

出國報告（出國類別：研究）

都市防災地質資訊管理與應用

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：蘇品如技士

派赴國家：法國

出國期間：105/9/10~105/9/24

報告日期：105/11/11

摘 要

由於都市不斷地發展，各項工程建設的安全都奠基於對地下地質的了解，都市地質已成為世界各國十分重視的專業領域。中央地質調查所歷經二十餘年的調查研究，累積國內大量地下地質資訊，並著手彙整圖資，開發互動式網路查詢分析系統。

法國地質調查所也發展了優良的地下地質建模程式，並建立地下地質資料庫，予以管理分析都市地質資訊。此技術研習交流之目的，即在學習法方經驗，激盪彼此想法，以精進雙方在都市地質之發展。研習期間實際使用法國的建模軟體，發現相當容易上手，建模與分析模組與資料庫緊密結合，查詢也十分簡便，在建立三維模型時，人工的編修也不會影響到原始資料，並且可以設定層面接觸關係，使建立之模型更加精細。然而在地質災害的應用分析上，則以中央地質調查所發展的都市防災地質輔助分析系統為佳，三維網格化的資料，在分析計算和剖面展繪及出圖上都可快速系統性地呈現。法國開發的程式雖然也可將資料三維網格化，但尚未應用於地質災害分析，兩者各有所長，可以彼此互補。

經此次技術交流，法國地質調查所非常有意願與我方繼續合作，發展都市地質相關領域之研究及技術，截長補短，以精進未來都市地質的成果，呈現資訊清晰、完整，並容易理解的都市防災地質圖，設計便於操作的網路查詢分析系統，以利國土規劃、工程設計、都市計劃等專業人員及民眾查詢應用，增進對地質環境的了解，避免可能的地質災害。

Abstract

In pace with the continuous development of cities, the construction safety is based on our knowledge of subsurface geology. Urban geology has become an expertise field worldwide. Central Geological Survey (CGS) had accumulated a lot of subsurface geological data through the 20-years study of Taiwan's urban area and also proceeded to aggregate map data and develop an Internet inquiry and analysis system in order to improve our understanding of geological environments and to avoid geological hazards.

French geological survey (bureau de recherches géologiques et minières, brgm) developed a great software, GDM, for geological modeling and it can be used on database establishing and data management. The purpose of this visit is to exchange our experience and improve our study on urban geology. During the visit, we tried to establish a geological model of a local urban area in Taiwan via GDM. It's very convenient establishing a 3D subsurface geological model and displaying data on random profiles. It's also easy editing the location of each surface and its contact relationship with others. On the other hand, the software developed by CGS helps to analysis susceptibility of geohazards through the digital data recorded in 3D meshes.

Each software has its own advantages. If we can collaborate and combined the strengths of each other, the results of urban geology can in favor of territorial planning, engineering, urban planning, and public inquiry. It will also be great helpful on varies orientations, such as domestic construction, industrial development, people's living, etc.

目 次	
一、 目 的	1
二、 過 程	2
(一) 行程安排	2
(二) 研習內容	4
1.都市地質建模軟體及都市防災經驗交流	4
2.臺灣都市地質發展演講	9
3.臺灣案例之應用	13
4.其他相關地質防災、軟體及系統應用	16
5.後續合作	17
三、 心得及建議	18
(一) 都市地質建模及分析應用程式發展	18
(二) 內部資訊系統的建立	18
(三) 研習安排的行政支援	19
(四) 研習日程及後續交流	19
(五) 對訪問單位的回饋	19
四、 附 錄	20
(一) 研習生活照片	20
(二) 演講摘要	22
(三) 演講簡報	23

一、 目 的

隨著都會區不斷擴大，各項建設需求反映出工程地質的重要性。國內各項工程開發不乏地質災害案例，然而根據國際研究，恰當的規畫和土工設計可減少 5-20%的工程費用，並減低地質災害的發生。因此近年來，都市地質已成為世界各國非常重視發展的領域：包括法國、加拿大、美國、荷蘭等，皆有專門著作和圖資出版。

我國自然環境上地震颱風頻仍，且地質構造複雜，地質災害在所難免，加上地狹人稠造成都市人口密度極高，正確的地質資訊的揭露更加重要。唯有對各地的工程地質條件及潛在的地質災害有更加深入的認識，才可避免不當的土地利用或開發危及人民安全及產業發展。

中央地質調查所自 1992 年起即展開一系列的調查研究計畫，累積大量地下地質資料，並不斷朝都市防災地質資料之彙整與應用精進。都市地質資料要能提供使用者顯明易懂的區域地下地質概況及地質災害潛勢等訊息，因此圖資如何呈現、後端龐大的資料儲存管理如何規劃，遂成為此時期非常重要的發展目標。此外，面對網路時代的來臨，若能將分析結果、地質資訊及其他相關資料整合，建構網路防災地質資料庫與查詢系統，讓地質資訊能以簡易的空間資訊取得方式，可使都市地質的應用層面更加廣泛，也更有效預防災害的發生。

臺灣因其容易發生自然災害的特性，地質災害的預防重點不在選擇一個絕對安全的地點，而在深入了解地質環境，因地制宜因應潛在的災害風險。都會平原地區因地質材料鬆軟，普遍存在土壤液化、地層下陷及軟弱土層分布問題。因此，都市地質的使命應是由地質專業的角度出發，將地質資訊轉換為其他領域的專業人員和民眾可以理解的訊息，以致在工程建設的選點、設計上，可以有妥適的規劃，不致因為選點的自然環境條件使重大建設停滯，讓產業得以穩定發展，對一般民眾而言也毋須憂慮居住安全。

目前中央地質調查所已編繪各都會區之工程環境地質圖及地質災害潛勢圖，並完成單機版地下地質分析電腦輔助系統。如今都市地質相關計畫已近尾聲，國際交流合作將相當程度有助於精進都市地質之成果，讓累積的珍貴資料能達到最大的應用效能。法國地質調查所(bureau de recherches géologiques et minières, brgm)在地下地質建模方面有十分領先的技術，並已實際在土魯斯等大城市建立「都市地下地質及水文地質資料庫」，以整合規劃管理都市地質資料。此交流研習之目的，即在學習法國地質調查

所在都市地質資料之管理、呈現方式及資料庫建構的技術與概念，作為彙整全臺各都會區地質資料的重要參考，以求有最佳的都市防災地質圖及網路查詢系統呈現給國人。未來的國土規劃推動者，亦能依據此資料作出妥善規劃，有效運用公帑；國人在面對地質災害相關議題時，也能有正確的認識，不致過度恐慌。

二、 過 程

(一)行程安排

為避免法國地調所與中央地調所名稱相似造成誤會，以下提及法國地質調查所時皆採用該所簡稱 brgm。

本次研習內容係直接與 brgm 系統資訊部負責建構及開發地下地質建模軟體 (Geological digital model, GDM) 的 C. LOISELET 博士接洽，彼此討論需求後安排行程。除了在該所的研討外，本人也在該所公開演講，介紹中央地質調查所在都市地質方面的成果。

行程安排如下：

- 第一週：了解法國地質調查所都市地質之各項資料呈現與設計概念。
 - － 學習都市地下地質及水文地質資料庫的資料架構。
 - － 了解防災地質圖的資料組成、呈現資料型態及其與地質特性的關係。
 - － 介紹中央地質調查所現階段成果給法方。
- 第二週：初步設計臺灣適用的呈現方式，與法國地質調查所研究人員討論
 - － 以已完成之都市防災地質圖與法國地質調查所專家討論，初擬呈現方式調整方向，並試作之。
 - － 討論現階段都市防災地質資訊網之設計概念與現有功能，及其可能的發展。將想法帶回與資訊人員研商開發新的功能或修改資料庫格式。

實際行程表

日期及時間	訓練進修地點	實際訓練進修機構及訪談對象	訓練進修目的及討論主題
9/10	台北-巴黎	(週六)	去程
9/11	巴黎-奧爾良	(週日)	整理資料及預備簡報

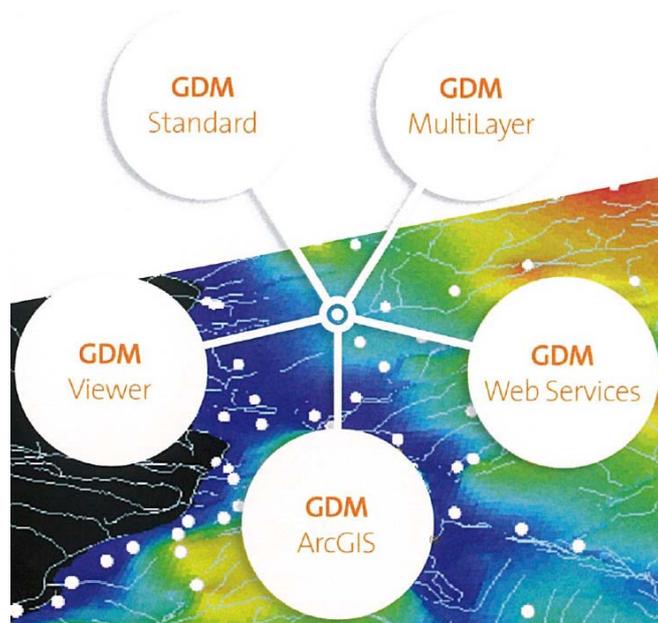
日期及時間	訓練進修地點	實際訓練進修機構及訪談對象	訓練進修目的及討論主題
9/12~9/16	奧爾良	法國地質調查所 -系統資訊部 Francois ROBIDA (部門主管) ● Christelle LOISELET ● Fabrice CATONET	● 都市地質模型建構 ● 都市地質圖製圖與資料庫架構 ● 都市地質網路資訊系統 ● 城市地質模型建構與應用—臺灣經驗：於法國地質調查所進行 1 小時演講，並直播至地區分局。
		- 羅亞爾地區分局： ● Cécile LE GUERN ● Emmanuelle PLAT -中庇里牛斯分局 ● Isabelle BOUROULLEC (視訊會議)	● 城市地質模型建構與應用—以南特和土魯斯為例 ● 城市地質的技術、發展交流
9/17~9/18	奧爾良	週末	整理資料
9/19~23	奧爾良	法國地質調查所 -系統資訊部 ● Francois ROBIDA (部門主管) ● Pierre LE BARS(訊息組織與傳播組組長) ● Christelle LOISELET -沉積盆地地質組 ● Olivier SERRANO (組長)	● 城市地質模型建構與應用—以法國建模軟體實做臺灣地質模型 ● 都市地質圖製圖與資料庫架構 ● 都市地質網路查詢系統建構
		-防災部門 ● Daniel MONFORT CLIMENT	● 地質災害分析與資料管理
		-國際部 ● Pierre THIERRY (亞洲區經理)	● 臺灣與法國地質調查所後續合作方向及合作方式
9/23	奧爾良-巴黎	工作行程結束後前往巴黎以便 隔天早晨搭機返台	返程
9/24	巴黎-台北	(週六 Saturday)	返程

(二)研習內容

1. 都市地質建模軟體及都市防災經驗交流

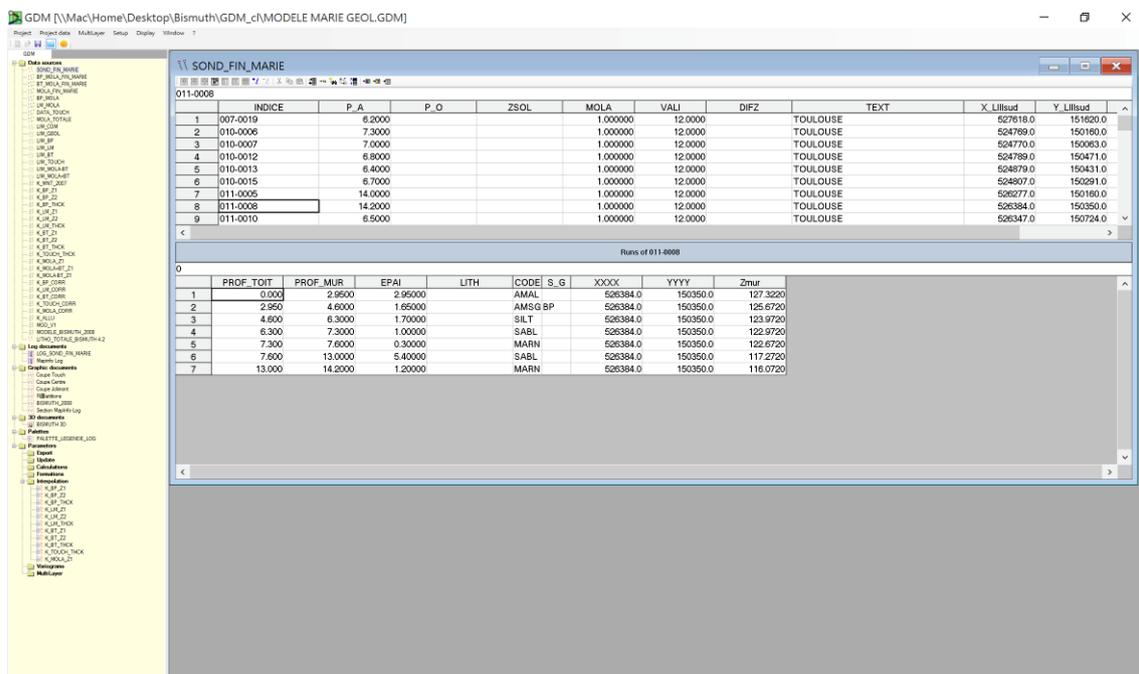
本次研習之起源係 brgm 出版的「地質科學：城市與都市地質 (Villes et géologie urbaine, Géosciences)」刊物上，Isabelle BOUROULLEC 博士等人所發表的「都市地質資料管理 (Gestion des données géologiques en milieu urbain)」一文。該文所述的「BISMUTH 資料庫 (Banque d'Informations du Sous-sol en Milieu Urbain de Toulouse en géologie et Hydrogéologie, Bank of geology and hydrogeology data on the urban basement of the city of Toulouse)」係使用 brgm 自行開發的 GDM 軟體建立土魯斯的地下地質和水文資料庫，因此本研習的一大主題即在學習 GDM 的資料架構，和土魯斯的資料庫實際應用。

GDM 是僅限於 Windows 系統上執行的軟體，不適用於 Mac 的 ios 系統。整體分為 5 個部分，包含主程式(GDM standard)、多層分析(GDM multi layer)、閱覽模式(GDM viewer)、ArcGIS 外掛插件(GDM ArcGIS)及網路服務(GDM web services)。惟網路版尚在發展中，法方僅向我展示了簡單的示範模擬；而 ArcGIS 的外掛軟體雖以可以使用，也還在發展使其更加穩定中；GDM viewer 則僅有瀏覽已建立模型的功能，無法建模或修改資料。本次研習主要使用的為 GDM 主程式，熟悉資料格式和基本功能，以及 GDM 多層分析，用以建立三維地下地質模型。brgm 除了提供 GDM 內建的地質模型範例外，也提供完整的土魯斯 BISMUTH 資料庫和資料說明書，讓我一邊閱讀，一邊實際操作，更深入理解他們建構都市地質模型及資料庫的想法。此外也嘗試將建好的模型匯入 ArcGSI 軟體，在 ArcGIS 下查詢、分析，也方便與其他地理資訊系統既有圖層套疊，進行比較或其他分析。



