

# 台灣地區地下水與地層下陷相關性分析

水利署 水文技術組副組長

曾鈞敏 博士

2011年10月27日

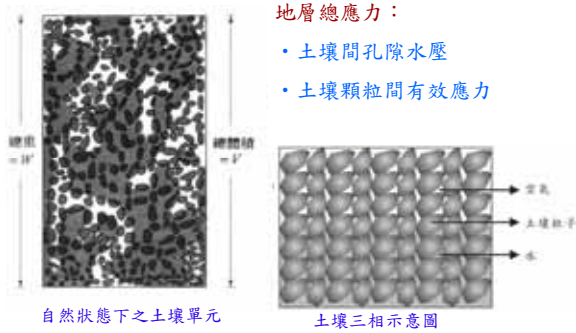


## 簡報大綱

- 地層下陷基礎理論
- 常用之地層下陷計算方法
- 台灣地層壓縮現象解析
- 台灣地下水位與地層下陷之相關性
- 台灣地層下陷潛勢分析與發展建議
- 結論

### 地層下陷基礎理論

#### ❖ 地層狀態



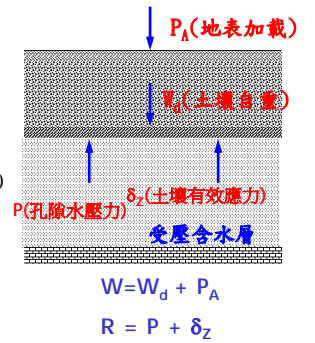
### 地層下陷基礎理論

#### ❖ 土層壓縮原理

土層壓縮來源：

- 孔隙水壓減少
- 地表載重增加
- 其他原因(地震、土壤液化等)

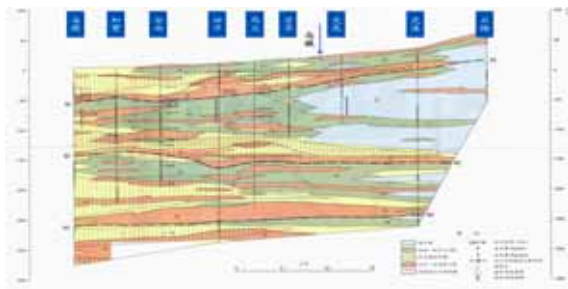
土壤有效應力增加，造成土壤壓縮(compression)或壓密(consolidation)。



### 地層下陷基礎理論

#### ❖ 地質結構

砂礫層(含水層) + 黏土層(阻水層)



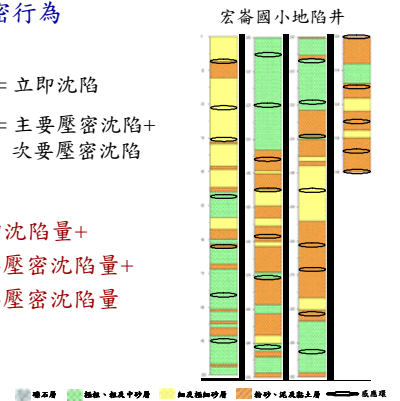
### 地層下陷基礎理論

#### ❖ 地質土壤壓密行為

砂土層彈性沈陷 = 立即沈陷

黏土層壓密沈陷 = 主要壓密沈陷 + 次要壓密沈陷

總沈陷量 = 立即沈陷量 + 主要壓密沈陷量 + 次要壓密沈陷量



## 地層下陷基礎理論

### ❖ 沈陷量計算式

➤ 砂土層彈性沈陷量 ( $\nabla \cdot \underline{d}'$ )

$$\nabla \cdot \underline{d}' = H \times \frac{\nabla p'}{E_s}$$

➤ 黏土層主要壓密沈陷

❖ Terzaghi 於 1925 年提出之土壤壓密基本理論

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

## 地層下陷基礎理論

### ❖ 沈陷量計算式

➤ 黏土層主要壓密沈陷量 ( $\Delta \underline{d}'_c$ )

$$\Delta \underline{d}'_c = H_c \cdot \frac{C_c}{1+e_0} \log \left( \frac{p' + \Delta p'}{p'} \right)$$

