

內政部建築研究所  
建築工程技術發展與整合應用計畫(二)  
協同研究計畫  
第 2 案  
「應用 AIoT 技術進行建築物安全耐震能  
力評估」  
資料蒐集分析報告

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



內政部建築研究所  
建築工程技術發展與整合應用計畫(二)  
協同研究計畫  
第 2 案  
「應用 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估」  
資料蒐集分析報告

研究主持人：王榮進  
協同主持人：李明濤  
研究員：李台光、黃國倫、周楷峻、林沛暘  
研究助理：陳鵬宇、陳克宜  
研究期程：中華民國 110 年 3 月至 110 年 12 月

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



# 目次

第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機與背景.....	1
第二章 研究內容.....	2
第一節 實證場域選擇.....	2
第二節 設備安裝評估規劃.....	2
第三節 場域驗證分析項目.....	4
第三章 研究發現.....	5
第一節 量測標準流程建立.....	5
第二節 AIoT 建築物安全監測應用方式.....	9
第三節 相關規定檢討.....	11
第四節 後續推動.....	13
第四章 結論與建議.....	15
第一節 結論.....	15
第二節 建議.....	16
參考文獻.....	18
附錄一.....	24
附錄二.....	28
附錄三.....	37



# 中文摘要

王榮進<sup>1</sup>李明濤<sup>2</sup>李台光<sup>3</sup>黃國倫<sup>4</sup>周楷峻<sup>5</sup>林沛暘<sup>6</sup>陳鵬宇<sup>7</sup>陳克宜<sup>8</sup>

**關鍵字：** AI、IoT、結構安全監測

台灣位於環太平洋地震帶板塊交界處，地震發生頻繁，造成民眾生命財產巨大的威脅。而目前 IoT 與 AI 技術日趨成熟，建築物結構安全監測方式也逐步邁入應用階段。故本研究希望能結合 IoT 與 AI 技術，自動蒐集分析建築物在地震前後的結構相關數據，保障民眾生命財產安全。

本研究計畫經由收集國內外 AIoT 技術進行建築物結構安全監測之資料，了解目前可行的建築結構監測與分析方式，並探討 AI 智慧及 IoT 技術結合結構監測與分析之應用範疇，減少監測時所需的人力。此外，本研究遴選一處場域進行建築結構監測分析的實證，分別以長期監測與微振量測兩種方式進行，透過實際監測與數據蒐集，證明以 AI 分析建物結構狀態之可行性，並建立長期監測及微振量測之作業流程。此外，本研究亦藉由法規政策及宣導推廣等面向探討，提出 AIoT 應用於建築結構結構監測的可能推動方式，期待降低未來推動時的阻力。

本研究結合 AIoT 相關技術，自動蒐集建築物在地震前後的結構相關數

---

<sup>1</sup> 內政部建築研究所 所長

<sup>2</sup> 財團法人台灣建築中心 經理

<sup>3</sup> 內政部建築研究所 研究員

<sup>4</sup> 內政部建築研究所 研究員

<sup>5</sup> 內政部建築研究所 研究員

<sup>6</sup> 衛波科技 負責人

<sup>7</sup> 國立中央大學土木工程學系 助理教授

<sup>8</sup> 國立交通大學土木工程學系 碩士

據，同時快速評估可能發生問題的建物，協助用戶或管理單位進行事前準備、災後快速反應及復原措施的參考，藉由智慧化的技術保障人民生命財產安全，打造安居樂業的智慧城市。

# ABSTRACT

**Keywords : AI 、 IoT 、 Structural safety monitoring**

Taiwan is located on the Circum-Pacific belt and at a compressive tectonic boundary, so frequent earthquakes often pose a threat to people's lives and property. As the technologies of IoT and AI have matured over time, applying them to the structural safety monitoring system is increasingly being put into practice. Therefore, this research aims to combine IoT and AI technologies to collect and analyze relevant data of buildings' structure before and after an earthquake, to help better protect people's lives and property.

By collecting structural safety monitoring data gathered and evaluated by AIoT technologies at home and abroad, the research aims to understand current feasible methods for structural safety monitoring and analysis, and to discuss a range of applications of combining AI and IoT technologies for structural monitoring and analyzing, in order to reduce the manpower required for monitoring. In addition, by using long-term monitoring and ambient vibration measurements, the research selects a field to serve as evidence for evaluating structural safety monitoring. Through real-time monitoring and data collection, the research seeks to prove the feasibility of applying AI to analyzing the structural status of buildings, and to establish operational processes for long-term monitoring and ambient vibration measurement. Moreover, by discussing laws and policies as well as dissemination, the research proposes possible ways to promote the application of AIoT to monitor structural safety and hopes to reduce future resistance to adoption of these technologies.

This research adopts relevant AIoT technologies to collect related structural data of buildings before and after an earthquake automatically. Meanwhile, it immediately identifies potential problems in a building to assist the owners and management entities in doing advance preparation, and also serves as a reference for emergency response and restoration measures after accidents. Make use of smart technologies to protect people's lives and property, and to build a smart city so people may enjoy a good and prosperous life.







# 第一章 緒 論

## 第一節 研究動機與背景

在台灣地震頻仍，同時 IoT 與 AI 技術日趨成熟邁入應用階段，如能結合 IoT 與 AI 技術，自動蒐集建築物在地震前後的結構相關數據，同時自動快速評估可能發生問題的建物，協助用戶或管理單位進行事前準備，及災後快速反應及復原措施的參考，將可以智慧化的技術保障人民生命財產安全，打造安居樂業的智慧城市。

本研究希望結合 IoT 與 AI 技術與地震記錄儀自動蒐集建築物在地震前後的結構相關數據，同時自動快速評估可能發生問題的建物，提升效率免去人工實地清查評估，快速地掌握建物狀況。

本研究分別探討運用 AIoT 長期監測及微振量測兩種方式。未來長期監測可透過平時勘檢、震前預警、震中紀錄、震後分析等階段，協助用戶或管理單位進行事前準備，及災後快速反應及復原措施。微振量測則可先建立基礎監測資料，於地震或施工補強後再進行第二次監測，了解建築物結構變化，是否因地震發生風險或因工程確實達到補強效果。具體目的分述如下：

- 一、AIoT 建築物安全監測數值蒐集及通報流程之設置建議研究將以一棟建築物微實證場域，進行 AIoT 地震長期監測及微振量測，並建立監測數據蒐集格式與通報流程之建議。
- 二、確認 AIoT 技術進行耐震能力評估檢查之應用範疇探討 AI 智慧及 IoT 技術進行耐震能力評估檢查之應用範疇，減少建築結構檢查所需人力，提升資料蒐集頻率及震後反應速度。
- 三、AIoT 長期監測可達到震前預警、震中紀錄、震後分析等效益。震前透過網路連線地震警報器進行地震預警，在強震來臨前提早對民眾預警及自動對建築物內之設備進行反應。震中自動紀錄震時建物數據，作為後續大數據分析之應用。震後運用 AIoT 對結構監測結果進行評估，即時將受災情況通報給相關人員，減少檢查人力，補強平時勘檢的頻率。
- 四、推動 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估普及化應用 IoT 與 AI 技術與地震記錄儀自動蒐集數據與節省專業人力的效益，希望能進一步將相關技術推動與普及，擴大整體效益。

## 第二章 研究內容

### 第一節 實證場域選擇

為實證 AIoT 技術對建築物結構安全監測之效益，本研究考量地震頻率發生較高的地區，並以供公眾使用的大型建築為主要類型，選擇宜蘭縣礁溪鄉的一處飯店建築，分別採用安裝地震記錄儀的長期監測與微震測量兩種方式進行操作，基本資訊如下：

- (一) 場域案名：礁溪 00 飯店
- (二) 使用用途：飯店
- (三) 建築區位：宜蘭縣礁溪鄉
- (四) 建築規模：地下 3 層，地上 7 層
- (五) 構造類型：混凝土（含鋼筋混凝土）構造
- (六) 是否有挑高樓層：有

### 第二節 設備安裝評估規劃

#### 一、長期監測

本研究長期監測於實證場域 EPS1 管道間內之 B3 樓底板、挑高底層的樓板(2F 地板)跟頂樓(6F 頂板/7F 底板)分別配置地震儀 1 顆量測加速度值。

其中安裝於 B3 樓的地震儀主要記錄地表的加速度值，安裝於挑高樓層的地震儀監測較有可能發生結構變化的樓層數據，頂樓則是記錄該建築可能出現的最大震動情形。

安裝示意圖如下：

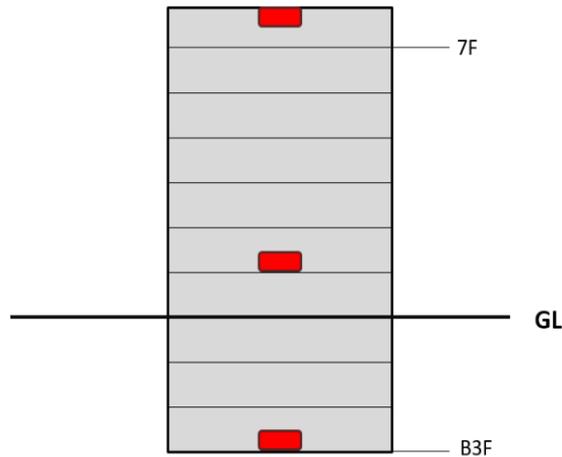


圖 2-1 長期監測地震儀安裝點位示意圖

所有地震儀都將連上網路，以 IoT 的形式自動蒐集數據，所蒐集到的數據再經由 AI 處理後，得到結果。

## 二、微振量測

微振量測則在研究初期先行進行一次微振量測作為基準，待地震事件或補強工程後再一次於建築相同位置進行監測，比較分析數據差異。

微振量測因無須長期安裝監測設備，可循環利用監測儀器，費用較低容易推廣。另因微振數據更為精細易受外部干擾，故建議微振量測採用的監測設備除敏感度較高，配置數量也較長期監測多。測量時也會測量多次，剔除極端值後，確認數據穩定無大幅差異，再取其平均值。監測過程費時約 1 工作天。

本研究微振量測所於宜蘭實證場域安置點位除了長期監測規劃於 EPS1 管道間，1 樓底板、挑高底層的樓板跟頂樓分別配置地震儀 1 顆外，另外於建築其他每一樓層垂直位置皆配置地震儀 1 顆，共計 7 顆，水平位置於頂樓分配三處進行量測

