行政院農委會水土保持局技術研究發展小組Seminar

大規模崩塌區之防、減災與工程地質模型

隱藏版：警語以及名人金句分享

國立中央大學 地球科學院 應用地質研究所
董家鈞 特聘教授兼地球科學院副院長

致謝

- **Shackleton Program (MOST108-2638-E-008-001-MY2)**

地質模型不確定衍生之風險：工程、環境、水資源、和地質災害之探討
Geological uncertainty and societal risk:
the perspectives of engineering,
environment, and geohazards

focused on: (i) geological uncertainty; and (ii) uncertainty propagation

- 卓越領航計畫 **(MOST110-2123-M-008-001-)**

地質與地層模型不確定性之量化及其應用之整合型研究(1/4)

本次演講擬傳遞訊息

- 地質模型是大規模崩塌監測預警與整治之基礎
- 地質模型建立合理程序
- 地質模型具有不確定性，需要予以量化
- 工程地質師的重要性與價值

技研小組提問：

1. 如何繪製崩塌地的地質三維模型，並確認地表下岩層、構造其正確性?

2. 若地質圖或地質模型上出現推測(推論)之線型表示，是否會影響觀感?
(會不會認為是該製圖之技師專業度不足，才劃設推測線型的表示法?)

3. 環境地質圖、工程地質圖、區域地質圖之差別?

水土保持計畫內容(一般性適用)

區域地質圖?
環境地質圖?
基地地質圖?

（三）地質：

1.應詳細說明基地及影響範圍內之土壤、岩石、地質作用等項目，並分析其對工程之影響。(可**引用**中央地質調查所之地質資料**(區域地質圖)**、前台灣省政府建設廳環境地質資料庫**(環境地質圖)**，及其他相關專業、學術機構之資料；資料不足者，可用地表調查和航照判釋方式調查之)。

（1）環境地質：含地質構造、特殊地質現象、崩塌及災害區域，並附**環境地質圖**。

（2）基地地質：依水土保持技術規範或其他相關工程技術規範進行基地地質調查及作相關試驗，並附**基地地質圖**；含：

①岩性地質(岩層)：類別、厚度及力學參數等。

②未固結地質(表土層、填土、崩積層)：類別、厚度及力學參數等。

（3）**工程地質評估**：含地質適宜性、地質災害潛勢等。

2.申請開發基地依地質法規定，須進行基地地質調查及地質安全評估者：除前開說明內容外，應另冊檢附依地質法相關規定及格式製作之基地地質調查及地質安全評估。

第 三 節　地質調查 ← 工程地質調查?

第 27 條（工程地質調查）

工程地質調查係對調查計畫區及其影響範圍內之岩性地質，含岩層、地質構造、地質作用及未固結地質，含表土層、填土、崩積層等，進行調查並分析其對**工程**之影響。如利用地下水、地下水補注或湧水地區，應進行地下水調查。

位於地質敏感區者，其基地地質調查及地質安全評估依地質法相關規定辦理。

水土保持工程：整地、排水、沉砂滯洪、植生、邊坡穩定、沖蝕控制、防災

第 28 條（工程地質調查項目）

工程地質調查應包括下列項目：

一、土壤及岩石。

二、地質構造。

三、地質作用。

四、工址與地質材料、地質作用及地質構造之關係。

專家訂的技術規範!!

成果之一即為基地(工程)地質圖

第 三 節　地質調查

第 29 條（基地環境地質）
工程地質**調查實施前**應蒐集基地附近之地質資料，將基地標示於區域地質圖上，描述基地附近之地層與地質構造、特殊地質現象、崩塌、地滑、土石流及其他地質作用災害區域等分布狀況，並初步分析其對基地預定進行工程之影響。***→建議加一句話：“以作為工程地質調查規劃之重要參考”***

水保技術規範其實已將工程地質與區域地質、環境地質關係講得很清楚

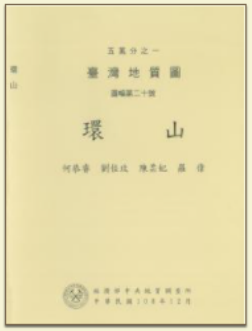
區域地質圖、環境地質圖、基地(工程)地質圖有何不同?

區域地質圖、環境地質圖、基地地質圖

區域地質圖(1/50,000)



林口[臺灣地質圖幅及說明書1/50,0...



環山[臺灣地質圖幅及說明書1/50,0...



大甲第二版[臺灣地質圖幅及說明書1/5...



澎湖群島第二版[臺灣地質圖幅及說明書1...



阿里山[臺灣地質圖幅及說明書1/50,...



三芝[臺灣地質圖幅及說明書1/50,0...



桃園[臺灣地質圖幅及說明書1/50,0...



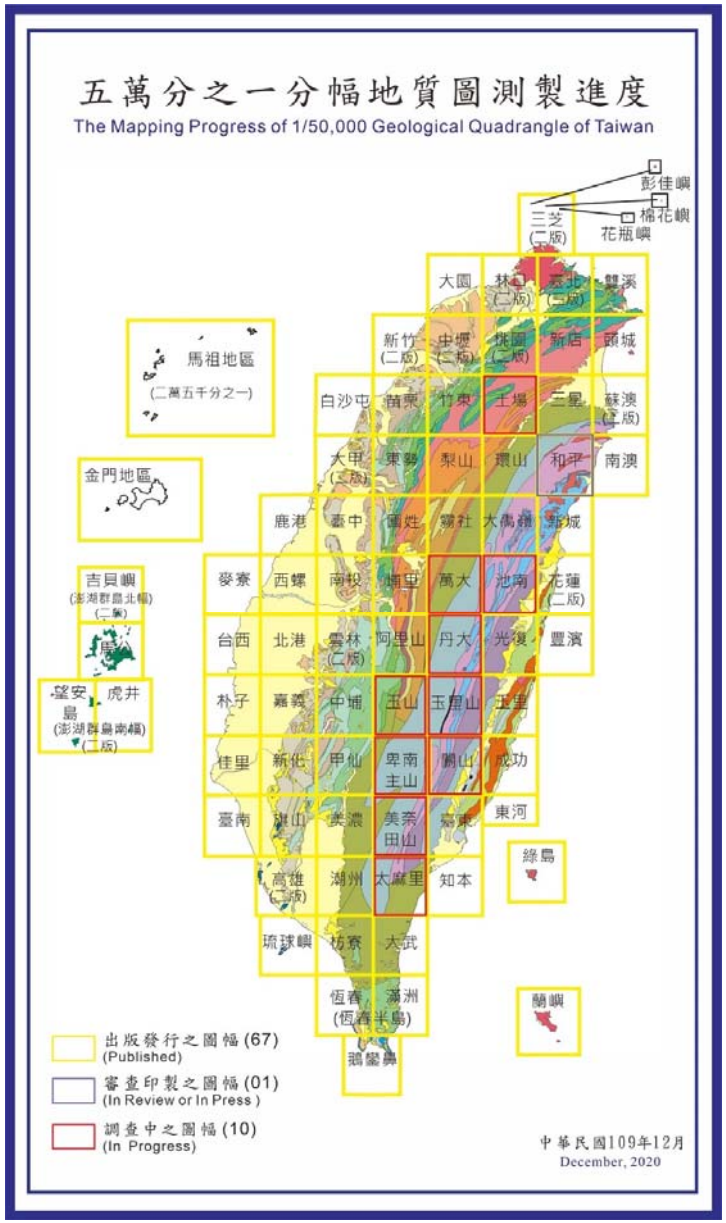
旗山[臺灣地質圖幅及說明書1/50,0...



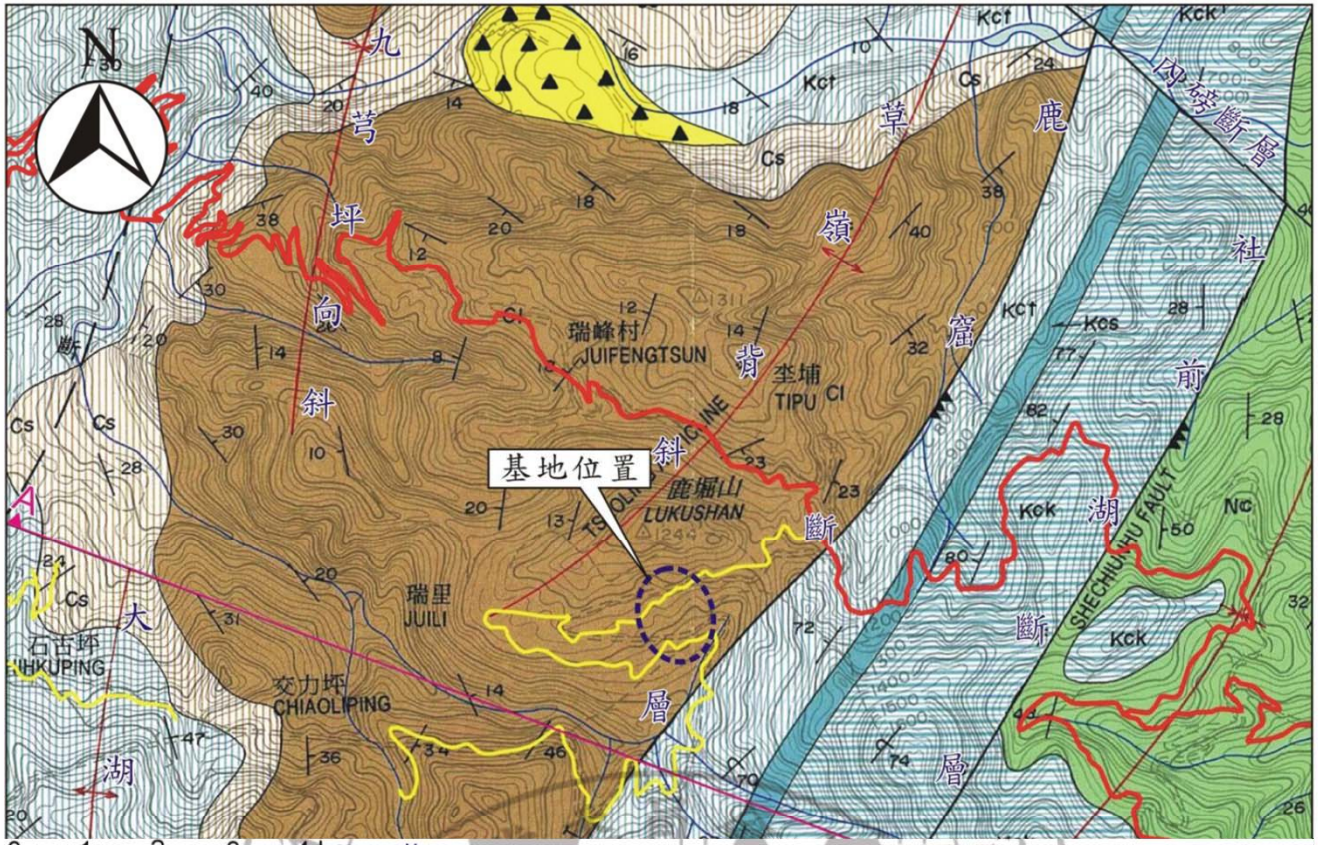
鹿港[臺灣地質圖幅及說明書1/50,0...

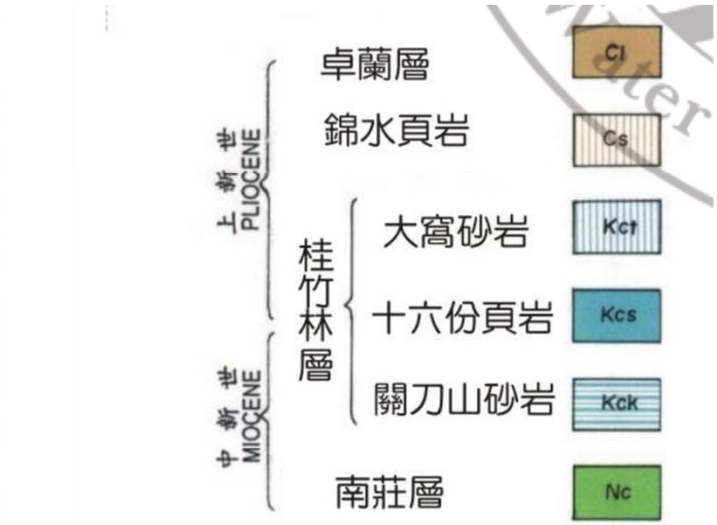


光復[臺灣地質圖幅及說明書1/50,0...



幼葉林

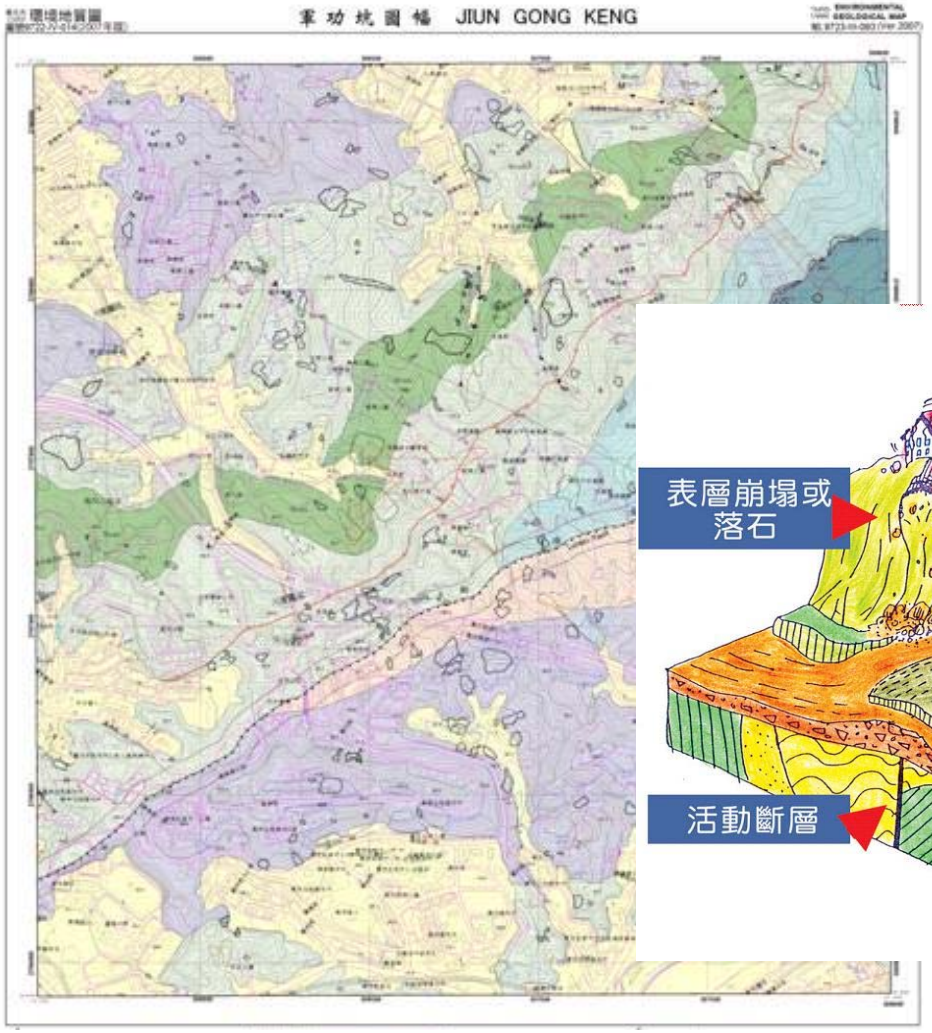




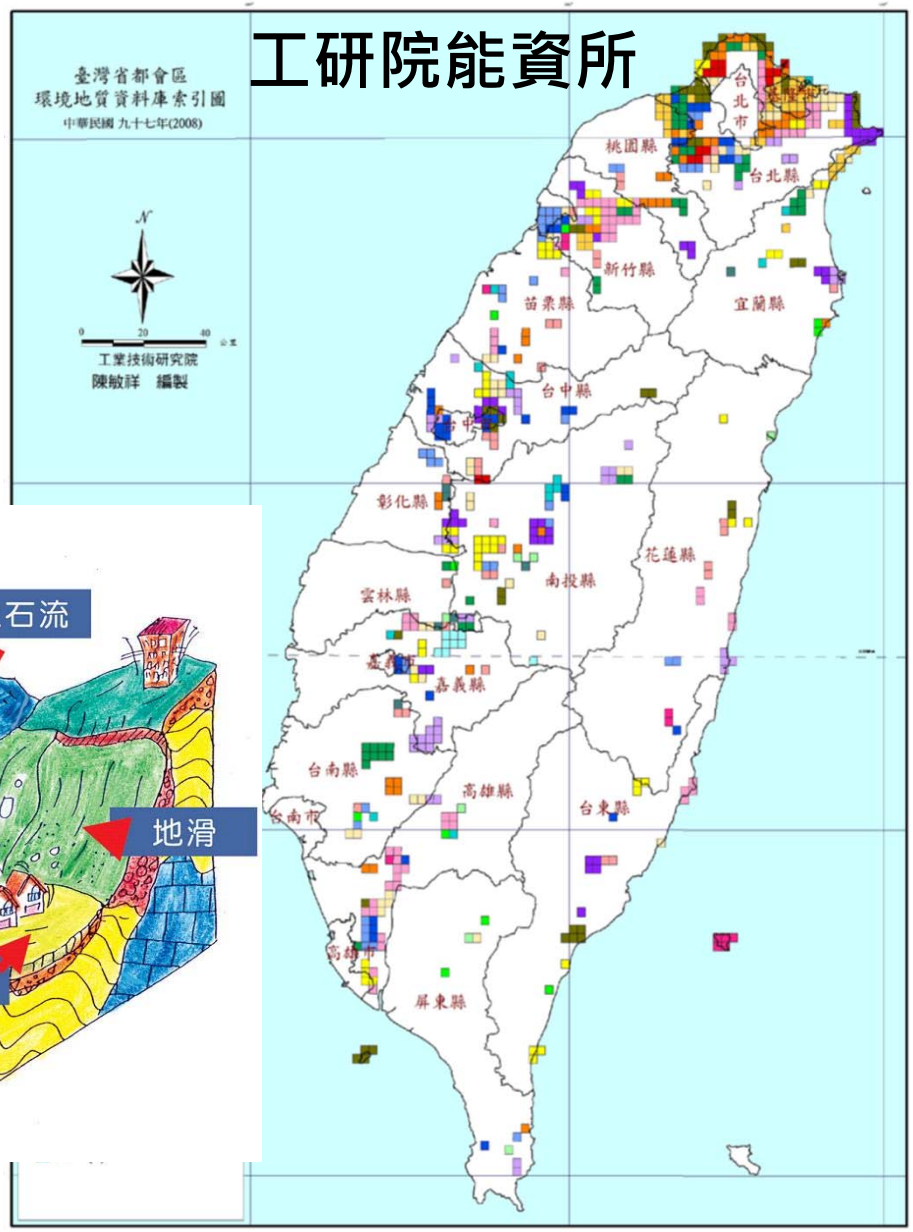


(南投分局，2008)

環境地質圖(1/5,000-1/10,000)

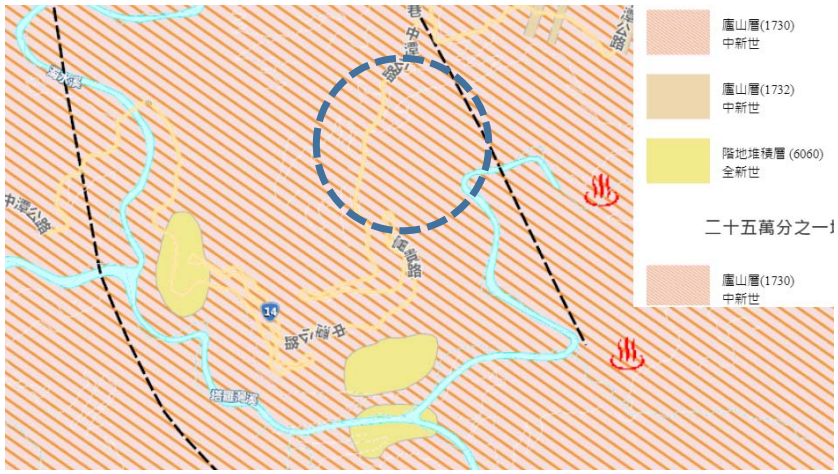




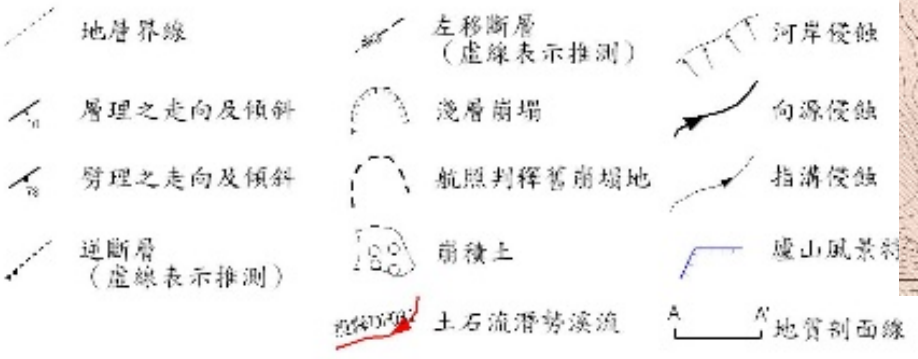


區域地質圖與環境地質圖 (廬山北坡)

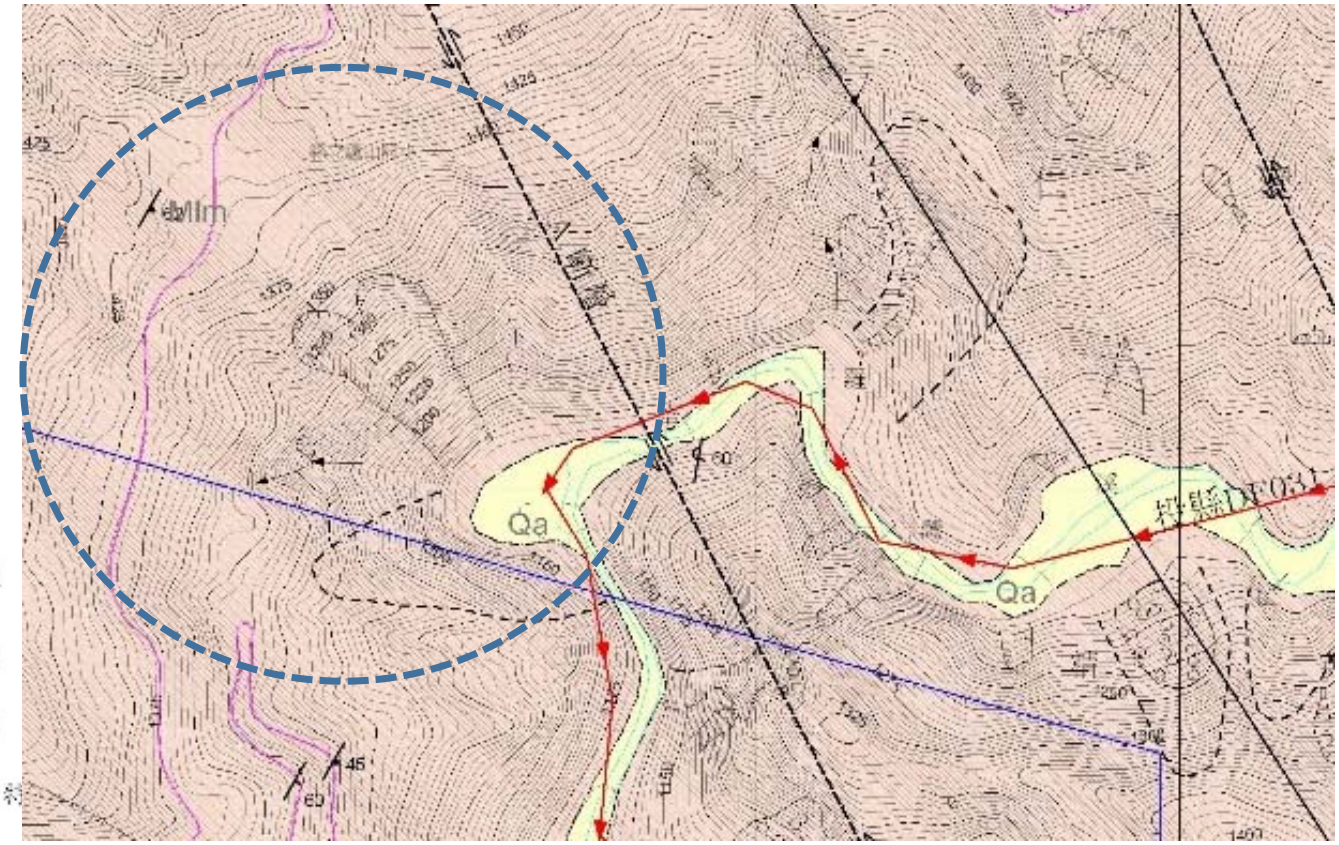




(1/50,000)



