

深層崩塌區域水文及水質特徵變化之關 聯性研究

Research on the relationship between the hydrological and
water quality of deep-seated
landslide area

報告人：蔡元融 助理研究員

國立成功大學防災研究中心

2018.10.30@水土保持局圖書館會議室

報告綱要



何謂大規模崩塌(深層崩塌)

大規模崩塌的發生與預警

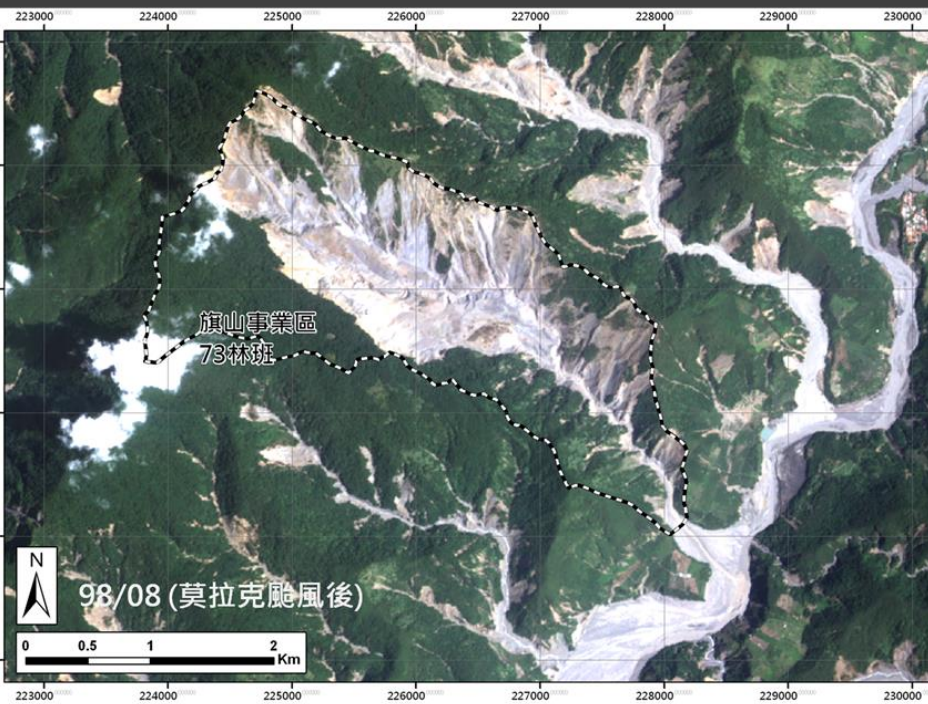
水質與大規模崩塌關聯性建立

結論與建議



何謂大規模崩塌(深層崩塌)

- 2009年8月9日，小林村獻肚山山崩傷亡慘重，日本NHK電視台派員來台採訪，首先提出「深層崩壞」名詞，台灣間接引用改為「深層崩塌」。
- 隨後經多次多方討論，以致災規模為考量，將深層崩塌進一步改為「大規模崩塌」。



日本大規模崩壊定義

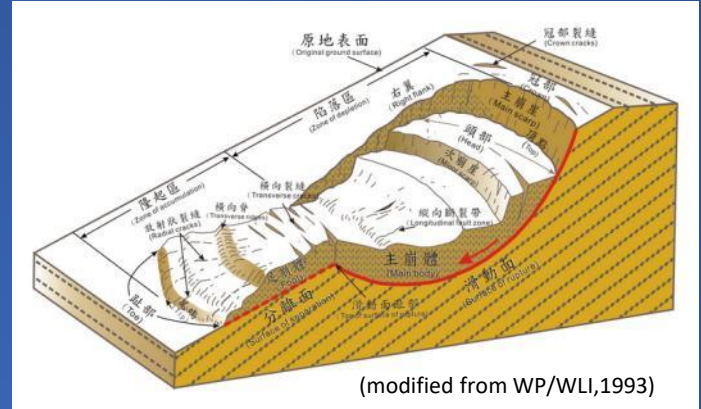
	地すべり	崩壊	深層崩壊 (地すべり性崩壊)
地形	緩勾配。 地すべり地形	急勾配。 非火山地域では斜面の変形等の特徴がみられる場合がある。	急勾配。 非火山地域では斜面の変形等の特徴がみられる場合がある。
活動状況	継続的、断続的に動いている。 再発性	突発性	突発性
移動速度	小さい	大きい	大きい
土塊	乱れない（原形をほぼ保つ）。 斜面上に留まる	乱れる（原形が崩れる）。 大部分が斜面から抜け落ちる	乱れる（原形が崩れる）。 大部分が斜面から抜け落ちる
深さ	深い	浅い	深い
面積	大	小	大

大規模崩塌定義

- 崩塌體積大
- 滑動面較深
- 滑動速度快
- 滑動體含基盤
- 地下水影響大
- 造成重大災損

NCDR認為國內應以「災害」(保全對象)觀點，考量某一崩塌事件發生後，可能對於大範圍的保全對象產生重大衝擊，並造成人命傷亡或財產損失者。

Large landslide(USGS):彙整近百年全球出現的大規模崩塌事件，此類崩塌具有3項特性：(1)至少造成百人以上死亡；或(2)巨額財產損失；或(3)造成自然環境重大影響等。因此對於社會、經濟或自然環境會產生重大的衝擊。
(<http://landslides.usgs.gov/learning/majorls.php>)

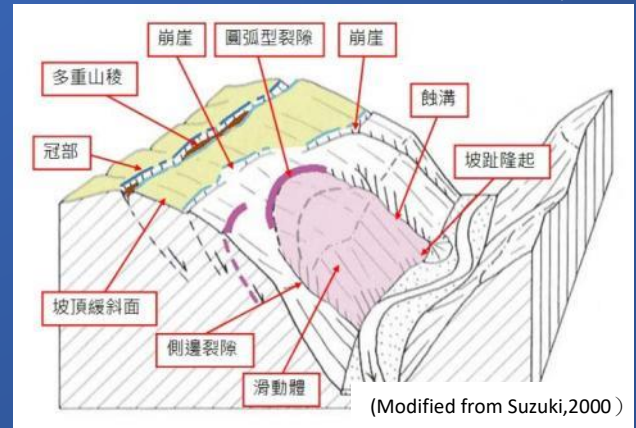


潛在大規模崩塌之地形特徵

- 山頂緩斜面
- 崩崖、反斜崖、裂縫
- 二重或多重山稜線
- 線狀凹地
- 圓弧型滑動體
- 坡趾隆起
- 坡面及側邊蝕溝
- 岩盤潛變現象
- 其它老崩塌地地形

有利之發生條件

- 舊有崩塌地
- 具重力變形條件區
- 坡度較陡邊坡
- 順向坡地形
- 距河道較近
- 較大河道侵蝕量
- 鄰近地質構造
- 坡體應變率較大
- 砂頁岩互層
- 劈理發達變質岩
- 地下水高入滲區

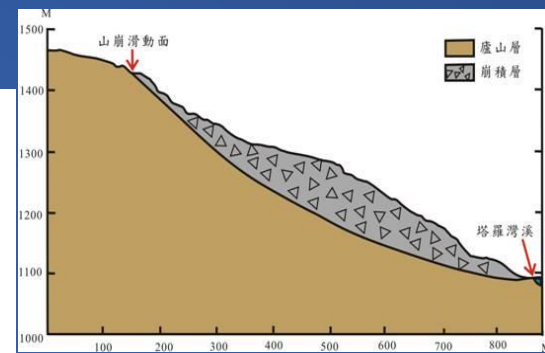


高雄小林崩塌

- 莫拉克颱風期間小林村9~18鄰有397人死亡、53人失蹤(莫拉克颱風災害應變處置報告第62報(98/08/27 18:00))。
- 崩塌面積(不包含原有部落位置)約有202公頃；崩塌土方量超過兩千萬方，崩塌深度超過80公尺。



廬山溫泉地滑



廬山



AeroFoto by Chi Po-lin



- 以台灣之分類方法，廬山及小林村皆屬於大規模崩塌，然其防減災方法大不相同。



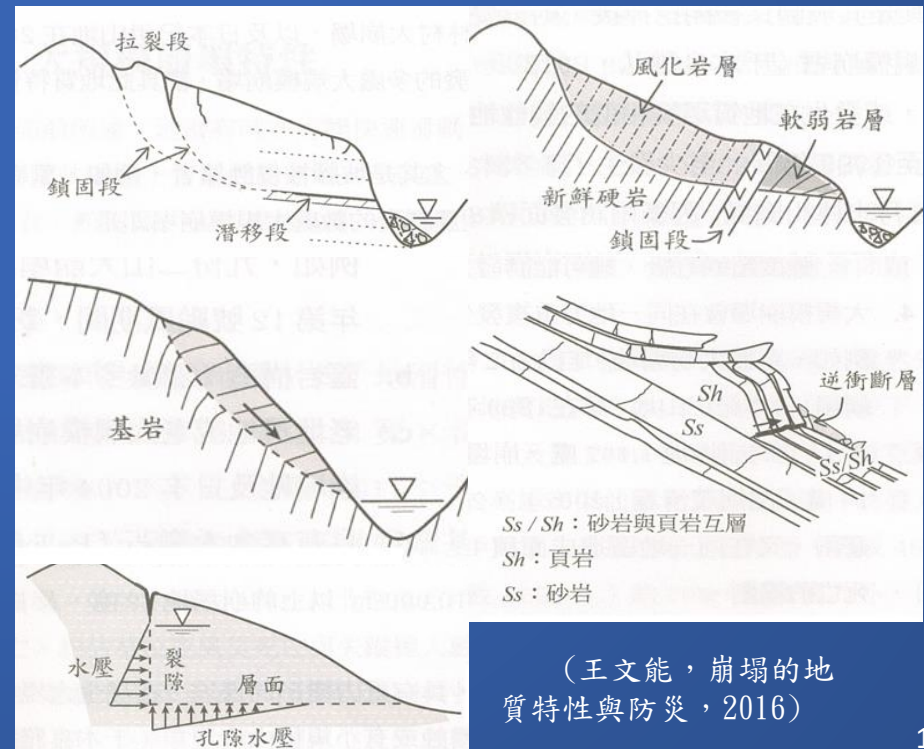
大規模崩塌的發生 與預警

- 大規模崩塌造成的嚴重災情，在於崩塌開始發生後的一瞬間，整個村落，連同原本預計安全的避難場所，全部都毀於一旦，幾乎沒有任何逃生及營救的機會，且後續需要的復建與恢復期也相當長。
- 有效的預警方法是防減災工作中重要的關鍵。

- 大規模崩塌的發生，是邊坡岩體受各種外力共同作用下的結果。
- 王文能(2016)整理了大規模崩塌(深層崩塌)的幾種發生原因，在這些機制中，都可以找到「鎖固段」，維持著邊坡之穩定。
- 當異常雨量造成坡腳掏刷或是突然增高的孔隙水壓導致鎖固段的破壞，也就造成崩塌的發生。

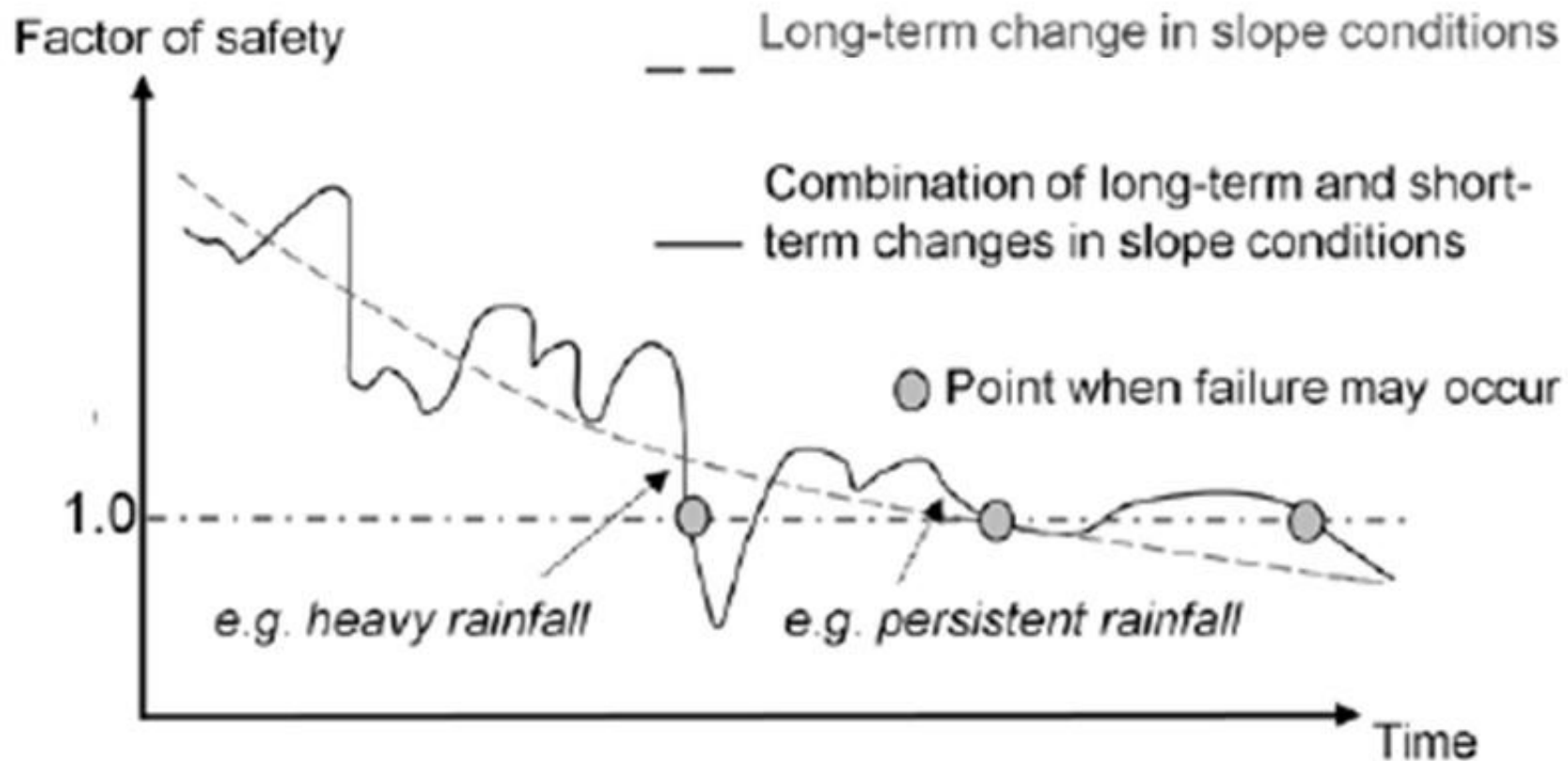


Tsou, Feng, and Chigira, 2011, Geomorphology, 127, 166-178

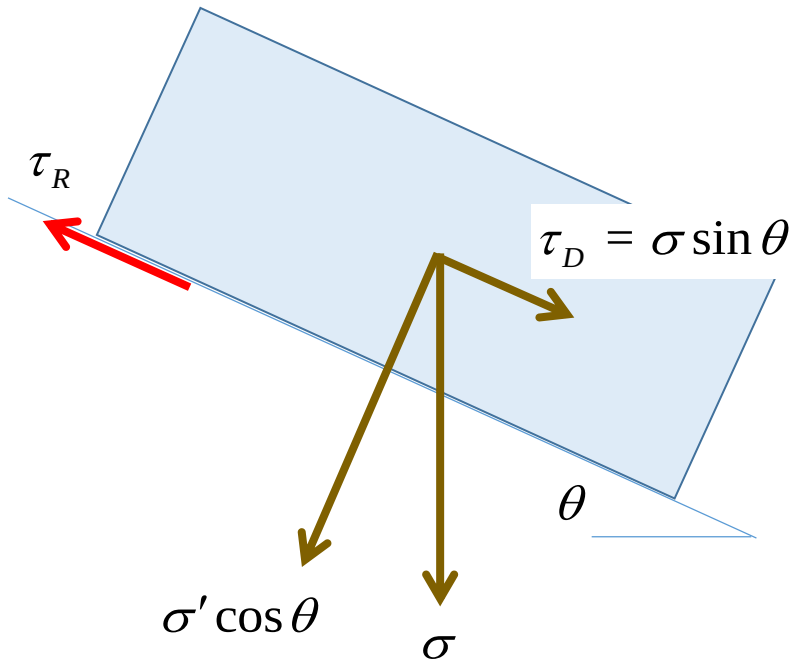


(王文能，崩塌的地質特性與防災，2016)