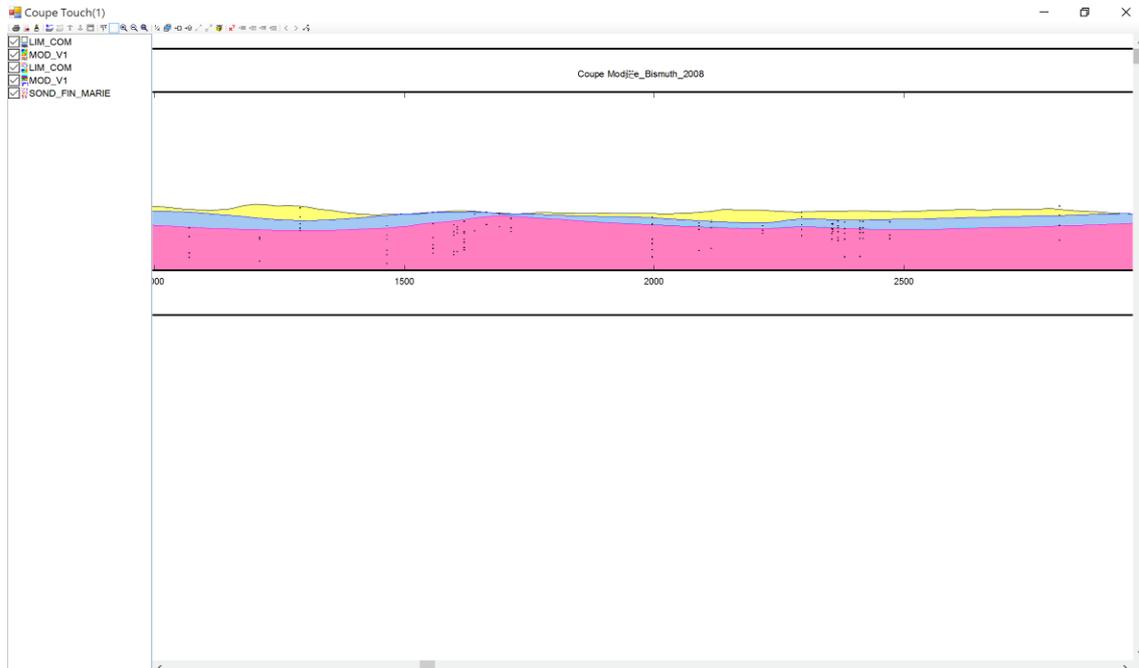
GDM 軟體架構

所有的資料輸入皆由主程式進入，輸入方式適用鑽井資料，因此適合城市地質以鑽井資料為最主要資訊來源的特色。其輸入資料的格式簡單，使用 excel 表單即可，表單欄位設定也很直覺，以坐標標定井位，並輸入不同地層的深度即可。地層的分類方式、顯示的圖紋等，則可自行定義。



資料輸入畫面，係為簡單的表單，也可以直接由已建立的 excel 表單匯入。

輸入鑽井資料後，便可開始使用軟體內的功能，自動分析或展繪各樣圖資。包括最常用到的個別探井的柱狀圖(pattern 可自訂)，或是任意剖面的剖面圖。不過剖面圖雖然能展示所有探井的位置，也將地層自動在側向連接，但無法進行地層側向對比的編修，此功能和三維建模必須在多層分析功能下進行。不過剖面圖的展繪可以任意調整垂直相和橫向的比例，十分便利。



任意剖面可自動展繪，地層圖紋也可依使用者自行定義

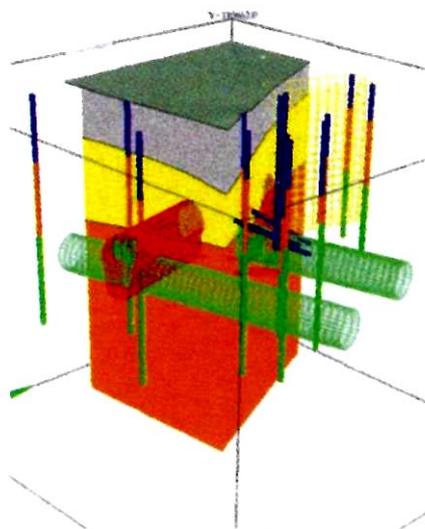
GDM 主程式僅在基本資料的建立，若要真正進入建模，則可利用 **multilayer** 這個功能。可以編修各層面位置，並指定層面之間截切關係，進行剖面編修和模型的建立相當方便，且不會修改到原始資料。當不確定時也可以嘗試重新計算模型後再視情況調整。由於地下地層的變化十分複雜，並不存在一套可以完全自動計算地下三維模型而不需要人工編修的軟體，可是編修時，我們又不希望改動原始的資料，以免經過多次修改後，對於到底何者為原始資料產生混淆。資料與解釋應該有所區分。因此 GDM 的這個設計就十分理想，可以讓建立模型者在三維的環境下構思和嘗試。

GDM 多層分析的另一個優點，是可結合其他不同屬性資料一併呈現，而能互相比較。例如三維的捷運路網與地層模型同時呈現，工程設計者在設計規劃時便可清楚知道捷運通過哪些地層，與地層的交互關係為何。在工程的設計尚可事先避開破碎地層，或是即早設計因應的工法。在現今都會區許多建設都逐漸地下化的時代，

第下充滿了坑洞、隧道，不同屬性資料的三維關係更顯重要。



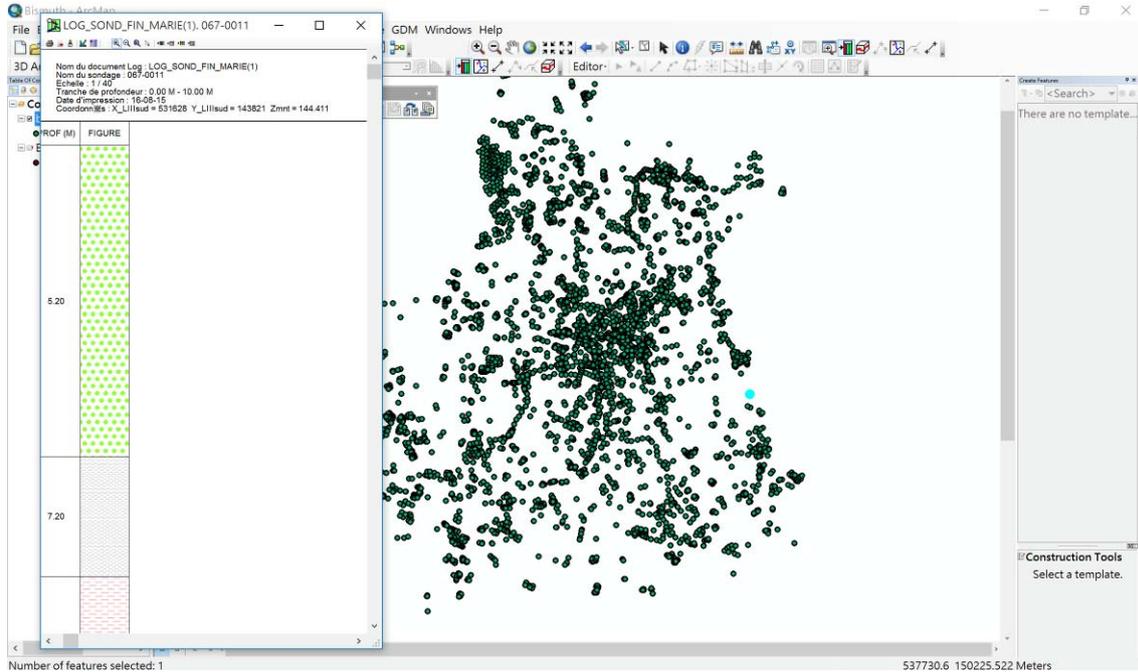
GDM Multilayer 的分層範例。在建模前須先指定不同地層的層位和接觸關係



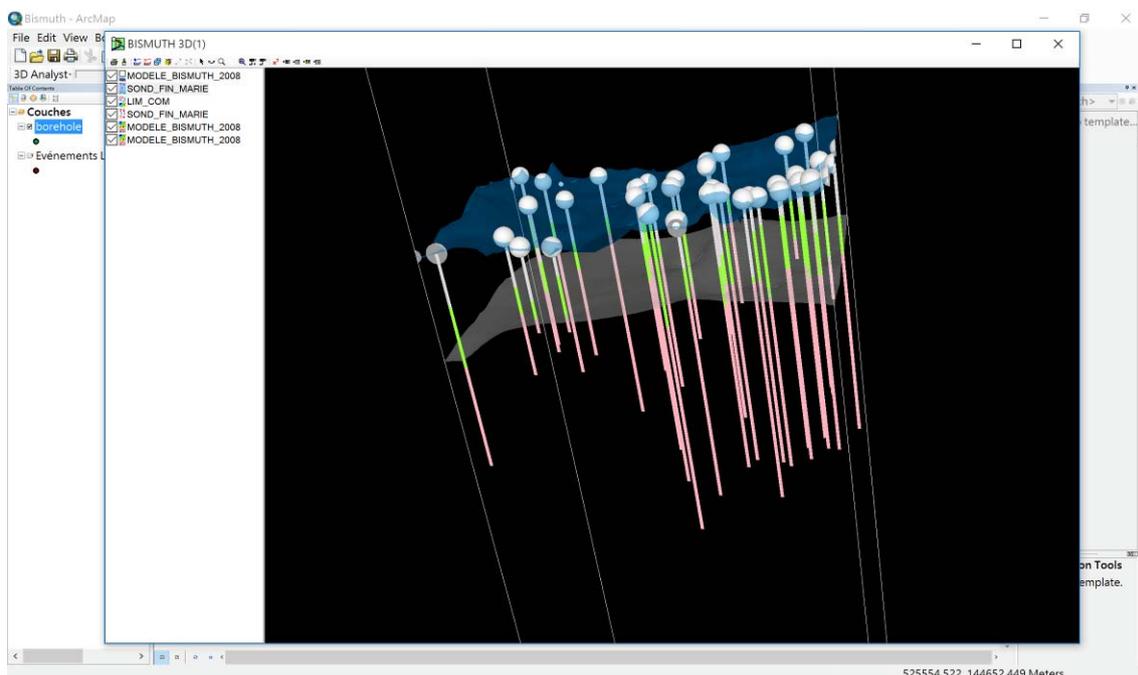
鑽井、地層與捷運路網三維關係

地理資訊相關的軟體寫載 ArcGIS 外掛程式以是近年的趨勢，ArcGIS 是普及率非常高的 GIS 軟體，在 ArcGIS 下展繪的圖資還可和其他來源的資料一起套疊、分析，十分便利。GEM 的 ArcGIS 外掛程式不具建模功能，僅可在 ArcGIS 底下查詢瀏覽及出圖，建模必須在主程式中進行，此外在使用同一個資料庫時，GDM 主程式與 ArcGIS 外掛差件無法同時開啟，這部分 brgm 仍在優化中。

於 ArcGIS 使用 GDM 外掛插件開啟 BISMUTH 資料庫，圖面呈現資料庫內所有探井位置，點擊個別探井可查詢單井的柱狀圖；或也可選取任意剖面展會剖面圖，或選取區塊呈現三維資訊。查詢功能十分簡便直覺，容易上手。



於 ArcGIS 使用 GDM 外掛插件開啟 BISMUTH 資料庫查詢單點井位柱狀圖



於 GDM 之 ArcGIS 外掛插件，選取局部區塊可呈現三維資訊，含井錄岩性、地層面，並可任意調整視角及垂質或水平相比例

除了學習建立資料庫的軟體外，地質建模的想法和都市地質的應用也是本次研習十分重要的一環。原本規畫至 brgm 的中畢里牛斯地區分局拜訪發展土魯斯 BISMUTH 資料庫的 Isabelle BOUROULLEC 博士，由於她的時間無法配合，遂改由視訊會議進行。此外，由於我將分享臺灣經驗的演講訊息已發送給 brgm 所有人員，雖然當時有對各地區分局線上同步轉播，仍有人因有會議或其他要務無法收看。其中羅亞爾地區分局的 Cécile LE GUERN 博士和 Emmanuelle PLAT 博士也加入了此次視訊會議，在三方會談之後我們則又繼續個別的雙方視訊會議。對於都市地質圖的呈現內容、比利尺、更新頻率等進行意見交換。



本人與 Christelle LOISELET 博士在 brgm 奧爾良的科學中心 (左上) 同時與位於南特的羅亞爾地區分局 (左下) Cécile LE GUERN 博士、Emmanuelle PLAT 博士，及位於土魯斯的中底里牛斯分局 (右上) Isabelle BOUROULLEC 博士進行視訊會議。

2. 臺灣都市地質發展演講

本次研習期間，brgm 也為我安排了 1 小時的演講，讓我能將地調所在都市地質方面的成果和想法介紹給大家。在出發前即已提供 brgm 本次演講的英文摘要 (如附件)，已供 brgm 人員了解演講內容。現場有數十位專家學者蒞臨，包括 brgm 的副科

