

陷落的地平線——台灣地下水資源問題

報告人：張石角

● 民國二十四年生

● 英國倫敦大學帝國理工學院哲學碩士

● 現任台灣大學地理學系教授

評論人：黃永桀

● 民國二十四年生

● 國立中興大學森林系

● 現任行政院農委會林業處處長

評論人：范光龍

● 民國三十三年生

● 美國北卡州立大學地球科學博士

● 現任國立台灣大學海洋研究所教授

陷落的地平線——台灣地下水資源問題

◎張石角

一、前言

台灣西南沿海地盤持續下陷中，政府年年編列預算維修海堤的治標做法，並未能收到抑制之效果。如此雖然花費不貲，但不做海堤災害必定更加嚴重應無可疑。

地盤下陷的根本原因沒人追究和採取有效的因應對策，乃事態依然未獲改善的緣故。這個問題論者已衆，本文擬從地盤下陷和環境效應與地下水抽取等問題作一檢討，以供參考。

二、地盤下陷的環境效應

(一)地盤下陷現象的辨識

1. 對一般人而言，「地盤下陷」現象是以河海水平面為參考面而辨知地面的升降。因此，

河、湖、海等水濱地區最容易感知地盤下陷現象的存在，而引人注目。這是因為對應於地盤下陷的就是水面的上升。所以，像台北盆地五股沼澤地積水不退，以及淡水河洪水面不斷上升，逼使堤防加高，部分地區已達一〇·五公尺以上，都可視為台北盆地地盤下陷的指標。

同樣地，台灣西、南沿海地區海水入侵久而不退、迥異於往昔，自亦應是地盤下陷的結果。

2. 非水濱地區，雖有地盤下陷情事也不易被察覺，除非有定期的精密的基準點測量資料可供檢核。此種地區因無明顯的環境效應，即使其已產生對公共福祉有某種程度的損害，也因受害人矇然不知，而不特為人所警覺。

(二) 洪水位上升

1. 由上所述可知地盤下陷的明顯現象是河、海水面相對於陸地地面的上升。

2. 地盤下陷而使地面低於平常河、海水平面時，積水就會歷久不退，形同陸地的永久性沉淪。解決此種困境的方法之一是以築堤和不斷抽水的方法以維持該土地的繼續使用，如嘉義縣網寮之現況者然。但此類土地於潰堤或抽水能力失效時，將一再淪為澤國，如屏東鹽豐村和雲林口湖等地者然。另外一種永久性的解決辦法，是以填土方式局部或全區加高地面至水面之上。如此卻產生新建房屋基礎高高在上，而舊房舍卻半埋於土中的特殊景觀。如屏東縣佳冬鄉塭子村、以及台北縣五股沼澤地者然。

3. 地盤下陷雖未至河、海水平面下，仍有以下與洪患相關之環境效應：

(1) 地盤之沉陷量有局部性之差異而影響區域排水之順暢，容易因積水而形成都市型水患（即

河水面未達警戒線以上而市區內卻有局部淹水現象)。

(2)由於地面之沉陷，水患時淹水面積和淹水深度會比沉陷前為大，而產生放大災害程度的效應。

(三)土壤壓密與地下構造物

1.地盤下陷乃因土壤壓密，垂直方向之體積縮小的結果，故稱為「壓密沉陷」，只發生於受其影響之淺層土壤，與地殼整體之升降無關。

2.土粒基本上是不能壓縮的，所以土體的體積縮小乃因土粒間的空隙率減少所致。而其體積的調節過程中，可能因土體為非均質體而產生不等量的壓密現象，使置放於該土體中的構造物，如管線和建物基礎，發生水平方向之延伸和扭曲現象致生破壞。

台北市自來水管漏水率偏高以及高架橋墩之沉陷，甚至出現裂隙，很多情況是與基礎不等量沉陷有關。

最近經濟部水利司提出警告，謂雲林、彰化海岸地區地層下陷若未能有效抑止，則有危害新生地上工廠設施之虞，即基於此項考慮。

(四)地層含水能力之下降

1.土壤既經壓密之後，土粒間可供儲水及水分流通之孔隙大小及體積皆視壓密程度而減少，其結果是土壤透水度(Permeability)和含水量的降低，形同永久性地降低地下水資源之涵養能

力。

2. 土壤壓密導致地表水入滲量 (Infiltration) 的降低，因而提高了地表逕流量 (逕流量 = 降雨量 - 蒸發散量 - 入滲量)，所以有提高了洪水高度的效應。此種效益與都市不透水面積增加的類似效應結合，乃都市型水患的原因之一。因此如何增加都市地下水入滲量，也成為都市環境保護的重要課題 (佚名氏，一九九二)。

