

0206 花蓮地震震損建物資料分析與探討

Analysis and Discussion for Building Data of 0206 Hualien Earthquake

邱聰智¹ 何郁姍² 沈文成³ 盧奕羽⁴

¹ 國家地震工程研究中心 副研究員 E-mail: tchiou@ncree.narl.org.tw, (02-6630-0869)

² 國家地震工程研究中心 專案佐理研究員

³ 國家地震工程研究中心 助理研究員

⁴ 國立台灣科技大學營建系 研究生

摘要

2018 年 0206 花蓮地震芮氏規模(M_L)6.26，造成花蓮市區 4 棟大樓倒塌及多數建築損壞。地震後，國震中心(NCREE)與日本東工大河野教授組成勘災團隊，共蒐集 51 棟之鋼筋混凝土造或加強磚造建築物資料，包括基本資料、建築結構平面資料及震損照片與損傷判定，建立 0206 花蓮地震震損建物資料庫。本文以 NCREE 之低矮型鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估法對該資料庫進行分析，與實際震損程度比較；再以 Prof. Sozen 的柱牆量指標對該資料庫進行分析與比較。分析結果顯示，以 64 年至 71 年間的建築物，發生大害等級以上的損壞數量比例最高，而 NCREE 耐震初評指標 I_S 預估的耐震性能，與實際震損等級趨勢相符，準確率可達六成；以 Prof. Sozen 的柱牆量指標預測的耐震性能也與實際震損等級趨勢相符，準確率也與 NCREE 接近。以 NCREE 耐震初評指標 I_S 對全市建築物進行篩選，需針對前 30%的建築物進行補強，即可避免 70%中害以上的震損建物發生結構震損，顯示 NCREE 耐震初評指標具有篩選性與經濟性。

關鍵字：0206 花蓮地震、建物震損、資料庫、初步評估、快速評估

Abstract

A major earthquake with M_L of 6.26 occurred at Hualien in Taiwan on 6th February 2018. There were 4 mid-rise buildings collapsed and 17 people death. After the earthquake, a reconnaissance team, composed by the National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE) and Tokyo Institute of Technology, conducted collection of the building data in the area with high strong ground acceleration. Eventually, 51 buildings of data, which included site information, ground motion, hand drawing of structural plane, blue print of architectural plane if available, photo of damaged elements, and rapid evaluation, has been established into the database of earthquakes on NCREE's website. The building data are applied to verify the seismic rapid evaluation method by NCREE. This paper reports the results of verification by the building data of the 2018 Taiwan Earthquake. The predicted seismic performance of the buildings by NCREE's rapid evaluation method can well correlate to the real damage level of buildings. The accurate prediction of NCREE's seismic index is quite similar to Sozen and Hassan Index. As a screen tool, moreover, if 30% of inventory are tagged as high seismic vulnerability by NCREE's seismic index and conduct seismic retrofit before the 2018 Taiwan Earthquake, 70% damaged buildings can be protected from structural damage after the earthquake. Therefore, NCREE's seismic index is an efficient and economical screening tool for tons of existing buildings.

Keywords: 0206 Hualien Earthquake, Building Damage, Database, Preliminary Assessment, Rapid Assessment

一、前言

台灣時間 2018 年 02 月 06 日午夜 23 時 50 分 42.6 秒(世界時間 2 月 6 日 15 時 50 分 42.6 秒)，於台灣花蓮縣近海(花蓮縣政府北偏東方 18.3 公里)發生芮氏規模 $M_L 6.26$ 地震，花蓮、太魯閣、南澳等測站皆測到 7 級震度。