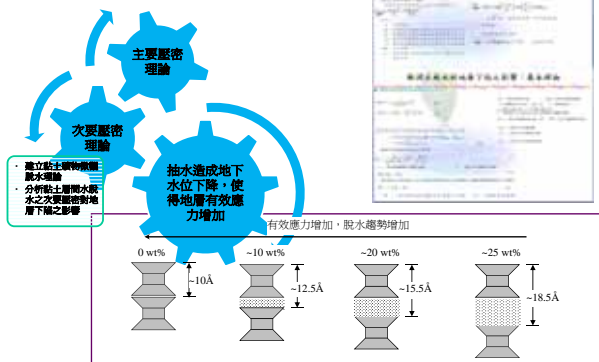
❖ 過壓密 ( $p' + \Delta p' > p'_c$ )

$$\Delta \underline{d}'_c = \frac{H_c}{1+e_0} \left[ C_c \cdot \log \left( \frac{p' + \Delta p'}{p_c} \right) + C_s \cdot \log \left( \frac{p'_c}{p'} \right) \right]$$

## 地層下陷基礎理論

### ❖ 沈陷量計算式

➤ 黏土層次要壓密沈陷



## 地層下陷基礎理論

### ❖ 三維彈性多孔介質理論 (Biot 1941, 1955 年提出)

➤ 質量守恆方程式

$$\begin{cases} \frac{\partial(n\rho_f S)}{\partial t} + \nabla \cdot (n\rho_f S \underline{U}) = 0 & \dots\dots\dots \text{水流} \\ \frac{\partial[(1-n)\rho_s]}{\partial t} + \nabla \cdot ((1-n)\rho_s \underline{d}) = 0 & \dots\dots\dots \text{土體} \end{cases}$$

➤ 動量守恆方程式

$$\begin{cases} \nabla \cdot \underline{\sigma}_s + (1-n)\rho_s \underline{g} = (1-n)\rho_s \underline{\ddot{d}} - F(\kappa) \frac{\mu n^2}{k_p} (\underline{U} - \underline{\dot{d}}) & \dots\dots\dots \text{土體} \\ \nabla \cdot \underline{\sigma}_f + n\rho_f \underline{g} = n\rho_f \underline{\dot{U}} + F(\kappa) \frac{\mu n^2}{k_p} (\underline{U} - \underline{\dot{d}}) & \dots\dots\dots \text{水流} \end{cases}$$

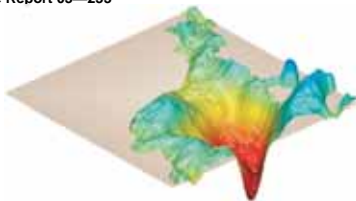
$\rho_s = const \quad \rho_f = const$

## 常用之地層下陷計算方法

### ❖ USGS 發展模式

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR  
U.S. GEOLOGICAL SURVEY

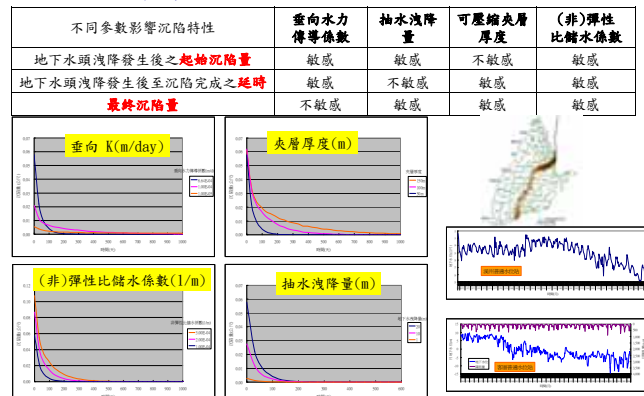
**MODFLOW-2000 Ground-Water Model—User Guide to the Subsidence and Aquifer-System Compaction (SUB) Package**  
Open-File Report 03—233



