

美濃地震勘災特別報導

國震中心地震災害應變作業報告

葉芳耀／國家地震工程研究中心研究員

吳俊霖、林哲民、邱聰智／國家地震工程研究中心副研究員

陳俊仲、許尚逸、翁元滔／國家地震工程研究中心副研究員

宋裕祺／國立台北科技大學土木系教授、國家地震工程研究中心橋梁組組長

鍾立來／國立台灣大學土木系教授、國家地震工程研究中心建物組組長

黃世建／國立台灣大學土木系教授，國家地震工程研究中心副主任

許健智／國家地震工程研究中心副主任

張國鎮／國立台灣大學土木系教授、國家地震工程研究中心主任

摘要

本文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。文中首先對美濃地震做簡單說明；其次介紹國震中心之地震災害應變作業及其作業程序與任務編組；接著以美濃地震動員勘災為例，說明國震中心地震災害應變作業之過程與初步勘災成果，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、協力機構動員狀況及美濃地震勘災討論會；最後彙整初步災害調查結果及美濃地震勘災討論會之會議結論，以供與地震工程相關之產、官、學、研各界參考。

美濃地震概述

民國 105 年 2 月 6 日凌晨 3 時 57 分 27.2 秒（世界時間 2 月 5 日晚上 7 時 57 分 27.2 秒），臺灣地區於高雄市美濃區發生一起芮氏規模 M_L 6.4 之地震，根據交通部中央氣象局地震測報中心（以下簡稱氣象局）

第 105006 號地震報告所公布之地震速報震源參數資料顯示，震央位置在北緯 22.93 度、東經 120.54 度（屏東縣政府北偏東方 27.4 公里處），震源深度 16.7 公里。氣象局即時站資料顯示，台灣全島最大震度達 7 級，為距離震央 24.2 公里的台南市新化測站（站碼 CHN3）所觀測到東西向加速度峰值 401cm/s^2 ；雲林縣草嶺震度也達 6 級。震度 5 級地區包括：屏東、高雄、台南、嘉義；震度 4 級地區包括：台東、南投、彰化、台中等，其他地區除台北外，皆達震度 1 級以上。財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心（以下簡稱國震中心）即時監測站也於距離震央 13.9 公里的台南市南化區埔仔測站觀測到最大加速度峰值為 408cm/s^2 。依據氣象局和美國地質調查所公布之震源機制解資料，配合國震中心 TELES 震災模擬推估及實際災情分布，主震震源推測為近東西走向並向北傾之斷層破裂面，錯動方式主要為平移帶逆衝型態。綜整氣象局與國震中心即時網實測紀錄所繪製之地震動分布圖如圖 1 所示。

