

崩塌地裂隙岩體水 力傳導係數推估模 式建置與應用

簡報人：許世孟 博士

2025/10/31



目錄

前言

研究背景、動機與目標

研究方法

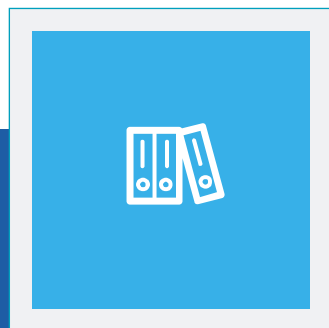
介紹研究場域、影響因子以及模式建置架構

研究成果

資料的統計、模式分析、模式應用等成果

結論

總結重要成果與未來研究建議



前言

研究背景



前言

- 臺灣位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之間，造山運動頻繁，地層受擠壓與風化等影響產生許多夾帶弱面的裂隙岩體。
- **裂隙岩體結構**會使岩體的透水性質在空間分布上有顯著的差異，**無法清楚掌握岩體的水力特性**，恐會導致實務地質問題(例如：崩塌、施工災害與工程設計)發生。



雪山隧道開挖工程
(取自國公局北工處網站)



嘉義油車寮崩塌地
(取自晟太工程顧問有限公司)



芬蘭核廢料處置場
(取自Posiva)

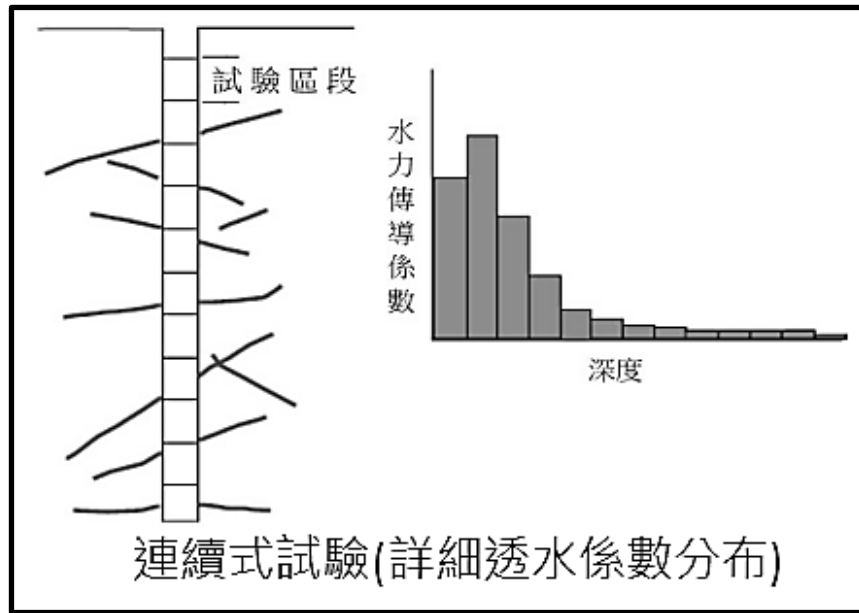
既有常見調查方法-直接調查

直接調查方法	優點		缺點
全孔水力試驗	整孔水力傳導係數	大尺度水力傳導係數	無法求得特定區段的水力傳導係數資料
雙封塞試驗	特定區段水力傳導係數	數值準確	施作成本較高
室內試驗	小尺度水力傳導係數	施作便宜	成果代表性不足

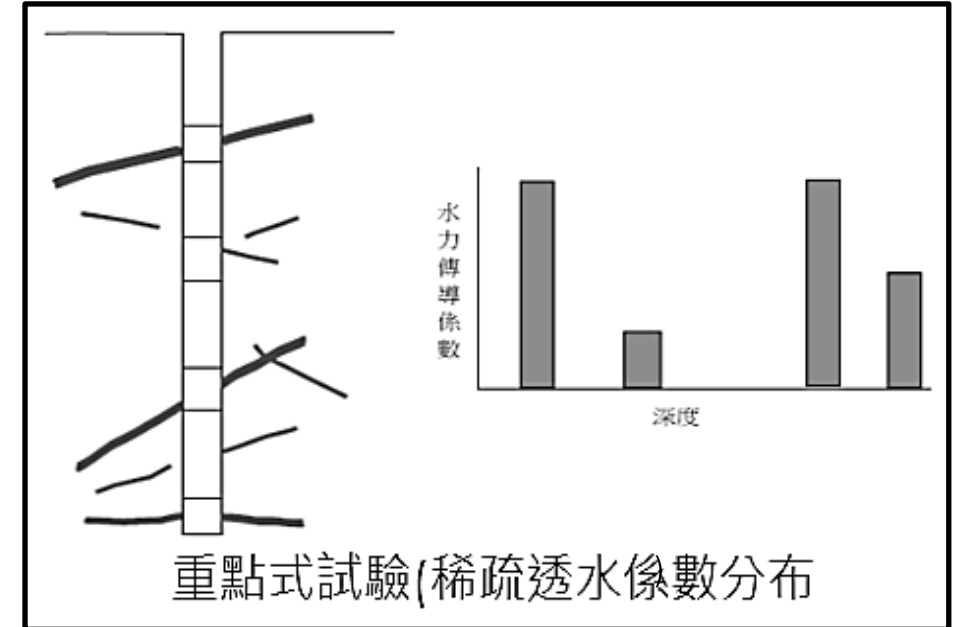
透水係數調查尺度比較



前言



VS.



優點：具備釐清垂直方向裂隙岩體含水層水力特性之複雜度

缺點：獲得垂直方向詳細與連續之水力傳導係數訊息則有解析度不足問題

因為取得詳細資料之受限，可能導致水文地質相關的科學問題沒被發現，或可能之跨域應用也因所觀察的資訊量不夠而有所限制，例如：地下水在裂隙岩體的流動循環路徑與機制、地下水資源開發深度之評估、**坡地滑動面深度辨識可行性之研究**等。

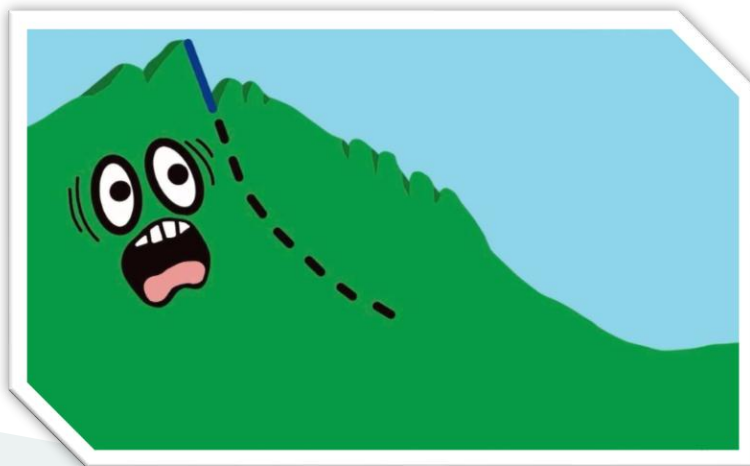
連續式透水係數應用-坡地滑動面深度辨識可行性之研究



前言

◎崩塌機制

- 在具深層崩塌潛勢區域，受降雨入滲影響，地下岩層可能已緩慢發展出一**潛在滑動面**，當下滑力超過土體剪力強度，將會造成地層滑動，引致山崩及土石流。



◎預防災害發生

- 若能在災害發生前，**掌握崩塌發生滑動面**，並推測可能的**崩塌規模**，就能及早進行適當的工程整治與災害整備的工作。



常見滑動面判釋方法比較



前言

滑動面 判釋方式

崩塌規模
推估法

岩芯檢視
(磁化率調查)

現地監測

數值分析

優點

成本便宜

提前預測可能的
滑動位置

最直接且正確

提前預測可能的
滑動位置

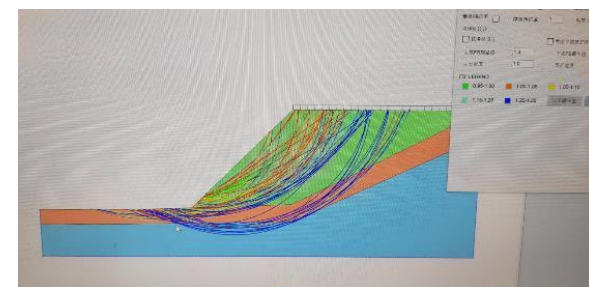
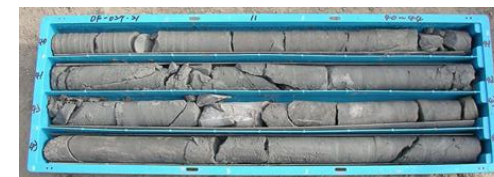
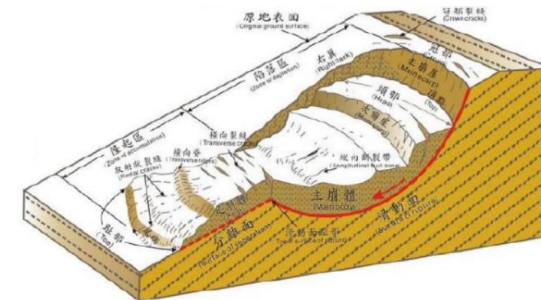
缺點

不確定大

不確定大
(尚待發展)