U.S. GEOLOGICAL SURVEY  
GROUND-WATER RESOURCES PROGRAM

## 常用之地層下陷計算方法

### ❖ 國內應用案例

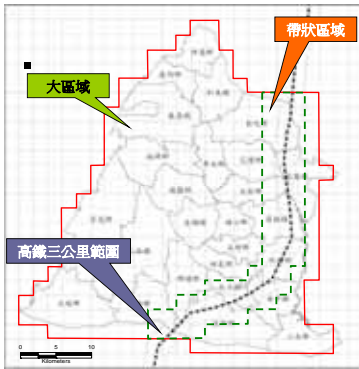


## 常用之地層下陷計算方法

### 國內發展模式

- 大區域地下水超抽導致地層下陷之一維非耦合地層下陷模式 (蔡東霖2001年提出)

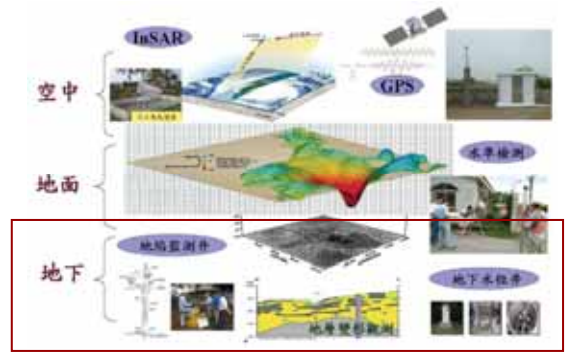
分層三維水流概念  
結合一維地層下陷模式



彰化地區大區域與帶狀區域模擬範圍示意圖

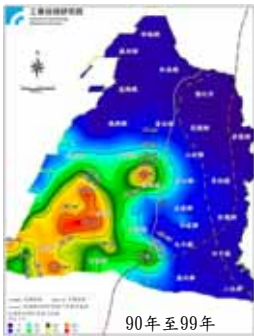
## 台灣地層壓縮現象解析

### 台灣地層下陷檢測方法



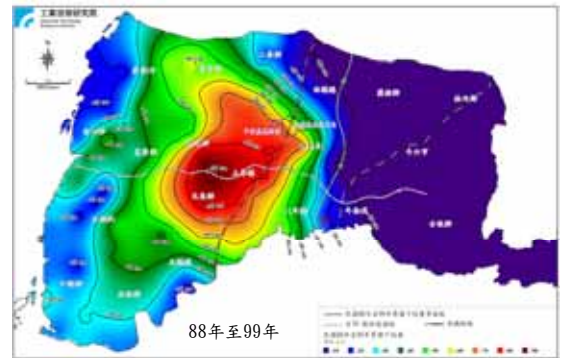
