



研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

因應地震的 建築結構耐震 中綱計畫 研究發展與成果

陳建忠／內政部建築研究所 組長

為延續過去防災國家型科技計畫研發成果及能量，進一步提昇社會整體防災能力，以面對未來更艱鉅的災害挑戰，行政院於 95 年 4 月 28 日核定「強化災害防救科技研發與落實運作」方案，結合各災害防救業務相關部會署共同推動，本計畫亦被包含於該方案中，且編列於 96～99 年之前期計畫「建築產業技術發展中程綱要計畫」中執行。鑒於災害防制為政府長期性之重要工作，依據 100 年「行政院災害防救應用科技方案」，持續參與「全國災害管理平台建構方案」，並配合「104～107 年行政院災害防救應用科技方案」廣續推動建築耐震之相關研發與推廣工作。

總目標及說明

105 年 0206 美濃地震造成台南市部分地區產生嚴重土壤液化災害，行政院指示應盡速頒佈全國土壤液化潛勢圖，引起全國民眾對土壤液化問題之重視，故亟須盡速修訂現有規範之相關內容，使規範能更臻完善、更能配合現況需求，以應基礎設計分析之需要。美濃地震亦造成台南市數棟軟腳大樓倒塌，凸顯 1997 年以前因為建築法規不夠完善，導致過往有許多建築物不但未經耐震設計且施工品質亦欠缺嚴謹的監督。此次台南維冠金龍大樓倒塌，成因經歸納為結構系統不良、基礎不穩固、梁柱箍筋圍束不足、混凝土品質低劣等。有許多受損嚴重的建築為屋齡 20 年以上之 RC 大樓，例如維冠大樓（16 樓高）、幸福大樓（7 樓高）與京城銀行（11 樓高），此類大樓之柱一般採非韌性配筋細節，例如採 90 度彎鉤且箍筋間距配置過大等，且混凝土強度也可能過低，導致如維冠大樓所觀察到，主筋表面幾無混凝土附著之現象。根據勘災之觀察結果顯示，此種大樓之柱常呈現崩潰式破壞，造成其所在樓層之倒塌。故 106

年度針對建築物基礎構造設計規範及提升非韌性配筋柱之耐震韌性能等研究。

為使災害防救科技研發工作能有效的分工合作，本計畫之目標研訂如下：

1. 高性能強度結構系統及構件耐震性能研究：開發新型式結構耐震系統及構件，研發提昇傳統建築結構耐震能力之方法，以提供主管機關修訂法規、標準之參據，並支援建築業界有關建築新工法與新技術之研發與檢測需求。
2. 建築耐震相關規範解說強化及技術手冊等研究：廣續研修建築物耐震相關設計與施工規則與規範，並強化解說內容，編訂技術手冊，以提昇新建建築結構耐震技術與施工品質，保障人民生命財產安全。
3. 耐震能力提升與評估技術精進及多元應用推廣：探討及整合耐震評估與補強相關技術，並強化建築物延壽相關研究，進行跨領域研究，整合建築結構、材料科技、資源再生應用等技術與應用研究，加強既有建築物的耐震能力，達到安全防災之目的。

預期效益

本計畫依據所列研究主軸與課題執行重點，預期效益如下：

1. 加速建築技術規則、相關技術規範、標準的增修訂，減少工程爭議，使得業界於建築構造設計技術有明確之依循。
2. 依據國家災害防救科技中心 104 ~ 107 年行政院災害防救應用科技方案」，賡續推廣建築物耐震新技術與理念，強化工程耐震品質，保障人民生命財產安全。
3. 進行大尺寸結構構件力學實驗研究與檢測，提供本土化實驗數據，做為研修訂建築構造設計技術規範之參據，研擬建築耐震性能式設計規範，提升對建築物耐震設計之能力。
4. 整合多元化跨領域應用研究，有效利用各項資源，營造健康、舒適、環保的生活空間，達到風害防制、永續生活之目的。

計畫內容說明

計畫架構與內容說明

本中程計畫係針對建築技術而規劃，計畫性質屬於應用研究，主要為技術提昇與發展、法規制訂等，部分隨國內外發展趨勢，逐年檢視、調整研發方向。

從台灣 921 地震及 0206 年美濃地震勘災調查結果顯示，建築物底層軟弱、平面不規則所引致的扭轉效應及非韌性配筋等因素，為建築結構損傷甚至倒塌的主因，尤其具有住商混合的大樓或街屋，常因其低樓層常具商業用途，而在低樓層採挑高或挑空設計，導致底層軟弱或因結構平面不規則而產生扭轉放大效應；其次，年代老舊超過廿年以上的鋼筋混凝土建物，亦常採用非韌性配筋設計，導致結構韌性容量不足。然而一般建築物設計規範條文之目的是為了所有類型的建築物提供安全的設計標準與基本要求。從一兩層的住房到高層建築結構皆須適用。但此一廣泛的適用性，常讓一般建築物設計規範並未能適切考慮中高樓層或具有住商混合使用建築的特性，易導致中高樓層建築在經濟性和安全性方面均不易達到最佳的設計。

0206 美濃地震，台南許多大樓倒塌，成因經歸納為結構系統不良、基礎不穩固、梁柱箍筋圍束不足、混凝土品質低劣等，有許多受損嚴重的建築為屋齡 20

年以上之 RC 大樓，例如維冠大樓（16 樓高）、幸福大樓（7 樓高）與京城銀行（11 樓高），此類大樓之柱一般採非韌性配筋細節，例如採 90 度彎鉤且箍筋間距配置過大等，且混凝土強度也可能過低，導致如維冠大樓所觀察到，主筋表面幾無混凝土附著之現象。根據勘災之觀察結果顯示，此種大樓之柱常呈現崩潰式破壞，造成其所在樓層之倒塌。

本計畫於 106 年度為因應國內現況的變動執行包括：鋼筋混凝土剪力牆圍束效應與剪力強度研究、建築物基礎構造設計規範之修正、非韌性配筋柱之耐震韌性提升研究及建築物附掛構件之耐風設計評估等研究，期能迅速提供建築物耐久、耐震及抗風等性能設計規範，以確保民眾生命財產安全與生活舒適性。

