

地震應變與減災研究

The study of earthquake disaster response and mitigation

主管單位：國家災害防救科技中心

黃明偉	吳子修	柯孝勳	張芝苓
Huang, Ming-Wey	Wu, Tzu-Hsiu	Ke, Siao-Syun	Chang, Chi-Ling
劉淑燕	陳素櫻	柯明淳	陳秋雲
Liu, Sheu-Yien	Chen, Su-Ying	Ke, Ming-Chun	Chen, Chiou-Yun
陳怡臻			
Chen, Yi-Chen			
國家災害防救科技中心			

摘要

地震災害的成因與機制複雜，不僅必要藉助各學門科研來了解，更需要跨單位合作探討災害的因應對策，才能確實減輕災害衝擊。民國 99 年 3 月高雄發生規模 6.4 地震造成房屋損壞；同年海地規模 7 地震更造成逾 20 萬人的死亡，規模 8.8 智利地震造成約 450 人死亡。上述案例提供兩項思考，一是平時減災工作，如潛勢地震考量與減災對策；二是震後災害評估與提升緊急應變效能。另外，收集建置地震災害資料庫與災害潛勢資料庫，予以加值分析並增加災害評估模式；參考歷史災害地震之應變時序，可以適度調整應變人員作業與資訊呈現；而臺灣地區之緊急需求推估參數的調整亦較能契合本土化之需求。

關鍵詞：災害地震、地震應變作業

Abstract

From the experience of earthquake disasters caused by M=6.4 occurred in Kaoshiung, M=7 in Haiti, and M=8.8 in Chili, we promote the cooperation between divisions in NCDR, as well as government sectors for the study of emergency response and mitigation planning for earthquake disaster. There are two tasks in this project. One task aimed at emergency response after disaster occurred is to access the high potential damaged areas immediately based on the database regarding historical disaster data and evaluation techniques. It is necessary to modify the parameters of estimate of the material needs after earthquake disaster to fit in with the situation of Taiwan. The other one is concerning that Taiwan has experienced ten destructive earthquakes with magnitude exceeding 6.0 almost in every decade since the 1900s. In this study, we propose a mitigation planning for metropolitan areas mechanism of priority regions for seismic hazard mitigation.

Keywords : historical earthquake, earthquake disaster, emergency response

一、前言

地震災害的複雜成因與機制，不僅必須藉助各學門科研來了解，更需要跨單位合作探討災害的減輕對策，才能確實減輕災害衝擊；民國 99 年 0304 甲仙地震造成少數房屋損壞、同年國外地區發生了紐西蘭規模 7.1 的地震無人死亡的經驗，規模 7.0 海地地震造成逾 200,000 人的死亡，規模 8.8 智利地震造成約 450 人死亡，鑒於上述案例提供兩項思考，一是平時減災工作，如潛勢地震之考量以及相關減災對策，二是震後災害之評估，提升緊急應變效能。此外，利用所收集建置之地震災害資料庫與災害潛勢資料庫內相關資料，予以分析加值，並增加災害評估模式，有利於地震引致多元化災害。參考歷史災害地震之應變時序，可以適度調整應變人員作業與資訊資呈現，臺灣地區之緊急需求推估參數的調整較能契合臺灣地區之需求。因此本計畫之推動，除了結合本中心各組進行整合運用目前既有災害防救科技研發成果，也將邀請有關單位、人員進行跨領域合作或交流，共同探討災害的減輕對策，並於大規模地震發生後，進行緊急應變，提供有效之建議於決策者，以減少人員傷亡，達成大規模震災都會區防救災工作之總體目標。

二、製作地震發生機率潛勢圖

2.1 潛勢地震可能地動分佈評估

1. 蒐集臺灣加速度衰減模式，邀請相關學者與專家討論臺灣西南部水平向、垂直向(Peak Ground Acceleration, PGA)地動預估模式、強地動評估模式、新一代地動預估模式(Next Generation Attenuation of Ground Motions, NGA)及宜蘭地區場址效應。
2. 建立活動斷層之機率模型與分析方法，並藉由中央地質調查所的 2010 年版台灣地區活斷層調查結果，篩選部份斷層參數比較完整的第一類活動斷層(如表 1)，藉由 log-normal 模型條件機率模式，計算其斷層活動在未來 30 年、40 年或 50 年內的發生機率。

