

林頤謙¹、董家鈞¹、盧育辰²

¹國立中央大學 應用地質研究所

²國立中央大學 材料科學與工程研究所

1. 前言

地表下三十公尺內之平均剪力波速(Vs30)是一個被廣泛用於評估場址效應的重要參數，過往有許多利用地質統計方法如Kriging、Kriging with varying local means等對參數進行空間插值，推估未進行波速量測位置之Vs30，但台北盆地土壤側向的組成變異度大，往往未能完整考量到地質及參數的空間變異性，以致無法提供更具可靠的Vs30空間分布。

隨機場(Random field)理論為一種可描述空間中非連續或連續參數的空間變異性方法，本文為了評估地表下剪力波速之空間分布，因此需要與地質模型相依之土壤物性參數空間分布，本文利用Lu et al.(2023)提出之隨機場方法，即可根據鑽探資料模擬空間中可能的地質模型及其相依之土壤參數模型(如圖1)。

綜合以上，本文有兩大目標：

1. 本文以蒐集之資料庫，並參考前人對台北盆地分層之研究建立三維地質模型、耦合土壤物性參數及顯示其不確定性。
2. 本文利用郭俊良(2021)所建立之孔隙比、有效應力與剪力波速之經驗公式，計算得一系列Vs30空間分布，並統計空間中Vs30的平均值及不確定性，並探討地質知識評估Vs30之重要性，以地質模型是否考慮台北盆地基盤作為研究探討對象。

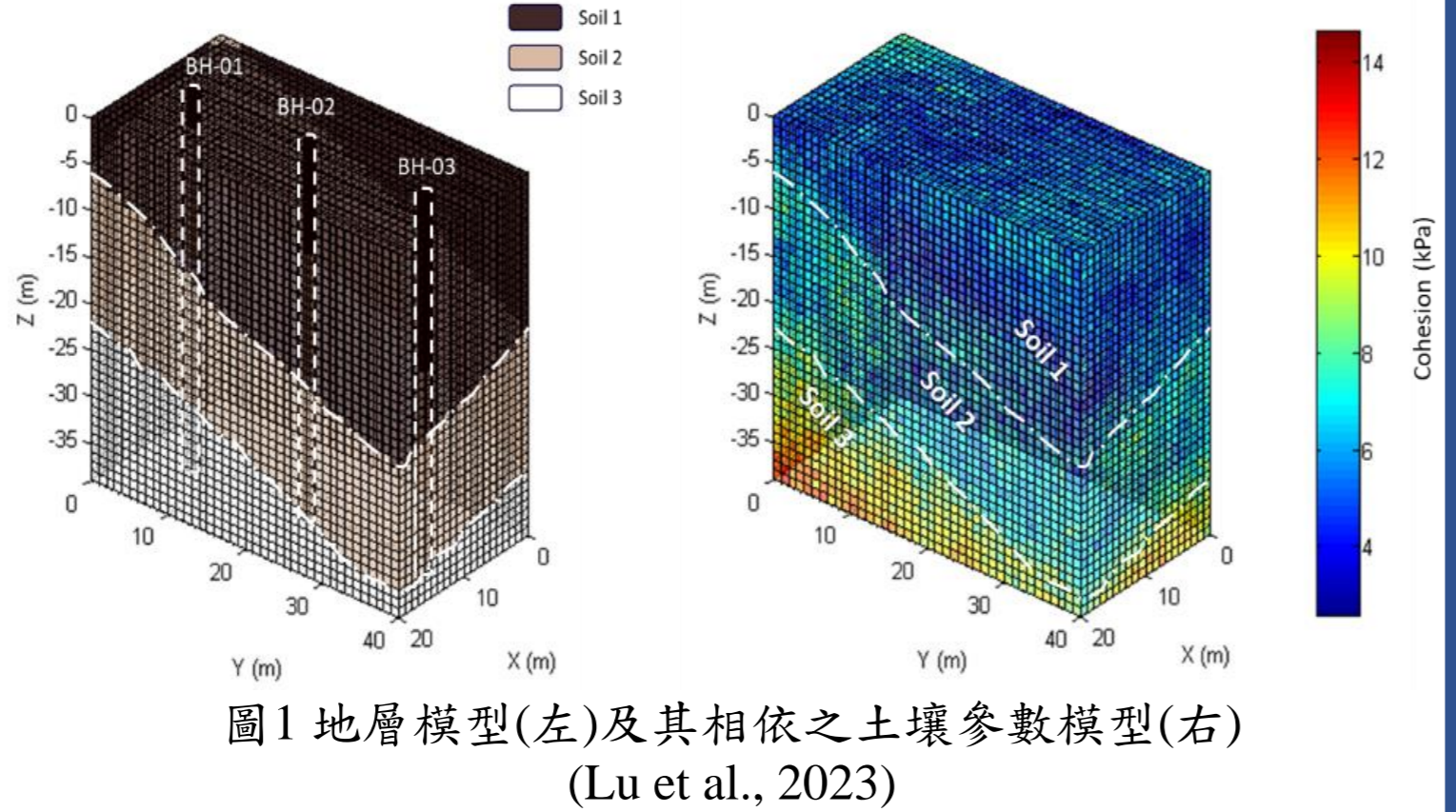


圖1 地層模型(左)及其相依之土壤參數模型(右) (Lu et al., 2023)

