



逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

地層下陷

都市防災期末報告

作者：魏良育 廖珮好 蔡坤霖

系級：土地管理學系 交通管理學系

學號：D9172708 D8973159 D8875248

開課老師：黃智彥 老師

課程名稱：都市防災

開課系所：土地管理學系

開課學年：九十二學年度 第二學期



壹、地層下陷產生背景

地下水的開發利用為國內用水水源重要的一環，以 1993 年為例，台灣地區農、工業與民生總用水量約為 171.06 億立方公尺，包括地下水供應 71.39 億立方公尺佔 41.73%，水庫供水 43.17 億立方公尺佔 25.6%，其餘為河川引水 56.60 億立方公尺佔 33.03%。此三項水源以地下水量最大，為水庫供水量之 1.65 倍，地下水之重要性由此可見。

台灣西南沿海平原，如彰化、雲林、嘉南及屏東等地區原本地下水資源豐富，由於並無適當之壩址可供建設水庫以攔蓄雨季多餘水量，且位處於供水圳路末端，地面水源多受污染，故地下水成為上述地區最主要且最方便之水源。又 1980 年代起沿海養殖業興起，於是地下水因而大量被抽取利用，遂造成地下水之嚴重超抽。

1990 年代初期臺灣地區九個地下水區內，估計共約有 19 萬口水井，其中 89% 為無水權之非法井（表一），每年抽水共約 71 億立方公尺，其中灌溉用水約佔 45%，養殖用水佔 32%，工業用水佔 14%，生活用水佔 9%（表二）；至於地下水年總補注量僅約 40 億立方公尺，呈現大幅度超抽現象，致部分沿海地區嚴重地層下陷。

表一 台灣地區嚴重地層下陷縣市水井普查統計表

縣市別	普查井數 (口)	已申請水 權井數(口)	未申請水 權井數(口)	未申請水 權井數比 例(%)	備註
彰化縣	46,889	4,579	42,295	90.20	民國 86 年 6 月農委會
雲林縣	73,815	4,765	69,050	93.54	民國 86 年 6 月農委會
嘉義縣市	24,105	4,678	19,427	80.59	民國 86 年 6 月農委會
台南縣市	14,384	1,394	12,990	90.31	民國 86 年 6 月農委會
高雄縣	14,536	3,418	11,118	76.49	民國 86 年 6 月農委會
屏東縣	17,255	1,809	15,446	89.52	民國 77 年 10 月農委會
合計	190,984	20,658	170,326	89.18	

表二 台灣地區地下水資源各標的用水量

水 資 源 區	年 補 注 量 (百萬 噸)	地下水使用量													
		合計				農業		養殖業		生活用水		工業及其他		家庭用水	
		抽水量		井數		抽水量	井數	抽水量	井數	抽水量	井數	抽水量	井數	抽水量	
		百萬噸	%	口	%	百萬噸	口	百萬噸	口	百萬噸	口	百萬噸	口	百萬噸	
北區	472	537	8	5,266	3	28	1,449	160		45	185	239	3,632	65	
中區	1,614	2,592	36	128,531	62	1,497	112,436	627	12,219	131	766	268	3,120	69	
南區	1,664	3,797	53	71,246	35	1,660	50,610	1,463	13,188	276	1,256	398	6,212		
東區	250	213	3	1,466	1	41	995	67		25	34	72	417	8	
合計	4,000	7,139	100	206,509	100	3,226	165,490	2,317	25,407	477	2,231	977	13,881	142	
抽水量%	100.0				45.2		32.5		6.7		13.7		2.0		
井數%			100.0			80.0		12.0		1		6.0			

資料來源：台灣地區地層下陷之現況、成因與對策，徐享崑等，民國 84 年，台灣水利

臺灣地區只開發而不管理地下水的結果，形成過度開發利用，雖促成各地區各產業之發展，卻地造成地下水超抽，衍生國土資源損害及其他社會問題。而造成此等水土資源損害之主要原因之一，即在於缺乏可靠之地下水資訊，以致經營管理工作難以落實。另一則是民眾對於合法水權的不重視，犧牲國家水土資源，以致破壞天然環境。

國人應有安全出水量（Safe Yield）以及合法水權等正確的觀念，即是要在對環境不會產生任何危害，且要在政府所核發的水權量範圍內抽用地下水。早期地下水位資料難以確實掌握，僅靠精確度低之水井普查與水平衡估算來獲得水井資料，以致無法有效經營管理地下水資源，因而難以落實管制工作。

