




震前預警系統之建置與震後實體建物結構安全速診之可行性評估

三聯科技股份有限公司／謝志龍 

一、前言

地震在台灣為不可避免的防災宿命，可能不時得面對強震致災之風險與其人員財產之災損，然以現今的科學技術仍無法事前預測地震而先行避難。建築結構常因混凝土老劣化、結構系統改變(裝潢敲除)或地震而發生損傷，進而影響結構物安全與使用功能，造成使用者遭遇危害之風險增加，以2018年0206花蓮地震為例，最大前震(ML5.8)發生於2月4日21時56分40.6秒，在2月6日23時50分的主震(ML6.6)發生前，若我們可以運用完整有效全方位地震防災技術，透過一套可靠的監測系統在地震來臨前提供預警訊息，前震發生時即可分析大樓結構安全現況，主動評估結構是否受損，或許能提早針對結構安全提出警訊並撤離雲門翠堤大樓裡居民以避免此次大樓因主震而倒塌造成民眾生命財產的損失。

二、震前預警與震中速報的原理與方法

許多國家均投入大量人力及設備在發展地震預警的技術，主要技術發展方向可分為區域型地震預警系統、現地型地震預警系統及複合式地震預警系統三種模式，表1為三種地震預警模式比較表。地震預警的方法主要是藉由地震的偵測、地震參數、通訊技術等之整合運

用，本研究系統方法包含三階段作業模式：第一階段地震偵測：針對地震發生的震源、震央位置估算及地震規模估算，此部份由本研究系統監測主機結合中央氣象局強震即時警報網所提供之資訊。第二階段地震預警：利用振動參數推估目標建築物可能發生的地震級數及到達的時間，由本研究系統之監測主機進行運算及推播。第三階段震度速報：利用安裝於目標建築物之加速度型地震儀偵測地震S波到達時，地震儀偵測之最大地表地動加速度PGA值，利用中央氣象局震度分級方式換算成大樓震度級數，推播給大樓住戶即時獲得地震資訊。

1. 地震之偵測與觸發：

中央氣象局地震的觸發模式，係採STA (Short Term Average)與LTA (Long Term Average)之比值是否有超過門檻為觸發機制，STA為地動振幅於短時窗信號平均值(代表地震波的影響)，LTA為地動振幅於長時窗信號平均值(代表背景雜訊)，當STA與LTA之比值超過5.0至6.0之間將會認定此測站為觸發狀態，同一時間內超過5個測站觸發時，即判定為地震事件。

2. 地震位置與規模的計算：

地震規模方面，則是利用P波的振幅Pd與震源距離等相關參數快速決定地震規模 M_{pd} ，當地震規模超過4.5時中央氣象局即發佈強震即時警報。

3. 目標建築物震度估算方式：

震度大小係依地表最大地動加速度PGA(Peak Ground Acceleration)來界定級數，目標建築物PGA估算可透過地震位置、規模及PGA衰減關係式推估，為了為能快速計算以爭取地震預警時間，以及因即時作業取得之參數有限，因此衰減公式在推估計算PGA時，會簡化必要參數的個數，使用的經驗公式如下：

$$PGA=1.657 \times e^{1.533 \times M_{pd}} \times r^{-1.067} \times S_i \quad \text{公式(1)}$$

公式(1)中，PGA為地表最大地動加速度，單位為gal， M_{pd} 為即時警報作業使用Pd參數計算的地震規模，r為震源距離，單位為公里， S_i 為場址效應，場址效應依各地預警區域之地質、地形的條件而不同。

4. 現地震度級數速報：

係利用安裝於建築物之地震儀偵測地震S波到達時之加速度值，本研究系統設定震度級數速報之觸發門檻值參數說明如下：STA短時間視窗時間長度為2秒，LTA長時間視窗時間長度為80秒，觸發判斷模式為 $STA/LTA \geq 3.5$ ，資料採樣率為100Hz，資料記錄長度為全地震歷時含地震前(觸發前)15秒及地震結束後20秒。

STA/LTA之比值超過本系統設定之觸發門檻值3.5時，本系統以B1(地表)地震儀偵測之最大地表地動加速度PGA值，利用中央氣象局震度分級方式換算成大樓震度級數，推播給大樓住戶即時獲得地震資訊，避免不必要之二次災害，同時本研究系統以100Hz量測頻率將B1(地表)及10F(頂樓)包含地震前15秒及地震結束後20秒之地震歷時結構受震加速度數值記錄於監測主機。