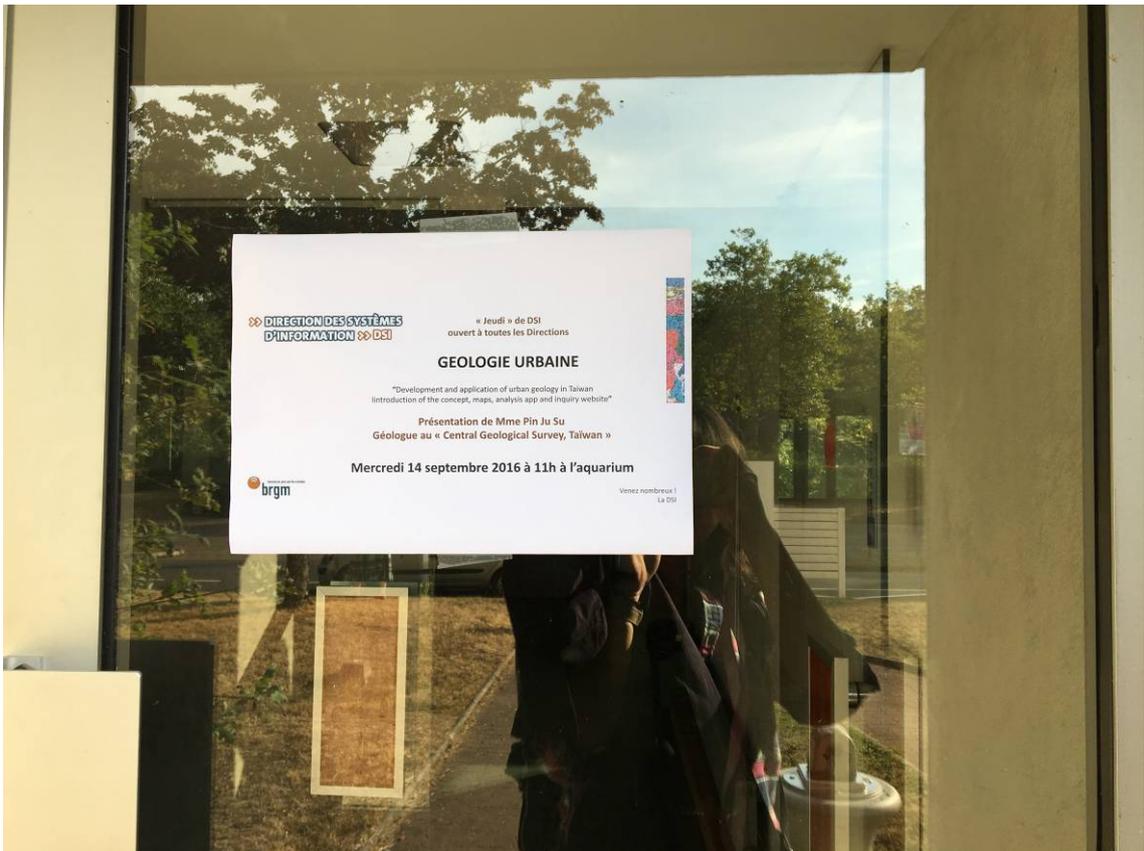
學總監兼執行長 (Deputy Scientific Director and CEO) Pierre TOULHOAT，不僅到場聆聽，也在演講後提問與我討論，足見 brgm 對本次訪問及臺灣經驗之重視。位於奧爾良的 brgm 總部係為其科學中心，尚有其他地區分局散布在法國各區主要城市，為使交流更加廣泛，brgm 也特別設置了對該所各地區分局的網路同步直播系統，使其他地區的專家學者也可以同步收看我的演講。

我演講的內容主要細介紹地調所在都市地質上過去的發展成果和未來展望，以 99~106 年之「都市防災地質圖測勘發展計畫」為主軸，介紹地調所在臺灣各平原地區進行的調查，地下地質模型的建立、都市防災地質圖和工程環境地質圖的測製，以及輔助分析系統和土壤液化查詢系統的功能。

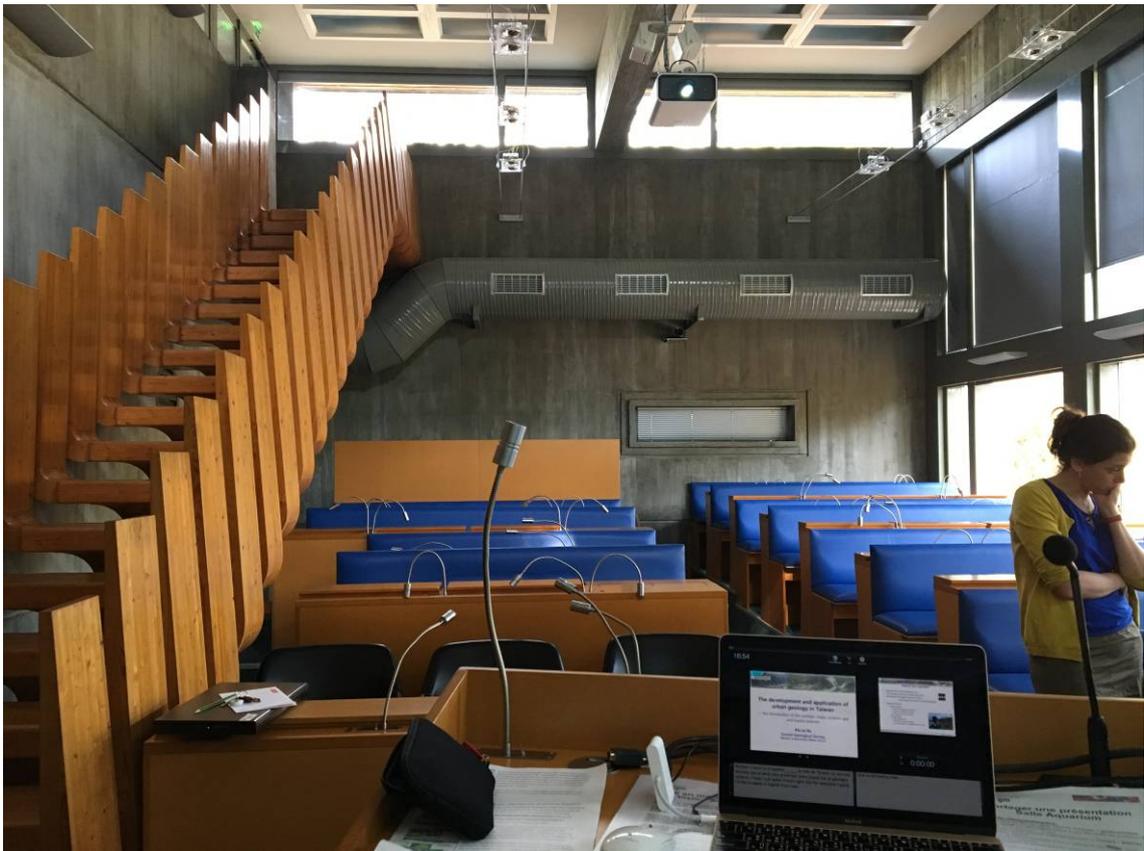
演講後也有許多互動，提出的意見彙整如下幾點：

- ✧ 地調所的分析系統似僅以鑽探資料為主，對於其他資料的處理情形。
- ✧ 詢問對於土壤液化查詢系統的民眾反應，及是否有對民眾說明解析度和適用範圍，為民眾釋疑等。
- ✧ 對於人為整地回填土在分析上的處理。
- ✧ 內插分析方法。
- ✧ 土壤液化分析時對地下水位的選擇和對策。

這些意見都是很好的回饋，可做為地調所未來持續發展都市地質的參考。未來地調所都市防災地質資料庫及分析系統，確實應納入除了鑽探以外的其他面相的資料，例如地球物理探測資料、地下水位等，以使資料庫及分析更加全面，以提升分析成果。而在進行分析計算時，確有必要將地質分區作為內插的邊界，不同地質分區不宜相互內插，尤其是岩性，應以不同沉積環境作基礎。至於土壤液化查詢系統，地調所已於網站上有清楚說明和問答。



演講前除了以 e-mail 通知 brgm 全體人員外，各棟建築出入口也張貼演講通知



於演講廳預備中



演講螢幕投影。右上角 recording 顯示正在直播。



演講後的討論問答

3. 臺灣案例之應用

由於法國本土普遍沖積層厚度較薄，brgm 用以建立都會區地下地質模型的 GDM 係以岩層的概念為出發點，LOISELET 博士與我也一起嘗試使用臺灣的資料在 GDM 上建立資料庫，並評估在臺灣都會區皆位於厚層的沖積層的條件下，是否也能利用 GDM 建立地下地質模型。

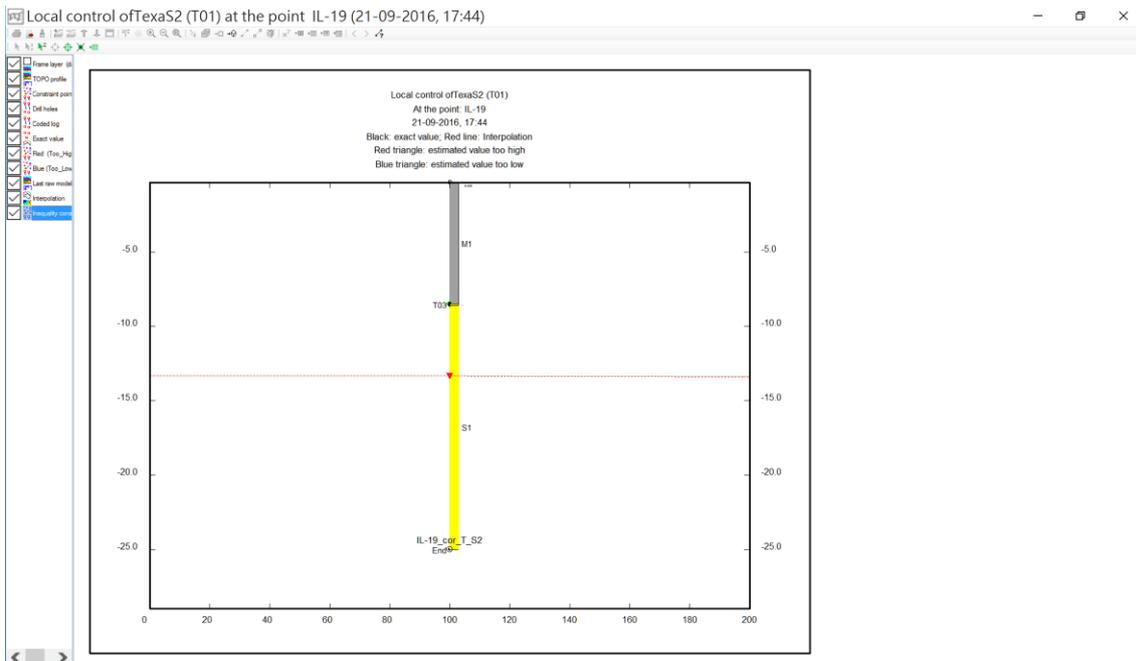
我選擇了鑽探資料分布平均的宜蘭縣作為測試，又為免資料過於龐大，花費太多時間在資料整理和計算上，故僅選擇羅東圖幅 22 口井進行建模測試。首先仍須將地調所的鑽井資料依 GDM 格式略加整理。為了避免建立的地下地質模型過於複雜，須將地層予以簡化。

在 GDM 主程式中，輸入鑽探資料後，自動展繪鑽孔位置和各鑽井的岩芯柱狀圖皆十分便利，繪製剖面也沒有困難，將資料庫匯入 ArcGIS 再查詢也十分簡單。但我轉到 GDM 多層分析後，發現原本將每個岩芯分層簡化到 4~5 個土層，在側相對比時對於各個土層的接觸關係變得非常複雜。其實 GDM 多層分析可處理的地層數並沒有限制，然而沖積層的岩性變化快速，並且側向常有不連續的情況，例如砂泥層常交錯出現，並不能以「地層」的概念直接建模。因此，我又再次簡化岩芯的分層，每口 30 公尺的岩芯至多只區分 3 段岩性，並且在此時就必須指定側向連續的砂層或泥層同一個名稱，也就是說必須先賦予各個土層(layer) "地層(formation)"的概念，且必須在輸入資料時就已有該區域地下地質的基礎概念。當然，之後建出三維模型發現有誤還是可以回頭修改。

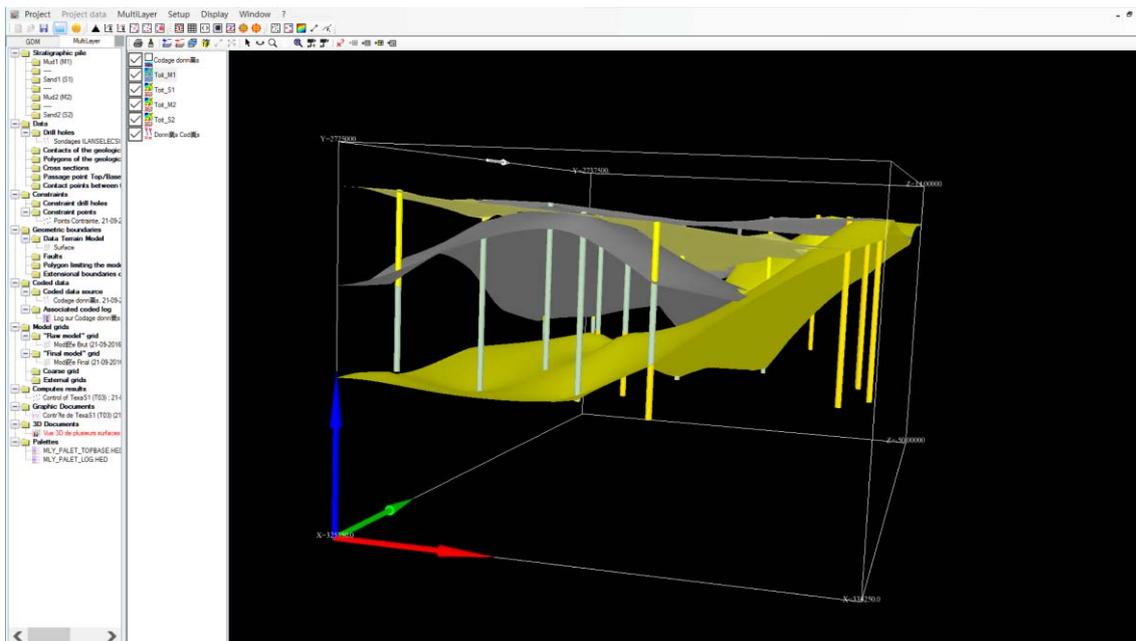
重新輸入探井資料後，指定各層的相互關係是侵蝕截切或是交疊，接著在 GDM 多層分析中便可讓程式自動分析各層的分布，產出三維模型。三維模型的產出仍需內插分析，故必定會產生誤差，此時可開啟單一的探井資料或剖面，加以編修。如前面所述，編修不會影響原始資料，是其優點之一。

產出的模型可指定呈現不同的層面，任意縮放和旋轉視角。若轉至由正上方垂直俯視的 map view，所呈現的各地層頂面即可代表地表地質圖。由於研習時間不足，上未能測試 GDM 是否可產製土層彼此交錯的模型。

