

中華民國土木技師公會全國聯合會

建築物實施耐震能力評估及補強講習會

2013.06.29 (六)

建築物耐震能力評估方法、 分析內容及側推分析之驗證

楊耀昇



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

1

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



大綱

- 前言
- 耐震評估方法
- 耐震評估方法驗證
- 結論與建議

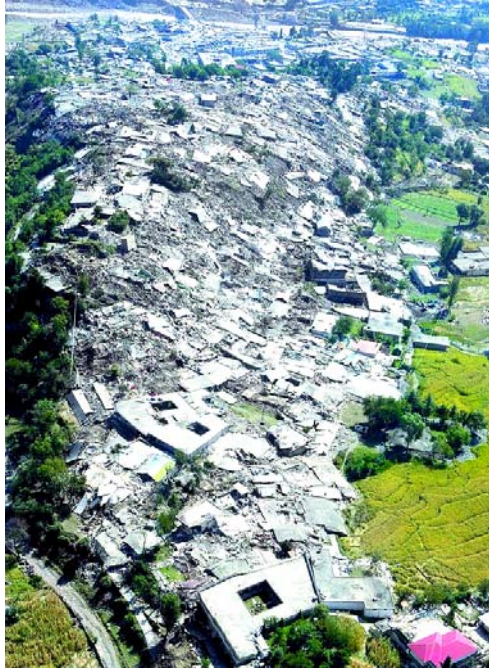


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



巴基斯坦大地震



10月8日, 2005

上午 8:50

芮氏規模：7.6

死亡：大約87,000人

19,000 孩童在倒塌之學校建築中死亡



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

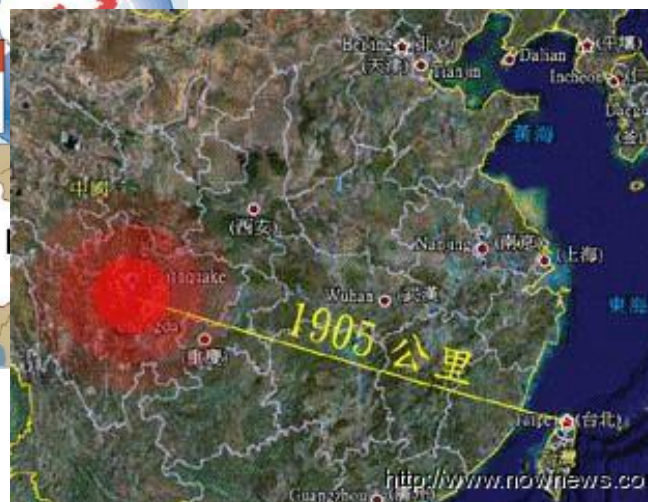
中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



四川汶川縣大地震

芮氏規模：7.8, 下午2:18, May 12, 2008

China earthquake



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



四川汶川縣大地震-校舍倒塌



資料來源：新華社



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



921集集地震

1999年9月21日

凌晨1時47分

芮氏規模：7.3

死亡：約2,413人



921地震中293 棟中小學校舍全毀或半毀 (1/2)