過去內政部建築研究所為提昇建築物耐震能力，降低震害損失，積極推動建築技術規則建築構造編及耐震相關設計及施工技術規範之研修訂，因國內相關研究成果較為缺乏，且缺少本土化工程參數，因此泰半皆直接引用美、日等先進國家之相關規範研修訂而成。目前除已全盤針對建築構造編既有各章節，依據規則與規範分立的原則，亦即大幅簡化規則條文，僅保留一般原則及宣示性的部分，而將技術性的條文列於設計及施工技術規範，以簡化日後修訂程序外；另為滿足國內工程界之實際需求，增列「鋼骨鋼筋混凝土構造」及「冷軋型鋼構造」等 2 章內容後，建築構造編之耐震相關規範架構及內容，已漸完備。然而在國內施行期間，因部分規範條文規定，未考慮到國內工程界實際情況，而遭到工程實務界的質疑。

有鑑於此，針對建築相關法規、標準之本土化需求，有必要經由實驗研究發展，提供主管機關修訂法規、標準之參據；並可就實驗研究結果，支援建築業界有關建築新工法、新技術、新設備研發、檢測及認證所需，以加強提昇國內建築技術水準。內政部建築研究所新建置完成之材料實驗中心，已於 97 年起正式運作，該實驗中心包括兩棟建築物，一棟做為大型力學實驗室，乃為挑高 26 公尺的廠房建築，設有 3000 噸萬能材料試驗機，以及強力地板與反力牆系統，有助於建築、土木結構物的大尺寸構件之力學性能實驗研究發展；另一棟為五層樓的建築，主要規劃為建築材料的一般力學試驗、材料檢測、以及耐久耐候性試驗等，除可提供業界相關檢測服務外，並可做為創新

建材的研發，彌補國內產業界與相關學術、研究機構在這方面研究的不足，亦可增進建築土木的使用年限，此乃政府推動綠建築，強化永續發展的重要一環。

另外，配合「104～107年行政院災害防救應用科技方案」，賡續推動本分項計畫，期能藉由引進國外建築耐震先進技術，整合國內相關研究發展，提升國內建築耐震技術與工程品質，確保人民生命財產之安全。本分項計畫研究主題包括「高性能結構系統及構件耐震性能研究」、「建築耐震相關規範解說強化及技術手冊等研究」及「耐震能力提升與評估技術精進及多元應用推廣」等三部分，其內容涵括高強度結構系統研發、建築耐震規範與手冊研修、以及評估與補強技術研發及推廣等，研究架構如圖1所示。

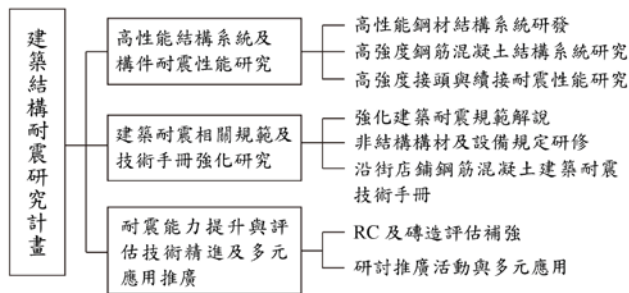


圖1 建築結構耐震研究計畫之研究架構圖

1. 高性能結構系統及構件耐震性能研究

(1) 高性能鋼材結構系統研發

超高強度鋼材之使用已是現今建築的趨勢，但考量超高強度鋼材相關之結構試驗文獻不多，國內鋼材製造技術發展快速，已有許多實際建築應用案例，突破現有國內鋼結構或SRC結構設計規範限制，且鋼材易受到在地許多因素影響，若未經試驗確認使用超高強度鋼材之構件行為，故針對使用超高強度鋼材結構系統之構件或構架進行試驗，利用內政部建築研究所材料實驗中心既有的重要實驗設備（如3000噸萬能材料試驗機等），以確認在實務應用會否有耐震性能或韌性不足的安全疑慮，確有其必要性。

(2) 高強度鋼筋混凝土結構系統研究

國內近年來有關超高強度鋼筋混凝土（New RC）於超高層建築工程之應用，各界感受到有迫切的需求，也投入相當的心力。然而New RC建築之建造，因材料強度及施工方式可能超過目前建築技術規則與結

構混凝土設計規範的一般規定，因此實有必要進行相關高強度鋼筋混凝土構件之本土化實驗研究，以確保設計的安全性及施工的可靠性。

(3) 高強度接頭與續接耐震性能研究

近年來國內高強度鋼筋、續接器及高強度混凝土的研究頗有成果，且國外相關廠商對於高強度鋼筋、續接器等也希望提供其產品及技術，而梁柱接頭及續接器的耐震性能，將直接影響建築物的整體耐震能力，須進行相關之本土化實驗研究，以確保建築物的耐震能力。

(4) 建築耐震相關規範及技術手冊強化研究

(5) 強化建築耐震規範解說

國內目前耐震設計規範條文涵蓋內容廣泛，含耐震設計分析方法、隔震建築設計、制震建築設計，以及既有建築物的耐震能力評估與補強等。惟各章節條文之解說內容過於簡略，相關公式的由來、推導及應用說明等也不夠清晰，使一般土木技師或結構技師等使用者不易深入瞭解條文含義，實有必要強化解說內容，並訂定相關範例，以利推廣應用。

(6) 非結構構材及設備規定研修

建築非結構構材與設備部分，大都未經結構工程師分析、計算及設計，因此，在地震時破壞的發生率通常要比主結構破壞的發生率高出許多。非結構構材與設備的破壞或功能喪失可能會直接危及用戶，甚至附近戶外人員的生命安全，並會造成主要應急設施無法使用，因此有必要進行相關研究及規範條文研修。

