



113年坡地災害監測技術交流及分享會議



微地動監測應用於公路防災預警及告警系統

國立陽明交通大學
土木工程學系
趙韋安副教授團隊

簡報者：張睿明博士





落石告警

無落石狀態

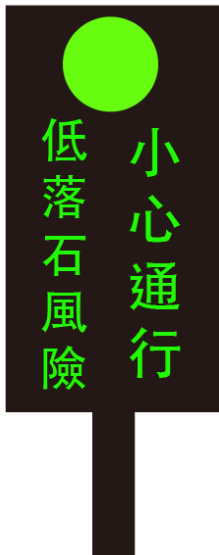
台7 49.7k
大曼邊坡



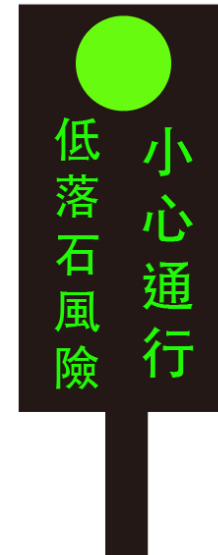
微地動儀



微地動儀



示警立牌



地表過程地動監測研究室
Comprehensive Landtoring Lab



落石告警

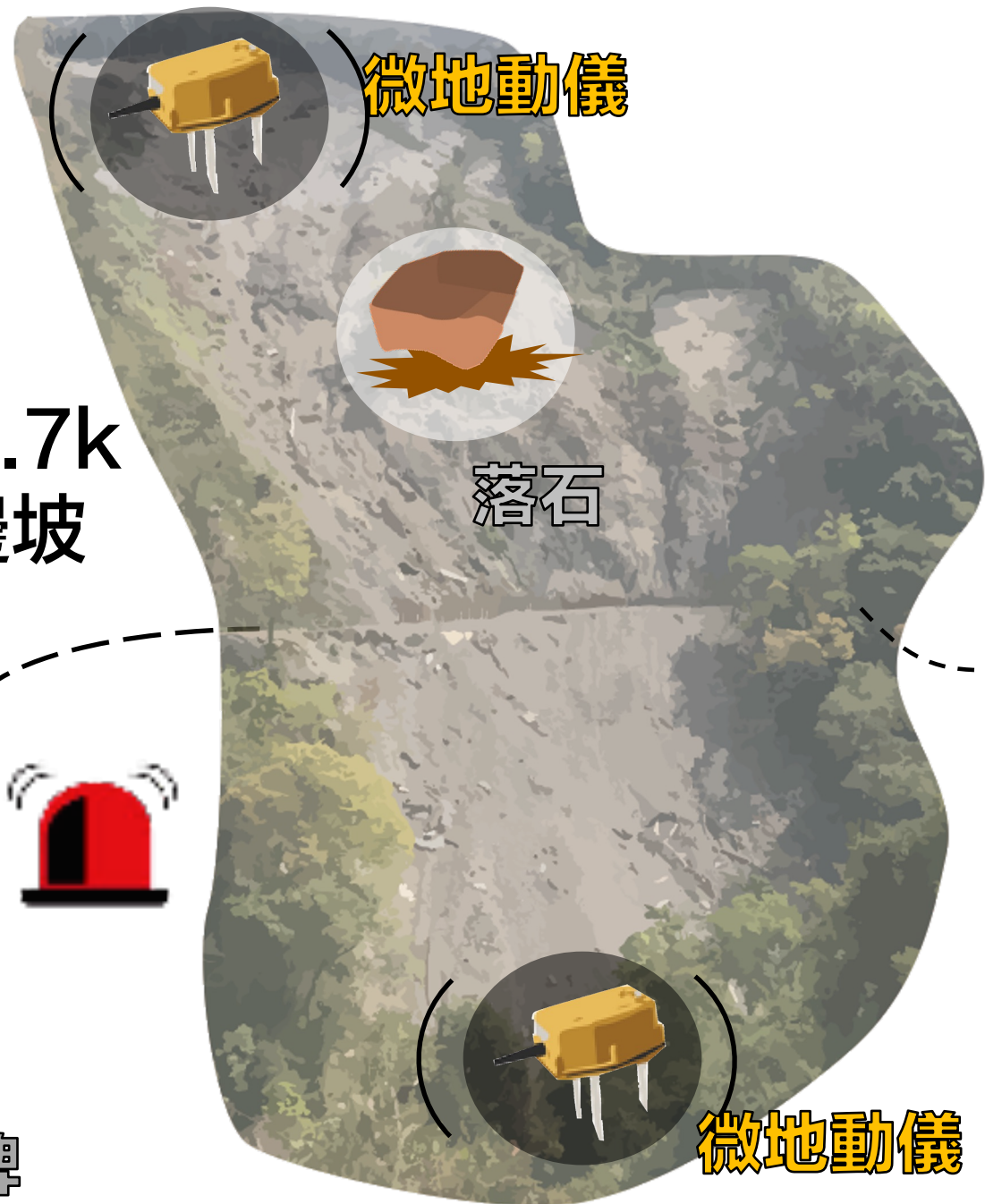
落石發生

第一次彈跳後
10秒內變換燈號

台7 49.7k
大曼邊坡



示警立牌

