

發行人：張國鎮

本期主編：葉芳耀、吳俊霖、陳昱志

發行所：財團法人國家實驗研究院

國家地震工程研究中心

地址：台北市辛亥路三段 200 號

電話：(02) 6630-0888 傳真：(02) 6630-0858

網址：<http://www.ncree.org.tw>

105 年 3 月出版

81 年 3 月創刊・季刊

目 錄

●專題報導：2006 高雄美濃地震事件勘災紀要

- 國震中心地震災害應變作業 1
- 美濃地震震源與地動特性 2
- 地震早期損失評估在應變時之應用與檢討 5
- 現地型強震預警系統於美濃地震之表現 7
- 土壤液化、地滑與護岸堤防破壞 10
- 低矮型建物震損勘災調查 13
- 中高樓層建物震損勘災調查 15
- 高雄美濃地震—非結構與隔震建物受損狀況 17
- 自來水系統震害 19
- 美濃地震 UAV 空拍與 3D 雷射掃描勘災工作 21

●研討會紀要

- 第二屆核能電廠圍阻體縮尺模型反覆載重試驗研討會 23
- 台灣火山及泥基背斜暨泥火山活動研討會 23
- 2015 台灣地震損失評估系統講習會 24
- 高強度鋼筋混凝土(New RC) 結構設計手冊研討會 24
- 含挫屈束制支撐之 RC 構架耐震設計、試驗與應用研討會 25

國家地震工程研究中心

簡 訊

2016.3 第九十七期

專題報導：0206 高雄美濃地震事件勘災紀要

國震中心地震災害應變作業

一、摘要

本期以美濃地震動員勘災為例，介紹國家地震工程研究中心之地震災害應變作業及初步勘災成果，包括：建築物及非結構災害調查、校舍建築災害調查、橋梁災害調查、大地工程災害調查等，以供與地震工程相關之產、官、學、研各界參考。

二、美濃地震災害應變動員情形

此次美濃地震於凌晨 3 時 57 分發生後，4 時 5 分 TELES 系統以簡訊傳出早期評估人員傷亡約 12 人（可能區間 5-30 人）及 1045 個村里警戒，隨即依本中心地震災害應變作業手冊各階段開設之原則與依據，啟動地震災害應變作業程序。震災中央災害應變中心於凌晨 4 時 59 分傳來簡訊，要求各應進駐單位指派適當層級人員，立即完成進駐，本中心即指派決策綜整組柴駿甫博士進駐震災中央災害應變中心。

災情評估組及災情彙整組進駐中心後，即進行美濃地震相關資訊及災情彙整與資料蒐集，第 1 版「高雄美濃地震概要」於 105 年 2 月 6 日上午 7 時 16 分產出，內容包括：中央氣象局高雄美濃地震報告、等震度圖與 PGA 分佈、近震源地震站即時波形、震源機制解、餘震活動、附近區域重要歷史地震、推估各地地表最大加速度、推估各地譜加速度、推估人員傷亡數、推估鄉鎮區全半倒棟數、平面及電子媒體的災情資料等，綜合整理震災損失評估結果之資料，提供決策綜整組及中央災害應變中心參考。第 2 版「高雄美濃地震概要」於 2 月 6 日上午 8 時 51 分產出，內容新增：高雄美濃地震之實測紀錄之地震動分佈圖與地震歷時與加速度反應譜。第 3 版「高雄美濃地震概要」於 2 月 6 日上午 9 時 58 分產出，內容更新建物、校舍、公路等災情彙整。第 4 版「高雄美濃地震概要」於 2 月 6 日上午 11 時 51 分產出，內容新增重大災情彙整及校舍推估受震地表加速度。第 5 版「高雄美濃地震概要」於 2 月 8 日凌晨 0 時 18 分產出，內容更新強地動分析資料及校舍勘災資料。後續版次則依實際災損情形適時更新，提供決策綜整組及中央災害應變中心參考。震災中央災害應變中心於 2 月 14 日 16 時撤除，各進駐同仁歸建，恢復平時應變機制。

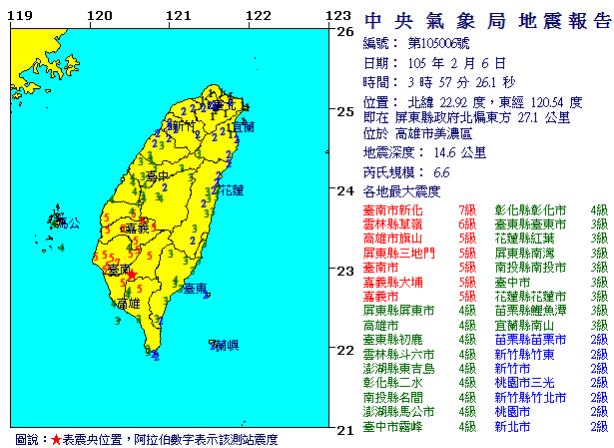
然而此次地震恰巧發生在農曆春節之前，大部份同仁已返鄉過年。若依照原先排定之排班表與緊急勘災人員輪值表進行動員，因高鐵交通中斷由北向南只能到台中，將嚴重影響緊急動員及勘災行動。經與本中心許健智副主任討論，決定採用「就近徵召」為原則，各組需至中心報到之人員，動員目前還在北部地區且無需返回中南部過年之同仁立即回到中心，執行相關應變支援作業。勘災行動方面則委請國立成功大學建築系姚昭智教授於台南擬定震後勘災計畫及進行緊急編組與任務分配，中心則動員已返回南部過年之同仁及位於南部地區之協力機關與單位，緊急動員進行勘災行動等應變支援作業。國震中心即以通訊聯繫系統自動開始動員所有應變人員，進行地震災害應變作業。

研究員 葉芳耀、副研究員 吳俊霖

美濃地震震源與地動特性

一、概述

民國 105 年 2 月 6 日凌晨 3 時 57 分 26.1 秒(世界時間 2 月 5 日 19 時 57 分 26.1 秒)於高雄市美濃區(屏東縣政府北偏東方 27.1 公里)發生芮氏地震規模 $M_L 6.6$ 的強烈地震。根據交通部中央氣象局(CWB)地震測報中心所公布之地震速報,規模原訂為 6.4,原發震時間為 3 時 57 分 27.2 秒,原震央位置為北緯 22.93 度、東經 120.54 度,原震源深度為 16.7 公里。後續氣象局使用更多地震記錄進行分析修正後,將規模提升為 6.6,發震時間修正為 3 時 57 分 26.1 秒,震央位置小幅修正為北緯 22.92 度、東經 120.54 度,震源深度則調整為 14.6 公里(圖一)。美國地質調查所(USGS)測定此地震規模為 $M_w 6.4$,震央位置為北緯 22.938 度、東經 120.601 度,震源深度則為 23 公里。



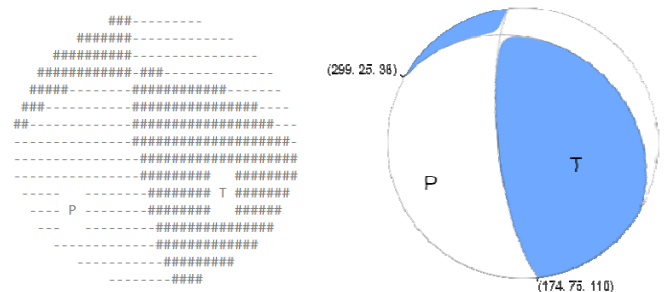
圖一 中央氣象局 0206 美濃地震報告

二、震源參數與特性

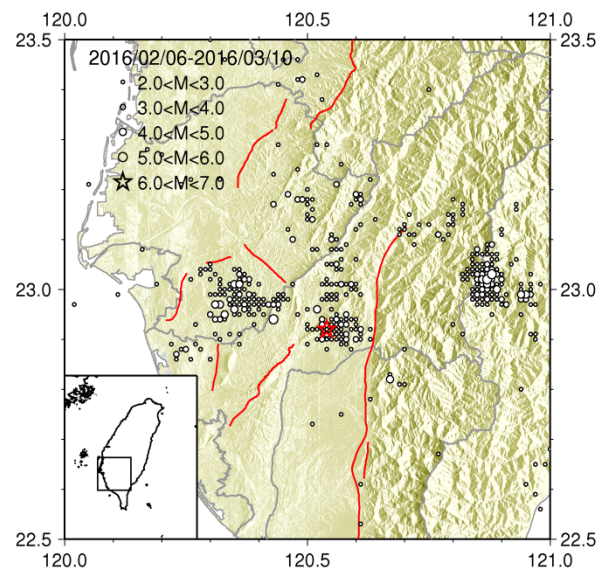
中央氣象局與美國地質調查所對此地震所公布的震源機制有些微差異。氣象局所公布的寬頻地震矩張量(CMT)震源機制解如圖二左所示, 2 個節面的走向/傾角/滑移角分別為 274.81/41.47/17.02 和 171.95/78.76/130.47, 顯示為走向滑移與斜向逆衝機制; 美國地質調查所共公布 5 組震源機制解, 本報告採用結果最佳的 W 波相(W-phase)震矩張量解(圖二右), 其走向/傾角/滑移角分別為 299/25/38 和 174/75/110, 顯示為斜向逆衝與逆衝斷層。目前學界對於此地震發震構造的共識大多認為其走向是接近東西走向的左移斷層, 也就是走向/傾角/滑移角為 274.81/41.47/17.02, 另一組節面則為共軛面, 本報告後續的分析仍以氣象局之震源參數為主。

美濃地震的主震發生後, 隨即在台南市內發生多起餘震, 但原本主震所在的區域(高雄市境內)卻沒有餘震活動, 直至 2 月 8 日, 才在主震震央附近發生規模 4.3 之餘震, 此情況甚為特殊, 且在高雄市區域內之餘震深度多小於 20 公里, 但在台南市境內之餘震則多分布於深度 20~30 公里的範圍內, 我們從氣象局地球物理資料庫中下載附近區域內至 3 月 10 日為止的地震, 將其繪於圖

二, 明顯可看見主要的餘震分布集中於三處, 分別是震央區域附近位於高雄市境內、震央以西的台南市境內、以及震央以東的台東縣境內, 另外可看出震央處往北餘震約略成一帶狀分布。因至結稿日前為止氣象局尚未開放自由場強震站的記錄, 此地震諸多的特殊現象也因此尚未能完全釐清。



圖二 中央氣象局(左)與美國地質調查所(右)之震源機制解



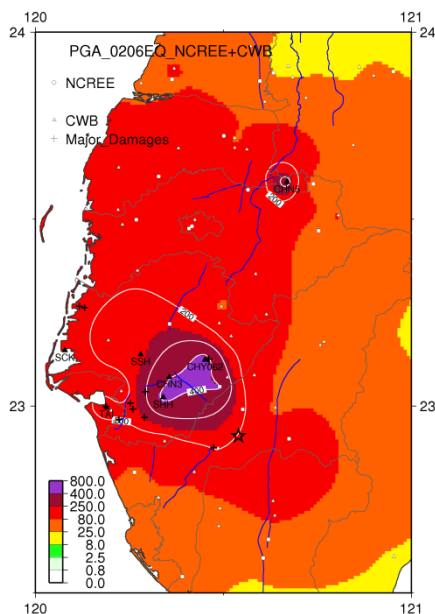
圖三 餘震分布

三、強地動觀測與分析

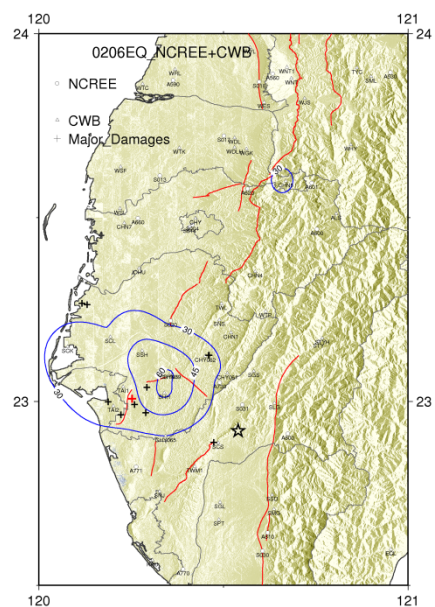
根據氣象局即時強震資料, 全台震度最大為草嶺站(CHN5, 最大加速度(PGA)為 344.12 gal), 觀測到 6 級震度(PGA 250~400 gal), 其震央距為 76 公里, 其次為台南地區的 5 級, 但新化站(CHN3, PGA 為 401.19 gal)後來修正為 7 級(PGA 400 gal 以上), 其震央距為 25 公里; 國震中心之南化埔仔站(A730, PGA 為 408.01 gal)則觀測到 7 級震度。國震中心位於臺北市(臺北盆地之外)的幾個測站都觀測到 1 級震度, 也和氣象局即時站所觀測到之震度(圖一)一致。

本報告使用氣象局即時站及國震中心強震觀測網和地震預警測站等自由場資料, 繪製了近震源區域的最大加速度分布圖(圖四), 此圖以不同顏色代表不同各震度區域, 另外將 PGA 200 gal 以上的區域繪製其等震曲線分布(以 100 gal 為間隔)。由圖中可見震度 5 以上的區域包括屏東、高雄、台南、嘉義、及雲林, 而震度 6 級和 7 級的區域主要分布於台南市, 位於震央位置的西北

邊，顯示出相當明顯的破裂方向效應(Forward Directivity Effect)；而震央以東和以南，除了最大震度不若上述區域外，PGA 的衰減看起來也特別快。



