

台灣地區之地盤下陷
—原因、現況與對策
**GROUND SUBSIDENCE IN TAIWAN
—ITS CAUSE, CURRENT STATUS
AND COUNTERMEASURES**

潘國樑，李建中，莫若楫
K. L. Pan, C. J. Lee and Z. C. Moh

原著載於營建知訊第132期，
1993年9月，5-21頁

*Reprinted from
Construction News Record,
No. 132,
September 1993,
pp. 5-21*

GROUND SUBSIDENCE IN TAIWAN —ITS CAUSE, CURRENT STATUS AND COUNTERMEASURES

ABSTRACT

The demand for groundwater in Taiwan is increasing to the maximum with drawable quantity. In several areas this has led to over-exploitation of aquifers resulting in adverse effects such as ground subsidence and salt water intrusion.

The first ground subsidence in Taiwan was observed sometime in the 1950's at Taipei Basin, where groundwater was over-with drawn for industrial utilization. The land remained sinking until restriction of groundwater pumping was enforced in early 1970's. A direct relationship has been observed between ground levels and subsidence in this area. Plots of bench mark elevations and water levels in several localities show nearly parallel patterns for a 30-year period. Since 1970's, aquaculture of eel and shrimp, which need a mixture of fresh and salt waters, at the western coast has caused considerable ground subsidence. An aggregate area of about 1,100km, approximately equal to the area of Hong Kong, has been affected by subsidence. Maximum observed subsidence is 2.54m at the Lin-Pien area of the Ping Tung Coastal Plain.

The western coastal plain of Taiwan appears to be especially prone to ground subsidence, where about 1m of subsidence occurs for every 5m of water-level decline. Thus, it would appear that the coastal plain of Taiwan is in the early stages of a typical subsidence history. Although coastal protection measures have been built in the subsidence areas, there has been very little effort to control the decline of groundwater levels. However, the government is planning to take remedial action against subsidence problems. The measures include control of groundwater withdrawals, feasibility study of groundwater recharge, recycling of aquacultural waste water, as well as renewal of hydrological and subsidence monitoring network. The rehabilitation and alternative use of the subsided land are also considered.

台灣地區之地盤下陷 —原因、現況與對策

* 潘國樑 ** 李建中
*** 莫若楫

摘要

地盤下陷是地面在無載重情況下，發生垂直位移為主的沈陷運動。台灣在民國40年代末期即在台北盆地發現地盤下陷現象，民國60年代開始，沿海地區興起養殖風氣，使地盤下陷情況更形惡化。以上均因大量抽取地下水，以致抽水量甚於天然補注量，致使地下水位下降，土壤的有效應力增加，遂引起未固結沈積物的壓密而發生下陷。此種下陷，影響範圍最廣、下陷速率最快、影響民生至巨。截至民國81年為止，台灣地區下陷的範圍達1,100平方公里，佔全台灣總面積的3%；累積最大下陷量每個地區不同，最嚴重者達2.54公尺，發生於屏東的塹豐地區。

控制這類地盤下陷的方法，最有效者莫如健全地下水管理法令及嚴格限制超抽地下水；另外尚可從土地使用管理規則方面著手。為了管制地下水，全台灣需建立

完善的地下水位及水壓觀測網及地盤下陷監測站，並成立地盤下陷資訊中心，以作為管理決策的依據。

由於養殖業已由盛而衰，已發生地盤下陷的地區應如何整復再利用，亦應未雨先予綢繆。

一、前言

地盤下陷 (Ground Subsidence) 是地面在不受載重的情況下，發生以垂直位移為主的沈陷運動。目前世界上已知正在下陷的地區就有150個以上，有些下陷量已累積達9公尺之巨，如墨西哥、日本、泰國、及美國等國。還有許多地區可能在未來的數十年內也要陸續發生地盤下陷現象，主要是因為水資源的需求大增，世人超抽未固結岩層內的地下水所造成的後遺症。

造成地盤下陷的原因很多：由自然作

* 工業技術研究院能源與資源研究所顧問 (現為亞新工程顧問公司協理)

** 行政院公共建設督導會報副執行秘書

*** 亞新工程顧問公司總經理

用所引起的有地下岩層被溶解（如石灰岩的溶洞）、新近沈積物的自然壓密、地殼運動等；由人爲造成的有地下採礦、採油、過份抽取地下水等。其中以地下水的超量抽取所引起的地盤下陷，其影響範圍最廣、下陷速率最快，影響人類的生活與活動也最鉅；因此，本文將僅針對此種原因來作一探討，而且祇侷限在台灣地區所發生者。

二、地盤下陷機制

因超抽地下水而引起的地盤下陷都是發生在未固結或半固結的近代沈積物分佈區，地層的孔隙率較高、孔隙中常爲液體所充滿。基本上，產生此類地盤下陷的地質環境有下列幾種：

1. 近代河床沖積環境

近代河床沖積環境以河流的中、下游高彎度曲流的沈積相爲主。常處於地殼沈降帶、河床遷移頻率高的地方。

2. 近代海岸平原沖積環境

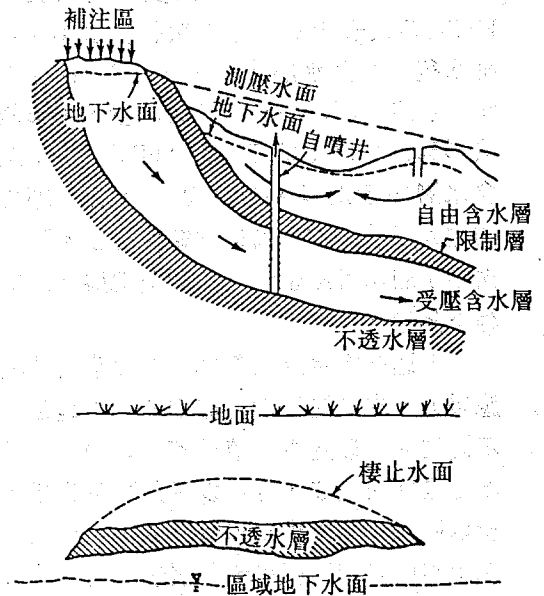
近代海岸沖積平原介於河床沖積與濱海大陸棚之間的地帶。常處於地殼節奏性昇降的地方。