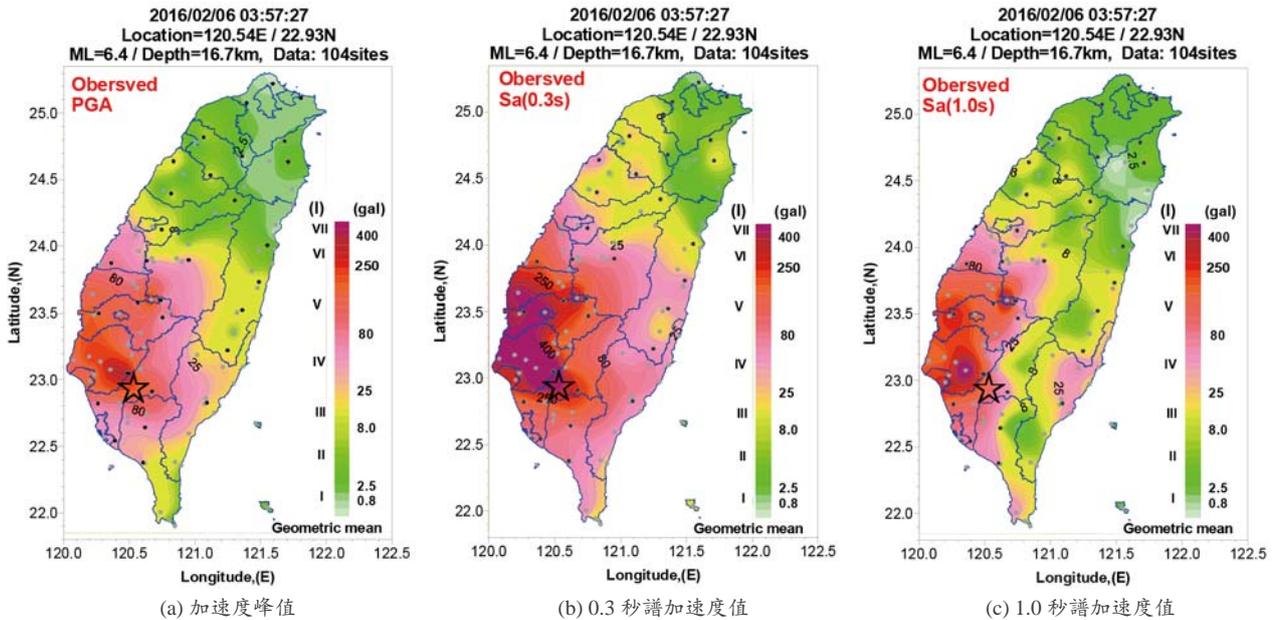


圖 1 依據即時站實測紀錄繪製之地震動分佈圖

國震中心地震災害應變作業

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心地震災害應變作業手冊^[1]（以下簡稱作業手冊）訂定之主要目的，為支援震災中央災害應變中心，執行地震災害之分析研判及相關決策採行措施之建議。依據作業手冊之規定，結合國震中心同仁以及協力單位相關人員成立地震災害應變支援組共同作業，使國震中心各組工作人員能夠依既定流程執行地震災害之災情評估、災情彙整以及震後勘災的工作，發揮本中心震災緊急應變與支援之運作效能。

應變階段與作業重點

國震中心針對地震災害應變所需之作業程序，將作業程序分為減災、整備、應變支援、復建四個階段（各階段開設之原則與依據如表 1），各階段作業重點分別如下：

減災、整備階段

- (1) 地震減災相關之資料庫的收集、建置與維護。
- (2) 地震災害損失評估之分析軟體的開發、更新與測試。
- (3) 與各協力機關單位間資訊傳輸系統之建置與測試。
- (4) 應變作業之硬體設備，包含作業場地空間、電力與通信系統、物資備援等應變支援作業相關環境之規劃與加強。
- (5) 緊急動員方式、震後勘災計畫、新聞

- 媒體聯繫互動等應變支援作業相關運作計畫之訂定。
- (6) 與各協力機關單位共用傳輸資料格式之訂定。
- (7) 儀器設備系統的維護保養。
- (8) 應變支援人員之編組訓練。
- (9) 不定期進行無預警之模擬演練與動員。
- (10) 國內外相關地震災情與整備資料作為參考。
- (11) 勘災作業相關表格之訂定。
- (12) 工作人員聯繫資料之確認與更新。
- (13) 相關物資之清點確認與更新。

應變支援階段

- (1) 震災早期評估系統自動啟動進行震災規模研判，依據作業手冊開設原則（如表 1）啟動震災應變作業程序。
- (2) 通訊聯繫系統自動開始動員國震中心所有應變人員。
- (3) 於警戒階段，應變人員可就地進行資料蒐集、評估及相關應變工作。
- (4) 若提昇為部分動員階段，應變人員須立即回到中心，執行相關應變工作。
- (5) 為區分不同災害規模所需的動員人數，故區分部分動員和全部動員。但應變作業流程和要項，部分動員和全部動員相同。
- (6) 綜合整理震災損失評估結果之資料，隨時向中央災害應變中心進行簡報。
- (7) 災情彙整資料蒐集，並回傳中央災害應變中心與消防署進行比對參考，避免遺漏或重複資料。
- (8) 與各協力機關單位取得聯繫，交換相關資訊。
- (9) 災情資訊側錄彙整系統立即起動。
- (10) 警衛保全人員管制人員出入及控管空間的使用。

表 1 國震中心應變支援各階段開設原則

開設階段	開設依據		
減災、整備階段	為平時未發生災害地震時段或國內地震未達國震中心之警戒階段標準		
應變支援階段	國內地震達國震中心之警戒階段標準以上。立刻啟動國震中心災害應變支援小組，同時待命支援中央災害應變中心		
復建階段	中央災害應變中心撤除之後，進入震後勘災與重建規劃階段		
	警戒階段	部分動員	全部動員
Le：早期評估人員傷亡	≥ 1	≥ 10	≥ 15
Ls：詳細評估人員傷亡	--	≥ 5	≥ 10
Lr：實際傷亡	≥ 1	≥ 5	≥ 10
I：最大震度	≥ 6 級	--	--
M-in	$M_L \geq 6.3$ 且 $Depth \leq 20KM$	--	--
M-out	$M_L \geq 6.8$ 且 $Depth \leq 30KM$ 且 $Distance \leq 30KM$	--	--

