

自來水系統地震早期損失評估與雲端資訊服務

Implementation of Cloud Services of Early Seismic Loss Estimation of Water Supply Systems for Post-earthquake Emergency Response

主管單位：財團法人國家實驗研究院

劉季宇¹ 葉錦勳¹ 洪祥瑗¹ 陳志欣¹ 黃李暉¹ 周光武¹

Liu, G.-Y.¹ Yeh, C. H.¹ Hung, H.-Y.¹ Chen, C.-H.¹ Huang, L.-H.¹

Chou, K.-W.¹

¹財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

摘要

本研究旨於自來水系統之地震早期損失評估(early seismic loss estimation, ESLE)技術及其雲端服務的研發，以期震後第一時間可以自動完成自來水管線災損的初步評估，協助自來水事業單位提升震後緊急應變的效能。研究中利用國家地震工程研究中心的台灣地震損失評估系統(Taiwan Earthquake Loss Estimation System, TELES)，應用震災境況模擬技術進行自來水管線災損數量與分布的推估。地震早期損失評估雲端服務包含兩個部分，一為客製化的管線災損統計的手機簡訊與電子郵件通報服務，前者提供災情概要而後者則依鄉鎮市區分別提供詳細的災損推估報表，一為自來水系統的地震早期損失評估資訊網，可進一步提供以網路地理資訊系統(Web-GIS)技術為基礎的雲端化資訊服務。應用時，TELES 主程式佇立於電腦伺服器，隨時等待接收中央氣象局發送的地震速報電子郵件；當接收到電子郵件後，即自動篩檢出條件最為相符的一筆或數筆模擬地震，檢視預置之龐大地震損失模擬資料庫，以相應的損失推估資料作為早期損失評估的結果，並以簡訊或電子郵件等方式通報緊急應變人員，同時在地震早期損失評估資訊網上，亦將整合式的展示與查詢功能開放給應變人員使用，可與各項重要基本圖資(如行政區界、災害潛勢、管線圖等)進行套疊，作為災情研判或採取應變作為的參考依據。

關鍵詞：自來水、地震損失、早期損失評估、雲端服務、緊急應變

Abstract

The aim of this study is to establish the technology and implement the information cloud services of early seismic loss estimation (ESLE) of water systems for post-earthquake emergency response. In this way, quick estimates of likely damage and loss of water pipelines and required time and manpower for recovery following a major earthquake become available to emergency personnel to enhance the disaster management. In this study, the Taiwan Earthquake Loss Estimation System (TELES)

developed by the National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE) is employed to perform the seismic scenario simulation of water systems. Whenever an earthquake report is issued by the Central Weather Bureau, the ESLE of water systems in the affected areas can be achieved and distributed to the recipients within a few minutes through both telecommunication- and internet-based cloud services. Currently, both cell phone message and e-mail notification can be automatically released. The former provides a summary of the over-all damage of water systems, and the latter provides precise statistics of damage and loss of water pipelines and required time and manpower for recovery per county and per township. Furthermore, a GIS-based web platform has been preliminarily developed. An integrated graphical user interface has been designed to help on-line emergency personnel execute query and display of any desired information from shake map to pipeline database to thematic maps of pipe damage and loss. Hopefully, these will benefit the emergency operators to find out how worse the situation is and establish a fast and effective response.

Keywords: water supply earthquake loss, early loss estimation, cloud service, emergency response

一、前言

地震早期損失評估(early seismic loss estimation, ESLE)是指震後快速的災情評估，其對於降低傷亡、減少損失、採取有效應變作為的重要性是不言而喻的。然而，欲達成震後災情快速評估，必須有許多先決條件的配合，相關的技術門檻亦頗高。隨著IT技術的快速進步，近十年已開始有類似概念的應用。1997年在美國加州發表的EPEDAT (Early Post-Earthquake Damage Assessment Tool)系統(Eguchi et al., 1997)，是世界上第一套這樣的系統。利用加州理工學院與美國地質調查所(Caltech-USGS)的Broadcast-of Earthquakes (CUBE)服務，EPEDAT系統可以根據有限的震源參數，利用15-20分鐘的時間，概估示範地區的人員傷亡與建物損壞推估結果。2001年日本東京瓦斯公司研發了SUPREME (SUPER-dense REaltime Monitoring of Earthquake)系統，藉由超過3,700個強震感測器以及許多遙控設備的協助，能夠即時監測強震模式與瓦斯系統安全，進行瓦斯管線的災損推估，並遙控整壓設備以避免瓦斯外洩(Shimizu et al., 2006)。至於自來水系統方面，2009年美國加州舊金山灣區的EBMUD (East Bay Municipal Utility District)事業單位自行研發Marconi系統(Irias et al., 2009)，有能力運用美國地質調查所的ShakeCast服務(震後即時公布網格式之強地動分布圖)，進行重要設施的震後曝險辨識。

