

敏感區位災害防治 經驗分享- 以地層下陷為例



經濟部水利署 水工試驗所
國立成功大學

丁崇峯 研究員

LSPRC 地層下陷防治服務團
Land Subsidence Prevention and Reclamation Corps

目錄

- 一、地層下陷防治推動演進
- 二、地層下陷地區防災推廣
- 三、問題與討論

地層下陷防治工作推動歷程

84年～89年

第一期地層下陷防治執行方案

90年～97年

第二期地層下陷防治執行方案

94年～97年

彰化雲林地區地層下陷防治計畫

95年～97年

- 雲林縣高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫
- 彰化縣大城鄉公有合法水井封停實施計畫

94年～97年

國土復育策略方案暨行動計畫實施計畫

98年～101年

加速辦理地層下陷區環境改善示範計畫

98年～103年

地下水保育管理計畫暨地層下陷防治計畫

100年～109年

雲彰地區長期地層下陷具體解決方案暨行動計畫

104年～109年

第二期地下水保育管理暨地層下陷防治計畫

本所協助研擬政策推動計畫



政策幕僚工作

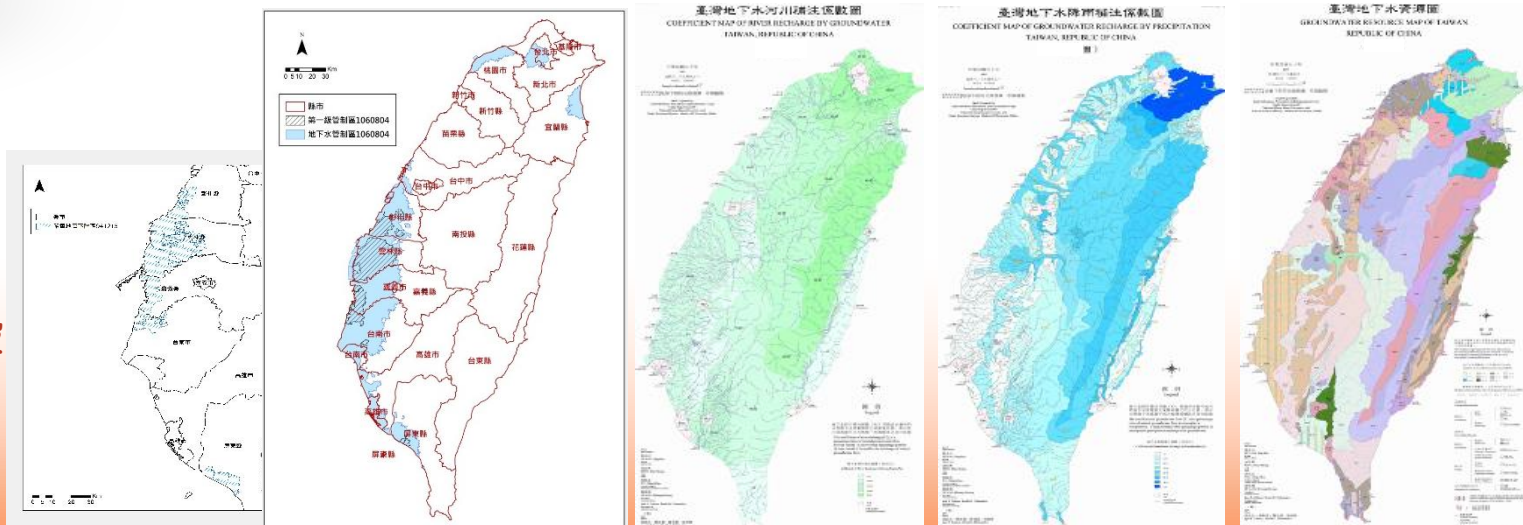
行政管理

- 協助辦理跨部會會議秘書處工作
- 彙整方案計畫各項工作進度
- 政策方案及行動計畫滾動檢討
- 協助宜桃彰雲嘉南高屏等縣市政府成立地層下陷防治推動小組



政策技術

- 地下水文圖繪製
- 地下水管制區劃設
- 嚴重地層下陷區畫設
- 行政管理平台建置



嚴重地層下陷地區

地下水管制區

專案計畫

- 雲林地區公共給水抽取地下水與高鐵沿線等地層下陷成因研究分析
- 高鐵沿線地層下陷問題整體處理方案建議
- 敏督利颱風西部地層下陷區水災復建整治對策建議
- 二仁溪河川情勢調查計畫
- 養殖漁業生產區環境條件評估及防災調查
- 海岸情勢調查計畫

- 工業區地層下陷潛勢評估及缺水應變措施規劃
- 養殖漁業生產區水資源調配管理規劃
- 彰化縣養殖漁業生產區公井規劃
- 循環水養殖及回歸水灌溉



- 嚴重地層下陷地區之國土復育促進地區範圍劃設
- 國土復育策略方案-地層下陷易淹區
- 海堤及水門設施耐海嘯構造評估標準及作業準則訂定
- 海岸環境營造計畫
- 全國地下水管理及資源整合計畫
- 水井管理實務推動計畫

- 北門鹽灘濕地改善復育調查規劃
- 三爺溪排水整治及環境營造計畫
- 林邊溪流域之興華農場滯洪規劃與可行性研究
- 水利產業多元推廣計畫
- 水利防災智識推廣宣導

監測系統精進技術

- ❖ 臺灣山區地下水觀測網整體計畫先期研究
- ❖ 水文觀測站新建暨改善流量觀測工程規劃
- ❖ 中央管河川流量量測規劃改善計畫
- ❖ 中央管河川自動化流量站設置與量測工法改善
- ❖ 國家級防災監測及模式測試基地建置-典寶溪流域水文監測與分析(颱洪中心合作)
- ❖ 地層下陷自記式分層監測機構效能提升與現地測試
- ❖ 水井管理配套—農田用水管理現地試驗