▼表1 三種地震預警模式比較表

項目	區域型地震預警系統	現地型地震預警系統	複合式地震預警
地震儀佈設位置	於震央區裝設地震儀	於預警區裝設地震儀	
預警原理	電波比震波快之原理	透過單站P波預估S波震度	1. 整合區域與現地兩種預警模式於同一套系統內 2. 靠近震央地區利用現地型單站預警模式 3. 地震盲區外地區利用區域型預警模式
地震參數	需先決定震央、震度及深度	不需先決定震源的參數	
計算公式	震波傳遞衰減公式	現地Pd及 τ_c 計算公式	
計算時間	約20秒	約10秒	
地震盲區	70公里	30公里	
預警成效	震度及倒數秒數	震度	

三、震後結構安全速診的原理與方法

當建築物的結構邊界條件或建築物的組成材料發生變化時，其結構系統之自然頻率、週期、勁度、阻尼、模態、振形等會隨之改變，當結構受損時其勁度與自然頻率會下降、週期加大、裂縫增多造成阻尼加大、模態與振形亦會隨之改變，利用振動方式進行結構物健康監測(SHM)，以檢測結構是否損傷或退化在國內外已廣泛使用。本研究震後快速結構安全診斷包含三種評估方法(1)遲滯迴圈線性迴歸分析方法計算建築結構之擬勁度k/m值，(2)FFT快速富利葉轉換方法計算建築物自然頻率，及(3)計算總層間側向位移角，三種方法評估結果以RSHD系統損傷識別指數進行安全判斷。

1. 建築物擬勁度k/m值：

建築物在數學模型中抵抗地震引起的動力結構分析理論上，連續結構系統具有無限多個自由度，但工程上針對建築物抵抗地震引起的

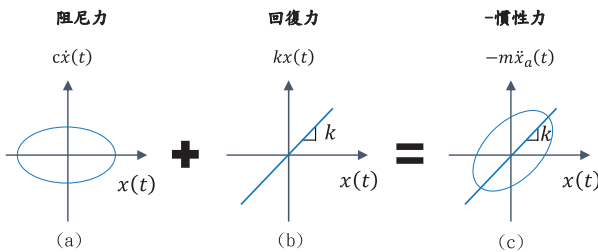


外部載荷的分析會將其自由度的數量做理想化和簡化的減少。本研究引用國立中興大學林錦隆博士、林其璋教授與三聯科技林大鈞於2018年土木防災與環境永續研討會所發表之「建築結構健康監測之快篩方法」，為了達到能在地震後對建築物的結構進行是否安全的快速診斷方法，本研究方法僅考慮建築結構是由第一模態行為所主導控制，依牛頓第二運動定律 $F=ma$ 及層間力平衡方程式：

$$m\ddot{x}_a(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad \text{公式(2)}$$

公式(2)中 m = 建築物質量， c = 建築物阻尼係數， k = 建築物橫向勁度， $x(t)$ = 建築物相對地表位移(cm)， $\dot{x}(t)$ = 建築物相對地表速度(cm/sec)， $\ddot{x}_a(t)$ = 建築物頂樓絕對加速度(cm/sec²)。

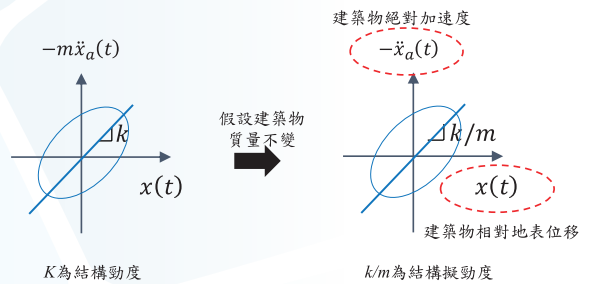
公式(2)可以轉換成 $c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_a(t)$ ，其代表意義為 阻尼力 + 回復力 = 慣性力，假設建築系統是線性的，圖1分別為 阻尼力、回復力及慣性力之力與位移之關係圖。



▲ 圖1 力與位移之關係圖[林錦隆等人，2018]

