

工址地盤調查規劃

董家鈞 國立中央大學應用地質研究所 / 特聘教授
 岩盤工程暨工程地質學會 / 理事長

一、前言

工址地盤調查，為土木工程計畫非常重要的一個步驟，政府、事業單位或公、私業主均應於工程設計前辦理工址地盤調查，以供工程規劃、設計與施工之參考（中國土木工程學會，1992）。過去諸多工程計畫之選址選線、規設與施工缺陷，常因於工址調查工作沒做好，因而進一步導致工程失敗（洪如江，1985）。

工址地盤調查方法眾多，許多專書論文多有論述（中國土木工程學會，1992；交通部臺灣區國道新建工程局，1999；鄭在仁、王如龍，2010），反觀，對於政府、事業單位或公、私業主編列工址地盤調查預算最需要的調查規劃程序與重點，相對而言系統性論述較缺乏，且諸多調查規劃要項，被視為「純教條」，並逐漸被忽視，導致不妥適的工址地盤調查規劃愈來愈普遍，進一步造成調查成果無法成為土木工程計畫有效的參考，調查逐漸流於形式，最後導致錯誤認知，以為工址地盤調查不重要，因而慢慢侵蝕、毀壞了工址地盤調查此一重要工作之根基。

本文旨在重新將大家理應熟知之工址地盤調查規劃流程與要項重新羅列，並盡可能細緻地闡述其重要性，再加上簡單範例與可操作的建議，促使負責工址地盤調查之專業人士，能清楚認識未依合宜調查規劃程序所產出不良之調查成果，可能導致工程失敗，而願意並有能力進一步

提升調查與報告之品質，再產生調查預算合理編列之正向循環。本文不僅談技術，更是希望能探討如何從制度面解決工址地盤調查不足之沉痾，能喚醒工程師以及業主對工址地盤調查規劃之重視，而不是工程失敗就將問題推給台灣地質複雜，規避專業人士應負依合理程序進行工址地盤調查之責任。以下依調查規劃合理程序、不同調查階段之調查內容與工址地盤調查要項，分章、分節進行介紹與說明。

二、工址調查為工程計畫全生命週期、分階段、分精度、持續不斷之工作

2.1 分階段、分精度之工址調查

洪如江教授曾早於 1981 年即曾於土木水利學刊闡述工程計畫各作業階段所需之工址調查（洪如江，1981），1985 年洪教授更是總結出工址調查為分階段、分精度、持續不斷之工作（洪如江，1985），而工址調查與工程計畫全生命週期相關性之論述，也集合理於「初等工程地質大綱」一書中（洪如江，2007a）。歷經長期、持續不斷之呼籲，在「土木工程就是文明工程 (I) 導論」中（洪如江，2007b），洪教授再次闡述：『... 在進行作業的每一階段，皆須辦理不同範圍、程度、與精度（指工程圖說的比例尺）的工址調查 ...，在台灣，常發生為配合政治人物的

任期而壓縮工期，甚至於採用所謂的「重疊作業法」（同時進行施工、設計、與規劃）或「倒行逆施法」（先施工，再趕設計，然後補規劃，發生災變再補地質調查），難怪問題層出不窮。』

洪教授語重心長、一再提醒工程師與業主要重視工址調查。上述「工址調查為工程計畫全生命週期，分階段、分精度、持續不斷之工作」，事實上均已明列於各類技術規範中，包括一般性土木水利工程（中國土木工程學會，1992）、國道建設（交通部臺灣區國道新建工程局，1999）、隧道工程（中國土木工程學會，1999a）、建築工程（大地工程學會，2023）等等。無奈工程實務上，輕忽工址地盤調查此一反智之事卻一再發生，許多政治人物甚至工程專業人士，視規範如無物，一副言者諄諄、聽者藐藐的態度，著實令人感到遺憾且費解。

2.2 工程作業階段與對應之工址調查

工址地盤調查準則（中國土木工程學會，1992）建議，每一土木工程作業階段，均宜依照下列步驟辦理工址地盤調查：(1) 可用現有資料之蒐集、閱覽與研究；(2) 工址踏勘；(3) 初步調查；(4) 細部調查；(5) 評估與報告。而建築技術規則建築構造編基礎構造設計規範（大地工程學會，2023；以下簡稱基礎構造設計規範或設計規範），則是於 3.2.2 節說明地基調查步驟如下：「建築物基地之調查可配合建築計畫之規劃設計及施工作業階段逐步辦理，調查之精度由低至高，並視工程之重要性與地層之複雜性，採取不同之步驟。調查步驟包括資料蒐集、現場踏勘、初步調查與細部調查。為特殊目的或施工之需要，亦可再進行特殊調查、補充調查或施工環境調查。」

於設計規範 3.2.2 節解說中，上述調查步驟有了更詳細之闡述。配合建築規劃設計流程（規劃、基本設計、細部設計、施工階段），地基調查流程從可行性調查開始、歷經初步調查、細部調查，再到施工調查（如圖 1）。



圖 1 配合建築規劃設計作業階段而相應之地基調查（可行性調查、初步調查、細部調查、施工調查）。(基礎構造設計規範；大地工程學會，2023)

基礎構造設計規範進一步說明，一般建築工程，因工程規模較小，可視工程目的及基地地質條件，僅進行圖一之一部分調查作業，即可符合工程設計及施工需求。對於一般之建築工程而言，可行性調查與初步調查兩者或可合併執行，統稱為「預備調查」，其內容包括資料蒐集及現場踏勘，等同於工址地盤調查準則（中國土木工程學會，1992）調查步驟 (1) 可用現有資料之蒐集、閱覽與研究，再加上調查步驟 (2) 工址踏勘。

對建築物基礎構造設計與施工而言，細部調查之目的在於確認初步調查時所推估之地層構造、查明各地層之工程特性，供細部設計參考。細部調查規劃，需根據基本設計階段所擬之基礎型式、擋土支撐系統等工程特性，綜合考慮地層構造與地層之工程特性，規劃調查內容及數量（基礎構造設計規範；大地工程學會，2023）。

施工調查則是因施工目的，或開挖後地質情況與預期不符時，而需進行之調查。基礎構造設計規範第 3.2.2 節之解說中提供數項施工中需進行調查的例子：如進行化學灌漿之地層改良施工，為避免污染鄰近地區之水質，施工中須進行水質監測調查；又如於打樁施工時，常須進行振動噪音之影響調查，以保護環境之安寧。另外，盆地邊緣地區因岩盤面高程變化較劇，施工前應做詳細之施工調查，詳細繪出基地之岩盤面，並據以安排施工計畫。

2.3 工程計畫全生命週期與工址調查間具有高度互動性

經審視相關文獻（如董家鈞，2020a）與前述規範或準則，雖然對於工址地盤調查為分階段、分精度之持續性工作，多有清楚闡述，然而，工址地盤調查與工程計畫間互相影響，似仍有強化說明之必要性。參考 IAEG 工程地質模型建立準則（Baynes and Parry, 2024）內容，作者嘗試繪製工址調查、工程地質建模以及工程計畫全生命週期作業相關性的圖說，如圖 2 所示。其中工址調查項目（標示紅字），乃依基礎構造設計規範（大地工程學會，2023）之建議，將其劃分為：(1) 預備調查、(2) 細部調查、(3) 施工調查三步驟，以闡述其與工程計畫全生命週期之關係。

首先，是工程計畫開始階段（規劃與基本設計階段）之預備調查。預備調查主要成果之一為工程地質概念模型，概念模型加上「可能的」工程特性（因設計尚未定案）是工址（地基）細部調查規劃之基礎，也就是說，細部調查必須基於預備調查成果。預備調查之重要性、方法與成果將於第三章詳細介紹。

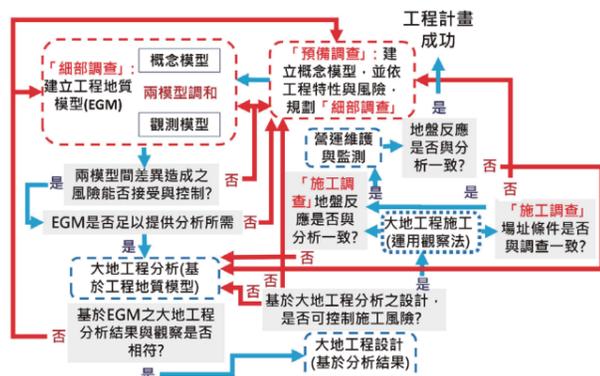


圖 2 工址調查、工程地質建模以及工程計畫全生命週期之工程作業間相互關係

圖 2 之核心精神：

- (1) 藍色虛線方框為工程分析、設計、施工、營運維護管理各階段。紅色虛線方框為預備調查、細部調查與施工調查。
- (2) 工址地盤調查是動態循環的，與工程各階段均需保持高度互動，而非一次性、獨立進行之工作。
- (3) 每階段的調查成果（如概念模型），都是下一階段調查的基礎。
- (4) 持續檢核與修正工程地質模型，是降低工程風險的唯一途徑。