3. 近代三角洲平原沈積環境

三角洲位於河流入海地段，形成三角形沖積扇的地方，扇頂位於河口，扇緣向著外海。

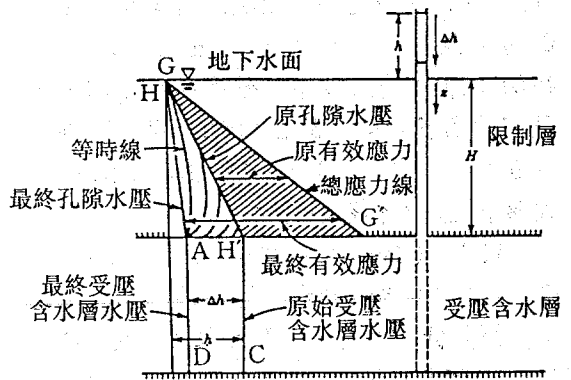
於上述沈積環境中，不同層序的粗粒土層（一般爲砂層）與細粒土層（一般爲粘土層）上、下互相疊置或左右互相交錯銜接。前者一般爲含水層（aquifer），後者一般爲不透水層。若不透水層覆蓋著含水層，含水層內的地下水即爲受壓水。留住受壓水的含水層，稱爲受壓含水層（confined aquifer）；受壓含水層的上覆

不透水層，稱爲限制層（confining bed）（見圖一）。



圖一 自由水與受壓水之關係

在受壓含水層中抽取地下水所引起的水壓降低，將使含水層本身及其上、下不透水層的孔隙水壓隨之降低。孔隙水壓的降低，將導致土層中有效應力的增大，結果就會引起土層的壓密作用。如圖二所



圖二 抽水引起的有效應力變化

示，以單層抽水為例，圖中G—G'線代表在同深度的限制層土層所受的總應力，HH'C線代表土層中之天然孔隙水壓。在抽水後，孔隙水壓降低，HH'C線向左偏移；在限制層內的有效應力增量，用弧線陰影部份代表（即三角形AHH'）；受壓含水層內者則以AH'CD表示。有效應力的增大必將導致土層的固結與壓密。砂層與粘土層兩者壓密量的和即為地盤下陷的總下陷量。

上述孔隙水壓的降低、有效應力的相應增大，在砂層及粘土層中的表現是截然不同的。在砂層中，這種應力轉變過程基本上是極快完成，也可以說是瞬時完成，所以砂層的壓密也是瞬時完成的。然而在粘土層內它却進行得十分緩慢，隨著時間的推移，HH'線逐漸向最終邊界線HA推進。而到達HA線所需的時間往往需要幾個月、幾年、甚至幾十年，完全取決於土層的厚度、透水性與壓密性。

在較低的壓力下，砂層的壓縮性很小，且主要是彈性、可逆的；而粘土層的壓縮性則大得多，而且主要是非彈性的永久變形。因此，在較低的有效應力增大條件下，粘土層的壓密才是地盤下陷的主要部份。但研究指出（Roberts, 1969），在深度1,000公尺以下，砂層與粘土層的壓縮性趨於相等，故在1,000公尺以下抽取液體（如油、氣），砂層壓縮所造成的地盤下陷是不容忽視的。

Helm（1984）研究美國加州Santa Clara地盤下陷時發現，穩住地下水位可以大為降低下陷速率，而且當水頭恢復至原來高度時，它停止地盤下陷的延遲遠短於當初水頭下降時引起地盤下陷的延遲。當地下水位提昇到或接近其原來高度時，

可以使地面稍微回彈，但回彈的量祇是下陷量的百分之幾而已。在加州的驗證結果是地下水位每提昇一公尺，其回彈量祇有 1.5×10^{-3} 公尺。

三、地盤下陷之危害性

超抽地下水所產生的地面移動可分為水平側向移動及垂直移動。側向移動會產生裂縫，垂直移動則通稱下陷。由於不同的地質情況而產生的不等量下陷（differential subsidence）其危害性較均勻下陷更大。茲針對地盤下陷所引起的危害，分為三方面來討論。

1. 地形方面

(一) 碗狀凹陷的產生

典型的地盤下陷區係以抽水量最多、井數最密集的地區為下陷中心，呈近似碗狀的凹陷，此即為地下水面沈降錐（cone of depression）的地面反應。凹陷的斜度一般非常緩和。靠近海岸的地盤下陷區，有些地點可能會下陷到海平面以下；因為它是一種碗狀凹陷，所以地盤下陷區常成為地區性的排水盆地，四周逕流會向下陷中心匯集。又因為碗面是傾斜的，所以地上物會發生微微歪斜。

(二) 海堤高程的下降

由於地盤下陷的關係，使得海堤的高程逐漸降低，功能日漸減退，海岸地帶遭受海水倒灌的威脅。

(三) 沿海及低窪地區的標高逐漸降低

海岸低地受地盤下陷的影響，而降至海平面以下，使得海岸線往內移，造成國土流失，不然就是長期積水，對當地居民的生活及生產有著嚴重的妨礙。為了防止這類淹水之災，需要付出高昂的代價來加高地面及修築海堤。除此之外，為了排除

積水，這類地區還需大量增設排水用的抽水站及改建下水道，耗費大量的人力與資金。

(四)地表的龜裂

地盤下陷作用，在某些地帶會在地面淺處產生張力；若基岩起伏不平或含水層厚度不一，也會產生差異沈陷。以上均將使地表發生裂縫或斷層，因而影響其上的建築物（Holzer, 1984）。

2. 環境方面

(一)鹽水入侵及土壤鹽化

在沿海地區，當含水層與海水直接接觸時，在天然條件下，地下水位高於海平面，並向海裏滲流。由於海水與淡水比重不同，淡水可浮托於鹹水之上，鹹水呈楔形插入淡水的底部。當淡水含水層受到開採時，就會破壞鹹淡水的平衡關係，使兩者交界面上昇，造成鹽水入侵（salt water intrusion），使水質鹽化。同時土壤亦因浸泡於鹽分高的水中，亦被鹽化。由於水土的鹽化，使得該區域不適合耕種農作，且因其高鹽含量對建材的腐蝕性高，亦不利於建築之結構體。就土地利用而言，僅適合養殖業之開發，於是惡性循環下，更加深地盤下陷之危害性。

(二)水質惡化

大量開採地下水也會改變含水層的地球化學條件。國內外許多地下水源地，在開採過程中出現硬度、鐵錳離子含量增高及pH值降低的現象，主要是因為含水層的氧化作用加強所造成的。因為在開採過程中，隨著地下水面的下降，氧氣將進入原含水層空隙的地帶，促進岩層中硫、鐵、錳、以及含氮化合物的氧化作用，特別是硫氧化細菌的出現，更加劇了金屬硫化物的氧化過程。這個化學反應可以造成

一種強酸性環境（pH值可低到2~3），使岩層中原來不溶解或不易溶解的化合物（如土層中經常存在的鈣、鎂、鐵、錳的化合物）變得易於溶解，從而使地下水中的鐵、錳、鈣、鎂以及硫酸根離子含量大大增加，地下水的礦化度、硬度亦隨之升高。