經濟部水利署曾於99、100年推動「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究」科專計畫，委託國家地震工程研究中心(簡稱國震中心)進行自來水系統地震防災相關研究。工作項目之一，即整合本土化的地震災害潛勢分析技術與自來水管線災損率經驗公式，應用於真實自來水系統的震災境況模擬，研發自來水管線系統之地震早期損失評估技術。該計畫以宜蘭地區為範例，可於震後第一時間自動完成自來水管線損壞與損失分布推估，產製可供災情研判之境況模擬資料，協助應變人員概估緊急管線搶修所需人力、時間、物料等，藉以提升強震後的應變效率，進而減少二次災害與可能損失(經濟部水利署，2010、2011)。以下即就該計劃的相關研發成果，作一簡要說明。

二、地震損失早期評估之條件與雲端服務構想

前述地震早期損失評估所需之技術門檻頗高，首先，針對各種不同工程結構物或是人員傷亡，必須具備完整的GIS資料庫及符合地域特性的災損推估模式，以作為震損評估之用；其次，在地震過後須能快速取得精確的震源參數，或者是精確的地表震度參數的分布圖，此點有待於完備的地震動觀測網的建置；再者，必須能夠在最短的時間內完成震損評估，若是在收到震源參數(或地表震度參數的分布)之後才開始進行分析，則勢必仰賴強大的科學計算能力；最後，還必須透過資通技術，迅速地將各種有用的震損評估結果的圖資，傳遞給使用人進行加值運用。

國震中心從事震災境況模擬研究已有十餘年的經驗，並參考美國HAZUS軟體(RMS, 1997)的架構及模組，開發台灣地震損失評估系統(Taiwan Earthquake Loss Estimation System，簡稱TELES)。TELES採適用台灣地區的震度衰減律與場址分類，

並整併中央地質調查所工程地質資料庫(Geo2005)的鑽孔資料，進行土壤液化敏感類別的分類，提供地震作用下的土壤液化潛能與液化引致地表震陷量的評估結果(Yeh et al., 2002)。TELES參照HAZUS的分析架構與流程，其分析模組大致分為災害潛勢分析、工程結構物損害評估、地震引致二次災害評估、社會經濟損失評估等模組，國震中心並廣泛收集各類工程與人文的GIS資料庫作為地震損害與損失推估之用。目前TELES已可進行地震災害潛勢分析、一般建築物損害與人員傷亡推估、公路與橋梁損害評估、民生系統之自來水及瓦斯地下管線損害評估等，廣泛提供地震緊急應變與風險管理的應用(葉錦勳，2003)。

中央氣象局自1990年代開始進行台灣強震監測計畫TSMIP (Taiwan Strong Motion Instrumentation Program)，迄今已裝置809座強震測站，其中110座屬即時測站(real-time stations)，其分布如圖1所示。此外，中央氣象局亦選定57座不同的工程結構物，裝置強震儀作為結構物強震反應研究之用。目前中央氣象局已有能力於震後極短時間內，完成即時測站資料的分析，並以發送地震速報電子郵件的方式，公布地震資訊供使用者進行加值運用。以2012/6/10宜蘭外海地震為例，中央氣象局地震報告與地震速報電子郵件如圖2所示，後者明列有點震源參數(地震規模、震央經緯度、震源深度等)，以及中央氣象局各即時測站的最大地表加速度(PGA)的實測值。

因此，若能應用TELES事先建置資料量龐大的地震損失模擬資料庫(葉錦勳等，2004)，於地震過後接收中央氣象局的地震速報電子郵件，根據其點震源參數與即時測站PGA實測值等資訊，並快速自資料庫中選擇震源條件最為近似的模擬地震事件以及其所引致的地震損失評估結果，如此，應可以達到地震損失早期評估之目的。本研究依此一概念，已初步研發TELES自來水系統地震早期損失評估技術，並著手規劃相關的雲端服務，希望在震後第一時間可以自動完成自來水管線災損推估，主動通報自來水主管機關與事業單位的應變人員，協助提升震後緊急應變的效能。