復建階段

(1) 整理國震中心應變支援作業環境，使之恢復減災與整備狀態。(2) 震後勘災人員執行災區相關之勘災計畫。(3) 持續進行震災媒體資訊之蒐集。

作業架構與各組任務分工

國震中心依據工作性質與任務的不同，將中心工作人員分為五個工作組，分別為(1) 災情評估組、(2) 災情彙整組、(3) 勘災行動組、(4) 應變支援組（機電、行政、資訊、物資、公關）以及(5) 決策綜整組。各工作組別的任務如下：

災情評估組

(1) 視地震災害程度啟動本中心應變機制。(2) 與本中心應變進駐小組保持密切聯繫，充分溝通資訊。(3) 綜合整理災情評估資料，供本中心提報中央災害應變中心討論與決策。(4) 災情評估之軟硬體設備規劃與人員分工編制。(5) 建議本中心應變支援作業之撤除時機。

災情彙整組

(1) 災情彙整與統計分析。(2) 與相關災情彙整單位保持密切聯繫，確保資訊溝通順暢。(3) 電視新聞側錄儀器裝置之規劃。(4) 媒體資料蒐集與後續整理工作。

勘災行動組

(1) 地震災害初期資訊之蒐集整理。(2) 勘災決策訂定之幕僚作業。(3) 協調與組織其他團體機構。(4) 勘災

隊伍成員編組及輪值。(5) 建立勘災臨時辦公室。(6) 進行現地災害調查。(7) 準備勘災調查報告。(8) 對後續勘災之支援與組織。

決策綜整組

(1) 配合中央災害應變中心之開設，代表本中心進駐支援。(2) 本中心災情評估小組提供災情研判相關資訊，以協助中央災害應變中心進行分析研判作業及建議採行因應措施。(3) 蒐集並回傳中央災害應變中心之作業情況、即時災情與決策相關資訊，以助本中心災情評估與研判之作業。(4) 依據地震災情資訊，協同主任判斷應變作業之層級與動員規模。

美濃地震災害應變

國震中心災害應變動員情形

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，隨即依作業手冊各階段開設之原則與依據（如表 1）啟動國震中心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^[2]。後續「高雄美濃地震概要」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。

另於於 2 月 6 日上午 7 點多即電邀土木技師公會全國聯合會施義芳理事長、台北市結構技師公會婁光銘理事長、台灣省結構技師公會江世雄理事長、台灣世曦工程顧問股份有限公司王炤烈總經理及工程界資深專家等於上午 10 時正式開會，與本中心張國鎮主任、許健智副主任、橋梁組宋裕祺組長、強地動組溫國樑組長及決策綜整組長官與同仁，開會研商建立震災緊急應變處理平台。就地震災損情形，如何進行緊急應變及緊急動員，並對救援與勘災行動進行任務分配，以降低地震所造成的災害與損失。

然而此次地震恰巧發生在農曆春節之前，大部份中心同仁可能已返鄉過年。若依照原先排定震災應變任務編組之排班表與勘災人員組織分工表之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。勘災行動組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

員及擬定震後勘災計畫，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，緊急動員勘災及災害調查分述如下：

建築物及非結構災害調查

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，彙整本次建物主要災害發生地點（如圖 2），並結合 (1) 國立成功大學建築系姚昭智教授、杜怡萱教授、鍾育霖教授、國立成功大學土木系張文忠教授；(2) 高雄第一科技大學營建系郭耕杖教授；(3) 長榮大學邵佩君教授；(4) 內政部建築研究所；及 (5) 結構技師等協力機關與單位，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。

建築物震損

(1) 永康區維冠金龍大樓

維冠金龍大樓位於台南市永康區永大路二段，此大樓為地上 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。維冠金龍大樓於此次地震中不幸發生建築物倒塌之現象（如圖 3），造成共 115 人罹難，是臺灣有史以來在單一建築物倒塌事件中，罹難人數最

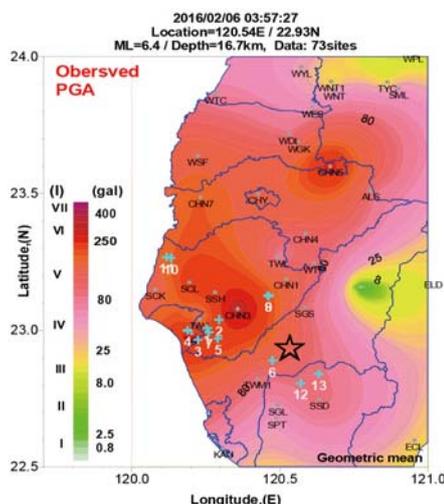


圖 2 建築物災害主要勘災地點

No.	0206 主要災情點
1	台南市永康區維冠金龍（燦坤）大樓
2	台南市新化區京城銀行
3	台南市東區大智市場
4	台南市中西區風神廟
5	台南市歸仁區信義北路 & 大仁街口
6	高雄市旗山天后宮
7	台南市仁德區太子路
8	台南市玉井區民族路
9	台南市玉井國中
10	台南市北門國小玉湖分校
11	台南市北門國小