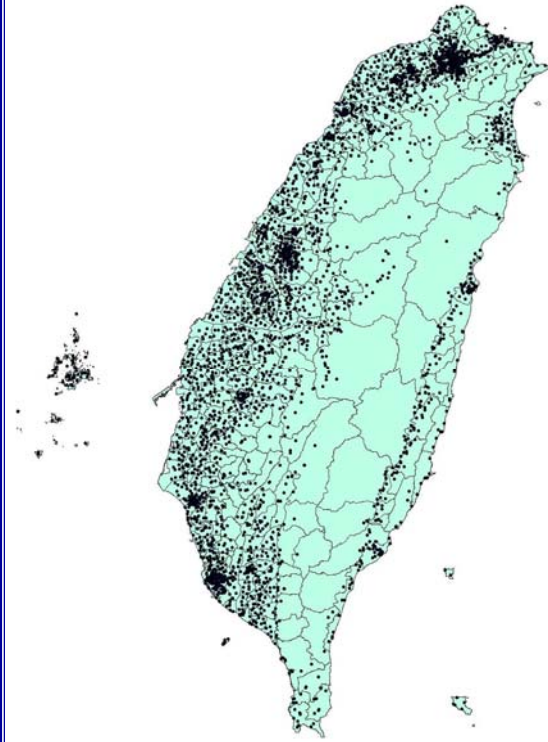


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



提昇台灣校舍耐震能力之策略



校舍量體龐大
無法全面補強

- 全面篩選，部分補強
- 經濟有效之補強方法
- 參與人員眾多
- 統一標準，強化講習



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



大綱

- 前言
- 耐震評估方法
- 耐震評估方法驗證
- 結論與建議

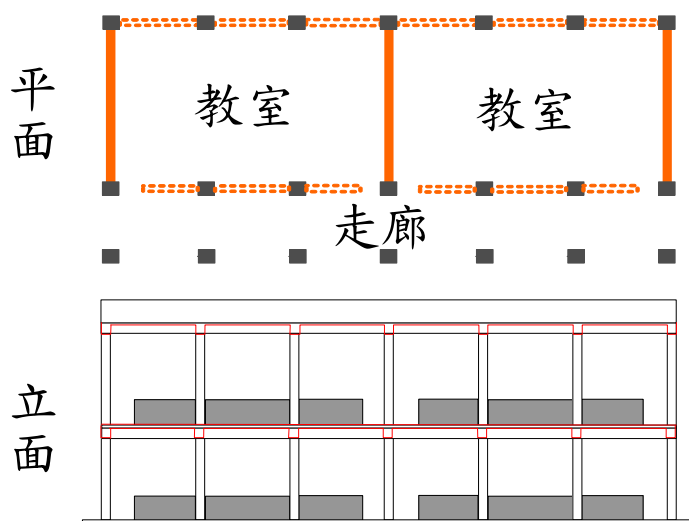


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



校舍損毀具規律性



➡ 校舍沿走廊方向，一樓垂直構件破壞



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



校舍結構之特性

- 校舍結構之震害最為嚴重
- 結構系統類似
- 沿走廊為弱向
- 一樓弱層
- 弱柱強梁
- 混凝土強度偏低

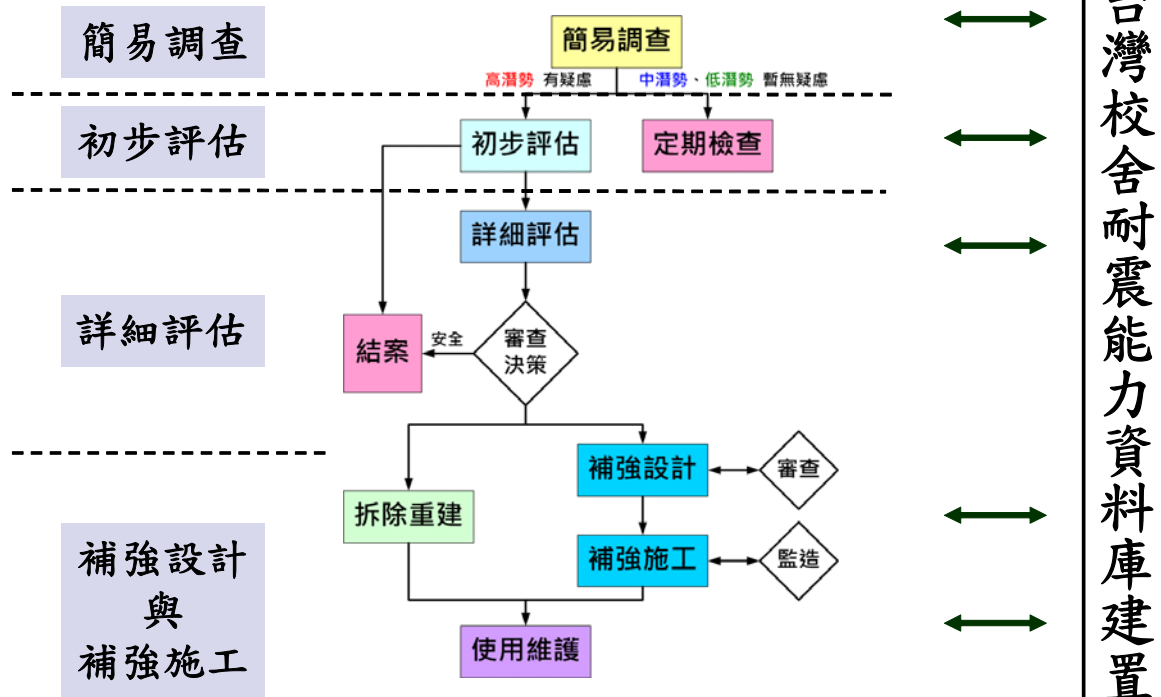
校舍結構之耐震能力
取決於一樓之柱、牆



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering



校舍耐震能力提昇策略



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



耐震能力評估方法

1. 初步評估



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



初步評估

$$R_{CD} = \frac{\text{Capacity}}{\text{Demand}} = \frac{V_{bs} F_u}{S_{aD} IW} = \frac{[\beta Q(\tau_C \sum A_C + \tau_{RCW} \sum A_{RCW} + \tau_{BW} \sum A_{BW})] \times F_u}{S_{aD} \times I \times (w \times \sum A_f)}$$

混凝土抗壓強度 $f'_c = 160 \text{ kgf/cm}^2$

鋼筋降伏強度 $f_y = 2800 \text{ kgf/cm}^2$

校舍基本振動週期 $T = 0.070 h_n^{3/4}$

容許韌性容量 $R_a = 2.2$



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



垂直構件單位斷面積之側向強度

鋼筋混凝土柱

$$\tau_C = \begin{cases} 1.8N_F + 4 & \text{教室柱} \\ 1.08N_F + 2.4 & \text{走廊柱} \\ 2.6 & \text{隔間柱} \end{cases} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

N_F ：樓層數

鋼筋混凝土牆 $\tau_{RCW} = 12 \quad (\text{kgf/cm}^2)$

四面圍束磚牆 $\tau_{BW4} = 3 \quad (\text{kgf/cm}^2)$

三面圍束磚牆 $\tau_{BW3} = 2 \quad (\text{kgf/cm}^2)$



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering



結構現況調整因子

依結構系統及其現況，調整其側向強度和。

調整因子 $Q = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6$

平面及立面對稱性 q_1

軟弱層顯著性 q_2

裂縫銹蝕滲水等程度 q_3

變形程度 q_4

平面耐震性 q_5

短柱嚴重性 q_6



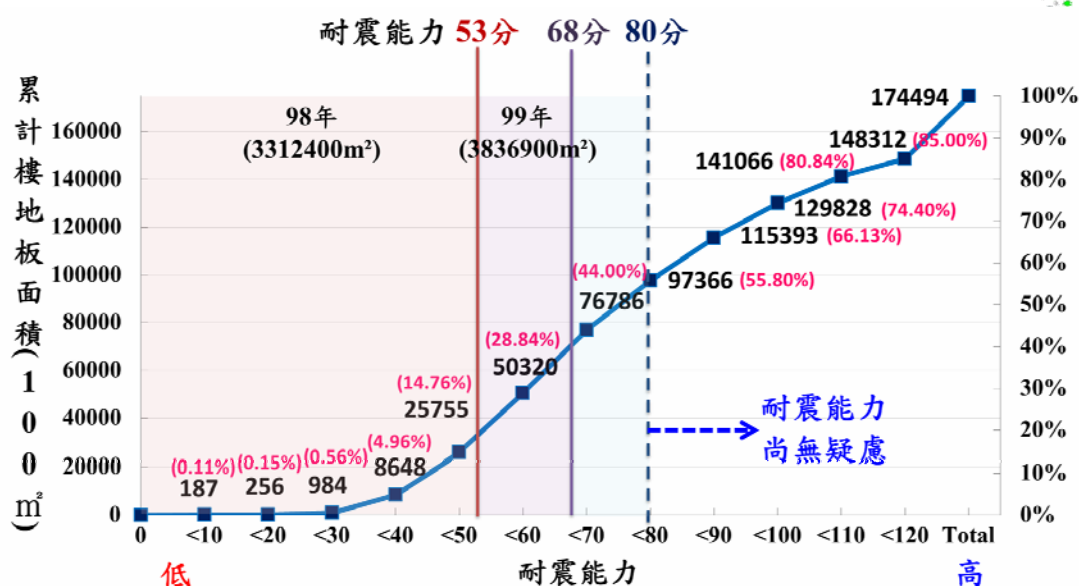
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

15

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



初步評估獲得校舍之耐震指標 I_s 值



I_s 值越低，耐震能力越不足，進入詳評之優先度越高



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



耐震能力評估方法

2. 詳細評估 (以NCREE版為例)



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



詳細評估工作內容

- 2.1 資料蒐集
- 2.2 現況調查
- 2.3 材料試驗
- 2.4 耐震能力詳細評估
- 2.5 耐震補強方案規劃及建議補強經費概估
- 2.6 其他詳細評估之調查、檢測或服務
- 2.7 協助審查作業
- 2.8 完整成果報告書及光碟檔案實際執行

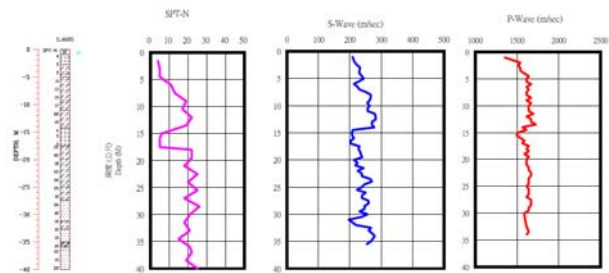


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



現況



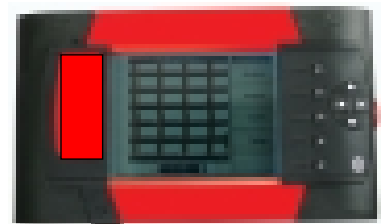
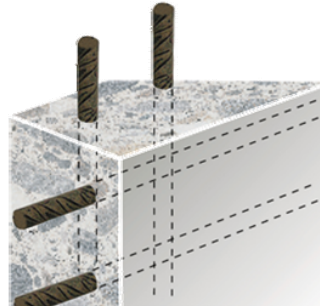
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