時效性限制
成本較高

高度依賴模式
給定的資料準
確度



連續式透水係數應用在滑動面判釋之學理分析



前言

透水係數扮演的角色

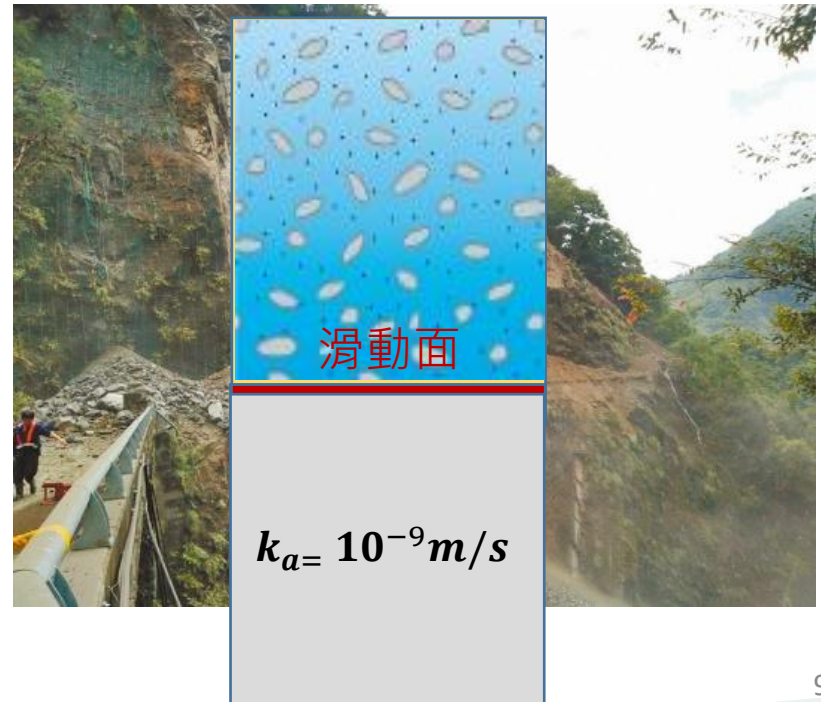
透水係數可以決定**地下水流的分布**，影響**孔隙水壓**的變化，加上崩塌潛勢山坡產生滑動，會比一般未受擾動之岩層，更容易**產生異質性變化**，並**隨空間位置而變動劇烈**。



滑動界面形成示意圖

滑動介面上下層透水係數的差異

滑動面上下層 透水係數變化	文獻
滑動面上下k值相差3個數量級	Perrone et al.(2008)
滑動面上下k值相差1~2個數量級	Vassallo et al. (2014)
滑動面上下k值相差3個數量級	Zhang et al. (2018)
滑動面上下k值相差2~3個數量級	Rosa et al.(2019)
滑動面上下k值相差2個數量級	C. Di Maio et al.(2021)



研究的範疇與流程



前言

第一階段

蒐集既有鑽孔資料
建立推估模式



推估崩塌地岩體之
透水係數



產製鑽孔每米
透水係數分布圖

第二階段

判釋透水係數變化
較大的界面深度

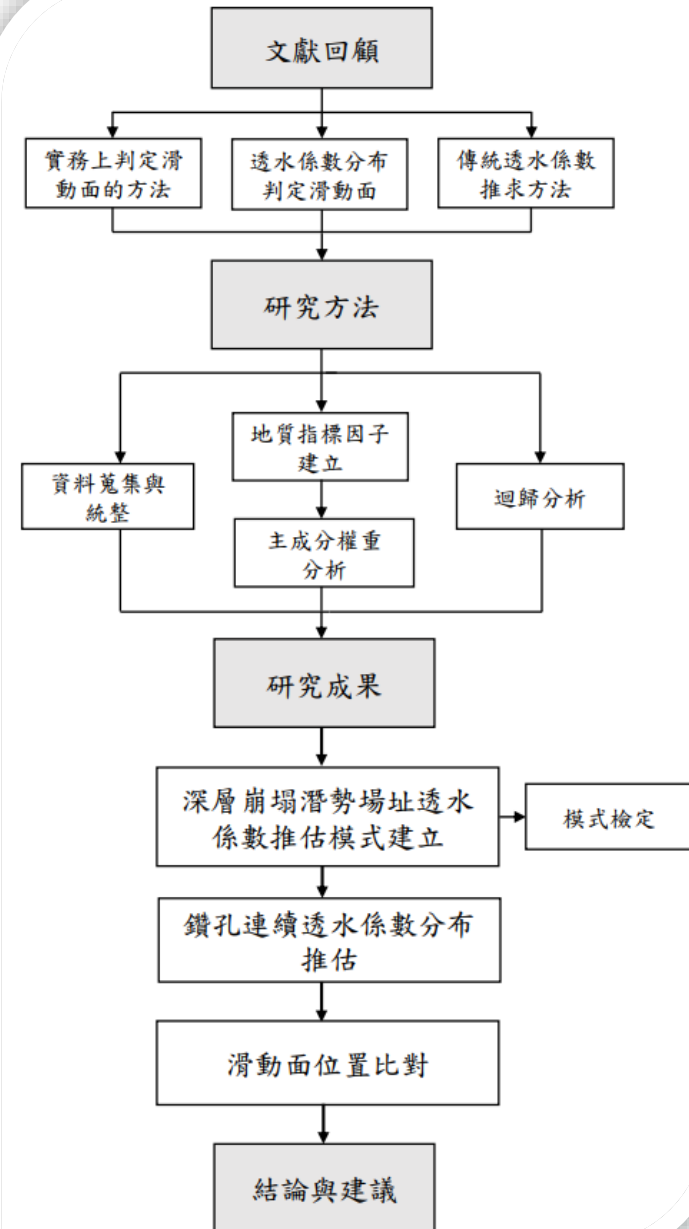


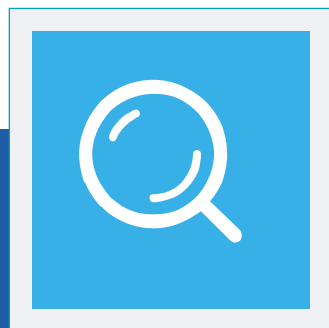
比對傾斜管資料



確認模式判釋
滑動面可行性

研究目標：以**有效率**且**低成本**方式辨識深層崩塌地潛在滑動生成位置，**及早**進行適當的工程整治與災害整備的工作。





介紹研究場域、影響因子以及模式建置架構

研究資料描述-集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫

前言

研究方法

依**24處重點崩塌地**主要蒐集以下資料:

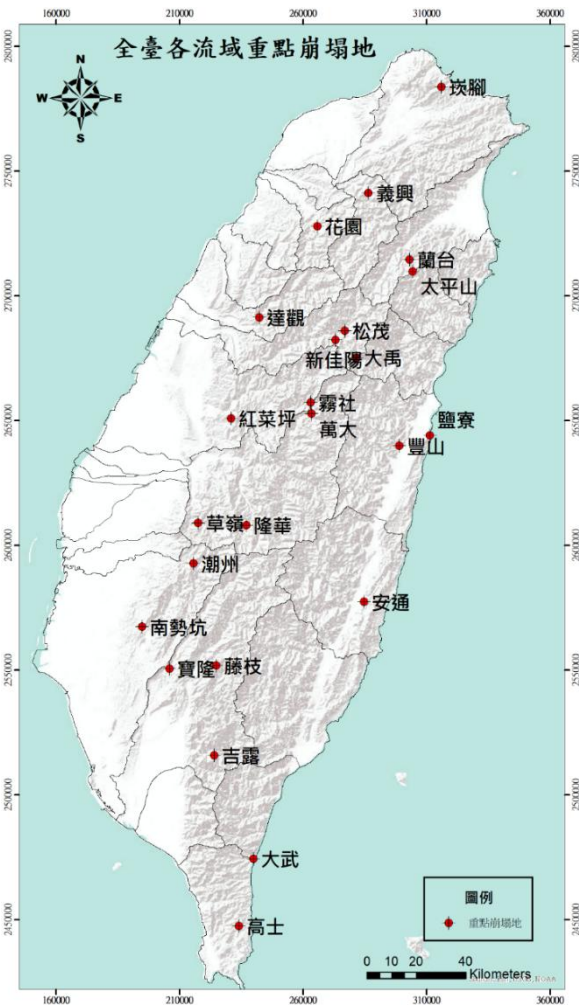
鑽孔數: 共**24**孔，依地質環境不同每孔介於50-120m

水力試驗資料: **169**組雙封塞區段，試驗區段長度為1.5-2.6m

傾斜管地中變位資料: 共**24**孔，監測深度同鑽孔深度，其中10孔因傾斜管監測時間較短無明顯變位資料

區域岩性表:

岩性	名稱	資料筆數
沉積岩 (87筆)	砂岩	18
	石英砂岩	3
	頁岩	15
	砂頁互層	8
	砂質頁岩	23
	粉砂岩	5
	泥質粉砂岩	6
	泥質砂泥岩	3
	泥岩	6
	片岩	6
變質岩 (82筆)	硬頁岩	17
	板岩	59



推估模式地質指標因子建立

前言

研究方法

岩石品質指標 (RQD)

- 每一個選定岩心區段中，長度超過10 cm完整岩心部分之總長度 (R_S) 對選定岩心長度 (R_T) 之比值
- $RQD(\%) = \frac{R_S}{R_T} \times 100\%$
- 當岩石品質越好，裂隙比率越低，使裂隙岩體的透水能力下降。

岩體破裂密度 (FF)

- 針對不含剪裂泥的不連續面，計算試驗區段內不連續面之數量，將其加總後除以10，以此計算試驗區段間每15cm的平均裂隙數量(Hsu, 2021)，作為裂隙破裂密度的分數。

地層深度指標 (DI)

- $DI = 1 - \frac{L_C}{L_T} \times w$
- DI值越小代表深度越深，裂隙岩體透水能力越低。

L_C 為雙封塞試驗區段中點深度； L_T 為鑽井之總深度； w 為地層深度權重值，權重值由分析資料而定

岩體裂隙寬 (FW)

- 針對不含剪裂泥的不連續面，計算試驗區段內不連續面的總寬度 (cm)，作為裂隙寬的分數。

推估模式地質指標因子建立

剪裂泥含量指標 (GCD)

- 每一個選定岩心區段內，剪裂泥存在之總長度對完整區段比值
- $$GCD = \frac{R_G}{R_T - R_S}$$
- GCD值越大將使試驗區段岩體透水能力下降。**

岩性滲透率指標 (LPI)

- 岩體的透水性質會受岩石材料特性影響。
- Hsu et al.(2020) 制定了不同岩性透水係數可能岩性滲透率指標範圍，**分數越高表示岩體透水能力越高。**
- 本研究另針對崩塌場址**風化板岩、風化片岩、風化硬頁岩**建立評分值。

