

制度特色

淺談住宅地震保險風險評估模型及其應用

葉錦勳

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心震災模擬組組長

一、前言

根據中央氣象局歷年來之強地動觀測紀錄，臺灣地區每年發生的有感地震不下數百次；根據臺灣地區近三百年的歷史地震災情統計，平均每隔 20 年有一次傷亡超過百人的大規模地震，其中 80% 發生在西部人口稠密地區。因此，震災防治和風險管理是生活在臺灣地區的人民必須積極面對和處理的課題，政府更須提出有效因應對策以減少人命傷亡和經濟損失。

與颱風、土石流等天然災害比較，地震災害較少發生，也因此常被遺忘而輕忽其嚴重性。地震災害多為無預警地發生，且在數分鐘內即可能造成大範圍地區的人命傷亡、經濟損失和救援、醫療、避難等的需求。因此，大規模地震災害所需的應變機制和復原重建的困難度實遠超過其它天然災害，乃各國政府與大型企業因應天然災害的首要假想敵。以 2011 年東日本大地震為例，一方面地震規模超過預期，另一方面因地震引發海嘯，因海嘯造成核能電廠的週邊設施失效，進而導致核反應爐氫氣爆炸、核能外洩、核污染等一連串複合型災害事件。吾人應引以為借鏡並深切反省。

地震減災整備、應變規劃和風險管理的手段眾多，譬如國家地震工程研究中心（以下簡稱國震中心）刻正發展現地型地震早期預警系統，期能在強震發生後但震波造成劇烈搖晃前預先發佈警告，並採取緊急應變措施；研發先進耐震設計和補強技術，可減少結構物在強震作用下的損害程度和數量…等。一般將風險管理手段概分為避災、減災、自留和移轉等策略，無論何種策略均能減少預期的損害，但如輔以震災境況模擬和風險評估等技術，則更能有效運用寶貴的經費和資源，並事先評估其效益。簡言之，風險評估（risk assessment）為任何風險管理（risk management）策略研

擬的基礎，而風險識別（hazard analysis）和境況模擬（scenario simulation）則為風險評估的基礎。

財團法人住宅地震保險基金（以下簡稱地震保險基金）負責政策性住宅地震基本保險制度的修訂、共保業務、再保險安排和地震保險基金管理業務。基於業務需求，須利用地震風險評估模型進行保險理賠損失評估及財務分析，作為承保範圍、理賠條件、危險分散機制、危險承擔限額、保險費率釐訂、純保費分配與再保險安排等參考。該政策性保險業務涉及國內數百萬保戶的權益，地震保險基金對地震風險評估模型所需之資料精確性和分析模式與參數合理性須完整掌握，因此建置適用於臺灣地區的住宅地震保險風險評估模型有其必要性及迫切性。

圖1為地震風險評估流程和應用的示意圖。在進行地震風險評估前，需先界定探討的研究區域和分析的對象，收集各種自然、人文與工程環境資料庫；尤其需了解地震事件發生的機制，探討研究區域附近可能的震源和其活動特性。為整合震災境況模擬技術，需將各種可能的震源和未來發生的地震事件以離散化的推測地震事件來代表。推測地震事件的數量可隨資料的完整性和分析結果的精度需求而調整。一方面依推測地震事件所給定的震源參數，計算合理的地震災害潛勢，以及建築物損害暨保險理賠損失的期望值和標準差；另一方面依震源機率模型，推估個別推測地震事件的年平均發生率。綜整震災境況模擬和地震危害度分析結果可得地震事件損失資料表，並據以推估各項風險指標，如年平均損失、損失年超越機率曲線等。