安全係數的變化



安全係數的分析



Safety Factor

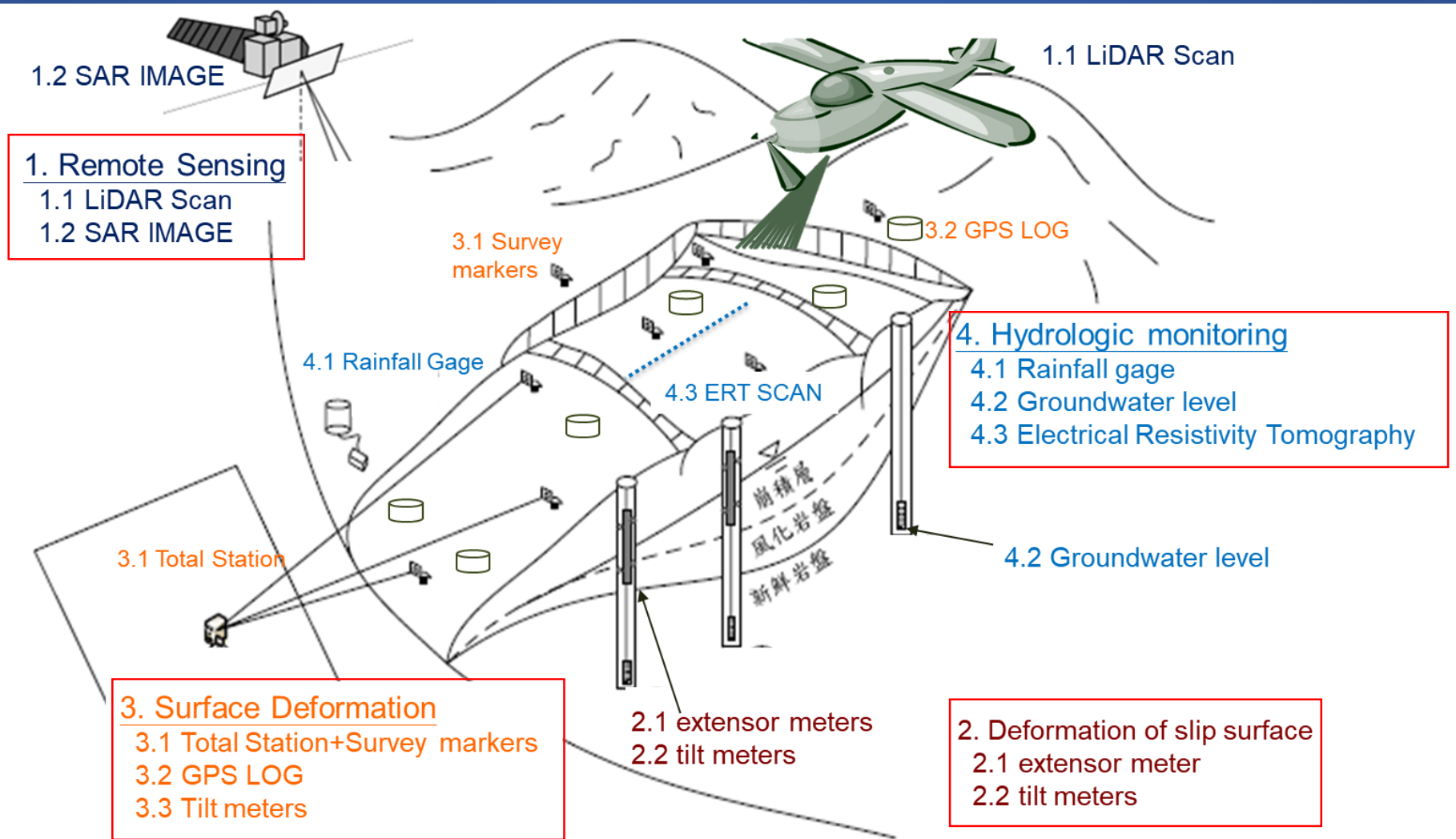
$$FS = \frac{\tau_R}{\tau_D} = \frac{c + \sigma' \cos \theta \tan \phi}{\sigma \sin \theta}$$

Critical Depth

$$\frac{h_c}{D} \geq \frac{\frac{c}{D\rho_m g \cos \theta} + \frac{\rho_s}{\rho_m} c_* (\tan \phi - \tan \theta)}{\tan \theta + c_* (\tan \phi - \tan \theta)}$$

Depth of groundwater, Depth of material, surface slope, and friction angle play important role for the stability analysis

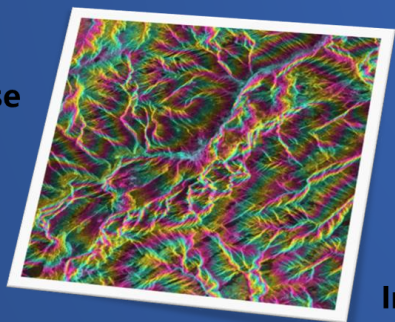
大規模崩塌的監測



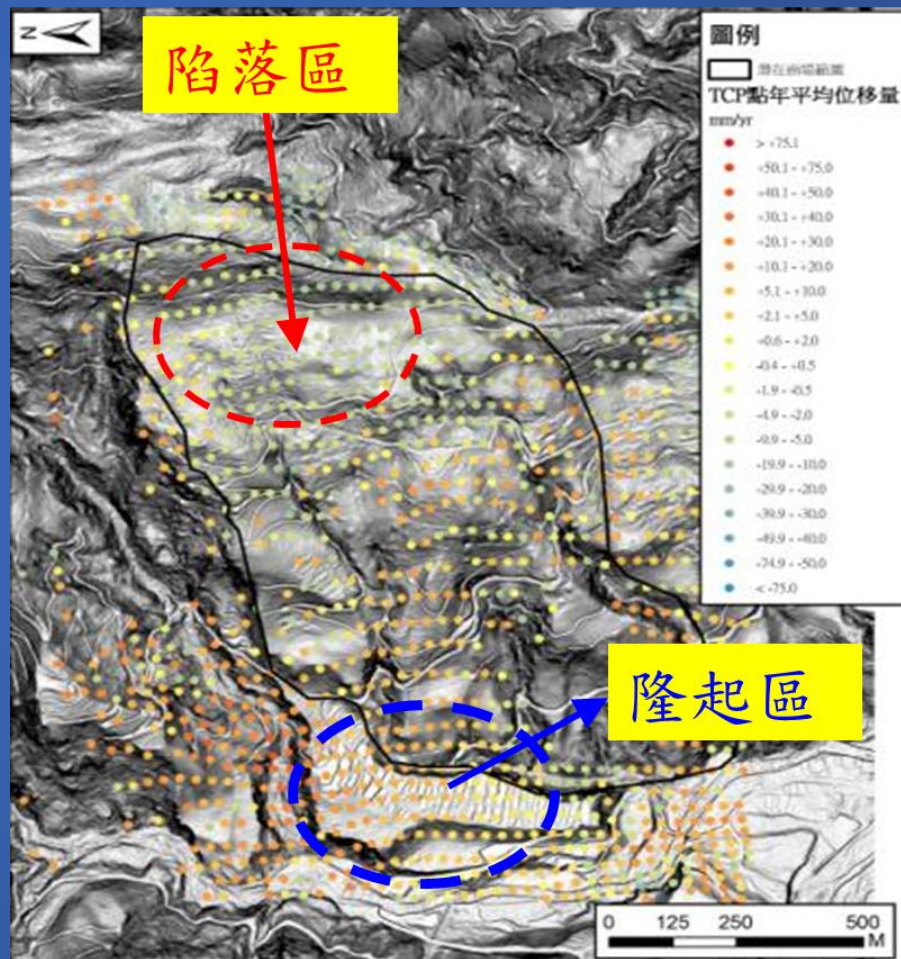
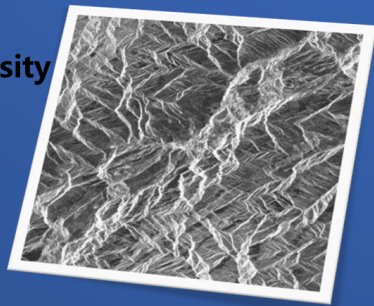
廣域地表活動性監測

- 根據不同時間序列之 SAR 影像，萃取地表反射性、同調性良好的反射點，計算各點位的**高程變化與平均位移量**

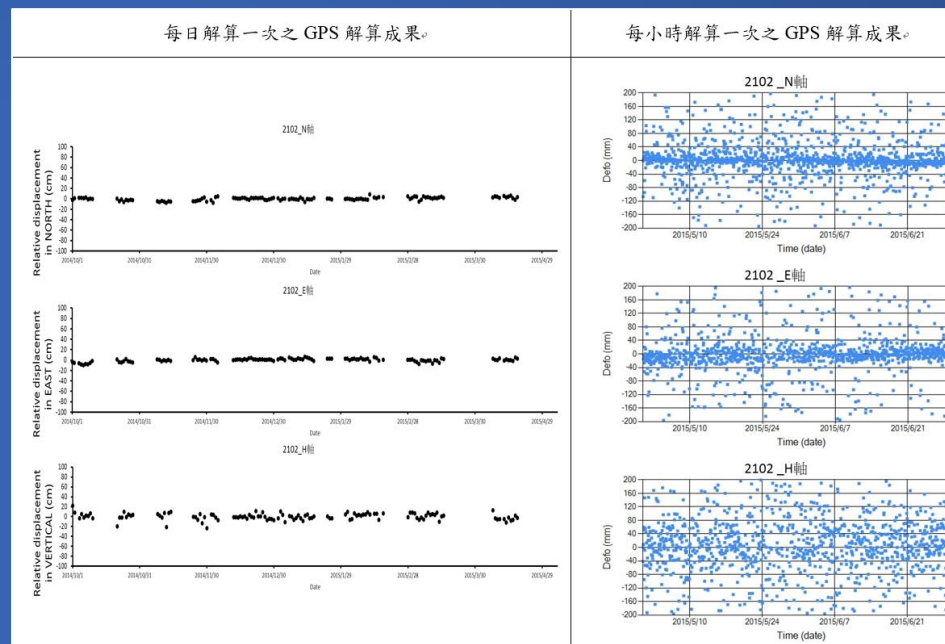
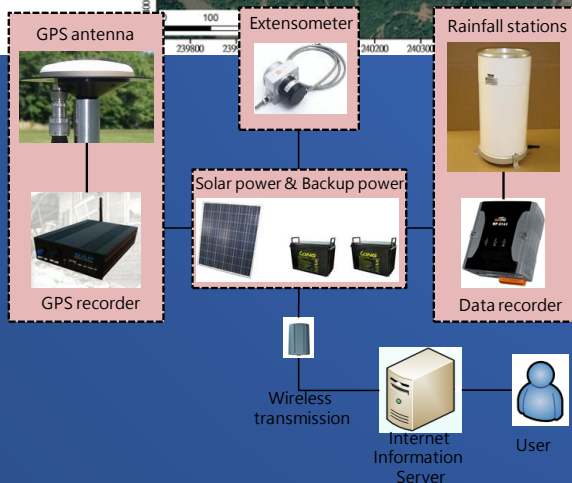
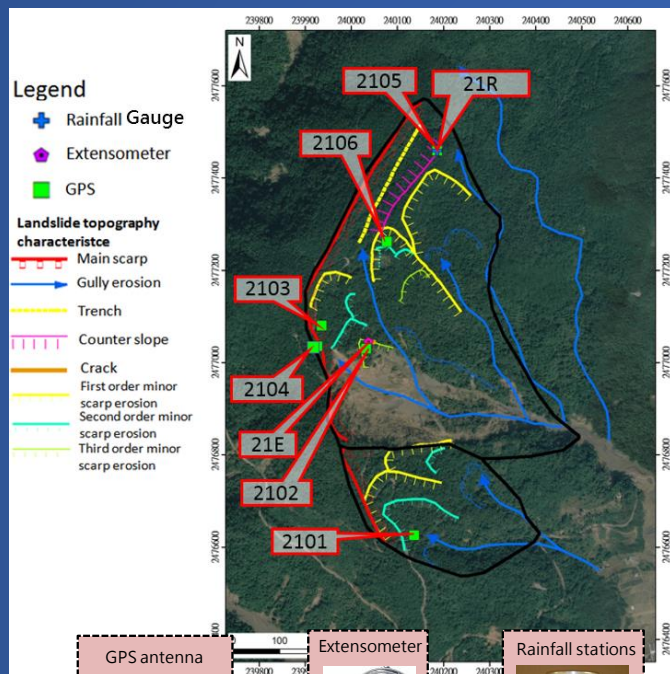
Phase



Intensity



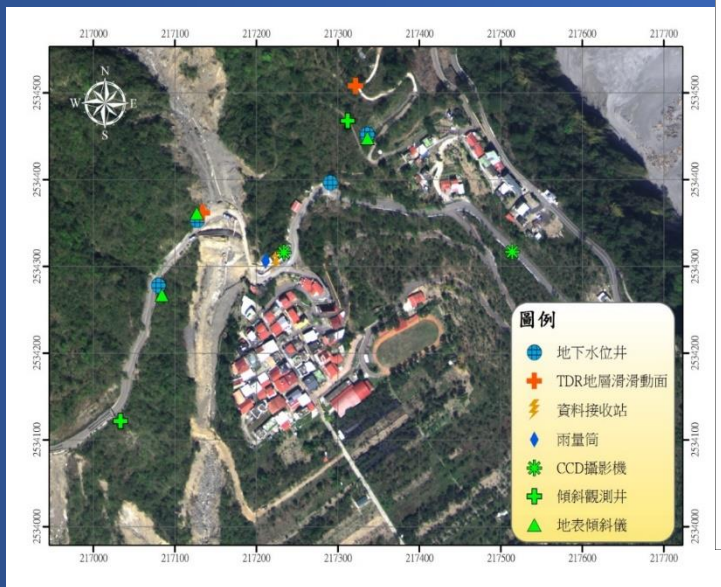
潛勢區地表活動性監測



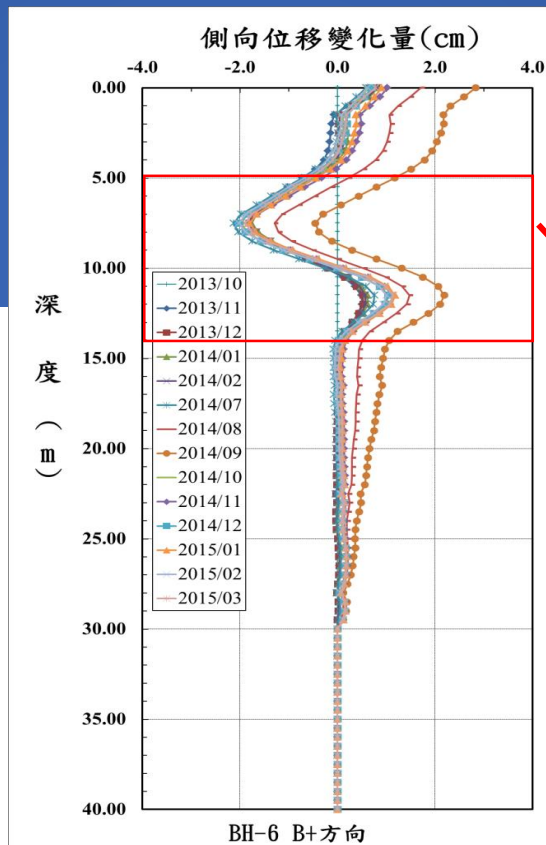
- 利用連續的GPS與地表伸張計之觀測與紀錄，可以掌握坡面各區塊之表層變化情形。