2. 資料蒐集

主要資料來源：

1. 地調所工程地質探勘資料庫，資料內容為鑽探資料與物性試驗資料。
2. 強震測站工程地質資料庫，資料內容為鑽探資料
3. 水文地質資料庫，資料內容為鑽探資料
4. 李錫堤等(2002)，資料內容為鑽探資料與地球物理剖面點位判釋資料

表1 本文使用資料用途及篩選結果

用途	資料來源	篩選後實際使用之總資料量
台北盆地基盤建模	<ul style="list-style-type: none"> 工程地質探勘資料庫(CGS)於台北盆地鑽井資料，共10768孔 強震站資料庫(EGDT)於台北盆地鑽井資料共41孔 水文地質資料庫(HGD)於台北盆地鑽井資料，共14孔 李錫堤等(2002)使用之鑽井資料共303孔，地物資料共93筆 	2845孔
A區地質模型建模 (研究區見圖2)	<ul style="list-style-type: none"> 比對中央地調所(2011)剖面上鑽井與工程地質探勘資料庫(CGS)於台北盆地鑽井資料，共130孔 	33孔
土壤物性參數	<ul style="list-style-type: none"> 工程地質探勘資料庫(CGS)於台北盆地物性資料，共990,441筆 	433筆

3. 研究方法

本文先針對台北盆地鄰近淡水河以東、基隆河以南區域(以下稱A區)，作為研究場址(圖2)。

1. 資料檢核
檢核資料來源之品質，包括：鑽孔座標、孔口高、土層物性參數等。
2. 統計土壤物性參數
針對不同土層進行物性參數統計，含各土層單位重及孔隙比平均值及標準差。
3. 地層邊界之空間分布
利用克利金法建立松四層頂面及基盤邊界(圖4a)的空間分布當作模型控制邊界。
4. 地質模型與土壤物性參數之空間分布
根據空間中鑽井處地層分布、各土層物性統計資料及步驟3之地層邊界，利用耦合地質與參數隨機場，生成地質模型、單位重及孔隙比的三維空間分布，見圖3(b)(c)。
5. 計算Vs及Vs30空間分布
根據土層物性參數空間分布模擬結果，利用郭俊良(2021)剪力波速與土壤物性參數之關係式，得到Vs三維空間分布，如圖3(d)。再根據波速走時關係，計算各地表位置下30m內平均剪力波速(Vs30)之空間分布，如圖3(e)。
6. 計算Vs30分布圖之平均值及不確定性
重複1000次步驟4~5，產生1000組Vs30空間分布資料並進行統計，可得Vs30平均值及標準差的空間分布。

