

# 新臺鐵路地震速報系統之效能分析

蕭乃祺<sup>1</sup> 邱俊達<sup>1</sup> 劉允韜<sup>2</sup> 王承韜<sup>3</sup> 楊民<sup>4</sup>

<sup>1</sup>中央氣象局地震測報中心 <sup>2</sup>臺灣鐵路管理局綜合調度所  
<sup>3</sup>三聯科技股份有限公司 <sup>4</sup>國立臺灣大學地質科學系

## 摘要

臺灣鐵路管理局與中央氣象局於 2019 年起合作優化臺灣鐵路管理局的地震速報系統，於鐵路沿線 44 處車站與 26 處變電站，安裝 54 部地表強震儀與 70 部地震警報器，並在 26 處變電站全部裝設輔助地震儀。臺北中心站架設伺服器安裝新開發的地震資料處理系統，接收強震儀即時資料，同時整合氣象局的地震速報資訊，在有感地震發生後接續啟動地震預警作業、現地告警作業、觸發通報作業、震度推播作業、地震報告作業，及時處理並快速反應地震影響的路段與程度，以據此實施地震應變。新系統於 2021 年開始運轉，本研究蒐集上線後 18 個月的運作情形進行效能分析。結果顯示，系統平均可以在地震發生後的 2 分半鐘，提供鐵路沿線的震度分布資訊。另外中大型有感地震發生後，車站、變電站的警報器隨著震源距離，以每秒約 5.7 公里的速度陸續觸發告警，在最大震波侵襲前及時提供警訊緊急應變。系統優化後新增地震預警功能，可在 1 秒內接收氣象局的強震即時警報啟動預警作業，其中預估震度 4 級以上的警訊已具有參考應用價值。另外結合氣象局的格點化震度資訊，可以針對沒有安裝強震儀的站址提供推估震度。新系統在 2022 年 9 月 18 日池上地震發生時，玉里變電站與關山變電站均達到自動斷電的門檻，而經由該地震造成軌道災害的實際案例，驗證變電站具備自動斷電功能的必要性。

**關鍵詞：**臺灣鐵路、地震速報系統、地震預警、地震告警、地震應變

## 一、前言

臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵路）為能在有感地震發生後，迅速獲得鐵路沿線的震度資訊啟動應變行動，保障旅客的行車安全，於 2001 年與中央氣象局（以下簡稱氣象局）合作

開發臺鐵路地震速報系統（蕭乃祺等，2003）。建置期間歷經系統規劃、測站勘選、儀器採購、軟體撰寫以及系統測試等幾個階段，2003 年開始運作，提供臺灣鐵路運輸臨震應變重要的參考資訊。

當時建置的臺鐵路地震速報系統（以下簡

稱原系統) (圖 1)，在 43 個火車站、變電站安裝強震儀，透過臺鐵局既有電話線路即時將強震儀訊號連續傳輸至就近的電務分駐所，再藉由環島光纖網路傳回臺北車站綜合調度所的中心站。中心站架設電腦安裝地震資料接收處理系統，當發生有感地震後，系統會自動觸

發進行資料處理，並將處理後各車站、變電站的震度資訊，同步展示於行控室電腦的監控介面，提供調度員應變調度參考。強震儀訊號同時並接至車站與變電站的地震警報器，即時提供車站人員震度資訊，以及變電站電力設備自動斷電。

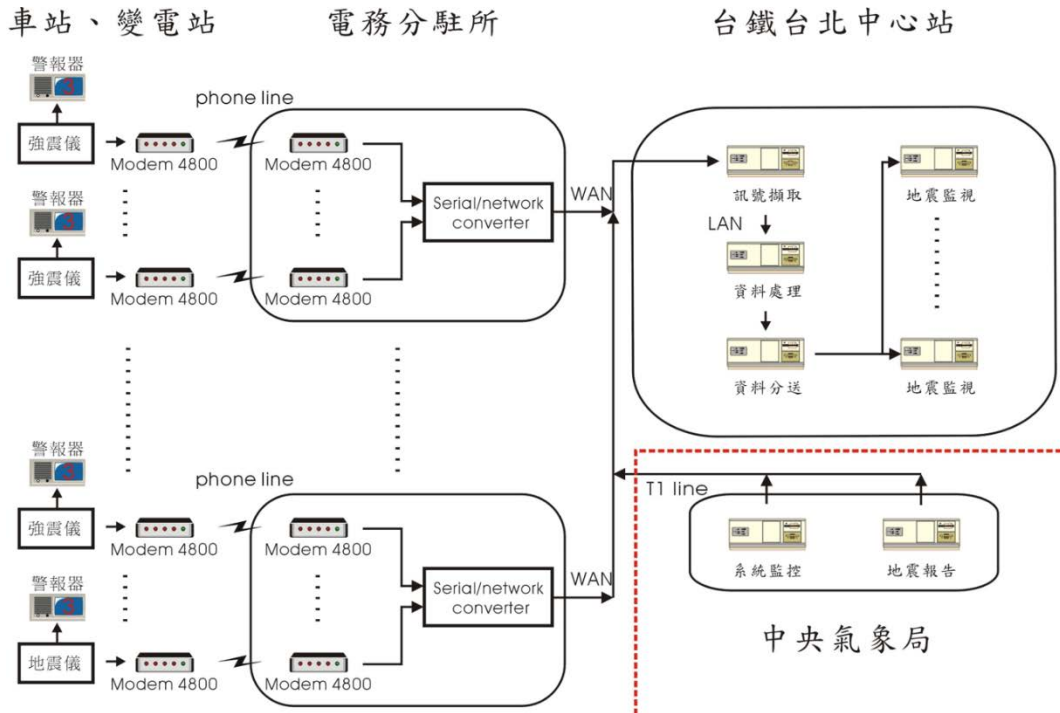


圖 1、原臺鐵局地震速報系統架構圖 (蕭乃祺等, 2003)。

Fig. 1. System diagram of the original TRA earthquake rapid reporting system.

原系統使用迄今已逾 20 年，大部分設備老舊已達使用年限，原有的觀測站分布亦無法完整防護現今環島鐵路規模，另外近年來最新發展的地震監測與通報技術，受限於原系統儀器設備與傳輸架構而無法引進。因此臺鐵局為強化地震速報系統地震監測與資訊通報的能力，再次委託氣象局共同辦理「臺鐵局地震速報系統優化案」，主要的工作項目與預期效益

如下：

1. 配合臺東線電氣化及南迴鐵路臺東至潮州段電氣化工程，於新建的變電站、車站及指定車站增設強震儀及地震警報器，建立臺灣鐵路完備的地震防護網。
2. 原有地震警報器全面更換為新型多功能警報器，兼具地震預警與告警能力，並於變電站加接一組強震儀資料，避免單一儀器

誤訊號啟動電力設備斷電影響火車營運。

3. 研發新一代資料接收與處理作業流程與系統軟體，導入氣象局地震預警與速報資訊，開發具備預警、告警與速報完整功能的地震速報系統。
4. 配合臺鐵局地震應變作業規範與需求，設計友善的展示網站與方便的通報管道，能透過網際網路串接外部即時通訊軟體，強化臺灣鐵路地震應變效能。

臺鐵局與氣象局共同規劃設計新地震速報系統（以下簡稱新系統）的系統架構與作業流程，硬體安裝與軟體開發則是透過公開招標，委由三聯科技股份有限公司辦理。優化案採取新舊系統先建後拆、同步轉換方式，從 2019 年初開始執行，歷經 2 年開發建置，新系統於 2021 年開始運轉，並持續依實際上線的情形進行系統調校，目前已逐漸穩定運作，而原系統亦於 2021 年底正式退役。配合新系統上線以及氣象局實施新地震震度分級（中央氣象局，2019），臺鐵局同時調整該局的地震應變分級，將其概分為「震度 3 級」、「震度 4 級及 5 弱」、「震度 5 強以上」等 3 個分級，並據此規範值班站長、調度員、司機員、車長、工務與電務巡檢人員及相關單位人員，明確對應的處理程序（臺灣鐵路管理局，2020）。

為掌握新系統的作業效能，本研究蒐集系統上線後實際運作的成果進行分析，檢討各階段作業提供應變資訊的準確性與時效性，做為系統後續精進調整的方向。文中同時詳細介紹新系統的系統架構與作業流程，提供國內其他軌道運輸或重要公共設施參考。

## 二、系統架構

經過優化後，新系統總共包含 54 部地表強震儀與 70 部地震警報器，完整分布於環島鐵路的 44 處車站與 26 處變電站(表 1、圖 2)。新安裝儀器的地點主要為臺東線與南迴鐵路臺東至潮州段鐵路電氣化後的車站、變電站，以及臺北市區鐵路地下化後的南港車站與變電站。由於大規模地震瞬間即可能造成大範圍的災害，對於軌道系統而言，車站與變電站是第一線執行應變任務的據點，而強震儀所觀測的現地震度則是應變調度主要參考的依據。在應變功能的規劃，車站人員透過警報器明確的警示，可以立即通報行駛列車減速、路線巡檢與旅客資訊，變電站則是經系統評估或是強震儀觀測到強烈震動時，同樣可以透過警報器將電力設備自動斷電，迫使列車停駛降低災害。

表 1、新臺鐵局地震速報系統 54 部強震儀與 70 部警報器的安裝站址，以及其擔負的應變功能（以符號◎標示）。

Table 1. Installation sites of 54 strong-motion seismometers and 70 earthquake alarms of the optimized TRA earthquake rapid reporting system. The symbol “◎” indicates the functions for earthquake response at site.

安裝站址	安裝儀器		應變功能				備註
	強震儀	警報器	列車減速	路線巡檢	旅客資訊	區間斷電	
七堵站	◎	◎	◎	◎	◎		
南港變電站	◎	◎				◎	新設
南港站		◎	◎	◎	◎		新設，接收南港變電站強震儀訊號
臺北站	◎	◎	◎	◎	◎		
樹林變電站	◎	◎				◎	
樹林站		◎	◎	◎	◎		接收樹林變電站強震儀訊號
內壢變電站	◎	◎				◎	
桃園站		◎	◎	◎	◎		接收內壢變電站強震儀訊號
新竹變電站	◎	◎				◎	
新竹站	◎	◎	◎	◎	◎		
苗栗變電站	◎	◎				◎	
苗栗站	◎	◎	◎	◎	◎		
三義站	◎	◎	◎	◎	◎		
豐原變電站	◎	◎				◎	
豐原站		◎	◎	◎	◎		接收豐原變電站強震儀訊號
臺中站	◎	◎	◎	◎	◎		
後龍變電站	◎	◎				◎	
後龍站		◎	◎	◎	◎		接收後龍變電站強震儀訊號
大甲站	◎	◎	◎	◎	◎		
甲南變電站	◎	◎				◎	

臺中港站		◎	◎	◎	◎		接收甲南變電站強震儀訊號
彰化變電站	◎	◎				◎	
彰化站	◎	◎	◎	◎	◎		
二水站	◎	◎	◎	◎	◎		
石榴變電站	◎	◎				◎	
斗六站	◎	◎	◎	◎	◎		
嘉義變電站	◎	◎				◎	
嘉義站	◎	◎		◎	◎		
新營站	◎	◎	◎	◎	◎		
善化變電站	◎	◎				◎	
善化站		◎	◎	◎	◎		接收善化變電站強震儀訊號
臺南站	◎	◎	◎	◎	◎		
岡山變電站	◎	◎				◎	
岡山站		◎	◎	◎	◎		接收岡山變電站強震儀訊號
九曲堂變電站	◎	◎				◎	
九曲堂站		◎	◎	◎	◎		接收九曲堂變電站強震儀訊號
屏東站	◎	◎	◎	◎	◎		
潮州變電站	◎	◎				◎	新設
潮州基地		◎	◎	◎			新設，接收潮州變電站強震儀訊號
枋寮站	◎	◎	◎	◎	◎		
加祿站	◎	◎	◎	◎	◎		新設
內獅變電站	◎	◎				◎	新設
枋野站	◎	◎	◎	◎			新設
瑞芳站	◎	◎	◎	◎	◎		
雙溪變電站	◎	◎				◎	
雙溪站		◎	◎	◎	◎		接收雙溪變電站強震儀訊號