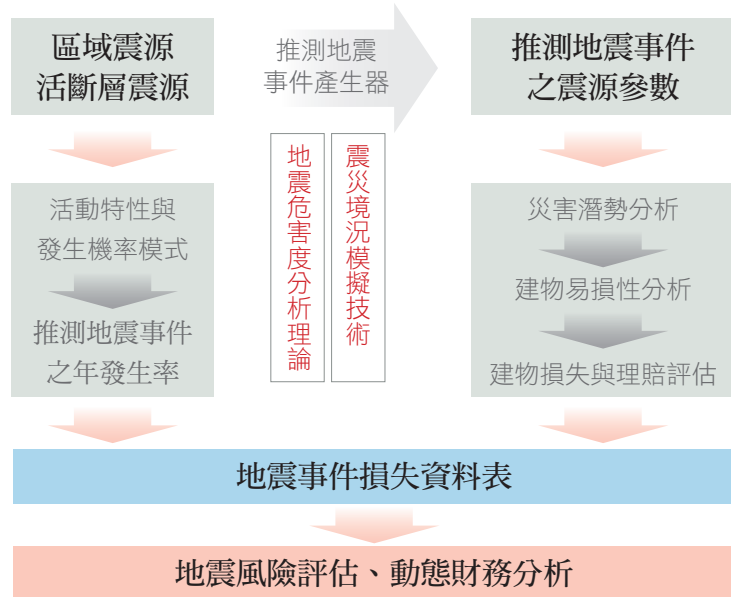


圖1 地震風險評估流程、分析架構和應用示意圖

以下即針對地震風險評估模型相關的震源特性分析、震災境況模擬技術和地震風險評估的應用等逐一扼要說明。

二、震源特性分析與推測地震事件

地震的成因有很多類型，其中 90% 以上屬構造性地震，亦即因斷層錯動而引起地表的強烈震動。根據定義，斷層乃地下岩層較脆弱的破碎面，一旦受外力擠壓或扭曲變形時，常沿斷層面錯動而造成地震。因此，如果某斷層經判識發現以往曾經錯動過，則根據地殼板塊運動的理論，該斷層未來再次錯動的可能性極高。

根據中央地質調查所的研究顯示，臺灣地區有多達三、四十條以上的活動斷層，其確切的位置、長度、傾角、上次錯動時間、特徵地震規模和活動性等均有待進一步的調查。然為工程和實務需求，目前已初擬各項斷層幾何和活動性參數。除已確認的活動斷層外，平常發生的地震，部份因震源深度較大，部份因位於外海，無法確定活動斷層的幾何參數；加以同一地區所發生的震源特性具變異性，通常將斷層位置與方向不確定的震

源歸為區域震源。在進行機率式地震風險評估時(參考圖1)，一般將震源概分為區域震源和活斷層震源兩類，並分別根據以往的歷史地震紀錄、古地震調查和槽溝開挖等，研擬未來發生之地震事件在時間和空間分佈的機率模型。

根據全球的歷史地震紀錄，每個地區發生地震的頻率和規模大小並不一致，譬如環太平洋地震帶的地震頻率顯然高於大陸板塊中心的地震頻率。一般依據歷史地震紀錄、地體構造和地質條件等因素，將臺灣地區概分為數個震源分區，每一分區分別探討其地震頻率、上限規模和機率分佈等。在校訂各震源分區的活動性參數時需採用歷史地震目錄，其內容包含近數百年來的地震發生時間、震央位置、震源深度和地震規模等。由於儀器定位精度不同，較早時期之地震事件的震央位置和震源深度有較大的誤差，除須刪除重複地震事件之紀錄外，不同時期採用之地震規模的定義也不盡相同，在使用前需校正為一致的定義。地震保險基金建置自有之住宅地震保險風險評估模型（TREIF Earthquake Risk Assessment Model, TREIF-ERA）所用的歷史地震目錄為中央氣象局最新校訂後的成果。

震源參數包含地震規模、震央位置、震源深度、斷層長度、寬度、走向和傾角等，乃代表一次地震事件當中能量釋放的大小、位置和分佈型態等。為配合後續震災境況模擬的需求，須將原本連續的震源參數組合予以適當的離散化。譬如依芮氏規模定義，因有飽和現象且可忽略較小規模的地震，可將地震規模值離散成 5.5、5.7、5.9、6.1、6.3、6.5、6.7、6.9、7.1、7.3 和 7.5 等 11 個數值。區域震源可離散化成網格震源，令震央在各網格的中心點。離散化的目的在將未來無限多種可能的地震事件，以有限多的推測地震事件來近似，藉以獲得可行且合理的地震風險評估結果。推測地震事件的數量和分佈需經敏感度分析，一方面考量數值運算所需時間，另一方面兼顧風險評估結果的精確度。TREIF-ERA 所用的推測地震事件約有 25,000 個，其分佈兼顧風險暴露資料和歷史地震的分佈，可讓評估結果更具可信度。

三、震災境況模擬技術

震災境況模擬的意義在於整合已收集的自然、人文和工程環境資料庫，運用最新的科技知識和合理有效的評估模式，如地表震動衰減律、場址效應、建築物損害暨損失評估模式等，推估在給定地震事件下的各種可能致災現象和可能引致的人員傷亡、經濟損失和社會衝擊等的數量和分佈。