本次地震造成花蓮地區受害最為慘重，共有 17 人死亡，295 人受傷，許多建物損壞與倒塌，經技師緊急評估有 18 棟建物被貼紅單，16 棟建物被貼黃單。因此國家地震工程研究中心(以下簡稱國震中心)組成勘災團隊分階段前往現地勘災調查(圖 1)，參與勘災團隊成員包括：本中心邱聰智、陳幸均、李翼安、沈文成、何郁姍、翁樸文、蔡仁傑及林佳蓁；日本東京工業大學河野進(Sam Kono)教授；國立台灣大學林煜衡及徐侑呈。於 2/26~3/02 五天期間，共蒐集 51 棟建築物的資料，並建置花蓮地震建物勘災資料庫(<https://www.ncree.org/recce/20180206/>)[1]。

本次勘查資料以花蓮市(7 級震度)範圍內的鋼筋混凝土構造或加強磚造兩類建築物為主，勘查人員於每棟建築物現場描繪並記錄各建物的基本資料、結構資料、震損資料等。本研究進一步將各棟建築物結構尺寸參數量化，對 51 棟建築物進行耐震初步評估，可驗證「NCREE 低矮型 RC 建築物耐震初步評估方法(I_s)」[2]的篩選性與準確性，並和 Prof. Sozen 的柱牆量指標[3]進行比較，探討此二初評方法的差異性。

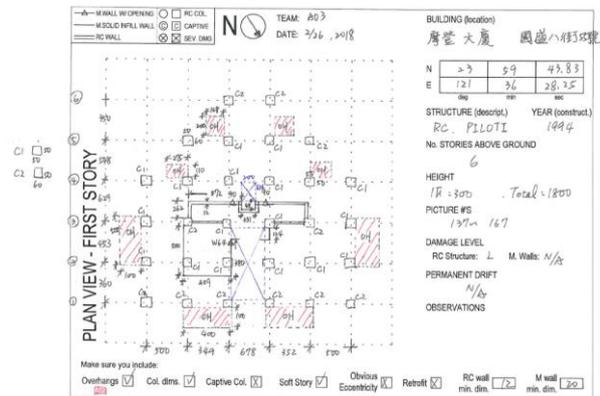


圖 1 災損資料調查

二、震損建物資料庫

2.1 花蓮地震震損建物資料庫

本震損建物資料庫公佈在國震中心首頁(<https://www.ncree.org/recce/20180206/>)[1]，如圖 2 所示，共 51 筆震損建物資料，本網站首頁(圖 2)簡介該次地震事件，說明資料庫參數的定義及相關參考文獻。資料結構共分兩層，第一層(圖 3)為基本資料，包括各建築物的地理位置、興建年代、使用類別、損害程度；點選檢視詳細資料即可進入第二層資料(圖 4)，包含構造類別、樓層數、建築平面尺寸、結構構件尺寸、調整因子、初步評估計算資料、構件損傷位置及照片、震損等級判定、地震紀錄 PGA 等，使用者可下載全數資料庫 CSV 資料，亦可下載單筆資料及其附件。

2.2 建築物基本資料調查

花蓮地震後，國震中心勘災團隊前往花蓮蒐集到 51 幢建築物之基本資料，因其中兩棟建築已倒塌，欠缺圖說無法評估，因此有效資料共 49 棟。主要震損的建築物位置多數分布於米崙斷層兩側 1 公里範圍內(圖 5)，這些建築物遭受到 200~400gal 的最大地表加速度考驗，其中總數的 18% 建築物有中度以上的損壞，圖 5 中的深紅色標示為崩塌、橙色標示為大害、黃色標示為中害、綠色標示為小害以下。資料庫內包含民宅、校舍、公有建築及住商混合建築等，各種建築類型數量及比例如圖 6 所示。建築物興建年代分布如圖 7，其中各年代期間建築物的震損程度以顏色標示，可以看出大害以上損壞比例最高者為民國 64 至 71 年間。另以樓層數分布來看，本次地震低矮型建築物震損較輕微，6 層樓以上建築物有較嚴重的損傷程度(圖 8)。