(7) 沿街店鋪鋼筋混凝土建築耐震技術手冊

鋼筋混凝土建築中，沿街店鋪住宅為台灣普遍的建築形式，其安全與否影響眾多民眾生命財產安全。沿街店鋪住宅沿街方向耐震能力存在兩大問題：(a) 牆體量不夠，耐震能力不足，過去地震常有此種建築沿著街道方向傾斜或倒塌；(b) 此方向牆體一般具開口，而設計者不知如何計算開口牆體之抗剪強度，因此應持續進行相關研究，並研擬耐震設計技術手冊，提供業界參考。

2. 耐震能力提升與評估技術精進及多元應用推廣

(1) RC及磚造建築評估補強

國內既有建築物的數量龐大，為強化建築結構安全、延長建物壽命，建築物的鑑定及修復補強業務，

未來將成為營建市場的主流，本計畫探討及整合既有鋼筋混凝土及加強磚造耐震評估與補強相關技術，整合建築結構、材料科技、資源再生應用等技術與應用研究，加強既有建築物的耐震能力，達到安全防災之目的。

(2) 研討推廣活動與多元應用（略）

104 年度研究課題及執行成果

104 年度辦理研究計畫包括填充混凝土箱型鋼柱撓曲合成行為研究、沿街店鋪住宅結構系統耐震設計技術手冊研究、建築物非結構構材－暗架天花板耐震性能檢討、3 案，各案課題方向如下：

1. 填充混凝土箱型鋼柱撓曲合成行為研究

填充型箱型柱不但强度高、韌性好，且柱內灌漿不需使用到模板施工方便，國內鋼結構高樓使用填充型箱型柱的比例相當高。過去的試驗結果顯示填充型箱型柱縱使不配置剪力釘，柱之軸向強度與撓曲強度都可以發揮出合成斷面強度，雖然軸向勁度會受到一些影響，但是仍然可以發揮出桿件的撓曲延展性。但是這些試驗所使用的試體都無法考慮到可能的混凝土乾縮效應，因此工程實務上設計者還是都會在箱型柱內設置剪力釘。在柱內設置剪力釘一方面提高造價及施工困難度，另一方面柱內剪力釘的需求量也眾說紛紜，沒有較一致的分析及設計方法。此外，國內的 SRC 規範在柱內剪力釘方面沒有明確的規定，規範的完整性也有所欠缺。為了結構安全性、經濟性及規範完整性的考量，應進行填充型箱型柱撓曲合成效應甚或剪力釘設計方法的研究。經利用 NDI 公司所生產之動態捕捉系統，將 marker 擷取到的資料加以整理，發現當試體不配置剪力釘時，混凝土與鋼骨之間相對位移較大，當試體配置剪力釘越多時，其合成效應會更加明顯，鋼骨與混凝土之間相對位移較小。

2. 沿街店鋪住宅結構系統耐震設計技術手冊研究

目前工程界進行沿街店鋪住宅耐震能力評估時，常遇到沿街開口牆體模擬及耐久性效應模擬之兩大困難。針對開口牆體（磚牆與鋼筋混凝土牆），由於對其行為之不瞭解，工程師常逕自忽略，可能造成低估結構勁度與等效地震力，且改變結構系統破壞模式，形成軟弱層效應，造成不保守之評估結果。因此急需對現

行結構系統之耐震能力評估技術進行研究，並研提結構系統耐震能力提升之方法；針對房屋老舊所衍生的耐久性問題，例如混凝土開裂、剝落，鋼筋生鏽等，工程師或者不予以考慮，造成不保守之評估結果，或者僅任意給予材料斷面積之折減，但忽略除斷面積折減外之其他影響，例如對於鋼筋與混凝土握裹、鋼筋圍束效應、構材剪力強度與變形能力之影響，同樣造成不保守之評估結果。

本研究提出能考量鋼筋腐蝕與牆體開口效應之耐震評估程式，該程式基於文獻中前人建立之軸力、剪力與彎矩互制行為模型，加入腐蝕鋼筋、混凝土與握裹材料組成率，以及考慮牆體開口之方法。透過案例分析，說明鋼筋腐蝕對沿街店鋪式住宅耐震能力之影響，分析結果顯示某位於台中市之沿街店鋪式住宅，鋼筋腐蝕造成結構物崩落地表加速度值每十年下降 1.14% ~ 2.14%。且完成測試一座多牆構架系統（兩跨兩層樓開口牆試體），該系統代表典型沿街店鋪式住宅屋後一二樓外牆構架設計，試驗結果顯示典型一樓弱層破壞現象，驗證 921 大地震所觀察之沿街店鋪式住宅破壞行為。後續仍須進行之研究包括對實驗數據進行更進一步的分析（牆體變形場、鋼筋應變量等），以及實驗與本研究所發展之耐震評估程式預測之比對等。

3. 建築物非結構構材－暗架天花板耐震性能檢討

暗架天花板因為系統剛度較大較不易變形之緣故，以往對其耐震性能較有信心。然而從 2003 年開始，日本陸續發生大面積的暗架天花板在地震中崩落之案例，導致建築空間機能無法在災後立即使用。2011 年的東日本大地震更造成多起暗架天花板掉落之災情，其中令人感到震撼的是有新建之音樂廳距離震央數百公里之遙，卻也發生暗架天花板大面積崩落的問題。國內在 1999 年 921 地震中就已觀察到臺中美術館發生大量暗架天花板掉落之情形，但後續並沒有特別針對暗架天花板持續追蹤及研究。然而在 2013 年 6 月南投仁愛地震中，又發現南投某一學校暗架天花板崩落的狀況，而學校校舍也是震災緊急避難的場所，因此才重新喚起對暗架天花板耐震性之重視。