細部調查，通常包括地下探查與相關室內、現地試驗，因此費用較高，因此，如何規劃合理的調查項目、位置、數量非常重要。細部調查規劃將於第四章介紹。根據細部調查所獲得的地質資料，所建立之模型稱之為「觀測模型」，觀測模型是根據現場調查（如鑽探、地球物理探測等方法）所獲得的原始地質數據點所建立的地質模型，它代表了客觀的觀測事實，需與地質師主觀判斷的『概念模型』進行調和，方可產出綜合之工程地質模型（Engineering Geology Model; EGM），或稱為地盤模型（包括地層空間分布與地層之大地工程特性），若結合過程發現兩者差異過大、且將導致工程計畫風險過高而無法接受，即必須回頭檢視預備調查階段建立之地質概念模型，或是透過補充調查取得新的地質、地工資料，不斷調和，直至概念模型與地質觀測資料不相互違背。下一步即需檢視工程地質模型是否滿足工程分析設計所需，若否，則需回到預備調查與細部調查重新檢討（包括必要之補充調查），直至工程地質模型能滿足工程分析設計所需方止。

大地工程設計，必須基於大地工程分析，若大地工程分析結果能符合實際觀察（如實際案例類比、過往工程經驗、或是後續施工中監測成果），即可進入工程設計階段，然若分析結果不如期待，則應回頭檢視預備調查與細部調查資料，甚至進行必要之補充調查，再重新檢討工程地質模型，直至滿意，方可進入設計階段。

大地工程設計必然會因地盤與工程特性之不確定性，而具有不同程度之風險。一般而言，地盤特性的不確定性高於工程特性不確定性，因此，工址地盤調查成果對工程風險影響也比較大。如果設計所產生之風險無法降低至可接受之範圍，則必須重新回到調查與分析階段，直至工程風險降低至可接受之範圍，方可進到施工階段。

施工過程，應採用 Terzaghi 所建議之觀察法（Observational approach），降低大地工程因

不確定性存在而產生之風險。觀察法的精神，是重視施工中地盤反應（監測）觀察，以及在災害發生前，透過開挖與施工中調查，發現原先細部調查未預見的、可能危及工程設計之地層、地質構造及水文地質細節（董家鈞，2017）。若地盤反應未如分析所預期，或透過開挖與施工中補充調查，發現地層或構造空間分布與前期調查具有差異性，即應回到調查與分析階段，並視需要變更設計。就算是施工順利，進到工程營運維護階段，仍應持續進行工程結構維護並進行監測，只有透過長期監測與妥善維護，方能確保工程計畫之成功。觀察法將於第五章詳細介紹。

2.4 隨工程全生命週期演進、合宜的工址調查可有效降低工程計畫風險

根據圖 2 之闡述，我們可以更清楚的了解，工程計畫並沒有所謂的調查階段。在工程全生命週期間，調查工作其實是從未間斷的。更重要的是，工址調查並非一獨立工作，而應與規劃、設計、施工、營運維護工作有良好與密切的互動。良好的工址調查規劃與執行，可以降低工程地質模型不確定性（包括地層空間分布與大地工程特性不確定性），因而有效逐步降低工程計畫風險（圖 3）。若將調查工作切割於工程計畫

之外，即無法有效執行上述互動式工址地盤調查工作，也就可以預見工程計畫推展過程中，計畫風險無法有效降低。

2.5 工址調查程序

工址調查最重要的產物，即為工程地質模型。要能先清楚陳述工程計畫與場址特性，並釐清工址調查關心之議題，方可開始規劃工址調查與啟動工程地質建模程序，包括：(1) 籌組團隊、定義工程地質建模範疇與目的以及因應之工址調查規劃；(2) 整理與計畫相關之工程與地質既有資訊（預備調查），根據預備調查結果、地質學知識與經驗，建立地質概念模型；(3) 根據概念模型引導細部調查規劃，並透過實際執行調查工作獲取觀測資料，若觀測資料與概念模型衝突，則應修正概念模型，或透過補充調查獲取新資料後重新將觀測資料融入概念模型，待兩者不衝突後即可合併成為工程地質模型（EGM）；(4) 釐清工址調查過程中獲得資料以及經解釋後產生之工程地質模型（EGM）中重要的不確定性（Uncertainties）、不足（Gaps）、以及不吻合（Discrepancies）等計畫風險來源，根據這些風險來源，擬定補充調查計畫、改善 EGM，以減少未知、降低不確定性、調整工程計畫（如變更設計）、並降低計畫風險。

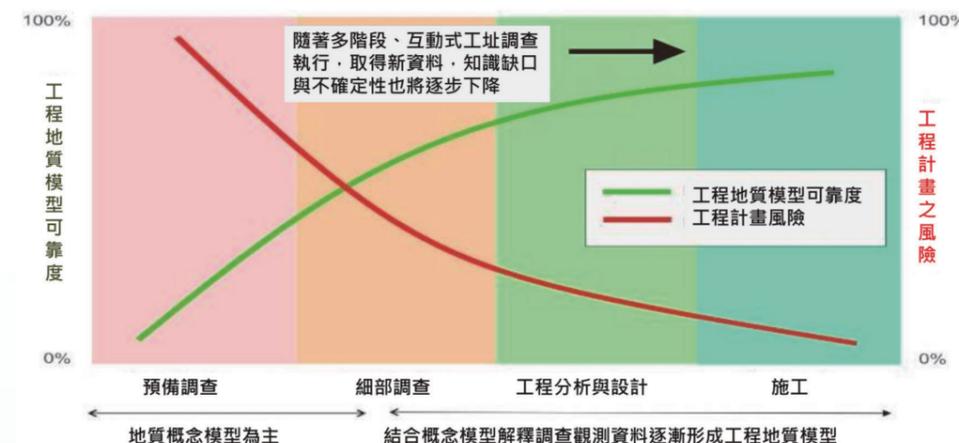


圖 3 透過多階段、互動式工址調查所逐步建立之工程地質模型，其可靠性（綠線）將隨工程進展逐漸上升、而工程計畫風險（紅線）則將隨工程進展逐步下降。降低計畫風險需要仰賴多期工址地盤調查以及設計、施工階段不斷檢視與回饋工程地質模型（EGM）方能達成。

雖然上述步驟是分開的，但是實際執行時卻是一個整體、全面性的邏輯循環。Fookes (1997) 提醒，工程師（或建築師）不應該發包一個地質調查案後，就將之忘掉，等到報告送到他桌上才想起來，並認為工址調查就此結束。這是相當危險而且錯誤的做法與態度。

為方便落實與檢核工址地盤調查規劃程序是否合宜，可於圖 2 設計三個檢核點：(1) 預備調查之後、細部調查之前。預備調查主要產出為地質概念模型，而細部調查前，應由負責進行預備調查之團隊與工程規劃設計團隊共同決定細部調查等級（視工程計畫規模與地質複雜程度而定，詳述於 4.3 節），細部調查團隊應根據調查等級，備妥根據概念模型而建立之細部調查規劃書（其繁或簡與調查等級有關）。負責工程規劃設計之團隊，必須確認細部調查團隊提供之細部調查規劃書，已根據地質概念模型確認調查重點，而細部調查規劃產出之工程地質模型，亦能滿足工程規劃、設計與施工所需；(2) 細部調查完成之後、施工之前。細部調查所產生之調查資料，應與概念模型融合，形成工程地質模型，並滿足工程分析所需，若有任何概念與資料衝突或是分析結果與預期有差異，細部調查團隊均應回頭檢核概念模型、細部調查資料與分析條件及方法，並視需要提出補充調查之需求並執行補充調查工作，重複融合概念模型與地質資料之工作，直至工程地質模型能滿足工程規劃設計團隊分析設計所需；(3) 設計完成後、至施工完成前。施工團隊首要檢核細部調查成果報告報導之工程地質模型不確定性（Uncertainties）、不足（Gaps）、以及不吻合（Discrepancies）等計畫風險對施工可能造成之影響，並需時時刻刻透過觀察法檢核地盤反應是否與預測一致、施工過程開挖或施工中調查結果是否與前一階段認知一致。若不一致，應回饋負責調查、分析與設計之團隊，並商討補充調查、重新分析與變更設計之必要性。

三、預備調查

3.1 預備調查的重要性

如前所述，預備調查內容包括資料蒐集及現場踏勘（基礎設計規範；大地工程學會，2023），等同於工址地盤調查準則（中國土木工程學會，1992）之可用現有資料之蒐集、閱覽與研究以及工址踏勘。預備調查的重要性，可由 Fookes (1997) 於其 First Glossop Lecture 文章中一段話看出來：

My view, after many years of thinking about and producing models, is that an experienced, competent engineering geologist, whose first degree is in geology, should be able to make a model from desk study (but only in an area well served with maps and geological literature), which would anticipate more than, say, 50% of the likely geological conditions or, perhaps put more usefully, identify at least 50% of the potential geological problems. If a walkover survey is added to the desk study, then more than, say, 65% of the problems should be identifiable.

