經濟部中央地質調查所彙刊
第十三號，第25—50頁，民國八十九年六月

屏東平原地下水之海水入侵

江崇榮[1]

節　要

隨著臺灣地區地下水觀測網計畫之水文地質調查及觀測網建立，許多前所未知之水文地質結構和地下水問題逐一被揭露，屏東平原地下水區之海水入侵即是其中之一。本文從水文地質結構來研判海水入侵途徑，以地下水位變化來說明海水入侵之動力，利用地下水鹹水範圍之變遷顯示海水入侵之擴大；證明海水正在入侵過程之中。

綜合分析獲得結論是：屏東平原之地下水層在海溝中離岸數公里內即與海水相連通，因近年來沿海超抽地下水，造成水位洩降至海平面以下，促使海水入侵和地下水之鹹化。民國四十九年東港、崎峰、大潭、新園一帶地下水層尚屬淡水；約民國六十九年起，局部地下水位洩降至海平面以下，海水開始入侵，如今該區之地下水均已嚴重鹹化；迄民國八十七年，在短短 18 年內海水向深層地下水層侵入最遠約 9 公里，面積約 115 平方公里；除了上述主要入侵區以外，枋寮沿海另有一小範圍海水入侵，面積約 6 平方公里；全地下水區受海水入侵而鹹化之地下水體積初估總計達 30 億立方公尺以上。從本區海水入侵之機制可推斷：將林園、東港、大潭、崎峰及枋寮沿海地下水水位恢復至平均海水位以上，應可有效抑制該區之海水入侵，並舒緩地下水之鹹化現象。

前　言

沿海地區之地層下陷和海水入侵常是地下水局部過度開發導致之惡果，乃地下水資源經營管理上必須詳加考量和防患之重大課題。利用地表水準檢測，可明確定出地層下陷之範圍及其下陷量；海水入侵則因較不易辨識而常被忽視。

經濟部主辦之臺灣地區地下水觀測網計畫於八十四、八十五及八十七年度間在屏東平原展開大規模之水文地質調查、地下水觀測井開鑿及地下水相關試驗工作，陸續獲得豐富之水文地質和地下水資料。依據八十四及八十五年度之資料，經濟部中央地質調查所（1997）於八十六年六月完成屏東平原水文地質調查研究

1. 經濟部中央地質調查所

之第一階段報告，初步釐定水文地質分層結構和地下水層（Aquifer）邊界，並推斷東港沿海附近地下水層有嚴重之海水入侵（Seawater intrusion）。江崇榮和汪中和（1998）利用八十四和八十五年度資料，亦確認本區沿海因超抽地下水而導致海水入侵和地下水鹹化。屏東平原地下水觀測網水文地質調查及觀測井建置工作均於八十七年度完成，因此值得整合三年度之各項成果，根據沿海之地質、海底地形、水位及水質等相關資料，對屏東平原海水入侵之途徑、時間、範圍和機制等再做全盤之探討，以期對問題能有更明確之認知，提供將來海水入侵防制對策研擬之參考。

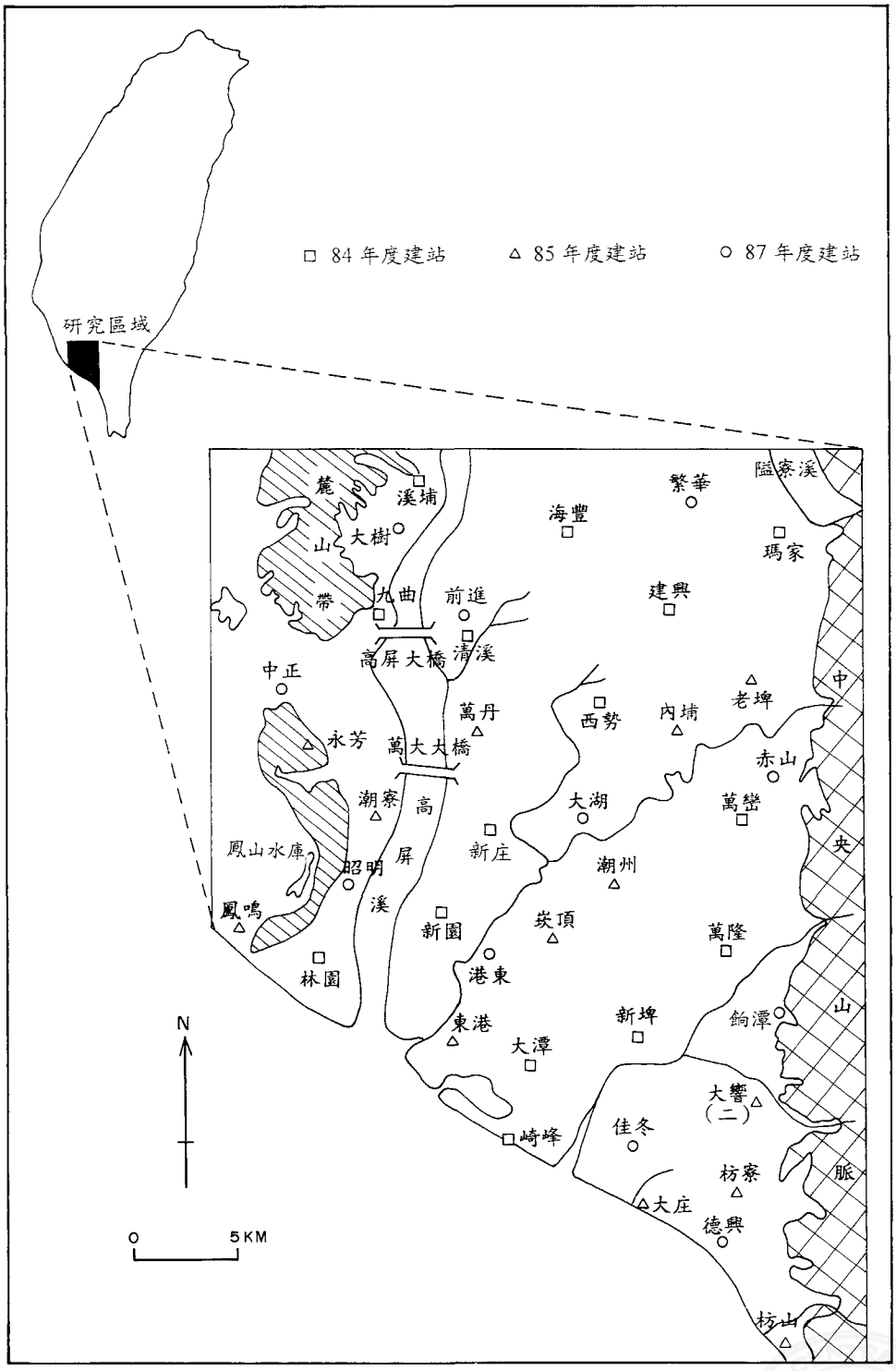
研究區域概述

屏東平原位於臺灣之西南隅，東爲中央山脈所截，北及西側以麓山帶丘陵區爲界，南側臨海，大致呈南北長約 50 公里，東西寬約 20 公里之長方形，平原高度由 0 至約 100 公尺，面積約 1,135 平方公里。本研究以海水入侵爲探討重點，故把研究區域範圍略爲縮小，集中在平原中段及南段臨海部份。

圖一顯示研究區域中共有八十四、八十五及八十七年度中建立之地下水觀測站三十九處。各站之水文地質及地下水水質資料爲本研究之主要依據。

水文地質結構與海水入侵

沿海地區超抽地下水，使水位洩降至平均海水位以下，爲誘發海水往陸地侵入之動力。然而如果地下水層封閉而不與海水相連通，在缺乏直接入侵之途徑下，海水仍會被阻隔；例如濁水溪沖積扇之地下水層即因封閉在阻水層中，北港溪口附近地下水位雖大幅度洩降至海水位以下達 30 餘年，迄今仍未有明顯之海水入侵現象（中央地質調查所，1995）。地下水觀測網計畫於八十四、八十五及八十七年度中在屏東平原展開全面之地質鑽探、地層分析及水文地質研究工作，據此可明確描繪出平原區水文地質分層結構，並配合海底地形變化，將水文地質剖面向海岸外延展。高屏溪口外接地形陡峻之海溝，在離河口約 4 公里之海床即降至海平面下 200 公尺以下，再往南延終可納入深達 5,000 公尺之馬尼拉海溝（Manila trench）（何春蓀，1982）；由於地層面傾斜角度小於 0.5 %，而高屏溪口海溝面之坡度平均約 5 %，因此地下水層和阻水層（Aquitard）均在海溝附近終止，並且直接與海連通。本文推測在屏東平原深層地下水層和阻水層沉積之前海溝早已存在，於末次冰期之低海水位時期，海溝末段出露，屏東平原之水系匯入