本研究透過實驗以瞭解國內常用暗架天花板工法之強度及耐震弱點，因此在實驗規劃中將暗架天花板實驗分為細部元件試驗與全尺寸靜力側推試驗兩階

段。實驗結果顯示吊筋與支撐架相接處為天花板系統中較容易受到破壞之構造，確實有需要提升其強度。本研究也發現到只要在支撐架連結螺桿處的下方加入一墊片即可有效提升接點強度，因此建議應將墊片的使用加入暗架天花板吊筋的標準工法中，確保在地震力作用下天花板接點不會受到破壞。在全尺寸試體之單向靜力側推實驗中，當天花板支撐架有搭接時，搭接處的支撐架會發生錯動，造成卡麗板變形或被支撐架掛鉤刺穿而有鬆脫的狀況；若支撐架搭接處沒有錯位其試體極限強度較小且破壞較嚴重，甚至當搭接的支撐架間距離 15 cm 以上就會發生卡麗板掉落的情形。相較於單向靜力載重試驗，在往復載重試驗中搭接處的卡麗板被支撐架掛鉤刺穿及變形鬆脫之狀況更為明顯。實驗結果顯示支撐架搭接無錯位的試體皆較容易發生卡麗板掉落的狀況；而在天花板支撐架無搭接的狀況以及將支撐架搭接處的位置全都錯開的情況下，可以發現即使到了實驗最後階段卡麗板也沒有發生掉落的現象。

105 年度研究課題及執行重點

本計畫於 105 年度辦理研究計畫包括混凝土結構設計規範修訂研究、低矮 RC 建築以非矩形斷面柱耐震性能提升之實驗研究、包覆填充型箱型柱接力式繫筋橫向鋼筋配置對撓曲行為之影響等案，各案課題方向如下：

1. 混凝土結構設計規範修訂研究

鋼筋混凝土為建築物最主要與最常用之構造型式，在建築土木工程領域中，始終扮演極重要的角色，設計與施工良好的混凝土結構關係建築結構物之安全至鉅，為建築工程中不可輕忽之課題。目前我國「混凝土結構設計規範」係於民國 100 年公告，至今已 6 年多，該版規範是以美國混凝土學會 ACI 318-05 規範為依據，其後 ACI 於 2008 年、2011 年及 2014 年均再修訂，其中，2014 年所修訂之 ACI 規範，其修訂邏輯及章節內容與前面版本有極大之不同；另我國「結構混凝土施工規範」公告於民國 94 年，至今更已超過 10 年，期間我國混凝土工程之施工方法、施工技術與檢驗方式均有相當程度的改變，規範內容亟需修正，以符合業界之需求。因此，為使我國混凝土規範能更臻完善、更能配合現況與符合國際技術發展新潮

流，我國混凝土結構設計規範與施工規範，均宜研擬新版規範。尤其，最新美國 ACI 318-14 規範亦配合耐震需要，將預鑄混凝土構材做較大幅修訂，而我國預鑄混凝土結構正方興未艾，新版規範之內容中亦可增訂適合我國環境與需要的預鑄混凝土構材規定。

完成草案章節架構、條文與解說，提供內政部執行修訂之重要參考依據。亦接受各界執行所遭遇之議題來進行研議，俾使規範更能滿足各方期待。

2. 低矮 RC 建築以非矩形斷面柱耐震性能提升之實驗研究

低矮鋼筋混凝土沿街建築（店鋪或住宅），為臺灣相當普遍之建築形式，此種建築沿街方向牆體由於通風、採光、通道等之需求，常存在相當面積之開口，削弱牆體耐震能力，921 大地震顯示，此種建築之耐震性能在沿街方向往往令人擔憂。目前工程界欠缺簡單、有效之方法評估與設計前述牆體之耐震性能。建研所民國 102 年委託案「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」已針對屋後外牆開口形式、大小、位置對於牆體耐震行為之影響進行探討，並提出分析與設計建議；該研究同時指出一樓屋後外牆由於對外開門之需求，總開口面積顯著大於其他樓層，導致產生類似 921 大地震後常見一樓之軟弱層破壞，因此有必要針對一樓外牆進行耐震性能提昇之研究。

低矮沿街 RC 建築在沿街方向，在柱盡量不要凸出牆面的使用性需求下，一種可以大幅增加柱沿街方向抗震力的辦法為採用 T 型或 L 型柱，T 或 L 各肢沿外牆、隔間牆、梯間牆或格戶牆走向設置，惟此種柱之耐震能力不明，本研究將配合考量基腳效應之影響，並透過試驗研究加以釐清，應有重大應用價值。本研究共測試 10 座柱試體，包括 4 座 L 形柱與 6 座 T 形柱，試驗方式採定軸力之反覆載重，以觀察其耐震行為。其中 1 座 L 形柱與 2 座 T 形柱由矩形柱補強而成，由於補強柱斷面之縱向鋼筋向上植筋入梁，有諸多施工困難且施工品質不易確保，因此本研究補強柱斷面之縱向鋼筋只停留在補強柱內。本研究亦進行新造與補強 L 形與 T 形柱之耐震分析。

補強施工顯示本研究所研擬的補強細節簡單可行。反覆載重試驗結果顯示，撓曲破壞控制的 L 形與 T 形柱試體呈現具優良消能之韌性行為，位移韌性平

均值達 6.86。對於剪力破壞控制的 L 形與 T 形柱試體而言，其破壞為典型撓剪破壞，剪力達最大強度時，縱向鋼筋尚未降伏或降伏不顯著。對於補強柱試體而言，由於補強區域之縱向鋼筋沒有植筋入頂梁與下基礎，因此補強部分之縱向鋼筋於受拉時無效，僅於受壓時有效。不過也因此限制了補強部分縱向鋼筋受拉應力與塑性變形，延緩鋼筋受壓挫屈與降低周遭混凝土之破壞，使其位移韌性顯著高於一體澆置之 L 形與 T 形柱。撓曲強度分析結果顯示，現行混凝土結構設計規範可保守地用於計算一體澆置與補強之 L 形與 T 形柱之標稱抗彎強度，用於剪力強度設計之最大可能彎矩強度之計算則呈現不保守之結果，若採 Caltrans SDC 之方法，則可得保守之預測結果。剪力強度分析結果顯示，現行混凝土結構設計規範無論是柱或牆的剪力強度計算方法，皆可保守地使用於 L 形與 T 形柱的剪力強度計算。對於文獻中剪力強度評估而言，Sezen 剪力強度模型可提供相當準確的強度評估。本研究所提出的側推分析方法，可以準確地預估撓曲控制與補強柱的初始勁度、最大側力強度以及極限位移，然而，對於補強柱，本研究之側推分析方法尚不能良好捕捉最大側力後的下降段行為。對於剪力控制之柱而言，本研究所提出的側推分析方法可良好捕捉柱之初始勁度與最大側力強度，但亦無法良好捕捉最大側力後下降段之位移變化。

