

通訊基地台受震損壞評估及防災規劃應用

吳秉儒、柯孝勳、許智豪

國家災害防救科技中心 地震與人為災害組

摘要

通訊系統受到強烈地震作用，可能造成通訊雍塞或中斷，使災區民眾無法與外界聯繫，救災單位無法掌握災區狀況。考量防救災規劃之需求，國家災害防救科技中心建立震後通訊基地台受損評估模式，綜合地表振動及電力中斷造成之影響，推估各鄉鎮市區通訊基地台受損數量及百分比，研究成果已提供內政部於 2010 年國家防災日地震演練規劃參考應用。

一、前言

通訊系統在災害監測、預警資訊傳遞、救災通聯上扮演重要的角色，在各種通訊管道中，以手機最為普及與便利。我國於 2016 年整合中央各部會、國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)、民間電信業者資源共同建立災害告警細胞廣播系統(Public Warning Cell

Broadcast System)，透過手機傳遞地震速報、海嘯警報、颱風強風告警、土石流警戒等災害示警訊息(<https://en.cbe.tw/>)。然而，通訊系統可能受到地震作用而受損，使災害示警訊息無法順利傳達給民眾，造成災區民眾與外界聯繫受阻。救災單位需要儘速恢復通訊系統運作，掌握災區受災狀況，使救災資源能順利部署至重災區。因此，災防科技中心參考國外相關研究及國內地震案例經驗，建立本土化地震引致通訊基地台受損評估模式，提供防救災單位於防災規劃參考。

二、行動通訊系統架構及受震損壞型態

行動通訊系統運作之核心為一群基地台(Base Station)所建構之蜂巢式網絡，每個基地台肩負與使用者行動裝置通聯的角色，其有效涵蓋範圍可用八角形網格表示(如圖 1)。數個基地台的訊號以有線方式匯集至基地台控制器(Base Station Controller)，後端再連接至移動交換中心(Mobile Switching Center)；在移動交換中心設置拜訪位置暫存器(Visitor Location Register)及歸屬位置暫存器(Home Location Register)，其主要功能為用戶識別及確保同一使用者在移動過程中得以保持通聯狀態。移動交換中心的訊號則連接至公共交換電話網(Public Switch Telephone Network)，以固網連接至其他城市或其他國家，形成完整的通訊系統。