(三)缺氧災害

由於含水層中水位下降，使地下水由原來的封閉還原環境變為開放的氧化環境，已如上述。但當貫流空氣與地層孔隙及殘存水作用，便會消耗掉空氣中的大量氧氣。此外有機物質、土壤膠質以及不穩定的鹽類也都需要消耗氧氣。因此，在這些化學作用下，可使貫入該空間的空氣嚴重缺氧。如果在修築深基礎或地下工程時，上述嚴重缺氧空氣通過某些通道突然噴發進入地下工程時，可能給地下施工人員帶來嚴重後果，例如因缺氧而死亡的事件。

(四)資源損失

地下含水層與國土一樣為國家的重要天然資源，它具有輸水、貯水及供水之功能。當含水層因過度抽取地下水而發生壓縮時，於發生沈陷後雖然停止抽水或使用地下水人工補注方法，亦不能使含水層完全恢復原狀。因此，含水層在經過壓縮後，其厚度減少，孔隙率降低，含水層原有的貯水及供水功能均大為減退，實為一不可彌補的損失。

3. 工程方面

地盤下陷對存在的工程結構物造成嚴重的損壞，即使是輕微的損壞，也要花費鉅額的維護費用。所以在規劃中的工程必須考慮到這個因素之影響。

(一)橋樑建物基礎之差異沈陷

不等量的沈陷使得橋樑、建物的基礎產生差異沈陷，造成結構體的變形或龜裂，甚至整個結構體均遭破壞。且因不等量下陷的關係，可能使得道路不能對正橋頭，而產生錯開的情形，很容易發生車禍。有時橋墩下沉，橋樑淨空減小，洪水可能越過橋面。

(二)增加基樁的負摩擦力

由於地盤下陷，對基樁而言則相對地產生了向下的摩擦力，即負摩擦力，以致降低了基樁的承載力，可能使基樁產生過大之沈陷量，或發生材料破壞之問題，而危及結構物之安全。

(三)增加填土工程之填土量

沈陷會造成填土工程之填土量增加，導致工期延長及經費增加。若發生於路堤工程上，由於下陷而要追加土方，以達到設計高程，但因多出的土方又增加了荷重，加速其下陷，更增加了工程的工期與經費。日本關西機場就因沈陷的問題，填土多填了36呎，工期延誤15個月，預算超出約200億台幣，而且重要結構物仍有不均勻沈陷之虞。

(四)其他如管線、交通、港灣、水土及工業均受影響

垂直位移將使公路排水涵洞減少排水淨空、水管及油氣管脫節、電線拉斷、下水道發生逆流或完全失去功能。水平位移則使管線拉斷。油管及下水道破裂或拉斷後，油或污水漏出，造成二次污染。

地盤下陷可能使得公路路面龜裂、路基損壞及坡度改變，局部路段發生凹陷。對鐵路則造成蜿蜒曲折，不成直線，容易肇禍；尤其是在高速鐵路高速行駛時，因1公分的下陷，就可能使火車出軌。

當地盤下陷後，排水系統之坡度及出

水口之相對高度發生變化，即影響排水系統的功能。很多地方都需由重力排水改為抽水排水。

地盤下陷對港灣之影響也相當嚴重。由於碼頭及堤岸的下陷而喪失或降低了港灣設施的功能。高潮時海水越過碼頭，使裝卸無法進行，對政治及經濟影響很大。

四、台灣地區之地盤下陷

1. 概況

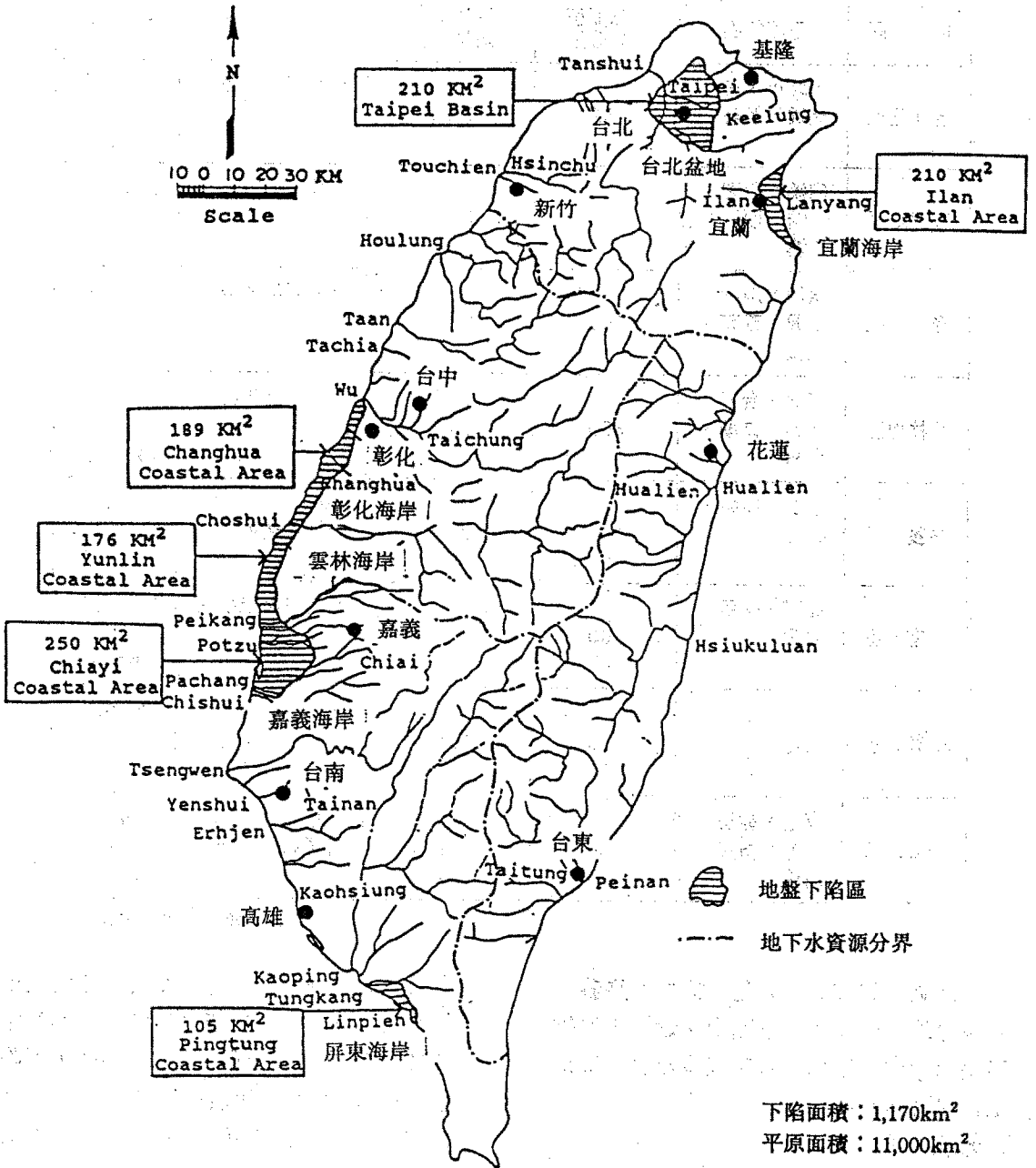
台灣地區雖然雨量豐富，但受季風、地形等影響，時空分佈不均，可資利用的地面水有限，肇自先民移居台灣，就已逐漸開發地下水資源。