礁溪變電站	◎	◎				◎	
礁溪站		◎	◎	◎	◎		接收礁溪變電站強震儀訊號
宜蘭站	◎	◎	◎	◎	◎		
蘇澳變電站	◎	◎				◎	
蘇澳新站		◎	◎	◎	◎		接收蘇澳變電站強震儀訊號
南澳站	◎	◎	◎	◎	◎		
和平變電站	◎	◎				◎	
和平站		◎	◎	◎	◎		接收和平變電站強震儀訊號
花蓮變電站	◎	◎				◎	
花蓮站		◎	◎	◎	◎		接收花蓮變電站強震儀訊號
壽豐站		◎	◎	◎	◎		新設，接收氣象局網格震度資訊
光復站	◎	◎	◎	◎	◎		接收光復變電站強震儀訊號 (優化案時為新設站)
光復變電站	◎	◎				◎	新設
瑞穗站	◎	◎	◎	◎	◎		新設，接收氣象局網格震度資訊 (優化案時為新設站)
玉里站	◎	◎	◎	◎	◎		
玉里變電站	◎	◎				◎	新設
池上站	◎	◎	◎	◎	◎		新設
關山站	◎	◎	◎	◎	◎		接收關山變電站強震儀訊號 (優化案時為新設站)
關山變電站	◎	◎				◎	新設
臺東站	◎	◎	◎	◎	◎		接收臺東變電站強震儀訊號 (優化案時為新設站)
臺東變電站	◎	◎				◎	新設
太麻里站	◎	◎	◎	◎	◎		
大武站	◎	◎	◎	◎	◎		新設
大武變電站	◎	◎				◎	新設

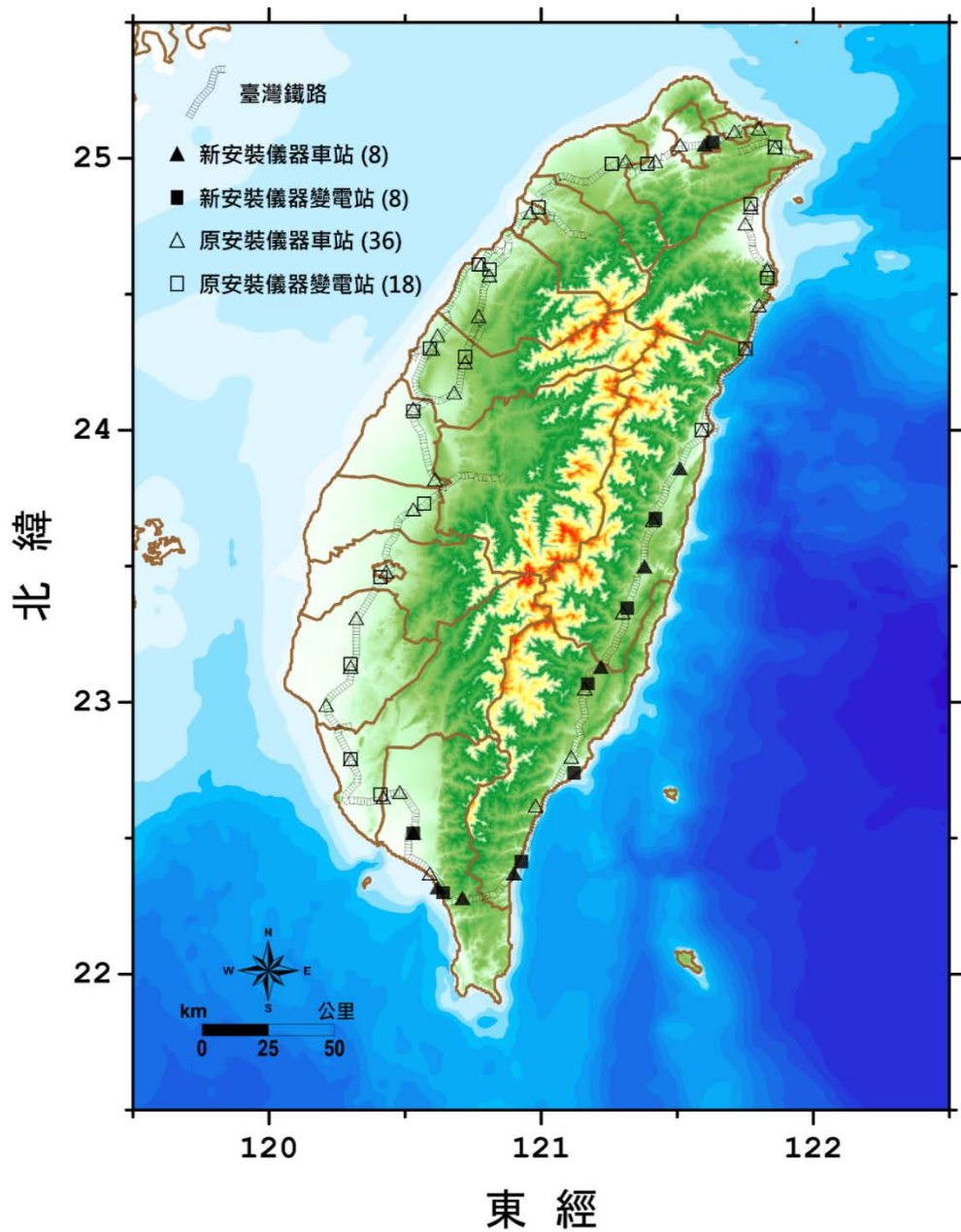


圖 2、新臺鐵路地震速報系統儀器安裝站址的分布圖，包括 44 處車站與 26 處變電站。

Fig. 2. Distribution map for instrument installation sites of the optimized TRA system, including 44 rail stations and 26 substations.

新系統的系統架構圖如圖 3，設備安裝的地點涵蓋車站、變電站等外站，以及位於臺北

車站綜合調度所的中心站，另外氣象局分階段所發布的地震速報資訊，亦會整合至系統中一

併應用與研判。外站與中心站資訊的相互傳遞係透過臺鐵局自建的環島光纖網路，氣象局提供的速報資訊則是透過網際網路接收。

所有變電站與大部分車站安裝地表強震儀，可以連續記錄當地的地動加速度，並將資料即時傳送至地震警報器，至於沒有安裝強震儀的車站，則會接收鄰近變電站的強震儀訊號或接收氣象局地震速報資訊。經評估可用性後，新系統仍留用原系統使用的日本東京測震公司（Tokyo Sokushin）CV-574C、CV-575C 強震儀，該儀器採用三軸向力平衡式加速度 FBA（Force Balance Accelerometer）感應器，最大可以量測到 $\pm 2g$  的地動加速度值。即時資料輸出則是採取 16 位元 RTD（Real-Time Data stream）格式，透過 RS-232 序列埠傳送至地震警報器。為提升變電站啟動自動、手動斷電功能的正確性，各變電站同時增設 1 部輔助地震儀，提供另外 1 組加速度震動資料進行相互驗證。使用的輔助地震儀為三聯公司開發的三軸向微機電（Micro Electro Mechanical Systems, MEMS）加速度計 pALERT，其解析度同樣為 16 位元，即時資料則改使用網路封包方式傳給警報器。由於變電站中的 pALERT 皆就近安裝於結構物的牆上，所以其量測的震動值因為結構物效應，一般會比地表強震儀稍大。

優化案中將現有與新增的車站、變電站全面安裝新型地震警報器，連線接收強震儀的地動加速度訊號，能夠即時計算氣象局新地震震度。該警報器同樣由三聯公司所製造（型號 PX-01 Cube），除了劇烈震動時能夠緊急告警外，並新增地震預警的功能，可以即時於面板顯示預估或觀測的地震震度。警報器觸發後會發出燈光與聲響提醒，其中震度未達 3 級將閃爍綠燈、3 級至 5 級弱閃爍綠黃燈、5 強以上則

閃爍綠黃紅燈。安裝於變電站的地震警報器，將同時接收強震儀與輔助地震儀的即時資料進行綜合判斷，當 2 部地震儀皆偵測到 5 強以上震度時，警報器可輸出訊號透過電力電驛組控制電力設備自動斷電，或供臺鐵局手動控制斷電。

強震儀與輔助地震儀連續的加速度震動紀錄，亦可透過地震警報器，經臺鐵局的環島光纖網路連續傳回中心站。中心站架設伺服器安裝新開發的地震資料接收處理系統，接收外站地震儀的即時資料，並可以整合氣象局所提供的地震速報資訊，當有感地震發生後，接續啟動不同階段的速報作業。不同於原系統僅能單向接收外站強震儀資料，新的資料接收處理系統內含資訊儲存與發送模組，除了可以儲存觸發地震訊號檔案，將各作業所產製的應變資訊寫入資料庫外，同時經由環島光纖網路，可將預估與觀測震度傳至車站與變電站的警報器，提供警示與斷電控制。

根據臺鐵地震應變需求，優化案另外委託廠商於中心站建置地震速報網站，使用電子地圖連結資料庫清楚展示震後車站、變電站的震度資訊，以及各鐵路區段的應變資訊（圖 4），方便應用於地震應變調度與系統運作情形評估。網頁資訊可以選取圖形或文字展示，內容包括所有地震儀每分鐘的波形紀錄、警報器觸發後的波形紀錄、氣象局地震通報後的波形紀錄、氣象局地震速報資訊等。相關資訊經過整合後同時可以產製臺鐵局的地震應變報告，內容整合地震參數、震度資訊與應變指引。網站資訊另外與臺鐵局既有的即時通訊軟體串接，以自動或手動的方式，將地震訊息透過網際網路發至指定群組，有效提升臺鐵局地震應變作業效能。



臺灣鐵路管理局

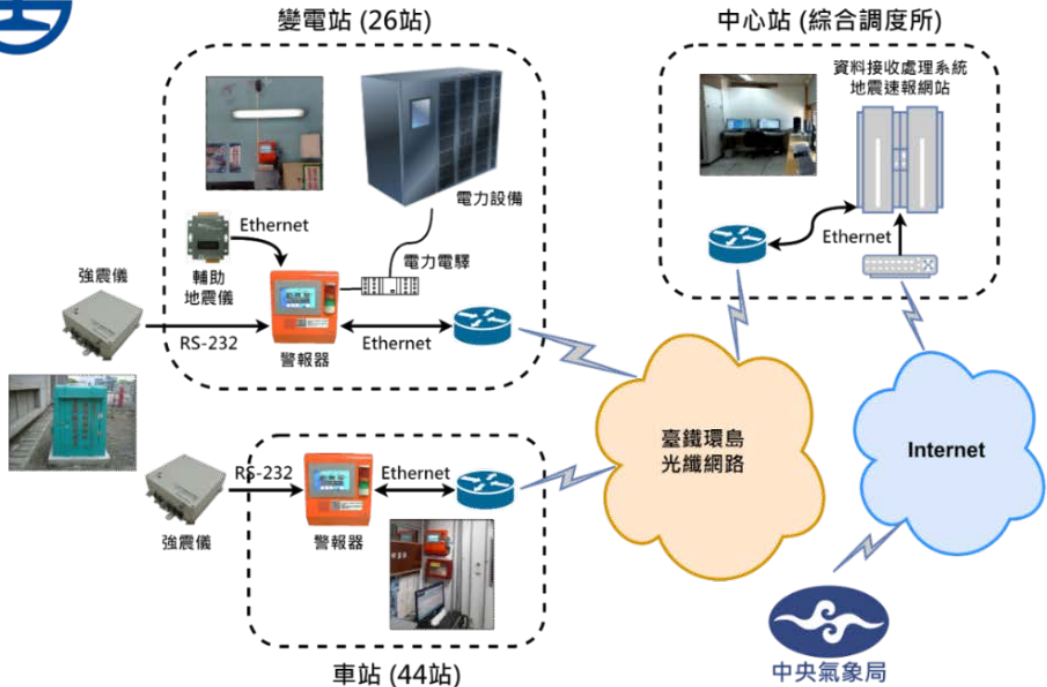


圖 3、新系統的系統架構圖，包括安裝於車站、變電站的強震儀與警報器，以及中心站的資料處理系統與速報網站。兩者間透過臺鐵環島光纖網路傳遞資料訊息，另外氣象局以網際網路提供地震速報資訊啟動作業。

Fig. 3. System diagram of the optimized TRA earthquake rapid reporting system. The equipment configuration mainly includes strong-motion seismometers and earthquake alarms installed at rail stations and substations, and a data processing and reporting system at Taipei headquarters.