有鑑於此，於是民國 81 年由前經濟部水資源局推動為期十七年（民國 81-97 年）共三期之「台灣地區地下水觀測網整體計畫」，並負責統籌規劃、督導及經費籌措事宜，另由中央地質調查所、前水利處、環保署、工研院能資所、台糖地下水開發保育中心及其他相關單位配合執行，以逐步建立國家性水文地質及地下水文資料庫，另規劃辦理水井清查及水井申報登記等工作以降低過去水井清查資料可信度不足之缺點，期能對地下水資源更加有效評估規劃，落實地下水水權管理，使地下水資源得以永續利用。

都市防災期末報告---地層下陷（報告題名）

因此合理開發分配地下水，抑制地層下陷及海水入侵，保護地下水補注區以涵養水源等地下水資源之永續利用工作，除需政府各部門密切協調配合執行外，更有賴民眾共識，配合產業轉型輔導等措施，減少地下水超抽，如此紓緩地層下陷之目標方可克竟全功，地下水資源才得以永續利用。

廣義之地層下陷泛指地層向下移動產生地面及地層沈陷之現象，其發生的原因可概分為天然因素及人為因素兩種，列表說明如後：

天然因素	人為因素
1.地殼變動	1.抽取地下水或石油
2.地層自然壓密	2.深基礎開挖及採礦
3.地震	3.工程排水
4.火山爆發	4.結構物重力壓密
5.地盤本身之上升或下沉	5.淺覆蓋開挖

台灣地區地層下陷區域已近全島面積之十分之一，主要發生原因如下表：

原因	說明
地下水水位下降	地下水水位下降的原因主要為地下水天然補助量的減少及地下水的超量使用，導致土體結構的有效應力增加，發生壓密作用造成沉陷。
地面構造物興建	當地面承載負荷增加時，土體結構的有效應力也隨之增加，進而發生壓密作用造成沉陷。
深基礎開挖或採礦	當開挖面支撐強度不足時，會引起一定面積之土體移動產生地面陷落。
新生填土	包括新生填土自然壓密作用及其填築增加原地面荷重發生之壓密作用。
其他原因	如地殼變動、車輛載重滾壓或地震等。

都市防災期末報告---地層下陷（報告題名）

各項原因肇致地層下陷面積範圍各不相同，而造成之環境衝擊大致有下列數項：

環境衝擊或影響	說明
地下水資源容易耗竭	地下水資源涵蓄能力降低地層發生壓密作用，其厚度減少、孔隙率減低，所能涵養之地下水水量亦相應減少，造成下陷地區之地下水資源容易耗竭。
地勢低窪易生洪氾	地層下陷區因為地勢低窪，排水系統功能不彰，逢雨易積水不退。沿海地區，因地勢低陷地面低於海平面，時有暴潮溢淹、海水倒灌之災損。
建築物、工程結構物與維生系統設施損壞	地下水位下降導致地層有效應力增加，無論淺基礎、深基礎或橋墩與橋台等，因沈陷率不均而損壞，自來水、瓦斯管陷與下水道等維生管線則因彎曲損壞而洩漏
海水入侵導致地下水鹹化	地層下陷區地下水水位面低於海水面，導致海水侵入地下含水層，造成地下水鹹化，使得地下水可利用度降低，間接使得土壤鹽化，影響農作物種植。
濕地生態之轉變	河流水路受地層下陷區地勢低窪影響而改道，除易造成淹水外，部份土地長期積水不退逐漸發展形成濕地型態。
海水倒灌或海堤潰決	堤岸保護程度減小，維護費用增加，易引起海水倒灌或海堤潰決。

整體而言，地層下陷所在區域易肇致國土流失，地利降低，生活環境品質下降，社會成本增加等之負面效果。為紓緩地層持續下陷，減少災害損失，應針對問題癥結，妥適研擬防治對策，以改善環境品質，促進地層下陷區內之生活、生態與生產均衡共榮。