3. 包覆填充型箱型柱接力式繫筋橫向鋼筋配置對撓曲行為之影響

由於箱型柱具有優異的力學性能，台灣高樓結構大多使用箱型柱或填充型箱型柱（即箱型柱內填充混凝土）。但是考慮到防禦火害，工程師常在箱型柱外增設約 100 mm 的混凝土當作防火層。有的工程師將這層混凝土兼作結構用途，並配置縱向主筋及橫向鋼筋，成為所謂的「包覆填充型箱型柱」。由於鋼梁會接到鋼柱面，因此縱向主筋往往只能配置在柱角隅處，且橫向鋼筋除了外圍箍筋外，繫筋也會受到鋼柱的阻撓而無法直通柱斷面。鋼柱的阻撓使得包覆填充型箱型柱外圍混凝土的圍束常無法滿足規範的要求。為了解決這個問題，工程師提出一些變通的作法，有些作法在學理上不甚合理，有些作法處於灰色地帶，對結構安全帶來疑慮。

本研究進行現有工程實務中所使用之橫向鋼筋細部的有效性評估，開發新式橫向鋼筋配置方式並提出建議之細部設計方法。並提出具體的數據，評估各型式橫向鋼筋配置方式對撓曲韌性的影響。本計畫之研究成果可以提供工程師設計施工之參考，提升結構的耐震安全性，對國人的生命財產安全提供更多的保障。實驗結果顯示柱板寬厚比不超過 37 時接力式繫筋之行為表現良好，雖然試體柱板寬厚比由 27 變化至 37，但是每個系列中含接力式繫筋試體之表現與含直通式繫筋試體相似，應可滿足規範需求。

4. 鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估平台開發與應用

老舊建築物或因設計年代久遠或因現況不佳等因素，其耐震能力恐未能符合現行規範標準。若逐一進行詳細耐震能力評估，將耗費相當龐大的經費與時間。本文根據內政部建築研究所 2014 年委託研究計畫所制定的新版建築物耐震能力初步評估方法為基礎，開發出鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估系統（Preliminary Seismic Evaluation of RC Building, PSERCB），讓使用者能夠快速且不失準確的估算建築物的耐震能力。

PSERCB 能夠將耐震能力初步評估結果以定性與定量方式呈現，並以分數表示，讓評估者能夠判別建築物耐震能力之情況，作為後續是否須執行耐震詳細評估與補強或者是拆除重建之參考依據。本系統採雲端作業方式，評估者之調查資料將儲存於雲端資料庫內，可提供各級政府資料檢視、分析、統計與管理之用，並可作為擬訂防災策略所需大數據（Big Data）分析之依據，達到災害控管的目的。

5. 鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術與示範例之研擬

本研究經由進行相關研究資料之蒐集、整理與研究探討後，彙編一適用鋼筋混凝土建築之耐震補強技術手冊，與提供具代表性建築補強示範例。研究報告主要章節內容編修共七章。第一章為通則，提供基本原則、適用範圍及補強設計與施工等基本要求之說明與定義。第二章為補強規劃與結構設計，提供耐震補強規劃時，補強基本策略之選擇參考方向，內容包括結構配置和其連接構造選擇。第三章為構材補強工法，包括擴柱補強、增設翼牆補強、構材包覆補強、

加強磚造結構之補強等各種方法之設計、結構細節、補強耐震性能規定。第四章為結構系統補強工法，包括增設 RC 剪力牆補強、增設鋼造斜撐或鋼板剪力牆補強、消能補強及其他補強技術等各種方法之設計、結構細節、耐震性能方面之規定。第五章為基礎補強設計，提供基礎之補強基本原則、耐震需求、設計成序與補強成效評估等。第六章為補強設計例之醫院結構，提供醫院結構採位移型消能斜撐補強、速度型消能補強、開口 RC 牆及鋼斜撐補強四種補強範例及其錨錠設計與基礎補強方式。第七章為補強設計例之住商混合大樓，提供住宿混合大樓結構採位移型消能斜撐補強、RC 牆補強二種補強範例及其錨錠設計。

106 年度研究課題及執行重點

106 年度研究課題係以 104 ~ 107 年中程計畫所含 3 分項計畫為基礎，配合公安事件與天然災害暴露過去技術工法與規範不足處再作滾動修正。105 年 2 月 6 日美濃地震造成台南市部份地區土壤液化，並顯露出大樓結構鋼筋續接器接合觀念不足及屋齡 20 年以上之舊 RC 大樓柱一般採非韌性配筋細節使其發生崩潰式破壞，為改善前述問題本計畫 106 年度將再檢討補充相關研究。以下將就 106 年度執行之研究案說明如下：

1. 建築物基礎構造設計規範之修正研擬

基礎構造物為建築物之根基，對建築物之安全性與穩定性至為重要。目前我國基礎構造物之設計大都以內政部營建署民國 90 年頒布實施之「建築物基礎構造設計規範」為依據，實施以來已 15 年，未曾修正過。

內政部營建署民國 90 年頒布實施之「建築物基礎構造設計規範」，係於民國 86 年由內政部建築研究所委託中華民國大地工程學會所研擬制訂，當時邀集國內各大顧問工程公司之地工專家，彙整世界各國設計規範、國內基礎設計與施工慣例，經研討歸納而制定草案，後經內政部建築技術規則審議委員會審查通過而頒布實施。