## 台灣地層壓縮現象解析

### 彰化累積下陷量及監測井分布



## 台灣地層壓縮現象解析

### 雲林地區累積地層下陷量



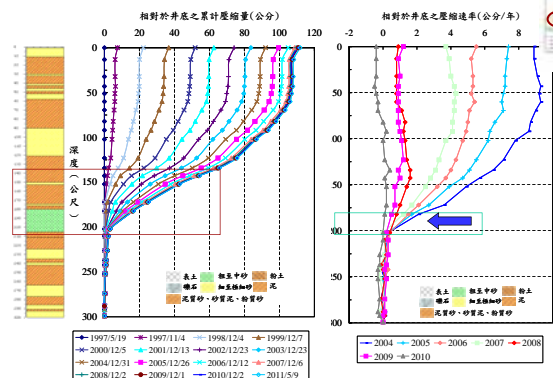
## 台灣地層壓縮現象解析

### 雲林地區地層下陷監測井分布



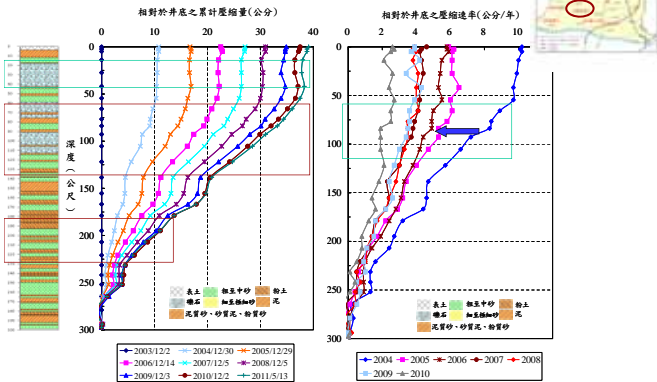
## 台灣地層壓縮現象解析

### 彰化大城之壓縮量—西港國小



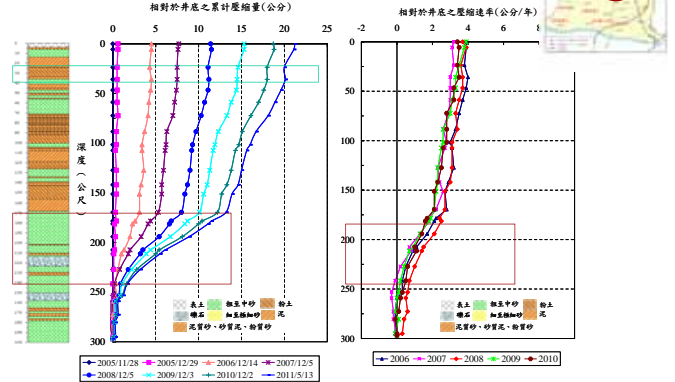
### 台灣地層壓縮現象解析

#### 彰化二林之壓縮量—興華國小



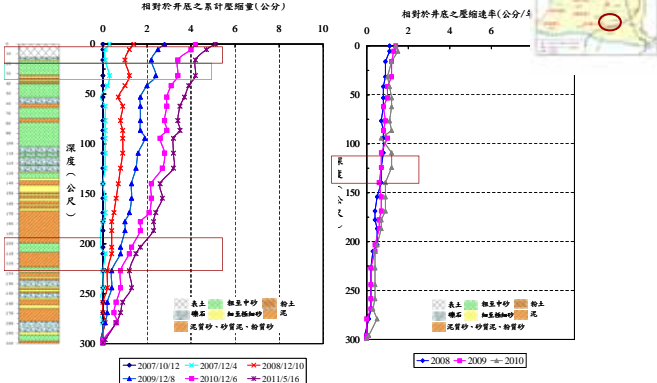
### 台灣地層壓縮現象解析

#### 彰化溪湖之壓縮量—湖南國小



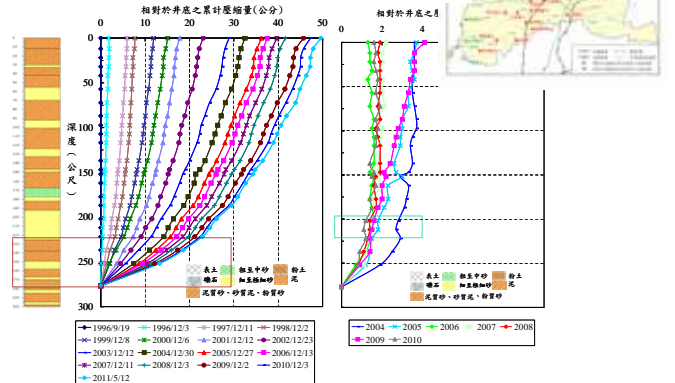
### 台灣地層壓縮現象解析

#### 彰化溪州之壓縮量—溪州國小



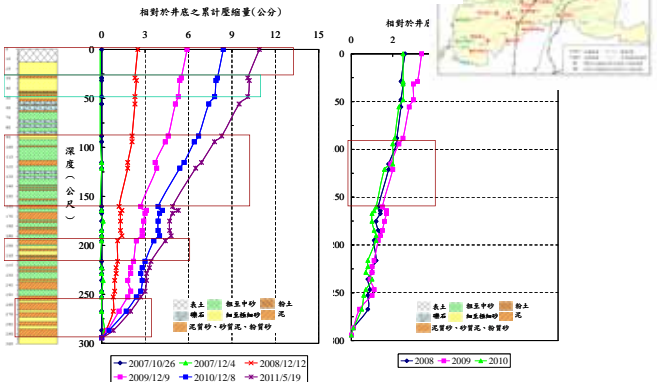