巨災型地震並非年年發生，以臺灣地區為例，約每隔 20 年發生一次傷亡超過百人的強震。因此，無法收集足夠的歷史災情資料進行統計迴歸分析以預測未來可能的災害規模。更何況人文與工程環境隨時都在改變中，尤其在巨災型地震後，無論建築物的耐震設計規範與補強技術、政府與民間企業的防災整備與演練…等必然在痛定思痛後大幅改進。歷史災情資料可作為校正評估模式中的參數值，但因環境變遷，無法據以推估未來地震事件的災害數量和分佈。

(一) 風險暴露資料之統計分析

臺灣地區投保住宅地震基本險的保戶數量已超過 237 萬戶。每一投保住宅的座落位置、建築結構型式、樓層數、建造年份、設計地震力…等都不相同。如果考慮每一投保住宅的特性，雖然可較精確地計算地震保險理賠損失的期望值；但衡量地震本身所具有的隨機不確定性，以及一系列災害潛勢與震損評估模式所累積的系統性與參數的不確定性，評估結果的變異性極大。將投保住宅依建築材料、樓層數和耐震設計水準等概分為數種模型建物，並以模型建物在地震作用下的反應作為推估損害與損失的依據，應為合理且有效的做法。

根據地震災害潛勢的特性分析，越靠近震源或斷層錯動面，地表震動強度越大；座落於液化敏感或山崩敏感區內的建築物容易因土層破壞而損害。換言之，除保戶住宅的結構系統特性外，

其在空間中的數量分佈亦為影響震損評估結果的重要資訊。目前住宅地震基本保險的保單所記載的內容中僅郵遞區號及房屋座落地址可作為空間定位的依據。利用房屋座落地址來定位須有完整的門牌定位資料，乃未來努力的目標。現階段利用臺灣地區房屋稅籍資料的輔助，可將同一郵遞區號的模型建物數量，合理地分配至轄區內的村里，可提高評估結果的精度和可信度。

(二) 地震災害潛勢分析

地震災害潛勢泛指可能引致結構物損害或人命傷亡的致災現象，譬如強烈的地表震動可能引起結構物劇烈搖晃，土壤液化可能引起結構物基礎不均勻沉陷，山崩則可使整體結構物滑動…等。舉凡強烈地表震動、土壤液化、山崩等都是地震常引致災害的自然現象，也是地震災害潛勢分析的重點。

地震通常是斷層兩側受地殼板塊擠壓、拉伸或平移而突然滑動的結果。除了造成鄰近地區強烈的地表震動外，斷層錯動區域的土層會有極大變形。引致地震的斷層錯動面如在陸地且鄰近人口稠密地區，可能因破碎的地盤導致座落於上部的結構物倒塌或傾斜；如在海底且錯動面露出地表，可能因大量水體的突然移動引起海嘯，導致災害範圍擴大。

(三) 建築物損害評估

前節所述的地震災害潛勢包含許多自然現象，但經簡化後可將致災因子歸納為地表震動和永久位移兩類。換言之，有不同的模式分別推估各地的地表震動強度(包含最大地表加速度、結構譜加速度等)、土壤液化機率和沉陷量、斷層錯動量和引致的地表永久位移等，但在探討建築物的損害評估時，輸入的災害潛勢參數

已簡化為地表震動強度和永久位移量。地表震動和土層變形都可能對建築物造成損害，因此先個別探討地表震動或永久位移可能引致的損害程度和機率，再綜合而得最終的損害狀態機率。

在推估建築物因地表震動而造成的損害程度與機率時，概分兩步驟：首先利用側推分析和容量震譜法概估建築物受地震力作用下的非線性反應行為，主要目標在推估建築物頂層的位移率；其次，根據試驗數據和專家意見，由頂層的位移率判斷建築物的損害程度和機率。由於 TREIF-ERA 採用的建築物損害評估模式已考慮結構系統之遲滯阻尼、受長時期反覆振動時的結構系統弱化現象等非線性行為，因此評估結果能充分地反映各項震源特性和各地區地質的差異性。

(四) 地震保險理賠損失評估

當進行建築物損害評估時，須事先定義其損害程度。TREIF-ERA 將損害程度概分為無損害、輕微損害、中度損害、嚴重損害和完全損害等五級。其次，選擇易損性曲線的評估參數，並推估建築物超越不同損害程度時之評估參數的中值和變異係數。換言之，易損性曲線包含四條曲線，不同評估參數值所對應的曲線值分別代表超越輕微損害、中度損害、嚴重損害和完全損害的機率。一般常假設易損性曲線為對數常態分佈函數，因此只需兩個參數（中值和變異數）即可完全定義一條曲線。舉例而言，如已知推測地震事件下模型建物頂層的位移率，也已知該模型建物的易損性曲線（包含四條曲線），則由頂層位移率所對應的曲線值即分別代表超越不同損害程度的機率。每一種損害程度通常僅能定性描述，無法對應於特定的損失比（亦即修復成本和重置成本的比值）。一般而言，輕微損害、中度損害、嚴重損害和完全損害狀態約分別對應於損失比在 0-5%、5%-20%、20%-50% 和 50% 以上等四個區間。