Lithology	Hydraulic conductivity k (m/s)				Range Of rating	Suggested Rating
	Reference ¹	Reference ²	Reference ³	k _{average}		
Sandstone	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁹	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁹	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁹	10 ^{-7.5}	0.9~1.0	0.92~1.0
Silty Sandstone					0.8~0.9	0.9
Argillaceous Sandstone					0.8~0.9	0.85
S.S. interbedded with some Sh.					0.7~0.8	0.75
Alternations of S.S. & Sh.					0.6~0.7	0.65
Sh. interbedded with some S.S.					0.5~0.7	0.6
Alternations of S.S. & Mudstone					0.5~0.6	0.55
Dolomite	10 ⁻⁶ ~10 ^{-10.5}	10 ⁻⁷ ~10 ^{-10.5}	10 ⁻⁹ ~10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸	0.6~0.8	0.7
Limestone	10 ⁻⁶ ~10 ^{-10.5}	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ ~10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸	0.6~0.8	0.7
Shale	10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹³		10 ^{-10.5}	0.4~0.6	0.5
Sandy Shale					0.5~0.6	0.6
Siltstone	10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹²			10 ⁻¹¹	0.2~0.4	0.4
Sandy Siltstone					0.3~0.5	0.45
Argillaceous Siltstone					0.3~0.4	0.35
Claystone		10 ⁻⁹ ~10 ⁻¹³		10 ⁻¹¹	0.2~0.3	0.2
Mudstone					0.2~0.4	0.3
Sandy Mudstone					0.3~0.4	0.4
Silty Mudstone					0.2~0.4	0.35
Granite			10 ⁻¹¹ ~10 ⁻¹²	10 ^{-11.5}	0.1~0.2	0.15
Basalt	10 ⁻⁶ ~10 ^{-10.5}	10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹³		10 ^{-11.5}	0.1~0.2	0.15
Schists						0.25
Slates						0.35
Quartzite						0.3~1.0
Argillite					0.4~0.5	0.4
Weathered Argillite					0.45~0.5	0.5
Weathered Slates					0.35~0.6	0.5
Weathered Schists					0.5~0.75	0.6

模式建立步驟(1)

指標因子共線性檢測

檢驗因子間是否具有共線性問題，防止迴歸模式中存在著**重複的自變數**，提高某一自變數的解釋能力與預測能力，造成迴歸模式**預估值不準確**的問題。

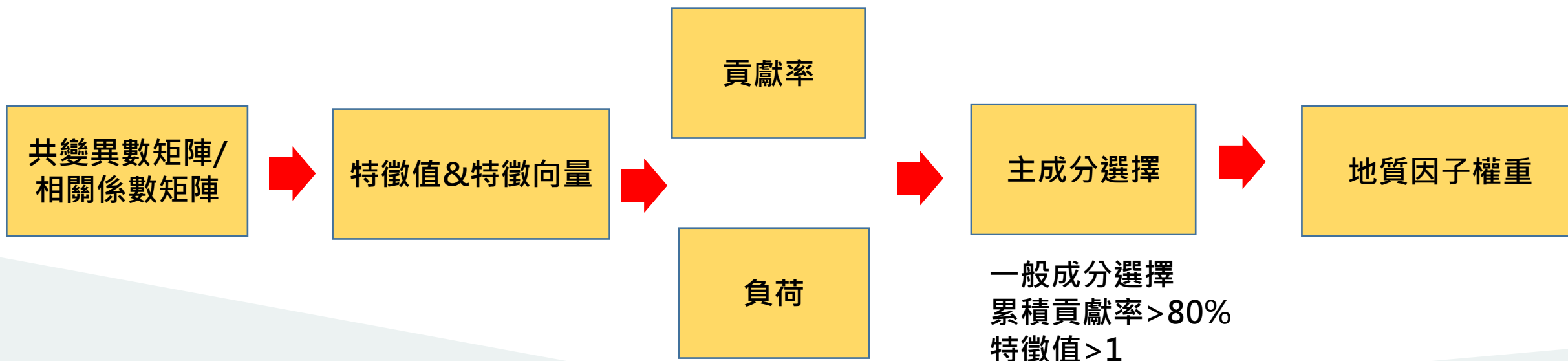
採用**方差膨脹因子(VIF)**或是條件指標(**CI**) 進行共線性判斷

- VIF的判斷方式為:當VIF大於10時表示具強烈共線性問題。
- CI的判斷方式為:當CI大於30時表示具有共線性問題，大於100時表示具強烈共線性問題。

模式建立步驟(2)

主成分權重分析

- 地質指標因子可能對於裂隙岩體透水特性的影響可能不盡相同，給予指標因子**適當的權重**，再進行因子的組合，可能可以**獲致與透水特性較佳**的相關性。



模式建立步驟(3)

崩塌地岩體透水能力潛勢指標值建立(HCPI)

岩石品質指標(RQD)
大地應力指標(DI)
剪裂泥厚度指標(GCD)
崩塌地岩體透水率指標(LPI)
裂隙寬度(FW)
破裂密度(FF)

線性疊加

+

各因子權重值



HCPI

HCPI

$$= \left(1 - \frac{RQD}{100} * w_1\right) + (DI * w_2) + (1 - GCD * w_3) + (LPI * w_4) + (FF * w_5) + (FW * w_6)$$



模式建立步驟(4)

迴歸分析

岩體透水能力潛勢指標
(HCPI)

雙封塞試驗
測得透水係數(k)



進行迴歸分析



建立岩體透水性質
推估模式

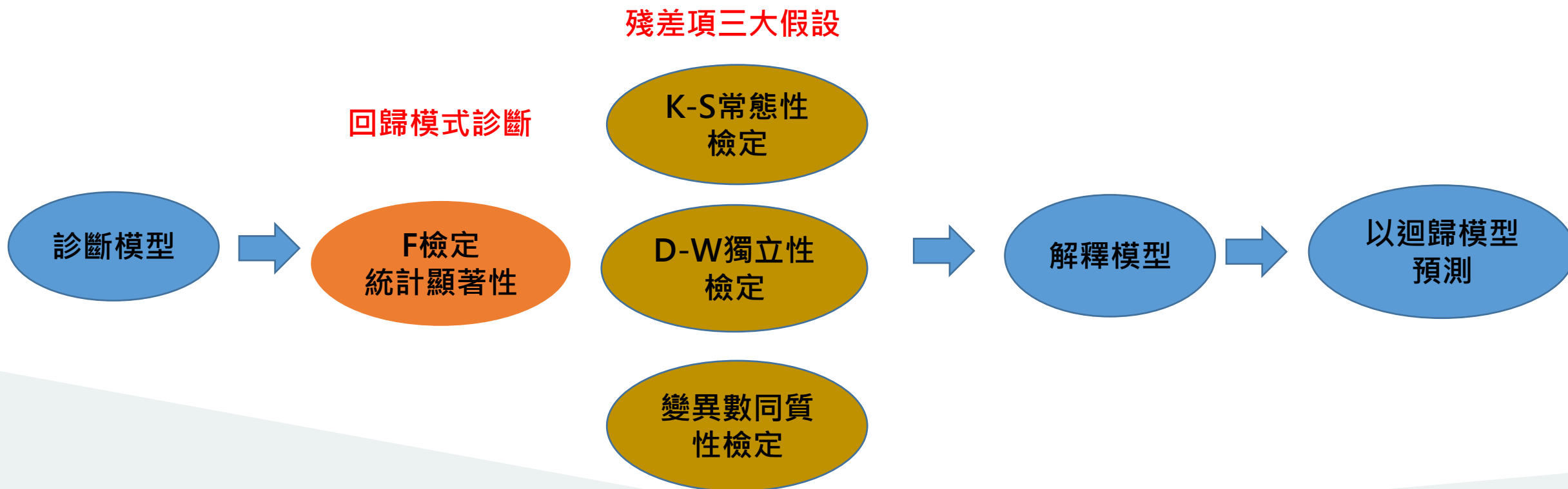
選取判定係數最佳數學模式
(線性、對數、指數、幕次等)

$$K = \text{Fun}(\text{HCPI})$$

模式建立步驟(5)