潛勢區地下活動性監測

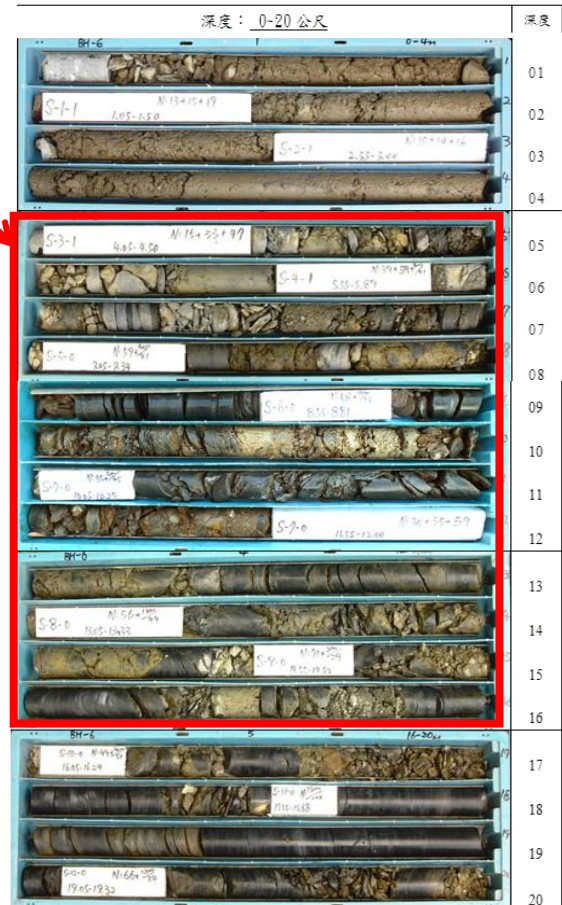
- 針對高活動性之潛勢區，進行地質鑽探及地下活動性監測。



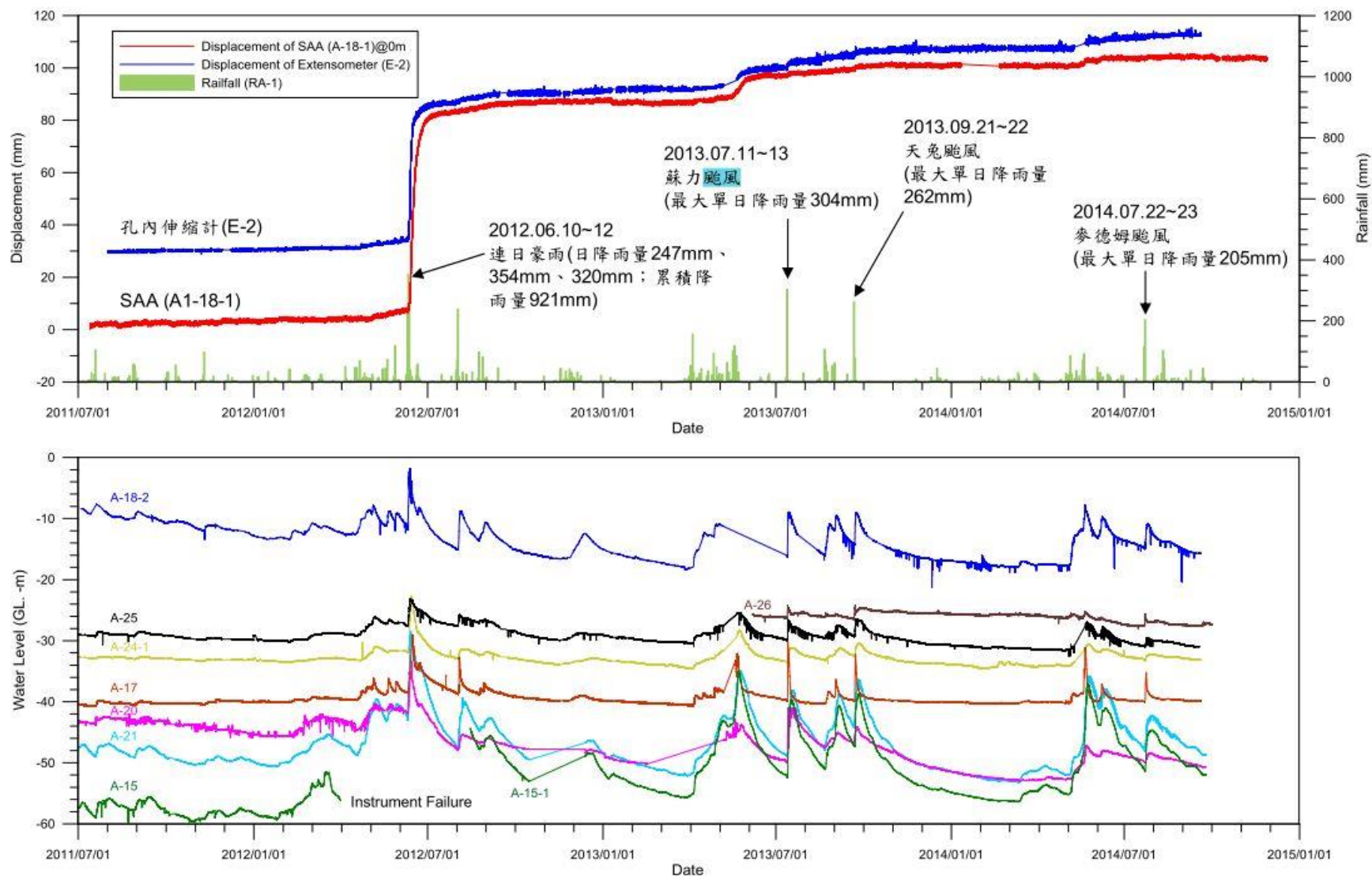
萬山潛勢區監測設備分布圖



工程名稱：102年萬山潛在大規模崩塌區調查監測計畫 共 2 頁，第 1 頁
鑽探孔號：BH-6 鑽探地點：高雄市茂林區萬山里 總深度：40.0 M

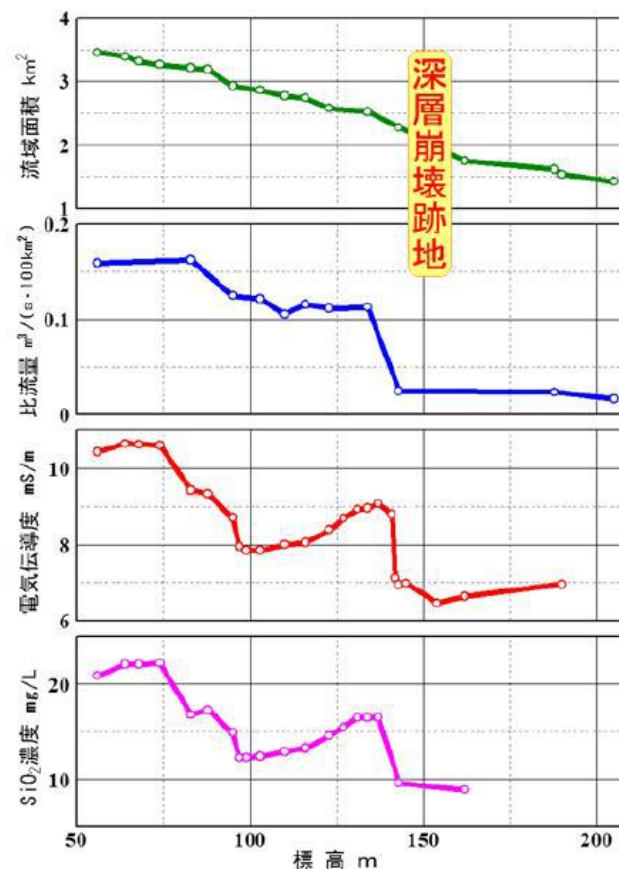
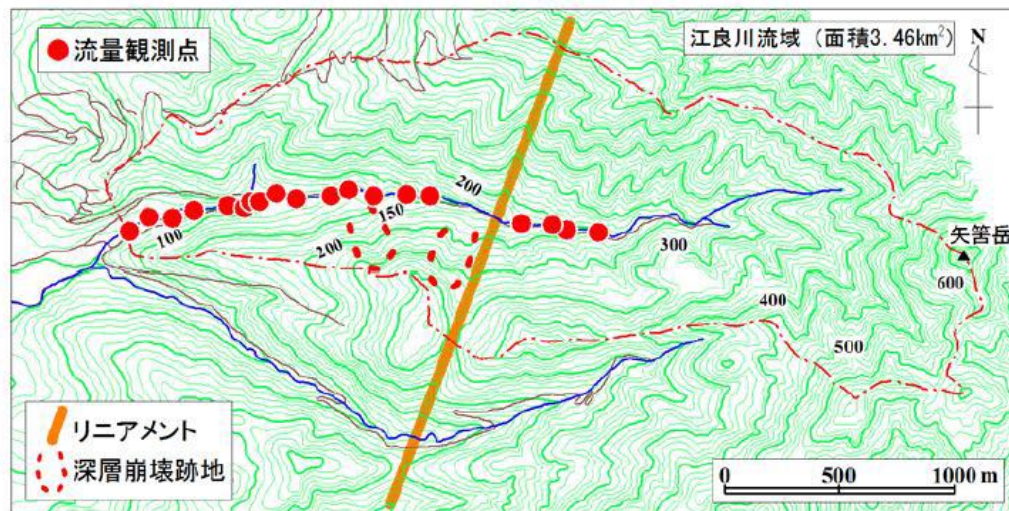


潛勢區地下水文與活動性監測



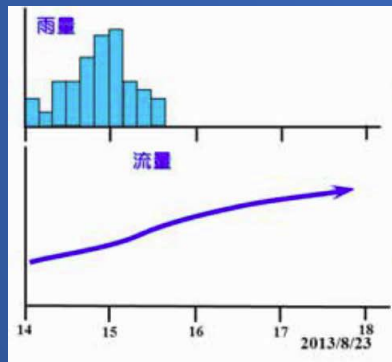
水質與大規模崩塌關聯性建立

- 在山區的坡面湧水中，可以得到大量的地下水資訊，水量、溫度、電導度等等都是被用來量測的重點。
- 地頭菌（2014）透過溪流沿程的流量、電導度以及 SiO_2 的觀測，找出大量地下水湧出的位置，提出大規模崩塌之預警構想。

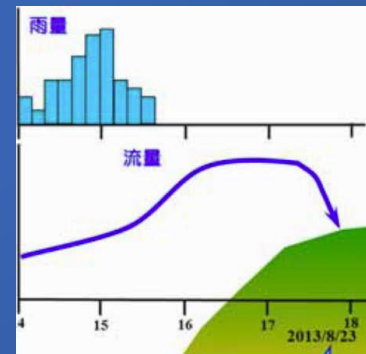


大規模崩塌(深層崩塌)發生的水文條件

- 受到降雨影響，水體進入邊坡土體，由孔隙、裂隙等各種通道自坡腳流出，因此可以觀測到坡面湧水流量上升。
- 當坡面湧水突然急遽下降時，也就是邊坡本身發生變化，導致前述之水流通道發生變化，導致坡面排水受阻，地下水累積於土體內，導致坡面內孔隙水壓的劇烈升高，進而引發大規模崩塌 (Jitousono et al. 2015)

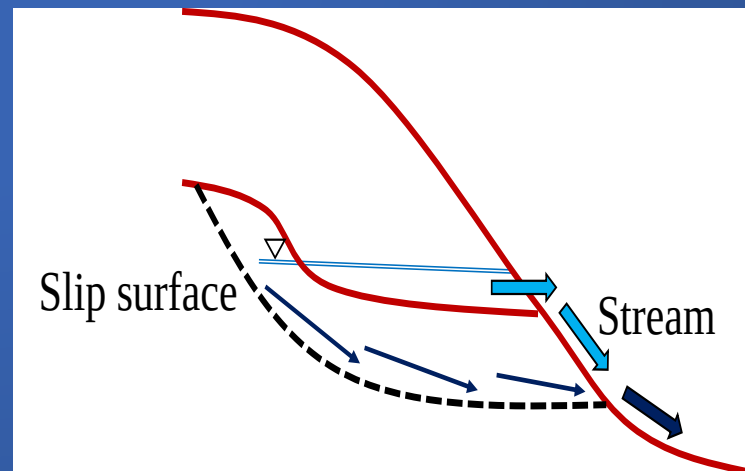
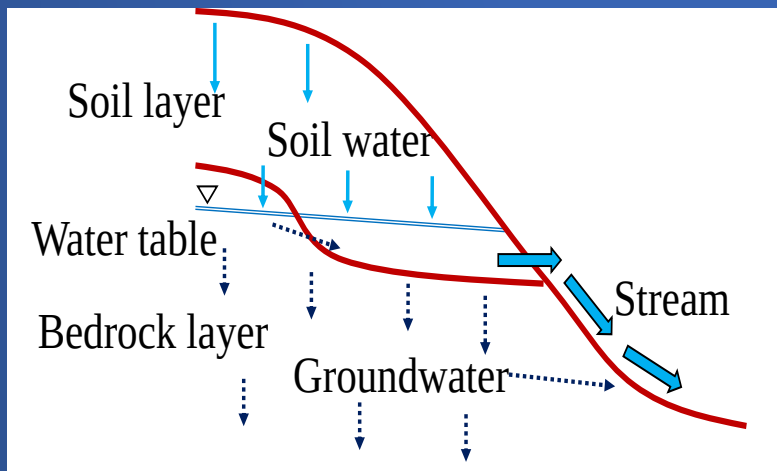


當湧水量增加時
⇒ 潛勢區內地下水位上升



當湧水量急降時
⇒ 潛勢區之地下水系統發生變化
⇒ 潛勢區內孔隙水壓急速上升
⇒ 潛勢區產生崩塌

- 透過水中物質的量測，我們可以用來判斷水體在坡面中的流徑，是從風化層經過的、從岩盤經過的，又或是經過滑動面流出的，其水質特性應該都有所不同。
- 即透過不同的導電度、離子濃度、Si含量，應該可以判斷出水體之流路(土壤、淺層、深層)，就可以掌握用來判斷湧水是否與大規模崩塌之發生有關。



研究架構

3.1 水質特徵調查

- 本研究以現場採樣為主要工作方法，工作包括了水樣品位置選定、採集及標準程序介紹，採集之水樣則需再經過資料分析與處理：包括室內水質檢驗、水化學分析試驗、數位化水樣品的座標，以及現場照片依據水樣品編號分類等工作。

3.2 水質特徵背景值建立

- 為探討水質特徵與大規模崩塌(深層崩塌)之關聯性，對於水質特徵之背景值掌握式必要之工作，因此本研究規劃於中南部之主要集水區(濁水溪、曾文溪、高屏溪)進行現場水體之採集，建立各流域之水質特徵背景值資料庫。

3.3 廣域水質特徵調查

- 針對不同集水區之水質特徵調查成果進行分析，並嘗試建立水質特徵與大規模崩塌之空間分布特性分析。

3.4 區域性水質特徵調查

- 針對具潛在大規模崩塌(深層崩塌)區之集水區內水質特徵變化進行分析，釐清水質特徵與大規模崩塌(深層崩塌)潛勢區之相對位置、距離之關聯性。

3.1 水質特徵調查 - 現場採樣



A. 於坡面湧水處採集水體
透過水體內含離子之分析
可以判斷湧水來源(淺層或
是深層地下水)。



B. 於溪流源頭進行採樣
可以釐清溪流水體之狀況
若下游有明顯變化時，則
表示有較深層之水體混入
溪流。



C. 於下游溪流採樣
可以用來建立集水區水質
之背景值，以建立深層地
下水判斷之門檻值。

一 採水樣位置判斷：

1. 判斷溪流有無受到人為活動影響，如：農田、房屋、工地。
2. 判斷溪流是否為其他集水區引流至本集水區內的水，因水管長年失修或受到山區土石滑落影響，導致水管破裂漏水形成小支流，如：溫水管線。

二 採水樣標準程序：

1. 將水樣瓶沒入水體中，並裝滿約一半，闔上蓋子，並搖晃數下，在往下游處倒掉，此動作重複三次。
2. 將水樣瓶完全沒入水體中，並且避免裝入大碎石頭、青苔、氣泡，應將採樣瓶完全填滿採樣水體。