民國40年代末期，台北盆地地區由於工業用水及生活用水激增，乃大量抽取地下水利用，因而最先發現地盤下陷現象。民國60年起經過抽水管制後，地下水位開始局部回升，地盤下陷才逐漸緩和下來。

但大約與此同時，台灣西南部沿海，包括屏東、雲林、彰化與嘉義，及東部宜蘭，因養殖漁業大量抽取地下水，亦引起嚴重的地盤下陷，使海岸地帶局部下陷至海平面以下。圖三顯示台灣地區主要地盤下陷區之分佈。表一則表示各地盤下陷區之下陷面積與累積最大下陷量。

其中下陷範圍最大的是雲林地區的300平方公里，台北盆地與嘉義地區其次，大約250平方公里。剛發生的地區有宜蘭、台南、及高雄。累積下陷量最嚴重的地區却是屏東沿海一帶，最大紀錄是2.54公尺；台北盆地居次，但已趨於緩和。雲林地區是次嚴重的地區，將來工業區在此設置，不宜忽略此項事實。

就最近下陷資料看，除台北盆地大致已獲得控制，其下陷已趨和緩之外，其他



圖三 台灣地區主要地盤下陷區分佈圖(Wu, 1992)

表一 台灣地區主要地盤下陷區之下陷情況

地 區	下陷範圍	下陷面積 (平方公里)	累積最大 下陷量(公尺)	發 生 地 點	檢測期間
台北盆地	台北市、三重 板橋、新莊	252	2.24	台北市光華陸橋	44年 4月 } 79年11月
宜蘭地區	礁溪、壯圍、 五結、頭城、 蘇澳	50	0.22	礁溪	74年 6月 } 79年 8月
彰化地區	線西、鹿港、 福興、芳苑、 大城	100	0.77	鹿港顏厝海堤	70年 6月 } 79年 6月
雲林地區	麥寮、台西、 四湖、口湖、 水林	300	1.46	口湖鄉金湖村	64年 } 79年10月
嘉義地區	東石、布袋、 義竹	250	0.73	過溝庄、布袋 鹽場事業堤	76年12月 } 78年 6月
台南地區	北門、學甲、 七股	30	0.14	北門民衆服務站	77年 6月 } 80年 6月
高雄地區	彌陀	10	0.08	彌陀海堤	76年12月 } 79年 6月
屏東地區	東港、林邊、 佳冬、枋寮、 新埤	105	2.54	塹豐村 塹子防潮閘門	59年 } 80年6月

(根據台灣省水利局資料)

沿海地區，如宜蘭、彰化、雲林、嘉義、屏東等地，尚在繼續下陷中。近期之地盤下陷以彰化、雲林及嘉義較為顯著；屏東則已呈現緩和趨勢。

2. 台北盆地

台北盆地是西部麓山帶內的第四紀構造陷落盆地，堆積著未膠結的古河川及湖泊沈積物，最厚達200公尺以上。

民國50年及52年，聯勤測量署及台灣

省水利局檢測水準點時，始發現台北盆地之地盤嚴重下陷。根據水資會於民國79年之檢測報告，自民國44年至79年間，下陷量在1公尺以上之面積約為全盆地面積之44.7%；下陷2公尺以上之面積約佔6.1%。下陷速率最快時係發生於民國61至62年間，年下陷量接近於20公分。63年起下陷情況逐漸緩和，70年僅部份地區有微量下陷，至民國79年10月則幾無下陷發