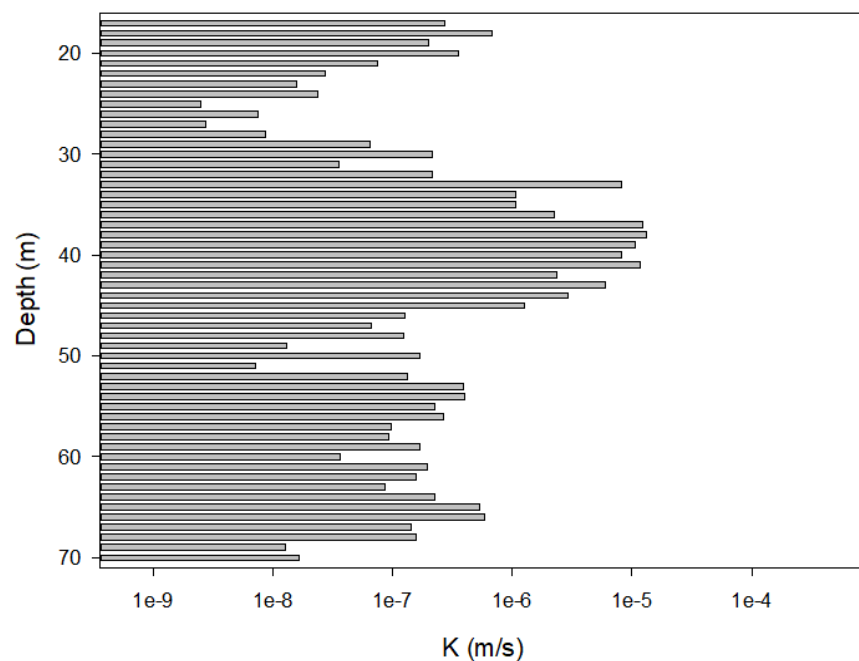
模式檢定

- 當迴歸模式完成建置後，為**確保模式的可靠度**，會透過以下統計方法進行驗證



岩體透水性質推估模式驗證

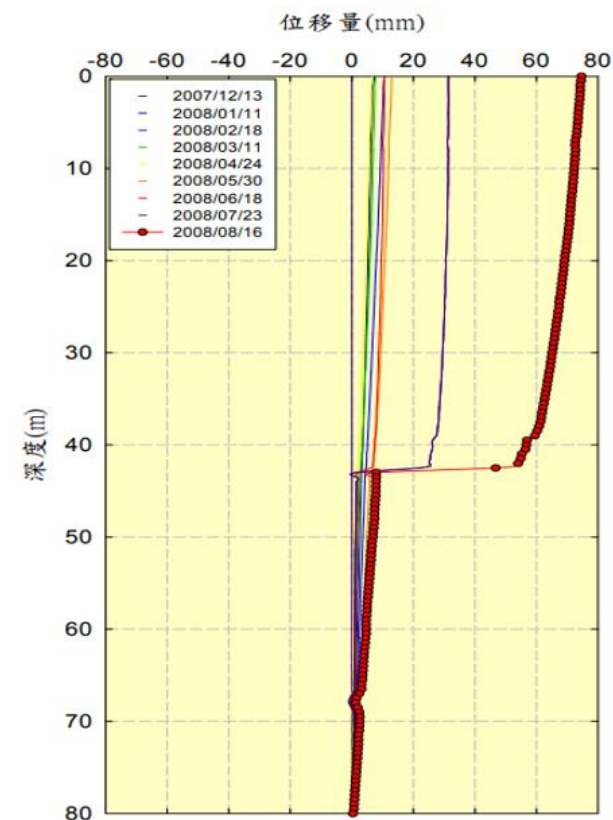
模式產製鑽孔每米透水係數
分布圖



分析透水係數差異較大
之界面位置

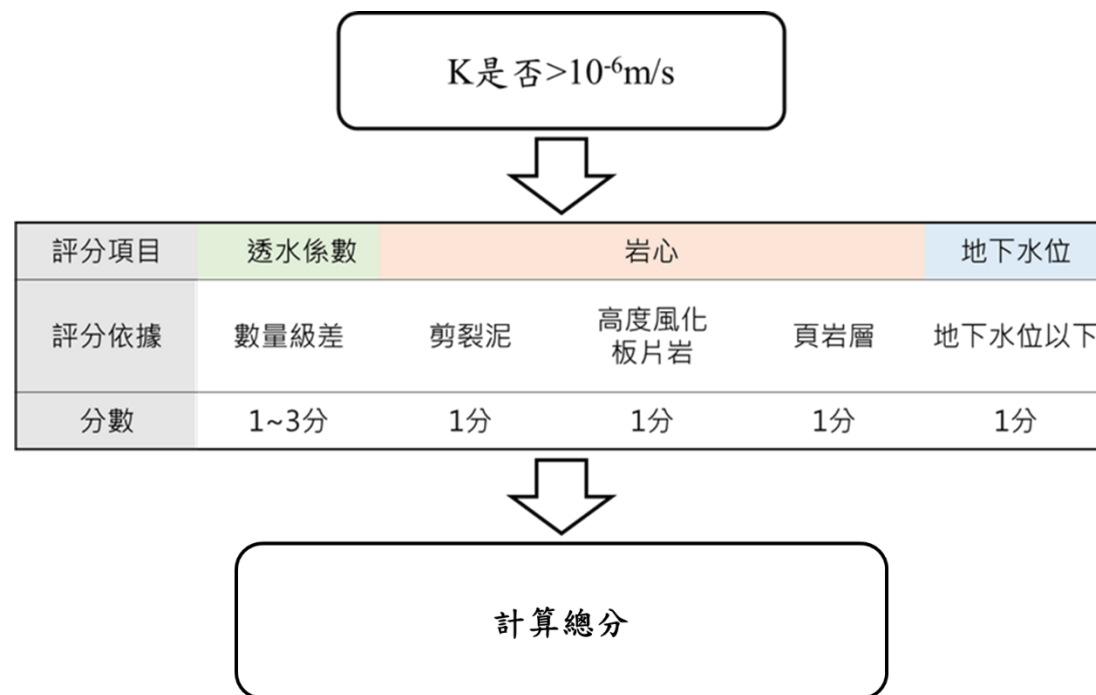
與傾斜管變位資料
進行比對分析

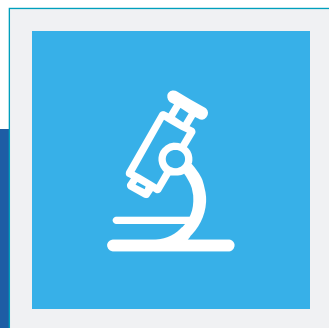
確認推估滑動面與
傾斜管變位一致性



建置潛在滑動區段評定方法

- 結合鑽探岩芯資料、地下水位常時與暴雨時之資料、地下水位與滑動面位置關係資料等訊息，建立潛在滑動深度發生位置之評定方法。
- 檢核該評定方法套用在已知滑動深度之場址上，確認是否也可正確找出滑動面位置。
- 將建立之評定方法套用在傾斜管尚無明顯滑動紀錄之崩塌地上，以此提出各崩塌地潛在滑動面之位置。
- 滑動面位置之預測成果可協助防災決策單位進行坡地潛在滑動面的推估工作上、並提供實務上快速推估潛在滑動面一項新的參考技術。





資料的統計、模式分析、模式應用等成果

全臺重點崩塌地基本資料蒐集成果

Inclinometer Borehole Number	Landslide Site Name **	Main Lithology	Borehole Depth (m)	Regolith Thickness (m)	Normal Groundwater Level (m)
QH-13	Dawu	Argillite	60	7	18
QH-01	Antong	Argillaceous Siltstone	80	5	50
QH-22	Gaoshi	Sandy Shale	70	15	6.5
NH-15	Fengshan	Schists	55	1	30
NH-01	Dayuling	Slates	65	2	30
NH-21	Yanliao	Alternations of Sandstone and Mudstone	70	2	6.5
JH-27	Daguan	Argillaceous Siltstone	65	33	20
KH-01	Chaozhouhu	Alternations of Sandstone and Shale	70	20	10
KH-11	Nanshikeng	Mudstone	65	5	15
IH-23	Taipingshan	Slates	80	14	34
HH-03	Kanjiao	Sandstone interbedded with some shale	70	8	8 *
IH-13	Lantai	Argillite	80	16	10
FH-13	Tengzhi	Slates	80	12	54.4
FH-21	Jilou	Slates	70	16	41
FH-05	Baolong	Shale interbedded with some sandstone	70	12	20
EH-06	Wushe	Slates	80	10	51 *
EH-05	Hongcaiping	Shale	80	13	28.5 *
DH-05	Huayuan	Sandstone	80	19	46 *
CH-04	Caoling	Sandy Shale	80	3	50 *
CH-09	Wanda	Slates	80	15	45 *
AH-01	Yixing	Sandstone	60	4	45 *
BH-09	Xinjiayang	Slates	80	17	56 *
CH-03	Longhua	Sandy Shale	80	15	60 *
BH-03	Songmao	Slates	80	12	43 *

* Groundwater levels were estimated from data collected at nearby groundwater monitoring stations. ** The order of the landslide sites is presented based on the investigation timeline, from the most recent to the oldest.

地下水位與
邊坡穩定度
有一定
程度之關係



全岩性與分岩性之指標因子敘述統計成果

因子		RQD	DI	GCD	LPI	FF	FD
全岩性	數量	169	169	169	169	169	169
	平均值	0.4785	0.3623	0.0882	0.5078	0.5710	1.1104
	標準差	0.3001	0.2257	0.1462	0.1756	0.2746	0.7415
沉積岩	數量	87	87	87	87	87	87
	平均值	0.6555	0.4702	0.0884	0.5949	0.4437	0.9546
	標準差	0.2381	0.2425	0.1543	0.1797	0.2316	0.7726
變質岩	數量	82	82	82	82	82	82
	平均值	0.2908	0.3494	0.0880	0.4153	0.7061	1.2756
	標準差	0.2394	0.2187	0.1380	0.1132	0.2521	0.6730



因子共線性分析成果

變異數膨脹因素 (VIF)：VIF大於10時表示有強共線性問題

條件指標 (CI)：CI大於30時表示可能有共線性問題，大於100時表示有強烈共線性問題

多元共線性指標(應變數：k)

自變項	容忍值	VIF	特徵值	CI
1-RQD	0.174	4.136	6.375	1.000
DI	0.034	1.104	.363	4.189
1-GCD	0.123	1.351	.143	6.668
LPI	0.186	1.514	.045	11.924
FW	0.275	3.103	.041	12.427
FF	0.209	3.514	.027	15.326

VIF<10

因子皆不具共線性

CI<30



因子主成分權重分析成果

地質指標	權重值
1-RQD	0.174
DI	0.034
1-GCD	0.123
LPI	0.186
FW	0.275
FF	0.209

- **FW與FF**權重值有較高的占比，顯示在崩塌地這兩因子影響最為重要
- DI權重值較低外，其餘因子則較為平均。

模式分析成果

HCPI

$$= 0.174 \times (1 - \text{RQD}) + 0.034 \times \text{DI} + 0.123 \times (1 - \text{GCD}) \\ + 0.186 \times \text{LPI} + 0.275 \times \text{FD} + 0.209 \times \text{FF}$$

$$R^2 = 0.8953$$

模式檢定

D-W 統計量	常態檢定	變異數 同質性	迴歸分析 (F)	迴歸分析 (P)
1.501	0.0910	0.5824	1419.102	<0.0001

崩塌地岩體透水能力潛勢指標值

- HCPI與透水係數k以**冪次公式**為最佳
- 判定係數 R^2 達**0.89**，預測能力良好

模式檢定成果:

迴歸分析F值與P值達顯著性，表示模式**具有預測性**

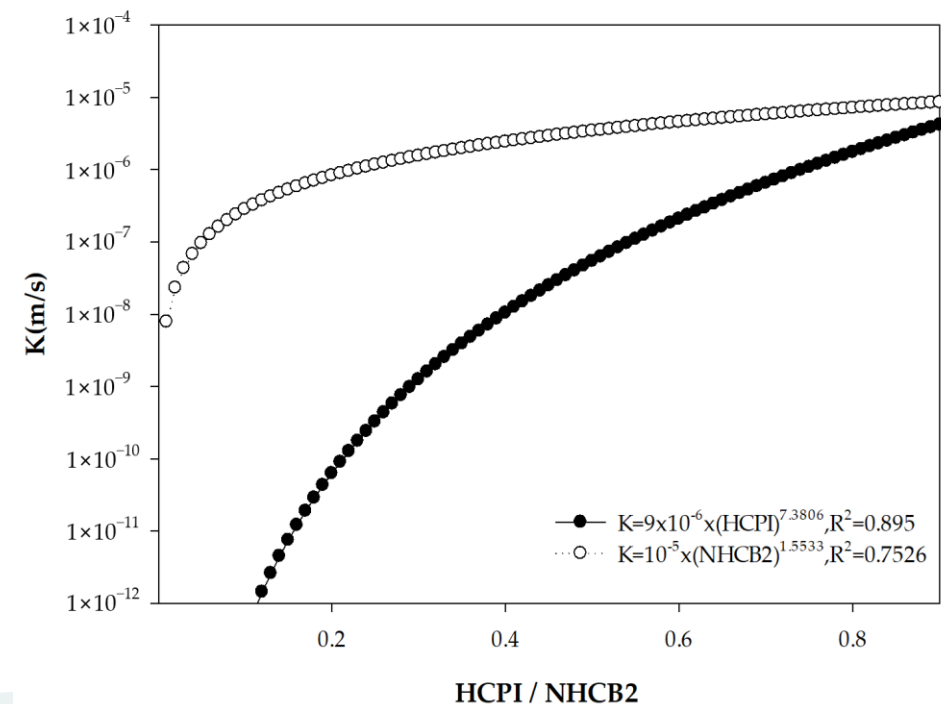
模式在驗證誤差項皆滿足三個假設

- D-W統計量在1.5至 2.5之間 表示殘差項**無自我相關**
- 常態檢定大於0.05表示通過**資料為常態分佈**
- Spearman等級相關係數法之顯著性達0.5824，高於0.05，故通過變異數同質性檢定

推估模式比較(HCPI VS. NHCB2)

- 兩種不同整合指標因子與透水係數K之推估曲線之趨勢存在差異，且K較小時差異更為明顯。
- 由Hsu等人(2020)建立之NHCB2模式所估之透水係數K值較大，此結果暗示全臺重點山區流域之地質環境整體透水係數相對較大；而透過HCPI模式推估的透水係數值整體較小，其亦**隱含崩塌地之地質受到高度擾動、整體地質環境隱含較多剪裂泥導致透水係數呈現出較小的趨勢**。

資料調查範圍	主要岩性	整合指標	地質指標因子	模式	R ²
全臺 24 處 重點崩塌地	砂岩、泥岩、頁岩、板岩、片岩、硬頁岩、粉砂岩等	HCPI	(1-RQD), DI _w , (1-GCD), LPI, FF, FD	$K = 9 \times 10^{-6} \times HCPI^{7.3806}$	0.895
全臺山區重點流域	砂岩、泥岩、頁岩、板岩、片岩、硬頁岩、粉砂岩、安山岩等	NHCB2	RQD, DI _w , GCD, LPI, FF, FW	$K = 10^{-5} \times NHCB2^{1.5533}$	0.7526



模式驗證-隨深度k分布圖產製訂定判定滑動面規則

A. 以 $10^{-6} m/s$ 為界線區分岩體透水性質:

透水係數大於 $10^{-6} m/s$ 代表裂隙連通性佳

透水係數小於 $10^{-6} m/s$ 則代表透水能力不佳

B. 潛在滑動面上下層數量級變化

滑動面**上方**相同岩性平均透水係數 k_a 需**大於** $10^{-6} m/s$

滑動面**下方**相同岩性平均透水係數 k_a 需**小於** $10^{-6} m/s$

滑動面**上下**數量級需**相差1~3個**，才有可能為潛在滑動面

含水層分類	地下水資源產能等級與簡稱	導水係數 (m ² /min)	透水係數 (m/s)	井出水量 (L/min)	比出水量 (cmh/m)
Class 1	高(H): 區域性供水, 抽水量可提供城鎮與灌溉所需。	>0.05	>4E-5	>600	>3.6
Class 2	中等(M): 地方性供水, 抽水量可提供小社區與地方灌溉所需。	3E-3-0.05	2E-6-4E-5	60-600	0.4-3.6
Class 3	低, 部分地區較佳(L): 局部地方性供水, 抽水量只可提供個人所需。	3E-5-3E-3	2E-8-2E-6	0.6-60	4E-3-0.4
Class 4	微量(P): 地下水資源缺乏。	<3E-5	<2E-8	<0.6	<4E-3

滑動面上下層 透水係數變化

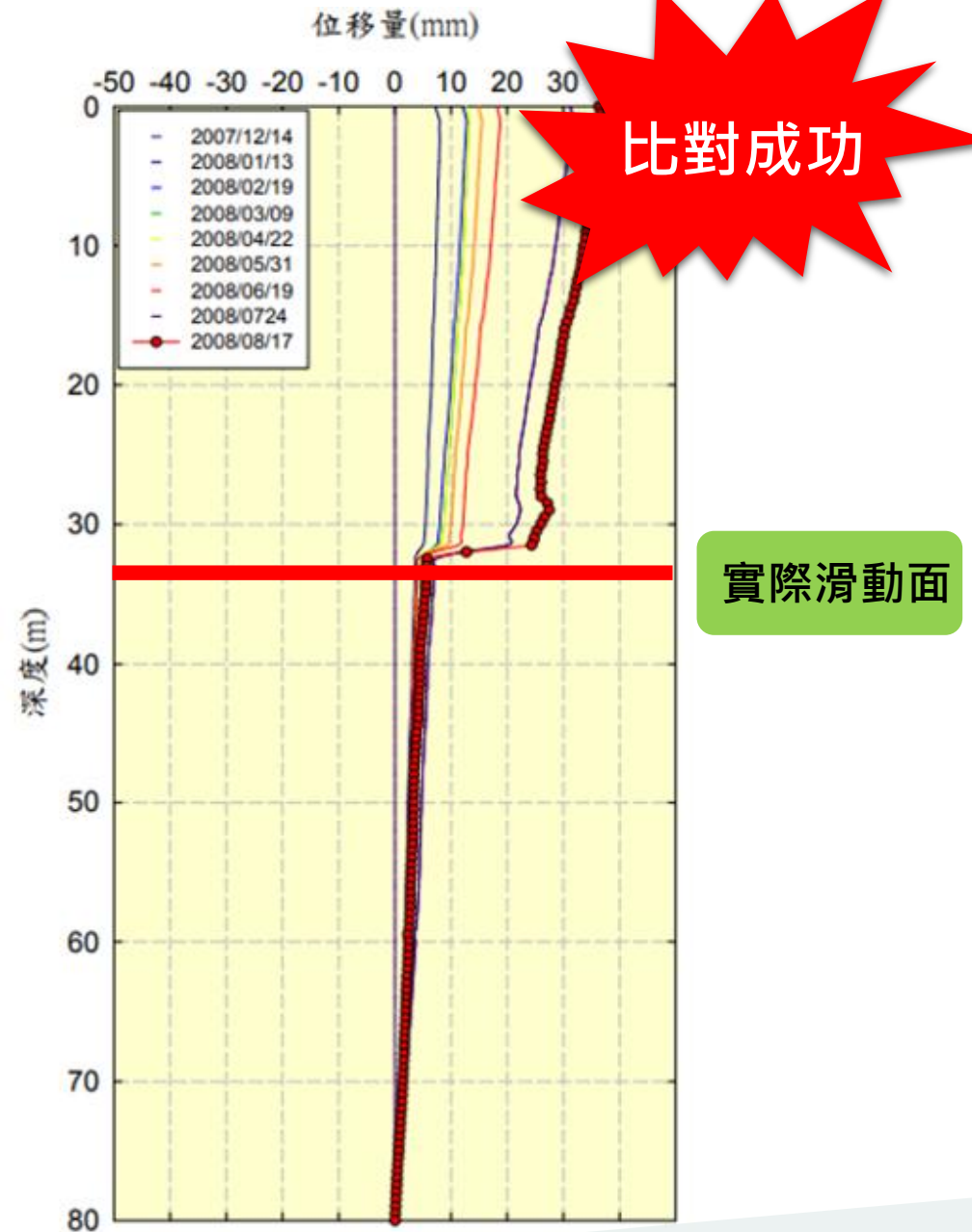
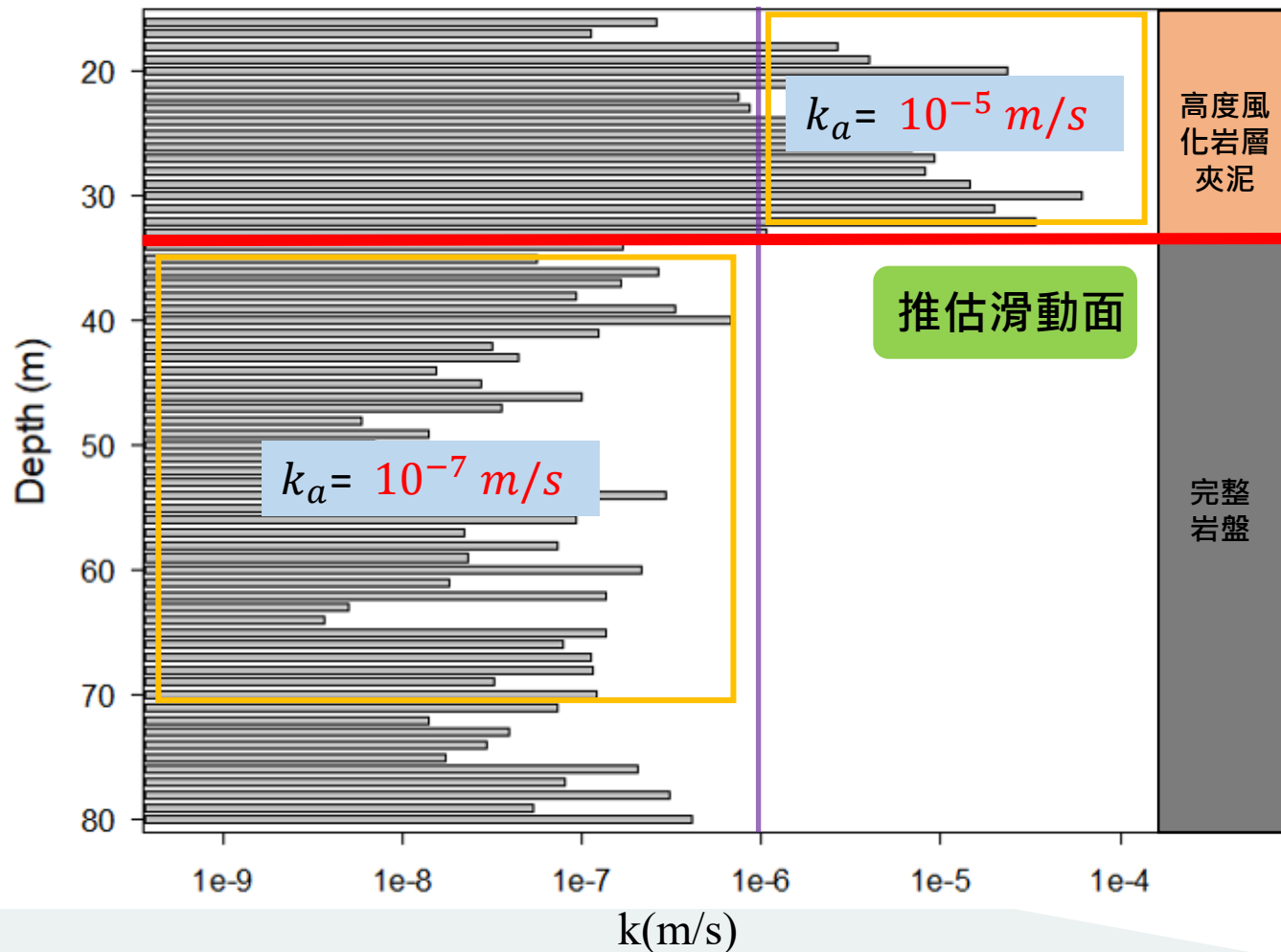
文獻