一、地陷成因

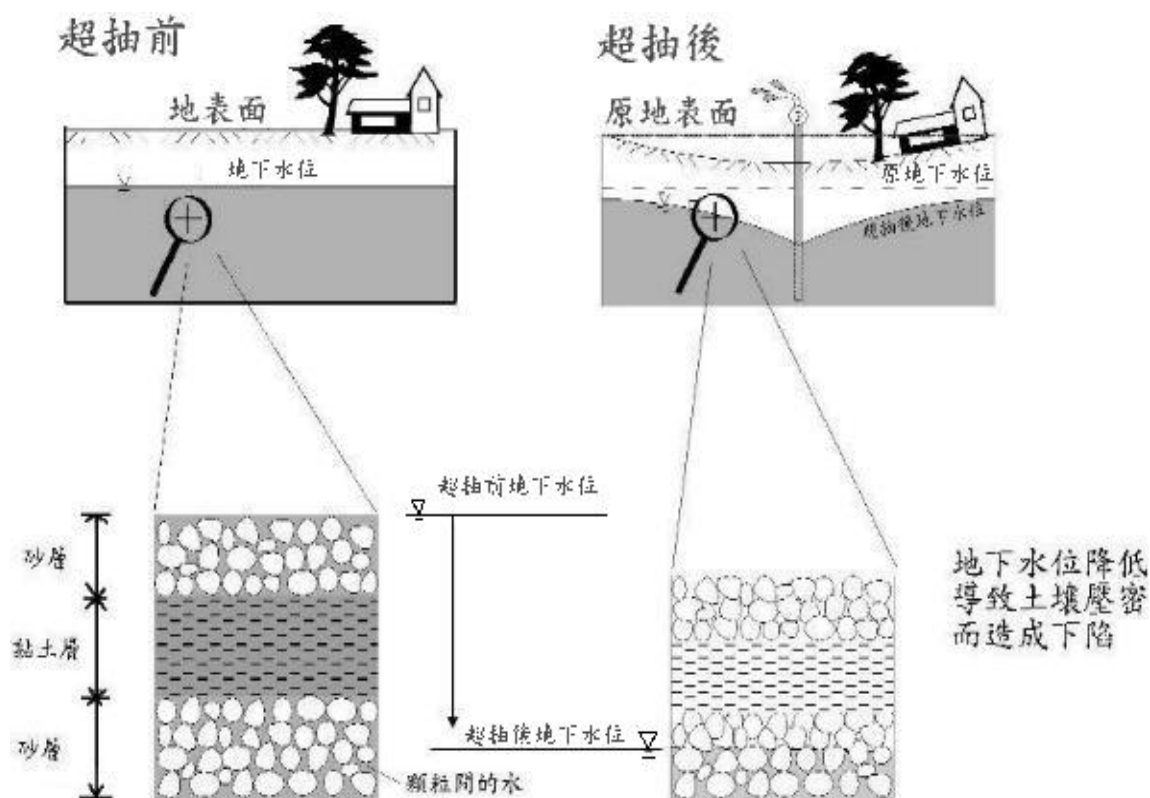
地下水因為開發容易，取用方便，且供水品質策穩定，處理費用低廉，因此常被大量的抽取開發引用。但過度開發的結果，易導致地層下陷，而使得排水不

良、海水倒灌、海水入侵、地下水鹽化等問題相繼出現，危害居住及農、漁業環境。

地層下陷的原因有很多，大致上可區分為自然的因素或是人為因素造成的。

(一)自然：

- 1、火山爆發、地殼板塊移動、造山運動等所造成地表高度降低。
- 2、石灰岩地形因地下水流動溶解侵蝕所造成。
- 3、外來力量，如地震、隕石墜落。
- 4、海平面上升，造成地表高程相對降低。



(二)人為：

- 1、石油、天然氣或其他礦產開採，使地底支撐材料減少，致地表陷落。
- 2、地下水的抽取：原存在於土壤顆粒孔隙間的水分被抽出，使得重量僅由土壤顆粒支撐，致應力增加造成壓密。
- 3、地表載重增加：由於都市化的結果，各種高樓大廈、土木、交通建設，再加上車輛震動，加速地層土壤之壓密。
- 4、地下水補注量的減少：由於各項建設的推動，房屋建設之覆蓋及路面的

鋪設，大面積水田農地等之變更，甚至排水系統之建立，使得降雨或排水迅速被排入河中或海中，導致地下水補注量減少，地層土壤顆粒間的水分不夠，使得重量僅由土壤顆粒支撐，致應力增加造成壓密。