2.2 推動地震發生機率潛勢圖針對部會與學者說明作業

1. 100 年 2 月 15 日至國家地震工程研究中心(National Center for Research on Earthquake Engineering, NCREE)對於地震發生機率潛勢圖製作方法，進行初步討論。5 月 13 日與 NCREE 對於潛勢圖分析流程與參數設定進行討論與交換意見，取得共識。
2. 地震潛勢圖製作方法第十二次討論會於 7 月 20 日召開(如圖 1)，會中認為地震發生機率潛勢圖完成階段目標，可以提供防災相關單位使用。10 月 6 日中央研究院舉辦 TEM Workshop，與會學者包含地球科學、地震工程、社會與經濟等各領域專家學者(如圖 2)，地震發生機率潛勢圖在會中進行報告與說明，與會學者討論十分熱烈。

3. 地震潛勢圖在 10 月 24 日召開之專家諮詢委員會地震分組會中進行提報，地震分組委員決議地震潛勢圖先只提供防災、工程單位使用，暫不提供一般民眾使用者。並提報於 11 月 23 日舉辦之專家諮詢委員會第二次全體大會。

三、應變研發與支援作業

3.1 人口均化分布之 GIS 網格建置與強震區內受影響人數之即時分析

1. 藉由內政部統計處之各縣市、鄉鎮區與村里的人口靜態資料，內含各年齡層人口數，更新已有之縣市與鄉鎮區 GIS 圖層(圖 3)，同時統計老年人口數(65 歲以上)，並將數據建置於圖層屬性；接續結合建築物基地面積，並假設人口均勻分布於該行政區界內之建築物面積內，再利用 500x500m 網格大小與將人口均化分布於各對應網格內(圖 4)。

(1) 將人口屬性建立地理資訊圖層，並設定針對震後中央氣象局之各地震度，利用即時化分析技術，即時評估強震區域內受影響人數，包含位於七級與六級震度區域，提供受強震影響人數於中央災害應變中心情資研判組參考(圖 5)，此外，受強震影響人數可以評估需臨時收容人數，供震後收容避難場所之設定與參考。

3.2 研擬震後白天與夜間人員傷亡情境設定

1. 震後緊急收容可能場所之設定，含全臺公園與學校基本資料庫蒐整與可收容人數標準設定。
2. 建立學校與公園地理資訊圖層，依據可收容人數標準設定，完成最大可提供臨時與中長期收容人數推估，利用即時化分析技術，運用前一節強震區內受影響人數之即時分析成果，可以推估臨時收容人數(何明錦和黃健二，2006)，可提供中央災害應變中心情資研判組於避難收容場所指派之參考(以本年度國家防災日設定之地震災害情境，請參考圖 6)。

3.3 召開地震應變協商會議與辦理地震應變演練

1. 邀集相關專業組協助檢視各組目前對於決策支援需求所能使用工具與提供產品，藉以檢討中心進行地震應變時，各相關專業組任務內容之妥適性並構思實際執行之模式。為強化與部會之聯繫以提昇地震應變作業能力，召開 CEOC 分析研判組協商會議，與各部會研商地震應變機制，並協商情資研判資訊。
2. 因應 3 月 11 日東日本大震災引發海嘯，美國太平洋海嘯警報中心(Pacific Tsunami Warning Center, PTWC)針對太平洋地區國家發布海嘯警報，其中包含臺灣，受威脅地區有花蓮、臺東、基隆等地區，中央政府成立中央災害應變中心以因應可能海嘯，本中心與中央氣象局即時提供情資研判資訊，圖 7 為中央災害應變中心因應海嘯之應變時序與本中心進駐人員作業情形。
3. 100 年國家防災日地震災害狀況推演，根據狀況想定嘉南地區梅山斷層發生芮氏規模 6.8 地震，部分地區震度達六級以上，造成嘉南地區建物倒塌、坡地災害、人命傷亡、道路交通中斷、維生管線受損等多起重大災情，模擬地