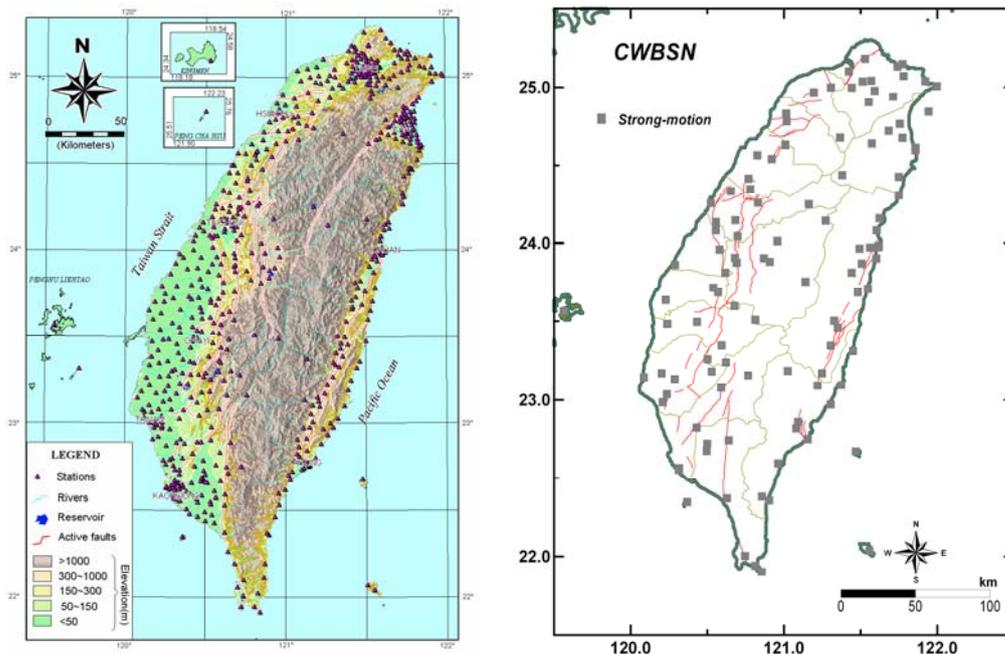


圖1、中央氣象局強震測站(左)與即時測站(右)之分布圖(中央大學李錫堤教授)



圖2、中央氣象局地震報告與地震速報電子郵件(2012/6/10宜蘭外海地震)

TELES地震損失早期評估之運作方式如圖3所示，TELES主程式佇立於使用單位之電腦伺服器，隨時等待接收中央氣象局發送的地震速報電子郵件，當接收到電子郵件並解讀其格式內容無誤後，即觸發執行預設指令，根據郵件資訊自動篩檢出條件最相符的數筆模擬地震。之後檢視地震損失模擬資料庫、完成自來水系統地震早期損失評估，內容包括自來水管線災損數量與分布情形，以及所需的修復時間與金額。規劃中雲端服務的項目包含兩部分，一為客製化的管線災損統計的手機簡訊與電子郵件通報服務，前者提供災情概要而後者則依鄉鎮市區分別提供詳細的災損推估報表，一為自來水系統的地震早期損失評估資訊網，可進一步提供以網路地理資訊系統(Web-GIS)技術為基礎的雲端化資訊服務。