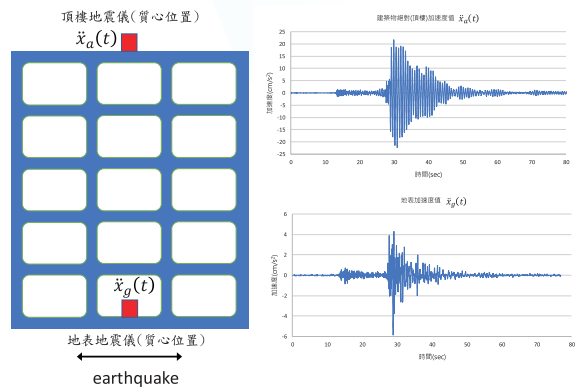
利用圖1(C) -慣性力之力與位移關係圖，透過遲滯迴圈線性迴歸分析方法計算之斜率值即為建築物勁度 k 值，假設建築物質量 m 保持不變，即圖1(C)在不考慮建築物質量 m 變化條件

下可轉換成圖2計算建築物擬勁度 k/m 值，觀察擬勁度 k/m 值的變化等同於觀察結構整體勁度 k 值的變化。



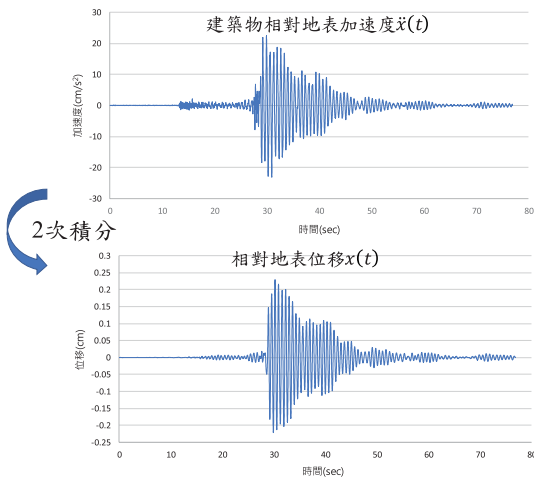
▲ 圖2 勁度 k 值與擬勁度 k/m 值[林錦隆等人，2018]

將圖3建築物頂樓加速度值 $\ddot{x}_a(t)$ - 地表加速度值 $\ddot{x}_g(t)$ = 建築物相對地表加速度 $\ddot{x}(t)$ ，再進行2次積分即可計算出建築物相對地表位移 $x(t)$ 。

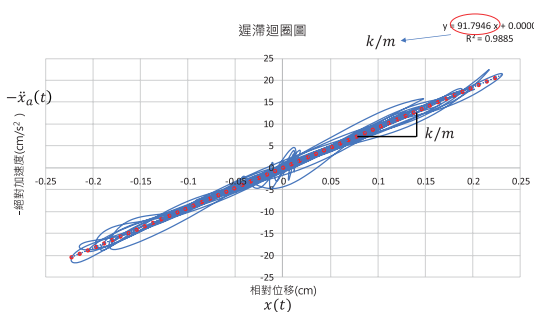


▲ 圖3 建築物頂樓及地表加速度值圖

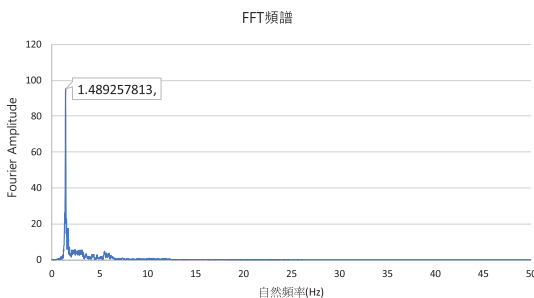
如圖4所示。依本研究建築系統特性，使用帶通濾波在小於0.5Hz及大於20Hz濾波條件下，圖5以遲滯迴圈線性迴歸最小平方分析方法得到 $y=91.7946x+0.0000$ 線性迴歸方程式，其中91.7946為線性迴歸趨勢線之斜率亦即為建築物擬勁度 k/m 值。



▲ 圖4 建築物相對地表位移



▲ 圖5 遲滯迴圈線性迴歸分析



▲ 圖6 傅利葉轉換自然頻率

2. 建築物自然頻率：

地震震波歷史資料不容易直接判斷其頻率之特性，所以一般會將波形訊號從時間域轉成為頻率域之頻譜函數以進行頻譜分析，快速富利葉轉換(FFT)為最常使用之頻譜分析方法，由頻譜分析圖形及最大尖峰位置即可簡單判斷結

