

臺灣地震經濟損失評估模組之建置與應用

THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF TAIWAN EARTHQUAKE LOSS ASSESSMENT MODULE

國家災害防救科技中心
體系與社經組
助理研究員

陳素櫻
Su-Ying Chen

國家災害防救科技中心
體系與社經組
研究員

李欣輯*
Hsin-Chi Li

國家災害防救科技中心
體系與社經組
助理研究員

陳怡臻
Yi- Chen Chen

國家災害防救科技中心
體系與社經組
助理研究員

鄧傳忠
Chuan-Chung Teng

摘要

1999 年 921 集集大地震造成 2,454 人死亡、11,305 人重傷，總經濟損失高達 3,622.8 億元，經損嚴重程度排名為全球第 13 位。由於大規模複合型災害之災後損失評估及調查極為不易，需全心投入花費超過一年以上的時間調查，耗時費力，亦難對於災後復原工作提供即時的助益。故本文依據過去文獻研究及各部會歷年的災損調查成果，結合目前國內地震災害模擬工具，發展對應的經濟損失計算系統，包括：影響戶數、建物、道路、橋梁、供水與供電六項模組，文中透過實際災害事件的驗證，各模組均有不錯評估結果。此系統之建置對於災前的工程效益分析、風險評估，甚至是災後的損失計算等均有很大的助益，可作為國內各項防減災工作之重要評估工具。

關鍵詞：地震災害、損失評估、風險分析、臺灣災害損失評估系統。

* 通訊作者，國家災害防救科技中心體系與社經組研究員

23143 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓 · hsinchi@ncdr.nat.gov.tw

THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF TAIWAN EARTHQUAKE LOSS ASSESSMENT MODULE

Su-Ying Chen

National Science and
Technology Center for
Disaster Reduction

Hsin-Chi Li*

National Science and
Technology Center for
Disaster Reduction

Yi- Chen Chen

National Science and
Technology Center for
Disaster Reduction

Chuan-Chung Teng

National Science and
Technology Center for
Disaster Reduction

ABSTRACT

The 921 earthquake in 1999 caused 2,454 deaths and 11,305 serious injuries. The total economic loss was as high as 362.28 billion NTD, and the severity of the damage ranked 13th in the world. As the assessment and investigation of large-scale compound disasters' post-disaster losses are extremely difficult, it is necessary to devote more than one year to the investigation, which is time-consuming and laborious. It is also difficult to provide immediate assistance to post-disaster recovery work. Therefore, this article develops a corresponding economic loss calculation system based on past literature research and the results of disaster loss investigations by various ministries and committees over the years, combined with the current domestic earthquake disaster simulation tools, including households, buildings, roads, bridges, water supply and electricity group six loss modules. Through the verification of actual disaster events, all modules have good evaluation results. The establishment of this system can provide great help to the project benefit analysis, risk assessment, and even post-disaster loss calculation before disasters, and it can be used as an important assessment tool for domestic earthquake disaster prevention and mitigation works.

Keywords: Earthquake disaster, Loss assessment, Risk analysis, TLAS.

一、前言

1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分 15.9 秒，芮氏規模 7.3 的百年強震震撼全臺，震源深度 8 公里，車籠埔斷層活動錯動長達八十公里，致災情嚴重之 921 集集大地震。此次地震為二十世紀臺灣本島最大的地震，更寫下臺灣地震史上傷亡第二高的紀錄，尤以南投縣與臺中市（縣）受創最為慘重，共造成 2,454 人死亡、50 人失蹤、11,305 人重傷；50,652 間房屋全倒、53,615 間房屋半倒；基礎設施毀損（如電力、水利設施、橋梁、瓦斯管線、電信等）；293 所學校全毀、1,546 所校舍受損，經濟損失 3,622.8 億元，從世界地震災損排名表來看，截至 2019 年 9 月為止全球排名第 13 位（報導者，2019、內政部，2019）。由於大規模複合型災害之災後損失評估及調查極為不易，需全心投入花費超過一年以上的時間，耗時費力。

然損失評估結果實為災後重建重要的參考依據，加以目前我國災損統計，多由各權責機關按其業務需求自行辦理調查統計之工作，受限於調查單位、統計方法、表格內容與時程規劃的差異，在缺乏一套完整性的調查、評估與整合機制下，地震災損統計資料整合不易、付之闕如，另國內亦缺乏完整性的地震經濟損失的貨幣化評估結果，以目前國內災損評估方式，較難提供即時的助益。基此，本研究目的乃結合本中心近年開發之「地震衝擊研究與資訊應用平台」（Taiwan Earthquake impact Research and Information Application platform，簡稱 TERIA），將其衝擊評估結果代入本研究發展之臺灣災害損失評估系統（簡稱 TLASv3.0）下之「地震經損評估系統」子系統，提供災損快速評估的線上系統（陳素櫻等，2022）。透過自動化的計算模組、圖型輸出展示平台等功能，提供單場地震事件的總體經濟損失及其分佈和即時災害損失評估工具，供各項地震災防工作之應用。

二、文獻分析

「建立地震災害損失評估模式之重大課題，在於對災害損失界定之模糊，使評估之過程益顯複雜，特別是針對估計項目與內涵的爭議。從廣義而言，損失應泛指社會福利的損失，但此方面的估計有資料蒐集與操作上的困難，故一般對所謂的損失多採狹義定義，只估計地震造成的實質設施損害之貨幣損失，而以重置成本法估計之。以重置成本估計地震災害損失