根據這段話，我們能很快的了解到，基礎構造設計規範中提到的預備調查——包括文獻蒐集與分析以及現場踏勘（包括必要的地表地質調查工作）——能有效解決諸多（65%）工程計畫可能遇到的困難。值得注意的是，基礎構造設計規範更明確建議：「透過預備調查可掌握關鍵問題，因而能合理且有目標地規劃與執行細部調查工作，而大幅減少調查費用，實應加以重視認真執行。」這是規範主要催生者陳正興教授沉重的呼籲。作者推測，或就是因為陳教授觀察到部分專業人士未能予以重視、不認真執行預備調查，才會將這段話刻意寫在規範解說中。

為什麼預備調查為細部調查規劃之基礎？從 Fookes (1997) 於其 First Glossop Lecture 文章開頭引用 Glossop (1968；第八屆 Rankine Lecture 論文) 講的一段話，即可看出端倪：

If you do not know what you should be looking for in a site investigation, you are not likely to find much of value. --- (Glossop, 1968)

作者至應用地質研究所任職、在原屬林銘郎教授辦公室門上，第一次看到上面的這段深刻影響作者的話，作者一直念茲在茲。這句話具體而微其實就是在提醒大家：細部調查規劃，要先知道調查重點。但是要如何得知調查重點？關鍵就是根據預備調查結果，充分了解工址之場址地質特性與工程特性後，形成細部調查規劃所需之工作假說，再根據此一工作假說進行細部調查規劃。而這個工作假說，其實就是 IAEG 工程地質模型建立準則 (Baynes and Parry, 2024) 中提到的地質概念模型。如何透過預備調查建立細部調查所需之地質概念模型，將於 3.2 節予以說明。

3.2 地質概念模型（工作假說）為工址調查規劃之基礎

Terzaghi 在 1928 年密西根州奧克斯博壩 (Ox-Bow Dam) 的報告中提到 (Goodman, 1999)，工程地質師的重要任務之一是建立地質概念模型以作為工址調查規劃所需之工作假說 (working hypothesis)，若缺乏地質概念模型，工址調查常常僅流於形式而無助於形成智慧的工程解決方案 (董家鈞，2017)。那什麼是地質概念模型？地質概念模型如何做為工址調查規劃所需之工作假說呢？

首先，地質概念化 (Geological Conceptualization) 是基於地質師於類似地質條件與工程計畫之經驗，將地質對工程計畫影響之重要關節具象化呈現，這可以是一張地質圖、一

個剖面圖，一個手繪示意圖。發展地質概念模型須基於場址之 “Total Geological History” (Fookes et al. 2000)，需要空間加時間四個維度 “4D” 的思考能力。對於一位資深、對場址地質歷史有深入了解的地質師，地質概念模型即在他的腦海中。這聽起來有點抽象。具體而言，一般的地質師或對地質有些概念的工程師，通常會藉由區域地質圖形成地質概念模型。

以圖 4 之場址（紅色方框）為例，這個場址位於桃園台地東南側，根據區域地質圖顯示，場址附近地層為更新世桃園層不整合蓋在中新世桂竹林層與南莊層上。一般建築開發調查報告，就是行禮如儀的將區域地質圖跟抄自地質圖幅說明書的地層與構造文字放到報告書中，就算是完成區域地質資料蒐集。然而，除了知道場址分布有更新世卵礫石層跟中新世沉積岩，以及新莊斷層通過基地西北側外，從區域地質圖你還可以獲得甚麼有用的資訊？

圖 4 套疊地形圖後可知，場址地表高程大致為 EL.120m，由區域地質圖可以看到卵礫石層與下伏老地層之層界，出露在傾斜向大漢溪的邊坡高程約 EL.100m 處。從區域地質圖，即可大致研判，場址地下地質為層厚約 20 公尺的卵礫石層，其下即為傾斜之砂頁岩互層。另外，根據場址附近地礦中心工程地質探勘資料庫收錄之鑽井井錄，也可以發現岩盤高程大致於高程 EL.100m 上下變動，也就是說，不同資料指向相

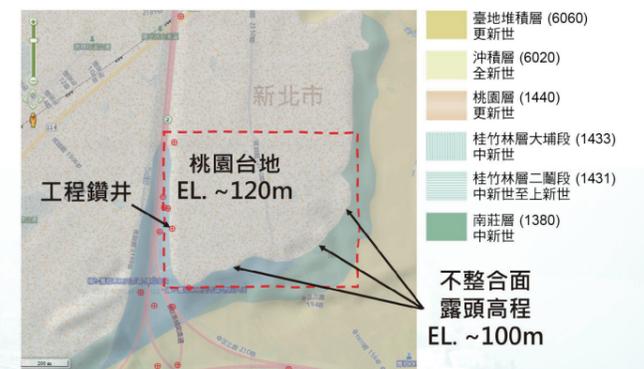


圖 4 一張區域地圖，就足以形成一個工址的地質概念模型（工作假說）。

同結果。此時，有經驗的地質師即可大致完成地質概念模型，並考慮工程特性與風險，據以規劃細部調查，包括鑽井方法、鑽井密度、空間分布與深度。因為不整合面有時會因為侵蝕作用不同，或是卵礫石堆積後有斷層活動岩盤抬升或下降，而產生了高程差異，因此，卵礫石層與岩盤不整合接觸面幾何形狀掌握程度（不確定性）高或低，對工程計畫產生之風險，決定了調查方法、數量與預算。若需要較可靠的不整合面空間分布，鑽井深度需要超過 20 公尺，且鑽井密度需要高一些，或是採用地球物理方法產生不整合面二維空間分布。值得注意的是，如果根據既有資料蒐集分析結果，大概掌握不整合面位置，再透過地表地質調查更精準掌握臨大漢溪側不整合面高程位置，調查結果若其高程的一致性相當高，細部調查階段或可考慮先減少調查密度，待調查結果有異常時，再增加鑽井數。

另舉一個例子來說明預備調查如何影響細部調查規劃。台北盆地某區擬興建商業大樓，因開挖深度大約 18 m，原根據基礎形狀、基礎設計規範以及開挖深度，最深鑽井擬鑽 36 m。但是預備調查階段，得知此處景美層深度大約 35 m ~ 40 m 間，加上考慮可能擋土支撐設計或許需要明確獲得承載層深度，因此決定 3 個鑽井均至少需鑽及景美層。後來實際鑽探結果，景美層深度約位於地下 38 m 附近，若當時只鑽 36 m，就會少了基盤深度這個寶貴資訊。

但是，值得注意的是，建立地質概念模型也並非如想像中簡單，特別是當地質條件愈複雜、既有地下調查資料越少的地方，越需要有當地地質調查經驗的地質師協助建立（董家鈞，2025）。也就是說，工址調查規劃絕對需要好的地質師參與。

作者經常提醒業主，於委託任何工址地盤調查案前，記得要請受託單位提供地質概念模型，並解釋工址細部調查規劃各項內容之必要

性與合理性。很多執行細部調查的專業人員常辯解，我都還沒進行地下探查，怎麼會知道地下長甚麼樣子？若受託單位這樣說，千萬不能將該工址調查案委託給該單位執行。Terzaghi (1928) 曾說過（間接引用自 Goodman, 1999），鑽井只是確認地質師提出之地層邊界（概念模型）是合理的，並在剖面圖放上地層邊界正確的位置。Keaton (2013) 的文章也批評，很多大地工程規範將 site investigation 與 site exploration 交叉混用，這是不對的。Exploration 是探索未知，而工址「調查」從來就不是工址「探索」。另外，以下這段引用自美國工兵署大地工程調查手冊 (USACE, 2001) 的話，同樣告訴我們，要有經濟且有效的細部調查，必須植基於地質概念模型。

A good preliminary geologic map should be prepared prior to making any subsurface borings to provide an approximate picture of the geologic conditions and hazards at a site. Such a map permits borings to be strategically located. For each proposed boring, an estimate should be made of the subsurface conditions that will be encountered, such as depths to critical contacts and to the water table. This estimate is possible, at least in an approximate manner, if geologic mapping has been performed to determine the geologic structure, lithology, and stratigraphy. The process of progressively refining the model of the geologic structure and stratigraphy by comparison with boring information is the most efficient and cost-effective means to develop a complete understanding of the geologic site.