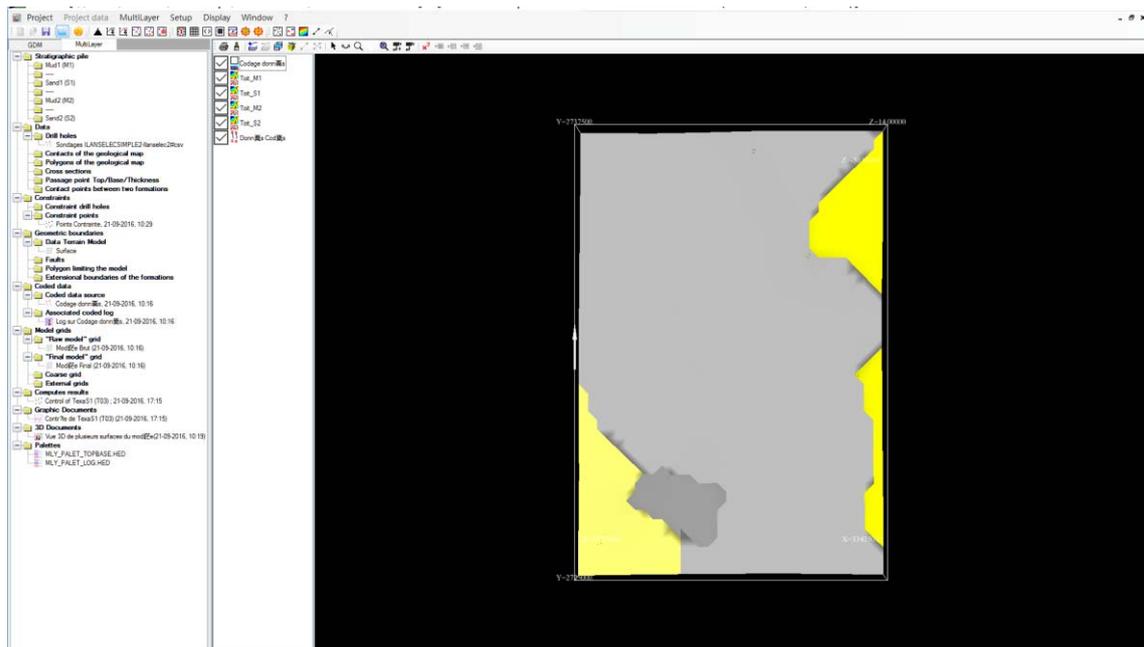
GDM 的地下地質建模功能十分強大，但由於地調所在建立地下地質模型後，尚需進行地質災害潛勢分析。而 brgm 近期也曾經嘗試將地質模型網格化，在各個網格帶入屬性資料，建立地下水文的資訊。不過他們也只有一個案例，是否能用以分析地質災害，也因時間有限尚未能進一步測試或研討。



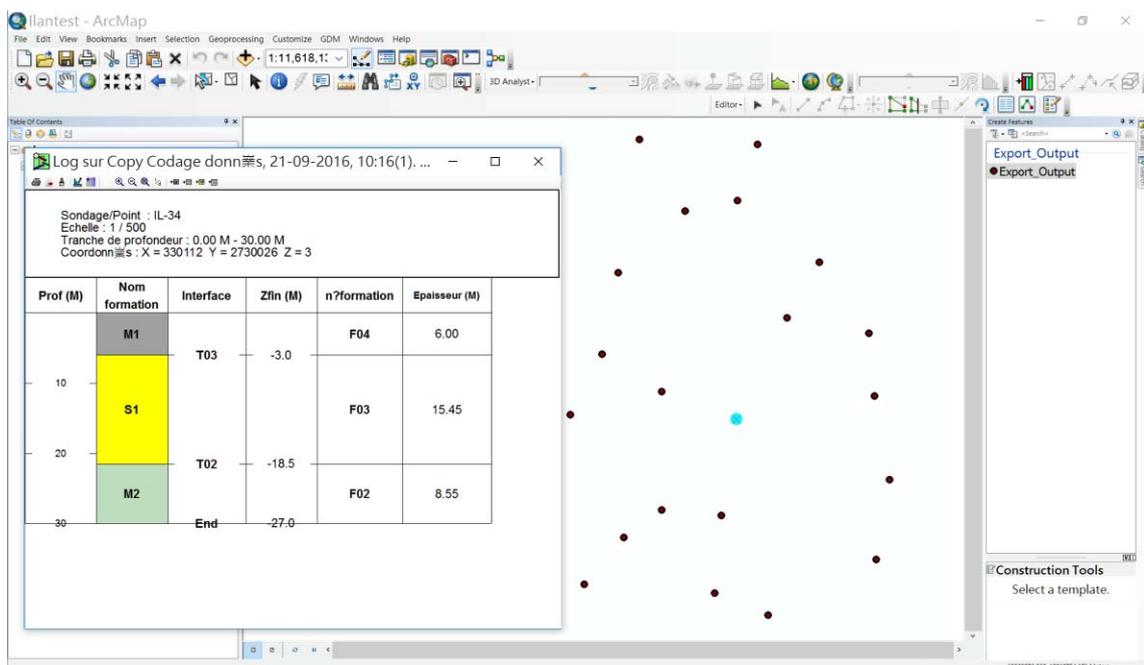
在 GDM Multilayer 下建模後，開啟單井資料編修層面位置。紅色虛線為程式自動計算位置，實際位置則應是灰色代表之泥層和黃色代表之砂層之間。以滑鼠點擊正確位置即可修正。全部檢核修正完成後，讓程式重新計算，即可產出新的三維模型。



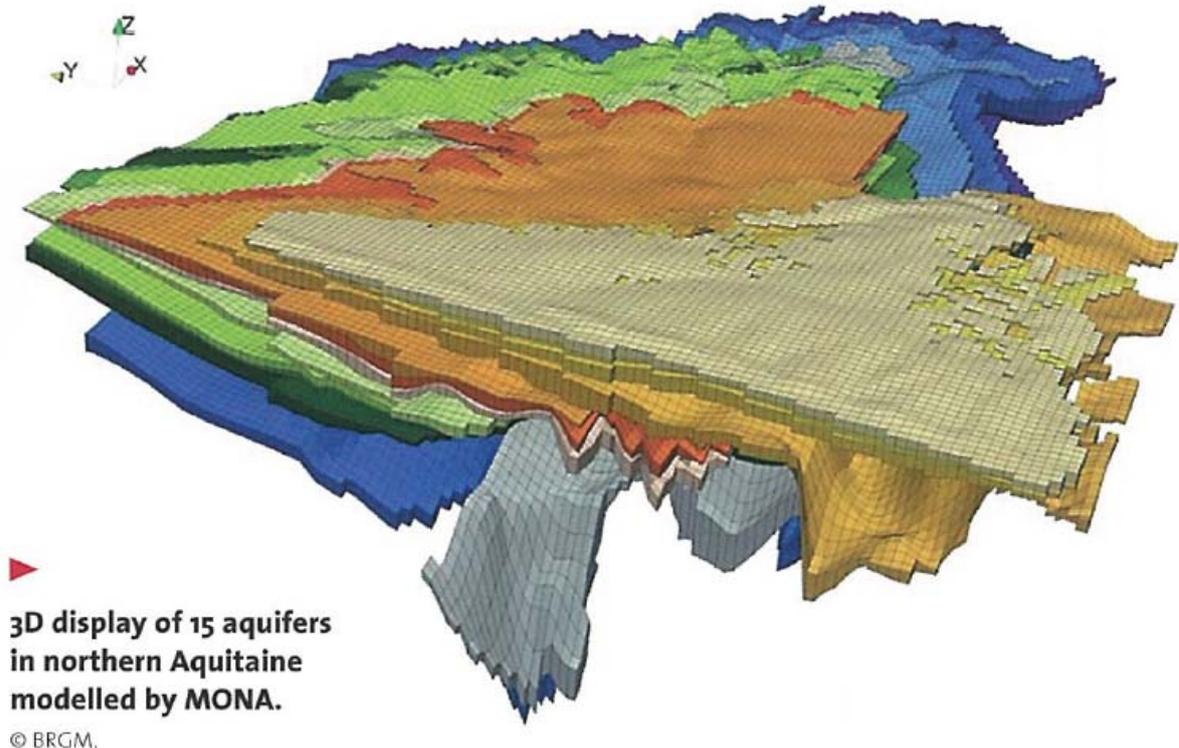
以宜蘭羅東圖幅 22 口探井建立的三維地下地質模型，可清楚分辨各個土層在空間中的分布狀況，對地質災害的分析也很有幫助。



設定三維模型呈現各層頂面，並轉至 map view 角度，即可呈現地表地質圖。



利用 GDM 外掛插件，在 ArcGIS 中匯入羅東圖幅探井資料，並選取探井展示井錄。井錄圖紋由使用者自行定義，與 GDM 主程式中資料庫相同。



將地質模型網格化建立地下水文參數案例 (圖片出自 brgm 出版刊物: BRGM, solutions for tomorrow's water issues, the brgm news letter, 2012, No. 26.)

4. 其他相關地質防災、軟體及系統應用

(1) 土壤液化

本次研習主題雖非針對土壤液化，但由於今(105)年 0206 美濃地震後引起國人對土壤液化議題的關注，地調所也在震後一個月建立土壤液化潛勢查詢系統，公開土壤液化潛勢圖資。這部分係都市地質相關成果，地調所已有多年的調查經驗，brgm 的防災部門的 Daniel MONFORT CLIMENT 博士 1 聽完我的演講後對地調所的成果也很有興趣，另外約了時間研討交換了彼此的經驗。

法國本土的沖積土層厚度較薄，且較少地震，屬於土壤液化潛勢極低的地區。不過加勒比海法屬的島嶼 Martinique 和 Guadeloupe 仍具有土壤液化潛勢，因此 brgm 也為這兩個島測製了土壤液化潛勢圖。不過法國的調查方法是以圓錐灌入試驗 CPT 為主，與我國和日本習慣以探井的標準灌入試驗值 SPT-N 來分析並不相同。我們的討論並未就分析方法和公式上有太多著墨，不過在內插和潛勢率定上則有些意見交換。brgm 在編製潛勢圖時，也會先進行地質分區，不同分區分開計算。而潛勢則以每一分區得到的主要潛勢值為準，一區一個潛勢。例如某區有 70% 的井位分析結果為高潛勢，則該區就是高潛勢，不再進行橫向內插。此方式可做為地調所後續編製

潛勢圖資的參考。

(2) 整合式網路查詢系統

系統資訊部的 Fabrice CATONET 向我介紹了 info terre 這個系統，法文的意思是地理資訊，網址：<http://infoterre.brgm.fr/>，是一個對公眾開放的網路查詢平臺。裡面囊括十數種地質資料庫，可供民眾查詢。在該網頁尚可使用簡易的 GIS 功能，包含加入/刪除圖層、圖層透明度調整等，以資料種類分類，也可生產當下圖層的圖例，便於出圖。偶爾資料不易在同一個界面呈現時，還是會導向其他個別的網站。地調所網站首頁也有十數種主題查詢的連結，雖有地質資料整合查詢網站，但仍有許多資訊未能整合至同一個平臺，是未來可以繼續努力的方向。

(3) 內部資料整合平臺

取自法國地調所法文名稱縮寫的 data brgm，是該所內部資料整合平臺的名稱，整合了內部各部門的資料，所有內部人員皆可進入利用，內部的橫向交流十分便利，不僅資源共享，節省經費資源，而且不同部門產製的資料皆能同步更新，不會有使用到舊資料的問題，也是地調所可以學習之處。

5. 後續合作

在訪問的最後一天，系統資訊部的主管 Francois ROBIDA 特別邀請國際部亞洲區經理，本身也具有防災專長的 Pierre THIERRY 博士、本次研習主要一起工作的 Christelle LOISELET 和我一起討論後續合作的方向和可能性。ROBIDA 也談到，既然我們兩邊的地質調查所都在做一樣的事情，實在應該互相合作，不必浪費資源不斷做同樣的事，這也是今年 9 月剛在南非開普敦舉辦的國際地質研討會(International Geological Congress)上，各國地質調查所的共識，讓彼此可以截長補短，互相學習。

我概略說明了訪問兩週的過程和使用 GDM 的心得，由於研習時間有限，GDM 是否可能發展結合地質災害評估，還要再進一步探討，若可，或許可作為未來發展或合作之方向。此外，地調所現行系統鑽井和網格資料相互分離，以各都會區為單位建立資料庫，將所有資料整合，應是未來發展的方向。GDM 不失為一個好的方法。而地調所現行輔柱分析系統直接外掛在 ArcGIS 下，並可於 ArcGIS 下進行分析，不必另行建模是優點之一，但因模組和鑽探資料系統分離，無法在 ArcGIS 下直接檢視各鑽井資料，亦無法編修。在網路查詢系統部分，地調所自行發展的查詢服務可供使用者展繪

任意剖面，並切換不同參數，便於比較不同參數的影響，是 GDM 尚未發展的功能，brgm 的網頁版正在發展中，也對此功能非常有興趣。兩個單位在建模和分析上各有所長，若能互相合作確實可以達到互補、雙贏之效。

至於合作的方式，目前構想為一起申請既有的國際合作計畫。包括：我國科技部的「臺法幽蘭計畫 (Partenariat Hubert Curien Orchid)」，系特定為臺、法雙方的科學研究設立，支持雙邊互訪和研討會；或「歐盟科研架構 Horizon 2020 (EU framework programmes for research and technical development)」，我國可藉由第三方國家的角度參與歐盟各會員國的國際合作計畫案，共同開發更寬廣、更深入、更高品質的研究領域。是否可確實執行仍需要長官們的支持。

三、心得及建議

(一)都市地質建模及分析應用程式發展

以土壤液化潛勢分析而言，目前的分析方法都還是依照公式計算，公式中僅僅帶入粒徑的數值，但時沒有地質的意義。如何將「地質」概念帶入目前分析模式中，例如建立不同地質分區相應的分析模式，是必要的努力方向。

此外，都市地質涵蓋層面其實很廣，雖然目前土壤液化備受重視，地調所未來仍可嘗試發展其他地質災害或工程地質方向發展，特別在都會區愈來愈向下發展的現代，地下充滿各種捷運、火車路線、民生管線。這些路線的坑道和地層的關係也影響工程的地質安全。而發展的方向也將影響未來應用程式和模型之發展方向，應即早規劃因應。

brgm 之地質模型發展極佳，但在應用面則以地調所發展較佳。地調所都市防災地質資訊分析查詢系統與 GDM 各有利弊，或可以合作方式共同發展或精進彼此模組。

(二)內部資訊系統的建立

研習過程中接觸到 brgm 對民眾的開放查詢網頁 info terre 和內部資訊系統 data brgm。地調所也有類似對外服務，惟各項不同資訊必須開啟不同的查詢網頁，操作略為繁複，可朝整合所有公開資料方向發展。而內部整合的系統則尚未建立，也是未來可以努力的方向，以整合所內資源，增進行政效率。

(三)研習安排的行政支援

由於本次研習並非參加定期的短期課程或研討會，如此可以有更深入的交流。然而這種方式的交流在安排上並不容易，對方也必須費心安排。由於平時即廣泛蒐集閱讀都市地質相關文獻，在本年度大部技術合作計畫展開前即與法方有所聯繫，方能促成此次訪問。帶來的優點是可以為彼此量身訂做訪問內容，將訪問交流的效益大大提升。建議本部技術研習可以提早啟動，並鼓勵性質類似的單位互訪，以達到更深入的交流，並開啟後續合作的可能。

brgm 對此訪問研習十分重視，正式接待，並為我製作識別證，安排辦公室，也正式簽訂保密協定，讓我在研習期間自由使用他們內部發展的軟體。因此，也建議大部對技術合作可有更多行政支持，讓對方感受到我官方對交流研習同樣重視。