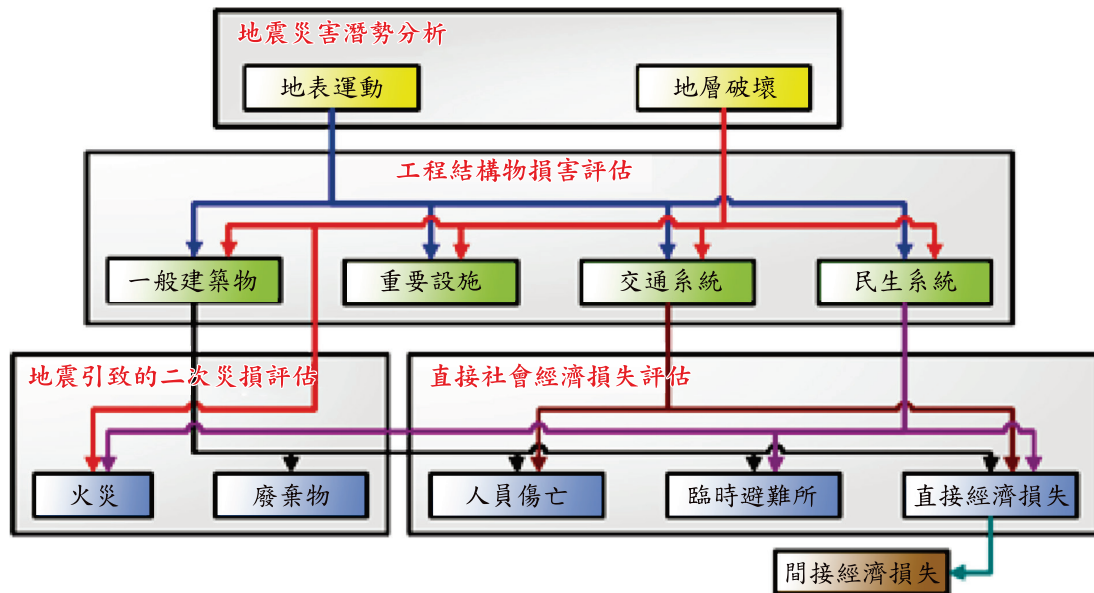
的相關評估方法論中，常引用之估計模式係以成本損害分析法，將各項損害貨幣化，再以加總方式評估」（羅俊雄等，2002，頁 15）。

為解決地震直接經濟損失估計的不確定問題的影響，「一般解決此問題的方法，皆透過機率模式，以風險或敏感度分析方式估計損失的機率分配，以解決不確定性的問題。整合機率模式與重置成本估計法進行自然災害損失估計的系統，主由美國國家建築科學研究所（NIBS）與 Michael Baker 公司所發展出之「決定型模型（deterministic model）」之關聯模組，及由美國聯邦緊急事務管理總署（Federal Emergency Management Agency；以下簡稱 FEMA）與 Risk Management Solutions 公司（以下簡稱 RMS）合作開發的 HAZUS 系統模組，兩者皆結合地理資訊系統，用以估計不同自然災害，造成之不同型態建物結構、維生管線與社會經濟的綜合損失。此兩個系統皆提供綜合性的決策支援系統模組，而可提供決策」（羅俊雄等，2002，頁 15）。

臺灣地震損失評估系統（Taiwan Earthquake Loss Estimation System，簡稱 TELES），乃國家地震工程研究中心近年來致力開發之「震災境況模擬軟體」，為目前國內較為廣泛使用之地震災害損失分析系統（國家地震工程研究中心震災模擬組，檢自 2021）。其參考 FEMA 所研發的地震損失評估系統 HAZUS 的分析架構，以本土化的分析模式、參數值和資料庫為基礎進行研發。

圖 1 TELES 的分析架構，大致分為地震災害潛勢分析模組、工程結構物損害評估模組、地震引致二次災害評估模組、社會經濟損失評估模組等。其中，社會經濟損失評估模組之直接經濟損失評估，目前只提供結構形式、非結構系統、家具與庫存、搬遷費用、租金費用等經濟損失統計（葉錦勳等，檢自 2021），唯 TELES 並無法完整地貨幣化評估整場地震事件各類土地利用的經濟損失。

本中心研發之 TERIA 從基礎的地理空間資料收集、過濾、分類到資料存取，建立一個地震資料倉儲，同時結合地震相關的災害衝擊評估運算方法，並導入物件導向技術，以模組化的方式設計開發各類型的衝擊分析模組（劉淑燕等，2020）。目前已完成地動、液化、坡地崩塌、建物、人口、避難人口、道路、橋梁、供水、電力、天然氣管線衝擊分析模組（陳素櫻等，2022）。由於上述的計算結果均以網格化的方式來進行，無論在參數或空間的解釋度均很詳細，因此作為本研究經濟損失模型之前置參數，進而依據實際模型的損失規模，進行各項模型災害損失貨



資料來源：葉錦勳等，檢自 2021

圖 1 TELES 系統架構與分析流程

幣化的分析。

三、地震損失評估模組之建立

歸納相關之地震經損評估方法，本研究引用較具普遍性與綜合性之重置成本法，估計地震造成建物結構體、產物、設施、設備損壞的直接損失，依據過去文獻研究、國家災害防救科技中心與各部會歷年的災損調查成果，以 HAZUS 系統模組作為估計之基礎，代入 TERIA 衝擊評估結果，完成本土化地震損失計

算模組，並結合地理資訊系統技術，嘗試建立全臺適用之災害損失評估模組。各項經濟損失模組的建置分述如下：

3.1 建物經損模組建置

地震建物經濟損失模式為參考 HAZUS (HAZUS®-MH MR5, 2010)一般建築物結構系統損失評估方法進行本土化。公式中的參數資料含損壞樓地板面積、建物損壞百分比、單位面積建物造價、建物平均折舊係數。

$$BL = \sum_{i=1}^{15} \left\{ \sum_{\alpha=1}^4 \left(DmgArea_{\alpha i} \times \sum_{\beta=1}^2 H_{-}DP_{\beta \alpha i} \right) \times H_{-}COST_i \times Dep_i \right\} \dots\dots\dots (1)$$

- BL：建物總損失(元)
- DmgArea：損壞樓地板面積 (TERIA)
- H_DP：建物損壞百分比
- H_COST：單位面積建物造價
- Dep：建物平均折舊係數
- i：建物構造類別
- α：建物損壞程度 (輕微/中度/嚴重/完全損壞)
- β：建物用途 (住宅/非住宅)

其中，損壞樓地板面積乃介接 TERIA 建物衝擊評估結果。TERIA 建物衝擊損害機率模組使用之建物基礎資料為各縣市政府及財政部財政資訊中心提供

2013 年 ~ 2014 年稅籍資料，建物損壞衝擊分析流程為：(1) 確定每個網格所在縣市、鄉鎮市區、地盤種類；(2) 由耐震設計規範查得堅實地盤的短週期與一秒週期之水平譜加速度係數、(3) 由耐震設計規範查得工址放大係數、近斷層調整因子，修正計算短週期與一秒週期工址水平譜加速度係數、(4) 由建築物耐震設計規範查得阻尼比修正係數、(5) 計算求得反應譜短週期與中週期分界之轉換週期、(6) 依建築物耐震設計規範可計算設計水平譜加速度係數、(7) 決定譜加速度值與譜位移值，求得容量譜之譜加速度對應的 PGA 關係、(8) 透過強地動評估與建物損壞評估整

