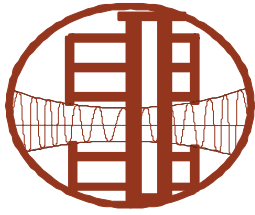


2010.3 第七十三期



發行人：張國鎮

本期主編：劉光晏、李政寬

發行所：財團法人國家實驗研究院

國家地震工程研究中心

地址：台北市辛亥路三段 200 號

電話：(02)6630-0888 傳真：(02)6630-0858

網址：<http://www.ncree.org.tw>

九十九年三月出版

八十一年三月創刊·季刊

行政院新聞局版臺誌第 10286 號

中華郵政北台字第 4690 號執照登記為
雜誌交寄

目錄

• 特別報導

新主任正式視事 1

• 本期主題：橋梁延壽技術

公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究 2

簡易型橋梁監測系統之應用 4

考慮直接基礎搖擺機制之橋梁耐震
性能研究 5

橋柱直接基礎搖擺機制試驗之試體
微振量測 6

• 中心活動

地震工程科學探索體驗營 7

• 國際交流

印度古加拉特省地震研究中心參訪 7

• 研討會

鋼筋混凝土房屋結構配筋重點探討研討會 8

不連續介質計算力學論壇(2010)研討會 8

• 勘災報告

2009 年 1219 花蓮地震 9

特別報導

新主任正式視事

國家地震工程研究中心（簡稱國震中心）前主任蔡克銓教授（下圖左）於 2010 年 1 月任職屆滿，由台大土木系張國鎮教授（下圖右）接任，國研院依規定向台大借調，自 2010 年 2 月 1 日起，擔任國家地震工程研究中心主任一職，並於 2 月 1 日舉行佈達儀式。

張國鎮主任 1976 年台灣大學土木系畢業後，赴美國紐約州立大學水牛城分校土木工程系攻讀碩、博士學位，曾任美國紐約州立大學水牛城分校土木系研究副教授、1991 年返台曾擔任台灣大學土木系教授、系主任、台大地震工程研究中心主任、國家地震工程研究中心副主任及橋梁組組長、中華民國結構工程學會理事長，現任中華民國地震工程學會理事長。

張主任研究專長及領域為地震工程，迄今已培育 20 位以上博士及 80 位以上之碩士，發表 120 多篇期刊論文，200 多篇研討會論文以及 20 多件國內外專利，並曾多次榮獲「中華民國結構工程學會結構工程論著獎」、「中國工程師學會工程論文獎」及「財團法人國家實驗研究院 2009 傑出科技貢獻獎-技術發展類玉山獎」等多項研究獎勵。

由於張主任一直強調研究成果之落實與應用，因此多年來已協助交通部等單位完成多項耐震設計規範修正、研擬與審查如公路橋梁耐震設計規範修訂及公路橋梁耐震評估與補強準則研擬等，而過去所發展之多項補強工法及耐震新工法多已應用於工程實務上。由於張主任學養俱佳不論在研究成果及行政經驗豐碩，相信國研院國家地震工程研究中心在張主任的帶領下，能發揮關鍵角色，為地震防災貢獻心力。



前主任蔡克銓(左)、國研院陳文華院長(中)、新主任張國鎮(右)

專案副研究員 劉光晏

公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究

一、前言

台灣位處環太平洋地震帶西側，1999年921集集大地震造成多數橋梁損毀，嚴重影響交通救災及社會經濟損失。因此，為提升既有橋梁耐震能力，交通部公路總局基於橋梁生命週期成本概念，委託本中心研擬公路橋梁耐震能力評估及補強準則，作為耐震評估與補強設計之依據。本準則包含：總則、地震等級、耐震能力初步評估、耐震能力詳細評估、結構系統與防落系統補強設計、結構構材補強設計，及基礎裸露橋梁之耐震評估與補強。本準則具有下列特點：(1)定性與定量描述橋梁震後性能等級、(2)補強用地震力標準與最新耐震設計規範相同、(3)初步評估結合工程師經驗與易損性分析成果、(4)詳細評估可掌握結構非線性變形行為、(5)建議常見系統補強工法降低地震需求、(6)建議常見構件補強工法增加結構容量、(7)考量基礎沖刷裸露對耐震影響。本準則除條文及解說外並提供耐震能力初步評估、詳細評估與耐震補強等共9個案例，對於日後國內橋梁耐震補強作業具有正面助益。

二、補強後橋梁耐震性能目標

本準則之橋梁補強為以耐震性能為基準之補強方式，表示補強後橋梁於不同等級地震作用下有其各別期望之性能水準，本準則依橋梁安全性、服務性與可修復性共定義有四種性能水準，如表一所示。橋梁性能水準依安全性、服務性與可修復性，就四種性能狀態作定性描述。安全性係考慮結構體耐震能力，在地震力作用下必須能保持不產生落橋與橋柱崩塌；使用性乃期望地震後橋梁能繼續保有交通運輸與救災服務的功能；修復性則強調在不需大規模拆除重建的原則下，選用經濟合適的修復補強工法恢復橋梁原有功能。橋梁耐震性能目標之基本原則為中度地震下橋梁結構須保持彈性，震後無明顯之損壞及不需修復且可保有震前之交通機能；設計地震下橋梁依橋齡及用途係數容許產生不同程度之損傷，但須避免產生落橋或崩塌。本準則依橋梁用途係數定義之性能目標，如表二至表四所示。

三、補強用地震力需求

對於需補強橋梁，地震水準係依據97年版公路橋梁耐震設計規範之規定，即與新建橋梁之地震水準相同，由橋址堅實地盤之強地動特性與土壤放大特性決定，以地震水平譜加速度係數表示。設計地震係考慮50年10%超越機率之均布危害度分析而訂定，其對應地震回歸期為475年。震區堅實地盤短週期與一秒週期之水平譜加速度係數下限值約可取為回歸期475年地震之1/3~1/4，因此本準則直接擷取回歸期475年地震之1/3.25作為設計總橫力下限值之依據。為避免橋梁在地震不太大時即產生若干損壞與構材需常修復的可能性，構材在設計總橫力下限值作用下，以未達降伏為原則。此外，設計總橫力下限值認定由遠域地震造成之可能性較大，故不考慮斷層近域效應。

表一 耐震補強後橋梁之性能水準

| 性能水準 | 安全性 | 服務性 | 修復性 | |
|------|---------------------|--------------------|------------------|----------------|
| | | | 短期 (服務性) | 長期 (安全性) |
| PL3 | 結構保持彈性防止落橋 | 與地震前交通機能相同 | 簡易維修 | 經常維修 |
| PL2 | 防止落橋與允許橋柱產生可修復之塑性變形 | 短期搶修可恢復震前交通機能 | 依既有緊急搶修工法，完成短期搶修 | 依既有修復工法，完成長期修復 |
| PL1 | 防止落橋與避免橋柱過大殘留變形 | 短期搶修可限重限速恢復通行 | 更換受損構件或進行結構補強 | 封閉橋梁，進行局部重建 |
| PL0 | 防止落橋與避免橋柱崩塌 | 得禁止通行，以替代道路或臨時便橋取代 | 得全橋或局部拆除重建 | 得全橋或局部拆除重建 |

表二 橋梁用途係數 I

| 橋梁類別 | 用途係數 |
|------------------------------|------|
| 高速公路 | 1.2 |
| 重要公路、跨越重要設施之公路橋梁、城鎮之主要聯外公路橋梁 | 1.2 |
| 其他 | 1.0 |

表三 一般橋梁 (公路橋梁耐震設計規範 I = 1.0) 之性能目標

| 地震等級 | 採用之設計規範版本 | | |
|------|-----------|---------|--------|
| | 84及89年版 | 49及76年版 | 49年版以前 |
| 中度地震 | PL3 | PL3 | PL3 |
| 設計地震 | PL2 | PL1 | PL0 |