3.1 水質特徵調查 - 水質特徵分析

1. 電導度EC：

- 可以透過EC meter進行量測
- 電導係指物質讓電流通過之能力，固體中電流係藉電子傳導，溶液則由陰陽離子之移動而產生電流。



Horiba, B-713



EZDO, 7200

- 使用單位為 $\mu\text{S}/\text{m}$

2. 水中離子

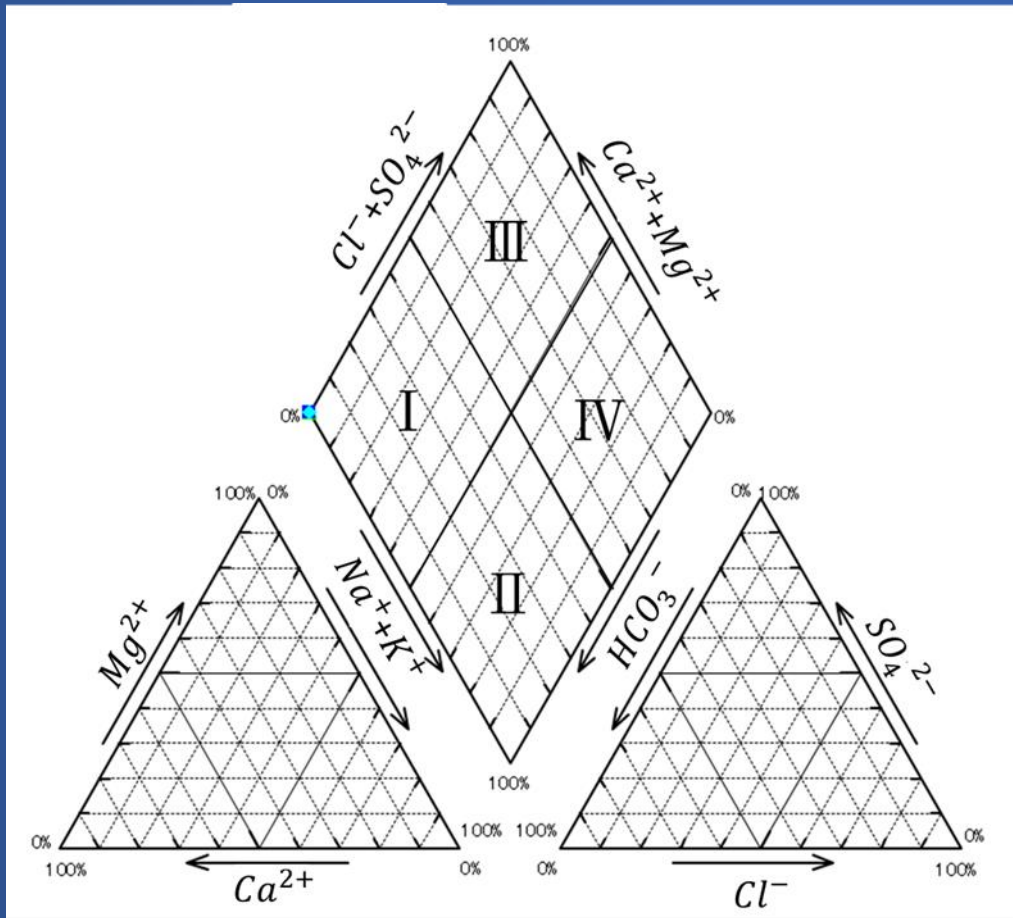
- 透過離子色譜法來測定無機物離子濃度
- 採用高效液相色譜法，用來確認並量化混合物各個成分的比例。
- Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , and SO_4^{2-}
- 使用單位為 $\text{mg}/\text{L} = \text{ppm}$



本研究所使用分析儀
Shimadzu, LC-10A

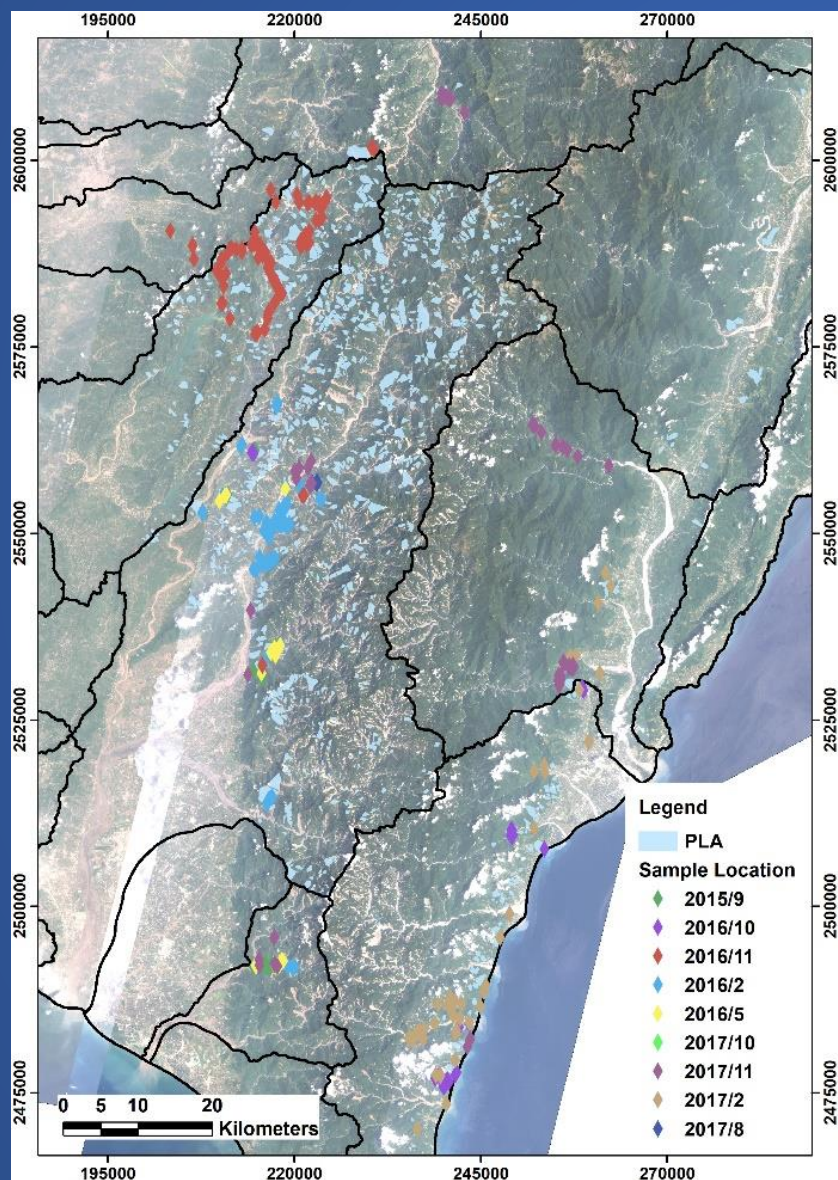
3.1 水質特徵調查 - 來源分析

- Piper 水質菱形圖可以用來分別水體之來源



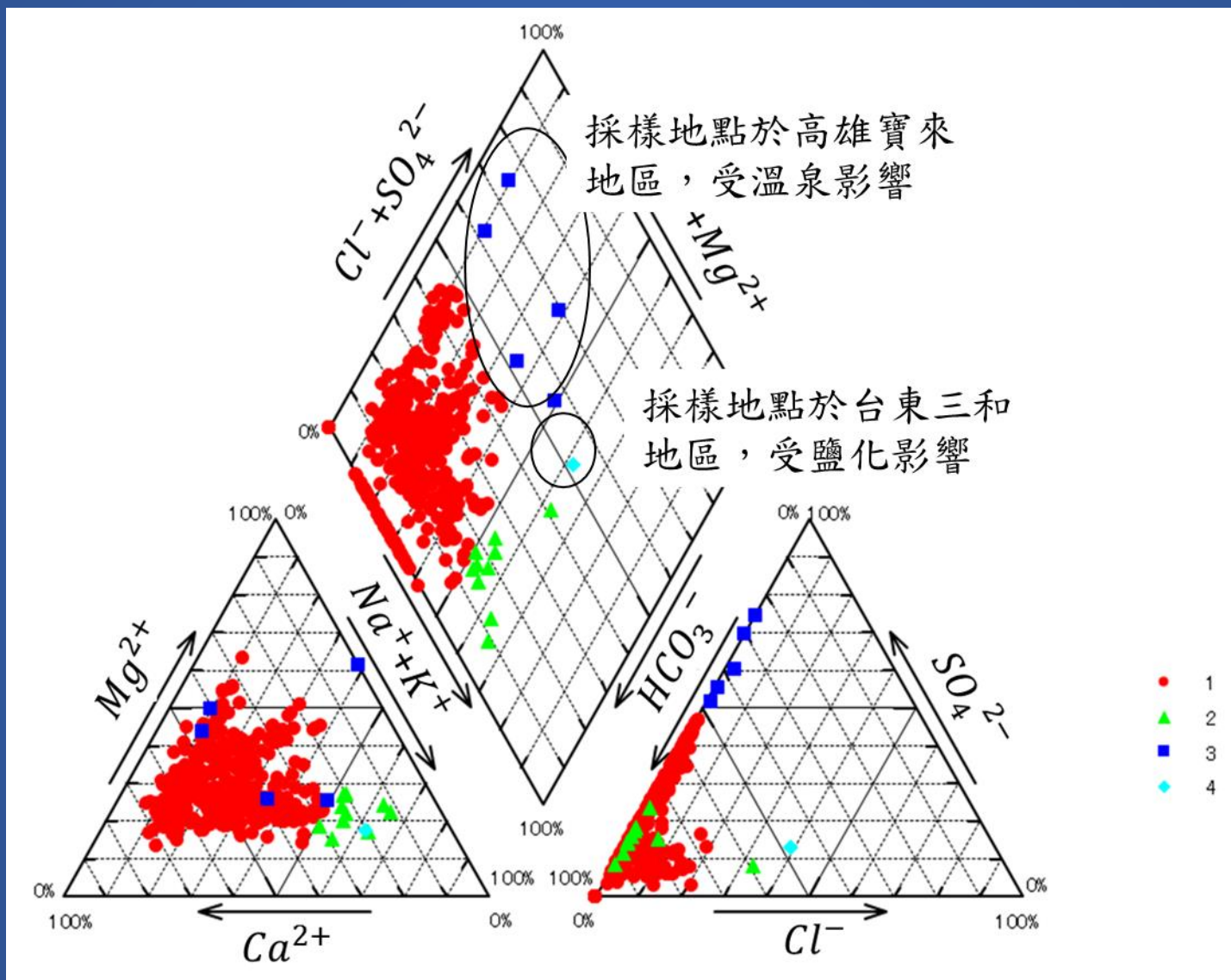
- 第 I 區為淺層自由地下水、雨水、河水。
- 第 II 區為未受污染之深層正常地下水或拘限層地下水。
- 第 III 區為受農業污染之地下水、火山地區地下水等。
- 第 IV 區為海水或受鹽水污染之地下水在此範圍。