圖四 美濃地震 PGA 分布

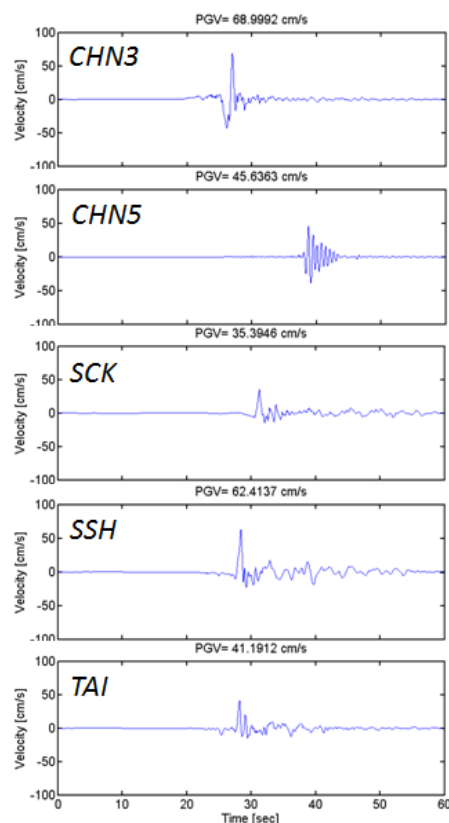


圖五 美濃地震 PGV 分布

我們進一步將加速度資料積分至速度資料，並繪製出最大速度 (PGV) 分布圖 (圖五)，將 PGV 30 公分/秒以上的區域以藍色等震曲線標示 (間隔為 15 公分/秒)，台南市南區幾乎都位於 PGV 30 公分/秒的範圍當中，且新化測站的 PGV 更高達 60 公分/秒以上，但震央位置卻未包括在 30 公分/秒之範圍內，推測是由於震央到新化之間並無測站分布的緣故，需待氣象局後續提供自由場測站資料後才能繪製出更精確的 PGA 和 PGV 分布圖。即便如此，從圖四和圖五，已可很明顯的看出 PGA 和 PGV 的分布與主要災損 (以黑色十字標示) 的關係，這些災損幾乎都分布在 PGA 200 gal 以上或 PGV 30 公分/秒以上的區域範圍內。

美濃地震在台南地區造成嚴重災損，從強地動觀測可看到強烈的破裂方向效應，根據以往的研究，大規模地震發生時若有此效應，則常會觀測到速度脈衝訊號 (Pulse-Like Velocity)，此種

訊號通常具有較大的速度值與較長週期。在地震工程上，此種訊號被認為是造成斷層附近結構物災損的主要原因之一，本報告初步分析震度 5 級以上的測站，共 5 個測站觀測到速度脈衝訊號，我們計算出最大的水平速度歷時 (圖六)，發現這些測站的 PGV 都大於 30 公分/秒，且可看出其 S 波具有較長的週期。草嶺測站 (CHN5) 的速度波形和其他測站有明顯的差異，推測可能是地形效應造成震波共振效應，所以該測站雖然距離震央超過 70 公里，但仍記錄到超過 300 gal 的 PGA。



圖六 美濃地震速度脈衝訊號

除此外，由測站實測紀錄換算之譜加速度反應譜，週期 0.3 秒與 1.0 秒的譜加速度值分布圖如圖七所示，圖中顯示譜加速度值高的分布位置在震央西北邊的台南地區，與震損分佈有強烈之關係。另外，圖八將 PGA 達 200 gal 以上的測站之各方向譜加速度反應譜繪出，分別為新化 (CHN3)、草嶺 (CHN5)、善化 (SSH) 以及台南市 (TAI)。由於此次地震於台南地區造成結構物損傷嚴重，圖中亦繪出測站所在位置在建築物耐震設計規範 (2011 年、1997 年版本) 中之耐震設計需求作為比較。台南市之設計規範在 475 年回歸期之短週期的譜加速度值約在 0.7-0.8g 左右，由圖八可看出此次地震在短週期之譜加速度值均較大，因此造成結構損壞。

四、歷史地震比較

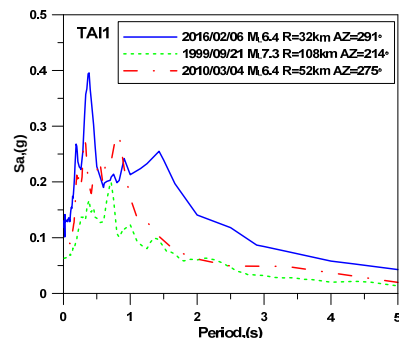
近十年來，臺灣中部與南部發生 5 次規模大於 6.0 的地震 (包含此次地震)，本次地震震央位於台灣南部地區，鄰近區域範圍在 2010 年 3 月 4 日亦發生規模 $M_L 6.4$ 的甲仙地震，當時的台南市亦有結構物受損嚴重。將位於台南市的永康測站 (TAI1) 分別在兩次地震中的譜加速度反應譜 (為兩水平向的幾何平均值) 繪出比較結果如圖九中所示，圖中亦包括 1999 年集集地震 ($M_L 7.3$) 於該

測站之譜加速度反應譜，各地震在永康測站（TAI1）引致的實測 PGA 值如表一所示。此次地震與 2010 年之甲仙地震震央位置距離約 20 公里，於永康測站（TAI1）造成之地動特性不同，顯示此次地震有明顯的長週期特徵，震源效應明顯與甲仙地震不同。

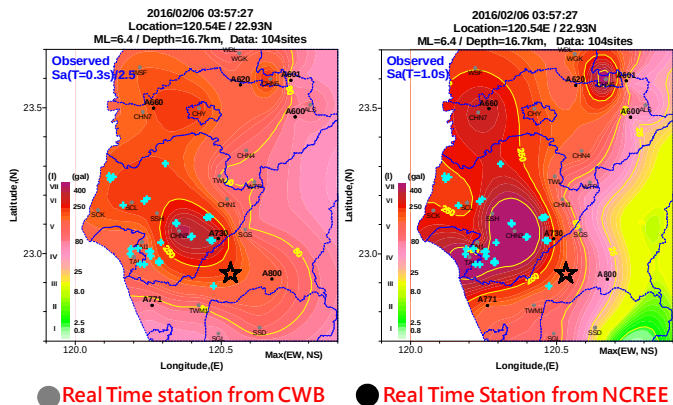
表一 永康測站（TAI1）於不同地震之 PGA 值

Earthquake (local time)	Source Parameter	PGA	Epicentral Distance(km)
1999/09/21	$M_L 7.3$ Focal Depth=8km	88 gal	108
2010/03/04	$M_L 6.4$ Focal Depth=22.6km	104 gal	52
2016/02/06	$M_L 6.4$ Focal Depth=16.7km	148 gal	33

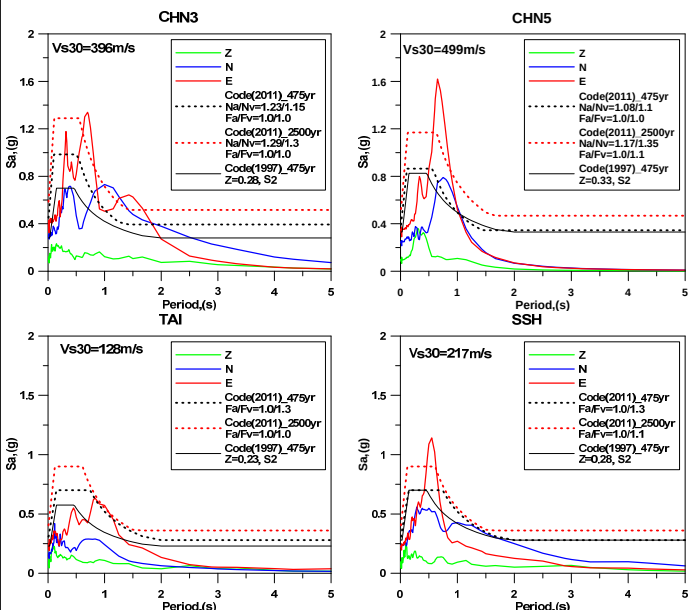
實測 PGA 值與參考地震動衰減模式進行比較，顯示本次地震之震源效應明顯，經由實測紀錄修正後，對於美濃地震的地震動之描述較佳(如圖中紅線)。



圖九 永康測站(TAI1)於不同地震之譜加速度反應譜比較



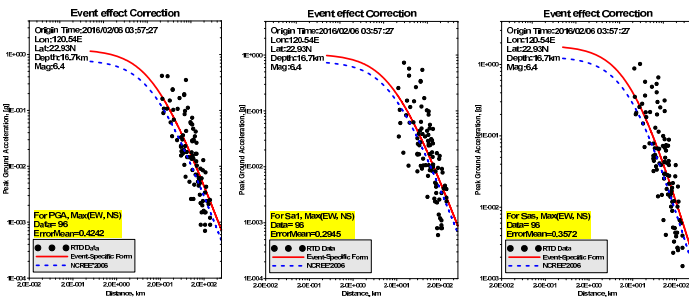
圖七 美濃地震短週期(T=0.3s)與長週期(T=1.0s)之譜加速度值分布圖



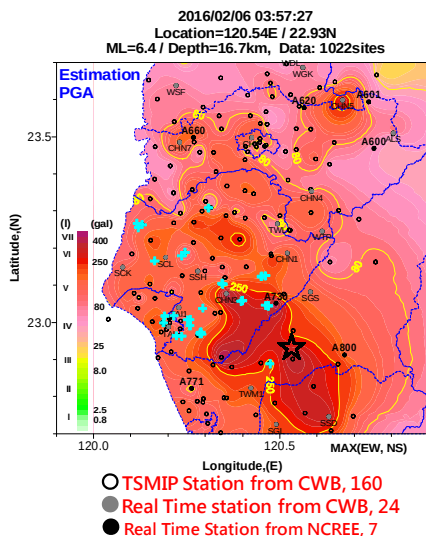
圖八 PGA200gal 以上測站之譜加速度反應譜

五、強地動預估

地震一發生時，氣象局公布即時站資訊，由於其地震動分布屬於大比例尺(測站數約 110 站)，若有相對細緻的地震動預估結果將能有助於地震發生後勘災規劃之參考。一般對於地震動之預估多採用以規模與距離為參數的地震動衰減模式，由於該模式視為地震的平均特性，對於特定地震則具有系統性誤差，為震源效應之影響(以岩盤的地震動衰減模式為參考)。圖十應用美濃地震



圖十 美濃地震實測紀錄值與地震動衰減模式之比較



圖十一 美濃地震之 PGA 地震動預估分布圖

經由修正後的地震動衰減模式，配合中央氣象局各測站之場址效應修正因子(Jean et al., 2006)，則各地可推估因美濃地震引致之可能的震度值。繪製美濃地震的地震動分布圖時，實測紀錄值將會取代推估值以提高地震動分布的可信度。經由此混合模式，美濃地震較為細緻的 PGA 地震動分布圖如圖十一所示，圖中的範圍乃應用 160 個中央氣象局測站的推估值與具實測紀錄值的 24 個即時站、7 個國震中心觀測網的結果所繪置。圖中可看出沿著震源破裂的方向有較高的 PGA 分布，本結果主要提供地震發生時之勘災規畫，實際仍有待更多的中央氣象局資料加入，提供更為可靠之地震動分布結果。

副研究員 郭俊翔、林哲民
助理研究員 謝宏灝、張毓文
強地動組組長、國立中央大學教授 溫國樑

地震早期損失評估在應變時之應用與檢討

台灣地震損失評估系統(Taiwan Earthquake Loss Estimation System, TELES)為財團法人國家實驗研究院地震工程研究中心累積多年的研究成果。主要工作項目包含收集及建置全國性的地震防災資料庫，研發各類型結構物、地下管線和設施的震損評估模式，校正評估模式所需的本土化參數值；並整合地理資訊系統技術，開發視窗化之整合應用軟體。TELES 除應用於各縣市政府之地震防災規劃和公民營企業的風險評估與管理外，因應地震應變的需求，結合中央氣象局的地震速報系統，已研發地震早期損失評估系統，並提供客製化服務，譬如已協助住宅地震保險基金和台灣自來水公司與臺北自來水處，建置符合個別實務需求之地震早期損失評估系統。

一、地震早期損失評估簡介

與其它天然災害比較，地震發生的時間、地點均不易準確預測或預報。一般而言，強震的延時少則數秒，多則數十秒。當強震結束後，政府或企業的應變單位須即時獲得有效的參考數據，研判地震可能引致災情的嚴重性；並即時決定是否應開設應變中心以爭取黃金救援時間，減少人命傷亡與財物損失。一旦災害應變中心開設，須進一步研判各地區可能的災情分佈，作為各項救災、醫療和民生物資調度的依據；尤其須提供可能孤立之重災區的資訊，避免因電力、通訊或交通中斷造成延誤。

震後進行境況模擬以推估可能災損的常見方法有兩種：

(1) 根據速報站所觀測到之最大地表加速度值(PGA)進行內插分析，獲得其它地區的PGA後，再據以推估損害及損失的數量。由於速報站的數量有限，經內插分析所得結果將喪失震源特性和場址效應，同時也欠缺不同週期的結構譜加速度值等災害潛勢的資訊，採用此途徑之震損評估結果的精確性不足。

(2) 以第一時間公佈的點震源參數，或輔以震後短時間(約需1小時以上)內公佈之斷層面解的走向、傾角等資訊設定合理的震源參數，依震動衰減律、場址效應修正等模式推估各地區的地震災害潛勢，再據以推估損害及損失等數量。如僅以點震源參數進行模擬，當地震規模較大時，可能嚴重低估地震的影響範圍；如等待斷層面解的資訊，又恐虛耗時間，更何況合理設定震源參數需有更多的資訊，譬如餘震的分佈和已知的災情等。