圖一 研究區域、範圍及地下水觀測站位置圖。

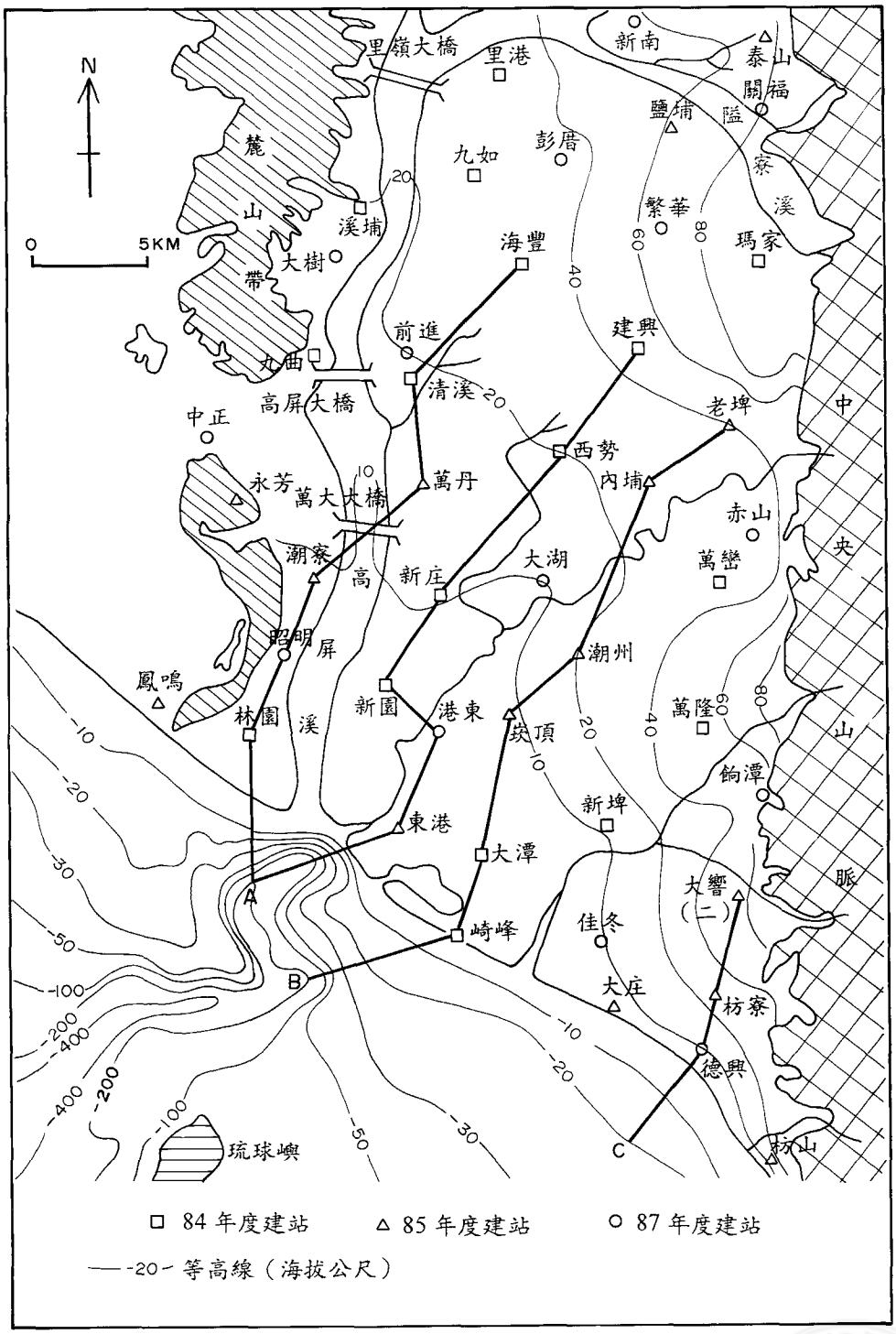
其中再向西南入海，因坡度甚陡，強化了海溝內之侵蝕作用，將深層地下水層 F3-1 和 F3-2 切割出露頭。末次冰期結束後海水位回升，海溝被海水淹沒，離岸約 1.5 公里水深即可達 100 公尺，海溝末段之侵蝕漸緩或停止，但沉積作用亦不顯著，連同上部再沈積之地下水層 F2、F1 和阻水層 T2、T1 均延展至海溝而終止，並且直接出露於海床中。

圖二顯示屏東海底地形以及四個水文地質剖面分布位置，圖中之 A、B 點均位於海溝之－200 公尺等深線上。圖三、四、五及六爲屏東平原 250 公尺深度內之水文地質剖面圖，由上而下可劃分爲地下水層一（F1）、阻水層一（T1）、地下水層二（F2）、阻水層二（T2）、地下水層三之 1（F3-1）、阻水層三（T3）和地下水層三之 2（F3-2）；淺層之地下水層一在海岸線附近即與海水相連通，深層之地下水層二、地下水層三之 1 和地下水層三之 2 則在離岸數公里內與海水直接相連通；海溝所造成之缺口，爲各地下水層在海床上之露頭，是海水入侵之主要通道，若沿海地下水層之水位洩降至平均海水位以下，海水即可由此通道侵入洩降區域。除了上述海溝地形效應以外，崎峰和德興附近海岸之地表面缺乏泥質地層之被覆，地下水層一極易發生海水入侵。

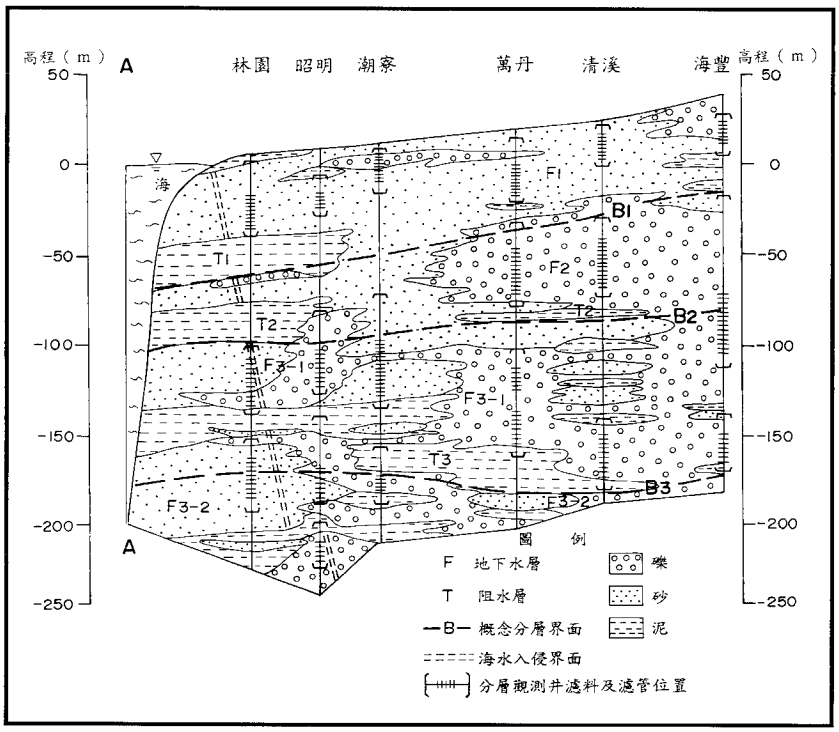
地下水位洩降與海水入侵

在自然水文循環狀態下，由於陸地降雨使地層得到入滲補注，地下水位常高於海水位並且向海滲流，地下淡水和鹹水之交界面停留在海岸線附近。一旦沿海大量抽取地下水，且水位洩降到海水位以下，原來之交界面即被破壞，海水必往地下水洩降區流注，使地下水逐漸鹹化。屏東平原地下水層在海溝與海水直接相通，海溝附近屬於以海水位爲水頭之邊界，當沿海之地下水位洩降至平均海水位以下，海水勢必以東港溪口附近爲入口向陸地侵入。

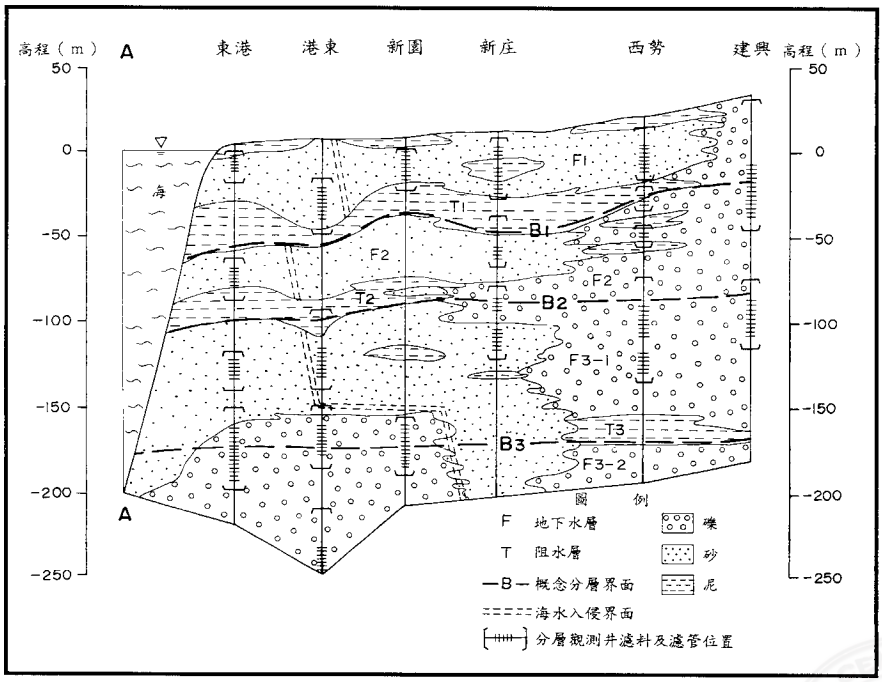
屏東平原地下水開發甚早，民國十年後日人有興業鑿井會社之組織，開始自來水和工廠用水井之開鑿，惟其數量尚極少；民國十二年及十四年臺灣糖業株式會社於林邊溪上游河床中構築地下堰堤，汲取伏流水（Subsurface runoff）供萬隆和大響營農場使用，七十餘年來乃持續供水中，每年平均供水量各約三千萬立方公尺（江崇榮等，1997；陳克誠，1953），是臺灣水利發展史上之一重要事件。民國三十九年七月至四十年四月間，臺糖公司深井工程處和美國莊士頓（Johnston）公司合作，於屏東平原臺糖農場內共開鑿井徑 14 至 16 吋，深 94 至 482.9 呎不等之生產井 49 口，是首次大規模之開井抽水行動。其後本區陸續有灌溉、工業及生活用水井之開設，至民國四十九年統計井數約 1,331 口，每年抽地