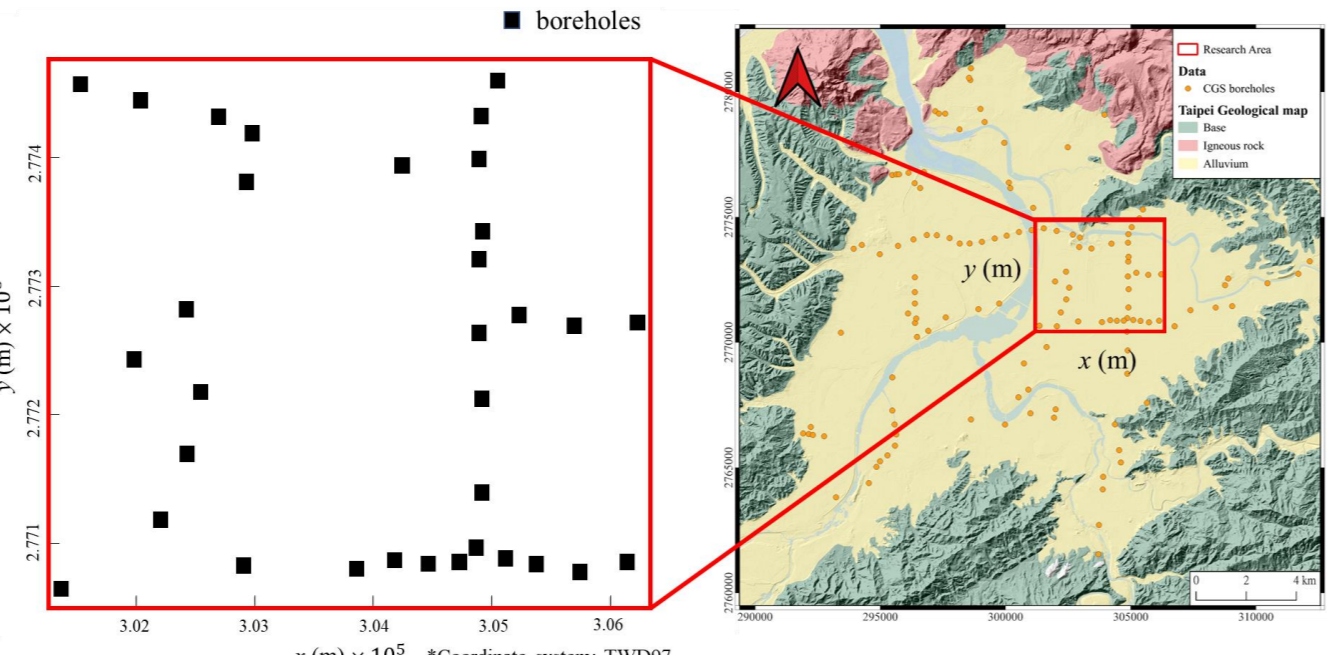


圖2 研究區(A區)位置

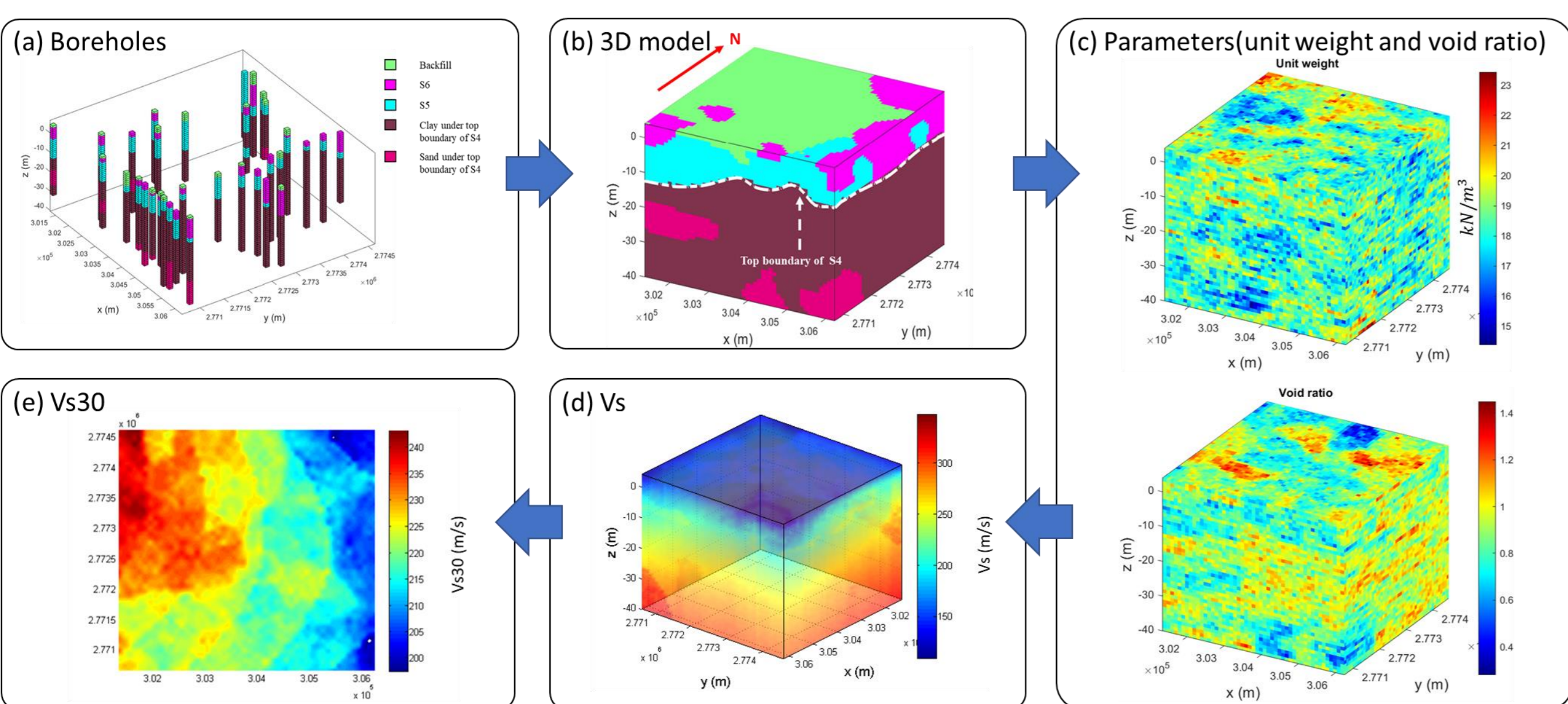


圖3 考量地質及土壤參數不確定性之Vs30模擬流程

4. 建模成果與不確定性

台北盆地基盤建模成果(圖4a)與李錫堤等(2002)(圖4b)趨勢大致相同，且隨近年鑽井數大量增加後，在盆地邊緣基盤較淺的位置可以得到比以往更加精確的成果，作為後續建模良好的一個邊界控制。