表四 重要橋梁 (公路橋梁耐震設計規範 I = 1.2) 之性能目標

| 地震等級 | 採用之設計規範版本 | | |
|------|-----------|---------|--------|
| | 84及89年版 | 49及76年版 | 49年版以前 |
| 中度地震 | PL3 | PL3 | PL3 |
| 設計地震 | PL2 | PL1 | PL1 |

四、耐震能力初步評估

耐震能力初步評估係採用簡便、快速之方法，進行橋梁之耐震能力評估後並加以篩選排序，供橋梁進行後續的耐震能力詳細評估之依據。本準則提供兩種耐震能力初步評估方法，一為耐震評估檢查表法，二為橋梁地震損失風險值法。耐震評估檢查表分兩種，一為落橋評估，另為強度韌性評估；兩表均區分為橋址環境、結構系統及結構細部三大項，但因目的不同均須填寫。地震損失風險值法係以12種典型橋梁發生完全損壞、嚴重損壞、中度損壞與輕微損壞的易損性曲線為基準，配合受評橋梁之設計地表加速度、地盤種類、三維效應與歪斜橋程度得修正後易損性曲線，計算工址發生475年回歸期設計地震時該橋產生完全損壞、嚴重

損壞、中度損壞與輕微損壞之或然率，乘上其對應的損失比後得該橋在設計地震發生下的損失比，再配合橋梁重要性指標、落橋評估檢查表評分、強度韌性評估檢查表評分加權平均，即可進行篩選排序之作業。

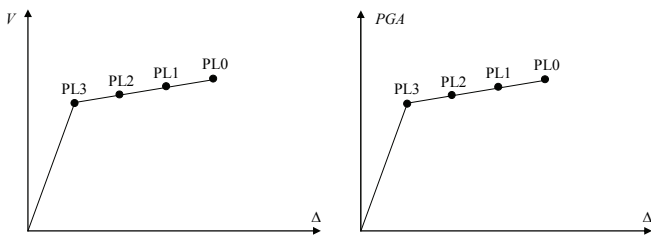
五、耐震能力詳細評估

結構耐震性能評估應綜合考量結構耐震容量與橋梁工址附近之地震需求等因素，藉由可信的結構力學方法進行分析，達到多重結構耐震性能評估之目的。詳細評估應依據實際材料強度、斷面尺寸與構材配設細節等資料，採用合宜的結構分析方法，如表五所示。橋梁耐震能力通指整體橋梁結構在各耐震性能等級下所能承受的地表加速度，由側推分析(圖一)所得之容量震譜依據工址地震水平譜加速度係數等規定求得，透過位移-加速度曲線(圖二)求算各耐震性能水準 PL3、PL2、PL1 與 PL0 位置，比較中度地震 ($0.4S_{DS}/3.25$) 與設計地震 ($0.4S_{DS}$) 地表加速度。如耐震能力不足則須進行強度或韌性補強。PL3 代表橋梁降伏點；PL2 產生 1/3 塑性變形 (台北盆地取 1/4)；PL1 產生 2/3 塑性變形 (台北盆地取 1/2)；PL0 塑性變形完全發揮 (台北盆地取 3/4)。

有關混凝土應力-應變關係，民國 84 年以前規範所設計橋柱之耐震能力評估，建議採用 Kawashima 模式；民國 84 年規範所設計之橋柱及經圍束補強後橋柱則使用 Mander 模式。

表五 橋梁耐震能力詳細評估方法

| 性能等級 | 規則橋梁 | 不規則橋梁 |
|-------------|--------------------------|----------------------|
| PL3 | 線性靜、動力分析法 或非線性靜、動力分析法 | 線性動力分析法 或非線性動力分析法 |
| PL0、PL1、PL2 | 非線性靜力分析法 或非線性動力分析法 | 非線性動力分析法 |



圖一 側推曲線

圖二 位移-加速度曲線

六、結構系統與防落系統補強設計

補強執行過程包含補強策略擬訂、補強方案比較、補強工法選擇及補強成效評估。補強策略指耐震補強的整體計畫、補強方案指改善耐震性能的思考方向、補強工法指實際用以改善構件性能的技术。補強策略與方案應根據耐震評估與現場檢測調查結果綜合判斷決定，可採用系統改善補強或部份結構補強等來進行，並宜結合維修方便性、使用功能性及美觀等考量。結構系統補強包含慣性力分散工法、功能性支承系統補強工法、隔震補強工法、減震補強工法等，其目的為提昇整體橋梁系統之耐震性能或降低地震力需求。防落設施補強方案包括：加長防落長度、防止落橋裝置，與變位限制裝置。

七、結構構材補強設計

結構構件補強或置換方案包括增加橋柱、帽梁、基礎等構件之強度與增大構件之變形能力。橋柱補強包括鋼筋混凝土圓柱與矩形柱，補強對象包括韌性補強、剪力補強與鋼筋搭接補強，補強的方法則包括鋼板包覆補強及纖維複合材料包覆補強等。混凝土包覆補強依一般新建混凝土設計補強之。補強厚度應以韌性補強、剪力補強及鋼筋搭接計算所得之補強材厚度擇其最大者為原則，如最小厚度以滿足補強後性能目標之檢核則不受此限。本準則係依混凝土極限應變理論及性能目標決定補強材料用量，工程師可逕行參考相關單位 (如 AASHTO、ATC、Caltrans 等) 所建議之橋柱補強公式，或使用考慮混凝土受鋼板或纖維複合材料包覆後之材料組成律，使補強結果滿足性能目標之檢核即可。經土壤液化潛能評估分析後，對於橋梁基礎可能因土壤液化，造成支承载力不足，基礎產生沉陷、傾斜、側向流動而破壞，必須選定適宜之補強工法，進行基礎結構補強或地盤改良。

八、基礎裸露橋梁之耐震評估與補強

基礎裸露將影響橋梁耐震能力，對於有沖刷疑慮之橋梁在進行耐震能力評估時，應考量適當的基礎裸露深度以檢討其耐震能力。針對基礎裸露橋梁的詳細耐震能力評估，應建置該振動單元完整的分析模型 (包含基礎結構部分)，並根據基礎型式適當模擬裸露下土壤與基礎互制之影響。因為土壤與基礎互制狀況複雜，建議對於每座基礎裸露橋梁進行完整的分析模型以準確評估該基礎裸露橋梁之耐震能力。若滿足簡化分析的條件，耐震能力可依據基礎型式，透過建議之折減率公式進行折減，以避免繁瑣的分析過程。對於基礎嚴重沖刷裸露之橋梁結構，應首先避免基礎繼續受到沖刷，必須立即進行護床工法或基礎保護工，再搭配詳細的評估後續之耐震能力補強工法。就目前來說，針對基礎嚴重裸露之橋梁可考量下列兩方向解決，其一是考量橋梁基礎擴座增樁補強，主要是提升基礎裸露造成之垂直承載力及水平承載力能力；其二是考量橋梁基礎之換底工法，墩柱與橋基重新設計與置換，將耐震與耐洪兩問題一併解決。

九、案例分析

本準則除條文與解說外，並提供 9 個案例分析，案例一與二為初步評估法；案例三至八為側推分析法為主之詳細評估與補強設計；案例九為非線性動力分析為主之詳細評估與補強設計。個案說明如下：案例一：耐震評估檢查表法、案例二：地震損失風險值法、案例三：多跨簡支預力梁橋+壁式橋墩+直接基礎、案例四：多跨連續預力梁橋+單柱式橋墩、案例五：多跨連續鋼橋+框架式橋墩+沈箱、案例六：多跨簡支預力梁橋+單柱式橋墩+沉箱基礎、案例七：多跨簡支預力梁橋+單柱式橋墩+樁基礎、案例八：多跨連續預力梁橋+單柱式橋墩、案例九：多跨連續預力梁橋+單柱式橋墩。