構之主要自然頻率。圖6依本研究建築系統特性，使用帶通濾波(Bandpass filter)在小於0.5Hz及大於20Hz濾波條件下，以8196採樣點數進行傅利葉轉換以求得第一模態之自然頻率。另透過頂樓絕對加速度 $\ddot{x}_a(t)$ 與相對位移 $x(t)$ 以遲滯迴圈線性回歸分析方法計算之 k/m 值，可以透過公式 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi f$ 計算其自然頻率 f ，並與FFT求得之自然頻率進行比對分析。

3. 建築物總層間相對側向位移角：

建築物在受地震力影響下建築結構會產生側向位移的現象，建築物變位角過大，可能會造成建築物結構體與非結構體之損害，依內政部100.1.19台內營字第0990810250號令「建築物耐震設計規範及解說」第2.16.1容許層間相對側向位移角中規定，在地震力作用下，每一樓層與其上、下鄰層之相對側向位移除以層高，即層間相對側向位移角應有所限制，其值不得超過0.005(5/1000)。本研究採建築物總層間相對位移角方式進行第三項評估，即計算頂樓與地面之相對側向位移角。透過頂樓加速度 $\ddot{x}_a(t)$ 與地面加速度 $\ddot{x}_g(t)$ 計算之相對加速度 $\ddot{x}(t)$ 進行二次積分，即可計算頂樓與地面相對側向位移 $x(t)$ 與樓高 h 之比值，其值即總層間相對側向位移角 $x(t)/h$ 應小於0.005(5/1000)。

4. RSHD系統損傷識別方法：

本研究以RSHD(Rapid Structure Health Diagnosis)指數來表示建築物損傷程度以進行結果評估分析，其定義為建築物擬勁度 k/m 值、自然頻率及總層間位移角建議初始值與地震後數值的變化率，0%表示完全未損傷，100%表示完全受損，公式(3)~公式(5)分別計算擬勁度、自然頻率及總層間位移角之RSHD，其計算



方式如下：

$$\text{擬勁度 } RSHD = \frac{k/m_0 - k/m_1}{k/m_0} \quad \text{公式(3)}$$

$$\text{自然頻率 } RSHD = \frac{f_0 - f_1}{f_0} \quad \text{公式(4)}$$

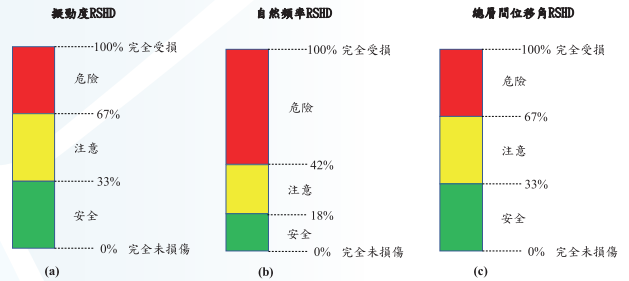
$$\text{總層間位移角 } RSHD = \frac{x(t)/h_1}{5/1000} \quad \text{公式(5)}$$

公式(3)中 $\frac{k}{m_0}$ 為建築物初始物擬勁度， $\frac{k}{m_1}$ 為每次地震後計算之建築物擬勁度。

公式(4)中 f_0 為建築物初始自然頻率， f_1 為每次地震後計算之建築物自然頻率。

公式(5)中 $\frac{x(t)}{h_1}$ 為每次地震後計算之建築物總層間位移角。

為容易判別建築結構之損傷程度及突顯不同程度或危險的讀數，需對RSHD系統損傷識別結果設定一個警告程度值，並且依損壞程度由小至大分別給予 燈表示安全、黃燈表示注意、紅燈表示危險之三個等級的燈號警示，當RSHD指數高於設定之警告值時即表示此結構有受損之疑慮。本研究引用姚昭智與林其璋等人於2005年針對建築物在強震時之反應預估模式研究(II)計劃中所發展之SDI結構勁度損壞指標之警示分級表中不含牆之抗彎矩構架之警告界限值，其中擬勁度RSHD及總層間位移角RSHD兩項損傷指標小於33%為綠燈表示建築結構狀態安全，大於33%且小於67%為黃燈表示結構狀態有損傷之疑慮需注意，大於67%為紅燈表示結構狀態有損傷而危險；另自然頻率RSHD依公式 $f = \sqrt{\frac{k}{m}}/2\pi$ ，顯示自然頻率 f 為擬勁度 k/m 值之平方根關係，即自然頻率RSHD比擬勁度RSHD較不敏感，故自然頻率RSHD警告程度值需依 f 與 k/m 之關係式設定，圖7為本研究三種評估方法RSHD系統損傷識別結果之警示分級。



