

以水-力耦合模式探討不同複雜度地質模型對地層下陷模擬之影響 —以雲林地區為例

研究生：楊詠涵

指導教授：王士榮 老師



一、研究動機與目的

- 本研究使用水-力耦合模式，在不同複雜度的地質模型中模擬水頭變化引起的地下水流變化與土體變形，並在模擬中應用參數敏感度分析與時變參數系統，以探討土體材料特性、區域地質架構與土體變形效應對地層下陷模擬的影響。

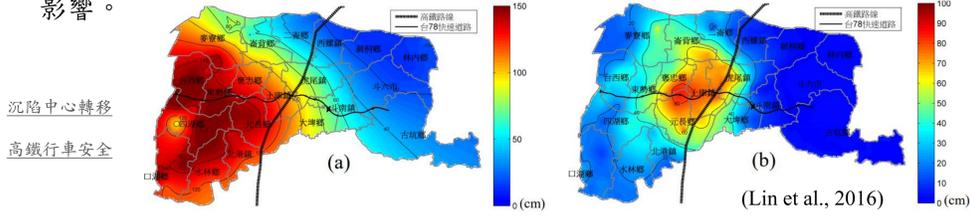


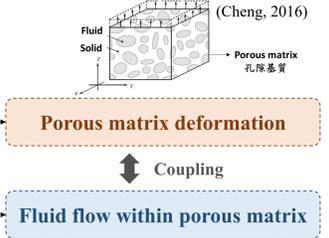
圖1 (a)1992-2001與(b)2002-2011在雲林縣地層下陷分布。

二、研究方法

- 孔彈性理論 (Biot, 1941; Jiang, 2021)

$$G\nabla^2 u_i + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial^2 u_k}{\partial x_i \partial x_k} = \alpha \frac{\partial p}{\partial x_i} - (\rho_s + n\rho_f)g$$

Force equilibrium



$$\alpha \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \mathbf{u}) + S \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{k}{\eta} \nabla^2 p$$

Mass conservation / Darcy's law

- 參數相對敏感度分析 (Chen et al., 2014)
- 時變參數 (Wang and Hsu, 2009)

$$RS = \frac{g(j_i^* + \Delta j_i) - g(j_i^*)}{\frac{\Delta j_i}{j_i^*}} \rightarrow \frac{\text{Original value of result}}{\text{The change of parameter}} \rightarrow \text{The change of result}$$

Porosity (n)	Permeability (k)	Young's modulus (E)
$n_1 = \frac{n_0 + e}{1 + e}$	$k_1 = k_0 \frac{(1 + \frac{e}{n_0})^3}{1 + e}$	$E_1 = E_0 \left(\frac{1}{1 + e} \right)^2$

e: the volumetric strain ($e = \nabla \cdot \mathbf{u}$)

三、模式設定

- 模型建構範圍

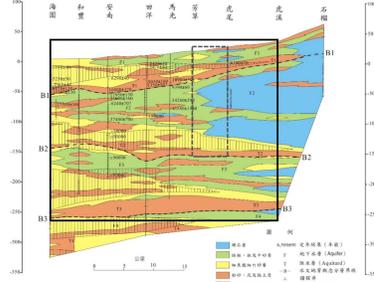


圖2 假想模型(虛線框)與現地模型(實線框)在地調所水文地質剖面的建構範圍。

- 剖面與鑽井位置

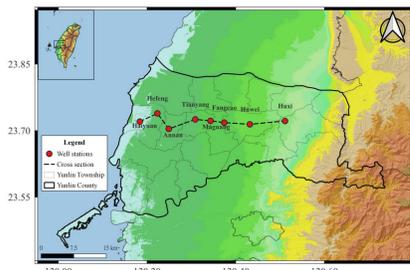


圖3 海園-虎溪段水文地質剖面之地理位置。

- 地質模型架構

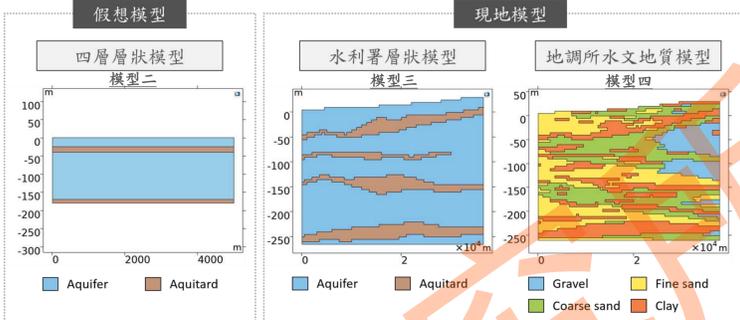


圖4 各模型之地質架構與材料分布。

- 水頭變化情境 (江崇榮等人, 2011)