材料試驗

- 1 混凝土強度(含氯離子含量、中性化試驗)
- 2 鋼筋探測



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



耐震能力詳細評估方法

採用之評估方法應為內政部建築研究所研究開發之相關評估方法或經報備審核核可之評估方法。

1.強度韌性法：

民國88年12月內政部建築研究所出版「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估法及推廣」專題研究計畫

(1)先進行地表加速度為0.1g 彈性地震力之結構彈性分析，藉以獲得構件之內力。

(2)依各構件之實際尺寸、配筋及前述分析之內力，評估各構件之破壞模式及其相對應之韌性比。

(3)各層之降伏地表加速度：根據各半層之剪力強度與0.1g 彈性地震力分析計算，再乘上結構系統之地震力折減係數，即可得該層之耐震能力 A_c 。



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



耐震能力詳細評估方法

2.側推分析法(SERCB & NCREE)：

依美國ATC-40(1996)之建議，由靜力非線性側推分析(Static Nonlinear Pushover Analysis)建立建物之基底剪力與屋頂位移關係曲線(容量曲線)，適當地表現建物之受力與變形關係。

利用容量曲線來轉換成單自由度之容量震譜，再由容量震譜求取等效阻尼比、等效週期，並與非彈性反應譜比較，即可決定建物之破壞地表加速度。目前業界常用之側推分析法有SERCB版與NCREE版。



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會

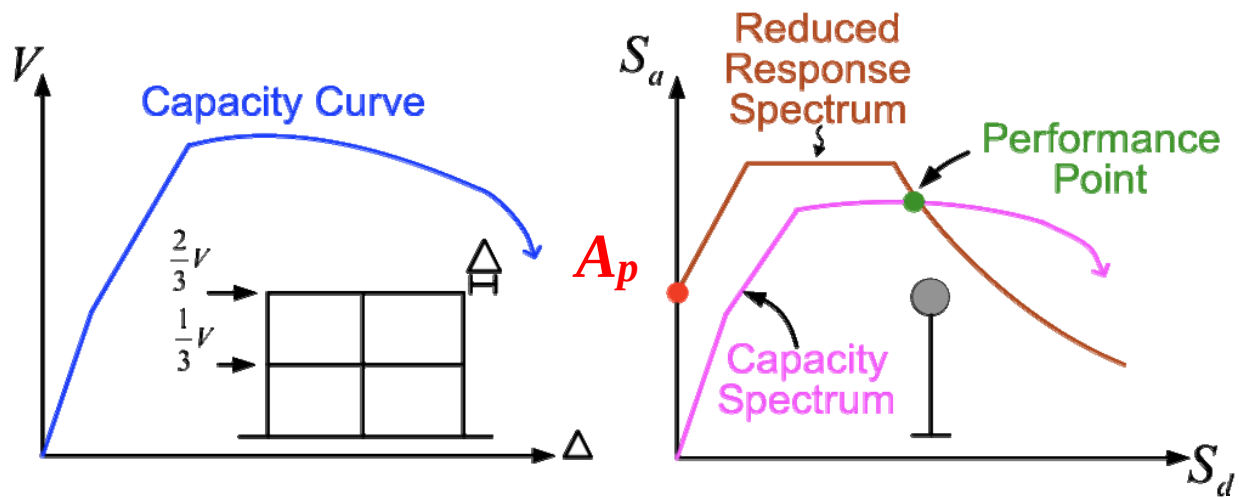


耐震能力詳細評估方法

側推分析



容量震譜法



性能目標地表加速度 A_p

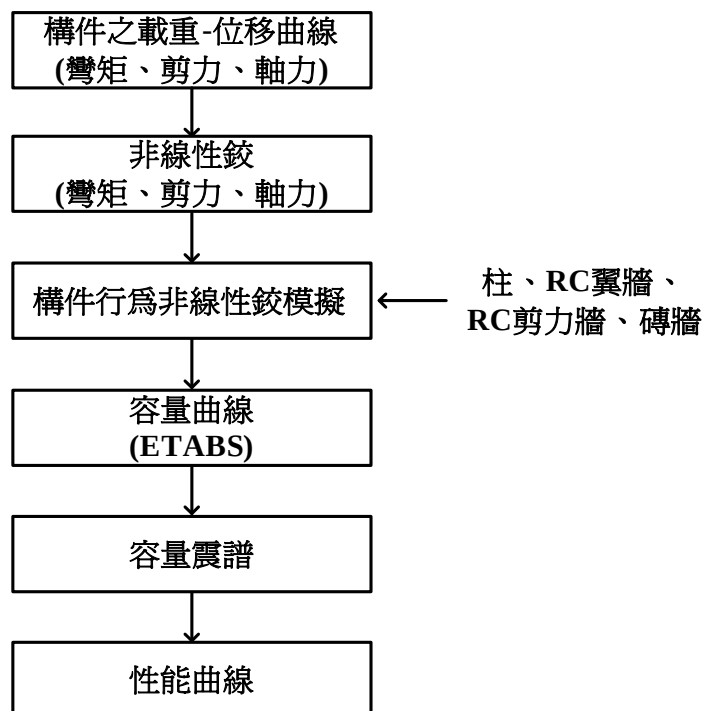


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



耐震性能詳細評估



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



構件非線性鉸



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



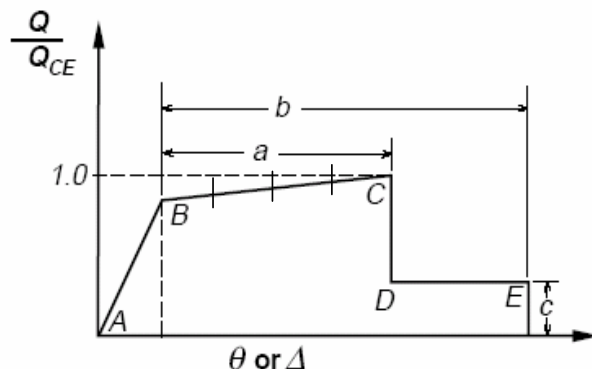
ETABS內建非線性鉸(FEMA-273)

軸力非線性鉸(axial hinge)：P

與軸力互制之彎矩非線性鉸 (P-M-M hinge)：PMM

彎矩非線性鉸(moment hinge)：M3(X向)、M2(Y向)

剪力非線性鉸(shear hinge)：V2(X向)、V3(Y向)