(五) 海岸侵蝕強度增加

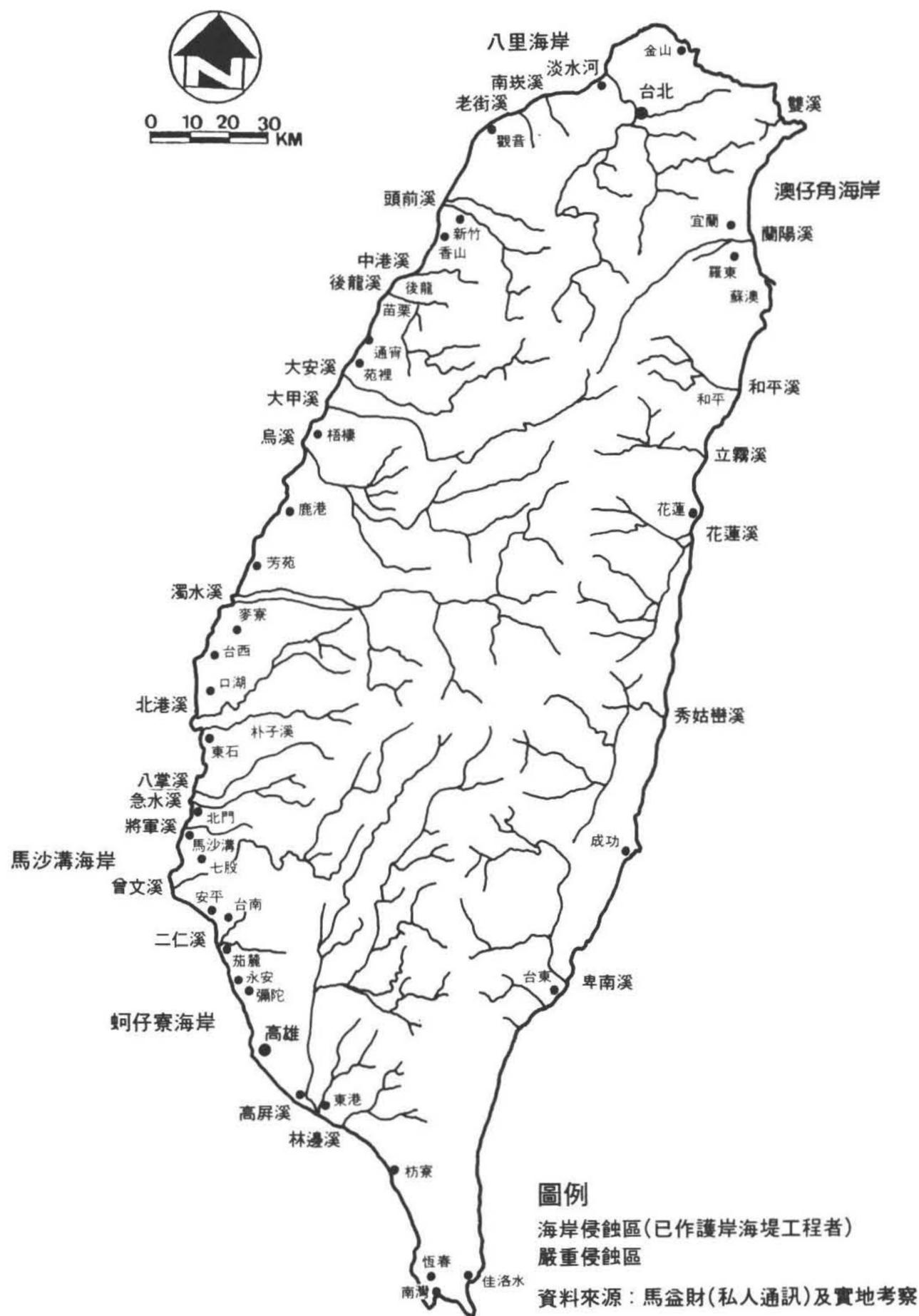
1. 海岸水深略與該處之波浪能量成正比。是以水深大之岩岸為侵蝕海岸，如東海岸，而淺灘則為堆積海岸，如西海岸。蓋破浪帶 (Surf Zone) 愈狹，則單位長度之海岸所受到的能量越大。

2. 海岸地區地盤下陷後，既有之新生地護堤或為維護下陷地區所建之海堤，均淪入較深之海中，也等於使構造物暴露於比原設計更強的波浪作用下。這是每遇颱風暴浪襲擊時，海堤與護岸有大量潰敗的原因。(圖一)

3. 地盤下陷量受土質之影響；而土質常隨處而互異，因此地盤下陷常呈不等量沉陷情形，海堤結構受其影響而龜裂，自會減弱其強度而使其更易遭受波浪之破壞。

(六) 地盤下陷之環境效應

1. 以上之分析可知地盤下陷之環境效應有四，即：(1) 加劇水患 (2) 影響地下構造物之安全 (3) 降低地下涵容能力 (4) 增強海岸的侵蝕作用。



圖一 臺灣沿海地區海岸侵蝕區分佈圖

2. 以上之環境效應，除第二項於沉陷量達該土體之可壓密極限後即行停止外，其餘都屬永久而不可逆的作用，其結果是：低窪區居民世代都處於水患威脅中、海堤使海岸人工化，海岸生態為之改觀，而人類三大水庫之一的「地下水庫」（其餘兩個為綠色水庫，人工湖）從此萎縮。

3. 以上環境安全、生態破壞與水資源損失的千秋萬世的累積損失，必定是個難以想像的天文數字，斷非缺少長遠規劃的應急性濫抽地下水所獲得的利益可以比擬。

三、台灣地盤下陷的情形

(一) 地盤下陷情形

1. 台灣地盤下陷情形，經台灣省水利局多年分區檢測後，已得出各區之沈陷量，如表一所示，而其地理分布則如圖二。

2. 根據以上資料，台灣已觀測到的地盤下陷區集中於烏溪以南之西南沿海、蘭陽平原沿海和台北盆地，皆位於海濱水畔，蓋其易以為人所感知也。其中台北盆地於民國六十七年以後管制抽取地下水，因此地盤下陷已趨緩和穩定，年下陷量已在一公分以下。其他地區由於養殖需求，超抽地下水情形依然未戢，是以下陷情況尙未能有所改善。