監測系統精進技術



自主研發實績



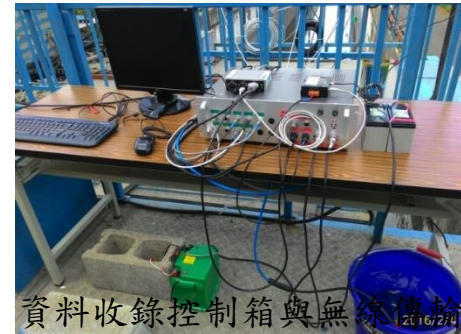
電容式波高計



資料記錄無線傳輸模組



海堤溯升量測系統電機單元



資料收錄控制箱與無線傳輸



抽水機啟閉記錄器



風速計



造風單元



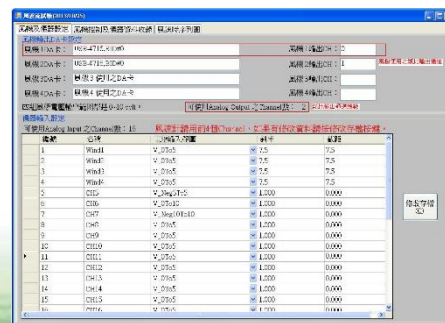
南科防洪監測站



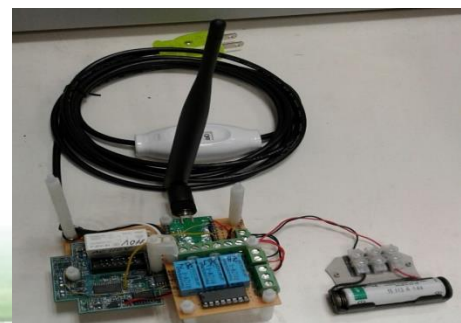
灌溉水深自動偵測設施



溯升量測系統測試



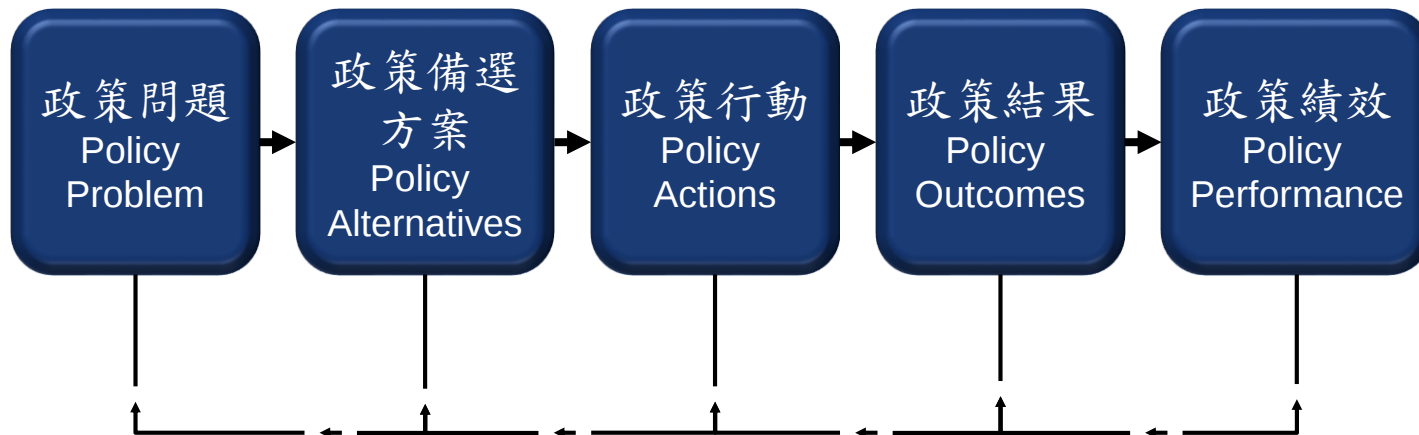
風機輸出及量測儀器監控介面



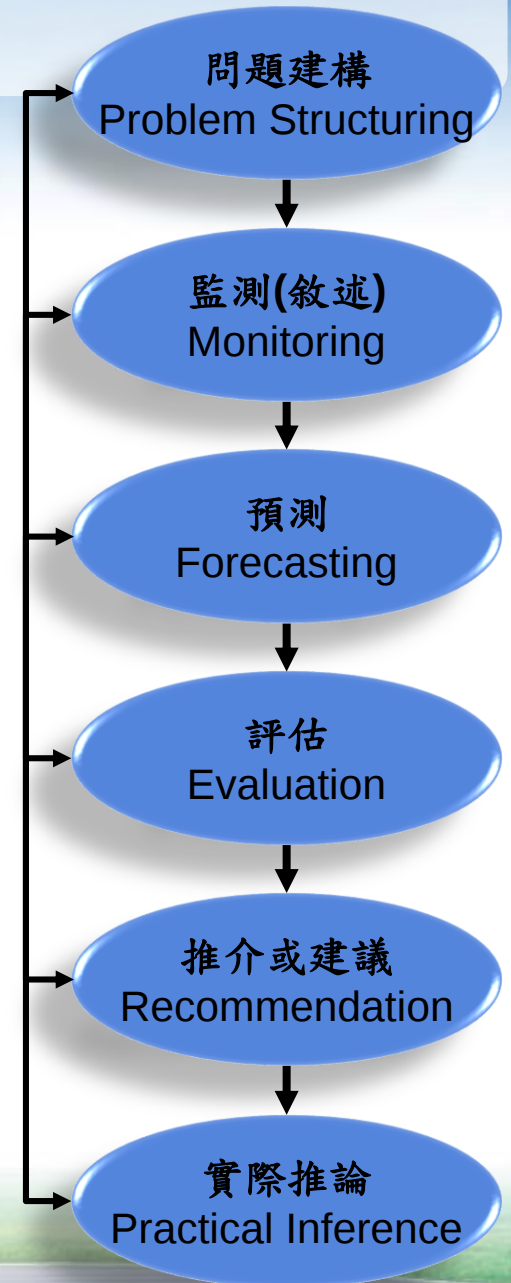
LORA傳輸模組

政策分析

❖ 運用多元調查和推理論證方法，產出和轉換政策相關資訊，藉以解決具有政治意涵的政策問題之應用社會科學。

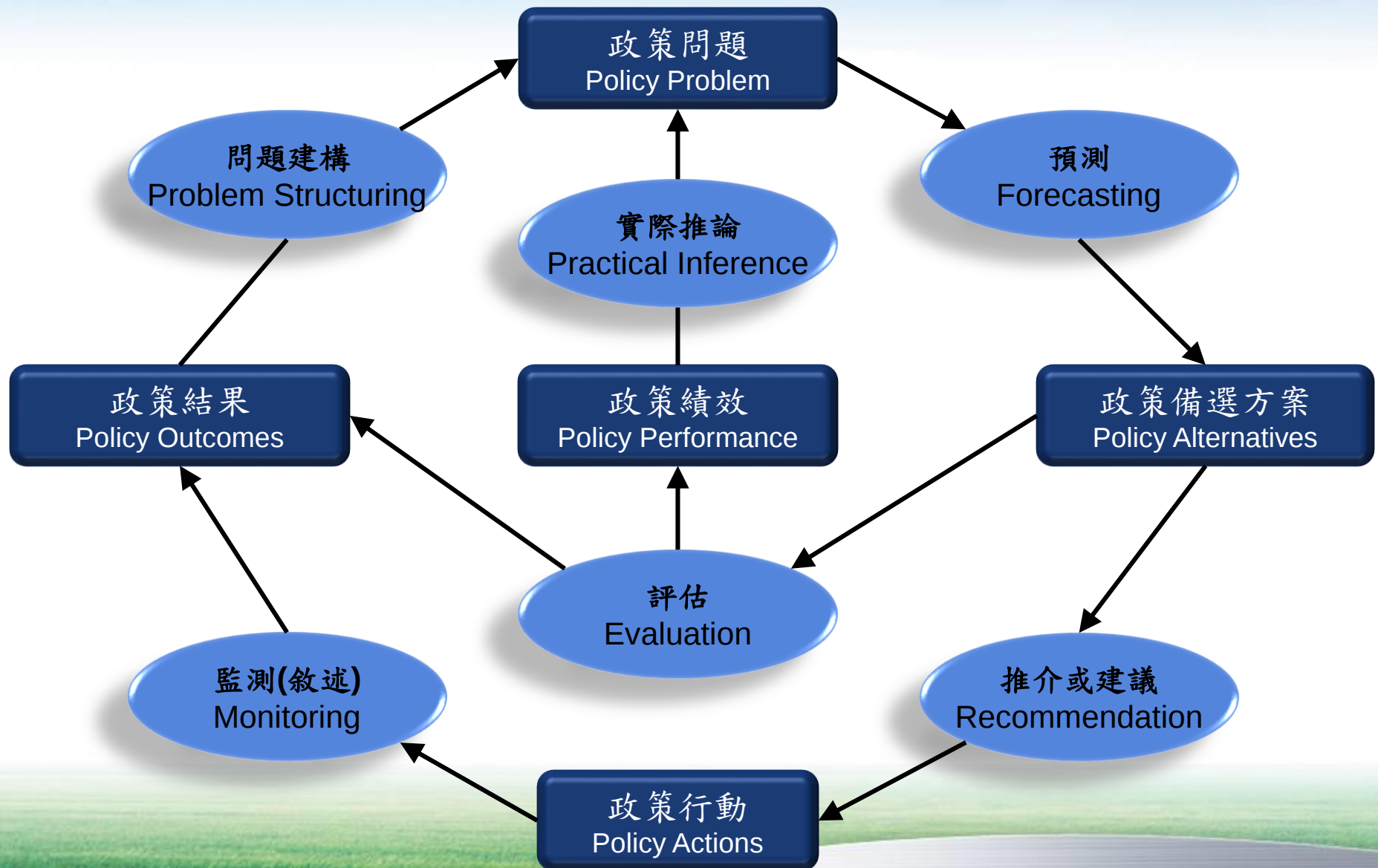


政策相關資訊關連圖

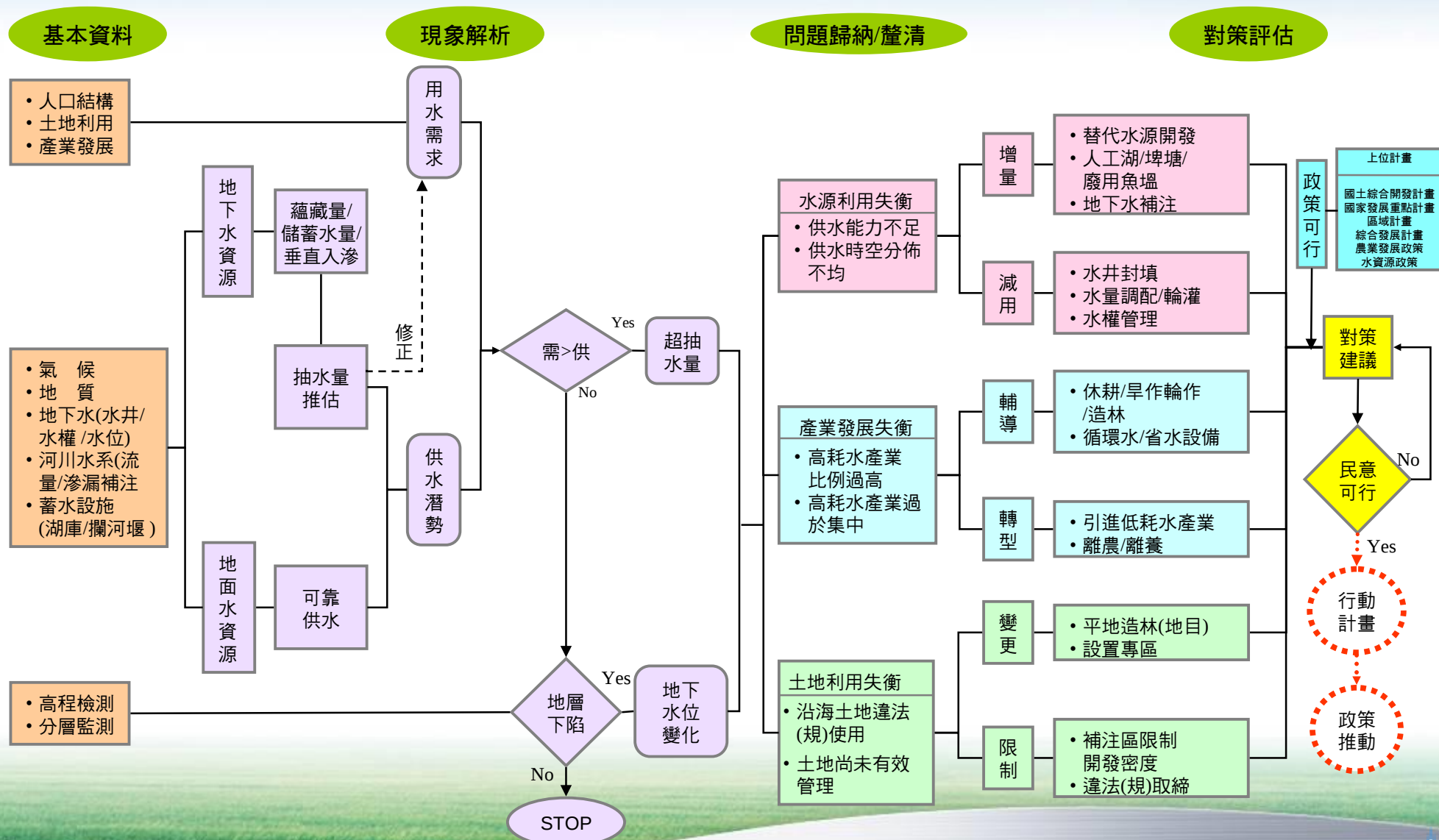


政策分析方法層次圖

政策分析



地層下陷原因探討與對策研擬工作架構