震發生後 96 小時內，中央與地方災害應變中心之開設、功能分組啟動、災情蒐集、救災資源與人力調度等各項應變處置作為，提供情資研判簡報(圖 8) 供廣域救災、支援調度派遣及緊急醫療對策、大量災民臨時避難與收容安置對策以及都市地區震後維生管線受損之生活機能維持對策等議題決策參考。

3.3 譜加速度評估模式加值應用與辦理地震教育訓練課程

1. 藉由與中央氣象局之資料傳遞與交換，即時處理地震波訊號，經人為判斷篩除異常測站紀錄後，使用一維彈性分析方法計算週期為 0.3 秒與 1 秒之譜加速度值，並建置網格化地理資訊圖層(圖 9)。
2. 100 年度辦理兩場強地動預估模式專題討論會，探討內容包括：PGA 與譜加速度(Spectral Acceleration, SA)預估模式的發展、NGA 地動預估模式建立與分析比較、臺灣都會區強震地動場址效應與震動圖研究，以及地震求生(生命三角)的意見交流。邀請臺灣大學地質系詹忠翰博士以義大利與紐西蘭經驗，分享利用震後地殼行為與地震活動探討時變性地震預報暨強地動評估之可行性；以及中央大學溫國樑教授探討盆地構造導致地震波的放大效應。此外，並舉辦「紐西蘭基督城地震與東日本大地震勘災成果發表會」，分別就實地救災經驗、災害特性、社會影響、重建機制等各方面，由消防署、國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心及長榮大學等相關專家提出精闢觀察與思維，如表 2 與圖 10 所示。

3.4 震後山崩範圍之潛勢評估及網格化處理

1. 地震山崩警戒值之設定

地震所造成的破壞主要來自於震波的傳遞，越接近震央之地區破壞情況會越嚴重，另一方面則是地震本身便屬於突發性之事件，無法進行事先之預防與疏散，故針對震後崩塌主要為提醒相關單位可能的危險區域，現階段其相關設定，首以 $PGA \geq 400gal$ 之區域為崩塌災害發生區， $PGA \geq 250gal$ 之區域為岩體鬆動區，而受 $PGA \geq 100gal$ 之區域提醒地文敏感度為高敏感以及中高敏感區應注意落石等小型崩塌帶來之影響(林慶偉等, 2002; 林美聆等, 2009; 柯明淳等, 2010)，以 99 年國家防災日兵棋推演的境況設定為例，新竹地區發生規模 6.8 的地震，震源深度 10 公里，造成臺灣地區各地有感震度，最大震度達七級，依據地文敏感網格資料與 PGA 分布圖可以篩選區位於六級與七級震度區域之可能山崩區域(圖 11)，其相關說明如下：

- (1) 崩塌發生區($PGA \geq 400gal$)：強震區內直接發生崩塌之區位。
- (2) 岩體鬆動區($PGA \geq 250gal$)：臨近強震區之區域，雖可能有崩塌之發生，但大多處地區岩體則因地震發生鬆動情況，應注意後續氣候或餘震之影響避免二次災害之發生。
- (3) 小規模落石區($PGA \geq 100gal$)：主要為提醒強震區外，因地質破碎易導致小型落石或崩塌現象之區域，且地文敏感度為高敏感以及中高敏感等級之區域。

2. 相關案例之應用-崩塌地文敏感分級探討山區道路災害警戒應用

地震事件下的道路預警與降雨事件較為不同，主要來自於地震事件發生屬於突發事件，受破壞的程度與距震央距離有關，因此在地震發生時，道路受災路段應以提醒查報為主，逐漸釐清相關災害區位，進行道路封閉或災害提醒等相關作業。以 99 年國家災害防救日假設的地震事件為例，配合所設的地震加速度門檻，依照相關研究所得之地震 PGA 警戒門檻與道路資訊，可得到位於崩塌發生區、岩體鬆動區、落石區等小型崩塌之道路區段，供道路管理單位進行查報或相關封路作業參考。