### 台灣地層壓縮現象解析

#### 雲林台西之壓縮量—新興國小



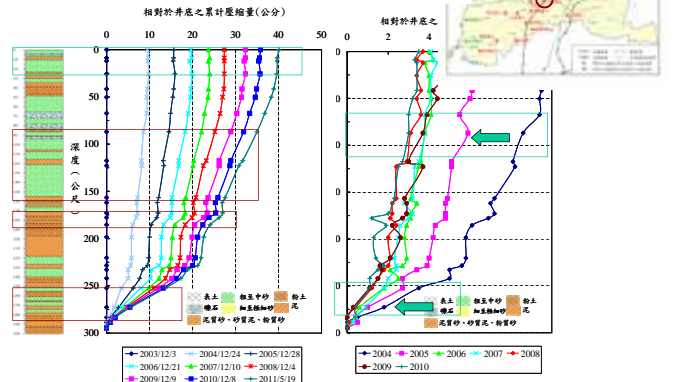
### 台灣地層壓縮現象解析

#### 雲林虎尾之壓縮量—光復國小



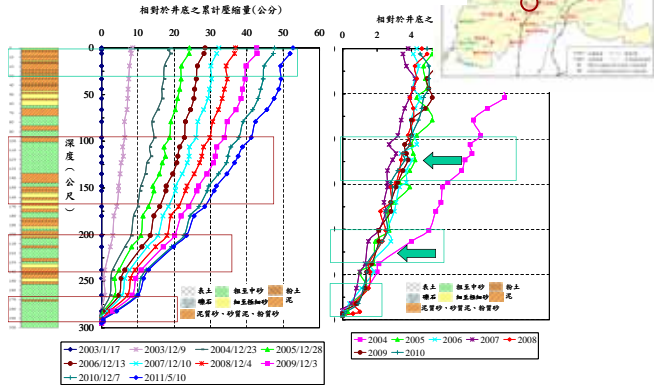
### 台灣地層壓縮現象解析

#### 雲林土庫之壓縮量—土庫國中



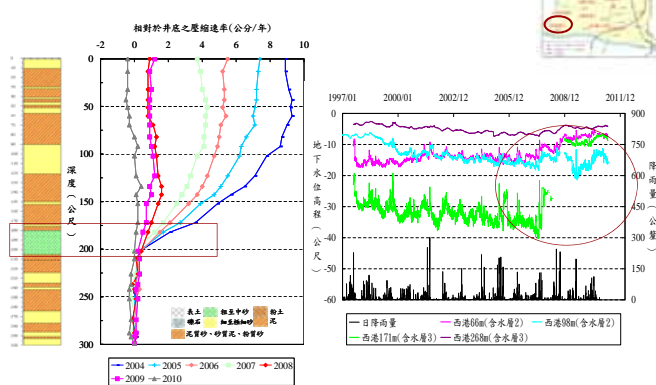
## 台灣地層壓縮現象解析

### 雲林元長之壓縮量—元長國小



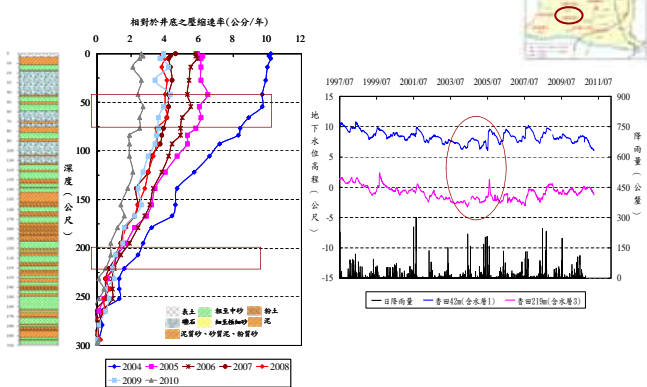
## 台灣地下水位與地層下陷之相關性

### 彰化大城西港國小



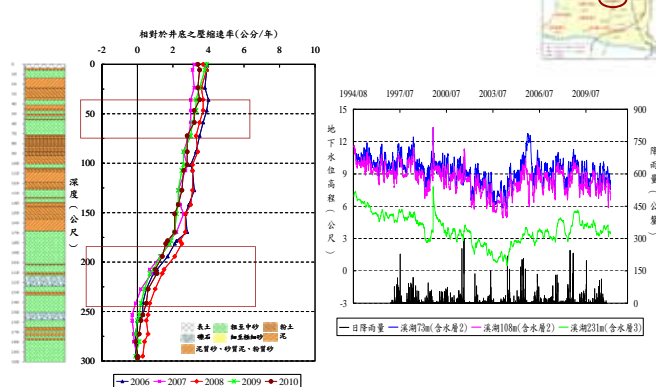