合模式，輸入地震參數，取得每一網格的 PGA 值，配合各模型建物能耐曲線，計算各模型建物的損害機率 (15 種結構型態、4 種耐震等級、4 種損壞機率)、(9) 計算各模型建物的地震損壞數量 (4 種損壞程度之損壞面積) (劉淑燕等, 2015)。

建物損壞百分比，為用途類別 β 處於損壞狀態 α 下，修復費用與重建費用之比值。建物損壞百分比的設定，乃參考：(1) 李欣輯等 (2016) 依據 HAZUS97 以單一用途類別建築物全部損毀所需之重建費用為基準 (僅考慮結構物本身的重建費用，未包含非結構部份的其他設備成本)，推估之「建物損壞百分比參數表」、(2) 教育部「高中職及國中小老舊校舍補強計畫」，設定一般校舍在中度損壞以上，才須進行耐震補強 (在 475 年回歸期設計地表加速度之下，距崩塌尚有相當之安全裕度) (國家地震工程研究中心，檢自 2022)、(3) 參考鋼筋混凝土建築結構耐震補強工程實務 (梁賢文，檢自 2020) 與公共服務據點整備-公有危險建築補強重建 (106~114 年) (前瞻基礎建設-城鄉計畫，檢自 2020)，可知國內修復補強費用約佔拆除重建費用的五分之一。依據前述第 2、3 點，調整第 1 點「建物損壞百分比參數表」之中度損壞的建物損壞百分比。

另外，TERIA 系統建置目的為提供災害應變決策參考之災後快速評估結果，故僅將用途類別區分為住宅與非住宅二類 (分屬稅籍資料之住宅用與營業用)。

本研究因介接 TERIA 衝擊評估結果，基於，本研究的用途類別分類方式援用之。最後，考量上述，建物損壞百分比的參數表，請參考表 1。

各用途類別之建築重建成本，即單位面積建物造價 (僅考慮結構物本身的重建費用，未包含非結構部份的其他設備成本)，乃參考內政部統計處各結構用途單位面積造價 (內政部全球資訊網，檢自 2020)；建物平均折舊係數則參考臺北市政府地政局 2020 年建築改良物耐用年數及每年折舊率表 (臺北市政府地政局，檢自 2021)，請參考表 2。

本研究初步以 2018 年 0206 花蓮地震的事件作為驗證案例，結果如表 3 顯示，TLAS 建物經損模組推估的損失金額約 230 億與現調損失金額約 134 億，判斷兩者差距的原因，主要為現調損失多為受災屋主自行判斷的損失金額，缺乏一致標準。甚者，推估損失金額計算公式之折舊係數、建築成本 (建材) 等變數，皆有其變動或不確定性。

表 1 建物損壞百分比參數建置

用途分類	建物損壞百分比(%)			
	輕微損壞	中度損壞	嚴重損壞	完全損壞
住宅	1.94	20	50	100
非住宅	2.08	20	50	100

資料來源：陳素櫻等，2022，頁 25。

表 2 建物經損模組參數庫建置

結構分類	名稱	內政部統計處(2019年)單位面積造價(元/m ²)	折舊率(%)	耐用年數(年)	殘值率(%)
W1	木造	3,091	2.8	35	2
S1L	鋼構造(低層樓:1~3樓)	8,249	1.4	60	16
S1M	鋼構造(中層樓:4~7樓)	8,249	1.4	60	16
S1H	鋼構造(高層樓:8樓以上)	8,249	1.4	60	16
S3	輕鋼構(低層樓)	8,249	1.8	52	6.4
C1L	鋼筋混凝土構造(低層樓)	8,694	1.5	60	10
C1M	鋼筋混凝土構造(中層樓)	8,694	1.5	60	10
C1H	鋼筋混凝土構造(高層樓)	8,694	1.5	60	10
PCL	預鑄混凝土構造(低層樓)	8,694	1.5	60	10
RML	加強磚造(低層樓)	3,683	1.8	52	6.4
RMM	加強磚造(中層樓)	3,683	1.8	52	6.4
URML	磚造(低層樓)	3,203	2.1	46	3.4
SRC1L	鋼骨鋼筋混凝土(低層樓)	10,461	1.4	60	16
SRC1M	鋼骨鋼筋混凝土(中層樓)	10,461	1.4	60	16
SRC1H	鋼骨鋼筋混凝土(高層樓)	10,461	1.4	60	16

資料來源：陳素櫻等，2022，頁 24。

表 3 2018 年 0206 花蓮地震之驗證

單位：元

倒塌建物名稱	TLAS 建物經損模組之損失推估[(單位建築成本(元/m ²)×樓地板面積(m ²)×樓層數]×折舊率	重大災害財務損失統計報表
統帥飯店 (公園路 36 號 /B1+11 樓/1977 竣工)	(8,694×2,021.515×13)×0.58=132,515,887	133,962,000
白金雙星大樓 (國盛六街 2、4 號/6 樓)	(8,694×725.665×6)×0.74=28,011,655(RC) (3,683×725.665×6)×0.688=11,032,592(RB)	
吾居吾宿大樓 (國盛六街 41 號/9 樓-原 6 樓增建至 9 樓)	(8,694×360.697×9)×0.74=20,885,092(RC) (3,683×360.697×9)×0.688=8,225,744(RB)	
雲門翠堤大樓 (商校街 2 號 /B1+12 樓/1991 竣工)	(8,694×896.510×14)×0.72=78,566,120	
小計	230,340,344	

資料來源：陳素櫻等，2022，頁 25。

3.2 道路經損模組建置

TERIA 道路損壞衝擊評估使用之道路基本圖層為 2019 年國土測繪中心提供版本，其道路損壞衝擊分析流程為：(1) 輸入地震參數，取得每一網格內該道路分段的 PGD 值、(2) 利用易損性曲線公式[道路分級與參數採用 Hazus®-MH MR5 (2010)] 進行損害評估，計算每一網格的該道路分段在 PGD 的作用下，其損害狀態之機率，即損壞百分比、(3) 災後道路因受損情況將使通行受阻，將中度以上損害狀態，視為道路效能減損需要封閉的狀況。再者，因道路通行失敗機率可稱為道路阻斷機率，亦即道路需要修復的比例 (劉淑燕等，2014、吳佳容等，2017)。

依據上述的地震道路損壞程度的模擬結果，本研究研發之道路經損公式如下：

$$RL = \sum_{i=1}^4 R_{-} DP_i \times RoadArea_i \times H_{-} COST_i \dots\dots(2)$$

RL：道路總損失 (元)