20180206 花蓮地震震損建物資料庫

檢視資料



摘要

台灣時間2018年2月6日23時50分42.6秒於花蓮縣近海（花蓮縣政府北偏東方18.3公里）發生芮氏規模ML6.26之地震，花蓮市、宜蘭南澳皆觀測到7級震度。地震後，國家地震工程研究中心(NCREE)和國立台灣大學師生組成勘災團隊前往花蓮市區進行現地勘災調查，蒐集鋼筋混凝土造及加強磚造之震損建物資料。本震損建物資料庫共蒐集了51筆資料，資料內容可分成建築物基本資料、結構資料、震損資料等。

圖2 花蓮地震震損建築物資料庫[1]

地震事件	案例編號	縣市	鄉鎮區	經度	緯度	建造年代	使用類別	損害程度	詳細資料	附件
20180206 花蓮地震	A12	花蓮縣	花蓮市	121.608264	23.974917		民宅	中害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B01	花蓮縣	花蓮市	121.608919	23.994411		民宅		檢視	下載
20180206 花蓮地震	B02	花蓮縣	花蓮市	121.608817	23.994542	1992	民宅	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B03	花蓮縣	花蓮市	121.608811	23.994414	1993	民宅	中害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B04	花蓮縣	花蓮市	121.631036	23.992153	1997	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B05	花蓮縣	花蓮市	121.631036	23.992153	1993	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B06	花蓮縣	花蓮市	121.631036	23.992153	2009	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B07	花蓮縣	花蓮市	121.610592	23.979811	1987	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B08	花蓮縣	花蓮市	121.612433	23.976936	1998	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B09	花蓮縣	花蓮市	121.612433	23.976936	1992	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B10	花蓮縣	花蓮市	121.612433	23.976936	1996	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B11	花蓮縣	花蓮市	121.606142	23.971208	1976	學校	無害	檢視	下載
20180206 花蓮地震	B12	花蓮縣	花蓮市	121.606142	23.971208	1984	學校	無害	檢視	下載

資料筆數：49 [下載CSV](#)

圖3 花蓮地震建築物資料庫第一層資料[1]



街屋型式	特殊結構	構造類別	地上樓層數	地下樓層數	總樓地板面積 (cm ²)	建物總高度 (cm)	第一層高度 (cm)
	**	鋼筋混凝土	6	0	36433125	1858	358

柱總截面積 ΣAc (cm ²)	EW開口磚牆截面積 ΣAbw3 (cm ²)	EW無開口磚牆截面積 ΣAbw4 (cm ²)	EW開口RC牆截面積 ΣArcw3 (cm ²)	EW無開口RC牆截面積 ΣArcw4 (cm ²)	NS開口磚牆截面積 ΣAbw3 (cm ²)	NS無開口磚牆截面積 ΣAbw4 (cm ²)	NS開口RC牆截面積 ΣArcw3 (cm ²)	NS無開口RC牆截面積 ΣArcw4 (cm ²)
65750	0	0	11325	5737.5	0	0	0	0

三角窗扭轉效應 q1	軟弱層 q2	興建年代 q3	極矩柱效應 q4	Q
1.00	1.00	0.90	1.00	0.900

EW地震紀錄 Arec_EW (g)	NS地震紀錄 Arec_NS (g)	Geo.Meam 地震紀錄 (g)	耐震容量 ApX (g)	耐震容量 ApY (g)	Min Ap (g)	耐震需求 AT=0.4Sds	基本耐震性能 E=AP/AT	耐震指標 Is
n/a	n/a	0.208	0.002	0.091	0.000	0.0000	0	0

圖4 花蓮地震建築物資料庫第二層資料[1]