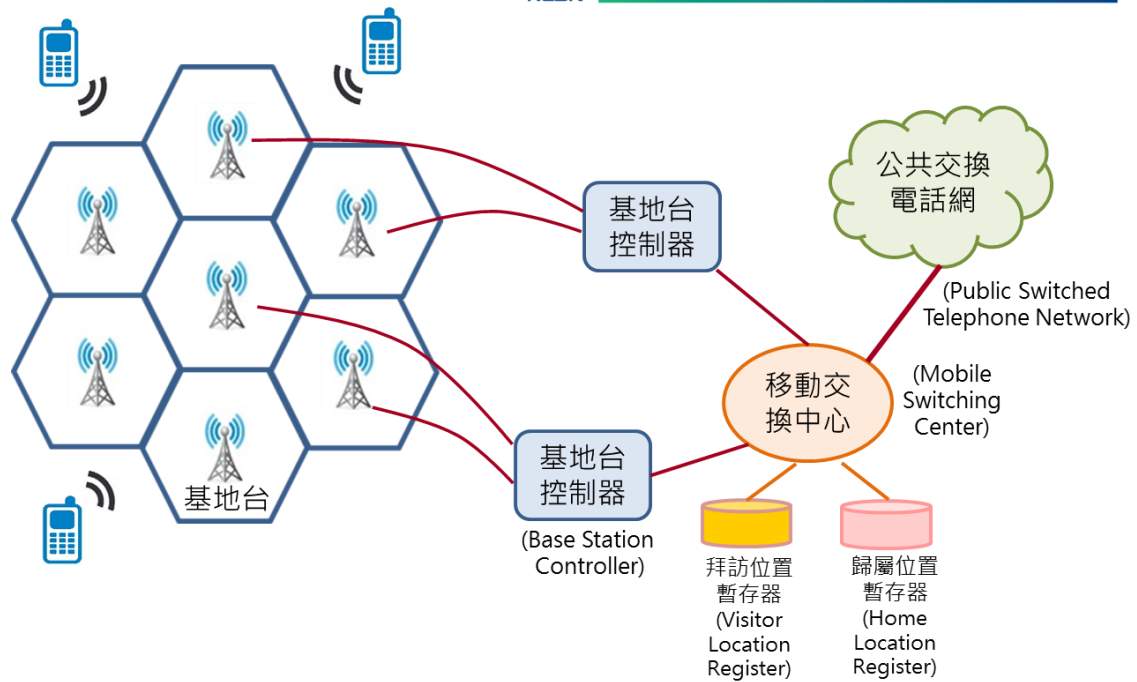


圖 1、行動通訊系統架構

參考過去各國重大地震災害調查資料(Giovinazzi, et al., 2017 ; Lu et al., 2008)及國內地震案例，造成通訊系統失效的原因主要包括：

1、通訊基地台設備破壞

在都會區中，通訊基地台相關設備通常附掛於建築物上，例如將交換機設置於室內，及將天線安裝於屋頂。因此，位於震央附近的基地台，可能因為建物嚴重損壞甚至倒塌而被壓毀，或者造成基地台天線脫落、交換機損壞、電池主機位移解聯等破壞。例如 2016 年 2 月 6 日發生於高雄美濃之規模 6.6 地震，造成 143 處基地台損壞，根據災情查報資料(國家通訊傳播委員會，2016)，地表振動造成基地台破壞型態如圖 2。



(a)建物倒塌壓毀基地台 (b)基地台天線脫落 (c)電池主機位移解聯

圖 2、地表振動造成通訊基地台破壞型態(2016 年高雄美濃地震)

2、相關支持系統失效

通訊系統之運作，除了基地台提供手機訊號處理之外，還需要電力系統支持以及後端網路之傳輸。倘若基地台沒有配置不斷電系統及發電機，電力系統失效往往造成廣大範圍內的基地台無法正常運作。例如 2011 年 3 月 11 日規模 9.0 之東日本大地震，總共 29,000 個基地台停止運作中，其中 20%是受到結構破壞影響，80%則是因為電力中斷造成(ITU, 2013)。此外，2016 年 2 月 6 日高雄美濃地震事件災情查報資料，地表振動造成 34 個基地台損壞(24%)，電力中斷導致 109 個基地台無法運作(76%)。

3、通訊網路壅塞

大規模地震發生之後，許多民眾急於以手機跟親友聯絡，使得交換機負載過大而癱瘓，造成通訊網路壅塞。例如 1994 年規模 6.7 之

美國北嶺地震(Northridge Earthquake)，震後第一天的通訊流量是平常的 10 倍；另外 1995 年規模 6.9 之日本阪神地震，震後第一天的通訊流量甚至高達平常的 50 倍(Tang, 1998)，大量訊號在短時間內湧入，遠超過交換機負荷量，導致通訊壅塞而無法通話。

三、通訊基地台受震損壞評估模式

由上述國內外重大地震災害經驗可知，地震造成通訊系統在硬體方面無法運作的原因，主要是強烈地表振動造成基地台相關設備損壞，及電力系統失效所致；因此考慮這兩項致災因素，建立通訊基地台受震損壞評估模式。詳細分析模式請參閱吳秉儒等人(2020)研究成果，簡述其重點以下。