R_DP：道路通行失敗機率 (TERIA)

RoadArea：道路面積 (平方公尺)

H_COST：單位面積道路造價 (元/平方公尺)

i：道路種類

公式中的參數資料含道路通行失敗機率、損壞道路面積、單位面積道路造價。其中，道路通行失敗機率乃介接 TERIA 道路衝擊評估結果。為符實際損失提升精準度，乃進行單位面積道路造價之參數調校。將高雄市 2014 年～2017 年已完成闢建平面道路單位成本 (扣除土地成本)，依道路種類進行統計與分析，結果如表 4 所示。

本研究初步以 2013 年 0602 南投地震的事件作為驗證案例，結果顯示，現調損失金額為 1.56 億元，道

表 4 單位面積道路造價

道路種類	建造成本 (元 / m ²)
第一類 (≤4 m 以下)	1,561 ~ 5,129
第二類 (4 < X < 15 m)	1,725 ~ 4,232
第三類 (20 > X ≥ 15 m)	493 ~ 2,009
第四類 (≥20 m 以上)	378 ~ 6,551
不分類 (共 205 件)	1,667 ~ 3,743

資料來源：陳素櫻等，2022，頁 28。

表 5 2013 年 0602 南投地震案例分析

單位：元

受損道路名稱	TLAS 道路經損模組之損失推估 [道路面積×單位面積造價 (對應破壞道路種類)]	現調
南投縣台 16 線地利(22 K ~ 36 K)阻斷	14,000×8×1,725=193,200,000	156,784,000

資料來源：陳素櫻等，2022，頁 29。

路經損模組推估損失金額為 1.93 億元，推估的損失金額落於可接受的範圍區間，如表 5 所示。

3.3 橋梁經損模組建置

TERIA 橋梁損壞衝擊評估使用之橋梁基本資料為各縣市政府及交通部國道高速公路局所提供 2013 年～2014 年橋梁資料，橋梁損壞衝擊分析流程為：(1) 輸入地震參數，取得每一網格內橋梁中心點的 PGA 與 PGD 值、(2) 採用 TELES 地表震動與永久位移引致損害的典型橋梁分類之易損性曲線參數，與個別橋梁之調整係數的計算，以橋梁中心點為評估單元進行運算，計算每一網格內每座橋梁因 PGA 與 PGD 的作用下，造成不同損害狀態之機率，即損壞百分比 (劉淑燕等，2014、劉淑燕等，2015、吳佳容等，2017、劉

淑燕等, 2020)。

依據上述的地震橋梁損壞程度的模擬結果, 本研究研發之橋梁經損公式如下:

$$BriL = \sum_{\alpha=1}^3 \left\{ \sum_{\beta=1}^3 B_DP_{\alpha\beta} \times BridgeArea_{\alpha\beta} \times H_COST_{\alpha\beta} \right\} \dots(3)$$

BriL: 橋梁總損失 (元)

B_DP: 橋梁損壞百分比 (輕微/中度/嚴重/完全損壞)(TERIA)

BridgeArea: 橋梁面積 (平方公尺)

H_COST: 單位面積橋梁造價 (元/平方公尺)

α : 橋梁類型

β : 橋梁結構

在上述的變數中, 橋梁損壞百分比乃介接 TERIA 橋梁衝擊評估結果。在單位面積橋梁造價變數上, 本研究蒐整並更新臺灣地區最常見之橋梁結構類型的單位面積橋梁造價, 如表 6 所示, 作為計算依據。

最後, 本研究選取一處 1999 年 921 地震之橋梁斷落重建災例, 作為驗證案例。根據橋梁震害線上史料館[國家地震工程研究中心, 橋梁震害線上史料館(ncree.org)]記載, 埤豐橋位於豐原市、東勢鎮與石岡鄉交界處, 跨越大甲於石岡水壩下游約 1 公里處, 總長約 390 公尺, 橋寬 13 公尺, 為 13 孔 3 跨度 30 公尺之預力混凝土簡支梁橋。因 921 地震車籠埔斷層通過本橋豐原埤頭端, 造成埤豐橋南端橋台隆起以及三孔橋面發生落橋, 總修復橋長 180 公尺, 工程總經費為 6,593 萬元。本研究依據史料館的資料, 代入本研究建置的橋梁經損公式計算並進行比較, 經損模組推估損失金額為 6,179 萬元, 與實際的工程經費大致相

近。此結果初步驗證本計算公式的合理性, 可作為地震橋梁的經損評估之用。然而橋梁經損驗證受限於橋梁類型、結構與複雜的破壞樣態, 故實難驗證不同類型之損失樣態。目前此公式的驗證, 皆採全損案例進行驗證, 未來可再藉由更多不同災損資料的蒐集和驗證, 逐步減少損失推估的不確定性。

3.4 供水中斷之民生經損模組建置

TERIA 供水衝擊評估的供水基本資料為經濟部水利署及台灣自來水公司所提供 2014 年全台供水系統基本資料, 供水衝擊分析流程為: (1) 輸入地震參數, 取得每一網格內 PGD、PGV 值、(2) 供水管線採用易損性曲線公式 [管線計算參數採用黃沛群 (2002) 論文研究成果] 進行損害評估, 計算每一網格的供水管線在 PGD、PG 的作用下, 可能造成的損壞機率, 求得用水不服務度機率值、(3) 採用 Hazus®-MH MR5 (2010) 復原分析曲線, 依照臺灣的實際情況, 假設施工單位 24 小時輪流不間斷地進行修復工作, 得到需要修復天數、(4) 於各網格, 將常住人口數乘上用水不服務度機率值, 獲得不同天數供水中斷的影響人口數, 即不服務影響人口 (劉淑燕等, 2014、吳佳容等, 2017)。

依據上述 TERIA 供水衝擊評估之模擬結果, 本研究研發之供水中斷之民生經損公式如下:

$$WL = NoSerTP \times NoSer \times RepairDay \times P_OpeReve \dots\dots\dots(4)$$

WL: 自來水總損失 (元)

NoSerTP: 不服務影響人口 (TERIA)

NoSer: 用水不服務度機率值 (TERIA)

RepairDay: 需要修復天數 (TERIA)

P_OpeReve: 每人平均一日用水成本 (元)