營建署環境地質資訊站 http://geo.cpami.gov.tw/IsData.aspx



(1/5,000-1/10,000)

工程地質圖 (翡翠水庫)

1:1,000

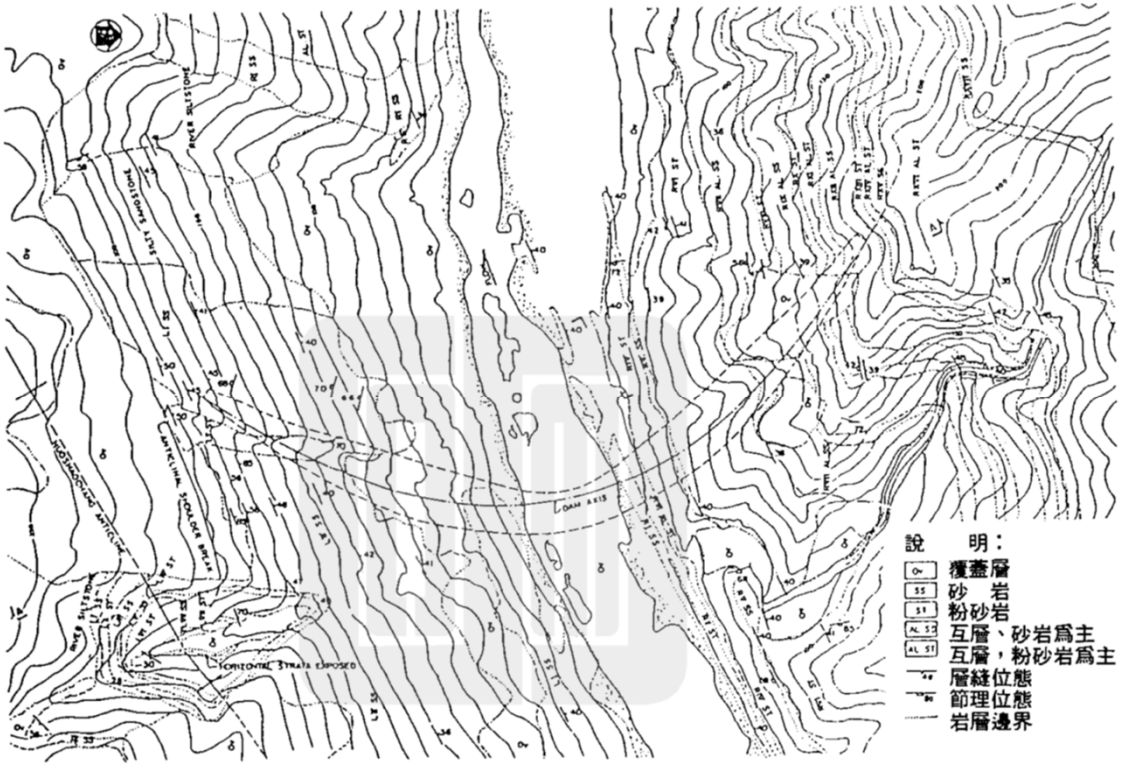
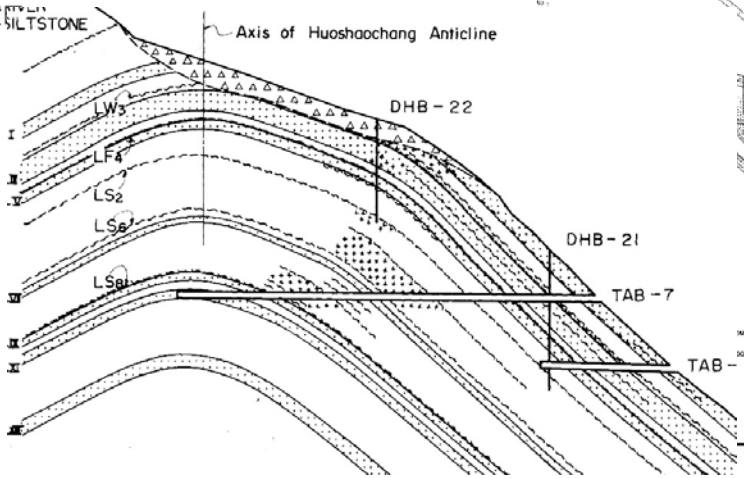
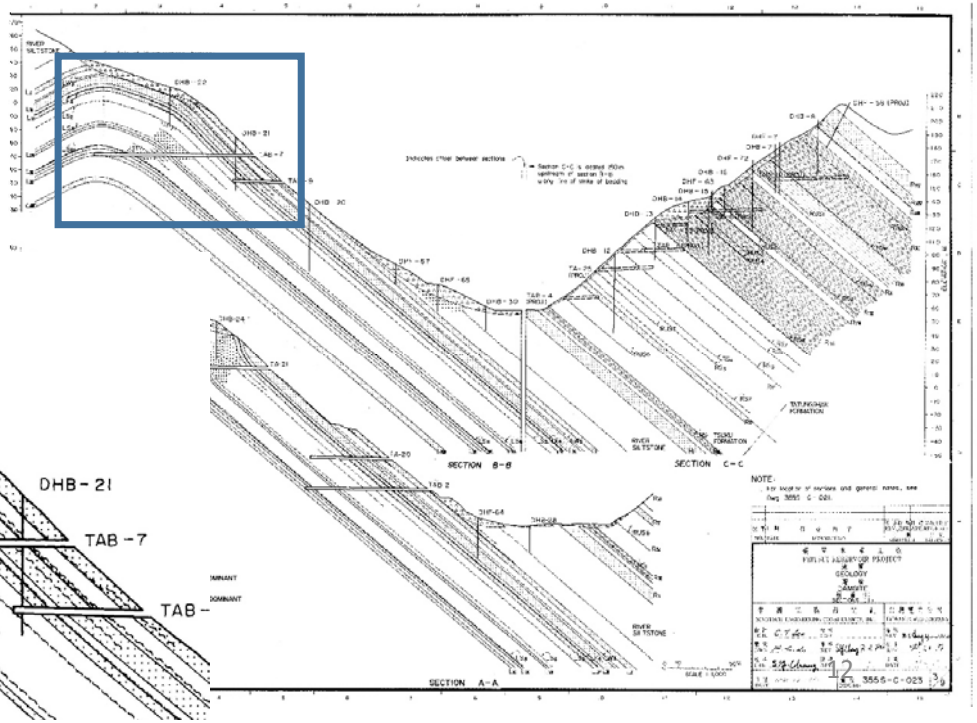
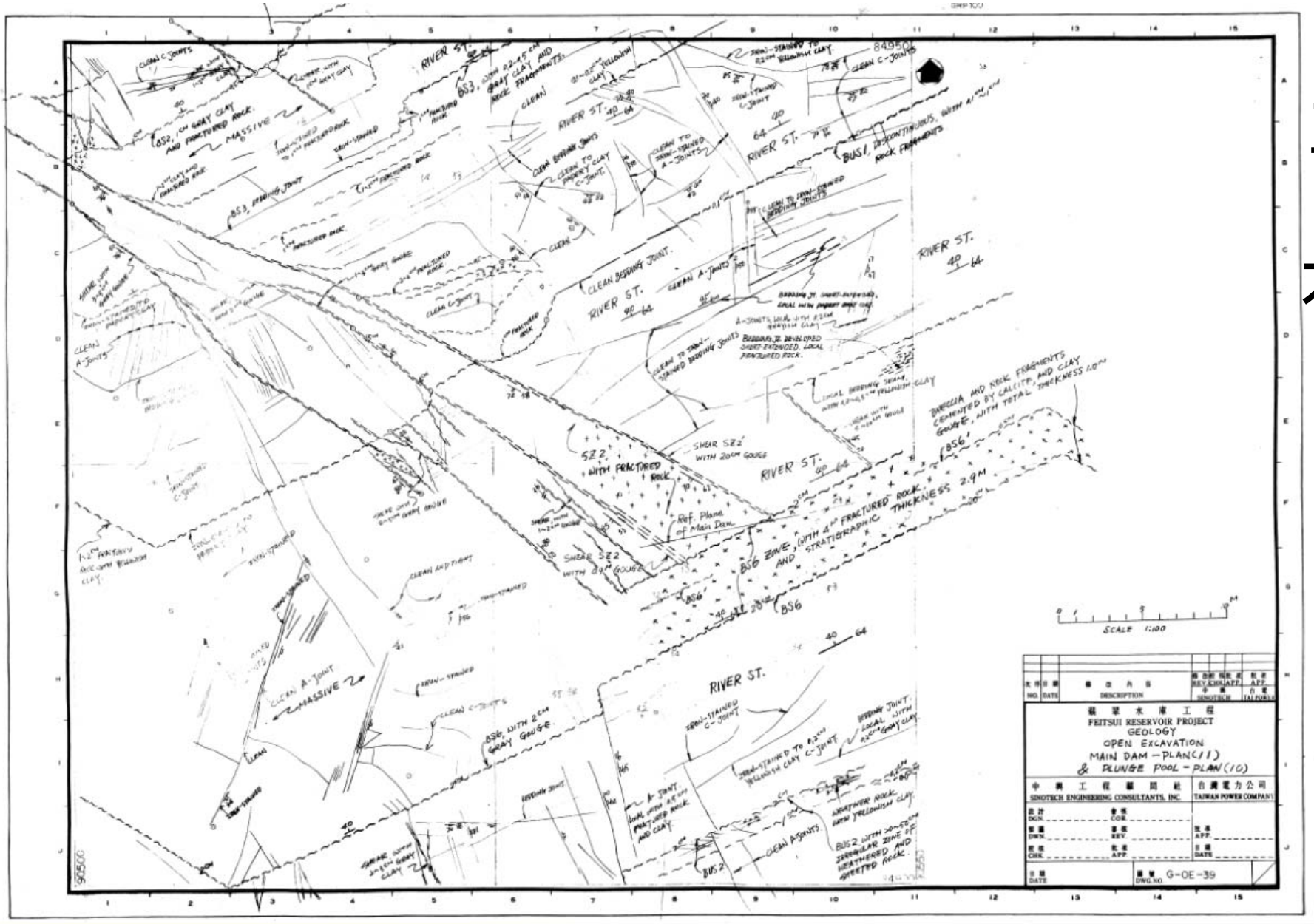


圖 5　翡翠壩址區地質





鑑別層縫(層間斷層)，層縫處理實證



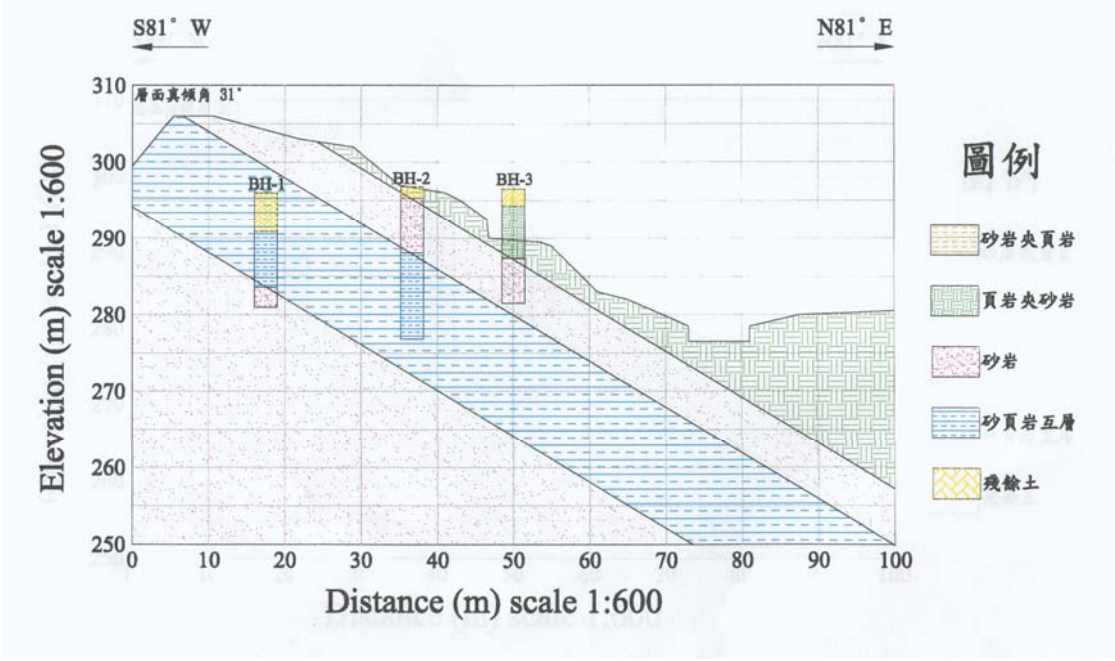
施工中
工程地質圖
(翡翠水庫
大壩開挖面)

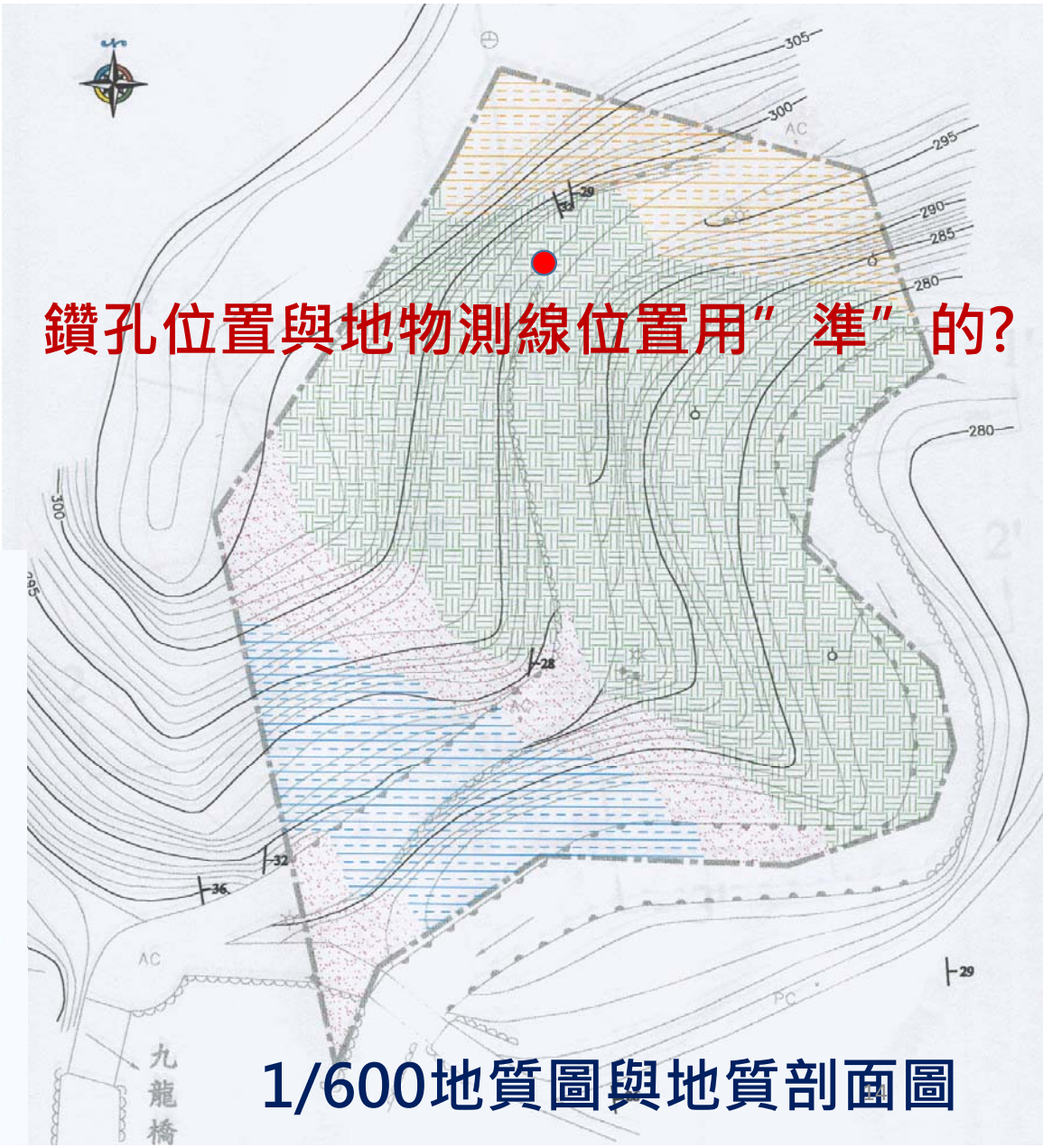
1:100

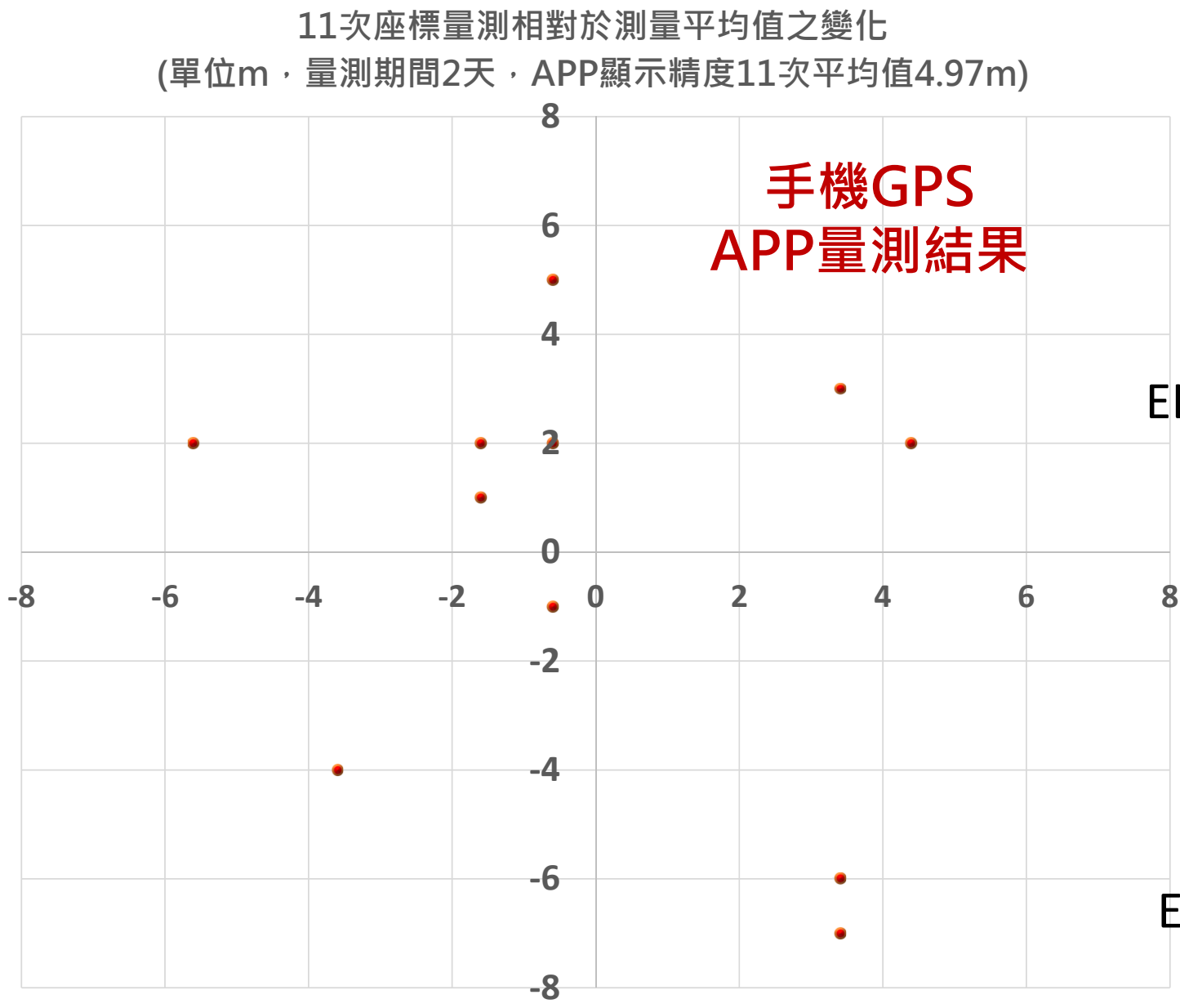
施工中開挖地質圖：灌漿設計



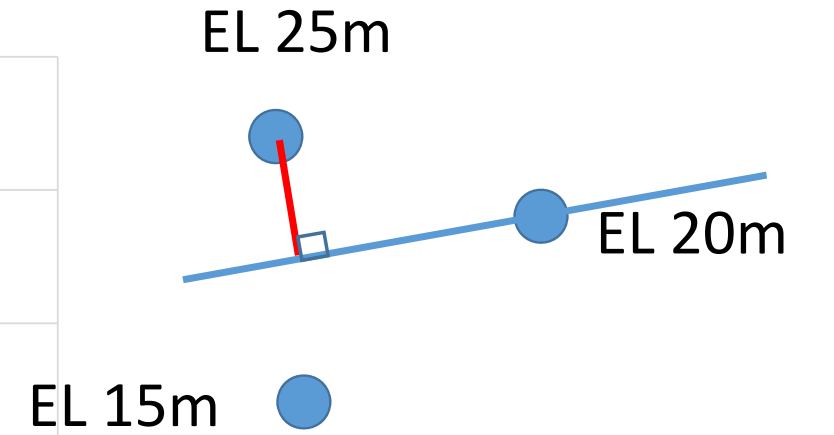
警語一：工程設計施工圖精度是公分級的，工程目的建立之大比例尺**地質圖與地質剖面**(地質模型)是用**測繪**的，**不應是卡通圖**、示意圖！



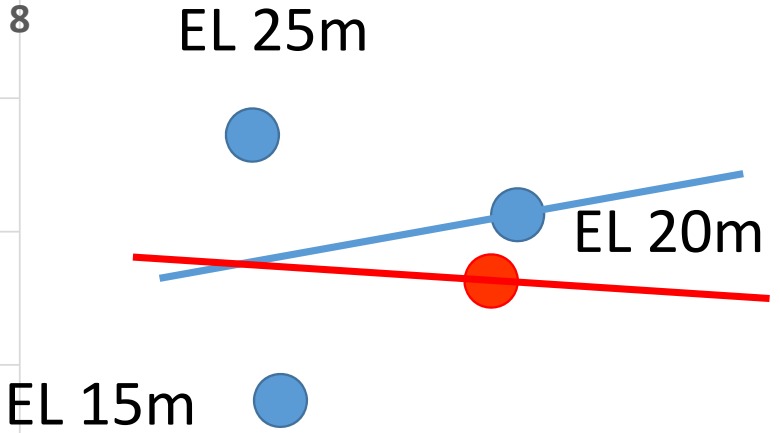




手機GPS
APP量測結果



三點法：三點決定一個平面



環境地質與工程地質

- 環境地質一詞有時會與工程地質互為混淆。...以地質學的觀點 來研究工程基址的地質與力學參數就稱為工程地質學。因此，**環境地質學著重在地質災害的研究**，...其種類包括活動斷層、山崩、地盤下陷、基礎沉陷、侵蝕和 沉積等，所以**環境地質是先期性而且是區域性的研究**，其資料是土地利用與災害防治所必需者；工程地質則重在土壤與岩石的工程性質的調查與試驗，其資料是工程規劃與設計所必需者，所以工程地質是後期性而且是局部區域的**詳細調查**。兩者的差異在於環境地質資料可供土地規劃或工程選址之用；而工程地質資料則可供工程設計之依據。以一套完整的工程選址與設計流程而言，兩者往往可以相輔相成。**---台灣省重要都會區環境地質資料庫建立計畫，內政部營建署**