安裝示意圖如下：

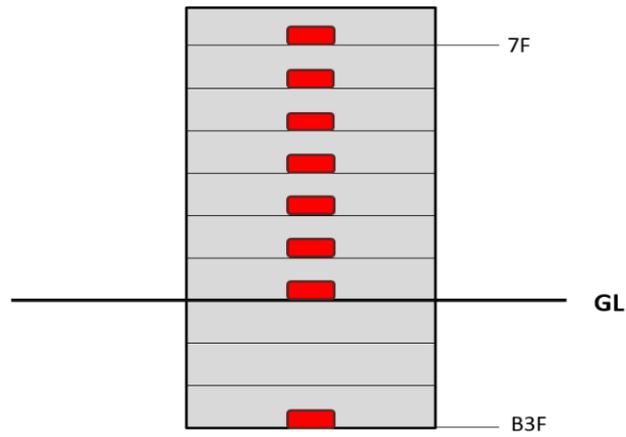


圖 2-2 微振量測地震儀安裝點位示意圖

### 第三節 場域驗證分析項目

長期監測主要是紀錄地震當下結構物的反應，經由記錄結構物震幅、加速度是否超過預設值，或是換算層間變位是否超過法規來判別安全性。

本計畫長期監測地震儀安裝完成後，監測項目包含地表加速度、樓層加速度，並且進行後續分析。預計產出報表內容包含最大震度、最大地表加速度、最大樓層加速度、與結構安全評估。

微振量測因為量測時間僅需一個工作天，設備可循環利用，故本研究設置較多點位，量測較細膩的數據，比較出地震前後、健康的差異。預計產出的為現況報告包含結構物頻率、振形，並於兩次量測比較分析後進行結構安全評估。

# 第三章 研究發現

## 第一節 量測標準流程建立

### 一、長期監測流程

結構長期監測流程如圖 3-1 所示。首先必須先取得欲監測結構相關圖說，依據結構圖說、結構特性進行分析，規劃長期結構監測系統，結構監測系統的規劃，取決於結構特性、監測目的以及建置與維運成本，不同的結構監測系統規劃，其對應可使用的結構分析方法，以及分析成效會有所不同。

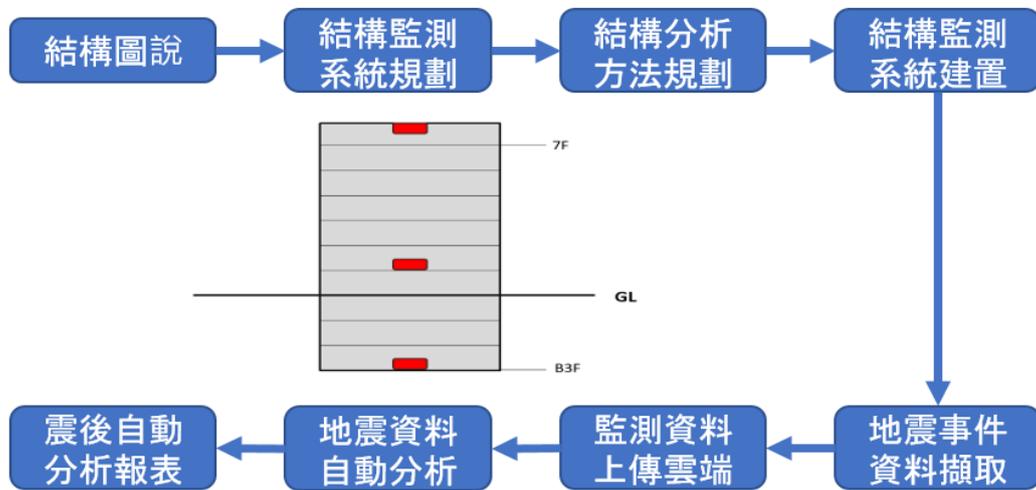


圖 3-1 結構長期監測作業流程圖

依照特殊平面形狀建築，建議感測器平面配置如下圖 3-2：

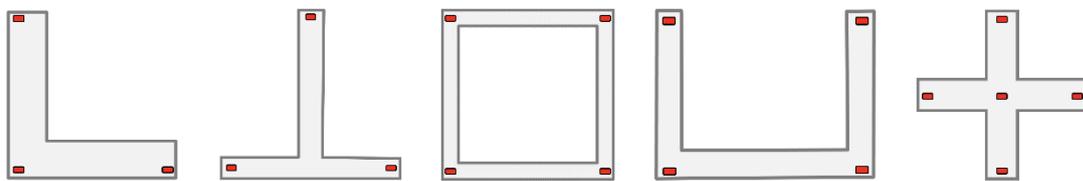


圖 3-2 特殊平面形狀建築，建議感測器平面配置說明圖

對於一般平面形狀建築，建議感測器平面配置如下圖 3-3：。

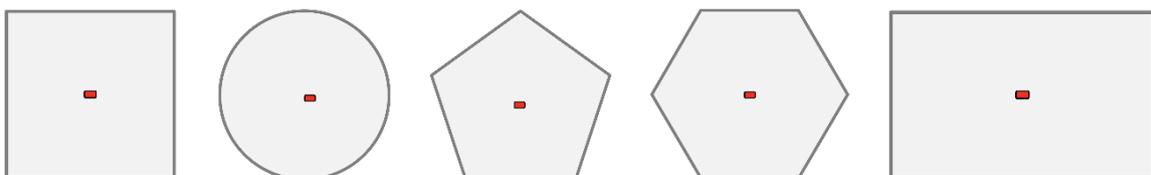


圖 3-3 一般平面形狀建築，建議感測器平面配置說明圖

因應結構平面形狀以及樓層高度，將建築長期監測分為高端型建築長期監測、以及基本型建築長期監測兩類，如圖 3-4：

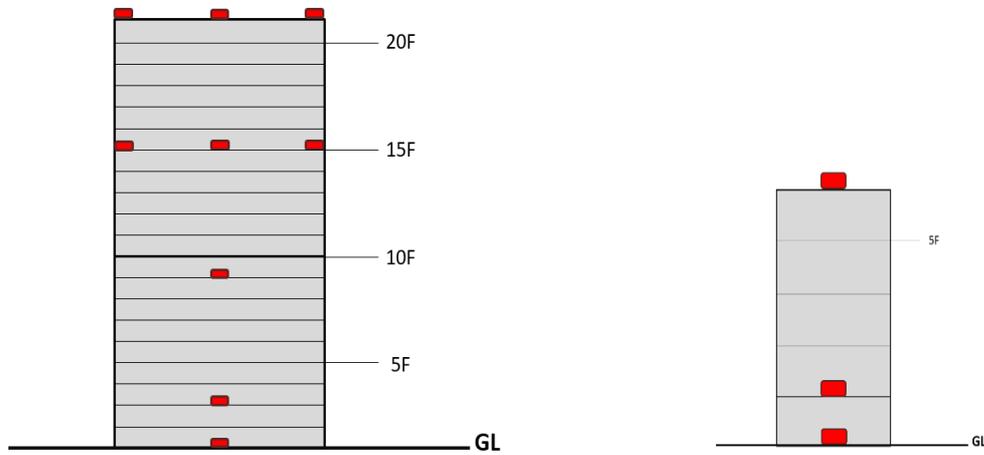


圖 3-4 高端型建築（左）、基本型建築（右）監測系統立面說明圖

監測系統規格：

高端型結構長期監測

- (一)量測型式：三軸向力平衡式加速度計，或速度計
- (二)量測範圍：加速度計( $\pm 1g, \pm 2g$ )
- (三)動態範圍： $>150\text{dB}$
- (四)工作溫度： $-20^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ （或以上）
- (五)防水等級：IP67（或以上）
- (六)AD 解析度：24 位元
- (七)取樣率：200Hz
- (八)監測資料：地震事件（二級以上）、平時事件（每日一筆）

基本型結構長期監測

- (一)量測型式：三軸向微機電式（MEMS）加速度計
- (二)量測範圍：加速度計( $\pm 2g, \pm 4g$ )
- (三)動態範圍： $>100\text{dB}$
- (四)工作溫度： $-20^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ （或以上）
- (五)防水等級：IP67（或以上）
- (六)AD 解析度：24 位元
- (七)取樣率：200Hz
- (八)監測資料：地震事件（二級以上）

## 二、 微振量測流程

微振量測作業流程，大致可分為三部分。第一部分為「量測訊號正規化」如圖 3-5。於固定一個位置，將所有感測器、訊號線路與輯錄系統連結。量測一段時間（兩~五分鐘）的資料。第二部分為「垂直配置量測」如圖 3-6：均勻於各樓層位置（同一水平位置），裝置八組感測器。每個量測配置，量測兩次以上，每次量測時間兩分鐘以上（Sampling Rate 200Hz）。兩筆資料需進行頻率分析，識別出結構主頻(Natural frequency)與振形（mode shape）。第三部分為「水平配置量測」如圖 3-7：考量結構物水平方向頻率常會與扭轉方向耦合(couple)，因此需針對結構的扭轉行為做量測分析。量測位置於結構頂樓，沿結構長向布設三組感測器。將兩端感測器的短向資料相減，進行頻率分析，識別出結構扭轉主頻(Natural frequency)與振形（mode shape）。

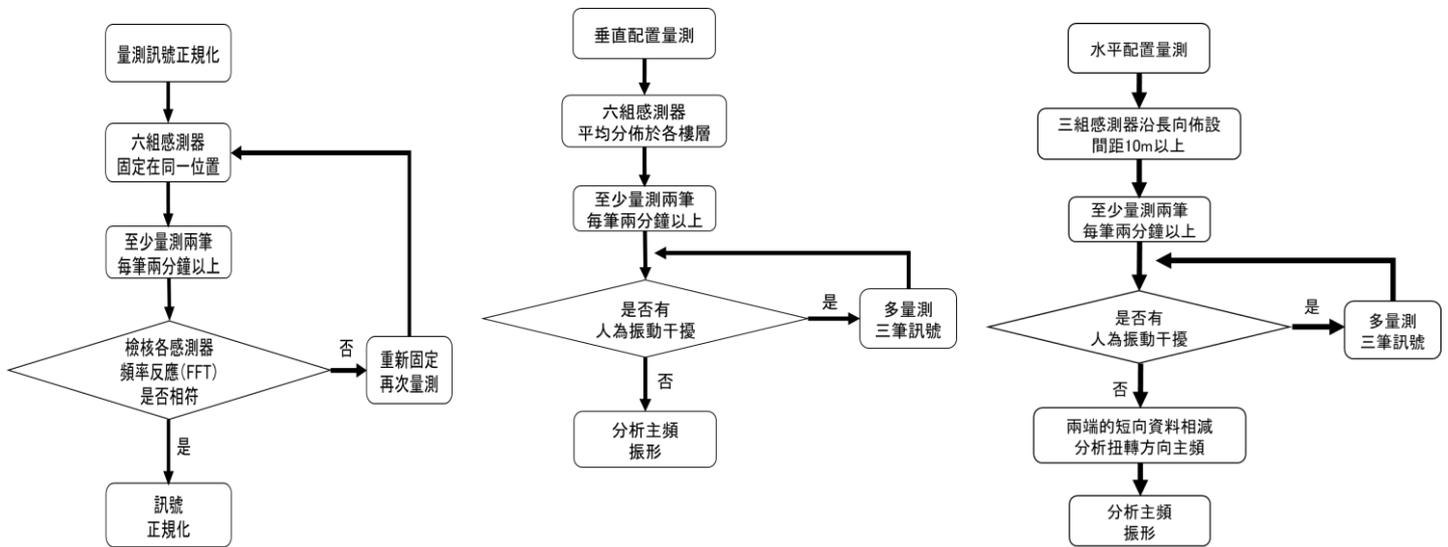
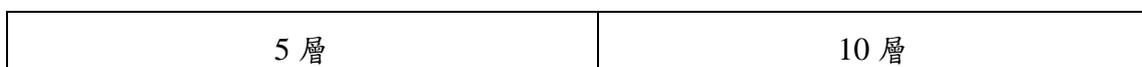