5、以上的因素當中，又以地下水的抽取為目前國內及世界上大多數地層下陷發生事例的最主要原因。

（三）地層下陷對環境的影響

- 1、地下含水層破壞，載重增加，孔隙減小，復育困難。
- 2、地下水水位下降，引起海水入侵，地下水水質鹽化。
- 3、堤岸保護程度減小，維護費用增加，易引起海水倒灌或海堤潰決。
- 4、排水設施破壞，原有排水坡度改變，引發排水困難。
- 5、基礎滑動，負載不均，結構受損，危害建築物之安全。
- 6、沉陷量不均，地下管路受損，影響水工結構物之功能。

貳、地層下陷之監測方法

台灣地區之地層下陷問題發生得很早，先是民國五十、六十年之台北市，累積下陷量曾達 2.5 公尺，所幸相關水資源規劃及管制得宜，下陷得以控制。然近二十年來西南沿海養殖漁業及相關耗水產業移入，致由彰化以迄屏東之沿海普遍發生下陷現象，其中屏東佳冬地區最高達 2.88 公尺(民國 70-84 年)。

而上述所提及之下陷量是如何測得的？我們如何得知地層下陷現象之發生，如何瞭解其發生之程度及範圍？同時，又如何持續監測瞭解地層下陷之趨勢，以做為研擬下陷對策之參考依據？因此本文之目的即為介紹地層下陷監測之各種方法，並簡述其應用上之優點與限制。

一、地表監測方法

（一）、水準測量

一般政府機構或相關工程單位均定期或視需要會實施大面積或局部性之水準測量，以掌握地形地物地貌之變化。事實上國內首先發現地層下陷現象即於五〇年代在台北地區，由工程人員於檢測堤防高程時所發覺。自地層下陷區以外之一等水準點以精密水準測量引測至地層下陷區，並於地層下陷區設置適量之基準點，經由多次不同時間之測量結果比較，可求出地層下陷量；再由各基準點的地層下陷量，可繪出等下陷量線，求出下陷中心。

至目前為止，精密水準測量在對全區域整體地層下陷現況之調查為最普遍且精度較優的方法。除此之外，比較過去歷次檢測結果，亦可觀察出地層下陷範圍

之變化，以及其與產業分佈或土地利用之關係；其限制之處即其耗費人力、時間較多、不易自動化，且測量之時間間隔較大，不易獲得連續之地層下陷資料。目前水利單位於沿海地層下陷較嚴重之地區施行傳統水準測量即限於人力時間，故平均 2~3 年方得輪流施測一次。

(二)、衛星定位測量

全球定位系統(Global Positioning System ,GPS)自 1970 年來發展至今，不但已在 1995 年初完成衛星之發射，正式為全球各個角落二十四小時三維定位服務，其軟硬體亦隨著使用者日漸增加而功能趨於強大，價格日降。針對水準測量易受天候地形影響，且較耗時、不易自動化之限制，國內已有部分專家學者投入 GPS 應用於地層下陷監測及預警的研究上。幾經先期研究，儘管 GPS 所測得之高程為幾何上之橢球高(Ellipsoidal Height)，與水準測量所得與重力有關之正高(Orthometric Height)尚相差大地起伏(Geoidal Undulation)，若要求得正高需先費許多功夫求得大地起伏之精確值。幸好對於下陷量之變化來說，同一水準點上 GPS 的橢球高差變化趨勢，與水準測量的正高差變化趨勢相等。因此就其比水準測量節省人力、時間及經費之好處來說，是值得應用推廣的。

(三)、遙測 INSAR 干涉量測技術

前述各種地層下陷量測方法均需藉由觀測儀器親臨現場量測，倘能透過衛星遙測獲得地表高程變動量，不僅不必赴現場，人力時間俱可節省，且可瞭解大面積區域之下陷趨勢及分佈，故自應大力推動評估促進其可應用性。INSAR 干涉量測技術即為目前最具潛力者。

INSAR 技術乃利用衛星微波影像資料，經相位干涉計算分析後，快速準確獲得研究區的地形變量，其變形偵測潛力可達公分級，目前已被各國應用於地震學、火山學、森林學、冰雪、土地利用等研究上。工研院能資所已針對此項技術進行研究評估中。