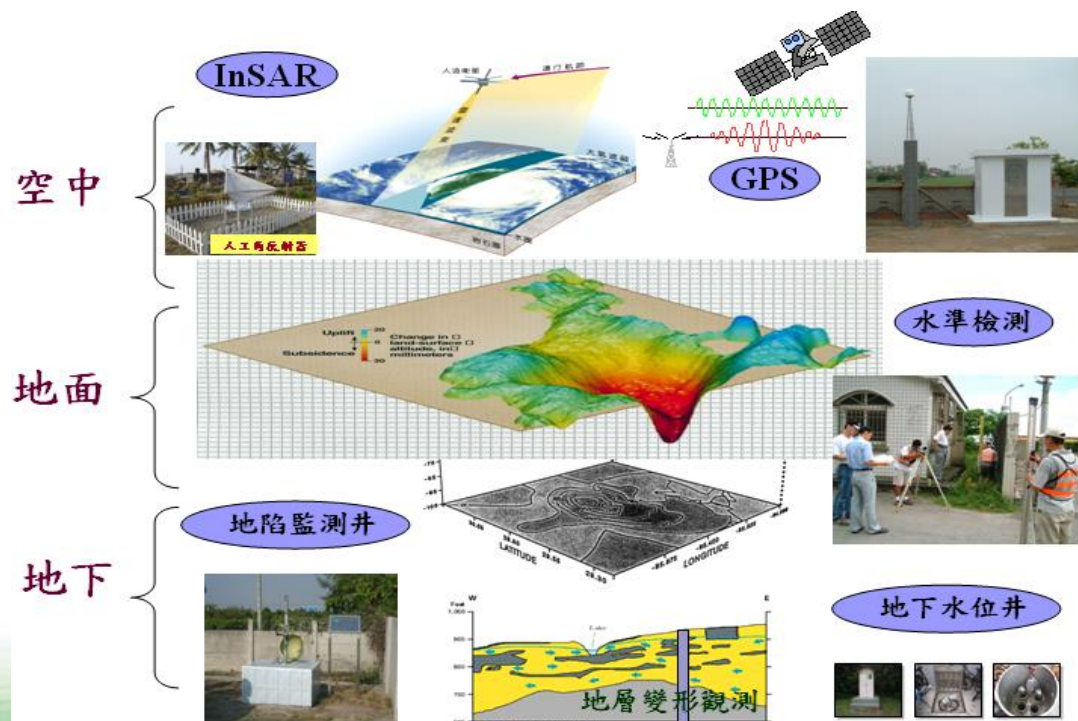
地層下陷監測系統

■ 地層下陷監測方法

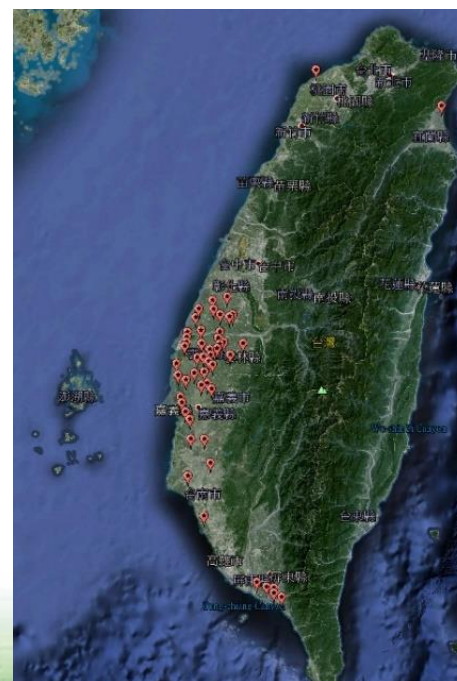
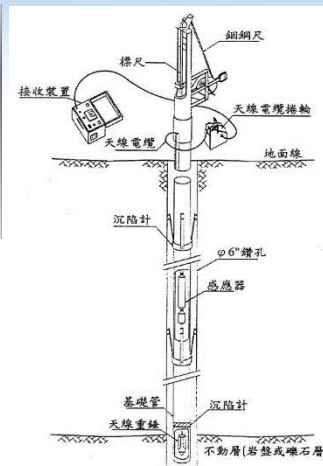
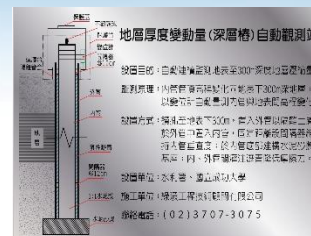
水利署負責辦理地層下陷檢監測工作，

一面狀：水準點檢測、雷達干涉(InSAR)

一點狀：磁環式分層監測井(50口)、GPS衛星追蹤站(11站)、深層水準樁(3站)。GPS衛星追蹤站及深層水準樁可連續觀測。



水利署辦理地層下陷監測方法

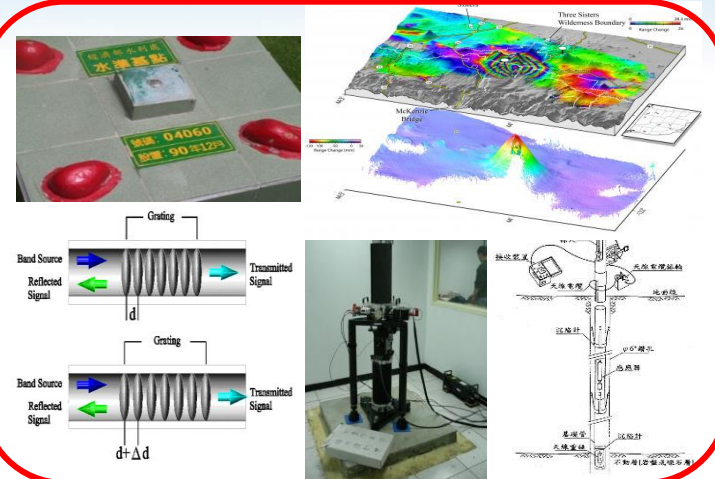


水利署50站GPS追蹤站分布圖

台灣地層下陷量測技術

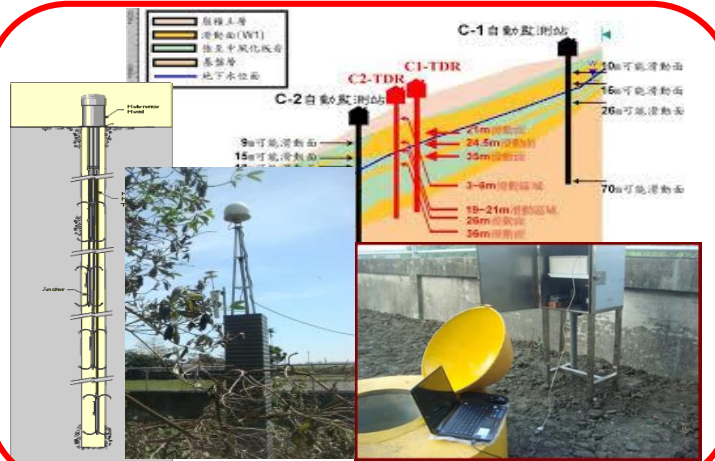
非自動監測

- 水準高程測量
- 分層監測井
- 絕對重力儀
- 光纖光柵
- 雷達干涉測量



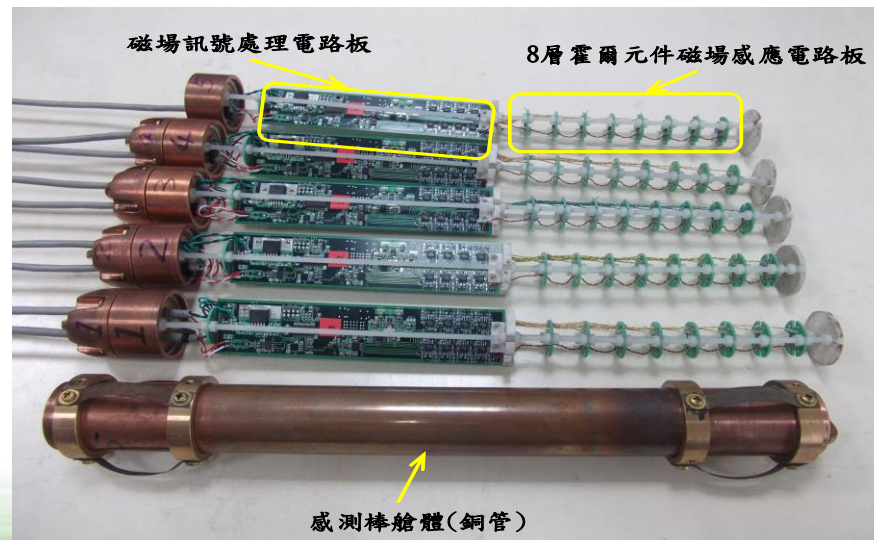
自動監測

- 全球定位系統(GPS)
- 深層水準樁
- 岩盤伸縮儀
- 時域反射儀(TDR)