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



台灣校舍柱之破壞模式



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會

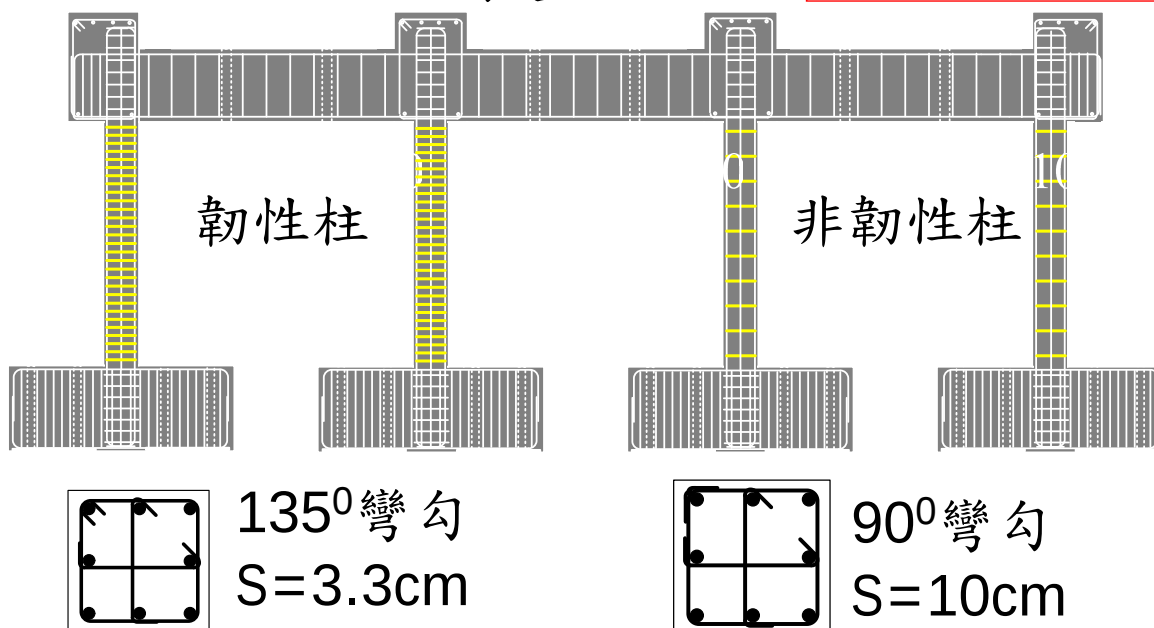


鋼筋混凝土柱倒塌試驗(縮尺)

Joined with U. of California, Berkeley and UBC of Canada

原型試體

NCREE-10-002



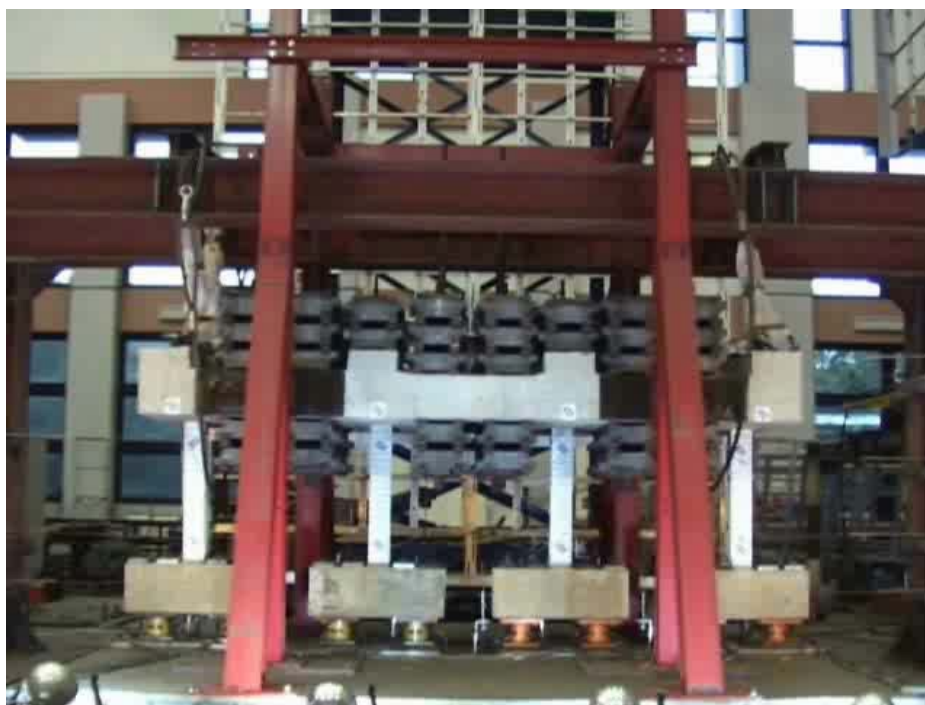
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



鋼筋混凝土柱倒塌試驗

Joined with U. of California, Berkeley and UBC of Canada



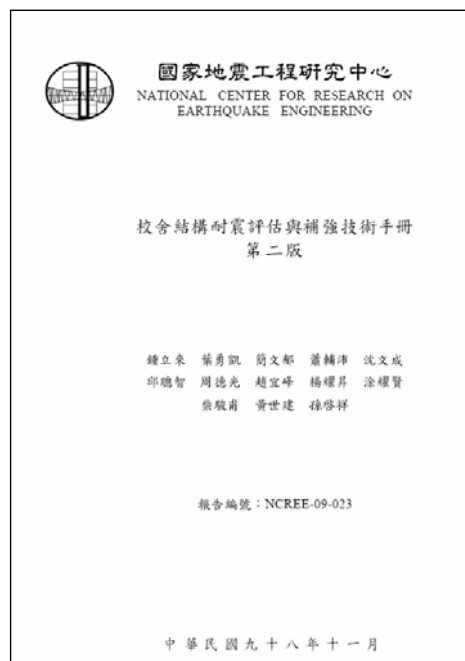
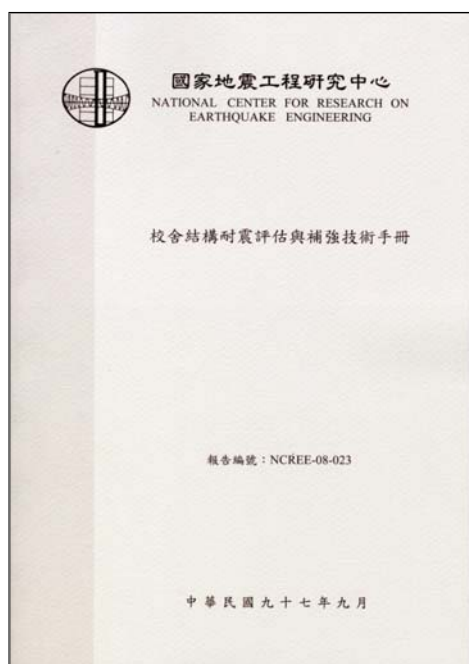
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



校舍結構耐震評估與補強技術手冊

(技術報告編號：NCREE-08-023；NCREE-09-023)