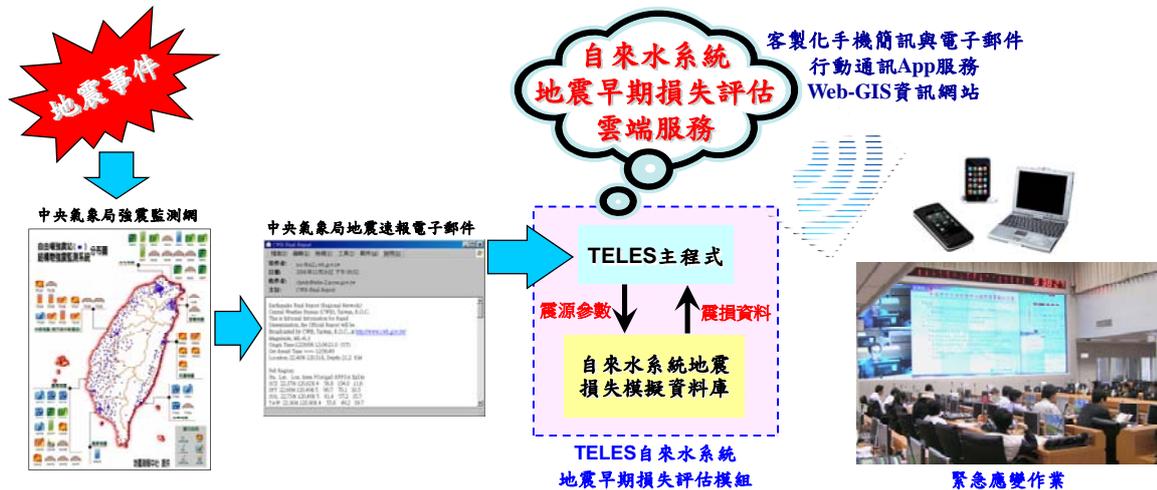


圖3、自來水系統地震早期損失評估模組之運作示意圖

三、模擬地震事件之設定

由於地震損失模擬資料庫所考慮的模擬地震事件的多寡，會直接影響到地震早期損失評估的精度。所以，地震損失模擬資料庫應盡可能包括所有可能發生的地震

事件，包含與已知活動斷層的錯動有關的地震事件(活動斷層事件)，以及所有其他的地震事件(區域地震)，以下即分別針對活動斷層震源以及區域震源，說明TELES地震早期損失評估技術所考慮的台灣地區的離散震源的模擬地震事件。

3.1 區域震源

區域震源考慮的範圍為台灣本島以及鄰近外海區域，東經119°至123°、北緯21°至26°之間，將其間的區域分割為大小不一的正方形網格，網格邊長分為0.4°、0.2°與0.1°等三種，並以網格中心點作為模擬地震事件的震央位置。由於本島地震與外海地震、淺震源與深震源地震的致災能力各有不同(本島、淺震源地震的致災能力較高)，因此進行網格劃分時，本島、淺震源之網格劃分必須較為精細，而外海、深震源的部分則可以較為粗略。因此，原則上考慮外圍區域(非台灣本島且不常發生地震區域)時，以0.4°為邊長，越靠近本島則分割越細，以0.2°為邊長。在同時考慮地震發生頻率與致災影響程度下，深震源於台灣本島與較常發生地震之花東外海區域，劃分至每0.2°一個區間。淺震源由於其致災性較高，所以將本島的都會地區，進一步細分至0.1°一個區間。如此，淺震源經整理共劃分519個網格，深震源則有308個網格，如圖4所示。淺震源與深震源在震源深度的設定上，亦各有3組不同的設定值，分別為5、15、25公里與35、45、55公里。深度55公里以上的地震事件。如此，模擬地震事件中的區域震源部分，總共考慮了 $308 \times 3 + 519 \times 3 = 2,481$ 個不同的震源位置。