(a) 續接器位置於同一平面



(b) 柱箍筋量不足

圖 3 永康區維冠金龍大樓震損照片

多的一次。維冠金龍大樓倒塌的因素相當眾多，但主要原因在於低矮樓層因商場使用關係，移除大量隔間牆，形成結構系統之軟弱層；此外，建築施工不當亦影響結構耐震能力，引致如此慘重之傷亡。

(2) 新化區京城銀行

京城銀行位於台南市新化區中山路，此大樓為地上十層、地下一層建築物。該大樓興建年代約於 1996 年(民國 85 年)，主要用途為住商混合之出租住宅。京城銀行大樓因一二層為銀行，因此於底層挑空且挑高，故使底層柱承受極高之軸力，遂造成車道出口附近之柱，發生軸力破壞進而使建築物倒塌(如圖 4)。



(a) 底層垂直桿件破壞



(b) 1 樓柱軸力破壞

圖 4 新化區京城銀行震損照片

(3) 台南市東區大智里菜市場

大智里菜市場位於台南市東區長東街，此建築為地上四層、地下一層之混合住宅。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，故一樓柱同樣承受較大之軸力，使柱於地震後產生軸力破壞、倒塌之行為(如圖 5)。



(a) 建築物倒塌現況



(b) 柱軸力破壞

圖 5 台南市東區大智里菜市場震損照片

(4) 台南市中西區風神廟

風神廟位於台南市中西區民權路三段，此為地上一層之廟宇。此建築主要為磚石構造，故耐震力較差，主要破壞現象為鐘鼓樓倒塌(如圖 6)。



(a) 建築物原貌



(b) 倒塌現況

圖 6 台南市中西區風神廟震損照片

(5) 台南市歸仁區信義北路與大仁街口公寓

此棟建築位於台南市歸仁區信義北路，為 7 層樓公寓，興建年代約於 2000 年（民國 89 年）。此建築因一二樓為商業用途，牆體數量較少，形成軟弱層，故僅一二樓發生坍塌，上部結構完整。並且，此結構因位處於路口轉角處，結構系統易發生剛心偏離所引致之超額意外扭轉，導致建築倒塌（如圖 7）。



(a) 倒塌現況 (b) 柱軸力破壞

圖 7 台南市歸仁區信義北路與大仁街口公寓震損照片

(6) 高雄市旗山天后宮

天后宮位於高雄市旗山區永福街，此處為一牌樓倒塌，其構造為磚造牌樓，同樣於地震時發生面外倒塌之行為（如圖 8）。



(a) 建築原貌



(b) 牌樓倒塌現況

圖 8 高雄市旗山天后宮震損照片

(7) 台南市仁德區太子路公寓

此公寓位於台南市仁德區太子路，為地上三層並加蓋一層鐵皮屋之建築，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良，導致結構系統產生扭轉之現象，故發生軟弱層崩塌之現象（如圖 9）。



(a) 建築原貌 ↑

(b) 倒塌現況 →

圖 9 台南市仁德區太子路公寓震損照片

(8) 台南市玉井區民族路民宅

此建築位於台南市玉井區民族路，為地上三層之一般街屋，興建年代約為 1989 年（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（如圖 10）。



(a) 磚牆剪力破壞 ↑

(b) 磚牆 X 型剪力裂縫 →

圖 10 台南市玉井區民族路民宅震損照片

非結構破壞

錦繡世界大樓

此建築位於台南市南區大德街，為地上十三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，亟需災後針對非結構桿件之修復（如圖 11）。



(a) 非結構牆之剪力破壞 ↑

(b) 梯間牆剪力破壞 →

圖 11 錦繡世界大樓震損照片

校舍建築災害調查

地震後國震中心隨即與國立成功大學組成勘查小組進行建築物以及非結構物震損情形之調查，其中一組人員主要針對臺南地區受損校舍展開實地勘查，相關資訊係依據台南市、高雄市及屏東縣政府教育局（處）承辦人提供，2月6日當天總計前往3所國中小學校，與震央之相對位置如圖12所示，各校之經緯度位置及受震程度整理於表2。以下各節將針對各校分別描述校舍之災損情況。