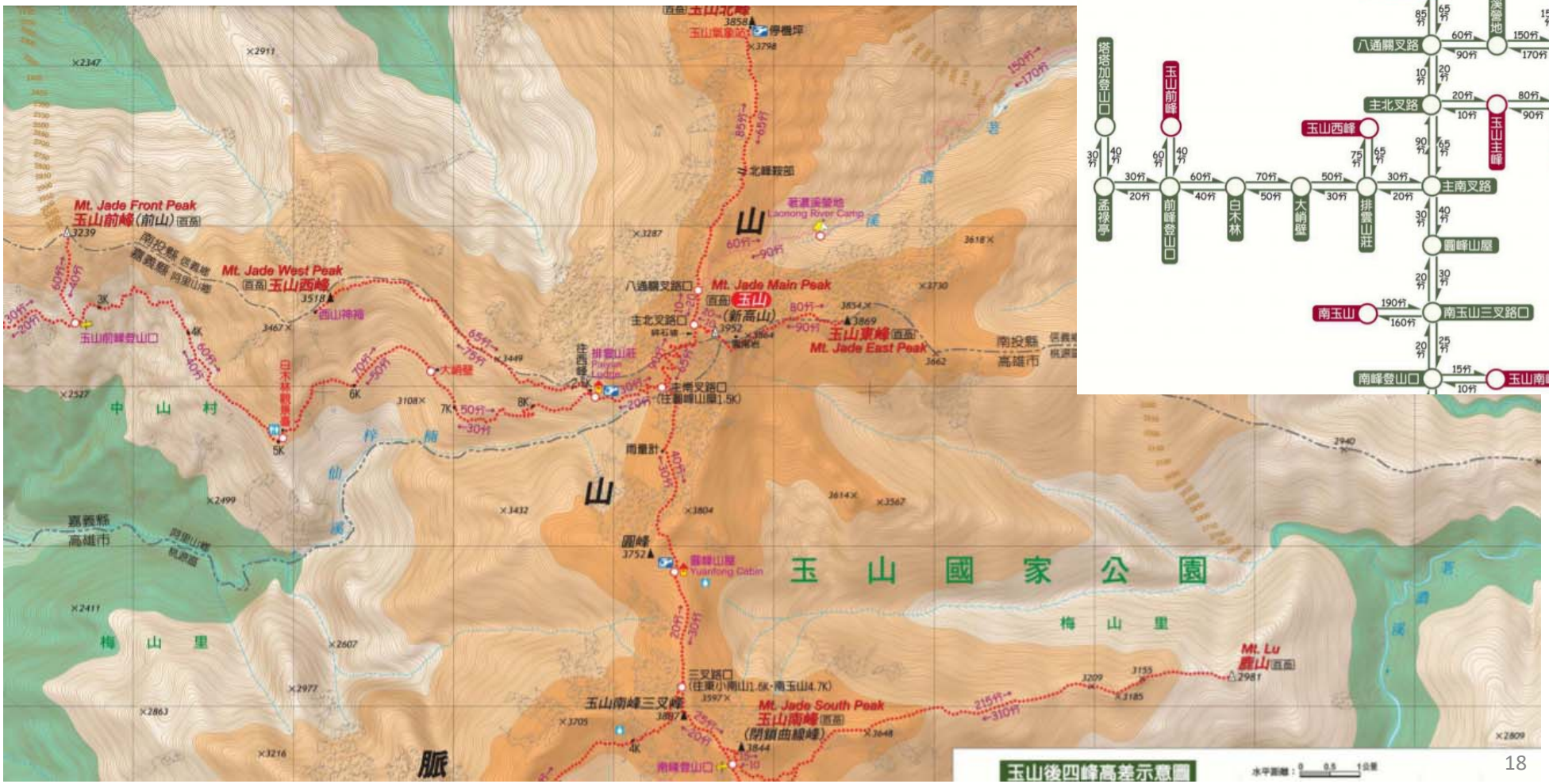
警
50

危險

警語二：區域地質圖(1/50,000)≠環境地質圖≠工程地質圖 (>1/1,200)



想去爬玉山群峰...



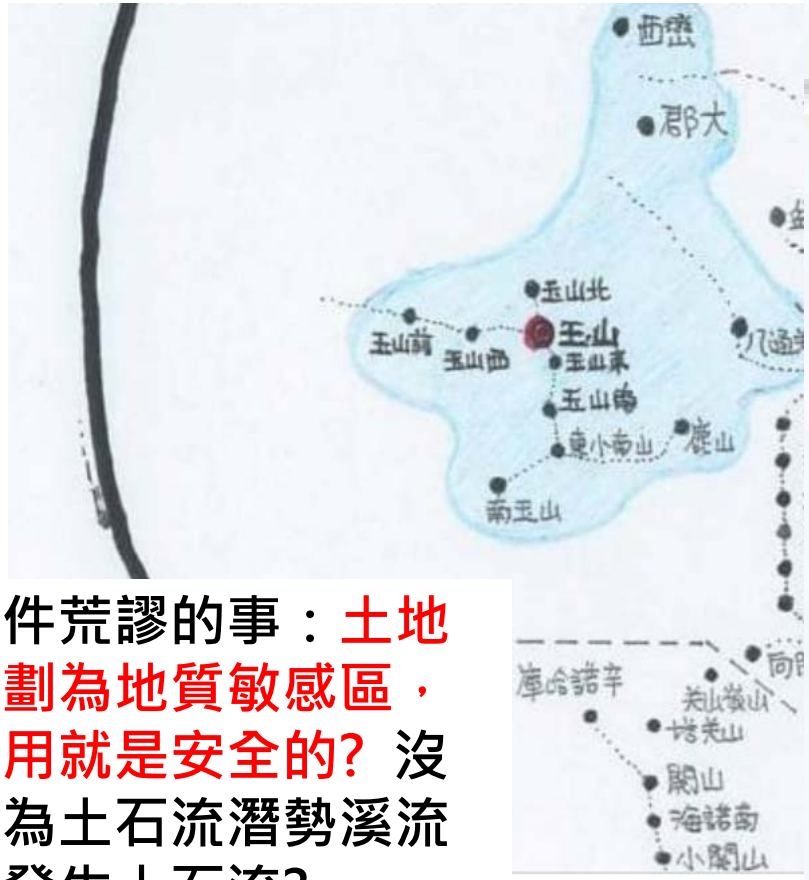
Mt. Jade Front Peak
玉山前峰(前山)
Mt. Jade West Peak
玉山西峰
Mt. Jade Main Peak
玉山
(新高山)
玉山東峰
Mt. Jade East Peak
玉山北峰
玉山前峰登山口
八通關叉路口
主北叉路口
主南叉路口
圓峰山屋
南玉山三叉路口
南玉山
南峰登山口
玉山南峰
玉山南峰三叉峰
Mt. Jade South Peak
玉山南峰
(閉鎖曲線峰)
Mt. Lu
鹿山
玉山國家公園
中山村
梅山里
玉山後四峰高差示意圖

帶這張圖去爬玉山群峰可以嗎？比例尺太小?



比例尺太小?簡單，放大他!!　荒謬?

放大區域地質圖
這件事經常發生!





另外一件荒謬的事：**土地沒有被劃為地質敏感區，土地利用就是安全的?** 沒有劃設為土石流潛勢溪流就不會發生土石流?

技研小組提問：

1. **如何繪製崩塌地的地質三維模型，並確認地表下岩層、構造其正確性?**

2. 若地質圖或地質模型上出現推測(推論)之線型表示，是否會影響觀感?
(會不會認為是該製圖之技師專業度不足，才劃設推測線型的表示法?)

3. 環境地質圖、工程地質圖、區域地質圖之差別?

Ans: 區域地質圖與環境地質圖都是工程地質調查(建立崩塌地的三維地質模型)時之參考資料! 崩塌地調查本就屬於環境地質之一環!

如何繪製崩塌地的地質三維模型?

- 第一步：建立工作假說!!
- 第二步：調查；資料蒐集(desk work)與地表地質之重要性；地下探查規劃(包括監測)需基於工作假說
- 第三步：調查結果測試工作假說(交叉驗證)、修正工作假說、再調查，直至三維地質模型滿足工程需求

應用地質研究所線上課程(工程地質圖之判讀與製作)：
https://youtu.be/TQaJ91Ox0Rc?list=PLcFPQLRUaJe7bBrI_JNLSEuCRcPk2pGnp
地形等高線、構造等高線、兩個曲面交線→地質平面圖

工址調查前一無所知?

Exploration (探索) Versus Investigation (調查)

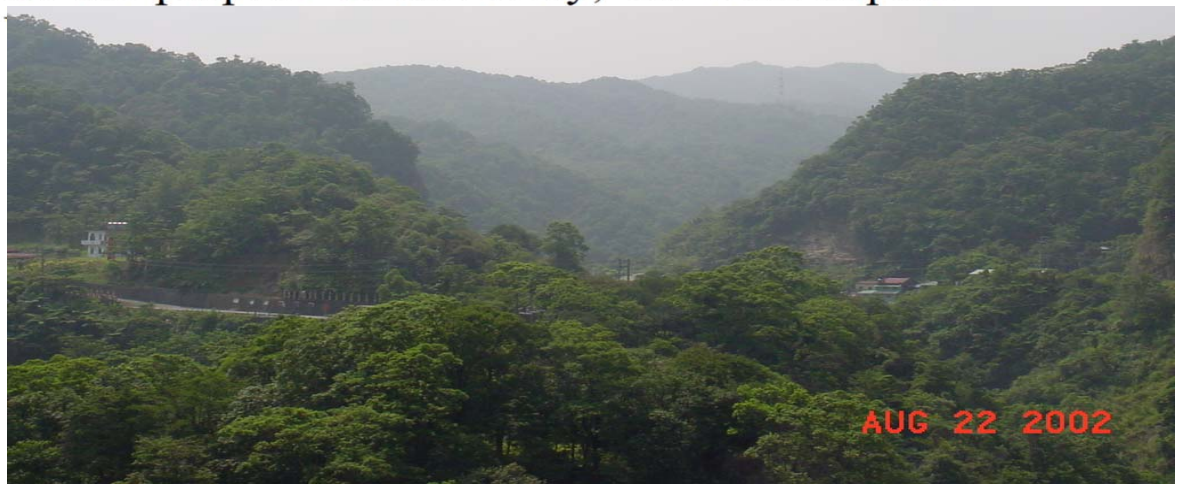
Exploration Versus Investigation

It is common for engineers and geologists to use the term "exploratory" for geotechnical borings or subsurface investigations. The FHWA guidance (Mayne et al., 2002) uses "subsurface investigation" in its title, but also uses "subsurface exploration" in a first-order heading. "Exploration" refers to the process of searching for the purpose of discovery; the term implies lack of expectation of what might be discovered.

https://www.universalproductionmusic.com/tc-tw/discover/albums/17638/exploration



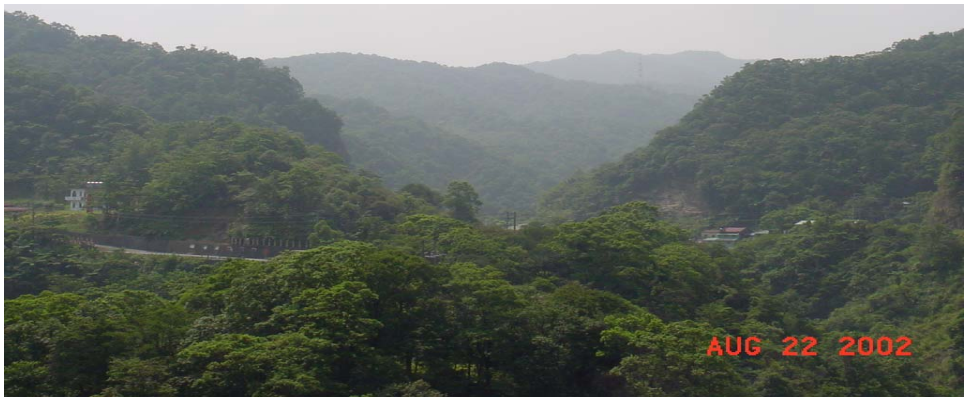


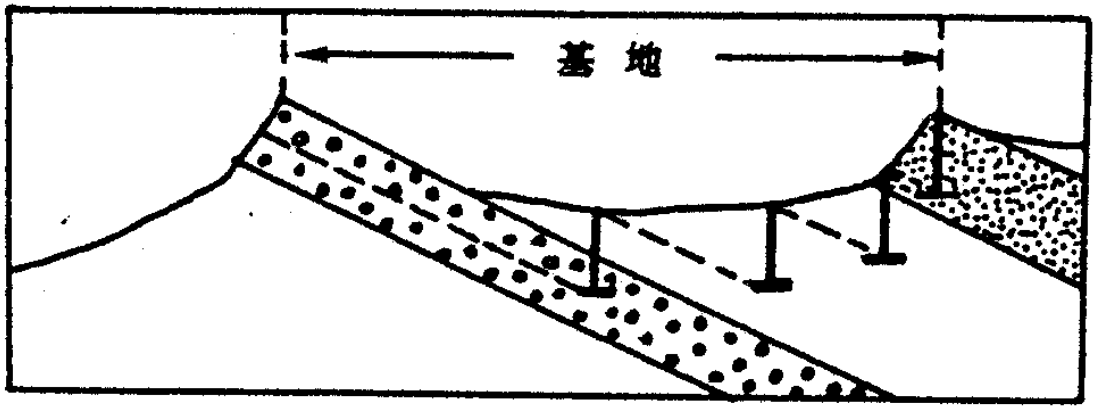


工址調查前一無所知?

~~Exploration (探索)~~ Versus Investigation (調查)

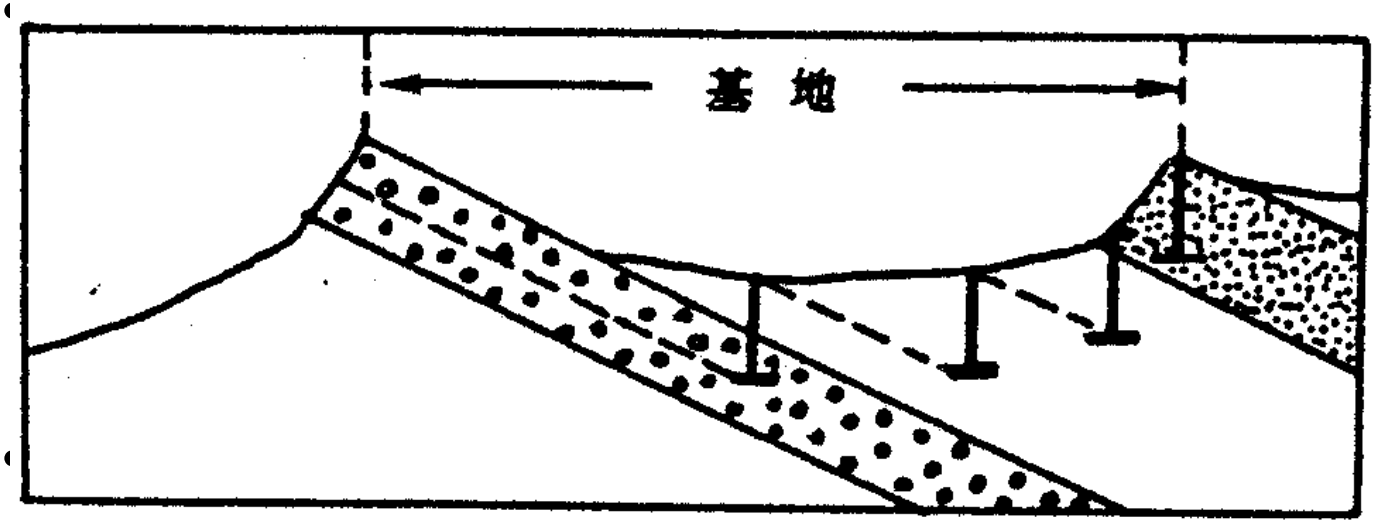
調查前要先有地質剖面：工作假說





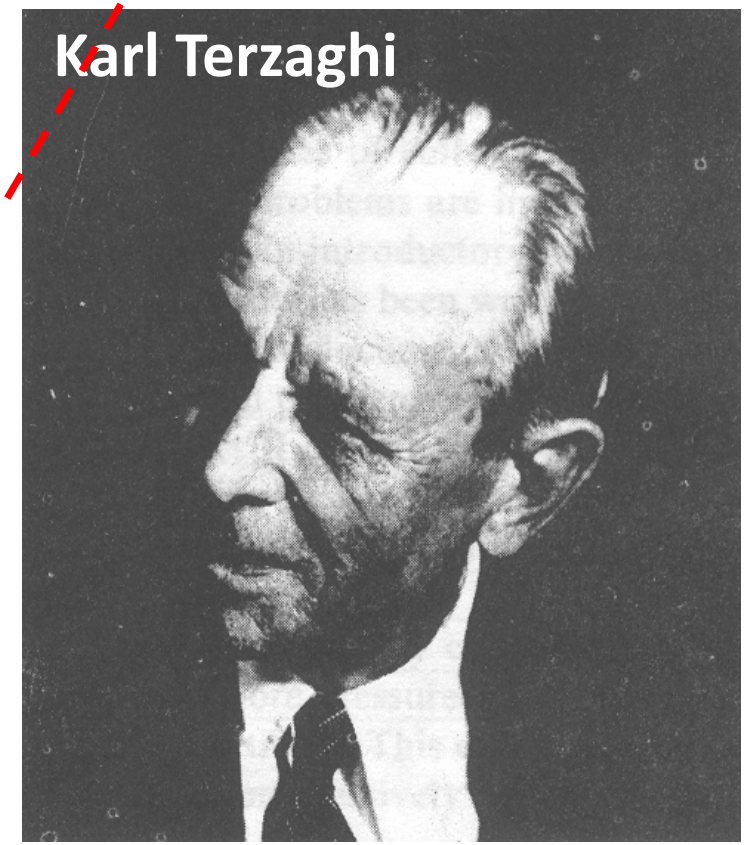
USACE (2001): …subsurface investigations should begin only after a geologic model is constructed. …geotechnical borings should be drilled at locations that are useful for testing and refining the geologic model hypotheses…

R. E. Goodman, 2003, Karl Terzaghi and engineering geology, in Geotechnical Engineering, Ho & Li (eds)



points where the most valuable information can be obtained, and the **test borings merely serve the purpose of checking** whether the profile is correct and to replace the hypothetical boundaries between formations by the true ones ”[1]

金句一：鑽孔只是為了確認地質剖面合理性，並將地層正確邊界放在剖面上



工作假說

第一步：建立(工程)地質模型之工作假說

地下探勘前如何建立工作假說?善用區域地質圖!

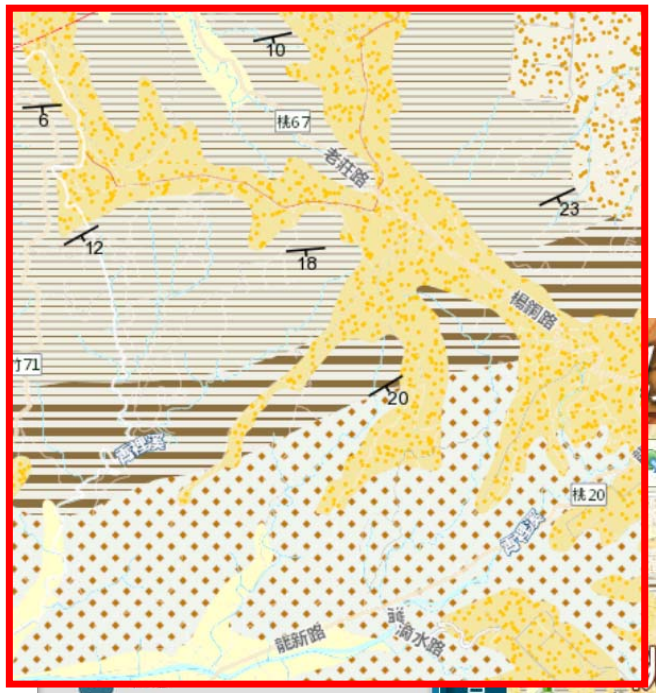


你獲得甚麼資訊可幫助你決定調查重點?



調查以前要設定重點與對策

新莊/台北斷層有沒有延伸進基地?



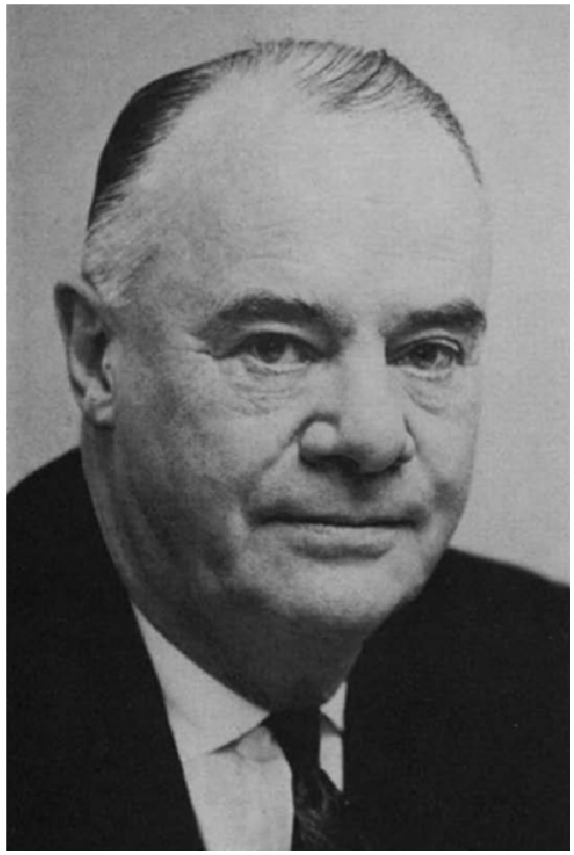
金句二：Rudolph Glossop (1902–1993)

如果不知道工址調查重點，那就無法獲得有意義的資訊

建立工作假說：地質調查與建模重要的第一步

'. . . 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)





警語三：如果有人跟你說還沒鑽探就不知道地底下是甚麼(沒有工作假說)，千萬不要將調查工作交給他

https://www.researchgate.net/figure/Rudolph-Glossop-1902-1993_fig2_245411570

第二步：調查

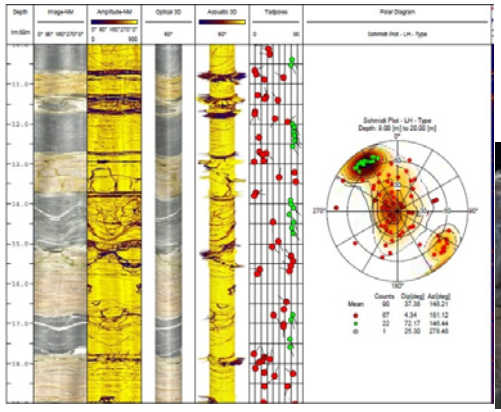
工址調查：科學辦案

Gallant & Marshall (2016), *IJRMMS*, *90*, 1-14.



各種新科技!!