3.5 建置決策輔助系統之地震展示模組

建置地震防救災研判模組並展示於決策輔助系統，運用地震災害分析模組以支援 CEOC 地震應變作業，提供各階段災情資訊整合、境況展示及預估後續災情等情資以輔佐應變操作參考。透過模組自動化產製圖資，不僅縮短研析作業時程，也能快速研判警戒區域，告知救災資源分配資訊，讓應變單位從被動搶救轉變為主動警戒，爭取出更多因應時間。

1. 地震防救災研判模組服務內容包含地震分析模組、災害主題圖及系統化產製等三大功能，地震分析模組為整合各部會屬資訊與蒐整即時監測資料，並利用模組評估災情後續狀況；災害主題圖為系統性產製整合情資，將災害資訊結合衛星影像、地形圖資以空間化呈現災情及應變資訊；系統化產製是利用系統自動化研判警戒區域以縮短作業時間。今年度為完成地震災害主題圖架構之規劃(圖 12)，其使用時機與圖資特色如下說明：

- (1) 使用時機：初期建置階段使用於地震發生初期，倘若為災情未明狀況下，則可提供初步災後救援行動之使用；倘若災時通訊暢通，則可提供災情清查之參考，讓政府單位在重災區標定、二次災情預估及救援調派上能有所依據，並把握在黃金救援時間先行調派人力與資源至重災區，提升政府救災效率。

- (2) 圖資特色：包含空間情資、資訊加值與災情推估等三大功能，相較於各部會應變圖資，其具有整合各部會情資不僅以空間圖資呈現，還結合評估模式與歷史災害，以能事先研判警戒區域及早採取應變，此外使用動態人口及網格分析，促進了國內防災資訊邁向細緻化，提供較高精度之資訊格式。

2. 以 100 年國家地震防災演練日所假定的地震事件為例，建置地震災害收容所與救援物流之主題圖範例，如圖 13 所示其圖層資訊包含：

- (1) 地震基本資訊：顯示地震規模、震央位置及斷層長度，說明受影響之地理空間資訊。

- (2) 強震區域：透過 PGA 等震圖，顯示震度六級與七級之強震區域。

- (3) 縣市區界：顯示受影響之行政區域。

- (4) 收容所資訊：說明不同震度下，包含的收容所位置、收容所屬性、收容所可容納面積以及可收容人數。

- (5) 交通路網：標示重災區內高鐵、國道、省道於可能受影響之區段，另標註機場位置提供備用道路規劃參考。
- (6) 地形高程：透過地形高程顯示偏遠山區與平地之相對位置，提供物資運補方式及人力救援上規劃之參考。

五、結果分析與討論

完成「臺灣區域震源發生機率潛勢圖」之製作，未來配合地振動預測模型進行震度分佈的評估，除了在地震發生時，快速瞭解地震可能致災的分佈範圍外；在平時防災規劃，配合地震風險評估模型，更可以評估各地區之可能災損，提供各界做為地震防災長期規劃使用。藉由地震時序展製的地震災害主題圖資，以空間化方式整合呈現各界資訊，輔助中央指揮單位快速瞭解災區實際狀況，並且經由地震評估模式進行災況推估，可事先研判警戒區域及早分配救災資源，提升地震應變之警示及決策輔助效力。