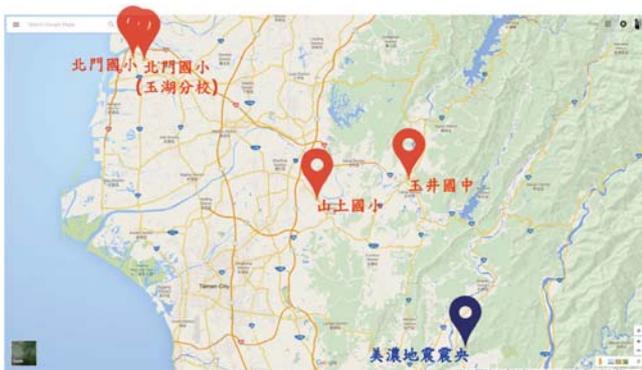


圖 12 高雄美濃地震校舍勘災地理位置圖

表 2 各校地理位置及受震程度

項次	縣市別	學校名稱	經度*	緯度*	最大地表加速度† (PGA)
1	臺南市	玉井國中	120.4705	23.1238	183.39
2		北門國小	121.3066	25.0069	105.51
3		北門國小 (玉湖分校)	120.1392	23.2616	116.80
4		山上國小	120.3553	23.1008	176.28

*採 WGS84 座標系統。

†依據中央氣象局強震即時速報站量測資料內插計算所得。

台南市玉井國中

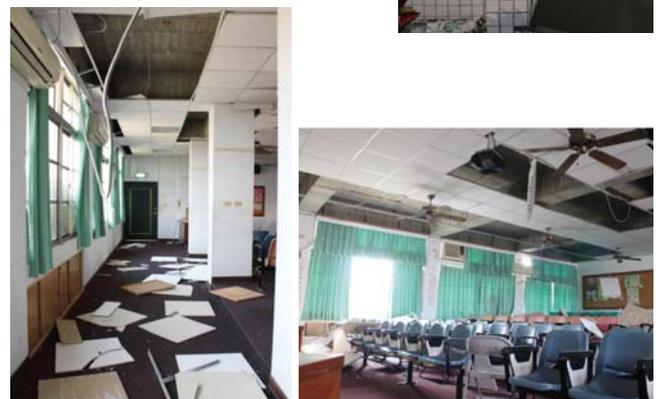
玉井國中位於台南市玉井區大成路，經緯度座標為東經 120.4705 度，北緯 23.1238 度。該校現有「專科教室」、「活動中心」、「勤勞樓」、「至善樓」以及「樸實樓」，共計 5 棟校舍。國震中心推算該校之震度為 5 級，本次地震震損校舍為「專科教室」及「活動中心」。

「專科教室」為地上三層之鋼筋混凝土造建築，屬單邊走廊但走廊部分有柱之結構型式，興建年代約為民國 87 年。該棟校舍於民國 99 年 0304 甲仙地震後出現部分磁磚掉落，教室隔間牆僅有輕微裂縫。本次現場勘查時，學校已先行封鎖危險區域加以隔離，此次地震使得一樓窗台柱均出現斜向剪力裂縫（如圖 13a），尤以背面側之窗台柱最為嚴重，研判柱體因上下



(a) 一樓窗台柱均出現斜向剪力裂縫↑

(b) 背面側之窗台柱因窗台束制產生嚴重剪力裂縫，開裂程度已可清楚看到鋼筋→



(c) 輕鋼架天花板掉落

圖 13 台南市玉井國中專科教室震損照片

兩端受到窗台束制，出現嚴重之斜向剪力裂縫，開裂程度已可清楚看到鋼筋（如圖 13b）。除此之外，該棟校舍之二樓與三樓輕鋼架天花板因地震搖晃，造成靠近建築物邊緣處之天花板掉落（如圖 13c）。

「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，於民國 86 年興建。進入活動中心後，首先發現地板有大量紅磚塊碎片，經勘查後發現為管道間兩側紅磚禁不起地震晃動而掉落（如圖 14a），再者，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（如圖 14b）；另該棟校舍有多處柱體與相鄰之磚翼牆出現斜向裂縫，受損位置之另一側亦可觀察到斜向裂縫（如圖 14c）。內部受損情形勘查結束後，接著至活動中心建築物外側勘查受損情形，發現牆面上磁磚脫落，窗戶則因受到擠壓而掉落地面（如圖 14d），窗戶外框之混凝土塊搖搖欲墜，窗戶玻璃破損，當天已請學校緊急封鎖此區域，避免人員因掉落物而受傷（如圖 14e）。除上述建築物受損外，另有多處水塔受損（如圖 15）。