現有「建築物基礎構造設計規範」之內容包含地基調查、建築物各類基礎之設計、擋土牆、深開挖、地盤改良與土壤液化之分析，內容堪稱完整。實施至今已超過 15 年，期間我國基礎工程之設計方法與施工技術均有相當程度的進步與改變，現有規範已不敷使用，內容亟需修正，以符合業界之需求。尤其有關基礎耐震設計與土壤液化分析方面，現有基礎構造設計規範的設計地震仍僅考慮 475 年回歸週期之地震為短期載重情況，與現

有「建築物耐震設計規範（民國 100 年版）」之三級地震需求與性能要求，具有很大之差異，使設計者無所依循；尤其今年 0206 美濃地震造成台南市部分地區產生嚴重土壤液化災害，行政院指示應盡速頒佈全國土壤液化潛勢圖，引起全國民眾對土壤液化問題之重視，故亟須盡速修訂現有規範之相關內容，並檢討精簡評估土壤液化參數之可行性，使規範能更臻完善、更能配合現況需求，以應基礎設計分析之需要。

本研究將首先針對現有「建築物基礎構造設計規範」之內容，檢討其適用性與不足之處，繼則蒐集國內最新之設計與施工規範，與國內目前之基礎設計、施工技術和慣例，並參考我國目前之建築物耐震設計標準，研擬修訂相關內容，使可滿足國內基礎設計分析之需要。

2. 中高樓層建築非韌性 RC 配筋柱擴柱補強技術研究

2016 年 2 月 6 日所發生的高雄美濃地震，造成台南市許多鋼筋混凝土（RC）建築之損毀，從眾多損毀之建築中可發現，有許多受損嚴重的建築為屋齡 20 年、樓高 7 樓以上、未滿 50 公尺之 RC 大樓，例如維冠大樓（16 樓高）、幸福大樓（7 樓高）與京城銀行（11 樓高），此類大樓之柱一般採非韌性配筋細節，例如採 90 度彎鉤且箍筋間距配置過大等，且混凝土強度也可能過低，導致如維冠大樓所觀察到，主筋表面幾無混凝土附著之現象。根據勘災之觀察結果顯示，此種大樓之柱，常呈現受壓崩潰式破壞，造成其所在樓層之倒塌，不僅違反建築耐震設計「大震不倒」的原則，亦嚴重影響建築逃生機能，並造成人員大量的傷亡。由於此類大樓為數眾多，且考量大樓之損毀常造成大量居民傷亡，因此有必要針對非韌性配筋之 RC 大樓柱，進行耐震行為與補強之研究。

由於過去關於非韌性配筋 RC 柱之研究多針對校舍類之低矮建築，其柱尺寸、軸力與配筋細節與大樓柱有所差異，在尺寸方面，大樓柱高寬比一般較低，造成較高之作用剪力，在所受軸力方面，大樓柱一般承受較高設計軸壓，在配筋細節方面，大樓柱一般主筋數較多，繫筋用量亦較多，前述種種不同，導致大樓柱行為較偏剪力與壓力控制破壞，與低矮建築柱較偏撓曲與拉力控制破壞不同。目前常用的補強方法包括擴柱、增設剪力牆或翼牆等，考量對於使用空間、採光與通風之妨礙最小，本研究擬採擴柱補強方法。由

於現行擴柱補強方法係針對低矮建築柱發展而成，由於前述行為之不同，其對大樓柱之有效性仍有待研究加以釐清，例如大樓柱具較高之剪力需求，若採現行補強方法，不於新舊混凝土間使用剪力摩擦筋補強，可能導致擴柱斷面於新舊混凝土交界面產生剪力滑移之破壞；又由於較高之軸壓力與較大之柱尺寸，可能需於補強柱角隅間額外配置植筋入原柱斷面之繫筋，以提供混凝土充足之圍束力。

本研究將廣泛考量與蒐集如屋齡 20 年、樓高 7 樓以上、未滿 50 公尺等條件 RC 大樓柱之設計資料，瞭解其材料性質、配筋細節與軸力大小，並據此設計柱試體，以期儘量與實際情況相符；本研究亦將研擬補強方法，並設計補強試體，考量對空間使用性、採光與通風之妨礙最低，本研究將以擴柱補強為優先，在既有擴柱補強工法之基礎上，研擬適用大樓柱之擴柱補強細節，可能研究參數包括軸力大小、新舊混凝土交界面剪力摩擦筋用量以及補強柱角隅間額外繫筋用量等。本研究最終將進行試體反復載重試驗，以研究未補強柱之耐震行為，以及所研擬補強方法之有效性。

3. 中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究

在 0206 美濃地震之建築物震害調查結果發現：中高樓層建物主要因其力傳遞路徑不良、贅餘度不足、底層軟弱、結構不規則效應過大及非韌性配筋等問題以致產生震損甚至倒塌造成大量人命傷亡。本計畫擬針對台灣常見的鋼筋混凝土造之既有中高樓層住商混合大樓，蒐集 0206 美濃地震中台南市區中高樓層災損案例，探討例如結構贅餘度因子、穩定性因子及剛重比指標等參數，是否可有效篩選及檢視中高樓層住商混合建物是否有底層軟弱、平面與立面不規則效應、結構穩定性不足、結構贅餘度不足及力傳遞路徑不良等問題，以研擬後續的改進補強對策。

本研究將彙整比較近年來日本、美國及歐洲、紐澳等最新中高樓層建築結構耐震設計技術指針及專案報告文獻，以及研討結構系統超強因子、贅餘度因子、穩定性因子、結構不規則效應、高模態效應及剛重比指標等參數之設計與應用現況及可行性。

4. 建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

經濟部標檢局於 104 年新訂之 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」只規定試驗方法，相關合格基準應由各主管機關另訂規範之。現行部頒混凝土結構設

計規範第 5.15.3.3 節要求機械式續接器續接應發展其抗拉或抗壓強度至少達鋼筋以 1.25 f_y 計得之強度外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率等規定，但規範本文並沒有規定相關合格基準，導致國內業者多引用 86 年版中國土木水利工程學會混凝土工程設計規範與解說（土木 401-86）之附錄乙、88 年版內政部營建署及內政部建築研究所之「鋼筋續接施工規範及解說（草案）」或內政部建築研究所 93 年完成的「鋼筋續接器續接設計規範與施工規範及解說研修」報告，均已逾十年以上未更新，目前國內建築工程鋼筋續接器沒有一致且合理的合格基準，業界對基準的認知差異亦大，且與前開規範試驗法與 CNS 15560 多有牴觸，有必要重新檢討更新。