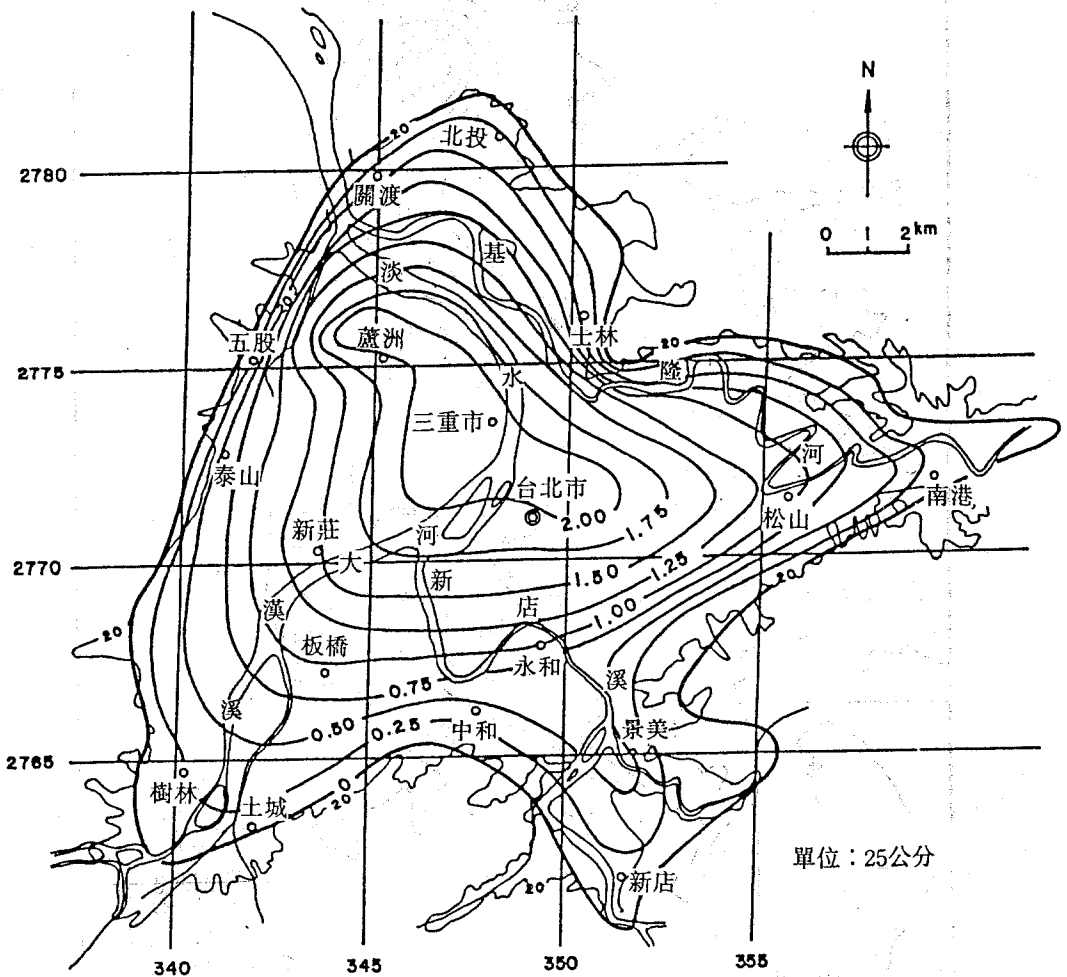
生，此因民國60年起地下水的抽取受到管制之故。

台北盆地的累積最大下陷量（自民國44年至民國79年）已達2.24公尺，發生於台北市光華陸橋附近，北門為2.17公尺，新莊1.60公尺，石龜里1.17公尺。下陷地區甚廣，可以包含台北市、三重市、板橋及新莊等地（見圖四），總下陷面積概估為252平方公里。

3. 宜蘭地區

近年來宜蘭地區之養殖業擴展迅速，其規模幾可與西南部沿海相比擬。截至民國79年，養殖面積已達1,971公頃（台灣省水利局，民國80年）。

宜蘭地區之地盤下陷以宜蘭市東南的壯圍為中心（已形成一個顯著的地下水位沈降錐），地下水位已降至海平面以下，其範圍約有50平方公里（見圖五）。下陷



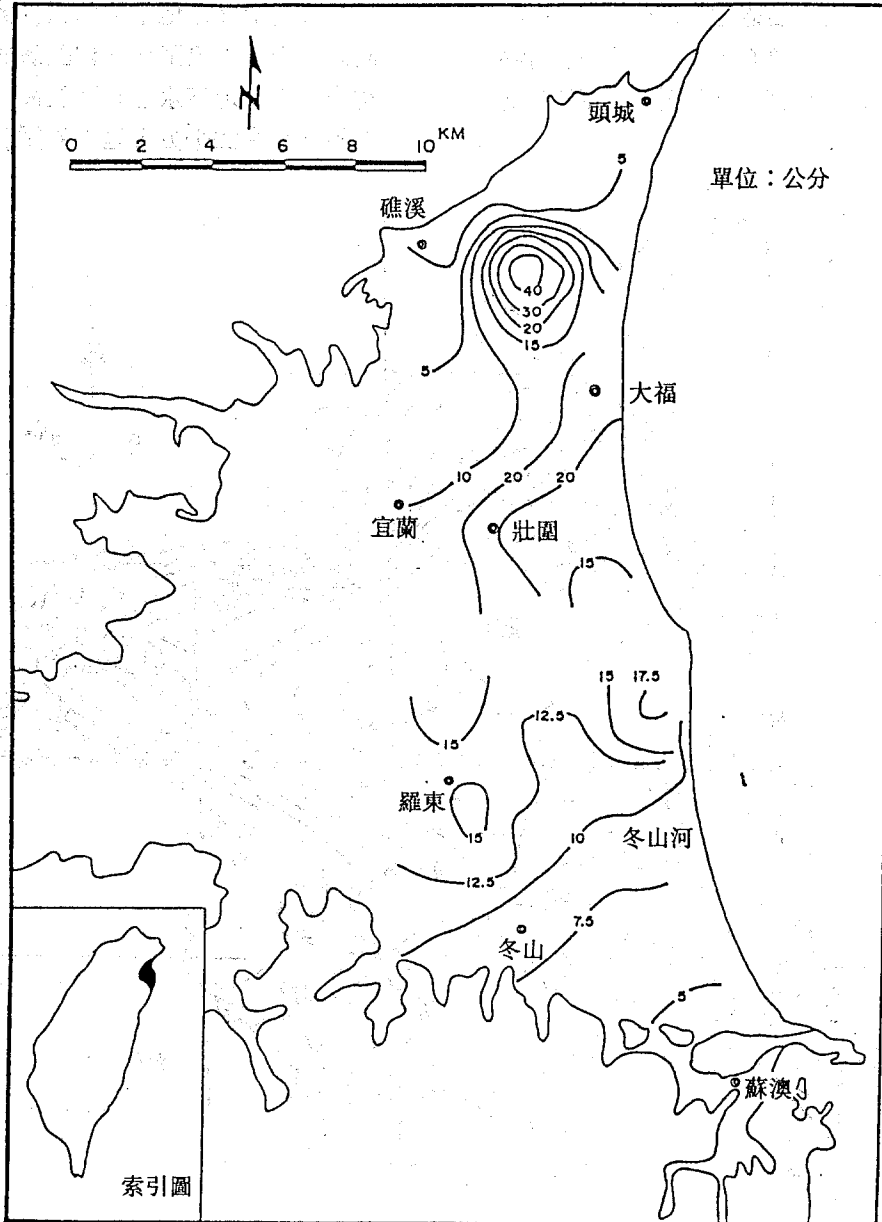
圖四 台北盆地之地盤等下陷量圖(民國44年-74年)(Wang Lee and Lin, 1987)

範圍包括礁溪、壯圍、五結、頭城、蘇澳等鄉鎮。下陷最嚴重地區為礁溪（亞新工程顧問公司，民國81年），自民國74年開始檢測，至民國79年之累積最大下陷量已

達0.22公尺。

4. 彰化地區

彰化沿海地區屬於濁水溪沖積平原之北半部，介於烏溪與濁水溪之間，為台灣



圖五 宜蘭地區地盤下陷範圍圖(資料來源：亞新工程顧問公司)

地區地下水資源最為豐富的地區之一。

依據觀測資料顯示，濁水溪沖積扇之地下水係由扇頂處（位於二水附近）流向扇尾，沿扇骨流動。由於地下水超抽之影響，沿伸港、崎溝、王功一線，地下水位已降至海平面以下，最低者達負15公尺以下。而以鹿港為中心，形成顯著的地下水位沈降錐。另外一個小沈降錐位於大城、西港一帶，即濁水溪河口之北岸，其民國67年之地下水位為正3.6公尺，民國80年却為負14.34公尺，在13年間下降了17.94公尺。