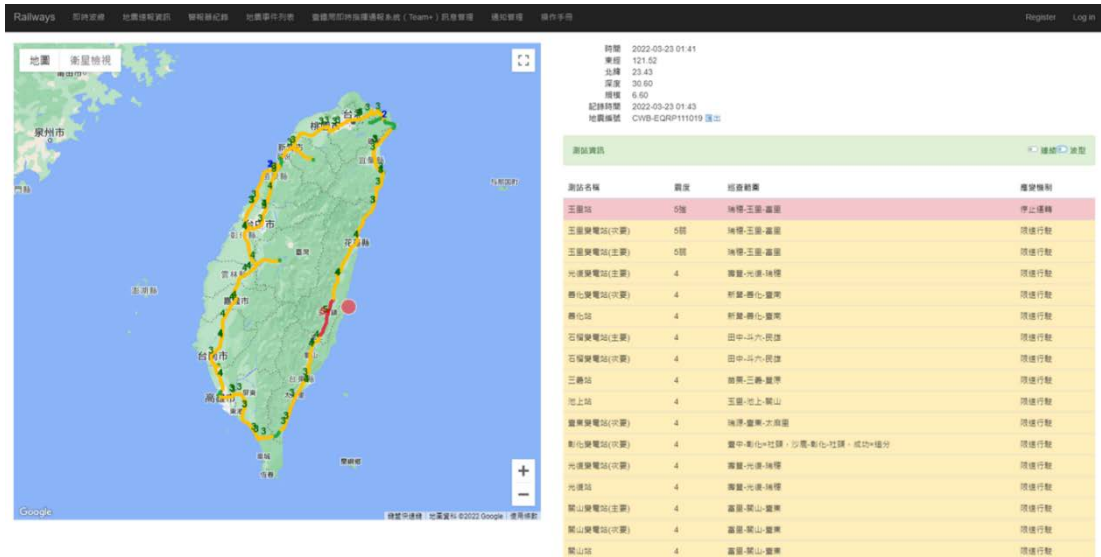


圖 4、臺鐵局地震速報網站展示 2022 年 3 月 23 日規模 6.7 東部海域地震發生時，環島鐵路震度分布與應變資訊頁面。

Fig. 4. Regarding the March 23, 2022 M6.7 off eastern Taiwan earthquake, the system website reveals information of the seismic intensities and related response actions along the Taiwan railway.

### 三、作業流程

優化後新系統的作業流程如圖 5，依據鐵路沿線強震儀的觸發紀錄，以及氣象局發布的地震速報資訊，在大地震發生後陸續啟動 5 套資料處理與通報作業，並依發布資訊的功用，區分為預警、告警與速報等 3 個階段。

地震預警係指強震後快速評估其影響的區域與程度，期望在強烈震波侵襲前提出警告，對於軌道運輸系統可以提供從業人員及乘客第一時間緊急防護減少傷亡，變電站電力設備亦可自動斷電迫使列車停駛，避免劇烈搖晃造

成出軌翻車。告警階段則是當強震儀偵測當地開始搖晃時，通報行駛列車採取限速行駛措施，同時透過自動斷電的方式，避免列車駛入可能遭受破壞的高風險路段。後續在地震發生後數十秒至數分鐘內的速報階段，其發布資訊包括鐵路沿線所有強震儀觀測的震度分布、氣象局產製的格點震度以及地震的震源參數，提供臺鐵局快速評估地震影響程度與路段，調度人員、物力實施路線巡檢、列車限速、旅客資訊提供等應變作為。

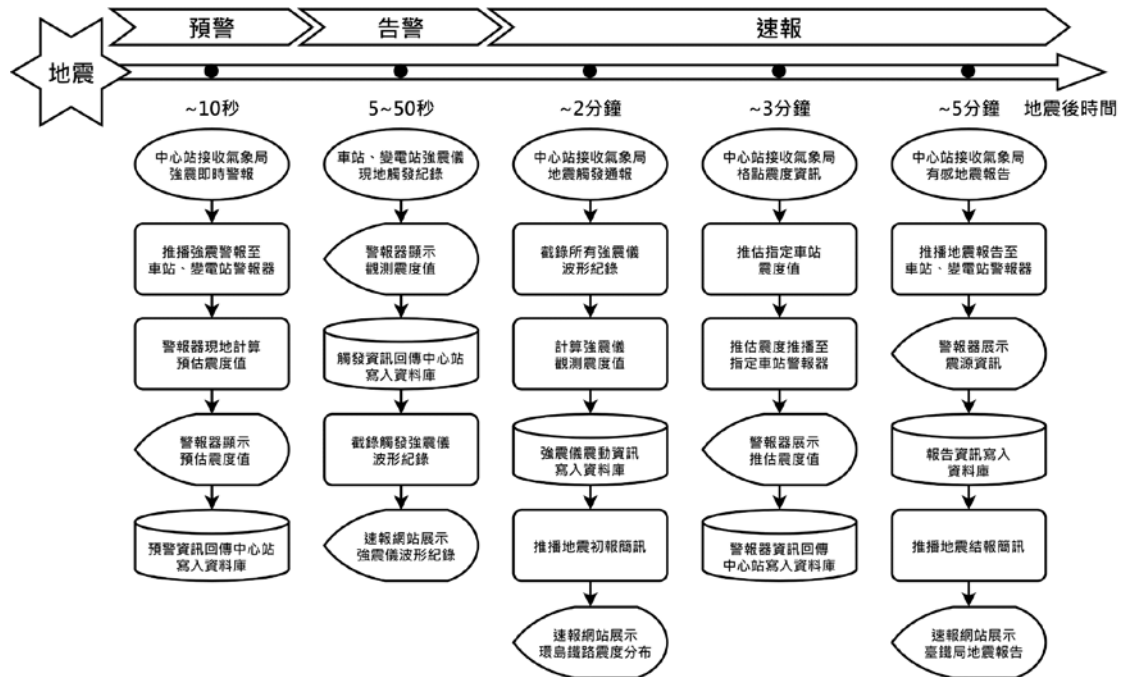


圖 5、優化後新系統的作業流程圖，依地震後啟用時序包括預警、告警、速報等 3 個階段，共 5 套地震資料接收、處理與通報作業。

Fig. 5. According to the stages of earthquake early warning, onsite alert, and rapid reporting, five operational processes are developed in the optimized TRA earthquake rapid reporting system respectively.

新系統作業包括地震預警作業、現地告警作業、觸發通報作業、震度推播作業以及地震報告作業，其中地震預警作業屬於預警階段，現地告警作業屬於告警階段，其餘 3 套作業則是屬於速報階段。有關各作業的啟動時機與作業流程說明如下：

### 地震預警作業

本作業為新開發功能，當系統接收到氣象局發布的強震即時警報即啟動本作業，目標針對距震央較遠的站點，可以提供預警時間採取緊急防護。氣象局於 2014 年開始啟用地震預警服務（蕭乃祺等，2014），當該局地震預警

系統偵測臺灣地區可能發生規模 4.5 以上地震，同時有縣市預估震度達 3 級以上時，會針對學校、公共設施、防救災單位發布強震即時警報。氣象局地震預警系統現階段針對島內或近海中大規模地震，可以在地震後 10 秒左右發布警報，外海或深層地震則是平均 20 秒左右（蕭乃祺，2020）。

本作業啟動後，首先會將警報訊息轉發至外站的警報器，然後再由警報器內建的處理模組預估該地的震度值，當達到應變標準則立即發布警示，提供站務人員第一時間緊急應變。另外安裝於變電站的警報器，如果預估震度值超過 5 強時，可輸出訊號透過電力電驛組控制

電力設備自動斷電。最後本作業產製的預警資訊，例如預估震度、警報時間、警報發布、變電站斷電等，會回傳至中心站的資料庫備查。

參考氣象局作法，本作業同樣採用蕭乃祺（2007）所提出的最大地動加速度 PGA（Peak Ground Acceleration）衰減式預估震度，雖然新的震度分級在震度 5 弱以上時會同時參考最大地動速度 PGV（Peak Ground Velocity）（中央氣象局，2019），但根據蕭乃祺（2021）研究指出，PGA、PGV 合併使用預估震度對於高震度會存在低估的狀況，因此目前仍維持使用 PGA 衰減公式預估震度。

### 現地告警作業

車站、變電站的警報器 24 小時持續接收強震儀地動加速度資料，當震動值超過預設門檻時，會觸發警報器計算與收錄該地的震度資訊，並依對應的應變分級顯示告警訊息。警報器告警資訊會同時回傳中心站，除寫入資料庫供查外，中心站資料處理軟體會截錄該外站的波形紀錄於網站展示。另外安裝於變電站的警報器，如果觀測震度值超過 5 強，亦可輸出訊號透過電力電驛組控制電力設備自動斷電。為確保電力設備不因單一強震儀故障而啟動斷電，新系統增加輔助地震儀，綜合判斷以提升斷電功能的正確性。

警報器地震觸發模式同時採用震波短時振幅 STA（Short Term Average）與長時振幅 LTA（Long Term Average）比值，以及 PGA 值等兩種方法，當其中 1 種方法達到預設的門檻時即會啟動本作業。目前 STA/LTA 的門檻值設為 3.5，而 PGA 值則設定達到臺鐵地震應變等級（震度 3 級以上）才觸發。

各外站啟動作業時間依據震央距離遠近不同，時間約於地震後 5 秒至 50 秒之間。

### 觸發通報作業

本作業為新開發功能，透過接收氣象局地震速報系統的自動定位報告，迅速產製環島鐵路沿線的觀測震度，為速報階段最重要的作業。氣象局的地震速報系統具備自動化資料處理功能，在正常運作下，一般可以在有感地震發生後 1 到 2 分鐘，自動解算地震發生時間、震央位置、震源深度與地震規模等資訊（蕭乃祺等，2005）。新系統接收該訊息後，將會觸發本作業，開始截錄所有外站強震儀的波形紀錄，並計算各車站、變電站的震度資訊。波形檔會依據震央位置設定紀錄的起始時間，同時地震規模越大，截錄的波形越長，以完整截錄地震 P 波、S 波的波形。

各外站觀測震度產製後，將串接臺鐵路局既有的即時通訊軟體發布簡訊給相關人員，速報網站亦會同步展示環島鐵路各外站震度分布，對於該局的地震應變提供重要資訊。新系統原本僅接收氣象局顯著有感地震的自動報告，為能獲得更完整地震資訊，2021 年 2 月起針對小規模的有感地震亦會通報。另外當氣象局地震速報系統因故沒有提供自動報告時，將會導致新系統無法產製環島鐵路各地的震度資訊。因此 2021 年 10 月起，如果新系統因故沒有收到自動報告時，氣象局所發布的正式地震報告亦會啟動本作業，以確保穩定提供各外站的震度資訊。