專案副研究員 劉光晏

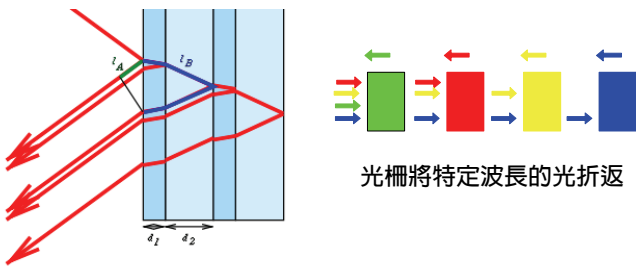
簡易型橋梁監測系統之應用

一、前言

集集地震與八八水災等災情顯示，橋梁是救災體系中相當重要的一環，橋梁安全的監測、通報、交通管控速度，是攸關生死的大事。緣此，本文利用光學中的「光纖光柵感測元件」為基礎，研究實用的橋梁安全即時監控系統。

二、光纖光柵簡介

光纖光柵是一種將折射率不同的材質，以特定的間距排列而成，將特定波長的光 λ (例如綠光) 折返。至於其它波長的光，不受太大影響，繼續向前傳輸(例如圖中的紅光、黃光、藍光)。



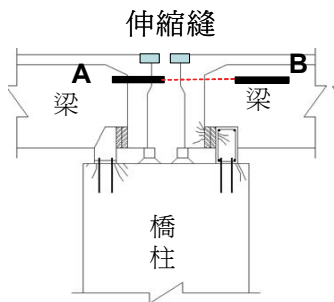
不同折射率、厚度的玻璃材質排列成光柵

三、光纖光柵之光彈行為與光纖位移計

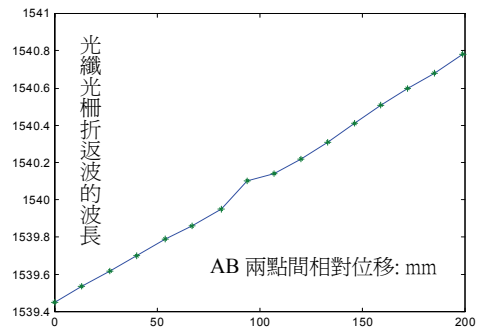
光纖光柵如果承受外在力量，或受到外在環境溫度影響，柵距(Grating Period)等物理參數將因而變化，使得回程相長干涉波的波長，變成 $\lambda + \Delta \lambda$ (比方來說，藍光變深藍，或是藍光變淺藍)。取線性關係以數學方程式來表達：

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = C_S \Delta \epsilon + C_T \Delta T$$

其中 $\Delta \epsilon$ 為光柵承受應力所產生的應變， ΔT 為光柵溫度的改變量， C_S 與 C_T 分別是相關係數。一般橋梁伸縮縫的變位量，若以安全監測為考量，通常的建議量是 12 公分以上，而光纖光柵的長度，只有 3 公分到 5 公分長，能承受的伸長變化量，大約只有 0.03 公分到 0.05 公分，如此侷限的伸長容許量是不足以量測橋梁的變位量。因此，本研究結合了機構設計，提升光纖光柵位移計衝程 (Stroke)。



橋梁裝設位移計監測伸縮縫活動

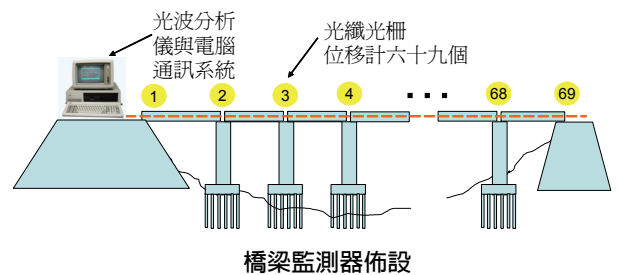


實驗室中，位移計拉伸與光波長變化

由實驗室試驗拉伸量和光波長變化情形，可知兩者之間的關係呈線性函數關係，之後我們只要讀取光波長數值，便得知 A B 兩點的長度變化情形，即伸縮縫長度變化情形。當然我們也可將位移計用來監測橋柱與梁之間的相對變位。

四、監控系統與組織

大梁掉落河川之前，伸縮縫的間距將超出平時候的反應。如果橋梁伸縮縫，以「光纖光柵位移計」即時監測，監測數據經由網路隨時回報橋梁管理單位進行研判和處置，或是監測數據直接控制兩岸交通示警裝置，傷亡事件應可減小，甚至無傷亡事件。在這前提下，本研究規劃下圖監測器佈設、通訊系統與交控系統。



橋梁監測器佈設



通訊系統與交控系統

五、結語

本文介紹光纖光柵與開發光纖光柵位移計，並說明如何結合光纖監測技術與橋梁安全管理。希望文中所介紹的方法，有朝一日能發揮監測功能，保護用路人。

副研究員 李政寬

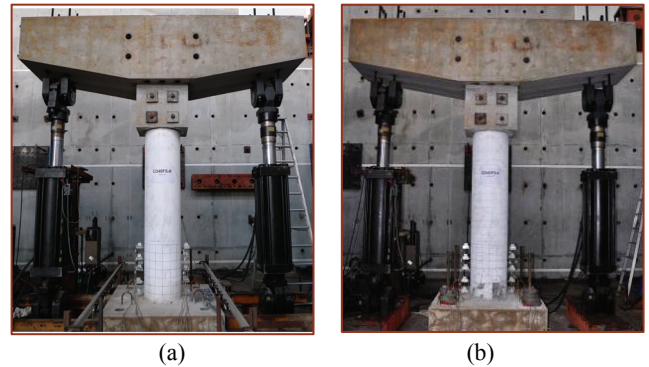
考慮直接基礎搖擺機制之橋梁耐震性能研究

國內經 921 地震後，部分地區之設計地表加速度提高，很多橋梁也因此須進行補強工程。補強後的橋柱強度提高，基礎對應於橋柱產生塑鉸時之設計力也提高。為滿足橋柱塑鉸產生後，塑性彎矩作用下直接基礎之穩定性檢核，部份補強案例需進行直接基礎擴座補強，導致補強後之基礎尺寸寬幅明顯過大，有過於保守之疑慮。依據國內 84 年版「公路橋梁耐震設計規範」與 86 年「公路橋梁耐震設計規範之補充研究」，基礎之設計應考慮橋柱產生塑鉸後柱底傳至基礎之作用力。而直接基礎在橋柱產生塑鉸後，其基礎底面之有效接觸面積須大於基礎底面積之一半，且直接基礎之合力偏心距也應小於基礎寬度之 1/3。換言之，84 年版之設計規範在足以讓橋柱產生塑鉸之大地震下，仍嚴格限制基礎大幅搖擺行為之發生。事實上，在大地震下，直接基礎的搖擺機制可降低傳遞至主結構之地震力，也可藉由土壤之塑性化提供消能機制，所以此時若仍以傳統之固定基礎假設進行分析，將會導致不合理高之柱底內力。若再依此內力進行補強除了會使補強經費不合理地大幅提升外，藉由加大基礎限制基礎之搖擺行為，也反而會迫使大部分地震能量均傳至主結構，進而提高地震後橋柱之損傷程度。有鑑於此，國外一些結構補強相關手冊已有條件地允許補強後藉基礎抬升與搖擺行為消散部分地震能量。國內亦在 97 年底新頒布之「公路橋梁耐震設計規範」適度放寬直接基礎設計之相關規定。