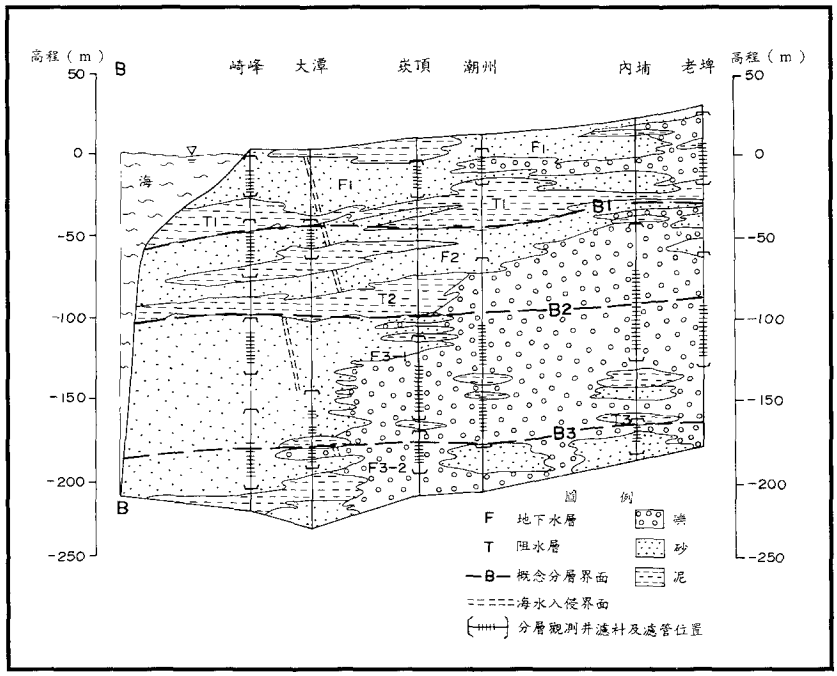
圖二 研究區陸域與海底地形及水文地質剖面分布圖。



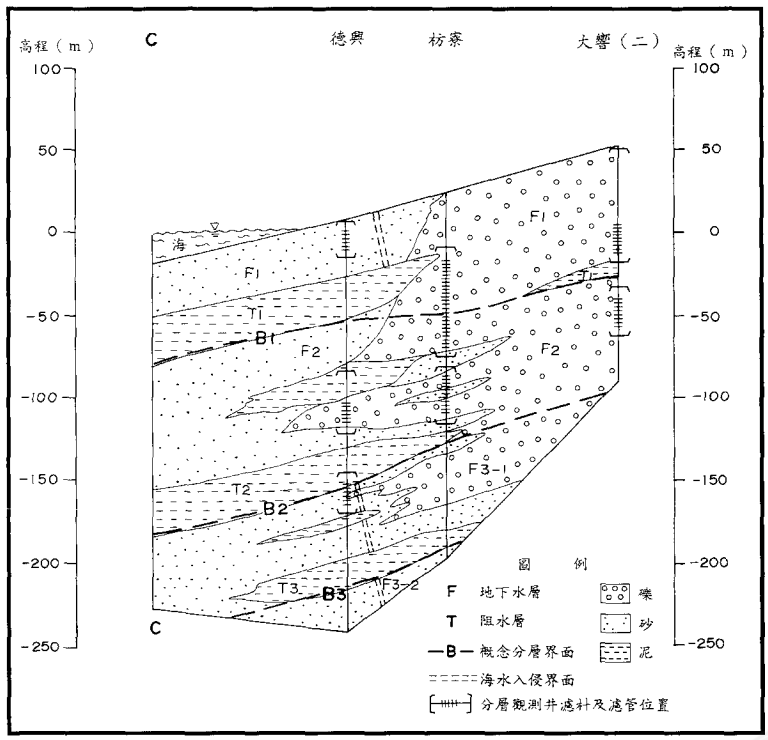
圖三 A—林園—海豐水文地質剖面及海水入侵界面圖。



圖四 A—東港—建興水文地質剖面及海水入侵界面圖。

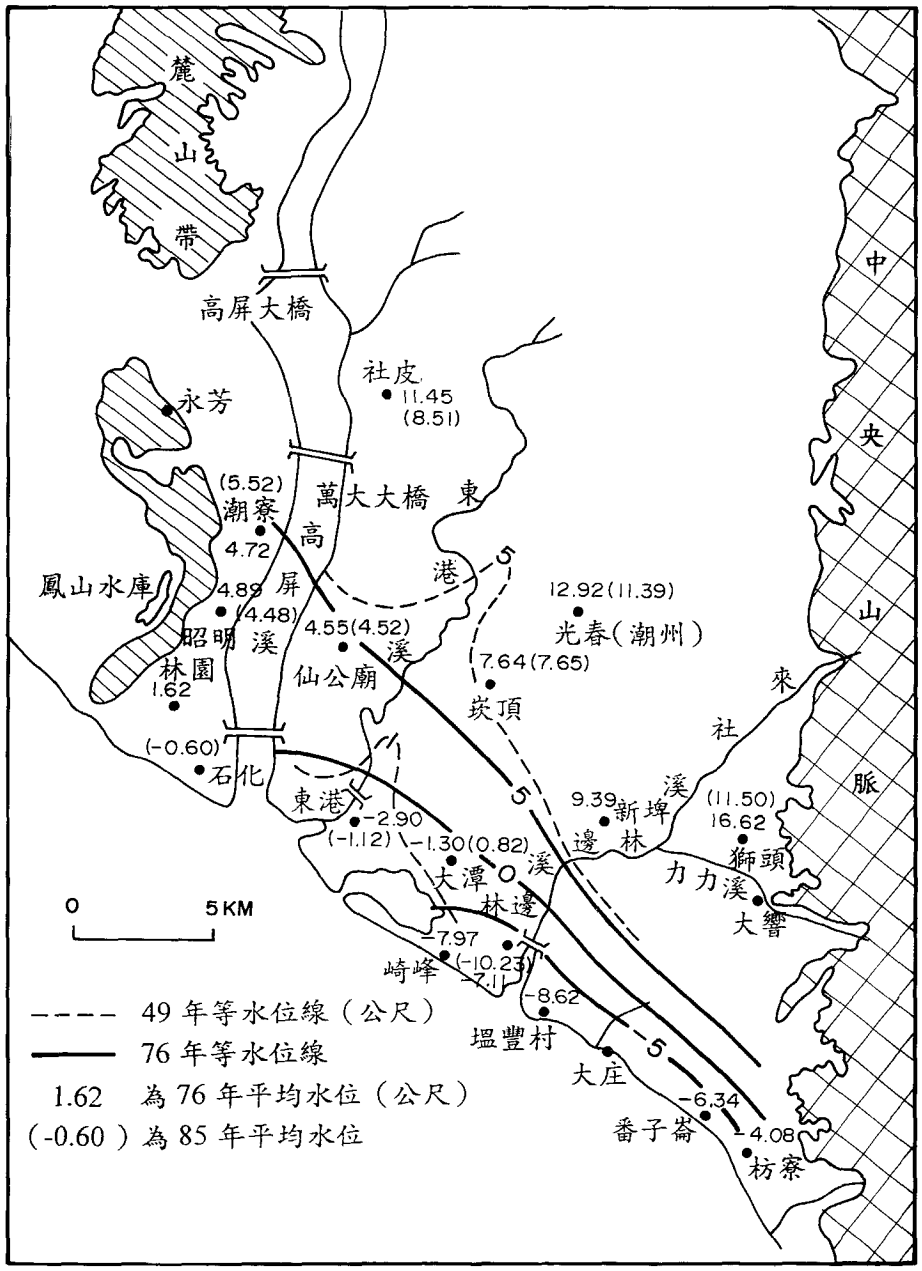


圖五 A－崎峰－老埤水文地質剖面及海水入侵界面圖。



圖六 A－德興－大響（二）水文地質剖面及海水入侵界面圖。

下水量約 265,337,000 立方公尺，而屏東平原地下水年補注量估計約 321,663,000 立方公尺，故尚未超抽地下水（地下水工程處，1961），當年沿海地下水位也無低於平均海水位之現象（圖七）。



圖七 屏東平原沿海地下水層三之 1 民國四十九年、七十六年及八十五年地下水位分布圖。

民國五十八年以後，屏東地區之水產養殖技術有突破性發展，六十二年以前土地主要以耕作爲主，魚塭面積僅約 39 公頃，至六十四年暴增爲 1,202.4 公頃，七十四年 2,526.6 公頃，至八十三年已廣達 3,401.6 公頃。七十二年林邊、佳冬、新埤及枋寮等沿海四鄉不同標的地下水年使用量約 3.21 億立方公尺，其中養殖用水佔 1.76 億立方公尺（水利局第七工程處，1996），單是沿海之抽水量已接近民國四十九年估計之地下水年補注量；水資會統計資料顯示七十年上述沿海四鄉抽水量亦爲 3.21 億立方公尺，全地下水區則抽水 13.36 億立方公尺；七十七年沿海四鄉抽水量更增加爲 7.89 億立方公尺，全區抽水量 20.59 億立方公尺（水資會，1992）。由於抽水井絕大部份無水權，井數和抽水量未有系統的記錄，各項報告之統計數據常有若干出入，然而隨著沿海魚塭養殖之擴展，抽水量在六十年代起至八十年代快速增加卻是不爭的事實。