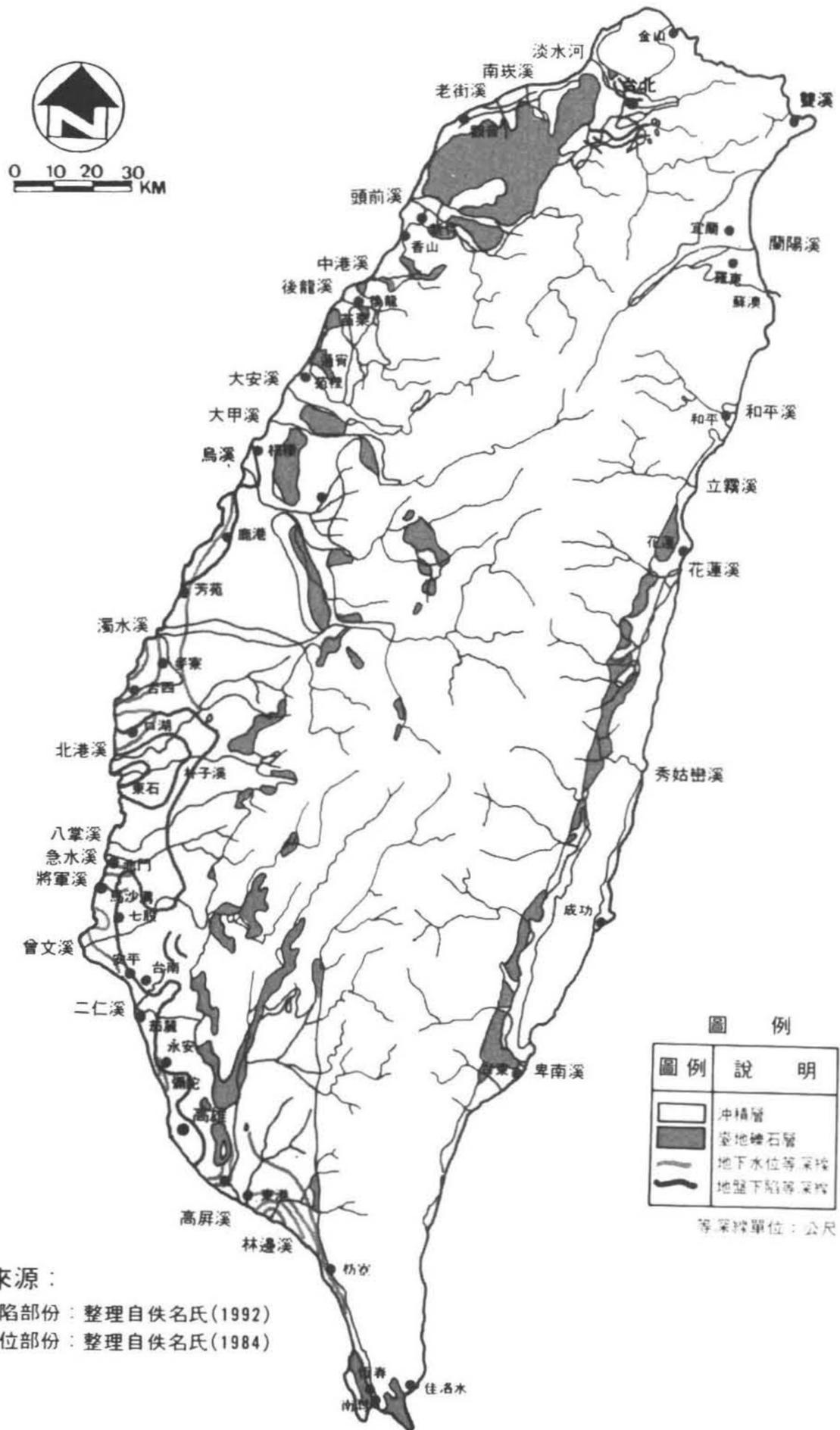
3. 根據表一，台灣地盤下陷區總面積達一一七〇平方公里，占平原總面積一一〇〇〇平方公里之一一%。以台灣極其有限的平原區而言，此一影響程度不可謂不大。

表一 台灣地區地層下陷概況

地區	實測最大 下陷量(公尺)	地點	下陷範圍	下陷面積 (平方公里)	七十八年魚塭面積(公頃)
宜蘭沿海	0.50	宜蘭市 凱旋路	礁溪、壯圍、宜蘭、五結、頭城	210	1937
彰化沿海	0.77	鹿港鎮 顏厝海堤	伸港、線西、鹿港、福興、芳苑、大城、二林	189	3448
雲林沿海	1.80	口湖鄉 金湖村	麥寮、台西、四湖、口湖、水林	176	7624
嘉義沿海	0.71	東石鄉 過溝庄	東石、布袋、義竹	250	6894
屏東沿海	2.50	佳冬鄉 燄塭	東港、林邊、佳冬、枋寮	105	5253
台北盆地	2.24	台北市八德路光華商場	台北市 台北縣	240	民國四十六年至六十九年因工商業抽取地下水，現已控制抽水量，地層下陷已緩和。