考量占地面積較小、多土層監測能力及機構穩定性等因素，分層監測井為掌握不同深度土層沉陷之最適當量測方法，惟目前無法達到自動連續量測效能

連續感測本體機構

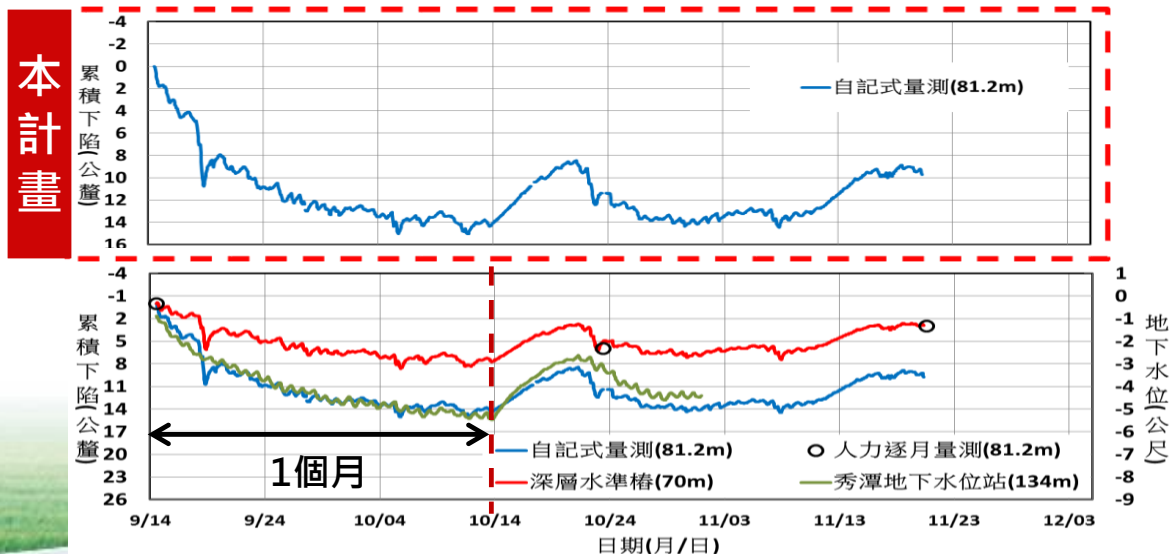
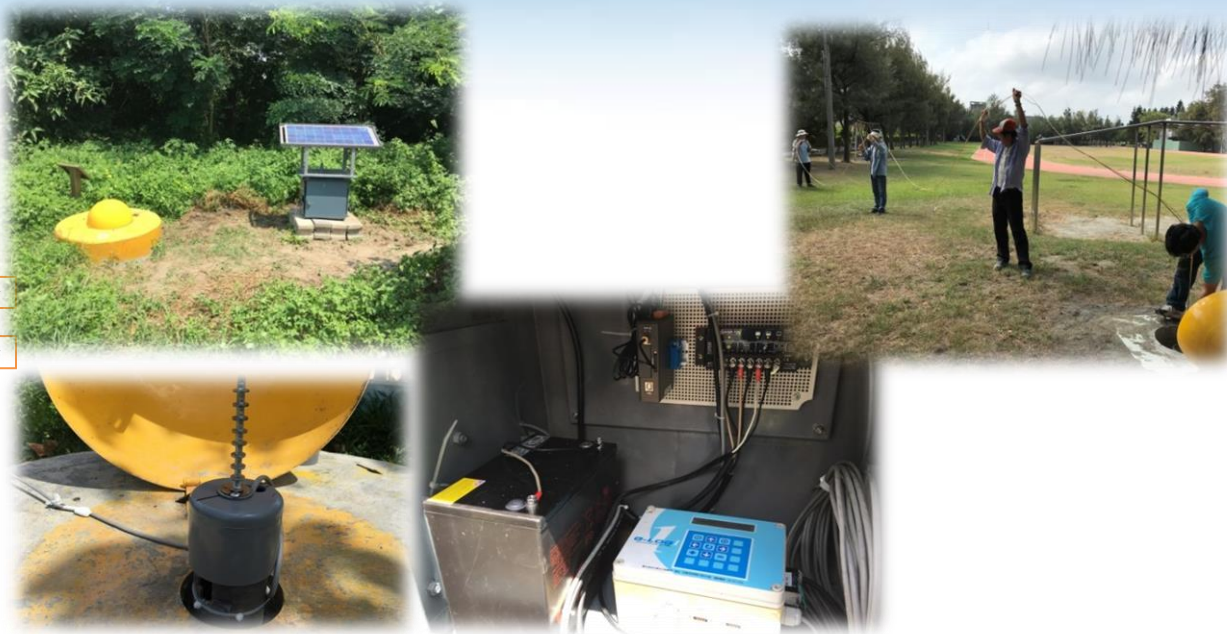
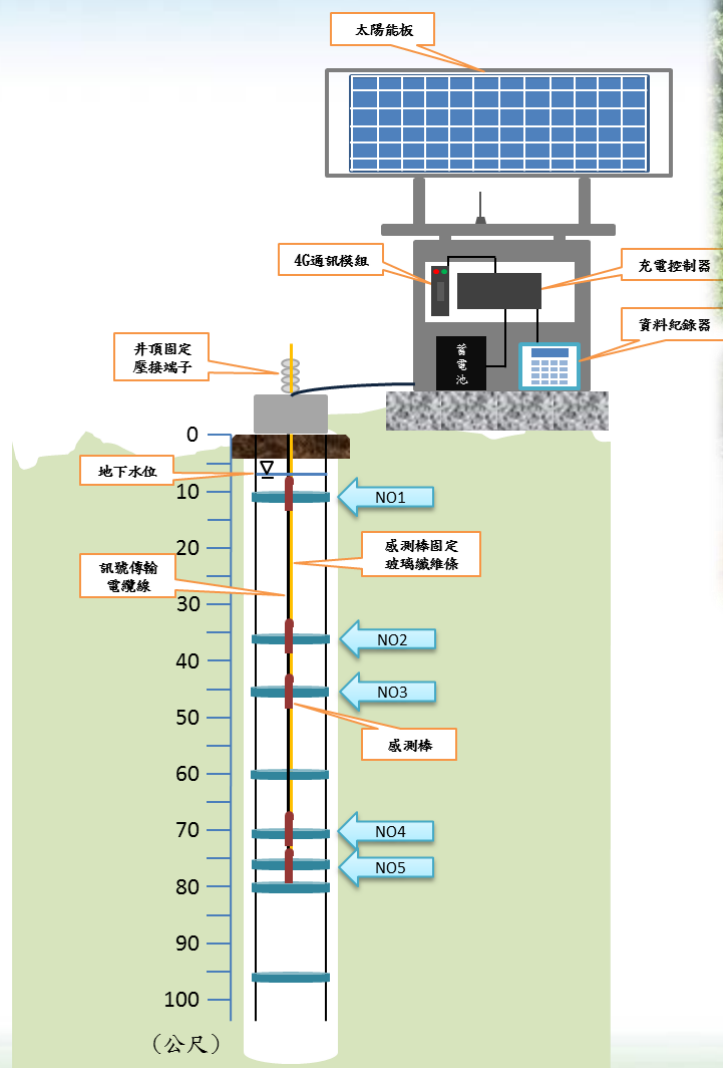


測棒主體



模型及現地水密測試

系統安裝與量測結果比較



各儀器設備佈置概況

地層下陷防治專案計畫

90年~97年

第二期地層下陷防治執行方案

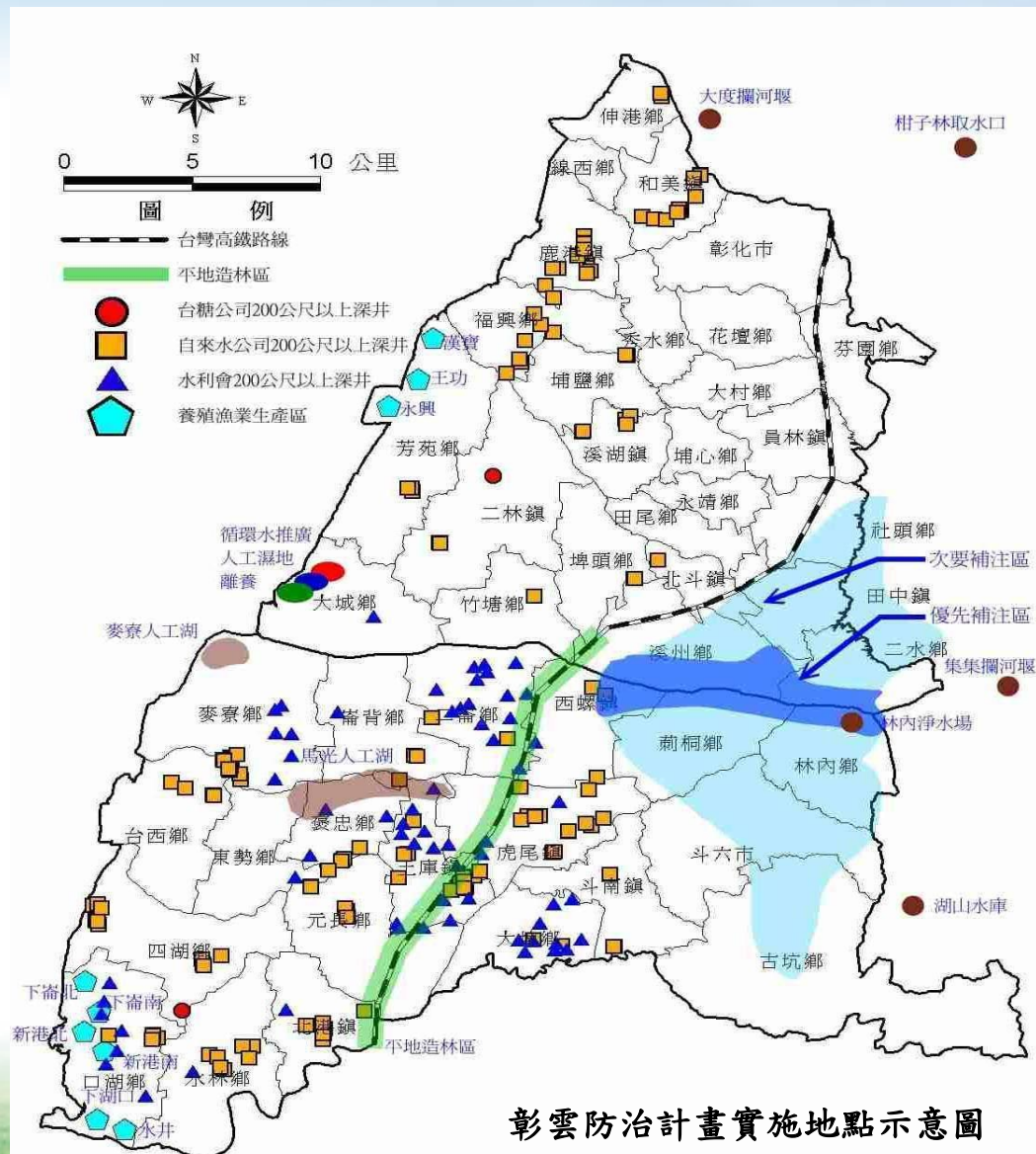
依行政院核定「第二期地層下陷防治執行方案」函文要求研擬彰雲地區地陷防治計畫，並於94年6月7日奉行政院核定實施。