滑動面上下k值相差3個數量級	Perrone et al.(2008)
滑動面上下k值相差1~2個數量級	Vassallo et al. (2014)
滑動面上下k值相差3個數量級	Zhang et al. (2018)
滑動面上下k值相差2~3個數量級	Rosa et al.(2019)
滑動面上下k值相差2個數量級	C. Di Maio et al.(2021)

參考Struckmeire&Margat(1995)地下水資源產能等級分類表

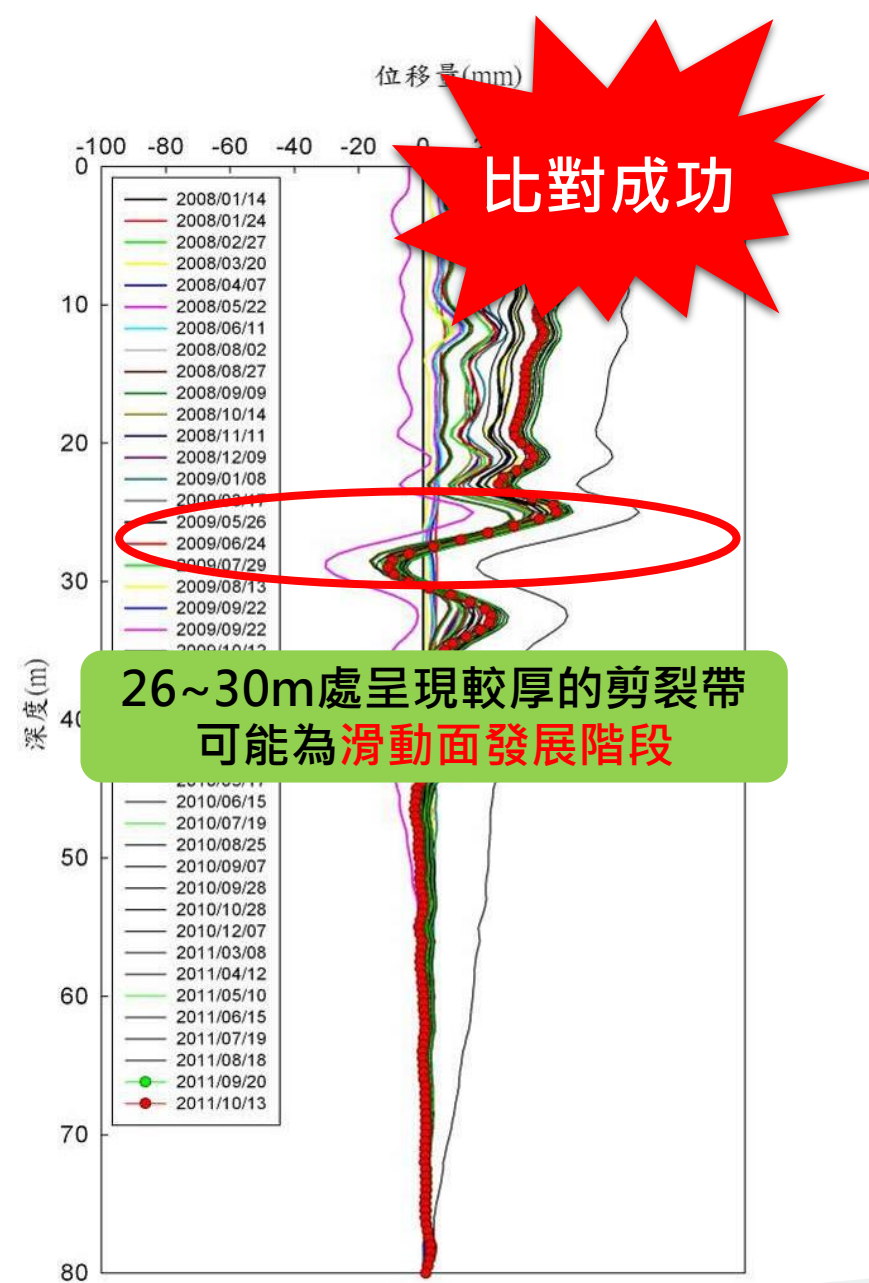
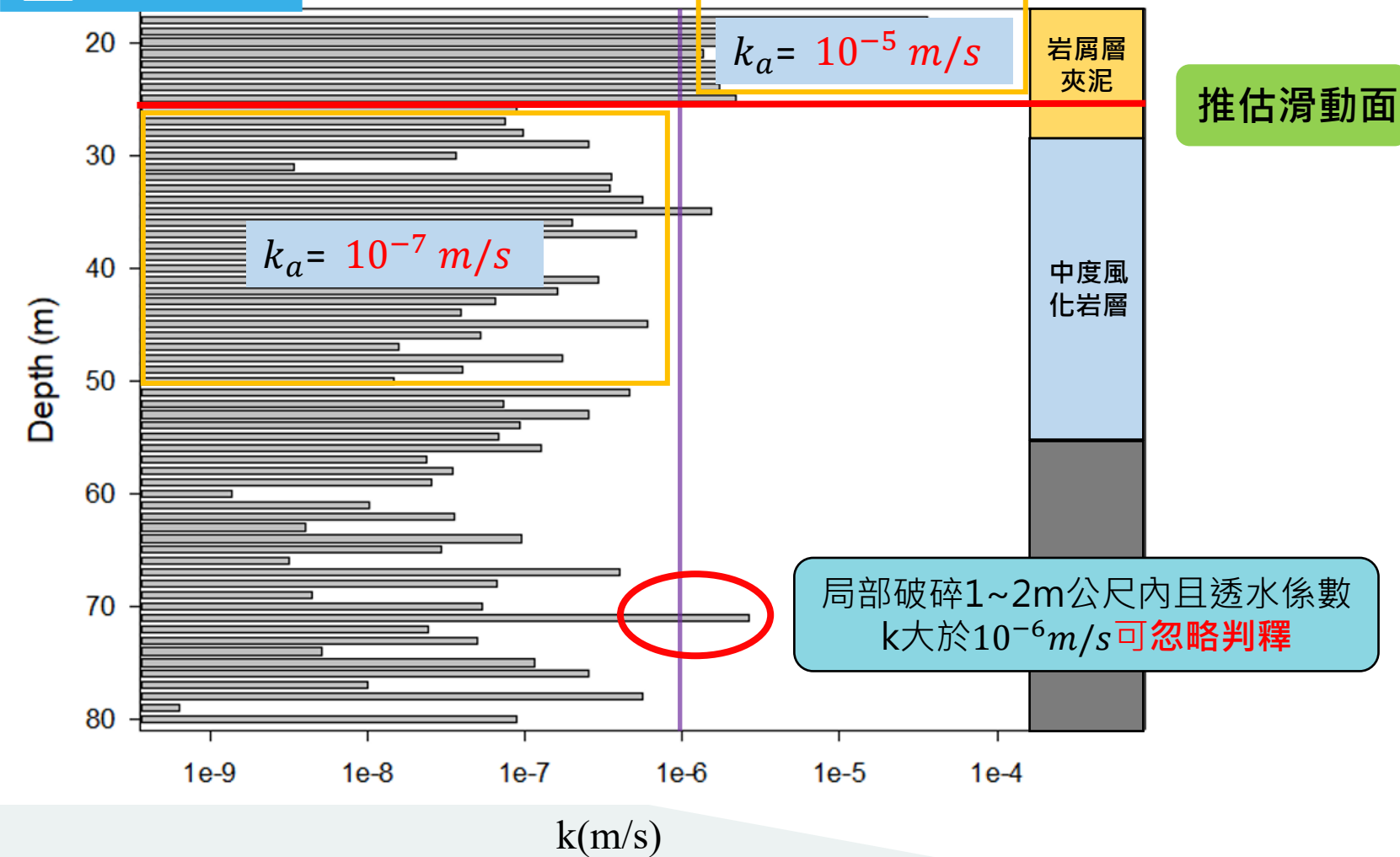
模式與傾斜管比對成果 (樣態1/3)