本區之地下水位由地下水工程處（1961）於民國四十九年首度進行全面量測，繪製代表豐水期和枯水期之六月和十二月等水位線；水位量測井數超過百口，井位不詳，深淺不一；約在潮寮、潮州和萬隆沿線以北之井深在數十公尺以內，可代表地下水層一或二之水位；以南井深 100 公尺左右，少數深可達 150 公尺，大致可代表地下水層二或和三之 1 水位。本文將六月和十二月等水位線平均，繪成民國四十九年年平均等水位線如圖七。民國四十九年屬地下水開發之初期，抽水量較小，地下水位並未有低於平均海水位者，零水位線應在海岸線以外，地下水可從海溝流入海中；當時全區之水質分析亦未發現有鹹水，將於下一節詳細說明。

省水利處之舊地下水觀測井濾管長 3 至 5 公尺不等，均設置於井底附近，本文依據地層結構及井深，選取水位觀測值可代表地下水層二或三之 1 水位之觀測井 16 口，各井民國七十六年平均水位詳如表一，據以繪成七十六年之年平均等水位線（圖七）。七十六年與四十九年等水位線比較，最大變化爲等水位線梯度增加，且沿海水位普遍降至平均海水位面以下，零公尺水位線距海岸 1.8 至 4.8 公里，－5 公尺水位線則離海岸 0.9 至 2.4 公里左右，地下水位洩降相當顯著，幅度以林邊溪口爲最大達 8 公尺以上。水位洩降改變了地下水流方向，海域之鹹水和陸地之淡水可分別由南及北流入洩降區內，於是地下水逐漸鹹化。

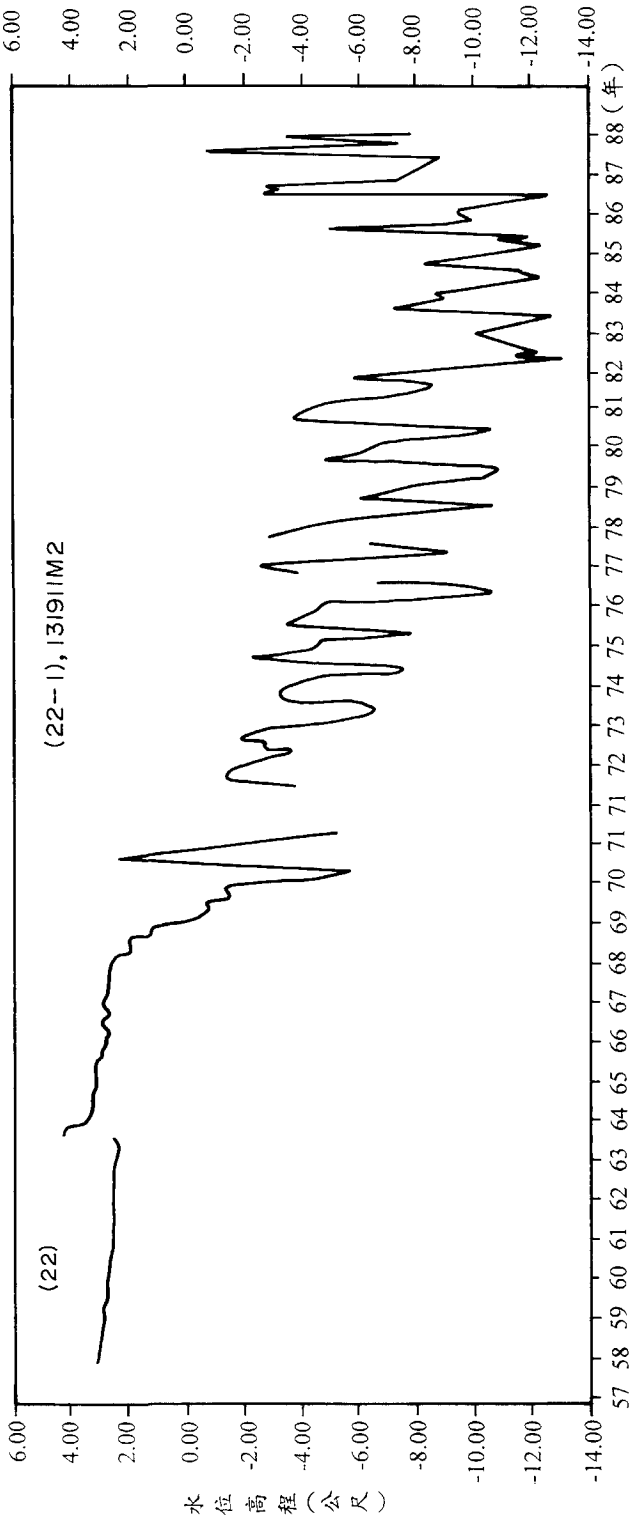
圖八、九及十爲林邊、東港和林園舊地下水觀測井相當於地下水層三之 1 歷年之水位變化曲線。各站年平均地下水位由 50 年代之 0.5 至 3 公尺，降至目前均在海水位以下。林邊之水位在六十九年初首度出現負水位，八十五年之年平均水位－10.23 公尺；東港之負水位於七十二年中發生，八十五年平均水位－1.12 公

尺；林園在八十三年初起呈現負水位，八十五年可以石化（2）之年平均水位－0.60 公尺爲代表（表一、圖七）（水利局，1994；水利處 1997）；林邊、東港水位急速洩降時間與前述魚塭面積之快速增加期間吻合，大致從六十八年起增加抽水量，六十九年中抽水量暴增，水位大幅度洩降至海平面以下。圖十一顯示林邊之地層下陷和水位洩降同步發生，六十八年一年內下陷達 68.9 公分（水利局第七工程處，1996）。本文依據以上沿海舊觀測井地下水位歷線，推測民國六十九年是海水從海溝大舉入侵的發起時間，迄今海水入侵應仍然持續進行中。

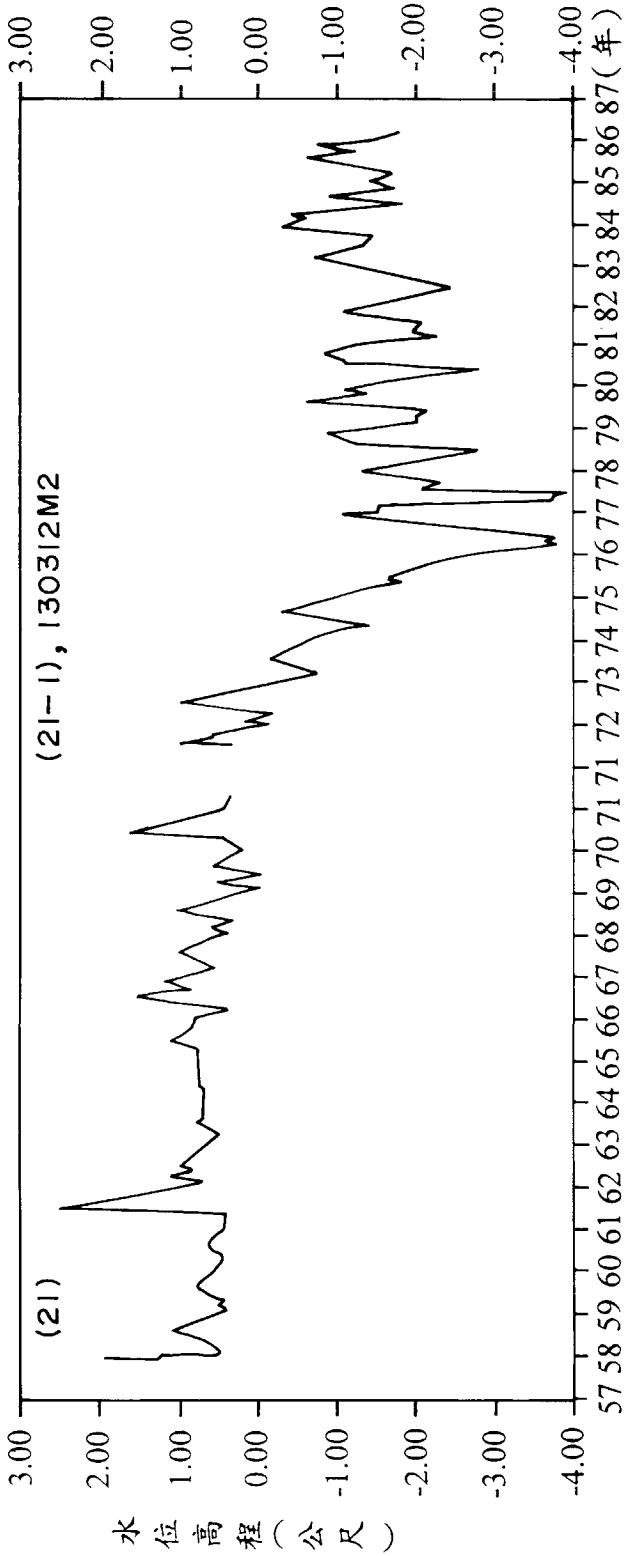
表一　屏東平原舊地下水觀測井資料
（水利局，1994；水利處，1997）

站名	井深（公尺）	地下水層	資料期間	年平均水位（公尺）	
				76 年	85 年
潮寮	58.0	F2, F3-1	64 年起	4.72	5.52
昭明	60.0	F2, F3-1	64 年起	4.89	4.48
石化（2）	110.0	F3-1	78 年起		-0.60
仙公廟	90.0	F2, F3-1	57 年起	4.55	4.52
東港	165.0	F3-1, F3-2	57 至 86 年	-2.90	-1.12
崁頂 5 5-1	113.8	F3-1	58 至 70 年 71 年起	7.64	7.65
大潭	131.0	F3-1	58 年起	-1.30	0.82
崎峰	110.0	F3-1	71 至 77 年	-7.97	
林邊 22 22-1	115.2	F3-1	57 至 71 年 71 年起	-7.11	-10.23
社皮	40.4	F1, F2	70 年起	11.45	8.51
光春 6 6-1	64.0	F2, F3-1	57 至 70 年 70 年起	12.92	11.39
新埤	102.5	F2, F3-1	71 至 77 年	9.39	
塭豐村	110.0	F2, F3-1	71 至 77 年	-8.62	
獅頭	102.0	F2, F3-1	71 年起	16.62	11.50
枋寮	96.8	F2, F3-1	71 至 77 年	-4.08	
番子崙	120.0	F2, F3-1	71 至 77 年	-6.34	

