



目錄

- 1 前言、儀器服務平台、近期消息
- 2 機器學習於 DAS 振動訊號監測之應用
- 4 淺水域海床彈性波速量測系統開發
- 6 台灣結構防災監測平台介紹
- 8 2023 年版 P 波警報器強震網的網路資料服務平台
- 10 本季成員發表文章 (2023.04~)、致謝

前言

郭陳澔 國立臺灣大學地質科學系 教授
台灣地震科學中心 執行秘書

這期邀請了在地物前緣探測技術 (DAS 與海床感測器) 的發展、結構防災監測平台與 P 波警報強震資料服務平台的專家學者進行專文分享。感謝中研院地球所古進上助理研究技師、中山海工系林俊宏助理教授、國震中心趙書賢研究員與中研院地球所梁文宗研究技師分享相關成果。

儀器服務平台

- 地震儀器中心儀器庫存查詢 <https://tecip.earth.sinica.edu.tw/>，若您有儀器使用之需求請與儀器中心聯絡。
- TEC 支援各大專院校相關科系之地球物理實習課程。歡迎有需求的授課教師於線上系統提出申請，申請網頁為：<https://tec.earth.sinica.edu.tw/geoclass/>

近期消息

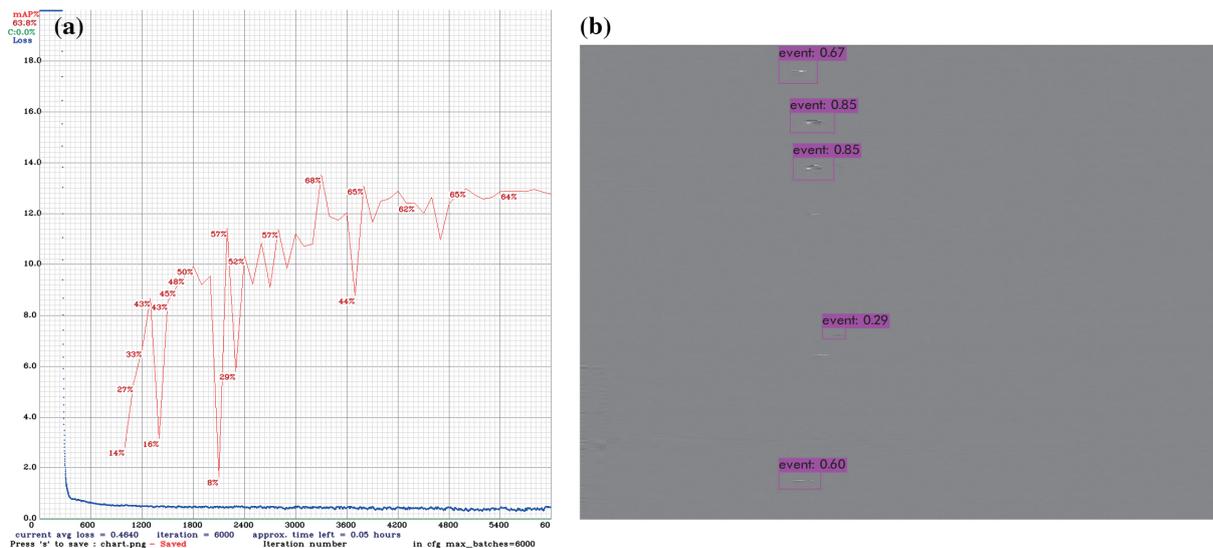
- 第七屆台灣地震科學中心年會預計於 9 月 5 日至 6 日在墾丁青年活動中心舉辦，會議相關資訊將盡快公告，歡迎踴躍參加。
- TEC 網站重新改版上線，歡迎多加利用。
- 112 年 5 月 17 日至 18 日於桃園龍潭渴望會館舉辦「中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 112 年年會暨學術研討會」已圓滿結束，感謝各位成員的參與。