3.3 透過細部調查之資料結合地質概念模型之地質解釋以建立工程地質模型

根據 IAEG 工程地質建模準則 (Baynes and Parry, 2024)，地質概念模型為基於完整地質概念與部分重要工程計畫相關概念所建立之模型，若其為場址特定 (Site Specific) 概念模型，其將引領工址調查規劃，並結合（解釋）工址調查所獲得之資料（通常為給定座標與高程之 3 維 (x, y, z) 地質資料，甚至是包含時間之 4 維地質資料，資料需表明其於空間或時間軸之精度），以形成分析所需之工程地質模型。通用（區域）概念模型則與特定工址關聯性較低，如地體構造或氣候尺度。至於時間軸之概念模型則是顯示工址特性沿地質時間軸所發生之演化過程。

隨細部調查產生之地質資料，必須透過地質概念模型解釋，兩者相互融合，方能形成分析設計所需之工程地質模型。以下舉一個實際案例（董家鈞，2020b），藉以說明地質概念模型對細部調查規劃、執行以及補充調查之重要性，並說明細部調查產生之資料，為何需要概念模型之解釋，方能產生工程地質模型。

本案例場址位於楊梅地區，地表出露地層包括更新世楊梅層（受構造影響層面多已傾斜）與店子湖層（台地礫石，多為次水平），楊梅層可再細分為以砂泥岩為主之照鏡段與以砂、泥、礫石互層之照門段。鑽探方法採用鑽堡施作，根據鑽堡鑽進產生之岩屑與鑽進速度，地質師研判出之柱狀圖顯示於圖 5(a)。

鑽堡施作過程紀錄得到之地下材料包括礫石與軟弱砂、泥岩層，然因鑽堡施鑽無法區別地層是否傾斜，因此應用地質技師可主觀判斷，鑽遇之砂岩層為台地礫石（店子湖層）內近水平分布的凸鏡體（圖 5(b)），而這就是一種可能的地質概念模型（解釋），因而可繪製出如圖 5(b) 的地質剖面。然而，這並不是唯一的可能解釋，因此，剖面上之地層界線應標示“?”。若地質師認為此鑽井接近地表的礫石（圖 5(c) 紅色虛線以

上）是店子湖層，而紅色虛線以下鑽及之礫石與砂泥岩層是楊梅層照門段的地層，這樣這些礫石與砂泥岩互層之地層就應該是傾斜的，地質剖面就會較接近圖 5(c)（第二種地質概念模型），而地層邊界亦應標示“?”。這是註記工址調查結果之不確定性，並讓後續調查工作能掌握可能風險來源，並作為補充調查規劃之參考。

地質概念模型不同，因而產生之工程地質模型即不同，對工程影響也就跟著不同。圖 5(d) 顯示，若工程規劃擬採 12 m 深之垂直開挖以及擋土與建築物外牆共構，則地質概念模型的不確定性即會導致工程風險過高而無法接受。回過頭來檢討工址調查規劃，若事先知道工程設計將採垂直開挖，且應用地質技師研判之地質概念模型為圖 5(c) 顯示的第二種，則工址調查鑽探方式將不會採用鑽堡施作。若地質師認為工址店子湖層厚度應該會超過 12 m，或工程設計挖填深度不致造成弱面透空 (daylight)，採用鑽堡施鑽但仔細記錄岩性與鑽進速度或尚屬適宜。若採鑽堡進行細部調查後才發現工程風險過高、不可接受，即應於報告中提醒工程規劃、設計單位，應於下一階段調查時規劃補充調查，以釐清疑點，比如說至少增加一個鑽孔利用旋鑽取樣確認砂泥岩是否傾斜，以確認概念模型與並建立足夠信心程度之地質剖面。

對某些工程設計，上述概念模型差異或不會造成太高之工程風險，因此，原先大膽之推測而未被證實，或也不至於導致過大之工程風險。但是，應該留下決策紀錄，以釐清責任。若開挖造成砂泥層面產生順向滑動，決策者即應負責。然若調查者未註記此一調查過程中之不確定性導致工程失敗，則應由調查者負責。董家鈞 (2020b)，另外提供了一個台南地區的案例，說明不同地質概念模型將產生不同的工程地質模型，有興趣讀者可自行參閱。

因工址調查與工程地質建模程序為多階段的，從計畫開始至結束（可行性、規劃、設計、

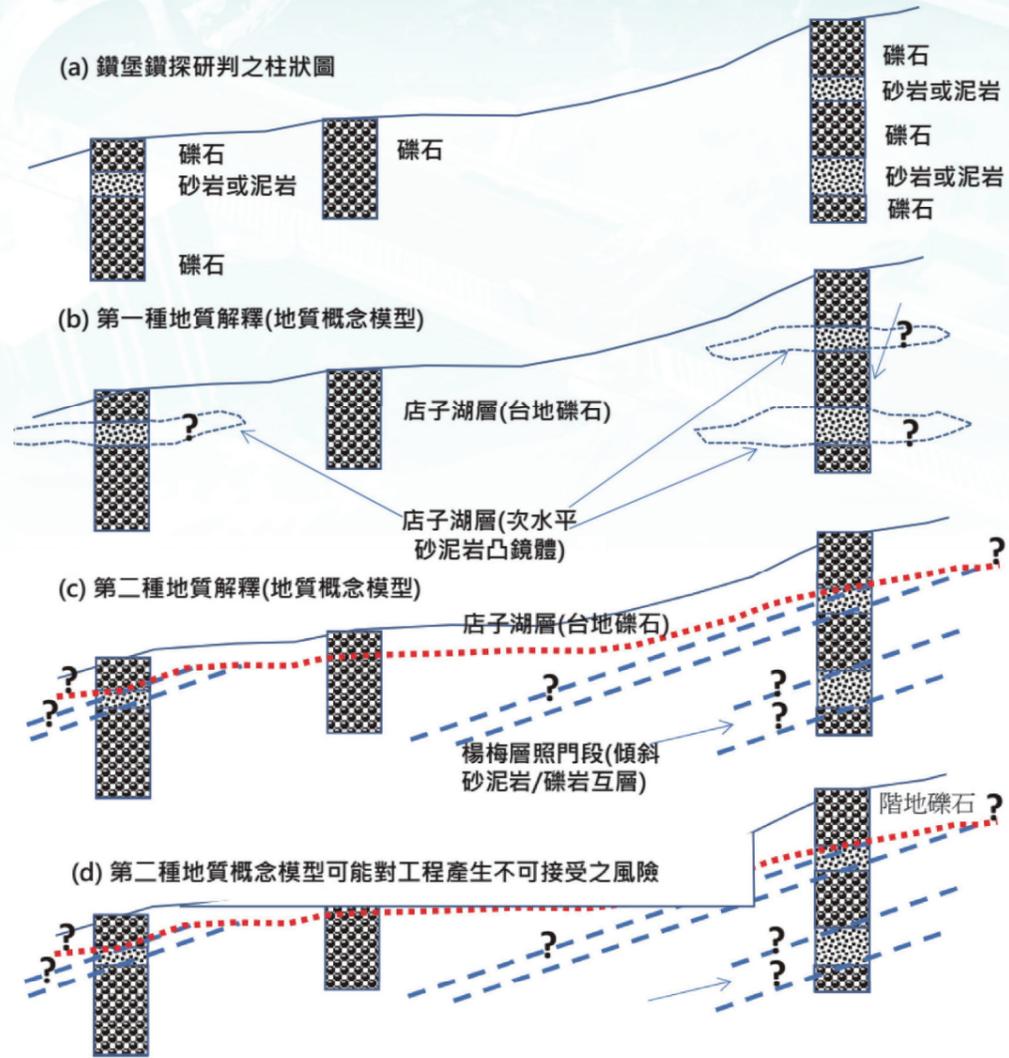


圖 5 (a) 根據鑽探鑽進產生之岩屑與鑽進速度，地質師研判出之柱狀圖，若沒有概念模型解釋各鑽井柱狀圖，根本無法繪製地質剖面；(b) 認為鑽井鑽及地層全部皆為店子湖層（第一種地質概念模型）所繪製之地質剖面；(c) 認為鑽井鑽及地層淺部卵礫石層屬店子湖層、其下砂泥層以及再下方之卵礫石屬於傾斜之楊梅層照門段（第二種地質概念模型）所繪製之地質剖面；(d) 以第二種地質概念模型解釋所繪製之地質剖面，研判垂直開挖 12 公尺之工程規劃設計風險過高、無法接受。

施工、營運…) 全生命週期不斷演進，地質概念模型與觀測模型（根據觀測資料建立之地質模型）通常在各階段間持續交互作用與影響，僅當概念模型與觀測模型一致時，工程地質模型方能收斂且被接受，之後才能進入大地工程分析階段（圖 2）。一般而言，場址元素不確定性較工程元素高。但是在計畫初期，工程元素尚未確定、建模多仰賴地質概念模型，此概念模型將成為工址調查規劃之重要指導框架，隨著計畫推進，透

過調查觀測不斷提供新增資料，進而搭配概念模型產生工程地質模型，而概念模型將隨之持續修正。此一交互循環過程如圖 6 所示。

工址調查為多階段工作，預備調查階段產生之地質概念模型指導細部調查規劃、細部調查產生之資料透過概念模型解釋而形成工程地質模型，或用來校調概念模型。以下說明概念模型與調查資料相互融合過程與步驟：(1) 基於預備調查工程與地質資訊建立概念模型；(2) 執行細部