94年～97年

彰化雲林地區地層下陷防治計畫

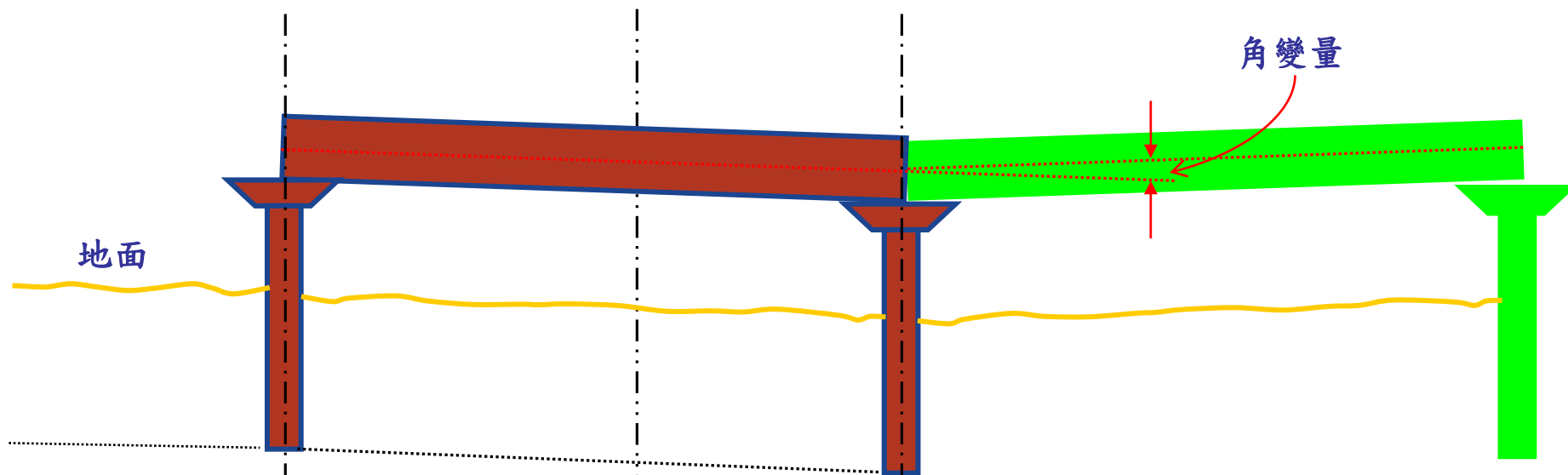
95年~97年

- 雲林縣高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫
- 彰化縣大城鄉公有合法水井封停實施計畫



地層下陷對高速鐵路的影響

❖ 地面差異沈陷影響軌道平整性



差異沈陷：

因墩柱間不同下陷程度，
所產生的角變量。

高鐵容許差異沉陷：

連續樑 1/1500

簡支樑 1/1000

90年～97年

第二期地層下陷防治執行方案

94年～97年

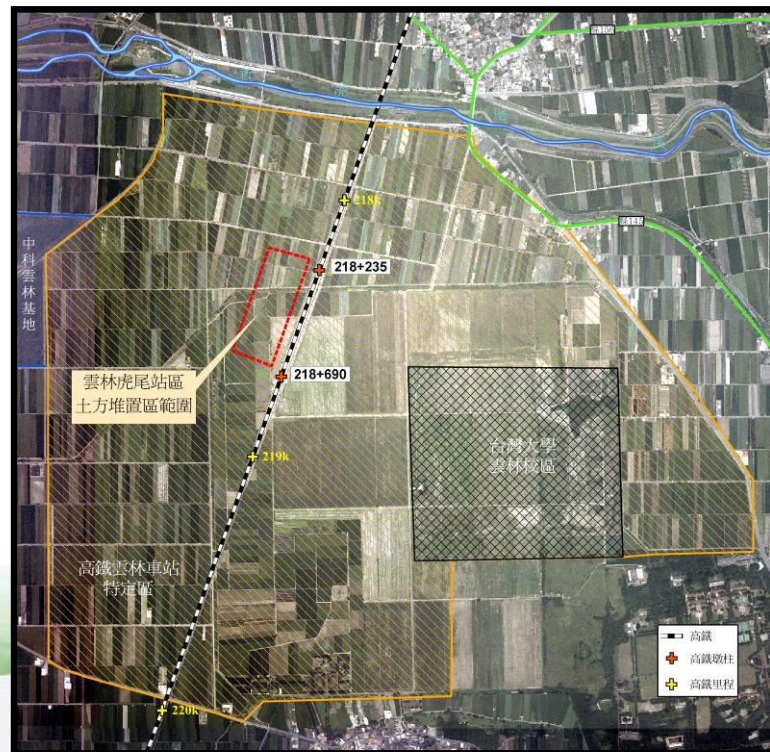
彰化雲林地區地層下陷防治計畫

95年～97年

雲林縣高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫

❖ 推論

- 造成虎尾特定區及78號東西向快速道路等2處產生異常下陷情形之分量應係來自附近地表人為外加荷重導致樁基深度範圍內土層壓縮，進而引發負摩擦力而降低基樁自身承載力有關。
- 上述2地區產生與區域環境差異之沉陷量因素，於臨時堆置土方移除及路堤完成後，其效應於民國96至97年間已顯著緩解。