註：以上各地區地層下陷面積達1170平方公里，占平原總面積11,000平方公里之11%。

資料來源：須洪熙，1992。



圖二 臺灣平原區地質、地下水位與地盤下陷量分布圖

4. 根據檢測資料顯示，地盤下陷地區即使停止超抽地下水，地盤仍有持續沉陷的現象。如台北盆地早於民國六十七年後即嚴格管制抽用地下水，卻至今仍有一公分年下陷量。此因當土壤中約九〇%之孔隙水被排除後，土壤壓密作用才算完成。台北盆地開發甚早，地層壓密程度應已至尾聲，而西南沿海之沖積作用事實上尚在進行中，故其土質較之台北盆地者遠為鬆軟，而開發行為卻剛開始，因此今日所測者，應為其初期沉陷量，日後尚有豐富之沉陷之餘裕。

(二) 地下水下降量與地面沉陷量

1. 地下水下降量與地面沉陷量有一定之關係，主要受關係地層之地質年代和組成礦物之性質的控制。

2. 地質年代久遠的岩層業經壓密與膠結等固結作用，抽其水分幾不引起其體積的變化，故無地面下陷現象。

3. 現代和近代沖積層多未固結，尤其沙泥質多孔隙者，則其地面對地下水面之下降至為敏感。美國加州第四紀沉積層曾有地下水下降三公尺，地面下降〇·三公尺之記錄。

4. 水利局曾以台北盆地和蘭陽地區的觀測值加以分析，發現地面下陷量與地下水下降量的相關值各為〇·五一與〇·六五，表示相關不佳，認為下陷量與土質更有密切關係。

5. 台灣地下水水面等高線業經調查，從其0m, -10m, -20m之等深線分布模樣(圖二)，可知地下水下降最大區在西南海岸，由於缺少精細地形圖，故無從得知地下水面與現地面之關係。惟據表一，本區下陷面積達七二〇平方公里。設未來二三十年間若三〇%之地面低於水平

面，則有二一六平方公里國土將消失不見。以目前海岸線退縮情況研判，此種情況並非不可能。

(三) 抽水量與地盤下陷量

1. 從表一、二可以得出「沉陷區單位面積養殖區抽水量」、「下陷區每平方公里魚塭面積 (ha)」，連同各區「地盤下陷量」可繪製成三者之關係曲線，如圖三所示。

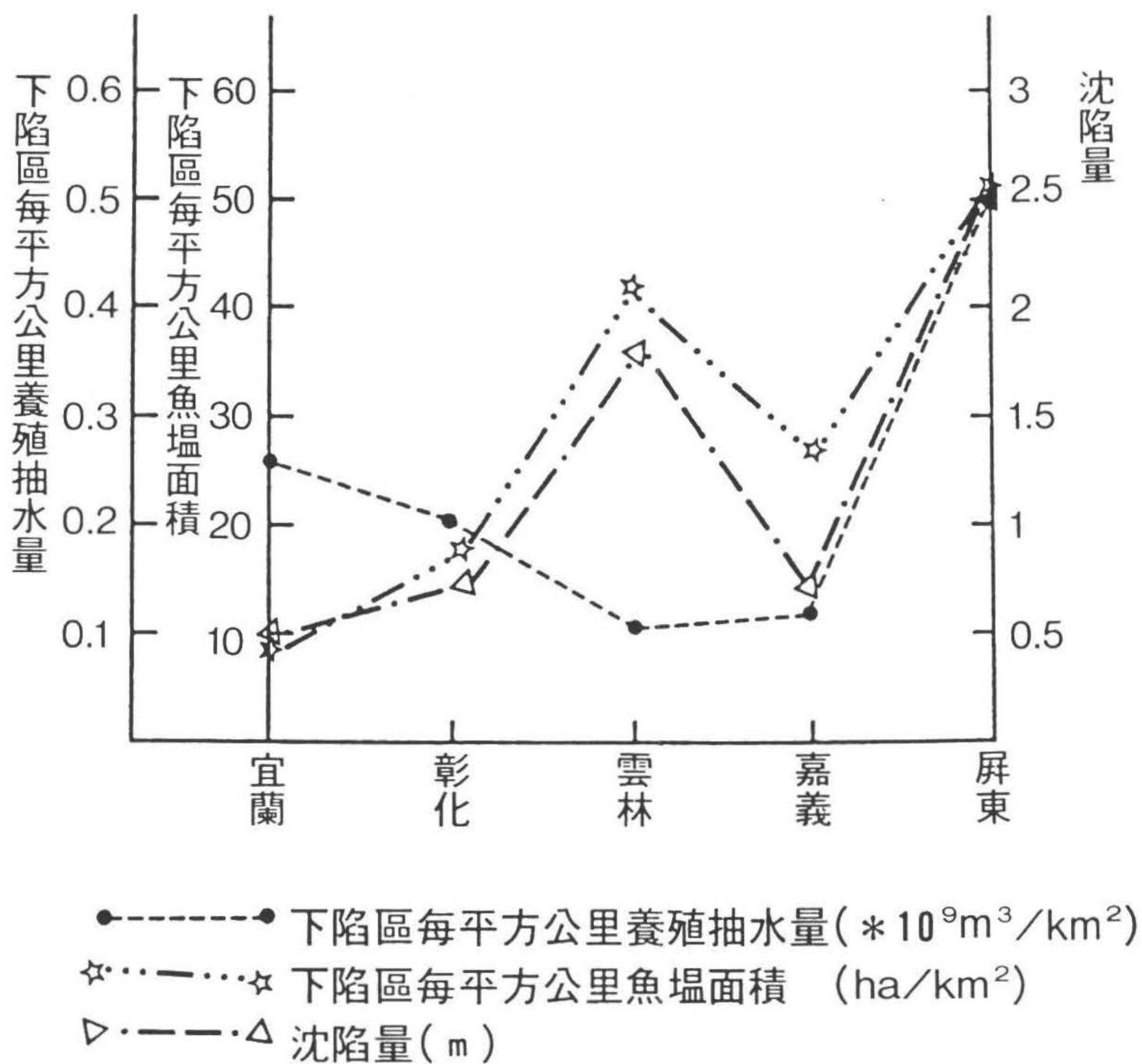
2. 從圖三可知地盤沉陷量與下陷區每平方公里魚塭面積成正比，但卻與單位面積魚塭地下水抽取量無關。然因地下水抽取量應與魚塭面積相關，其間之所以有矛盾現象，推測應與地下水抽取量因缺乏量度數據而不易準確有關。