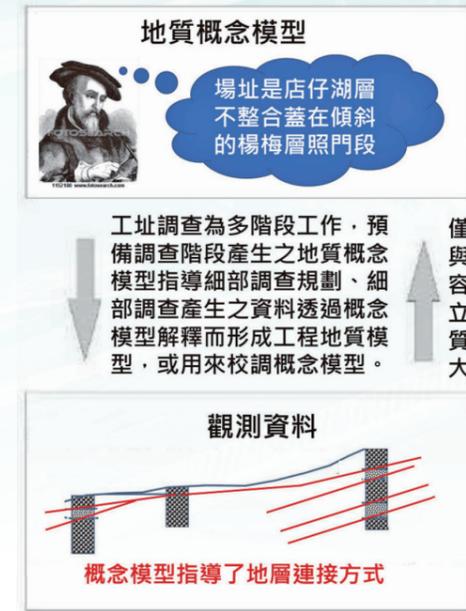


圖 6 地質概念模型與觀測資料相互支持、比較、修正之交互循環過程。計畫初期，地質概念模型為工址調查規劃之重要指導框架，隨著計畫推進，透過調查觀測不斷提供新增資料，進而搭配概念模型產生工程地質模型，而概念模型也將隨之持續修正。

調查並獲得地質與地工資料；(3) 基於地表與地下真實時、空資料，以及概念模型之解釋，建立工程地質模型，觀測資料將排除、確認或更新概念模型並測試工作假說；(4) 地質師進行解釋前要先進行資料檢核，確保所有資料都能滿足準確性及代表性；(5) 地質師需要解釋觀測結果，並基於觀測與解釋結果，決定還有什麼或還有哪些地方需進行觀測。本項工作宜由有當地經驗的地質師負責。

四、細部調查規劃與預算編列，應考慮工程計畫風險

細部調查對工程計畫而言非常重要，但是，也理應於安全與經濟間找到平衡點，無謂的擴大調查預算並不合宜。細部調查規劃與預算編列，應考慮工程風險。工程規模越大、對工程特性、地下地質條件以及隨時間工程地質條件變化掌握之可靠性越低（不確定性程度越高），工程風險即越高。也就是說，細部調查規劃與經費編列，應考慮工程計畫特性、規模及地質複雜程度。

4.1 工址調查（特別是細部調查）規劃考慮要項應包括地質元素與工程計畫元素

IAEG 工程地質模型建立準則（Baynes and Parry, 2024）中，清楚揭示了工址調查規劃與工程地質建模必須考慮兩大元素：(1) 工程計畫（Project）相關元素；(2) 場址（Ground; Site）相關元素。同樣地質條件，工程計畫不同，調查規劃、採用之調查方法、調查位置、深度與密度，以及建立分析所需要的工程地質模型，皆有所不同。

工址地盤特性對工址調查規劃影響之鉅，當然更是無庸置疑，這也是為什麼我們需要地質概念模型引導工址細部調查。即使是相同工程類型（如建築、橋梁或隧道…）於不同工址，導因於不同地質特性，其設計及施工條件亦將有所不同，因此，必將有不同之細部調查規劃。舉例而言，山坡地調查與沖積平原之調查規劃考量不同（地形、地質、作用營力均不同）；同樣屬於沉積岩出露之山坡地，西部麓山帶（如大坑地區）與紅土台地（如大肚山或八卦山）之調查規劃即有不同的考量；同樣屬火成岩地區之山坡地，噴出岩與深成岩之調查規劃當然也很不一樣；同樣屬於沖積平原，台北盆地與台中盆地之調查規劃考量亦自不同（如鑽孔機具選擇與承載層深度）；就算都在台北盆地，砂層與粘土層之調查規劃考量也不同。

以幾個實際案例進行說明。南投縣政府大樓位於八卦山山麓，開挖時，曾面臨抽水、降低地下水位困難的問題；某台北盆地邊緣建築開發，曾面臨調查階段誤判崩積層大岩塊為基盤而引發設計與施工承載層深度認定爭議。這些都是位於山坡地坡腳進行工址調查要注意的問題。大屯火山地區，也可能需要注意凝灰岩（風化後之土壤分類常為高塑性黏土 CH）與下伏凝灰角礫岩交界面之空間分布。

除此之外，地形影響工程施工性，因而影響設計。地形亦影響細部調查之施工性，因而影響調查機具選擇與取得水源之方式。另外，交通繁忙之道路旁或充滿地下管線之工址，將可能各

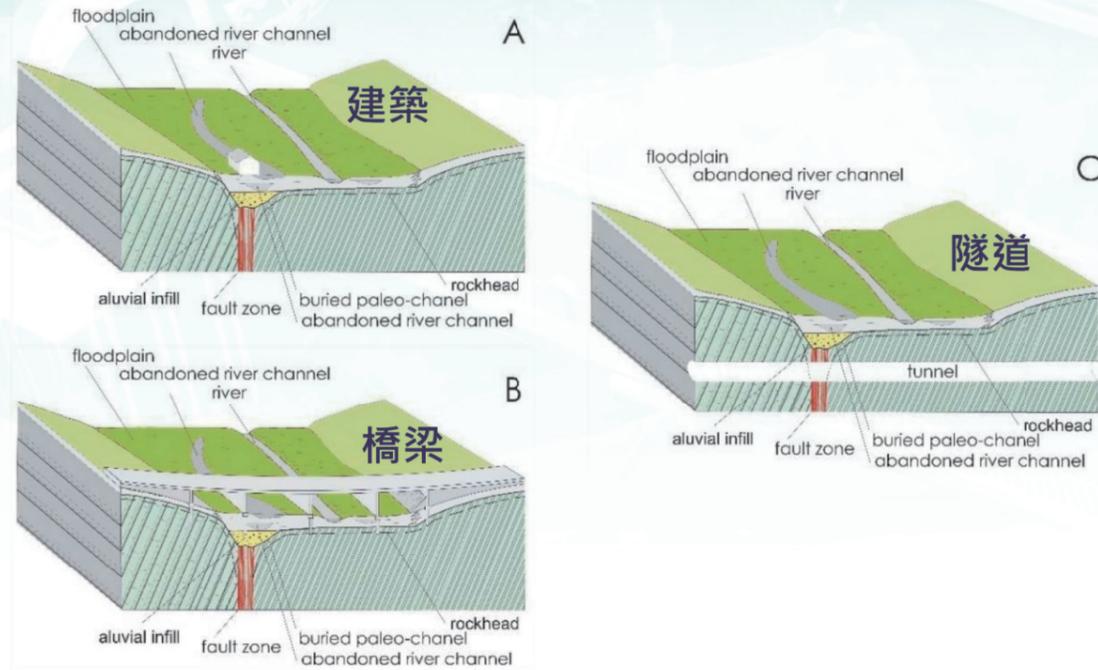


圖 7 工址調查規劃與工程地質模型建立，需同時考慮兩大元素：(1) 工程計畫特性；(2) 工址之工程地質特性。縱使位於相同工址，不同工程計畫型態 (A：建築；B：橋梁；C 隧道)，工址調查與需滿足工程分析所需而建立之工程地質模型即可能非常不一樣。(修改自 Parry *et al.* 2014，原圖來源：IAEG 工程地質模型建立準則；Baynes and Parry, 2024)

自造成不同地球物理探測方法之困擾。而地質敏感區、老崩場地、舊礦坑與棄渣之分布、填土區、斷層、可能液化地區、河岸侵蝕或向源侵蝕等等，細部調查規劃時均應有特殊考量。

作者開事務所時，常收到業者報價請求，業者通常只會提供基地地籍圖（包括面積）與需要鑽探孔數。作者一定會再問的問題，包括工址位置、土地利用規劃、以及結構物設計初步構想。接著，作者必然會自己前往現勘，並進行地表地質調查，以建立地質概念模型，再來進行地下探查（細部調查）規劃與報價。

此一重要但容易被忽略的關鍵問題，諸多工址調查準則已一再提醒（如中國土木工程學會，1992；Baynes and Parry, 2024），基礎構造設計規範（大地工程學會，2023）也在 3.1.2 節列出地基調查計畫需考量因素應包括工程、地質地工特性與環境因素。無奈，實務上還是常見未能妥善考慮地質（地質概念模型）與工程特性的工址調查規劃案例。

4.2 工址調查，風險辨識與風險註記為重要工作

IAEG 工程地質模型建立準則（Baynes and Parry, 2024）相當重視工址調查與工程地質模型之風險辨識與風險註記。預備調查結束後，進行細部調查規劃前，應先基於預備調查之成果報告文件，釐清概念模型之不確定性，並註記其可能對工程計畫造成之風險，再進行工址細部調查規劃與執行調查工作。接著，即應審查基於融合概念模型與調查資料之工程地質模型，並重新註記工程計畫風險，並作為下一階段補充調查或是施工調查之重要指引。綜而言之，風險辨識與註記是工址調查規劃關鍵要項。

基礎構造設計規範（大地工程學會，2023）在 3.2.1 節中，特別提及調查需重視其結果之可靠性，並強調考慮：(1) 地盤之不均勻性；(2) 測定值之變異；(3) 試驗與測定方法所致之差異；(4) 地下水位或水壓變動等所致之影響。這些可能的不確定性來源，不只是應該被考慮，而應該