為避免內插分析之精確性不足和震源參數之不易設定的困難，國震中心研發的地震早期損失評估技術，乃於震前先建置完善的地震損失模擬資料庫，資料庫內包含各種可能之震源參數組合的震災境況模擬結果。當強震發生且收到中央氣象局的地震報告電子郵件時，系統可自動啟動。經比對震央附近之速報站的PGA實測值與模擬值後，可篩選數個較具代表性的模擬地震事件。這些模擬地震事件所引致的PGA值與實測值較接近，因此可合理假設其所推估的震損評估結果也應與實際災損較接近。每一模擬地震事件的地震規模、震央位置和震源深度皆與實際地震定位結果相

似，且其引致速報站之PGA的大小和分佈特性與實際觀測一致。換言之，國震中心所採用的地震早期損失評估技術已妥善利用地震報告電子郵件的各項資訊，且推估結果保留震源特性和場址效應。

國震中心提供之地震早期損失評估服務可概分為三個階段：

(1) 第一階段：收到中央氣象局地震報告電子郵件後兩分鐘內。收到中央氣象局的地震報告電子郵件後，地震早期損失評估系統可自動啟動，於兩分鐘內完成震損評估並發送簡訊、電子郵件等通知應變人員。各單位應變人員根據已客製化的簡訊內容可預估災情的嚴重性，協助研判是否須啟動應變機制以爭取黃金救援時間。

(2) 第二階段：震後六小時內。結合中央氣象局之地震速報的加速度歷時紀錄、不同單位(如CWB-USGS等)推估的斷層面解，以及震後短時間內的餘震分佈等資訊，設定幾種可能的震源參數組合並進行震災境況模擬。依據模擬結果，以專業人力研判可能的災情分佈和應留意之孤立的重災區。如災情嚴重且範圍廣大時，尚可協助各項救災資源與民生物資之需求推估與調派等。

(3) 第三階段：震後一個月內。綜整實際勘災調查和震損評估結果，檢討各項震損評估模式與參數值的合理性，確保平時防災規劃和風險管理所用之評估模式的可信度。

二、美濃地震之第一階段早期評估

民國105年2月6日凌晨3點57分27.2秒發生地震，中央氣象局於震後7分12秒對外發布地震速報。根據地震報告內容：震央在北緯22.93度，東經120.54度(亦即在屏東縣政府北偏東方27.4公里處)，震源深度16.7公里，芮氏規模6.4。隨後中央氣象局修正地震報告的內容，主要修改震源深度(14.6公里)和芮氏規模(6.6)，並新增台南市新化站的震度資訊(7級)(蕭文啟，2016)。台南、嘉義、雲林、高雄等部分地區可感受到5級以上的震度，但大台北地區的震度僅1、2級。

國震中心之地震早期損失評估系統，於收到中央氣象局發布的地震報告電子郵件後自動啟動，於1分鐘後完成第一階段的災情評估，並以簡訊和電子郵件等方式，傳送災情評估結果給各單位的應變人員。簡訊內容如圖一所示，除註明震央位置在高雄市美濃區、地震規模6.4、震源深度17公里外，可能的傷亡人數在5~30人之間(最佳推估為12人)；住宅地震保險理賠金額在1億8千萬~5億5千萬之間(最佳推估為5億3千萬)；自來水管線的災損推估數約一千四百多處，其中多數集中在台南地區(台水六區)；有多達一千個村里的震度達5級強(160gal以上)。因應該次地震可能引致的災情嚴重程度，建議需部分動員(或稱二級動員)。其它較詳細的災情推估結果可查詢電子郵件或登入國震中心所開發的地震早期損失評估資訊網。

T8：二級動員_0206_0357_高雄市美濃區_規模6.4_深度17公里_自來水管線災損推估數1432_台水六區:1079_台水七區:27

T7：部分動員_0206_0357_高雄市美濃區_M6.4_D17km_傷亡12(5-30)_理賠529(179-546)_1045村里警戒

圖一 第一階段地震早期損失評估結果之客製化的簡訊內容

針對美濃地震之第一階段早期評估結果，由地震損失模擬資料庫中篩選出 6 個模擬地震事件，其地震規模、震央位置和震源深度均與美濃地震之地震定位結果接近，且其引致之速報站的 PGA 模擬值與實際觀測值的差異最小，如圖二。其中第 1 個模擬地震事件的推估結果可作為本次地震的最佳推估結果；其它模擬地震事件的推估結果則可提供災損數量的可能範圍。簡訊內容因受字數限制，僅傳送災情推估結果的概要資訊；電子郵件則可傳送較詳細的災情推估結果。郵件內容除敘述整體災情的嚴重程度外，尚可包含以縣市或鄉鎮區為單元之損害與損失的推估數量。為讓應變人員迅速掌握災情推估結果的災情分佈狀況，第一階段早期評估結果亦自動產製各項主題圖，包含 PGA、短週期與 1 秒週期結構譜加速度、人員傷亡與建物損害數量等的分佈圖。



圖二 美濃地震之第一階段早期評估所篩選的 6 個模擬地震事件

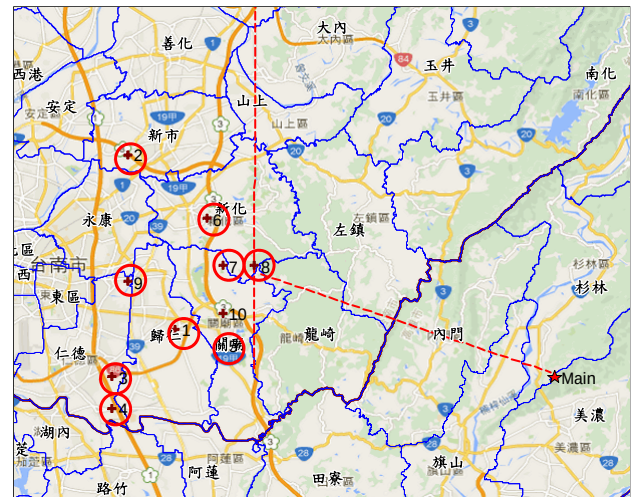
根據第一階段早期評估結果顯示：震央西北方的地表震動較大，人員傷亡以台南市最嚴重，建築物損害數量與分佈集中在台南市永康區。與震後的勘災結果比較，第一階段的早期評估結果乃在震後短時間內自動完成，除已提示災情嚴重程度外，似乎也掌握重災區的位置。

三、美濃地震之第二階段早期評估

地震災害潛勢分析與結構物損害評估結果和震源參數的設定息息相關；為求正確的災情評估結果，合理的震源參數是不可或缺的。因此，第二階段災情評估之重點為研判合理的震源參數；以手動輸入方式，利用 TELES 進行震災境況模擬。震源參數主要包含芮氏規模、震源深度、斷層線的位置、走向和長度等，至於破裂面的寬度和傾角則須視可獲得之資訊的多寡而定。

國震中心應變人員於震後短時間內，下載中央氣象局之地震速報站的加速度歷時紀錄，並進行分析以繪製結構彈性反應譜等，藉以瞭解各速報站所觀測到的地表震動特性。比較各測站之不同

方向的震動參數值，可發現部分測站之東西向 PGA 值比南北向 PGA 值大許多，更有些測站之地震波形具明顯之速度脈衝的現象。震後約一小時獲得美國地質調查所(USGS)之斷層面解的資訊，隨後也獲得中央氣象局的斷層面解。比較可能的斷層面解資訊後，並參考震後三小時的餘震分佈(如圖三所示)，研判斷層的走向應近似東西向，斷層面微向北傾斜，並有明顯的左移分量。因此，第二階段早期評估的震源參數設定為：芮氏規模 6.4，震源深度 15 公里，斷層走向西偏北 20 度，破裂長度 20 公里。



圖三 美濃地震之主震與震後三小時之餘震分佈圖。紅色虛線分別為第一階段和第二階段早期評估所使用的斷層線

四、檢討

比較第一階段、第二階段早期評估結果和震後實際調查結果，如表一所示。可發現建築物全半倒數量(部分參考建築物安全評定的紅單數量)與住宅地震保險理賠損失金額的推估值均在合理範圍內，但重傷或死亡人數的推估值則與實際傷亡人數有較大落差。TELES 在評估地震可能引致的傷亡人數時，乃以建築物損害的程度、數量，並配合在建築物內的動態人口分布為基礎。一般而言，建築物在震後快速倒塌或倒塌後的結構變形嚴重是造成重傷或死亡的主要原因。此次台南維冠金龍大樓的個案傷亡人數遠超出模式推估結果；但如扣除維冠金龍大樓的傷亡人數，傷亡評估結果仍在合理範圍。因此，目前尚無修改傷亡評估模式之參數值的必要。

表一 實際調查結果與早期評估結果比較表(截至 2016/3/4 止)

	全、半倒建築物			重傷或死亡(人)	保險損失(百萬元)
	1-7 層	8 層以上	總計(號)		
實際震損結果	236	10	246	117	>145
第一階段推估結果	348	9	357	12	528
第二階段推估結果	210	6	216	6	252

研究員 葉錦勳
助理研究員 黃李暉

現地型強震預警系統於美濃地震之表現

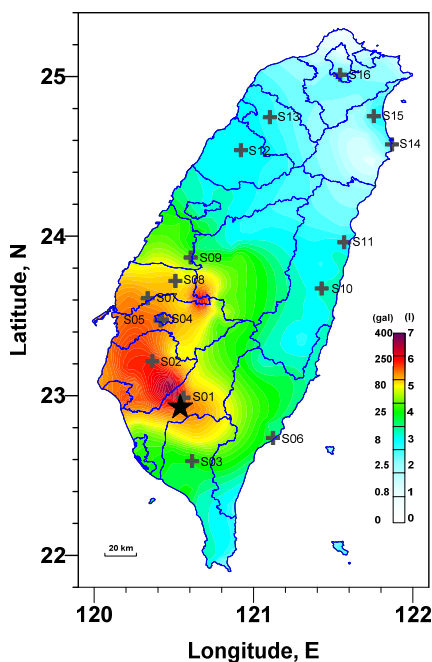
一、前言

國研院國震中心在科技部、教育部和民間業界的合作下，自 2009 年起逐步於全台建置現地型強震預警系統。該系統於主站裝設地震儀及運算主機，將預警訊息分享至半徑 20 公里內之副站，副站僅接收預警訊息並發布警報。該現地型預警模式係採用新開發之人工智慧技術(許丁友等，2013)，該技術自動於觸發後即時萃取重要的地震參數，並於三秒後預測該次地震於該測站可能的最大地表加速度(Peak Ground Acceleration, PGA)，當 PGA 超出預設門檻值則發出警報，以爭取強震波來臨前的寶貴應變時間，再配合平時的應變演練以及自動化控制，即可大幅降低震災傷亡與損失。

二、美濃地震之表現

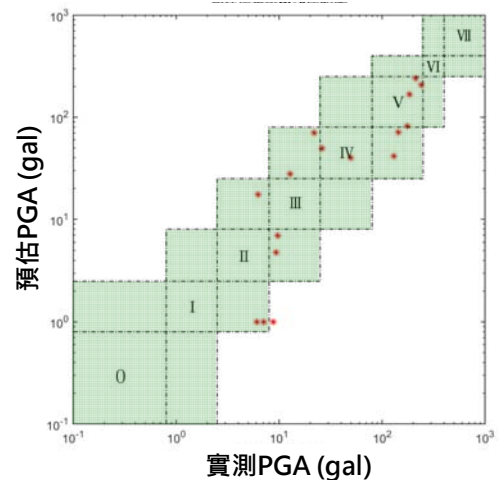
根據台灣以往震災經驗顯示，震度約達五級($\text{PGA} > 80\text{gal}$)以上區域可能發生結構性震損，震度約達四級($\text{PGA} > 25\text{gal}$)以上可能開始發生物品掉落等輕微震損。另外，由於台灣東部地區(宜蘭、花蓮、台東)地震發生頻率較高，故居民對於地震時之感受有較高之容忍度。因此，目前各強震預警測站設定之警報門檻值係依據使用者需求進行客製化，除東部地區外，警報門檻值均設定為震度四級，東部地區則設定為震度五級始發出警報。

在這次的 0206 高雄美濃地震中，現地型強震預警系統共計於 16 個測站收錄到地震資料並即時進行預警動作，各測站位置與編號繪於圖一，本次地震目前所能取得之 PGA 分布情形亦繪於該圖，計算 PGA 之資料來源包括氣象局即時站、國震中心即時站、國震中心強震預警站等。本次震央距離最近之強震預警測站僅 7 公里(高雄市新庄國小)，最遠為 252 公里(台北市公館國小)。



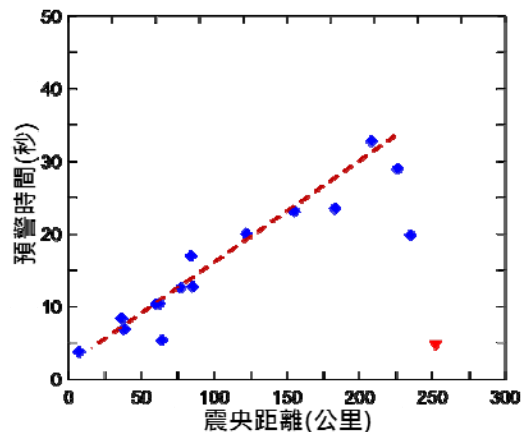
圖一 現地型強震預警系統測站位置

在本次美濃地震中，現地型強震預警系統之預測 PGA 準確度方面，先觀察預測 PGA 與實測 PGA 比較圖(圖二)，可發現預測 PGA 與實測 PGA 有明顯相同之趨勢，其誤差之標準偏差為 40.8gal 。在震度差異方面，預測震度大多與實測震度差異在正負一級以內，僅苗栗縣獅潭國小實測 PGA 為 8.8gal ，剛好超過震度三級的門檻值 8gal ，然而預測震度僅一級，故預測震度差異為二級，但是因為實測震度尚未超過警報門檻值四級，故並未造成任何不良影響，亦屬正確預報之情況。