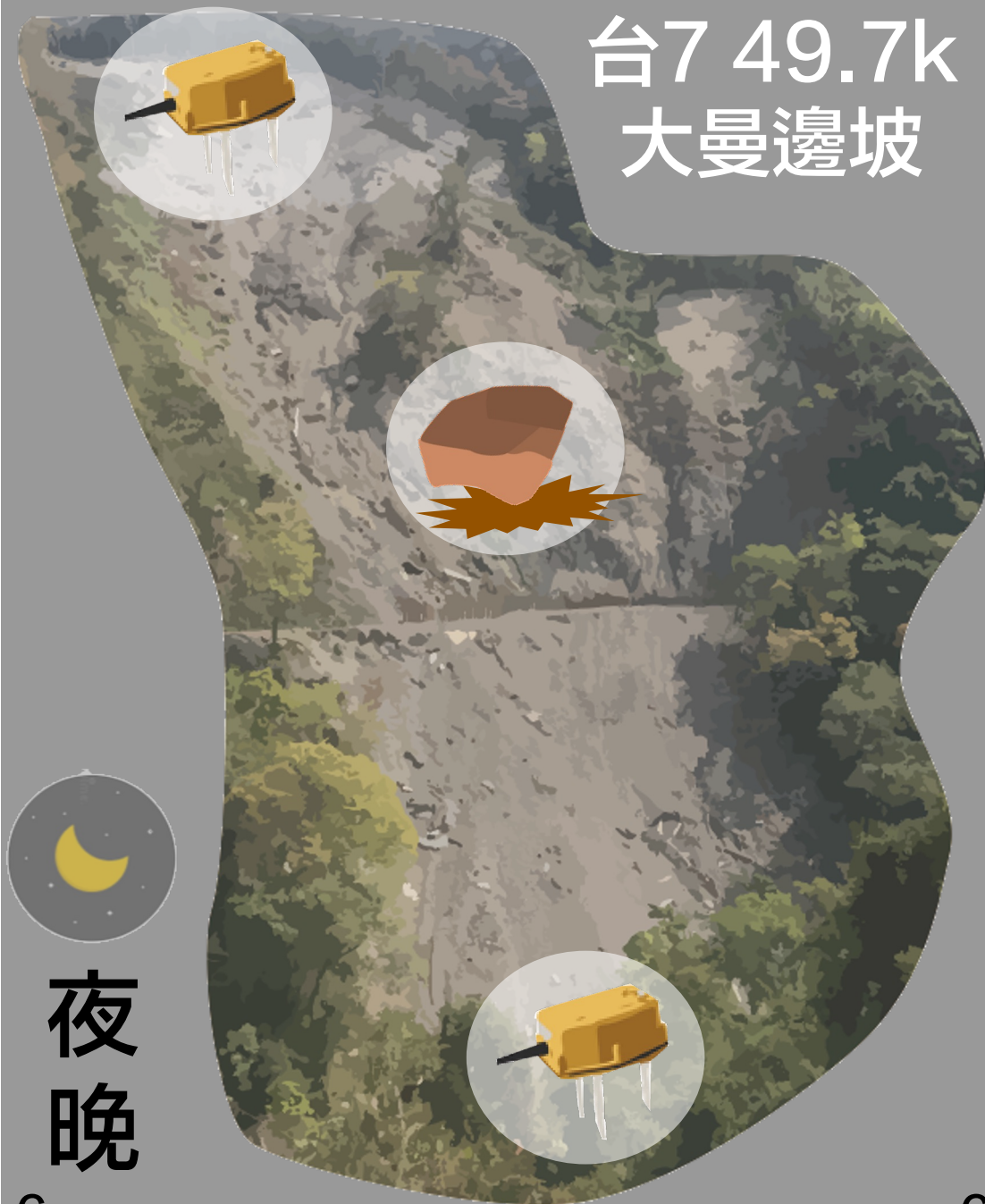


微地動儀

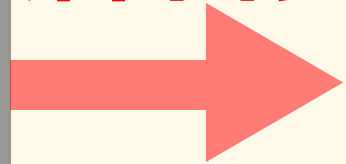


地表過程地動監測研究室
Comprehensive Land Monitoring Lab

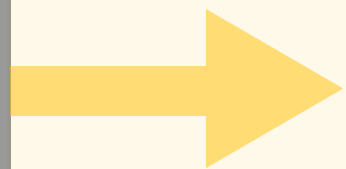
落石預警



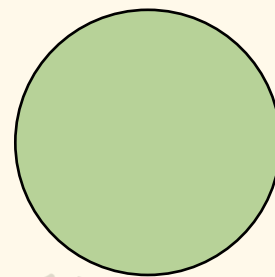
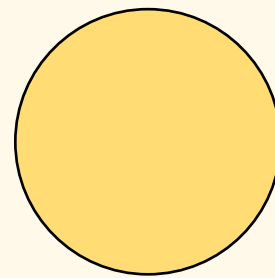
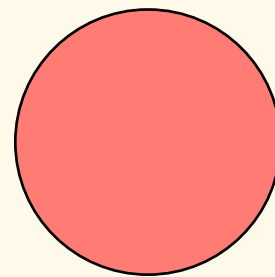
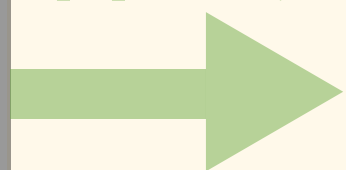
落石多