要於正式文件予以註記，並透過調查降低其不確定性、提升其可靠度，並亦於正式文件留下紀錄。值得注意的是，地質模型之不確定性較地工參數之不確定性，有過之而無不及，實不應被忘記而忽略了。

4.3 調查規模等級（經費）決定，需同時考量地質複雜度與工程重要性

工址地盤調查預算編列，其實就是調查規劃之具體成果，換句話說，調查規劃的最後成果，其實就是預算。基於以上兩小節之論述，我們可以清楚認識到，工址地盤調查規劃，應考慮工址地盤條件與其工程特性，並重視工程計畫風險所在。

政府、事業單位或公、私業主應編列充足之經費辦理工址地盤調查，以供工程之規劃、設計與施工之參考。工程特殊與地質複雜之工址，更應慎重加強辦理地盤調查。一般而言，建築與一般結構物工程調查經費，估計畫總工程費之 0.2% ~ 0.5%，佔大地工程或基礎工程費 0.3% ~ 0.8%（中國土木工程學會，1992）。雖然，以工程經費之占比做為預算編列之參考，較容易執行，但是，以工程經費之占比直接進行預算編列並不正確（Weltman and Head, 1983）。

Skipper (2024) 於其第 18 屆 Glossop Lecture 指出，英國過去因地質條件不佳，造成工程失敗而導致客戶投資報酬減少高達 50%（Chap-

man and Marcetteau, 2004)。然而，英國用於地盤調查的費用佔整體營建成本的比例，平均仍僅停留在 0.2% 至 1% 之間。若以倫敦一座五星級高樓層飯店的興建為例，假設總投資為 1,000 萬英鎊，地盤調查的預算僅約 2 萬至 10 萬英鎊，而地盤不佳導致之風險卻可能造成超過 500 萬英鎊的損失。這樣的投入工址調查預算比例合理嗎？因此，前述工址調查於總工程投資經費占比數字應該只是一個參考而非限制。

IAEG 工程地質模型建立準則（Baynes and Parry, 2024）提供了一個非常值得參考的表格，原本作為工程地質模型建模等級之依循標準，其實具體而微也可做為工址地盤調查規劃（預算編列）等級之參考。表 1 乃根據計畫重要性與地質複雜度決定調查與建模等級，不同調查等級有不同調查規劃與審查要求。工址調查等級與後續之調查規劃，除工程計畫經理外，同時也必須參考具專業能力與經驗的工程地質師之建議。

4.4 不同等級調查規劃（預算編列）要求

根據等級 1 至 3，工址調查從籌組團隊、到專案研究之必要性、地下探查規劃、室內試驗、再到工址調查報告撰寫與審查方式，均有不同程度之要求（表 2）。等級愈高（工程與地盤複雜度越高、工程風險越高）、細部調查需要越詳細，當然調查經費即應該隨之提高。

表 1 工址調查（與工程地質建模）等級。(表格修改自：IAEG 工程地質模型建立準則；Baynes and Parry, 2024)

工程計畫複雜度	可能影響工程計畫的地盤、地工複雜度 – 源自概念模型			
	單一/均質： 和緩傾斜或水平的岩層、均質的土壤、無地質災害、很少大地工程限制條件。	中等複雜/具變異性： 岩層具變化性的褶皺和/或斷層、多樣性土壤、不整合岩層、有地質災害、具少數潛在的大地工程限制。	複雜/具危險性： 岩層具複雜變化的褶皺和/或斷層、層厚且不均質土壤、不整合岩層、明顯複雜的大地工程性質、活動性顯著的地質災害（例如大型邊坡滑動複合體、活動斷層、喀斯特地形），或地質災害規模及/或發生頻率因專案計畫開發而增加。	
小型工程開發、佔地面積小、工程失效代價低	等級 (Level) 1	等級 (Level) 1	等級 (Level) 2	
中型工程開發、工程失效代價中度	等級 (Level) 2	等級 (Level) 2	等級 (Level) 3	
重大基礎設施、大型線狀計畫、區域研究、工程失效代價高	等級 (Level) 3	等級 (Level) 3	等級 (Level) 3	

表 2 不同工址調查等級，對於籌組團隊、專案研究、地下探查、室內試驗、工址調查報告與審查，都有不同要求。(表格修改自：IAEG 工程地質模型建立準則；Baynes and Parry, 2024)

	等級 (Level) 1	等級 (Level) 2	等級 (Level) 3
籌組調查與建模團隊	可由單一人負責調查與建模作業。若工程規模小且單純，或可由工程地質師負責，若地質條件單純，或可由大地工程師負責	由工程地質師及大地工程師組成的小型團隊負責調查與建模作業	由大規模、跨領域的專家群負責調查與建模作業
地質調查專案研究	無	無	可選擇進行專業地質研究，如地質災害研究或地盤/結構互制研究等等
地下調查	單一階段小規模地下調查，例如：試坑，若真的需要可以考慮鑽探調查	可採用鑽探、圓錐貫入試驗 (CPT)、地球物理探測等方式調查，或設置監測儀器	多階段地下調查，採用鑽探、現地試驗、地球物理探測等方式，若適當，可考慮設置監測儀器及長時間監測
室內試驗	無或有限數量的室內試驗	若可能，應進行室內試驗	若可能，應進行大量且專業的一般性及特定種類室內試驗
報告與工程地質建模	合併的紀實、分析報告 (含工程地質模型)。少量現勘測繪製圖，現場工程地質素描/剖面圖	各自獨立的紀實及分析報告 (含工程地質模型)。工程地質圖與剖面圖測繪，包括工址及週遭	各自獨立的紀實及分析報告，考量建立三維、數位化工程地質模型。各種比例之工程地質圖與剖面圖測繪，包括工程計畫工址及週遭
審查	內部審查	內部 / 外部同儕審查	外部同儕審查/專家小組審查

業主通常最在意的就是調查經費，而調查經費取決於調查範圍、點數與深度。一般規範 (如建築技術規則建築構造編，內政部國土署，2023、水土保持技術規範，農業部農村發展及水土保持署，2025) 對調查密度與深度之規定，都是最低標準，實務上，絕大多數業主都要求以最低標準進行工址調查，而專業人士亦已習慣逆來順受，擔心若不接受，就會失去此一委託工作。值得注意的是，若因調查不足而導致工程失敗，專業人士恐難完全脫責，不得不慎啊。

4.5 細部調查規劃內容與調查項目 (以建築與山坡地開發為例)

工址地盤調查計畫之編擬應依各工程作業階段之需要，擬定調查目標及方法。因為攸關於工址地盤調查項目與方法，相關參考文獻已經很多 (如交通部臺灣區國道高速公路新建工程局，1999；大地工程學會，2023)，本文不擬贅述，茲參考工址地盤調查準則 (中國土木工程學會，1992)，明列工址地盤調查規劃至少應包括下列內容：

- 工程描述
- 工址概況
- 工程執行分段

- 調查構想
- 調查工作項目及內容
- 調查工作位置
- 調查工作規範
- 調查工作預算
- 調查工作期限及驗收方法

以建築與山坡地開發為例，細部調查項目與配合之分析設計考量如表 3。

表 3 配合分析設計需求之細部調查項目 (以建築與山坡地開發為例)。(表格摘自：中國土木工程學會，1992)

工程計畫	分析設計考量	調查項目
1. 建築與一般結構物	地質缺陷引起之災害	地質缺陷
	地盤對結構物之影響	地層分布
	地盤液化危險性	地層緊密度
	地盤承載力	地層強度
	地盤基樁承載力	地盤變形特性
	地盤沉陷量	地盤動力性質
	土壤與開挖變形量	地下水位與變化
	地下水影響	地下水質
2. 山坡地開發工程	施工難易度	地盤滲水性
	地質缺陷引起之災害	山坡地質分布與缺陷
	山坡穩定性	裂隙層特性
	錨碇坑之影響	岩層特性
	開挖邊坡穩定性	地質弱面
	地震對山坡之影響	斷層及活動性
	地下水影響	蕃崙場地
	填土材料來源與適用性	錨碇坑及錨碇區分布
填土與開挖間之基礎差異沉陷	地下水位與滲水量	
	填土材料數量與施工性	
	填土變形特性與強度	

基礎構造設計規範則是規定細部 (主要) 調查規劃內容應包括：(1) 調查項目及方法；(2) 調查點數及間隔；(3) 調查點位置及深度；(4) 取樣位置、室內岩土試驗項目及數量；(5) 現場試驗項目、數量及位置。如調查工作是發包委外辦理，宜先編好基地調查規範方予執行。

4.6 細部調查方法

細部調查方法包括：航遙測、地表調查、地球物理探測、鑽孔、開挖調查、室內試驗、現地試驗等等。因相關規範、準則已有相當多說明與論述，於此不再贅述。

五、Terzaghi 的觀察法，需要施工調查來落實

Terzaghi 在他專業生涯後半段，告誡過度依賴倉促的、推理性的設計倡議者，應該多重視施工中的觀察 (Goodman, 1999)。Terzaghi 也警告，未預見的構造 (unforeseen structural)、地形 (morphological) 及水文地質細節 (hydrological details) 極可能危及工程設計。所謂的“unforeseen”，指的是在施工前之工址調查未曾發現，Terzaghi 認為，我們是有機會透過施工中觀察而得知的。