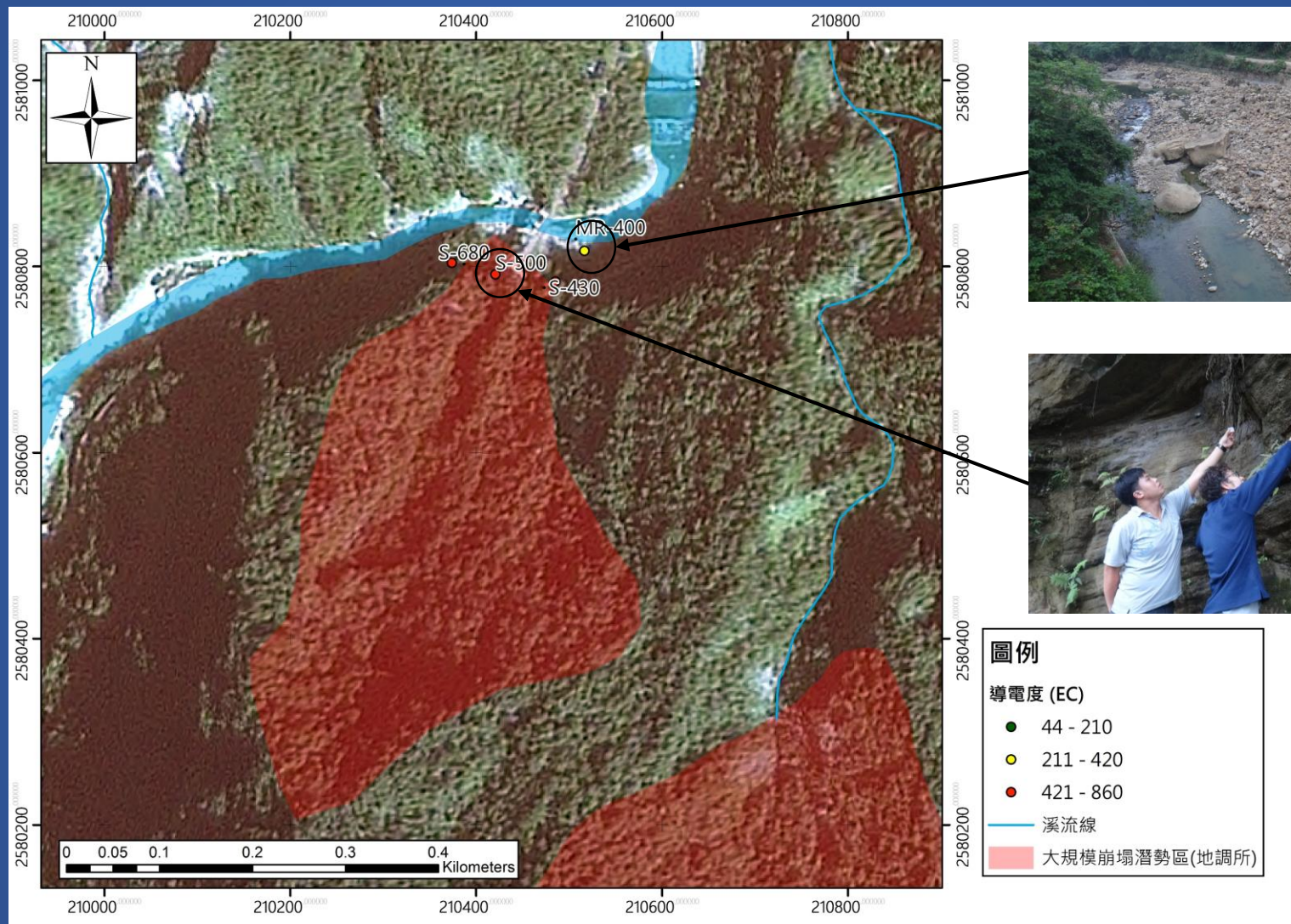
3.1 水質特徵調查 - 水樣採集成果

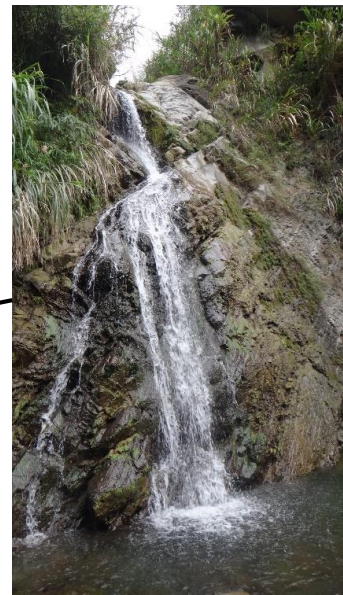
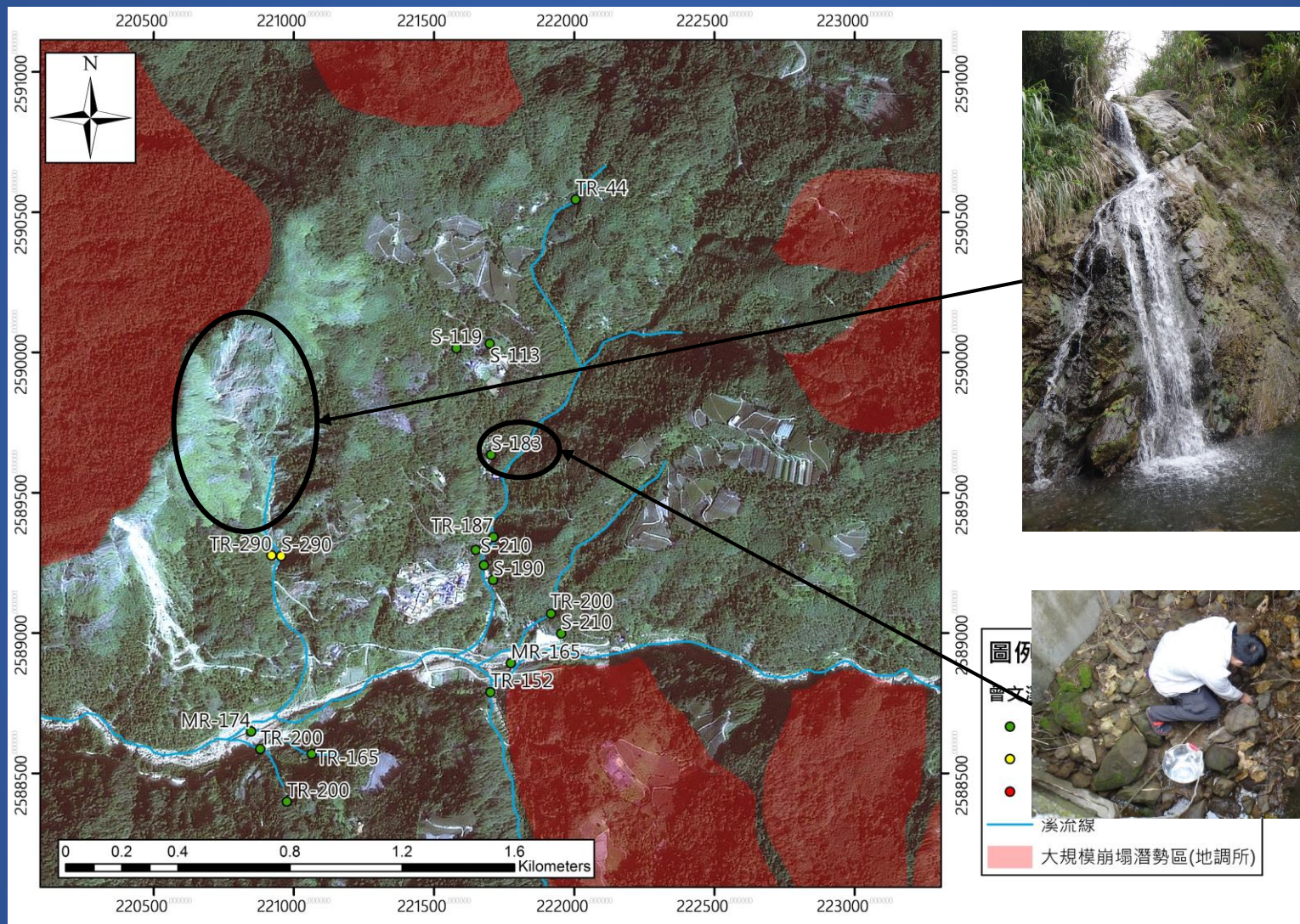


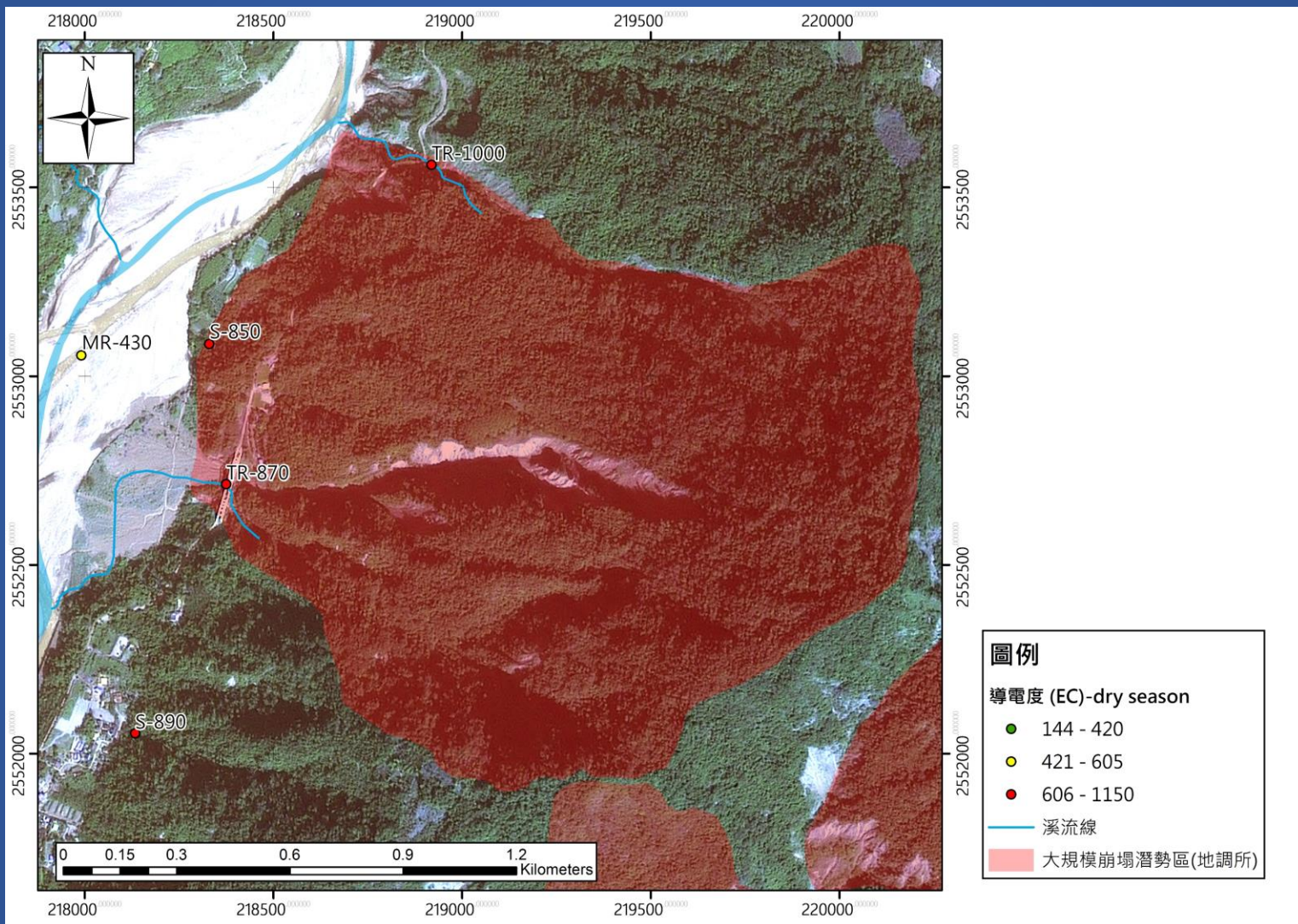
流域名稱	溪流名稱	數量	小計
曾文溪流域	曾文溪	101	101
高屏溪流域	高屏溪	207	207
林邊溪流域	林邊溪	51	51
台東沿海 地區	太麻里沿海	1	50
	斑鳩溪	1	
	知本溪	8	
	大竹溪	8	
	卑南溪	11	
	大鳥溪	21	
濁水溪流域	濁水溪主流	27	27
	陳有蘭溪	11	11
		累積樣品數	447