機器學習於 DAS 振動訊號監測之應用

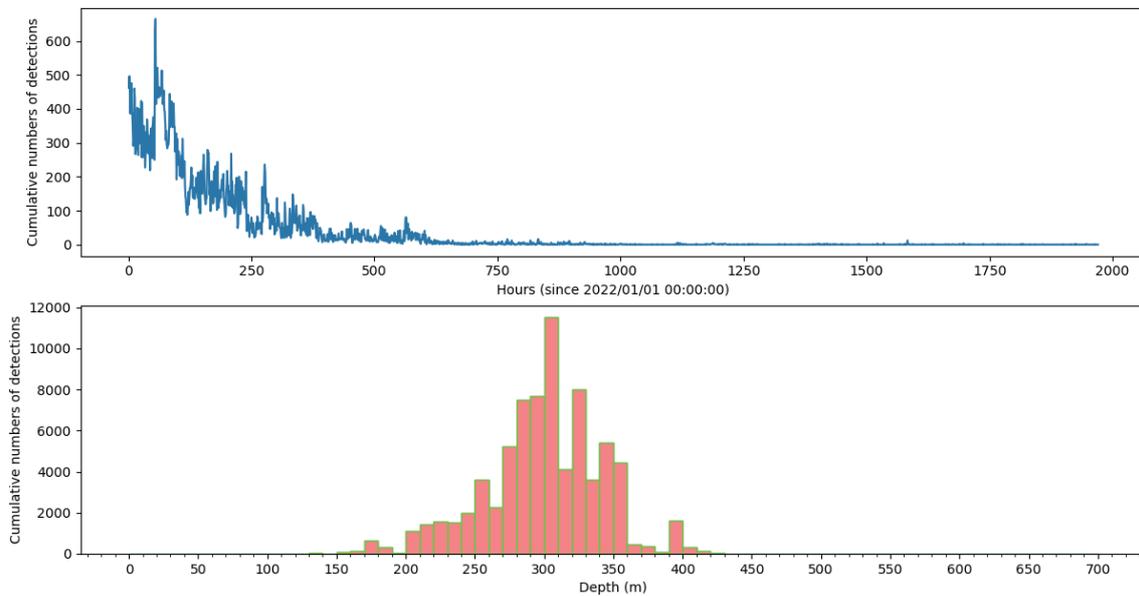
古進上 中央研究院地球科學研究所
doi: 10.30067/TECNL.202306_(40).0001

Distributed acoustic sensing (DAS) 是地震學中新穎的觀測技術，藉由量測光纖上每一段距離 (以幾公尺為間隔) 的動態應變，搭配資料的高取樣率，DAS 相較於傳統的地震儀器能夠在空間及時間上提供更高解析度的資訊。中央研究院地球科學研究所及國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心於 2021 年聯合提出米崙斷層鑽井及井下監測計畫 (Milun fault Drilling and All-inclusive Sensing Project; MiDAS)，此計畫在該區域進行一系列地質、地球物理及地球化學等採樣及觀測實驗，其中也包含 DAS 的觀測。MiDAS 於 2021 年底安裝井下光纖並進行 DAS 連

續觀測。本研究利用 DAS 資料在時空上高解析的特性，去檢視 MiDAS 於井下光纖安裝後所記錄到的特殊振動訊號 (tremors)。首先將光纖上各節點所收錄到的波形資料轉換為一張對時間及深度分佈的二維圖形，接著利用機器學習圖形辨識方法 (YOLOv4; Bochkovskiy et al., 2020) 去訓練模型並檢測此類訊號發生在連續記錄的時間與位置 (深度)；機器學習過程及圖形辨識結果範例請參考圖一。經過分析 2022/01-2022/03 連續三個月的 DAS 資料，發現 tremors 發生的次數於 2022 年 1 月後半段有巨幅降低的情況，且 tremors 大部分落於深度 280-350 公尺附近 (圖二)；由於光纖佈放後的



圖一、(a) 為 YOLOv4 訓練的過程，橫軸代表訓練次數，總訓練次數為 6000 代；縱軸為 Loss 值，其值愈低代表訓練的成果愈佳。圖上藍色點代表 Loss 值，紅線則代表訓練過程中圖形辨識的 mAP 值 (所偵測物件的 average precision 的平均值，請詳見 Bochkovskiy et al., 2020)。(b) 為圖形辨識結果的一個範例，其中橫軸代表深度，由左至右代表井深從 0 到 700 公尺；縱軸代表時間，由上到下為 0 到 20 秒。圖上紅框則代表在這 20 秒內被辨識出來的振動訊號，旁邊的數字則代表辨識的信賴度。



圖二、此圖為統計利用井下光纖連續三個月 DAS 資料進行圖形辨識的結果 (2022/01 – 2022/03)。上圖為每小時偵測到 tremors 的累積數量；下圖則為在不同深度上所偵測到 tremors 的累積數量之分佈結果。