落石中



落石少



風險示警
紅黃綠



白天



地表過程地動監測研究室
Comprehensive Landtoring Lab

儀器建置

儀器配置

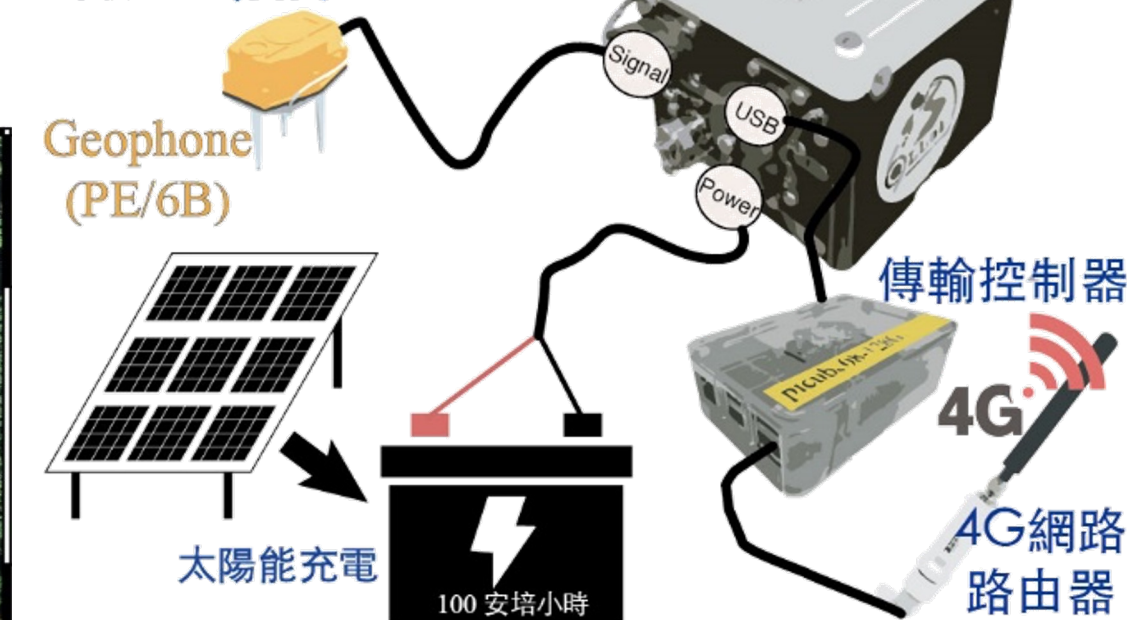
儀器位置



儀器配置

微地動儀 訊號記錄器

微地動儀 訊號記錄器



儀器安裝 方位校正

儀器安裝 方位校正



微地動訊號

原始
波形

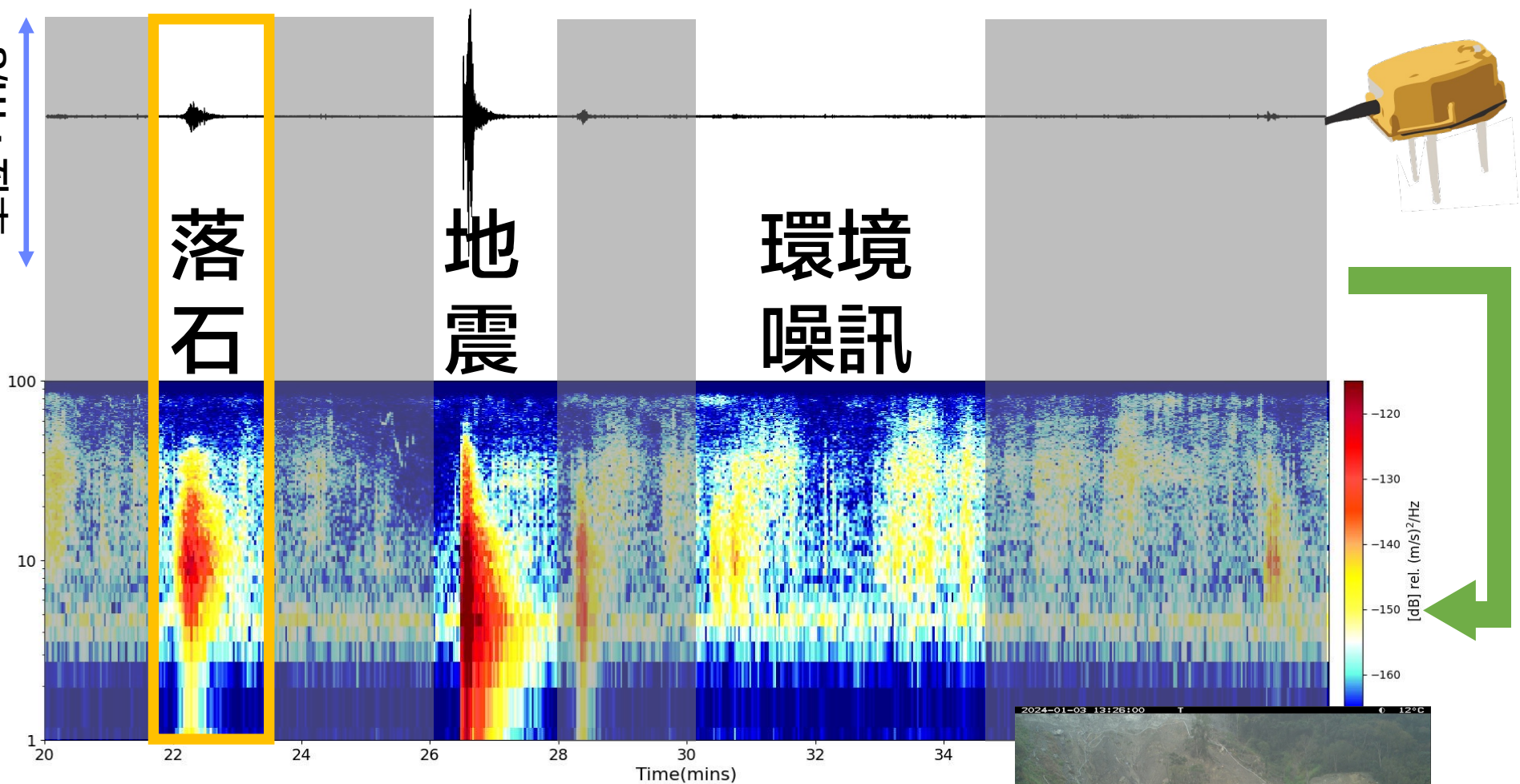
振幅

單位: m/s

時間
頻率
功率
譜密
度圖

頻率(Hz)

(時頻圖)



傅立葉轉換



監測研究室
Monitoring Lab

落石類型



落石類型一



落石類型二



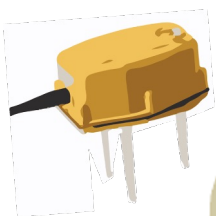
落石延時長

落石類型三



落石分類

DH2G



落石(小於100kg)持續時間短且停留於上邊坡

落石類型一

落石(大於等於100kg)
掉落於路面或下邊坡

落石類型二

參數式判定

11 個微地動參數值

兩測站之訊噪比(無因次)

兩測站之累積功譜密度值(dB) 兩測站最大累積功

譜密度值出現點之時間差(秒)

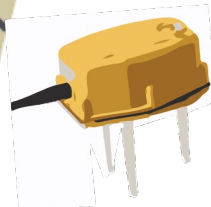
兩測站累積功譜密度值曲線之最大相互相關係數
(無因次)

兩測站之累積功譜密度值差異(dB)

DH1G之20-50Hz赫茲大於-145 dB的離散格
點數(無因次)

DH2G之1-5赫茲、5-10赫茲、30-50赫茲和
50-100赫茲大於-145 dB的離散格點數(無因次)