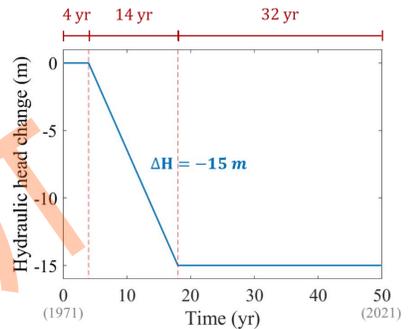


圖5 地層下陷模擬之水頭變化情境。

四、結果與討論

- 假想模型：地層下陷模擬結果 & 沉陷行為分類

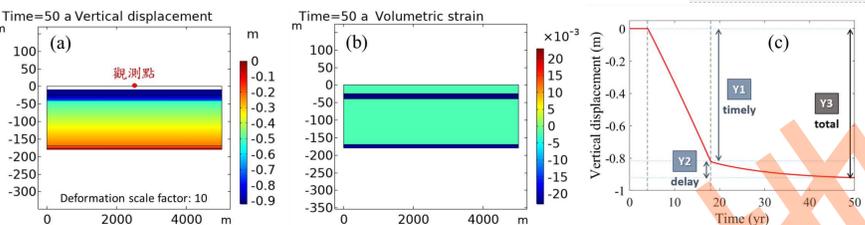


圖6 模型二模擬50年後之(a)垂向位移與(b)體積應變分布。(c)模型二觀測點隨時間的垂向位移。

- 現地模型：地層下陷模擬結果 & 阻水層壓密機制差異

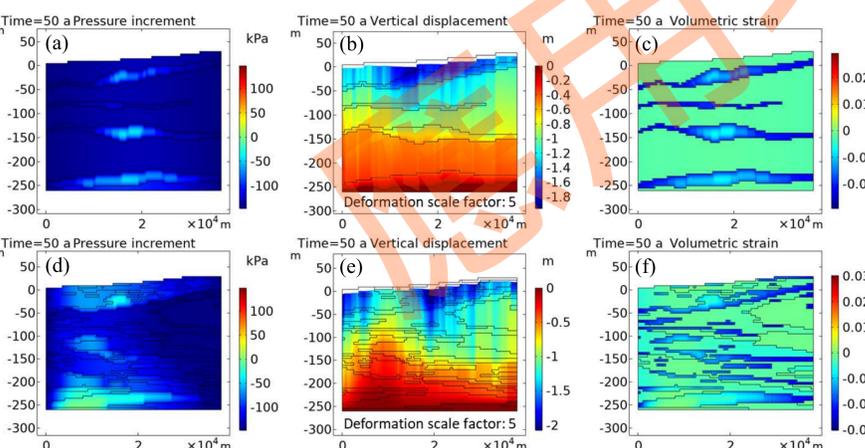


圖8 (a)-(c)模型三與(d)-(f)模型四模擬50年後的水壓變化、垂向位移與體積應變。

- 模型三 vs. 模型四：阻水層壓密機制差異—以馬光站為例

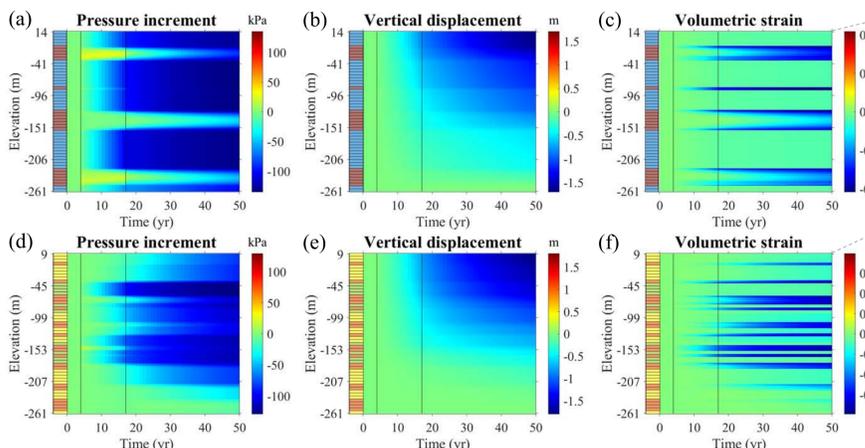


圖9 (a)-(c)模型三與(d)-(f)模型四中馬光站不同深度隨時間變化的水壓變化、垂向位移與體積應變。

- 假想模型：參數相對敏感性分析

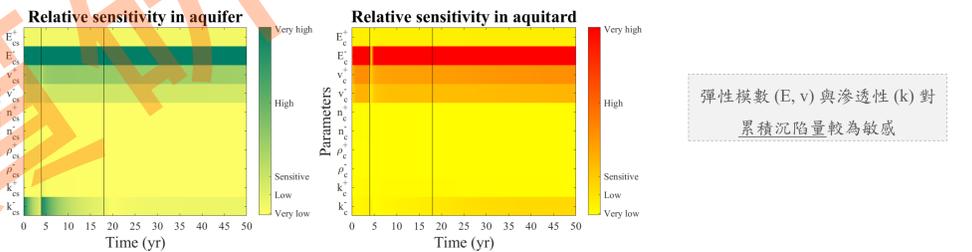


圖7 含水層與阻水層參數對累積沉陷量的相對敏感度。