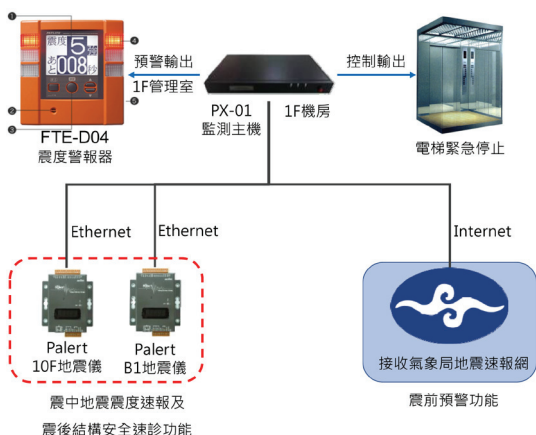
▲ 圖7 三種評估方法RSHD系統損傷識別結果之警示分級

四、實體建物研究系統建置與研究成果

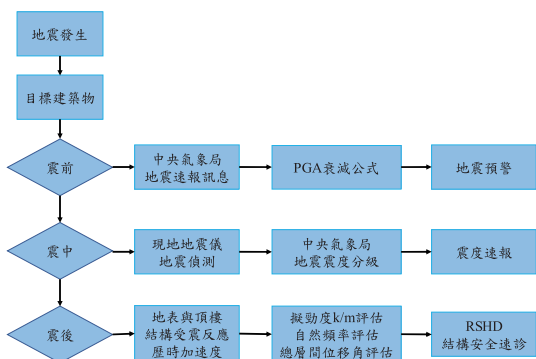
本研究選定臺北市松山區一棟地下三層、地上十層樓之鋼筋混凝土結構新建大樓，本目標建築物依2005年建築物耐震設計規範之臺北盆地微分區劃分位於臺北一區，其一樓高為4.4公尺、二樓至九樓高分別為3.4公尺、十樓為樓中樓挑高6公尺、頂樓三層屋凸高分別為3公尺，建築物總樓高為46.6公尺。本研究規劃於目標建築物B1天花板(地表)及10F天花板(頂樓)質心位置(避免建築系統發生扭轉之影響)各安裝1台三聯科技研發之Palert地震儀，其相對樓高差為37.6公尺，地震儀訊號透過Ethernet實體網路線連接至一樓機房位置之PX-01監測主機並透過NTP網路校時方式以確認兩台地震儀之結構受震反應歷時加速度其記錄時間為同步，監測主機除能接收地震儀之現地地震偵測訊號外並能透過Internet接收中央氣象局發佈之地震速報預警訊息，利用一樓管理中心設置之震度警報器進行各項預警廣播。表2為本研究儀器設備設置原則及數量，圖8為本研究之系統架構圖，本研究震前、震中、震後三階段執行方式說明如下，圖9為本研究之系統評估流程圖。

▼ 表2 本研究儀器設備設置原則及數量

儀器名稱	儀器廠牌	儀器型號	安裝數量	安裝位置
地震儀	SANLIEN	Palert	2	地表質心及頂樓質心
監測主機	SANLIEN	PX-01	1	一樓機房
震度警報器	PATLITE	FTE-D04	1	一樓管理中心



▲ 圖8 本研究系統架構圖



▲ 圖9 震前、震中、震後三階段評估流程

1. 震前地震預警功能：

當地震發生其規模超過4.5，中央氣象局即發佈強震即時警報訊息。本研究系統安裝於一樓機房位置之PX-01監測主機，透過網路即時接收中央氣象局提供之地震速報訊息包含地震發生時間、震央位置、規模及地動參數等資料，立即以PGA衰減公式運算並推估地震到達目標建築物之時間及震度，並透過一樓管理中

心之FTE-D04震度警報器進行地震預警廣播。

2. 震中地震速報功能：

當地震震波到達目標建築物，B1(地表)及10F(頂樓)安裝之Palert地震儀STA/LTA比值同時超過本系統設定之觸發門檻值3.5時，本研究系統以B1(地表)Palert地震儀偵測之最大地表地動加速度PGA值，利用中央氣象局震度分級方式換算成大樓震度級數，並透過一樓管理中心之震度警報器進行地震震度級數廣播，同時以100Hz量測頻率將B1(地表)及10F(頂樓)包含STA/LTA觸發前15秒及地震結束後20秒之地震歷時結構受震加速度數值記錄於PX-01監測主機。