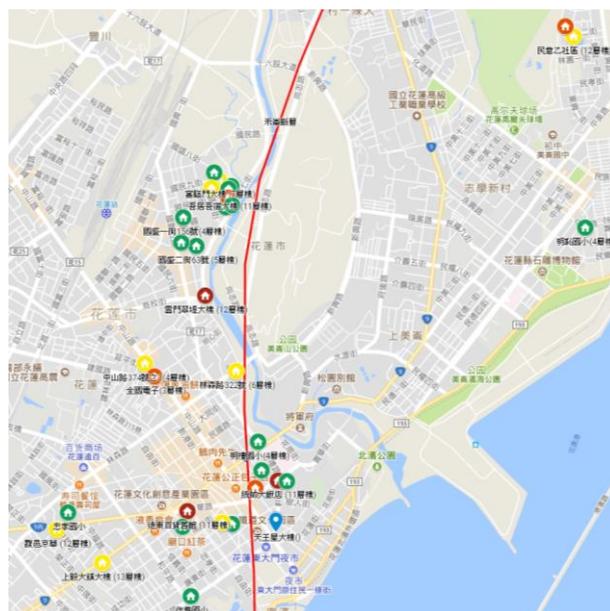


圖5 震損建築物分布在米崙斷層兩側

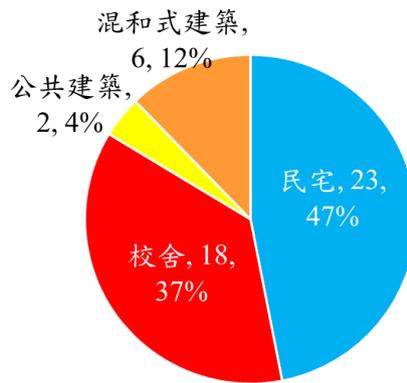


圖6 建物使用類別

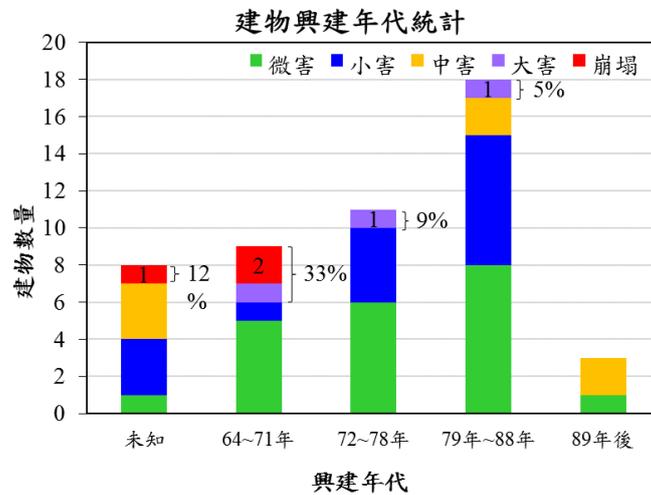


圖7 建物興建年代對震損程度數量之統計

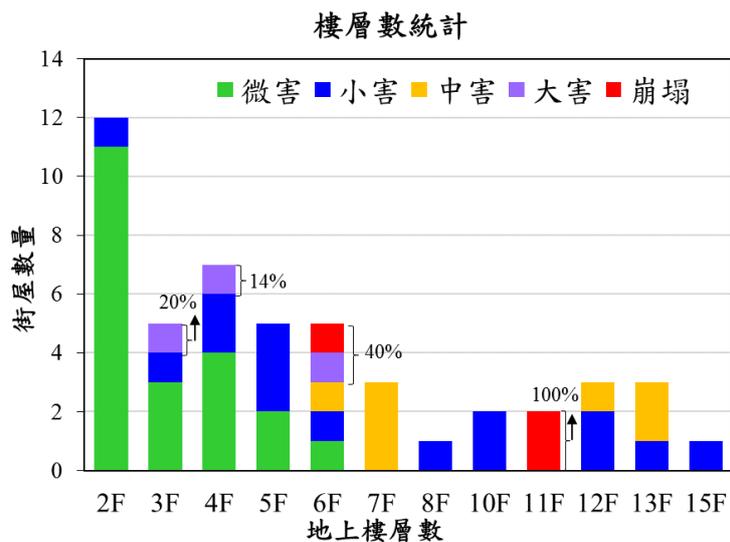


圖8 建物樓層數對震損程度數量之統計

三、耐震初評指標

3.1 NCREE 耐震能力初步評估指標 I_s

國震中心的耐震初評指標[2]為耐震容量與耐震需求的比值，其中耐震容量由建築物的結構構材強度與韌性提供；耐震需求則根據建築物場址的地震危害風險度決定，可根據建築物耐震設計規範決定之。宋嘉誠等人[4]以國震中心的校舍耐震能力詳細評估資料庫進行統計分析，提出以底層柱牆面積對總樓地板面積的比值，推估整棟建築物的耐震性能地表加速度的經驗回歸公式，如式(1)：