井底灌漿工程於深度 350 公尺上下採用不同比重的水泥漿，因此初步判定此類特殊訊號與井內水泥灌漿及其後續凝固有關，但其產生應力變的實際機制仍有待後續進一步探討。此研究成功利用圖形辨識方法進行訊號辨識，未來可進一步利用此方法進行區域微震活動或其他地動訊號之監測。

參考文獻

Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection, arXiv:2004.10934. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.10934>

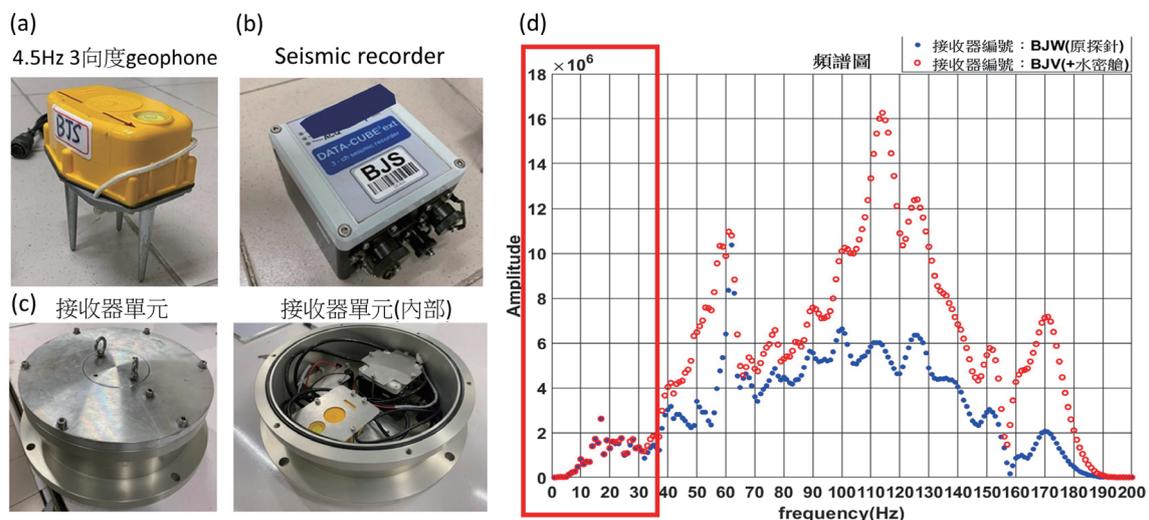
淺水域海床彈性波速量測系統開發

林俊宏 國立中山大學海洋環境及工程學系

doi: 10.30067/TECNL.202306_(40).0002

近年來海洋能以及碳封存相關產業的進行促使離岸工程的發展越發興盛。由港灣、海纜乃至離岸風機基礎工程，皆與海床之工程性質息息相關，為提升海床工程性質調查之效率，本文作者針對可提供海床 S 波波速剖面之水下表面波震測以及海床 P 波波速剖面之單側水下折射震測之量測系統進行設備建置與開發。為發展此量測系統，先行透過採用 Matlab 自撰寫之彈性波速數值模擬程式 (Lin and Lin, 2007) 探討量測系統必要規格，結果顯示，震源應至少能產生最低頻率 5Hz 之訊號，而接收器亦須至少能接收 5Hz 之訊號，以收錄到足夠反映底床性質之特徵頻率段，施作中採用定置式地聽器固定於海床上可有最佳收錄效果。據此，採用海底節點 (Ocean bottom node, OBN) 之型式設計接收器，運用水深以 100 公尺以內為目標，進行水密艙體設計，並檢討其共振頻率影

響，如圖一所示，設計開發之 OBN:MEGEM01 其包含有 4.5Hz 3 向度 geophone 作為振動感測器 (圖一 a)，另有自記式紀錄器 (圖一 b) 進行連續資料收錄，此些設備由水密艙 (圖一 c) 進行防水，此水密艙於水中重量為 13.7 公斤，測試其共振頻率，分別位於 115Hz 以及 170Hz，對於水下表面波震測所關注的 30Hz 以下資料並不造成影響。而針對震源之採用，在淺水區或潮間帶範圍，受限於空氣槍所需空壓機體積，以採用重錘式震源最常見，為增加其施作效率，已完成概念設計如圖二所示，根據測試，質量 90 公斤以上重塊於撞擊鐵製底鈹之速度達 6.3m/s 以上，即可產生足夠 5Hz 之低頻能量。前述已開發之淺水域設備主要針對水下表面波震測以及單側水下折射震測，但對在濱海地區進行碳封存地質調查之反射震測需求而言，在接收器