90年～97年

第二期地層下陷防治執行方案

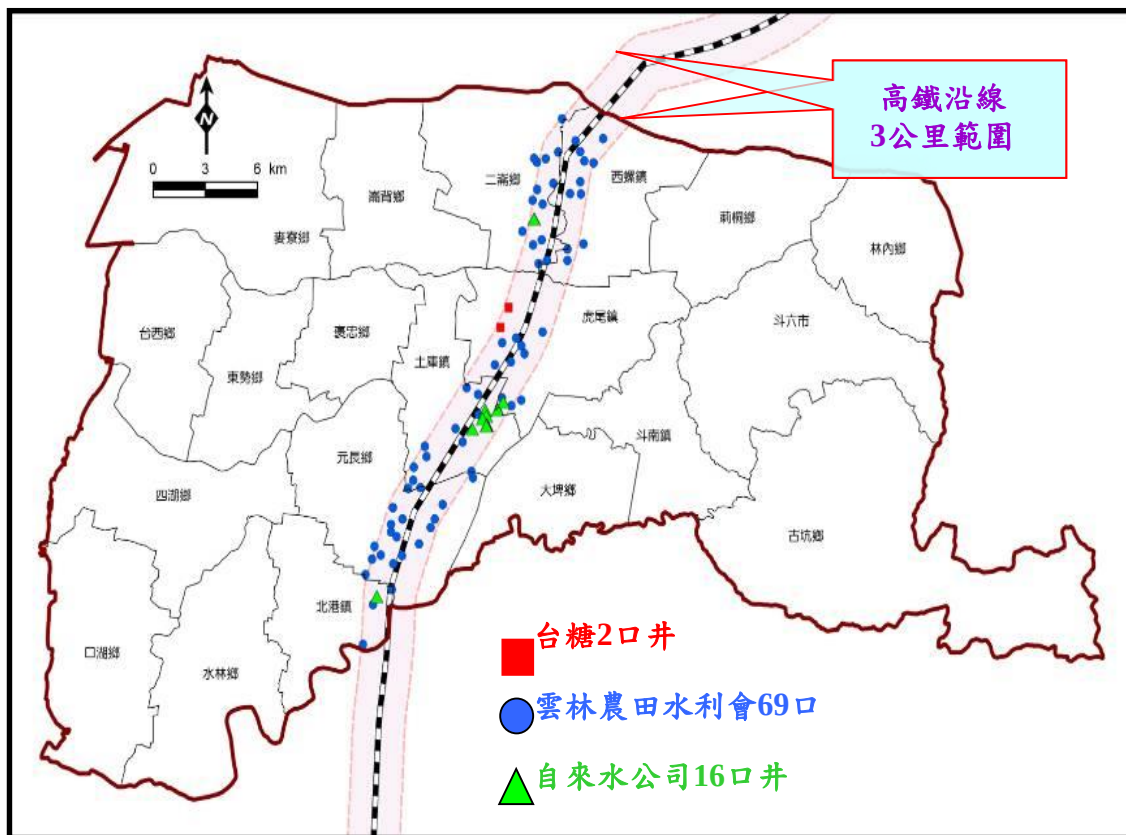
94年～97年

彰化雲林地區地層下陷防治計畫

95年～97年

雲林縣高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫

3公里範圍內公有水井處置情形一覽表



「雲林縣境高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫」
處置水井分佈圖

執行單位 計畫內容與期程			雲林農田 水利會		自來水公司		台糖公司		合計	
水井處 置方式	年度	處置 情形	預定	實際	預定	實際	預定	實際	預定	實際
	95 年	封填	7	7	2	2	—	—	9	9
		停用	8	8	10	10	—	—	18	18
	96 年	封填	10	20	0	0	—	—	10	20
		停用	19	19	0	2	—	—	19	21
	97 年	封填	10	0	0	0	—	—	10	0
		停用	0	0	0	0	—	1	0	1
	合計	封填	27	27	2	2	—	—	29	29
		停用	27	27	10	12	0	1	37	40
		留置	15	15	4	2	2	1	21	18
總計		69	69	16	16	2	2	87	87	
減抽水 量(萬 噸/年)	95年		—	51.9	—	252.3	加強 監 控 管 理	—	—	304.2
	96年		—	99.6	—	285.6		-51.7	—	333.5
	97年		600 至 1,100	—	520	—		—	1,120 至 1,620	—

註：1. 括弧內數字代表至該年度累計封填或封閉水井口數。

2. 水利會累計封填27口水井水權量合計為3,970萬噸

(3公里範圍外新鑿13口水井水權量合計為1,961萬噸)。

90年~97年

第二期地層下陷防治執行方案

94年~97年

彰化雲林地區地層下陷防治計畫

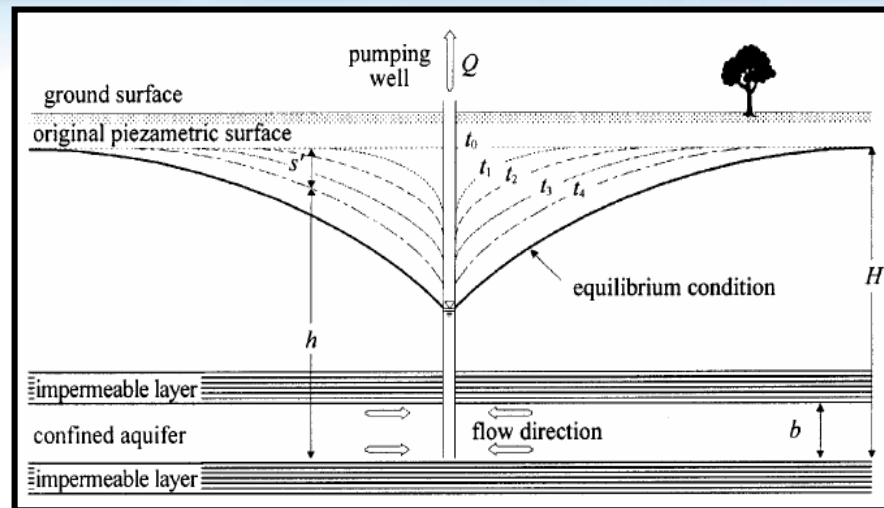
95年~97年

雲林縣高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫

❖ 影響範圍之評估(受壓含水層)

■ Thies(1935)不平衡公式

- 含水層均質等向
- 含水層水平且厚度為定值
- 抽水量恆定
- 含水層無漏壓
- 含水層側向無限延伸
- 水井直徑無限小，井內儲蓄水量可忽略
- 水井貫穿整個含水層取水
- 抽水前含水層內之水位相同
- 抽水立即反應在水位洩降上
- 影響半徑內無補注水源



$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\frac{r^2 S}{4Tt}}^{\infty} \frac{e^{-\mu}}{\mu} d\mu = \frac{Q}{4\pi T} W(\mu)$$

$$W(\mu) = -0.577216 - \ln \mu + \mu - \frac{\mu^2}{2 \times 2!} + \frac{\mu^3}{3 \times 3!} \dots$$

$$\mu = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

T : 導水係數(m^2/min) S : 儲水係數

t : 自抽水開始之經過時間(min)

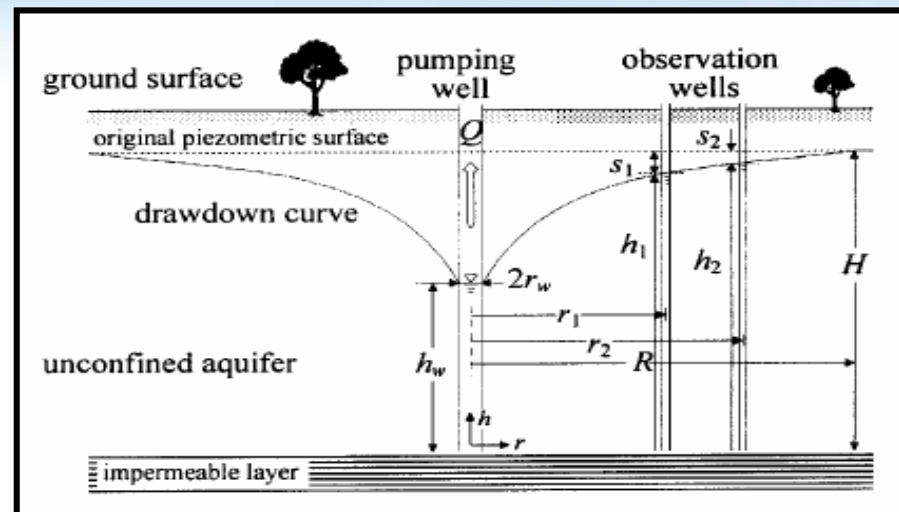
Q : 抽水量(cmm) r : 離抽水井之距離(m)

s' : 水位洩降量(m) $W(\mu)$: 指數積分，又稱為(水井函數)

❖ 影響範圍之評估(自由含水層)

■ Neuman(1972)不平衡公式

- 抽水量恆定
- 水井直徑無限小且貫穿整個含水層取水
- 含水層飽和且達西公式可使用
- 含水層側向無限延伸
- 含水層均質非等向性
- 抽水時水面為重力排水
- 忽略未飽和層之毛細作用
- 水位洩降遠小於含水層厚度



$$s' = \frac{Q}{4\pi T} W(\mu_A, \mu_B, \beta) \quad \beta = \frac{K_z r^2}{K_r b^2}$$

$$\mu_A = \frac{r^2 S}{Tt} \quad (\text{for early-time data})$$

$$\mu_B = \frac{r^2 S_y}{Tt} \quad (\text{for later data})$$

T : 導水係數(m^2/min) S : 貯水係數

S_y : 比出水量 t : 自抽水開始之經過時間(min)

Q : 抽水量(cmm) r : 離抽水井之距離(m)

K_z : 徑向透水係數(m/min) K_r : 垂向透水係數(m/min)

s_a' : 水位洩降量(m) $W(\mu_A, \mu_B, \beta)$: 水井函數

90年~97年

第二期地層下陷防治執行方案

94年~97年

彰化雲林地區地層下陷防治計畫

95年~97年

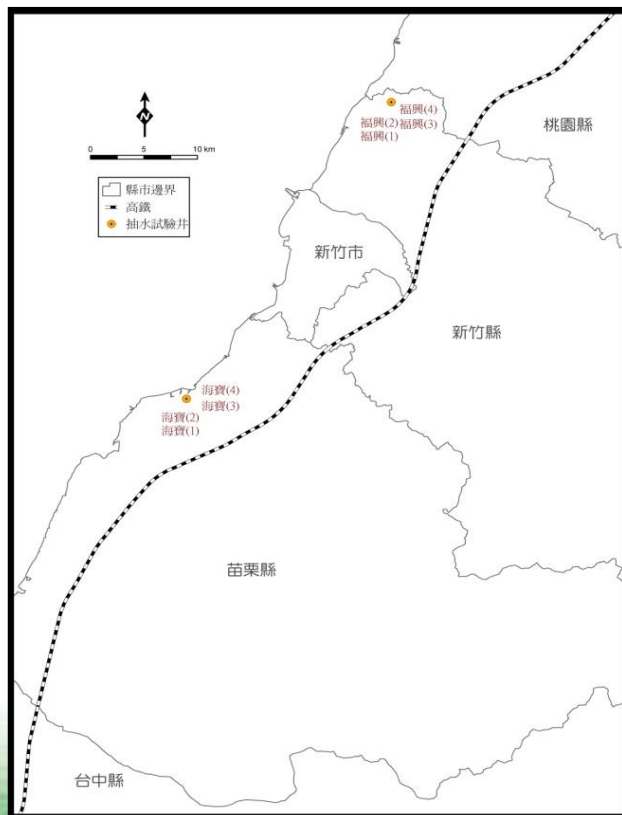
雲林縣高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫

❖ 計算參數選擇

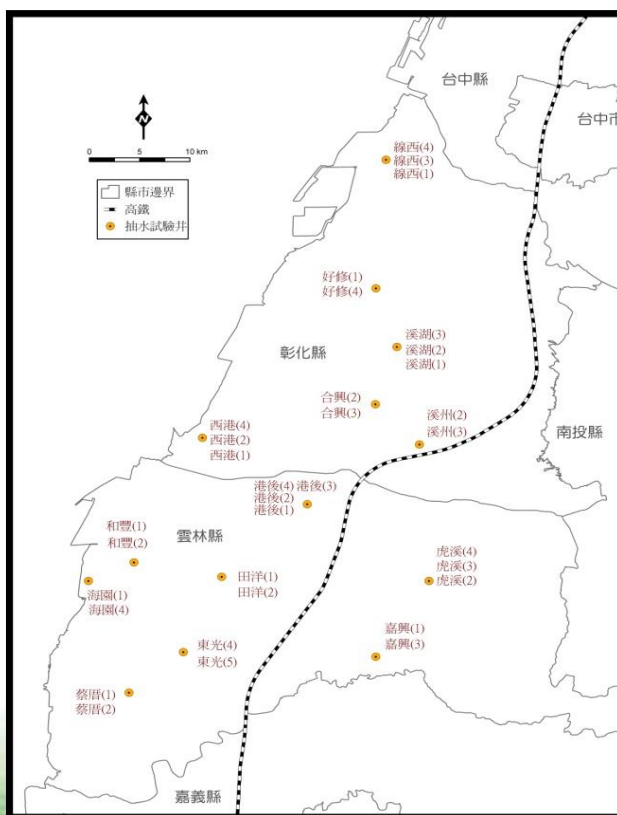
導水係數(T)與儲水係數(S) — 現地抽水試驗資料

抽水量(Q) — 各抽水試驗井之抽水量

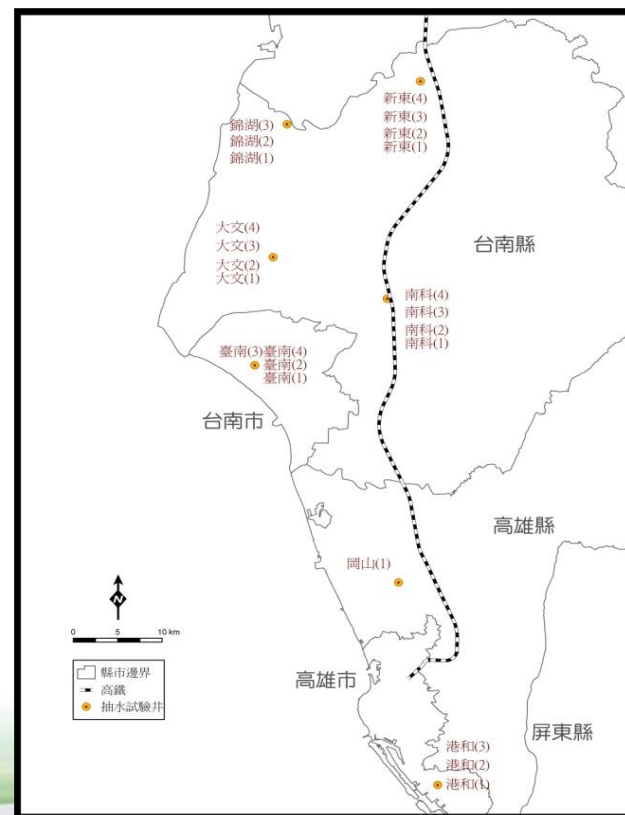
抽水時間(t) — 各縣市所核給之最大每日抽水時間(約20小時)



北區複井抽水試驗井分布圖



中區複井抽水試驗井分布圖



南區複井抽水試驗井分布圖

90年～97年

第二期地層下陷防治執行方案

94年～97年

彰化雲林地區地層下陷防治計畫

95年～97年

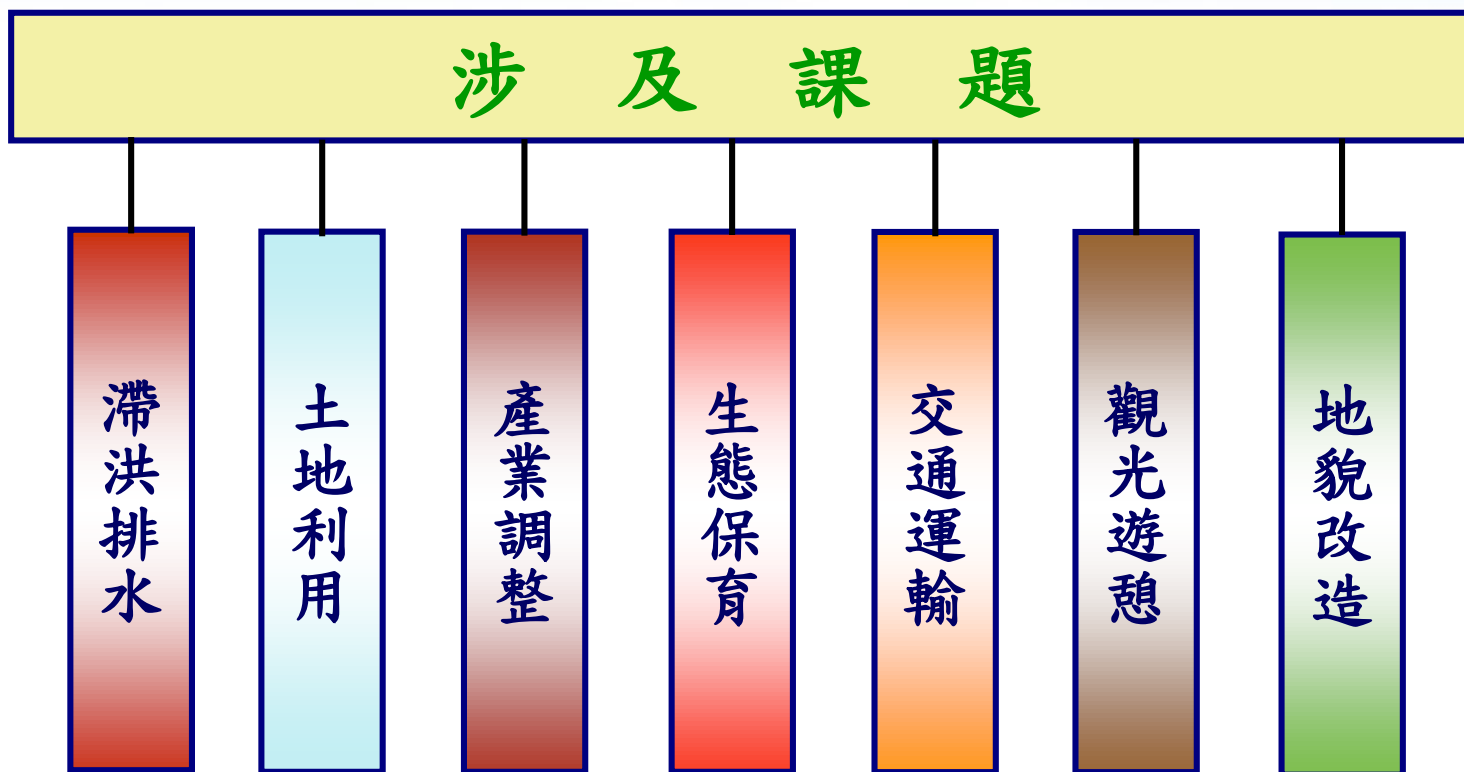
雲林縣高鐵沿線3公里範圍內公有合法水井封移實施計畫

❖ 影響範圍初步評估結果

縣市	影響半徑(km)		
	方案一	方案二	方案三
台北	0.3	0.3	0.3
桃園	0.3	0.3	0.3
新竹	0.3	0.3	0.3
苗栗	0.1	0.2	0.2
台中	0.2	0.9	0.1
彰化	0.2	1.6	0.1
雲林	0.3	1.5	0.2
嘉義	0.3	1.0	0.3
台南	0.2	0.4	0.3
高雄	0.2	0.2	0.2

- 方案一：取各地區觀測井離高鐵距離之倒數為權重，計算權重後之平均影響半徑為管制範圍。
- 方案二：取各地區之最大影響半徑為管制範圍。
- 方案三：取各地區離高鐵距離最近觀測井之影響半徑為管制範圍。