A區以松四層頂面為控制邊界，建模成果如下圖5a並與中央地調所(2011)地質剖面進行比較(圖6)，因本文為三維的模擬，地層分布仍會受空間中鄰近鑽孔資料的影響，與前人研究成果有些許差異，但分層趨勢大致與前人所繪製之地質剖面相同。

地質模型不確定性的量化，本文以1000次MRF模擬之地質模型結果作統計，並以資訊熵(Information entropy)描述區域地層之不確定性(圖5b)，定義如下：

$$H(i) = - \sum_{l \in L} P_l(i) \log P_l(i)$$

P_l 為土壤種類 l 出現的機率、 L 為所有種類的土壤、 i 為模型第 i 個網格，故可以得知當模擬 n 次後，若第 i 個網格總是100%為某一土壤，則資訊熵 $H(i)$ 為0，反之亦然，隨著 $H(i)$ 的上升，表示該位置之不確定性越高，由圖5(b)可見不確定性高之位置多落於不同土層之邊界處。

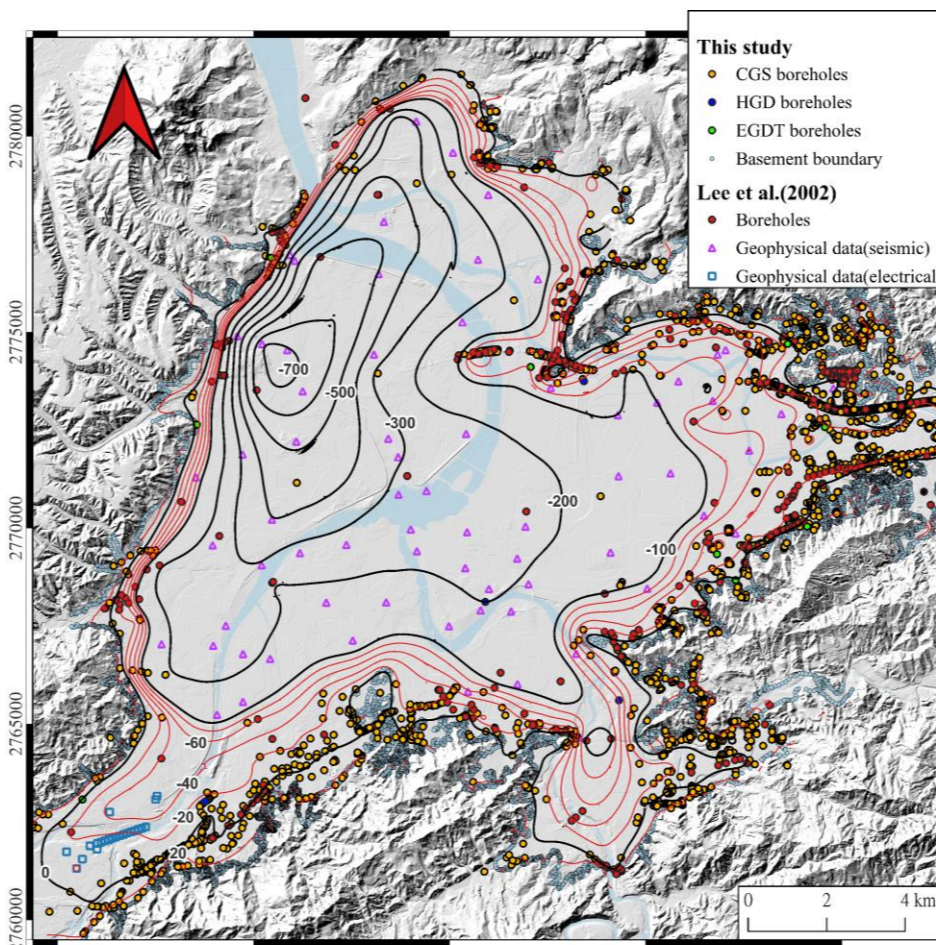


圖4(a) 本文基盤建模成果

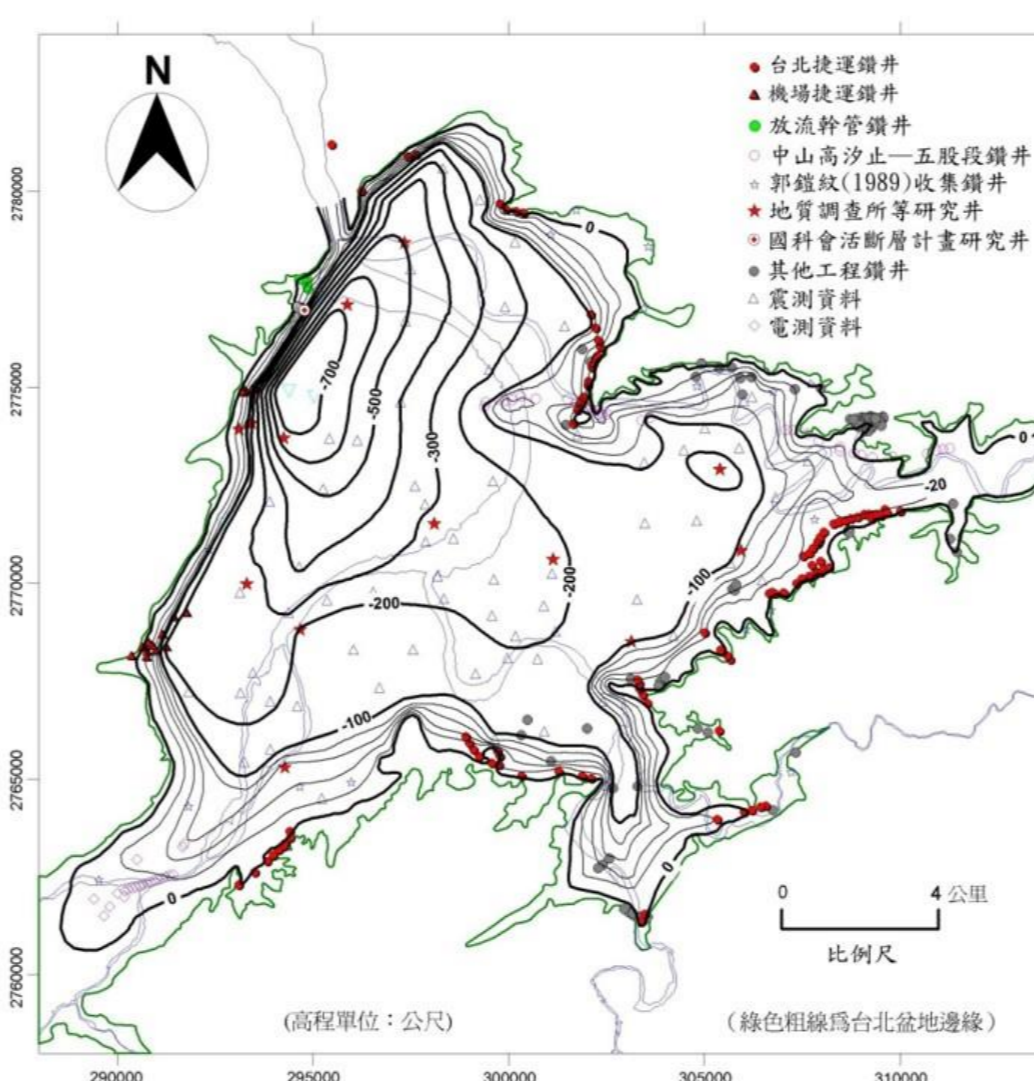


圖4(b) 李錫堤等(2002)基盤高程等值線圖

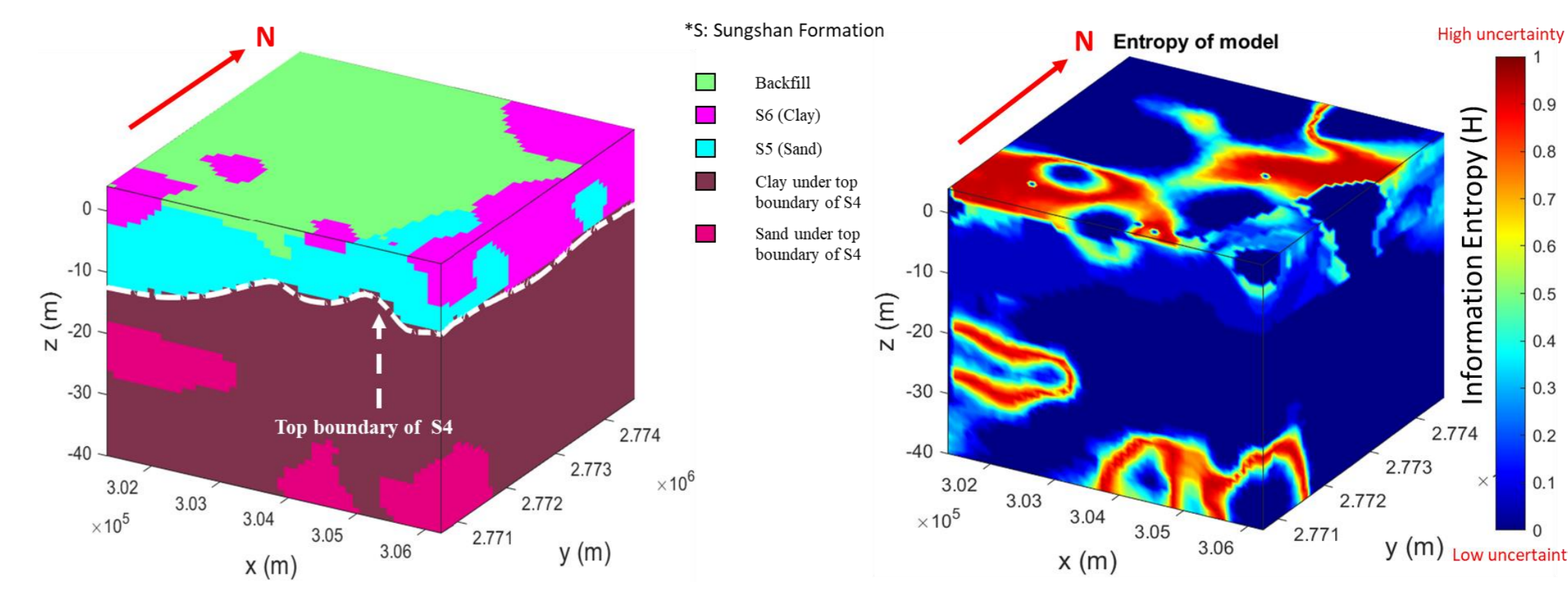


圖5(a) 建模成果

圖5(b) 不確定性成果