彰化地區的漁塭面積約5,400公頃（54平方公里），而下陷總面積却為漁塭面積的將近兩倍，達100平方公里。下陷範圍包括線西、鹿港、福興、芳苑、大城等鄉鎮。根據民國70年至79年之檢測結果，已知累積最大下陷量以鹿港顏厝海堤之0.77公尺為最大，平均每月要下陷0.59公分。

5. 雲林地區

雲林地盤下陷區位於濁水溪南岸，與彰化地盤下陷區北南相對，屬於濁水溪沖積扇之南半部，也是地下水超支的地區。地下水位零線沿豐榮、褒忠及鹿寮一線延伸，而於植梧形成極為顯著之地下水位沈降錐。另於麥寮之西的海豐亦有一小沈降錐出現。

雲林地區之漁塭面積約有7,624公頃，而下陷面積估計約30,000公頃，約為前者的4倍，為台灣地區地盤下陷範圍最廣大的地區。下陷範圍包括麥寮、台西、四湖、口湖、及水林等鄉鎮（見圖六）。根據民國64年至79年之檢測結果得知，以口湖鄉的金湖村累積下陷量1.46公尺為最大。水利局設於大溝村的地盤下陷觀測站

測得該站每月仍以0.32公分的速率在下陷。

6. 嘉義地區

嘉義沿海地區之下陷區介於北港溪至八掌溪之間。漁塭面積約有6,894公頃，而下陷範圍達25,000公頃，後者約為前者的3.6倍。

本區地下水位零線逐漸向內陸推移，而沿著溪口、民雄、南溪、鹿草等一帶連成一線。本區內已有數處形成地下水位沈降錐。朴子一帶地下水位已降至零下15公尺以下。

嘉義地盤下陷區包括東石、布袋、義竹等鄉鎮。根據水利局的檢測結果顯示，從民國76年至78年兩年間，布袋鎮網寮之台鹽事業海堤總計下陷了0.73公尺，為下陷量最大的地點。

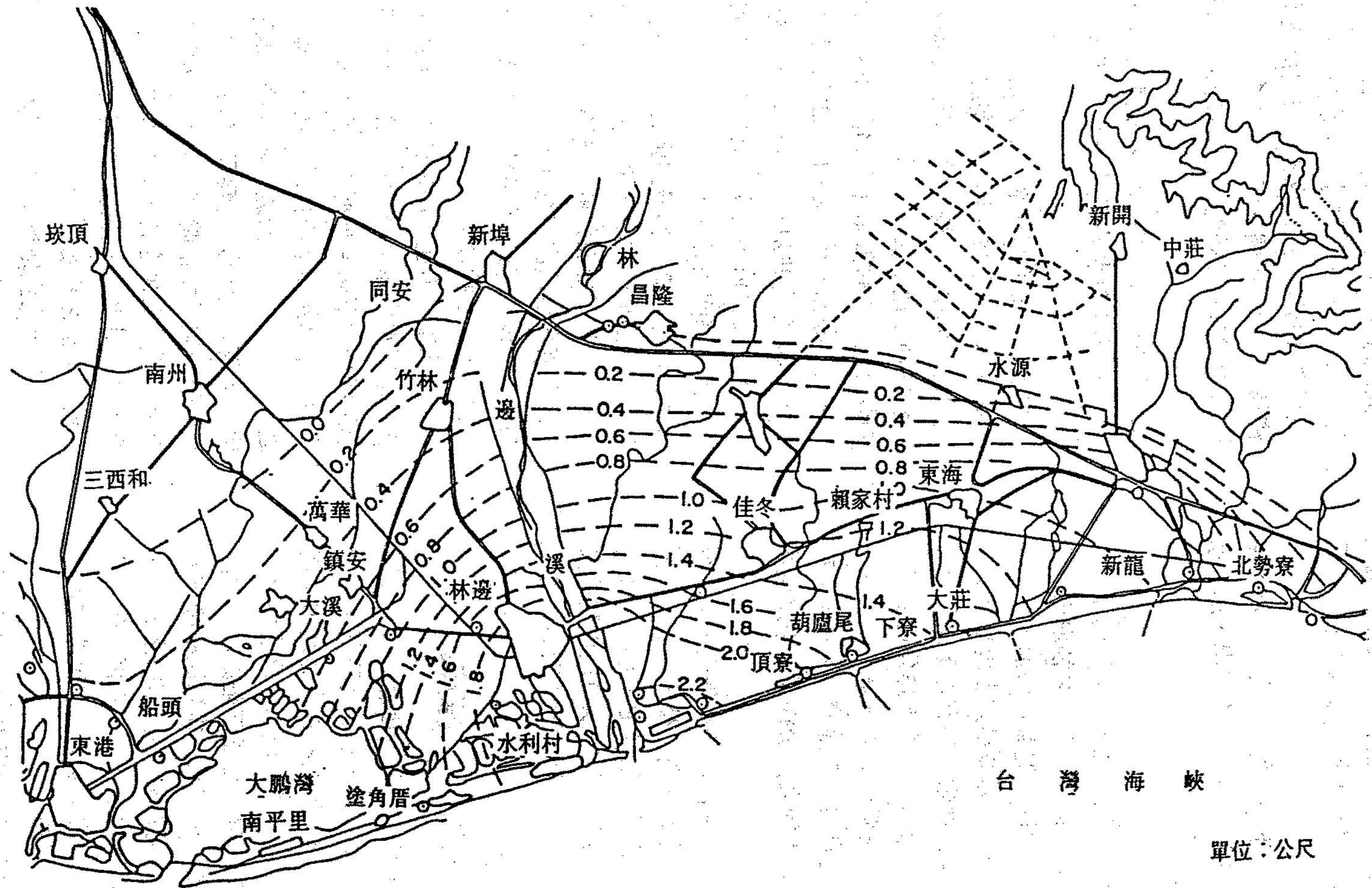
7. 台南地區

台南沿海之地盤下陷區位於八掌溪與曾文溪之間。地下水位在新營及下營附近分別形成顯著之沈降錐。

台南地盤下陷區包括北門、學甲、七股等鄉鎮，總面積約3,000公頃。自民國77年開始檢測，至民國80年為止，本區累積最大下陷點位於北門民衆服務站，計0.14公尺。

8. 屏東地區

屏東地區為台灣地盤下陷最嚴重的地區。屏東平原沿海的林邊、佳冬及枋寮等地區於民國50年左右，開始發現有緩慢的地盤下陷現象，至民國68年轉趨嚴重，當年1至6月的乾旱期下陷最快，平均每月下陷量約5公分（台灣省水利局，民國78年）。下陷量最大者為林邊溪河口左岸的塭豐村，以此為中心，向四周擴張（見圖七）。自民國59年至民國80年之累積最大