預測每米k值分布圖(萬大崩塌地 CH-09)



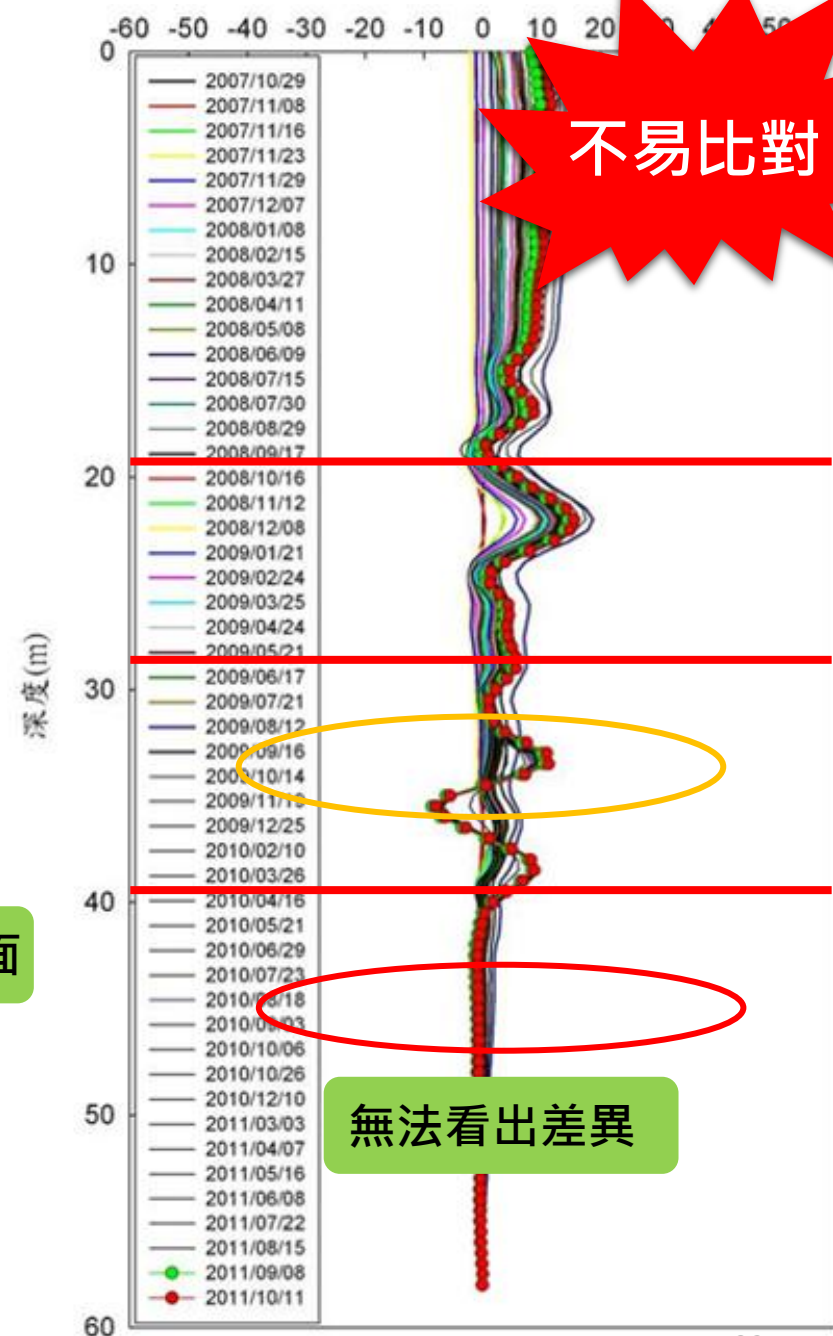
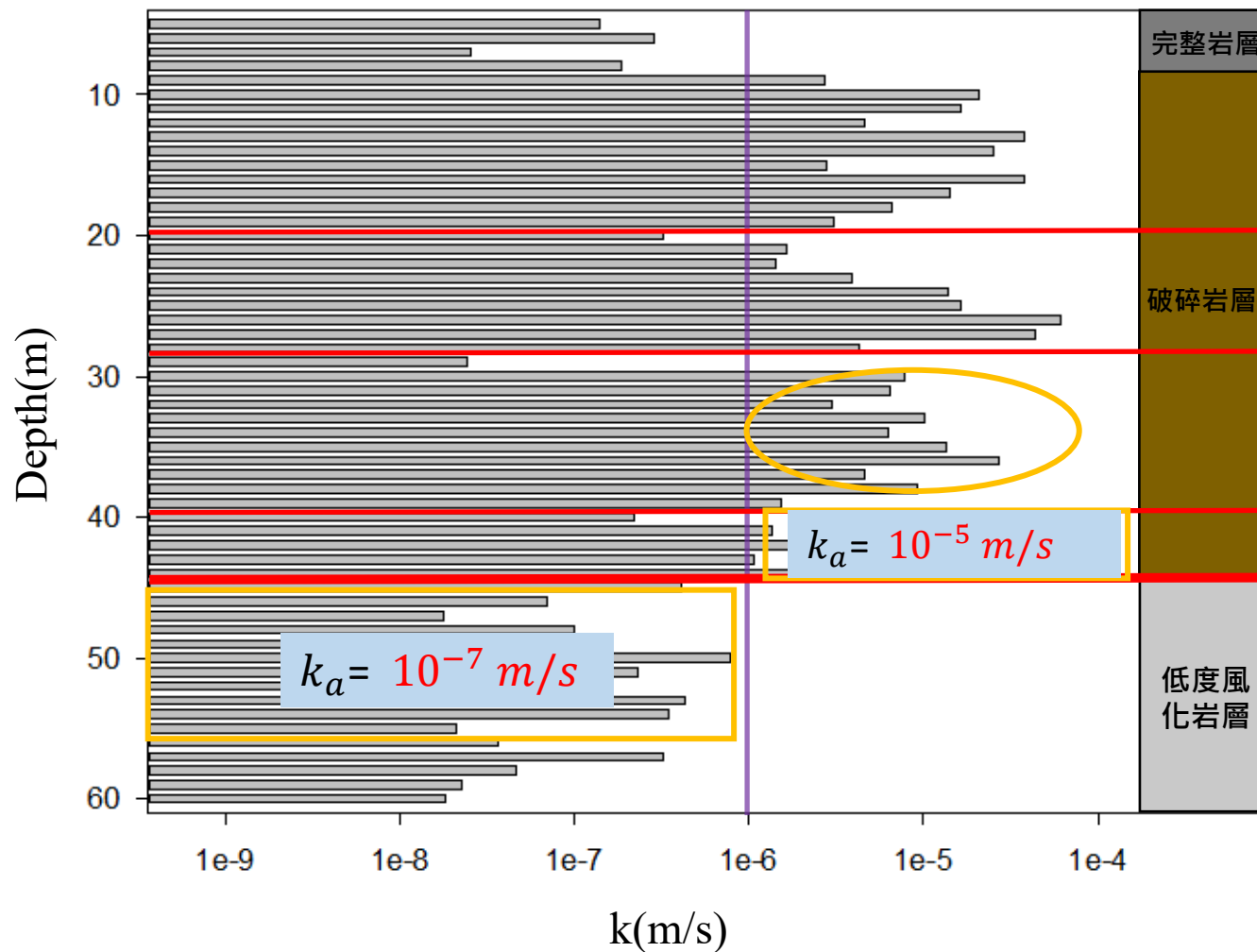
模式與傾斜管比對成果 (樣態2/3)

預測每米k值分布圖(新佳陽崩塌地 BH-09)



模式與傾斜管比對成果 (樣態3/3)

預測每米k值分布圖(義興崩塌地 AH-01)





崩塌地模式推估滑動面比對彙整成果

崩塌地	主要岩性	滑動介面 數量級變化	滑動面岩性特徵	模式與傾斜管比對結果
草嶺	砂質頁岩	3個數量級	崩積破碎砂質頁岩與堅硬岩盤交界	相近
松茂	板岩	2個數量級	崩積板岩與低風化板岩交界	相近
霧社	板岩	2個數量級	破碎岩層夾剪裂泥且劈理發達	相近
新佳陽	板岩	2個數量級	板岩岩屑夾剪裂泥	相近
隆華	砂質頁岩	2個數量級	中度風化岩盤 夾剪裂泥	相近
萬大	板岩	2個數量級	高度風化板岩多處夾剪裂泥 偶含石英基質	相近
紅葉坪	頁岩	2個數量級	崩積頁岩夾剪裂泥	相近
寶隆	板岩	2個數量級	高度風化板岩與低風化板岩交界	相近
蘭台	硬頁岩	2個數量級	剪裂帶，具緻密剪裂泥之板岩	相近
崁腳	砂岩	2個數量級	破碎岩層夾剪裂泥且節理面銹染嚴重	相近
太平山	板岩	1個數量級	破碎岩盤夾石英脈	相近
大禹嶺	板岩	2個數量級	破碎岩層與完整岩盤交界	相近
花園	砂岩	2個數量級	破碎岩層與完整岩盤交界	不相近
義興	粉砂岩	2個數量級	破碎岩層與完整岩盤交界	不相近

14處崩塌地比對分析結果：

a. 12處透水係數分布圖與傾斜管變位相近

b. 2處因傾斜管變位曲線呈現S型，較不易比對

c. 透水推估模式確認滑動面位置有**不錯的成效**

利用透水係數分布樣態建立滑動面判識規則與驗證

- **規則制定:** 12處既有滑動區段依據評分項目進行分數計算，最後依據計算結果歸納**總分超過3分之區段視為潛在滑動區段**。
- **後續應用:** 若有未埋設傾斜管或傾斜管尚未監測到滑動之場址在某一深度下經計算後總分超過3分，則該深度未來有可能誘發為滑動區段。