$$\begin{cases} A_p = \frac{100CFR_{eq} - 0.4 + 0.05N_f}{1.62 - 0.24N_f}, & CFR_{eq} \geq (0.4 - 0.05N_f)\% \\ A_p = 0 & , CFR_{eq} < (0.4 - 0.05N_f)\% \end{cases} \quad (1)$$

其中：

A_p ：建築物的性能地表加速度(即耐震容量)

N_f ：建築物的樓層數，超過 4 層樓以上以 4 層樓計算。

CFR_{eq} ：等效柱量比，依式(2)計算。其中以柱的單位面積側向強度為基準，其權重係數為 1.0，牆構件的強度則以柱的強度正規化，得牆構件的強度權重係數。其中在構架線內的牆才視為有效的牆面積，不在構架線內的牆則忽略不計。各類構件之單位面積側向強度可參考[4-6]。

$$CFR_{eq} = \frac{\sum A_c + 2.36\sum A_{rcw4} + 1.35\sum A_{rcw3} + 0.45\sum A_{bw4} + 0.36\sum A_{bw3}}{\sum A_f} \quad (2)$$

其中：

$\sum A_c$ ：為評估層之 RC 柱斷面積總和

$\sum A_{rcw4}$ ：為評估層之無開口 RC 牆斷面積總和

$\sum A_{rcw3}$ ：為評估層之有開口 RC 牆斷面積總和

$\sum A_{bw4}$ ：為評估層之無開口磚牆斷面積總和

$\sum A_{bw3}$ ：為評估層之有開口磚牆斷面積總和

為了反映結構系統與經年老化，所以利用四種調整因子對基本耐震性能做修正，分別為三角窗扭轉效應 q_1 ，當建物雙向有騎樓為 0.9，僅單向有騎樓為 1.0。興建年代 q_2 ，主要劃分時間受耐震法規影響，當建物建於民國 63 年以前為 0.9，建於民國 64~71 年為 0.95，建於民國 72~88 年為 1.0，建於民國 89 以後為 1.05。軟弱底層 q_3 ，當建物底層有牆體中斷為 0.9，底層無牆體中斷為 1.0。短柱效應 $q_4 = (1 - \text{極短柱占整體柱量之比例})$ ，其值不得小於 0.5。將四種調整因子相成可以得知總調整因子 Q ，如式(3)所示。

$$Q = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \quad (3)$$

至於耐震需求 A_T 與建築物場址的地震危害風險度有關，可由建築物耐震設計規範決定之。

以這批資料庫建築物的 GPS 座標，根據台灣建築物耐震設計規範，可定出建築物所在工址的設計譜加速度係數 S_{DS} ，因此耐震需求 A_T 可以工址等效最大地表加速度(EPA)表示，如式(4)

$$A_T = 0.4S_{DS} \quad (4)$$

將耐震容量 A_p 除以耐震需求 A_T 即為基本耐震性能 E ，如式(5)所示。

$$E = \frac{A_p}{A_T} = \frac{\min(A_{px}, A_{py})}{A_T} \quad (5)$$

其中：

A_{px} ：建築物 X 向之耐震容量

A_{py} ：建築物 Y 向之耐震容量

最後，耐震初評指標 I_S 則為基本耐震性能 E 乘以總調整因子 Q ，如式(6)所示。為了方便比較排序，計算中會將式(6)計算出之 I_S 值乘以 100 進行放大，若 I_S 大於等於 100 分表示耐震能力暫無疑慮，小於 100 分表示耐震能力有疑慮。

$$I_S = E \times Q \times 100 \quad (6)$$

3.2 美國的耐震初評指標(PI)