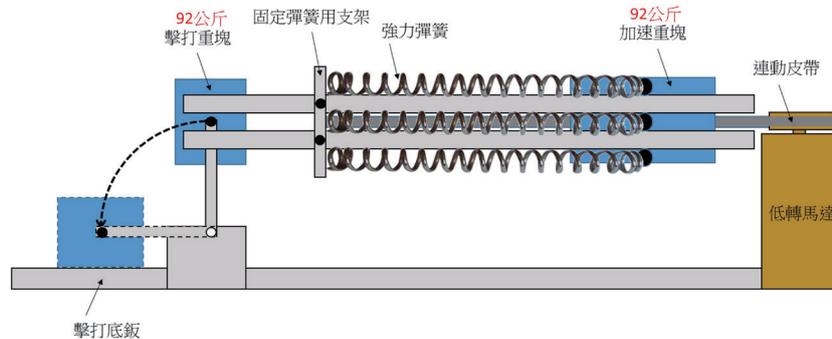
圖一、自行開發之海底節點接收器 (a) 振動感測器 (b) 自記式紀錄器 (c) 水密艙外觀 (d) 水密艙共振影響評估。

以及震源上，後續仍需進一步進行改善提升。在接收器上，此自製 OBN 在運行時間以及取樣率上相較商售設備皆偏低 (如圖三所示)，後續將針對此應用需求進行設備規格之提升。另一方面，為增加 OBN 與海床間的耦合性，將對不同底質灘岸狀況下的接觸面設計進行開發測試。除此之外，於潮間帶區域採用重錘式震源對於反射震測較不適合，未來將對具潛力之電火花震源、孔內空氣鎗震源等進行適宜性測試。希冀透過對自行製造相關水下設備能力之提升，增加本土技術在淨零

減碳產業中之佔比。

參考文獻

Lin, C.-P., & Lin, C.-H. (2007). Effect of lateral heterogeneity on surface wave testing: Numerical simulations and a countermeasure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(6), 541–552. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2006.10.008>



圖二、水下表面波震測潮間帶淺水區震源概念設計圖。

	Z100	GPR300	A3000	Mariner	CASE Abyss node system	MEGEM01
Manufacturer	Magseis Fairfield	Sercel	InApril	Geospace	Seabird	NSYSU
Transition Zone Case available	v	v		v		v
Sensor type	3*geophone 1*hydrophone Orientation	QuietSeis MEMS accelerometers (inclination can be corrected)	3*geophone 1*hydrophone Orientation	3*geophone 1*hydrophone heading sensor	3*geophones 1*hydrophone 2*inclinometers	3*geophone 1*hydrophone (external plus)
Operating Life	30 days		150 days	70 days		20 days
Sample interval(ms)	0.5, 1, 2, 4		0.25, 0.5, 1, 2	0.5, 1, 2, 4		2.5, 5

圖三、自製 OBN MEGEM01 與商售 OBN 之比較。

台灣結構防災監測平台介紹

趙書賢 國家地震工程研究中心

doi: 10.30067/TECNL.202306_(40).0003

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之碰撞邊界上，地震活動相當頻繁，且近十年來已發生數個大規模而引致高震度的致災型地震 (1999 集集、2016 美濃、2018 花蓮、2022 池上地震等)，導致建築結構的損壞甚至倒塌，一般住宅結構於使用期間，即可能面臨數個中大規模地震的侵襲。有鑑於此，國家地震工程研究中心與交通部中央氣象局、陽明交通大學、國家實驗動物中心、國家住宅及都市更新中心等單位共同合作，於全台 30 餘棟建築物安裝結構監測系統輯錄地震時的結構振動反應，該系統可以幫助我們：

(1) 掌握實尺寸結構受震的真實反應：

結構受震反應過去主要透過建立數值分析模型模擬或縮尺振動台試驗的方式來進行評估，而量測實尺寸結構受震反應可以幫助我們發展更先進的結構數值分析模型與驗證分析結果，以掌握結構受震的真實反應與其耐震能力。