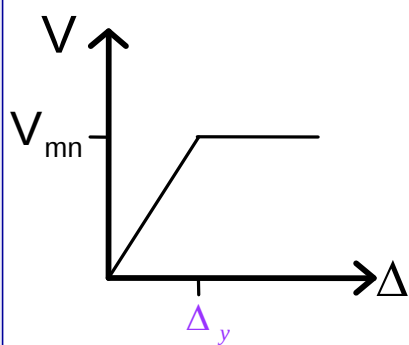


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

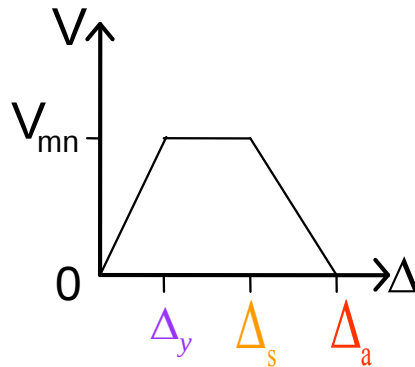
中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



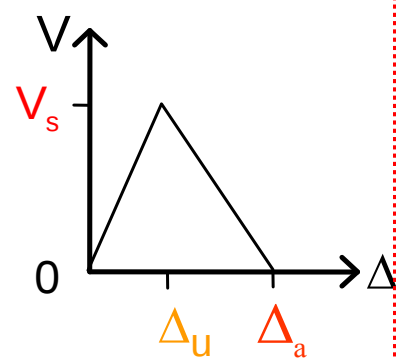
柱構件之載重位移曲線



Flexure



Flexural **Shear**



Shear

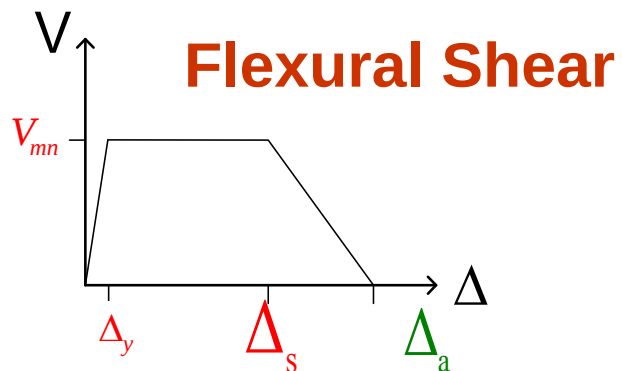
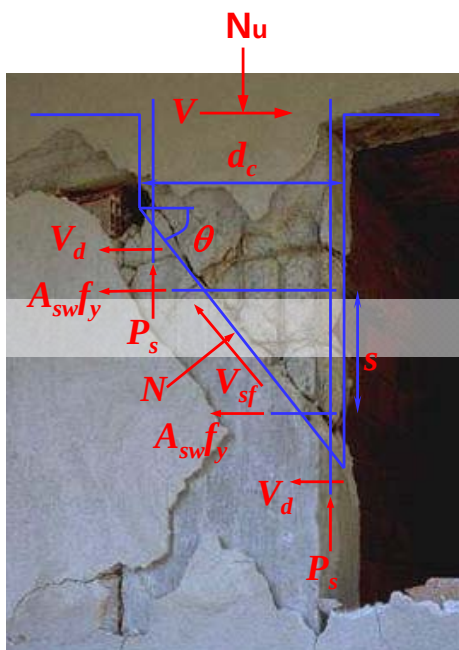


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



柱抗倒塌之位移能力



Flexural Shear

Elwood & Moehle (Spectra 2005; ACI 2005)

$$\frac{\Delta_s}{H_n} = \frac{3}{100} + 4\rho'' - \frac{1}{40} \frac{v}{\sqrt{f'_c}} - \frac{1}{40} \frac{N_u}{A_g f'_c} \geq \frac{1}{100}$$

$$\frac{\Delta_a}{H_n} = \frac{4}{100} \frac{1 + (\tan \theta)^2}{\tan \theta + N_u \left(\frac{s}{A_{st} f_{yt} d_c \tan \theta} \right)}$$