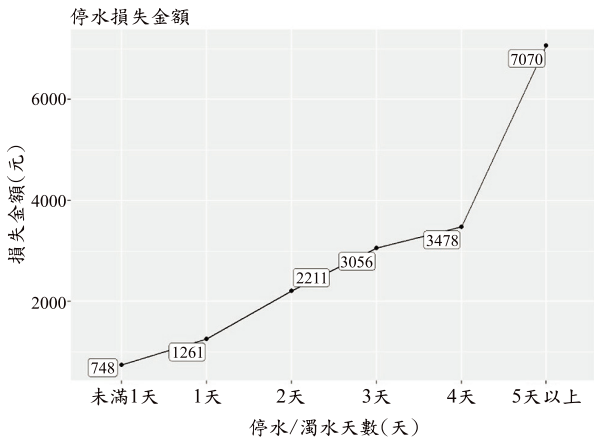
在上述的變數中, 不服務影響人口、用水不服務度機率值、需要修復天數均介接 TERIA 供電衝擊評估結果。另外, 為符合實際損失、提升評估精準度, 乃進行每人平均一日用水成本 (此指停水期間的買水費用與因濁水造成的額外花費, 如購置水桶、置換過濾器、清洗水塔等支出) 之參數調校。每人平均一日用水成本乃採用本中心於 2015 年委託民調公司, 透過電訪了解蘇迪勒颱風停水數日的影響性, 利用此調查資料發展之濁水或停水損失曲線。建立濁水或停水損失曲線可協助相關單位事先評估民生用水可能造成的經濟影響。計算的部份, 首先選取有停水損失的受訪者, 並交叉比較停水時間與停水經濟損失, 建立停

表 6 各類主要橋梁類型結構之單位面積造價

單位: 元/m²

結構 類型	鋼	鋼筋混凝土	預力混凝土 (含預力鋼筋混凝土)
梁橋	36,900 ~ 50,000	21,291 ~ 25,000	26,406
拱橋	72,632	63,704 ~ 64,210	
桁架橋	72,632		
斜張橋	150,000 ~ 200,000		
介於梁橋和拱橋之間	50,000 ~ 72,632		

資料來源: 陳素櫻等, 2022, 頁 30。



資料來源：陳素櫻等，2022，頁 33。

圖 2 濁水或停水損失曲線

水時間與經濟損失的關係曲線 (李欣輯等，2017)。濁水或停水損失曲線略呈三次曲線的趨勢，如圖 2 所示。可知濁水或停水的經濟損失隨時間而增加，此趨勢於災害發生第三天後逐漸趨緩，並在第四天後又有漸上升的趨勢。

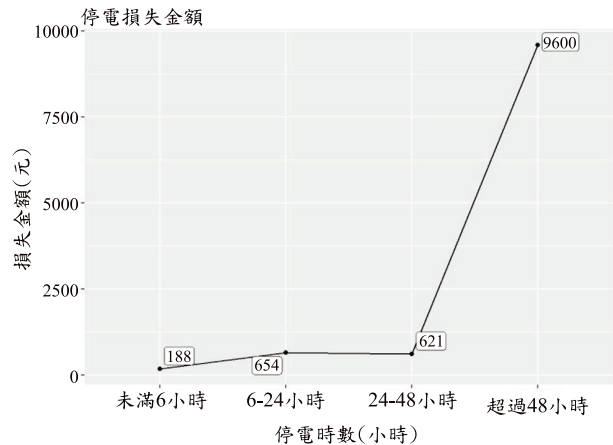
3.5 供電中斷之民生經損模組建置

TERIA 電力衝擊評估的電力基本資料為台灣電力公司所提供 2012 年全台供電系統基本資料，電力衝擊分析流程為：(1) 輸入地震參數，取得每一網格內 PGA 值、(2) 發電廠、變電所採用易損性曲線公式 [參數採用 Hazus®-MH MR5 (2010)]、電塔採用洪祥瑗等 (2007) 鐵塔災損公式，進行損害評估，計算每一網格的電力設施在 PGA 的作用下，可能造成的損壞機率、(3) 採用 Hazus®-MH MR5 (2010) 復原分析曲線，針對末端管網與對應的地震影響參數，進行復原分析，得到不同時間點的復原機率 (即第幾天之修復百分比)、(4) 進一步針對復原分析中，不同時間點的復原機率，考慮各網格常住人口 (日間人口數) 之分布，便獲得不同天數供電中斷的影響人口分布，即第幾天之影響人數 (劉淑燕等，2014、吳佳容等，2017)。

依據上述供電中斷影響人口之模擬結果，本研究研發之供電中斷之民生經損公式如下：

$$EL = [1 - CFR(D)] \times ImpPeo(D) \times P_OpeReve(D) \times D \dots\dots\dots(5)$$

EL：電力總損失 (元)
 CFR (D)：第幾天之修復百分比 (TERIA)
 ImpPeo (D)：第幾天之影響人數 (TERIA)



資料來源：陳素櫻等，2022，頁 36。

圖 3 停電損失曲線

P_OpeReve：每人平均一日用電成本 (元)
 D：天數

在上述的變數中，修復百分比、影響人數乃介接 TERIA 供電衝擊評估結果。另外，為符合實際損失、提升評估精準度，乃進行每人平均一日用電成本 (此指因停電造成的損失總額，如：缺電造成住家冰箱食物腐壞、商家原料毀壞等) 之參數調校。每人平均一日用電成本乃採用本中心於 2015 年委託民調公司，透過電訪了解蘇迪勒颱風停電影響性的資料，初步發展停電損失曲線。計算的部份，首先選取有停電損失的受訪者，並交叉比較停電時間與停電經濟損失，建立停電時間與經濟損失的關係曲線。停電損失曲線略呈三階段變化趨勢，如圖 3 所示，可知電的經濟損失隨時間而增加，此趨勢於災害發生後的 6 ~ 24 小時後逐漸趨緩，並在第 24 ~ 48 小時後又有漸上升的趨勢。

最後本研究依據 TERIA 之模擬產出 (如建物倒塌棟數、道路中斷機率、橋梁中斷機率、停水停電之影響人口數)，嘗試應用經濟損失的評估模式，將地震事件造成損失予以貨幣化，藉以評估單場地震災害事件可能造成經濟衝擊。各項地震經濟損失模組之公式彙整如表 7。