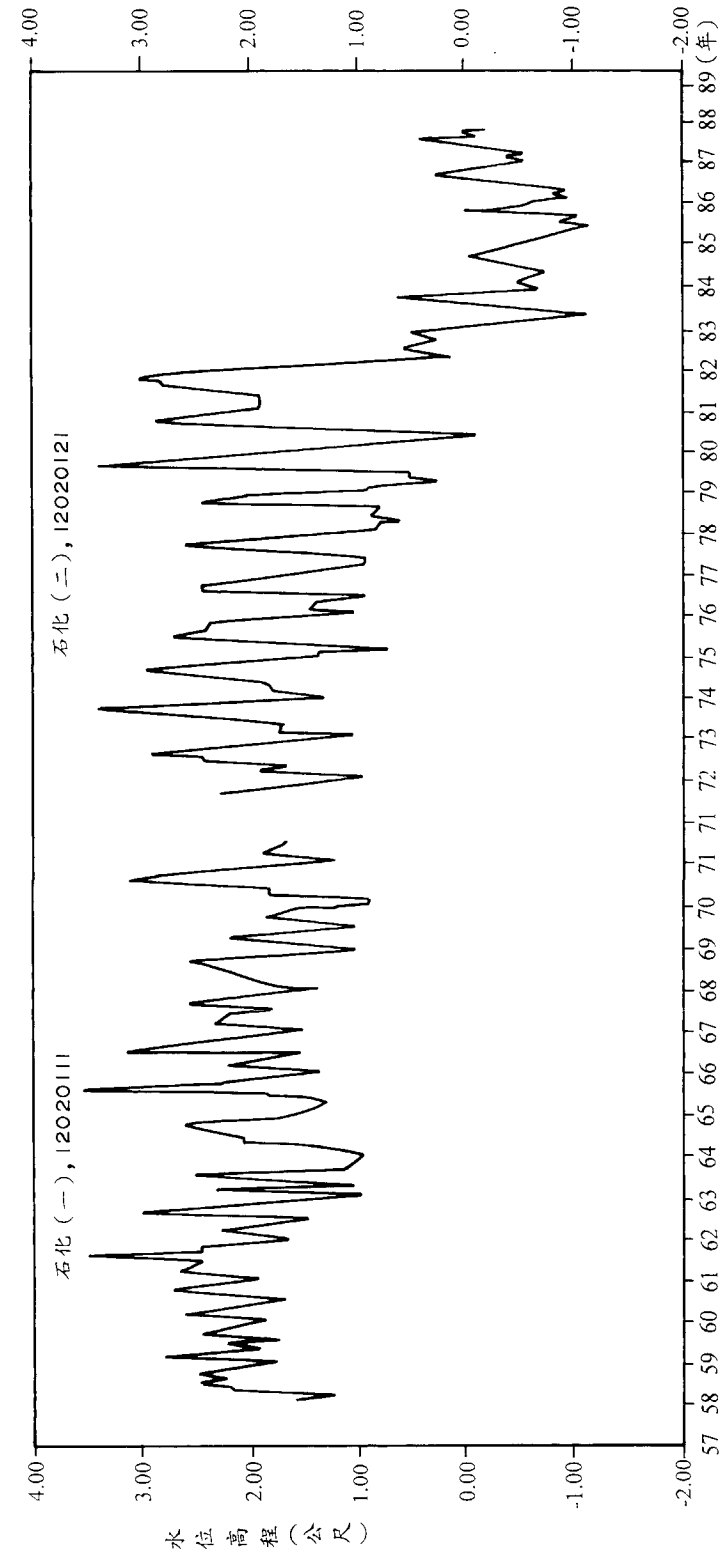
地下水洩降和地層下陷最大之點均集中在林邊溪口，然而從目前水質分析結果發現，海水入侵僅集中在東港溪下游附近，並未到達地陷中心之塭豐村或林邊之深層地下水層中，反而是負水位線出現較晚而且洩降幅度較小之東港一帶，各層地下水均普遍遭受海水入侵，並向平原呈輻射擴散（圖十二、十三、十四、十五）；由此間接驗證海溝是海水入侵門戶，若海水入侵則東港必首當其衝，而林邊一帶則距離較遠，目前海水入侵僅到達其邊緣。