地層下陷防治面臨課題

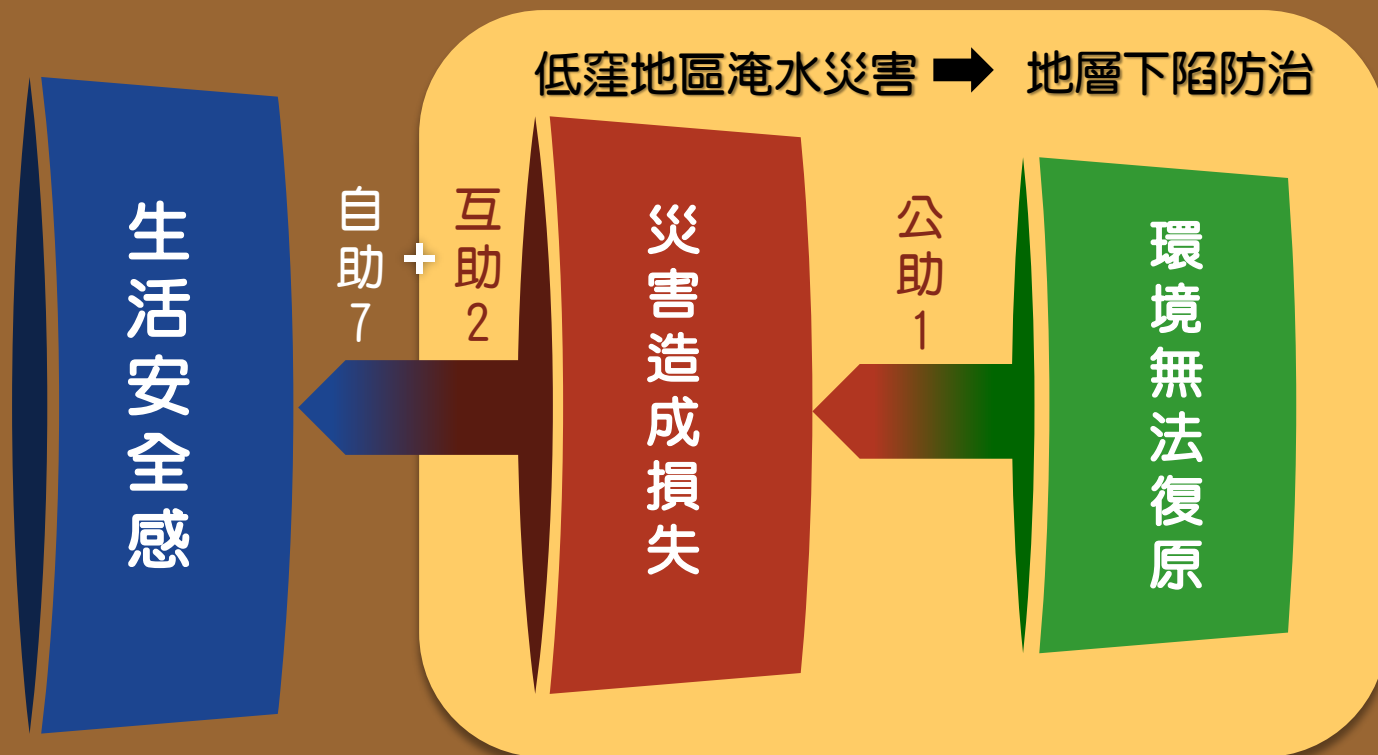


地層下陷防治工作事涉廣泛，除需中央各部會及地方政府緊密配合、分工合作外，**社會大眾的支持及參與**，為有效復育地層下陷地區生態環境，紓緩地層下陷造成之危害，促進環境資源永續發展的最大助力。

由敏感區位災害檢視氣候變遷水問題

❖ 日本災害經驗學習，『自助、互助、公助』的比例為7:2:1

洪水災害 ➡ 水利防災



水利防災推動策略



印尼20180206雅加達芝利翁河沿岸水位上漲至240公分



07/31 05:43 屏東縣佳冬鄉羌園村淹水 來源:CCTV



6/2 新北金山磺溪橋斷橋(來源:臉書)



泰國20170108暴雨 水患已致12死 硬性的工程措施



07/30_20:02 屏東縣林邊鄉 國道3號 430.52K(南向)。來源:CCTV

多元的災害預警措施



分族群推廣防災智能

6/2 台北內湖環山路淹水(來源:臉書)

智慧水利防災架構



監控

- 運用既有觀測 (雨量、水位、水庫)、監視系統(CCTV)
- 發展自動化監控技術 (影像辨識、淹水感測)

預警

- 災害潛勢(情境模擬)
➡ 防災規劃
- 災害預警(預報推估)
➡ 先知先覺
- 即時警戒(實測推估)
➡ 即時知覺



通報

- 全面 G ► G(政府)/
G ► P(民眾)/
G ► M(媒體)
- 多元 簡訊/傳真/網路
市話/LBS/企業
社群/Open data
- 即時 自動化 ► 行動化 ► 智慧化

應變

- 災情查(通)報 自動化淹水範圍評估系統/結合民眾企業/通報工具
- 離災 SOP及保全計畫/全民防災(志工、防災社區、企業)
- 應變 水利設施防洪操作/搶險搶修/抽水機調度支援等



水患自主防災社區推動程序



做伙來推動

- 掌握社區概況
- 組成推動小組
- 活動說明宣傳



環境總體檢

- 蒐集災害資訊
- 進行災害環境檢查
- 建立防救災檔案室



鄉親大小聲

- 分析災害風險
- 歸納防救災議題
- 研商防救災對策



防災俱樂部

- 防救災任務分工
- 防救災組織架構
- 災害應變計畫研擬



社區健身操

- 災害境況模擬
- 實地演練
- 技能訓練



逗陣來參與

- 成果分享
- 全民參與



水利防減災觀念宣導

以分眾行銷為原則，達到防汛知識傳遞、推廣教育等多重目的。



水利防災警戒分級定義 Classification for water disaster reduction	
淹水警戒 二級警戒(黃色) 發布淹水警戒之鄉(鎮、市、區)如持續降雨，其轄內易淹水村里及道路可能三小時內開始積淹水	河川警戒 三級警戒水位(黃色) 河川水位預計未來2小時到達高灘地之水位
一級警戒(紅色) 發布淹水警戒之鄉(鎮、市、區)如持續降雨，其轄內易淹水村里及道路可能已經開始積淹水	二級警戒水位(橘色) 河川水位預計未來5小時到達計畫洪水位(或堤頂)時之水位
水庫洩洪預警 二級警戒(橘色) 放流狀態：預計洩洪	一級警戒水位(紅色) 河川水位預計未來2小時到達計畫洪水位(或堤頂)時之水位
一級警戒(紅色) 放流狀態： 洩洪中、川流式、空庫排砂、自由溢流、調節性放水	枯旱限水預警 水情正常(藍色) ：以藍色表示正常 水情稍緊(綠色) ：以綠色表示稍緊 一階限水(黃色) ：離峰時段降低管壓供水 二階限水(橘色) ：停止供水： 包括噴水池、沖洗街道、大樓外牆 試放消防栓、露天屋頂放流等 三階限水(紅色) ：分區輪流或全壘定時停止供水



- 科普教具
- 繪本製作
- 培育種子教師
- 校園進班說故事
- 校園版水利防災設施區位圖
- 繪圖及FB封面設計競賽
- 防災宣導主題活動
- FB粉絲團

水利防災互動學習教具

以活潑有趣易於接受方式進行，達防災工具正確使用與知識傳達學習的目的

自動淹水感測系統

淹水預警通報技術

智慧水尺

第1關
自動化淹水感測科技
請判斷正確的淹水高度

第2關
智慧水尺
學習正確利用智慧型手機
拍照有效的智慧水尺照片

第3關
防汛抗旱小知識
請選擇正確答案

A
50CM
30CM
5CM

B
50CM
30CM
5CM

A

B

A
一級警戒

B
二級警戒



水利防災互動學習教具



強棒出擊



行動水情知多少



淹水警戒訊息好掌握



水利防災知識一把抓



可攜式扭蛋機



淹水感測器教具

淹水警報器材料包



(故事繪本+延伸閱讀)



培育種子教師

增加校園志工水利防減災知識，配合自主學習，培育校園種子教師



培育種子教師



水利防災介紹



故事教案教學



防災滯洪工程現場觀摩



校園水利防減災觀念宣導課程



引導	1.影片欣賞【八八水災精簡版】	2.問題討論
故事	3.繪本欣賞【阿公的暑假作業】	4.延伸討論
必要常識	5.【防災避災4大工具】	6.汛期前6大預備
	7.汛期間6大攻略	8.災後全民總動員
中階常識	9.【小幫手速成班】(1)專有名詞解說；(2)防災避災4大工具應用；(3)問與答	
進階常識	10.【水利防災設施功能介紹】(1)智慧手尺；(2)水閘門；(3)抽水站...	

製作校園版水利防災設施區位圖

以水患自主社區防災地圖為概念，繪製臨近校園的水利防災設施區位圖

文光國小水利防災設施地圖

- 加深記憶及瞭解水利防災設施之用途
- 提供學童水利防災措施實景的體驗課程
- 環境教育戶外教學補充教材



圖例

- 水系
- 61 西濱快速道路
- 1 水利設施
- 雲147 縣道
- ★ 水災避難中心

6 文光地下水水位觀測井

監測及收集地下水長期之地下水水位資料，可掌握地下水位分層的分布與時間變化。



1 梧北側滯洪池抽水站

閘門開啟時，可提供尖山大排內的水往滯洪池排水，調節尖山大排流量。



2 智慧水尺

供口湖鄉梧南社區民眾辨識淹水深度，透過水情通報APP，讓水利防災單位快速得知淹水深度，可迅速反應進行救災相關作業。



3 梧北抽水站

閘門開啟時，可提供尖山大排內的水往順興支線排水。閘門關閉時，則避免順興支線的水往尖山大排流入。



4 尖山大排渠道堤防

位於尖山大排兩旁，渠道主要防止梧南社區因尖山大排洪水氾濫導致淹水，或海水倒灌溢淹至聚落淹水。



5 順興支線抽水站之移動式抽水機

放置於順興支線抽水站內，配合淹水時使用，梧南社區內發生積淹水時，可機動移到積淹水地區。



水利防減災知識競賽

國小中高年級四格漫畫 FB封面設計



防災宣導主題活動



屏東墾丁地質嘉年華



雲林地層下陷防治成果活動



台東國際熱氣球嘉年華



台南國際龍舟錦標賽



全民節水日



王功漁火節



花蓮客鼓鳴心-
鼓王爭霸活動



宜蘭國際童玩藝術節



全國河川日



左營萬年季

防汛抗旱粉絲團

提供多元化防災資訊，內容豐富性與多元性



防汛抗旱粉絲團



新聞

活動

知識



漫畫

生活

遊戲



敏感區位災害防治 經驗分享- 以地層下陷為例

Thank You !