參考文獻

1. 何明錦和黃健二(2006)。頭份鎮竹南鎮都市防災空間系統規劃示範計畫。內政部建築研究所委託研究報告。
2. 吳子修、黃明偉、張芝苓、劉淑燕、柯明淳、溫國樑(2011)。臺灣特徵地震發生機率與強地動預估之研究。地質與地球物理學會 100 年研討會。
3. 李錫堤、潘國樑、林銘郎(2005)。山崩調查與危險度評估-山崩潛感分析之研究。經濟部中央地質調查所報告第 94-18 號。
4. 林美聆、黃紀禎、高贈智、王國隆(2009)。集集地震邊坡滑動門檻條件。土工技術，第 121 期，第 5 至 14 頁。
5. 林慶偉、謝正倫、王文能(2002)。集集地震對中部災區崩塌與土石流之影響。2002 臺灣之活動斷層與地震災害研討會。
6. 柯孝勳、黃明偉、吳子修、吳秉儒、柯明淳、劉淑燕、陳秋雲、蘇昭郎、鄧敏政、莊明仁、張芝苓(2011)，「20110311 日本宮城外海地震分析評估摘要」，災害防救電子報第 068 期。
7. 柯明淳、黃明偉、柯孝勳、吳子修、劉淑燕、陳秋雲、李維森(2011)。網格化資料於地震事件應變作業之應用。臺灣災害管理學會國際研討會。
8. 柯明淳、林聖琪、黃明偉(2010)。地震導致崩塌災害範圍評估之初步研究。第一屆地震工程海峽兩岸青年學者研討會。
9. 張志偉、陳達毅、吳子修、蕭乃祺、辛在勤、溫國樑(2011)。臺灣地震潛勢之評估。地質與地球物理學會 100 年研討會。
10. 陳秋雲、柯孝勳、黃明偉、柯明淳、吳子修、劉淑燕(2011)。從東日本大地震探討我國地震應變資訊之應用。台灣災害管理學會。

11. 溫國樑、吳子修、吳秉儒、黃明偉、張芝苓、劉淑燕(2011)。臺灣大規模地震災害防治工作之研擬。2011 臺灣活動斷層與地震災害研討會。
12. 溫國樑、簡文郁、張毓文(2005)。最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，國家地震工程研究中心，NCREE-05-032。
13. 鄭世楠、張建興、吳健富、葉永田、辛在勤(1997)。日據時期臺灣地區地震資料之整理(I)，中央研究院地球科學研究所與中央氣象局，IESCR-9703，1-798 頁。
14. 鄭世楠、張建興、吳健富、葉永田、辛在勤(1997)。日據時期臺灣地區地震資料之整理(II)，中央研究院地球科學研究所與中央氣象局，IESCR-9704，1,352 頁。
15. 地震調查研究推進本部(2005)。全國地震動預測地圖報告書(日文)。
16. Gardner, J. K. and L. Knopoff, "Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, poissonian?", Bull. Seism. Soc. Am., 64, 5, pp. 1363-1367, 1974.
17. Gutenberg, B., and Richter, C.F., "Frequency of earthquake in California", Bull. Seism. Soc. Am., 34, 185-188, 1944.
18. Huang, M.-W. and C.-L. Chang, "Site Amplification Functions in Ilan Plain, North-Eastern Taiwan", Asia Oceania Geosciences Society, AOGS11-Abs-1732, 2011.
19. Knopoff, L. "The magnitude distribution of declustered earthquakes in Southern California" Proc. Natl. Acad. Sci. USA97, 11880-11884, 2000.
20. K. L. Wen, T. H. Wu, B. R. Wu, M. W. Huang, C. L. Chang, and S. Y. Liu, "Hazard Mitigation Planning for Large-Scale Earthquakes in Taiwan", Workshop on "Earthquake, Tsunami Hazards and Early Warning System in the Asian-Pacific Region", 169-179, 2011.
21. K.L. Wen, T. H. Wu, N.C. Hsiao, M.W. Huang, C.L. Chang, and S.Y. Liu, "Introduction of Seismic Probability Map of Taiwan: Regional Sources", TEM workshop, Central Academy, 2011
22. USGS, "Earthquake Probabilities in the San Francisco Bay Region: 2000 to 2030-A Summary of Findings", U.S. Geological Survey Open-File Report 99-517, 1999.
23. USGS, "Earthquake Probabilities in the San Francisco Bay Region: 2002-2031", U.S. Geological Survey Open-File Report 03-214, 2003.
24. Wayne A. Charlie, Raymond J. Battalora, Thomas J. Siller and Donald O. Doehring, "Magnitude Recurrence Relations for Colorado Earthquakes", Earthquake Spectra, 18, 2, 233-250, 2002.