(四)研習日程及後續交流

此次交流研習兩週的訪問時間十分有限，對彼此的研究發展雖有所認識，卻難以一起實際合作出具體的成果。雖然本次研習也嘗試實際以 GDM 建構臺灣都會區的資料庫，並進行一些初步的分析，但由於時間有限，僅在初步嘗試的階段，地質模型再精進的方法及實際分析地質災害的可能，都因時間不足而未能有進一步的探討或嘗試。brgm 的專家們也多次談到兩週實在太短，無法一起工作。故建議大部技術研習能給予足夠的時間和經費支持，以提升交流的成效。

交流的門雖然已經開啟，後續的經營也非常重要。若一番辛苦安排規劃才達成的交流僅限於 1 次的訪問，著實可惜。雖然大部技術合作為使更多人能有此交流機會，規定參加過交流的人員 3 年內不得再申請，然而這好不容易建立起的關係，卻因此而不易維持。後續繼續合作的方式，在彼此有意願的情況下，還需自行另覓管道尋求支持，能否實現也是未定之數，期能有更多機會發展單位間的長期合作。

(五)對訪問單位的回饋

本次研習並非短期課程或研討會型式，而是至法國地質調查所實地的訪問和技術交流，對方其實也十分重視我方的意見。他們得知我們的回國報告必須以中文撰寫時覺得十分可惜，並希望我能寫英文摘要給他們，好讓他們也能從此次訪問中得到書面的回饋建議，因此本人也在摘要部分同部附上英文摘要。大院因公出國報告為了防範

直接抄襲國外原文資料而規定必須以中文撰寫雖有其意義，但也就少了訪問結束後的回饋功能。建議將英文摘要列為必要項目，以使受訪單位也能對訪問者的心得建議有所了解 and 紀錄。

四、 附錄

(一) 研習生活照片



與 brgm 之國際部亞洲區經理 Pierre THIERRY (左一)、系統資訊部部門主管 Francois ROBIDA (右一)，及此次負責接待安排研習的 Christelle LOISELET 博士 (右二)。



brgm 提供的辦公環境



brgm 門口的醒目標誌

(二)演講摘要

The development and application of urban geology in Taiwan — the introduction of the concept, maps, analysis app and inquiry website

Pin-Ju Su

Central Geological Survey, Taiwan, ROC

The safety of constructions is based on our knowledge of the characteristics of subsurface materials, especially in Taiwan, a densely populated region with frequent earthquakes, typhoons, complex geological structures. Only with the broad understanding of subsurface geology and the potential geological hazards can we avoid inappropriate projects endangering the safety of people or industries.

Because natural hazards are easily triggered in Taiwan, the emphasis of the urban geology and geohazards study is not to choose perfectly safe sites for engineering, but to well understand the geological environments and appropriately respond to the potential risks. Central Geological Survey (CGS) launched a series of urban geology projects and accumulated a lot of subsurface geological data since 1992. CGS focused on constructing the subsurface geological model and analysing the susceptibility to geohazards in the plain area where the most cities are located. Due to the uncemented sediments in modern alluvial plains, soil liquefaction, surface subsidence, and the distribution of soft layers are the main topics relating to geological technical problems. CGS had developed two types of map to emerge the characteristics of the subsurface geology. The geological environments map represent the lateral and vertical distribution of layers of sediment and geological subdivisions; the geohazards susceptibility maps show the susceptibility to liquefaction and the distribution of surface subsidence and soft layers.

The understandable information of the results of urban geology is needed by planners for the application of hazard prevention. The presenting modes of the maps and the management of the big data became important issues. Facing the computer era, CGS integrated analysed results, geological data, and associated information into a database based on 3D meshes. CGS also constructed an analysis app to help on data management, data processing, results display, and map exporting. An inquiry website was constructed for

information transparency and wider application. Not only the plane maps but also arbitrary profiles can be showed on the website. The results of this program are in favour of territorial and engineering planning, industrial development, and people's living, etc.

(三) 演講簡報



The development and application of urban geology in Taiwan

— the introduction of the concept, maps, analysis app and inquiry website

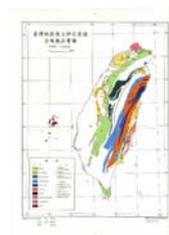
Pin-Ju Su

Central Geological Survey,
Ministry of Economic Affairs, R.O.C.



About CGS

- CGS was founded in 1978.
- 14 main administrative projects, 29 sub-projects in 2015.
- Topics: Geological map, environmental geology, hydrogeology, geological hazards, active faults, landslides, engineering geology, and mineral resources.
- The 2015 budget: NTD\$ 554 million (€ 15.5 million)
- Human Resources:
73 people -- 56 geologists and 17 administrators.





Organization of CGS



Core warehouse

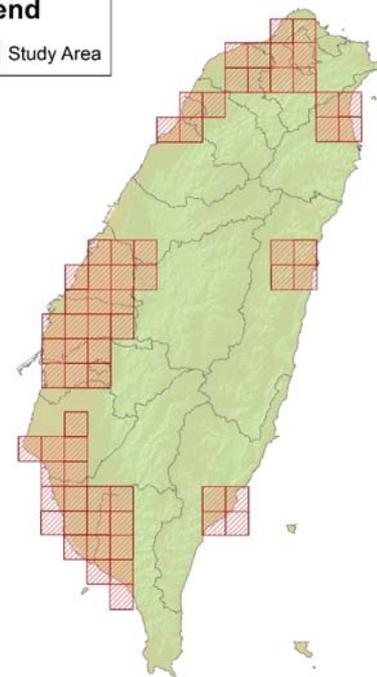


library



Introduction of urban geology in Taiwan

- The study focuses on plain area.
(70 % area in Taiwan is mountainous)
- 1st stage (1992-2009) -- establishing basic data, year-by-region
Deep drilling, cores description, age dating, grain size analysis, sedimentary environments reconstruction, paleontology, engineering characteristics of sediments, susceptibility of soil liquefaction, etc.
- 2nd stage (2010- present) – setting 3D database, geohazards mapping, analysis app, inquiry website.



Taiwan



Major outcomes of urban geology

- Urban geological maps
 - Geological environment maps
 - Geohazards maps
- Information system
 - Database
 - Analysis app (for professionals)
 - Inquiry website (for populace)

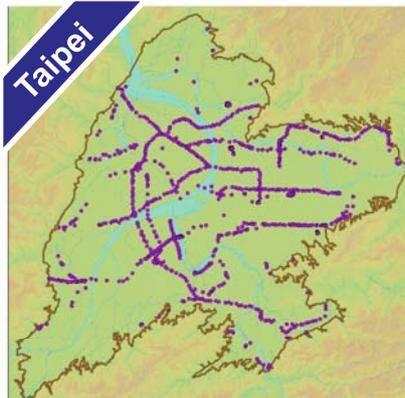


Materials: borehole cores

- Boreholes from CGS and public constructions.
CGS carried out 754 boreholes and collected 16, 194 boreholes data.
- Difficulty: the distribution of cores is uneven.



Cores	Area (km ²)	Average density
2,300	510	4.5



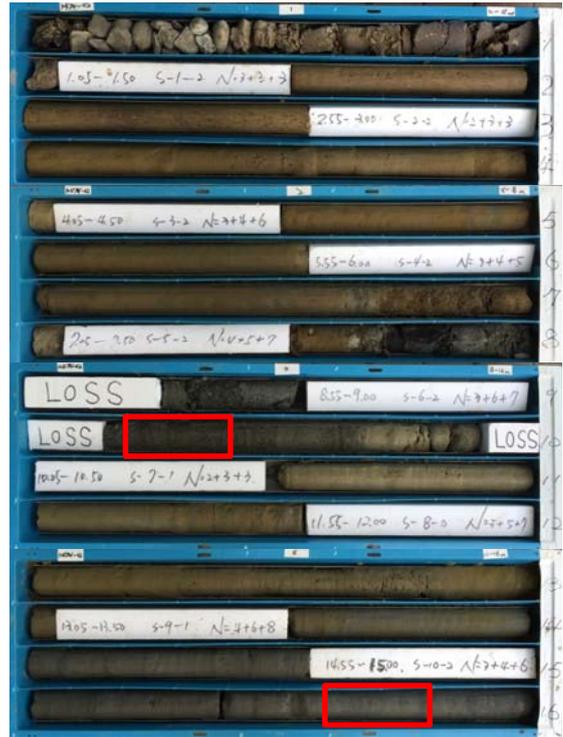
Cores	Area (km ²)	Average density
5,811	283	20.5



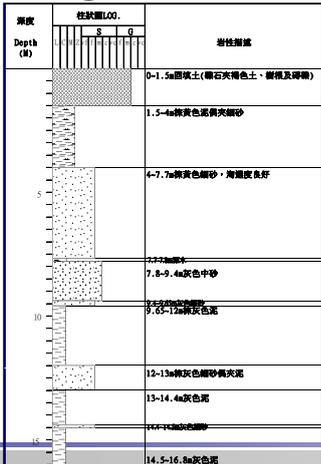
Cores	Area (km ²)	Average density
1,698	330	5.1

Sampling and record

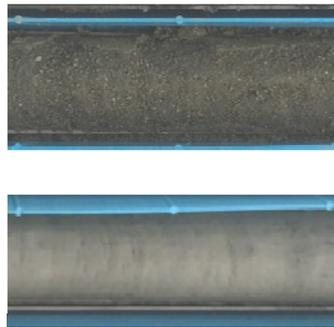
- Standard penetration test with full sampling.
- The archived core halves are for visual description
The working core halves are for sampling.



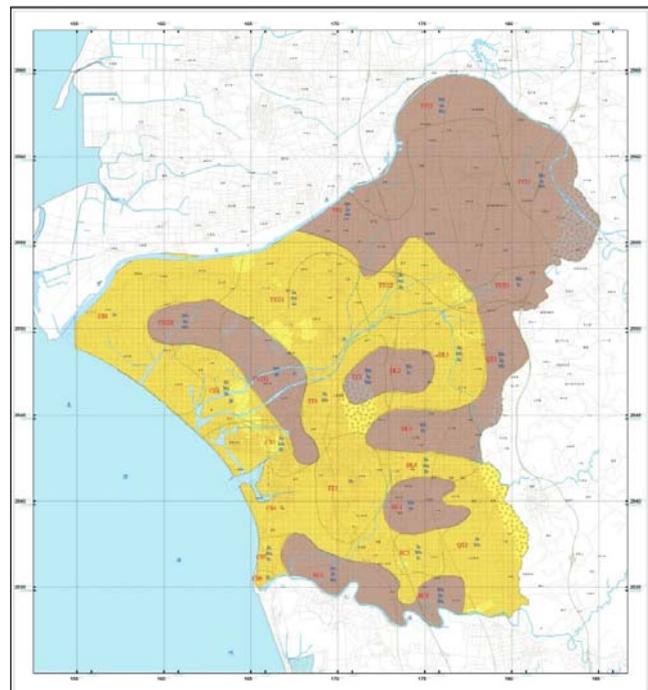
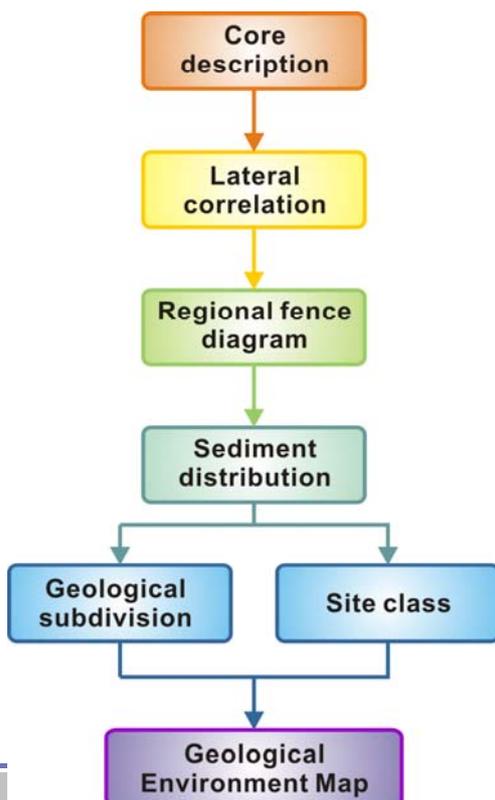
Original record



Observation



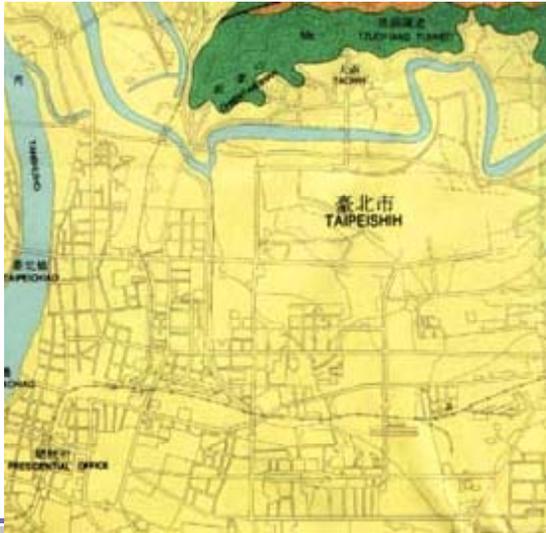
Geological environment map



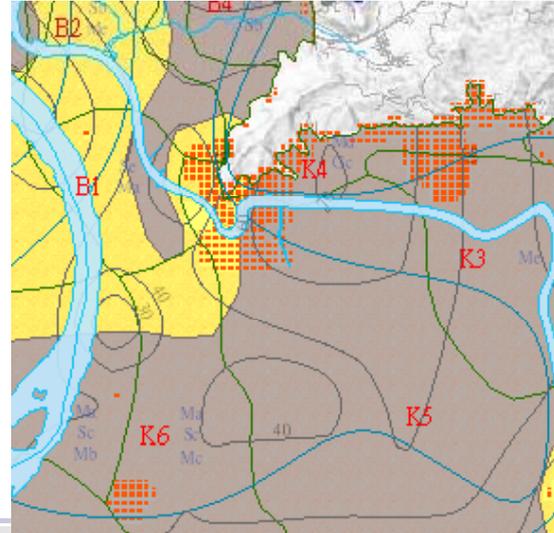
Purpose: showing subsurface appearance

- Traditional geological maps don't represent the details of alluvial sediments.
- The geological environment maps show the subsurface geological and engineering characteristics.