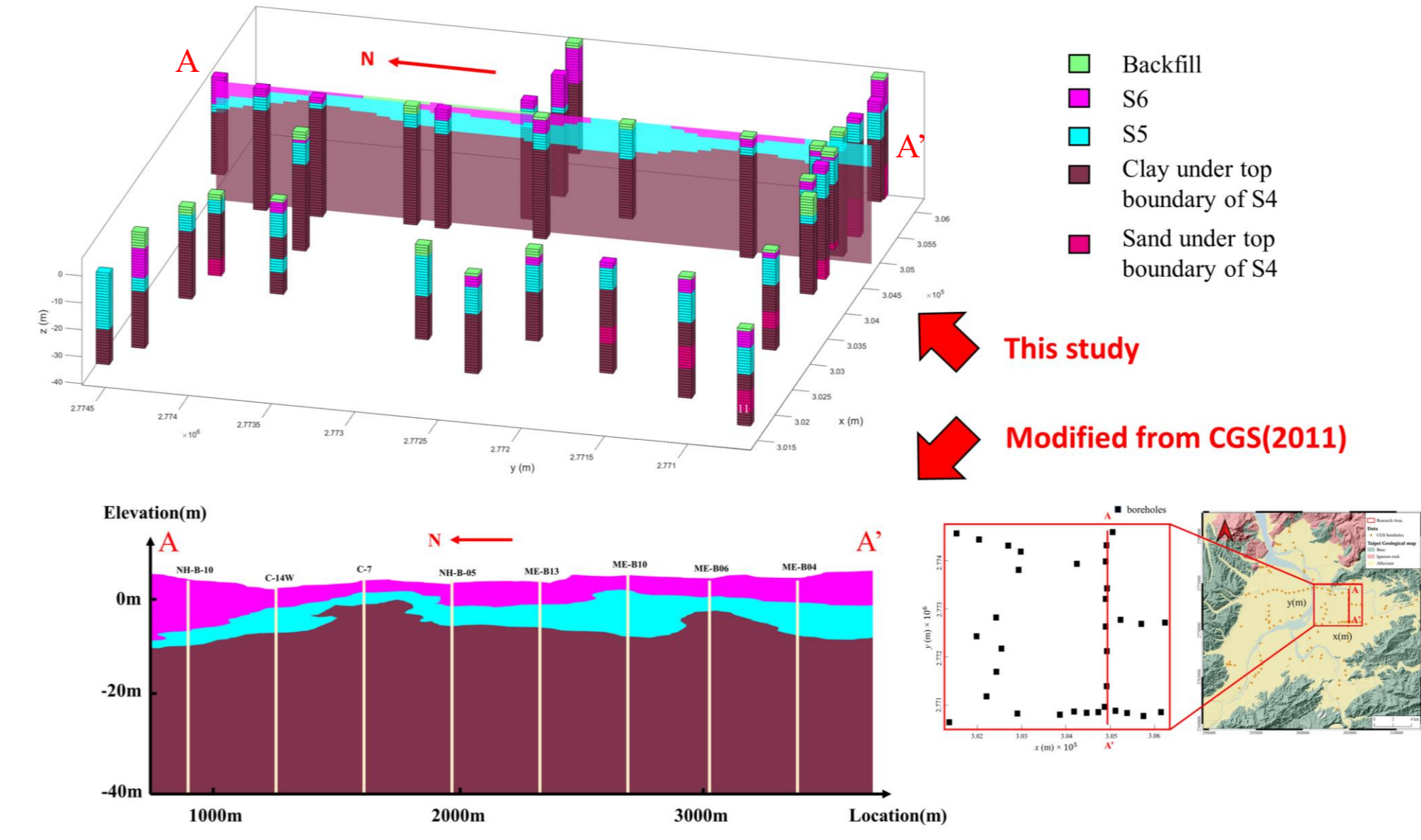


圖6 A-A'剖面與地調所(2011)比較

5. Vs30分布圖與不確定性

根據本文提出之模擬方法(圖3)，可考量地質模型不確定性分析得一系列Vs30之空間分布並進一步統計空間中Vs30平均值及不確定性，得到更可靠之A區Vs30分布。

圖7為有無考量基盤邊界之Vs30的空間分布。由圖7可知，在此案例中，未考慮台北盆地基盤的地質模型，在分析台北盆地邊緣處Vs30時，有嚴重低估其值之情形，與郭俊良(2021)Vs30空間內插結果比較(圖8)，鄰近盆地邊緣的相同位置，相差130m/s左右。