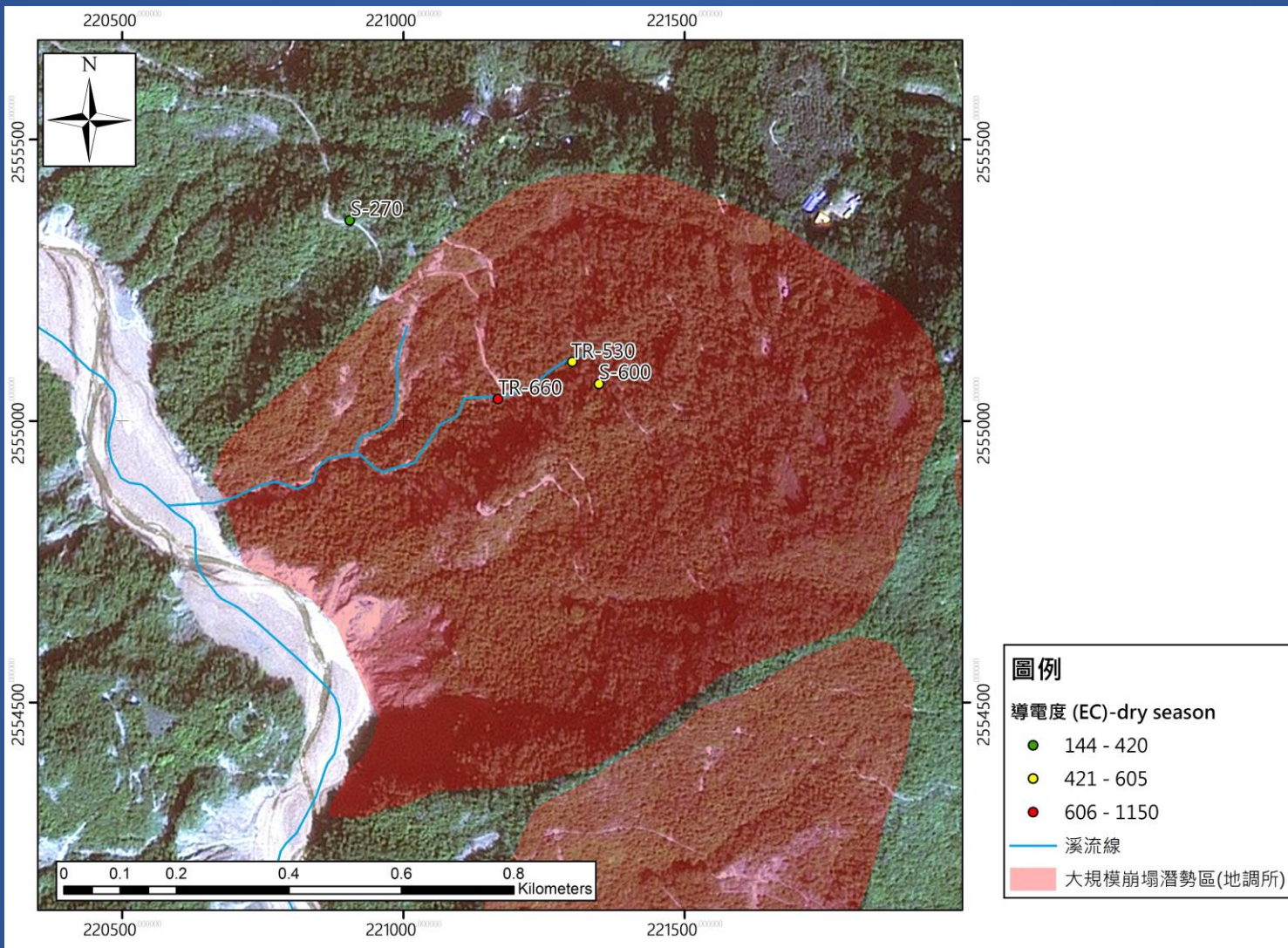
3.1 水質特徵調查 - 來源分析成果

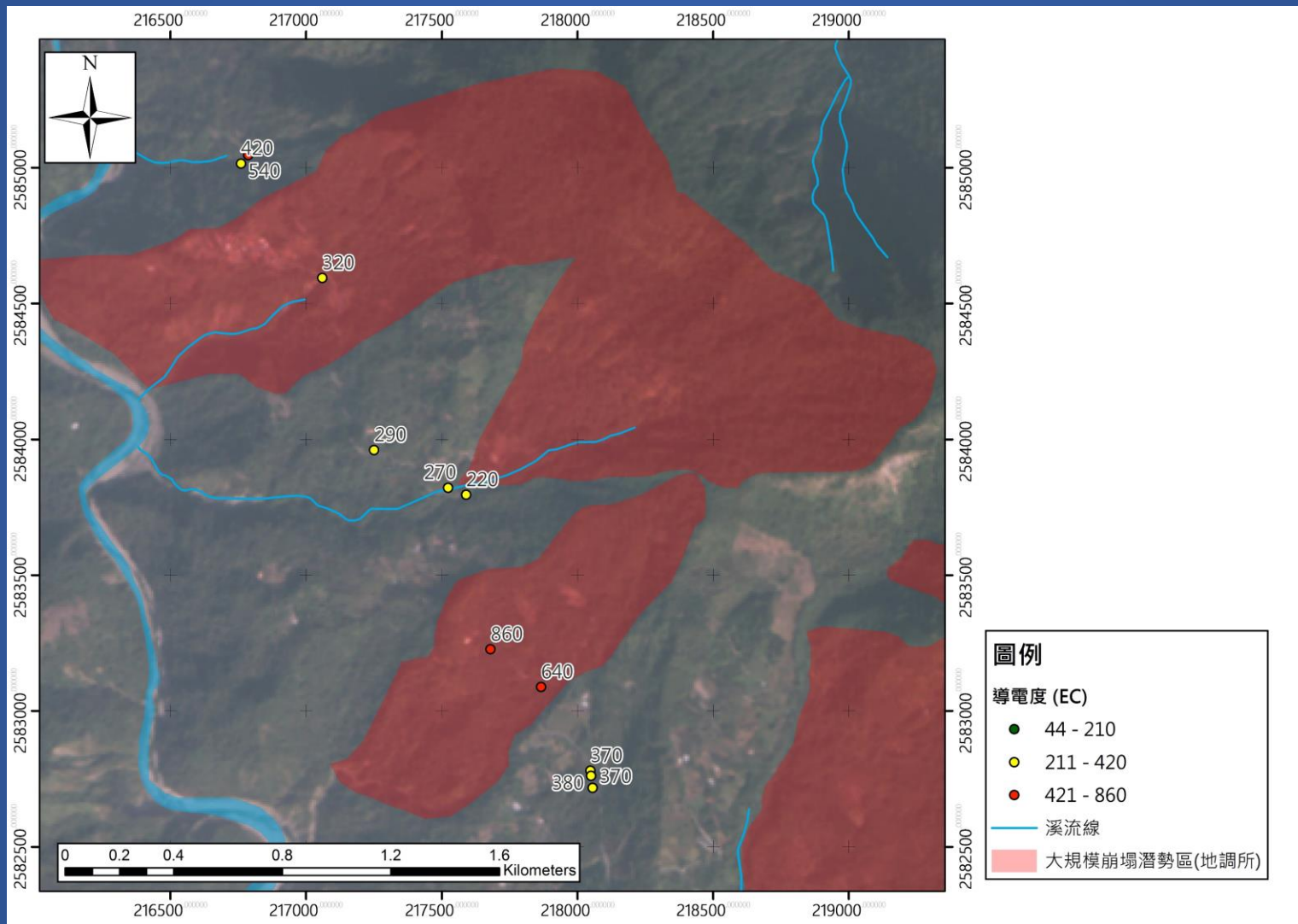




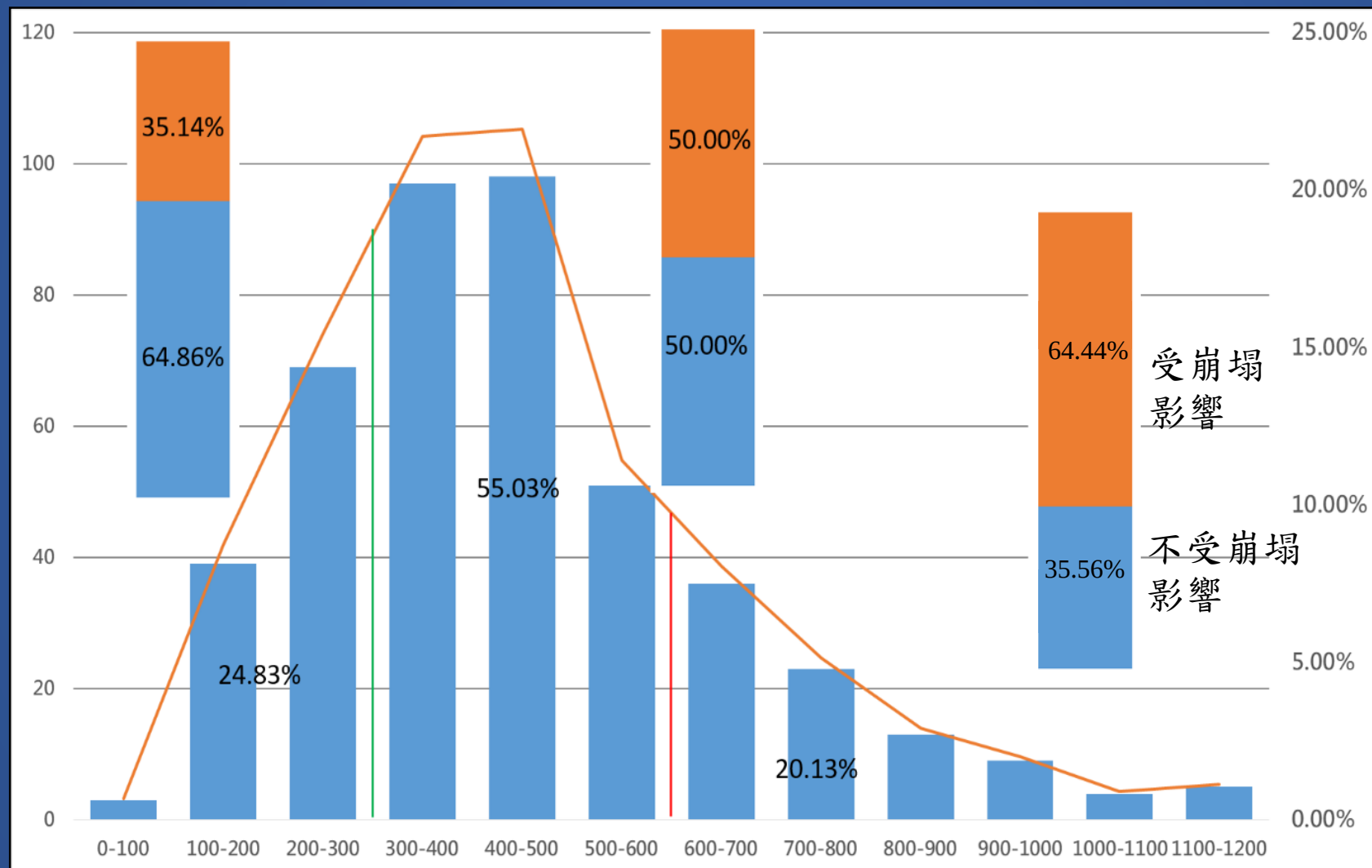






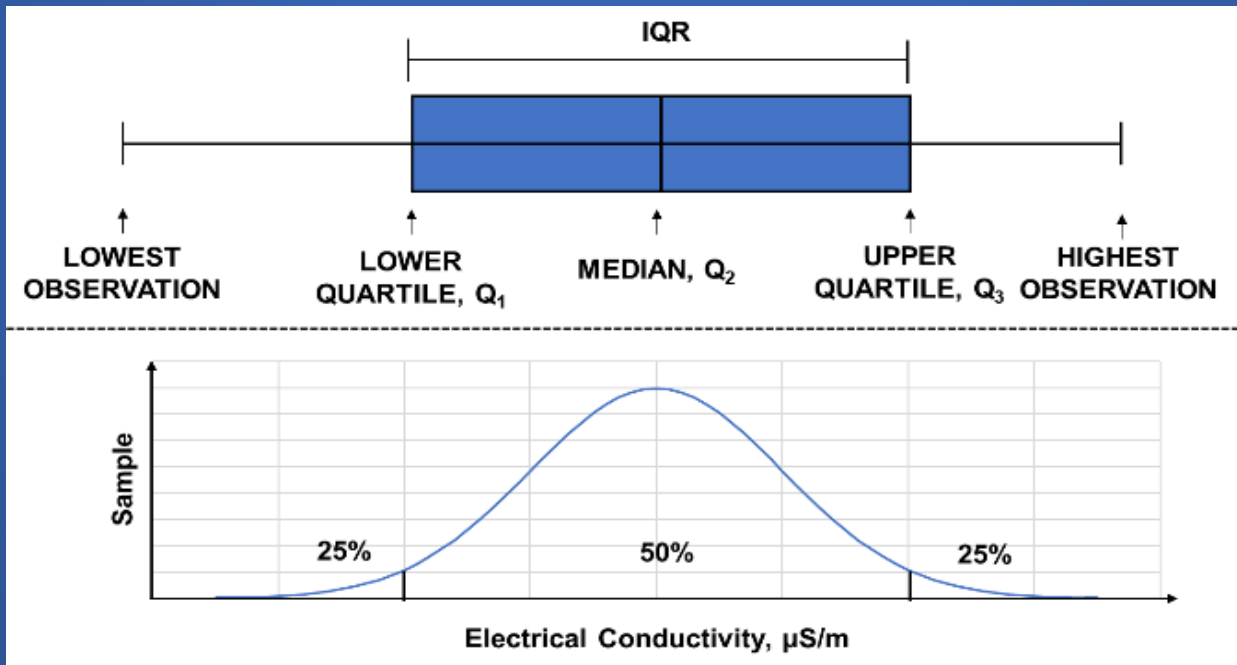


3.2 水質特徵背景值建立



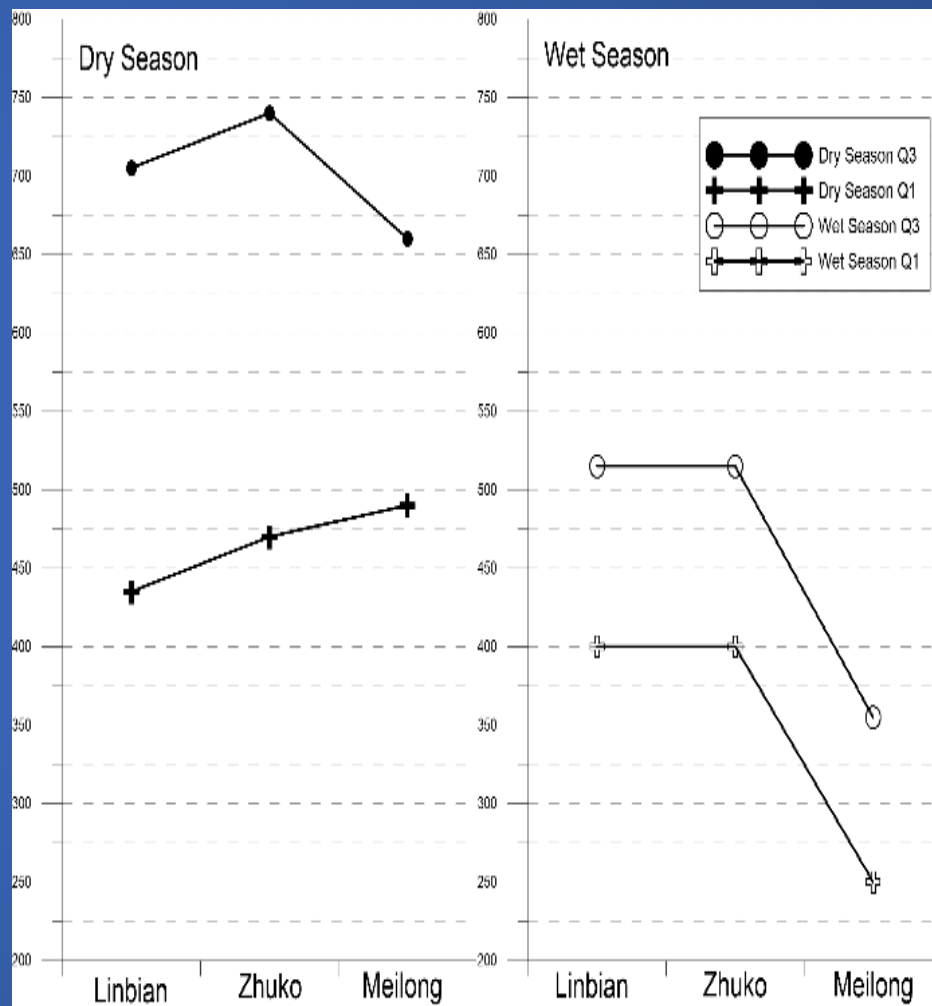
3.2 水質特徵背景值建立

- 考慮到電導度之變化並非固定值，因此分析上以盒鬚圖來探討其分布。



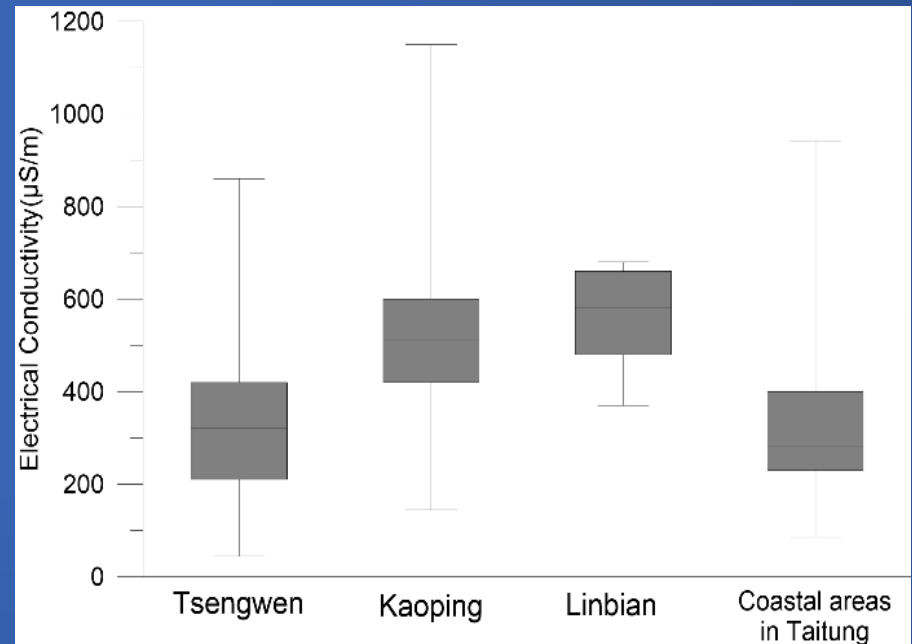
3.2 水質特徵背景值建立-時間差異

- 在非汛期採集的水樣，其電導度值分布範圍明顯高於汛期採集之水樣。
- 因此若針對汛期期間之電導度，若有明顯變化出現，會較非汛期期間容易觀測到。



3.2 水質特徵背景值建立-空間差異

- 針對不同流域的電導度觀測值，同樣會出現明顯之差異。
- 以結果來看林邊溪最高、次之為高屏溪、再次之為曾文溪，最低為東部海岸集水區。
- 同樣的電導度若有明顯變化出現，應該可以觀測到。



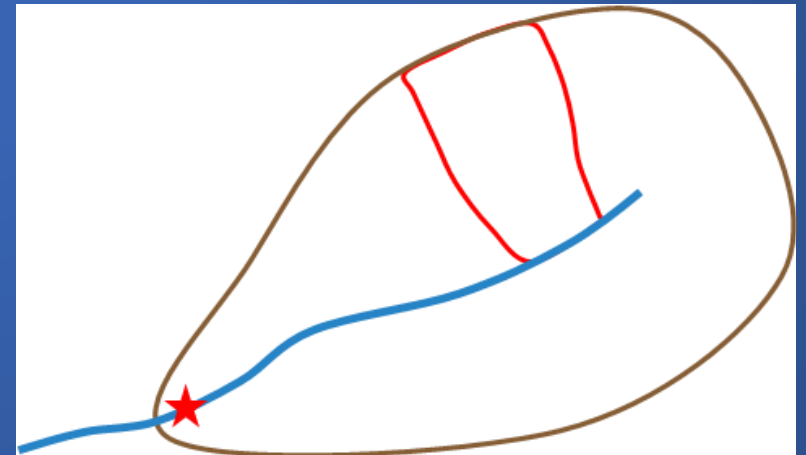
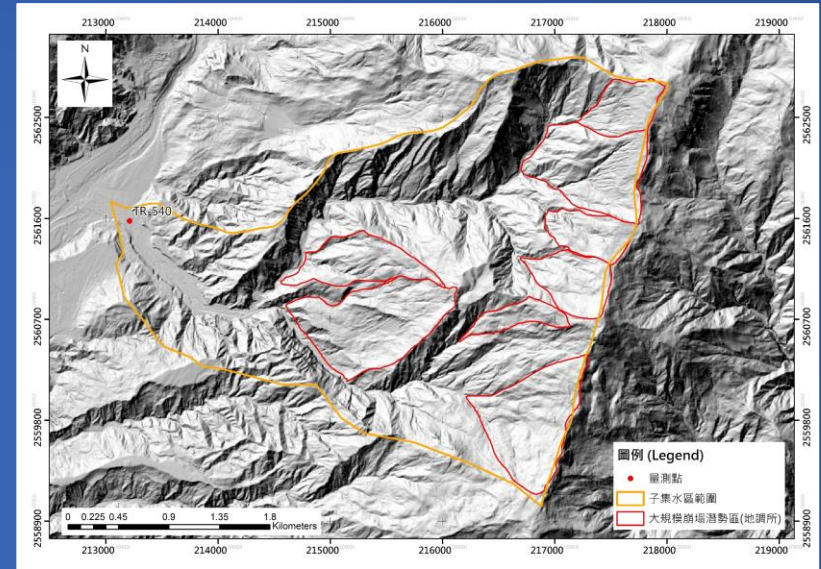
3.3 廣域水質特徵調查