資料來源：屏東縣林邊、佳冬、枋寮地區地層下陷檢測分析報告，水利局

圖七 屏東地盤下陷區之等下陷量圖(民國59年至75年)(台灣省水利局)

下陷量以塭豐村塭子防潮閘門的2.54公尺為最大。此亦為台灣地區最大累積下陷量之紀錄。

屏東地盤下陷區的範圍北自東港、東至新埤橋、南迄枋寮、西臨海岸，總面積達10,500公頃。

9. 其他地區

目前台灣其他地區之地盤下陷雖不如上述地區顯著，但如地下水之抽取未予管制，則新的下陷區可能還會增加。

較小的局部下陷區已知者包括曾文溪以南的新市及仁德附近各有地下水位沈降錐，地下水位均已降至零下15公尺以下。在岡山附近與左營西北方一帶，亦各有一處地下水位沈降錐，範圍較小，水位差亦不大，但高雄市絕大部份轄區地下水位均在海平面以下。

另外，台中縣清水海岸平原，由於台中港之開闢，地區逐漸繁榮，因地面水無法充分供應，而爭相抽取地下水，導致地下水位下降。地下水位零線有向內陸擴張趨勢。若不予管制，終將形成新的地盤下陷區。

五、地盤下陷之防治對策

沖積層的地盤下陷乃因長期抽取地下水，引起地下水壓及水位急速下降，且未獲充分補注，致土壤的有效應力增加，而發生壓密作用所造成。但一旦停止抽水，地下水位縱或回昇，地盤下陷亦不能即刻停止，而且地盤也無法恢復到原來標高。因此，地盤下陷實為一不能恢復之過程。但控制抽水量將使地盤下陷不再惡化。以下即說明有關地盤下陷的一些可能對策。

1. 台北盆地之經驗

台北盆地於民國40年代即發現有地盤

下陷現象。政府乃於民國57年公告「台北地區地下水管制要點」，劃定台北盆地為地下水管制區，並採取各項防制措施（經濟部水資會，民國74年），如下：

- (一)限期補辦水權登記，已於民國63年辦理完畢。
- (二)督促抽水井安裝水錶，並宣導節約用水，所有深水井已於民國66年安裝完成。
- (三)要求工業用冷却用水裝設循環設備，以節約用水，已於民國65年完成。
- (四)規定台北縣十一鄉市鎮的新設工廠不得鑿井抽取地下水。
- (五)裝設地下水位及地盤下陷觀測站，並從事長期觀測。於民國61及62年共裝設地下水位觀測井21口（其中台北市佔11口，台北縣佔10口），其中有18口附設地盤下陷觀測設施。
- (六)辦理水井調查，作為加強管制之依據。
- (七)研究人工補注方法之可行性。於民國65年完成「泰山深井補注試驗」及「大漢溪河床水漫補注試驗」。
- (八)協調省市政府迅速開發地面水源，以減少地下水之抽取。

台北市在上述管制措施之下，於民國65年地下水位即開始緩緩回昇，地盤下陷也逐漸緩和下來。根據觀測資料顯示，至民國79年已幾無下陷情形，歷時長達15年之久。因此由以上所述，不難看出地下水使用的管理是防止地盤下陷最有效的方法，但需經過相當時間，方能顯示管制之效果。例如水井管制、節制抽水、以及節約與循環用水等，都是最常用的方法。

2. 世界各國之經驗

世界上發生地盤下陷的國家很多，雖然使用地下水的目的不同，但防制地盤下

陷的方法都大同小異。林永德（民國77年）將之歸納為六種方法：

(一)管制地下水之抽取

防制因地下水超抽而造成的地盤下陷，最直接最有效的方法即是立法限制地下水的抽水量（而不是禁止抽水），此為各國普遍採用的方法。

(二)增加地面水之供給

對於水源之利用應有優先順序。通常一般國家對於民生必需用水，係以供給地面水為最優先。地下水的利用祇是居於補充或救急的地位。在地盤下陷區，如能增加地面水之供給，則可以減少對地下水之依賴，如此即可緩和地盤下陷現象。

(三)地下水補注

地盤下陷之發生係因地下水之抽取量超過含水層之安全出水量，使地下水源來不及補充，以致地下水位逐漸下降而引起。如果能以人為的方法將地面水灌入地下（稱為人工補注，Artificial Recharge），補充水源，並維持應有的地下水位，則不至發生地盤下陷現象。灌入的方法一般係以高壓的水經由水井灌入含水層，或導引地面水使其自然滲入地下。地盤下陷區大都缺乏地面水，亦即缺乏補注水源，因此可以利用上游地區豐水時期施行補注。必須強調的是當地盤下陷發生之後再補注地下水，地面却不可能再回昇至原位。

(四)興建地下水截水牆

位於海岸地區，地下水會流向海洋；若地下水位下降，則海水反而向內陸入侵（稱為鹽水入侵，salt water intrusion）。因此若能在海岸地區興建截水牆，則可防止地下水之流失。不過，截水牆之興建有一定的地質條件，最重要的是岩盤比較

淺，而且需要不透水才行。

(五)抽水者付費

地下水之取得是成本最低的一種水源。因此，若能採用使用者付費的原則，則抽用地下水者較能節制。

美國德州南部地盤下陷嚴重，德州政府乃劃定下陷管制區，組織管理委員會負責管理。在下陷管制區內抽用地下水者均需付費，所得經費再用於管制區內辦理災害防治工程。此措施實施以後，抽水量顯著減少，地盤下陷也趨於緩和。

(六)抽水者提供保證金

與抽水者付費方式類似，抽水者被要求提供保證金，以期發生地盤下陷時可用於防災。此法為荷蘭政府所採用。但必須強調的是地盤下陷重於預防；若要等到發生下陷後始採取補救措施，絕非上策。

3. 台灣可能採取之對策

台灣的養殖業因超抽地下水而造成地盤下陷，使國土喪失於海平面之下，而且影響工程的安全，故宜加強管制。以下試列舉大方向之管制對策，需要從消除引起地盤下陷的根本因素入手。

(一)劃定特別養殖區，並成立自治管理組織

政府宜就台灣現有之漁業養殖區，根據水源及地盤下陷之潛勢劃定特別養殖區。將共同水源及地盤下陷潛勢相當者劃為一區。於區內設立自治管理單位，由漁民組成之。自治單位負責區內公共供水設施之興建及負責日後之管理與維護。供水設施可委託政府規劃，但漁民需提出配合款。現有多餘的水井需封井，尤其是違法的水井，並且嚴禁新鑿水井。根據調查，彰化、嘉南等地區約有90%以上皆未申請水權登記，水權糾紛日增。