表 1、各斷層於未來 30、40、50 年之發生機率

斷層名稱	長度 (km)	再現周期 (年)	最近活動 (年)	最大規模	未來 30 年 (%)	未來 40 年 (%)	未來 50 年 (%)
屯子腳	14	141	1935	7.1	24.69	33.20	41.29
車籠埔	38(北) 38(南)	200-700	1999	7.3	0.09 - 0.0	0.39 - 0.0	1.13 - 0.0
梅山	15	162	1906	7.1	25.43	33.40	40.86
新化	6	188	1646	6.1	9.06	13.69	18.87
玉里	23	170-210	1951	7.3	10.83 - 5.02	16.3 - 8.11	22.3 - 11.84
池上	64	50-125	2003	6.6	34.43 - 0.96	54.4 - 3.33	69.62 - 7.69

表 2、地震災害教育訓練課程

日期	主題	講者	主持人
2 月 22 日	強地動預估模式—地表加速度與譜加速度衰減律	葉永田教授 高清雲教授	溫國樑教授
4 月 15 日	利用震後地殼行為與地震活動探討時變性地震預報暨強地動評估之可行性：義大利與紐西蘭經驗。	詹忠翰博士	柯孝勳組長
6 月 10 日	強地動預估模式： 1. 宜蘭地區新一代地震動預估式—最大加速度，最大速度，譜加速度預估模式之建立與分析比較。 2. 臺灣都會區強震地動場址效應與震動圖研究中有關災害潛勢分析方法 3. 地震求生(生命三角)	劉坤松教授	溫國樑教授
9 月 22 日	基督城地震與東日本大震災救災經驗	黃博村副隊長	陳文龍副署長
	基督城地震與東日本大震災災害特性與影響之觀察	陳正興教授 鍾立來博士	陳正興教授
	東日本大震災應變議題之探討	柯孝勳博士 李香潔博士	
	紐西蘭地震保險機制與基督城地震重建機制	蘇昭郎博士	陳亮全主任
	東日本大地震災後社會影響與重建思維與機制	邵珮君教授	
11 月 8 日	盆地構造對地動之影響—臺北盆地	溫國樑教授	林李耀副執行秘書