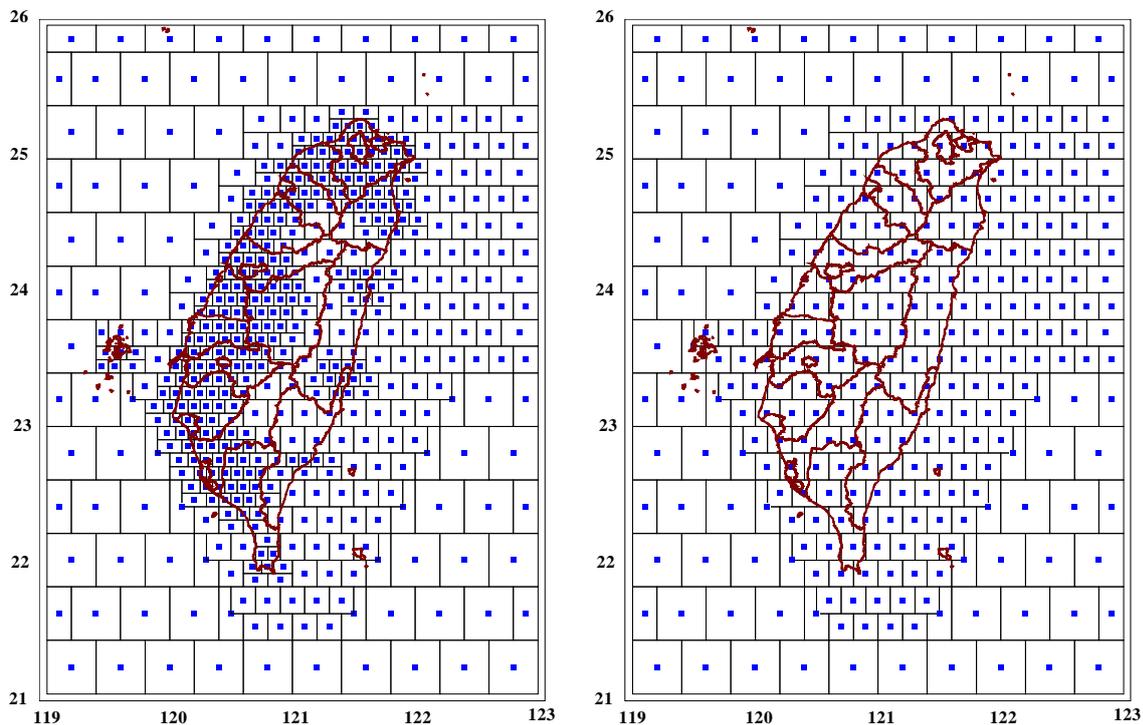


圖4、地震損失模擬資料庫考慮淺震源(左)與深震源(右)之區域震源位置

對於規模較大地震事件，線震源模式推估的地震災害潛勢與災損推估結果，通常較點震源模式的結果更接近實際情況，因此，本研究在區域震源的部份，一律以線震源的模式進行境況模擬與災損推估。若考慮地震規模介於5.1與7.3之間，為合

理控制模擬地震事件的總數與代表性，取0.2為規模的增量，並且每一個地震規模分別考慮不同數目的線震源開裂方向，如圖5所示，規模較小的地震只考慮1或2種開裂方向，規模較大的地震則開裂方向逐漸增加，當規模為7.1與7.3的地震，則最多考慮6種不同的開裂方向。以上合計共有35種不同的地震規模與線震源開裂方向的組合，最終並可得到 $2,481 \times 35 = 86,835$ 個不同的模擬地震事件，每一個模擬地震事件均有不同之地震規模、震央位置、震源深度和斷層開裂方向等震源參數組合，其總集合應可大致包括台灣地區可能致災的所有區域震源地震的組合。

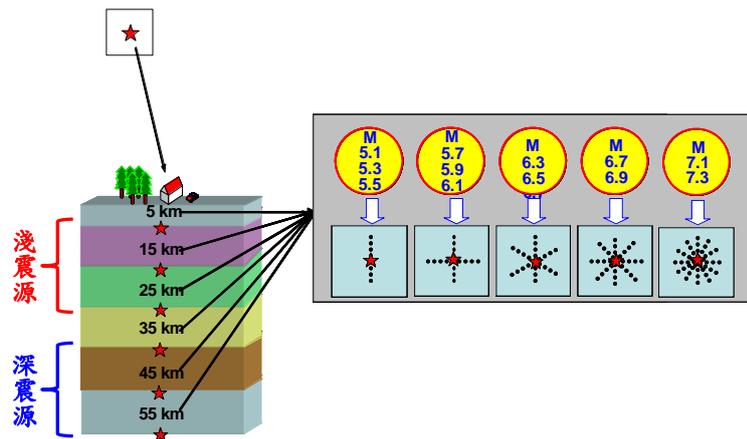


圖5、離散區域震源所考慮之地震規模與線震源開裂方向的組合關係(共35種)

3.2 活動斷層震源

本研究另外也將活動斷層模擬地震事件加入地震損失模擬資料庫中，未來若有疑似活動斷層地震事件發生，本地震早期損失評估技術仍有能力予以考慮。中央地質調查所於2000年公布活動斷層計有42條，其中包含許多存疑性活動斷層，而2010年則修訂公布為33條，當中除修正部份斷層的位置與走向外，仍有許多存疑性斷層尚未釐清。為使地震損失模擬資料庫能夠完整考慮所有可能錯動的活動斷層，本研究彙整中央地質調查所2000年與2010年版的活動斷層分布圖，整理出40條斷層作為標的，研擬相應的活動斷層模擬地震事件，如圖6所示，以供地震損失模擬資料庫之用。

由活斷層錯動所引致的地震事件，其震源深度都較淺且規模都不小，因此所有活動斷層的模擬地震事件震源深度皆設定為5公里，規模增量為0.1，從6.5至7.5增加，由此每條斷層至少可考慮11種不同規模的模擬地震事件，數量會隨著斷層長度增加而變多。40條斷層個別至少都有11個不同規模的模擬地震事件，另外加上某些較長的斷層，需多增加的模擬地震事件，如潮州斷層則需多增加25個模擬地震事件。最後，總計共考慮 $40 \times 11 + 117 = 557$ 個活動斷層的模擬地震事件，包含不同地震規模、斷層開裂長度和錯動位置的組合，應可大致包括台灣地區未來可能致災的各種活動斷層錯動組合。