(二)政府需嚴格管理

政府首先需從土地使用管制規則着手。特別養殖區劃定完成之後，應不宜再有新增魚塭之開挖。每戶漁民需申請及核發有養殖漁業登記證方能從事養殖。申請登記證時，政府應詳查其養殖區之地目及水權。並應強迫其加入自治組織。

政府同時需提倡用水付費制度，除鼓勵節約用水之外，尚需嚴格管制地下水之抽取量，絕對不能超出安全出水量。

(三)開發水源及節約用水

為了防止地下水超抽，似可增加地面水的水源供應，如興建水庫、固定攔河堰、或河川引水口等。在水源管理方面，應統一規劃區域水資源，並作合理調度，擴大地表水與地下水的聯合利用。亦可利用農民灌溉之餘水，或採取雨水逕流回收之方式，以增加或開闢水源。不過，一般因為河川下游大都受到嚴重污染或河川本身的水質含泥砂量太高，必須先整治河川污染後方能使用。另一方面亦可研究養殖水之回收，促進循環使用，以節約用水。

一般養殖漁民為了抽取更多量之地下水，私下鑿井時往往於各含水層皆安裝濾水管，含水層與含水層之間的不透水層未有適切的充填，易造成各含水層之連通，以致污染物可自一含水層進入另一含水層，結果增加含水層受污染之途徑，使乾淨的水源更形減少。故鑿井規範亦應由政府制定，並強制執行。

(四)研究發展

為了瞭解地盤下陷之機制及減少地下水之抽取量，宜從事下列科技研發工作：

- (1)鹹水養殖技術之開發
- (2)水文地質研究
- (3)地盤下陷之機制研究
- (4)地盤下陷之防治研究

(5)地盤下陷區之整復再利用研究

(五)佈設地下水觀測網及地盤下陷監測網

地盤下陷係因地下水位嚴重下降而引起，故宜在地下水資源區，根據水文地質、地下水流向、地下水補注、地下水水質等因素，佈設地下水位觀測網。同時在地下水使用量特多的地區裝設地盤下陷監測站，以防患於未然，甚於事後的補救。此事為長程的系統監測，故應成立地盤下陷資訊中心，以評估及分析地下水及下陷資料，並作為地下水管理與決策之依據。

(六)定期監視養殖魚塭之面積

利用法國SPOT之衛星影像，每兩個月監視及計算各地區養殖魚塭之面積一次，以了解其增減情形。由面積量乘上平均用水量，可大致推估地下水之抽取量，再與安全出水量相比較，即可評估超抽情形。政府可據此加以管制並採取對策。

六、結語

近年來台灣部份沿海地區發生嚴重地盤下陷，造成淹水及建築物的沈陷；政府花了不少經費於公共工程的改善及海堤的加高。更甚者是部份國土永遠喪失於海平面之下。造成這些災害的最大原因，主要是養殖業超抽地下水所致。不過，在地質學的宏觀下，其他因素，特別是地殼運動及沈積因素，不能完全捨而不顧。

從地盤下陷區的分布來看，此等地區全屬現代的沈積盆地、三角洲及濱海區（丁大川，民國77年）。地盤的長期下陷，是沈積物堆積巨厚的主要原因。沈積物的來源主要靠河流及潮汐的搬運而來；同時，河流的週期性改道才能使沈積物廣泛地分佈於整個沈積地區。這些都是自然現象。如果一旦砂源停止供應（如河川上

游興建水庫)、河道被限制與固定,則沈積作用即告中斷,因此地面發生自然下陷。地盤的自然下陷,加上在此等地區大量抽取地下水,下陷現象因之急驟加速。至於自然與人為因素兩者所佔份量的多寡,則需作進一步的研究。要知祇有在透澈了解下陷機制之後,才能提出有效的防制對策。

地盤下陷問題影響到工程的安全與維護。而台灣東、西部海岸平原有許多公共建設已經完成,或正在規劃中,例如海堤建設、港口、工業區、高速鐵路、高速公路等,它們受地盤下陷的影響程度如何,似乎尚未深入研究;同時養殖業式微後,地盤下陷區應如何整復與再利用,以及鹽漬土對工程基礎的影響如何,亦未見規劃與研究。我們似應重視上述問題,儘速建立健全的地盤下陷監測網、成立地盤下陷資訊中心,並集中部份資源進行通盤研究與規劃。

七、參考文獻

1. 丁大川, 民國77年, “由沈積因素看台灣的一些地面下陷現象”, 地質, 第8卷, 第1-2期, 第23-26頁。
2. 台灣省水利局, 民國78年, “改善台灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究報告”, 第一期, 156頁。
3. 台灣省水利局, 民國80年, “改善台灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究報告”, 第三、四期, 211頁。
4. 台灣省水利局, 民國81年, “台灣西部暨宜蘭沿海地區地盤下陷檢測計畫期中檢討報告”。
5. 林永德, 民國77年, “地盤下陷防治方法: 地盤下陷研討會論文集”, 工研院能資所, 17-42頁。
6. 林永德與陳守強, 民國76年, “台灣沿海地區地盤下陷之研究”, 農業委員會水利特刊第一號, 79頁。
7. 柳志錫及歐陽湘, 民國82年, “雲林沿海地區之地盤下陷問題”, 營建知訊, 第132期, 第一頁。
8. 亞新工程顧問公司, 民國81年, “台灣各地區地盤下陷研究(-)”, 行政院公共建設督導會報專案研究計畫成果報告, 計畫編號81-管-02, 162頁。
9. 亞新工程顧問公司, 民國82年, “台灣各地區地盤下陷研究(二)”, 行政院公共建設督導會報專案研究計畫成果報告, 計畫編號82-技-02, 118頁。
10. 經濟部水資會, 民國74年, “台北地區七十三年地下水管制及地層下陷檢測報告”。
11. Helm, D. C., 1984, Field-based computational techniques for predicting subsidence due to fluid with drawal, *Geol. Soc. Amer. Rev. in Engrg. Geol.*, V.6, pp.1-22.
12. Holzer, T. L., 1984, Man - induced land subsidence, *Geol. Soc. Amer. Rev. Engrg. Geol.*, V.6.
13. Roberts, J. E., 1969, Sand compression as a factor in oil field subsidence, *International Assoc. Hydrological Sciences Publication 89*, pp.368-375.
14. Wang Lee, C., and Lin, T. P., 1987, The geology and land subsidence of the Taipei Basin, *Mem. Geol. Soc. China*, no.9, pp.447-464.
15. Wu, C. M., 1992, Ground water development and management in Taiwan,