圖二 預測 PGA 與實際 PGA 分布圖

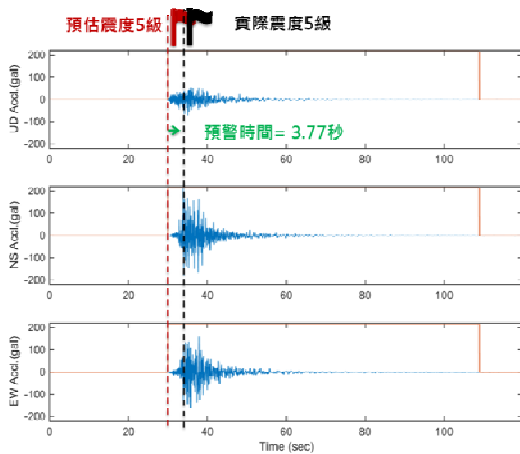
在警報發布準確度方面，根據各站預設之警報門檻值，若實測震度超出警報門檻值而預測震度亦超出警報門檻值，則屬正確警報(Correct Alarm, CA)；若實測震度未達警報門檻值而預測震度亦未達警報門檻值，則屬正確無警報(Correct No-Alarm, CNA)；若實測震度超出警報門檻值而預測震度未達警報門檻值，則屬遺漏警報(Missed Alarm, MA)；若實測震度未達警報門檻值而預測震度反而超出警報門檻值，則屬錯誤警報(False Alarm, FA)。在本次美濃地震中，警報發出之情況屬正確警報 CA 共 8 個測站，屬正確無警報 CNA 亦共 8 個測站，亦即全數測站警報狀況均為正確(請見表一)。



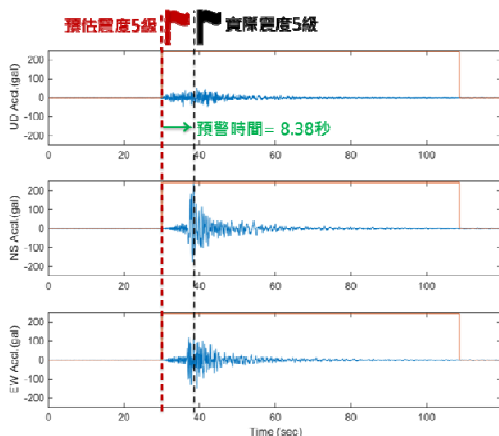
圖三 預警時間與震央距離關係圖(紅點為台北市公館國小)

表一 各測站實際量測資料與與預警結果彙整表

編號	縣市	測站名稱	震央距離 (km)	預警時間 (sec)	實測PGA (gal)	預測PGA (gal)	實際震度	預估震度	警報門檻	警報狀況
S01	高雄	新庄國小	7	3.8	213.3	240.3	5	5	4	CA
S02	台南	嘉南國小	36	8.4	242.0	207.4	5	5	4	CA
S03	屏東	赤山國小	38	6.9	26.2	49.6	4	4	4	CA
S04	嘉義	育人國小	60	10.4	184.3	167.7	5	5	4	CA
S05	嘉義	港坪國小	62	10.4	175.8	81.8	5	5	4	CA
S06	台東	豐里國小	64	5.4	22.0	70.7	3	4	5	CNA
S07	雲林	北港	77	12.6	144.2	70.8	5	4	4	CA
S08	雲林	斗六工業區	85	12.8	130.8	41.3	5	4	4	CA
S09	彰化	東和國小	104	17.0	49.4	40.2	4	4	4	CA
S10	花蓮	光復國小	122	20.0	12.8	27.9	3	4	5	CNA
S11	花蓮	稻香國小	155	23.1	9.7	6.9	3	2	5	CNA
S12	苗栗	獅潭國小	183	23.5	8.8	1.0	3	1	4	CNA
S13	新竹	碧潭國小	208	32.8	7.1	1.0	2	1	4	CNA
S14	宜蘭	南安國中	226	29.0	6.1	1.0	2	1	5	CNA
S15	宜蘭	宜蘭國小	235	19.9	9.3	4.8	3	2	5	CNA
S16	台北	公館國小	252	4.7	6.3	17.4	2	3	4	CNA

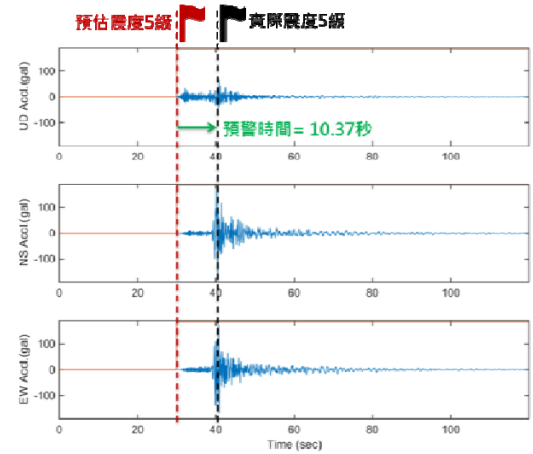


圖四 高雄市新庄國小測站紀錄與警報發佈情形

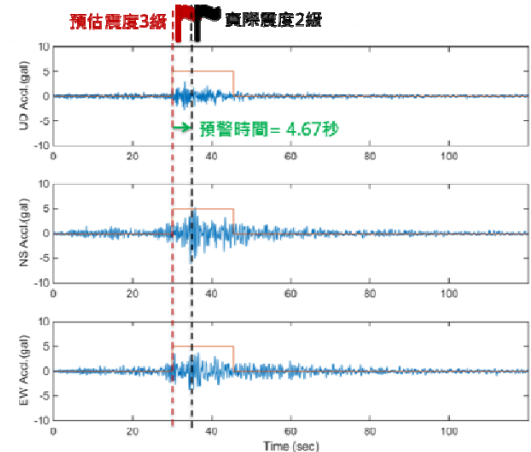


圖五 台南市嘉南國小測站紀錄與警報發佈情形

在爭取預警時間方面，若將預警時間定義為發出警報時間與 PGA 發生時間的差異，則在本次美濃地震中，觀察預警時間與震央距離的關係(如圖三及表一)，可發現預警時間隨著震央距離變大而增加，在震央距離僅 7 公里之高雄市新庄國小測站，可爭取約 3.8 秒之預警時間(圖四)，在鄰近重災區之台南市嘉南國小(震央距約 36 公里)約可爭取 8.4 秒之預警時間(圖五)，在較遠但是震



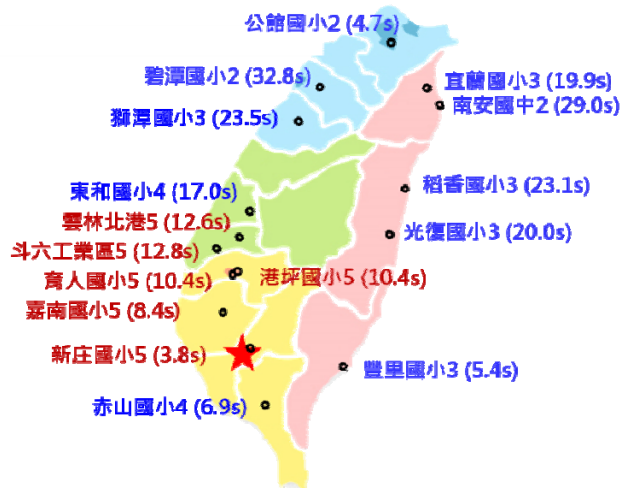
圖六 嘉義市育人國小測站紀錄與警報發佈情形



圖七 台北市公館國小測站紀錄與警報發佈情形

度亦為五級的嘉義市育人國小(震央距約 60 公里)約可爭取 10.4 秒之預警時間(圖 6)。理論上震央距離越遠的測站預警時間最長，但是距離最遠之台北市公館國小(震央距約 252 公里)預警時間僅 4.7 秒，其原因主要為訊雜比過小，亦即地震之 P 波振幅太小，以致於沒有觸發，直到震幅較大之 S 波到達後始觸發，故預警時間較短(圖七)，不過因為該測站實際震度僅二級，不需發布警報，因此即使該測站預警時間較短，亦不會造成任何實際不良影響。

相較於區域型強震預警技術對於鄰近震央區域無法提供有效的預警時間，亦即於鄰近震央區域的強震區反而成為區域型強震預警技術的盲區，現地型強震預警技術可於近震區提供準確且更為即時的預警。觀察本次美濃地震實際震度五級以上的測站，包括高雄市新庄國小測站、台南市嘉南國小、嘉義市育人國小、嘉義市港坪國小、雲林縣北港站、雲林斗六工業區等六個測站，現地型強震預警系統提供了約 4 秒至 13 秒的預警時間(圖八)，且警報正確率亦為 100%，顯見現地型強震預警技術應用於近震區域對於降低震損確有其潛在功用。



圖八 各測站名稱、實測震度與預警時間分布圖

三、期許

國研院國震中心目前正與教育部合作於全台灣之中小學校設置強震預警系統，若在地方政府充足的經費支持下，應可於 106 年完成初步之建置工作。為加速將此一可靠且有效的強震預警系統推廣至更多民眾使用，國研院國震中心亦正與保全公司合作，期能將該系統進一步推廣應用於住宅及辦公大樓。對於工業園區、高科技廠房等產業界，國研院國震中心亦正透過個案服務的方式提供客製化之強震預警服務。此外，在科技部的補助下，國研院國震中心正整合強震預警技術以及結構安全監測等技術，研發更為全面的地震減災技術，期能提供全方位的地震減災服務。

研究員 許丁友、林沛陽

專案佐理研究員 王修賢

助理研究員 黃謝恭、江宏偉、盧恭君

第五屆地表地質對於強地動之影響 國際研討會



國家地震工程研究中心預定
2016 年 8 月 15 日至 8 月 17
日，於台北國際會議中心舉辦
第五屆地表地質對於強地動之
影響國際研討會(5th IASPEI /
IAEE International

Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion)
(EGS5)。

此研討會由國際組織 IASPEI (International Association of Seismology and Physics of Earth's Interior) 及 IAEE (International Association of Earthquake Engineering)於 1986 年創立 ESG 工作小組後，致力於推動發展強地動相關議題之研究，1992 年於日本小田原進行第一次 ESG 研討會，其後陸續於 1998 年日本橫濱、2006 年美國加州、2011 年則在日本東京舉辦。/

本次會議為期三天，會議主題為『Challenges of Applying Ground Motion Simulation to Earthquake Engineering』，議程中規劃了數個討論議題：

1. Ground Motion Simulation
2. Shallow Velocity Structures and Depth Parameters
3. Soil Dynamics and Nonlinearity
4. Applications of Microtremor Survey
5. Downhole Array Observation and Analysis
6. Near Fault Ground Motions
7. Seismic Hazards and Loss Assessments
8. Other Site Effect Studies

會中除邀請來自日本、法國、義大利、伊朗、澳洲、美國之各議題專家進行演講分享其研究經驗，並安排海報展示區供學者互相交流討論，預計將有國內外學者共兩百人參加，希望藉由此次機會促成更多國際合作研究於台灣進行，並將台灣之地震工程技術介紹與國際分享。此外，本中心設置於成功大學歸仁校區的第二實驗室將於 2016 年底完工，該實驗室針對「近斷層地震」具有大位移的特性，建置一套獨特的地震模擬振動台系統，建置完成後將可模擬類似九二一地震的近斷層地震所造成的地表位移情形，藉由此次 ESG5 之機會，規劃於研討會中介紹分享與國際學者，歡迎有興趣者與會共襄盛舉。

會議網址：esg5.ncree.org.tw (助理研究員 黃雋彥)



土壤液化、地滑與護岸堤防破壞

一、前言

本次美濃地震造成的台南地區大地工程災害主要包含台南市區土壤液化及其引致建物傾斜下陷、濱水土坡地滑、堤防護岸滑移破壞等災情，國震中心大地組人員於地震發生後立即蒐集相關災害資訊，彙整本次地震重大地工災害與發生地點，於 2 月 11 日、2 月 13 日兩次赴台南地區進行現地勘災。勘災成員包含國震中心顧問陳正興教授、大地組組長黃俊鴻教授及大地組 4 名成員、中興大學土木系蔡祁欽副教授、台灣大學土木系邱俊翔助理教授並商請暨南大學土木系王國隆副教授以小型無人飛行系統 (Mini Unmanned Aircraft System) 進行空拍作業，2 月 11 日勘查標的(參見圖一)依序為台南市大內區南寶高爾夫球場 (S1)、台南市新市區三民街 50 巷 (L1) 與安南區惠安街 161 巷附近 (L2)；2 月 13 日則前往曾文溪右岸日新護岸 (E1 兩處破壞點 A、B)、南二高曾文溪橋頭之護岸 (E2) 與二溪橋尖山堤防 (E3) 與前述新市區三民街、安南區惠安街因液化引致建物沉陷傾斜區域進行更詳細的勘災調查測繪與後續鑽孔規劃。

以下分別針對本次地震在台南地區之土壤液化災害、地滑破壞以及護岸堤防破壞勘災調查成果進行敘述說明。

三民街 10 巷對街建物就沒有勘查到其他災情，訪談當地居民及蒐集中研院台灣百年地圖後得知此區原為池塘回填地，因此鄰近區域只有此處發生嚴重液化災情。



圖二 新市區三民街 50 巷 10 弄液化區域示意圖(王國隆提供)