## 台灣地下水位與地層下陷之相關性

### 彰化二林興華國小



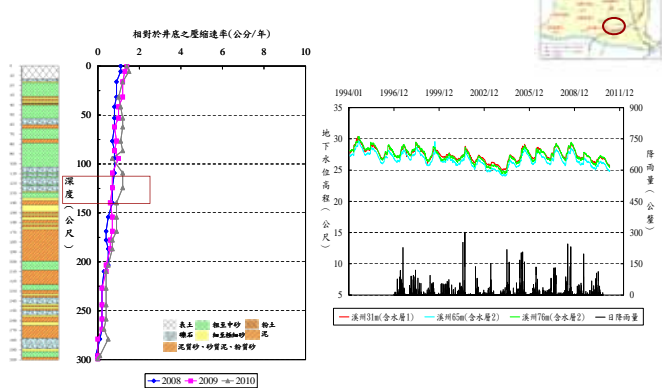
## 台灣地下水位與地層下陷之相關性

### 彰化溪湖湖南國小



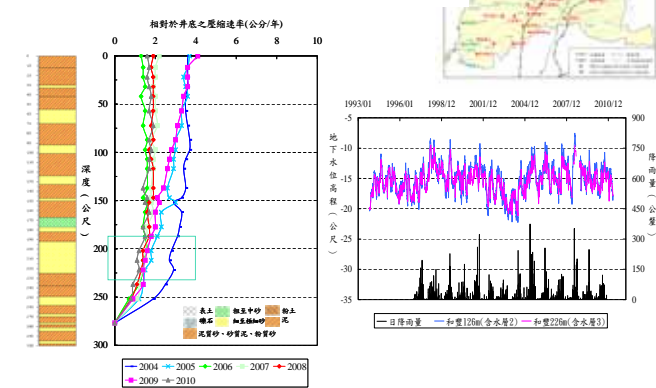
## 台灣地下水位與地層下陷之相關性

### 彰化溪州溪州國小



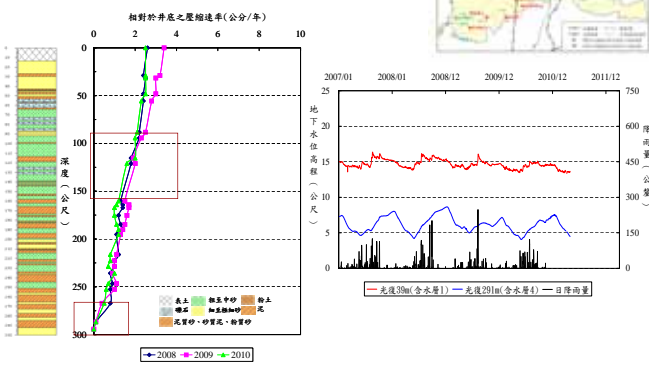
## 台灣地下水位與地層下陷之相關性

### 雲林台西新興國小



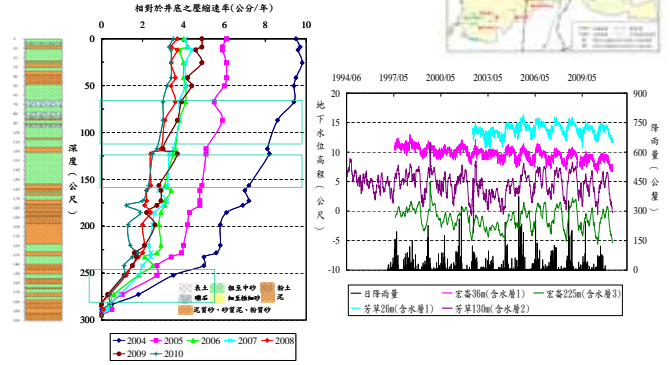
### 台灣地下水位與地層下陷之相關性

#### 雲林虎尾光復國小



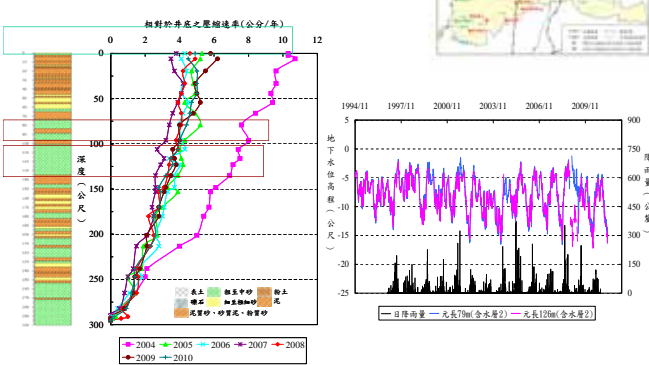