DH1G

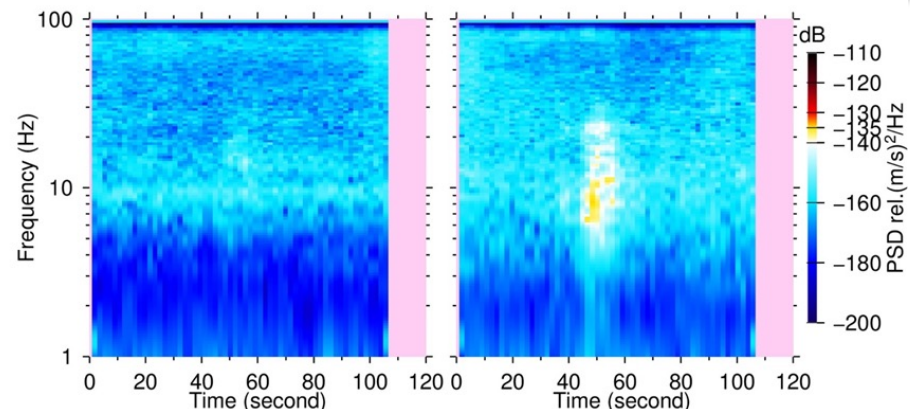


落石(大於等於
100kg)持續時間長

落石類型三

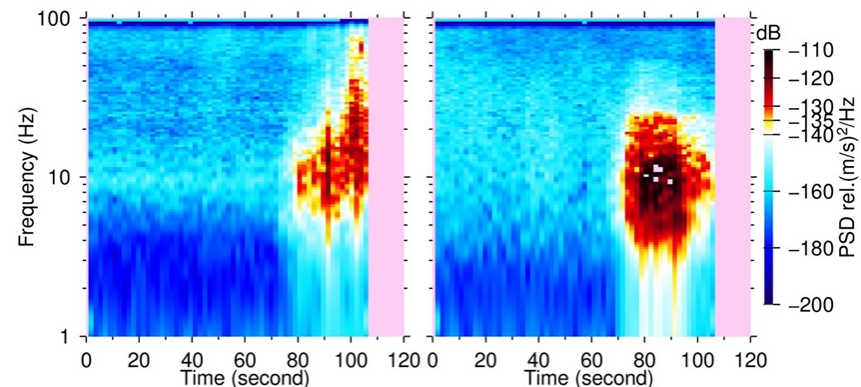
Base Station: DH1G

Top Station: DH2G



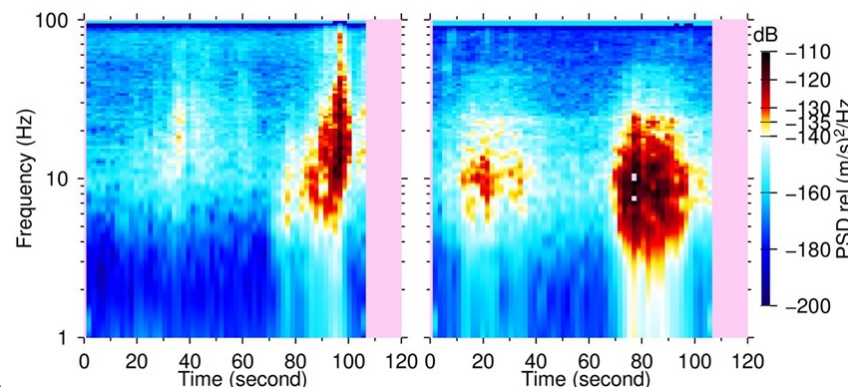
Base Station: DH1G

Top Station: DH2G



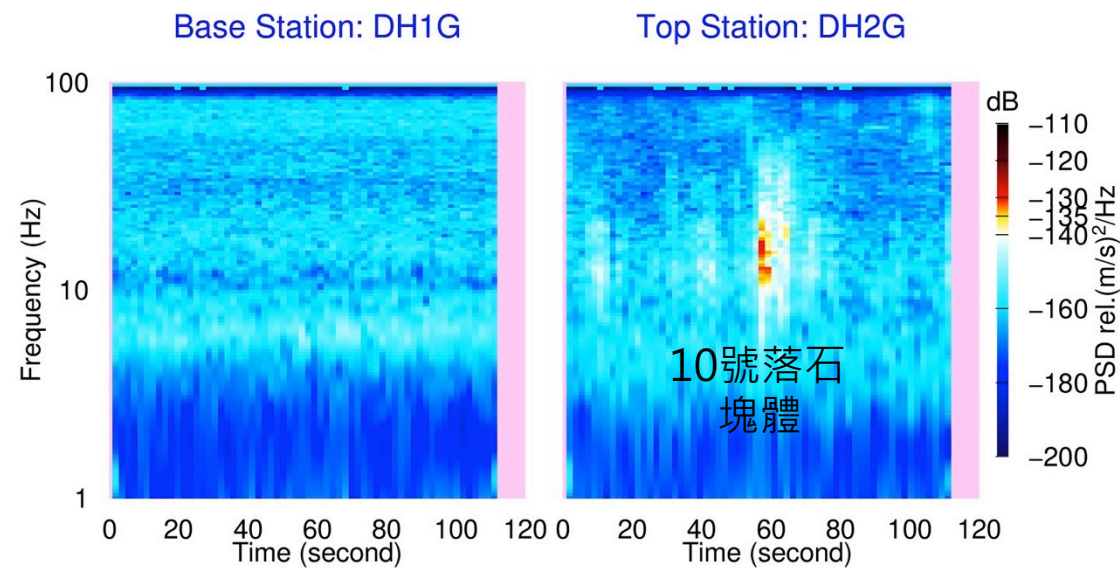
Base Station: DH1G

Top Station: DH2G

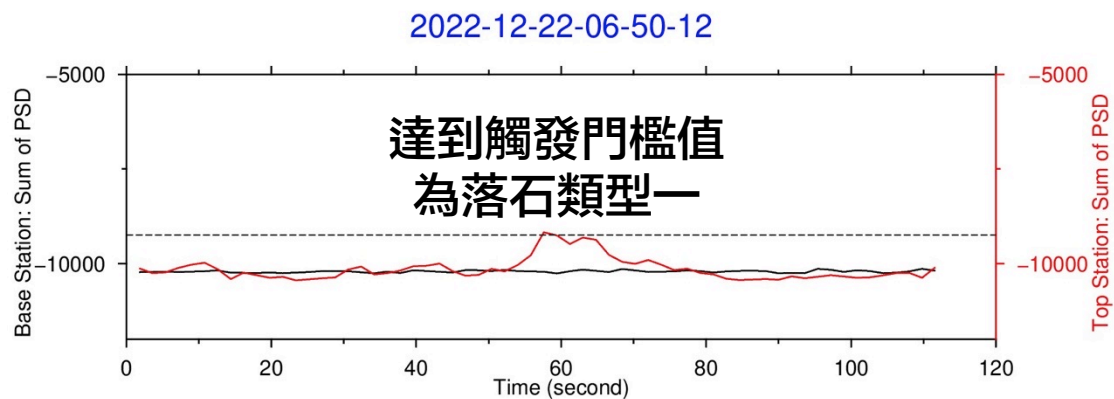


落石試驗驗證

2022.12.19



長 45.8cm 寬 27.0cm 高 13.1cm



距離測站約
80m

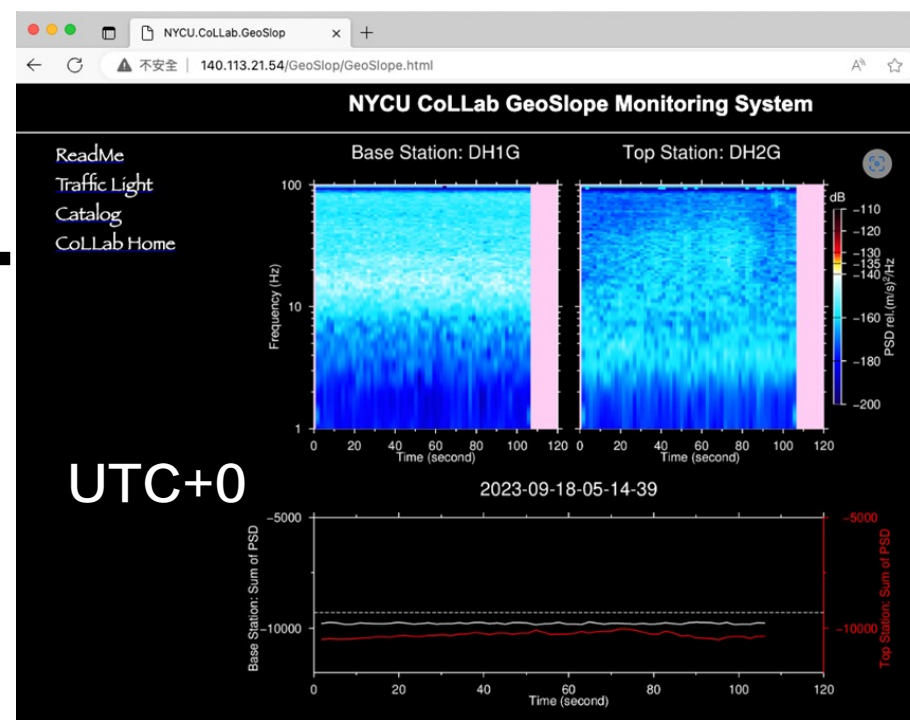
★上邊坡僅有單一落石的發生，便會觸發即時系統★



地表過程地動監測研究室
Comprehensive Land Monitoring Lab



資料展示 風險分級



20230913.csv			
No	DateTime(UTC+0)	Time(sec)	Type
1	2023-09-13-04-10-57	77.4000015	, TYPE NOISE
2	2023-09-13-04-49-44	79.2000046	, TYPE EARTHQUAKE
3	2023-09-13-07-53-15	45.0000000	, TYPE NOISE
4	2023-09-13-09-28-11	77.4000015	, TYPE NOISE
5	2023-09-13-09-31-11	37.8000031	, TYPE NOISE
6	2023-09-13-09-43-46	77.4000015	, TYPE EARTHQUAKE
7	2023-09-13-10-29-11	72.0000000	, TYPE NOISE