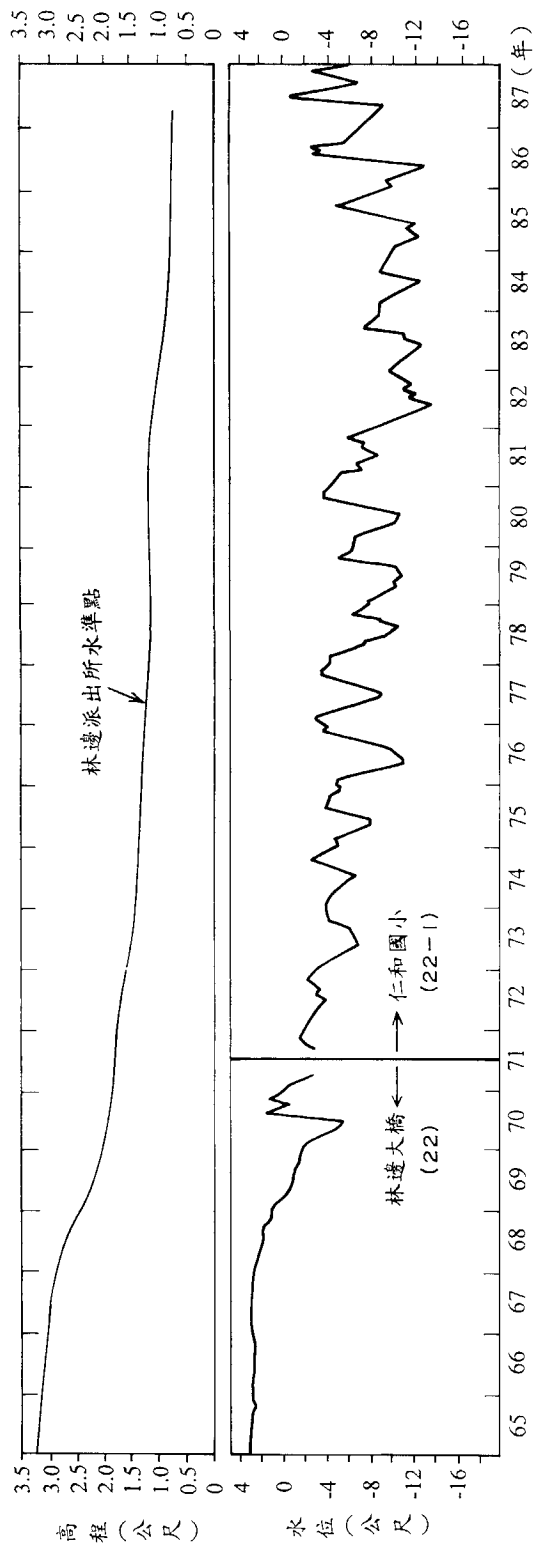
圖八 林邊舊觀測井（22）及（22-1）地下水層三之1水位歷線圖。



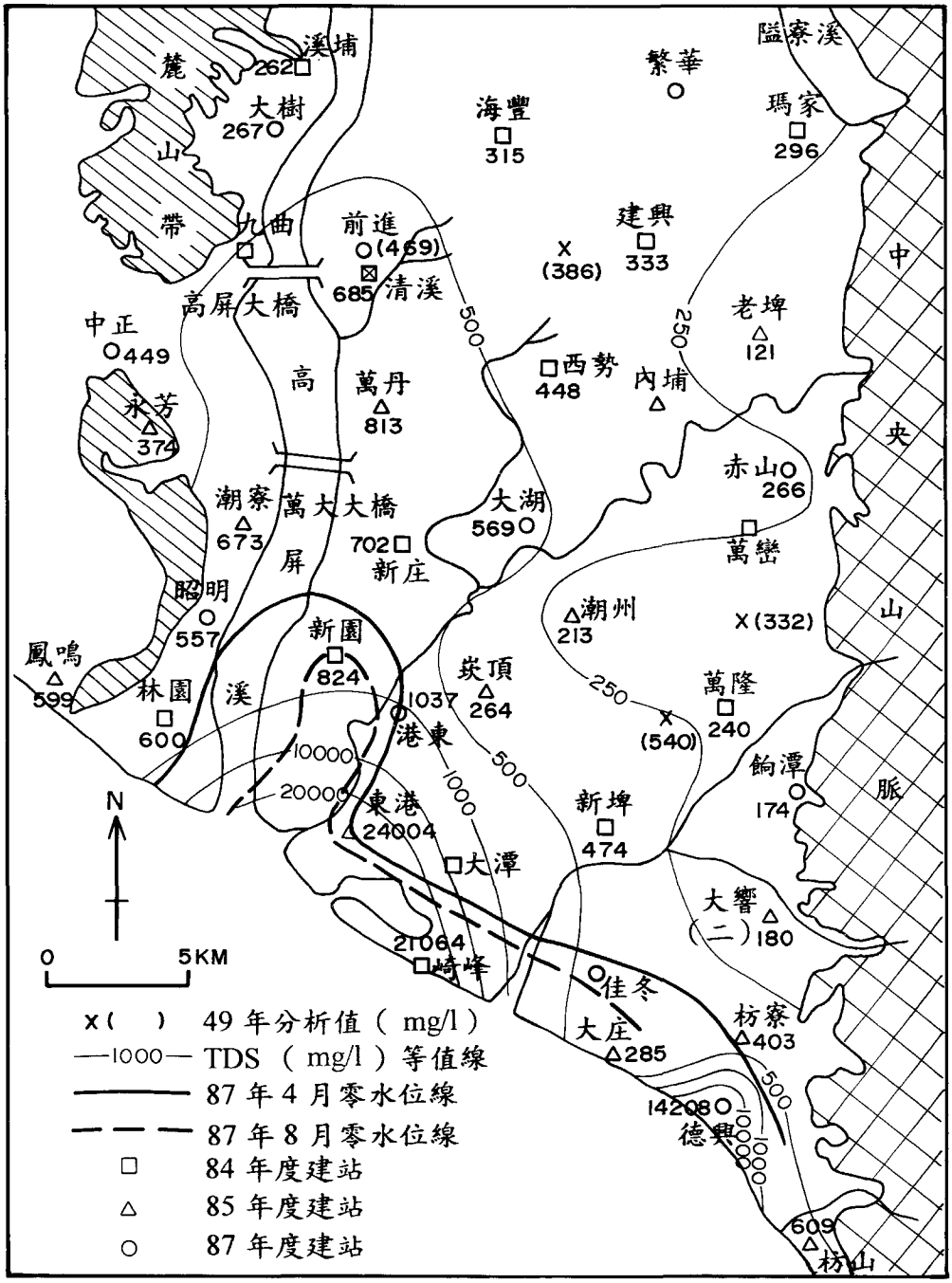
圖九 東港舊觀測井（21）及（21-1）地下水層三之1水位歷線圖。



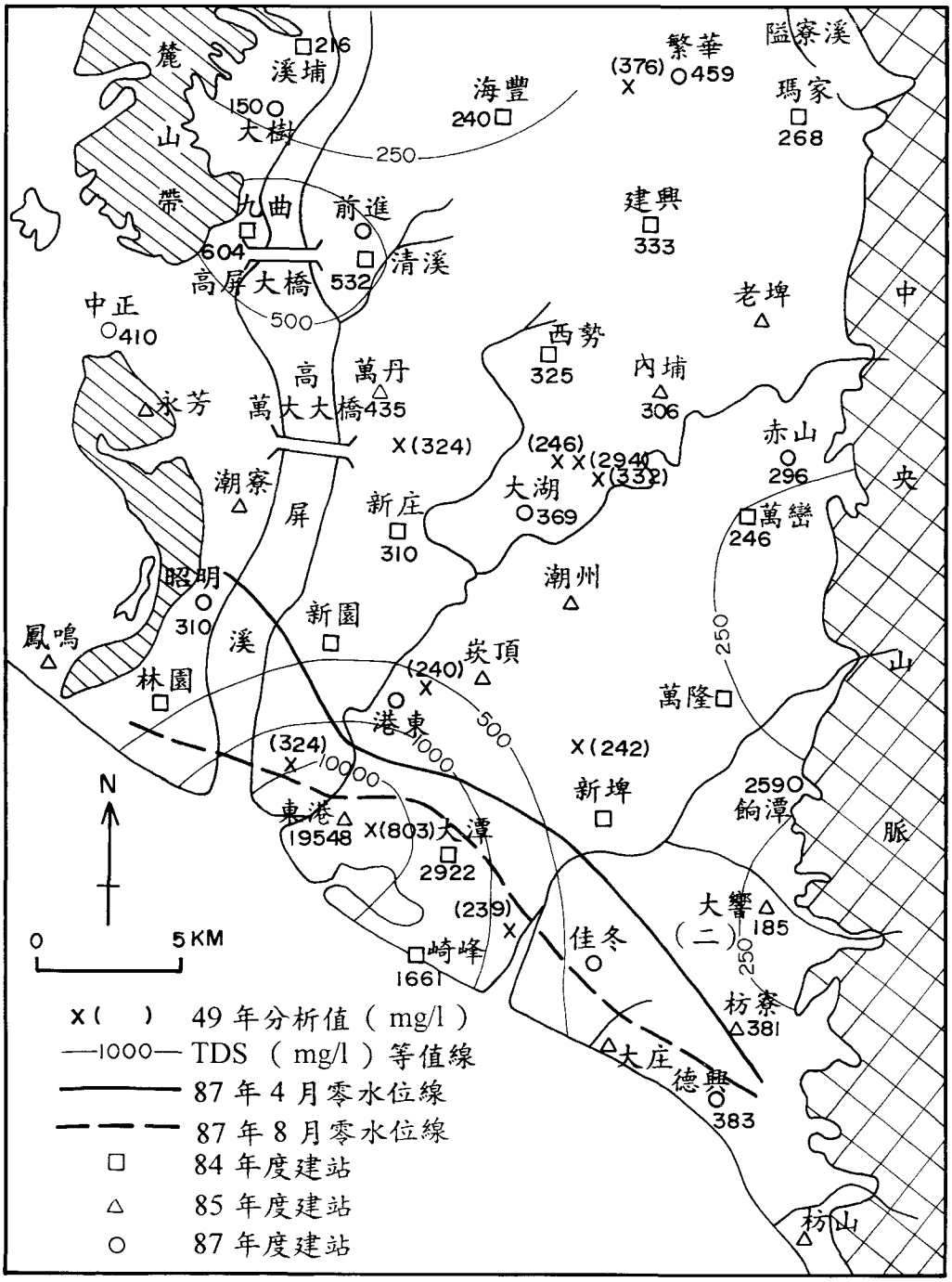
圖十 林園舊觀測井石化（1）及石化（2）地下水層三之1水位歷線圖。



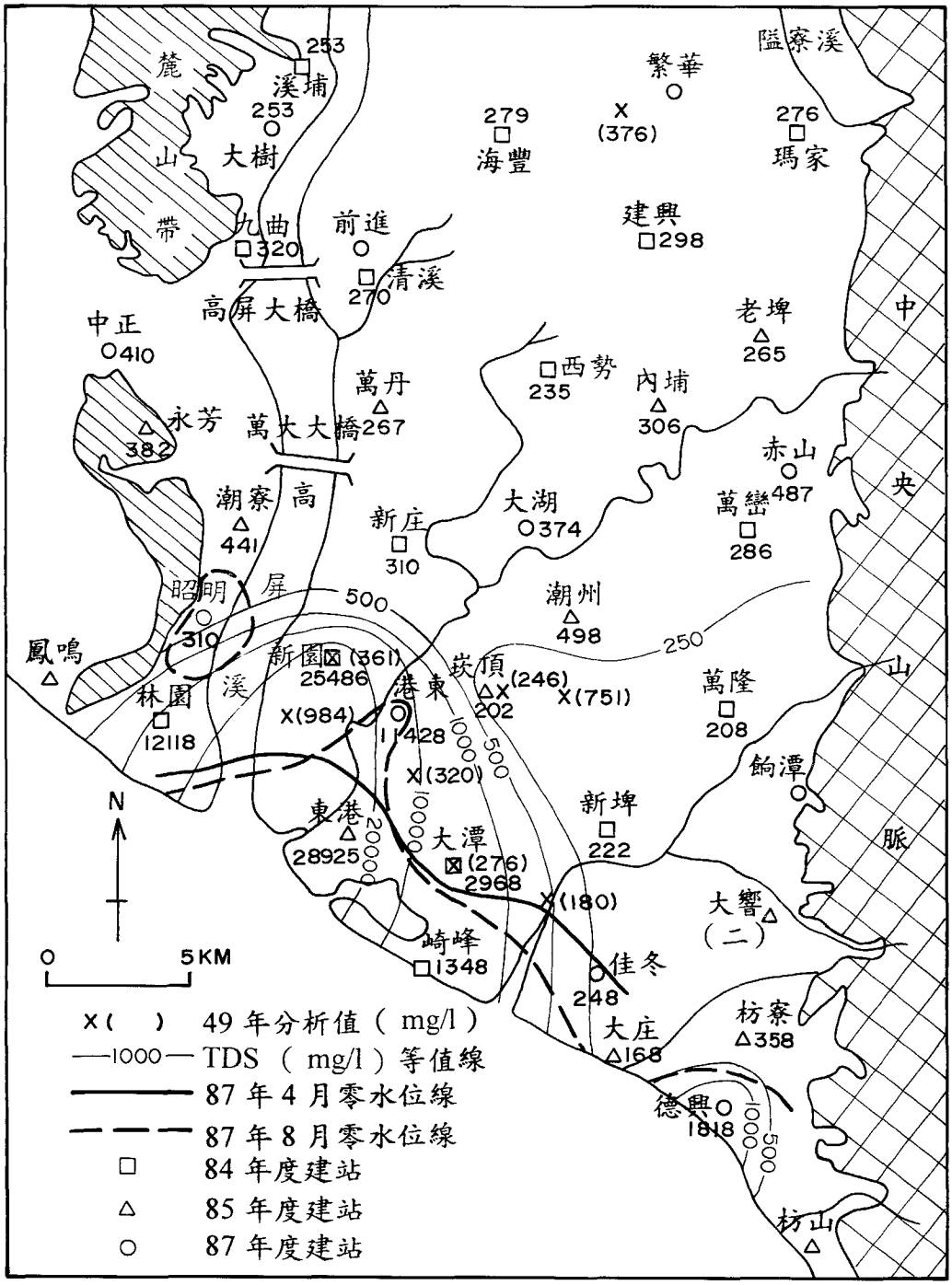
圖十一　林園舊觀測井地下水層三之1水位變化與水準點高程下降歷線圖。
（改繪自水利局第七工程處，1996）