二、地下監測方法

為瞭解某一地點連續之地層下陷變化情形，利用地層下陷監測儀為一常用之方法。其原理基本上是假設所鑽鑿之裸孔，安置井管底部為不動之基準，而於地下之地層裝設監測儀器以量測地層下陷。一般鑿井型式主要有以下三種：

(1)、單管式

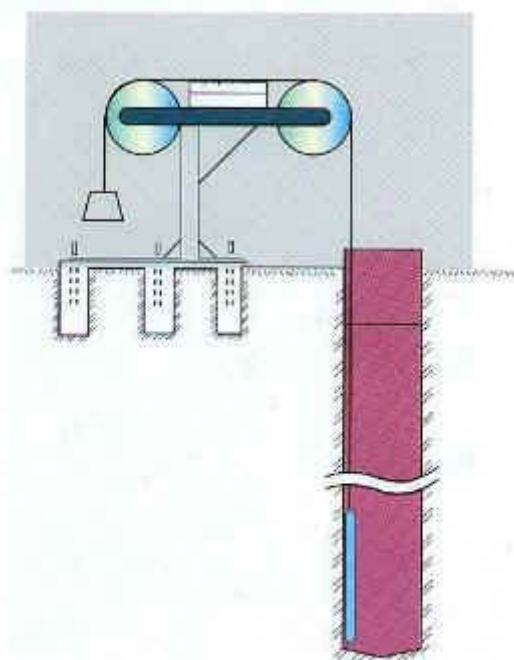
即鑿一夠深之井，並安置單一井管，原則上希望此井管夠深達岩盤，以做為不動之量測基準。

(2)、雙管式

在許多之事例中，地層下陷監測井之井管多未能達於岩盤，且由於地層下陷過程中對井壁之拖曳力，井管不動之假設常受質疑，故有改良之雙管式，其原理

即於原井管中再加入一管，則此內管僅底部豎立於井底，井壁並未與地層土壤接觸，故能掌握到相對於井底之下陷量。

因此，一般單管式僅適用於土層較淺及土質疏鬆之土壤，當井管大於 50 公尺時，則以採用雙管式為宜。



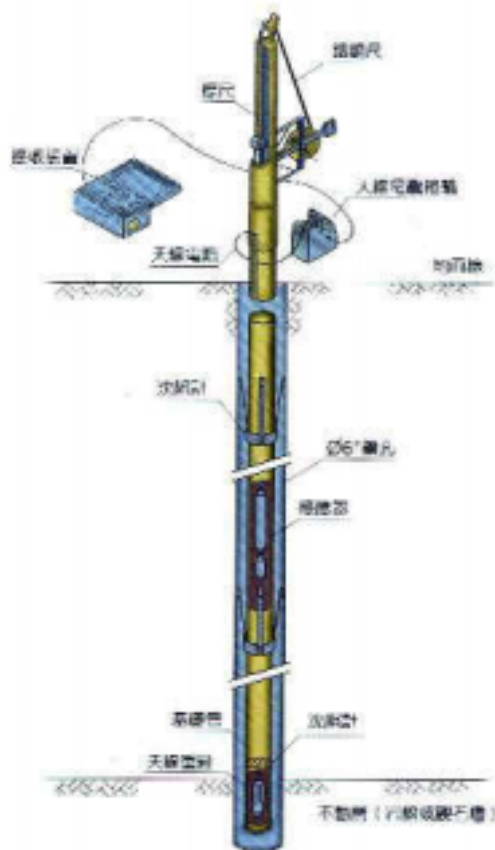
圖二 鋼索式沈陷監測井構造圖

工研院能資所研發之簡易鋼索式(圖 2)，乃主要利用報廢或停用之水井，將鋼索一端固定於井底，另一端繫以重錘，透過滑輪可觀測或紀錄得下陷情形。

(3)、無線電波分層式(圖 3)

此乃引自日本者，目前國內使用單位包括工研院能資所、水利局(現水利處)規劃總隊及港灣研究所等。其原理乃利用無線電波感應的方式，將磁性感應環預先錨定於地下不同深度之地層，再利用偵測設備，量測每一感應環距地表之深度，並進而分析各層次之壓縮量，以瞭解各層次之下陷情形。由於其電子量測裝置之穩定性很高，且量測時用鈦鋼製成之捲尺，變形量小，極適合用於較大深度之量測。