圖 3-5 微振量測訊號正規化流程圖

圖 3-6 垂直配置量測作業流程圖

圖 3-7 水平量測作業流程圖

結構物垂直配置量測，感測器安裝位置，建議於樓板重心附近，也可以沿樓梯佈設。樓層選擇由一樓地板開始（自由場地面高程），到頂樓樓板（不含屋突），均勻在八個高程的樓地板配置感測器。接著將感測器佈設各樓層如圖 3-8 所示，感測器佈設時需固定於結構物表面，可以確實與量測面同步運動。並避免感測器滑動。感測器固定方式視環境狀況，在粗糙表面環境，建議使用蓋平石膏固定。在光滑表面環境，建議使用雙面膠方式固定。雙面膠必須是薄型（厚度 1mm 以下）的雙面膠。



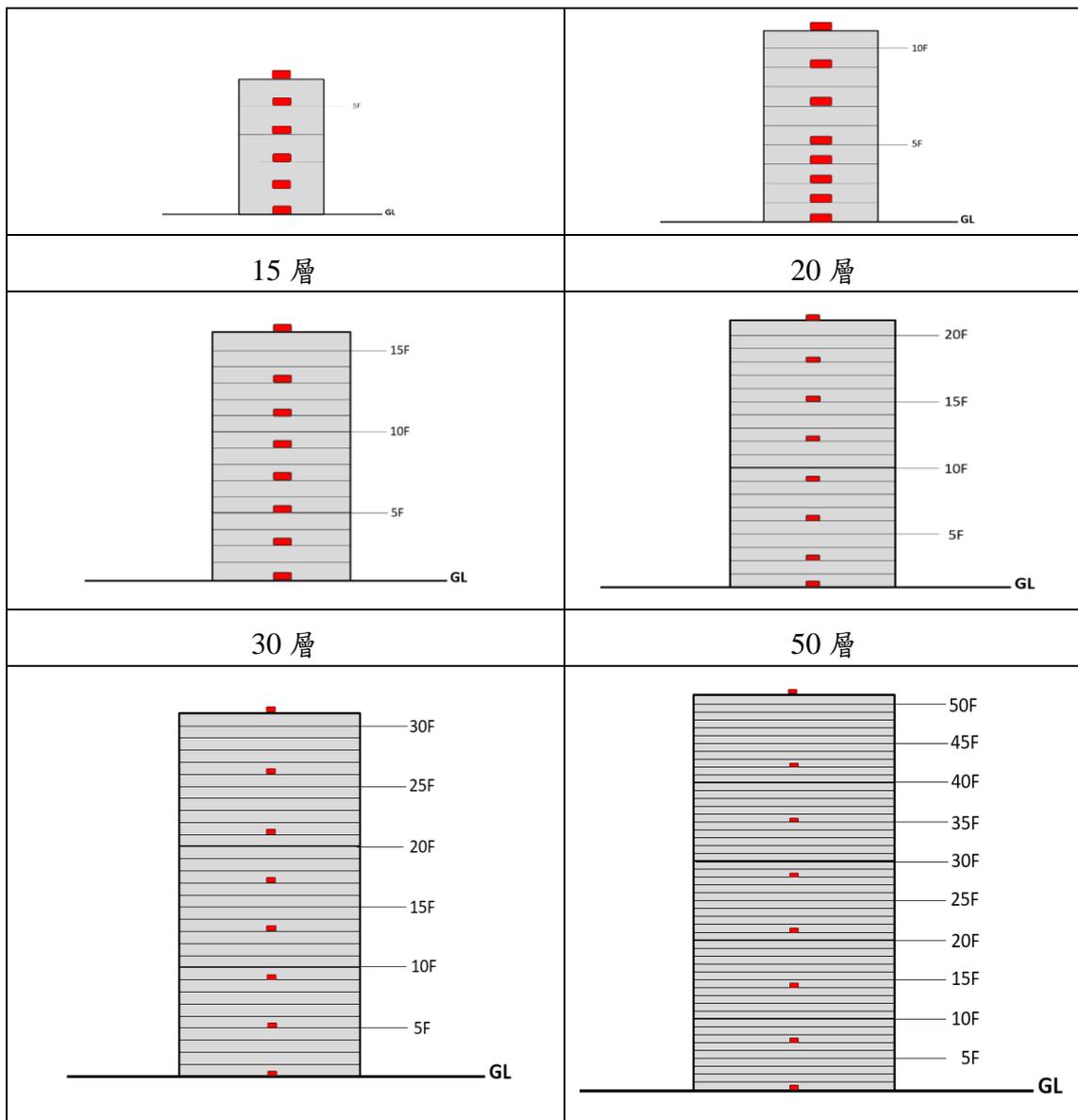
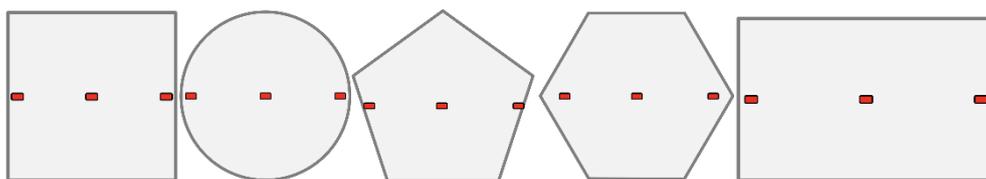


圖 3-8 感測器佈設示意圖(5, 10, 15, 20, 30, 50 層大樓)

結構物水平配置（扭轉向），視目標結構物平面形狀，選擇感測器量測位置。圖 3-9 顯示共 11 種平面形狀下的建築物，其水平配置量測時，感測器配置建議點位如圖中紅色方塊位置。三組感測器（或以上）沿建築物長向佈設，感測器間距 10m 以上。感測器佈設完成後，拍照紀錄，並開始量測，量測至少兩次，每次量測至少兩分鐘，接著將量測訊號後進行系統識別。



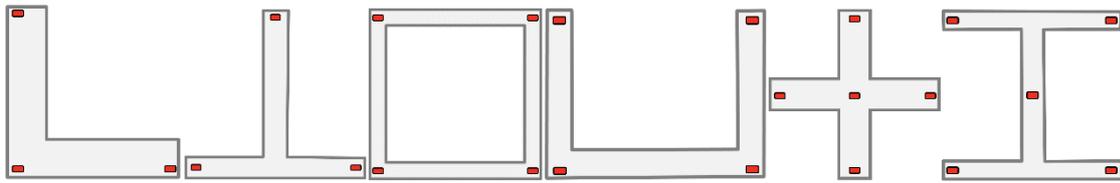


圖 3-9 各種結構平面形狀下，水平配置量測建議點位（紅色點）

微振量測儀器所需要的靈敏度較高，建議採用以下類型及規格進行量測，以達到足夠的準確度。

- (一)量測型式：三軸向力平衡式加速度計，或速度計
- (二)量測範圍：加速度計( $\pm 0.5g, \pm 1g$ )、速度計( $\pm 0.1m/s$ )
- (三)動態範圍： $>140dB$
- (四)工作溫度： $-20^{\circ}C \sim +70^{\circ}C$ （或以上）
- (五)防水等級：IP67（或以上）
- (六)AD 解析度：24 位元
- (七)取樣率：200Hz

## 第二節 AIoT 建築物安全監測應用方式

### 一、建物長期監測應用

#### (一) 震前預警與即時反應

利用可自動連接網路的地震記錄儀，透過網路擷取中央氣象局地震速報網的即時地震速報訊息進行地震預警。民眾可藉此得到寶貴的數秒至數十秒時間進行緊急應變措施，對於公共區域而言，可引導民眾進行疏散或緊急應變，避免造成慌亂推擠或錯失寶貴應變時間。另可將資訊聯繫到建築物設備，如電梯的控制主機可提早將電梯往最近的樓層停靠並且打開電梯門，避免民眾受困於電梯中。天然氣控制則可自動關閉總閥門，避免因為地震造成天然氣外洩，引發火警的風險。

#### (二) 震中紀錄

地震儀隨時監控該建築物經歷所有的大小地震後產生的位移、旋轉和加速度等相關

數據，所記錄的數據除了可以即時提供管理單位做緊急應變之外，也將會累積至資料庫中作為個案與整體的數據分析。

### (三) 震後自動分析

高強度地震後 AI 自動分析建築物的監測數據，快速評估出數據異常的建築物交由專業技師進行進一步的檢測，取代過去由人力普查所有可能建物的方式，精準迅速地將專業人力投注於高風險建築，降低建物在餘震受創的風險。

## 二、建物微振量測應用

### (一) 新建築完工資料建置

微振量測方式是先進行一次微振量測作為基準，事件發生後依照相同的方式再進行一次微振量測與之前測量的基準數值進行比較，便可了解結構是否有遭受損壞。因此微振量測十分適合於新建築物完工時先行測量數據做為基礎資料，已備未來發生地震或其他事件之後，與新測量的數據進行比對快速得到結果。

### (二) 施工後結構強度比較分析

建築物若需要進行結構補強或其他工程，可在工程前先行進行微振量測作為基準，並於工程後重新測量，確認補強工程否有達到預期的效益，或是其他工程沒有影響到結構的強度，作為工程是否順利的依據。

## 三、資料庫建檔與數據應用

個別建築物的地震儀於平時收集數據，建置該建築物於地震發生時的正常變動狀況。若當數據產生異常時，可依據數據變動的位置、項目及幅度協助專業人員進行進一步的分析評估該建物是否有老化、毀損或其他安全疑慮。

若在區域或是全國尺度上，政府端未來可藉由建立資料庫彙整區域或是全國的建築資訊進一步的分析與應用，並可定期邀集專家學者舉行座談會議，針對設備裝設維護方式的優化、蒐集數據的判讀分析、資訊在其他面向應用的可行性、系統軟體開發等議題進行研討，擴大蒐集到的資訊所能帶來的效益。

## 四、維管端建置控制中心

地震儀結合 IoT 技術，擁有資料即時同步的特性。因此當地震儀設置於大規模的建築

物，例如社會住宅、藝文場館等大型公共建設或是大型商辦設施，建置中控中心可協助場地管理單位或是物管公司即時了解所有建築物的結構狀況，並依據累積數據制定建築物長期的維護管理計畫。

中控系統架構初步規劃各建築物設置的地震儀，會將偵測到的數據經由 Web API 的服務，將數值回傳到中心端的建築物災損系統，系統依據檢核結果，在系統畫面上顯示狀態燈號及警示訊息。