(A) 三民街 50 巷 7 號建物下陷



(B) 液化噴砂高度約 150 公分 (C) 一樓地板沉陷約 47 公分

圖三 新市區三民街 50 巷液化引致建物下陷傾斜

二、台南地區土壤液化與所引致之建物沉陷傾斜

根據國震中心此次地震大地工程災害調查結果，針對台南地區因土壤液化引致街屋建物沉陷傾斜之重大災情，初步彙整如下：

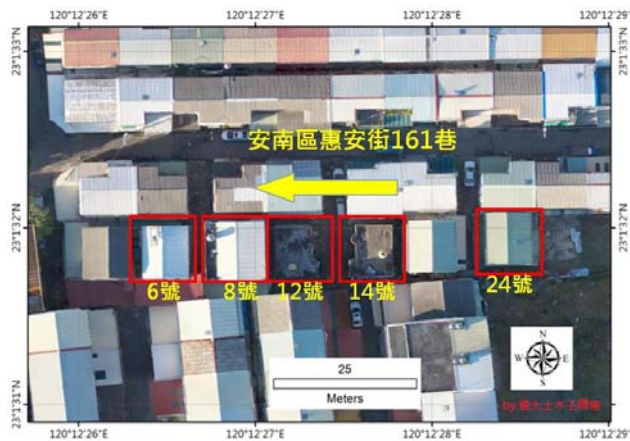
1. 台南市新市區三民街 50 巷區域 (L1)

在三民街 50 巷、三民街 50 巷 10 弄與三民街 10 巷之區域範圍 (約 60 公尺 x 60 公尺) 內 (見圖二)，因土壤液化導致此區透天厝建物產生下陷 (圖三 A)，現場量測到液化噴砂高度約有 150 公分 (圖三 A)，屋內一樓地板與巷道中心點高程間的沉陷量約有 47 公分 (圖三 C)，沿建物基地周圍之排水人孔溝蓋、電線杆及防火巷排水溝等處皆可見液化後泥沙噴出，此區建物除了一樓門前搭建的停車棚與圍牆有損毀、主體建物有沉陷與些微傾斜外，並無明顯結構損壞情況。一旦出了此區範圍如三民街 50 巷、

2. 台南市安南區惠安街 161 巷鄰近區域 (L2)

台南市安南區溪頂里靠舊台南市北邊、夾在嘉南大圳排水線南岸、北安路二段東側與鹽水溪北岸一帶，此區在地震時液化災情嚴重，尤其是惠安街至府安路四段一帶，隨地可見排水溝、人孔蓋、電線杆底部有大量泥沙噴出痕跡，而此區因地層液化引致建物下陷傾斜災情以惠安街 161 巷一帶最為顯著 (圖四)。惠安街 161 巷 24 號建物 (圖五 A) 因屋後地層液化產生沉陷，往後傾

斜約 5 度；惠安街 161 巷 8 號建物甚至因液化產生嚴重下陷約有半層樓高（圖五 B），根據現場量測結果此屋前傾角度可達 4 度（圖五 C）。由於此區靠近鹽水溪研判地層應相當軟弱，比對中研院台灣百年地圖後也可發現溪頂里一帶多為舊埤塘，因此在本次地震時此區液化受災相當嚴重。



圖四 安南區惠安街 161 巷建物下陷傾斜嚴重區域 (王國隆提供)



(A) 惠安街 161 巷 24 號建物下陷傾斜



(B) 惠安街 161 巷 8 號建物 (C) 8 號房屋前傾角度量測

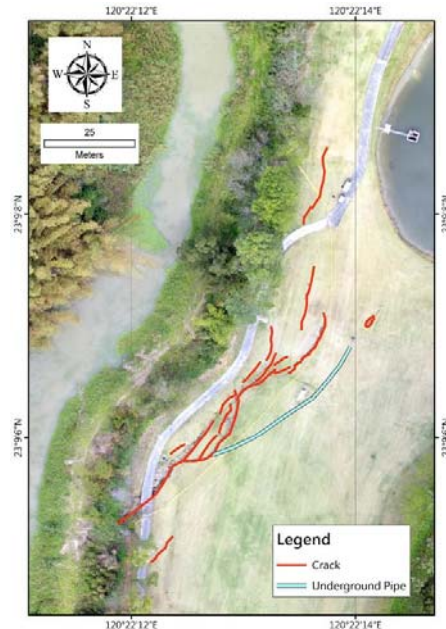
圖五 惠安街 161 巷一帶液化引致建物下陷傾斜

三、地滑破壞

1. 大內區南寶高爾夫球場地滑破壞

南寶高爾夫球場位於台南市大內區，離震央位置約 30 公里，球場破壞區為東側高，西側低之地形，且西側臨接六雙溪河岸，

於破壞面東北方有一水池。採用 UAS 製作破壞地區之正射影像如圖六所示。將正射影像中地滑區裂縫位置描繪其裂縫走向約略平行溪岸，分布在約 20 公尺寬度範圍，其中裂隙最寬處約為 6.5 公尺，可見滑動方向垂直河岸。因地震造成之最大陷落高度超過 120 公分。圖七 A 為最大陷落處之照片，可見其坍塌高度超過 170 公分。由道路斷裂處往東北方向拍攝，可窺見裂縫全景與斷裂之水管，如圖七 B 所示。



圖六 南寶高爾夫球場地滑正射影像與地表裂縫位置 (王國隆提供)



(A) 最大陷落高度大於 170 公分



(B) 由道路斷裂處往東北向拍攝之裂縫景象

四、護岸堤防破壞

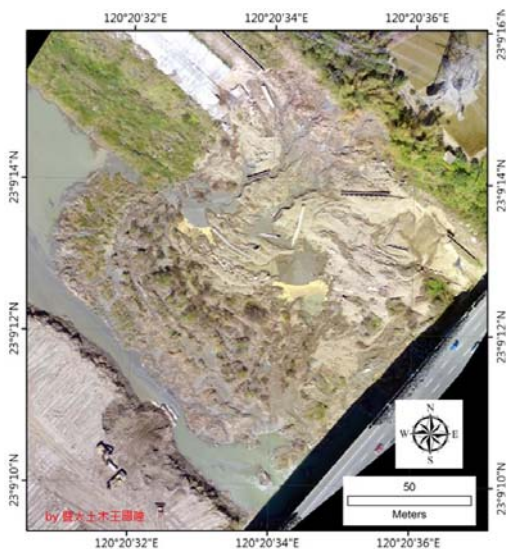
此次地震於曾文溪沿岸計發生三處河川護岸破壞與一處堤防之損壞，於國道 3 號跨曾文溪橋之日新護岸，發生三處河川護岸之流動破壞（Flow Failure），尖山堤防發生堤防震陷側移，均位於曾文溪河道右岸。

1. 日新護岸

靠近國道 3 號曾文溪橋處，於曾文溪右岸之日新護岸 E1 共發生兩個大規模破壞點 A、B（參見圖八 A），其中 A 處破壞範圍約 150 m x 75 m，B 處破壞範圍約 75 m x 75 m。而在跨國道 3 號曾文溪橋之鄰近橋頭處（E2），同樣也發生了滑移破壞，此區破壞範圍約 100 m x 125 m（參見圖八 B）。



(A) 日新護岸 E1 兩處破壞點 A、B



(B) 日新護岸 E2 破壞點

圖八 日新護岸滑移破壞(王國隆提供)

2. 尖山堤防

尖山堤防位於二溪橋曾文溪右岸，本次地震此處也有混凝土護坡開裂、堤岸道路扭曲下陷等災情發生（圖九紅色區塊），破壞長度約 100 公尺以上。根據現地調查，此區堤頂道路最大沉降達 50 公分以上，堤內植生坡面產生最大開裂約 70 公分的裂縫，堤外混凝土護岸亦產生縱向龜裂。此外，本次調查於堤內鄰近農地地表也發現土壤液化跡象與明顯之噴砂孔（圖十）。



圖九 尖山堤防開裂破壞(王國隆提供)



圖十 尖山堤防內側農地液化噴砂孔

五、小結與致謝

根據本次大地災情勘查初步結果顯示，因液化而下陷傾倒的建物結構樑柱體本身並未發現破壞，甚至二、三樓牆面也甚少有裂縫，反而是因結構物自重加載使得主結構下陷較多，與其他附屬結構體(如前院圍牆、車庫門、遮陽棚等)及一樓管線接管處產生差異沉降，造成這些附屬建物及民生管線破壞。

此次地震發生在農曆春節，大部份參與勘災人員雖已返鄉過年，然本於職責、犧牲奉獻於假期期間協助勘災調查，特別感謝下列單位及人員之協助：(1) 台灣大學土木系陳正興教授、邱俊翔助理教授及碩士生黃郁惟先生；(2) 中央大學土木系黃俊鴻教授及博士生鄧源昌先生等人(3) 暨南大學土木系王國隆副教授；(4) 中興大學土木系蔡祁欽副教授；(5) 國震中心參與大地工程災害調查之同仁。

副研究員 許尚逸
暨南大學土木系副教授 王國隆
中興大學土木系副教授 蔡祁欽
助理研究員 陳家漢

低矮型建物震損勘災調查

本次地震造成的建築物災害主要集中在台南地區，國震中心人員於地震發生後立即蒐集網路媒體報導災害資訊，初步彙整本次建物主要災害發生地點，隨即提供給勘災團隊進行勘災工作。

本次建築物震損勘災團隊結合(1)國立成功大學建築系、土木系；(2)高雄第一科技大學營建系；(3)長榮大學土地管理與開發學系；(4)內政部建築研究所；(5)結構技師及(6)國家地震工程研究中心等協力機關與單位，於2月6日即進行初步勘災，主要目的為確認災害地點、損壞機制與初步評估災害情況。以下各節報告數個主要災害地點之勘災調查過程與結果。

一、臺南市東區大智里菜市場

大智里菜市場位於臺南市東區長東街103巷，此建築為地上4層、地下1層之混合住宅。此建築為一連棟之公寓，因菜市場使用需求，可發現一樓幾乎無任何隔間牆，僅有一角落處有磚牆，形成軟弱底層，使柱於地震後產生軸力破壞、軟弱層倒塌之行為，而有磚牆之局部區域並未倒塌（如圖一）。所幸地震發生時間，菜市場尚未開始營業，無人受壓於倒塌的底層中，僅有上層住宅區一人受傷。



圖一 大智里菜市場受震倒塌照片

二、臺南市仁德區太子路101巷民宅

此公寓位於臺南市仁德區太子路101巷內，為地上3層並加蓋1層鐵皮屋之建築，興建年代為1980年(民國69年)。因興建年代較為久遠，故其垂直桿件耐震能力不足，且因結構系統配置不佳，導致結構系統產生扭轉現象，故發生軟弱層崩塌（圖二）



(左) 建築原貌 (Google 街景)
(右) 倒塌現況 ((杜怡萱教授提供))

圖二 仁德區太子路民宅受震倒塌

三、臺南市玉井區民族路民宅

本次地震於玉井地區之受震程度較大，雖無發生建物之嚴重倒

塌，但卻造成大量的民宅受損。本棟建築位於臺南市玉井區民族路，為地上3層之一般街屋，興建年代約為1989(民國78年)。此棟建築並未發生建築倒塌之行為，但於屋內清楚可見隔間磚牆之剪力破壞現象(圖三)。



(a) 磚牆剪力破壞



(b) 磚牆 X 型剪力裂縫

圖三 玉井區民族路民宅震損照片

四、臺南市玉井區玉井國中

玉井國中位於臺南市玉井區大成路152號，該校現有「專科教室」、「活動中心」、「勤勞樓」、「至善樓」以及「樸實樓」，共計5棟校舍。本次地震震損校舍為「專科教室」及「活動中心」。

「專科教室」為地上3層之鋼筋混凝土造建築，屬單邊走廊且廊外有柱之結構型式，興建年代約為1966年。該棟校舍曾於2010年0304甲仙地震造成部分磁磚掉落，教室隔間牆輕微裂縫。此次地震使得一樓窗台柱出現斜向剪力裂縫，尤以背面側最為嚴重，研判柱體因上下兩端受到束制，而造成剪力破壞(圖四a)。此外，該校舍二樓及三樓因地震搖晃，造成靠近邊緣處輕鋼架天花板掉落(圖四b)。本次現場勘查時，學校已封鎖危險區域並加以隔離，以維護師生安全。



(a) 窗台柱剪力破壞



(b) 輕鋼架天花板掉落

圖四 玉井國中專科教室震損照片

「活動中心」為地上3層之鋼筋混凝土造建築，屬單邊走廊且廊外有柱之結構型式，於1975年興建。於本次地震中活動中心建築物外側受損情形，可發現牆面上磁磚脫落，窗戶外框之混凝土塊搖搖欲墜，窗戶玻璃破損(圖五a)。活動中心內部靠近看台最上方位置可以發現梁底與紅磚交界面明顯開裂(圖五b)，管道間兩側紅磚禁不起地震晃動而掉落(圖五c)；另該棟建築有多處柱體與相鄰之磚翼牆出現斜向裂縫(圖五d)。



(a) 外側磁磚掉落，窗戶受損



(b) 梁底下與磚牆交界面開裂



(c) 管道間紅磚掉落



(d) 柱與磚翼牆斜向裂縫

圖五 玉井國中活動中心震損照片

除上述建築物受損外，本校另有多處水塔受損，如圖六所示。



圖六 玉井國中多處水塔受損

五、臺南市歸仁區歸仁國中

歸仁國中位於臺南市歸仁區後市里文化街二段 2 號，該校現有「博學樓」、「勵志樓」、「成功大樓」、「鄉江大樓」、「陽明樓」、「格致樓」、「光華樓」、「活動中心」、「音樂教室」及「國樂教室」，共計 10 棟校舍。