分層式監測井之型式尚有其他數種，如多點伸張式、三軸向下陷計、連續式下陷計及伸縮式下陷計等。



圖三 無線電波式分層沈陷監測井構造圖

三、小結

綜合上述各種對於地層下陷之調查或量測方法，精密水準測量屬於傳統且成熟之大面積調查技術，但因作業費時致難以滿足時效性之要求；而應用近代衛星科技而發展之衛星定位系統(GPS)及微波干涉技術(INSAR)雖具有快速調查大面積地層下陷量之特性，但其精度及穩定性之提升仍需加以改進，方得以有效加以應用推廣，所以如何運用仍須視實際狀況而定。然而以上三種地層下陷之調查方法，僅可探知地表之下陷情形，並無法得知地下地層之下陷行為，因此運用地層下陷監測井恰可補充這方面之不足，例如使用分層式之地層下陷監測技術，即可獲知地下不同層次間之土壤壓縮行為，以作為整治之依據，但設置地層下陷監測井之費用較高，維護較不易，所以事實上不可能有很高之設置密度。所以總而言之，對於地層下陷區之調查方法之選擇，理論上應就下陷區之面積大小、地層組成、發生原因、重要程度，經評估後選擇適當之調查方法組合，方得以有效達到地層下陷調查與監測之目的。

參、地層下陷防治方法

一、防治政策

（一）、通盤規劃地層下陷區水土利用：

臺灣西南沿海地區之地層下陷問題，係肇因於經濟誘因促使當地居民不當使用水土資源，除執行取締及管制地下水抽取外，亦應為當地居民尋求合理、適當土地開發使用之誘因，其不僅需考慮生態環境保育、都市計畫、產業發展、休閒娛樂及水資源保育等主客觀發展條件，合理規劃地層下陷區之土地利用方式及相關配合措施外，並依據不同之土地利用方式，評估地層下陷區土地整復及保育所需之技術，訂定相關作業規範，使地層下陷區之水土得以永續利用。

（二）、加強地層下陷區產業輔導工作：

本項對策主要目的在於工業節約用水之推動(如提高工廠用水效率、規劃工業專用供水系統)及補助、輔導地層下陷地區之產業發展(如調整漁業產業結構、設置養殖漁業生產區、提高養殖漁業有效用水效率)，使地層下陷地區之產業結構藉以轉型成為低淡水依賴度之產業型態，並鼓勵使用循環用水及提高用水效率，以降低產業對地下水之抽取。其中，經濟部負責推動提高工廠用水效率及規劃工業專用供水系統等工作；農業委員會則負責調整漁業產業結構、設置養殖漁業生產區及提高養殖漁業用水效率等事項。

（三）、加強地下水管制及水資源規劃：

本方案執行時，除積極減少地下水之超抽外，更須積極開發地面水水資源，以調配當地用水需求，並推動地面水與地下水聯合運用之策略，使水資源供需達到最有效率之境界。

（四）、教育宣導：

教育宣導之目的主要在於豐富群眾對地層下陷發生原因、背景及所造成災害損失等知識，並灌輸社會大眾有正確用水觀念，鼓勵節約用水。

於4大防治對策中，尤以對策1.最為關鍵，其工作項目又分為：(1)整體規劃地層下陷地區土地利用方式；(2)推動地層下陷區土地整復利用與保育，亦即透過各項防護計畫及各項綜合開發計畫之制度、規範及精神，輔以各項整復利用與保育之措施，兼顧生態保育與發展，合理利用水資源，期望在上述整體考量之原則下，能提供沿海地層下陷區最佳之改善及發展。

二、如何預防地層下陷？

- (1)、明文法定限制地下水的抽取量，取締封閉違規使用的水井。
- (2)、人工地下水補注，避免土壤緊密，避免地下水位下降。
- (3)、開發替代水源，循環使用地下水，減少水資源浪費，多利用水庫蓄水池。