## 五、監測資訊傳遞流程

長期監測中所量測的數據，將透過 IoT 設備迅速於觀測端(用戶)、技術分析端與政府端間傳遞，並完成分析成為可用的資訊。

當一定震度以上的地震發生時，觀測端的地震儀將被觸發開始記錄，並透過地震主機傳遞至分析端。分析端藉由 AI 分析快速在十分鐘至數十分鐘的時間內完成建築結構安全分析，並將結果回傳給用戶，並可將資料提供給政府主管機關建置資料庫。

本研究建議初步推廣期間，考慮服務到更多的民眾，建議以供公眾使用的大型建築為主要類型，例如商場、旅館、醫院、學校、政府單位或社會住宅等開始試辦。分析端可由國內具公信力之地震與建築相關專業機構擔任，持續更新建築結構監測模式，如國家實驗研究院國家地震工程研究中心結合財團法人台灣建築中心。政府端可分別由中央主管機關與地方主管機關管理。中央主管機關可藉由整體數據了解國內建築物的安全狀況，規劃相關政策引導建築結構安全提升。地方主管機關則可篩選資料中具風險之建築物，強制督導改善。

## 第三節 相關規定檢討

### 一、「建築物耐震設計規範及解說」相關規定

依據「建築物耐震設計規範及解說」第 11.3 條明定：「主管建築機關得依地震測報主管機關或地震研究機構或建築研究機構之請，規定建築業主於建築物設計建造時，應配合留出適當空間，供地震測報主管機關或地震研究機構或建築研究機構設置地震記錄儀...興建完成之建築物需要設置地震儀者，得依照前項規定辦理。」

故如建築或地震相關研究機構提出申請經主管建築機關同意，即可要求新竣工之建築物或是特定結構類型、特定用途的建築物進行安全監測，並且不限定於新建房屋或是已經完成興建的建物，可據以全面推動 AIoT 建築物安全監測。

## 二、建築物公共安全相關規定

為確保民眾在公共場域的安全，建築法第 77 條規範建築物所有權人、使用人應維護建築物合法使用與其構造及設備安全。另直轄市、縣(市)(局)主管建築機關對於建築物得隨時派員檢查其有關公共安全與公共衛生之構造與設備。供公眾使用之建築物，應由建築物所有權人、使用人定期委託中央主管建築機關認可之專業機構或人員檢查簽證，其檢查簽證結果應向當地主管建築機關申報。非供公眾使用之建築物，經內政部認有必要時亦同。

而「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」進一步規範了應進行安全檢查與申報的範圍。依據「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」第 3 條規定：「建築物公共安全檢查申報範圍如下：一、防火避難設施及設備安全標準檢查。二、耐震能力評估檢查。」明定耐震能力評估檢查為我國建築物公共安全檢查申報範圍。

## 三、耐震標章相關規定

內政部建築研究所已於九十二年度完成「耐震標章」認證制度之設置工作，然而實際執行狀況中，囿於設備及人力等現實因素，後續的檢核多未確實執行，無法了解建物在地震後是否有結構受損的狀況，亦無法即時採取維護措施。若能引進 AIoT 進行建築物自動安全監測，將可提供新的檢核方式，不受人力影響，落實後續檢核的執行。

## 四、耐震與容積獎勵相關規定

耐震在都市更新與危老重建等過程中，都有取得耐震標章或住宅性能評估之結構案全性能等級的容積獎勵辦法。如「都市更新建築容積獎勵辦法」第 13 條及「都市危險及老舊建築物建築容積獎勵辦法」第 6 條皆規定，採建築物耐震設計者給予獎勵容積。此外，「都市更新建築容積獎勵辦法」第 18 條及「都市危險及老舊建築物建築容積獎勵辦法」第 11 條規定，申請上述耐震容積獎勵者，應與直轄市、縣(市)主管機關簽訂協議書，並納入都市更新事業計畫，並於領得使用執照前向直轄市、縣(市)主管機關繳納保證金。

目前在維護管理計畫部分尚未有具體內容規範，建議可要求定期或在一定震度以上地震

後進行結構安全檢測，確保建築結構安全，並將 AIoT 長期自動監測及微振量測等方式納入，作為既有結構安全檢測方式外的選項。

## 五、全國建築物耐震安檢暨輔導重建補強計畫

內政部訂定「全國建築物耐震安檢暨輔導重建補強計畫(108-110年)」。其中主要工作項目除修訂建築物公共安全相關法令，另包含政府主動辦理大樓快篩措施、補助結構安全性能初步評估、補助結構安全性能詳細評估及補助老舊危險建築物辦理階段性補強措施。前述快篩措施、結構安全性能初步評估及詳細評估皆可以利用 AIoT 建築物健康檢查方式進行。而經初步評估後有安全疑慮的建築物，在整合全數區分所有權人意見進行全面性補強或拆除重建之前，可藉由補助老舊危險建築物辦理階段性補強措施提供短期緊急性之處理措施，降低倒塌風險。

## 第四節 後續推動

### 一、監測類型選擇

建築物若安裝地震儀長期監測，可在地震發生時立即自動分析，但設備及其配線施工等成本較高，推動時可能有所影響。相較於長期監測固定安裝地震儀，微振量測方式因不需要購入設備及施工，因此費用也較低，但大型震災後易受人力不足的影響，需耗時較久才能得到分析結果。因此建議可在地震頻繁的區域推動長期監測方式，而地震頻率較低的區域則可使用微振量測的方式推動。

### 二、設備費用支出

對於需要長期監測的建築物，設備安裝負擔相對較高。對於不願意一次支出數十萬至上百萬費用買斷設備的單位或民眾，監測儀器可採用租賃方式提供業主使用，無須一次性買斷設備降低進入門檻與財務負擔，且由設備商負責設備之維修管理，確保服務品質並免去維護人力。使用完畢的儀器亦可回收再次使用，對整體環境資源使用效率也更高，實踐循環經濟的營運模式。對於使用微振量測的建築物，因為設備本身即是由廠商所有持續循環使用，單次監測費用較低，較無費用負擔。對於平時地震風險較低的區域而言，可選用微振量測方式，在發生地震或需要施工時才進行量測，降低費用。

### 三、地震相關保險

國內對於建築相關的地震險，常見的有「地震基本險」、「擴大地震險」、「輕損地震險」等，對於地震造成的損失理賠。對於有進行相關 AIoT 結構安全監測之建物，因為可提早及時發現結構問題降低損失，對保險業者與民眾皆有助益，因此建議可邀請住宅地震保險基金會研商，針對安裝長期監測儀器或定期進行微振量測之建築物，降低地震險保費，增加民眾接受的誘因。

## 第四章 結論與建議

本研究計畫經由收集國內外 AIoT 技術進行建築物結構安全監測之資料，並於宜蘭縣礁溪鄉選擇 1 處實證場域，進行建築結構監測分析的實證，透過實際監測與數據蒐集，實證以 AI 分析建物結構狀態之可行性，建立長期監測及微振量測之作業流程。最終並由法規政策及宣導推廣等面向，初步探討 AIoT 應用於建築結構結構監測於未來推動的方式，期盼能降低推動時的阻力。

### 第一節 結論

#### 一、AIoT 建築物結構自動監測與快速評估文獻整理

收集國內外 AIoT 技術進行建築物結構安全監測之資料，了解目前可行的建築結構監測與分析方式，並探討 AI 智慧及 IoT 技術結合結構監測與分析之應用範疇，減少監測時所需的人力。

#### 二、建立實證場域，蒐集建物結構長期監測及微振量測數據

本研究於宜蘭縣新建立 1 個實證場域，安裝 IoT 長期監控所需設備，並進行微震量測。實際取得 1 次地震所得之監測數據，以及 2 筆微振量測所得資料。彙整分析長期監控所得之監測數據，實證以 AI 分析建物結構狀態確實可行性。

#### 三、神經網絡之初步訓練結果，確實可以協助快速預測建物結構受震反應

本研究神經網絡之初步訓練結果，確實可以協助快速預測建物結構受震反應。應持續監測以取得更多的資料，訓練出具普遍性的模型，並邀集專家學者訂定結構安全等級的判斷標準，且經由多種方法驗證確認。倘若單一房屋之監測技術能夠完善普及，將可以利用其觀測之數據來推估區域的結構反應，並建立區域安全網。

#### 四、建置長期監測及微振量測之作業流程

本研究分別就建築物結構長期監測及微振量測之作業流程模式進行分析，就所需設備規格、安裝位置、量測方式、輸出資料形式等面向提出建議，並建置「長期監測紀錄表」與「微振量測紀錄表」兩種表單，供後續相關研究及推動作為依據。

#### 五、AIoT 應用於建築結構結構監測應用範疇與推動

本研究由法規政策及宣導推廣等面向，探討 AIoT 應用於建築結構結構監測未來推動的方式，期盼藉由推動法規與宣導，降低推動時的阻力。

## 第二節 建議

### 建議一

擴大量測各類建築，增加 AI 模型應用範圍：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：國家地震工程研究中心

本研究主要以住宅類建築物進行 AI 模型訓練，若想最大化此 AI 模型之適用範圍，應盡可能針對不同結構形式(如抗彎構架、剪力牆)與材料(如鋼筋混凝土造、鋼構造)進行量測，且需要長時間的觀測以確保地震規模由小至大的紀錄均能被 AI 考量。考慮到大地震發生的頻率較低，也可以透過過往各種強震之數值模擬結果來訓練神經網絡。如此訓練出來的模型將可以作為代理模型用於即時的結構安全監測與評估。

### 建議二

耐震標章、住宅性能評估容積獎勵協議書加入地震監測相關規範：中長期建議

主辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：各縣市政府、財團法人台灣建築中心

耐震標章、住宅性能評估容積獎勵協議書，或是都市更新、都市危險及老舊建築物重建契約範本中，加入 AIoT 長期地震監測相關規範，快速了解建築物結構狀況確保民眾生命財產安全。此外可於相關文件中加入地震速報瓦斯遮斷功能以及電梯自動連動控制，於接收地震速報訊號後啟動連動服務。

### 建議三

編列預算補助社會住宅、防災用途建物優先推動：中長期建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、各縣市政府

建議中央單位(營建署)優先補助社會住宅、校舍、警政消防(防災用途)等建築，安裝

長期監測儀器監測作為示範推廣，確保建築物安全並蒐集實際資料，進一步累積 AI 訓練分析之數據。

#### **建議四**

推動建物耐震階段性補強加入微振量測：中長期建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、各縣市政府