依據臺灣地區現行的住宅地震基本保險的理賠條件：當保戶住宅因地震而倒塌或傾斜、不堪居住必須拆除重建、或非經修建不能居住且修復費用達重置成本 50% 以上時，可獲得保險理賠，包含保險金額和臨時住宿費用。不同保險理賠條件會影響理賠損失的風險，譬如日本採分級理賠、紐西蘭採實損實賠等，均可能增加保險公司理賠損失的風險。為探討不同理賠條件對保險公司的營運、民眾需繳交的保險費、一次地震事件可能引致的最大保險理賠損失、可行的危險分散機制和合理的危險承擔限額等的影響，TREIF-ERA 已內建推定全損理賠、分級理賠和實損理賠等條件的損失評估功能。其次，TREIF-ERA 將建築物損害評估與保險理賠損失評估分開處理，與其它國外的地震風險評估模型有所差異。

四、地震保險風險評估方法和應用

地震風險評估模型可概分為機率式（probabilistic）和定值法（deterministic）兩類，各有其適用對象和應用時機。機率式地震風險評估需綜合考慮研究區域附近的任何可能震源，探討其震源特性和年平均發生率等，並利用震災境況模擬技術，計算各種推測地震事件下的損失期望值和變異數等。機率式地震風險評估的結果通常以年平均損失、損失標準差、損失年超越機率曲線等表示。年平均損失代表長時期所累積之損失風險的年平均值。當應用機率式地震風險評估於保險費率的釐訂時，其目標乃藉由長時期收取的保險費來累積足夠的準備金，以便於賠付不定期的巨額保險理賠損失。

依現行的住宅地震保險危險分散機制，共分為兩層，底層由承作住宅地震保險的產物保險公司及中央再保險公司所組成的共保組織承擔，上層則由地震保險基金承擔及分散。為公平、合理分配每年所收取的純保險費，必須推估各層承擔的年平均損失和標準差（或共標準差）。在擬訂危險分散機制之總責任額時，需推估對應不同迴歸期的理賠損失。凡此種種數據皆有賴機率式地震風險評估模型的產出。

採定值法之地震風險評估主要探討影響研究區域的最大可能震源、一次地震事件可能引致的最大損失等，可協助擬訂危險分散機制的總責任額和探討承擔上層理賠風險之再保險公司受影響的可能性等。

由於引致保險理賠損失的地震事件並非均勻地分佈於每一年，常常每隔數年發生一次小規模的理賠事件，每隔數十年才發生一次大規模的理賠事件。如果某保險公司的資金不夠雄厚，且在未累積足夠準備金前即發生大規模地震事件，則可能面臨倒閉或資金周轉困難的風險。因此，在探討合理保費和危險分散機制時，不能僅利用年平均損失或對應特定迴歸期的可能最大損失，須綜合考慮機率式和定值法的地震風險評估結果，以及保險公司所承保業務的特性和承保對象的分佈地區等，並作妥善詮釋和運用。

五、未來展望

開發地震風險評估模型與相關應用軟體須整合跨領域的專業知識，為充分了解地震災害的不確定性，以及地震風險評估結果的意義和可信度，地震保險基金委託國震中心開發自有的 TREIF-ERA。為因應政府和公營事業單位在地震防災、應變和風險管理的需求，國震中心也研發臺灣地震損失評估系統（TELES）。由於地震風險評估模型所使用的自然與工程資料庫、震源機率模型、各項分析參數值和軟體功能需隨科技發展和新事證適時地更新，為求事半功倍，國震中心所研發的 TELES 和 TREIF-ERA 可共用相同的資料庫和分析模式與參數，甚至分享共同的軟體架構和程式庫，對於地震風險評估系統的永續發展和更新維護將有莫大助益。

住宅地震基本保險制度實施已屆滿 10 週年，相關保險理賠機制、受損建築物評定與鑑定標準、合格評估人員培訓等相關業務均已日臻完善。然而，為確保地震保險制度健全發展和地震保險基金能永續經營，仍有許多課題有待進一步探討，尤其是住宅地震保險危險分散機制之合理性和財源籌措計畫的完整性，須結合地震風險評估模型和財務分析理論，進行更詳實的探討。