另一方面，目前世界多數先進國家正在積極推動之性能設計規範係以位移作為性能之計量標準，所以位移須先能正確預測，即結構真正之非線性行為須先能正確模擬，其中當然也包括直接基礎之實際耐震行為，才能達到性能設計之目的。此外，即使我們不將直接基礎搖擺機制之好處納入設計之考量，然而由於在真正地震作用下，直接基礎之搖擺現象確實會發生，如日本在 1995 年阪神地震與 2004 年新瀉地震，均發現直接基礎搖擺行為的確在強震下發生；其他地震下，如 1960 年智利地震、1964 年阿拉斯加地震、1971 年美國聖費南多地震及 1999 年 Athens 雅典地震等，也曾被發現部份結構基礎因地震抬升之證據。因此若於實際分析中，未將基礎抬升效應納入考量，將有可能會低估搖擺機制可能帶來之壞處，如上部結構位移之增加與基礎土壤沉陷量之提高等。很明顯地，為發展以性能為導向之耐震設計規範，須針對直接基礎橋柱之耐震行為進行更深入研究。

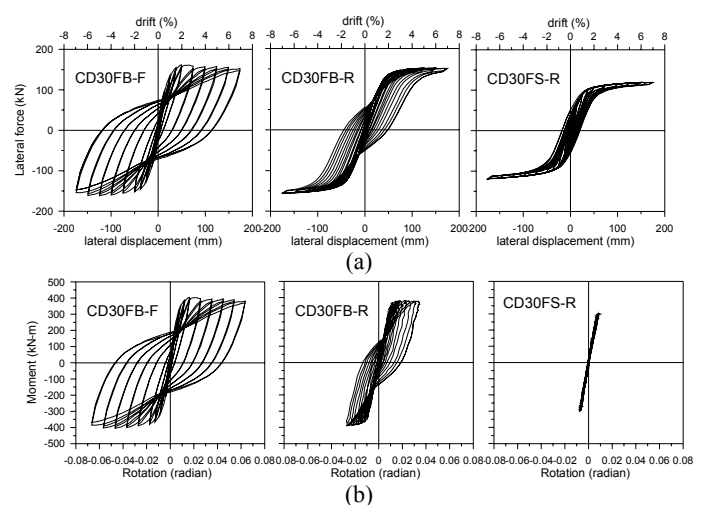
檢視目前各國規範在直接基礎耐震性能之發展，雖然部分國家，如美國與日本之新版規範已間接考慮直接基礎搖擺特性，但尚未將搖擺機制可能產生之效益，如降低地震需求與主結構之韌性需求等納入全面之設計考量，其原因為目前可完整建構基礎抬升之幾何非線性行為與柱底、土壤塑性化之材料非線性行為為關係之相關研究尚不多，廣泛之參數分析亦缺乏。在直接基礎搖擺理論尚未完整建立之前，規範基於保守的考量並不宜於此刻作大幅度之變動。為使將來規範得以在充分之理論基礎下做更嚴謹之修正，更詳盡的相關理論發展為當務之急。故本研究之目的為透過實驗(圖一)與分析，確認藉由基礎搖擺機制降低橋柱地震需求之

觀念，亦檢視基礎搖擺可能產生之不良影響，如較大之位移需求及基礎底土壤之永久沉陷等。藉由六組不同基礎尺寸、橋柱強度容量與橋柱韌性容量試體之擬動態試驗與反覆載重試驗，以及對應之數值模擬與參數分析，研究成果可增進對各參數間交互影響關係之瞭解，從而使直接基礎與其橋柱設計得以在搖擺機制所可能造成之優點與缺點間找到適當之平衡點。



圖一 試驗配置 (a) 搖擺基礎; (b) 固定基礎

本研究實驗與分析結果(圖二)證實直接基礎之非線性搖擺機制可大幅降低柱底塑性化程度。此外，一旦基礎抬升不受束制，基礎和柱底所承受之彎矩與剪力將會有個上限值，該上限值可由一簡單公式推導而得，且橋柱之耐震性能將和此上限值息息相關。如果該彎矩上限值低於橋柱彎矩強度容量，則橋柱並不會進入塑性，也不會產生非線性變形。也因為橋柱未達塑性，橋柱之韌性需求得以降低，但同時柱頂位移也會提升；若彎矩上限值遠高於橋柱彎矩強度容量，因為基礎不易抬升，基礎抬升不受束制之橋柱耐震行為仍將近似於固定基礎橋柱。另一方面，若彎矩上限值僅略高於橋柱彎矩強度容量，則橋柱會藉由部份塑性化之橋柱非線性變形協助消散地震能量。



圖二 反覆載重試驗結果 (a) 側力-位移圖; (b) 柱底彎矩-轉角圖

副研究員 洪曉慧、專案副研究員 劉光晏

橋柱直接基礎搖擺機制試驗之試體微振量測

一、前言

近年來之災害性地震中，發生許多橋梁受到損傷或甚至毀壞之案例，其中有大部分是因為橋柱底部承受較大彎矩，因而導致撓曲破壞或圍束破壞，並使得橋墩產生劇烈變形甚至完全倒塌。當結構設計不當、材料強度不足、或先前曾遭受損傷，則其受震損壞的情況將更為嚴重。若能於事先瞭解橋梁結構（尤其橋柱）之損傷程度，並予以及時重建、補強、或管制使用，便有助於預防上述之橋梁災害。在橋梁損傷檢測中，目視檢測與接觸式儀器檢測（如敲擊回音法、超音波檢測、X光檢測）等直接檢測方法能有效展現橋墩之完整性，然而在某些情況下，橋墩並不易到達（如橋墩位於深槽區），因而無法進行直接檢測，且直接檢測方法僅能定期施行，無法持續觀測。因此，實有必要發展可靠、易於施作、能供及時監測用之間接損傷檢測技術。由於結構系統之振動反應能展現該系統本身之特性，並能反應系統邊界條件之變化，故藉由量測結構振動反應，將有助於檢測損傷所在之位置以及量化損傷之程度；此外，其亦滿足了上述之檢測需求。

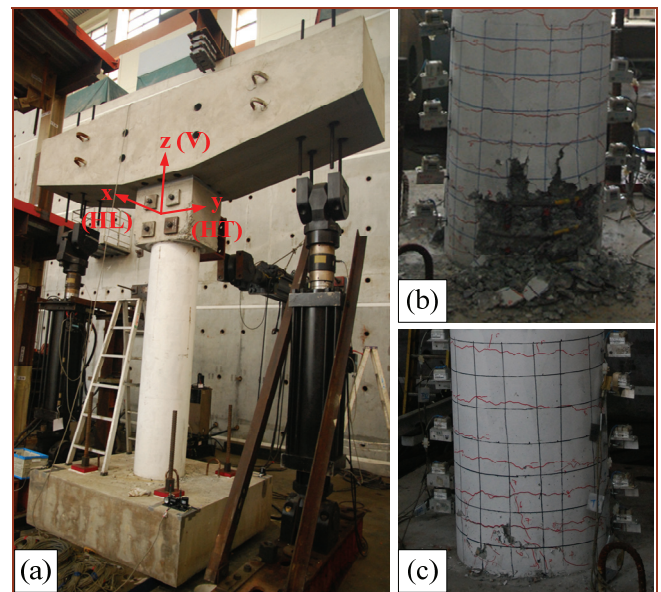
二、橋柱直接基礎搖擺機制試驗簡介

2009 年間，為了探討橋柱直接基礎搖擺機制降低橋柱地震需求之效應，國家地震工程研究中心進行了一系列鋼筋混凝土橋柱試體反覆載重試驗與擬動態試驗。試驗所採用之橋柱試體係由方形基腳、圓柱、及帽梁所構成，如圖一(a)所示。為了釐清直接基礎搖擺行為之影響，試驗中採取兩種基盤條件：一為固定基盤條件，基腳係以螺栓直接固定於強力地板，限制基礎搖擺模態之產生；另一為柔性基盤條件，基腳係設置於 10cm 厚之橡膠支承墊上，模擬直接基礎座落於堅實土層上之情況。試驗中，持續施加一固定鉛垂向載重於帽梁之上，模擬上部橋版之自重；用以模擬地震載重之側向力則沿行車方向（見圖一(a)）施加於橋柱頂端。圖一(b)與圖一(c)分別為試驗後兩種基盤條件下之橋柱下端破壞情況，可明顯看出前者之破壞較後者為嚴重，說明了直接基礎的搖擺機制確實能降低受側向載重橋墩之塑性變形量。