四、地震經濟損失模組系統化之建置與應用

4.1 地震經濟損失評估系統建置

地震經濟損失評估模組研發除了影響戶數模組外，其他建物、道路、橋梁、供水、供電等均為經濟損失的評估模組。使用者透過地震經濟損失評估之展

表 7 地震經濟損失公式

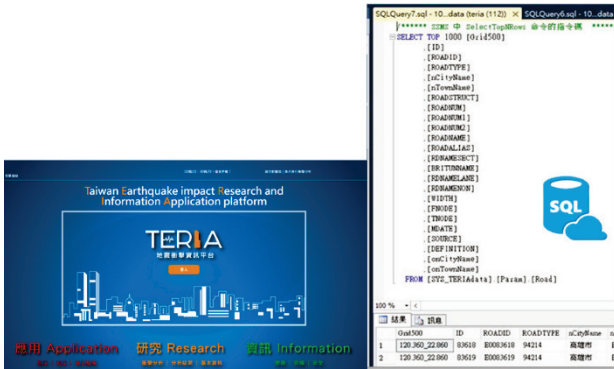
模組	計算公式	損失參照資料
建物經損模組	$BL = \sum_{i=1}^{15} \left\{ \sum_{\alpha=1}^4 \left(DmgArea_{\alpha i} \times \sum_{\beta=1}^2 H_DP_{\beta \alpha i} \right) \times H_COST_i \times Dep_i \right\}$ <p>BL：建物總損失 (元) DmgArea：損壞樓地板面積 (TERIA) H_DP：建物損壞百分比 H_COST：單位面積建物造價 Dep：建物平均折舊係數 i：建物構造類別 α：建物損壞程度 (輕微/中度/嚴重/完全損壞) β：建物用途 (住宅/非住宅)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 內政部統計處 2019 年建物造價資料 2. 臺北市政府地政局 2020 年建物折舊係數 3. 國家災害防救科技中心 (以下簡稱 NCDR) 自行研發之建物衝擊評估 4. 參考文獻：(吳佳容等，2017；李欣輯等，2016)
道路經損模組	$RL = \sum_{i=1}^4 R_DP_i \times RoadArea_i \times H_COST_i$ <p>RL：道路總損失 (元) R_DP：道路通行失敗機率 (TERIA) RoadArea：道路面積 (平方公尺) H_COST：單位面積道路造價 (元/平方公尺) i：道路種類</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高雄市 2014~2017 年新建開闢平面道路單位成本 2. NCDR 自行研發之道路衝擊評估 3. 參考文獻：(劉淑燕等，2014；吳佳容等，2017)
橋梁經損模組	$BriL = \sum_{\alpha=1}^3 \left\{ \sum_{\beta=1}^3 B_DP_{\alpha\beta} \times BridgeArea_{\alpha\beta} \times H_COST_{\alpha\beta} \right\}$ <p>BriL：橋梁總損失 (元) B_DP：橋梁損壞百分比 (輕微/中度/嚴重/完全損壞) (TERIA) BridgeArea：橋梁面積 (平方公尺) H_COST：單位面積橋梁造價 (元/平方公尺) α：橋梁類型 β：橋梁結構</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 單位面積橋梁造價整理自：黃榮堯、陳屏甫 (2006)；國立宜蘭大學土木工程系；薛鈺龍、周鵬傑 (2010)、Blogger 網誌 (2011 年 1 月 22 日)；維基百科網頁 (2021 年 5 月 7 日) 2. NCDR 自行研發之橋梁衝擊評估 3. 參考文獻：(劉淑燕等，2014；吳佳容等，2017)
供水中斷之民生經損模組	$WL = NoSerTP \times NoSer \times RepairDay \times P_OpeReve$ <p>WL：自來水總損失 (元) NoSerTP：不服務影響人口 (TERIA) NoSer：用水不服務度機率值 (TERIA) RepairDay：需要修復天數 (TERIA) P_OpeReve：每人平均一日用水成本 (元)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. NCDR 自行研發之供水管線衝擊評估 2. NCDR 自行研發之停水時間與經濟損失的關係曲線 3. 參考文獻：(劉淑燕等，2014；吳佳容等，2017；李欣輯等，2017；鄧傳忠等，2017)
供電中斷之民生經損模組	$EL = [1 - CFR(D)] \times ImpPeo(D) \times P_OpeReve(D) \times D$ <p>EL：電力總損失 (元) CFR(D)：第幾天之修復百分比 (TERIA) ImpPeo(D)：第幾天之影響人數 (TERIA) P_OpeReve：每人平均一日用電成本 (元) D：天數</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. NCDR 自行研發之電力-末端管網衝擊評估 2. NCDR 自行研發之停電時間與經濟損失的關係曲線 3. 參考文獻：(劉淑燕等，2014；吳佳容等，2017；李欣輯等，2017；鄧傳忠等，2017)

資料來源：陳素櫻等，2022，頁 20。

示介面，可選擇快速掌握可能的災損概估與分佈，進行救災資源分派之大規模經損速算方式，使用者可選擇串接 TERIA 衝擊評估結果的事件進行推估 (如圖 4)。

另外，使用者亦可透過自主輸入精準掌握的小規

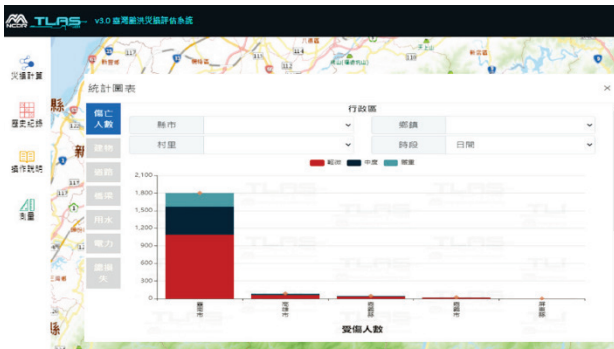
模個案或特定資產損失精算的計算模式，詳細的輸入標的物的特徵 (含建物、橋梁、道路、供水、供電等 5 項標的物，以建物為例，表單需輸入如棟數、樓高、建物投影面積、建物損壞百分比、重建類型等參數)，即可進行小規模個案或特定資產損失精算 (如圖 5)。



步驟 1. 串接 TERIA 情境



步驟 2. 選擇 TERIA 情境之案例 (可選擇 TERIA 平台公開使用之案例或自行於該平台新增地震事件衝擊分析)



步驟 3. 計算結果 (示意)

圖 4 地震經損評估系統之大規模經損速算分析及展示介面



步驟 1. 選擇「自訂情境」

編號	縣市	棟數	樓高(m)	建物投影面積(m ²)	單位價值 (NT)	折舊係數	建物損壞百分比	重建原則(0=拆除重建, 1=修復補葺)	備註(單位價值)
1	臺北市	3	5	2000	W1	0.75	30		0 木造
2	基隆市	5	3	1000	SIL	0.78	55		1 鋼構中低
3	苗栗縣	6	8	1001	SIM	0.32	40		1 鋼構高中
4	花蓮縣	7	9	1320	SIH	0.22	23		1 輕鋼構高
5	新竹縣	8	10	6630	S3	0.456	30		1 鋼構中低
6	高雄市	9	11	1001	CIL	0.32	55		0 鋼筋混泥
7	屏東縣	10	12	1020	CIM	0	50		1 鋼筋混泥
8	臺南市	11	13	1000	CIH	0.54	60		1 鋼筋混泥
9	嘉義縣	12	14	1000	PCL	0.6	22		0 預鑄混泥