補助建物耐震階段性補強之案件，在工程前後進行微振量測，檢測結構強度是否有所增加。

#### **建議五**

推動降低地震險保費：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：住宅地震保險基金會

邀請住宅地震保險基金會研商，推動對安裝長期監測儀器或定期進行微振量測之建築物，降低地震險保費。

## 參考文獻

1. AIoT 於產業價值鏈的災防創新應用與商機，民國 107 年，  
<https://www.asmag.com.tw/showpost/11236.aspx>。
2. 2020 年全球重大天然災害回顧，傅鑣漩、施虹如、張志新，災害防救電子報，國家災害防救科技中心，民國 110 年。
3. Hart, GC. and Yao, JTP., “System identification in structural dynamics”, Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE; 103(EM6), pp.1089-1104., 1977.
4. Ljung, L. and Stoica, T., Theory and Practice of Recursive Identification, Asco.Trade Typesetting Ltd., Hong Kong., 1983.
5. Yun, C.B. and Shinozuka, M., “Program LINEARID for identification of linear structural dynamic systems”, technical report, NCEER-90-0011, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, N.Y., 1990.
6. Shinizuka, M. and Ghanem, R., “Structural system identification II: experimental verification”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 121(2), pp.265-273, 1995.
7. Ghanem, R. and Shinozuka, M., “Structural-system identification I: theory”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 121(2), pp.255-264, 1995.
8. Saridis, G.N., “Comparison of six on-line identification algorithm”, Automatica, 10, pp.69-79, 1974.
9. Farrar C.R., Worden K., “An introduction to structural health monitoring”, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, 373, pp.303-315, 2007.
10. Sim S.H., Spencer B.F. Jr., “Decentralized strategies for monitoring structures using wireless smart sensor networks”, Newmark Structural Engineering Laboratory Report Series, No. 019, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2009.
11. Mottershead J.E., Friswell M.I., “Model updating in structural dynamics”, a survey, Journal of sound and vibration, 167(2), pp.347-375, 1993.
12. Zhang Q.W., Chang C.C., Chang T.Y.P., “Finite element model updating for structures with

- parametric constraints”, *Earthquake engineering & structural dynamics*, 29(7), pp.927-944, 2000.
13. Jaishi B., Ren W.X., “Structural finite element model updating using ambient vibration test results”, *Journal of Structural Engineering*, 131(4), pp.617-628, 2005.
  14. Carden E.P., Fanning P., “Vibration based condition monitoring”, a review, *Structural Health Monitoring*, 3(4), pp.355-377, 2004.
  15. Berman A., “Inherently incomplete finite element model and its effects on model updating”, *AIAA Journal*, 38(11), pp.2142–2146, 2000.
  16. Casas J.R., Aparicio A.C., “Structural damage identification from dynamic-test data”, *Journal of Structural Engineering*, 120(8), pp.2437–2450, 1994.
  17. Wahab M.M.A., De Roeck G., Peeters B., “Parameterization of damage in reinforced concrete structures using model updating”, *Journal of Sound and Vibration*, 228(4), pp.717–730, 1999.
  18. Chen J.D., Loh C.H., “Tracking modal parameters of building structures from experimental studies and earthquake response measurements”, *Structural Health Monitoring*, 16(5), pp.551-567, 2017.
  19. Van Overschee P., De Moor B., “Subspace algorithms for the stochastic identification problem”, 30th IEEE Conference on Decision and Control, Brighton, UK, pp.1321-1326, 1991.
  20. Peeters B., De Roeck G., “Reference-based stochastic subspace identification for output-only modal analysis”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 13(6), pp.855-878, 1999.
  21. Peeters B., De Roeck G., “Stochastic system identification for operational modal analysis”, a review, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 123(4), pp.659-667, 2001.
  22. Brownjohn J.M.W., “Ambient vibration studies for system identification of tall buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, pp.71-95, 2003.
  23. Lynch J.P., Wang Y., Loh KJ, Yi J-H, Yun C-B, “Performance monitoring of the Geumdang Bridge using a dense network of high-resolution wireless sensors”, *Smart Materials and Structures*, 15, pp.1561-1575, 2006.
  24. Siringoringo D.M., Fujino Y., “System identification of a suspension bridge from ambient

- vibration response”, *Engineering Structures*, 30, pp.462-477, 2008.
25. Weng J-H, Loh C-H, Lynch J.P., Lu K-C, Lin P-Y, Wang Y., “Output-only modal identification of a cable-stayed bridge using wireless monitoring systems”, *Engineering Structures*, 30, pp.1820-1830, 2008.
  26. Chang C.M., Loh C.H., “Improved stochastic subspace system identification for structural health monitoring”, *Journal of Physics: Conference Series*, 628, 012010,2015.
  27. C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *The Bell System Technical Journal*, vol. 27, no. 3, pp. 379-423, 1948.92
  28. A. N. Kolmogorov, "New Metric Invariant of Transitive Dynamical Systems and Endomorphisms of Lebesgue Spaces," *Doklady of Russian Academy of Sciences*, Vols. 119, N5, pp. 861-864, 1958.
  29. S. M. Pincus, I. M. Gladstone and R. A. Ehrenkranz, "A regular statistic for medical data analysis," *Journal of Clinical Monitoring*, vol. 7, no. 4, pp. 335-345, 1991.
  30. J. S. Richman and J. R. Moorman, "Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy," *Am J Physiol Heart CircPhysiol*, vol. 278, pp. H2039-H2049, 2000.
  31. M. Costa, A. L. Goldberger and C. K. Peng, "Multi-scale entropy analysis of complex physiologic time series," *Physical Review Letters*, vol. 89, no. 6, pp. 068102-1-068102-4, 2002.
  32. S. M. Pincus and B. H. Singer, "Randomness and degrees of irregularity," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 93, no. 5, pp. 2083-2088, 1996.
  33. J. S. Richman and J. R. Moorman, "Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy," *Am J Physiol Heart CircPhysiol*, vol. 278, pp. H2039-H2049, 2000.
  34. S. D. Wu, C. W. Wu, S. G. Lin, C. C. Wang and K. Y. Lee, "Time series analysis using composite multiscale entropy," *Entropy*, vol. 15, no. 3, pp. 1069-1084, 2013.
  35. Yin, Y.; Shang, P.G.; Feng, G.C. "Modified multiscale cross-entropy for complex time series. *Appl. Math. Comput.* " 2016, 289,98-110.
  36. X. F. Guan, Y. X. Wang and J. J. He, "A Probabilistic Damage Identification Method for Shear Structure Components Based on Cross--Entropy Optimizations," *Entropy*, vol. 19, no. 1, p. 27,

- 2017.
37. B. Wimarshana, N. Wu and C. Wu, "Crack identification with parametric optimization of entropy & wavelet transformation," *Structural Monitoring and Maintenance*, vol. 4, no. 1, pp. 33--52, 2017.
  38. Baogen Li and Guosheng Han, " Composite Multiscale Partial Cross-Sample Entropy Analysis for Quantifying Intrinsic Similarity of Two Time Series Affected by Common External Factors," *Entropy* 2020, 22(9), 1003
  39. Ma, Jianpeng; Han, Song; Li, Chengwei; Zhan, Liwei; Zhang, Guang-zhu. 2021. "A New Method Based on Time-Varying Filtering Intrinsic Time-Scale Decomposition and General Refined Composite Multiscale Sample Entropy for Rolling-Bearing Feature Extraction" *Entropy* 23, no. 4: 451.
  40. Belleri, A., Moaveni, B., & Restrepo, J. I. (2014). Damage assessment through structural identification of a three-story large-scale precast concrete structure. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 43(1), 61-76.
  41. Yousefianmoghadam, S., Behmanesh, I., Stavridis, A., Moaveni, B., Nozari, A., & Sacco, A. (2018). System identification and modeling of a dynamically tested and gradually damaged 10-story reinforced concrete building. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 47(1), 25-47.
  42. Kerschen, G., Worden, K., Vakakis, A. F., & Golinval, J. C. (2006). Past, present and future of nonlinear system identification in structural dynamics. *Mechanical systems and signal processing*, 20(3), 505-592.
  43. Yuen, K. V., & Katafygiotis, L. S. (2005). Model updating using noisy response measurements without knowledge of the input spectrum. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 34(2), 167-187.
  44. Skolnik, D., Lei, Y., Yu, E., & Wallace, J. W. (2006). Identification, model updating, and response prediction of an instrumented 15-story steel-frame building. *Earthquake Spectra*, 22(3), 781-802

45. Park, J.W., Sim, S.H. and Jung, H.J. (2013), "Displacement estimation using multimetric data fusion", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 18, 1675-1682.
46. Trapani, D., Maroni, A., Debiasi, E. and Zonta, D. (2015), "Uncertainty evaluation of after-earthquake damage detection strategy", in *2015 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, EESMS 2015 - Proceedings*, ed, 125-130.
47. Ting Y. Hsu\*, Quang V. Pham, Wei C. Chao, and Yuan S. Yang, "Post-earthquake Building Safety Evaluation Using Consumer-grade Surveillance Cameras," *Smart Structures and Systems*. 2020, 25(5): 531-541, DOI: <https://doi.org/10.12989/sss.2020.25.5.531> (IF=3.622)
48. Ting-Yu Hsu\*, Xiang-Ju Kuo, "PDP method to compensate for rotational effect when using a single surveillance camera for interstory drift measurement," *Measurement Science and Technology*. 2020, 31(9), 095902. <https://dx.doi.org/10.1088/1361-6501/ab833d>
49. Ting-Yu Hsu\*, Xiang-Ju Kuo, "A stand-alone smart camera system for on-line post-earthquake building safety assessment," *Sensors*. 2020, 20(12), 3374; doi:10.3390/s20123374
50. Chen, P. Y. (2021). *A Data-Driven Framework for Regional Assessment of Seismically Vulnerable Buildings* (Doctoral dissertation, UCLA).
51. Yu, Q., Wang, C., McKenna, F., Stella, X. Y., Taciroglu, E., Cetiner, B., & Law, K. H. (2020). Rapid visual screening of soft-story buildings from street view images using deep learning classification. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19(4), 827-838.
52. Yeum, C. M., Dyke, S. J., & Ramirez, J. (2018). Visual data classification in post-event building reconnaissance. *Engineering Structures*, 155, 16-24.
53. Lu, X., Xu, Y., Tian, Y., Cetiner, B., & Taciroglu, E. A deep learning approach to rapid regional post-event seismic damage assessment using time-frequency distributions of ground motions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.
54. Wu, R. T., & Jahanshahi, M. R. (2019). Deep convolutional neural network for structural dynamic response estimation and system identification. *Journal of Engineering Mechanics*, 145(1), 04018125.
55. Zhang, R., Liu, Y., & Sun, H. (2020). Physics-guided convolutional neural network (PhyCNN) for

data-driven seismic response modeling. *Engineering Structures*, 215, 110704.