Traditional geological map (part)



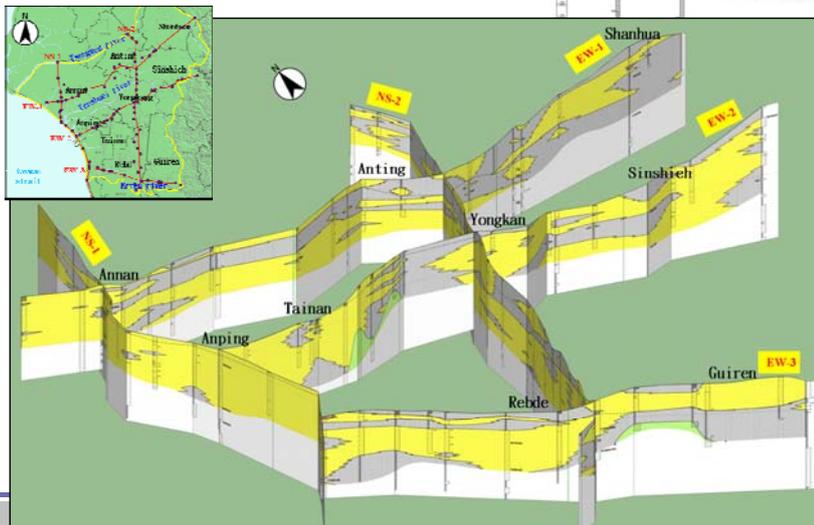
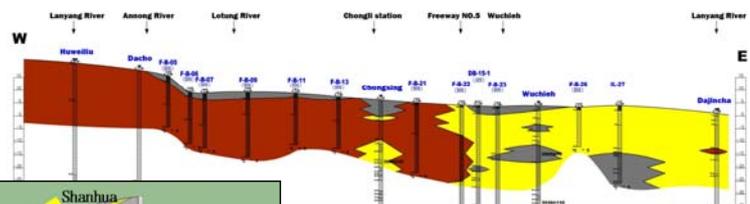
Geological environment map (part)



環境與工程地質組

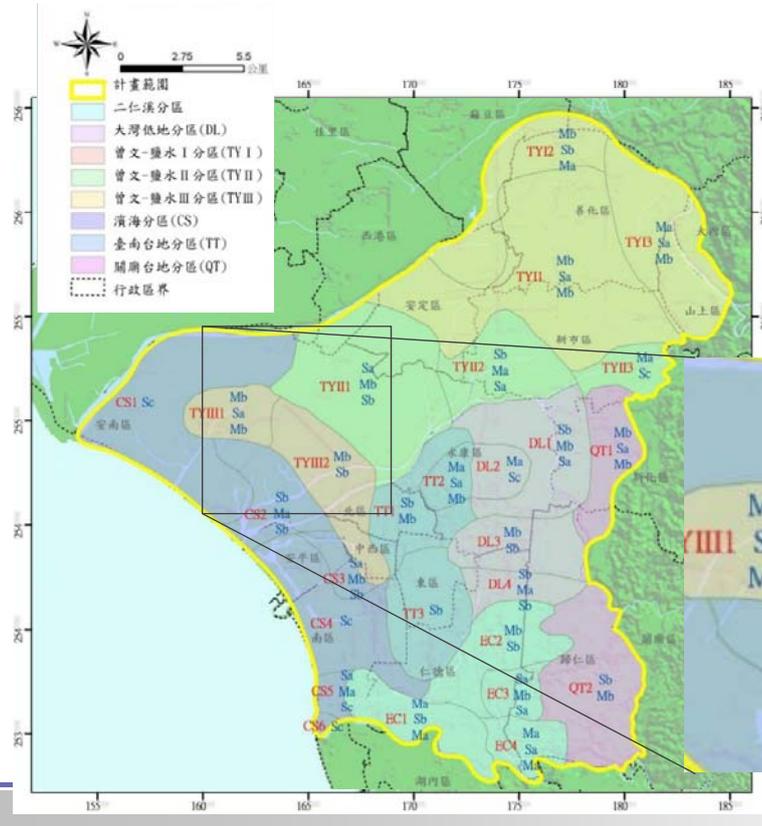
Subsurface geological framework

- Based on core description & lateral correlation.



環境與工程地質組

Geological subdivision



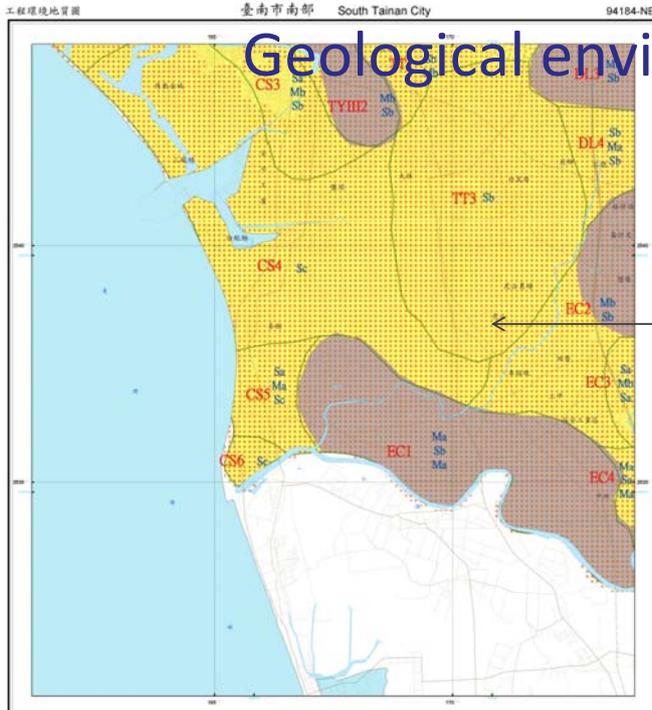
- Displaying the lateral and vertical distribution of lithology and strength.

Lithology thickness
 S: sand
 M: mud
 G: gravel
 a: <5m
 b: 5~20m
 c: >20m

Site class

- Based on the “Seismic design specifications and commentary of buildings” of Taiwan (Ministry of interior).
(Referred to IBC (International Building Code))
- For average properties in top 30 meters. (~100 ft.)

Site class	Vs Shear wave velocity (m/s)	N Standard penetration resistance	Su soil undrained shear strength (kgf/cm ²)
1 st very dense soil	>360	>50	>1.02
2 nd stiff soil	180~360	15~50	0.51~1.02
3 rd soft soil	<180	<15	<0.51



Geological environment map



- Main lithology of top 5m sediments
- Site class
- Geological subdivision

instructions

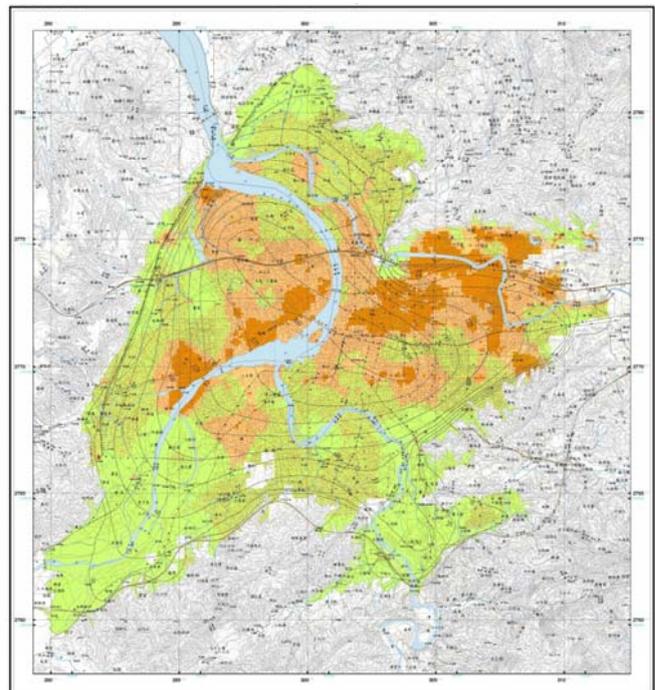
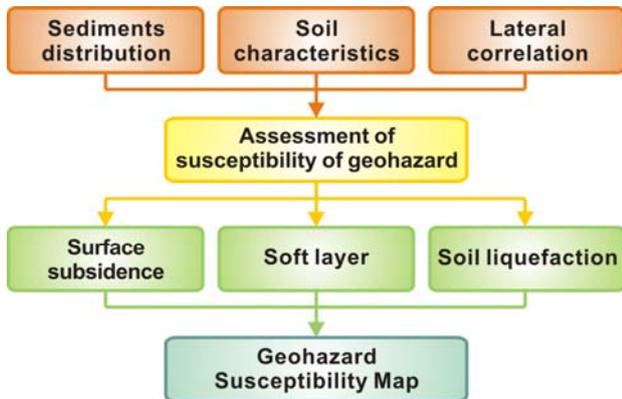
Legend



Geological subdivision

Map frames

Geohazards map

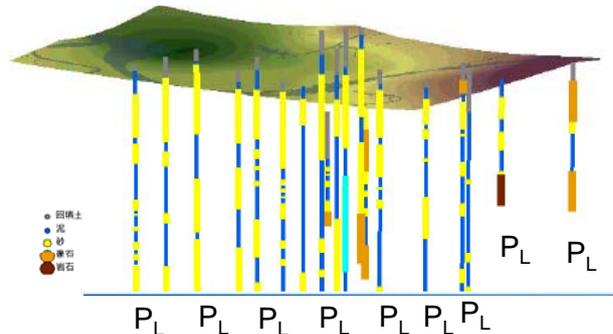


Soil liquefaction analysis

- Soil Liquefaction Potential Evaluation Method (Japan Road Association, 1996) is followed.
- Main input data: Fines Content FC(%), SPT-N, Effective overburdened pressure.
- Results:
 - Liquefaction Resistance Factor (F_L) for each sampled depth.
 - Liquefaction Potential Index (P_L) for each location. (following Iwasaki, 1981)

Pitfalls of traditional maps:

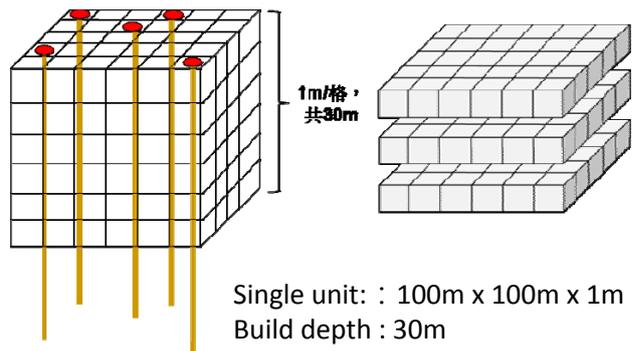
- The underground characteristics cannot be shown.
- Systematically update is infeasible.



3D Meshes analysis

Each mesh includes the data of:

- Basic data: coordinate (x, y, z)
- Experimental data: SPT-N, FC (%), PI, γ_t , USCS
- Analysed data: $F_L(1-20m)$ 、 V_S 、 P_L



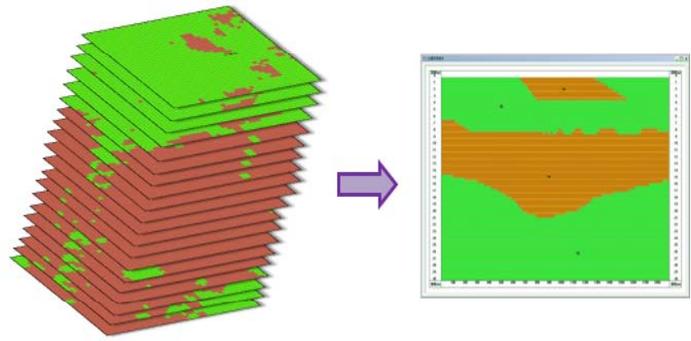
■ Interpolate values are used when the meshes has no original data.

OBJECT	proj_no	hole_no	bottom_depth	n	FC	PI	Rt
112953	00972742	BH-39	1	7	96.7	38	1.78
112954	00972742	BH-39	2	7	96.62666	38.06667	1.782
112955	00972742	BH-39	3	6	95.16	39.4	1.822
112956	00972742	BH-39	4	4	94.24333	25.33333	1.862
112957	00972742	BH-39	5	4	90.67332	0	1.896667
112958	00972742	BH-39	6	19	28.13999	0	1.83
112959	00972742	BH-39	7	29	0	0	1.8
112960	00972742	BH-39	8	35	1.420005	0	1.809333
112961	00972742	BH-39	9	44	29.82001	0	1.996
112962	00972742	BH-39	10	44	37.98	0	2.058
112963	00972742	BH-39	11	34	30.68667	0	2.023
112964	00972742	BH-39	12	42	44.42	0	2.083
112965	00972742	BH-39	13	47	40.91999	0	2.066
112966	00972742	BH-39	14	53	23.15689	0	1.98181
112967	00972742	BH-39	15	95	2.294821	0	1.818017
112968	00972742	BH-39	16	95	2.294821	0	1.818017
112969	00972742	BH-39	17	95	2.294821	0	1.818017

3D Meshes analysis

Benefit

- Easy to plot subject maps and profiles.
- Easy to understand the underground characteristics.
- The result is not controlled by data from only few boreholes.

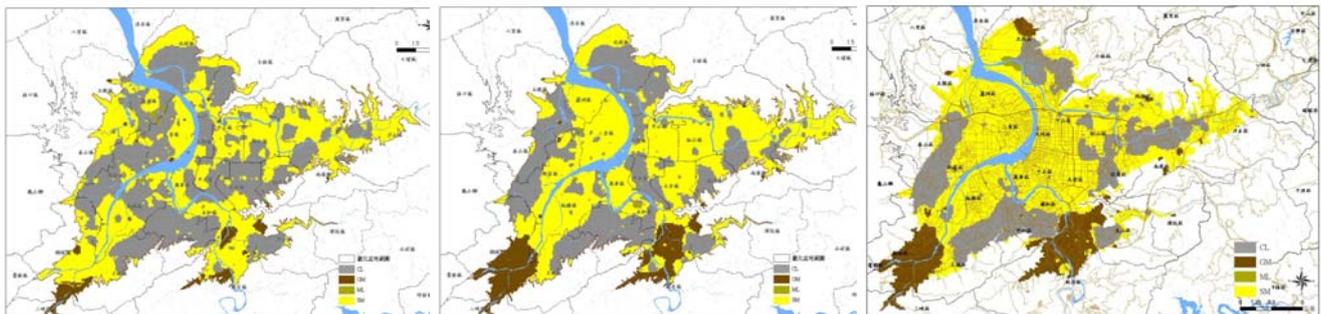


Shortcoming

- Need long time for calculation.
- It takes 1~1.5 day for each urban area.