(a) 管道間因地震造成大量紅磚掉落

(b) 梁底與下方磚牆交界面開裂



(c) 牆面出現斜向裂縫，另一面亦出現裂縫



(d) 牆面磁磚脫落，部分窗戶受擠壓掉落地面↑

(e) 窗戶外框混凝土塊搖搖欲墜，窗戶玻璃破損→

圖 14 台南市玉井國中活動中心震損照片



圖 15 台南市玉井國中多處水塔受損照片

台南市北門國小

北門國小位於台南市北門區北門里，經緯度座標為東經 120.1251 度，北緯 23.2651 度。該校現有「西棟」、「前棟」、「後棟教室」、「活動中心」、「司令台」及「廚房」，共計 6 棟校舍。國震中心推算該校之震度為 5 級，本次地震震損校舍為「西棟」。

「西棟」為民國 59 年興建之地上一層之加強磚造建築，結構型式為單邊走廊但走廊無柱之結構型式。經現場勘查發現，該棟校舍有 2 處教室柱體出現開裂情形（如圖 16a），研判可能與學校鄰近海邊有關，該棟建築物前方並無任何遮蔽物，長期受到海風侵襲，柱內鋼筋可能早已有鏽蝕膨脹情形，此次地震來襲使得柱體開裂，經敲擊已開裂混凝土，發現為空心狀態。除此之外，走廊側有 1 處梁出現混凝土剝落情形，且清楚可見內部鋼筋（如圖 16b），初步判定可能為鋼筋鏽蝕膨脹造成混凝土開裂，本次地震後使得混凝土掉落。

台南市北門國小（玉湖分校）

北門國小（玉湖分校）位於台南市北門區玉湖里，經緯度座標為東經 120.1392 度，北緯 23.2616 度。該校現有「西棟」、「南棟教室」及「北棟教室」，共計 3 棟校舍。國震中心推算該校之震度為 5 級，本次地震震損校舍為「西棟」。

「西棟」為民國 73 年興建之地上一層之加強磚造建築，結構型式為單邊走廊但走廊無柱之結構型式。



(a) 西棟柱體出現垂直向裂縫，疑似內部鋼筋鏽蝕膨脹，本次地震後出現開裂



(b) 西棟走廊側梁底混凝土剝落，可見梁內鋼筋已生鏽（研判非本次地震造成）

圖 16 台南市北門國小震損照片

本次現場勘查時，發現該棟校舍有 3 根教室柱早期以鋼板包覆補強，其耐震補強時間不詳，未補強處之教室柱有 1 處出現垂直裂縫（如圖 17），該裂縫型式非典型地震力作用造成，研判內部鋼筋可能已有鏽蝕膨脹情形，本次地震使得混凝土開裂情形加大。



西棟柱體出現垂直裂縫，疑似內部鋼筋鏽蝕膨脹，地震作用後裂縫加大

圖 17 台南市北門國小（玉湖分校）震損照片

台南市山上國小

山上國小位於台南市山上區南洲里，經緯度座標為東經 120.3553 度，北緯 23.1008 度。該校現有「南一棟」、「南二棟」、「電腦教室」、「學生活動中心」、「廚房」、「北一棟」、「廁所」以及「體育室」，共計 8 棟校舍。

「南一棟」為地上二層之鋼筋混凝土造建築，屬單邊走廊且走廊外側有柱之結構型式，興建年代約為民國 54 年。該棟校舍正處於耐震補強工程期間，工期為民國 104 年 12 月至 105 年 3 月，地震發生時已完成翼牆及擴柱之結構體施作，尚待後續外觀裝修（如圖 18），本次地震並未造成結構體受損，顯示耐震補強確實有效，減少地震造成之災害。



南一棟已完成翼牆及擴柱結構體施作，並未於地震中受損

圖 18 台南市山上國小照片

橋梁災害調查

2 月 6 日美濃地震當天經媒體和公路總局工務段轉知，於台南市內門區台 3 線東勢埔橋及歸仁區台 86 線 24 號橋有震損情況發生，所幸並未造成用路人傷害。配合應變作業，國震中心即動員就近同仁前往橋梁震損現場進行勘查，初期動員 3 人分工進行，1 人前往東勢埔橋現場勘查，其震損災害為橋面下陷約 15 公分，引道路面有裂縫產生，下陷橋面伸縮縫處護欄有損壞，P1 帽梁有輕微損傷，當日工務段採緊急修復路面措施後，即單線開放通行減少交通衝擊。另 2 人前往台 86 線 24 號橋，該橋受地震影響造成橋面向東位移，經工務段量測最大位移約 50 公分，並有 5 處橋墩支承損壞及 1 處橋墩頂部混凝土破損（如圖 19），為此次地震相對較重大之橋梁震損事件，工務段顧及用路人安全，當日即進行預警性封閉，禁止通行。於震後數天，針對台 86 線 24 號橋，橋梁災害調查小組陸續動員 6 人次，以無人飛行載具