Hassan and Sozen [3]從各國歷年來大地震的震損資料中，統計歸納出柱牆量與震損程度的關係，提出建築物的耐震初評指標 PI 可以柱量指標及牆量指標表示，如式(7)所示。

$$PI = CI + WI \quad (7)$$

其中

CI：柱量指標(Column Index)，以式(8)計算

WI：牆量指標(Wall Index)，以式(9)計算

$$CI = \frac{0.5 \sum A_c}{\sum A_f} \quad (8)$$

$$WI = \frac{1.0(\sum A_{rcw4} + \sum A_{rcw3}) + 0.1(\sum A_{bw4} + \sum A_{bw3})}{\sum A_f} \quad (9)$$

有效牆量包含 RC 牆及磚牆，無開口或有開口 RC 牆權重係數皆為 1；無開口或有開口磚牆權重係數則為 0.1。Hassan and Sozen [3]根據土耳其、秘魯、海地、中國和尼泊爾歷次大地震後，建築物受損情形與初評指標的關係發現，當在 $PI \leq 0.25\%$ 時，其發生嚴重震損的機率較高，因此建議 RC 建築物的安全門檻值為 $PI = 0.25\%$ 。

四、分析與討論

4.1 初評指標與震損關聯性

本次花蓮地震建築資料庫有效資料 49 筆，將每筆資料以式(5)及式(6)計算，其中花蓮地區的地震需求 A_r 為 0.4544g 及 0.4384g，可得每棟建築物的耐震初評指標 I_s 。再依每棟建築物實際的震損程度分類，得初評指標 I_s 對震損程度的關聯性，如圖 9 所示。圖中數值代表該類建築的初評指標平均值，微害類的 I_s 平均值 114，小害類的 I_s 平均值 72，中害類的 I_s 平均值 26，大害類的 I_s 平均值 17，崩塌類的 I_s 平均值 11，顯示初評指標 I_s 分數越小，震損程度越嚴重。根據損害等級定義，中害表示有結構性震損。因此橫軸以中害以上為區界，縱軸以 100 分為分界，可以將圖 9 分為四大象限。第 IV 象限內的資料點，表示預測為耐震能力有疑慮，符合實際震損為中度以上；相同的，第 II 象限的資料點，表示預測為耐震能力無疑慮，符合實際震損為小害以下，此兩象限的資料點顯示準確預測率有 59%。第 I 象限的資料點屬誤判，為 0%；第 III 象限的資料點代表保守預測，為 41%。

同理，此 49 筆資料也可以用式(7)計算 Sozen 的初評指標 PI，並依每棟建築物實際的震損程度分類，得初評指標 PI 對震損程度的關聯性，如圖 10 所示。可看出初評指標 PI 分數越低，震損程度越嚴重，顯示柱牆量越低，耐震性能越差。縱軸以 0.25% 為分界，橫軸以中害為區界，可以將圖 10 分為四大象限，顯示有 67% 的資料為準確預測(II+IV)，2% 的資料為誤判(I)，31% 的資料為保守預測(III)。

4.2 初評指標的經濟效益

日本 Otani 教授[7]對世界各地主要大地震中的震損 RC 建築物進行統計，發現 30% 的建築物於大地震中容易發生嚴重損壞，其中包含 10% 的建築物產生倒塌。因此，若地震前能真正篩選出那 30% 會發生嚴重損壞的建築物進行改善或補強，將可完全避免那 10% 會倒塌的建築物發生損失。

變化初評指標門檻值，可看出篩選率的變化。以整體數量中被初評指標標示為有耐震疑慮的比率當水平軸，以實際中度以上損害的數量中，被標示為有耐震疑慮的比率為垂直軸，可繪圖如圖 11。