## 附錄一

審議意見	修正辦理情形
<b>陳正平技師</b>	
<p>1. 第3頁:二、AI及IOT技術進行耐震能力評估檢查;及第二節「本計畫旨在「建築物安全耐震能力評估」。請問原理為何?是否只得到勁度相關數據。</p>	<p>本計畫建議建物使用長期監測系統，定期量測，並記錄震時結構反應，配合自動化結構安全評估分析。可以於震後快速提供結構初步的安全評估報告。相關分析方法有經過國震中心與產學整合研究計畫，通過多次震動台非線性倒塌試驗驗證。</p> <p>另外，也提出定期微振量測與分析，定期提出建物主頻、震形與阻尼比。運用震前與震後量測數據，分析結構受損情況。提供多元的選擇。</p>
<b>陳煥煒副總經理</b>	
<p>1. 建議增加對既有建物之健檢方法回溯到過去的說明。僅能比較自系統建置以後的差異。</p>	<p>感謝委員建議，目前規劃是對結構目前現況做監測與分析，無法溯及既往。</p>
<p>2. 台電的變電所幾乎都由執行微振動量測包括素地建物完工初期，建議國內有救災功能的建築物完工初期，建議國內有救災功能的建築物(I=1.5)可考慮參考台電變電所建置素地及建議完工初期的微振動量測資料做微振後快篩評估的運用參考。</p>	<p>感謝委員建議，本計畫會參考台電變電所相關微振量測規範建議防救災等重要結構(I=1.5)比照辦理，也會鼓勵其他建築，可以參考與使用提供等同防救災建築的高度地震防災監測配置。</p>
<b>歐教授昱辰</b>	
<p>1. AIOT 對打造智慧化城市將有所助益。</p>	<p>謝謝委員認同。</p>
<p>2. 長期監控資料的傳遞方法、AI 即時分析自動學習方法，結構安全判斷方法應該是重點，建議本研究可對實證案例作較詳細說明。</p>	<p>本研究目前針對宜蘭示範建物進行地震紀錄長期監測，量測其受震時之樓層反應包含位移、速度與加速度。採用之 AI 將可透過輸入地震歷時來預測結構反應，並與量測之紀錄比對來修正 AI 模型中代表結構自身特性之參數。透過長期大量的數據來訓練 AI 模型，可取代複雜模型的建置，進而用於後續快速的安全判斷。判斷結構安全的標準目前不在本計</p>

審議意見	修正辦理情形
	畫之範圍，期望後續能透過專家諮詢委員會的方式來建立。
<b>廖教授文義</b>	
<p>1. 本研究應用 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估檢查研究，來使減少檢查人力，補強平時勘檢的頻率。並預期結合震前及震中利用地震預警系統，在強震來臨前提早預警，及運用紀錄震時建物數據，作為後續大數據之應用，及擬以震後運用快篩評估系統，對結構監測結果進行評估。本研究成果豐碩可提供給業界運用，符合預期成果需求。但研究範圍過大不容易聚焦及提出顯著成果，建議應該以宜蘭示範建物為標地仔細進行研究來提供範例供參考。</p>	<p>本計畫先透過安裝量測儀器於宜蘭示範建物，建立微振量測之標準程序以及統一之資料格式。長期監測是希望透過蒐集各式地震之數據，開發一具代表性之 AI 模型來協助地震中的結構安全快速判斷。目前計畫期間所能蒐集到的地震紀錄對於 AI 模型訓練的幫助有限，期望後續能有持續性的觀測數據匯入來強化 AI 的開發，進而提升城市的防震抗災能力。</p>
<b>王技師亭復</b>	
<p>1. 本研究請列出研究計畫進度表及本期要達到目標。</p>	<p>本研究之研究進度列至期末簡報，另目標已更新於本次期末報告中。</p>
<p>2. 本研究理念相當先進，惟可能受限於分析軟體，電腦容量及客觀條件，預期需經多年經驗改善方能有較好的成果。</p>	<p>委員所提實為本研究關鍵，訓練 AI 模型需要高效能之電腦與大量之數據輔佐，期望後續能有持續之補助研究計畫。</p>
<p>3. 查 Nonlinear Static Pushover Analysis, 為 2-D 軟體，假設限制條件相當多，以 AIoT 的精確度配合不上，ASCE 7-16 已不列該法求取結構物抗震特性。建議採用較精確分析又有效方法，例如 Nonlinear Incremental Analysis (IDA) 或 SPO2IDA 之 3-D 軟件分析，應可經輪換結構部位或構材參數多次，經多次 interactive 比對或可找出缺陷的局部部位或構材。</p>	<p>本研究目的在於快速評估，透過量測到的數據直接進行災損預測，而不再進行詳細的結構模擬，當然日後可以用 IDA 預測出來的結果來比較快速評估的準確度，並未使用 Pushover，是因其非常費時費力。</p>
<p>4. 強震儀在台北市有多棟建築物安裝且每逢中度以上地震尚在讀取資料分析，如中正紀念堂，台電大樓等，建議本研究案宜比照其在大樓外適當地點安裝至少 2 組以便讀取 free field 資料供上述軟件分析。</p>	<p>國震中心大樓在一些非結構元件的量測包含電梯車廂、平衡錘有安裝加速度計。天花板有安裝加速度計與位移計隔震高架地板有安裝加速度計與位移計這部分的量測案例極為稀少，如果未來有機會可以支持這類量測，樂觀其成。</p>
<p>5. 地震前後的微振量測建議可採用強迫振動法(起振器或人力迫振)，無論自然週期，振幅及阻尼比均會有顯著的表現，台北國際大樓當時曾施行二者做比較。</p>	<p>強迫振動法確實比較容易偵測出結構特性，但安裝起振器進行測試也是一個不小的成本，近來隨著感測技術發達，高感度的力平衡式 FBA 地震</p>

審議意見	修正辦理情形
	儀，已經可以偵測環境微振，並分析出結構主頻、振形與阻尼比。因此近來已經比較少使用起振器進行試驗。
6. 內湖 14 層案例設有二道伸縮縫,因其添充材料及連接鈹干擾可能致使微振量測不準確。	感謝委員指教,伸縮縫區隔的兩個結構,需獨立分析考量。後續會做相關修正。
7. 強烈建議：在結構體安裝強震儀之同時,另在同一層樓版上選多處適當附屬建築物構體,非結構物或設備於適當位置也安裝強震儀,與本計畫同時觀測及數據分析推演,以為上述非結構物耐震行為研究,供修訂規範第四章重要參考。(可與國震中心合作另擬定新計畫,國外已以此法研究多年,尚在進行)	非結構物的動態監測近來也逐步受到重視,但考量非結構物的數量,需安裝眾多的監測設備,成本比結構監測還高,可能還需要一些時間推廣。
<b>邱顧問昌平</b>	
1. 特定建築物尚屬完好如初時,做適當之「微振量測」(約 50 年前台大工學院地震研究中心,曾做過,採自製之偏心水平起震器加力),災害級地震後或火害後,再做,由建築物震動週期等之改變(系統辨識),快速瞭解建築物可能有內傷之程度(經費較少)。再以目前耐震初評;詳評技術進一步做診斷。長期裝置足夠數量之地震儀,連線至防災中控室,於中、強地震時啟動量測,再將數據連接到 AIOT 系統進行系統識別,這是花費大但較有效的作法。期中報告大致如此。	若可建置長期結構監測系統,定期量測,並記錄震時結構反應,並自動分析,花費較大,成效較好,若考量成本,也可改用定期微振量測,運用震前與震後量測數據,可分析結構受損情況。
<b>中華民國全國建築師公會 江支川</b>	
1. 對既有建築物安裝網路型加速度地震儀(Palert Plus),就能檢測出建築物在地震力侵襲下的結構耐震能力反應,應該屬於非常先進的技術,期待普及發展。	網路型加速度計安裝簡便,量測精確。期待未來可以普及,甚至立法強制重要結構安裝。
2. 研究顯示原則一棟建築物放置三個監控設備(地震儀),但是建築物高度越低,固有週期越短,地震儀的數據與建築物的高度是否有關?高度越高週期越長,約百米高的建築物,建議裝設多少個監控設備(地震儀),才能夠獲得更精確的數據。	三個監測設備可以提供基本的結構週期以及關鍵層間變位數據,若結構較為複雜,需要監測較多的振態,就需要更多的監測設備,一般來說較複雜結構可能會安裝到數十組,要視需求以及可接受成本來決定。
3. 網路型加速度地震儀(Palert Plus),是否有耐用年限?每隔多久應該矯正其精準度。	Palert Plus 與操作環境及使用習慣有關,新品出廠保固為一年,目前裝在建築物內的使用 3 年以上並沒有太多異常回覆,校正依業主需求,若業主無法自行判斷資料是否異常,建議定期校正。

審議意見	修正辦理情形
	若為技師單位，可就事件判別各類地震儀表現，若有單顆特殊異常，就可以視為需回廠維修保養。
4. 期待對已經設置的監控設備(六處監測案例)，在發生有感或比較強烈地震時，公佈每棟建築物反映出的加速度與層間變位量，不僅能快速了解建築物的耐震能力，也能夠將此技術普及於全國各處。	建築物受震反應之監測與數據之公開在美國已有成功之案例。本計畫推動之目標亦是期盼未來監測儀器之安裝能普及化，進而建立一個完善之結構物受震反應資料庫供學界與業界使用。
<b>王技師炤烈</b>	
1. 將 IoT 技術應用在建築結構之評估、判斷是未來要走的方向，是不錯的研究題材，尤其結構性能的評估，但要完全用來評估「耐震能力」可能尚須有相關研究的佐證，但本項研究對震後評估建物損害情形、補強效果是應有幫助。	本研究旨在利用 AIoT 技術來輔助結構受震反應之快速評估，並未用來取代詳細耐震評估，然透過此一技術確實可以減少人為評估所需花費之成本。後續亦希望透果產官學界組成專家委員會來最大化此研究成果對於台灣耐震能力提升之效益。
2. 目前本研究之量測項目是辦理「微振量測」與「震動觀測」，此兩項之量測重點都以結構振動行為為主，不易反應材料品質、斷面內之施工情形，是否可配合國內常見之震害案例或破壞案例，研究更能反應建築物安全性與耐震能力之監測項目，例如構件變形、接頭轉角變位、建築物下陷變位等項目，或許提供作為後續更進一步之研究方向。	結構長期監測部分，已經可以分析出關鍵層間變位。已在國震中心震動台進行過驗證測試（與實際位移計比對）。此外相關分析方法，也是透過氣象局 building array 長期資料，比對真實震害，此外也透過國震中心與產學界整合研究，進行多次震動台非線性倒塌試驗驗證通過。 當然材料品質、老化以及斷面內之施工情況仍然不是振動量測可以達到的，但考量成本與市場接受度，本計畫著重在震動的監測與後續的自動化分析。
3. 以目前所做的量測項目，除本研究所量測的資料，目前國內亦有些建物與橋梁裝有振動儀，建議可先蒐集來評估實際振動行為與學理分析之差異性，以證實本項監測作業之有效性，以利後續推動本項工作。	感謝委員指教，後續會與國震中心合作，取得建物與橋樑監測資料，進行相關研究分析，以利後續推動。
<b>陳組長建忠</b>	
1. 若原已安裝之六個基地，應於期末報告將六基地及本案之基地都	關於原已安裝監測儀器之六個基地觀測數據，將會去跟各單位確認授權