8	2023-09-13-10-43-19	73.8000031	, TYPE EARTHQUAKE
9	2023-09-13-11-48-37	73.8000031	, TYPE EARTHQUAKE
10	2023-09-13-14-30-27	82.8000031	, TYPE NOISE
11	2023-09-13-14-31-30	82.8000031	, TYPE NOISE
12	2023-09-13-17-48-42	36.0000000	, TYPE NOISE
13	2023-09-13-17-49-27	77.4000015	, TYPE NOISE
14	2023-09-13-19-45-03	75.6000061	, TYPE EARTHQUAKE
15	2023-09-13-21-19-02	77.4000015	, TYPE EARTHQUAKE
16	2023-09-13-21-31-32	37.8000031	, TYPE EARTHQUAKE
17	2023-09-13-22-00-26	66.6000061	, TYPE I
18	2023-09-13-22-25-27	75.6000061	, TYPE EARTHQUAKE
19	2023-09-13-22-30-50	81.0000000	, TYPE NOISE

↑ 編號 ↑ 訊號窗口起始時間
年-月-日-時-分-秒 ↑ 訊號於時間
窗口之秒數 ↑ 訊號類別

預警燈號規則

燈號	說明(長亮)	落石數量 N1 類型一	邏輯 值	落石數量 N2 類型二	邏輯 值	落石數量 N3 類型三	其他判斷 邏輯
綠	低落石 風險 小心通行	$N1 \leq 6$	and	$N2 \leq 2$	and	$N3 = 0$	
黃	中落石 風險 快速通行	$6 < N1 \leq 24$	or	$2 < N2 \leq 4$	and	$N3 = 0$	
紅	高落石 風險 管制通行	$N1 > 24$	or	$N2 > 4$	or	$N3 \geq 1$	不滿足黃 燈邏輯