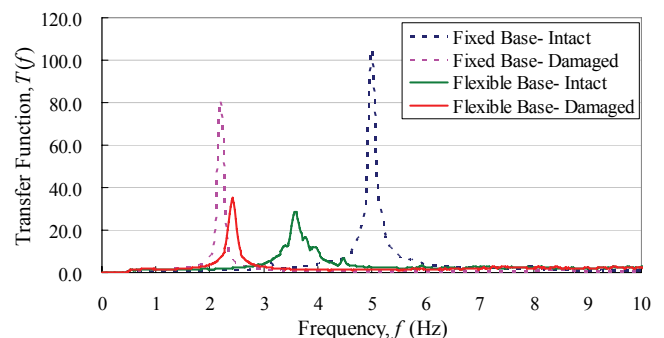
三、橋柱試體微振量測之結果

本研究利用前述之橋柱側向載重試驗，分別於試驗前後，亦即在試體處於完整狀態與破壞狀態下，進行試體微振反應之量測，藉此瞭解結構損傷對結構振動特性（如結構自然頻率與對應之放大係數）之影響。速度計係固定於帽梁與強力地板上，量測 x 向（水平行車方向）與 y 向（水平橫向）之環境微振反應（見圖一(a)）。由於橋柱直接基礎搖擺機制試驗中，側向載重係施加於行車方向，故在此僅討論行車方向之振動。為了能更清楚瞭解橋柱之結構特性，在此求取各個情況下帽梁振動反應與強力地板振動反應之轉換函數，如圖二所示。在固定基盤條件下，橋柱於完整狀態下之自然頻率為 5.00 Hz，所對應之放大係數為 105.3；在破壞狀態下，橋柱自然頻率為 2.20 Hz，下降達 56.0%，係為橋

柱損傷使勁度降低所致，放大係數則降低為 81.2，可能與裂縫帶來之消能效應有關。至於柔性基盤條件下，橋柱於完整狀態之自然頻率為 3.58 Hz，所對應放大係數為 28.7，均較固定基盤者為低，可能係由於橡膠墊所導致之勁度降低與額外阻尼所造成；而在破壞狀態之下，橋柱自然頻率為 2.42 Hz，下降了 32.5%，放大係數則上升為 35.2，主要係由於橋柱損傷導致勁度降低。由上述結果明顯可觀察到，當橋柱受損傷時，將引致整體勁度之下降，使得結構自然頻率隨之降低。對應之放大係數則同時與勁度降低及裂縫導致之阻尼有關，前者造成其上升，後者則造成下降；當損傷較輕微時，整體將趨於上升，而當損傷較嚴重時則將下降。此外，當結構損傷越嚴重，自然頻率下降幅度越高，代表自然頻率之變化量能反映出結構損傷狀態之程度。



圖一 (a) 橋柱直接基礎搖擺機制試驗試體；(b) 固定基盤條件與 (c) 柔性基盤條件下之試驗後橋柱下端損傷狀態



圖二 各情況下帽梁振動反應相對於地板振動反應之轉換函數

專案副研究員 柯永彦
台灣大學博士後研究員 張為光

地震工程科學探索體驗營

地震中心承辦國科會「親身體驗-科學探究計畫」，於2月3日至5日舉辦「地震工程科學探索體驗營」，藉由活動來推廣科普防災教育，將先進的地震工程技術，防災減災的意識，介紹給高中學生。

地震營首日由張國鎮主任以及台灣大學大氣科學系郭鴻基教授主持開幕，隨即舉辦專題演講：「安全的家-地震工程防災教育」、「光纖科技在地震工程的應用」、「台灣地震活動與地震觀測」。專題演講後，導覽學生參觀國震中心實驗場、台大土木系隔震大樓、台北101大樓風阻尼器。次日活動為地震工程遺跡之旅，參觀地震毀壞的龍騰斷橋、斷層穿切過的石岡壩、921地震教育園區，讓學生瞭解自然災害可怕的力量、建物損毀的原因與改善策略。活動第三日舉辦義大利麵屋抗震競賽，學員們以兩人為一組，利用義大利麵、熱熔膠、綿繩、白紙等材料，製作抗震模型，模型置於小型振動台進行比賽，看看誰的模型最耐震。賽後則進行座談，學員們彼此分享學習心得，並回饋主辦單位活動改進的意見。

本中心藉由地震工程教育體驗營的舉辦，連結一系列活動：演講、實驗室參觀、震災遺蹟參訪、先進地震工程技術參觀，期望促使學生瞭解科學並不是艱深難懂的學問，而是能實際體驗的知識，進而啟發學生對於科學探索的興趣。



助理研究員 邱世彬、副研究員 張道明、副研究員 李政寬
研究員 林沛陽

印度古加拉特省地震研究中心參訪

一、前言

自2009年3月，國震中心執行國科會台灣-印度國際合作三年期計畫，與印度古加拉特 Gujarat 省地震研究中心 Institute of Seismological Research 進行雙邊合作。本計畫中，ISR 對引進 NCREE 的地震災損評估系統(TELES)有相當強烈的意願，並希望據此發展震害防治與救援之相關策略與體系。然而使用 TELES 系統必須滿足一些先決條件，即是需要很多使用許多地震及地震工程的研究成果，例如確認地殼速度構造、Q 值、發震構造、場址效應、衰減曲線、結構物易損性曲線...等資料。故雙方擬定，在實質導入 TELES 系統前，以三年時間先針對上述各種參數進行研究。本次出國訪問之目的為：與 ISR 討論第一年研究成果；與 ISR 討論後續進行地震災損評估的步驟及期程；到 2001 Bhuj 強烈地震受災區域訪視災後復原重建情況。

二、印度古加拉特省地震中心成立原因及現況

印度古加拉特省在 1668、1819 及 2001 年發生過規模 7.7~7.8 以上的強烈地震，歷次災情都相當嚴重。以 2001/01/26 08:46 規模 Mw7.7 Bhuj 強烈地震而言，死亡 13805 人、受傷 167000 人、經濟損失大於 50 億美元。因此印度古加拉特省在 Bhuj 強烈地震後向亞洲開發銀行及世界銀行申請經費，於 2003 年成立地震研究中心，設立地震觀測網，已於 2007 年開始運作。ISR 為印度國內第一個全方位的地震研究中心，因此雖為省級單位，但是特別受國家的重視，位階很高。目前 ISR 的研究包含：地震觀測、地震應力變化模擬、地殼 GPS 變形觀測、超導體重力儀地震前兆觀測、地磁變化觀測、地震危害度分布圖、場址效應、城市及工業區地震危害度及微分區、海嘯模擬、古地震研究...等。

三、2001 Bhuj 強烈地震受災區重建情況

2001 Bhuj 強烈地震發生時，在震央 Kachchn 斷層帶附近 30 公里村鎮，高達 95% 以上建物全毀。因此政府與災民將重災區全部推倒重建。重建的村落仍然以磚造及石造為主，在城鎮則出現低矮 2~3 層 RC 建物。此行現地訪視結果發現，建築中的 RC 建物在施工中出現箍筋為 90 度而非 135 度彎鉤，箍筋間距也略寬，混凝土內水泥比例稍低...等常見瑕疵。而村落內磚造結構，水泥量稍少。雖有非政府組織幫助村民，以增加 RC 柱、再用塑膠網將柱與磚牆錨釘補強。但是目前我們認為該區兩種建物的耐震能力在強烈地震發生時仍有疑慮，可能需要進一步加強，但如何能符合當地居民經濟能力則無良好建議。