3. 震後結構安全速診功能：

當地震發生後，將記錄於PX-01監測主機之結構受震反應歷時加速度資料，透過擬動度、自然頻率及總層間位移角快速完成結構安全診斷評估。

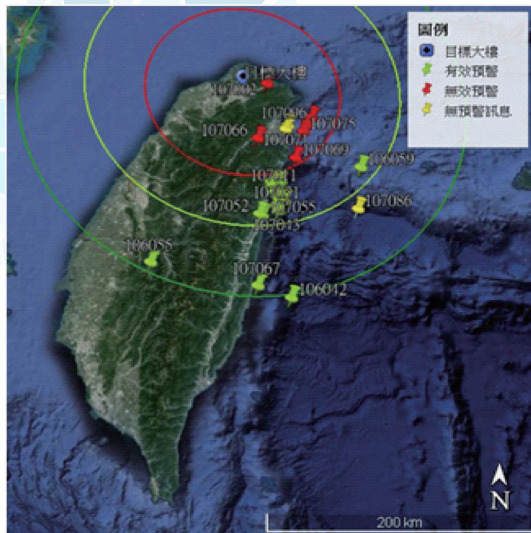
目標建築物地震儀及監測主機等設備於2017年6月安裝完成及上線運轉，本研究資料蒐集期間為106年7月1日至107年6月30日共12個月，依中央氣象局網站查詢此段期間發佈之有感地震報告共128筆(地震編號106032~106060及107001~107099)，其中台北市震度1級以上之地震記錄共33筆。

4. 震前預警及震中震度速報綜合成果分析：

期間本研究系統共接收24筆中央氣象局地震速報訊息，於地震波到達目標建築物前有效完成18筆震前預警推播，另33筆地震記錄於震波到達目標大樓時有效推播30筆地震震度速報，依地震記錄顯示，本研究系統在震央距離目標建築物約65公里範圍內為地震盲區無預警時間，震央距離目標建築物約65公里~115公里範圍預警時間約1~10秒，震央距離目標建築



物115公里~175公里範圍預警時間約10秒~30秒，依上述資料顯示，本研究系統在地震盲區外可有效完成震前預警及地震速報功能，圖10為期間地震震央位置與目標大樓預警時間。



▲ 圖10 106年7月1日至107年6月30日地震震央位置與目標大樓預警時間

5. 震後快速結構安全診斷綜合成果分析：

本研究針對震後快速結構安全診斷以106年7月至107年6月台北市震度1級以上之地震波形記錄進行各項研究方法分析，快速結構安全診斷RSHD系統損傷識別指數設定之初始值因序號1~序號3地震力較小，故採2017/11/22下午10:20:00序號4之地震記錄做為RSHD系統損傷識別指數設定之初始基準值。

6. 建築物擬勁度k/m值評估結果：

分別將每次地震波形記錄其絕對加速度值與相對位移值使用擬遲滯迴圈線性迴歸分析方法計算建築結構之擬勁度k/m值，RSHD系統損傷識別指數初始基準值選用2017/11/22下午10:20:00序號4之地震記錄，其EW向初始擬勁度k/m值為91.1688，R²值為0.9932，NS向初始

擬勁度k/m值為175.3193，R²值為0.9587，由R²值顯示序號4地震記錄計算之擬勁度k/m準確可信度，彙整期間之地震波形記錄，表3顯示EW向擬勁度k/m值介於87.0131~95.3722，RSHD系統損傷識別指數最大值为4.56%遠小於注意值33%，其警示分級判定為綠燈安全，NS向擬勁度k/m值介於169.0289~191.9954，RSHD系統損傷識別指數最大值为3.59%遠小於注意值33%，其警示分級判定為綠燈安全。

▼ 表3 擬勁度k/m及RSHD系統損傷識別指數分析成果彙整表

說明		發生時間	擬勁度k/m	R ²	RSHD指數
EW向	初始基準值	2017/11/22 下午10:20:00	91.1688	0.9932	---
	期間資料	2017/7/1~ 2018/6/30	87.0131~ 95.3722	0.915~ 0.9951	0%~ 4.56%
	最大變化	2018/2/7 上午03:15:00	87.0131	0.9867	4.56%
NS向	初始基準值	2017/11/22 下午10:20:00	175.3193	0.9587	---
	期間資料	2017/7/1~ 2018/6/30	169.0289~ 191.9954	0.8495~ 0.9852	0%~ 3.59%
	最大變化	2018/2/4 下午11:33:00	169.0289	0.9087	3.59%