(2) 進行結構耐震性能評估：

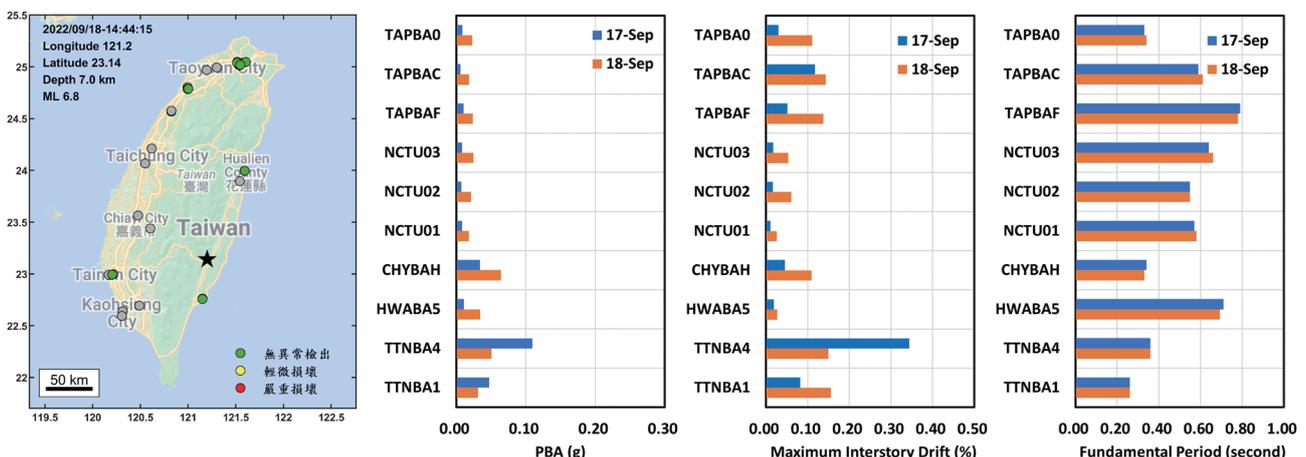
透過結構長期累積的振動訊號可以評估結構的耐震性能是否符合預期，例如振動量是否過大及是否已有結構損傷等，如發現有可能不符合預期的狀況可及早採取因應措施。

(3) 提供現地型早期地震預警：

結合現地型地震預警技術可利用結構內的感測器偵測 P 波，並以其預估尚未抵達之 S 波的強度，如達警戒標準可發布預警，如鄰近震央的情況有機會爭取更長的預警時間，配合自動化機制如停止運轉的機械與關閉瓦斯等，可減緩地震可能帶來的損失。

(4) 震後結構狀況快速評估與行動指引：

結合結構健康診斷與損壞評估技術可以幫助我們在震後利用結構振動反應掌握結構狀況，如檢測可能受損或甚至有安全疑慮的情況可即時發布警示，如未檢測出異常則有利加速恢復使用功能性，上述功能對於大規模地震後的復原工作尤顯重要。依據結構可能的狀



圖一、2022 年 9/17 關山及 9/18 池上地震後 10 棟安裝監測系統的空間分佈狀況與結構振動量測與分析結果 (PBA: 地下室量測的最大加速度峰值；IDR：預估最大層間變位角值)。

況提供的燈號與建議的行動指引分類如下：

1. 綠燈：無檢測出異常，屬低度警戒，可維持結構的使用功能性。
2. 黃燈：推測結構可能有輕微至中度的損壞，建議進行現場巡查檢視作業，確認結構是否有損壞的狀況，並視情況及需求，委託專業技師進行結構安全詳評作業，屬中度警戒。
3. 紅燈：推測結構可能有嚴重的損壞甚至可能接近倒塌，或結構耐震性能檢測出不符合預期，建議建物內人員立即撤離現場，再確保結構無倒塌疑慮後，委由專業技師入場進行巡查檢視進行結構安全詳評等作業確認結構無使用安全的疑慮後，方可恢復使用，屬高度警戒。
4. 紫燈：結構監測系統的資料輯錄器或感測器可能有異常，建議進行系統異常排除作業，屬中度警戒。

而本研究提供燈號指引的方式會檢核三大項目後給定：

1. 力檢核：檢核輸入結構的地震力是否有超越耐震設計時的設計地震基準與最大考量地震基準，如有超越設計地震基準屬中度警戒，如超越最大考量地震基準屬高度警戒。不同位置、建造年代、不同高度與不同類型的結構其設計地震基準與最大考量地震基準皆不相同，因此不同結構需依據不同的方式去做設定。
2. 變形量檢核：檢核結構的變形量是否過大，如將導致中度損壞則屬中度警戒，如將導致嚴重損壞則屬高度警戒。由於大部分結構監測系統採用加速度計，因此本檢核仰賴精準的位移還原技術（包含永久位移量），而結構容許的變形量與結構的類型有關，因此不同結構也需要依據不同的方