示警燈號規則展示

預警

告警

白天燈號顯示



綠燈-> "低落石風險 小心通行"

黃燈-> "中落石風險 快速通行"

紅燈-> "高落石風險 管制通行"

夜間燈號顯示



紅燈-> "落石風險區
夜間禁止通行"

燈號 蜂鳴	說明 (閃爍)	觸發示警邏輯	解除警戒並恢復預警 燈號狀態邏輯	備註
	前有落石 禁止通行	類型二事件發生	持續無事件發生時間 大於10分鐘	觸發期間若有事件發生 則持續無事件發生時間 需重新累計, 並於觸發 當下 長鳴1分鐘
	前有落石 禁止通行	類型三事件發生	持續無事件發生時間 大於1小時	

告警立牌連動雨量資訊預警



雨量門檻

一級監控路段	實體參考雨量站	雨量站站碼	預警值			警戒值					行動值
			10分鐘雨量(mm)	邏輯值	1小時雨量(mm)	1小時雨量(mm)	邏輯值	3小時雨量(mm)	邏輯值	24小時雨量(mm)	24小時雨量(mm)
台7線巴陵~西村 (46.9K~60.7K)	巴陵	21C070	15	OR	30	40	OR	120	OR	180	200

雨量門檻 對應 示警燈號

燈號	說明(長亮)	雨量
黃	中落石風險 快速通行	達預警值
紅	高落石風險 管制通行	達警戒值

[介接水利署即時雨量資訊，連動告示牌進行預警](#)