圖 1、地震潛勢圖製作方法討論會

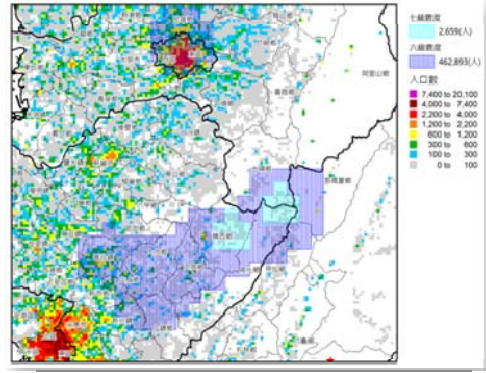


圖 5、強震區內受影響人數之即時分析



圖 2、中央研究院舉辦 TEM Workshop

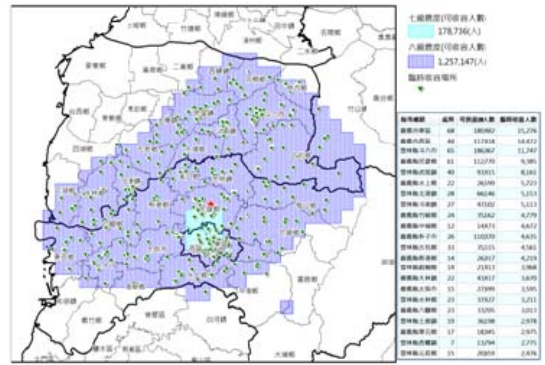


圖 6、震後緊急收容可能場所分布圖

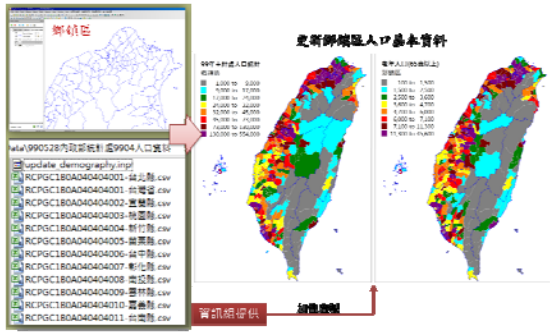


圖 3、鄉鎮區人口更新至 99 年 4 月內政部統計處公布資料



圖 7、CEOC 因應海嘯之應變時序

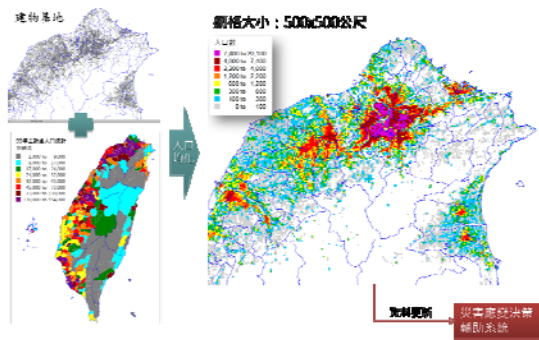


圖 4、網格式人口分布圖

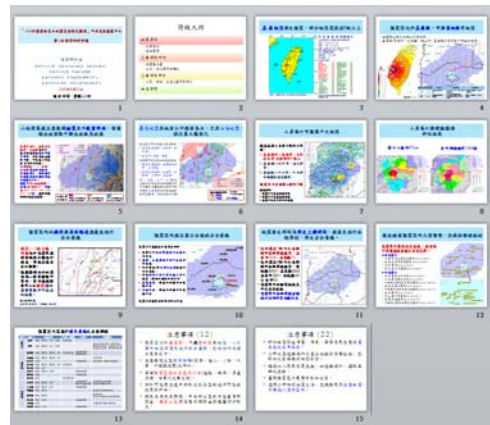


圖 8、100 年國家防災日情資研判簡報

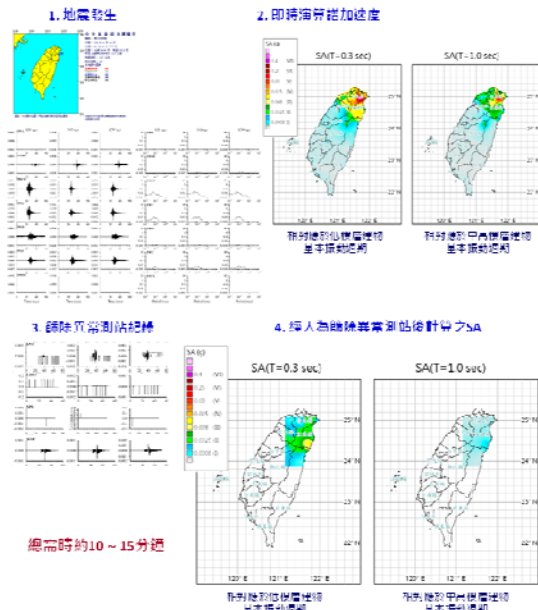


圖 9、網格化譜加速度分佈圖層



圖 10、地震災害教育訓練課程情形

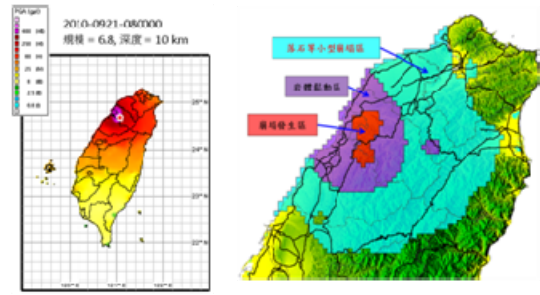


圖 11、依 99 年國家災害日模擬地震之崩塌注意分區



圖 12、各階段地震災害主題圖議題



圖 13、地震災害收容所與輸送位置主題圖