式做設定。

3. 勁度檢核：由於結構一旦損壞會使得其勁度降低，因此檢核結構的振動週期是否有下降的趨勢即可掌握結構是否有受損，如週期有些微的變化則屬中度警戒，如有明顯差異則屬高度警戒。然而除了結構的損壞外，其他環境的因素也可能影響我們觀察到的結構振動週期，因此本檢核需仰賴長期監測資料的分析比對，不同結構也需要依據長期資料分析所得的結果去做最適切的設定。

上述任一項目如達警戒標準及發佈警示。由於大部分結構健康診斷技術是採用實驗場域的結構試體進行測試，而缺乏以實際結構的量測資料進行分析方法的驗證，實際結構再受震時有受損的資料亦相當缺乏，也因此本研究目前僅採用上述基本檢核項目，分析結果較為穩定也較不易有誤判之情況發生，未來也將透過結構監測系統的架設累積更多的結構觀測資訊，幫助研發與驗證更為精確的結構健康診斷分析，與震後結構狀況燈號給定的技術。圖一為 2022 年關山與池上地震後部分具監測系統之結構的資料分析與快速評估結果，包含上述初步的力檢核、變形量檢核與勁度檢核，檢核結果顯示所有結構並無檢測出異常，與實際震後結構的初步查核結果一致。

現有監測訊號分析技術雖仍有其應用的限制，但仍能提供地震工程相關研究之寶貴資訊，有利強化震前準備震中應變震後復原的工作，國震中心將持續與相關產官學研單位合作，發展建置與維護結構監測系統，並利用現有可用的觀測資訊，測試建立前述功能與精進相關的技術。部分結構所有權人願意公開資訊的監測資料可於國震中心建置的台灣結構防災監測平台 (TSMOD) 查詢，平台網址為 <https://bas.ncree.org/>。

2023 年版 P 波警報器強震網的網路資料服務平台

梁文宗、邱昊德、李文蕙、古進上 中央研究院地球科學研究所

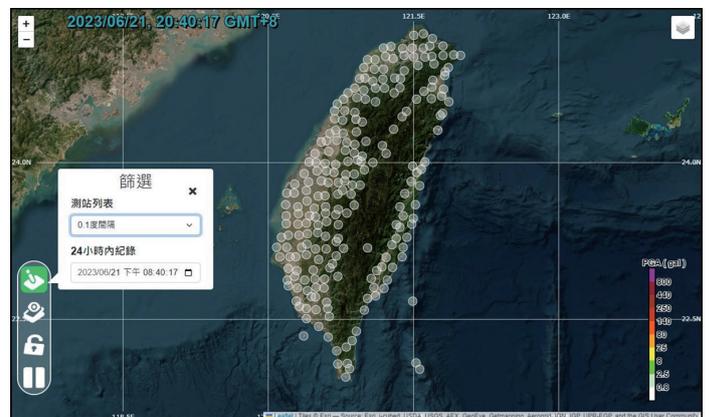
楊民、吳逸民 國立臺灣大學地質科學系

doi: 10.30067/TECNL.202306_(40).0004

P 波警報器強震網 (P-Alert Strong Motion Network) 在 2013 年正式問世 (Wu et al., 2013)，隨即臺大地質系團隊與中研院地球所及台灣地震科學中心 (Liang, 2022) 合作打造專屬的網路資料服務系統，對外提供全台的近即時振動資訊與地震事件的波形資料。