(四) 地盤下陷的地理分布與地質

1. 圖二顯示地盤下陷集中在沙泥質水濱地區，即蘭陽海岸、台北盆地、和西南沿海。然根據「台灣地區地下水使用概況」(表二)，彰化以北地區也有養殖用水之抽取，卻沒有嚴重的地盤下陷現象。從其明顯的地理界線觀之，此種現象顯與各該區之地下地質有關，主要為礫石層和沙泥質地層的區別(圖二)。

2. 影響地盤下陷量和下陷速率，除地下水抽取量超過補足量的幅度是一項重要因素外，未固結的近代沖積層的壓密下陷率最大，其中粘土層受壓時，其體積可以減少四十%~六十%，而沙礫層體積之減少最為有限，如圖四所示。

3. 台灣各地下水含水層之岩質柱狀圖如圖五所示。顯示嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原之沉



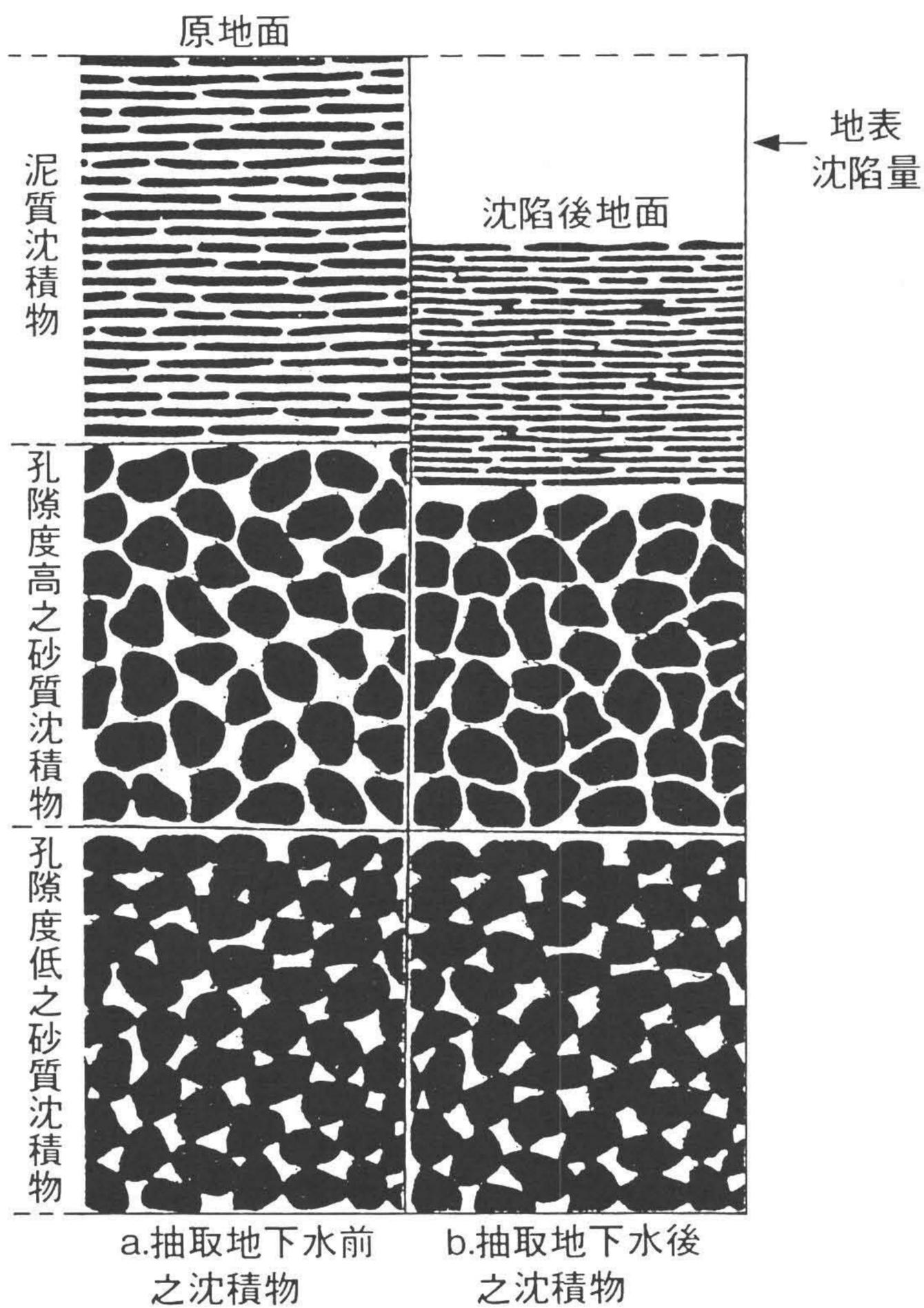
圖三 臺灣地區地盤下陷量、養殖區抽水量與魚塭面積關係圖

表二 台灣地區地下水使用概況

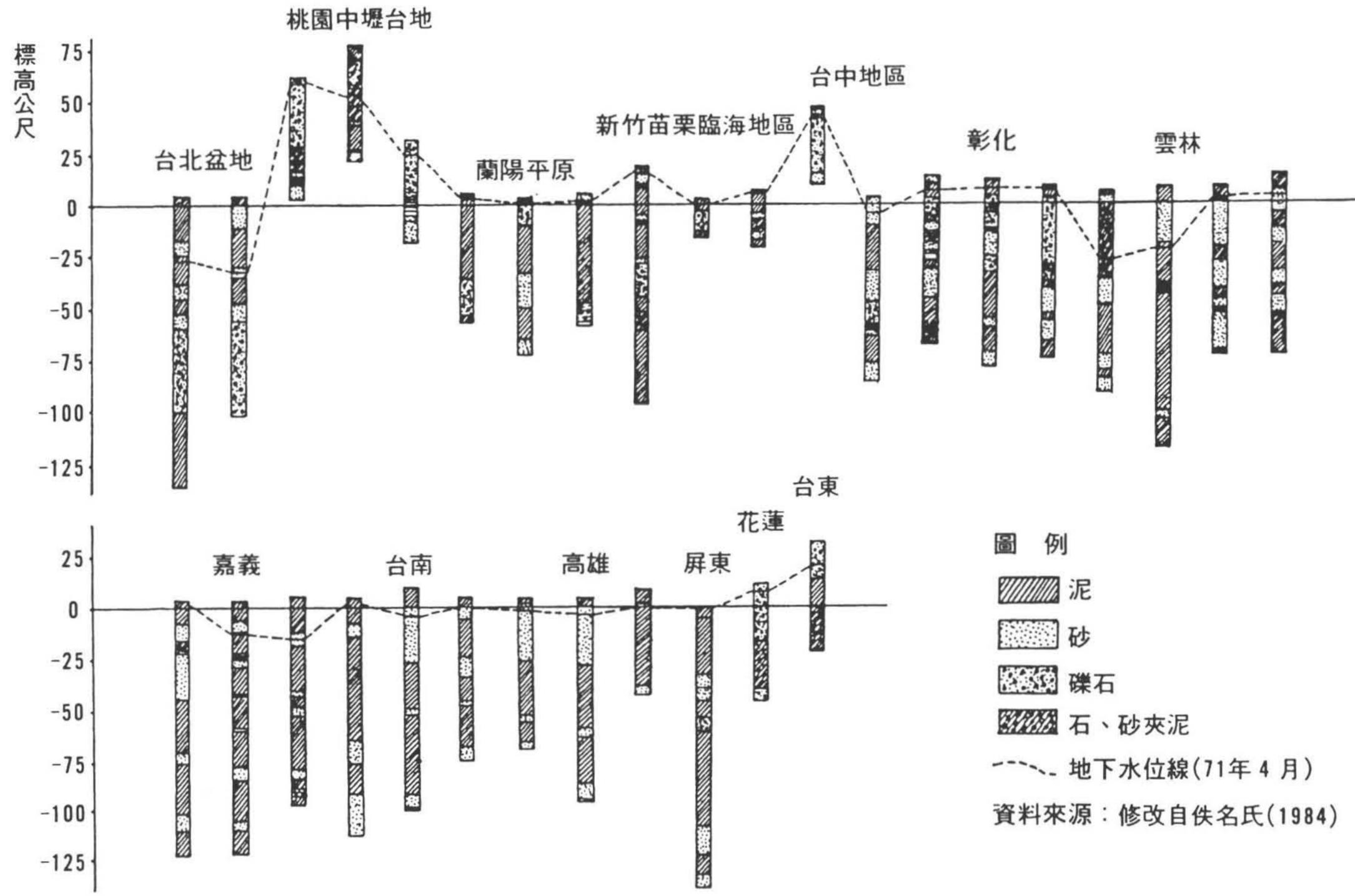
單位：百萬立方公尺/年

項目 地區	天然補 助 量 (1)	抽用量 (2)	使用率 (%) (2)/(1)	各標的用水量比例				
				農 牧	養 殖	工 業	公共給水	家 用
宜 蘭	120	183	153	6	52	24	9	9
台 北	150	86	57	0	3	74	6	16
桃 園	117	136	116	2	18	68	2	10
新 竹	85	132	155	11	28	30	15	16
苗 栗	95	121	127	38	10	30	8	14
台 中	379	369	97	30	3	31	22	14
彰 化	686	1,285	187	52	39	8	1	0
雲 林	454	986	217	76	20	1	3	0
嘉 義	246	562	228	58	33	5	4	0
台 南	120	351	293	49	3	41	2	0
高 雄	187	703	376	43	16	25	17	0
屏 東	1,111	2,181	196	39	53	2	6	0
花 蓮	157	115	73	20	15	46	16	3
台 東	93	98	105	18	51	20	7	4
合 計	4,000	7,308	183	45	33	13	7	2