(一) 地表振動造成基地台損壞評估

都會區通訊基地台大多設置於建築物內，因此通訊基地台受震損壞程度和所在結構物之耐震性能及損壞程度有關。一般評估建物受到地表振動作用之損壞程度常以易損性曲線(Fragility Curve)描述，假設兩者之間的函數關係為對數常態機率曲線(Lognormal Distribution)，以最大地表加速度(Peak Ground Acceleration, PGA)為橫座標之累積分布函數(Cumulative Distribution Function)如(1)式，其中 m 為中位數(Median)， β 為標準差(Standard Derivation)。

$$p = \Phi \left[\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{PGA}{m} \right) \right] \quad (1)$$

Leelardcharoen (2011)提出低、中、高耐震性能之基地台易損性曲線參數，此外由本心地震衝擊資訊平台(Taiwan Earthquake Impact Information Platform, TERIA)之建物基本屬性資料(吳子修等人，2014)統計得知，東部宜蘭縣、花蓮縣、臺東縣三縣市之建物以高耐震設計要求佔多數，西部縣市則以中、低耐震設計要求之建物較多。因此，對於東部三縣市，基地台易損性曲線參數選用高耐震性能之參數，西部所有縣市則選用中耐震性能之參數，基地台易損性曲線如圖 3。

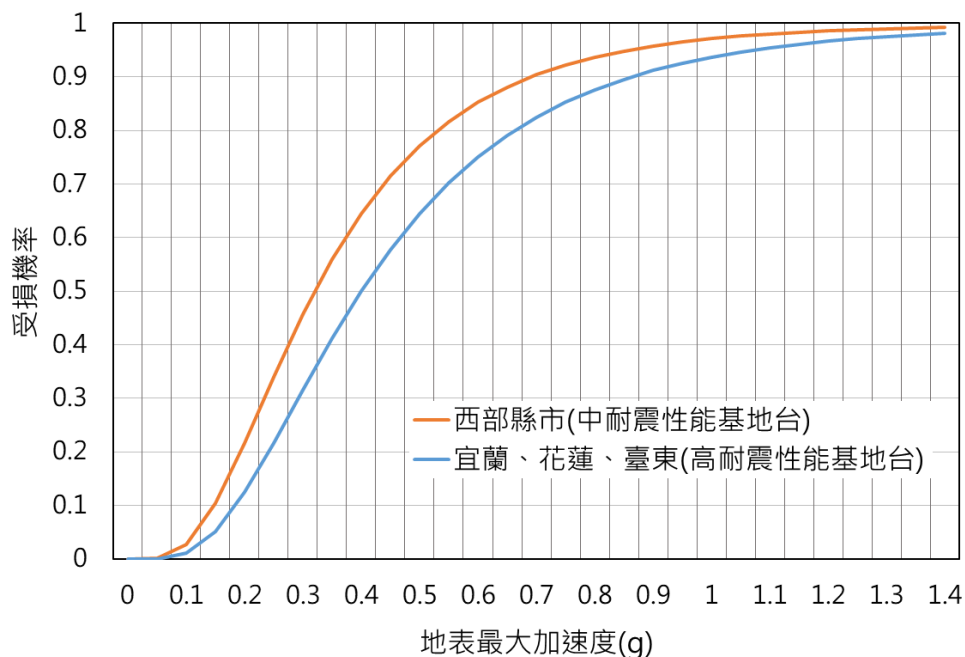


圖 3、東、西部縣市通訊基地台易損性曲線

(二)電力中斷造成基地台失效評估

位於高震度區之電力設施，受地表振動作用使得電力設施、輸電

線路損壞時，可能導致系統異常而電力中斷，間接影響通訊基地台運作。供電系統從發電廠至用戶端，必須經過多次變電所降壓及輸配電傳輸，參考台灣電力公司之電廠及電網分布資料¹，建立變電所上下游關聯性及各變電所損壞影響行政區；然後運用 TERIA 平台之電力設施模組(劉淑燕等人，2014)評估變電所在地表振動作用下之損壞程度，進一步分析變電所損壞對通訊基地台失效之影響(圖 4)。