### 震度推播作業

本作業亦為新系統於速報階段新開發功能，針對現地無設置強震儀或沒有接收強震儀即時訊號的車站，可以透過本作業，接收氣象局的網格化震度資訊進行應變。氣象局為擴展震度資訊跨域整合與客製化服務的彈性，在該

局即時地震觀測網的架構下，發展格點震度的演算流程（蕭乃祺、戴一明，2022），並透過套疊的方式快速推估目標區的震度值。

氣象局產製格點震度的地震站約 170 站，格點精度為 1 公里，藉由此資訊推估震度的站點包括壽豐車站與瑞穗車站，推播時間約在地震後 3 分鐘左右。剛啟用時由於格點資料量過於龐大，導致新系統接收資料檔案不穩定，因此氣象局於 2021 年 8 月改僅提供臺鐵局所有車站、變電站周遭的格點震度，大幅調降檔案大小，因而本作業的穩定性亦已顯著提升。

#### 地震報告作業

當系統收到氣象局最終發布的有感地震報告，將啟動本作業，時間平均在地震後 5 分鐘。作業過程除將發震時間、震央位置（以經緯度及當地縣市政府所在地相對位置文字敘述）、震源深度、地震規模等震源資訊，推播至各外站警報器供參外，最主要功能將產製臺鐵局針對地震事件的地震報告，內容提供應變相關人員明確的處理指引，包含各站點的觀測震度、應變機制與巡查範圍等。此報告同時串接臺鐵局既有的即時通訊軟體，發布文字簡訊給相關人員做為應變調度使用，亦會於地震速報網站同步展示。

本作業另透過震源資訊，將系統資料庫中各作業所提供的資訊進行比對與連結，以方便後續地震資料分析與系統效能評估。

#### 四、效能分析

本研究蒐集 2021 年 1 月至 2022 年 6 月，新系統針對氣象局所發布 856 個有感地震的測報紀錄，評估其分別於速報、告警、預警各階段作業的表現。分析的地震主要分布於東部陸地與海域地區（圖 6），尤其集中在宜蘭南部山區到花東縱谷，另外嘉南地區地震亦較為頻繁，而且多為極淺層地震（淺於 15 公里），對於環島鐵路運輸造成影響。地震的規模從 2.5 到 6.7，其中規模 6 以上的地震有 12 個，最大為 2022 年 3 月 23 日凌晨 1 點 41 分的東部海域地震。

本研究完成 18 個月資料的分析後，2022 年 9 月 17 日與 18 日在臺東的關山與池上，又分別發生速報規模 6.4 與 6.8 的有感地震，並且造成花東鐵路嚴重受損，包括軌道挫屈、鐵路橋位移、橋台隆起等災害。因此本研究同時針對這 2 起災害地震，分析新系統的運作情形，以期研提後續改進措施。

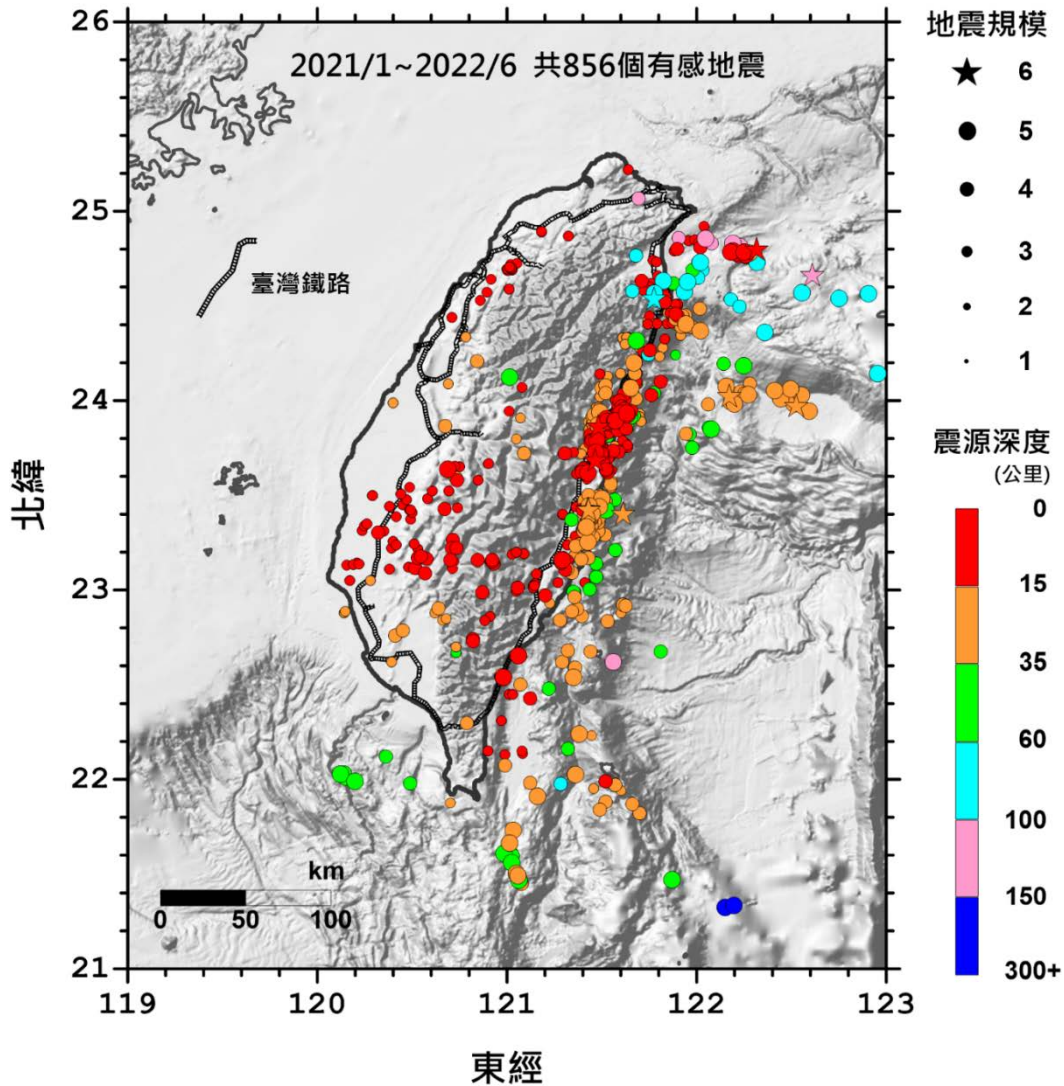


圖 6、本研究進行效能分析所參考 856 個有感地震的震央分布圖。

Fig. 6. Epicentral distribution map of 856 felt earthquakes collected and analyzed for the study.

### (一) 速報作業表現

新系統針對 856 個有感地震，總共處理氣象局發布的 781 筆地震通報紀錄、479 筆格點震度紀錄、824 筆地震報告紀錄，接收率分別為 91.2 %、56.0 %、96.3 % (圖 7)，如統計 2021 年 2 月開始接收小規模地震資訊後，則地

震報告的接收率更高達 99.0 %。觸發通報作業由氣象局的地震通報紀錄啟動，據此產製地震後鐵路沿線的震度分布資訊，當 2021 年 10 月該作業的觸發機制增加地震報告後，成功接收率已經可以達到 98.2 %。進一步分析 8 起沒有地震通報紀錄的個案，皆是小規模地震，而缺

漏資料的原因初步判斷跟連續地震以及系統維修有關。另外針對沒有安裝地震儀車站的震度推播作業，2021 年 8 月以後因調降格點震度的檔案大小，目前系統每個月的接收率已經趨於穩定，平均值為 81.2 %。

統計系統接收氣象局資訊的時效(圖 7)，目前平均地震後 113.5±71.4 秒可以收到地震通報紀錄，105.4±20.7 秒收到格點震度紀錄，254.9±86.8 秒收到地震報告紀錄。其中接收地震通報與地震報告的時效，會與氣象局地震速報系統是否產生與發送自動報告有關，如因無自動結果而改由人工處理發布，則此兩種紀錄的接收時間將會明顯增加，也因此其平均接收時間的標準差比較大。至於格點震度紀錄方面，由於目前皆仍僅由自動報告啟動，並未設計地震報告補啟動的機制，所以平均接收的時間較短，但接收的比例也相對比較低。

地震後快速提供各外站觀測震度，以及對應的應變分級與行動，是速報階段最重要的任務。分析觸發通報作業發布震度情形(圖 8)，781 個啟動作業的有感地震中，配合臺鐵局的地震應變分級，最大震度 2 級以下的地震共 525 起，比率 67.2 %，「震度 3 級」地震 169 起，「震度 4 級及 5 弱」地震 86 起，「震度 5 強以上」的地震則有 1 起。臺鐵局目前以震度 3 級以上地震為應變的門檻，因此針對氣象局發布的有感地震，僅約 1/3 需要應變。另外有 5 起震度 0 級的地震，則是因為地震規模較小，且震央位置距離鐵路軌道較遠，因此所有臺鐵局的強震儀皆沒有觀測到地震震度。

觸發通報作業解算震度的時效方面(圖 8)，總平均處理時間為 147.0 秒，即約地震發生後

2 分半鐘中心站可以完整獲取各車站、變電站的震度資訊。進一步分析其分布情形，有 64 筆地震可以在地震發生後 90 秒內震度資訊，比例為 8.9 %，絕大部分是發生在島內的小規模地震(規模小於 4.0)，因為其震動時間短，所以可以較快獲得完整的震度資訊。大部分地震可以在 90 秒至 3 分鐘得到資訊，比例為 77.3 %，3 分鐘到 5 分鐘的地震比例 8.9 %，主要為規模較大或是外海地震，由於擷取紀錄需要較長時間，所以較晚得到震度的資訊。至於 5 分鐘以上的比例則是 4.6 %，皆是因為系統在第一時間沒有收到氣象局的自動報告資訊，而是透過正式地震報告才開始擷取波形紀錄進行震度演算，所以延遲許多時間。

新系統震度推播作業透過氣象局的格點震度，目前可以提供壽豐車站與瑞穗車站震度資訊。為瞭解其可行性，本研究蒐集所有外站實際觀測的震度資訊，與格點震度推估的結果比較，比對的紀錄超過 2 萬 3 千筆。準確性方面(圖 9)，推估應變分級「震度 4 級及 5 弱」的站數共有 87 筆，與實際觀測完全一致的比例為 60.9 %，如加上亦需應變的「震度 3 級」則可以達到 96.5 %。系統推估「震度 3 級」的結果則明顯高估，預估需應變但實際未達門檻的比例高達 45.3 %，如將震度推播作業門檻調整為震度 4 級，則準確率可達到 62.1 %。另外在未達門檻的推估方面，比對結果一致的站數共 22,441 筆，準確度高達 99.5 %，顯示該作業漏報的機會很低。