本次地震造成 2 棟校舍震損，分別為「光華樓」及「格致樓」。其中「光華樓」為地上 3 層之鋼筋混凝土造建築，屬單邊走廊、廊外無柱之結構型式，興建年代約為民國 76 年。該校舍於民國 98 年完成詳細評估，其評估結果為耐震能力不足($CDR=0.706$)，需進行補強工程，該棟校舍亦於當年度完成補強設計，目前尚待經費執行補強工程。經本次現場勘查發現，該棟校舍因地震導致一樓柱發生剪力破壞(圖七 a)。

「格致樓」為地上 4 層之鋼筋混凝土造建築，屬單邊走廊、廊外無柱之結構型式，興建年代約為民國 77 年。該校舍於民國 103 年完成詳細評估，其評估結果為耐震能力不足($CDR=0.969$)，需進行補強工程，目前尚待經費執行補強設計。經本次現場勘查發現，該棟校舍於本次地震造成牆面剪力破壞，以及鄰棟碰撞導致伸縮縫破壞(圖七 b)。



(a) 光華樓柱剪力破壞



(b) 格致樓伸縮縫破壞

圖七 歸仁國中震損照片

另外，本校有 4 棟校舍已完成結構耐震補強工程，分別為陽明樓(翼牆補強)、博學樓(擴柱補強)、勵志樓(擴柱、翼牆補強)及國樂教室(翼牆補強)，於本次地震均無結構損壞，證實結構補強確實有助於抵抗地震災害，其補強後之照片如圖八。



(a) 陽明樓



(b) 博學樓



(c) 勵志樓



(d) 國樂教室

圖八 歸仁國中補強後校舍照片

六、臺南市南化區公所

南化區公所位於臺南市南化區南化里 230 號，經緯度座標為東經 120.4777 度，北緯 23.0430 度。本棟建築為 3 層樓之鋼筋混凝土造建築(圖九 a)，1 樓作為區公所辦公使用，內部均無隔間牆體，僅於建築後側具有填充磚牆。本次地震雖未發生倒塌，但造成本棟建築大量柱發生剪力破壞，部份柱混凝土保護層嚴重剝落，柱內鋼筋外露，且可見柱內埋管情況(圖九 b)。



(a) 區公所外觀照片



(b) 柱剪力破壞，可見柱內埋管

圖九 南化區公所震損照片

七、臺南市歸仁區公所

歸仁區公所位於臺南市歸仁區中山路二段 2 號，經緯度座標為東經 120.2939 度，北緯 22.9672 度。本棟建築為 3 層樓之鋼筋混凝土造建築(圖十 a)，1 樓為開放空間，作為區公所辦公使用。本棟建築於 921 地震時曾發生損傷，於 2011 年時進行耐震補強，於建築前後設置共 4 片剪力牆(圖十 b)。本次地震後並無發現任何結構損傷，證明結構耐震補強確實可提高整體建築之耐震能力。



(a) 區公所外觀照片



(b) 補強剪力牆照片

圖十 歸仁區公所震損照片

助理研究員 翁樸文、沈文成、李昭賢

副研究員 邱聰智

組長 鍾立來

副主任 黃世建

中高樓層建物震損勘災調查

此次勘災調查中以 7 層樓(含)以上建物區分為中高樓層建物，共計調查棟數為 16 棟，樓層數分在 7 樓至 24 樓，建造年代皆為 921 集集大地震之前，座落區域分別在台南市區(2 棟)、新化區(3 棟)、永康區(3 棟)、歸仁區(3 棟)、安平區(5 棟)，調查結果顯示倒塌 4 棟、具結構性損壞 6 棟、非結構性損壞 6 棟。損壞原因主要為結構系統配置不良、底層軟弱、扭轉效應、非韌性配筋及施工不當等因素。以下就中高樓層建物倒塌及非結構性破壞介紹具代表性案例之勘災調查結果。

一、永康區維冠大樓

維冠金龍大樓為地上 16 層、地下 1 層建築物。該大樓興建年代約於 1994 年(民國 83 年)，主要用途為住商混合之集合住宅，於此次地震中不幸發生建築物倒塌之現象，造成共 115 人罹難，96 人受傷。



(a) 續接器位置於同一平面

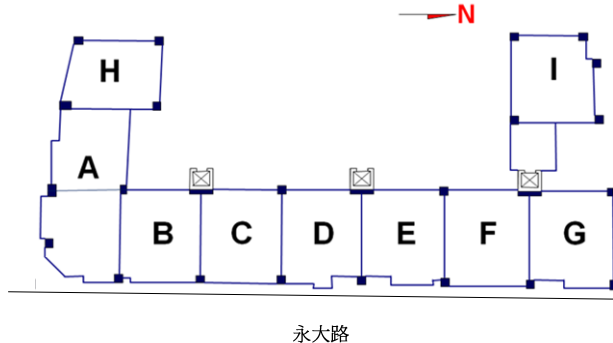


(b) 柱箍筋 90° 彎鉤

圖一 永康區維冠金龍大樓震損照片

圖一顯示柱主筋於柱底部同位續接，而且鋼筋自續接器脫離，柱箍筋彎鉤似乎僅有 90 度。由目前掌握的樓層平面(圖二)推測，沿短向多數僅有一跨，結構贅餘度明顯較少。結構長向沿永大路

側，牆量較少，而建築後側有樓梯間及電梯間牆量較多，故傾向於往永大路側破壞。低樓層作商業用途，牆量可能較少，相對其它樓層，其勁度可能較低，破壞較易集中於低樓層。同時，配筋細節可能不良(箍筋可能較疏鬆、彎鉤可能未插入核心混凝土、梁主筋可能未錨定於柱內、續接器可能脫離、柱主筋可能同位接續)，以致構件韌性不良，因而倒塌。眾多不利於結構耐震行為之因素，造成建築物軟弱層之倒塌，引發如此慘重的傷亡。



圖二永康區維冠金龍大樓樓層平面示意圖

二、新化京城銀行

此大樓為地上 11 層、地下 1 層建築物。該大樓興建年代約於 1996 年(民國 85 年)，主要用途為住商混合使用，底部 1-2 層為銀行，3 層以上正進行出租飯店裝修，該大樓因底層為商業使用空間，底層挑空且挑高，致使底層柱承受極高之軸力，遂造成車道出口附近的柱構件產生軸力破壞致使建築物倒塌（如圖三）。



(a) 底層垂直桿件破壞



(b) 1 樓柱軸力破壞

圖三 新化區京城銀行大樓傾倒

三、錦繡世界大樓

該建築為地上 13 層之鋼筋混凝土大樓。此棟大樓於地震後勘災發現，位於大樓內之非結構牆產生剪力破壞之現象(圖四)。



(a) 非結構牆之剪力破壞



(b) 梯間牆剪力破壞

圖四 錦繡世界樓梯間 RC 牆破壞

副研究員 翁元滔、蕭輔沛

高雄美濃地震—非結構與隔震建物受損狀況

一、背景說明

本次非結構勘災地點包括台南市新市區與南區，勘查建物包括一棟地上 5 層鋼骨、鋼筋混凝土結構(SRC)廠房、一棟地上 6 層鋼骨造(SC) 廠房、一棟地上 13 層之鋼筋混凝土(RC)住宅大樓，茲依構件類型(機電系統、儀器設備、建築性構件與裝修物)介紹建築內部非結構受損情形。

二、機電系統

本次勘查的受損機電系統大部分位於建築之頂層與屋頂層，包括 5 層 SRC 廠房之電梯系統及位於頂層(五樓)之空調系統冰水主機與空壓機、位於屋頂層之消防排煙管與水塔，6 層 SC 廠房之五樓空調系統末端冰水管、頂層(六樓)之消防設備、UPS 配電盤、屋頂層之 RO 水機房管線，13 層 RC 建築之電梯系統等。受損之機電系統設備原因大多為錨定強度低或錨定點不足，如位於頂層機房之自動滅火系統鋼瓶上端與輸出管連接，瓶身並未以鏈條束制而僅放置在底部兩橫梁上，故其強震下位移導致單邊懸空，僅靠對側支撐(圖一)。此外，消防排煙管與冰水主機受損原因之一，為其結構系統頻率過低，導致其於強震中特定頻率之樓板反應下，激發產生動力放大效應。如圖二所示，重約 4.2 噸之冰水主機位於廠房頂層(五樓)，再加上彈簧支承構築之柔性結構系統，致使彈簧隔振墊之膨脹螺絲無法抵抗冰水主機造成之過大傾覆力矩，而因抗拉強度不足而拔出破壞。冰水主機於強震下之旋轉、傾覆、位移等反應，導致四座彈簧隔振墊旋轉、傾倒、隔振墊固定之膨脹螺絲拔出。



圖一 位於頂層機房之自動滅火系統鋼瓶位移



圖二 位於頂層之冰水主機彈簧隔振墊破壞

三、建築性構件與裝修物

本次勘災觀察到多處天花板系統破壞(5 層 SRC 廠房一樓與五樓、6 層 SC 廠房之一樓、四樓、五樓與六樓)，亦發現非結構牆體破壞(13 層 RC 住宅大樓一樓、5 層 SRC 廠房一樓)、濕式固定之室內石材飾面板破壞(13 層 RC 住宅大樓、5 層 SRC 廠房一樓，如圖三)與 5 層 SRC 廠房屋頂層欄杆破壞。如圖四所示，13 層 RC 住宅大樓主要的破壞情形即為非結構牆體之破壞，最為嚴重之情況為裂縫穿透牆體造成開口，露出垂直向單層之鋼筋。



圖三(1) 濕式固定之室內石材飾面板破壞



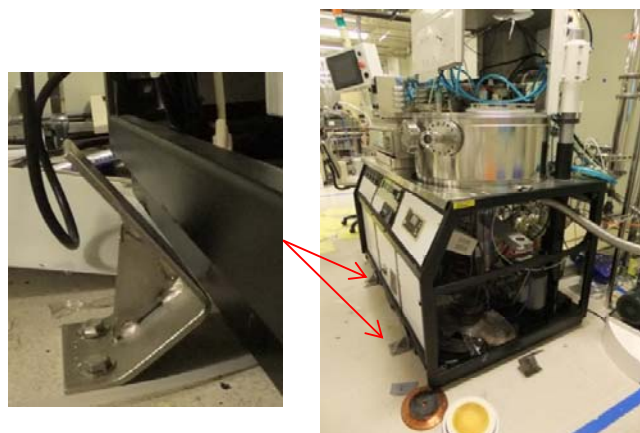
圖三 (2) 濕式固定之室內石材飾面板破壞



圖四 台南市 13 層 RC 住宅大樓非結構牆體破壞

四、儀器與家具

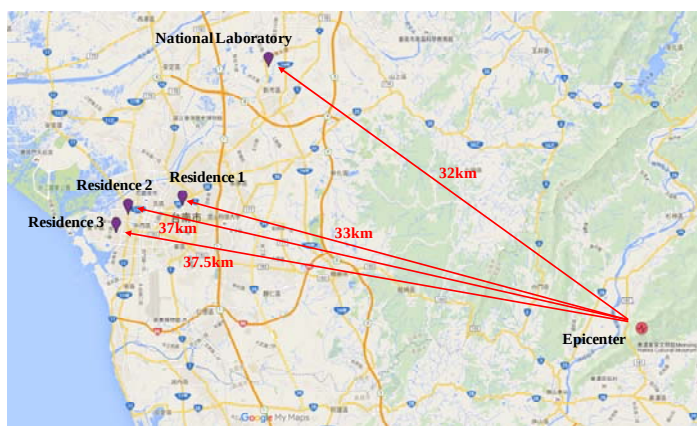
建築內部儀器與家具破壞方面，包括 6 層 SC 廠房之四樓行政室置物櫃傾倒、六樓機房儀器機能中斷、櫃門開啟與櫃板掉落，5 層 SRC 廠房之五樓無塵室儀器與管線受損等。因應 2010/03/04 甲仙地震中儀器大量位移情形，5 層 SRC 廠房之五樓無塵室多組設備外側已加設擋板，然由於擋板設計不良與數量不足，再加上多組設備為滑動支承，本次地震仍多處儀器設備產生位移並使擋板受彎變形(圖五)。



圖五 頂樓無塵室之設備位移與擋板破壞

五、隔震建築物

台南市目前共有四棟隔震建築物，其中一棟為國家研究單位，三棟為住宅大樓(一棟正在興建中)，圖一為這四棟隔震建築物距離 0206 美濃地震之震央距離。另外，在一棟國家研究單位與一間高科技廠房，亦有採用隔震高架地板與隔震儲存設備。在 0206 美濃地震中，所有隔震建築物均有發揮預期之隔震性能，有效保護建築物內的重要資產與生命安全，經由隔震設計的資訊設備與精密設備，在地震中與震後亦能正常運作。然而，在本次地震中，仍觀察到隔震縫之適應(或餘裕)設計有欠周詳之處，以及因使用者不當使用隔震位移作動範圍，而導致一些非結構元件的輕微破壞，如隔震伸縮蓋板、管線與線槽、裝修材料等，見圖二所示。這些輕微破壞雖不至於影響預期之隔震性能，但在未來隔震設計與應用中必須格外注意這些因應隔震設計的細節，避免每次大地震後均需進行修繕工作。