圖 19 台 86 線 24 號橋橋梁災害調查 (劉光晏及許家銓提供)

(UAV) 及手持式光達 (LIDAR) 掃描方式，就各損壞支承和損傷的橋梁構件做完整勘查紀錄，供後續研究工作參考，並研擬配合公路總局需求，協助橋梁修復建議方案擬定及必要之現地試驗規劃。

美濃地震並未造成橋梁重大災情的發生，提昇社會大眾對公共工程橋梁服務品質的信心，而透過歷次災害調查工作資料收集，對強化橋梁震害因應對策及橋梁耐震能力研究有莫大助益。

大地工程災害調查

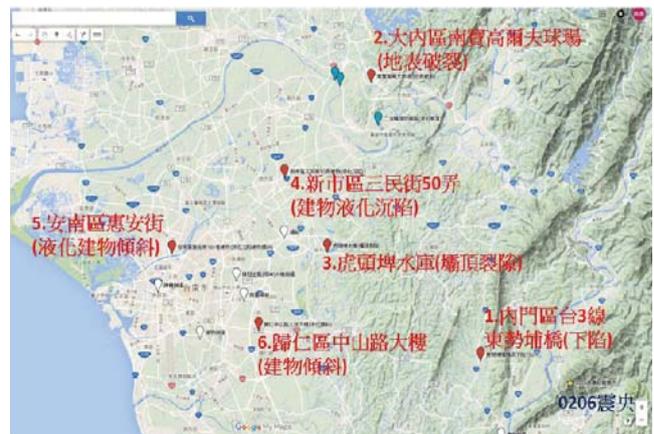
勘災動員與勘災標的路線

本次地震造成的大地工程災害主要包含台南市區土壤液化及其引致建物下陷傾斜、堤岸護坡滑移破壞、虎頭埤壩頂產生裂隙等災情，國震中心大地組人員於地震發生後立即蒐集網路媒體報導災害資訊，彙整本次地震重大地工災害與發生地點，並在本中心顧問陳正興教授與大地組組長黃俊鴻教授指揮下，於 2 月 11 日首次赴

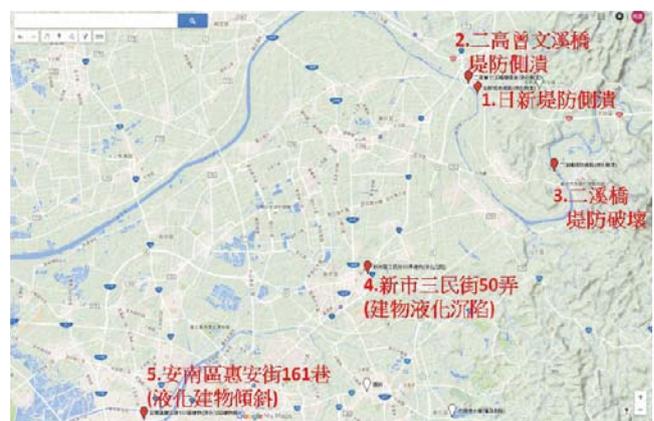
台南地區進行初步勘災，主要目的為確認災害地點範圍與初步評估災害情況。

2 月 11 日首次勘災成員包含 3 位國震中心研究人員並邀請暨南大學土木系王國隆副教授參加，並協助進行小型無人飛行系統 (Mini Unmanned Aircraft System) 之空拍作業，勘查標的依序為高雄市內門區台 3 線東勢埔橋、台南市大內區南寶高爾夫球場、虎頭埤水庫、台南市新市區三民街 50 巷與安南區惠安街 161 巷附近 (參見圖 20a)。

彙整初步勘災成果以及新增曾文溪沿岸堤防災情資訊後，確定 2 月 13 日進行第 2 次勘災除國震中心顧問陳正興教授、大地組組長黃俊鴻教授及 4 名博士級研究人力外，還邀請暨南大學土木系王國隆副教授、台灣大學土木系邱俊翔助理教授、中興大學土木系蔡祁欽副教授、協力廠商台安工程張龍騰總經理、陶林數值測量工程有限公司與大合基礎工程機構等，再針對曾文溪沿岸日新堤岸、曾文溪橋與二溪橋堤岸側潰及前述液化引致建物沉陷傾倒地區 (包含新市區三民街、安南區惠安街等地) 進行更詳細的勘災調查測繪與後續鑽孔規劃 (參見圖 20b)。



(a) 2 月 11 日勘災路線



(b) 2 月 13 日勘災路線

圖 20 大地工程災害勘災地點

2月15日國震中心人員會同台灣大學土木所與中央大學土木所研究生，於前述新市區三民街、安南區惠安街及曾文溪沿岸液化災情嚴重地區進行土砂取樣，可供後續室內現地土樣的物理性質與動力性質試驗。