時效表現方面(圖 9)，約 94 % 的地震可以在 3 分鐘內將推估震度推播至外站，60 % 的地震甚至可於 2 分鐘內完成。

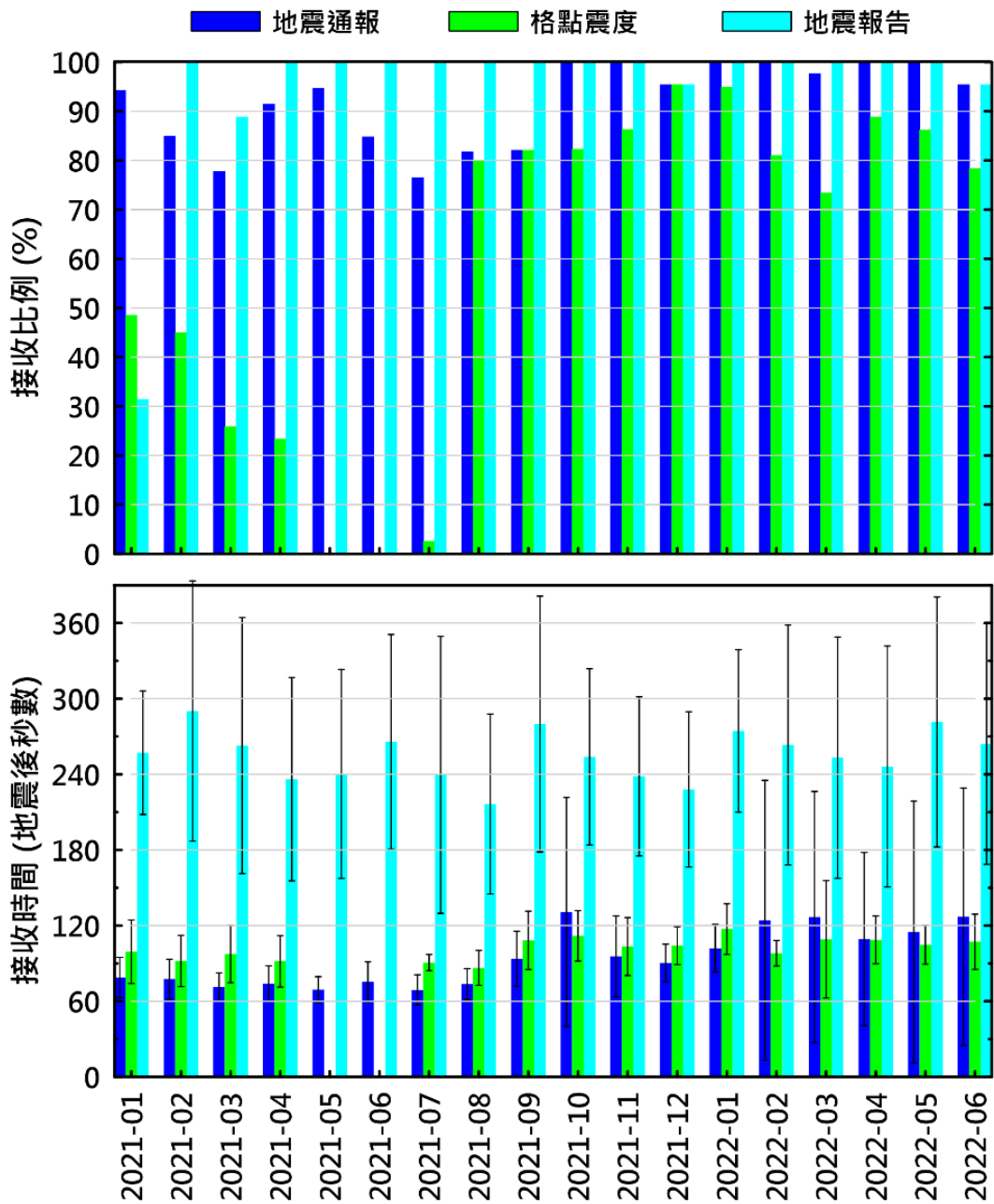


圖 7、2021 年 1 月至 2022 年 6 月共 18 個月，新系統每個月接收氣象局地震速報資訊情形，包括接收比例（上圖）與接收時間（下圖）的統計圖。

Fig. 7. Operational performances of the optimized system on receiving various CWB earthquake reports from January 2021 to June 2022, including the statistics of receive proportion (above) and receive time (below).

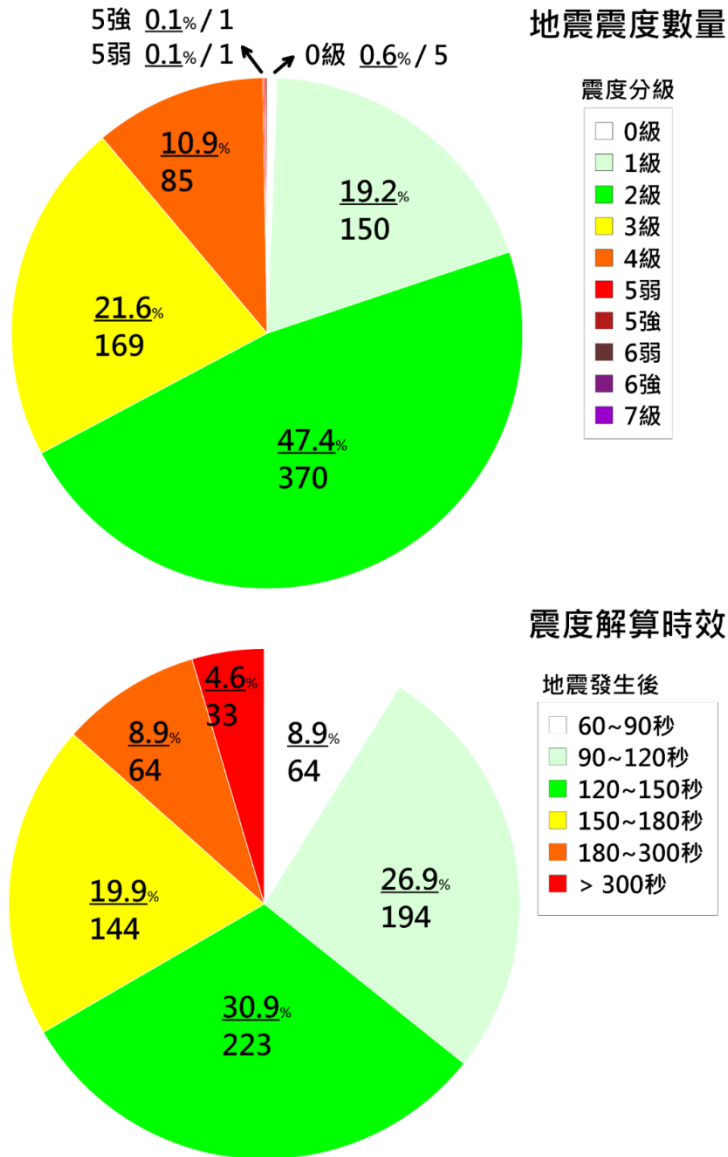


圖 8、新系統觸發通報作業發布震度資訊情形，包括地震震度的發布數量（上圖）與解算時間（下圖）的統計圖。

Fig. 8. Operational performances of the optimized system on earthquake trigger notification, including the statistics of numbers of the different seismic intensity level (above) and the statistics of calculation time (below).

## 應變分級比對

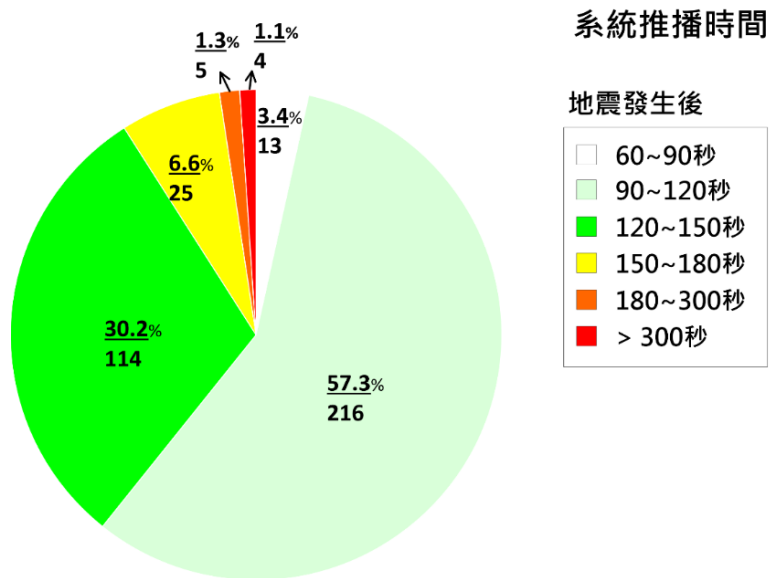
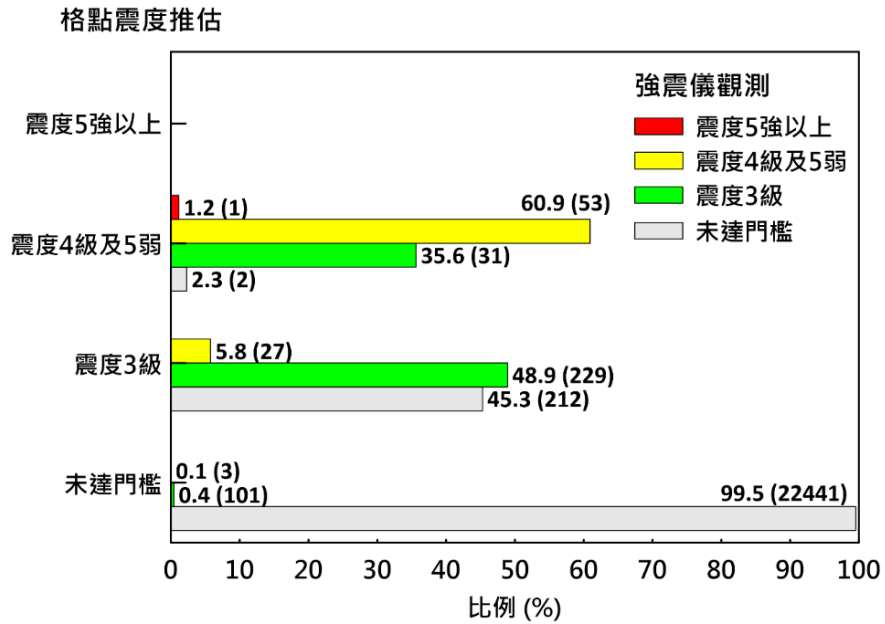


圖 9、新系統震度推播作業透過氣象局格點震度推播震度資訊情形，包括推估震度準確性（上圖）與推播時間（下圖）。

Fig. 9. Operational performances of the optimized system on seismic intensity estimation from CWB gridded seismic intensity data, including the accuracy of estimated seismic intensities (above) and the statistics of issuance time (below).

## (二) 告警作業表現

臺灣鐵路沿線總共安裝 54 部地表強震儀，即時記錄地動加速度資料，當達觸發門檻即啟動告警作業，透過警報器提供震度資訊進行緊急應變。本研究蒐集 3 個規模 6 以上的淺層地震，包括 2021 年 4 月 18 日規模 6.2 花蓮壽豐地震、2022 年 3 月 23 日規模 6.7 東部海域地震、2022 年 6 月 20 日規模 6.0 花蓮光復地震，分析外站地震告警的表現。圖 10 顯示地震期間所有外站觸發時間隨震源距離分布的情形，圖中同時標示警示的應變等級，結果顯示此 3 起島內或近海地震，所有距離 40 公里以內的站點在地震後 10 秒內就啟動告警，應變分級

皆達到「震度 4 級及 5 弱」以上，在最大震波侵襲前提供及時可靠的資訊。

絕大部分的車站、變電站在地震後 40 秒內即可啟動觸發告警，且與震源距離呈現良好的線性關係，迴歸分析後的關係式如下：

$$Y = (0.175 \pm 0.004)X + (2.300 \pm 0.489)$$

上式中斜率的倒數約為 5.7 km/sec，與上部地殼 P 波的速度非常接近，顯示各外站的告警作業主要由地震的 P 波所觸發。另外約 5 % 外站的告警時間較慢，經分析部分外站為 P 波的訊噪比較小未達門檻，當較明顯震波到達時才觸發，另外則可能為儀器的問題。