圖 11 顯示，以 NCREE 的初評指標 I_s 為例，若於花蓮地震前對此 49 棟建築物進行初評，將 I_s 分數排序，對耐震能力較低的前 40% 建築物，標示為需改善或補強(圖 11)。結果發現，這些被標示為需改善或補強的建築物，占花蓮地震中有發生中度以上震損建築物的比例可高達 88%。換言之，若地震前對全體四成的建築物進行改善或補強，可避免八成的建築物損失。若改用 Sozen 的初評指標 PI 排序，耐震能力較低的前 40% 建築物，也有占中度以上震損建築物的 85% (圖 11)。顯示此兩種初評指標，都具有很高的經濟效益，篩選出四成的建物進行補強，即可避免八成的損失率。

由另一個角度來看，若要達到避免全數 13 棟中度以上震損建物於花蓮地震中發生損失，即圖 11 中縱軸的 100%，對應發現以 Sozen 的 PI 指標，需對全部建築物的 61% 進行補強(對應於圖 11 中之橫軸)，以 NCREE 的 I_s 指標，則需要對全部建築物的 67% 進行補強。顯示此二種初評方法，若篩選出六成的建物進行補強，即可達完全無損的目標。

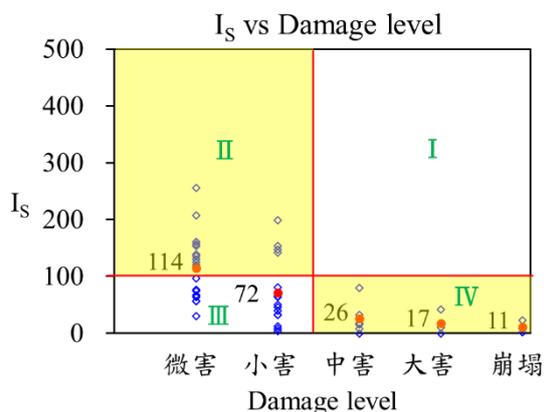


圖9 NCEE初評指標 I_s 和震損程度關係

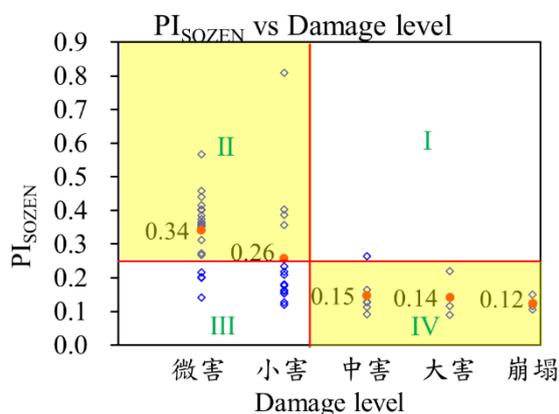


圖10 Sozen初評指標PI和震損程度關係

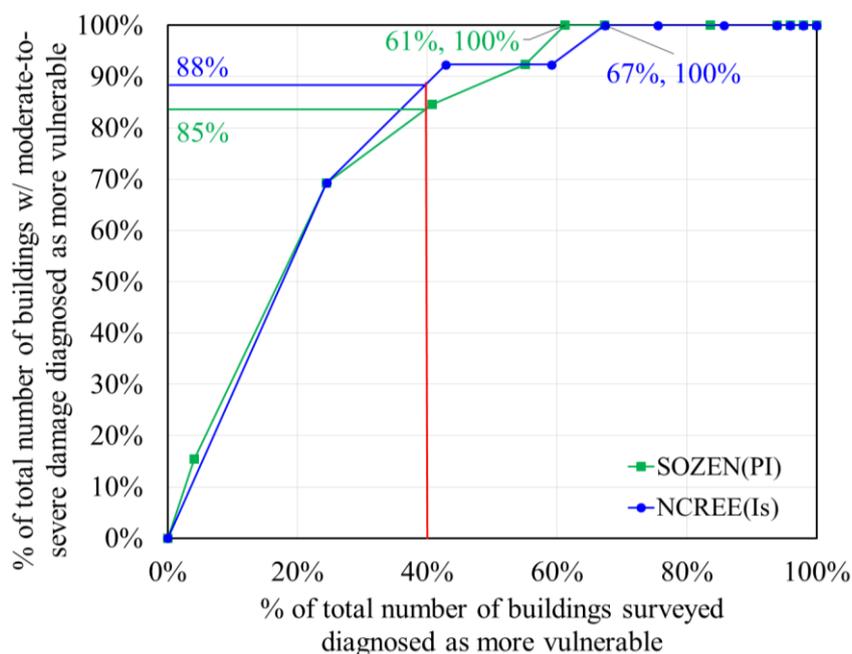


圖11 初評指標經濟效益比較

五、結論

本研究蒐集建築物震損資料，記錄 RC 建築物在花蓮地震下的震損程度，也測繪每棟建築物的建築平面與結構件尺寸，並建置資料庫網頁供後續研究參考。本資料庫顯示，六層以上的建築物於本次花蓮地震中有較嚴重的損害，可能與該次地震特性有關，已另有研究探討[8]。

以花蓮地震震損建築物資料庫對 NCEE 自行研發的耐震初評指標 I_s [2] 驗證，結果顯示 I_s 分數越高，建築物震損越輕微； I_s 分數越低，建築物震損越嚴重，顯示耐震指標 I_s 與實際震損趨勢相近。同時，耐震指標 I_s 對震損程度的預測，準確的有 59%，誤判的有 0% 及保守預測的為 41%。使用 NCEE 的耐震初評指標 I_s 做為篩選工具，只要篩選出四成的建築物進行補強，即可避免八成的損失率，具有良好的經濟效益。

NCEE 的耐震初評指標 I_s [2] 與 Sozen 的初評指標 PI [3] 比較，也有相近的篩選性與經濟性。