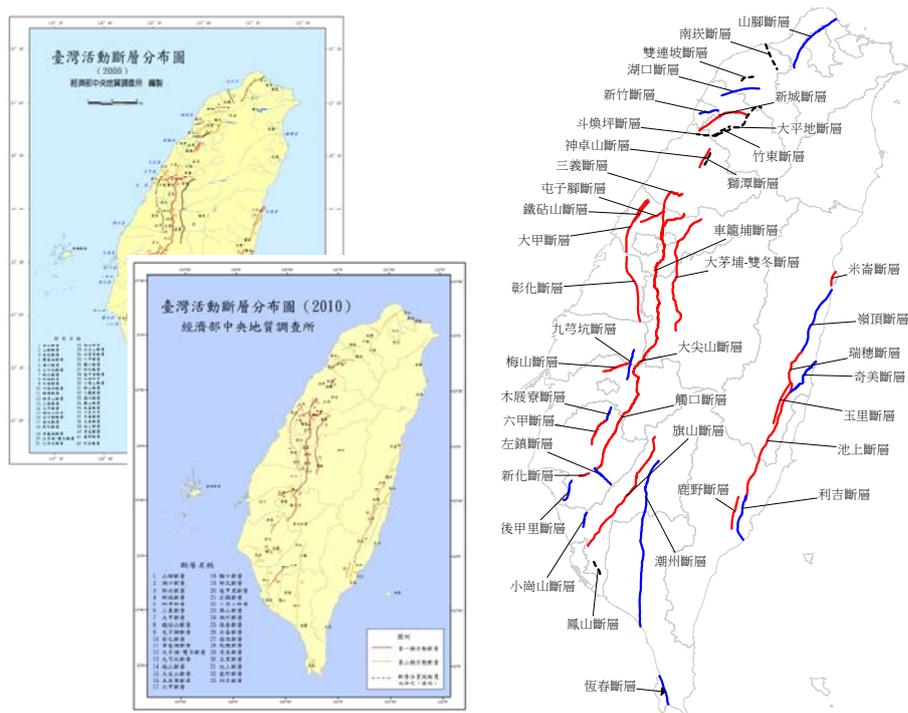
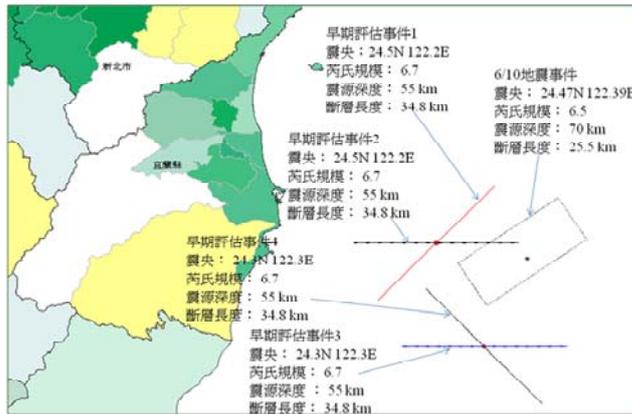


圖6、台灣活動斷層分布圖(左)與地震損失模擬資料庫所考慮之活動斷層(右)

四、模擬地震事件之設定

本研究已完成台灣自來水公司第八區管理處(宜蘭供水區)的自來水管線系統地震早期損失評估資料庫建置與模組開發，本節首先即以2012/6/10宜蘭外海地震為例，說明測試結果。中央氣象局地震報告與地震速報電子郵件如圖2所示，震央位置位於宜蘭東部外海，地震規模最初公布為6.4，稍後修正為6.5，宜蘭縣東澳及花蓮縣和平的震度均達到5級。TELES地震損失早期評估模組依照點震源參數與即時測站PGA實測值的資訊，自動辨識並得到條件最為相符的模擬地震事件，依序共四筆，如圖7(左上)所示，結果與中央氣象局事後公布的面震源解(圖中的矩形面)均相接近，管線災損評估結果為沒有災損情形的發生。地震事件發生後數日，經電訪第八區管理處詢問是否有管線災損相關紀錄，得知沒有任何災情發生，與早期損失評估的結果一致。

本研究目前亦已著手規劃自來水系統地震損失早期評估的雲端服務，以下首先討論關於管線災損統計的手機簡訊與電子郵件通報服務。通報的內容隨資訊使用者的不同而不同，理論上必須有客製化的概念。針對一般性的應變管理人員，本研究初步研擬的手機簡訊內容如圖7(左下)所示，以較短的篇幅提供災情概要，簡訊收受者可掌握災害的大致規模，藉以評估是否立即採取應變作為以及採取應變作為的強度。至於初步研擬的電子郵件內容則如圖7(右)所示，以較長的篇幅，依鄉鎮市區分別提供詳細的災損推估報表，郵件收受者可進一步掌握災害嚴重程度的不同分布情形，藉以評估緊急應變的重點區域，可以預作前進部署。誠然，電子郵件的內容還可以進一步擴大，將地震損失早期評估的圖形資料也一併放入。