大地工程災害調查初步成果

根據國震中心此次地震大地工程災害調查結果，針對台南地區液化引致街屋建物沉陷傾斜與曾文溪沿岸堤防破壞等較重大災情，初步彙整如下：

(1) 台南市新市區三民街 50 巷 10 弄區域

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 60m × 60m）內，因土壤液化導致此區透天厝建物產生下陷傾斜（圖 21a），現場量測到液化噴砂高度約有 150cm（圖 21b），屋內一樓地板與巷道高程之沉陷量約有 47cm（圖 21c），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、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。



(a) 建物傾斜下陷



(b) 液化噴砂高度約 150 cm



(c) 一樓地板沉陷約 47 cm

圖 21 台南市新市區三民街 50 巷 10 弄液化引致建物傾斜下陷（陳家漢提供）

(2) 台南市安南區溪頂里一帶

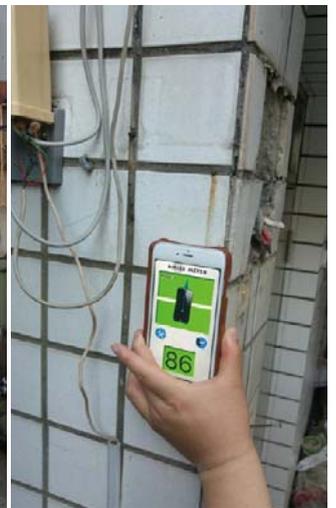
台南市安南區溪頂里靠舊台南市北邊、夾在嘉南大圳排水線南岸、北安路二段東側與鹽水溪北岸一帶，此區在地震時液化災情嚴重，尤其是惠安街至府安路四段一帶，隨地可見排水溝、人孔蓋、電線杆底部有大量泥沙噴出痕跡，而此區因地層液化引致建物下陷傾斜災情以惠安街 161 巷最為顯著。惠安街 161 巷建物（圖 22a）因屋後地層液化產生沉陷，往後傾斜約 5 度；惠安街 161 巷另一建物甚至因液化產生嚴重下陷約有半層樓高（圖 22b），根據現場量測結果此屋前傾角度可達 4 度（圖 22c）。由於此區靠近鹽水溪研判地層應相當軟弱，比對中研院台灣百年地圖後也可發現溪頂里一帶多為舊埤塘，因此在本次地震時此區受災相當嚴重。



(a) 惠安街 161 巷建物



(b) 惠安街 161 巷另一建物



(c) 房屋前傾角度量測

圖 22 台南市安南區惠安街 161 巷液化引致建物傾斜下陷（許尚逸提供）



圖 23 協力廠商於日新堤岸側潰處進行數位地形掃描測繪 (許尚逸提供)



圖 25 2月15日於曾文溪堤岸側潰處進行液化土砂取樣 (楊炫智提供)



圖 24 南二高曾文溪橋堤岸側潰破壞情況 (許尚逸提供)

(3) 曾文溪沿岸堤防側潰破壞

本次地震台南區曾文溪沿岸大內橋日新堤岸(圖 23)與南二高曾文溪橋橋頭右岸堤防(圖 24)均發生大規模側潰滑移破壞災情，二溪橋右岸之堤防也有混凝土護坡開裂、堤岸道路扭曲下陷等災情發生。曾文溪堤岸側潰災點在原護坡坡址處亦發現了大量液化砂土，國震中心也派人進行取樣工作(圖 25)，供後續室內試驗之用。

大地災害調查心得及建議事項

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(如圖 22a、22b 所示)，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陷，造成這些附屬建物及民生管線破壞(如圖 21a 所示)。

大地震所引致之地工災害如區域液化沉陷、堤岸側潰滑移或邊坡地滑等災情，往往是大面積、大範圍的全面性破壞，災害發生地點甚至為非人力所能及，對於此類大地災害調查所需之全面性與即時性需求，



圖 26 本次調查於新市區三民街進行空拍作業準備 (張為光提供)

此次勘災王國隆副教授所提供之遙測空拍圖像就扮演了相當重要的角色(如圖 26)，提供現場災害範圍勘查及災情判識的即時參考依據，在此特別致謝。

參考文獻

1. 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心地震災害應變作業手冊，第 11 版，2013 年 8 月。
2. 「高雄美濃地震概要」，國家地震工程研究中心，第 5 版，2016 年 2 月 8 日。(http://www.ncee.org/EarthquakeInfo/2016-0206/20160206_高雄美濃地震彙整簡報 V5.0.pdf)