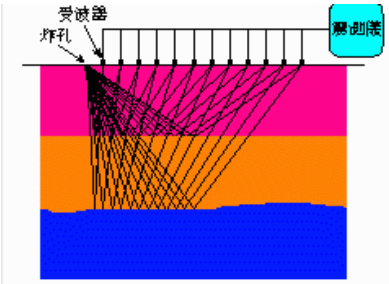
http://www.waterstones-srl.it/en/geotechnical-application-of-the-borehole-images-acoustic-or-optical-televiewer/



開挖



地球物理探測



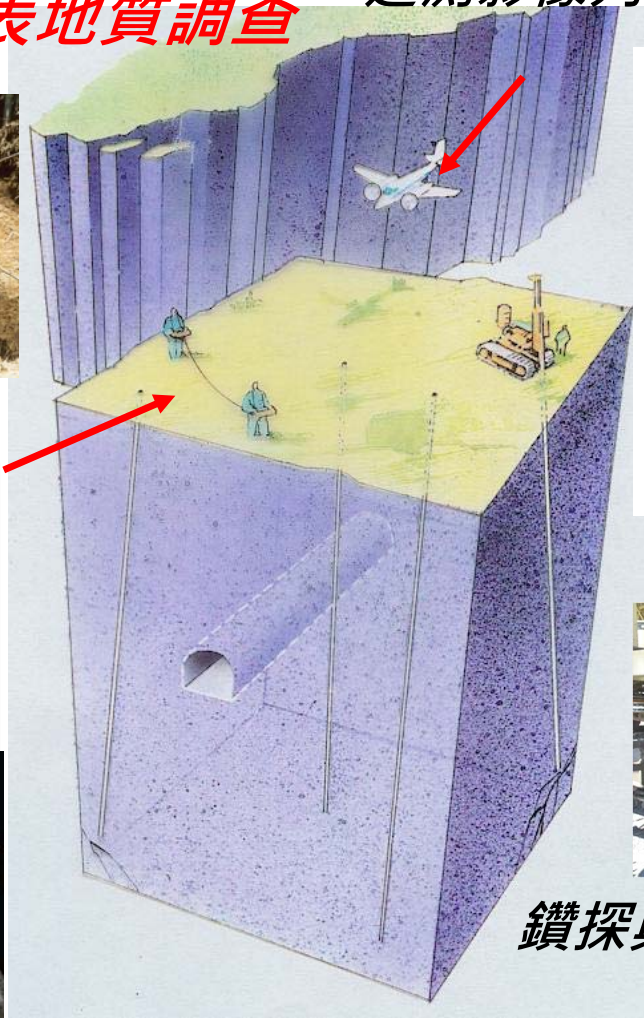


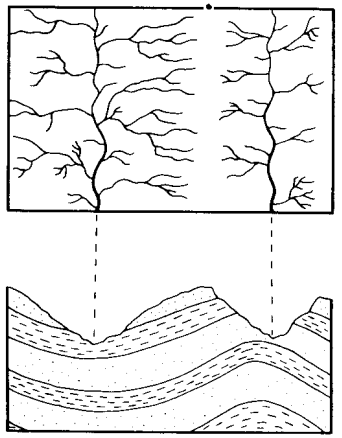
Lato et al. (2010). *RMRE*, *43*(5), 615-628.

既有資料研判 (desk study)

遙測影像判釋

地表地質調查







鑽探與試驗

Table 11. *Relative costs and benefits in site investigation*

Activity	Relative cost	Information gained	Order of benefit	Typical comparative benefit/cost ratio[a]
Detailed desk study	Low	Initial knowledge of the site, avoidance of obvious problems	Very high	2.7
Site walk over	Low to medium	Visualisation of the site and recognition of possible problems	Very high	2.7–1.6
Preliminary ground investigation (mainly field observation and in situ methods)	Medium to high	Physical evaluation of the site conditions, estimation of properties, recognition and confirmation of possible problems	Depends on the accuracy of the results and can be either high or low	1.4–0.4[b]
Main ground investigation (emphasis on sampling and testing)	High	Main quantitative information for engineering design	High	1.0
Laboratory testing	Low to medium	Detailed evaluation of properties	High/low	2.3–0.6[b]
Supplementary ground investigation	Low to medium	Increased confidence in ground conditions and particular suites of properties	High	2.1–1.4
Further or special testing	Low	Increased confidence in the physical/chemical properties tested and existing results	High	2.1

[a]Obtained by ascribing the following arbitrary scores to the qualitative descriptions of costs and benefits: very high 80; high 70; medium 50; low 30.

[b]+In some cases, need for essential items of information would override an unfavourable B/C ratio.

Quarterly Journal of Engineering Geology, **30**, 293–424. 0481–2085/97 $10.00 © 1997 The Geological Society

The First Glossop Lecture

Geology for Engineers: the Geological Model, Prediction and Performance

P. G. Fookes

- **Fookes: 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 文獻蒐集與分析 (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 地表地質調查 is added to the desk study, then more than, say, 65% of the problems should be identifiable.**

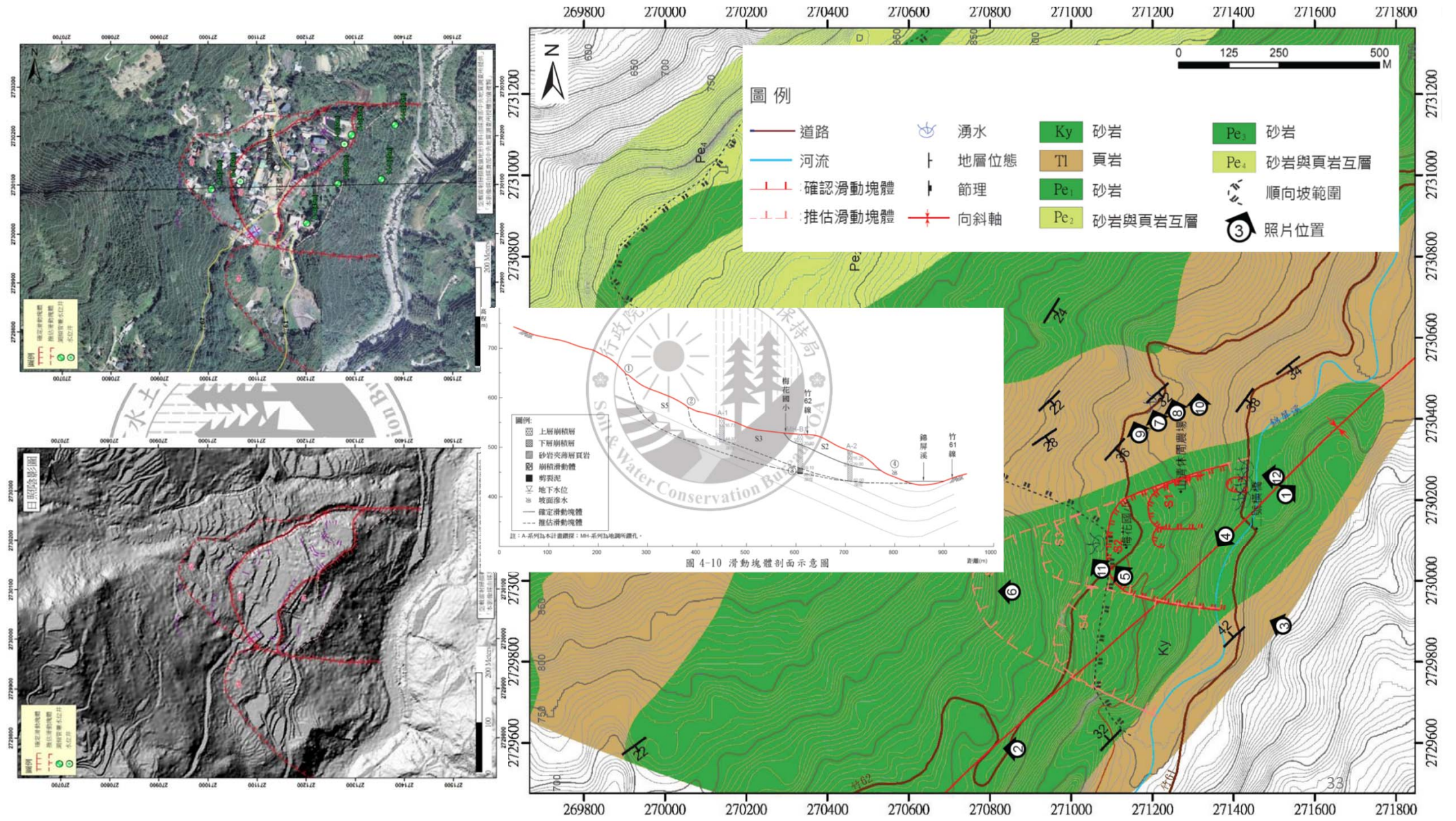
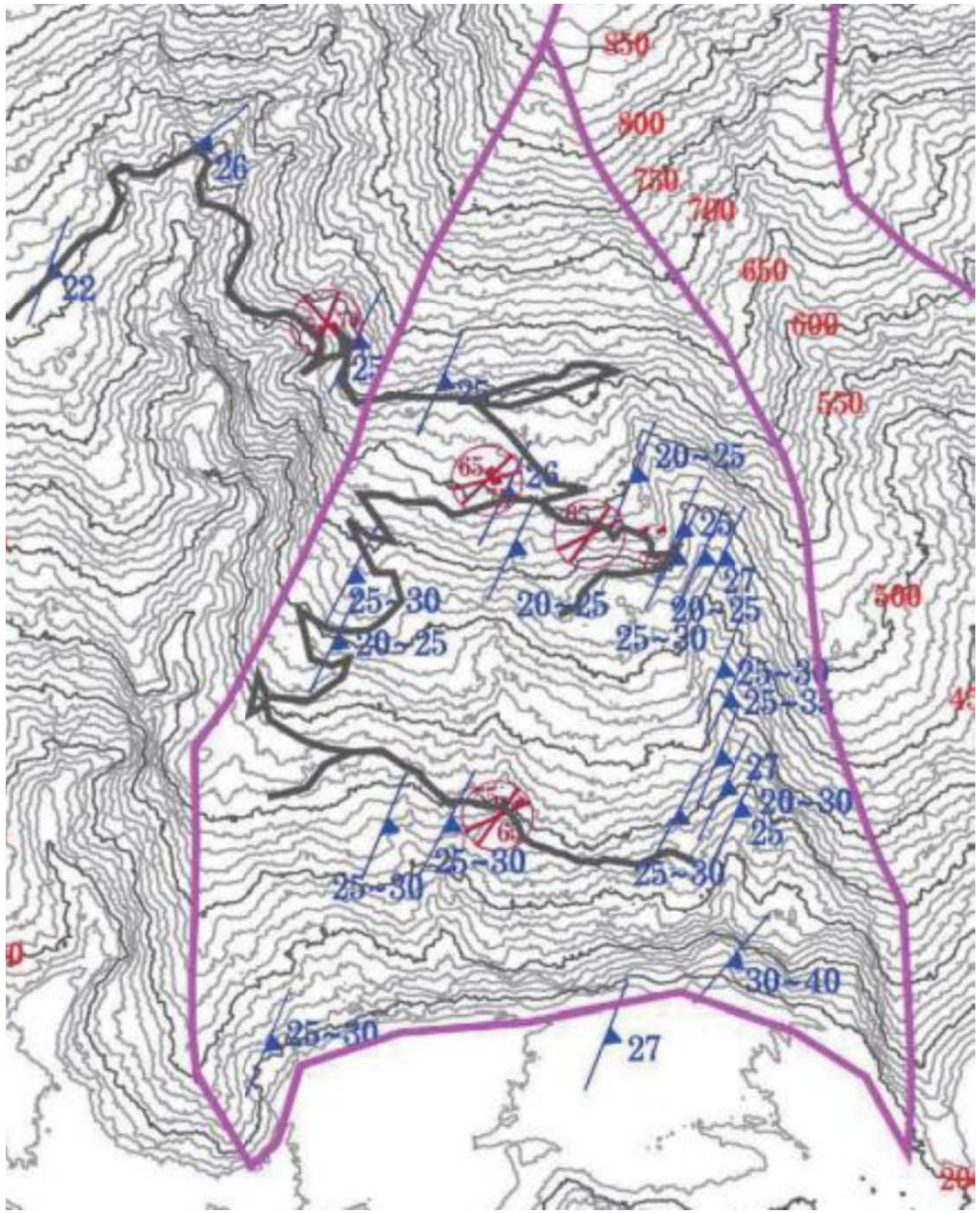


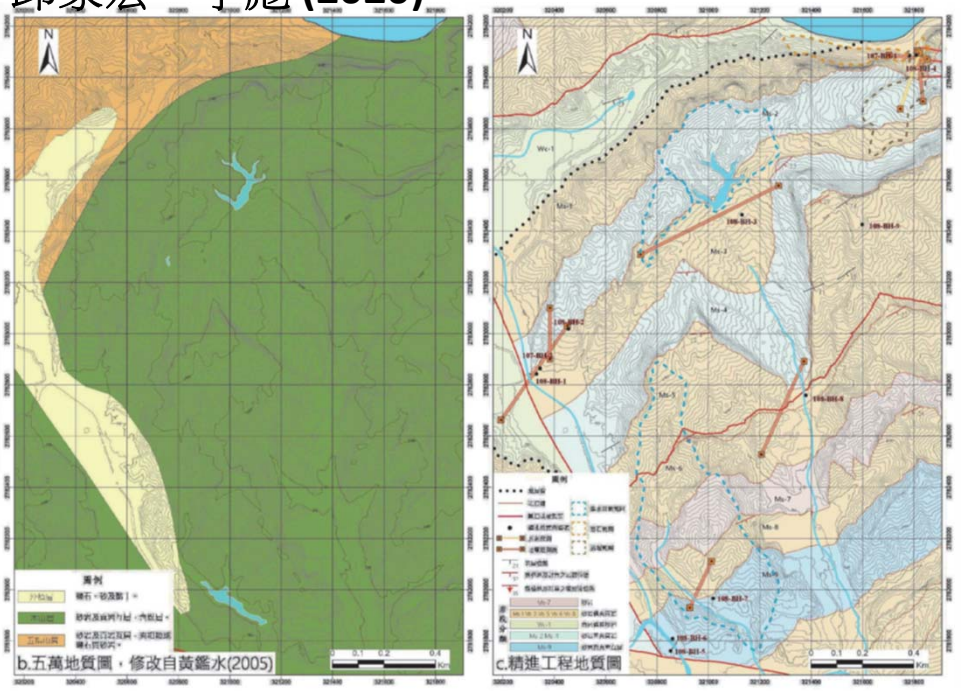
圖 4-10 滑動塊體剖面示意圖

來義



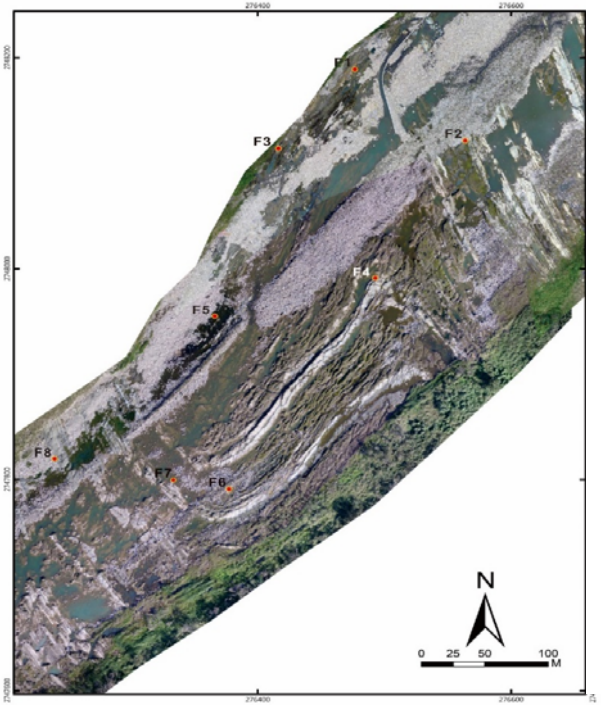
新科技、新技術(LiDAR、UAV、孔內造影...)

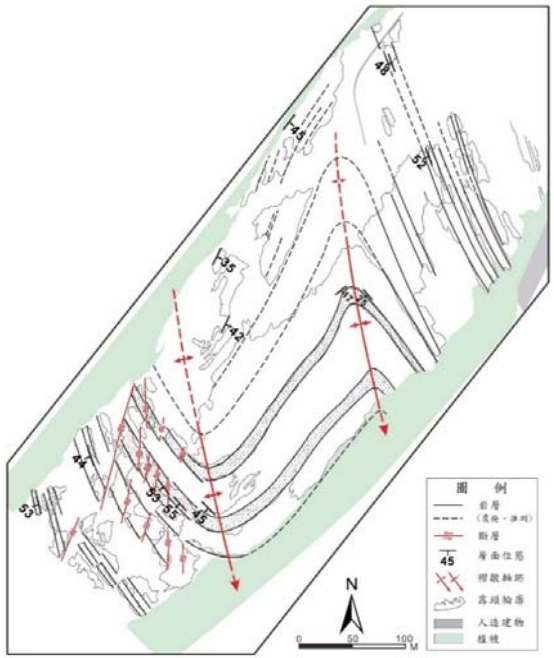
邱家宏、李彪 (2020)



工程地質圖?

范書睿(2016)

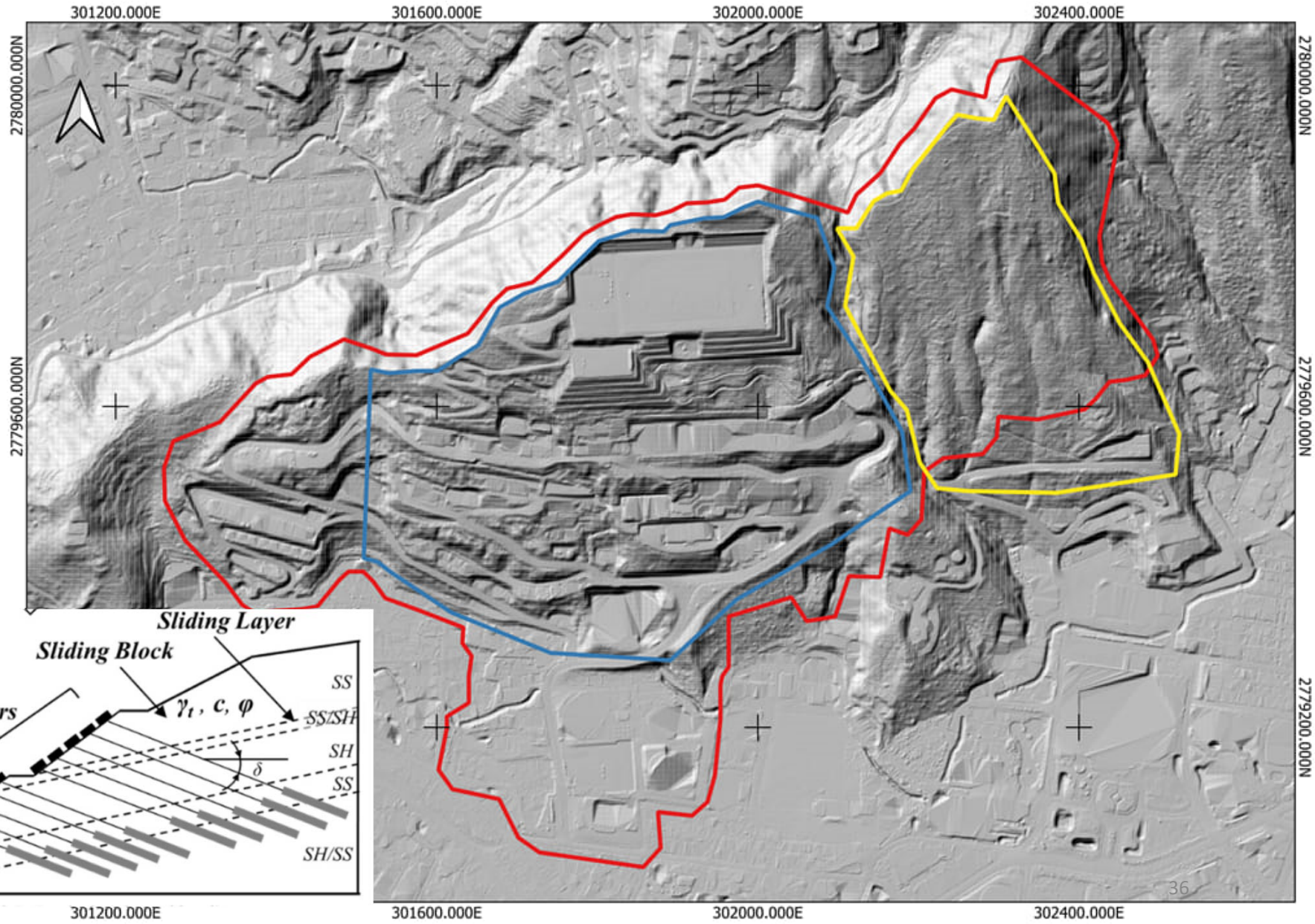


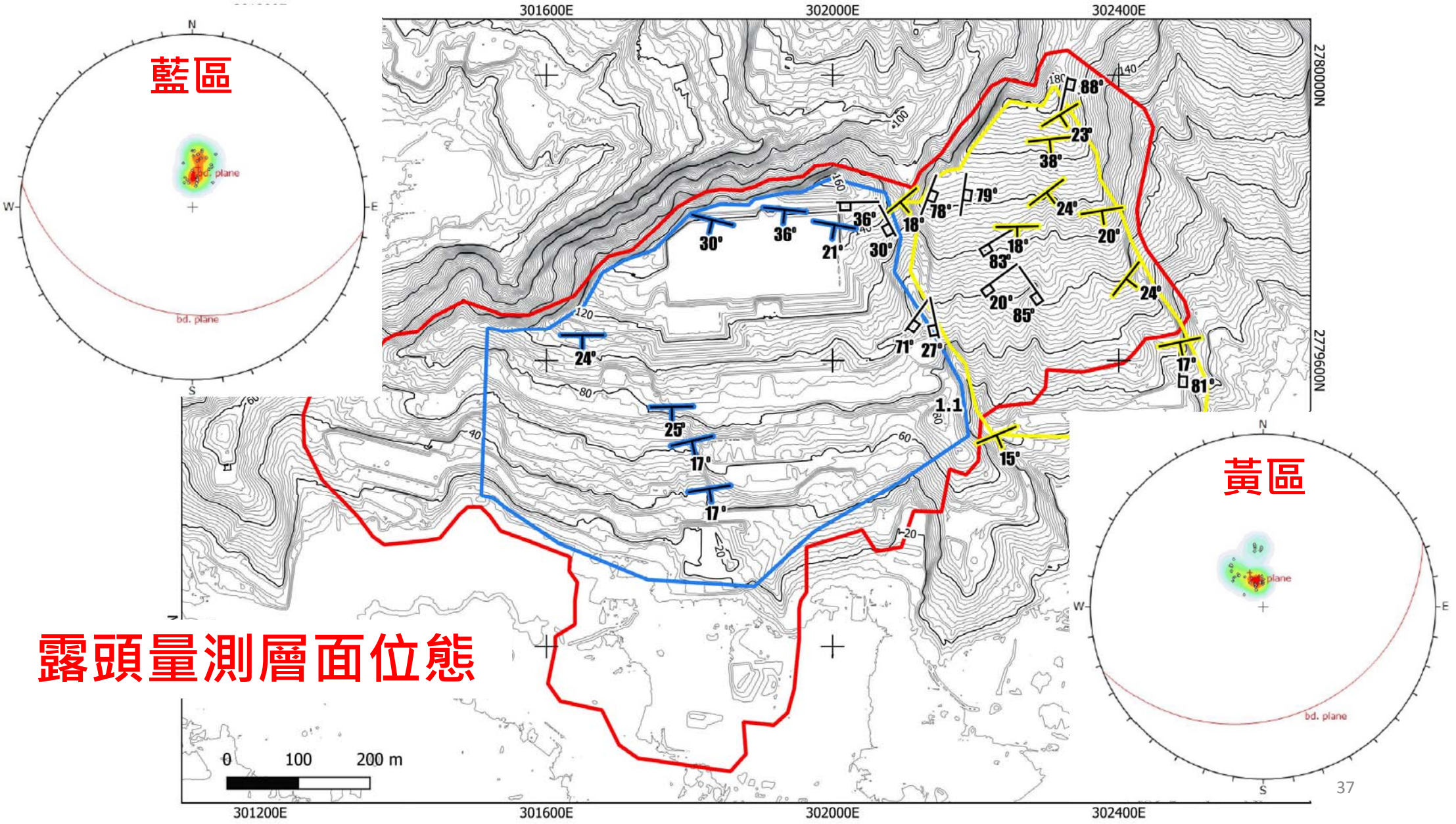


精度可能足夠，但有多少這類露頭?