資料來源：須洪熙，1992年6月。



圖四 不同沈積物壓密下陷量比較圖



圖五 臺灣各地下水含水層之岩質柱狀圖

積物以沙泥質為主，而台中以北、東部地區則以沙礫為主。根據上述沉積物組織之特性，則可推知以沙泥質為主之地區，超抽地下水結果所引起的環境效應將遠大於沙礫質分布區。因此可以想見台灣西南沖積平原和蘭陽平原乃地下水抽取之敏感區，亦即其超量抽取除將增加該區之排水困難，加劇區域性水患之外，含水層之蓄水容量也將萎縮。而台中以北之礫石分布區超抽地下水所產生之環境效應則較不激烈。

四、台灣的地下水資源

(一) 台灣水資源與三庫

1. 今年夏季颱風不來，雨水不豐，全省普呈旱象，使水利單位不得不採取緊急措施，不但暫停水力發電，連攸關糧食生產的灌溉用水也打折供應，可知缺水嚴重情形之一斑。

2. 天不降雨乃苦旱之主因，但台灣「三庫」空虛卻大幅削弱了我人對付自然困境之能力。

3. 蓋台灣降雨之時、空分布不均，使四分之三之逕流無法調控使用，乃自然流量使用率偏低的主因。改善此種天然不良情況之人為辦法，惟有妥建和維護三庫一途。

4. 所謂三庫乃河川上游之「綠色水庫」（森林）、中游之「人工水庫」以及下游沖積平原的「地下水庫」。惟有使此三庫豐盈，並且施行整合性之調節使用，方能從根本上解決台灣長期性的缺水問題。

(二) 台灣地下水之使用情形

1. 根據經濟部水資會的資料，台灣地區各標的需水總量爲一九五億立方公尺（七十九年），而地下水之利用量爲七一·三九億立方公尺（八十一年），約占二六·六%可見其在台灣水資源中之地位。

2. 雖然迄今無人研究台灣各區地下水安全出水量爲多少，但早期估計認爲年可使用量約爲二五億立方公尺。

3. 表三爲台灣地區地下水資源之分布與使用情形統計表。由之可見中、南部地下水有嚴重超抽的情況，其抽取量分爲其天然補注量的一·六倍和二·三倍。其嚴重超抽的結果，已經造成地下水位面明顯地向內陸退縮和局部性的沉陷，如嘉義地區、台南地區和屏東地區（參看圖二）。

4. 地下水位朝內陸退縮結果，引起海水入侵，而使沿海地區的地下水嚴重鹽化，而土壤也跟著鹽化（Salinization）。這種現象在台灣不是新聞，卻是國家珍貴自然資源的永久性毀損。但大家關注的焦點是地下水鹽化影響石化工業、和生活用水，而解決之道是另找水源支應，而不是如何亡羊補牢，抑止珍貴水資源的繼續沉淪、喪失，好像我們不在乎這種資源的消失。這種對自然資源重要性的無知或不負責任的因應態度，將使水資源問題難獲改善。

(三) 台灣地下水之補注系統

1. 台灣地下水貯存於沖積平原的堆積層中，此等堆積層係由主要河川沖積而成，因此，堆積

表三 台灣地區地下水資源估計

區域	面積 (平方公里)	地 下 水 分 區		年雨水補 注量(億 立方公尺)	81年利 用量(億 立方公 公尺)	備 註	
		分 區	面積(平 方公里)				占區域 %
北部	7,347	台北盆地、桃園中壢台地、新竹臨海地區及蘭陽平原	2,410	32.80	4.72	5.37	台北盆地因超抽發生地層下陷。竹南平原已超抽。
中部	10,507	苗栗臨海地區、台中地區及濁水溪沖積扇	3,340	31.79	16.14	25.92	
南部	10,004	嘉南平原、屏東平原	3,650	36.59	16.64	37.97	沿海有污染及地層下陷
東部	8,144	花蓮台東縱谷平原	930	11.42	2.50	2.13	
合計	36,002	九個分區	10,330	28.69	40.00	71.39	

資料來源：佚名氏，1993

層之構造屬所沖積之河川的自然系統的一部分，其地下水之補注與流動，亦屬該河川之領域。

2. 所以，台灣地下水系統分屬淡水河系、蘭陽溪河系、濁水溪河系、曾文溪河系、高屏溪河系。各河川也是各地下水區之補注源頭。各地下水補注系統之地理分布如圖二所示。

3. 惟淡水河和曾文溪之上游皆已分別建了水庫，其下游河川流量大減，地下水之補足顯然大不如往昔，因此目前仍有豐富地下水者只有濁水溪、高屏溪和蘭陽溪等三個地下水系統。

4. 分析圖二地下水等深線之分布模樣，可知地下水之盈虛與補注源有密切關係。例如嘉、南地區天然補足量明顯不足，地下水位最低，而濁水溪系統仍然有較高之水位。雖然如此，根據水利局八十一年度檢測濁水溪沖積平原的資料，卻已發現位於濁水溪口北岸的彰化西港於最近兩年間，竟下陷五七公分。該區之地區為沙泥質，若以美國加州地表下陷量與地下水面下降量的關係度之，則該區地下水位約已下降兩公尺之多。此種情勢之持續發展對當地之物理和社經環境之影響值得注意。