副研究員 張道明、林主潔、研究員 簡文郁

鋼筋混凝土房屋 結構配筋重點探討研討會

本中心於2010年2月4日舉辦鋼筋混凝土房屋結構配筋重點探討研討會。本次研討會由財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、中華民國結構工程學會、各結構工程技師公會，以及中華台北亞太工程師監督委員會等共同主辦，特邀請國內相關學者專家，針對鋼筋混凝土房屋結構配筋之要點進行深入探討。

從事結構設計工作者，都能體認一件完整的設計作品，除了準確的分析計算外，最重要的應該是如何將設計原意以圖說方式清楚地表達出來。優質的設計圖說不僅要符合法令規範的要求，還必須讓工地施工可行。結構工程師在學養成時，多偏重理論的灌輸，俟進入實務界工作，欲將設計輸出資料轉繪成設計圖時，需仰賴經驗的傳承與累積。故中華民國結構工程學會與各結構工程技師公會乃於去年底出版「鋼筋混凝土房屋結構配筋準則」一書，以供結構設計者據以參酌，儘量減少圖說繪製的錯誤。

為使國內產官學研各界對於「鋼筋混凝土房屋結構配筋準則」一書，有更為詳細的認識，本研討會特別邀請負責編撰該書各專章的專家學者，就相關理論背景與實務細節予以詳細說明。邀請之專家包括台灣省結構工程技師公會藍朝卿理事長、王昭烈技師、柯鎮洋技師、胡銘煌技師、陳正平技師、江新煌技師、張富昌技師、陳伯昭技師、張景策技師，以及陳奕信技師等。講題內容包含鋼筋混凝土設計圖主要內容簡介、保護層厚度、鋼筋間距及結構最小尺寸之設定、鋼筋之加工組立、支墊及間隔器、鋼筋之伸展、續接與錨定，以及鋼筋混凝土房屋結構各主要構件之配筋要點等。此外，有鑑於目前房屋結構補強作業日益繁多，特邀請國立台北科技大學宋裕祺教授簡介日本常用之耐震補強工法供國內工程師卓參；另為減少鋼筋配置缺失，特邀請國立台灣大學黃世建教授就國內鋼筋配置常見瑕疵與其改善對策做一概略說明與探討。故本研討會邀請之講員涵蓋國內工程界與學界，企盼藉由本次研討會之舉辦，以及工程界與學界之合作，能有助於國內鋼筋混凝土工程設計與施工品質之提昇。



照片一 宋裕祺教授

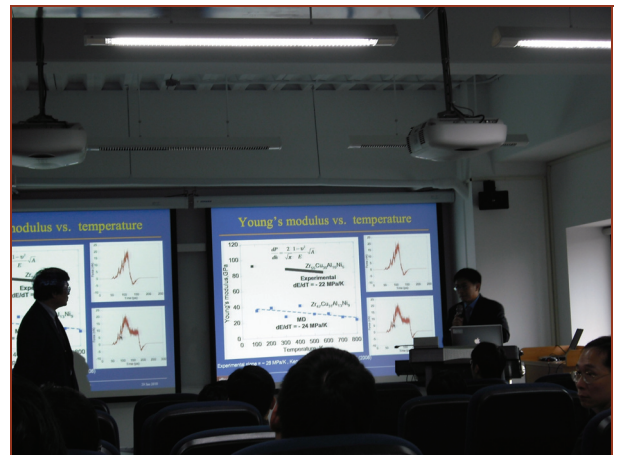


照片二 黃世建教授

副研究員 洪曉慧

不連續介質計算力學論壇(2010) 研討會

有鑑於臺灣近年來土石流與橋梁沖刷災害，以及國際間地震與自然天災等問題持續不斷發生，造成許多人員傷亡和經濟財產的損失。天然災害之基本分析與不連續計算力學分析技術息息相關，為了更進一步提升國內不連續計算力學分析之能力，國家地震工程研究中心與台灣計算力學協會及國立中央大學橋梁工程研究中心，於2010年1月29日，在台灣大學土木研究大樓402會議室，共同主辦不連續介質計算力學論壇(2010)研討會。此研討會邀請到國立中央大學土木工程學系王仲宇教授、國立臺灣大學土木工程學系謝尚賢教授與張慰慈博士及陳俊杉教授、國立成功大學土木工程學系吳建宏教授、方中教授與林育芸教授及王雲哲教授、國立臺灣大學機械工程學系楊馥菱教授、國立暨南國際大學土木工程學系戴義欽教授等人。會議內容包括三維離散元素模擬之平行化與應用、多球體在黏性流的動態運動模擬地震引致大規模邊坡破壞模擬之研究、黏著元素於界面破壞及黏著問題模擬之運用與不連續分析技術相關之研究課題；參與本次會議之人員約有60人。希望經由本次研討會之舉行，對於國內土木工程界與學術界，在不連續計算分析能力上有所提升與貢獻。

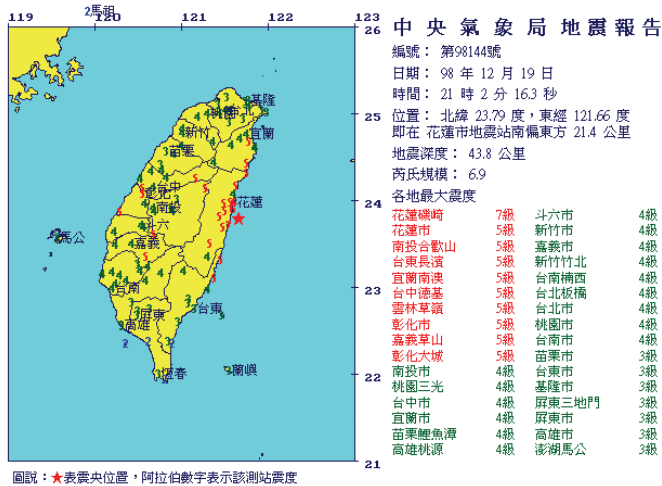


不連續介質計算力學論壇(2010)研討會現場

副研究員 王仁佐

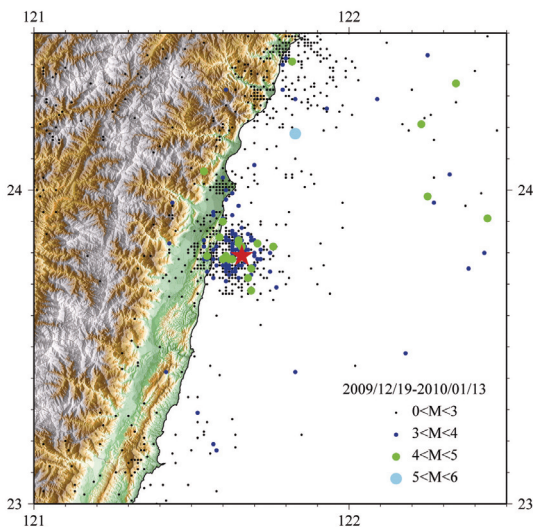
一、概述

台灣地區民國 98 年 12 月 19 日 21 時 02 分 16.3 秒(世界時間 13 時 02 分 16.3 秒) 於花蓮外海發生芮氏規模 $M_L 6.9$ 之地震。根據中央氣象局修訂後所公佈之震源參數資料顯示，震央位置在北緯 23.79 度、東經 121.66 度(圖一)，即花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里；震源深度為 43.8 公里，地震矩規模 M_w 則為 6.42。圖一顯示全島皆可感受到明顯震動，震度皆在三級以上，最大震度為花蓮磯崎所測到之七級。



圖一 中央氣象局 1219 花蓮地震報告

在餘震方面，1219 花蓮地震發生後三天內，氣象局所公布之有感餘震即有 46 起；圖二為截至 2010/01/13 為止震央附近區域餘震活動，在距離主震 15 公里的範圍內，可發現密集的餘震活動，包含十多個規模 4 以上地震及大量的小規模地震。