第三步：調查結果交叉驗證

以順向坡穩定性評估為例

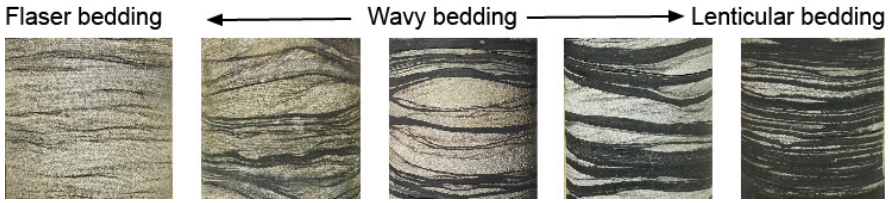



藍區
黃區
bd. plane
301600E
302000E
302400E
301200E
2780000N
2779600N
0
100
200 m
1.1

露頭量測層面位態

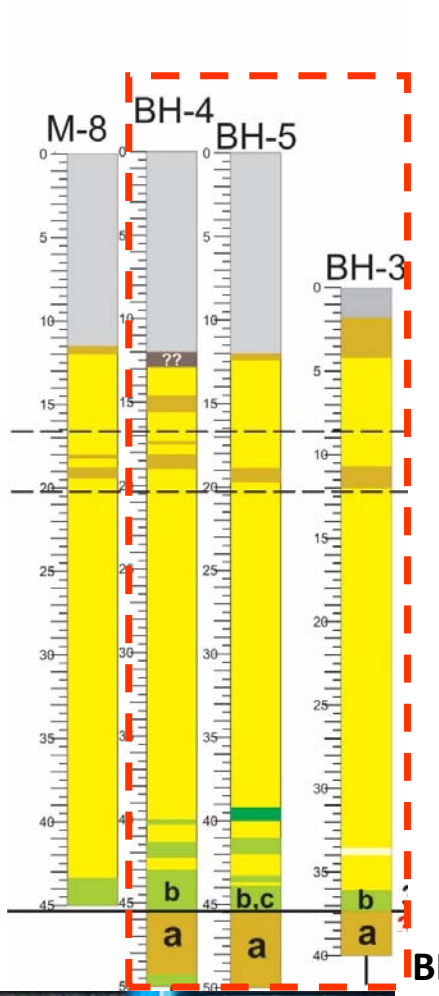
指準層(根據沉積相特徵)

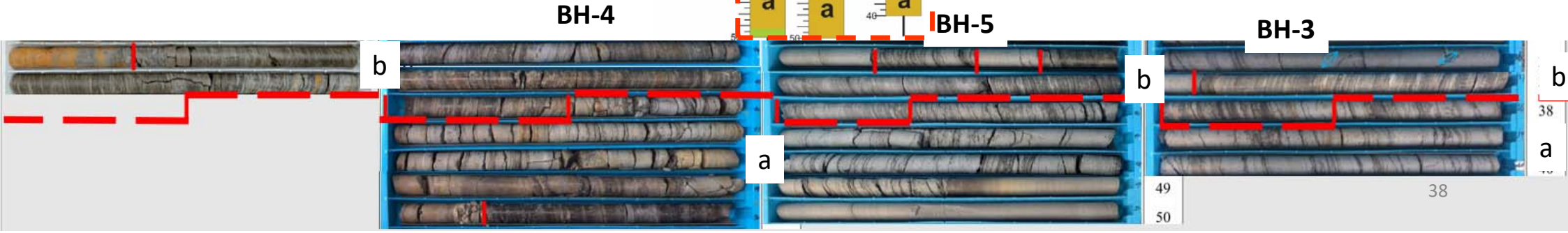
- **a** Flaser Structure
- **b** Wavy Lamination Strc.
- **c** Lenticular Strc.



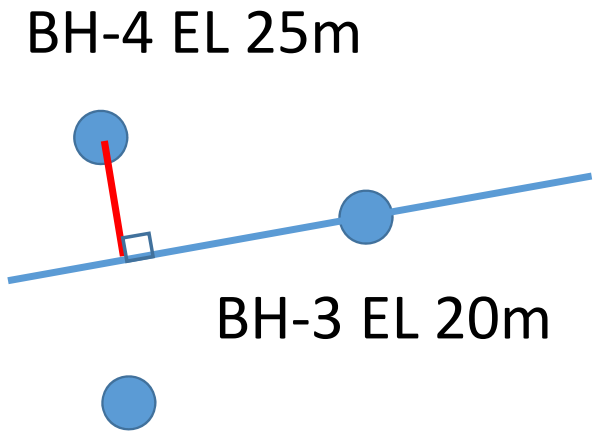
Source: https://www.uky.edu/

岩心判釋要編單價

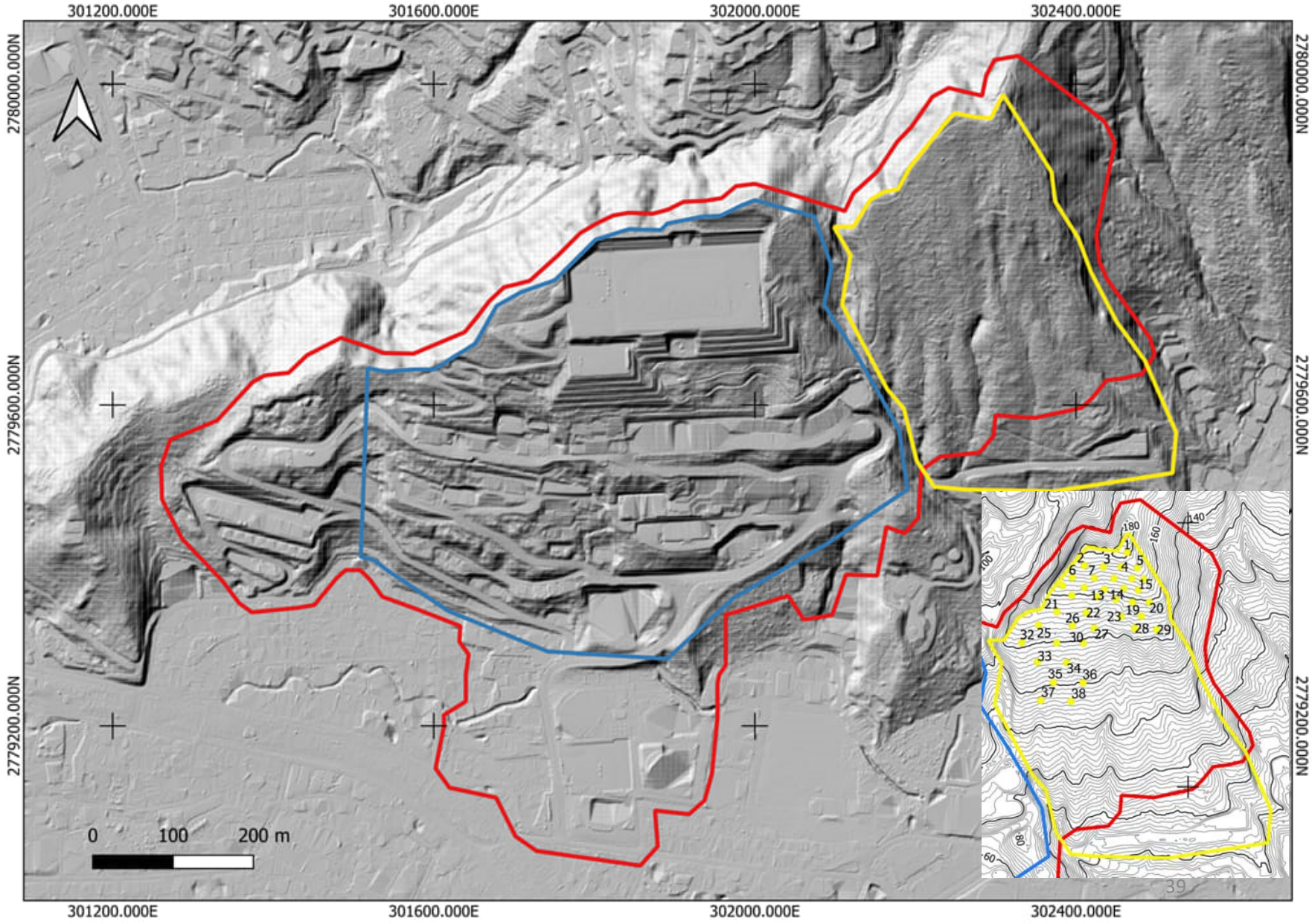




三點法(三點決定一平面)

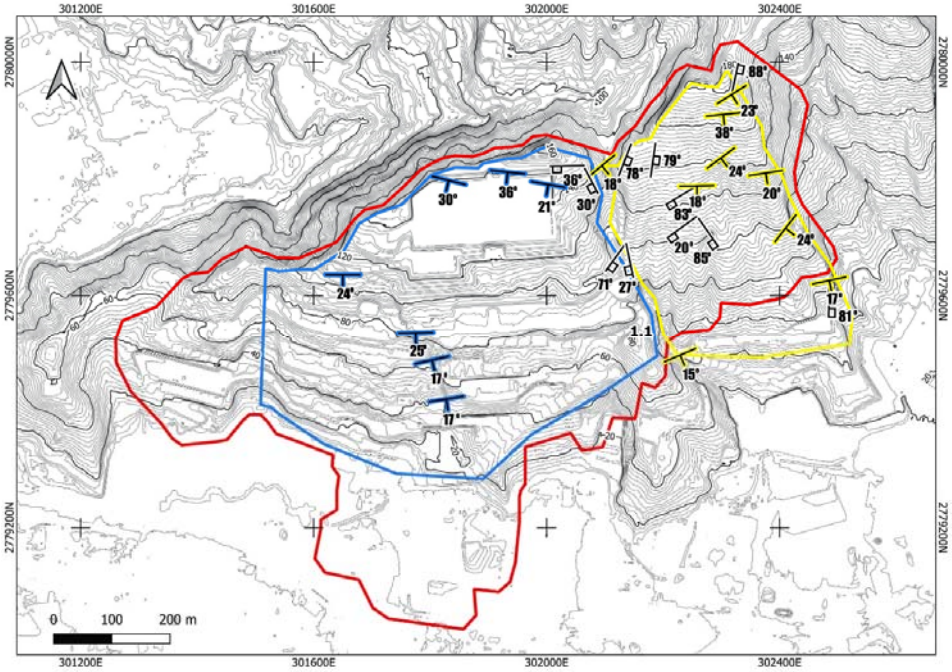


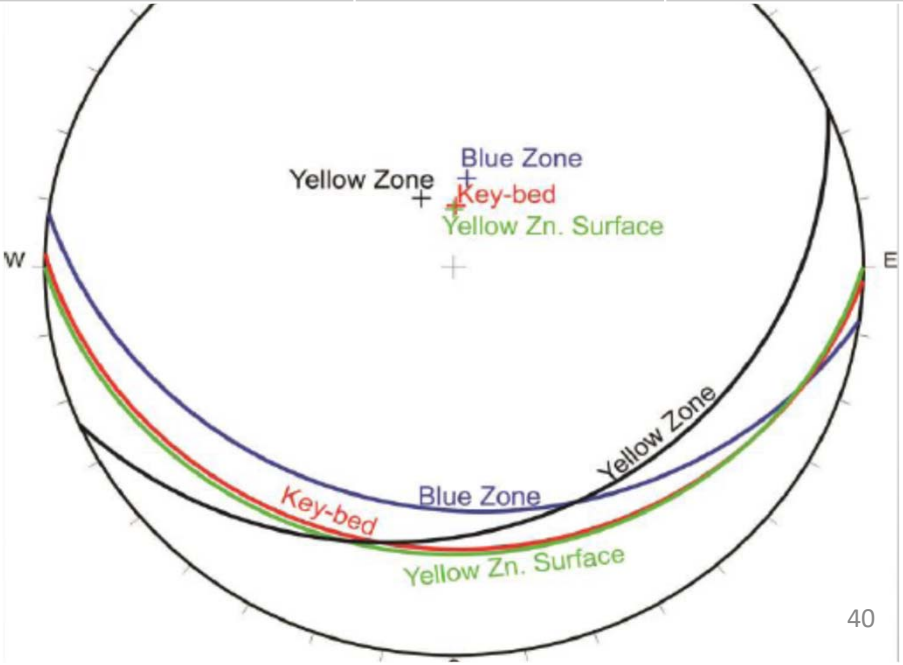
可能殘坡面
(黃區)
平面迴歸



不同資料客觀驗證(交叉比對)

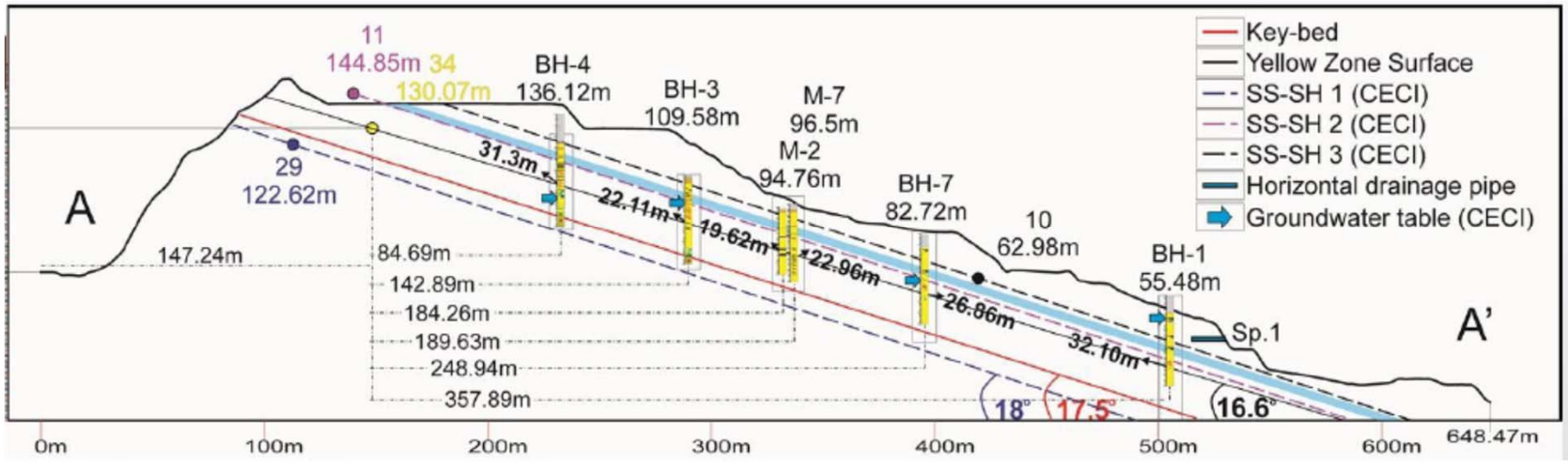
	Yellow Zone Surface's	Key-bed's	Outcrops'		
			Yellow	Blue	All
Strike	N89.9°W	N87.6°E	N66°E	N82°W	N82°E
Dip	16.6°S	17.5°S	22°SE	26°S	24°S



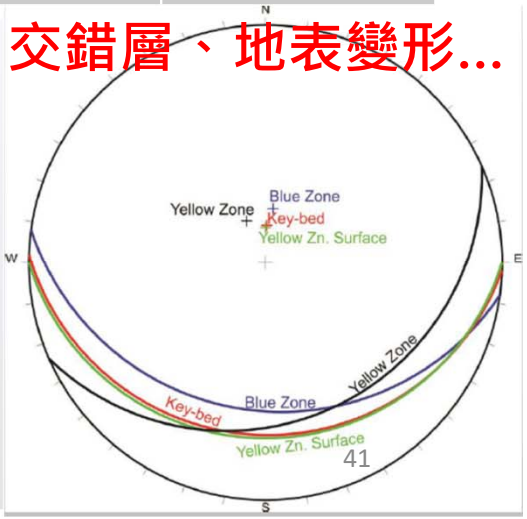


對地質證據之交叉比對、確認、再確認!!因為地質模型控制了分析結果與整治工程規劃設計

	Yellow Zone Surface's	Key-bed's	Outcrops'		
			Yellow	Blue	All
Strike	N89.9°W	N87.6°E	N66°E	N82°W	N82°E
Dip	16.6°S	17.5°S	22°SE	26°S	24°S



交錯層、地表變形...



技研小組提問：

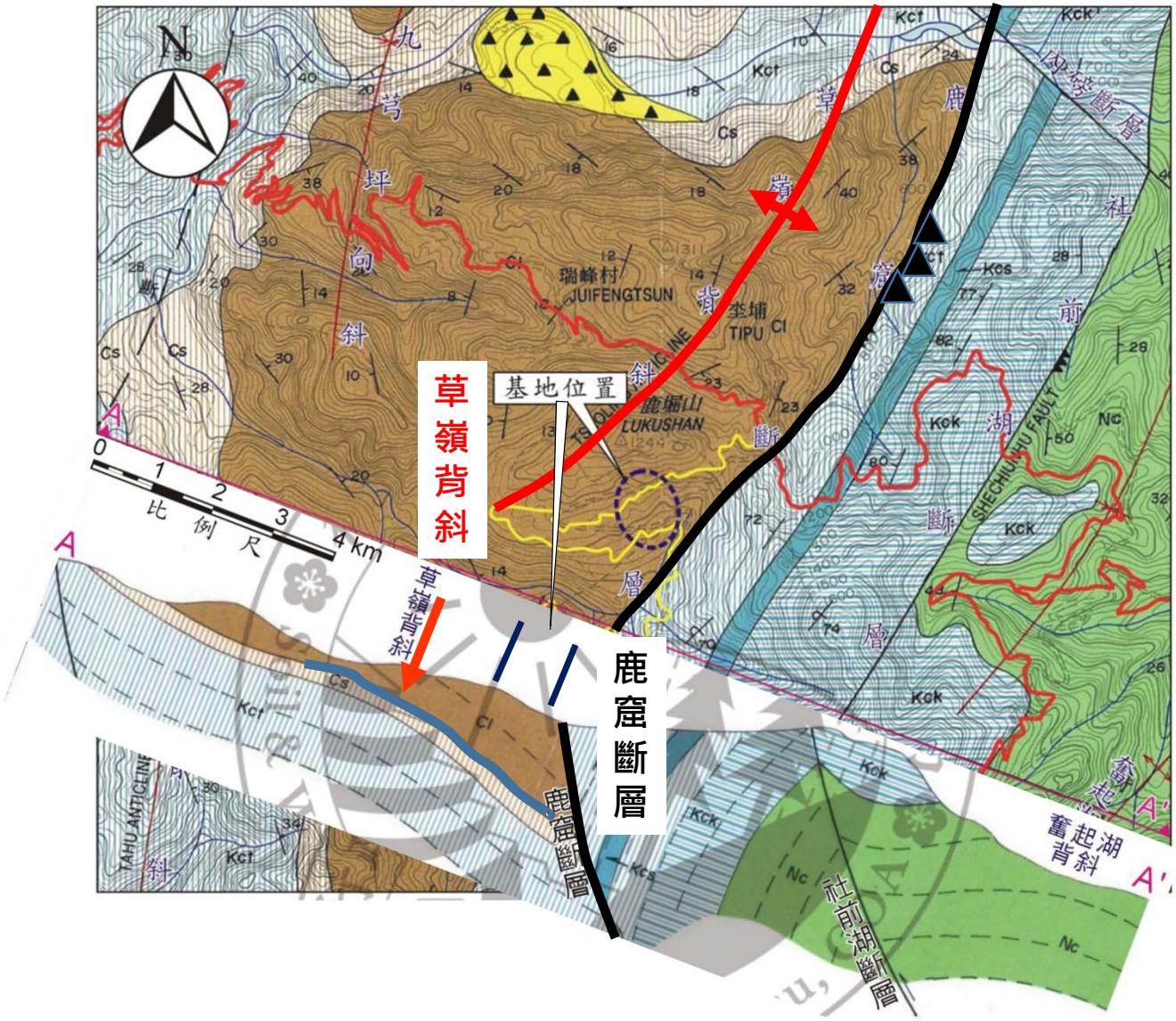
1. 如何繪製崩塌地的地質三維模型，並確認地表下岩層、構造其正確性?

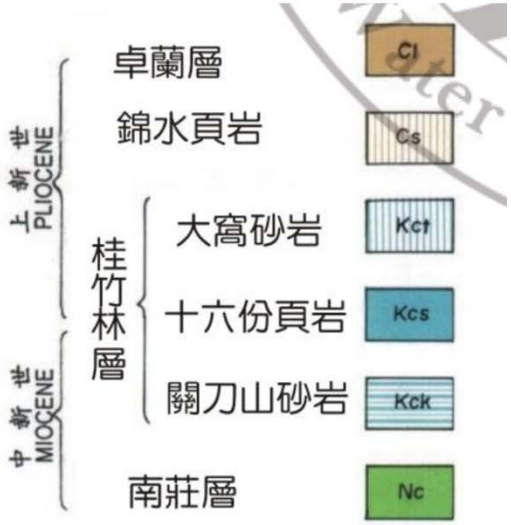
Ans:建立工作假說、規劃地下調查、驗證、調查、直至滿足工程規劃、設計、施工所需。岩層與構造多多少少都會有不確定性，不宜用正確、不正確予以區隔!!

2. 若地質圖或地質模型上出現推測(推論)之線型表示，是否會影響觀感?
(會不會認為是該製圖之技師專業度不足，才劃設推測線型的表示法?)

3. 環境地質圖、工程地質圖、區域地質圖之差別?