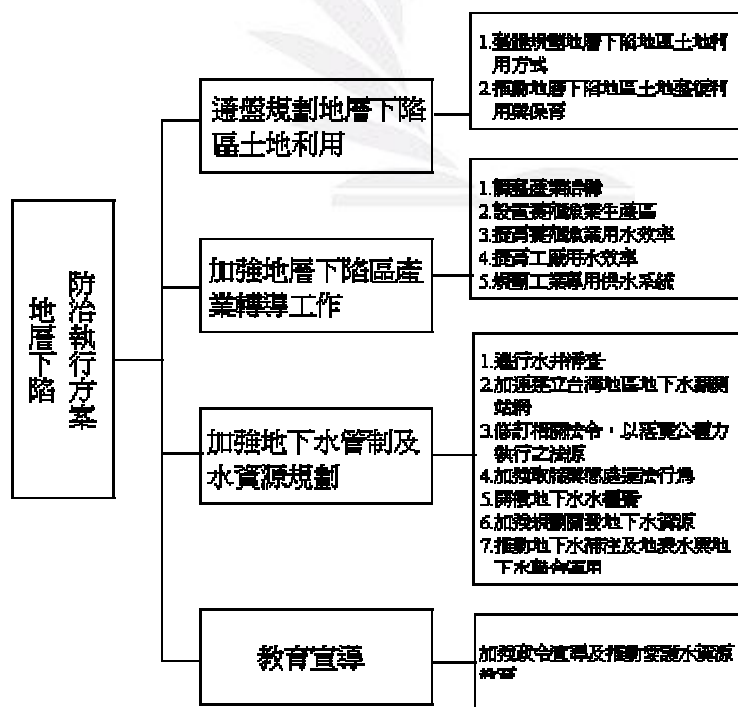
- (4)、改變土地使用形態，減少地下水使用，發展使用海水養殖技術，減少抽取地下水。
- (5)、興建河堤，海堤，防潮堤等排水工程。完成地層下陷警報系統，提醒附近居民具有防治地層下陷災害與影響的觀念。

地層下陷問題已存在台灣二、三十年了，面對地層下陷及其衍生的問題，各級政府均曾採取因應措施，但因缺少對地層下陷區之整體研究與規劃，以致成效有限。

肆、結論

因此前經濟部水利司(現水資源局)有感於台灣地層下陷問題肇因於地下水之超抽，乃基於水利主管機關之立場，主動邀請相關單位研商。並於八十四年三月與農委會共同提出「地層下陷之現況、成因與對策」在行政院院會報告，獲連院長嘉許，指稱方向正確。經濟部復依院長指示，與農委會會銜提出「地層下陷防治執行方案」，於八十四年十一月二日奉行政院第二四五三次院會核議通過施行。

為解決宜蘭縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、台南縣、高雄縣、高雄市、及屏東縣等地區之地層下陷問題，從各個層面進行地層下陷防治工作，包括下列四大對策及十五個工作項目：



五大量化目標暨達成概況

量化目標	執行概況	執行率	預定執行率	目標達成率
在地層下陷累積達一公尺以上且過去三年平均下陷速率達十五公分地區之非法水井在五年內減少一半。	依據歷年地層下陷區水準檢測結果分析，目前尚無本量化目標條件下之地區，而本年計封閉非法水井 865 口，並拆除非法竊電 10,687 件。	20.0%	20%	100.0%
地下水低於零水位線內面積二年內不再增加，五年內減少一半。	與去年同期比較，除彰化外，其餘地層下陷地區之零水位線明顯外移；零水位線內面積大量縮小。	36.2%	30%	120.7%
民國八十九年前各地地下水抽出量不超過安全出水量。	地下水減抽量達 8.6 億立方公尺，除彰外，其餘下陷地區地下水位均較前年同期上升 0.22 公尺~4.52 公尺。	87.5%	40%	218.8%
民國八十九年前一半以上之地層下陷區不再下陷。	地層下陷面積減少為 865 平方公里，而台南、高雄下陷速率趨停，屏東下陷速率趨緩，已具成效。	25.9%	30%	86.3%
民國八十九年前陸地魚塭面積由五萬二千公頃逐年減少至二萬二千公頃。	配合調整漁業產業結構及設置養殖漁業生產區，陸上魚塭面積量減少 10,175 公頃。	33.9%	30%	113.0%
	平均			127.8%

參考文獻：

- 1、地下水，曹以松，1993
- 2、台灣地區地層下陷之現況、成因與對策，徐亨崑等，1995
- 3、台灣地區地下水觀測網整體計畫，經濟部，1996
- 4、地層下陷面面觀，宋長虹，2000
- 5、台灣經濟礦物卷三 台灣能源與地下水資源，地下水篇，江崇榮，2000
- 6、經濟部水利署 <http://www.subsidence.org.tw>