7. 建築物自然頻率評估結果：

分別將每次地震波形記錄其頂樓(10F)之震動加速度值透過快速富利葉FFT轉換頻譜分析方法求取目標建築物之自然頻率，RSHD系統損傷識別指數初始基準值選用2017/11/22下午10:20:00序號4之地震記錄，其EW向自然頻率為1.5015Hz，NS向自然頻率為2.1240Hz，彙整期間之地震波形記錄，表4顯示EW向自然頻率介於1.4404Hz~1.5869Hz，RSHD系統損傷識別指數最大值为4.07%遠小於注意值18%，其警示分級判定為綠燈安全，NS向自然頻率介於2.0142Hz~2.2827Hz，RSHD系統損傷識別指數最大值为5.17%遠小於注意值18%，其警示分

級判定為綠燈安全。

▼表4 自然頻率及RSHD系統損傷識別指數分析成果彙整表

說明	發生時間	自然頻率	RSHD指數	
EW向	初始基準值	2017/11/22 下午10:20:00	1.5015Hz	---
	期間資料	2017/7/1~ 2018/6/30	1.4038Hz~ 1.5869Hz	0%~ 4.07%
	最大變化	2018/2/5 下午11:58:00	1.4404Hz	4.07%
NS向	初始基準值	2017/11/22 下午10:20:00	2.1240Hz	---
	期間資料	2017/7/1~ 2018/6/30	2.0142Hz~ 2.2827Hz	0%~ 5.17%
	最大變化	2018/3/6 下午05:42:00	2.0142Hz	5.17%

8. 建築物總層間相對側向位移角評估結果：

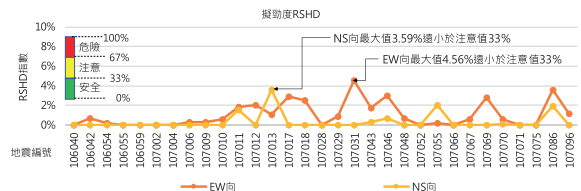
分別將每次地震波形記錄其頂樓(10F)與地表(B1)之加速度數值透過二次積分計算其相對側向位移差與樓高3760cm之比值計算建築結構之總層間相對側向位移角，彙整期間之地震波形記錄，表5顯示EW向總層間相對側向位移角介於0.0033‰~0.0614‰間小於5‰，RSHD系統損傷識別指數最大值为1.23%遠小於注意值33%，其警示分級判定為綠燈安全，NS向總層間相對側向位移角介於0.0011‰~0.0161‰間小於5‰，RSHD系統損傷識別指數最大值为0.32%遠小於注意值33%，其警示分級判定為綠燈安全。

▼表5 總層間側向位移角及RSHD系統損傷識別指數分析成果彙整表

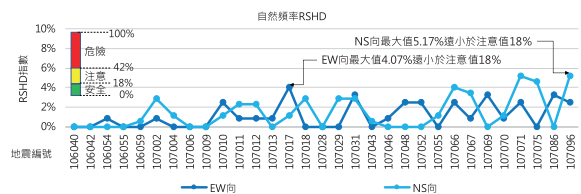
說明	發生時間	總層間位移角	RSHD指數	
EW向	期間資料	2017/7/1~ 2018/6/30	0.0033‰~ 0.0614‰	0.07%~ 1.23%
	最大變化	2018/1/17 下午01:59:00	0.0614‰	1.23%
NS向	期間資料	2017/7/1~ 2018/6/30	0.0011‰~ 0.0161‰	0.02%~ 0.32%
	最大變化	2018/2/7 下午11:21:00	0.0161‰	0.32%