- 本研究將針對子集水區的潛勢崩塌率與電導度之關係

潛勢崩塌率

$$= \frac{\text{大規模崩塌潛勢區面積}}{\text{子集水區面積}}$$

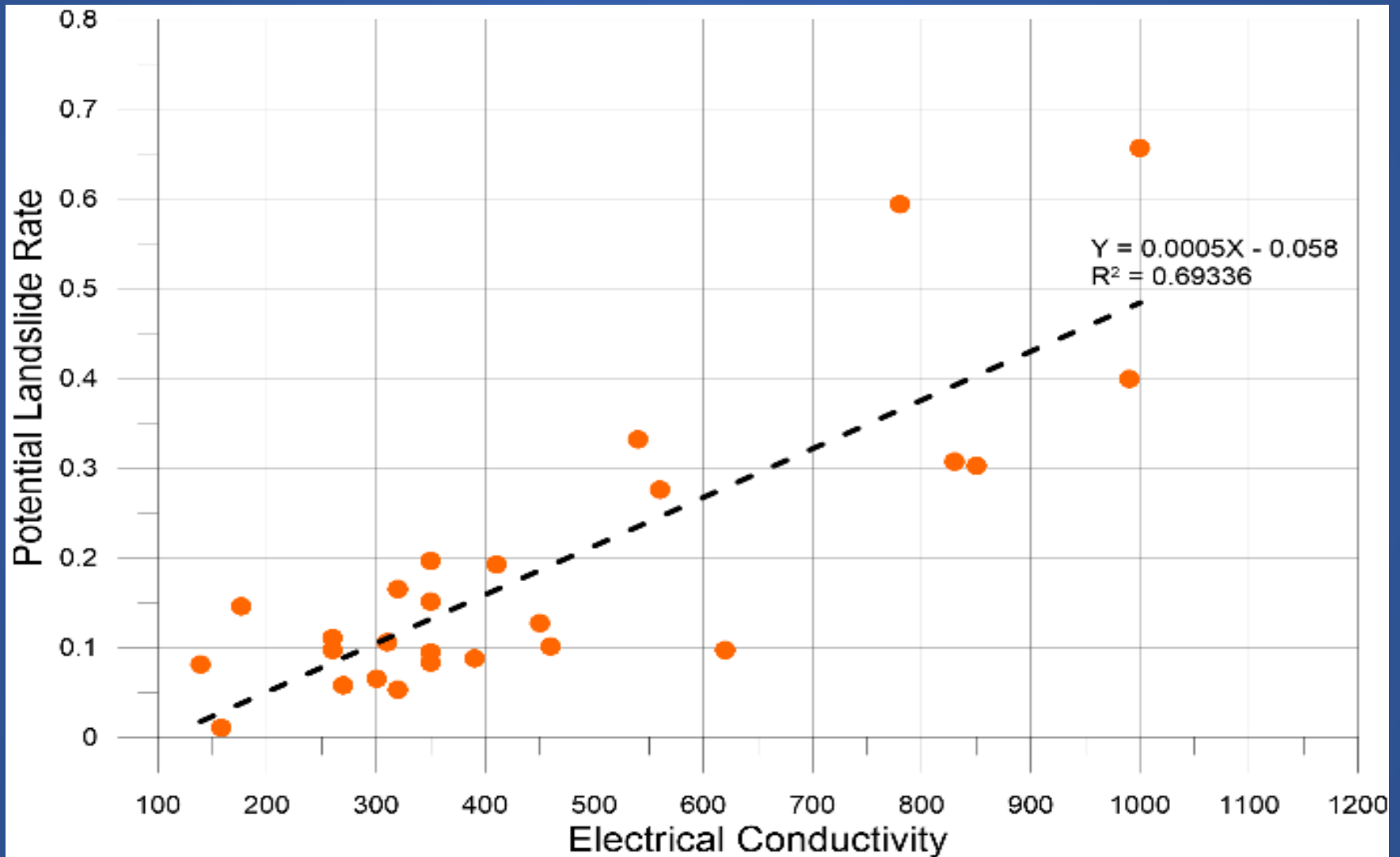
集水樣可篩選出24處集水區進行分析



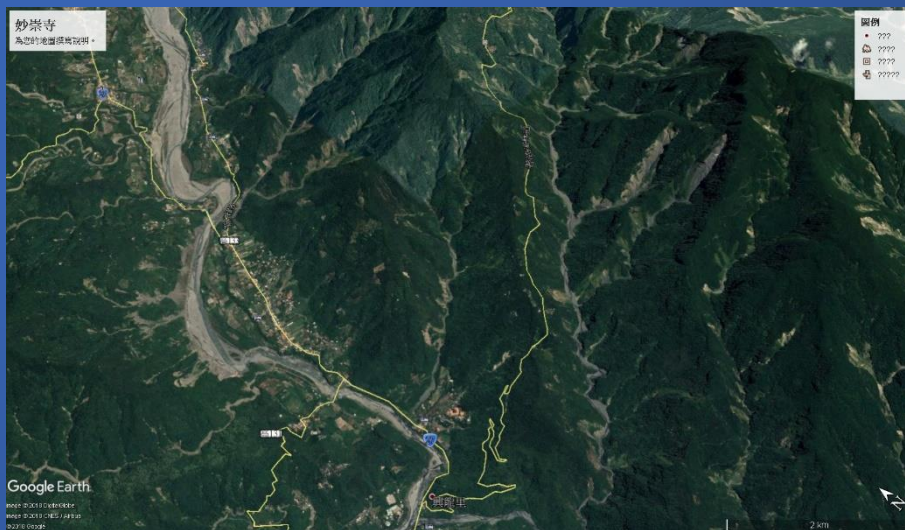
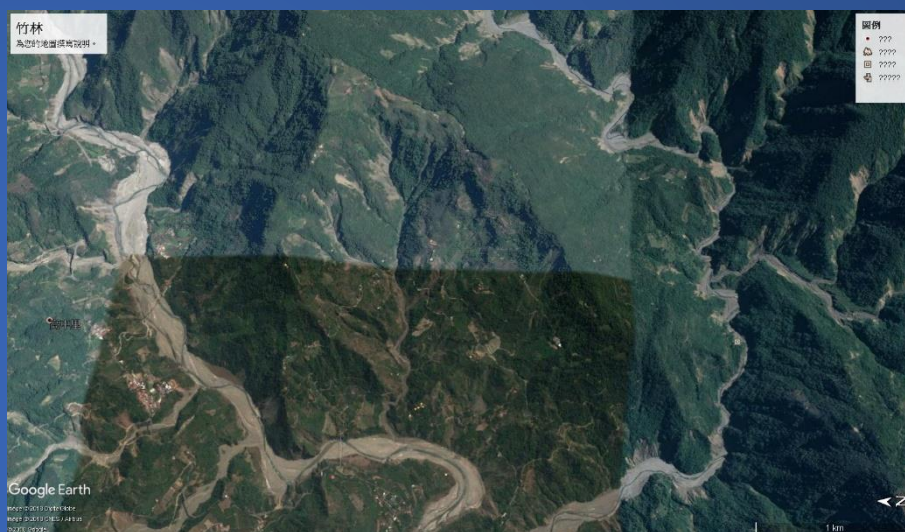
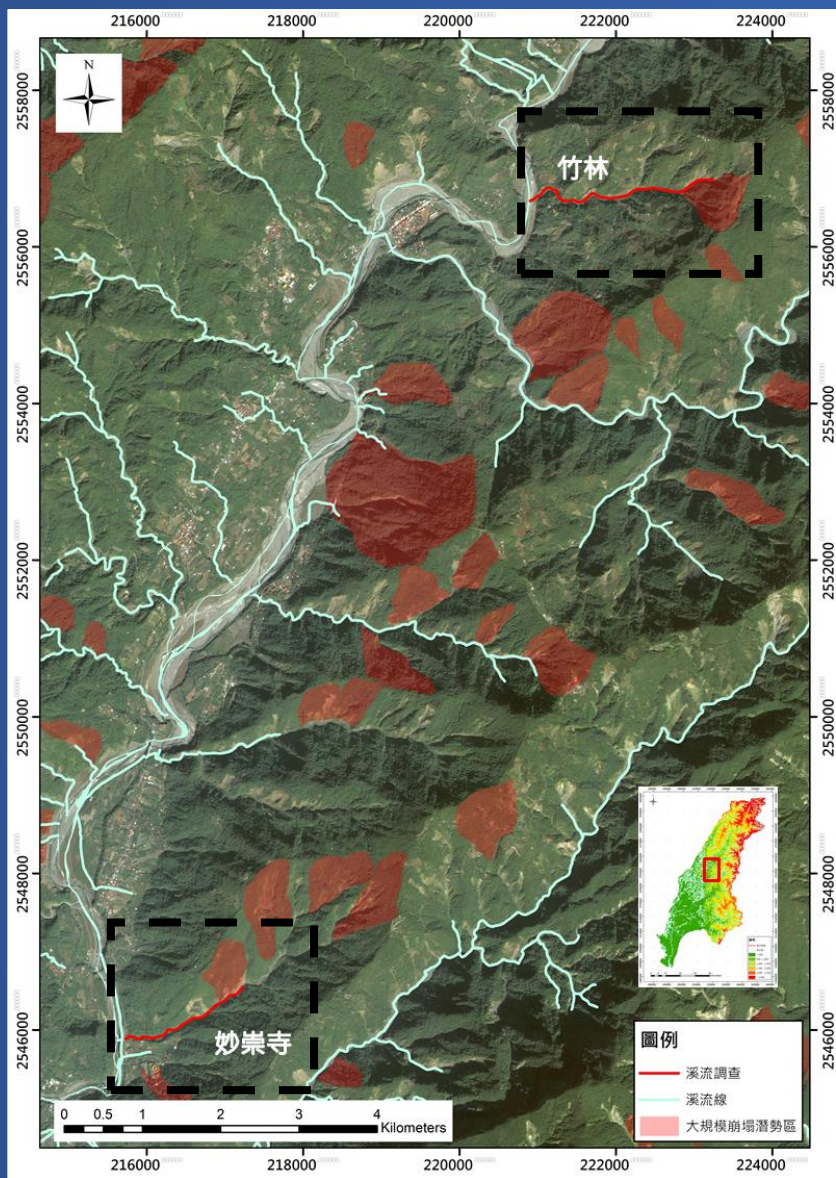
3.3 廣域水質特徵調查

Name of watershed	Area of watershed (ha)	Basin	Geology	Area of PLA (ha)	Potential landslide rate (%)	EC (μS/m)
Zhiben	15,578	Taitung	Alluvium	164	1.05	158
Daxi	3,990	Taitung	Alluvium	440	11.02	260
Daniao	4,346	Taitung	Sandstone Lentils	422	9.71	260
Nanpingpu	1,249	Kaoping	Massive Sandstone	66	5.30	320
Youkuang	1,308	Kaoping	Massive Sandstone	216	16.50	320
Huaguoshan	5,093	Kaoping	Massive Sandstone	421	8.26	350
Putou	3,042	Kaoping	Massive Sandstone	267	8.77	390
Zhipu river	879	Kaoping	Massive Sandstone	111	12.66	450
Wuziliaobei	1,042	Kaoping	Massive Sandstone	345	33.15	540
Huaguoshan	448	Kaoping	Massive Sandstone	43	9.70	620
Putou	98	Kaoping	Massive Sandstone	39	39.92	990
Zhenwoshan	10,710	Kaoping	Sandstone and Shale	614	5.74	270
Zhuowushan North	1,957	Kaoping	Sandstone and Shale	184	9.42	350
Meilunshan	525	Kaoping	Sandstone and Shale	161	30.70	830
Dongtengzhi	2,869	Kaoping	Argillite or Slate	289	10.06	460
Ailiaobei	2,407	Kaoping	Argillite or Slate	663	27.53	560
Zhipu	98	Kaoping	Argillite or Slate	58	59.36	780
Shanhuangma	2,697	Tsengwen	Limestone lentils	530	19.64	350
Shanmeiqiao	551	Tsengwen	Massive Sandstone	58	10.55	310
Caoshan	915	Tsengwen	Sandstone and Shale	74	8.07	139
Hudiqiao	890	Tsengwen	Sandstone and Shale	130	14.57	176
Dabang	1,097	Tsengwen	Sandstone and Shale	71	6.51	300
Huanggoukeng	695	Tsengwen	Sandstone and Shale	105	15.11	350
Longmei	647	Tsengwen	Sandstone and Shale	125	19.24	410 ³⁷