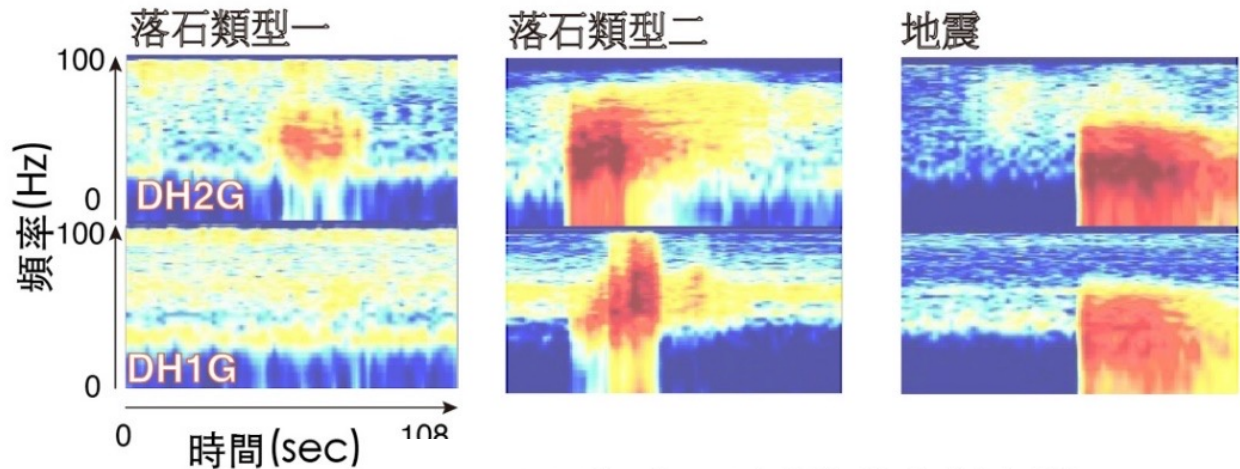


地表過程地動監測研究室
Comprehensive Landtoring Lab

AI 判定



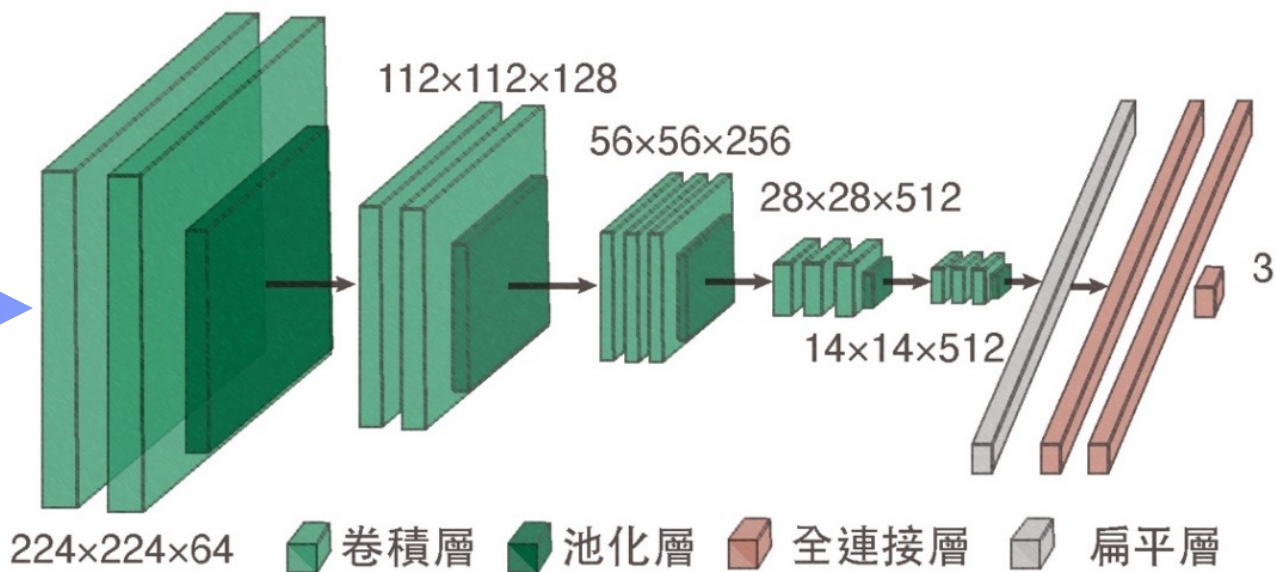
疊合時頻圖



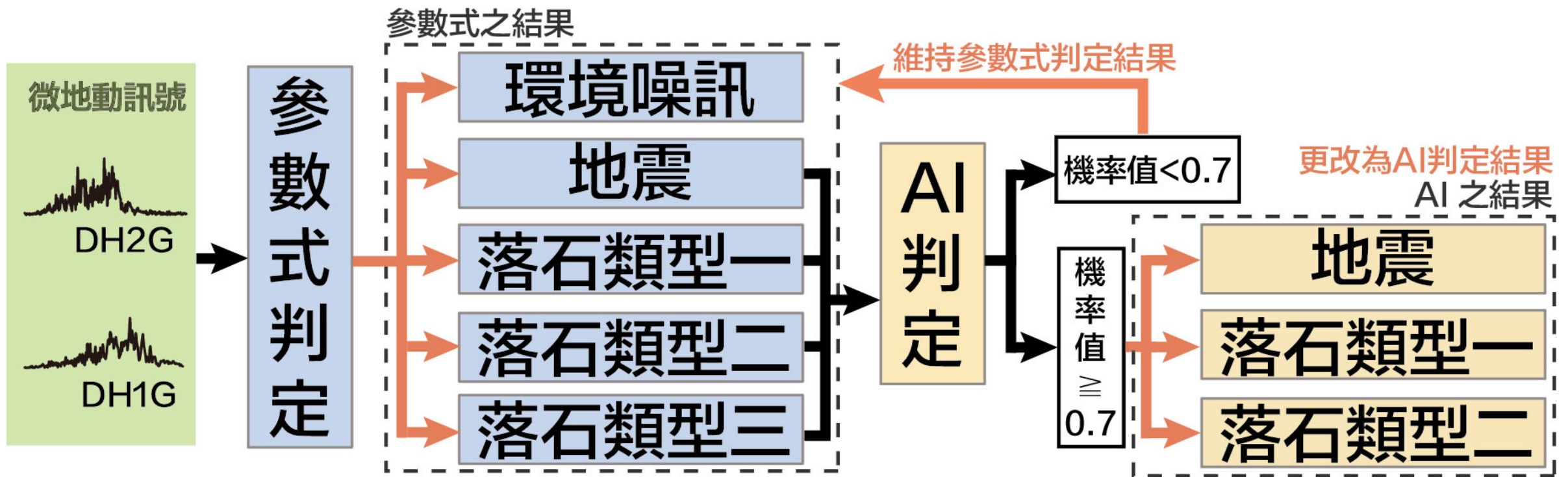
深度學習

1. 共有136,887張時頻圖當作訓練資料。
2. 訓練：驗證：測試 = 6:2:2。
3. 採用VGG16之深度學習結構。

深度學習VGG16結構



AI 模型



- 60天無施工狀態下，全時段通行，落石告警及預警系統，針對告警部分具有一次誤判，針對預警部分無誤判紀錄。

因應大地震之告警修正



震度階級	0級	1級	2級	3級	4級	5弱	5強	6弱	6強	7級
PGA(cm/s ²)	0.8以下	0.8–2.5	2.5–8.0	8.0–25	25–80	80–140	140–250	250–440	440–800	800以上
PGV(cm/s)	0.2以下	0.2–0.7	0.7–1.9	1.9–5.7	5.7–15	15–30	30–50	50–80	80–140	140以上

資料來源：中央氣象署

同震落石分佈

- 根據2024年04月03日花蓮地震的震度與道路落石分佈，大部分同震落石的災點集中在15cm/s的範圍內，即震度4級上界。

新增—即時加速度規

- 從上述結果可知地震為落石潛在的誘發因子，惟震度4級會超過微地動儀偵測極限，為了納入地震對於邊坡即時告警，本計劃建議新設即時監測的加速度規，以連動現場落石告警。
- 以現場震度達 4級下限 25 cm/s² 黃燈

4級上限 80 cm/s²

紅燈



地表過程地動監測研究室
Comprehensive Land Monitoring Lab