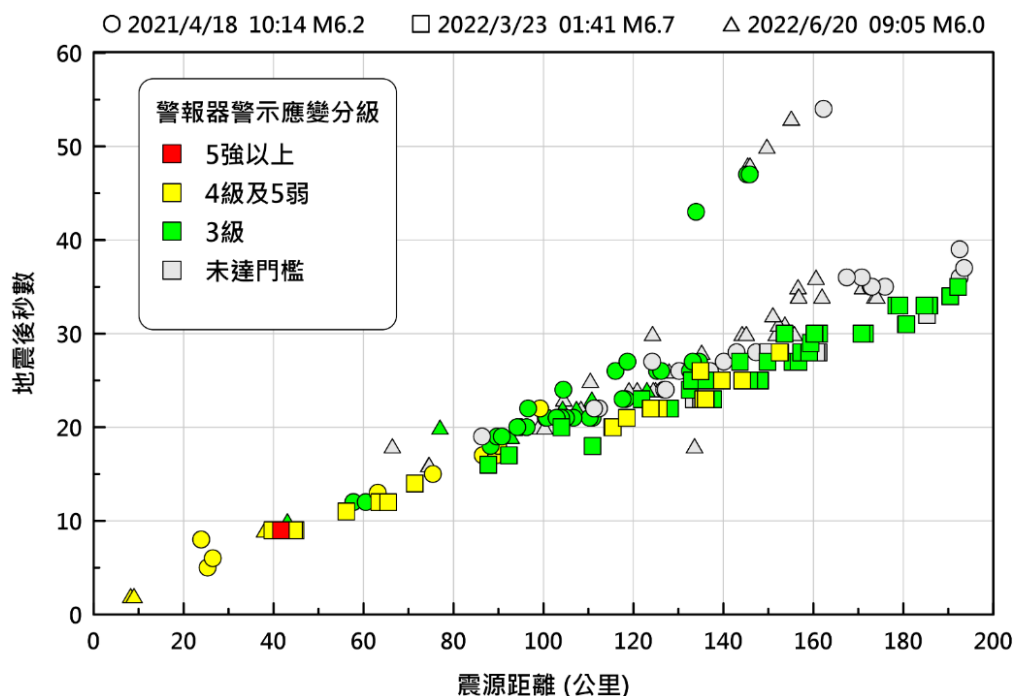


圖 10、2021 年 4 月 18 日規模 6.2 花蓮壽豐地震、2022 年 3 月 23 日規模 6.7 東部海域地震、2022 年 6 月 20 日規模 6.0 花蓮光復地震發生時，外站警報器觸發時間隨震源距離分布情形。

Fig. 10. Relationship on triggering time of the earthquake alarms in stations with hypocentral distances. The data are collected from the April 18, 2021 M6.2 Shoufeng earthquake, the March 23, 2022 M6.7 off eastern Taiwan earthquake, and the June 20, 2022 M6.0 Guangfu earthquake.

### (三) 預警作業表現

新系統總共接收到 90 個有感地震、共 119 筆氣象局的強震即時警報，其中正常將預警訊息推播至外站警報器的地震個數有 54 個，其餘 36 個地震沒有推播。圖 11 為系統地震預警的成效，包括警報預估應變分級的準確性，以及警報作業的時效性。準確性方面，透過 3,061 筆預估震度與強震儀觀測震度的比對，預估「震度 5 強以上」的站數有 3 筆，1 筆確實符合，2 筆則是「震度 4 級及 5 弱」，雖然等級完全一致的比例僅有 33.3%，惟「震度 4 級及 5 弱」的震動亦可能致災，而地震預警主要功能為劇烈搖晃時，能夠透過警報讓旅客與站員第一時間採取行動保護自身的安全，因此發布「震度 5 強以上」亦可發揮效果，並沒有誤報的情形。警報預估「震度 4 級及 5 弱」等級，而實際亦達到應變等級的比例達到 93.7%，包括「震度 4 級及 5 弱」39.7%、「震度 3 級」54.0%，同樣可以提早獲知預警的功用。系統預估「震度 3 級」的準確性則是很低，高達 70.4% 的外站不需要應變。至於達到應變等級，但警報卻預估未達門檻的比例僅為 1.5%，漏報的情形非常少。

警報作業時效方面，當氣象局發布強震即時警報後，系統皆能不到 1 秒就收到訊息，最快可以在地震後 10 秒就啟動作業，對於少數的外海深震，則會需要較久時間才收到警報。另外分析預警訊息推播至外站警報器的時間，發現系統平均需要數十秒才將訊息推播到外站，顯然無法達到預警的效果。另外作業穩定性亦需改善，90 個有感地震正常將預警訊息推播至警報器的次數僅有 54 個。

### (四) 2022 年 9 月關山、池上地震綜合表現

表 2、表 3 分別整理 9 月 17 日關山地震與

9 月 18 日池上地震發生時，新系統在告警、速報、預警 3 個階段，提供車站、變電站應變分級資訊的情形。首先評估強震儀所觀測震度的實用性，關山地震所觀測到最大震度是關山變電站 5 強，另外池上地震期間，玉里變電站的觀測震度更達到 6 強，池上站、關山變電站亦分別記錄到 6 弱與 5 強震度，而臺鐵局池上地區「玉里=富里段」確實發生鐵路橋樑受損、路線損壞、列車脫軌情形。關山變電站強震儀與輔助地震儀的觀測資料，在關山地震皆達到「震度 5 強以上」的應變等級，這是新系統運作以來，第 1 次變電站達到斷電的門檻。另外池上地震時玉里變電站、關山變電站亦達到啟動自動斷電的門檻，惟臺鐵局電力設備因地震影響即先行跳脫斷電。

反應時效方面，告警階段外站依據震源距離，透過警報器接續獲得當地應變分級資訊，時間約在震後 2 秒至 40 秒之間。靠近震央「震度 5 強以上」的站址皆在 5 秒內就完成觸發告警，例如玉里變電站在池上地震發生後 5 秒就觸發告警，比最大震波侵襲時間提早 10 秒以上，對於第一時間的緊急應變提供重要資訊。不過當時氣象局的地震速報系統並沒有順利發送 2 個地震的自動報告，因此速報階段整個環島鐵路完整的應變資訊，皆約在地震後 6 分鐘才在速報網頁上展示，通報簡訊亦在當時才串接發送。

預警功能的表現，新系統雖然在震後 10 秒左右就收到氣象局的強震即時警報（關山地震 9 秒、池上地震後 10 秒），並立即啟動強震預警作業，但由於系統推播外站不穩定的問題當時尚未解決，導致池上地震平均在地震後 21 秒才將警報送到外站，而關山地震更高達 46 秒，皆無法發揮地震預警提早反應的成效。

預估應變分級的實用性，關山地震的預估結果較為準確，預估「震度4級及5弱」的站點與實際觀測等級大部分吻合。反觀池上地震的預估則明顯低估，其原因為氣象局針對池上地震所發布的警報訊息，第1報預估的地震規模僅為6.2（實際規模6.8），導致低估各外站的震

度值。

另外儀器問題亦影響資訊提供的實用性，例如強震時部分訊號中斷、震幅值異常，或是感應器故障等，有關2個地震中，因為儀器問題導致應變資訊的情形請參考表2、表3的備註說明。

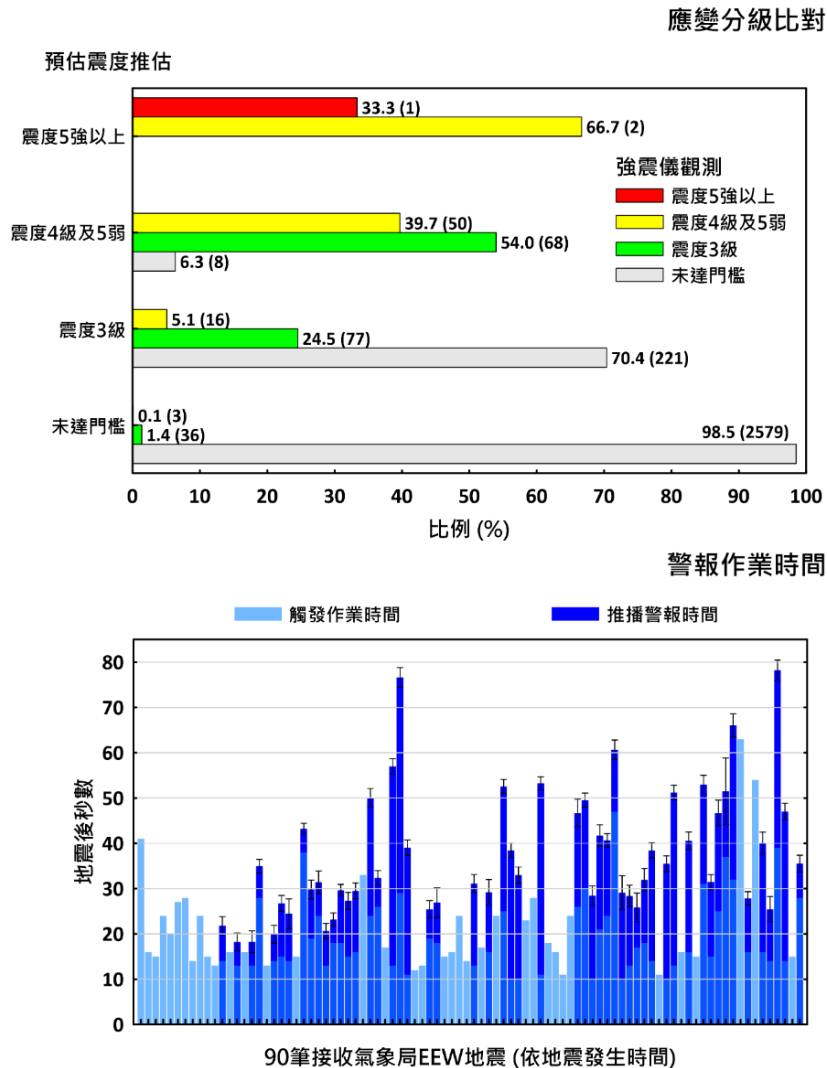


圖 11、新系統地震預警作業的運作成效，包括警報預估應變分級的準確性（上圖）與警報作業的時效性（下圖）。

Fig. 11. Operational performances of the optimized system on earthquake early warning, including the accuracy of predicted response levels (above) and the time efficiency (below).

表 2、2022 年 9 月 17 日關山地震新系統於告警、速報、預警階段所提供應變分級資訊情形。

Table 2. Operational performances of the optimized system on earthquake early warning, onsite alert, and rapid reporting during the September 17, 2022 M6.4 Guanshan earthquake.