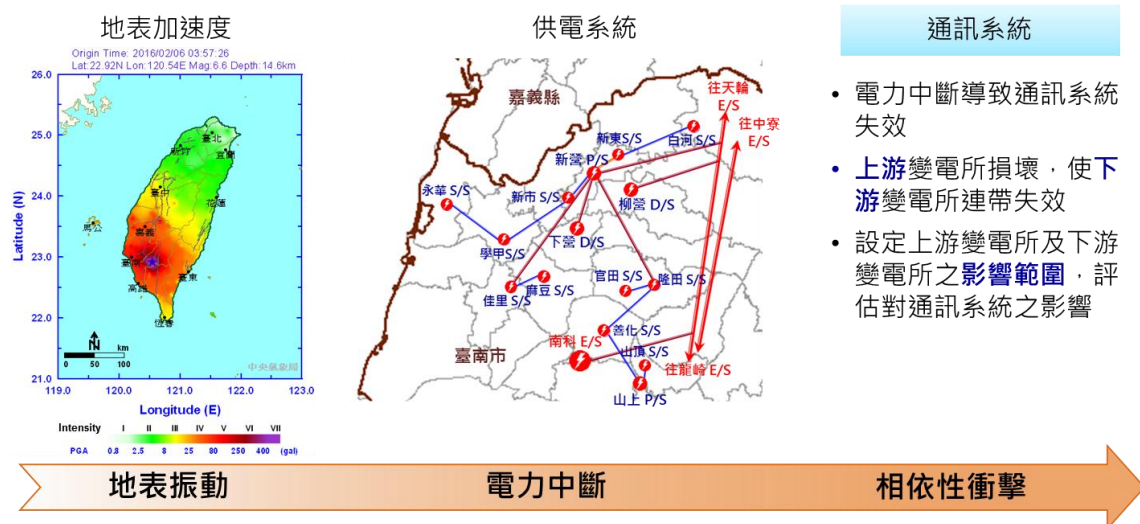


圖 4、電力系統與通訊系統之相依衝擊

(三)通訊基地台受震損壞評估流程

綜合地表振動造成基地台損壞評估及電力中斷造成基地台失效評估方法，建立通訊基地台受震損壞評估流程如圖 5；分別計算這兩種致災因素造成各行政區基地台失效的數量，最後加總得到受影響基地台總數。