此二種獨立開發的初評工具，用同一個震損資料庫驗證，獲得相同的結論。此二方法的共通性為用柱牆量比來評價建築物的耐震性能；不同的是，前者以設計規範訂定耐震需求，後者以勘災經驗建議一個定值。

參考文獻

1. Chiou, T.-C., Ho, Y.-S., Weng, P.-W. and Shen, W.-C., "Building Data of the 20180206 Hualien Earthquake in Taiwan", <https://www.ncree.org/recce/20180206/>, NCREE (2018).
2. Chiou, T.-C., Hwang, S.-J., Chung, L.-L., Tu, Y.-S., Shen, W.-C. and Weng, P.-W., "Preliminary Seismic Assessment of Low-Rise Reinforced Concrete Buildings in Taiwan", 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago, Chile, Paper No. 2977 (2017).
3. Hassan, A. and Sozen, M., "Seismic Vulnerability Assessment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes", *ACI Structural Journal*, Vol. 94, Issue 1, pp. 31-39 (1997).
4. 宋嘉誠，邱聰智，黃世建，「臺灣中小學校舍結構耐震安全柱量比之研究」，國家地震工程研究中心，NCREE-13-031，臺北 (2013)。
5. 邱聰智，「低矮型鋼筋混凝土住宅結構耐震快速評估法之開發與驗證」，博士論文，臺灣大學土木工程學研究所，臺北 (2015)。
6. 蘇耕立，「台灣中小學校舍結構耐震能力初步評估方法之探討」，碩士論文，國立台灣大學土木工程學系，臺北 (2008)。
7. Otani, S., "RC Building Damage Statistics and SDF Response with Design Seismic Force", *Earthquake Spectra*, Vol. 15, No. 3, pp. 485-501 (1999).
8. 鍾立來，翁樸文，蕭輔沛，邱聰智，沈文成，李翼安，黃世建，趙汶欣，楊耀昇，邱建國，「0206 花蓮地震中高樓建築物倒塌之勘察」，*地工技術*，第 156 期，第 35-46 頁 (2018)。