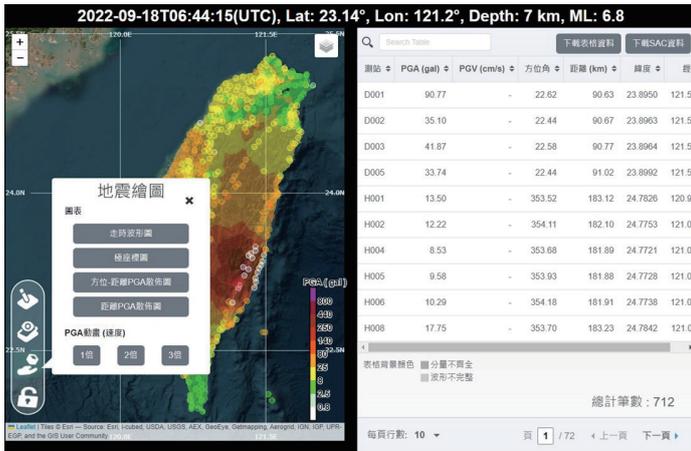
第一版的 P-Alert 系統採用中研院開發的即時資訊擷取模組，每三秒展示一次全台的近即時震度資訊，並搭配音效提醒有大區域振動事件發生；波形資料則根據氣象局的地震速報來觸發波形資料擷取，並採用 IRIS 專為索取地震事件波形的 Wilber3 介面設計 (Clark, 2013; Newman et al., 2013)，從選地震開始，接著可再依距離、PGA 及方位角選取測站，最後可初覽波形並下載資料。不幸的是第一版的系統在 2022 年遭遇資訊安全事件不得不暫停服務，因此台灣地震科學資料中心 (TECDC) 重新規劃網站設計，首重資訊安全的需求，再以全新的響應式網頁設計，完全改建整個 P-Alert 網路服務平台。

2023 年版的 P 波警報器強震網網路服務平台仍以測站資訊、線上展示及資料下載為主軸，但是功能經過更新。地圖左下的按鈕選項從上到下具有篩選條件、繪圖設定與地圖鎖定的功能，以近即時線上展示為例 (圖一)，篩選功能可以選擇測站的分布密度以及回播過去一天內任一時刻的最大加速度值 (PGA) 分布，這個 PGA 值由臺大團隊最

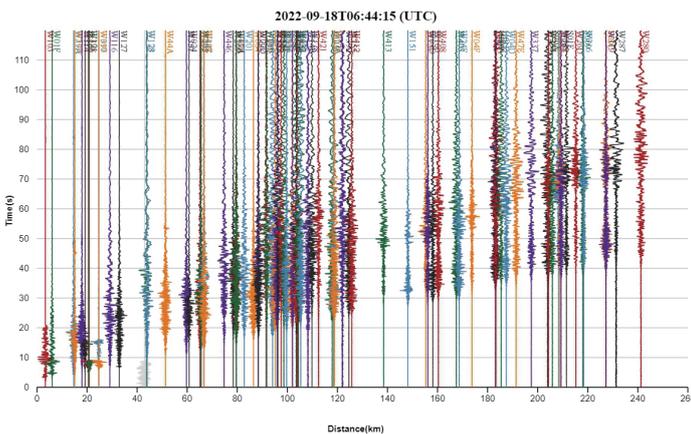


圖一、P-Alert 的近即時最大地表加速度值 (PGA) 線上展示畫面。

新開發的應用程式介面 (API) 提供，每秒顯示一次結果。下一個按鈕可以設定警報音效的條件、符號的形狀與大小，與地圖的尺標及經緯度線等。下載資料的項目裡，使用者可選擇依地震事件或依測站來選取資料，如果選擇依地震來選取資料，可以查詢符合篩選條件的地震列表後再進行排序，選取一個地震後即可看到 PGA 的空間分布，點選任一測站即可瀏覽紀錄的細節和波形圖；從地圖上的功能可以再依距離、方位和 PGA 值等條件篩選測站，然後在第三個功能選項進一步取得適合教育學習的資料產品 (圖二)，例如走時波形圖 (圖三)、PGA 距離散布圖，以及 PGA 的動畫檔等，適合探究式教學的教案開發。其他的功能和產品還有很多，歡迎大家訪問 P-Alert 官網：<https://palert.earth.sinica.edu.tw>。



圖二、P-Alert 所記錄的 2022-09-18 M6.8 池上地震的 PGA 分布畫面。



圖三、P-Alert 所記錄的 2022-09-18 M6.8 池上地震的垂直行走時波形圖。

雖然 P-Alert 強震網是由低價位的微機電加速度地震儀所組成，但是在有感地震的紀錄上，台灣 P-Alert 強震網無疑提供全球絕無僅有的高密度近場（與震源區的距離相當近）波形資料，除了現地預警功能外，對於地震災害的快速評估、地震震源的科學探討，以及地震科學教育推廣都扮演積極的角色。感謝臺大團隊全力維運 P-Alert 強震