五、台灣地下水資源的幾個問題

(一) 沿海地層下陷與養殖魚業

1. 經濟部水利司鑑於台灣沿海養殖區地盤下陷之嚴重性，建議漁政單位規劃在三年內禁止國內淡水養殖業，否則將危及海岸工業區的安全。

2. 養殖界因其年抽取地下水為三三億立方公尺（七十九年度），只占總量七三億立方公尺之四五%（表二），因此認為將地層下陷的責任推給養殖業實有失公允。

3. 然而，由於沿海地區(1)位於水濱(2)堆積層尚未固結(3)其泥沙質物易於壓密(4)且又位居補注系統之末端，天然補注量低，等四項原因，使該地對抽取地下水之反應特別敏感，據此推論，則沿海養殖業之抽取地下水，應是該區地盤下陷之主因似無可疑。

(二) 地下水補注區之消失

1. 河川堆積物自上游至下游有粒徑漸減的趨勢。因此，在沖積平原三角洲頂部之沉積物粒徑較粗，透水性良好，乃為其地下水系之主要補注區。

2. 為維護此等重要地區之補注能力以及水質，先進國家皆予調查區劃其保護區域，並訂定補注區保護法規予以管理。我國對此重要資源之保護尚未採取行動，並任污染性活動在此等補注區內進行，宜請有司注意及之。

3. 河川上建壩後，只有豐水期為地下水之補注時機，若補注區範圍太小或補注機能損失，則必影響補注量。為克服以上問題，除宜依地層補注能力適當擴大補注區外，並對區內之補注能力予以改善，以強化其補注功能。

(三) 地下水資源的整體規劃、開發與管理

1. 地下水為重要之水資源，而抽取地下水也不一定會有環境負面效應，只要妥選區位和控制

抽水量，則應有益而無害。

2. 例如，由於各地之補注量不同，是以並非全沖積平原皆處於超抽狀態。因此避開濱水地層敏感區，開發補注力強之非敏感區，並由水利單位作水資源之統籌聯合運用，量入為出，當可達到水資源永續發展之目的。

3. 對於海水入侵地區，入侵範圍之掌握、監測以及有效措施的採取，都是不使事態惡化的當務之急。

(四) 近岸抽沙與地層下陷

1. 近岸抽沙使海岸地形變陡，形同陸上深基礎開挖，有引起土壤失水而肇致地盤下陷之虞。

2. 離島工業區陸續開工後，將需數億立方公尺之海沙供造陸之用。環境影響評估審查雖有要求採沙區須在水深二十公尺以上地區，但業主為節減成本，有於近岸或河口採沙之議，而有關單位則束手無策。

3. 抽沙區如不能有效規範，則即使管制抽取地下水，沿海地區地層下陷以及關連問題仍難杜絕。因此，政府應採取各種必要措施，全方位地防止地盤繼續下陷。

(五) 教育與執法

1. 地盤下陷引起的各種效應，須付出龐大之社會成本，已是眾所周知的事實，而政府之所以一籌莫展，原因在於問題已由單純的違法行為，因政府任其坐大，致已擴大成為社、經和政治問

題，以致騎虎而難下。然而，若任其如此惡化下去，則下陷地占平原區比率恐要不斷擴大。

2. 百姓不守法，政府不執法，是台灣根本性的危機。地盤下陷問題也不例外。教育宣導、彰顯法律權威，以及重建政府威信，使民衆認同政府的決策，乃匡正世風和政風的不二途徑。

3. 然而，政府對國土資源缺乏規劃和管理能力，一任事物自行演變，乃至失控，也是事實。如何提昇政府機關的專業能力，培植人才，也是另一項重大課題。

六、結論

1. 地下水資源為「三庫」之一，其對國計民生之重要性不可忽視。

2. 竭池而漁的自然資源利用方式，乃地盤下陷及其相關效應的根源。目前朝野均以短期之眼前利益為重，政府對此既無意採取矯正措施，而民衆與企業家也缺乏環境和自然資源保護的觀念和責任心。在在顯示台灣基本上仍處於落後的文化型態。

2. 出賣自然資源和環境品質以追求經濟成長，乃生態失衡和天災頻仍的原因，整體和長期而言，並非得計。

3. 恪遵「永續發展」原則的自然資源開發，才是厚植國力，增加應付逆境能力的做法。水資源經營亦不例外。

4. 進行地下水資源調查、規劃、開發，研擬周延法規管理，並且依法行政，乃改善現狀必走之路，現在就開始著手規劃進行，方不致悔之已晚。

參考資料

1. 佚名氏，台灣地區地下水資源，經濟部水資源統一規劃委員會，民國七十三年。
2. 佚名氏，台灣地下水地質圖，經濟部水資源統一規劃委員會，民國七十五年。
3. 佚名氏，改善台灣地區地下水文基本資料收集系統之規劃研究執行報告，屏東水利局第七工程處，頁一五六，民國七十八年。
4. 佚名氏，台灣西部暨蘭陽沿海地區地盤下陷檢測成果報告，台灣省水利局（彰化、雲林、屏東、高雄、宜蘭等縣），民國八十一年。
5. 東京都地球環境保全行動計畫，東京都情報聯絡室，頁一一九。
6. 佚名氏，水資源之保育與利用，行政院第十四次科技顧問會議「開拓資源與環境保育」會議資料，民國八十二年。
7. 陳正祥，台灣地誌，敷明產業地理研究所研究報告，第九十四卷，民國四十九年。
8. 張石角，台灣海岸自然環境與國土資源評估，台灣海岸問題研討會，民國八十二年。
9. 須洪熙，台灣地區之水資源與地下水，中荷地下水監測系統技術研討會論文集。工研院能源所，民國八十一年。

¹⁰Costa, J. F. and Baker, V. R, 1981., Surficial Geology. John Wiley & sons P. 498。