審議意見	修正辦理情形
呈現出來。	後，再行呈現，詳附錄三。
2. 報告中名詞要與法律用詞做連結。	感謝委員建議，將遵照辦理。
3. 本案是否還使用快篩這詞，若無請確認報告書中用詞。	本研究團隊內部討論已不用快篩此詞，後續會將報告書中相關用詞刪除。

## 附錄二

### 應用 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估檢查專家座談會意見表

會議名稱		
應用 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估檢查第一次專家座談會		
討論內容		會議時間
1. AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估的應用。 2. 結構安全演算法認證流程。 3. AI 訓練需大量資料累積，如何加速 AI 訓練流程讓判讀更精確？ 4. 推動 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估普及化，在成本及準確度間如何取得平衡。		110/09/17(五) 10:00
編號	委員	專家意見
1.	林子剛	1. 建議可將 AIoT 技術運用在危老建築的階段性補強，因應其經濟性，可客製化符合各式建築物安全耐震能力評估之需求。 2. 結構安全演算法認證流程可由國震中心擔任平台執行者，邀集國內相關學者利用實測資料進行結構安全演算法認證。 3. 建議於現有資料之構架下，可導入 AI 競爭式學習製造出更多相似之資料，進一步提升系統之可靠性與容錯性。 4. 建議可因應市場需求提出精簡版與高規格版，其中高規格版可因應客戶需求無預算限制，以符合快速變遷的市場需

		求。
2.	黃謝恭	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 相信在 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估上，除了推動相關法規來加速進展外，政府的態度亦會有決定性的影響。另外，在局勢還不明朗的當下，是否可以有一個相對公開且民眾可觸及的平台，讓一般民眾對相關技術的效果與限制有所了解，應也是推廣的一種手段。最後，第四點在成本以及準度之間的取捨也將對於應用有關鍵性的影響。</li> <li>2. 在演算法的認證方面的確是個重大的問題，初步認為可能需要分為多階段認證。例如第一階段可以是試驗室內的驗證，利用國家地震工程研究中心擁有的實尺寸三軸向振動台與設計得宜的試體來對演算法進行最基本的驗證，第二階段可以將演算法應用於現地建物來進行更進一步的驗證，並且考量到現實的限制，可以更細分為兩個階段，第一步為結構異常的驗證，第二步才是完整的結構安全驗證。</li> <li>3. 人工智慧這個領域的知識與技術還在蓬勃發展，傳統人工智慧的限制與缺點也逐漸被克服，如何加速訓練流程與縮小模型維度亦可望在不久的將來得到改善。相較於如何加速人工智慧的訓練過程，初步認為設立統一的目標與建立完善的情境來協助人工智慧進行判讀應才是土木結構應該努力的方向。</li> <li>4. 標準化是工程界普遍用來減低成本與提高效率的方式，相信在 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估上面亦不可避免，透過一些研究與專家討論，設立標準化的情境，並在該情境中試圖降低成本與推動普及，預期將可一步一步達到目標。另外在準確度上面，可以考慮給予不同區間用戶不同功能與目標，分離客群後再搭配標準化的成果逐漸尋找平衡，應是一個可行的方式。</li> </ol>
3.	張家銘	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前結構健康監測方法中，大部分僅適用於判別結構常時狀態穩定性(如動態特徵之穩定性)，及特殊事件後之損傷診斷(如可提供相對損傷程度和大略損傷位置)，是可提供建物</li> </ol>

		<p>安全快速評估，但鮮少有方法直接與建物耐震能力有關。若要建立建物耐震能力評估與結構健康監測間之關係，少則需要簡化之數學模型，多則需要詳細之有限元模型，才得以實現。</p> <p>2. 目前演算法之認證流程可行辦法有二：1) 依賴國震中心實驗能量，藉由實驗之過程，直接驗證方法之可行性，但於實驗室成功之方法，不見得絕對可實現於真實建物中；2) 仰賴專業人員，利用數值模擬相關方法，產生人工量測數據，評估與驗證相關演算法於該特定建物中之可行性。</p> <p>3. 針對特定建物，可利用過去量測的相關資料，採 digital twin 之概念，不但對數值模型(可為簡化模型或詳細模型，見第一點)進行更新，且將修正後之結果反覆帶入已被訓練之模型，該方法應有機會強化判讀之精確性。</p> <p>4. 仍須依賴建物之重要程度而定。</p>
4.	許丁友	<p>1. 層間變位的方法對於工程師應用在安全評估應有一定之接受度。</p> <p>2. 建議認證流程可以利用國震中心提供之試驗與場域平台進行。</p> <p>3. AI 訓練需要產生足夠的實際建築損傷時資料使判讀更為精確。</p> <p>4. 可提供高/低不同版本給消費者選擇，低成本之準確度較低，參數設定需要設定保守一點。</p>
會議名稱		
應用 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估檢查第二次專家座談會		
討論內容		會議時間
<p>1. AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估的應用。</p> <p>2. 監測資料中有哪些資訊，有助於專業技師進行進一步分析？</p> <p>3. 推動 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估普及化，在實務操作上建議如何推廣？</p>		<p>110/10/18(一)</p> <p>14:00</p>
編號	委員	專家意見

1.	張育銘	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 監測位置建議至少保留一組在最底層，拿來做為地表震動狀況</li> <li>2. 因監測建築相關頻率受非結構構件影響甚鉅，初期較難應用於建築物安全耐震能力評估。長期而言或許可以依照構造物類別、受非結構構件型式分類做一些統計結果，可以在地震後依據量到的數據做初步快速的安全性判斷。</li> <li>3. 另可以搭配目前有提供容積獎勵的結構性能評估或耐震標章在建築物完成所需之建築物結構性能維護計畫或建築物耐震標章維護計畫推廣或許可以達到事半功倍的效果。</li> </ol>
2.	陳奕信	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 利用加速度計進行監測時，通常可藉以提供建築物受震下的頻率識別、振形、阻尼比及樓層變位，對於 RC 結構物，因常有剛性非結構構材的存在，將頻率與阻尼比的變化做為量化評估的依據，較難區分其變化是受主結構抑或非結構的影響。而對於樓層變位若能針對軟弱樓層的層間位移進行評估，則較能建立量化評估標準，且可配合非線性側推來建立對應的性能等級。故建議主要以層間位移角建立建築物安全耐震能力評估的應用依據。</li> <li>2. 對於 AIoT 的推廣，應建立一套費用的參考標準，包含基本建置費用、保固年期、管理、維護與校正等方式。也應能具體提供使用者一個即時的震後資訊(例如結合預警系統、震度、以層間位移角建立建築物綠燈、黃燈或紅燈等警示訊號等)。</li> </ol>
3.	羅遠智	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在判斷震後之結構行為是否有改變時，須有建築物初始之結構特性(如頻率等)，如何取得合理之初始值(包含非結構 RC 牆及質量變異等因素)。</li> <li>2. 在比對後之結構行為時，如何區分結構桿件與非結構 RC 牆之影響。</li> <li>3. 如何在此次研究成果中建立合理性之監測作法及應用效益，以利後續推廣。</li> </ol>
4.	張盈智	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 長期監測跟短期監測，短期監測狀況地震前後監測相對較難，需要掌握好時間，且若非固定型容易操作為補強前後，應該要建立相關控制因素考量，可以持續規劃。</li> <li>2. 長期監測關係到一次性建置費用，目前接觸有案子每層樓都有裝測，也有業主願意在特殊樓層加以裝設。</li> <li>3. 希望未來可以做剛性比對，如果建物有特殊構件，才會有相關較特殊初始值。</li> <li>4. 除非可以分別構件是否影響，未來應該要觀察頻率改變，</li> </ol>

		<p>了解是否影響結構體。</p> <p>5. 震前預警非常是很好的，但是預警是多早可以通知，如何評估判斷結構體有問題要持續研擬。</p>
--	--	---

會議名稱		
應用 AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估檢查第三次專家座談會		
討論內容		會議時間
1. 納入公共建設維護管理之效益與挑戰。 2. 容積獎勵協議書範本加入相關規定。 3. AIoT 技術進行耐震能力評估的應用。		110/11/15(一) 14:00
編號	委員	專家意見
1.	何志浩	1. 目前本處所辦理工程，針對結構部分已有安裝觀測儀器，以觀測，因時間、物理性產生之變化，如橋梁鋼構建築預測是否有沉陷，僅針對本體。 2. 對於公共建築藉由 AIOT 進行耐震能力評估 (1).裝置地震儀監測儀器，應可納入工程預算執行，可行。 (2).儀器設置後的日後維管，才是問題。權責、管理人員、資料、數據判讀、分析。 (3).目前工程進行中，針對鄰近建物，會裝置傾斜、沉陷的觀測儀器。僅暫時性的。日後針對建築物本體是否需要，以觀測地震之影響，建議透過立法來執行。
2.	鄭健志	1. 因氣候變遷及天然災害，目前城市的規劃都在談韌性城市。韌性城市有 4 個面向，經濟、社會、治理、環境韌性。其中環境韌性包含強化基礎建設及住宅韌性、提升居住安全、建立住宅保險制度等。所以我們談的韌性住宅、韌性社區都是建構韌性城市的單位，AIOT 在建築的應用就是提升居住舒適性、智慧化及安全性，AIoT 技術進行建築物安全耐震能力評估也是建構韌性城市的一環。 2. 社會住宅有 2 個特性，其一是弱勢比例高於一般住宅社區，其二是與社會福利關設施如 托老托幼、青創及商業使用共構，公共性高，應具備完善災害應變及防災意識、優質的建築設計及施工品質。故社會住宅在建築或社區防災及永續性上，必須具備居住韌性及承擔災害能力相對高的建築，故 AIOT 的應用在建築物安全耐震能力評估，對於建築管理，及回饋當設計的驗證，均有正面意義，同時在維護管理上可確保建築結構安全性、監測預

		<p>警降低災害發生。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. 都市計畫法新北市施行細則取得綠建築、智慧、耐震、無障礙建築等容積獎勵之開發案，應簽訂協議書，繳納相關保證金及維護費用，協議書規範維護費用金額、繳納時間及方式，該筆費用即是未來社區管委會用於維護該標章相關設施設備，若新增 AIoT 技術耐震能力評估長期監測之費用，應先確認監測之成本，以確保協議書開發單位提撥之維護費用是否足夠容納。若本計畫內容可納入相關標章必須通過之項目，對於未來管理維護費用之使用，將更具正當性。</li> <li>4. 應用方面，建議短期以公共建築可優先示範性推動，長期應建立制度及立法。</li> </ol>
3.	魏國忠	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 公有建物納入監測範圍再推廣並私人建物公安申報體系內。</li> <li>2. 訊號收集應由雲端統一收納分析，若結合技師公會及建管體系，對建物結構安全得評估做最有效率地進行。</li> <li>3. 設備在微型化，以方便設置，可考慮結合數位電錶傳輸設備，將資料上傳。</li> <li>4. 台北市社會住宅廣詞曲有高層建築群，I 值 1.5 的行政社福中心，適合進行監測方案。</li> <li>5. 新建物於法令規定範圍內設置地震儀，舊有建物於補助耐震補強計畫中納入強制要求設置。</li> </ol>
4.	鄭立輝	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 耐震監測其實就跟個人的健檢資料一樣，會涉及個資的披露，現在社區住宅的民眾都是命運共同體，結構耐震評估資料取得後，有的人願意公布，有的人不想公布，這牽涉到個資的問題，因此這些資料如何公開或應用，牽涉到法制化的問題，需要更多領域的專家來討論，所以，初期階段可能還是先朝公有建物進行試辦，公有建物資料不涉及個資，而且也跟公眾安全有關，公布資料比較不會引起爭議。</li> <li>2. 針對公有建物的標的，建議可先朝重要的公有建築物開始安裝，例如：災害應變中心、大型醫療院所、市政府大樓，再逐步推廣到 警消、學校等重要大樓，本府目前正在推動三重第二行政中心的工作，該大樓係由民間開發業者捐贈，預定明年動工，施工過程中，新工處會進行重點工進管理，該案目前還是由新北市政府秘書處擔任窗口，如果有需要，本人可以協助聯絡媒合，不過監測系統產出的資訊，畢竟涉及訊號處理或耐震評估等專</li> </ol>