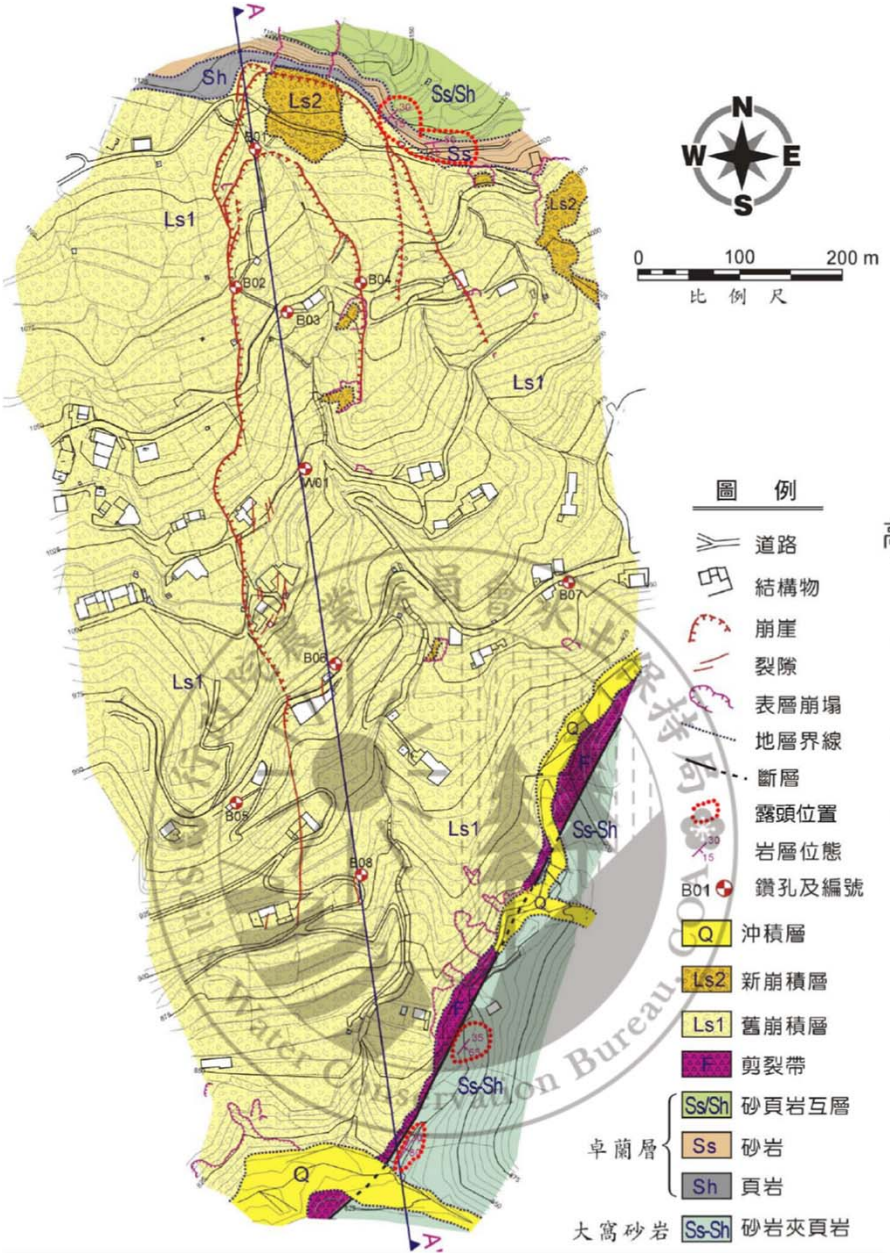
幼葉林

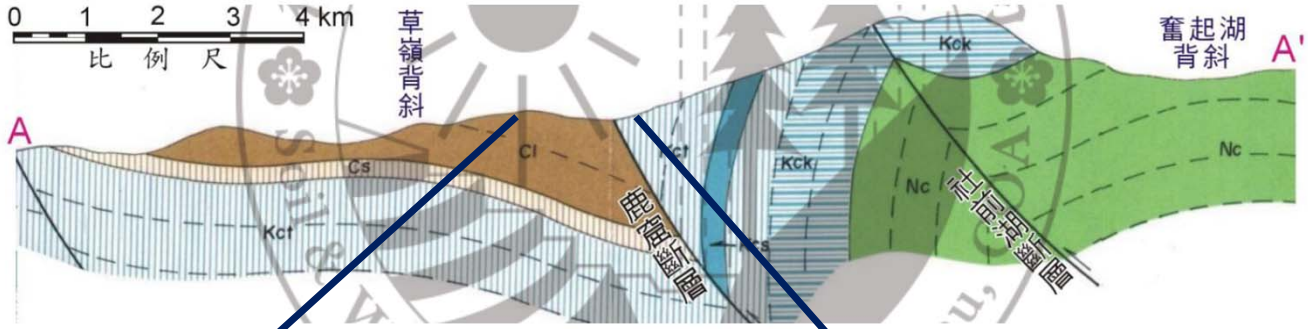




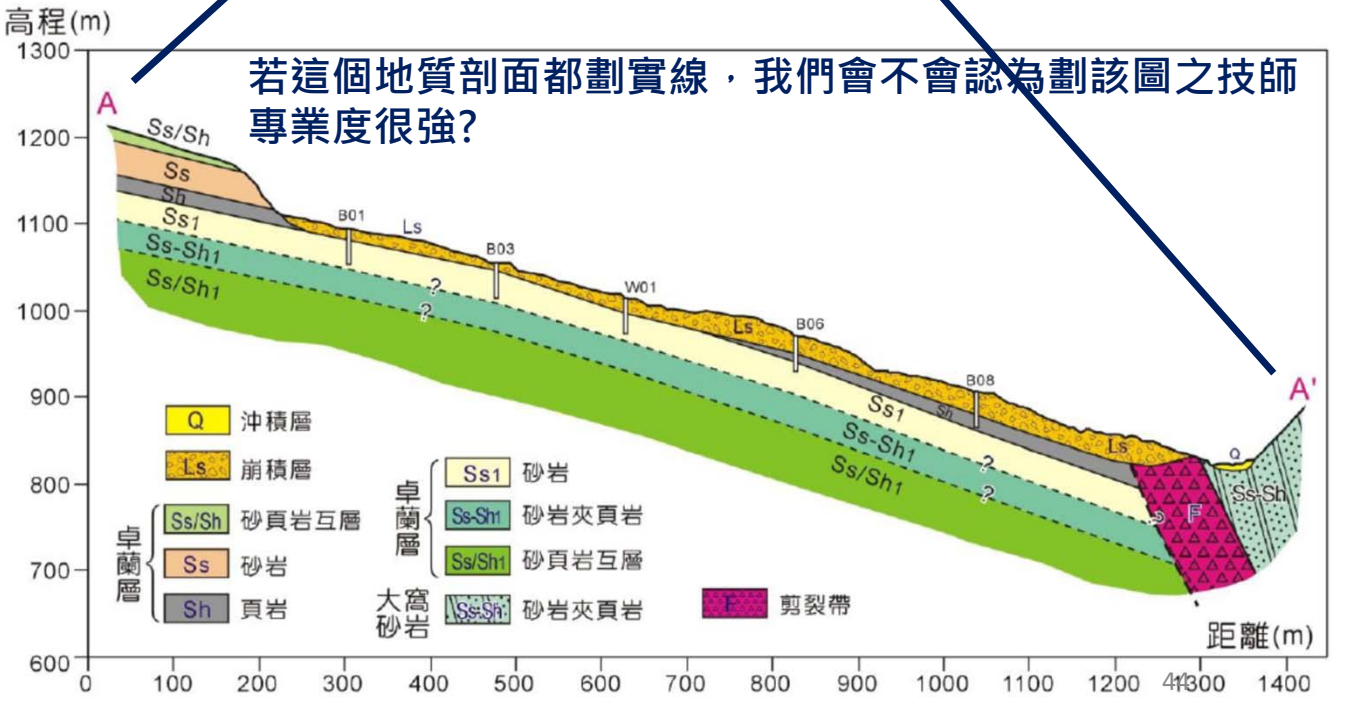


(南投分局，2008)

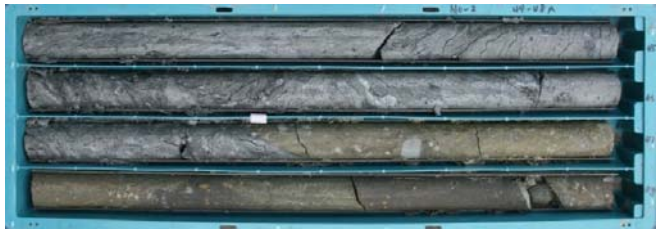




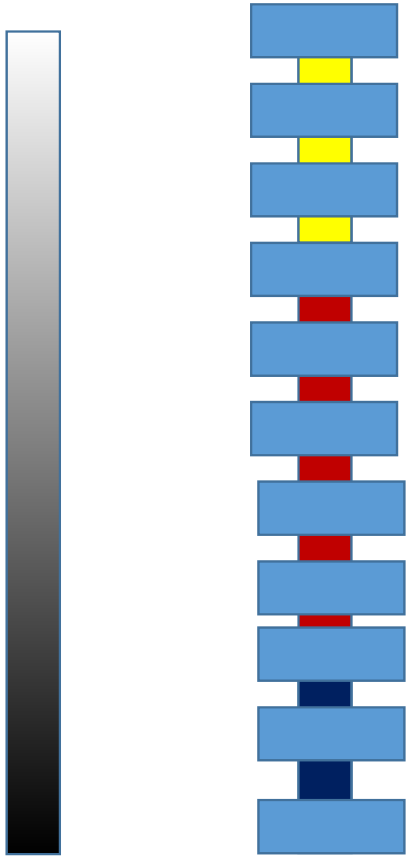
若這個地質剖面都劃實線，我們會不會認為劃該圖之技師專業度很強?



錯誤的認知與期待



殘酷的事實

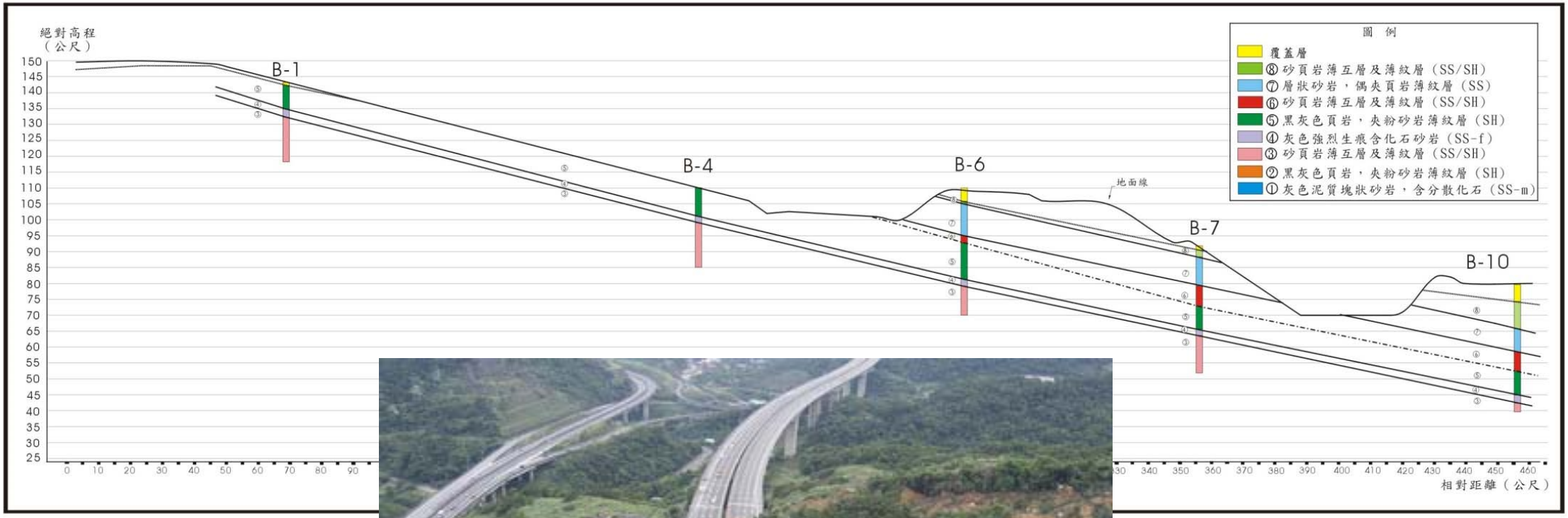


想像



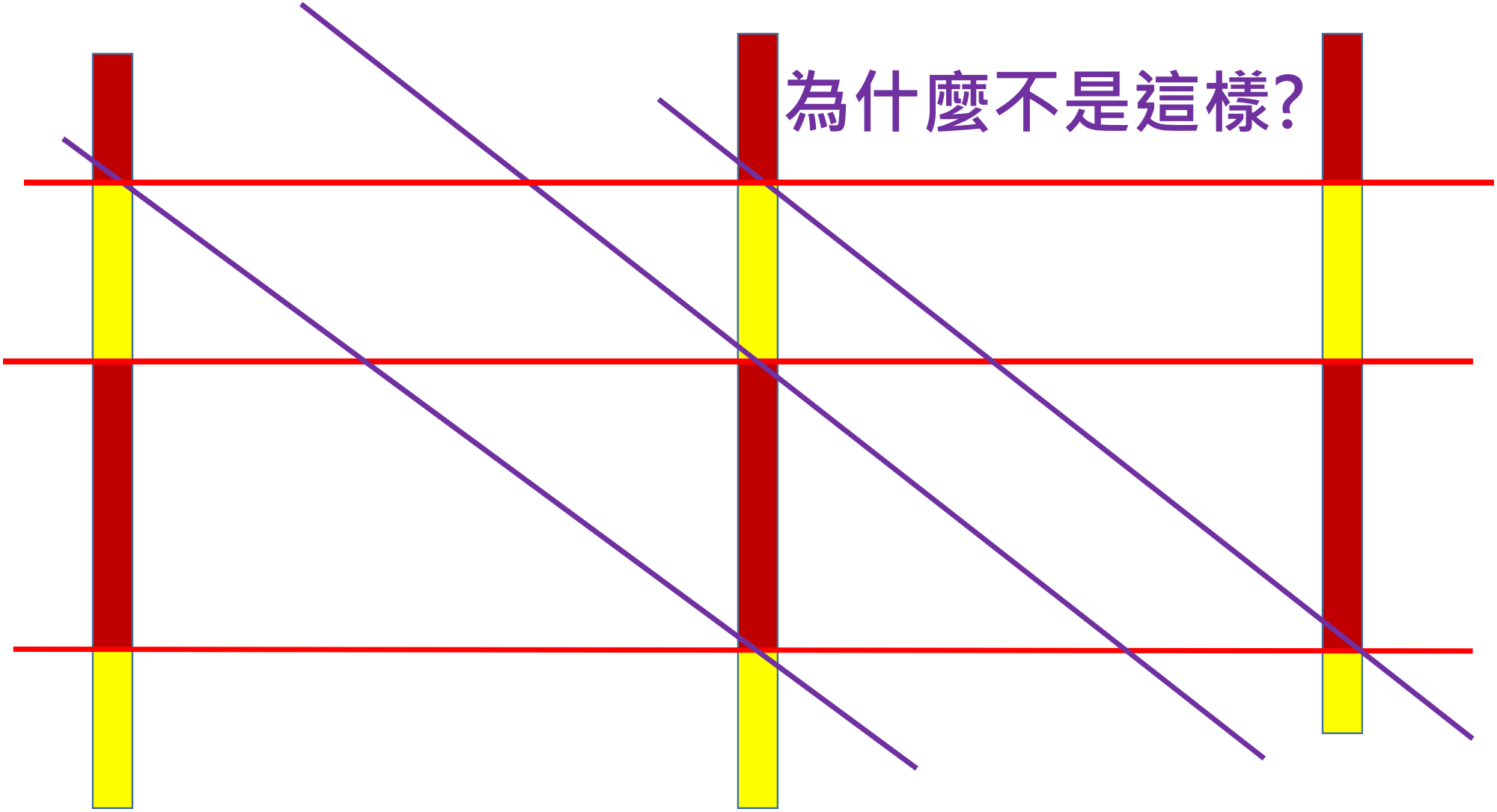
計畫名稱：苑里鎮石頭坑段石頭坑小段 180-1 地號開發案　孔　深：20 M
孔　號：BH-4　方　法：旋轉式　地面高程：134.5 M
開始日期：88.10.2　傾　角：90°　地下水位：121.9 M
完成日期：88.10.3　座　標：　頁　次：1/1

深度（M）	水取壓樣計記及述	標試準驗貫N入值	提取率%	岩標石品RQD質指	柱狀圖	地層描述
1	S4-1	5,7,8	-	-		黃棕色砂質殘餘表土
2			-	-		
3	S4-2	7,9,10	-	-		
						3.3m
4	S4-3	7,9,9	70	50		砂岩
5			60	35		＊黃棕色中至細粒，中至高度風化
						5.2m
6			20	0		礫石層
7			20	0		
						6.9m
8			80	10		砂岩與泥岩互層
9			100	50		＊6.9~7.25 m 黃灰色泥岩夾黃棕色砂岩
10			100	45		＊7.25~9.15 m 灰色泥岩
11			60	10		＊9.15~10.1 m 黃灰色砂岩
12			100	40		＊10.1~14.15 m 灰色泥岩偶夾砂岩
13			75	55		
14			100	10		
						14.15m
15			100	65		砂岩夾泥質砂岩
16			100	70		＊灰色細至中粒，膠結差，偶夾泥質砂岩
17			100	80		＊17.5~17.7 m 含貝類化石
18			100	90		＊19.6~20.0 m 泥質含量較高
19			100	45		
20			100	50		鑽探結束　20.0m


絕對高程
（公尺）
B-1
B-4
B-6
B-7
B-10
地面線
圖 例
覆蓋層
⑧砂頁岩薄互層及薄紋層（SS/SH）
⑦層狀砂岩，偶夾頁岩薄紋層（SS）
⑥砂頁岩薄互層及薄紋層（SS/SH）
⑤黑灰色頁岩，夾粉砂岩薄紋層（SH）
④灰色強烈生痕含化石砂岩（SS-f）
③砂頁岩薄互層及薄紋層（SS/SH）
②黑灰色頁岩，夾粉砂岩薄紋層（SH）
①灰色泥質塊狀砂岩，含分散化石（SS-m）
相對距離（公尺）

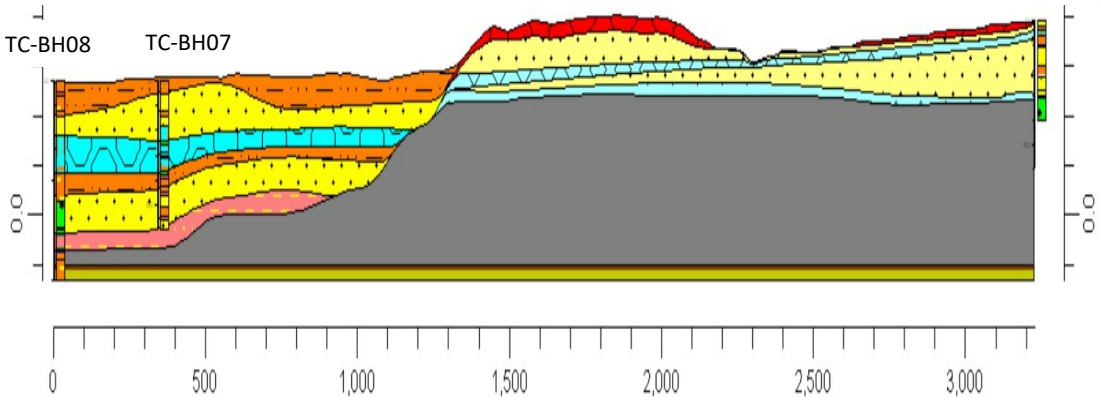


是這樣的嗎?

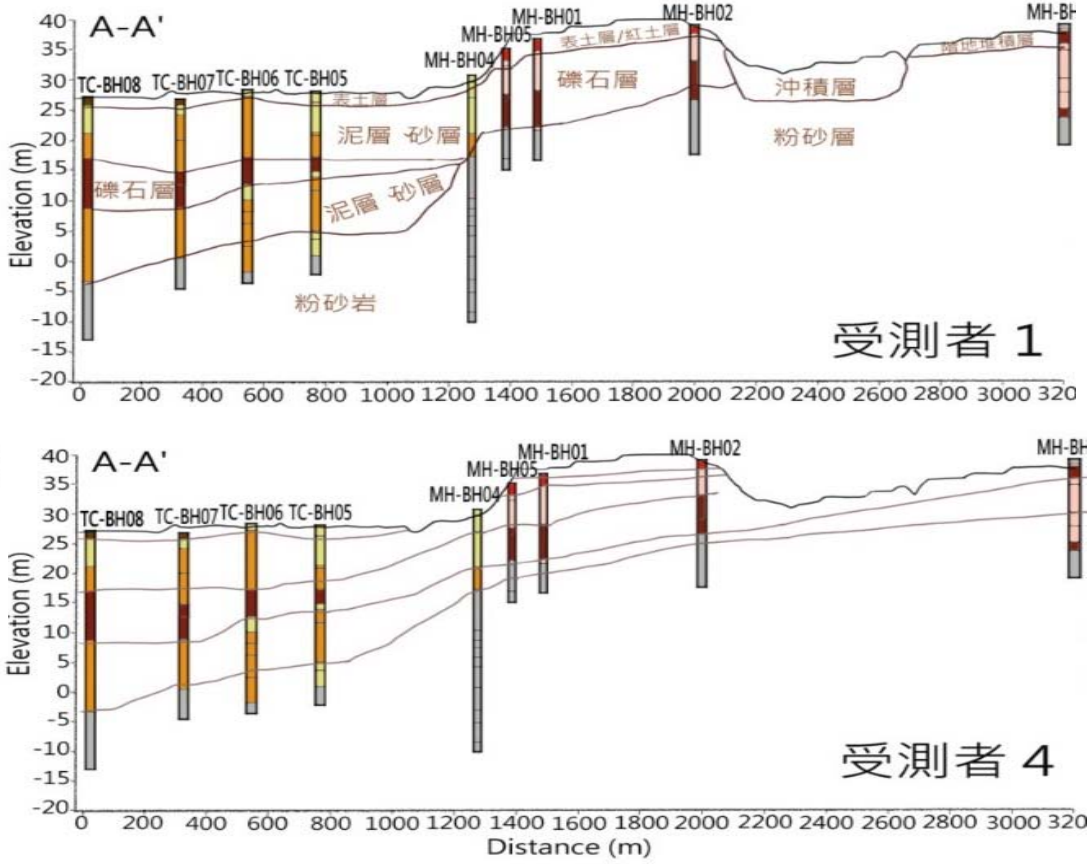


鑽孔地層相連

給同樣9個鑽孔地層資料，不同地質師/工程師繪製了不一樣的地質剖面



Synthetic geological model



地質模型具有不確定性

工程最怕surprise!!

王豐仁應用地質技師提供

金句三：工程師使用地質圖之心態--- Keaton (2013)

1. **過度信任地質圖：**工程師對於地質師提供之地層分層與層界深信不疑，受層界劃分出之地層單元成為大地工程特性量化(主要基於地下探勘及室內試驗結果)之引導基礎(後者受制於地質框架的約束)。
2. **認為"隨機變數"為地工設計萬靈丹：**工址之整體地質條件，被設計所需之大地工程參數(如不排水剪力強度)以隨機變數方式量化後取代之。
3. **將地質調查報告棄之如敝屣：**完完全全的忽視地質(知識)，僅依賴大地工程調查量化數據(如土壤分類、SPT...)取代地層分層。地質調查報告變成工程計畫書之附錄，表示地質調查工作已完成，以防有人詢問工程計畫是否進行地質調查時予以塘塞。



- IAEG 擬出版GEM之Guidelines
  - “Uncertainty” 出現 105 次
  - “Risk” 出現 97 次
  - “Reliability” 出現 39 次

扣掉 Chapter 5 還有 48 個 “Uncertainty”！

Chapter 5 **Managing EGM Uncertainty** **(7 pages, 4 figures, 1 table)** 41

該不該劃虛線加問號?

Are you sure?

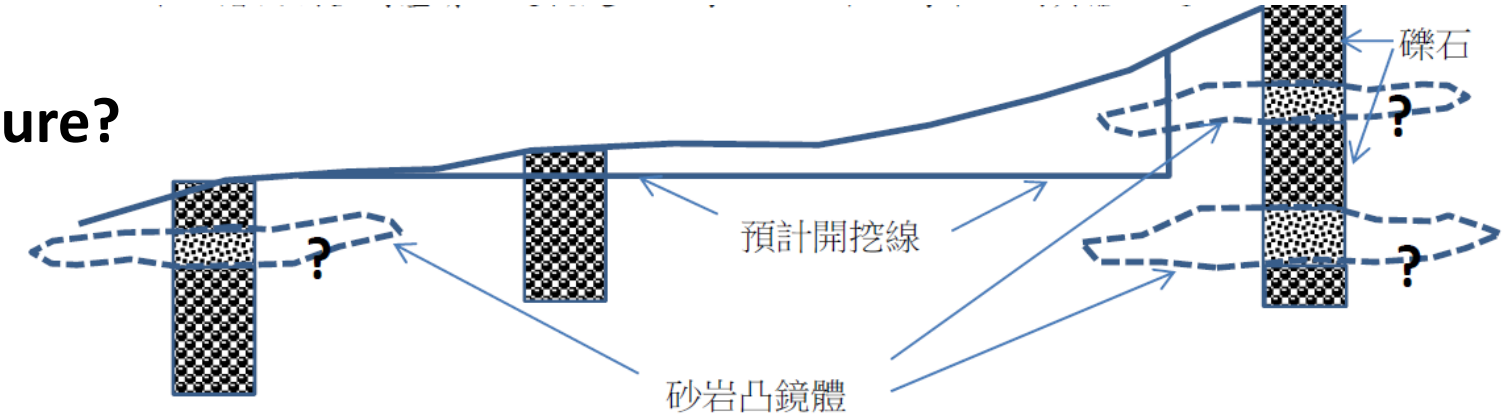
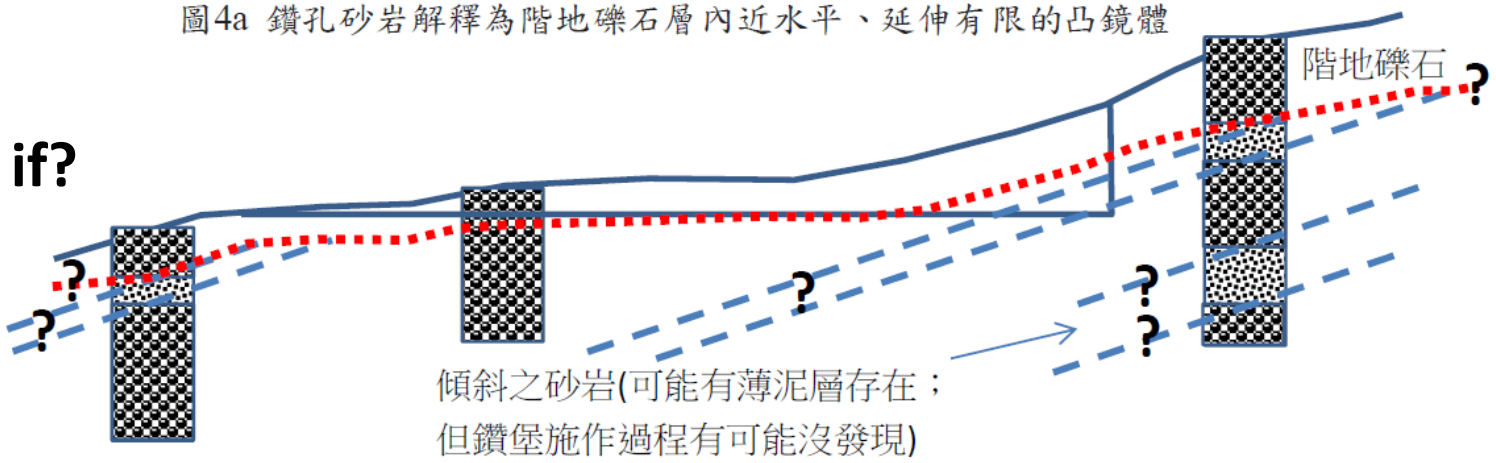


圖4a 鑽孔砂岩解釋為階地礫石層內近水平、延伸有限的凸鏡體

What if?