圖一 台南市四棟隔震建築物之震央距離



(a) 隔震伸縮蓋板

(b) 線槽



(c) 裝修材料

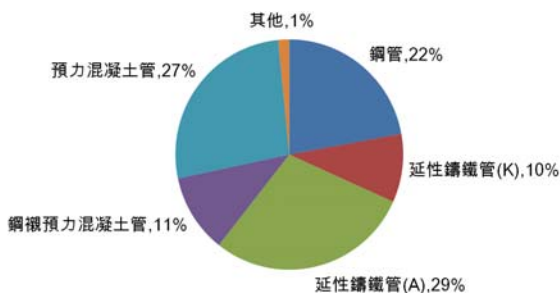
圖二 非結構元件輕微破壞

研究員 柴駿甫、汪向榮、助理研究員 林凡茹、林旺春
成功大學建築系教授 姚昭智、研究生 陳威中

自來水系統震害

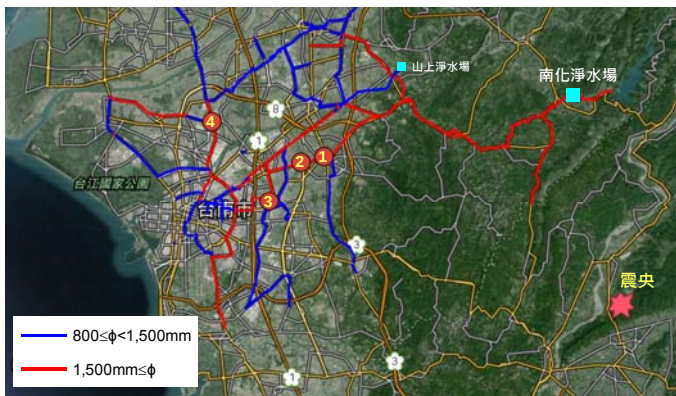
一、系統及主要震害概述

本次地震對台灣自來水公司的五區(雲林、嘉義)、六區(台南)和七區(高雄、屏東)分別造成損害，以管線震害為主，其中五區、七區相對輕微，六區則較嚴重。六區若以曾文溪為分界，可細分為溪北的烏山頭淨水場供水區以及白河淨水場供水區，與溪南的楠玉淨水場供水區以及最大的，由南化、潭頂、山上、鏡面等四座淨水場共同服務的供水區。較大的淨水場(設計出水量)為：南化淨水場(80 萬 CMD)、烏山頭淨水場(24 萬 CMD)和潭頂淨水場(19.5 萬 CMD)，其中 CMD 指立方公尺/日。六區的平均供水量為 896,144 CMD，總用戶數 661,879 戶，或者供水總人口數 1,867,399 人。管線總長度為 7,690 公里，其中，口徑 800mm 以上管線有 322 公里，其不同管材所占百分比如圖一所示，金屬管占 61%，其中鋼管(SP)、K 型和 A 型接頭的延性鑄鐵管(DIP)分別有 22、10 和 29%，水泥管占 38%，其中預力混凝土管(PSCP)、鋼襯預力混凝土管(PCCP)分別有 27、11% (以上根據 2014 年統計年報)；一般而言，水泥管的耐震性能相對較為不足。但值得注意的是，鋼管中部分為接頭構造的分段管，其防漏、耐震性能不比焊接鋼管。



圖一 台水六區口徑 800mm 以上管線之不同管材百分比

由於六區的主要水源—南化淨水場，口徑 2,000mm 的送水管路在本次地震中發生三處損壞，供水能力下降，水壓不足，導致部分地區供水嚴重困難，加以修繕工作因故有所延遲，又正逢農曆春節，台灣自來水公司因此頗受壓力，必須全力動員搶修。另外，則有安南區長和路三段 $\phi 1500\text{mm}$ 管路漏水，以及山上淨水場部分設備損害。以上五個主要災損點的位置，分布如圖二所示。



圖二 美濃地震自來水系統主要災損分布圖

二、送水管震害

送水管(口徑 500mm 以上)損害 27 處，部分為管壁、試壓孔、施工孔封板等之銹蝕導致漏水，屬極輕微損害，可簡單補焊止漏，部分為管體開裂、焊道微裂等損害，可局部抽換或修補管段解決。處置上較為棘手且嚴重影響供水的，為以下四處災損：

(一) 新化區忠孝路 $\phi 2000\text{mm}$ 送水管(災損點 1)

此為南化送水管的一段，沿台 20 線穿越新化市區，採用 1,205 公尺的 WSP 推進管，埋深約 8 公尺，鋪設於 1998 年，土層為鬆軟黏土。此種管材規格來自於日本水道鋼管協會，為分段管，以雙層鋼管內填混凝土而成，內襯 PE 塑料，並以推進工法施作。本次地震中，分段管在銜接處的中壓環套管有兩處發生圓周斷裂，拉開約 5mm 造成漏水。修復工作是由內部焊接 C 形斷面鋼環進行修漏，並以相同方法整補推進管套接部位中，已拉開但未達漏水的其他地方。工址須進行深開挖，如圖三所示，並於數百公尺的狹隘管道內搬運物料及進行焊接，如此案例少見且相對困難。



圖三 新化區忠孝路送水管深開挖修漏與 C 形鋼環備料情形

(二) 永康區開運橋西側 $\phi 2000\text{mm}$ 送水管(災損點 2)

南化送水管行經台 20 線開運橋西側處，因獨立水管橋鋼管下地接 PSCP 水泥管(均設置於 1998 年)之特殊接頭發生脫接而漏水，搶修情形如圖四所示。



圖四 永康區開運橋西側送水管損壞處拆除與置換情形

(三) 永康區永大路二段 $\phi 2000\text{mm}$ 送水管(災損點 3)

南化送水管行經永康區永大路二段維冠金龍大樓前，百餘公尺的 PSCP 水泥管(鋪設於 1991 年)，遭大樓倒塌撞擊而碎裂受損；與之正交且相接的鋼管(鋪設於 1993 年)，發生圓周焊道平整拉斷、分離 30cm 的損壞；另相接的 $\phi 1200\text{mm}$ 分歧管含維修孔(A 型接頭延性鑄鐵管，鋪設於 2001 年)，亦遭撞擊而壓損。本處災損造成淹水，大樓倒塌受困地下室民眾有因此而溺斃者，修繕工作須俟人命搜救作業結束後，方能進行，其中 PSCP 水泥管全部置換為 K 型接頭延性鑄鐵管，如圖五所示。



圖五 永康區永大路二段送水管置換情形

(四) 安南區長和路三段 $\phi 1500\text{mm}$ 送水管(災損點 4)

此處送水管鋪設於 2004 年，管材為法蘭接頭之分段鋼管，熱熔 PE 內襯。這裡多處接頭發生漏水，沿路數百公尺可觀察到漏水痕跡，採設置內套環的方式，修漏共七處，如圖六所示



圖六 安南區長和路三段送水管開挖與內套環修漏情形

三、配水管及給水管震害

配水管及給水管(口徑 450mm 及以下)災損件數超過千件，但絕大多數為給水管(PVC 管，口徑 50mm 以下)之損害，影響到個別用戶之用水。值得注意的是，部分地區之給水管災損，呈現區塊化分布的情形，例如安南區的溪頂里、關廟區市區的中山路一段以南等處，或因土壤液化造成的不均勻沉陷，或因土層有不均勻的變形，給水管在過排水溝後的轉折位置，很容易發生折斷。

四、淨水場設施震害

淨水場中除山上淨水場部分設備外，其他大致無恙。

山上淨水場奠基於「原台南水道」，為日治時期由日本人基於台南市街飲水需求所設置，1922 年竣工啟用(維基百科)。本次地震中，舊沉澱池的部分分隔牆嚴重開裂並作面外傾斜，又五座 3 噸的次氯酸鈉儲藥桶中，有三座分別發生底部破損洩漏，以及進、出藥管與管閥斷裂的情形，以上如圖七所示；此外，尚有增設沉澱池之刮泥機脫落、大門處 $\phi 500\text{mm}$ PSCP 水泥管盲腸管漏水，以及古蹟之中的過濾器室暨淨水場辦公室，發生外牆龜裂、扶壁損壞等情事，但影響均小。



圖七 山上淨水場之舊沉澱池分隔牆開裂傾斜與四號次氯酸鈉儲藥桶底部破損洩漏

五、結語

本次地震，大型管震害除永康區永大路二段送水管因大樓倒塌導致損害外，其餘全發生在接頭，推測以地震動為主因，與地表永久變位較無關聯；大型管管種複雜，非常規鋼管造成不意之災損，平添搶修之困難。部分地區之給水管災損，呈現區塊化分布的情形，或與局部性的土層破壞有密切關係。

由於南化 $\phi 2000\text{mm}$ 送水管震害，導致震後台南地區供水困難，震害原因應予詳細研究，以為後鑒。又新化區忠孝路 WSP 推進管損壞，須進行深開挖，並於數百公尺的狹隘管道內進行修漏，永康區永大路二段的管路修繕，則因人命搜救而推延，這兩項原因成為本次搶修工作的最大瓶頸，亦突顯在自來水系統中，設置備援管線以提升系統贅餘度的重要性。

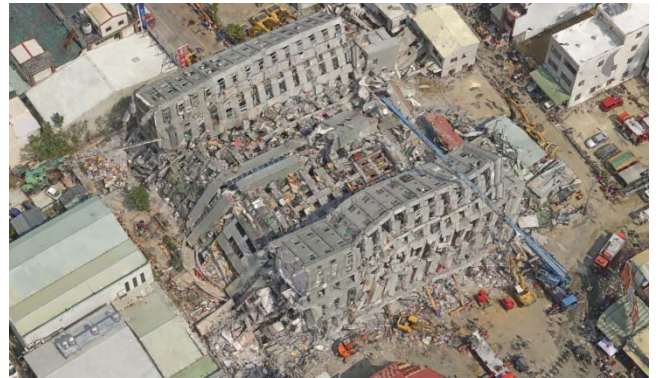
副研究員 劉季宇
助理研究員 洪祥瑗

美濃地震 UAV 空拍與 3D 雷射掃描勘災工作

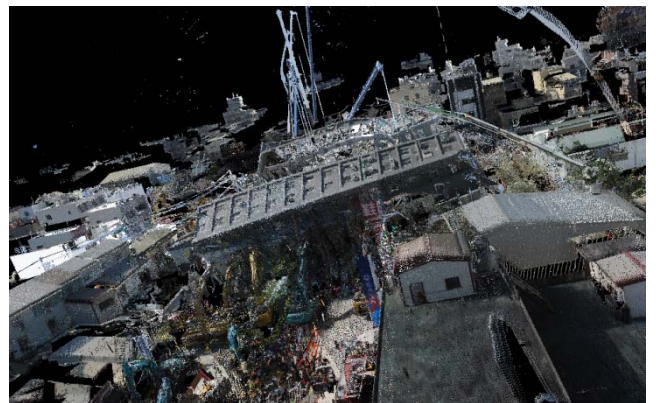
0206 美濃地震國家地震中心於震災發生後 6 小時，立刻啟動空拍與 3D 雷射掃描資料收集工作會議，以及聯繫勘災相關單位，由國震中心王仁佐博士空拍與 3D 掃描團隊，進行現場勘災調查工作，並且於 2016/02/09 完成所有空拍與掃描資料收集工作。空拍震損建築物與橋梁以受損倒塌嚴重為本次災情資料收集主要對象，包括維冠金龍大樓、玉井國中、長安街大里市場、信義北路幸福大樓、新化京城銀行、風神廟、86 快速道路橋梁。3D 雷射掃描資料收集部分，則包括維冠金龍大樓、86 快速道路橋梁、玉井國中專科教室、玉井國中禮堂。勘災現場空拍與掃描工作項目重點，(1)空拍與掃描位置規劃與 GPS 測試，(2)空拍與掃描參考點配置，(3)聯絡工程與救災相關單位協助，(4)空拍與掃描勘查動線規劃，(5)臨時掃描工作場所位置。空拍位置規劃與 GPS 測試，主要了解橋梁場址周遭環境 GPS 收訊狀態，橋梁不同空拍角度選定決定空拍畫面品質，及與數據整理便利性。空拍與掃描參考點配置，主要空拍結果能準確測得真實尺寸，故勘災現場亦進行經緯儀測量工作，掃描參考點部分，亦盡量取空拍與掃描具共同參考點位置，增加空拍與 3D 掃描數據結合可能性。聯絡工程與救災相關單位協助，主要了解災區受損情況，安排勘所需機械設備，協助災情資料收集。以台 86 橋梁為例，橋梁支承破壞情況嚴重，故需派遣高空作業車，進行高空手持式掃描工作，將作業車將人員移置於鄰近支承處，進行支承局部細部掃描，橋底掃描部分採用固定式掃描儀器大範圍掃描，最後數據彙整將手持掃描數據與大範圍固定點掃描點雲數據結合，建立最完整橋梁點雲模型。空拍與掃描勘查動線規劃，本次勘災工作在正式掃描工作之前，預先派工作人員在掃描前一天先抵達橋址現場，先進行勘災動線調查，工作內容包括如何擺放測量參考點、掃描點位置、掃描方向、掃描儀器如何現地架設等工作。以台 86 橋梁為例，主要調查橋梁受損範圍、如那些橋柱、箱梁、橋台、支承破壞，需進行不同程等級點雲數量掃描工作。臨時掃描工作場所位置，勘災現場掃描與空拍攝設備需足夠電力，故需找臨時作業空間，隨時檢查 3D 掃描成效，以提高數據可靠度與有效性，避免勘災建築物或橋梁快速拆除後，即無法進行後續補掃描與空拍作業。

本次勘災掃描重點為維冠金龍大樓與台 86 橋梁，其主要因素在於維冠金龍大樓震後是屬於傷亡與結構受損最為嚴重震損案例，台 86 橋梁則是影響交通與修復最為困難震損案例。維冠金龍大樓勘災過程中，最困難部分災區尋找優良掃描與空拍制高點位置，才可拍攝出優質畫面與完整掃描。本次勘災在救災人員協助下，與當地居民進行溝通，在不影響救災作業，選定以正三角形包圍維冠大樓三處建築物頂樓，進行資料收集工作，空拍與掃描結果如圖一與圖二所示。