步驟 2. 依序上載欲計算之表單 (以建物表單為例)



步驟 3. 欲計算之表單全數上載後, 開始計算

縣市	建物類型	樓高	棟數	計算結果(萬)
臺北市	拆除重建	5	3	6.955
基隆市	修復補強	3	5	5.308
苗栗縣	修復補強	8	6	5.073
花蓮縣	修復補強	9	7	3.471
新竹縣	修復補強	10	8	59.854
高雄市	拆除重建	11	9	27.653
屏東縣	修復補強	12	10	0
臺南市	修復補強	13	11	40.281
嘉義縣	拆除重建	14	12	87.636
彰化縣	拆除重建	15	13	38.009
南投縣	拆除重建	16	14	80.849
桃園市	拆除重建	17	15	75.744
臺東縣	修復補強	18	16	19.282

步驟 4. 計算結果 (示意)

圖 5 地震經損評估系統之個案損失精算分析及展示介面

4.2 地震經濟損失評估系統應用-以 2010 年 3 月 4 日高雄甲仙地震事件為例

2010 年 3 月 4 日 8 時 18 分，高雄甲仙發生規模 6.4 地震，規模及震度是高雄地區百年來最大規模的地震，所幸無人傷亡。地震發生後各級政府立即啟動應變作業，含成立內政部消防署緊急應變小組；嘉義市應變中心一級開設；台南縣、台南市、高雄縣等縣市二級開設，後於 14 時 30 分均恢復為三級開設。依據應變處置報告災情統計，本次災情含全國停電戶數約 54 萬 5,068 戶 (4 日下午 2 時恢復供電)、嘉義市局部地區 (興業路與宣信街) 4,500 戶停水 (5 日上午 5 時恢復正常供水)、房屋傾斜 20 棟 (高雄縣 2 棟、嘉義縣 5 棟、台南縣 10 棟、嘉義市 3 棟)。透過地震經濟損失評估系統的手動輸入功能，詳細輸入標的物的特徵 (如：建物損失部份，判斷本次房屋傾斜，以透天 2 層樓鋼筋混凝土造之建物為主，屋齡則採全台平均屋齡 31 年計算、房屋判定輕微損壞等參數進行代入)，進行特定資產損失精算，計算結果本次地震損失推估金額約 2 億 4,991 萬 (如圖 6)。



圖 6 2010 年 3 月 4 日高雄甲仙地震事件，地震經濟損失評估系統之手動輸入的計算結果

另外，與本研究蒐整行政院災害防救辦公室於災後 60 日提報之「重大災害財務損失統計報表」、行政院公共工程委員會「災害復建工程經費表」及每年 10 月縣市政府提報行政院主計總處「地方災害準備金表單」，按土地使用分類系統表區分之七大用地，進行分項加總後，得到各縣市各分項用地的損失金額約 2.5 億的結果相比較，此結果顯示地震經濟損失評估系統的手動輸入功能，確實可有效提供第一時間的即時災害損失評估，快速提供後續各項地震應變作業的決策參考。

五、結論

本研究結合本中心近年開發之 TERIA，將其衝擊評估結果代入本研究發展之 TLASv3.0，建置地震災害經濟損失的評估系統。此系統透過長期地震事件經濟損失資料的統計分析及各種經損參數的彙整，共完成影響戶數、建物、道路、橋梁、供水、供電等六類的地震直接經濟損失評估模組。透過模組化的評估程序，可快速掌握大規模的震災造成的損失程度與分佈範圍。另外，若是需要進行小規模或特定標的之損失評估，則可透過自主輸入方式，詳細的輸入標的物的特徵 (例如：棟數、樓高、建物投影面積、建物損壞百分比、重建類型等參數) 進行小規模個案或特定資產損失精算。目前透過單一事件單一損失模組的校驗，均得到不錯的驗證結果，未來可持續透過單場地地震事件的完整性評估與校驗，逐步提升地震災害經濟損失評估的精確度，可作為國內各項地震防減災工作之應用工具。

參考文獻

1. FEMA, (2010) Hazus®-MH MR5 Technical Manuals and User's Manuals, Washington, D.C.
2. 中央氣象局地震測報中心，1999/09/21 921 集集大地震。檢自個案地震報告 (<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/page/disaster/3>) (Oct. 21, 2021)。
3. 中華民國統計資訊網，躉售物價指數。檢自物價統計資料庫 [物價統計資料庫 (dgbas.gov.tw)] (Jul. 18, 2019)。
4. 公共政策網路參與平台，前瞻基礎建設-城鄉建設-公共服務據點整備-公有危險建築補強重建(110 ~ 114 年)(110 年辦理情形)，檢自公共服務據點整備—