但是，可能危及工程計畫的問題，要如何在施工中得知呢？其一，透過觀察地盤受施工影響之反應。這個其實是施工「監測」的積極目的。目前大家習慣將「監測」稱為「安全監測」，彷彿裝了監測儀器，施工就安全了。但是重點是，監測資訊告訴了我們什麼？通常，安全監測會事先設定所謂的「預警值」，其意義即是地盤反應跟預期不一致。所以，我們需要先有「預期」值，大地工程分析，其實就是掌握「預期」值的重要方法。若施工中監測結果與「預期」(分析結果) 不相符時，即有可能是真實地層空間分布與參數 (工程地質模型、地盤模型)

與分析所採用者不相符，或是更嚴重的，施工現場存在有「未預見的構造、地形及水文地質細節」可能危及工程計畫。我國與工址調查相關準則與規範，較少將監測與工址調查放在一起，而是另外針對安全監測進行規定。作者認為，應該將監測視為工址調查的方法之一 (如常見的利用測傾管觀測結果調查地滑地之滑動面)，這是我們可以努力的方向。

其二，要如何在施工中得知因地質條件與前期調查不符、因而危及工程計畫的問題？這在許多規範亦多有提及，舉例而言，基礎設計規範 3.1.3 節即規定：「基礎施工期間，如發現實際地層狀況與原設計假定不一致或基礎安全性不足時，應即依據實際情形辦理補充地下探勘及配合變更設計。」但是，問題是要如何知道「實際地層狀況與原設計假定不一致或基礎安全性不足」？山坡地開發建築管理辦法 (內政部國土署，2003) 第 8 條規定：「雜項工程施工中，發現地形、地質與實際工程設計不符時，起造人應會同承造人及監造人依法變更設計後，始得繼續施工。其有危害安全之虞者，主管建築機關得令其停工，並為緊急處理。」但是在加強山坡地雜項執照審查及施工查驗執行要點以及要點所附審查表與查核表均無實施細節之規範，因此，山開辦法之規定形同虛設。過去水土保持技術規範曾有「工程設計與地形、地質不符之認定」(第 143 條)，但是最新版本 (農業部農水署，2025) 已遭刪除。刪除原因主要是欠缺施工調查，導致執行有困難。但是，執行有困難，究竟應該是取消相關規定？還是努力推動並落實施工中之地質調查？根據以上說明，顯然施工調查在台灣被過度輕忽了。

如前所述，要能順利執行施工調查，首要條件就是細部調查成果中，必須要能點出工程地質模型之不確定性 (Uncertainties)、不足 (Gaps)、以及不吻合 (Discrepancies) 等計畫風險。施工團隊則是要檢核工程地質模型可靠性

是否足夠，施工風險是否在可控制範圍內，若有不足，須於施工前進行補充調查，或是規劃施工中調查（包括監測）。施工中則是透過觀察法檢核地盤反應是否與預測一致（與分析設計團隊保持溝通）、進行施工過程開挖面紀錄，以及檢核施工中調查結果是否與細部調查成果一致，並視需要回饋負責工址調查之團隊。

值得一提的是，施工開挖紀錄，在目前遙測技術使用如此便利的現在，其實是非常容易執行的，山坡地開發開挖期間進行開挖紀錄，絕對會是經濟且能產生巨大效益的施工中調查方法，應納入成為施工調查常態。若能落實，山坡地開發建築管理辦法之規定才能真正發揮作用，畢竟，若無施工中地質調查與測繪，怎麼會知道「地質與實際工程設計不符」？

六、工址調查成果

根據 IAEG 工程地質建模準則 (Baynes and Parry, 2024)，工程地質模型 (EGM) 之定義為：「EGM 為一個綜合、完整的認知框架，特別針對可能影響工程計畫及其工程特性的地質、地形和水文地質狀況等，進行邏輯評估和解析。EGM 包括概念和觀測兩成分，並可能由若干相互關聯的模型和方法組合而成。地質模型、土工模型和地質災害評估等，均是由 EGM 認知體系所產出。」個人更喜歡該準則前一版本之定義：「一套知識體系，用來評估與解釋對工程計畫重要之地質條件與工程特性，這套知識體系可提供從工程計畫開始至結束之決策依據。」若根據此一定義，工址調查之最重要的成果，其實就是工程地質模型。

6.1 工程地質建模操作重點

伴隨著與工程計畫全生命週期交互影響的工址調查工作，工程地質建模與計畫交互影響，而隨著計畫不同階段而逐步演化。其操作重點說明如下：

- 了解計畫需求，工址調查與工程地質模型 (EGM) 建模是高度目標導向的；
- 透過預備調查及早建立工作假說 (地質概念模型) 並建立第 1 版 EGM、透過工址調查所獲得建模所需之資料、不斷質疑與修正概念模型、隨時準備改變想法；
- 調查與模型由廣域尺度逐步推演至場址尺度，調查精度逐步增加；
- 為了不斷追求更高精度 (更大比例尺) 或更複雜地質模型而無止盡增加調查費用是不切實際的，重要的是透過工址調查所建立之工程地質模型要確保夠健全 (Robust)、能滿足計畫需求，不致因工程地質模型變異或不確定性造成計畫重大改變；
- 工址調查不只是滿足提供工程地質 (層) 單元空間分布所需資訊 (是什麼)，應該同時要提供包括大地工程資訊 (工程行為導致地盤反應) 以及地質環境 (地形、地表作用、水文地質...) 等與時間有關之資訊。

因為工程地質建模涉及不同計畫階段之調查與解釋，因此建模過程必須重視：

- 提供圖示說明計畫各階段地質、地形、水文地質與大地工程資訊 (試驗或設計參數) 資訊之差異；
- 確認建模使用資料來源之可靠性；
- 清楚的確認與陳述採用之假設 (假說)、知識不足以及其不確定性；
- 呈現模型是「活生生的」：計畫各階段隨著新資料產生，模型不斷更新、演進，將「預期」逐漸往「真實」靠近 (圖 8)；
- 提供模型 QA/QC 文件，包括輸入 (資料)、方法、輸出 (工程地質模型) 以及模型不確定性等等。

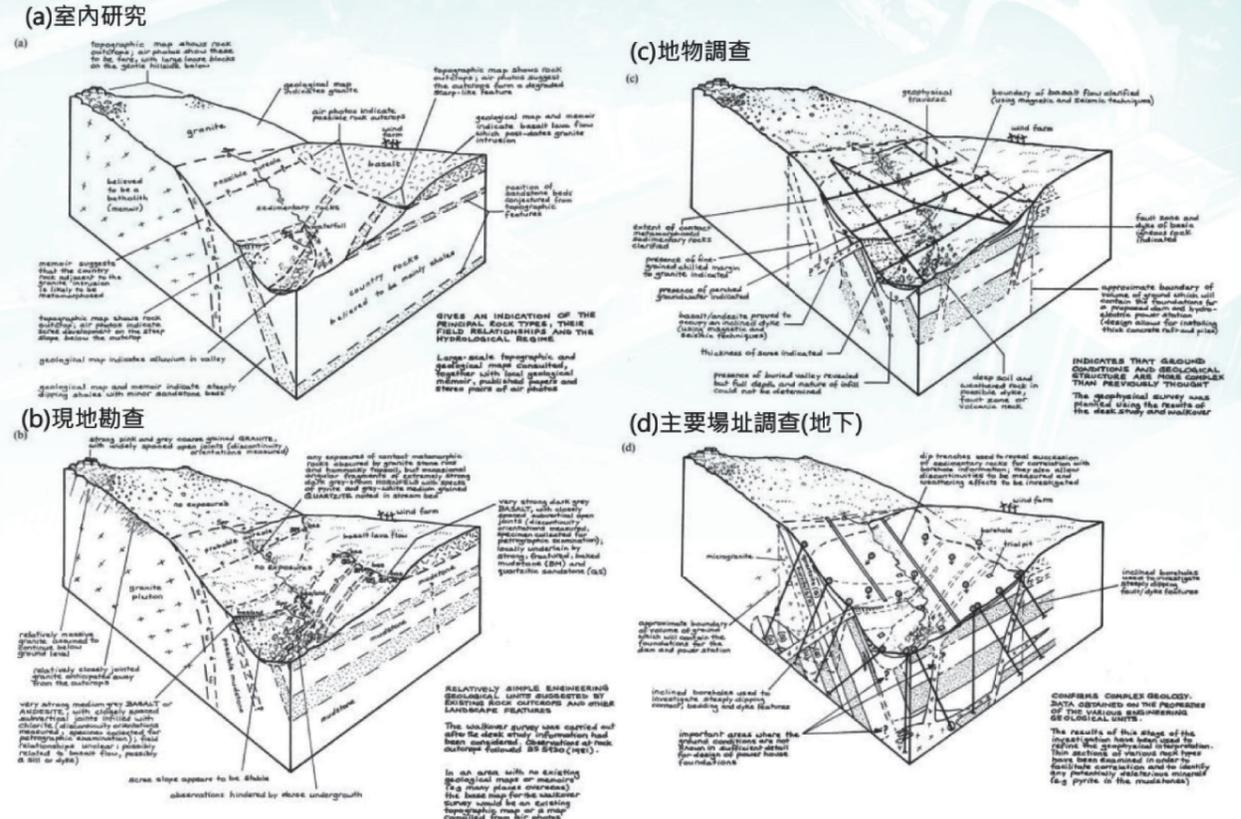


圖 8 隨著各階段工址調查工作推進，工程地質模型將不斷演化，也就是說，工程地質模型是「活生生的」。(本圖摘自 Fookes, 1997)