本次空拍特色台 86 橋梁空拍工作除高空拍攝橋面板，亦進行低空橋底空拍，高空拍攝範圍涵蓋整體橋梁如圖三所示，高空拍攝重點橋面板伸縮縫變化，亦屬於受損嚴重位置，空拍圖結果如圖四所示，低空拍攝重點以橋柱與支承位側移量為主。



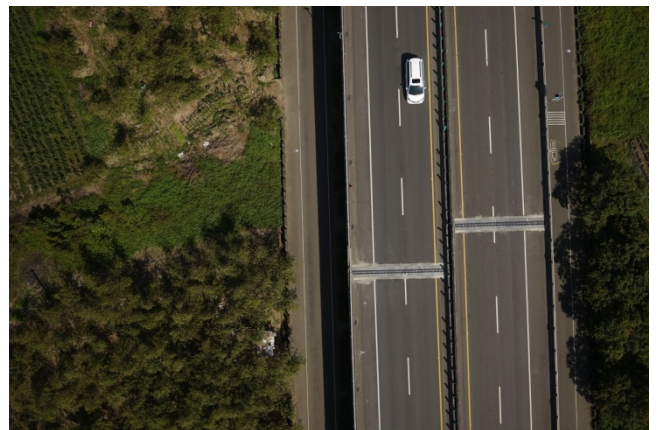
圖一 維冠金龍空拍圖



圖二 維冠金龍 3D 掃描圖



圖三 台 86 橋梁空拍圖



圖四 台 86 橋面伸縮縫受損最嚴重位置空拍圖

現場勘查後決定以支承破損最嚴重橋柱編號 P5 至 P10 位置，為台 86 橋梁主要掃描工作範圍如圖五所示。玉井國中、長安街大里菜市場、信義北路幸福大樓、新化京城銀行、風神廟等空拍畫面如圖六至圖十所示。玉井國中禮堂 3D 雷射掃描結果如圖十一所示。0206 美濃地震勘災，本中心首度以最新震損資料收集技術，真實記錄結構物地震發生後，詳細受損情況以及倒塌破壞現況，對於未來結構倒塌模擬分析結果可與現況結構壞情況比對結果，可提供未來台灣耐震設計規範修訂參考依據。



圖五 台 86 橋梁點雲 3D 掃描資料畫面



圖六 玉井國中空拍圖



圖七 長安街大里菜市場空拍圖



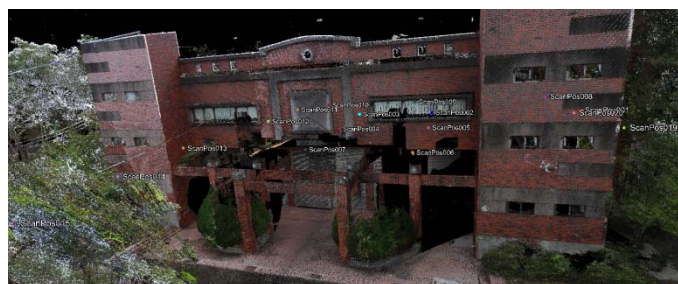
圖八 信義北路幸福大樓空拍圖



圖九 新化京城銀行空拍圖



圖十 風神廟空拍圖



圖十一 玉井國中禮堂 3D 雷射掃描

副研究員 王仁佐

第二屆核能電廠圍阻體縮尺模型反覆載重試驗研討會

為確保核能發電廠之安全，圍阻體一直都是縱深防禦體系裡極重要的成員，擔任守護核能發電安全之堅實堡壘。一次圍阻體結構強度的主控設計外力來源通常屬於非地震因素所致，諸如考慮反應爐受損所導致圍阻體容器內部異常高溫高壓的耐受能力，以及防禦敵對國家軍事行動和國際恐怖武裝攻擊對圍阻體容器外部所造成的爆炸威脅為主控設計外力。

長期以來美國的核電廠多設置於東岸、中西部等相對弱震區域，以致在核能工業發展史上，雖然美國具備先進的電腦模擬分析能力，但圍阻體耐受異常強震能力的動靜態試驗評估工作始終由日本的大型實驗室主導，此係緣於鋼筋混凝土複合材料型式的板殼結構，其全域力學行為不易為現有科學模型所精準掌握的工程實務瓶頸，而日本為因應其快速工業發展所衍生的大量用電需求而設置的核電廠，均位於斷層活動頻繁的太平洋火環帶（Pacific ring of fire）週邊，因此日方必須掌握電廠在地震侵襲下的毀損風險確在可控管範圍之內，避免引發嚴重的政經動盪及對自然生態環境的巨大危害。

2011 年 3 月 11 日日本東北地方太平洋沖地震（震矩規模 Mw-9.0）發生之後，舉世撼動；福島第一核電廠內第一、第二以及第三號反應爐所屬之一次圍阻體事後經日方研判應已受損且有洩漏，核電安全遂再度引燃全球話題，這也直接導致許多工業國家原訂的能源政策在該事件巨大的陰影籠罩下逐漸產生異動。

有鑑於圍阻體結構在核電縱深防禦體系所扮演角色的重要性，國家地震工程研究中心與美國休士頓大學於 2015 年 3 月 5 日聯合舉辦「第一屆核能電廠圍阻體縮尺模型反覆載重試驗研討會」，並聯合規劃執行 1:13 縮尺模型反覆載重試驗，實驗成果發現尚有許多待研究之處，因而著手規劃第二座縮尺圍阻體試體與相關實驗內容，並於 2016 年 1 月 12 日舉行「第二屆核能電廠圍阻體縮尺模型反覆載重試驗研討會」，本會議邀請王作臺副院長開幕致辭並主持美國休士頓大學徐增全教授 L 型測試鋼構架捐贈儀式，約 40 人與會觀禮，會中並安排徐增全教授、香港城市大學胡琪怡教授、義大利 Parma 大學 Beatrice Belletti 教授進行特邀演講，會後並安排實地參觀 1:13 圍阻體縮尺模型整備現況。冀盼結合國內外重量級專家學者開發尖端設計分析技術，提升國家在尖端耐震技術的競爭力。



專案助理研究員 陳昱志

台灣火山及泥基背斜暨泥火山活動研討會

國震中心於 2016 年 1 月 27 日假國震中心 R103 會議室舉辦「台灣火山及泥基背斜暨泥火山活動研討會」，與會單位計有：原子能委員會核能研究所、台灣電力公司、中央氣象局地震測報中心、經濟部中央地質調查所、中央研究院、工業研究院、中興工程顧問公司及顧問社、國立台灣大學、國立中央大學、國立成功大學與中國文化大學等，人數達 100 人。

「台灣火山及泥基背斜暨泥火山活動研討會」主要分為兩項重點議題：火山活動及泥貫入體。火山活動邀請國立台灣大學地質學系陳正宏教授介紹台灣附近地區之火山活動，中央研究院林正洪教授講述台灣北部火山地區地震觀測。泥貫入體議題邀請國立中央大學地球科學系林殿順教授簡介台灣西南部陸海域泥基背斜與泥貫入體暨泥火山活動，經濟部中央地質調查所陳松春博士講述恆春西台地附近海域泥貫入體及斷層之分布及特性。

由於臺灣位於太平洋地震帶上，並由歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊碰撞擠壓造山而成。因此，臺灣島上分佈許多斷層帶，斷層活動便會產生地震。臺灣重大地質災害之一便來自地震或因震動所引發的地質災害，如：集集大地震及其引發的九份二山山崩。然而現今的關注焦點都聚焦於斷層上，卻忽略了其他地質活動可能引致的災害，如：火山噴發、火山泥流、泥貫入體上拱與泥火山噴發之地質事件，雖未必引致強烈地震動，惟仍可能對生活環境產生嚴重影響。此研討會之目的在於透過專家學者的講述，可使我們對於非地震動類之地質活動有更進一步的認識，並重視此類地質活動可能產生的災害。



台灣大學陳正宏教授講述火山活動

專案助理研究員 陳冠宇

2015 台灣地震損失評估系統 講習會

「台灣地震損失評估系統—TELES」乃結合自然、工程與人文資料庫，研發跨領域震損評估模式，以因應不同實務應用需求之軟體；可協助各級政府與公、民營事業單位進行震災境況模擬及早期損失評估，並據以研擬減災、應變和風險管理對策，達耐震安全與永續家園的目標。國家地震工程研究中心每年均舉辦「台灣地震損失評估系統」講習會，一方面推廣運用震災境況模擬技術，另一方面汲取使用者的經驗回饋，作為未來系統發展的參考。

本年度國家地震工程研究中心於 11 月 23 日舉辦 2015 年「台灣地震損失評估系統」講習會。主題包含：(1)活動斷層近地表變形特性研究：綜合現地調查、物理模型試驗及數值分析方法，探討活動斷層近地表之變形特性，分析其主控因子與相關參數；(2)地震災害潛勢資料之整理與應用：利用中央氣象局之強地動觀測資料和中央地質調查所之工程鑽孔資料，分別應用於場址效應修正和土壤液化評估模式及參數設定；(3)防災多元數據之加值與應用：以颱風及地震災害應變為例，介紹防救災大數據如何在災害各階段中運用，以及社群媒體如何融入於防救災應用；(4)校舍易損性與震損評估模式：統計分析國中、小學校舍之耐震初評資料，探討不同時期和地區校舍之耐震易損性，研擬震損評估模式並與實際勘災資料比較；(5)維生線設施之易損性與震害防治：介紹維生線系統中管線與池槽結構之歷史震害經驗、損害模式、耐震設計及震害防治之道；(6)建築物震損評估資料之整理與應用：結合內政部門牌定位資料和財政部房屋稅籍資料，推估建築物之座標、耐震屬性及用途等，除提升風險暴露資料之定位及數量統計精度，並應用於研發新的震損評估模式。

本講習會實際參與人數共計約 60 名，包含交通部公路總局、高公局、營建署、台電公司、縣市政府消防局、縣市政府協力單位、保險業等，藉由此之講習會，將 TELES 推廣至多面向之使用層級並汲取使用者的寶貴經驗，以利 TELES 未來之應用與發展。



研討會議場實況

助理技術師 陳世良

高強度鋼筋混凝土(New RC) 結構設計手冊研討會

台灣都會區地狹人稠，可利用之土地面積有限，建築物往高樓層發展是必然趨勢。超高層住宅建築可使用高強度鋼筋混凝土材料來縮減構件尺寸，以增加建築使用空間。日本對高強度鋼筋混凝土的超高層建築，已有成功的 59 層樓應用案例，值得國內效法。

自 2010 年起，國家地震工程研究中心結合國內學者與國內外產業界，合作推動台灣新一代鋼筋混凝土材料與結構系統研發，稱為「台灣新型高強度鋼筋混凝土(Taiwan New RC)結構系統計劃」，使用此種高強度材料可增加建築使用空間，並可兼顧環境永續發展議題。本高強度材料係指主筋降伏強度等級為 685MPa、箍筋降伏強度等級為 785MPa，而混凝土抗壓強度為 70MPa~100MPa。本計畫執行至今，現已完成高強度鋼筋及其配件之規範初稿制訂，並初步完成材料與構件測試研究，透過一系列實驗確認高強度鋼筋混凝土構件性能與初步之構件耐震設計手冊。

「高強度鋼筋混凝土(New RC)結構設計手冊研討會」於 2015 年 12 月 11 日在財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 101 會議室舉辦，主要即將 New RC 構件耐震設計手冊分享給國內工程界的先進。本次研討會邀請國內參與 New RC 研究計畫之 13 位講員進行演講，吸引了近百人出席參與，其研討會舉辦之現況如下面照片所示，期待透過此次研討會的舉辦，可與工程界共同討論台灣 New RC 相關耐震設計議題，並廣納工程界對此耐震設計手冊之意見，此有助於未來高強度鋼筋混凝土(New RC)建築結構在台灣之推廣與應用。



助理研究員 莊勝智

含挫屈束制支撐之 RC 構架 耐震設計、試驗與應用研討會

挫屈束制支撐 (buckling-restrained brace, BRB) 可由習見之營建材料與工藝製造，利用 BRB 構成的挫屈束制支撐構架 (buckling-restrained braced frame, BRBF) 能很經濟地提升抗震所需之勁度、強度與韌性。本中心所研發之槽接式 BRB 已獲得台灣、中國、加拿大、日本、韓國、義大利及美國共七國發明專利，突破性的創新程度顯然已獲全球地震工程先進國家的肯定。發表後四年內，已技轉至國內 7 間與紐西蘭 1 間鋼構廠，至今獲超過 40 件工程案採用，累計超過 3,500 組。本研討會於 2015 年 11 月 13 日舉行，吸引超過 100 名業界工程師參與，介紹本中心最新研發成果，主要針對槽接式 BRB 在新建與補強鋼筋混凝土 (reinforced concrete, RC) 構架之耐震設計、試驗與分析進行研討，內容能改善舊有方法缺點，進一步節省製造與安裝成本而嘉惠使用者。會中討論 RC 構架利用 BRB 耐震補強之設計原理、構架試驗與先進分析方法，並包含既有 RC 梁柱構件之設計檢核方法；會中亦介紹含 BRB 之新建 RC 構架設計、施工與擬動態構架試驗結果，提出與 BRB 端部接合板連接之預埋鐵件設計與施工方法。本研討會邀請國內工程師與會分享 BRB 在 RC 結構之耐震設計與應用經驗，期能藉由本研討會提升國內耐震結構工程技術。



研討會現場

助理研究員 吳安傑