此外，目前經濟部標檢局擬修訂 CNS 560「鋼筋混凝土用鋼筋」提案新增 SD550 及 SD690 新高強度鋼筋，其強度為現行 SD420 鋼筋的 1.33 倍及 1.67 倍。因應鋼筋強度大幅提升以及業界對大尺寸鋼筋之需求，機械式續接工法 20 年來已有長足的進步，各界期待內政部建築研究所能協助訂定鋼筋機械式續接性能合格基準及施工品質管制相關規定，讓規範可以參考引用，讓業界有所依循，以確保建築工程鋼筋續接施工品質，維護國人生命財產安全。

本研究將按 CNS 15560 鋼筋續接器檢驗法測試國內各等級及各式樣的鋼筋續接器性能，並調查使用鋼筋續接器之混凝土構件試驗資料，重新檢討耐震建築工程鋼筋機械式續接性能之合理合格基準，並研擬鋼筋機械式續接施工品質管制之相關規定。

5. 鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築耐震能力初步評估研究

內政部建築研所於 2016 年開發鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估之應用平台（Preliminary Seismic Evaluation of RC Building, PSERCB），透過平台引導使用者順利完成耐震初評，並且瞭解評估流程及降低錯誤發生率。除此之外，能夠透過平台蒐集耐震評估結果，供未來進行統計分析或防災策略擬定使用。

隨著我國鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物增加，此類建築物之耐震能力初步評估方法的建立越來越重要。目前 PSERCB 僅能提供鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估之用，自政府宣示「安家固園計畫」以來，結構技師、土木技師及建築師等從業人員，屢屢建議盡速增加鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能

力初步評估系統，以因應業界對於此類建築物耐震能力初步評估的需求。

本研究計畫比照 PSERCB 之執行過程，將研擬「鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築耐震能力初步評估表」及相關理論推導與應用，並舉辦講習會與專家諮詢會議，確認研擬之架構確屬可行。

評估內容將包含定性及定量兩部分，定性評估項次將會依據國內外文獻，將影響鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力之重要因子納入評分項目；定量評估以主要抵抗地震力之構件計算強度，分別以建築物耐震設計規範及解說之 475 年與 2500 年地震回歸期評估耐震能力。

6. 鋼結構耐震能力詳細評估方法與示範例之研擬

國內一般建築物雖仍以 RC 造佔大多數，但自九二一地震後國內鋼結構建築的數量已逐漸增加，且國內都會區之鋼造建築亦累積有相當之數量，因此有必要針對鋼結構建築研擬其對應之耐震能力詳細評估方法，以有效提昇國內鋼結構建築之耐震安全性。鋼結構建築之接頭是抵抗地震之主要機構之一，國內較老舊鋼結構仍以梁腹板栓接，翼板工地鉚接之接頭為主，此類接頭在 1994 北嶺地震中發現有許多之損壞發生，故梁柱接頭、斜撐接頭及鋼造與 RC 造接合部之評估應有明確詳細之方法。雖近年國內在 RC 結構之評估與補強技術已經有相當多之工程實務經驗，並編訂有相當多之結構耐震評估與補強技術手冊，但對於鋼結構建築物，則未有任何適合於國內結構建築型式之耐震詳細評估與補強方法供實務工程界參考。

內政部建築研究所 921 地震後，於鋼結構耐震技術方面研究雖已有 92 年完成之「鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬」，但其主要評估對象為抗彎矩構架系統，對國內為數甚多之斜撐系統的適用性還需再加以研究，且隨十多年來之新評估技術引進、工程實務經驗累積及研究目標之不同，前述研究內容若要廣泛落實於所有鋼結構建築上，仍有許多不足。故在內政部推動私有建築物補強之際，配合部訂頒「私有建築物耐震性能評估補強推動先行計畫」之具體措施項目，在 RC 建築已有較完整技術支援下，內政部建築研究所應逐漸推動鋼結構建築物之評估與補強技術研究，內政部建築研究所於既有研究基礎下，彙集近年鋼結構耐震評估技術研究資訊與實務案例探討，持續研究與建立適用國內鋼結構建築之耐震能力詳細評估，與具代表性建築評估

示範例，實有其迫切性與必要性。

本計畫擬完成至少三個不同系統或高度之鋼結構建築耐震能力詳細評估計算範例，依所提之不同分析程序進行探討，並配合所內舉辦之研討會或說明會，將研究成果提出供國內工程界參考。

107 年度研究課題及執行重點

本計畫明（107）年配合本部「安家固園計畫」及「私有建築物耐震性能評估補強推動先行計畫」，以及「第十次全國科學技術會議」議題二：堅實智慧生活科技與產業，子題三：精進防災科技減少災害衝擊，策略重點 3：提升關鍵設施防震耐災能力，納入研究內容規劃落實；辦理住宅建築物耐震評估技術研究與推廣，以及住宅建築物耐震補強工法研究與推廣，持續進行本土性大型結構耐震實驗研究，協助營建署及經濟部修訂建築物構造設計技術規範及國家標準之參採，提昇國內建築結構安全與使用性能。且近來時有所聞的大樓磁磚外牆掉落而致生公安意外，使民眾生命財產處於潛在威脅環境。以下將就 107 年度執行之研究案說明如下：

