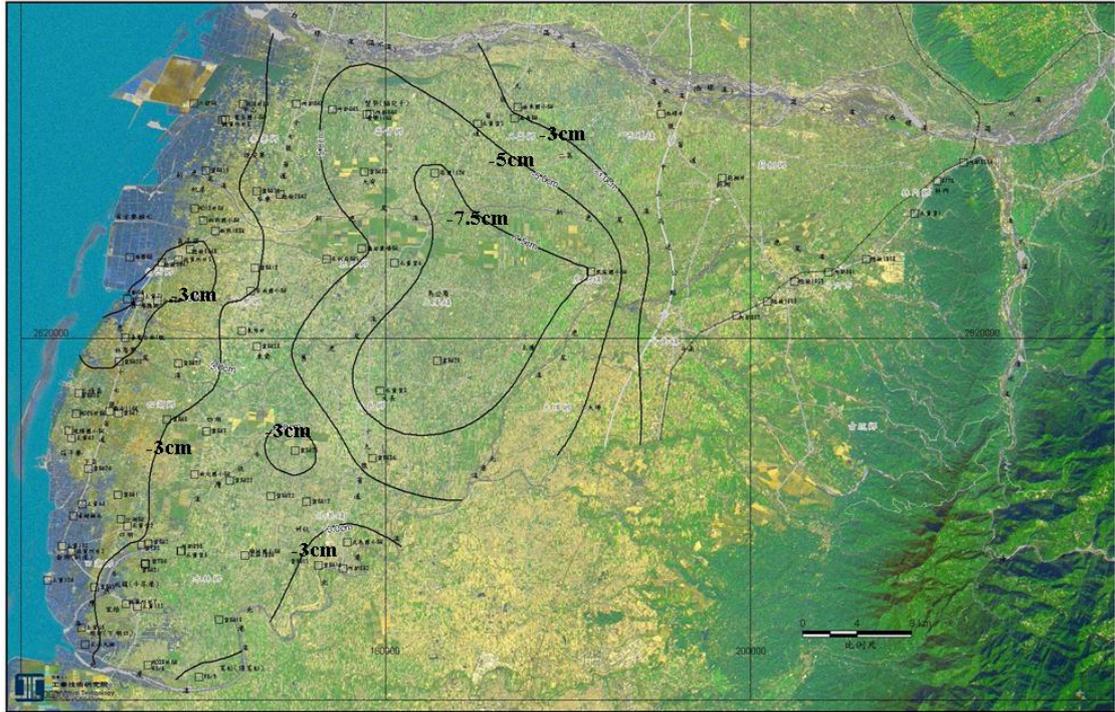


圖 2.7 雲林民國 88~91 年等年平均下陷速率圖(工研院，2006)。

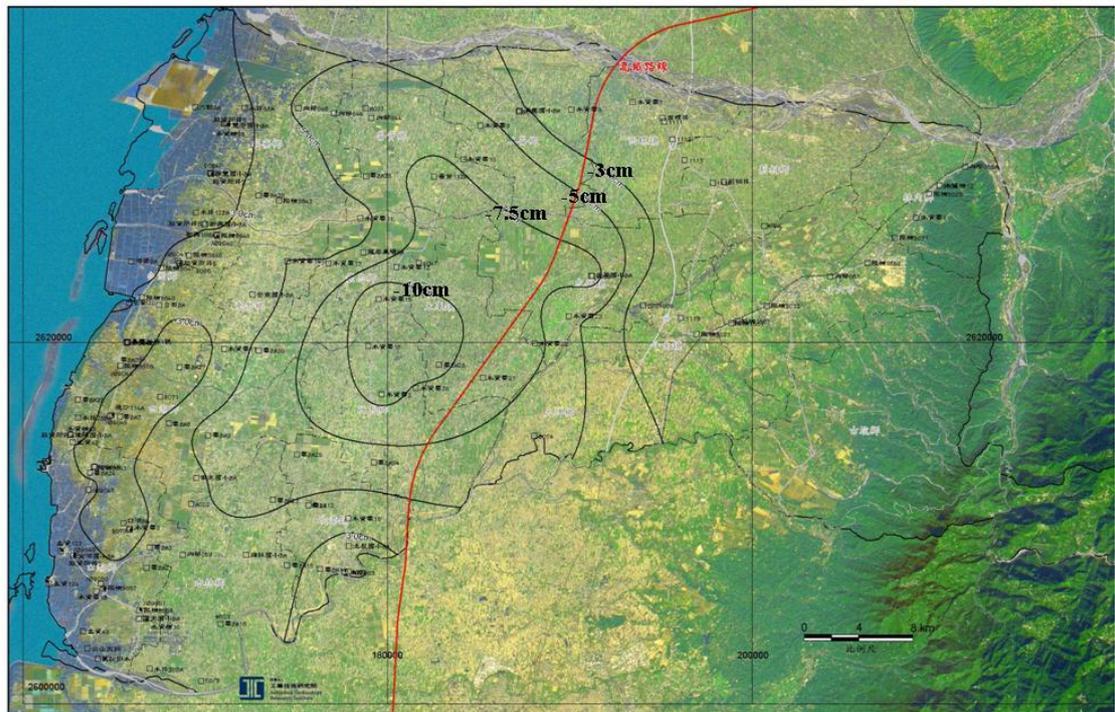


圖 2.8 雲林民國 91~92 年等年平均下陷速率圖(工研院，2006)。

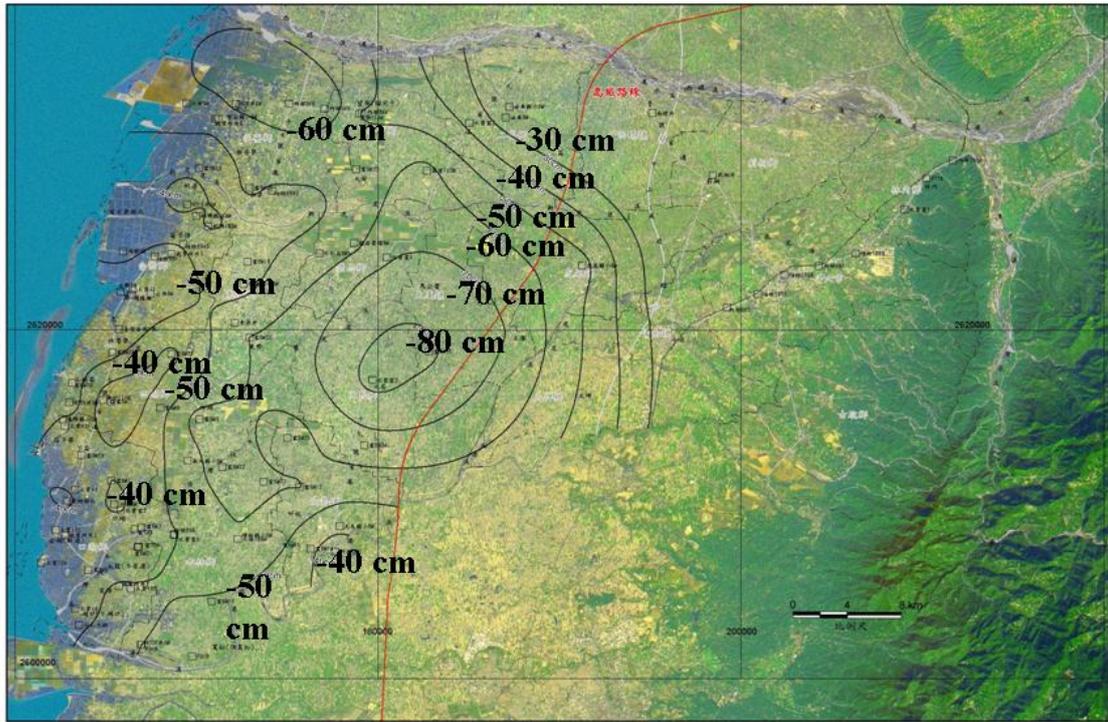


圖 2.9 民國 81 年~92 年雲林地區累積下陷量圖(工研院，2006)。

表 2.3 雲林地區民國 81 年至 92 年下陷面積分析表(修自水利署)

觀測期距	81.08~83.10	83.10~85.10	85.10~87.02	87.02~88.11	88.11~91.04	91.04~92.04	81.8~92.04 平均下陷量	
最大下陷 速率 (cm/ 年)	16	8	8	7	9.5	12.2	7.4	
最大下陷 速率發生 處	麥寮鄉	麥寮鄉	麥寮鄉	元長鄉	土庫鎮	元長鄉、土 庫鎮、褒忠 鄉	元長鄉	
速率超過 (3cm/年)之 面積(平方 公里)	782.65	745.72	391.99	366.06	610.45	703.06	速率超過 (5cm/ 年)之 面積 (平方 公里)	416.2