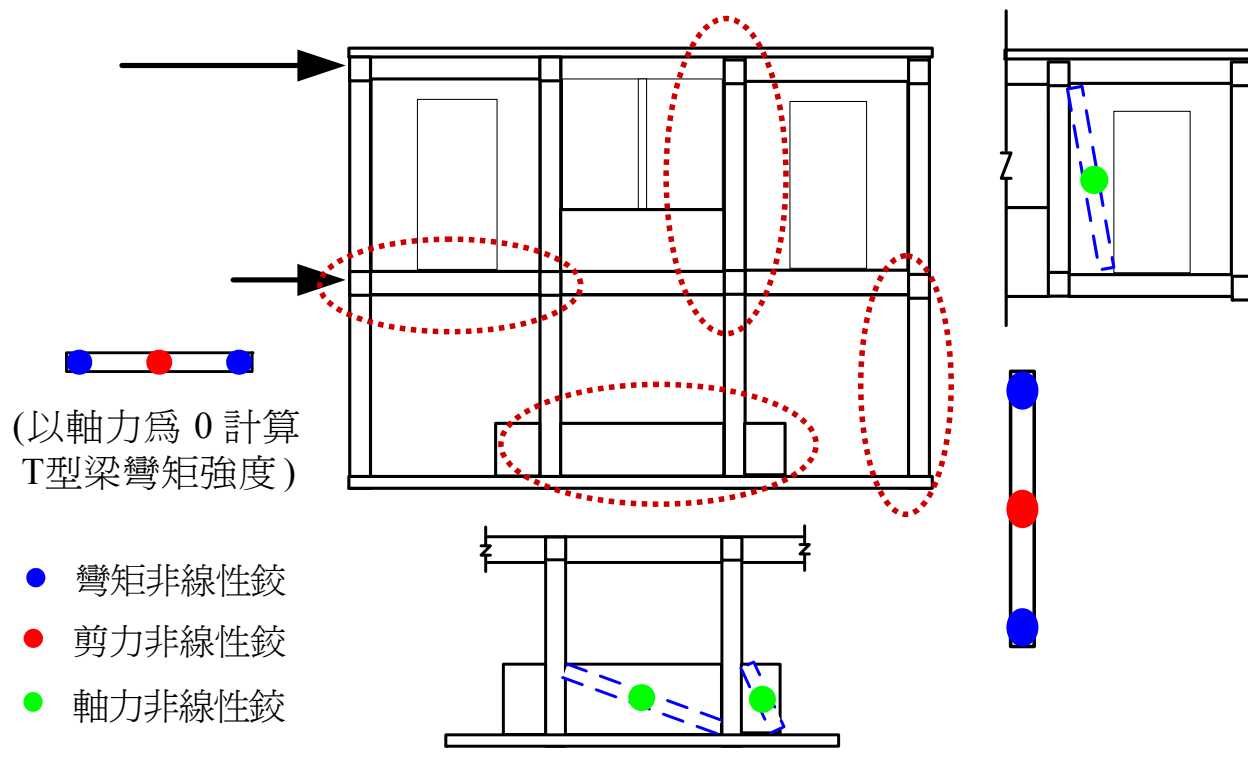


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



柱、梁、磚牆之非線性行為模擬



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



容量曲線、容量震譜、性能曲線

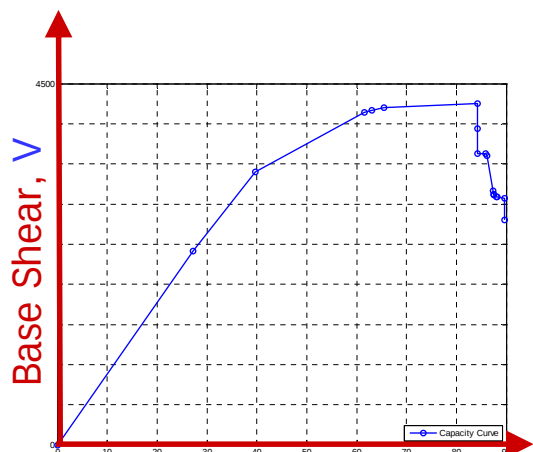


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

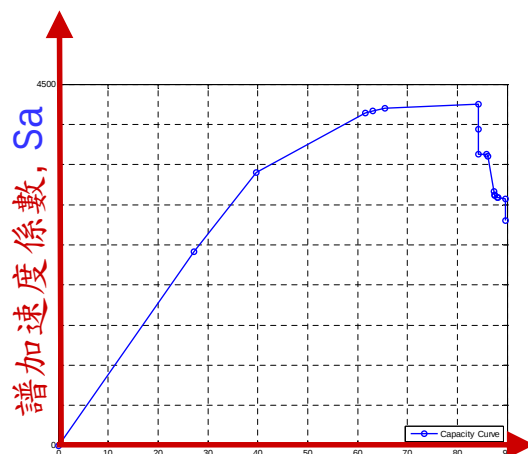
中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



容量曲線與容量震譜



Roof Displacement, Δ_{roof}



譜位移, S_d

$$PF_1 = \sum_i w_i \phi_i / \sum_i w_i \phi_i^2$$

$$S_a = V / (\alpha_1 W)$$

$$\alpha_1 = \left[\sum_i w_i \phi_i / W \right] PF_1$$

$$S_d = \Delta_{roof} / PF_1$$

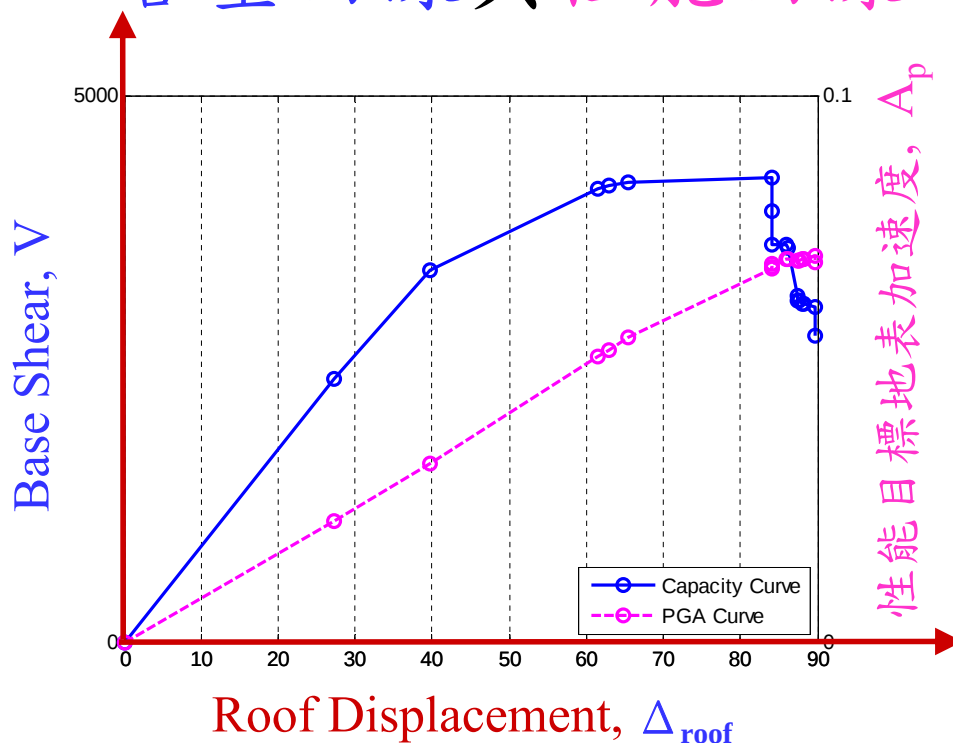


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



容量曲線與性能曲線



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



後甲國中全尺寸測試

Chung, Chien, Yeh, Chiou, Chow, and Chiu (2004)