1. 鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估平台開發與應用

內政部建築研究所 105 年度開發「鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估之應用平台（Preliminary Seismic Evaluation of RC Building, PSERCB）」，研擬鋼筋混凝土建築物耐震能力定性與定量之評估方式，達到快速評估與不失準確之目標，並採用雲端運算平台，所有評估者之紀錄均可上傳到平台，使得各級政府可有效掌握其轄區內建築物耐震能力之良劣與分佈，有利政府進行大數據統計分析以做為防災策略擬定之依據使用，此外，PSERCB 依照耐震初評所需之程序，規劃循序漸進之操作方式，使得使用者可以瞭解評估流程並降低錯誤發生率。PSERCB 已於 2016 年 9 月 19 日經內政部營建署正式採為爾後國內既有鋼筋混凝土住宅耐震能力初步評估之作業平台。

隨著我國鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物數量日益增加，此類建築物之耐震能力初步評估方法的建立也愈來愈重要。有鑑於此，內政部建築研究所於 2017 年協同研究計畫中研擬鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土結構物耐震能力初步評估方法，包含定性及定量兩部分，使此類結構物耐震能力初步評估表更具客觀性，並且

表 1 精進建築結構耐震技術研究計畫之分年執行規劃表

年度研究主題	108 年	109 年	110 年	111 年
建築耐震相關法令制度及技術手冊研修訂	- SD 550W 鋼筋運用於梁與梁柱接頭耐震設計之規範修訂研議 - 既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬 - 建築物耐震設計規範納入耐震性能設計相關規定條文之研究	- SD 550W 鋼筋運用於柱耐震設計之規範修訂研議 - 導入第三方專業機構提升建築物設計及施工品質之研究 - 從災損評估觀點比較建築物性能設計法與現行設計法之差異	- 鋼構造建築物鋼結構設計技術規範（容許應力設計法）修正草案之研擬 - 鋼筋混凝土柱接錯位偏心梁之接頭剪力強度檢討	- 鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說修正草案之研擬 - 鋼骨鋼筋混凝土構造施工規範修正草案之研擬
耐震能力評估與階段性補強法令研修	建築物崩塌潛能量化指標與評估程序研擬	既有鋼筋混凝土建物崩塌潛能評估示範案例製作及應用策略研擬	既有鋼筋混凝土建物倒塌防止能力可信度分析與應用研究	既有建物非結構元件與設備耐震評估程序研擬
耐震能力提升技術精進及推廣	- 探討鋼結構塑鉸分析於不同梁柱接頭之塑鉸特性 - 醫院及重要政府廳舍機電、消防、給排水等懸吊管線之抗震設計研究 - 應用位移係數法於非韌性含牆 RC 結構倒塌行為之研究	- 鋼結構塑鉸分析方法與現行 RC 耐震能力評估輔助程式之整合 - 木構造建築結構強度檢核之流程與範例 - 直交集成板（CLT）接合聯結件之水平剪力抵抗行為	- 高層建築結構分析與設計替代性程序之研擬 - 輕型鋼構建築結構強度檢核之流程與範例 - 鋼筋混凝土柱塑鉸區箍筋用量與設計剪力之研究	- 鋼筋混凝土梁柱接頭多層擴頭鋼筋錯位錨定之可行性研究 - RC 柱鋼筋續接缺失對柱耐震性能之影響評估 - 以綠能及耐震設計構築安心及友善環境之長照住宅

開發出對應之雲端運算平台，使現場工程師於使用上更具便利性。

基於以上研究成果，本計畫主要目的為研擬建立雲端版建築物初步評估資訊管理平台，彙整評估資訊，使執行耐震初評工作者可以順利上傳各項紀錄成果，建立大數據（Big Data）資料平台，除可協助建築物管理單位進一步管理或評估需要進行詳細評估之優選排序，以達更有效管理建築物耐震安全之目的外，對於了解建築物耐震能力優劣程度的地域性分布情形也可加以掌握。

另耐震能力初步評估之「定量評估」須根據鋼結構或鋼骨鋼筋混凝土理論進行迭代分析與計算，並藉由分析結果與耐震設計規範需求推估初步耐震能力。為使實際執行結構物初步耐震能力評估得以快速、即時且易於操作，期能提升建築物耐震能力初步評估作業之效率與準確性。除此之外，建立初步評估平台可統整所有評估結果之資訊，提供中央建管單位依據大數據（Big Data）平台進行相關數據統計分析，以做未來研究或推廣都市更新相關政策之運用。

2. 既有老舊供公眾使用私有建築物耐震評估補強法規制度之研擬及建築物消能元件等構件力學試驗標準之研究等兩案，正辦理研究中，並考量下否進行進行醫院及重要政府廳舍機電、消防、給排水等懸吊管線之抗震設計研究、既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬等之研究。

104 至 107 年度分年執行策略

本分項計畫研究主題分為「建築耐震相關法令制度及技術手冊研修訂」、「耐震能力評估與階段性補強法令研修」及「耐震能力提升技術精進及推廣」等 3 大部分，各年度主要研究內容之規劃初步草案列於表 1。

唯 107 年 2 月 6 日午夜 23 時 50 分，於臺灣花蓮縣近海，發生芮氏地震規模為 6.0，導致 4 棟大樓倒塌、17 人罹難、近 300 人受傷。

我國現行「建築物耐震設計規範」設計地震之震度為 5 級或 6 級（震度 5 級及 6 級，其地動加速度分別為 80 ~ 250 gal 及 250 ~ 400 gal）。而本次地震最大震度 7 級發生在花蓮市（434 gal）、太魯閣（482 gal）、南澳測站（428 gal），造成花蓮縣建築物發生嚴重的破壞。初步依據報載，統帥飯店、雲門翠堤大樓等 4 棟建築物的倒塌與毀損，除鄰近米崙斷層外，可能包括軟弱層結構（一樓為大廳或車庫）、老舊建築物以舊有規範水準進行設計、建築物受地震力影後因各種可能主因發生後，造成建築構造各部分受力學作用，以致部分相對施工品質不一致部分形成壞，及或有頂樓違法加蓋等因素所致。這些報載，有待各專業單位再確認後，將再進一步調整上揭各年期計畫進行研究。（註：本件係在 0206 花蓮地震後迄今，獲熱情囑撰本文，僅得勅工作業務之科技計中綱計畫及分年滾動計畫擇耐震有關部分，倉企成稿多有不周，尚請見諒。）