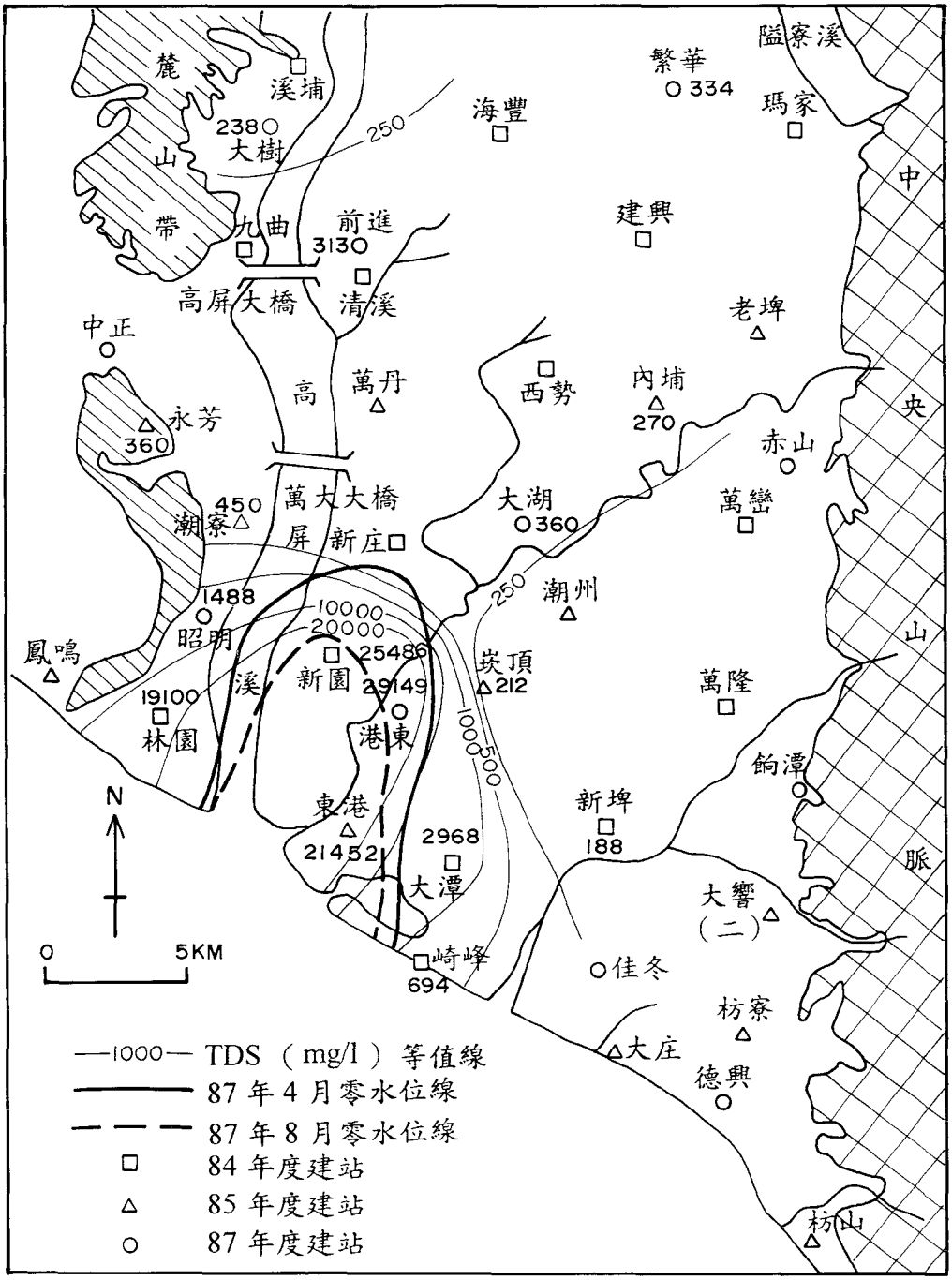
圖十二 地下水層一（F1）總溶解固體（mg/l）等值線及地下水位零水位線分布圖。



圖十三 地下水層二（F2）總溶解固體（mg/l）等值線及地下水位零水位線分布圖。



圖十四 地下水層三之 1（F3-1）總溶解固體（mg/l）等值線及地下水位零水位線分布圖。



圖十五　地下水層三之2（F3-2）總溶解固體（mg/l）等值線及地下水位零水位線分布圖。

鹹水分布及其範圍之擴大

總溶解固體（Total dissolved solids）小於 1,000 mg/l 之水爲淡水（Fresh water），1,001 至 10,000 mg/l 爲半鹹水（Brakish water），10,001 至 100,000 mg/l 爲鹹水（Saline），大於 100,001 mg/l 爲滷水（Brine water）（McNeely *et al.*, 1979）。屏東沿海海水濃度約 33,150 至 33,690 ppm（何麗如，1989）。

臺灣省自來水總溶解固體量上限爲 800 mg/l，超過 1,000 mg/l 之水則不適合長期大量飲用，臺灣地區之地下水正常值在 150 至 750 mg/l 之間，超過 1,000 mg/l 者可能受到污染或海水入侵。本文在描繪總溶解固體等值線圖以前，首先對屏東平原之水質分析資料（水利局，1995b，1996b；水利處 1998b）進行篩檢和修訂得表二（江崇榮，1999）。

依據表二繪成圖十二、十三、十四和十五，顯示各地下水層總溶解固體等值線之分布概況，說明屏東平原各層地下水大部份之溶解固體均在 500 mg/l 以下，屬於典型之淡水，然而往下游接近高屏溪和東港溪口之地下水濃度突然高至 1,000 mg/l 以上，鹹水由海向陸地分布濃度呈輻射狀遞減，等值線之分布型態指出海水由東港溪口向陸地侵入。若以 1,000 mg/l 等值線爲海水入侵之界線，地下水層一（F1）入侵深約 6.5 公里，面積約 85 平方公里（圖十二）；地下水層二（F2）入侵深約 6.0 公里，面積約 60 平方公里（圖十三）；地下水層三之 1（F3-1）入侵深約 8.5 公里，面積約 110 平方公里（圖十四）；地下水層三之 2（F3-2）入侵深約 9.0 公里，面積約 115 平方公里（圖十五）。

臺灣省建設廳（1961）地下水工程處於民國四十九年，曾在屏東平原進行地下水取樣及水質分析，本文摘取其總溶解固體值，並依據各井濾水管深度範圍區分所屬之地下水層如表三，然後將總溶解固體值依其所屬層別和井位分別展繪於圖十二、十三和十四之中（即圖中×處），以爲地下水質變化之比較：

（一）地下水層一於四十九年分析五口井全屬淡水，TDS 在 306 至 540 ppm 之間，因井位偏向北側及東側上游區域，其水質並無顯著變化；沿海區當時並未取樣，故無從比較。

（二）地下水層二於四十九年分析 11 口井 TDS 在 239 至 803 ppm 之間，新園以南至東港一帶尚屬淡水，如今則遭受嚴重鹹化，TDS 提高 10 倍以上。

（三）地下水層三之 1 於四十九年分析 8 口井 TDS 在 180 至 984 ppm 之間，顯示當時新園、東港和大潭一帶尚屬淡水，現在則已經高度鹹化，TDS 亦提高 10 倍以上。

表二 屏東平原各地下水層總溶解固體（mg/L）
（水利局，1995b, 1996b；水利處，1998b)

站名＼地下水層	F1	F2	F3-1	F3-2	分析年度
林園	600		12,118	19,100	84
昭明	557	310	310	1,488	87
潮寮	673＊		441	450	85
萬丹	813＊	435	267		85
清溪	685	532	270		84
前進				313	87
海豐	315	240	279		85
繁華		459		334	87
東港	24,004	19,548	28,925	21,452	85
港東	1,037		11,428＊	29,149＊	87
新園	824		25,486＊	25,486＊	84
新庄	702	310	310		84
西勢	448	325	235＊		84
建興	333	333	298		84
瑪家	296＊	268	276		84
崎峰	21,064	1,661＊	1,348	694	84
大潭		2,922	2,968＊	2,968＊	84
崁頂	264		202	212	85
潮州	213		498		85
大湖	569	369	374	360	87
內埔		306	306	270	85
老埤	121＊		265＊		85
大庄	285		168		85
佳冬			248		87
新埤	474		222＊	188	84
萬隆	240		208		84
赤山	266	296	487		87
萬巒		246	286		84
枋山	609				85
德興	14,208	383	1,818		87
枋寮	403	381＊	358		85
大響(二)	180	185			85
餉潭	174	259			87
永芳	374		382	360	85
溪埔	262＊	216	253＊		84
大樹	267	150	253	238	87
九曲		604	320		84
鳳鳴	599＊				87
中正	499＊	410＊	410＊		87

註： ＊經本文修訂值。

因此，由四十九年地下水層二及三之 1 水質分析資料顯示，當時該二地下水層並無海水入侵之現象，然而八十四和八十五年及八十七年度水質分析結果，卻有極大的變化，高屏溪和東港溪口之地下水水質已由淡水而惡化爲鹹水或半鹹水。民國六十九年起至八十七年止約 18 年間，地下水層一、二、三之 1 和三之 2 海水平均入侵速率每年各約 361 公尺、331 公尺、472 公尺及 500 公尺，海水入侵速率及鹹水分布範圍之擴大相當快速。