NCREE-08-038

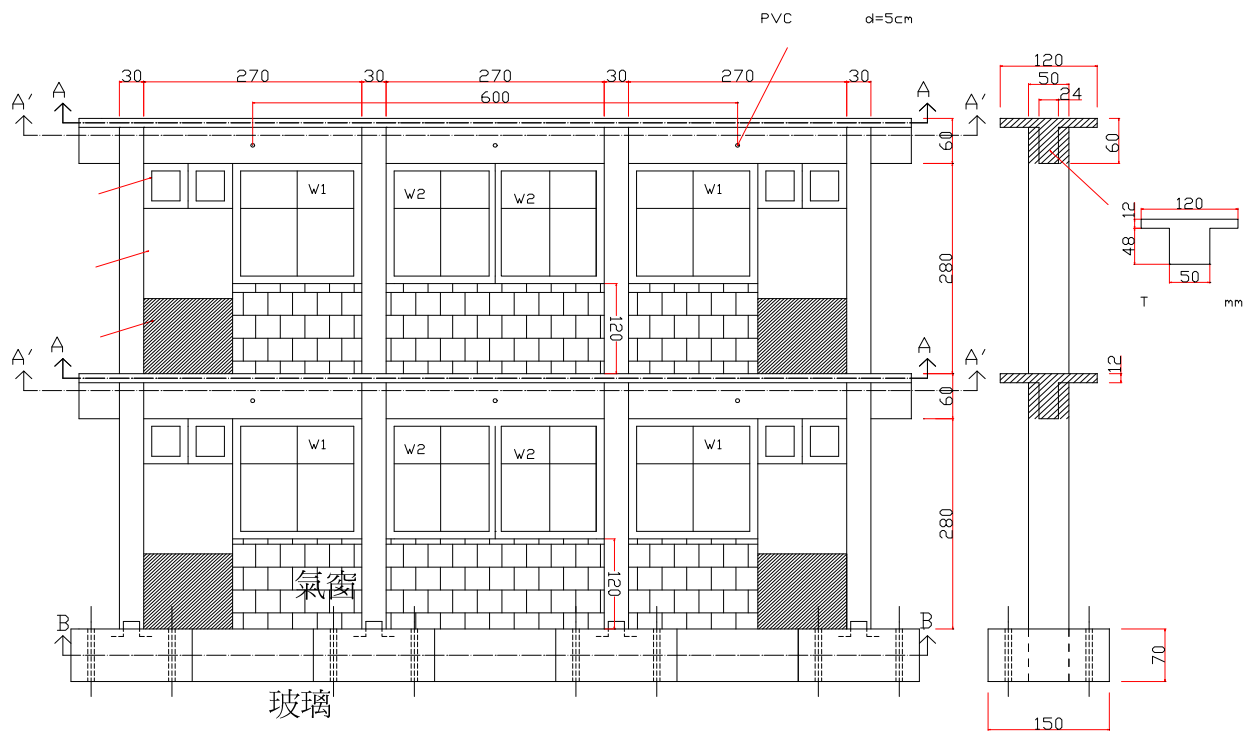


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



典型校舍RC構架試驗



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



原型結構試驗前之狀態

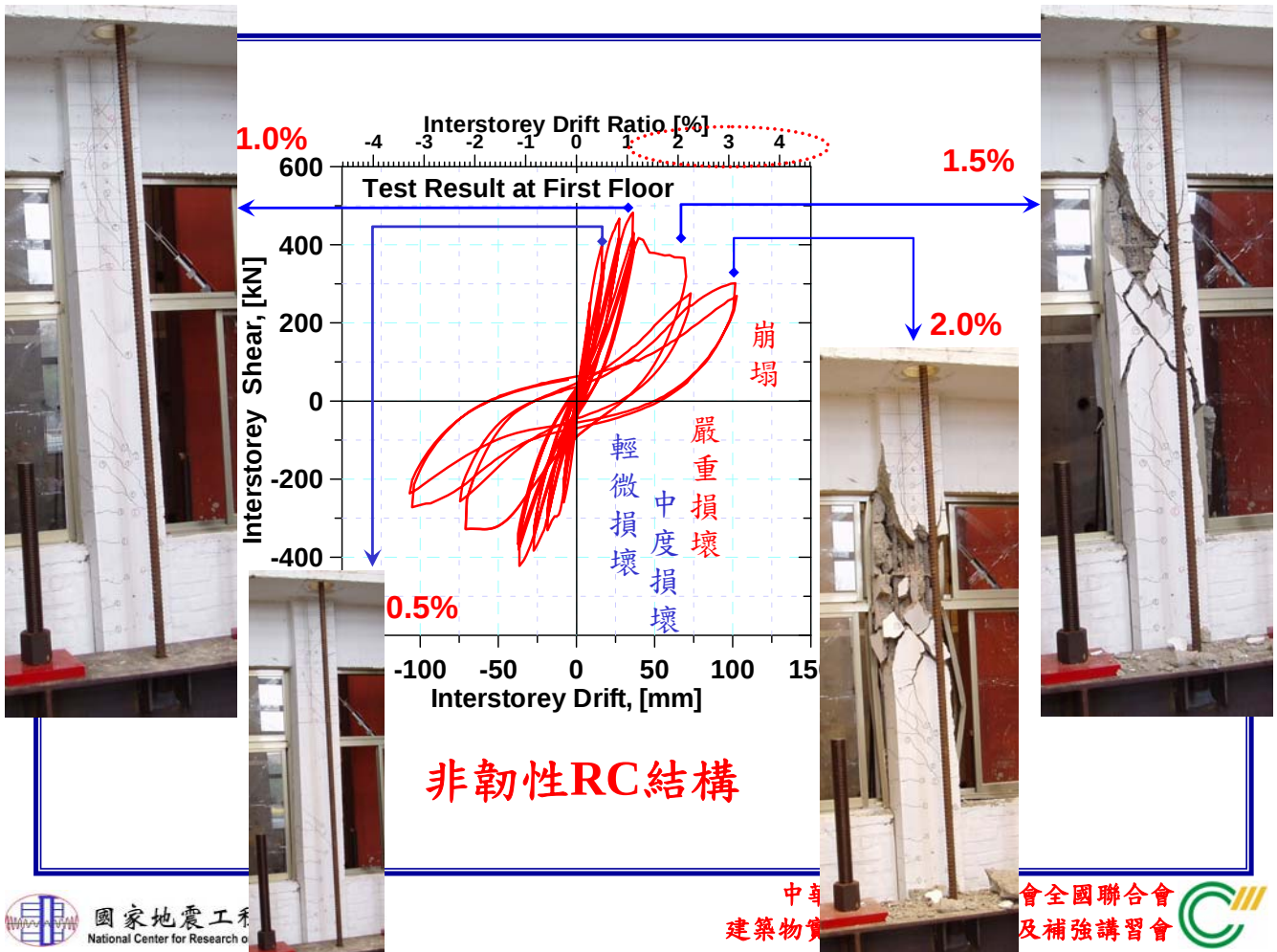


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會







低矮型RC校舍耐震性能目標

475年設計地震目標性能點

用途分組	A_p			A_T
一般校舍 ($I = 1.25$)	$V_{\max}$	$D_r^T = 2.0\%$	垂直承載 構件發生 軸向破壞	$0.4S_{DS}$
緊急避難用校舍 ($I = 1.5$)	$0.80V_{\max}$	$D_r^T = 1.0\%$	垂直承載 構件發生 軸向破壞	$0.4S_{DS}$



大綱

- 前言
- 耐震評估方法
- 耐震評估方法驗證
- 結論與建議



耐震評估方法驗證

-校舍現地實驗-



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

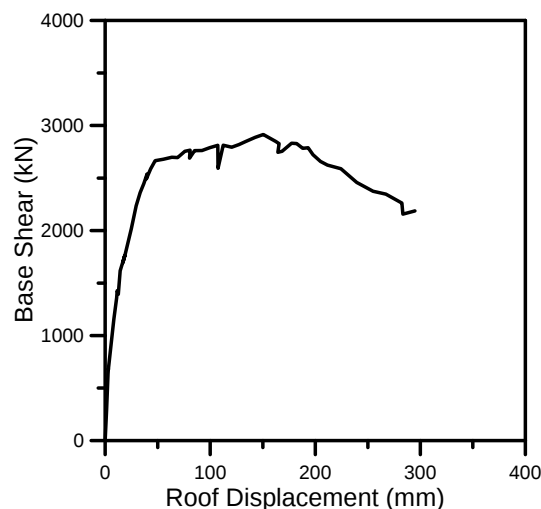
中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



花蓮縣新城國中之測試

94年1月

純構架



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



花蓮縣新城國中現地試驗驗證

新城國中	現地試驗	初步評估	百分比↓ (初評/現試)
混凝土抗壓強度 f'_c (kgf/cm ²)	224	160	71.33
主筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	4052	2800	69.10
箍筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	4699	2800	59.58
極限基底剪力強度 V_{bs} (tf)	288.20	199.20	69.12
頂樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	710	750	105.6
二樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	890	900	101.1
基本振動週期 T (s)	0.4084	0.3236	79.2
容許韌性容量 R_s	4.519	2.2	48.7
工址設計水平譜加速度反應譜係數 S_D	1.136	1.136	100.0
結構系統地震力折減係數 F_u	2.835	1.844	65.04
基金耐震性能 E	115.2	50.2	43.58