Urban area	Number of meshes
Taipei	25,913 x 30
Kaohsiung	25,799 x 30
Pintung	77,023 x 30
Yilan	33,902 x 30
Xinchu	11,634 x 30
Tainan	51,762 x 30

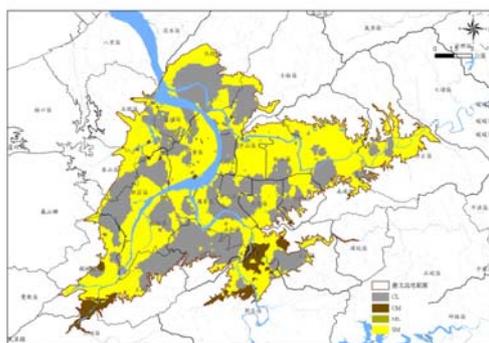
Sediment Distribution at different depths



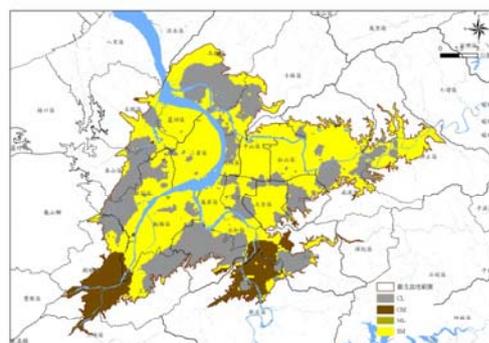
At depth of 3 m

At depth of 5 m

At depth of 10 m



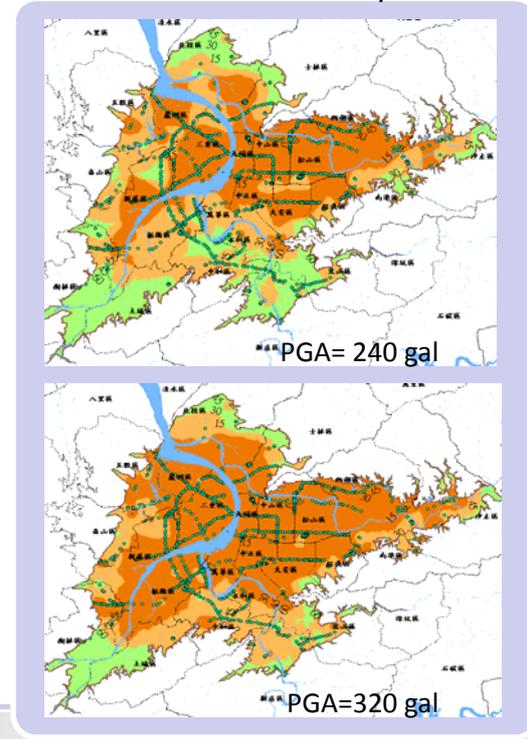
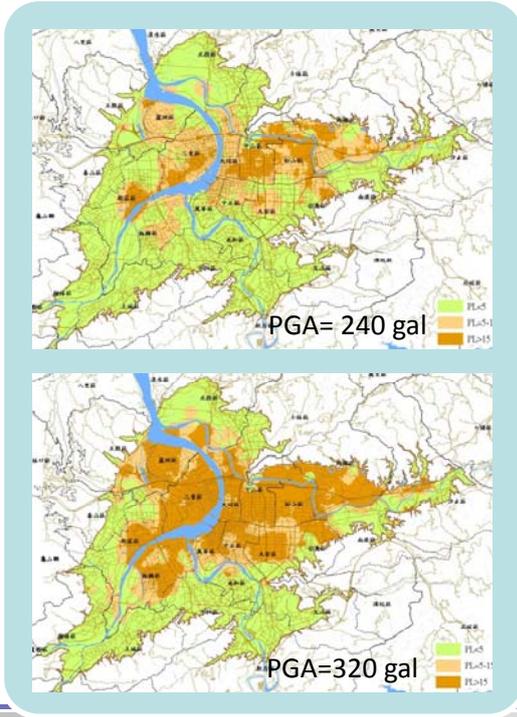
Main lithology of sediments at the depth 1~5 m



Main lithology of sediments at the depth 1~10 m

Comparing:

The traditional and 3D meshes maps



環境與工程地質組

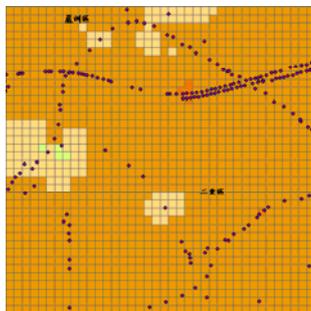
Comparing:

The traditional and 3D meshes maps

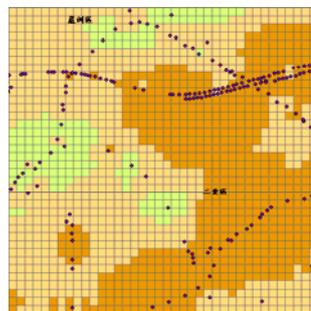
- 非液化潛勢區 (PL=0)
- 液化低潛勢區 (PL=0-5)
- 液化中潛勢區 (PL=5-15)
- 液化高潛勢區 (PL ≥ 15)

Meshes analysis

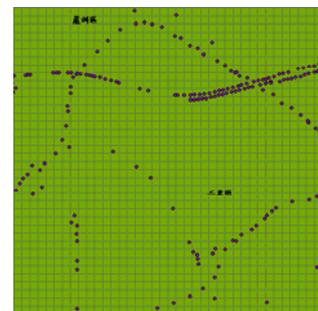
PGA=320 gal



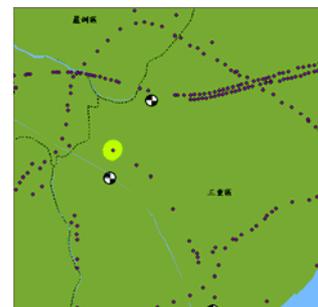
PGA=240 gal



PGA= 70 gal



Traditional analysis





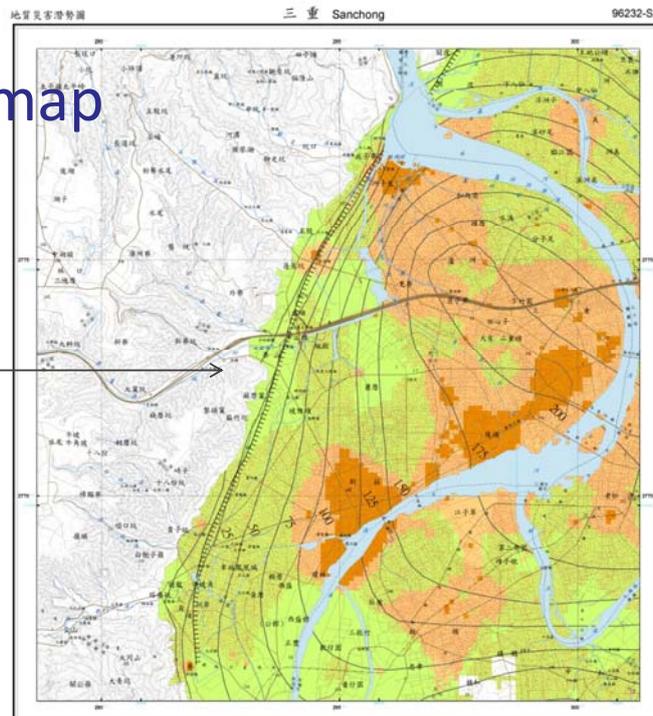
Other geohazards

- Soft soil layers
 - Marking the layers where SPT-N <15.
- Surface subsidence
 - Exhibiting the amount of surface subsidence in 5 years.



Geohazards map

- Soil liquefaction potential
- 5-year accumulated subsurface subsidence
- Soft soil distribution

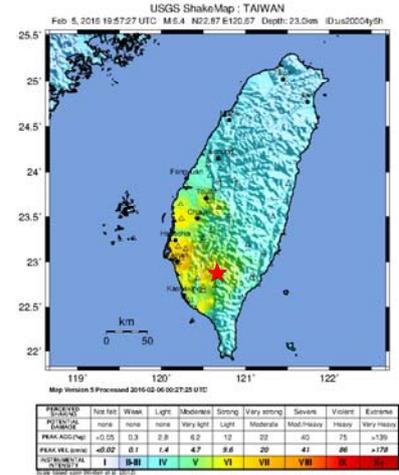


Instructions →

Legend →

<p>圖例 Legend</p> <p>TTTT 活動斷層 歷史地層下陷量(單位:cm) (尺碼以每 20 年累積下陷量) (0)</p> <p>軟弱地層 (深度 20m 中 V_s < 180)</p> <p>土壤液化潛勢分析 (分析採用水中加壓度 = 0.2kg)</p> <p>土壤液化地帶潛勢 (PI < 5) 土壤液化中等潛勢 (5 < PI < 15) 土壤液化高潛勢 (PI > 15)</p>	<p>圖說說明:</p> <p>1. 本圖係為區域性、大範圍的潛勢地質災害圖，層級比例尺為二萬五千分之一，按照本區域計畫，土地利用及開發計畫之參考，以瞭解區域地質災害潛勢的分布特性。</p> <p>2. 應於調查及使用上請注意之限制，本圖中僅顯示比例尺之概況，非實際之詳細地質調查，應根據工程設計之標準，應依照相關法規選擇適當之比例尺或圖幅，以進行進一步的詳細地質調查工作。</p> <p>3. 地質災害潛勢圖之編制，係以 1997 年地質災害。</p> <p>資料來源說明:</p> <p>1. 土壤液化潛勢分析係依照內政部建築研究所設計規範 (2006) 及建築物基礎設計規範 (2001) 規定，以各處地質地力指數為 0.2kg 進行分析。</p> <p>2. 歷史地層下陷資料係採自內政部 1984 年資料繪製。</p> <p>3. 軟弱地層係內政部建築研究所設計規範 (2006) 地質分類表規定劃分。</p> <p>4. 活動斷層引用自中央地質調查所 2007 年報告。</p>	<p>Map frames</p>
---	---	--------------------------

A real case: 2016 Taiwan earthquake



Date	6 February 2016
Origin time	03:57:27 (Taiwan time, UTC+8)
Magnitude	6.4 Mw
Depth	23.0 km (14.3 mi)
Epicenter	22.94° N 120.59° E
Casualties	117 dead; 550 injured

環境與工程地質組

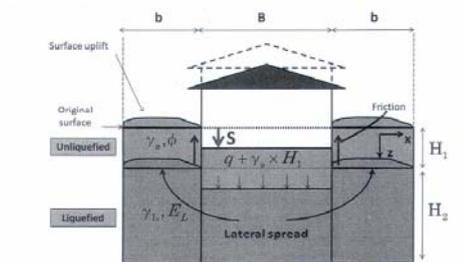
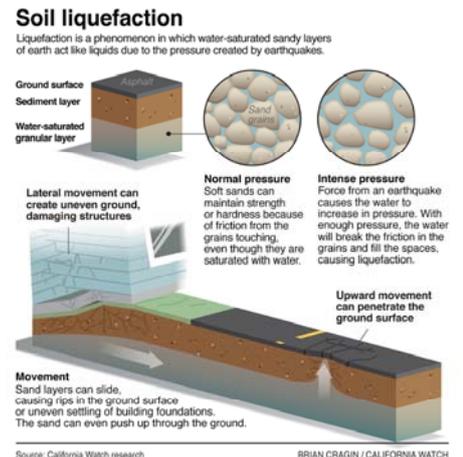
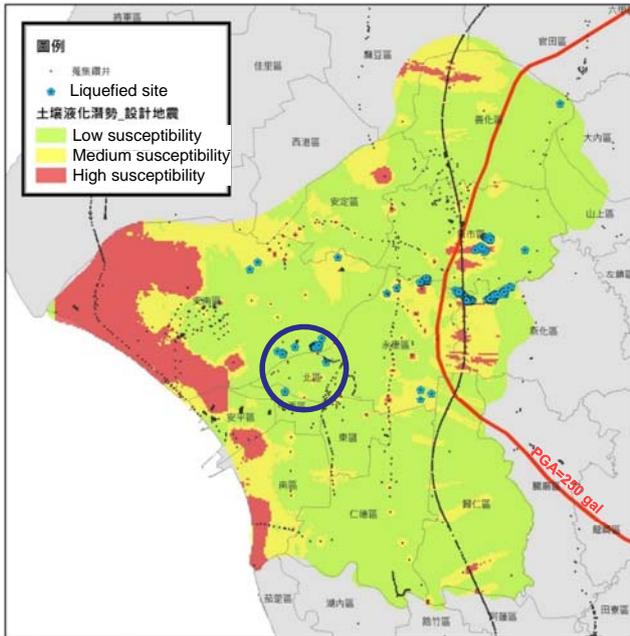


Figure 17. Idealization of a house with shallow foundation resting on surface of liquefaction-prone ground (two-dimensional cross section of a three-dimensional idealization).

環境與工程地質組

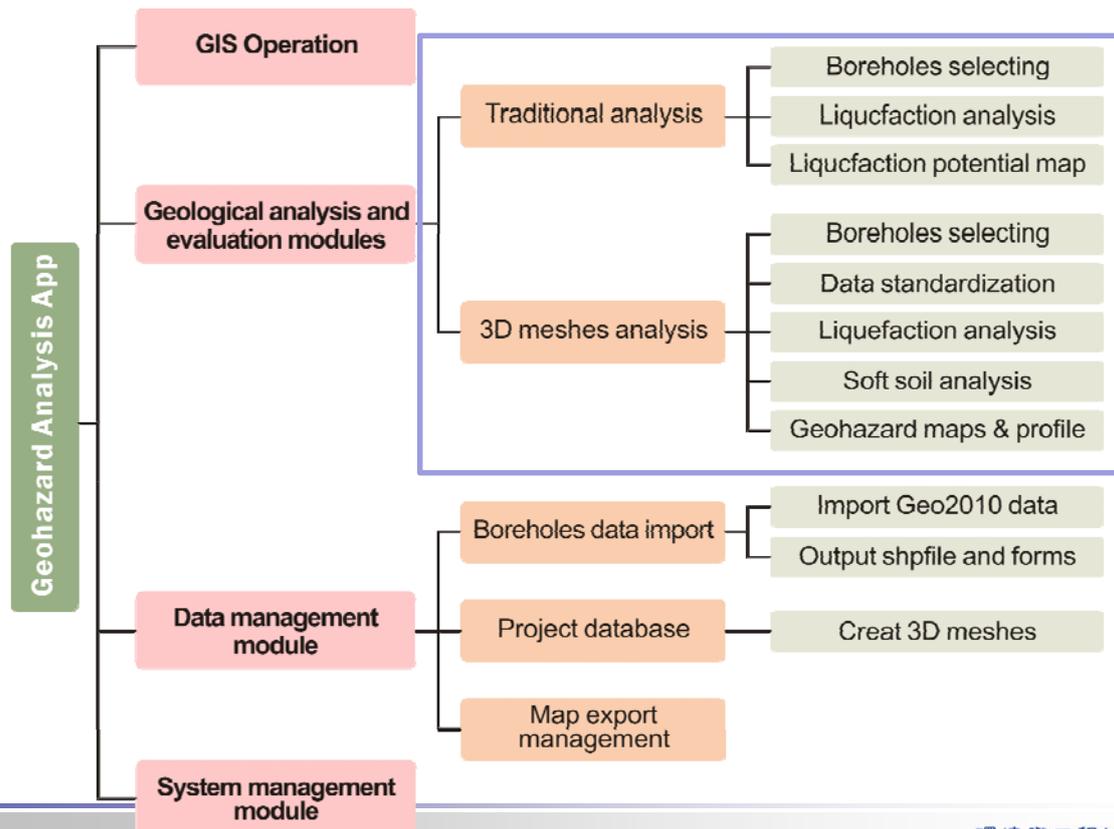
Verification

The liquefying site vs. the susceptibility

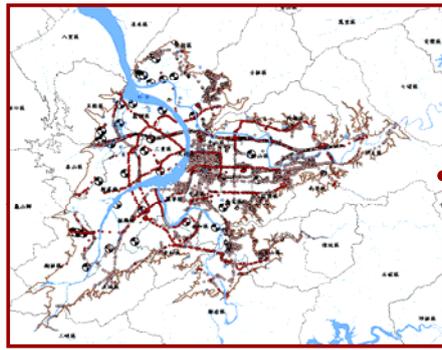


- Most actual liquefying sites are located in the high to medium potential area.
- Error Causes
 1. Uneven distribution of core data: insufficient data in local area.
 2. Heavy rainfall before the earthquake: the rising groundwater table improved the liquefaction.
 3. Unpredictable artificial infill: the worst-hit locations were fish ponds hundreds years ago.