模擬地震事件之震源位置與參數

地震報告_0610_0500_宜蘭蘇澳外海54公里_規模6.4_深度62km_傷亡0(0-0)_管線災損數0(0-0)_修復費用0(0-0)

早期損失評估所提供之手機簡訊內容(草案)

早期損失評估所提供之電子郵件內容(草案)

根據中央氣象局之地震速報系統(電子郵件):

日期: 2012/ 6/10
時間: 5: 0:17.90
芮氏規模: 6.40
震央經度: 122.3900
震央緯度: 24.4700
震源深度: 61.90 公里
最大震度: 5
震央在 宜蘭蘇澳外海54公里

台灣地震損失評估系統的推估結果:
需警戒的村里數 0

*** 模擬地震事件 1; Scen_ID: qr67b9
震央經度: 122.2000
震央緯度: 24.5000
芮氏規模: 6.70
震源深度: 55.00 公里
斷層走向: 北偏東 45 度
斷層長度: 34.80 公里

以縣市為單元之自來水管線災損統計:
縣市 災損數 修復時間 修復費用
(個) (隊-時) (千元)
宜蘭縣 **,** *,** **,**

以鄉鎮區為單元之自來水管線災損統計:
鄉鎮區 災損數 修復時間 修復費用
(個) (隊-時) (千元)
冬山鄉 *** *,** *,**
宜蘭市 *** *,** *,**
五結鄉 *** *,** *,**
羅東鎮 *** *,** *,**
蘇澳鎮 *** *,** *,**
壯圍鄉 *** *,** *,**
礁溪鄉 *** *,** *,**
三星鄉 *** *,** *,**

圖7、2012/6/10宜蘭外海地震之早期損失評估範例

至於規劃中的以網路地理資訊系統(Web-GIS)技術為基礎的雲端資訊服務，國震中心有鑑於政府與民間單位，對於地震災害規模的早期評估的資訊有其般切的需求，這主要反映在震後的災情研判與緊急應變的時間爭取上。因此，國震中心亦致力將地震損失早期評估的結果，透過網際網路的方式提供給不同的使用者。國震中心目前已初步建置並持續維護更新「台灣地震早期損失評估資訊網」，如圖8所示，並完成其中自來水管線系統的早期評估功能。

「台灣地震早期損失評估資訊網」之可查詢內容，已規劃為第一階段災情評估結果、第二階段手動評估結果、基本資料等三大類。第一階段災情評估結果，資料來源即前述結合中央氣象局地震速報電子郵件以及地震損失模擬資料庫，由TELES地震損失早期評估自動產生。第二階段手動評估結果，則為大規模地震發生後，國震中心人員多方蒐集並研判震源參數(斷層面解)之後，以手動操作TELES軟體的方式進行專業評估，將更具可信度的災情評估結果匯入「台灣地震早期損失評估資訊網」供查詢使用。以自來水管線系統早期評估功能而言，使用者可以縣市或鄉鎮為單位，進行管線災損推估資料的統計分析與主題圖繪製，如圖9所示，或是下載各項推估資料作其他加值應用。其次，使用者亦可開啟自來水管線GIS基本圖資，檢視管線分布情形或查詢各筆管線物件的屬性資料。「台灣地震早期損失評估資訊網」提供權限控管機制，不同供水分區的圖資可分別設定開放權限，敏感性的資料可逕行限閱。