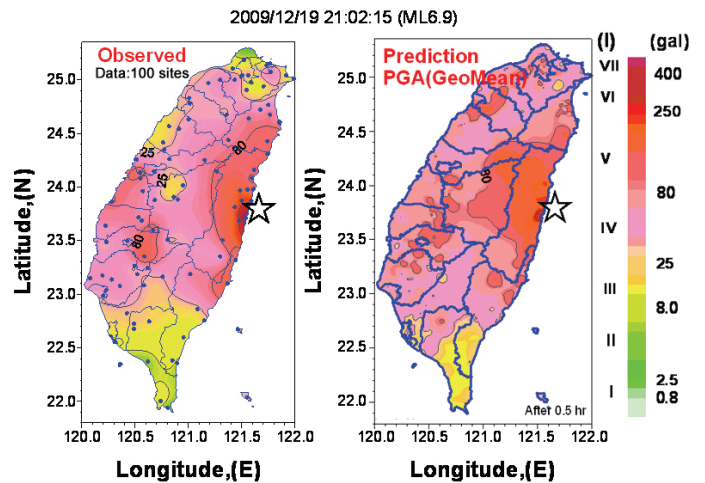
圖二 1219 花蓮地震之餘震分佈，紅色星號為主震位置

1219 花蓮地震震央位於花蓮近海，屬於台灣三個主要地震帶之一的東部地震帶範圍內，是地震活動最頻繁的區域，所對應的即是菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊下方之板塊構造活動。由地震震央位置與震源深度推測，此次地震明顯與此較深部的板塊隱沒構造活動有關，而非淺部地殼內斷層所引發之地震。

綜合各個單位所公布之震源機制解(中央氣象局、中研院地球科學所 BATS 寬頻地震網、美國地質調查所 USGS 及哈佛大學)，花蓮地震之震源破裂型態為逆斷層機制為主，帶有部分走向滑移分量；符合此區域板塊隱沒之壓縮大地應力，並與歷史地震所呈現之震源特性一致。

1219 花蓮地震時，中央氣象局位於花蓮縣磯崎地區的 EGC 測站(震央距 15.15 公里)記錄到 540gal 的地表震動，震度超過七級；而鹽寮地區的 EYL 測站(震央距 11.38 公里)記錄到 223 gal 的地表震動，光復地區的 EGF 測站(震央距 22.10 公里)則記錄 222gal，花蓮市區的 HWA 測站(震央距 21.41 公里)也達 145gal；震度均達到五級(80gal)。經由反應譜分析，EGC 及 EGF 測站兩水水平的反應譜值，在結構週期 0.1 秒及 1 秒附近均大於或接近設計反應譜，這意味著中低層樓的房子可能受到輕微或中度損害。台東縣的 ECB 測站及花蓮市的 HWA 測站之震度達五級，其實際反應譜皆低於規範之設計反應譜。

針對台灣各地所造成之地震動分佈，經由震源相依的地震動衰減律結合場址修正係數的混合地震動估算模型，可精細顯現各地區地震動之差異變化。圖三為中央氣象局僅 100 個即時站實際觀測之震度分佈圖與配合場址修正係數所預估之精細地震動分佈圖的比較。而由預估的地震動分佈圖，本中心震後勘災之各校舍所受到的地震動大小也可經由內插推估，以利作為後續校舍耐震能力評估之參考。



圖三 1219 花蓮地震中央氣象局 100 個即時站實際觀測之震度分佈圖(左圖)與配合場址修正係數所預估之精細地震動分佈圖(右圖)的比較

二、學校圖書設施非結構震害

此次地震傳出多起非結構震害事件，根據報紙與新聞等媒體來源，距離震央較近之花蓮市首當其衝，包括市區某 2 樓高餐廳之入口雨遮連同招牌掉落；花蓮縣北埔地區某電信基地台震後疑因系統短路，引發鋼索及塑膠外皮起火燃燒；東部各級學校傳出之災損多為水管破裂、門窗玻璃破損、天花板或磁磚掉落、電腦及書籍掉落等。地震後本中心團隊現地勘查規模較大之供公眾使

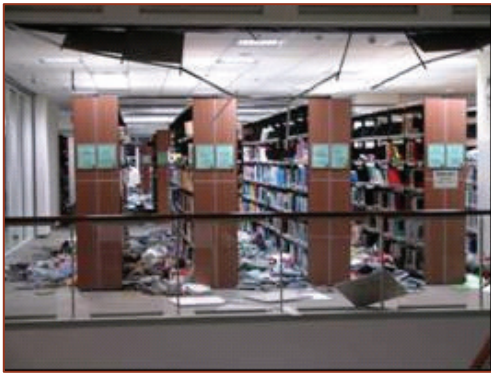
用建築物，本文將介紹東華大學與台灣觀光學院兩校圖書設施之非結構相關災情。

東華大學圖資大樓

東華大學圖資大樓為地上六層、地下一層之 SRC 建築物，在 2001 年啟用。建築平面呈口字型，中央區有 6 層樓高，東西兩翼則為 4 層樓高，圖書館設置於 1 至 4 樓。主要損壞狀況包括書本大量掉落及輕鋼架天花板破壞，館方因此被迫閉館三日。由於本團隊至現場查勘時，掉落地面之物品已清理完畢，內文所示書籍和輕鋼架天花板掉落地面照片為館方所提供。

(一) 書本掉落與書架損壞

3 樓與 4 樓圖書區出現書籍大量掉落情形(圖四)，從書架不同高度之各層隔板皆有書籍掉落，且由於書架隔板是抽取式的，在水平方向上並無束制而可以滑移，書架頂部之 1、2 層隔板甚至有整塊掉出的情形。書架之間有橫向固定桿連結，故無倒塌或大量位移的情形。連桿固定於書架的方式係在書架立柱頂部鉚有口字型斷面鋼管，橫向連桿則穿過此鋼管並以螺栓固定。



圖四 東華大學圖書館書籍大量掉落

(二) 輕鋼架天花板損壞

4 樓圖書區輕鋼架天花板大量掉落(圖五)，本團隊勘查當日大部分斷裂的支架與掉落地面的面板和燈具均已清理完畢，不過由於館方尚未進行天花板修復工程，因此可清楚判別破壞發生區域。天花板主要沿著東西兩翼牆壁周圍大量掉落，而在東西兩翼與中央區之防火區間旁則有局部天花板面外隆起破壞，呈現波浪狀變形。觀察天花板於牆壁側之收邊細部，可知主副架僅放置於 L 形收邊條上而無收邊釘固定，距牆邊之第一條懸吊線的設置距離約為面板寬度 60 公分，大於耐震施工指南所要求 20 公分內。中央區與東西兩翼天花板的收邊細部均如上所述，但東西兩翼之破壞情形卻明顯比中央區嚴重，推判由於東西兩翼之天花板是由 4 樓頂斜屋頂鋼浪板懸吊而下，懸吊長度長(目測超過 1.5m)，且各處懸吊長度不同，地震力作用下面板無法維持在同一水平面擺動。此外，兩翼採光窗戶旁的收邊條無法固定在牆壁上，而是固定於另外施作之木垂板，地震力作用時木垂板如同一懸臂梁，其擺動將造成收邊部分之主副架脫落。上述兩個問題對於輕鋼架天花板耐震性能之影響，值得進一步研究。



圖五 東華大學圖書館輕鋼架天花板破壞

台灣觀光學院圖書部

台灣觀光學院之圖書部位於該校勵學樓 3 樓，該樓為一地上六層、地下一層之 RC 建築物。圖書部主要損壞狀況為書籍大量掉落與書架移位，亦造成地震後閉館三日。雖然與東華大學同樣於書架之間加設有橫向連桿，但橫向連桿並未以螺栓與書架固定，即書架仍可自由滑動與擺動。書架雖然沒有傾倒，但由地板上原來書架擺放位置的痕跡，可知其位移量達 10 公分(圖六)，且由部份掉落書本被壓在書架下，與腳架調整墊壓碎之破壞，可知書架亦出現搖擺行為(rocking)。