- 公有危險建築補強重建計畫(1).pdf(Nov. 3, 2021)。
5. 內政部(2019),一起走過攜手向前(108年版),921震災20週年紀念專書(index(921FullText)(nfa.gov.tw))。
 6. 內政部全球資訊網-中文網-統計主題專區。檢自各結構用途單位面積造價
<https://www.moi.gov.tw/cp.aspx?n=5590> (Dec. 18, 2020)
 7. 交通部公路總局(2009),公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究-期末報告。
 8. 吳佳容、劉淑燕、柯明淳、黃明偉、鄧敏政、吳秉儒、吳子修、柯孝勳(2017),地震衝擊資訊平台(TERIA)技術研發及主題式應用介面建置。國家災害防救科技中心(NCDR 105-T25),臺北。
 9. 吳聰敏、高櫻芬(1991),台灣貨幣與物價長期關係之研究:1907年至1986年。檢自TaiwanMP-個人網頁空間-國立臺灣大學計算機及資訊網路中心(<http://homepage.ntu.edu.tw/~ntut019/ltes/TaiwanMP.pdf>) (Jul. 7, 2019)。
 10. 李欣輯、陳怡臻、郭玫君(2013),臺灣颱風災損評估系統之建置與應用。農工學報,第五十九卷,第四期,第42-55頁。
 11. 李欣輯、陳怡臻、陳素櫻、張芝苓、鄧傳忠、李香潔(2016),天然災害損失評估技術研發及系統擴充。國家災害防救科技中心技術報告(NCDR 104-T28),臺北。
 12. 李欣輯、陳怡臻、鄧傳忠、陳素櫻、李香潔(2017),臺灣災害損失評估研究與應用規劃。國家災害防救科技中心技術報告(NCDR 105-T02),臺北。
 13. 李賢能、鄭容慈(2018),高雄市新建開闢平面道路單位成本(103-106年度)統計分析。高雄市政府工務局新建工程處。
 14. 前瞻基礎建設-城鄉計畫,公共服務據點整備-公有危險建築補強重建(106-114年)。檢自<https://www.ey.gov.tw/File/D5EC31B9D2B593CB> (Feb. 11, 2020)
 15. 洪祥瑗、文慶霖、柯明淳、劉季宇、葉錦勳(2007),自來水地下管線、輸電鐵塔與震後火災之災損推估模式研究。國家地震工程研究中心研究報告(NCREE-07-020)。
 16. 國立宜蘭大學土木工程系,交通部臺灣區國道高速公路局國道橋梁資產價值評估模式建置案期末報告。檢自資產價值評估模式_期末報告_V2.5.pdf(freeway.gov.tw) (Jun. 11, 2021)。
 17. 國家地震工程研究中心震災模擬組,台灣地震損失評估系統。檢自台灣地震損失評估系統 TELES(nctree.org.tw) (Jun. 23, 2021)。
 18. 國家地震工程研究中心,921集集地震橋梁震害線上史料館。檢自橋梁震害線上史料館(http://www.nctree.org/921_bridge_project/Chinese_main.htm)(Sep. 8, 2021)。
 19. 國家地震工程研究中心,什麼是耐震補強。檢自科普網頁內容(<https://school.nctree.org.tw/files/common/education/popular-science-education.pdf>) (Mar. 7, 2022)
 20. 梁賢文,鋼筋混凝土建築結構耐震補強工程實務。檢自臺北市政府縮短公共工程期程綜合檢討報告案(<https://www-ws.gov.taipei/001/Upload/public/Attachment/4121014563097.pdf>) (Feb. 11, 2020)。
 21. 陳怡臻、李欣輯、黃桂卿、劉玫婷、鄧傳忠、李香潔(2019),臺灣災害損失評估系統建置。國家災害防救科技中心技術報告(NCDR 107-T02),臺北。
 22. 陳素櫻、李欣輯、鄧傳忠、陳怡臻、李香潔(2022),臺灣地震災害經濟損失模型之研究。國家災害防救科技中心技術報告(NCDR 110-T07),臺北。
 23. 報導者(2019年9月18日),重建進行式7,300天,大破大立的未竟與傳承之路。檢自921地震20周年系列專題(<https://www.twreporter.org/a/921-earthquake-20th-construction-and-unfinished-works>) (Oct. 21, 2021)。
 24. 黃沛群(2002),地下維生管線地震損害評估以虛擬管線為例。國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
 25. 黃榮堯、陳屏甫(2006),國道鋼橋與預力混凝土橋梁生命週期成本評估個案之研究。檢自Microsoft Word - 3-4.doc(tasder.org.tw) (Jun. 11, 2021)。
 26. 葉錦勳、劉季宇、陳志欣,地震應變與防災資訊系統建置之研究。檢自<4D6963726F736F667420576F7264202D20BAEBC2B2B3F8A7692DBE5FA861ADB7C049B5FBA6F4BB50BADEB27AA5ADA5785F32>(itdr.tw) (Aug. 23, 2021)。
 27. 維基百科網頁(2021年5月7日),檢自新北大橋-維基百科,自由的百科全書(wikipedia.org) (Jun. 11, 2021)。
 28. 臺北市政府地政局(2020年9月29日),檢自建築改良物耐用年數及每年折舊率表(<https://land.gov.taipei/cp.aspx?n=5710DCA168362376&s=5674AE262BAA2763>) (Mar. 5, 2021)。
 29. 劉淑燕、吳佳容、李沁妍、鄧敏政、李洋寧、李中生、柯孝勳、簡賢文(2014),大臺北地區大規模地震衝擊情境分析報告II:道路系統、水電設施、重要設施、情境綜整。國家災害防救科技中心技術報告(NCDR 102-T15),臺北。
 30. 劉淑燕、吳佳容、劉致灝、黃俊宏、黃明偉、吳秉

- 儒、柯孝勳、李中生 (2015)，地震衝擊研究與資訊應用平台 (TERIA) 開發與應用。國家災害防救科技中心技術報告 (NCDR 104-T06)，臺北。
31. 劉淑燕、吳秉儒、柯孝勳 (2020)，地震衝擊資訊平台模組擴充與資料更新。國家災害防救科技中心業務報告 (NCDR 109-A27)，臺北。
32. 鄧傳忠、陳怡臻、陳素櫻、黃桂卿、李欣輯、李香潔 (2017)，臺灣災害損失模型研發與系統建置。國家災害防救科技中心技術報告 (NCDR 106-T06)，臺北。
33. 鄭世楠、葉永田、徐明同、辛在勤 (1999)。台灣地區十大災害地震圖集。交通部中央氣象局地震測報中心。
34. 鄭世楠，塵封的裂痕歷史地震第一講：1867 年基隆地震。檢自台灣地震科學中心-歷史地震典藏及推廣 [1867Keelung.pdf (sinica.edu.tw)](Jun. 23, 2021)。
35. 薛鈺龍、周鵬傑 (2010)，不怕洪水的斜張橋。檢自投稿類別：工程技術類 (shs.edu.tw) (Jun. 11, 2021)。
36. 羅俊雄、葉錦勳、陳亮全、洪鴻智、簡文郁、廖文義 (2002)，HAZ-Taiwan 地震災害損失評估系統。國立臺灣大學台大工程學刊，第八十五期，第 13-32 頁。
37. Blogger 網誌 (2011 年 1 月 22 日)，檢自橋梁設計第一課：工程造價評估 (bridgedesign-firstclass.blogspot.com) (Jun. 3, 2020)。
38. 591 房屋交易，沒頭緒，設計師告訴你裝潢費這樣抓。檢自地產學堂 (<https://news.591.com.tw/news/2626>) (Mar. 7, 2022)

收稿日期：民國 111 年 01 月 17 日

修改日期：民國 111 年 03 月 24 日

接受日期：民國 111 年 06 月 22 日