		<p>業，因此設計合理易判別可遵循的指標也相當重要，設置設備的機關、大樓，後續的營運管理機制也必須同步建立，並不是只有安裝設備這麼單純的事情。</p> <p>3. 有關本次會中討論議題，再提供若干經驗供各與會先進參考：</p> <p>(1). (耐震監測設備的推廣，立意良善，不過推廣階段初期，可能還是會有相當大的困難，舉例，過去台北縣在林肯大郡災害發生後，曾調查列管 109 處 A 級山坡地社區，並且補助經費設置各項監測儀器，包含 水位計、應變計.....等等監測坡地穩定的設備，而且協助持續監測，但是民眾唯一關心的議題就是何時可解除 A 級山坡地列管，一旦解列之後，就不太關心監測設備的事情了，所以要讓民眾重視，可能這些議題、成效還是要跟房價有關聯，才比較有機會。</p> <p>(2). 另外耐震標章的議題，本人以綠建築標章為例，目前內政部規定公有建物必須取得綠建築標章，而且這件事跟公共工程辦理結案、包商取得驗收結算證明書的事情產生連結，因此現在大家還會認真取得綠建築標章，但是據我了解，綠建築後續是否能繼續維持，是個很大的疑問，因為維持綠建築指標的規定：包含 通風、採光、透水、保水、綠化.....，這些都跟後續的維護經費有關，很多公家機關在公有建物啟用後，也不願意再持續辦理或是再去認證，所以耐震標章的推廣，建議還是要想一套可長可久的機制，不要淪為噱頭或口號。</p>
5	林敏朝	<p>1. 於慈濟安裝監測系統確實發揮很大功能，尤其 2020 年大地震監測系統有起到相關修正功能，讓實際建築物安全度可以提升，非常贊同持續計畫進行。</p> <p>2. 花蓮地質狀況跟市區又有所不同，花蓮四到五級地震相較快速晃動結束，因此建議台北地區，如：台大醫院或是慈濟醫院都需要裝設，因為醫院建築關乎人生安全，期望未來都可以規劃。</p> <p>3. 另醫院的維生系統非常容易受損，建議建築中心可以推動讓醫院動力中心或維生系統能有監測系統，能使未來醫院維生系統有相對的幫助。</p> <p>4. 台灣地區許多相關地震資料蒐集，建議可以分享相關數據，定期發表其成果，加大其推廣助力，利用媒體讓政</p>

		府及人民重視，慈濟也非常願意致力於此推廣。
--	--	-----------------------

## 附錄三

### 「應用 AIOT 技術進行建築物安全耐震能力評估檢查」

#### 期末審查會議審查意見回覆表

審議意見	修正辦理情形
<b>陳正平技師</b>	
2. 本案內容為探討 AIOT 監測技術供結構安全評估使用。與本案題目「進行建築物安全耐震能力評估檢查」似有不合。	感謝委員指教，本計畫探討監測技術供結構安全評估使用，其中一小部分也探討監測技術是否可供建築物安全耐震能力評估檢查使用。
<b>陳澤修審查委員</b>	
1. 建築物長期監測非常值得鼓勵，讓我們能夠長期檢測建築物結構的安全狀況，提醒使用管理者，注意維護結構安全。	謝謝委員支持。
2. 本案地震儀的精準度即可信度是本案監測最重要的依據。	感謝委員指教。本研究使用之監測儀器 Palert Plus 已於 2018 年 5 月通過日本東京大學性能測試，確保技術可行性。
3. 地震儀的檢測值，如何應用在耐震評估上，請加以說明。	感謝委員指教。地震儀的可以記錄地震下結構物的加速度反應，透過適當的分析，可以解析出最大層間變位比、結構物主頻、振形與阻尼比，做為耐震評估的參考。
4. 地震儀安裝數量，除考慮 X,X 向的分析，並考慮垂直震波的檢測，所需數量及位置應補充說明。	感謝委員指教，本研究目前規劃的地震儀配置、均為三軸向加速度監測。只是在結構分析上僅使用兩個水平軸向分析。在真實地震下，若有二次彎距現象，垂直向資料就可以用來分析。
<b>王技師亭復</b>	
1. 請比較 110 年 10 月 24 日宜蘭地震所收集到的水平及垂直振動歷時，並比較其 V/H 在時間域差異、加速度與振幅比例，包括宜蘭、臺北市的工址。	感謝委員指教。有關 110 年 10 月 24 日宜蘭地震資訊將於後續納入報告。
<b>邱顧問昌平</b>	
2. 本研究主要在做建築物的微震檢測(不是監測)及長期監測(獲取中強震發生前、後之必要數據)即含 IoT 與 AI 技術運用於建築物之可能震害分析。目前已在六處建築物設置好監測設備，如附錄三所示。成果尚稱良好，但實際之應用倒只有宜蘭○○飯店一處。	感謝委員指教。有關用詞錯誤部分將重新檢視報告書更正。其它六處設備將於後續共同納入報告。

審議意見	修正辦理情形
<p>3. 微震量測之應用，建議 106 年之建築為：</p> <p>甲、 在新建築完工時做一次，有地震或其他事件後再做一次，互相比較。實務上是完工使用後未有明顯損傷時皆可做一次。</p> <p>乙、 結構補強等工程之前後各做一次。</p>	<p>感謝委員寶貴意見，將納入本研究參考。</p>
<p>4. 如何應用，如何建置中控中心等仍只是概念性之說明。如何落實、可能之經費如何等，尚須進一步探討。</p>	<p>感謝委員指教。目前國震中心已經開始逐步建置結構安全監測平台，收集相關結構監測數據，提供學研使用。此外國家住都中心也將結構安全監測列入招標規範。未來每處社宅都至少安裝三組三軸向地震儀，並須自動分析層間變位，未來也將逐步規劃設計多元服務等級，以服務不同需求、逐步擴展。</p>
<p>5. 建議文字修正部分：</p> <p>甲、 第 33 頁第一行，Nyguiet 為何？</p> <p>乙、 第 48 頁倒第三行，詳見附錄三才對。</p> <p>丙、 第 49 頁，長期持續監測，多了”持續”二字，甚好。本案請說明設備如何設、如何保管、人力及費用如何等以釋疑。</p> <p>丁、 第 87 頁至第 96 頁中許多文字修正、增加圖文之安排宜再檢討(建議寫在期末報告紙本上)。</p> <p>戊、 第 86 頁，圖 5-4，何謂高”端”型建築。</p>	<p>1.感謝委員指正，文字誤植部分將於成果報告修正。</p> <p>2.高端型建築係指建築的複雜度較高、有扭轉的特性、需要較詳細的分析、並可接受較高的建置與維運成本之建築。高端型結構安全監測系統，主要是以民間商辦大樓為主，其結構上安裝的地震儀十餘組以上，可以監測多個振態、扭轉以及多個層間的分析，搭配的分析方法也比較多元，不僅止於層間變位分析，目前已經在多個民間住辦大樓採用。</p>
<p><b>王技師炤烈</b></p>	
<p>1. 利用 AIoT 的技術於相關專業技術領域，應是目前各行業大家都在努力，要應用到建築物安全評估亦應是可預期與值得的，在使用上，本研究案尚屬適用，後續可再往如何能讓住戶更容易，更主動想裝設監測設備之方式。</p>	<p>謝謝委員支持。</p>
<p>2. 在所提出裝設監測儀器的是提議設在管道間，原則是可行的，惟要注意要避開會受到如電梯，發電機等會產生振動設備的位置。</p>	<p>謝謝委員提醒。</p>
<p>3. 用量測數據來預測結構反應外，建議要考慮先用量測數據來應證原設計所設計之結構行為是對的，或是先用原設計資料來「教導」監測儀器「認識」結構系統。</p>	<p>感謝委員建議。後續可先依據量測數據修正設計結構之非線性模型參數，再利用校正完之模型進行大量的動力歷時分析來產生訓練用數據，隨後以分析之結果來教導 AI 模型。進而達到交叉驗證的目的，</p>

審議意見	修正辦理情形
	以確保 AI 模型的可靠度。
<b>陳組長建忠</b>	
1. 昨日下午 1 時的南澳地震，請將 6 場地震量測結果納入報告。	感謝委員指教。有關其它 6 處場域於 110 年 10 月 24 日宜蘭地震之資訊，將於後續納入報告。
2. 建議考量國內是否有足夠設備廠商擁有本研究所需精度等相關專業能力，評估後續相關政策之推動，並可考量輔導設備商南向拓展商機。	感謝委員建議，未來實際推動政策時，將再盤點具能力之廠商，並協助拓展我國技術與設備之商機。
3. 地震無法預報，應該是測報，語詞宜再考量。	謝謝委員提醒，將於成果報告修正文字。
4. 其他 6 處的地震資訊亦請收集分析納入報告。	感謝委員指教。有關其它 6 處場域之資訊，將於後續納入分析。
5. AIoT 是否真能控制地震電梯停用?牽涉有無人使用，及有何因素考量?	感謝委員指教。關於地震電梯停梯，目前已經可以採用國震中心“複合式地震速報”，於當地僅需設置接收裝置接收地震速報，於震前連動控制電梯停梯。目前已有多个社會住宅、國研院所屬大樓採用，另外也已有多个電梯業者導入地震儀監測電梯位置地震震度，當實測震度超過預設門檻，就可以自動停梯。只是這種停梯時機較慢，也須多自費設置地震儀。
6. 本研究標題是耐震能力評估檢查，報告略偏移。	感謝委員指教。本研究探討 AIOT 監測技術供結構安全評估使用，包含長期監測搭配多種結構安全評估技術，以及微振量測，分析結構現況，相關的結果均顯示，透過監測可以藉由科學的方式提供結構物耐震安全資訊，透過適當的監測方式與分析方法，可以對結構物的耐震能力與震後安全，提供快速有效的評估。