6.2 工址調查報告包括紀實報告與解釋報告

工址調查成果報告應明確區分為：(1) 紀實資料資訊與調查觀測結果；(2) 解釋描述，包括概念化。以下介紹兩種不同報告類型應包括之內容建議：

1. 紀實資料報告

紀實資料報告至少應包括以下資訊：

- 目的和工作範疇。
- 工程專案計畫工址的位置與工址描述。
- 根據既有資料，說明工址之區域地質、工程地質，以及人為活動所造成的工址改變。
- 過去工址或鄰近相似區域之任何詳細的調查資訊。
- 既有和目前調查位置之平面圖。

- 採用的調查方法。
- 調查成果及獲得的資訊。
- 採用的室內試驗和現地試驗，以及其試驗結果總結。

- 紀實資料報告中任何經解釋的內容，例如：岩性或地層單位的劃分，或地球物理探測結果的解釋，都應明確地記錄其不確定性及可替代的解釋。有關紀實資料報告書內容的任何解釋，應包括其限制。

2. 解釋報告

解釋報告至少應包括以下要項：

- 各項解釋說明所參考的資料 (紀實資料或紀實資料報告)。
- 預備調查的成果。
- 概念模型與其所初步辨識的工程關鍵風險。

- 考慮概念模型、工程關鍵風險及不確定性，以及所規劃的細部調查作業邏輯。
- 根據調查結果，提供下列與計畫有關、足夠詳細和有據可查的資料：(a) 地層、岩性、年代、風化和蝕變。(b) 構造、弱帶或不連續面的特徵。(c) 地貌以及地與貌相關之地表和地表下作用。(d) 地表水和地下水。(e) 與地盤條件相關的「全地質歷史」。(f) 專案計畫工址中任何人為活動所造成改變的詳細資訊。
- 工程地質單元及其劃分採用的依據。
- 能呈現工程地質單元、水文地質狀況和地質作用的 3D 空間分佈以及它們如何隨時間變化之地質模型、其控制因素和邊界條件、地下水、地貌作用和工址以及周圍已觀察到或認為會發生的地質災害。地質模型應劃分出具有相似工程特性的單元，並描述發生特性變化的邊界。地質模型的區域地質特性應予以討論，並闡述（特徵化）地質模型的不確定性。根據工程專案計畫報告要求，所提出的地質模型應與計畫關心特定重點相關，例如專案計畫關心重點為水文地質模型或岩體模型。
- 能呈現出地質模型各單元其工程特性及相關之地工參數（特徵化）。對每個劃分的工程地質單元，應當提供工程特性描述和地工參數，並應描述材料特性的範圍和提供典型參數範圍及其不確定性。分析使用的工程參數應基於上述資訊加以選擇。
- 任何已劃分的（地質）分區或已定義的區域，以及說明劃分的根據。
- 若有必要時應進行地質災害評估。
- 地盤條件可能影響工程計畫的相關說明。
- 應提供涵蓋工址和周圍地區的適當比例尺之工程地質平面圖和地質剖面圖，以說明所解釋的工程地質模型（含參數），一方面做為工程評估基礎資訊，另一方面可向業主、僱主、保險公司或公眾提供說明。工程地質圖測繪標準請參考中國土木水利工程學會（1999b）所編著之「工程地質測繪準則與解說」。
- 如果 3D 數值模型為紀錄文件之一部分，應提供 3D 數值模型報告以說明模型的不確定性和可靠度。包括解釋資料和 3D 資料檔（例如，工程地質邊界表面的網格資料）在內的所有相關資料庫檔案均應提供。
- 如果相關或必要，應提出工程地質模型建模後續工作的建議。
- 說明仍存在的非確定性以及補充調查規劃。
- 若有必要，需說明報告的限制。

七、結語

本文主旨為提出工址地盤調查規劃程序與要項，希望台灣未來能更重視工址地盤調查程序之合理性。若有因調查規劃程序不完善而導致工程失敗時，可以檢討是否有應注意而未注意之責任，而不是每次因未預見地質或水文地質問題而產生工程失敗，就將問題推給台灣地質複雜、調查經費不足，而規避專業人士應負依合理程序進行工址地盤調查之責任。但是看到問題，不見得就能解決問題，過去相關規範並非沒有提供相關指引，但是工址調查之品質卻每下愈況，大家都很悲觀的表示說問題無法解決。真的無法解決嗎？我們不能理性期待業主或專業人士面對技術本質。要解決問題，可能要回到人性，需要讓調查者承擔調查不足而失敗可能導致的風險，但是，應該也要給予足夠高之報酬。

參考文獻

1. 大地工程學會，2023，建築技術規則建築構造編基礎構造設計規範，內政部國土署。
2. 中國土木水利工程學會，1992，工址地盤調查準則，內政部建築研究所籌備處委託研究報告。
3. 中國土木水利工程學會，1999a，隧道工程設計準則與解說，科技圖書股份有限公司。
4. 中國土木水利工程學會，1999b，工程地質測繪準則與解說，科技圖書股份有限公司。
5. 內政部國土署，2023，建築技術規則建築構造編。
6. 交通部臺灣區國道新建工程局，1999，大地工程調查作業準則。
7. 洪如江，1981，大型土木水利工程作業與工址調查之程序，土木水利，第八卷，第二期，第 27-31 頁。
8. 洪如江，1985，工址調查（上），地工技術，第 12 期，第 90-101 頁。
9. 洪如江編著，2007a，初等工程地質學大綱，財團法人地工技術研究發展基金會。
10. 洪如江，2007b，土木工程就是文明工程，台大土木系電子報：杜風電子報。
11. 董家鈞，2017，笨蛋，問題是地質，地質，第 36 卷，第 2 期，第 6-9 頁。
12. 董家鈞，2020a，全生命週期之道路系統建設、管理與維護：工程地質專業之觀點，地質，第 39 卷，第 3-4 期，第 105-107 頁。
13. 董家鈞，2020b，知之為知之，不知為不知，是知也：淺談地質模型不確定性，大地技師，第 20 期，第 38-49 頁。
14. 董家鈞，2025，善用「工程地質探勘資料庫」，地質，第 44 卷，第 1-2 期，第 132-135 頁。
15. 農業部農村發展及水土保持署，2025，水土保持技術規範。
16. 鄭在仁、王如龍，2010，基地調查手冊，澳門岩土工程協會。
17. Baynes, F. J. and Parry, S., 2024, Guidelines for the development and application of engineering geological models on projects. Version 2.0. International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) Commission 25 Publication No. 1, 81 p.
18. Chapman, T. and Marcetteau, A., 2004, Achieving economy and reliability in piled foundation design for a building project. Structural Engineer, 82, 32-37.
19. Fookes, P.G., 1997, Geology for engineers: the geological model, prediction and performance. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 30(4), 293-424.
20. Fookes, P. G., Baynes, F. J. and Hutchinson, J. N., 2000, Total geological history: a model approach to the anticipation, observation and understanding of site conditions. In ISRM International Symposium (pp. ISRM-IS). ISRM.
21. Glossop, R., 1968, Eighth Rankine Lecture: The rise of geotechnology and its influence on engineering practice. Geotechnique, Vol. XVIII, No. 2. June. The Institution of Civil Engineers, London. 107-150.
22. Goodman, R. E., 1999, Karl Terzaghi: The engineer as artist. American Society of Civil Engineers.
23. Keaton, J. R., 2013, Engineering geology: fundamental input or random variable? In: Withiam JL, Phoon KK, Hussein MH (eds) Foundation Engineering in the Face of Uncertainty. ASCE, Reston, 232-253 (Geotechnical Special Publication 229).
24. Parry, S., Baynes, F. J., Culshaw, M. G., Eggers, M., Keaton, J. F., Lentfer, K., Novotny, J. and Paul, D., 2014, Engineering geological models – an introduction: IAEG Commission 25. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73(3), 689-706.
25. Skipper, J. A., 2024, The 18th Glossop Lecture: variability and ground hazards: how does the ground get to be 'unexpected'?. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 57(2), qjgh2024-008.
26. USACE, 2001, Geotechnical Investigations, U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Manual (EM) 1110-1-1804.
27. Weltman, A. J. and Head, J. M., 1983, Site investigation manual (No. CIRIA Spec Pub N25).