地點	震源距離 (公里)	警報器 告警應變分級		告警 時間 (秒)	速報網頁 顯示應變分級		速報 時間 (秒)	強震警報 預估應變分級	預警 時間 (秒)	備註
		強震儀	輔助地震儀		強震儀	輔助地震儀				
關山變電站	8.7	5 強以上	5 強以上	2	5 強以上	5 強以上	371	5 強以上	45	達斷電門檻
關山站	9.2	5 強以上		2	5 強以上		371	5 強以上	47	
池上站	11.9	4 級及 5 弱		3	4 級及 5 弱		371	5 強以上	42	
玉里站	32.3	4 級及 5 弱		7	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	44	
臺東站	32.6	4 級及 5 弱		7	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	44	
玉里變電站	35.2	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	7	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	47	
臺東變電站	38.8	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	7	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	49	
太麻里站	54.9	4 級及 5 弱		10	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	46	
光復站	70.7	4 級及 5 弱		13	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	46	
光復變電站	72.1	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	13	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	47	
大武變電站	78.3	3 級	3 級	14	3 級	3 級	371	4 級及 5 弱	45	
大武站	83.5	3 級		15	3 級		371	4 級及 5 弱	54	
屏東站	83.7	4 級及 5 弱		-	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	42	強震儀校時失效
嘉義站	87.2	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		369	4 級及 5 弱	54	
嘉義變電站	87.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	369	4 級及 5 弱	43	
善化變電站	88.8	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	20	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	42	
善化站	88.8	4 級及 5 弱		20	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	42	
潮州變電站	90.0	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	17	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	42	
潮州基地站	90.0	4 級及 5 弱		17	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	48	
九曲堂站	90.0	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	46	
新營站	90.1	3 級		20	3 級		371	4 級及 5 弱	46	強震儀垂直向與南北向感應器故障
九曲堂變電站	90.3	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	43	
岡山變電站	94.3	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	20	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	42	
岡山站	94.3	4 級及 5 弱		20	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	44	
石榴變電站	94.3	未達門檻	3 級	18	3 級	3 級	371	4 級及 5 弱	46	強震儀訊號部分中斷
斗六站	95.3	3 級		19	3 級		369	4 級及 5 弱	41	
臺南站	98.2	4 級及 5 弱		25	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	45	

枋寮站	98.4	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	44	
枋野站	100.3	未達門檻		17	未達門檻		373	4 級及 5 弱	45	強震儀訊號部分中斷
加祿站	101.2	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	47	
內獅變電站	101.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	44	
花蓮變電站	111.3	3 級	3 級	22	3 級	3 級	371	4 級及 5 弱	48	
花蓮站	111.3	3 級		22	3 級		371	4 級及 5 弱	45	
彰化變電站	127.4	3 級	3 級	24	3 級	3 級	369	4 級及 5 弱	45	
臺中站	127.5	未達門檻		25	未達門檻		371	4 級及 5 弱	47	強震儀訊號部分中斷
彰化站	128.4	3 級		24	3 級		369	4 級及 5 弱	48	
豐原站	137.4	未達門檻		-	未達門檻		371	3 級	42	強震儀校時失效
豐原變電站	139.5	未達門檻	3 級	27	未達門檻	3 級	371	3 級	46	強震儀訊號部分中斷
臺中港站	146.9	5 強以上		27	5 強以上		371	3 級	51	強震儀震幅值異常
甲南變電站	147.3	5 強以上	3 級	27	5 強以上	3 級	369	3 級	43	強震儀震幅值異常
和平變電站	148.2	未達門檻	未達門檻	27	未達門檻	未達門檻	371	4 級及 5 弱	49	
和平站	148.2	未達門檻		27	未達門檻		371	3 級	41	
大甲站	151.3	3 級		28	3 級		371	4 級及 5 弱	44	
三義站	153.9	3 級		28	3 級		371	3 級	49	
南澳站	166.4	未達門檻		31	未達門檻		371	3 級	46	強震儀垂直向與東西向感應器故障
苗栗站	169.0	3 級		32	3 級		371	3 級	43	強震儀訊號部分中斷
苗栗變電站	171.2	3 級	3 級	31	3 級	3 級	371	3 級	44	
後龍站	174.0	3 級		31	3 級		371	3 級	49	
後龍變電站	174.3	3 級	3 級	31	3 級	3 級	371	3 級	45	
蘇澳變電站	177.8	未達門檻	未達門檻	33	未達門檻	未達門檻	373	3 級	51	強震儀校時失效
蘇澳新站	180.8	未達門檻		-	未達門檻		373	3 級	43	強震儀校時失效
新竹站	191.8	3 級		34	3 級		371	3 級	45	
新竹變電站	193.7	未達門檻	未達門檻	38	未達門檻	未達門檻	371	-	-	1.強震儀訊號部分中斷 2.查無預估震度資料
宜蘭站	195.7	3 級		35	3 級		371	3 級	46	
礁溪站	202.6	3 級		37	3 級		371	3 級	46	
礁溪變電站	203.7	3 級	3 級	37	3 級	3 級	371	3 級	44	
內壢變電站	210.9	未達門檻	未達門檻	39	未達門檻	未達門檻	373	3 級	45	
樹林變電站	211.9	-	3 級	51	3 級	3 級	373	3 級	42	查無警報器震度資料

桃園站	212.3	未達門檻		39	未達門檻		373	3 級	48	
樹林站	213.4	3 級		-	3 級		373	3 級	45	強震儀校時失效
臺北站	221.2	未達門檻		41	未達門檻		373	3 級	51	
南港站	222.9	未達門檻		39	3 級		371	3 級	46	
南港變電站	224.6	未達門檻	3 級	39	3 級	3 級	371	3 級	47	
雙溪變電站	228.6	未達門檻	未達門檻	42	未達門檻	未達門檻	373	3 級	43	
雙溪站	228.6	未達門檻		42	未達門檻		373	3 級	44	
七堵站	230.8	4 級及 5 弱		40	4 級及 5 弱		371	3 級	48	強震儀震幅值異常
瑞芳站	234.2	未達門檻		44	未達門檻		373	3 級	42	強震儀垂直向感應器故障

表 3、2022 年 9 月 18 日池上地震新系統於告警、速報、預警階段所提供應變分級資訊情形。

Table 3. Operational performances of the optimized system on earthquake early warning, onsite alert, and rapid reporting during the September 18, 2022 M6.8 Chishang earthquake.

地點	震源距離 (公里)	警報器 告警應變分級		告警 時間 (秒)	速報網頁 顯示應變分級		速報 時間 (秒)	強震警報 預估應變分級	預警 時間 (秒)	備註
		強震儀	輔助地震儀		強震儀	輔助地震儀				
池上站	8.1	5 強以上		2	5 強以上		353	5 強以上	18	
關山變電站	11.4	5 強以上	5 強以上	2	5 強以上	5 強以上	353	4 級及 5 弱	20	1.達斷電門檻 2.強震儀訊號部分中斷
關山站	13.3	5 強以上		2	5 強以上		353	4 級及 5 弱	24	強震儀訊號部分中斷
玉里站	24.7	4 級及 5 弱		5	4 級及 5 弱		355	-	-	1.強震儀訊號部分中斷 2.查無預估震度資料
玉里變電站	27.4	5 強以上	5 強以上	5	5 強以上	5 強以上	355	-	-	1.達斷電門檻 2.強震儀訊號部分中斷 3.查無預估震度資料
臺東站	39.5	4 級及 5 弱		9	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	18	
臺東變電站	45.7	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	19	
太麻里站	62.3	3 級		11	3 級		355	4 級及 5 弱	22	
光復站	63.0	4 級及 5 弱		11	4 級及 5 弱		353	3 級	18	
光復變電站	64.4	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	11	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	26	
大武變電站	85.8	未達門檻	未達門檻	17	未達門檻	未達門檻	353	3 級	18	
嘉義站	87.6	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	23	
嘉義變電站	88.6	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	28	強震儀校時失效

屏東站	90.7	4 級及 5 弱		-	4 級及 5 弱		355	3 級	21	強震儀校時失效
大武站	91.0	未達門檻		17	未達門檻		353	3 級	24	
石榴變電站	92.1	未達門檻	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	21	強震儀訊號部分中斷
新營站	92.3	4 級及 5 弱		22	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	21	強震儀垂直向與南北向感應器故障
善化變電站	92.5	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	21	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	22	
善化站	92.5	4 級及 5 弱		21	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	22	
斗六站	93.4	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	20	
九曲堂站	97.0	4 級及 5 弱		21	4 級及 5 弱		355	3 級	17	
九曲堂變電站	97.2	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	21	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	3 級	17	
潮州變電站	97.5	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	3 級	22	
潮州基地站	97.5	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		355	3 級	21	
岡山變電站	100.4	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	-	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	3 級	19	強震儀校時失效
岡山站	100.4	4 級及 5 弱		-	4 級及 5 弱		355	3 級	24	強震儀校時失效
臺南站	103.1	4 級及 5 弱		25	4 級及 5 弱		353	3 級	21	
花蓮變電站	103.5	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	20	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	25	
花蓮站	103.5	4 級及 5 弱		20	4 級及 5 弱		353	3 級	24	
枋寮站	106.1	3 級		20	3 級		355	3 級	18	
枋野站	108.0	3 級		19	3 級		355	3 級	18	
加祿站	108.9	3 級		22	3 級		355	3 級	20	
內獅變電站	109.6	3 級	3 級	21	3 級	3 級	355	3 級	23	
臺中站	123.0	3 級		24	3 級		353	3 級	25	強震儀訊號部分中斷
彰化變電站	123.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	23	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	21	
彰化站	124.8	4 級及 5 弱		23	4 級及 5 弱		353	3 級	20	
豐原站	132.5	未達門檻		24	4 級及 5 弱		353	3 級	20	強震儀訊號部分中斷
豐原變電站	134.6	未達門檻	4 級及 5 弱	24	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	18	強震儀訊號部分中斷
和平變電站	140.4	3 級	3 級	25	3 級	3 級	353	3 級	31	
和平站	140.4	3 級		25	3 級		353	未達門檻	19	
臺中港站	142.5	5 強以上		26	5 強以上		353	3 級	22	強震儀震幅值異常
甲南變電站	142.9	5 強以上	3 級	26	5 強以上	3 級	353	3 級	20	強震儀震幅值異常
大甲站	146.7	3 級		27	3 級		353	3 級	24	
三義站	148.6	4 級及 5 弱		27	4 級及 5 弱		353	3 級	21	
南澳站	158.7	3 級		30	3 級		353	3 級	24	強震儀垂直向與東西向感應器故障

苗栗站	163.5	4 級及 5 弱		25	4 級及 5 弱		353	3 級	23	強震儀訊號部分中斷
苗栗變電站	165.6	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	30	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	22	
後龍站	168.5	4 級及 5 弱		31	4 級及 5 弱		353	未達門檻	23	
後龍變電站	168.8	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	31	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	23	
蘇澳變電站	170.0	3 級	4 級及 5 弱	31	3 級	4 級及 5 弱	355	3 級	25	
蘇澳新站	173.1	3 級		31	3 級		355	未達門檻	23	
新竹站	185.6	4 級及 5 弱		33	4 級及 5 弱		355	3 級	18	
新竹變電站	187.5	5 強以上	3 級	37	5 強以上	3 級	355	3 級	24	1.強震儀震幅值異常 2.強震儀垂直向感應器故障
宜蘭站	188.1	4 級及 5 弱		34	4 級及 5 弱		355	未達門檻	19	
礁溪站	195.1	3 級		34	3 級		355	未達門檻	23	
礁溪變電站	196.1	3 級	3 級	34	3 級	3 級	355	未達門檻	23	
內壢變電站	204.0	未達門檻	3 級	37	3 級	3 級	355	未達門檻	17	
樹林變電站	204.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	42	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	未達門檻	24	
桃園站	205.4	未達門檻		37	3 級		355	未達門檻	17	
樹林站	206.3	4 級及 5 弱		42	4 級及 5 弱		355	未達門檻	19	
臺北站	214.0	3 級		38	3 級		355	未達門檻	20	
南港站	215.6	4 級及 5 弱		38	4 級及 5 弱		355	未達門檻	20	
南港變電站	217.2	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	38	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	未達門檻	22	
雙溪變電站	221.0	未達門檻	未達門檻	39	未達門檻	未達門檻	355	未達門檻	25	
雙溪站	221.0	未達門檻		39	未達門檻		355	未達門檻	17	
七堵站	223.3	5 強以上		39	5 強以上		355	未達門檻	24	強震儀震幅值異常
瑞芳站	226.7	未達門檻		41	未達門檻		355	未達門檻	20	強震儀垂直向感應器故障

## 五、綜合討論

根據本研究成果，臺鐵局著手調整系統程式與作業流程，例如預警資訊傳遞延遲的問題，已委請系統開發廠商三聯公司修改完畢，目標在 1 秒內將警報發送至所有外站的警報器。另外氣象局地震速報系統在關山地震、池上地震沒有發送自動報告的問題，該局亦已調整派送

流程，期望提升資訊提供的穩定性，進而強化鐵路沿線震度速報的時效性。有關調整後系統的運作成效，建議持續校驗追蹤。

透過氣象局的格點震度，可以在沒有安裝強震儀或沒有接收強震儀即時訊號的車站，提供震度資訊進行應變。根據分析，推估「震度 4 級及 5 弱」等級已具備參考價值，而「震度 3 級」的準確度則仍有待改進。氣象局於 2017