網，中研院地球所資料管理中心 (IESDMC) 積極開發網路服務平台，初衷不敢或忘，希望這個平台對這個世界能有稍許的貢獻。

參考文獻

Clark, A. (2013). Wilber 3 Release. *IRIS Newsletter*, 15(1). <http://ds.iris.edu/ds/newsletter/vol15/no1/350/wilber-3-release/>

Liang, W.-T. (2022). The Taiwan Earthquake Research Data Center (TECDC). *TEC Newsletter*, 36. [https://doi.org/10.30067/TECNL.202206_1\(1\).0002](https://doi.org/10.30067/TECNL.202206_1(1).0002)

Newman, R. L., Clark, A., Trabant, C. M., Karstens, R., Hutko, A. R., Casey, R. E., & Ahern, T. K. (2013). Wilber 3: A Python-Django Web Application for Acquiring Large-scale Event-oriented Seismic Data. IRIS Publications. <https://ds.iris.edu/ds/publications/2013/12/wilber-3-a-python-django-web-application-for-acquiring-large-scale-event-oriented-seismic-data/>

Wu, Y.-M., Chen, D.-Y., Lin, T.-L., Hsieh, C.-Y., Chin, T.-L., Chang, W.-Y., Li, W.-S., & Ker, S.-H. (2013). A High-Density Seismic Network for Earthquake Early Warning in Taiwan Based on Low Cost Sensors. *Seismological Research Letters*, 84(6), 1048–1054. <https://doi.org/10.1785/0220130085>

本季成員發表文章 (2023.04~)

- Chang, C.-C.**, Chang, C.-Y., Gao, J.-C., & Chan, C.-H. (2023). Quantifying the probability and uncertainty of multiple-structure rupture for Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 34(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s44195-023-00040-8>
- Kassie, L. N., Chang, P.-Y., Zeng, J.-R., **Huang, H.-H.**, Chen, C.-S., Doyoro, Y. G., Lin, D.-J., Puntu, J. M., & Amania, H. H. (2023). Mapping Hydrogeological Structures Using Transient Electromagnetic Method: A Case Study of the Choushui River Alluvial Fan in Yunlin, Taiwan. *Water*, 15(9), 1703. <https://doi.org/10.3390/w15091703>
- Lo, Y.-C., **Chen, C.-T.**, Lo, C.-H., **Chung, S.-L.**, & Yeh, M.-W. (2023). Record of short-lived “orogen” on Eurasian continental margin by South China Sea obduction preserved in Taiwan collision. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1118520. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1118520>
- Tang, C.-H., **Hsu, Y.-J.**, Bacolcol, T., Lin, Y. N., Chen, H.-Y., Kuo, Y.-T., Su, H.-H., Lee, H.-M., Pelicano, A., Sapla, G., & **Yu, S.-B.** (2023). Oblique Blind Faulting Underneath the Luzon Volcanic Arc During the 2022 M_w 7.0 Abra Earthquake, the Philippines. *Geophysical Research Letters*, 50(9). <https://doi.org/10.1029/2023gl103659>
- Wen, Y.-Y.**, Chen, C.-C., Wen, S., & Lu, W.-T. (2023). Spatiotemporal seismicity pattern of the Taiwan orogen. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(5), 1835–1846. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1835-2023>
- Wu, S.-M., **Huang, H.-H.**, **Lin, F.-C.**, Farrell, J., & Schmandt, B. (2023). Extreme seismic anisotropy indicates shallow accumulation of magmatic sills beneath Yellowstone caldera. *Earth and Planetary Science Letters*, 616, 118244. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118244>
- Wulandari, R., **Chan, C.-H.**, & Wibowo, A. (2023). The 2022 M_w 6.2 Pasaman, Indonesia, earthquake sequence and its implication of seismic hazard in central-west Sumatra. *Geoscience Letters*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40562-023-00279-6>
- 周憲德、邱奕旭、許家銘、黃郅軒、**林慶仁**、**郭本垣** (2023)。礫石型土石流之觸發降雨特性與監測訊號判釋。《中華水土保持學報》，54(1)，16–26。

致謝

本季刊由 TEC 辦公室成員許雅儒主任、馬國鳳特聘研究員、郭陳濤教授、楊詠騫、黃淑真及吳美芳協助編輯，第四十期內容感謝中央研究院地球科學研究所古進上研究助技師、國立中山大學海洋環境及工程學系林俊宏助理教授、國家地震工程研究中心趙書賢研究員、中央研究院地球科學研究所梁文宗研究技師提供。