表三 屏東平原民國四十九年地下水總溶解固體（TDS, ppm）（地下水工程處，1961）

井 號	井 位（臨近站名）	濾水管深度（公尺）	四十九年 TDS（ppm）	地下水層			等值線圖估計 TDS（mg/l）現 值
				F1	F2	F3-1	
P05T04	清溪	32.0~36.6	469	✔			685
P05-065	海豐（繁華）	104.6~116.8 122.9~135.1	376		✔	✔	250~500
P07T01	新田（建興）	31.1~35.7	386	✔			250~500
P09T06	大蚶（萬丹）	56.4~61.9	324		✔		250~500
P10T01	履豐（大湖）	73.2~77.4 84.8~89.3	294		✔		250~500
P10T02	竹田（大湖）	86.3~87.2	332		✔		250~500
P10-016	履豐（大湖）	76.8~80.8	246		✔		250~500
P11T05	新園	111.3~115.9	361			✔	25,486*
P11T10	五房（新園）	97.6~103.7	984			✔	>20,000*
P11T11	鹽洲（東港）	77.7~83.8	324		✔		約 10,000*
P12T01	大潭（港東）	114.3~115.2	320			✔	約 10,000*
P12T02	大潭	143.5~147.9	276			✔	2,968*
P12T07	船頭里（東港）	82.3~86.9	803		✔		>10,000*
P13T01	北勢（港東）	86.0~89.3	240		✔		500~1,000
P13T06	嵌頂	109.2~113.4	246			✔	<250
P15T05	林邊（崎峰）	78.1~81.4	239		✔		500~1,000
P17T01	興華（潮州）	109.8~114.3	751			✔	<250
P17-160	四林（萬巒）	21.3~46.3	332	✔			<250
P18-017	萬隆	6.1~72.0	540	✔			250~500
P18-027	構內（新埤）	43.0~73.2	242		✔		250~500
P19T01	大同（新埤）	130.5~134.5	180			✔	500~1,000

備註： *之現值表示其附近已受海水嚴重污染。

若將各地下水層海水入侵面積乘以各層被入侵之平均厚度，並假設地層孔隙率爲 20 %，可估算出被海水入侵鹹化之地下水體積，在東港溪口主要入侵區約 29.15 億立方公尺，枋寮沿海次要入侵區約 1.2 億立方公尺，總計達 30 億立方公尺以上（表四）。

表四 屏東平原受海水入侵而鹹化之地下水體積

入侵區	地下水層	入侵面積（km^2）	平均入侵厚度（m）	鹹化體積（$10^6 m^3$）
東港溪口	F1	85	33.7	572.9
	F2	60	23.3	279.6
	F3-1	110	55.8	1,227.6
	F3-2	115	>36.3	>834.9
枋寮沿海	F1	6	45.5	54.6
	F3-1	6	>54.5	>65.4
合計				>3,035.0

圖三、四、五、六中之海水入侵界面，乃以 1000 mg/l 爲界面上之值，利用觀測井水水質分析成果，輔以地電阻率井測資料之推估結果，繪製而成（江，1999）；界面由海向陸側傾斜，界面至海岸之地下水體受海水入侵而含鹹水或半鹹水，界面另一側則因尚未受海水入侵故含淡水。有關地電阻率井測所顯示之海水入侵證據，將另外撰文論述。

結　論

一、 屏東平原約 250 公尺深度內之各地層在東港溪口外之海溝中出露，地下水層一、二、三之 1 及三之 2 均直接與海水相連通，該處也是海水入侵之主要門戶。此外，枋寮沿海地表面缺乏泥層被覆，地下水層一易遭受海水或魚塭鹹水入侵。

二、 民國五十年代，屏東平原全區地下水位高於平均海水位，地下水由北向南滲流入海。六十年代起由於地下水超抽，使沿海地下水位洩降至平均海水位以下，改變地下水流向，海域之鹹水由南向北逆向流入洩降區。舊觀測井負水位首度出現於六十九年，應是海水大舉入侵之發起時間。

三、 民國四十九年，地下水層二及三之 1 水質分析資料顯示均屬淡水層，八十四、八十五和八十七年度新觀測井水質分析結果發現高屏溪和東港溪口一帶之地下水層二、三之 1 均已鹹化，應是海水入侵所致；從六十九年起至八十七年約 18 年中，地下水層之一和二每年入侵各約 361 和 331 公尺，累計入侵距離各約 6.5 和 6 公里，面積各約 85 和 60 平方公里；地下水層三之 1 和三之 2 每年入侵各約 472 和 500 公尺，累計入侵距離各約 8.5 和 9 公里，面積各約 110 和 115 平方公里；是主要海水入侵區。

四、 林邊、佳冬及枋寮沿海地下水層一於民國七十一年起即有地下水受海水入侵或魚塭鹹水入滲而鹹化之報導，地下水觀測網德興站相關資料證實枋寮附近地下水層一水質屬於鹹水，應爲海水入侵或魚塭鹹水所致；地下水層三之 1 及三之 2 含半鹹水應屬輕度海水入侵結果，其發生年代應比地下水層一略晚。枋寮附近屬於次要海水入侵區，粗估面積約 6 平方公里。

五、 依據主要及次要海水入侵區面積、地下水層平均厚度和孔隙率估計，目前屏東平原地下水區受海水入侵而鹹化之地下水體積總計達 30 億立方公尺以上，海水入侵問題相當嚴重。

六、 地下水層二、三之 1 及三之 2 之地下水洩降中心在林邊溪口一帶，然而海水入侵區則以洩降量較小之東港溪口附近爲主；此現象間接證明海水入侵是以緊臨東港溪和高屏溪口外海之海溝爲主要門戶。

參 考 文 獻

中央地質調查所（1995）臺灣地區地下水觀測網計畫八十一、八十二及八十三年度濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告，共 102 頁。

_____（1997）臺灣地區地下水觀測網計畫八十四及八十五年度屏東平原水文地質調查研究報告，共 163 頁。

水資源統一規劃委員會（1992）瑪家水庫計畫對屏東平原地下水影響調查研究計畫工作報告。

水利局（1994）臺灣現有地下水觀測及地盤下陷監測資料之整理與分析報告，第二期屏東平原，共 214 頁。

_____（1995a）臺灣地區地下水觀測網計畫，屏東平原地下水觀測站井建置及相關試驗。

_____（1995b）臺灣地區地下水觀測網計畫，屏東平原地下水基本水質試驗分析研究，共 198 頁。

_____（1996a）臺灣地區地下水觀測網計畫，屏東平原地下水觀測井建置及相關試驗。

_____（1996b）臺灣地區地下水觀測網計畫，濁水溪沖積扇及屏東平原地下水基本水質試驗分析之研究，共 173 頁。

_____（1997）臺灣省政府水利處地下水位觀測年報表，石化（2）、東港、林邊民國八十五年自記地下水位年報表。

水利處（1998a）臺灣地區地下水觀測網計畫，地下水觀測井建置及相關試驗。

_____（1998b）臺灣地區地下水觀測網計畫，屏東平原地下水水質試驗分析研究，共 119 頁。

_____（1998c）臺灣地區地下水觀測網計畫，屏東平原之地下水水文概況，共 152 頁。

水利局第七工程處（1996）屏東縣沿海地區地盤下陷檢測簡報，共 15 頁。

江崇榮（1999）屏東平原地下水區之海水入侵。經濟部八十八年度研究發展專題報告 88008 號，共 77 頁。

_____、黃智昭、賴典章（1997）以集水廊道開發水資源之可行性研究。經濟部八十六年度研究發展報告，共 38 頁。

_____、汪中和（1998）屏東平原地下水區之海水入侵。屏東平原地下水及水文地質研討會論文集，第 297－315 頁。

地下水工程處（1961）屏東平原地下水源勘查報告。臺灣省政府建設廳地下水工程處。

何春蓀（1982）臺灣地體構造的演變。臺灣地體構造圖說明書，第 55－57 頁。

何麗如（1989）北港地區地下水之地球化學初探。國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 76 頁。

陳克誠（1953）臺灣之地下水。臺灣銀行經濟研究室編印，臺灣研究叢刊第二十種，共 78 頁。

McNeely, R.N., Neimanis, V.P. and Dwyer, L. （1979） Water Quality Sourcebook, A Guide to Water Quality Parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada, p. 61-62.

SEAWATER INTRUSION IN THE PINGTUNG PLAIN

Chung-Jung Chiang[1]

ABSTRACT

The construction of the Groundwater Monitoring Network in Taiwan has not only established an important hydrogeological database but also revealed alarming problems with regard to groundwater management, such as seawater intrusion into coastal freshwater aquifers. In this report, the mechanism and extent of seawater intrusion in the aquifers of the Pingtung Plain have been evaluated through data on hydrogeology, groundwater level and groundwater salinity. Results show that aquifers outcrop in the trench a few kilometers off the Pingtung coastal line, giving rise to a potential passage for seawater intrusion. In 1960, the hydrochemistry of aquifers around Hsinyuan, Tungkang, Chifeng and Tatang still exhibited normal freshwater characteristics. Since 1980, however, groundwater levels have fallen below sea level owing to excessive pumping, inducing seawater to intrude through the outcrops of the aquifers and consequently causing severe groundwater salinization in the aquifers near coastal area. The greatest extent of seawater encroachment in 1998 has been estimated to be as far as 9 km inland in an affected area of about 115 km^2 for a deeply confined aquifer. The total volume of brakish or saline groundwater caused by seawater intrusion is estimated at above three billion cubic meters. Finally, it is suggested that to effectively restrain the seawater intrusion and alleviate groundwater salinization, groundwater levels around Hsinyuan, Tungkang, Chifeng, Tatang and Fungliau have to be restored and maintained at a horizon higher than sea level.

1. Central Geological Survey, MOEA