USGS 地質圖之圖例

USGS
science for a changing world

fgdc
Federal Geographic Data Committee

FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization (PostScript Implementation)

Prepared in cooperation with the Geologic Data Subcommittee of the Federal Geographic Data Committee

科學信心 Science Confidence
(特性Identity 與存在性 Existence)

位置 (Location)	均有把握 (certain)	任一有懷疑 (May be questionable)
準確 (Accurate)	———	——?——
概略性 (Approximate)	– – – –	– – ?– – –
推論的 (Inferred)	– – – – –	– – ???– – –
隱蔽 (Concealed)	————	——???——

利用評分系統量化地質模型變異係數

地質不確定性評分影響因素		評估準則與評分			
		3分	9分	27分	81分
區域尺度地質複雜程度	原生作用-沉積/置換(火成作用)	條件單純、均質	大致單純、可預測	有些複雜、大致可預測	高度複雜且變異性高
	次生(後成)作用-構造作用與變形	推測無斷層或褶皺	一期地質事件影響、斷層褶皺數量規模有限	兩期地質事件影響、斷層褶皺數量規模有限	多期地質事件影響、有重要斷層或褶皺
	次生(後成)作用-蝕變/溶解	地質條件顯示不太可能發生	地質條件顯示有可能發生	地質條件顯示很有可能發生	已發生/有既存事實
	次生(後成)作用-風化/侵蝕	均勻風化剖面、侵蝕作用輕微	規則之侵蝕剖面、輕度侵蝕作用	不規則之侵蝕剖面、中度侵蝕作用	高度不規則之侵蝕剖面、侵蝕作用顯著，有埋沒谷現象
場址尺度的地質複雜程度		工址地層於垂直及側向延伸均勻	工址地層延伸具規則性	工址地層延伸不具規則性	工址地層延伸具高度不規則性
場址地區/地形特徵		有些許高差、露頭情況良好	有些許高差、露頭情況尚可	地形高差大、露頭情況差	植披密布、非常少或非常糟之露頭
資訊品質		具有各種來源之大量地質調查資料	僅有來自少量來源之有限地質調查資料	僅有初勘資料	僅有蒐集所得地質資料
地質師能力		專業地質師且具有當地地質調查經驗	專業地質師然僅具不同地質條件地區之調查經驗	地質系畢業生或曾受野外地質調查練	未接受過地質教育、或是無野外地質調查訓練資歷
準備地質模型時間		充足時間，地質解釋充分完整	充足時間，地質解釋思考周到	時間不充足，然地質解釋思考周到	時間不充足；地質解釋思考倉促、粗糙

地質學知識可有效降低地質模型不確定性

- 開小視窗，無從得知圖案 (調查點密度)
- 若知其為名畫?孟克的畫? (地質學知識)
- 若不確定時讓你開視窗，你要開哪裡? (調查方法與位置)
- 越有地區性地質調查經驗的人、越了解一個地區、越適合擔任調查與資料解釋者
- 施工中...視窗大開 (施工中調查)

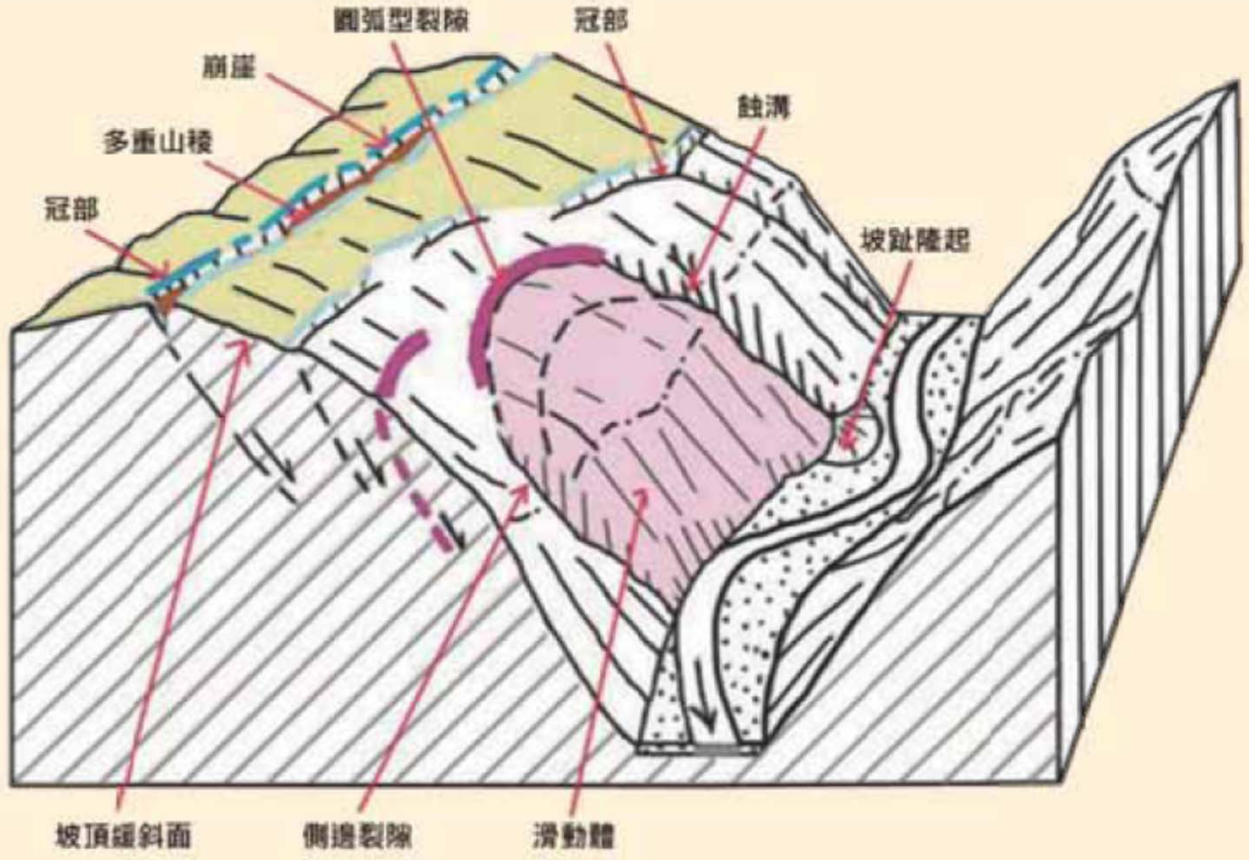


第 三 節　地質調查

第 33 條（工程地質資料研判）
工程地質調查後，工程地質資料之解釋必須由**依技師法得執行工程地質調查業務之專業技師為之**，將所得資料作整合性解釋與研判，並評估可能之地質災害，以得到對工程規劃及設計有用之具體結論。

誰適合執行工程地質調查業務?

大規模崩塌區之防、減災與工程地質模型

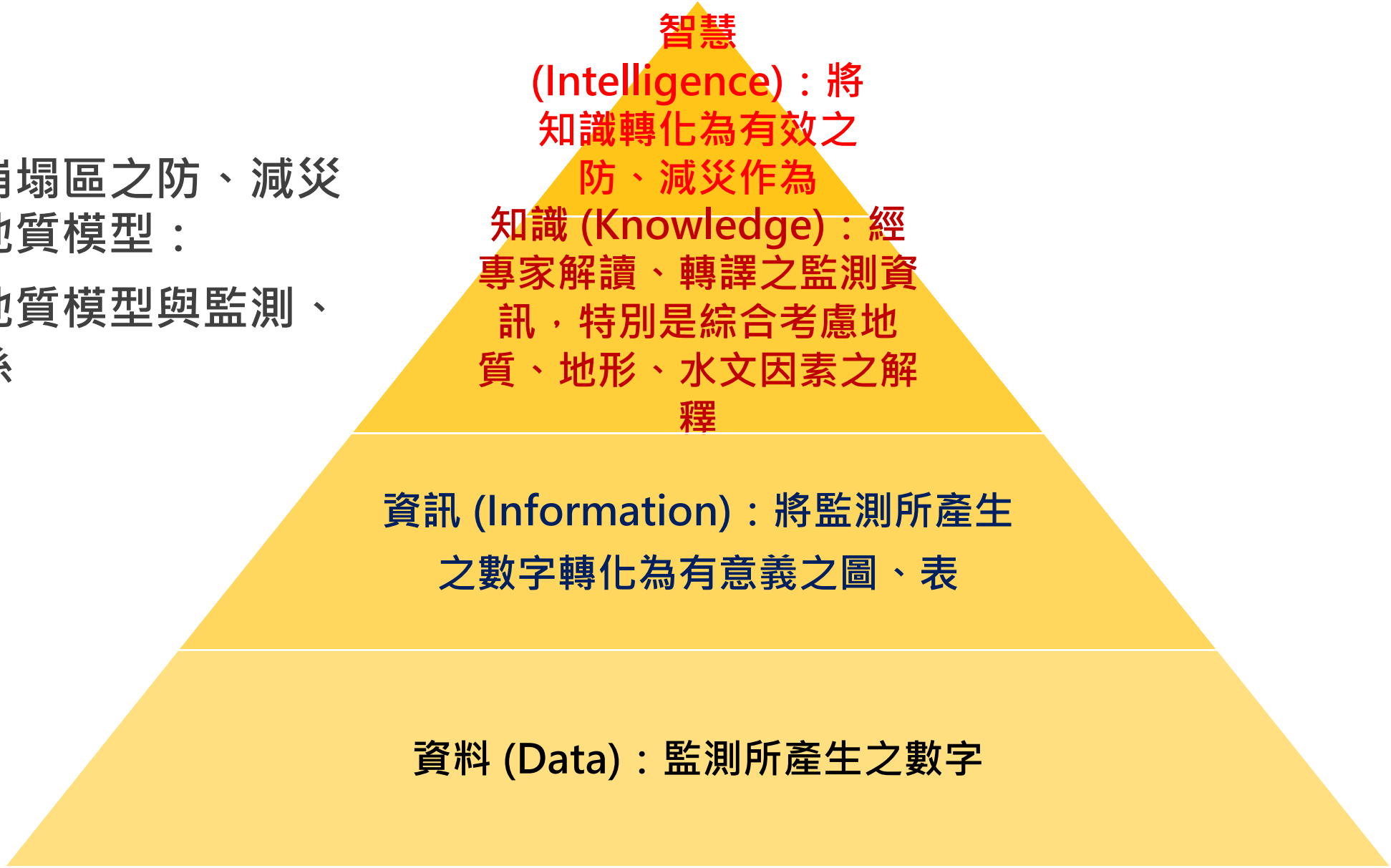


（侯進雄等，2014；修改自鈴木隆介，2000）

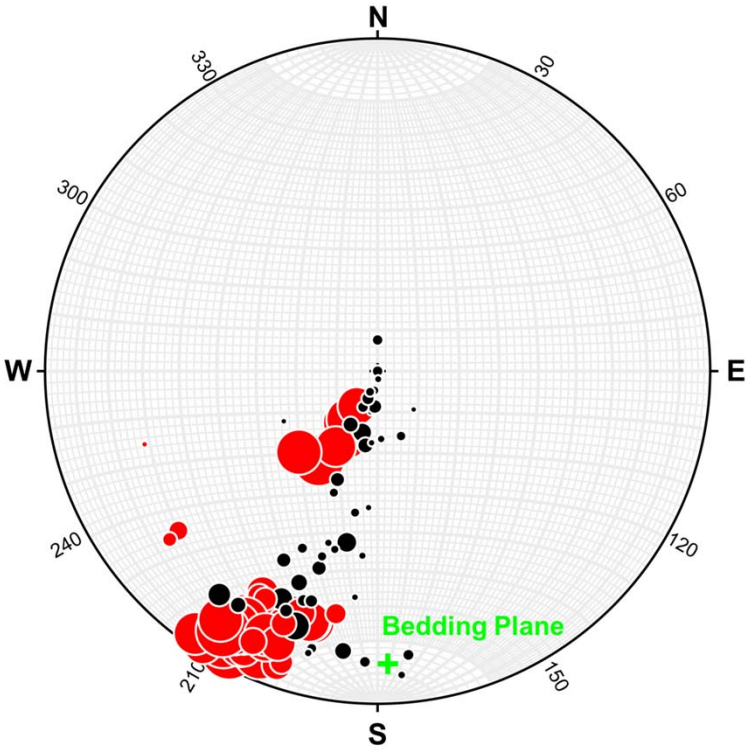
圖 2-1　潛在大規模崩塌地形特徵示意圖

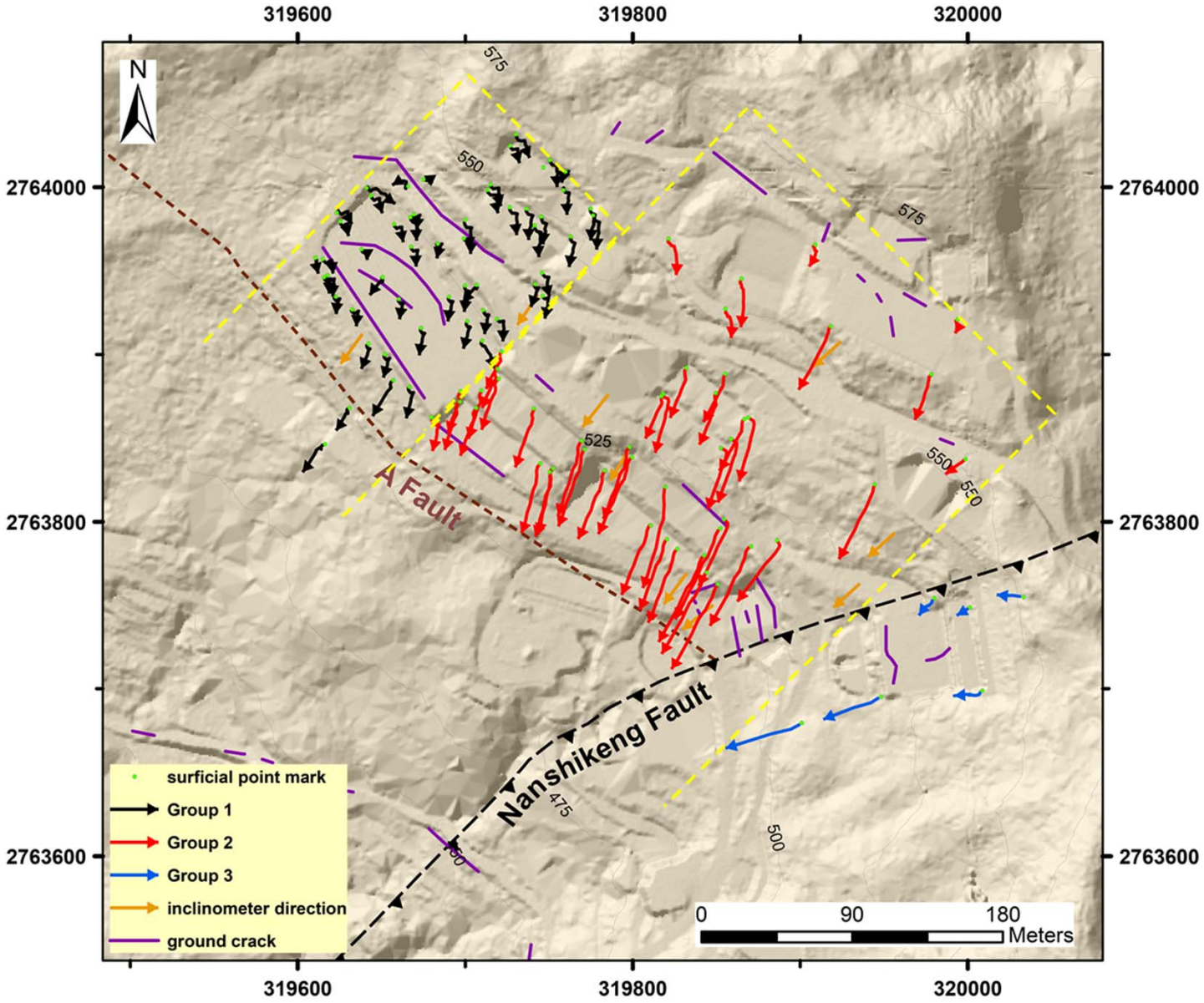
大規模崩塌區之防、減災與工程地質模型：

聚焦於地質模型與監測、預警關係

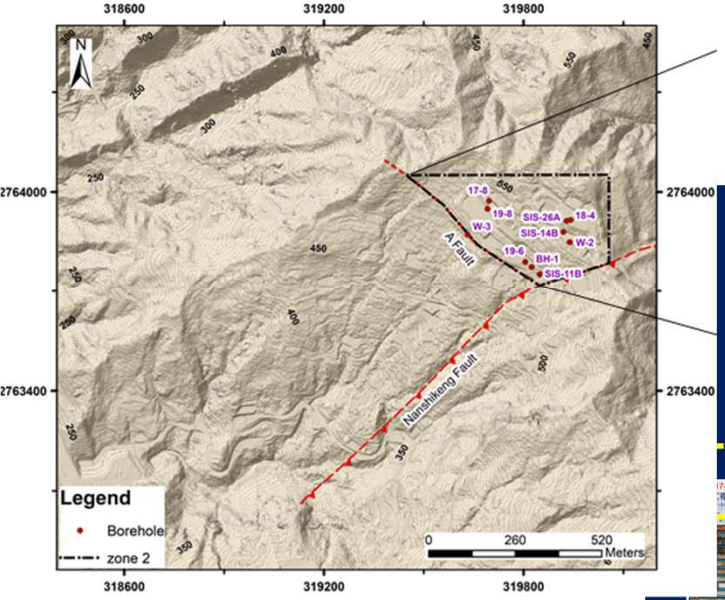


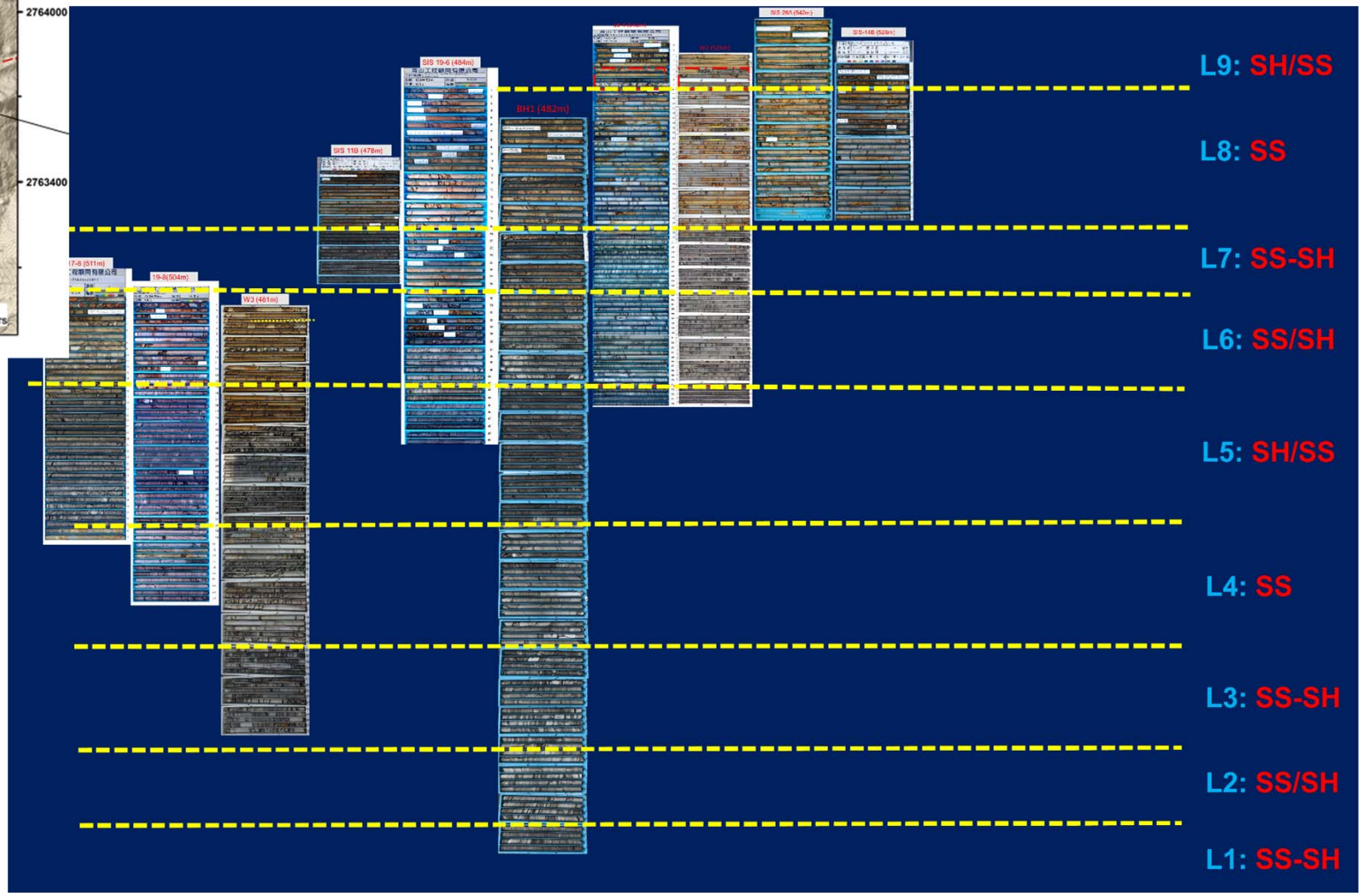
華梵大學

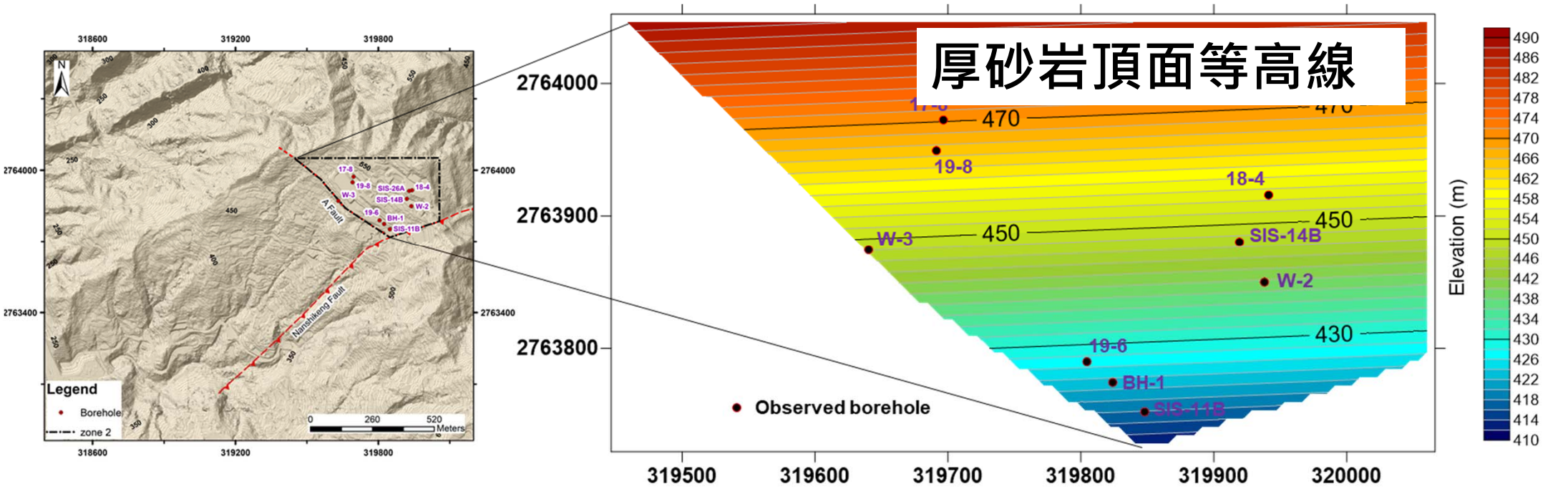

N
30
60
120
150
S
210
240
300
330
W
E
Bedding Plane


319600
319800
320000
2764000
2763800
2763600
N
575
550
525
500
475
A Fault
Nanshikeng Fault
surficial point mark
Group 1
Group 2
Group 3
inclinometer direction
ground crack
0
90
180
Meters