Analysis app -- Framework



Analysis app – liquefaction analysis

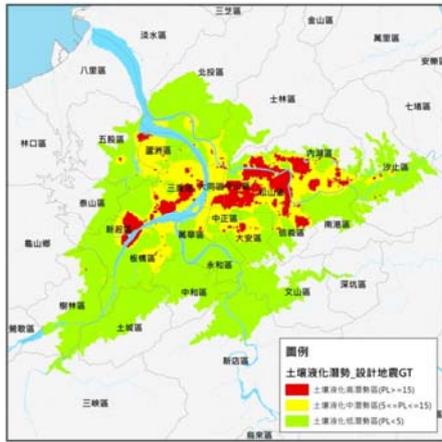
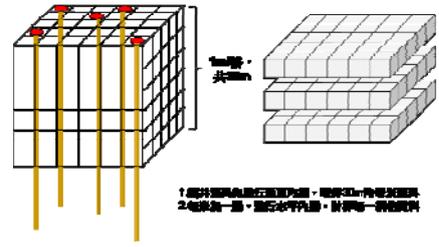


Boreholes selecting

Liquefaction analysis

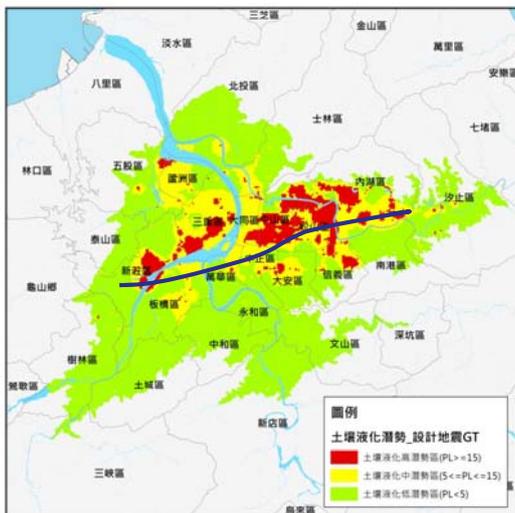
Form exporting

Result maps exporting

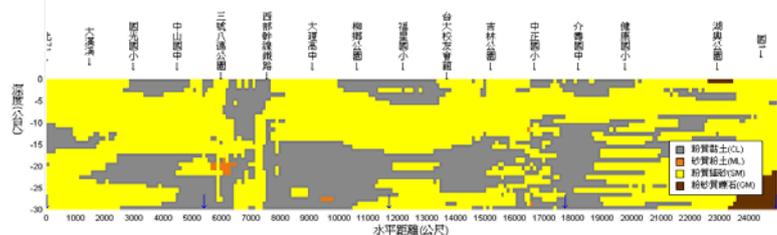


Analysis app -- profile plotting

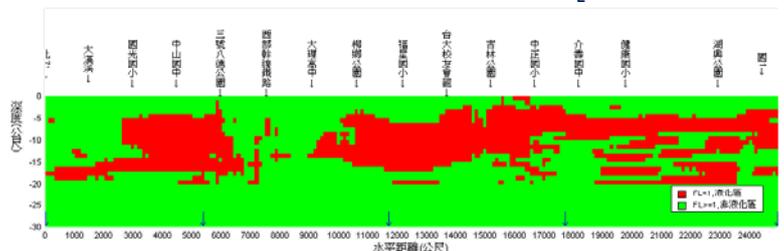
- Arbitrary cross-section can be displayed with the properties of USCS, F_L and V_s .



➤ Lithology profile (USCS)



➤ Liquefaction resistance factor profile (F_L)



- Arbitrary profile plotting.
- Distance and area measurement.

The screenshot displays the 'Urban Disaster Geology Information Network' (都市防災地質資訊網) interface. It features a 3D topographic map of a region with a profile line drawn across it. A '3D Profile Plotting' (三維剖面圖繪製) dialog box is open, showing options for 'Profile Line Drawing' (剖面線繪製), 'Profile List' (剖面清單), and 'Full Clear' (全部清除). Below the map, three vertical plots show the profile data: a topographic profile, a geological profile, and a seismic hazard profile. The seismic hazard plot includes a legend with categories: V>180 軟弱地區 (Soft weak area), V=180-270 普通地區 (General area), and V>270 堅硬地區 (Hard area). The horizontal axis represents distance in kilometers (0 to 14000), and the vertical axis represents depth in meters (0 to -30).

Liquefaction specific inquiry website

- User target: populace
- Positioning by address or GPS location (on mobile phone)
- Providing related countermeasures
- Q & A and instruction

土壤液化與震害: PDF下載

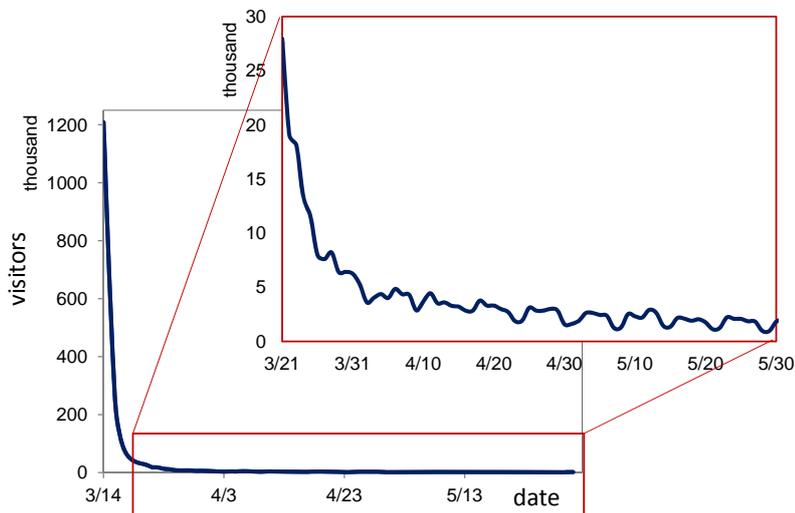
- Q1: 什麼是土壤液化?
- 土壤液化是指「砂質土壤」結合「高地下水位」的狀況，遇到一定強度的地震搖晃，導致砂粒與砂質顆粒浮在水中的現象，因而使砂質土壤失去承載建築物重量的力量，造成建築物下沉或傾斜。
- 更多知識
- Q2: 土壤液化通常會在什麼地點出現?
- Q3: 公開土壤液化潛勢圖的意義是什麼?
- Q4: 土壤液化潛勢圖是怎麼繪出來的?
- Q5: 土壤液化潛勢的調查區域先後次序是如何決定的?
- Q6: 土壤液化潛勢圖有精確度的分別嗎?
- Q7: 這次公開的土壤液化潛勢圖是屬於什麼精度?公開意義何在?
- Q8: 地震來襲時，有液化潛勢的地區就一定會發生液化問題與災害嗎?



http://map.tgos.tw/TGOSimpleViewer2/Web/Map/TGOSimpleViewer_Map.aspx

Populace's reaction

- More than 2 million visitors accessed the website, and 600 phone calls on the first day.
- Issues of concern: house price, not safety



FUTURE DEVELOPMENT

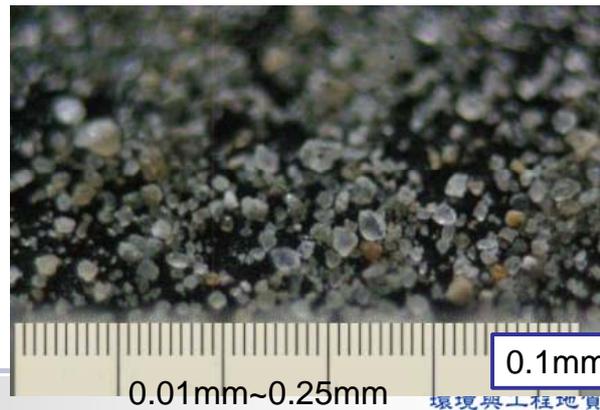
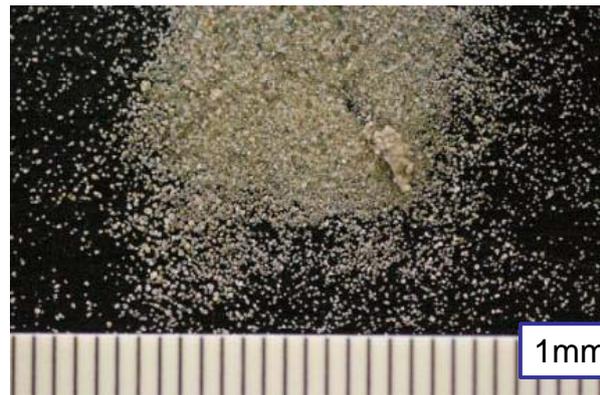
What roles should geologists play in hazards prevention?

- Analyzed each geological subdivision separately.
- What exact composition of sediments will liquefy?



Sampling from the boiled sands

Classification	Grain size (mm)
v. Coarse sand	1.00~2.00
Coarse sand	0.50~1.00
Medium sand	0.25~0.50
Fine sand	0.125~0.25
v. Fine sand	0.063~0.125
silt	0.004~0.063
clay	<0.004

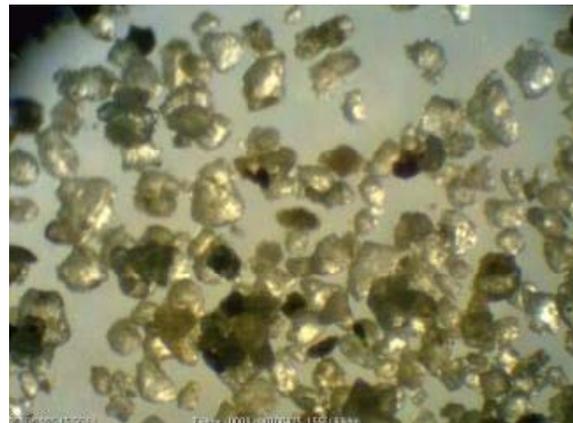
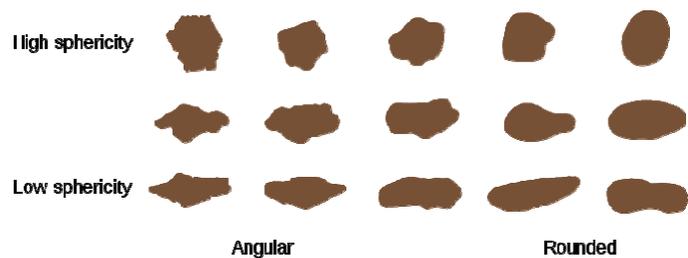


0.01mm~0.25mm

環境與工程地質組



- Mostly quartz grains.
- Well to moderately sorted.
- High sphericity
- Angular to rounded



Zoom in to 45 times



FUTURE DEVELOPMENT

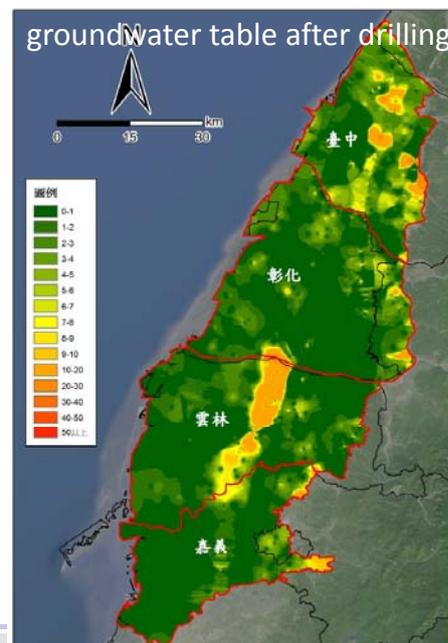
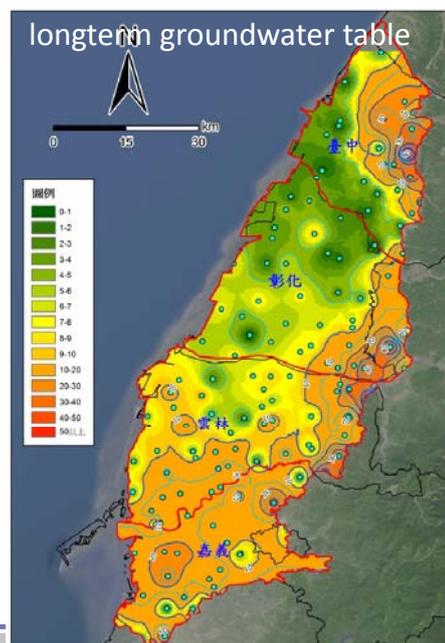
What roles should geologists play in hazards prevention?

- Analyzed each geological subdivision separately.
- What exact composition of sediments will liquefy?
- How do we choose a suitable groundwater table to analyze the liquefying potential?



Groundwater table

- What type of groundwater table is suitable for liquefaction analysis?
- Long-term? Short-term? Or a given elevation?





Thank you for listening.

Merci beaucoup!