圖六 台灣觀光學院圖書架滑動約 10 公分

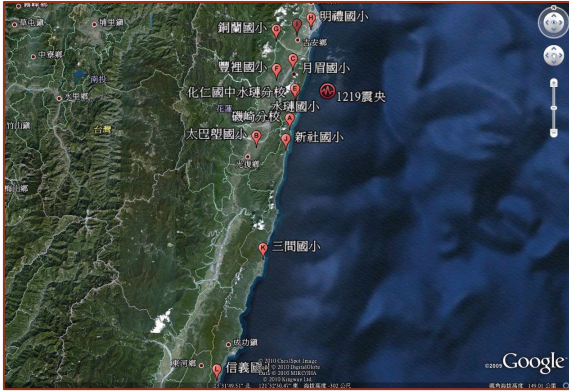
小結

本次現地勘查之東華大學與台灣觀光學院圖書設施，其非結構災損狀況主要為書本和書架隔板掉落與輕鋼架天花板的破壞，造成館方必須閉館數日進行內部整理才能重新開館。在不影響書籍方便取放的要求下，防止書籍與書架隔板掉落是今後學校圖書設施的耐震補強課題。兩所學校圖書館之書架均設置有防止傾倒連桿，此次地震中確實發揮作用，未造成書架傾倒之嚴重災損，可作為其他未施作書架耐震固定的學校圖書設施一個良好參考。針對輕鋼架天花板的破壞，建議可按 2007 年 12 月內政部建築研究所公佈“台灣懸吊式輕鋼架天花板耐震施工指南”進行補強，包括施作收邊釘與 45 度斜撐組等措施，將有效提升耐震性能。

三、校舍震害調查

本次勘災校舍共計 12 所國中小學，包括花蓮縣磯崎分校、太巴壠國小、月眉國小、水璉國小、化仁國中水璉分校、豐裡國小、銅蘭國小、明禮國小、稻香國小、新社國小以及台東縣三間國小、

信義國小等，各校所在位置與震央相對之地理位置如圖七所示，各校受震程度依最大地表加速度大小排序如表一，其中磯崎分校震度高達 7 級，也是本次受震破壞最嚴重之學校。



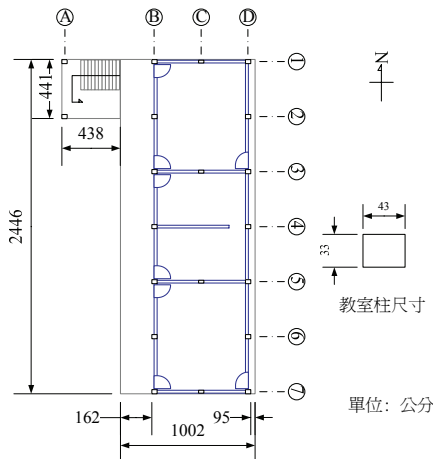
圖七 1219 花蓮地震勘災校舍地理位置

表一 1219 花蓮地震勘災校舍受震程度

| 編號 | 縣市 | 校名 | MAX. PGA(gal) | 震度(級) |
|----|-----|--------------|---------------|-------|
| A | 花蓮縣 | 磯崎分校 | 539.76 | 7 |
| B | 花蓮縣 | 太巴塑國小 | 244.64 | 5 |
| C | 花蓮縣 | 月眉國小 | 238.44 | 5 |
| D | 花蓮縣 | 水璉國小 | 225.06 | 5 |
| E | 花蓮縣 | 化仁國中 水璉分校 | 225.06 | 5 |
| F | 花蓮縣 | 豐裡國小 | 204.03 | 5 |
| G | 花蓮縣 | 銅蘭國小 | 187.73 | 5 |
| H | 花蓮縣 | 明禮國小 | 160.69 | 5 |
| I | 花蓮縣 | 稻香國小 | 156.01 | 5 |
| J | 花蓮縣 | 新社國小 | 144.45 | 5 |
| K | 台東縣 | 三間國小 | 102.72 | 5 |
| L | 台東縣 | 信義國小 | 49.89 | 4 |

花蓮縣新社國小磯崎分校

新社國小磯崎分校位於花蓮縣豐濱鄉磯崎村磯崎 49 號，全校共有二棟校舍，分別為教學教室及專科教室，此二棟校舍均為 RC 造二層樓懸臂走廊的典型校舍，本次地震對專科教室並無損傷，但卻造成教學教室嚴重破壞，所幸無師生人員傷亡。圖八為磯崎分校教學教室一樓建築平面示意圖，本次地震中，所有窗台柱（B2、B4、B6、D2~D6 共 8 處）均產生剪力破壞裂縫，其中以 B6 柱剪力破壞情況最為嚴重，裂縫寬度超過 8mm，並有局部混凝土塊剝落，內部鋼筋已經裸露可見圖九。



圖八 磯崎分校教學教室一樓建築平面示意圖



圖九 磯崎分校教學教室 B6 柱明顯剪力破壞，裂縫寬度達 8mm，並有局部混凝土塊剝落，柱主筋裸露

花蓮縣月眉國小

月眉國小位於花蓮縣壽豐鄉月眉村三段 24 號，全校共有三棟校舍建築物，分別為專科教室、教學教室及教學教室辦公室，本次地震對教學教室及教學教室辦公室並無損傷，但卻造成專科教室明顯受損，所幸無師生人員傷亡。專科教室於本次地震中受損嚴重，正面與背面各有一根窗台柱均產生明顯的剪力破壞裂縫，圖十為專科教室西南側氣窗短柱剪力破壞照片，裂縫寬度超過 5mm，教室外側柱面磁磚明顯剝落，教室內側裂縫延伸至磚牆與柱之交界處；圖十一為專科教室東北側氣窗短柱剪力破壞照片，同樣有明顯斜向剪力裂縫，裂縫寬度超過 10mm，亦可察見裂縫延伸至磚牆與柱之交界處。根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，專科教室耐震能力初評分數(Is)為 34 分，且已完成耐震能力詳細評估，評估後長向耐震能力為 204gal，尚未達到現行耐震法規需求，應辦理後續補強設計階段作業，其評估結果亦足以與本次震害受損情形相驗證。



圖十



圖十一

圖十 月眉國小專科教室西南側氣窗短柱剪力破壞照片，裂縫寬度達 5mm。圖十一 月眉國小專科教室東北側氣窗短柱剪力破壞照片，裂縫寬度達 10mm。

台東縣三間國小

台東三間國小位於台東縣長濱鄉三間村 7 鄰 16 號，主要校舍包括兩層樓之教學行政大樓，及一樓層的教師辦公室校舍。此兩棟建築中，兩樓層的教學行政大樓受損較為嚴重，經檢視教學行政大樓一樓之受損情形顯示，較顯著之受損者大多集中發生於柱構件、樓梯與垂直於走廊方向牆之面外變形與開裂等。其中柱構件之嚴重受損均發生於窗台柱（圖十二），從破壞現況顯示，校舍沿走廊方向破壞較顯著，依此研判在三間國小場址，南北向的震度較大。



圖十二 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 3、4 一樓室外實際裂縫開裂情形

結語

花東地區校舍於本次地震中，並未造成傷亡，僅花蓮縣磯崎分校、月眉國小及台東縣三間國小有校舍顯著的結構性損害，建議主管機關委請專業機構對受損相對嚴重的校舍，進行耐震能力鑑定，確保師生安全。其它勘災校舍，多屬輕微破損，並不影響結構安全，建議主管機關基於使用性考量，可局部修繕，以利師生教學品質。

本次勘災報告（NCREE 10-001）已經完成，可於本中心網頁免費下載。網址：<http://w3.ncree.org/ZH/Publications.aspx>。

專案副研究員 林哲民、副研究員 郭耕杖
助理研究員 邱聰智