3.3 廣域水質特徵調查

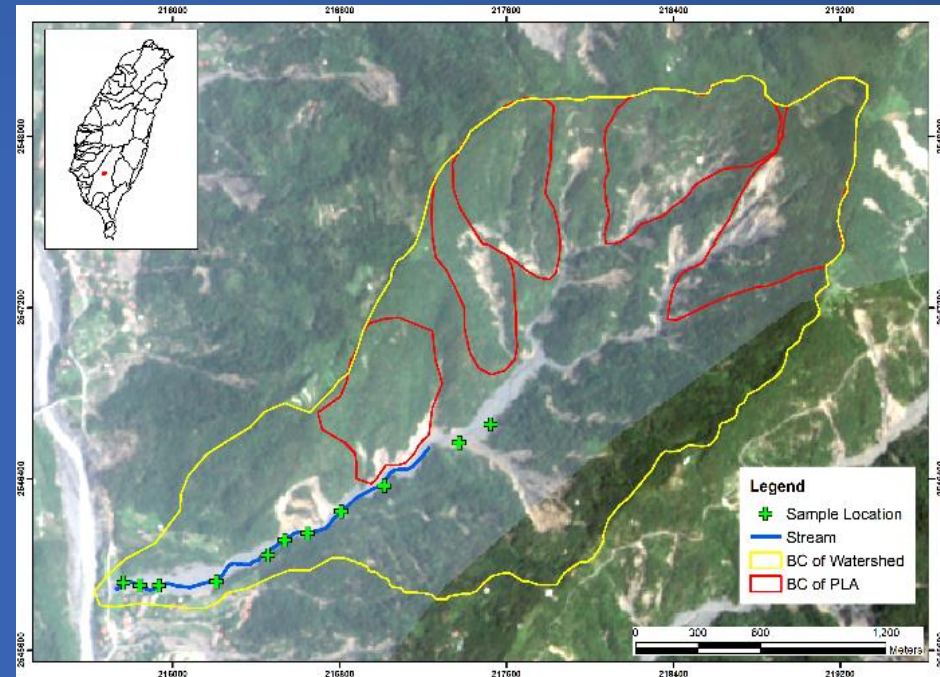


3. 4區域性水質特徵調查成果

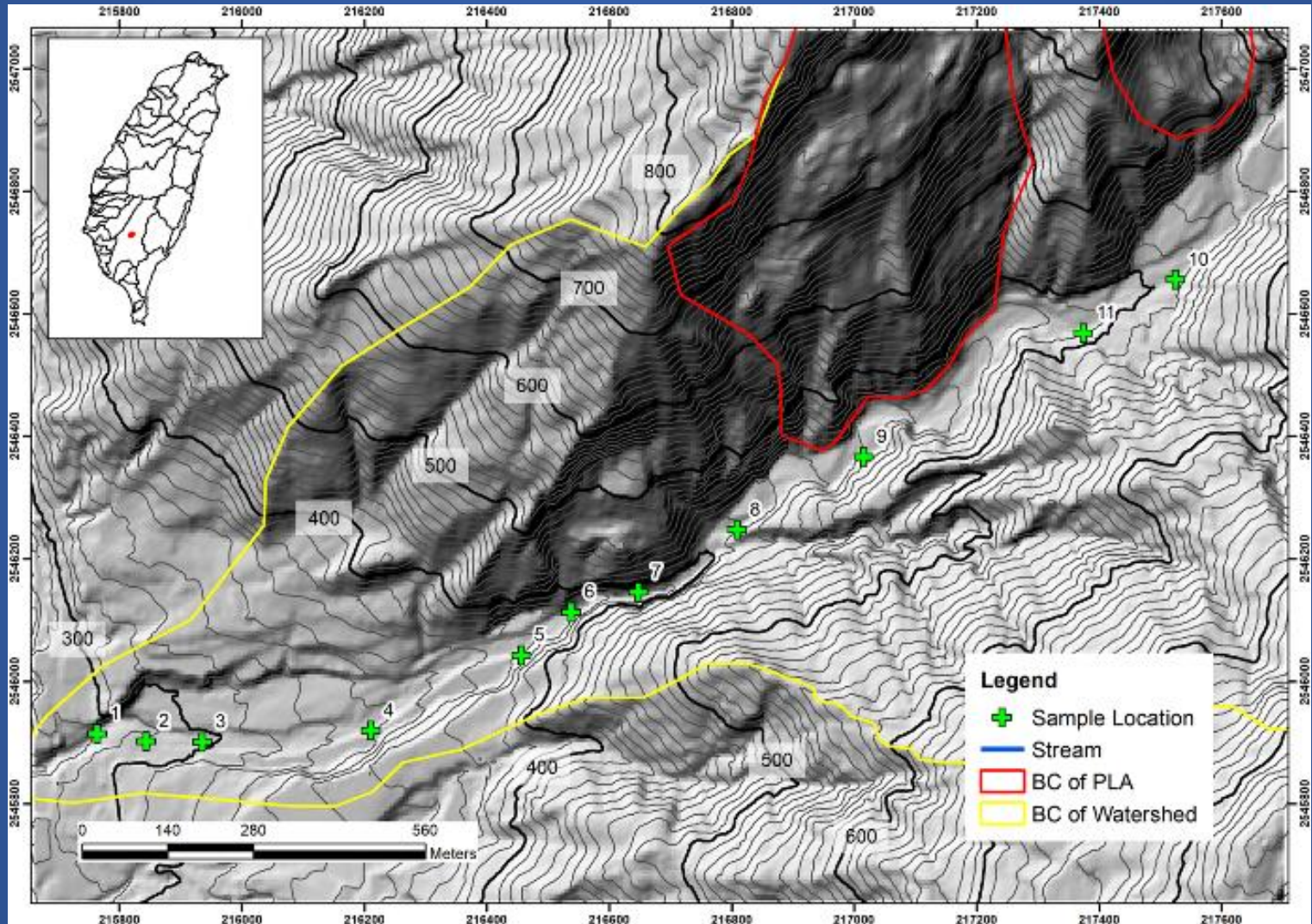


高雄市六龜區興龍里

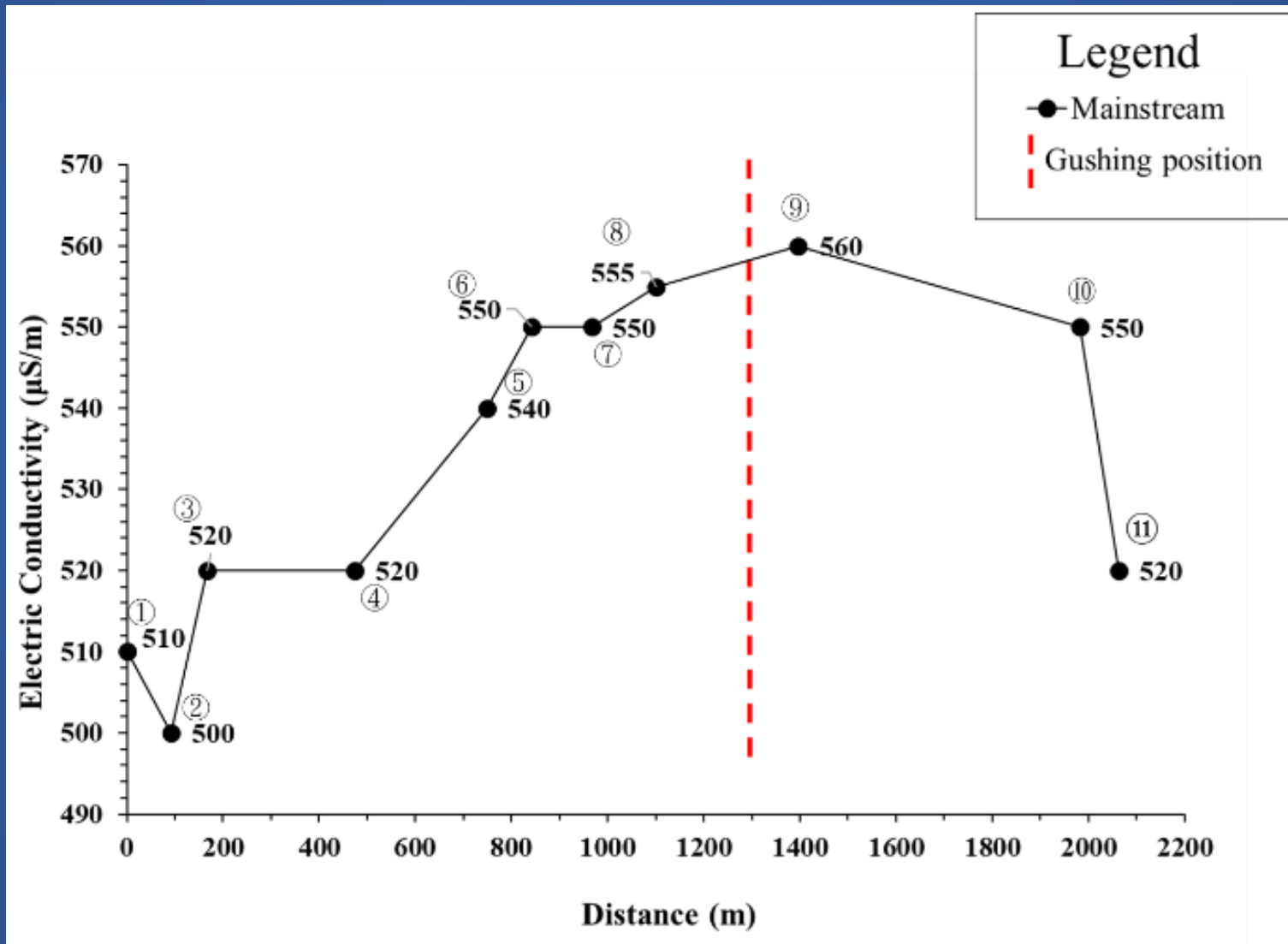
- 該集水區地質主要以潮州層為主，並且於該溪中上游位置有多處大規模崩塌潛勢區
- 該溪流為水土保持局列管之土石流潛勢溪流，編號為高市DF054，
- 2009年莫拉克時有發生過歷史災害。



高雄市六龜區興龍里採樣紀錄

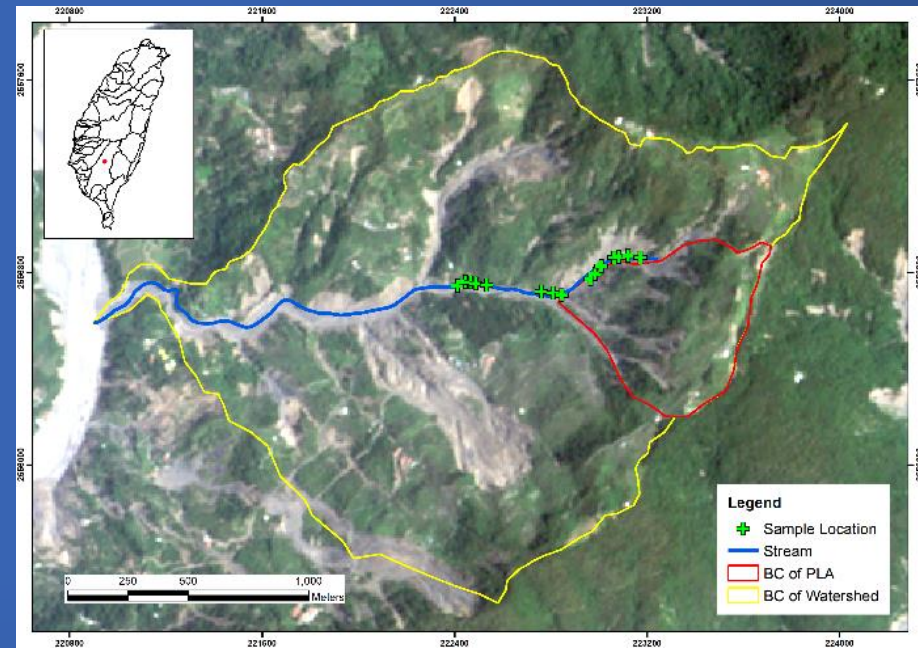


高雄市六龜區興龍里量測成果

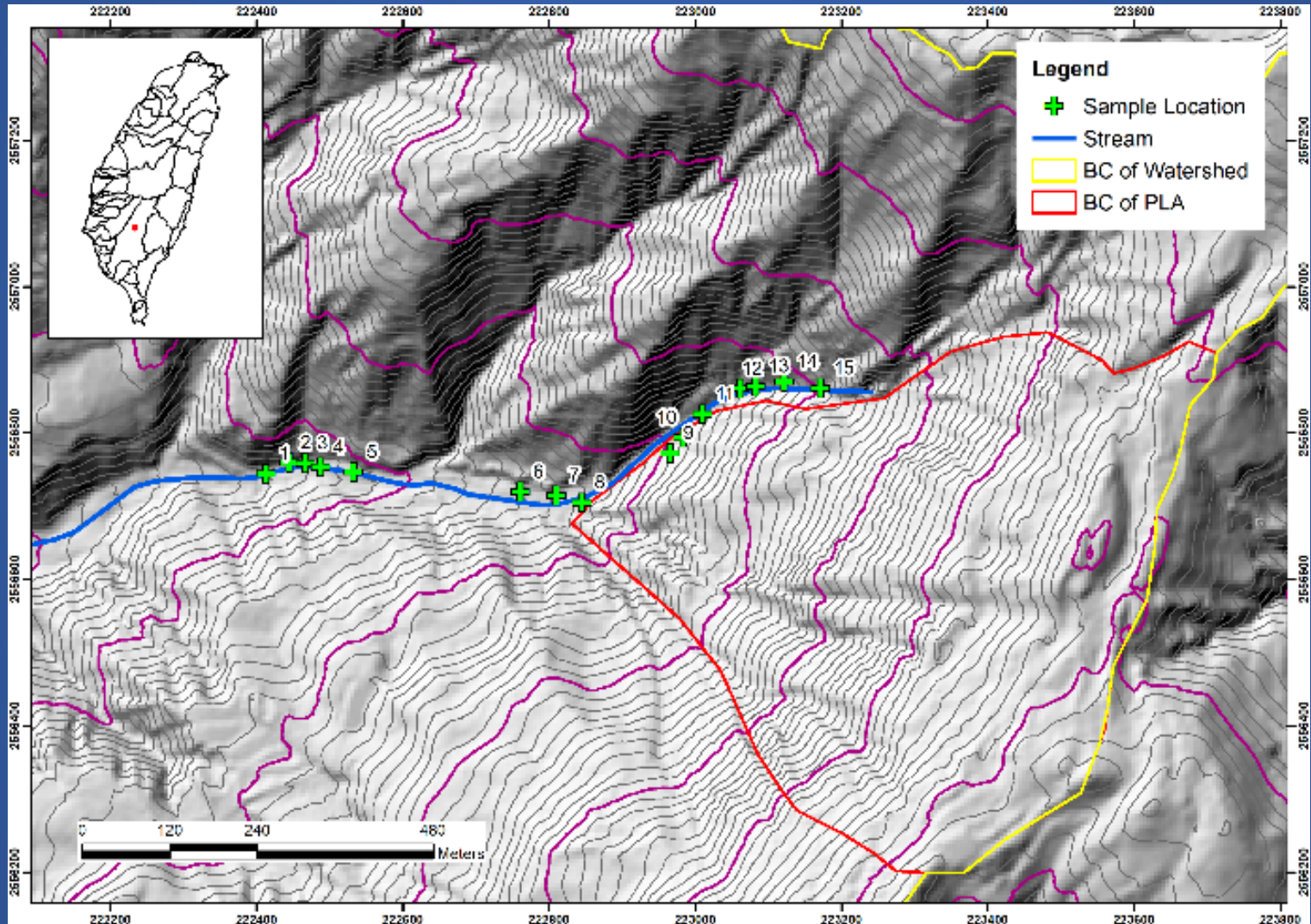


高雄市六龜區寶來里

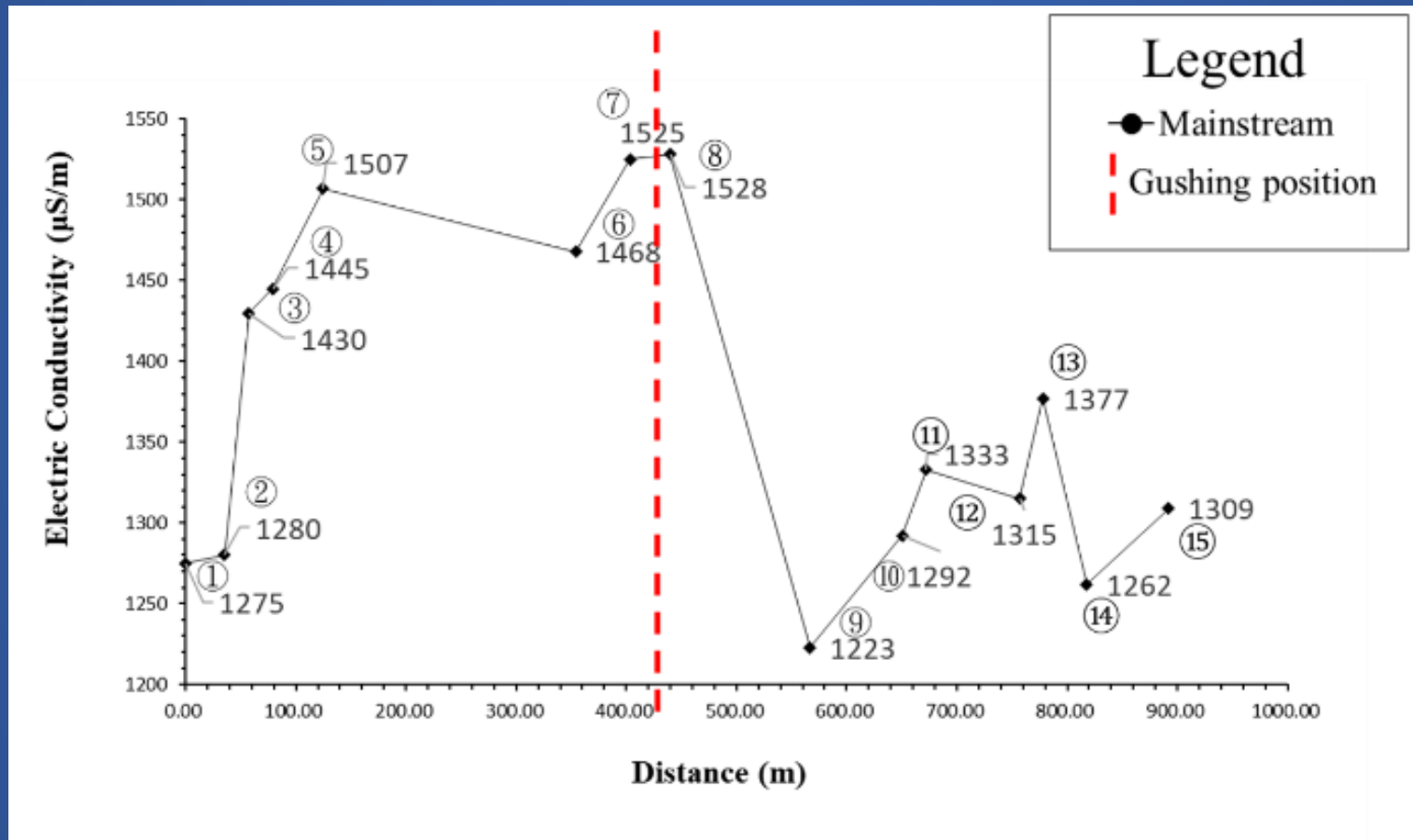
- 此區以潮州層為主，並且位於溪流上游左岸有一個大規模崩塌潛勢區。
- 溪流兩岸坡面地形差別極大，溪流右岸坡面範圍較小、坡度較陡、整體地形較崎嶇；溪流左岸坡面範圍較大、坡度較緩。
- 2009年受到莫拉克風災後發育多個大面積的崩塌發生



高雄市六龜區寶來里採樣紀錄



高雄市六龜區寶來里量測成果



4.1 結論

- 本研究以現場調查的方式，進行台灣中部、南部、東部之水樣採集與分析。
 - 大範圍調查以濁水溪主流、萬大溪、嘉義縣阿里山、高雄縣小林區、六龜區、茂林區、屏東縣來義部落、台東縣紅葉部落、大鳥部落
 - 小範圍調查包括高雄市寶來區竹林及六龜區妙崇寺旁土石流潛勢溪流
- 廣域電導度差異分析
 - 時間差異上，乾季的電導度值差異大於濕季的電導度值。
 - 空間差異上，林邊溪最高、次之為高屏溪、再次之為曾文溪，最低為東部沿海集水區。

4.1 結論

- 局部電導度差異分析
 - 越靠近崩塌潛勢區時，水體電導度會增加
 - 當遠離崩塌地時，水體電導度會逐漸降低
 - 同地區潛勢區內湧水水體電導度較非潛勢區為高
 - 現生崩塌亦會提高水體之電導度。
- 從目前調查成果，電導度與潛勢崩塌率有不錯之正相關關係。

4.2 建議

- 增加採樣位置空間分布
 - 根據Kosugi(2016)之分析，電導度與湧水之關聯性在透水層及不透水層中間累積有大量地下水的地區特別有效，這在火成岩地區特別明顯，但對於砂岩或頁岩地區則需要持續地觀察才可確認。
 - 本研究目前已完成台灣中、南部及東部地區之潛在大規模崩塌區水樣特徵調查為主，後續應持續增加台灣各地之水質特徵之調查。
- 水文關聯性分析
 - 大規模崩塌區電導度較高之主要原因為由潛勢區坡面流出的湧水跟雨水還有伏流水比起來電導度相當的高，因此實務上應該以湧水量作為大規模崩塌活動性之判斷。
 - 然在豪大雨期間流量觀測不易，因此如何透過電導度來觀測湧水量為後續應加強之工作，亦即將降雨量、地下水流量與電導度三因子之關聯性進行分析。
 - 未來調查點位選擇除了以大規模崩塌潛勢區，也可以應用山區地下水調查資料來篩選採樣點。

- 本計畫已與日本拓和公司 (Takuwa) 取得合作協議，未來可安裝湧水觀測計、電導度觀測計、濁度計等於重點集水區進行安裝，以記錄連續之水質變化。



報告完畢，謝謝聆聽