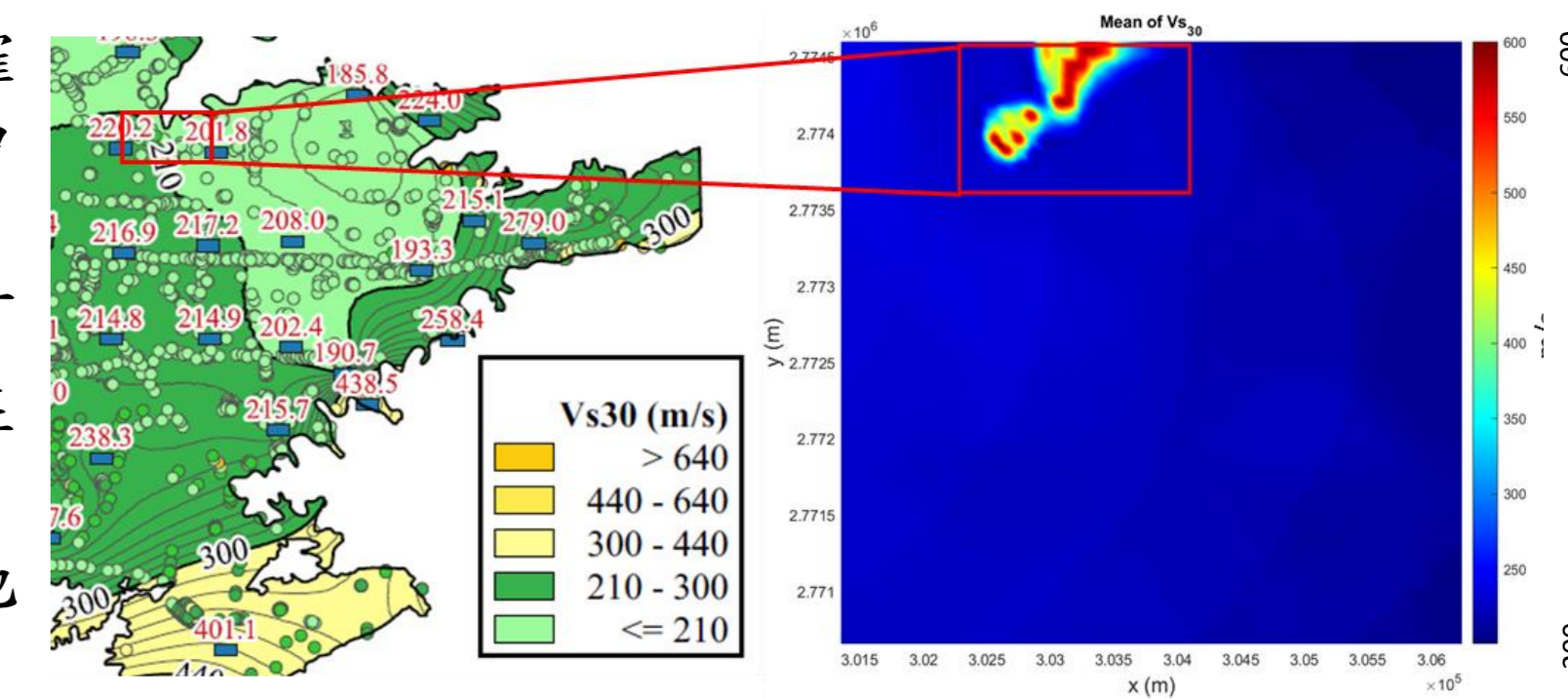


圖8 A區Vs30平均值與郭俊良(2021)比較

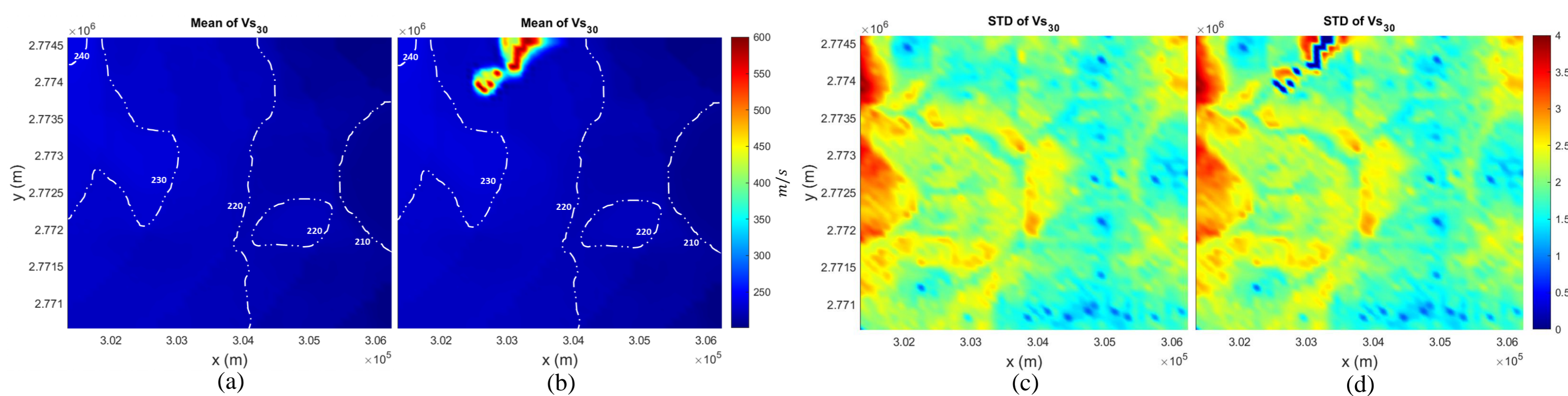


圖7 (a)未考量基盤Vs30平均值 (b)考量基盤Vs30平均值 (c)未考量基盤Vs30標準差 (d)考量基盤Vs30標準差之空間分布

6. 結論

1. 本文提出一套研究方法，能夠考量地質模型與土壤參數空間變異性，模擬空間中一系列Vs30分布，並進一步統計空間中Vs30不確定性分布，提升過去前人所提出之Vs30空間分布圖(多以定值式方式呈現)可靠度。此套研究方法未來可作為各地分析Vs30空間分布之參考，相關研究成果亦能作為後續地震災害分析及其風險評估之用。
2. 本文亦針對地質模型是否考慮台北盆地基盤，作為探討地質知識對評估Vs30重要性之對象。由研究結果可知，在本案例中未考慮台北盆地基盤的空間分布，在分析台北盆地邊緣處Vs30時，會嚴重低估其值；相較於考慮台北盆地基盤的空間分布，低估了超過40%以上。顯示地質知識對地質模型建模及後續分析之重要性。

參考資料

Lu Y.C., Yeh C.H., Chien W.Y., Juang C.H., Dong J.J., Hung W.Y.(2023). A new approach for modeling a "stratigraphic and property-dependent" random field (draft). Manuscript submitted for publication.
 李錫堤、黃德銘、廖啟燮、陳宏仁(2002)。地下地質資料庫系統的建置與應用--以台北盆地為例，地工技術(89期)，13-26頁。
 中央地調所(2011)。台北盆地的地質與防災，第二章。
 郭俊良(2021)。以孔隙比、有效應力與剪力波速關係繪製台北盆地Vs30分布圖。國立中央大學應用地質所碩士論文。

致謝

本研究由國科會自然處卓越領航研究計畫(NSTC 111-2123-M-008-001)支持，研究使用之強震測站工程地質資料庫由國家地震工程研究中心與中央氣象局提供，工程地質探勘資料庫由中央地質調查所提供，以及李錫堤老師提供文章內所使用之鑽孔與地物資料，特此感謝。