- 模型四：定值參數 vs. 時變參數

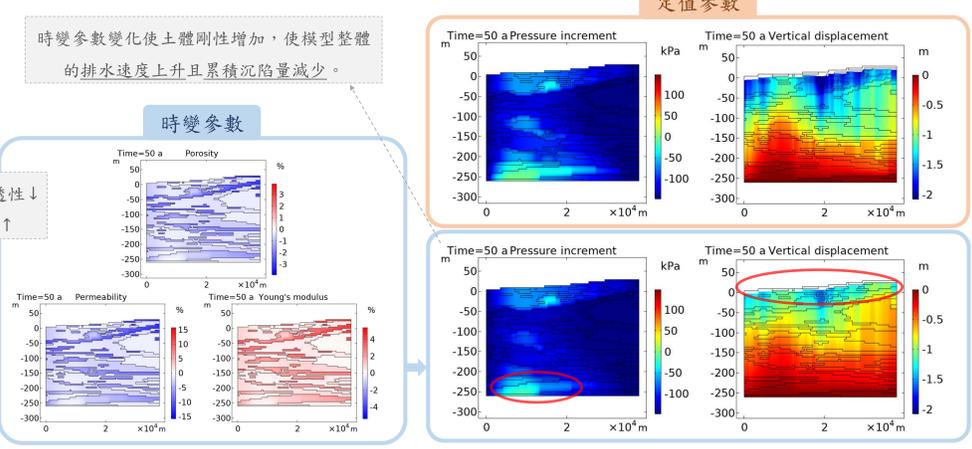


圖10 模型四在定值參數與時變參數系統下，模擬50年後的水壓變化與累積沉陷量。

- 現地模型：最終沉陷量 & 沉陷行為與土體材料之關係

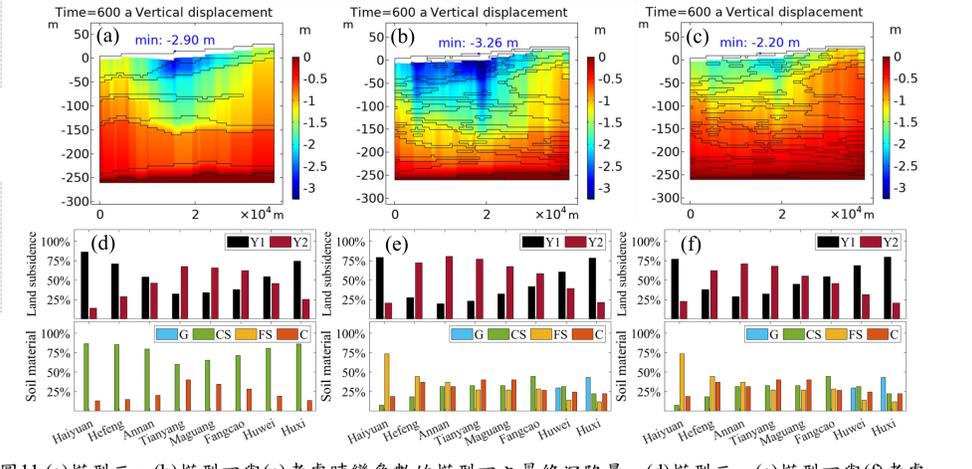


圖11 (a)模型三、(b)模型四與(c)考慮時變參數的模型四之最終沉陷量。(d)模型三、(e)模型四與(f)考慮時變參數的模型四中各觀測點即時沉陷(Y1)與延遲沉陷(Y2)之比例，以及其下方土體材料之比例。

- 現地模型：到達最終沉陷量時間

模型四(CGS)的沉陷時間 > 模型三(WRA)的沉陷時間
考慮時變參數使模型四(CGS)的沉陷時間減少

圖12 模型三、模型四與考慮時變參數的模型四中各觀測點的沉陷時間。

五、結論

- 在水-力耦合模式下模擬地層下陷，累積沉陷量的大小、分布情形與到達最終沉陷量時間皆受區域地質架構的影響。在地層下陷模擬中，亦應考慮時變參數的影響，土體特性的變化會影響排水速率與壓縮性，若僅以定值參數模擬地層下陷會高估其累積沉陷量大小與沉陷時間。