K是否 $>10^{-6}$ m/s



評分項目	透水係數	岩心			地下水位
評分依據	數量級差	剪裂泥	高度風化板片岩	頁岩層	地下水位以下
分數	1~3分	1分	1分	1分	1分



計算總分

Name of Landslide Site (Borehole No.)	Sliding Surface Depth (m)	K in the Upper Rock Formation (m/s)	Difference in K between Upper and Lower Rock Formation (m/s)	Score for Permeability Difference	Score for Shear Zone with Gouge	Score for Highly Weathered Slate or Schist	Score for Shale Layer	Score for Position of Groundwater Table	Overall Score
Caoling (CH-04)	7	1.6×10^{-5}	1.19×10^2	2	-	-	1	-	3
Wanda (CH-09)	33	1.45×10^{-5}	1.11×10^2	2	1	1	-	-	4
Songmao (BH-03)	21	6.75×10^{-6}	5.63×10^1	1	1	1	-	-	3
Xinjiayang (BH-09)	25	2.35×10^{-6}	2.61×10^1	1	1	1	-	-	3
Longhua (CH-03)	41	1.50×10^{-6}	1.71×10^2	2	1	-	1	-	4
Hongcaiping (EH-05)	20	7.38×10^{-6}	9.79×10^1	1	1	-	1	-	3
Wushe (EH-06)	31	2.87×10^{-6}	1.36×10^1	1	1	1	-	-	3
Baolong (FH-05)	17	2.18×10^{-6}	4.42×10^2	2	1	-	-	-	3
Lantai (IH-13)	21	1.67×10^{-6}	7.63×10^0	-	1	-	1	1	3
Kanjiao (HH-03)	14	2.25×10^{-5}	2.73×10^2	2	1	-	-	-	3
Taipingshan (IH-23)	27	1.33×10^{-5}	5.19×10^1	1	1	1	-	-	3
Dayuling (MH-01)	46	1.03×10^{-5}	1.07×10^2	2	1	-	-	1	4



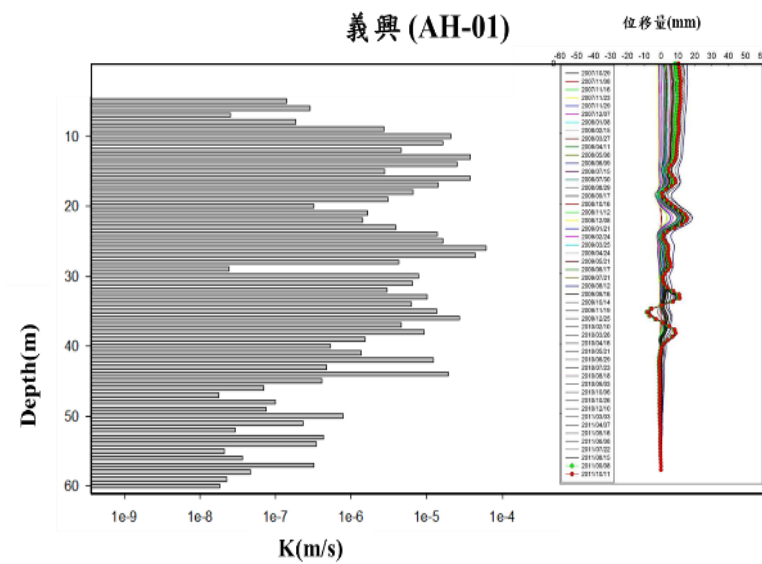
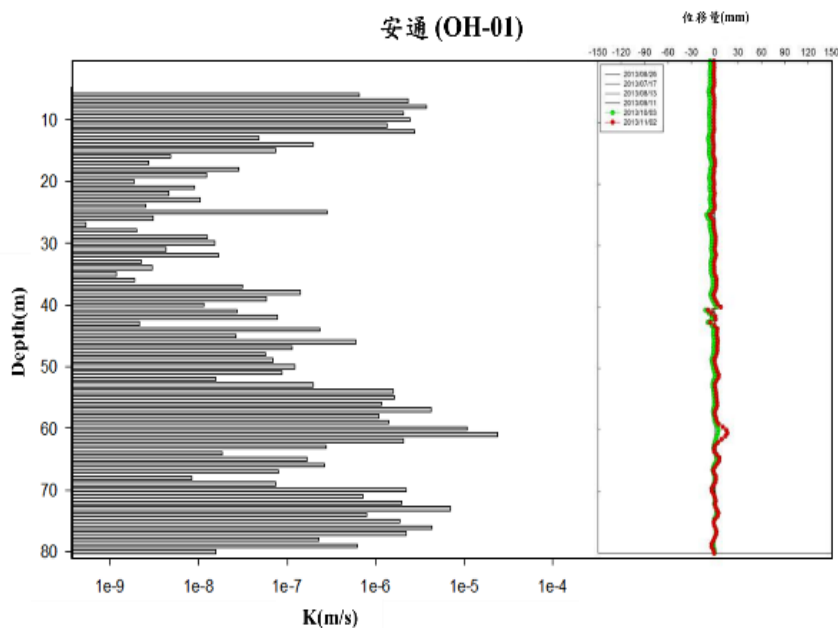
應用辨識規則所獲得之潛在滑動區段推估成果

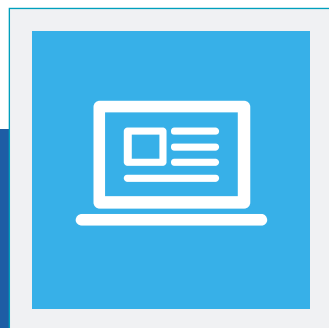
- 本研究共在**10處尚無明顯滑移深度紀錄**(監測時間過短)之崩塌地，推估各崩塌地逐米透水係數，並搭配辨識規則，進行潛在滑動區段辨識。
- 10處崩塌地中有9處可透過本研究設計之**滑動區段推估方法**找出**穩定度相對較低的脆弱區段**，共計12段，而這些區段未來較有機率發展成滑動面。

Name of Landslide Site (Borehole No.)	Sliding Surface Depth (m)	K in the Upper Rock Formation (m/s)	Difference in K between Upper and Lower Rock Formation (m/s)	Score for Permeability Difference	Score for Shear Zone with Gouge	Score for Highly Weathered Slate or Schist	Score for Shale Layer	Score for Position of Groundwater Table	Overall Score
Tengzhi (FH-13)	16	1.48×10^{-5}	2.29×10^1	1	1	1	-	-	3
Tengzhi (FH-13)	49	2.78×10^{-6}	3.87×10^1	1	1	1	-	-	3
Tengzhi (FH-13)	69	4.86×10^{-6}	5.04×10^1	1	1	1	-	1	4
Jilou (FH-21)	45	3.59×10^{-6}	4.83×10^1	1	1	-	-	1	3
Chaozhouhu (KH-01)	24	3.47×10^{-5}	6.39×10^2	2	1	-	-	1	4
Daguan (JH-27)	46	4.54×10^{-6}	1.42×10^2	2	1	-	-	1	4
Nanshikeng (KH-11)	10	7.11×10^{-6}	2.14×10^2	2	1	-	-	-	3
Yanliao (NH-21)	7	3.83×10^{-6}	2.07×10^2	2	1	-	-	1	4
Fengshan (NH-15)	50	3.55×10^{-6}	6.18×10^0	-	1	1	-	1	3
Gaoshi (QH-22)	21	6.23×10^{-6}	1.93×10^2	2	1	-	1	1	5
Antong (OH-01)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dawu (QH-13)	14	6.09×10^{-6}	1.96×10^1	1	1	-	1	-	3
Dawu (QH-13)	48	6.04×10^{-6}	2.15×10^2	2	1	-	1	-	4

應用辨識規則無法獲得潛在滑動區段之檢討

- ❑ **義興與安通**等兩處崩塌地經本研究設計之推估方法計算後無指出潛在滑動區段，推估該兩處崩塌地之地質條件相對於其它崩塌地屬於地層較為穩定之崩塌地。
- ❑ 本研究進一步檢視義興崩塌地與安通崩塌地之岩芯資料，岩芯照片與岩芯紀錄均指出該兩處**崩塌地較無剪裂泥、高度風化地層**等較易產生滑動破壞之地層區段，此結果可與本研究推估方法判定該兩處崩塌地無明顯潛在滑動區段之結果相呼應。





結論與建議

結論

本研究提出一種**初步且高效**的評估方法，利用地質特徵資料及已建立的岩體滲透係數估算模型，**預測滑動地區潛在滑動面的深度**，藉此減少調查時間與經濟成本。同時，本研究亦期望能**促進災害防治工作的前期準備與整治策略的制定**，最終降低邊坡災害的發生機率。其主要結論如下：

- 本研究建立了一種**適用於滑動區高擾動地層的新型滲透係數估算模型**（HCPI 模型），該模型以六項地質特徵因子（RQD、DI、GCD、LPI、FA 與 FD）為基礎。HCPI 模型具有高決定係數（ $R^2 = 0.895$ ），並通過統計檢定，可用於建立水力傳導係數剖面。
- 透過比較擾動岩體滲透係數估算模型「HCPI」與非擾動岩體滲透係數估算模型「NHCB2」可得知，在山區地質環境中進行水力傳導係數估算時，**選擇與地質條件相容的模型至關重要**。
- 利用**水力傳導係數的突變現象來估計滑動地區潛在滑動面深度的概念**是可行的，且已經透過 12 個滑動案例加以驗證。根據調查結果，滑動面通常出現在地層中的特定深度範圍內，其上層的水力傳導係數比下層高出一至三個數量級。此外，上層的水力傳導係數一般大於 10^{-6} m/s。
- 本研究**建立了預測滑動面位置的判識準則**，該準則基於三項指標：水力傳導係數變化幅度、弱岩體材料的存在以及地下水位的位置。此判識準則已應用於十個滑動案例，用以尋找具高滑動潛勢的區域，提供邊坡災害防治管理的重要參考資訊。



建議

- a. 本研究推估模式架構依據沉積岩與變質岩資料所建立，未來若能加入**火成岩類場址**，則模式推估更加全面，藉此補足在火成岩類崩塌場址分析的缺口；並**蒐集更多監測成果**，來確定模式可靠度。
- b. 本研究選用的因子係參考Hsu et al.(2020) 研究成果所建議之全部因子(RQD、DI、GCD、LPI、FF、FW)，未來可以嘗試參考**更多面相的地質特徵因子**，例如：**流速**、**孔隙率**等與透水特性有關之因子。

謝謝聆聽