### 台灣地下水位與地層下陷之相關性

#### 雲林土庫國中



### 台灣地下水位與地層下陷之相關性

#### 雲林元長國小



### 台灣地層下陷潛勢分析與發展建議

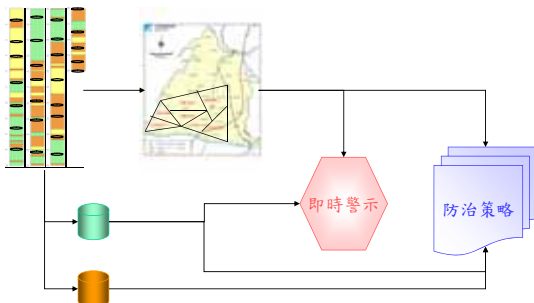
#### 彰雲地區地層下陷潛勢分析

- ▶ 砂土層之壓密量大於黏土層  
砂礫間不夠緊密，孔隙水壓一旦減少，仍可能壓密
- ▶ 沿海之砂土層壓密趨於穩定
- ▶ 內陸之砂土層隨著地下水位下降仍有壓密機會
- ▶ 境內黏土層仍具壓密趨勢
- ▶ 頂層砂土層壓密行為不明顯  
自由含水層之地下水位下降，造成砂土之立即沈陷量微小

### 台灣地層下陷潛勢分析與發展建議

### 結論

#### 彰雲地區地層下陷潛勢分析方法



- ❖ 數值模擬準確與否，取決於輸入資料量與質。  
然台灣地質迥異，目前資料量難以提高數模之準確性。
- ❖ 地層下陷防治欲獲成效，除必須因地制宜外，更應減少假設條件。故取監測井實際資料，以土壤力學結合地下水觀點分析，更符實際狀況。

簡報結束

敬請指教