¹ <https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=37>

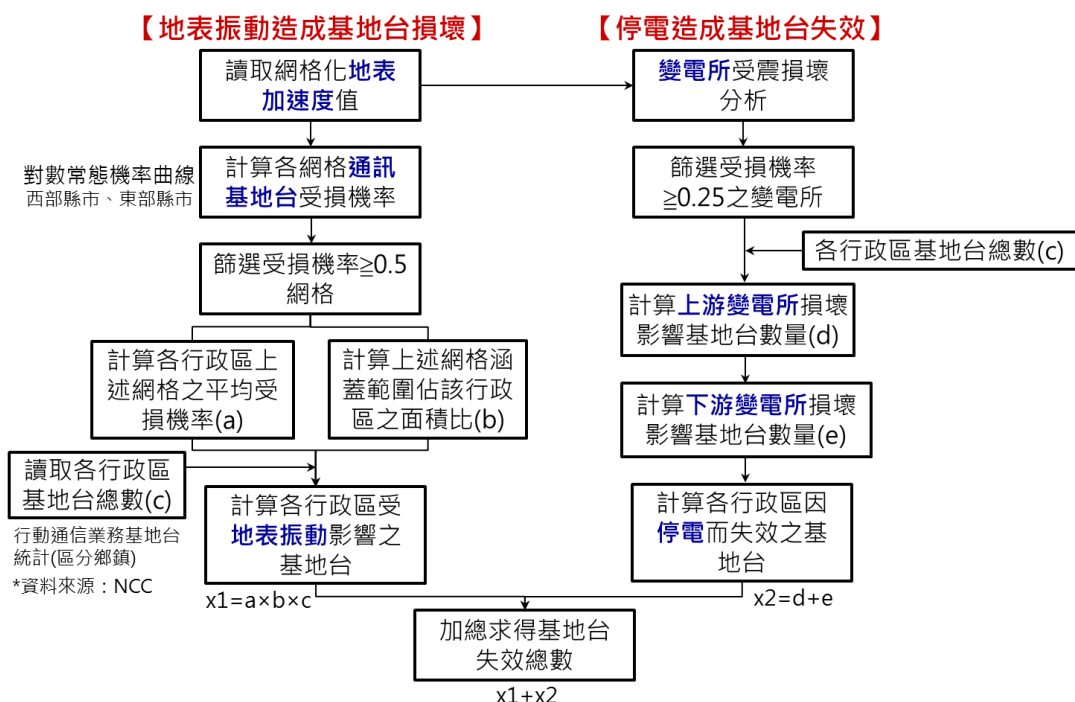


圖 5、通訊基地台受震損壞評估流程

四、國家防災日地震演練規劃應用

內政部召開學者專家會議設定 2020 年國家防災日地震演練情境為位於臺南市之中洲構造規模 6.9 地震，經由「大規模地震情境模擬案」²之震源情境小組與災損推估小組合作，完成三維地動模擬及各項災損推估。地表加速度分布如圖 6，最大地表加速度達到 908 gal。根據地表加速度分布，綜合地表振動及電力中斷兩項因素，推估各行政區可能受損之通訊基地台數量，除以各行政區基地台總數，得到基地台受損百分比(圖 7)。評估共有 5,483 個基地台受損，各行政區基地台受損百分比超過 75%的地區主要位於臺南市 19 個行政區(紅色標

²依據第 36 次中央災害防救會報決議辦理，科技部主導震源情境小組及災損推估小組，內政部主導因應對策小組。震源情境小組設定震源參數並進行三維地動模擬，災損推估小組(由災防科技中心與國家地震工程研究中心組成)依據地動模擬結果進行各項災損推估。

示)。

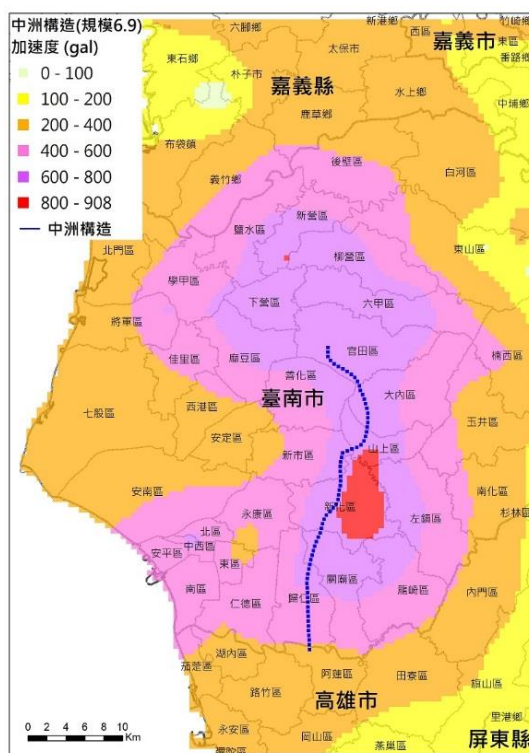
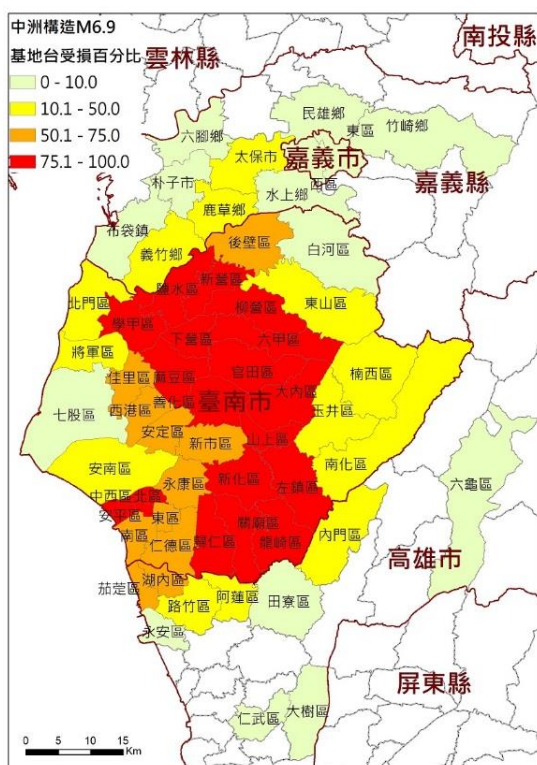