9. 震後快速結構安全診斷綜合成果分析：

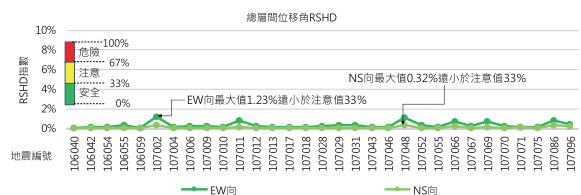
彙整本研究評估結果，採用擬勁度k/m擬遲滯迴圈線性迴歸分析評估方法，擬勁度RSHD系統損傷識別指數最大值NS向為4.56%、EW向為3.59%。採用自然頻率快速富利葉FFT轉換頻譜分析評估方法，自然頻率RSHD系統損傷識別指數最大值NS向為4.07%、EW向為5.17%。採用總層間相對側向位移角分析評估方法，總層間位移角RSHD系統損傷識別指數最大值NS向為1.23%、EW向為0.32%。圖11~圖14彙整擬勁度、自然頻率及總層間位移角三種評估方法之RSHD系統損傷識別指數其值皆遠小於注意值，三種評估方法評估目標建築物結果其警示分級皆判定為綠燈安全，顯示本目標建築物106年7月1日至107年6月30日期間結構系統無損傷之疑慮，與目標建築物實際現況一致。



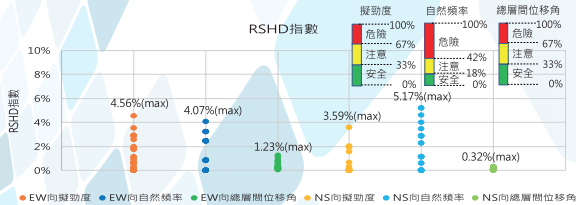
▲圖11 擬勁度評估方法RSHD系統損傷識別指數變化曲線圖



▲圖12 自然頻率FFT轉換頻譜分析評估方法RSHD系統損傷識別指數變化曲線圖



▲圖13 總層間位移角評估方法RSHD系統損傷識別指數變化曲線圖



▲ 圖14 三種評估方法RSHD系統損傷識別指數變化區間

五、結語

本研究彙整106年7月1日至107年6月30日共12個月期間33筆震度1級以上地震，並提出以下結論：

1. 本研究於臺北一區一棟地下三層、地上十層樓之鋼筋混凝土結構新建大樓的B1(地表)及10F(頂樓)各安裝一台地震儀與一套監測主機及震度警報器即可有效完成震前預警、震中地震速報及震後快速結構安全診斷等三階段設定目標，依此說明本研究系統使用之方法及架構可實際運用於混凝土結構中高層建築。
2. 震前預警成果：本研究系統於現地設立監測主機接收中央氣象局強震即時警報訊息，有效快速完成震前預警警報推播，研究期間共接收中央氣象局於地震發生時提供之24筆強震即時警報訊息，透過現地監測主機及衰減公式運算，除6筆位震央距離目標建築物65公里之地震盲區內無法於震前推播預警警報，其餘18筆有效完成震前預警警報推播。
3. 震中現地地震度級數速報成果：本研究系統利用現地安裝之地震儀及震度警報器，有效完成30筆現地地震速報推播，即時讓目標建築

物住戶了解地震大小，避免因恐慌造成不必要的損傷或二次災害。

4. 震後快速結構安全診斷成果：本研究系統透過震後B1(地表)及10F(頂樓)地震波形記錄，即可透過簡單之力學公式分別計算建築物結構之擬勁度k/m值、自然頻率及總層間側向位移角三種模式複合評估，並以RSHD系統損傷識別指數進行快速結構安全診斷結果與目標建築物現況相符。

☒ 參考文獻

- [1] Lin, G. L., C. C. Lin and D. J. Lin, "A rapid screening indicator for health monitoring of seismically-excited building structure," The Third Computational Mechanics Conference in Taiwan, Taiwan, October 19-20, 2017.
- [2] 中央氣象局，「103年8月強震即時警報作業專刊」，2014。
- [3] 吳逸民、楊民、謝佳樺、呂佩玲、陳燕玲、陳達毅，「複合型強震即時警報系統之應用研究」，中央氣象局地震技術報告彙編，2017。
- [4] 林錦隆、林其璋、林大鈞，「建築結構健康監測之快篩方法」，2018土木防災與環境永續研討會，2018。
- [5] 姚昭智、林其璋、洪李陵、朱世禹、吳慶餘、吳建文，「建築物在強震時之反應預估模式研究(II)」，九十四年度防救災專案計畫，2005。
- [6] 蕭乃祺，「台灣即時強地動觀測於地震預警之應用」，博士論文，國立中央大學地球物理研究所，2007。
- [7] 謝志龍，「震前預警系統之建置與震後實體建物結構安全速診之可行性評估」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所，2019。