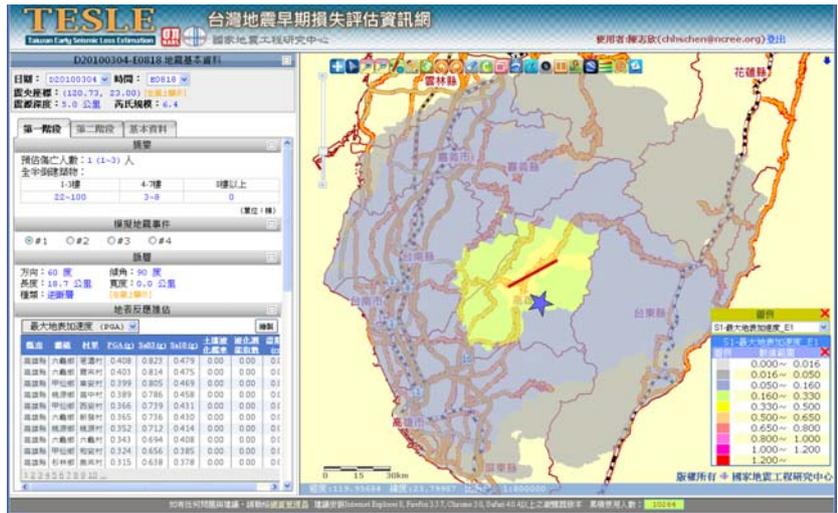


圖8、台灣地震早期損失評估資訊網示意圖



圖9、台灣地震早期損失評估資訊網之自來水管線早期損失評估範例

「台灣地震早期損失評估資訊網」除有各項地震早期損失評估的查詢與分析功能之外，其豐富的資料庫與GIS輔助功能，能進一步提供使用者進行多樣化的空間圖資展示與比對，以滿足災情研判與應變管理的實際需要。特別是災情研判往往需要藉助於多種類型的空間圖資的混搭與比對，例如圖10所示，為自來水管線、衛星影像、活動斷層圖的套疊結果。此外，國震中心亦自行研發多樣的輔助功能，例如主題圖展示、統計分析、雙視窗比較、定位功能、距離量測、緩衝區功能、圖形標示、路徑規劃等，以方便「台灣地震早期損失評估資訊網」的使用者進行操作，並整合目前網際網路上的既有服務，例如Google Maps、Google Earth、Google定位服務、Google街景圖查詢等，以求發揮最大效益，圖11列舉了其中部分的展示功能。



圖10、台灣地震早期損失評估資訊網之不同圖層套疊示意圖



圖11、台灣地震早期損失評估資訊網展示功能的範例

四、結語

本研究針對自來水系統地震早期損失評估，目前已就台灣自來水公司第八區管理處(宜蘭)，完成模組建置與2012/06/10宜蘭外海地震案例測試，並研擬客製化的手機簡訊(整體災情概況)與電子郵件(各區詳細災損統計)，即將著手進行試辦，於地震過後主動向應變人員進行通報。國震中心研發中的「台灣地震早期損失評估資訊網」，目前已粗具輪廓，將可提供自來水系統地震早期損失評估相關的GIS展示與查詢服務。本研究未來擬持續進行測試，並擴大評估區域至全國，透過全方位的「台灣地震早期損失評估資訊網」雲端服務，提供自來水系統災損評估結果予自來水主管機關與事業單位，強化其災情研判能力並縮短應變反應時間。

參考文獻

1. Eguchi, R. T., Goltz, J. D., Seligson, H. A., Flores, P. J., Blais, N. C., Heaton, T. H. and Bortugno, E. (1997), "Real-Time Loss Estimation as an emergency Response Decision Support System: The Early Post-Earthquake Damage Assessment Tool (EPEDAT)," Earthquake Spectra, Vol. 13(4), 815-832.
2. Irias, X. and Wald, D. (2009), "Integration of Seismic Modeling Software with Emergency Response Software," Proc. 6th Taiwan-US-Japan Workshop on Water System Seismic Practices, pp.4-13, Taipei, Taiwan.
3. RMS (Risk Management Solutions, Inc.), (1997), Earthquake Loss Estimation Method - HAZUS97 Technical Manual, National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.
4. Shimizu, Y. et al. (2006), "Development of Real-Time Safety Control System for Urban Gas Supply Network," Vol. 132(2), pp.237-249.
5. Yeh, C. H., Hsieh, M. Y., and Loh, C. H. (2002), "Estimations of Soil Liquefaction Potential and Settlement in Scenario Earthquakes," Proc. Canada-Taiwan National Hazards Mitigation Workshop, Ottawa, Canada.
6. 葉錦勳，2003，「台灣地震損失評估系統-TELES」，國家地震工程研究中心研究報告，NCREE-03-002，台北。
7. 葉錦勳，陳緯蒼，「台灣震災模擬資料庫的建置與應用」，第七屆結構工程學術研討會論文集，論文編號 F08，中華民國結構工程學會，桃園大溪，2004。
8. 經濟部水利署，2010，「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究(1/2)」研究報告，計畫編號 MOEA-WRA-0990095，台北。
9. 經濟部水利署，2011，「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究(2/2)」研究報告，計畫編號 MOEA-WRA-1000090，台北。