年建置行政區震度顯示系統(蕭乃祺、戴一明, 2022), 在全臺灣安裝 356 個即時強震站, 並逐年增加數量, 目標在 2024 年完成 600 站, 屆時將可提供更精確的格點資訊, 進一步提升車站推估震度的可用性。另外建議新系統增加補送格點震度的機制, 以提升車站推估震度的穩定性。

經由池上地震造成軌道災害的實際案例, 驗證變電站具備自動斷電功能的必要性, 可以防止火車駛入可能遭受破壞的高風險路段, 而軌道列車因自動斷電而減少災害的情形, 在日本亦曾發生。2004 年日本新潟縣規模 6.8 中越地震發生時, 新幹線的地震預警系統在偵測到 P 波後, 及時中斷電力減慢列車速度, 同時司機員在識別出警報後的 1.5 秒亦進行緊急剎車。最劇烈的震波則在動作後 1.2 秒開始抵達, 雖然當時沒有足夠時間將火車從每小時 204 公里的速度, 減速到安全的範圍, 而最終發生脫軌情況, 但由於最大震波侵襲前關鍵數秒的減速, 經評估確實有效降低災害的程度 (Nakamura, 2008)。另外地震預警資訊在日本 2011 年 311 大地震亦發揮具體成效, 當第一波震動侵襲離震央最近的仙台列車前 9~12 秒, 運行中的 33 部列車皆已收到警報自動緊急剎車, 而最劇烈的震動更在 1 分鐘後才抵達, 因此所有的乘客或工作人員皆沒有在地震中受傷 (Shimamura and Keyaki, 2013)。

強震儀承擔蒐集與提供鐵路沿線震動資訊的任務, 由於必須安裝於軌道附近, 因此勢必受到火車通過擾動的影響, 且實務上難以透過濾波的方式排除。圖 12 為臺鐵局各外站強震儀在 2022 年 5 月觸發的情形, 包括觸發次數以及達到應變等級(震度 3 級以上)的比例, 由於該月份的有感地震較少, 所以挑選該月份

進行分析。結果發現, 新系統每日平均觸發的總數高達 4,885 次, 亦即每分鐘就有 3 到 4 個強震儀被觸發, 同時許多站點 1 個月累積數量超過 3,000 次, 亦即每天約 100 次, 而由於西部幹線的班次較多, 因此觸發的次數也較東部頻繁。強震儀頻繁觸發, 容易在真正地震發生時, 無法完整記錄地震波形與忠實反應震動資訊, 同時會造成系統硬體沉重的運轉負擔, 因此針對強震儀的觸發模式或提高地震應變震度, 後續建議需要再評估與調整。

進一步分析所有的觸發紀錄, 達應變等級的比例僅有 0.5 %, 而且集中在少數外站, 可能的原因包括火車、公路車輛等環境因素與儀器問題。對於容易誤觸發造成無效應變的站址, 臺鐵局已經陸續進行改善, 包括更換替代強震儀、改接附近站點儀器的訊號或改接收氣象局地震速報資料等。此次優化案雖評估原有強震儀仍堪使用, 不過畢竟已經運轉超過 20 年, 原廠零件也已不生產, 因此未來如經費許可, 建議全面汰換現有強震儀, 除了確保資料品質外, 同時資料傳輸方式與儀器解析度亦升級為新一代架構與產品, 將可提升觀測儀器運作與維護能力。

## 六、結語

臺鐵局新地震速報系統整合自建強震儀的即時紀錄與氣象局的速報資訊, 具備地震預警、告警與速報功能, 堪稱目前國內公營/公共事業因應地震應變, 最完備的資料接收、處理與通報系統。本研究蒐集系統上線後實際運作的成果進行分析, 檢討各階段作業提供應變資訊的準確性與時效性, 做為系統後續精進的方向。綜整主要的分析結果與調整建議如下:

1. 臺鐵局自建強震儀提供現地震度資訊仍有

其必要性，透過氣象局的地震通報紀錄，新系統平均在地震發生後的 2 分半鐘可以產出鐵路沿線震度分布情形，供應變調度使用。如氣象局地震速報系統因故沒有傳送自動報告，則通報時間可能延遲至 5 分鐘以上。

2. 中大型有感地震發生後，車站、變電站的強震儀隨著震源距離，以每秒約 5.7 公里的速度依序觸發告警，可以在最大震波侵襲前提供及時的應變資訊。
3. 新系統可在 1 秒內接收氣象局的強震即時警報啟動預警作業，其中預估「震度 5 強以上」等級已具備應用價值，預估「震度 4 級及 5 弱」等級，而實際達到應變等級

的比例亦達到 93.7 %。研究中發現預警資訊傳遞延遲的問題已經修改完成，建議後續追蹤檢驗其調整結果。

4. 經由池上地震造成軌道災害的實際案例，驗證變電站具備自動斷電功能的必要性。關山變電站在關山地震時新系統第 1 次達到自動斷電的門檻，另外池上地震時玉里變電站、關山變電站亦達到斷電門檻。
5. 建議針對強震儀的觸發模式、觸發震度進行評估與調整，避免火車通過雜訊造成頻繁觸發，提升地震告警資訊的可靠性與穩定性，同時降低系統硬體的運轉負擔。

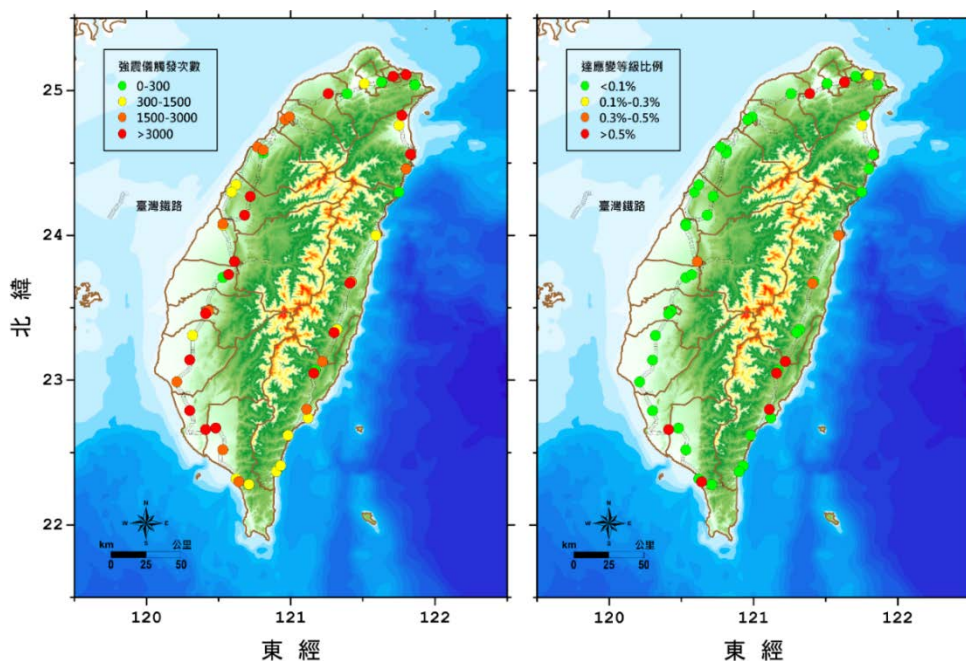


圖 12、2022 年 5 月份鐵路沿線強震儀的觸發情形，包括觸發次數（左圖）以及達到應變等級比例（右圖）。

Fig. 12. Triggering conditions of the strong-motion seismometers along the railway on May 2022. The left map shows the number of triggers, and the right one is the proportion reaching the earthquake response level.

## 參考文獻

中央氣象局，2019：交通部中央氣象局有感地震報告發布作業要點，共 4 頁。

臺灣鐵路管理局，2020：交通部臺灣鐵路管理局災害事故應變處理須知，共 30 頁。

蕭乃祺、吳健富、陳文淇、辛在勤、吳逸民，2003：台灣環島鐵路強地動觀測系統之建置，第十屆台灣地區地球物理研討會論文集，282-286 頁。

蕭乃祺、吳逸民、辛在勤，2005：台灣地區地震速報系統之發展，*氣象學報*，第 45 卷第 4 期，1-15 頁。

蕭乃祺，2007：台灣即時強地動觀測於地震預警之應用，中央大學地球物理研究所博士論文，共 178 頁。

蕭乃祺、蕭文啟、江嘉豪，2014：中央氣象局強震即時警報作業介紹，中央氣象局通訊，103 年 8 月號，1-6 頁。

蕭乃祺，2020：與地震波的競賽-地震速報預警，天文日曆 2021，157-166 頁。

蕭乃祺，2021：臺灣新地震震度分級制度之效益研究，*氣象學報*，第 56 卷第 1 期，55-81 頁。

蕭乃祺、戴一明，2022：精進行政區震度資訊實用性之研究，*氣象學報*，第 57 卷第 3 期，49-78 頁。

Nakamura, Y. (2008). First actual P-wave alarm systems and examples of disaster prevention by them, *14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 12–17 October 2008*.

Shimamura, M. and T. Keyaki (2013). How Japan's bullet trains survived the 2011

Great Tohoku earthquake, *Proc. Eastern Asia Soc. Transport. Stud.* 9, 49.

# Performance analysis of the optimized TRA earthquake rapid reporting system

Nai-Chi Hsiao<sup>1</sup>, Chun-Ta Chiu<sup>1</sup>, Yun-Tau Liu<sup>2</sup>,  
Cheng-Tao Wang<sup>3</sup>, and Benjamin Ming Yang<sup>4</sup>

Seismological Center, Central Weather Bureau, Taiwan, ROC<sup>1</sup>

General Dispatch Office, Taiwan Railways Administration, Taiwan, ROC<sup>2</sup>

San Lien Technology Corp Ltd, Taiwan, ROC<sup>3</sup>

Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan, ROC<sup>4</sup>

## Abstract

The Taiwan Railways Administration (TRA) and the Central Weather Bureau (CWB) have cooperated to optimize the TRA earthquake rapid reporting system since 2019. Totally 54 strong-motion seismometers and 70 earthquake alarms are installed at 44 rail stations and 26 substations respectively. Furthermore, in Taipei headquarters, a new data processing and reporting system is developed and operated. While a felt earthquake occurs, by receiving the real-time seismic data along Taiwan railway and related seismic reports from CWB, operations for generating earthquake early warning, onsite alert, trigger notification, seismic intensity, and earthquake report successively. Timely information of earthquake impacts are provided to the TRA for the purpose of earthquake response. The optimized system has been in operation since 2021. In order to understand the system performance, 18 monthly operational data are collected and analyzed in this study. The result shows that the distributions of observed seismic intensities along the railway could be obtained 2.5 minutes after earthquake happening averagely. In addition, while a significant earthquake occurs, earthquake alarms in stations are activated and give alert successively at a speed of 5.7 km/sec according to the hypocentral distances. Hence, timely message for emergency response is provided before the largest shaking wave arrives. The new function for earthquake early warning (EEW) is implemented, which could be activated within 1 second after receiving the CWB EEW message. Currently, the warnings with predicted seismic intensity 4 or above are effective for reference on emergent applications. In addition, by means of the CWB gridded seismic intensity data, it is possible to provide estimated intensities for sites without seismometer implementation. Thus the measures for earthquake response accordingly are capable of conducting at these stations as well. During the Chishang earthquake of September 18, 2022, both Yuli substation and Guanshan substation reached the threshold for automatic power-off. After the actual damages on railways caused by the earthquake, it is revealed that an automatic power-off function is crucial for the railway system.

**Key words:** Taiwan railway, earthquake rapid reporting system, earthquake early warning, earthquake onsite alert, earthquake response