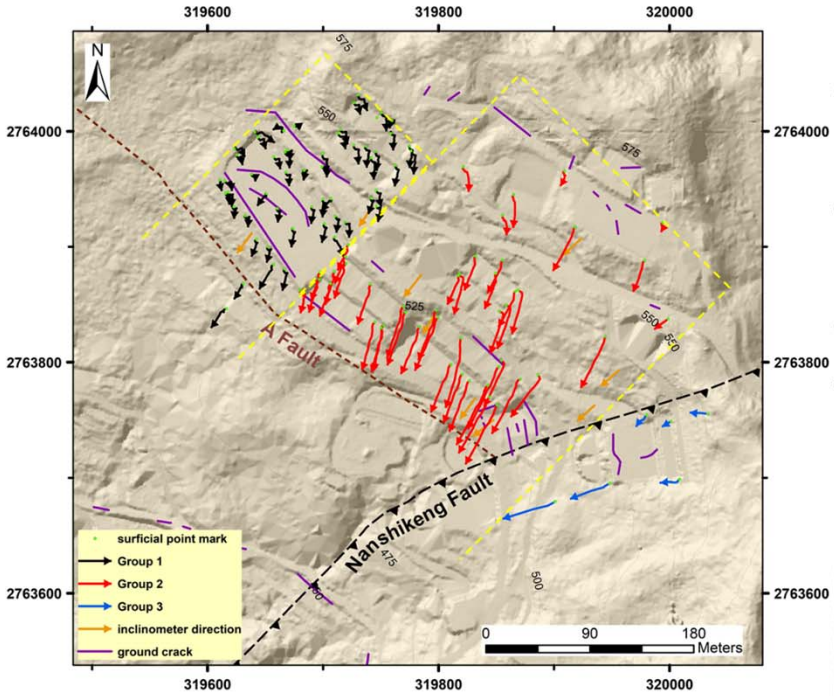
華梵大學

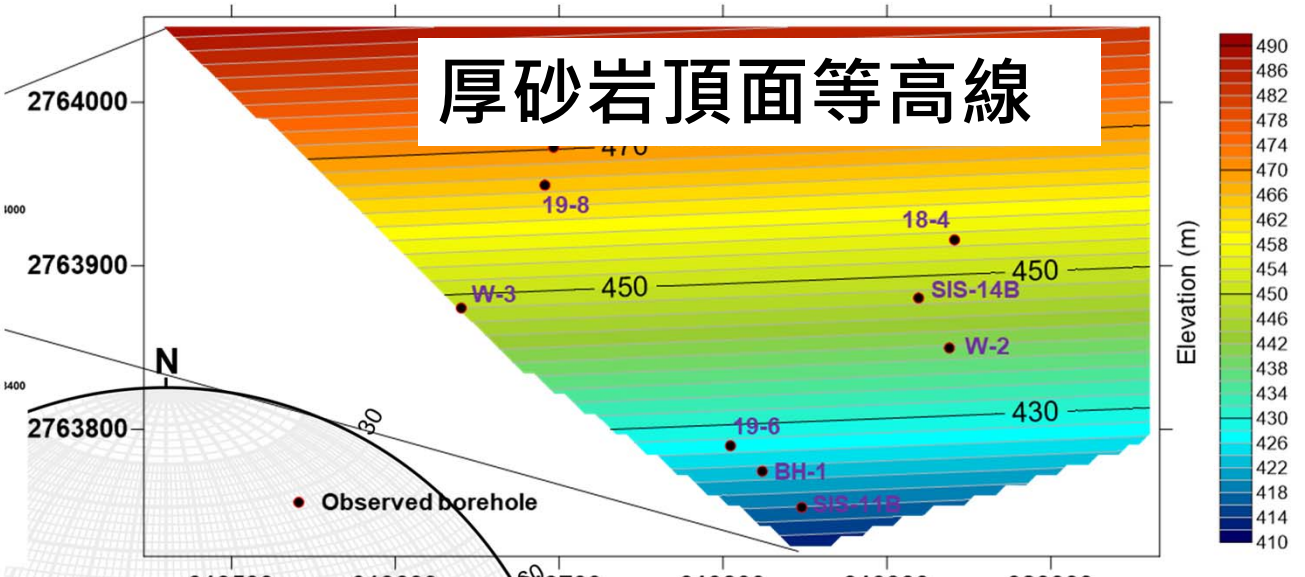

318600
319200
319800
2764000
2763400
17-8
19-8
W-3
SIS-26A
18-4
SIS-14B
W-2
19-6
BH-1
SIS-11B
A Fault
Nanshikeng Fault
Legend
Borehole
zone 2
0
260
520
Meters

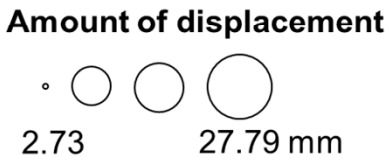

SIS 19-6 (484m)
BH1 (482m)
SIS 11B (478m)
17-8 (511m)
19-8(504m)
W3 (401m)
L9: SH/SS
L8: SS
L7: SS-SH
L6: SS/SH
L5: SH/SS
L4: SS
L3: SS-SH
L2: SS/SH
L1: SS-SH

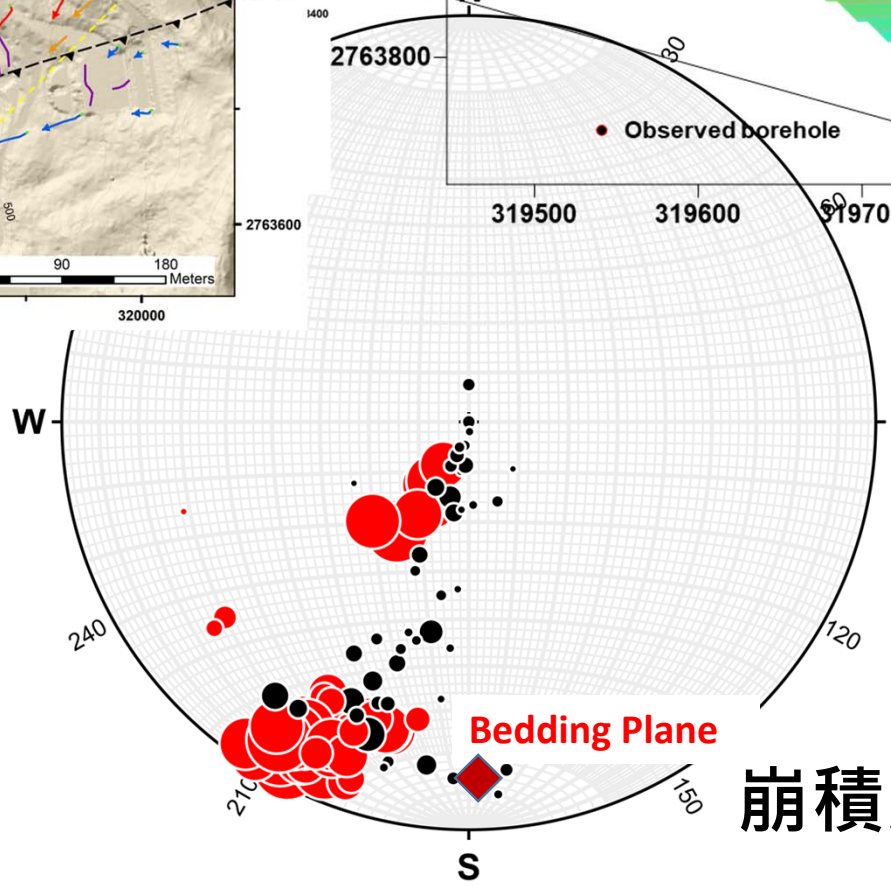


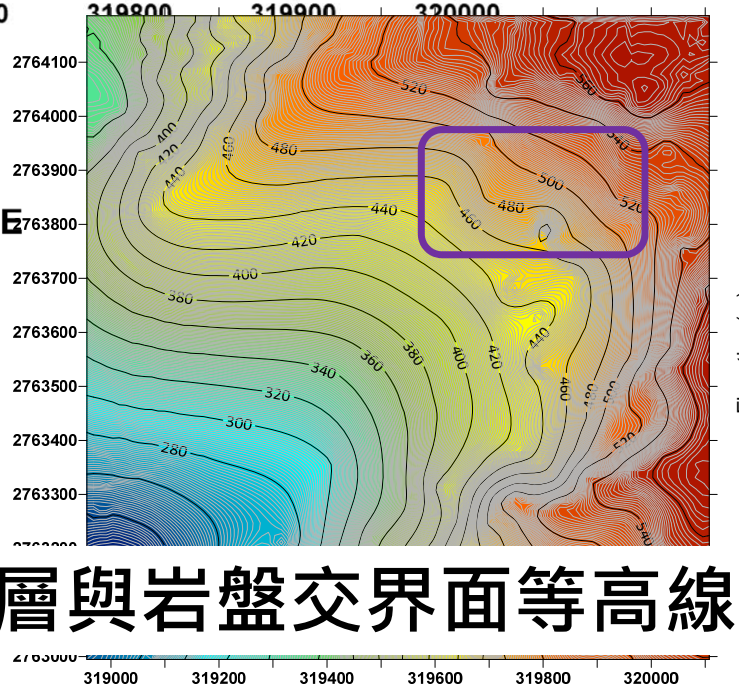
Borehole	X	Y	Z	Error
W-3	319631.7	2763871.4	443.8	3.68
17-8	319696.5	2763972	472.8	-2.5
19-8	319691.3	2763949.3	466.2	-1.22
BH-1	319823.9	2763774.3	428.6	-5.38
19-6	319804.5	2763789.9	424.8	2.21
W-2	319938.1	2763849.8	440.3	-0.67
18-4	319941.3	2763915.9	452.8	2.11
SIS-14B	319919.3	2763880	446.9	-0.01
SIS-26A	319929.6	2763913	453.7	0.7





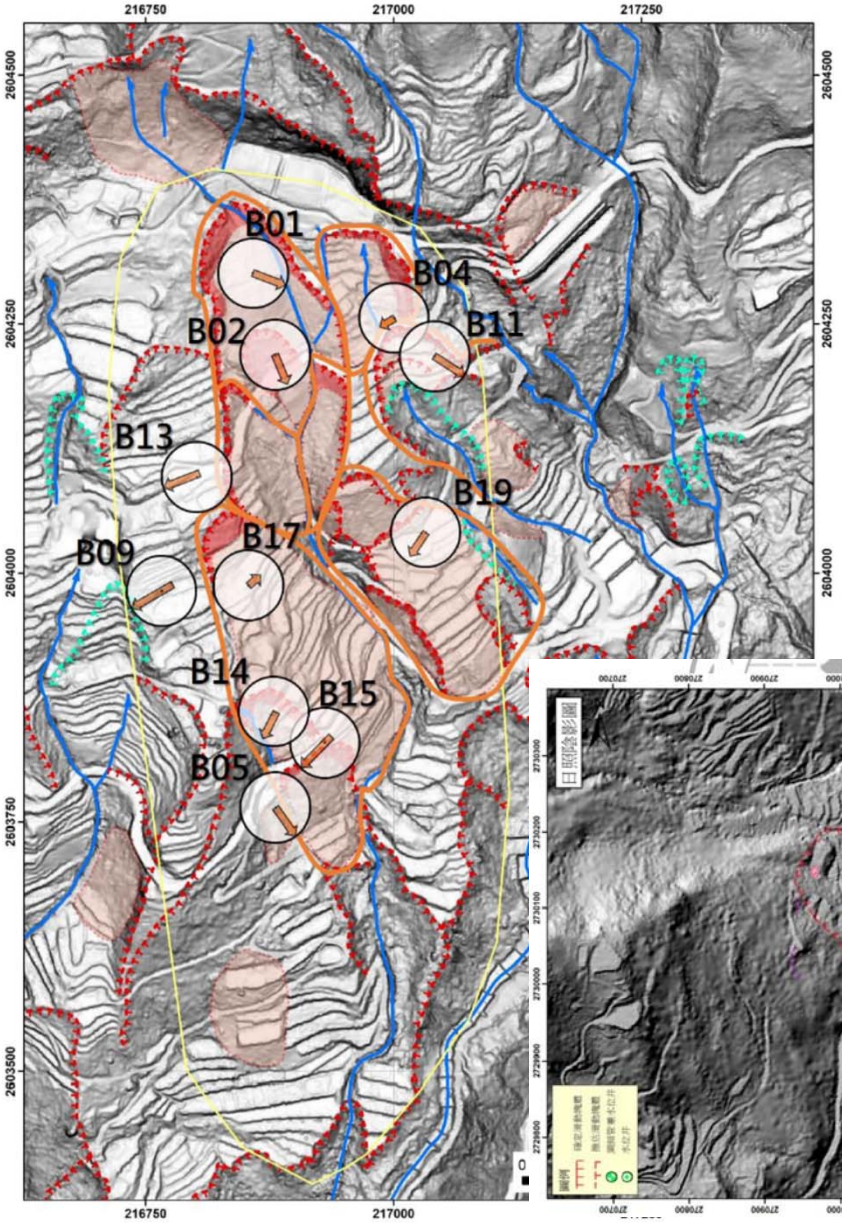




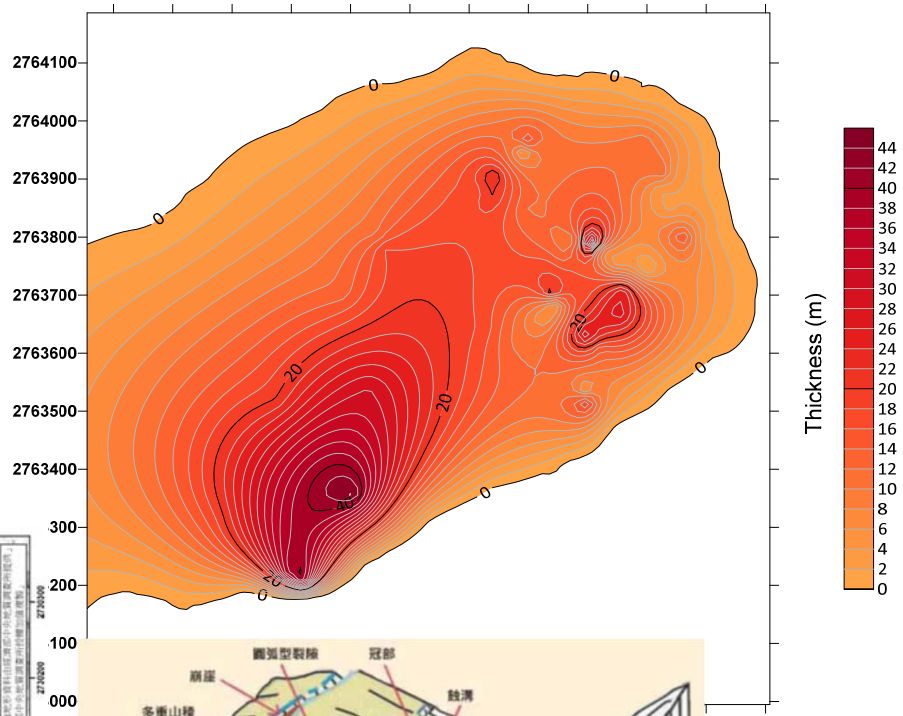


崩積層與岩盤交界面等高線

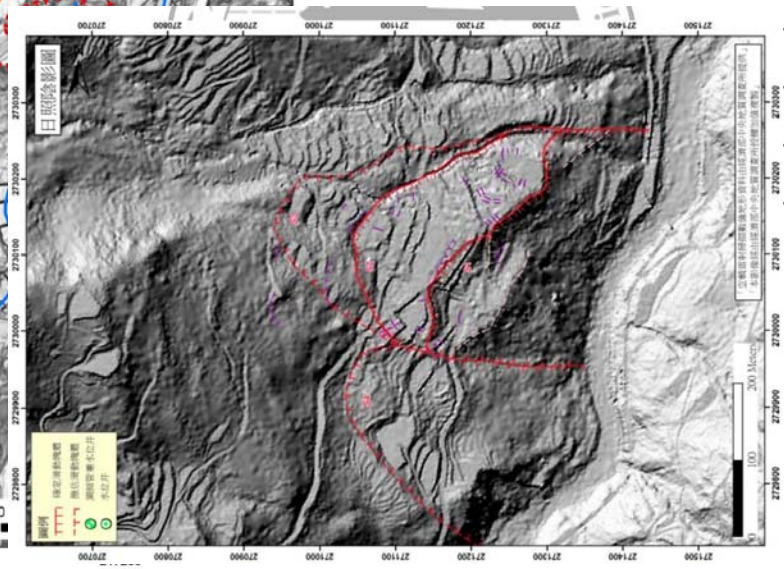
幼葉林

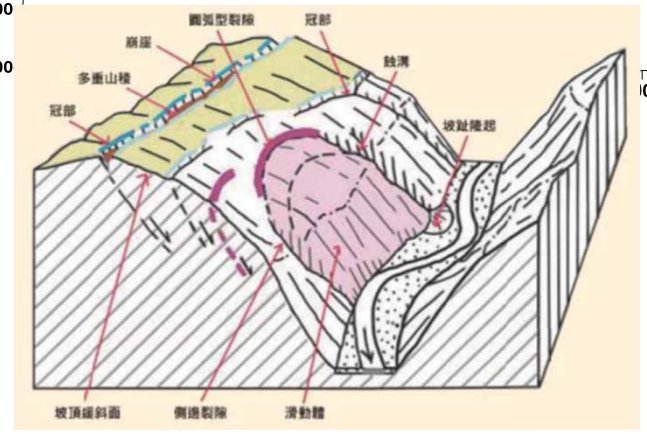

216750
217000
217250
2604500
2604250
2604000
2603750
2603500
B01
B02
B04
B11
B13
B19
B09
B17
B14
B15
B05

華梵大學


2764100
2764000
2763900
2763800
2763700
2763600
2763500
2763400
300
200
100
000
0
20
Thickness (m)
44
42
40
38
36
34
32
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0

梅花




圓弧型裂隙
冠部
崩崖
多重山稜
冠部
陡溝
坡趾隆起
坡頂緩斜面
側邊裂隙
滑動體

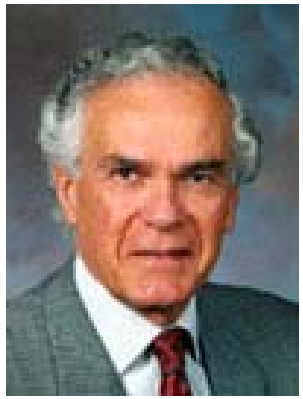
地質複雜時，與其增加鑽孔，還不如採取地質思考

要增加工址調查可靠度，最重要貢獻來自將地質圖轉譯為大地工程問題之複雜性

Morgenstern & Cruden (1977) note that:

"If a site were more complex than average one might take more samples to increase the reliability of the investigation. .... [However,] Instead of simply expanding the number of borings in order to establish reliably the characteristics of a geotechnically complex site, the geotechnical engineer must return to geological considerations. The choice of where to sample, of what to sample and of how to sample has to be guided by an understanding of the nature of the complexity that is being diagnosed. The most important contribution to increased reliability of site characterization of complex conditions comes from an extra effort associated with geological mapping with the interpretation of the nature of the geotechnical complexity."

金句四：



Norbert Rubin Morgenstern

He is known as "Mr. Earthquake" in Japan for helping to make buildings stable during earthquakes; he is known as "Mr. Landslide" in Hong Kong for offering his engineering creativity for stabilizing steep slopes; and above all he is known as a much-admired teacher.

Quarterly Journal of Engineering Geology, **30**, 293–424. 0481–2085/97 $10.00 © 1997 The Geological Society

金句五：工程師不該委託工址調查就像叫Uber Eats，打完電話就等著食物送到桌子上

The First Glossop Lecture

Geology for Engineers: the Geological Model, Prediction and Performance

P. G. Fookes

'... 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)

- He (Glossop) goes on to say, 'What you look for should be suggested by the natural environment, and by the nature of the construction problem to be solved'. Glossop firmly believed that a detailed programme of investigation could not be decided on one day and adhered to throughout its progress. He also believed that in the long run, since it was the engineer who was responsible for the solution of the construction problem, he should not expect to order a site investigation and then dismiss the matter from his mind until a report came back to his desk.

Quarterly Journal of Engineering Geology, **30**, 293–424. 0481–2085/97 $10.00 © 1997 The Geological Society

The First Glossop Lecture

接續金句五：可惜60年後，工址調查還是只考慮成本，而非成本效益。這些之故快速與便宜的解決方案，最終常常必須付出高額代價。地質思考是首要工作

Geology for Engineers: the Geological Model, Prediction and Performance

P. G. Fookes

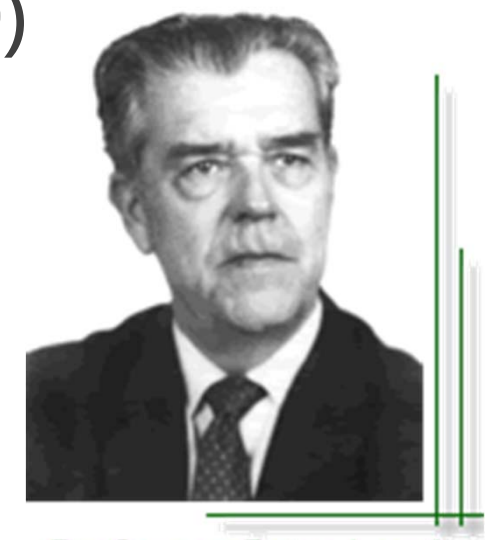
- Much has been written since his words on this subject in the 1960s. Regrettably, I believe that many site investigations are not run with such an outlook. All too frequently the cost, not even the cost effectiveness, determines that quick and cheap solutions are those most frequently paid for. Time for thinking about the geology is at a premium.

Lumb金句六(1972 quoted in Kulhawy, 2010)

不知道自己對工程地質的無知是不能被原諒的

"Ignorance of soil behaviour is always regrettable but not necessarily reprehensible, provided that ignorance is recognised and advice sought where necessary, but ignorance of being ignorant can no longer be condoned."

The same can be said for ignorance of engineering geology.



Professor Peter Lumb

Peter Lumb became a Lecturer in the Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong in 1954, and began his thirty-two years of distinguished academic career. He was promoted to Senior Lecturer in 1963, Reader in 1966 and subsequently Professor of Civil Engineering in 1976. He retired from The University in 1986.

感謝聆聽