圖 6、中洲構造規模 6.9 地震模擬之地表加速度分布



(a)基地台受損百分比

縣市	基地台受損數量
臺南市	5,069
高雄市	234
嘉義縣	158
嘉義市	22
合計	5,483

(b)各縣市基地台受損數量

圖 7、中洲構造規模 6.9 地震模擬之通訊基地台受損評估結果

根據通訊設施受震損壞評估結果，震後許多行政區可能皆處於通訊中斷狀態，亟需緊急通訊復原。因此緊急資通訊演練首先架設救災指揮通信平台車，並調度電信業者建立災區行動通訊系統；然後進行衛星電話、視訊、資料傳輸、應變管理資訊雲端系統操作演練，及消防、國軍整合視訊演練等項目，結合消防單位、國軍及民間單位資源共同投入緊急通訊系統恢復作業。

五、結論

防災科技中心參考國內外地震引致通訊中斷案例及相關研究，綜合考慮地表振動及電力中斷之影響，並納入台灣建物屬性資料及供電網絡資料，提出一套地震引致通訊基地台受損評估流程，可提供各行政區通訊基地台受損數量及百分比，協助防救災單位修復通訊系統之部署作業參考。

參考文獻

- Giovinazzi1, S., A. Austin, R. Ruiter, C. Foster, M. Nayyerloo, N.-K. Nair and L. Wotherspoon (2017), “Resilience and Fragility of the Telecommunication Network to Seismic Events: Evidence after the Kaikōura (New Zealand) Earthquake,” Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 50(2), 318-328.
- ITU (2013), ITU Handbook on Telecommunication Outside Plants in Areas Frequently Exposed to Natural Disasters, International Telecommunication Union.
- Leelardcharoen, K (2011), Interdependent Response of Telecommunication and Electric Power Systems to Seismic Hazard, Ph. D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, USA.

Lu, M., H. Li, Z. Wen, J. Tian, L. Xiong, X. Du, A. Yu (2008), “The Damage Characteristic of Mobile Communication System in the Great Wenchuan Earthquake,” Proceeding of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.

Tang, A. K. (1998), “Factors Affecting Congestion (Change of Traffic Pattern) of Telecommunication Systems and Networks,” The Workshop on Performance Criteria for Telecommunication Services under Earthquake Conditions, Stanford University, Stanford, California, USA.

內政部(2016)，0206 高雄美濃震災中央災害應變中心總結報告。

吳子修、黃明偉、吳秉儒、陳秋雲、蘇昭郎、李中生、柯孝勳(2014)，「台北地區大規模地震衝擊情境之災害潛勢與建物人員災損分析」，國家災害防災科技中心技術報告。

吳秉儒、柯孝勳、許智豪(2020)，「行動通訊基地台受震損壞評估模式及案例分析」，2020 臺灣災害管理研討會。

國家通訊傳播委員會(2016)，2016 年高雄美濃地震通訊中斷統計，統計至 2016 年 2 月 14 日。

劉淑燕、吳佳容、李沁妍、鄧敏政、李洋寧、李中生、柯孝勳、簡賢文(2014)，「台北地區大規模地震衝擊情境分析報告 II：道路系統、水電設施、重要設施、情境綜整」，國家災害防災科技中心技術報告。