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

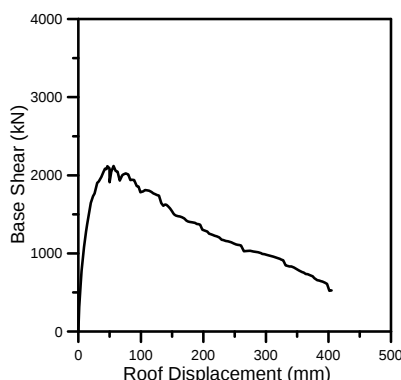
中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



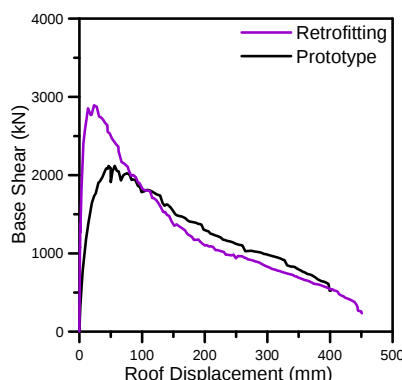
雲林縣口湖國小之測試

94年7-8月

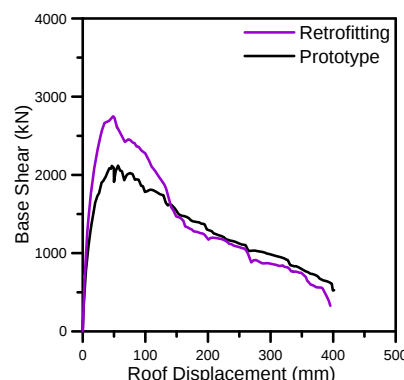
純構架



含磚牆構架



RC翼牆補強



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



雲林縣口湖國小現地試驗驗證

口湖國小	現地試驗	初步評估	百分比↓ (初評/現試)
混凝土抗壓強度 f'_c (kgf/cm ²)	240	160	66.78
主筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	2956	2800	94.72
箍筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	3537	2800	79.16
極限基底剪力強度 V_{bs} (tf)	209.47	159.60	73.91
頂樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	664	750	113.0
二樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	839	900	107.3
全部靜載重 W (tf)	251.59	276.21	109.8
基本振動週期 T (s)	0.2720	0.2922	107.4
容許韌性容量 R_u	3.143	2.2	70.0
結構系統地震力折減係數 F_u	2.299	1.844	80.21
基金耐震性能 E	218.8	90.8	41.49



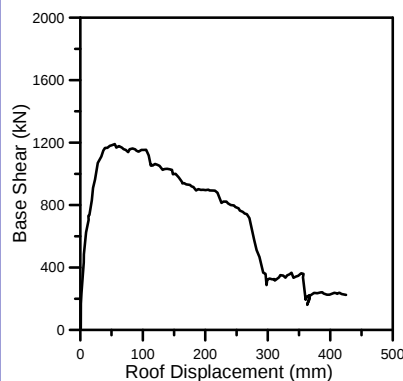
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會

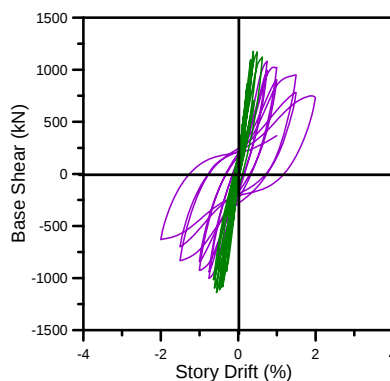


桃園縣瑞埔國小之測試 95年7-8月

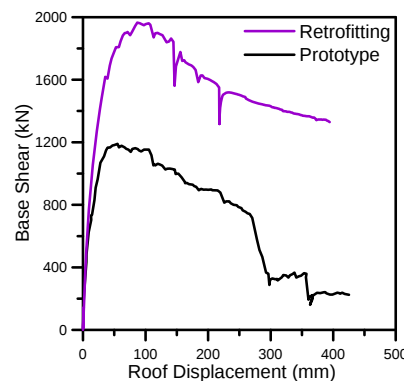
單向側推



反覆側推



複合柱補強



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



桃園縣瑞埔國小現地試驗驗證

瑞埔國小	現地試驗	初步評估	百分比↓ (初評/現試)
混凝土抗壓強度 f'_c (kgf/cm ²)	113	160	141.59
主筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	3204	2800	87.39
箍筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	4386	2800	63.84
極限基底剪力強度 V_{bs} (tf)	117.71	140.80	119.6
頂樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	723	750	103.7
二樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	839	900	107.3
全部靜載重 W (tf)	313.73	331.45	105.7
基本振動週期 T (s)	0.4370	0.3077	70.4
容許韌性容量 R_u	3.343	2.2	65.8
結構系統地震力折減係數 F_a	2.385	1.844	77.32
基金耐震性能 E	108.5	94.9	87.47



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



台南縣關廟國小之測試

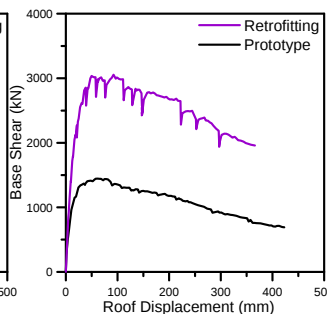
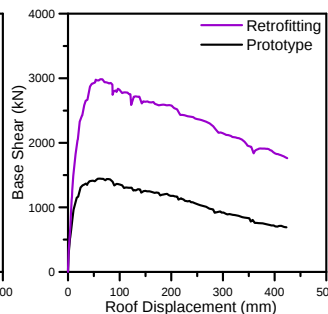
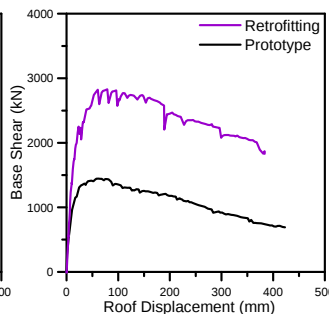
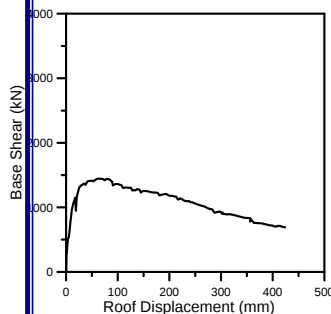
96年7-8月

純構架

擴柱補強

後拉鋼桿補強

鋼板補強



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



台南縣關廟國小現地試驗驗證

關廟國小	現地試驗	初步評估	百分比↓ (初評/現試)
混凝土抗壓強度 f'_c (kgf/cm ²)	270.1	160	59.24
主筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	3364	2800	83.24
箍筋降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	3660	2800	76.51
極限基底剪力強度 V_{bs} (tf)	142.79	87.24	61.10
頂樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	653	750	114.9
二樓單位樓地板面積之重量 w_{RF} (kgf/m ²)	840	900	107.1
全部靜載重 W (tf)	257.84	285.12	110.6
基本振動週期 T (s)	0.2905	0.3109	107.0
容許韌性容量 R_d	6.106	2.2	36.0
結構系統地震力折減係數 F_u	3.348	1.844	55.07
基金耐震性能 E	211.9	64.5	30.44

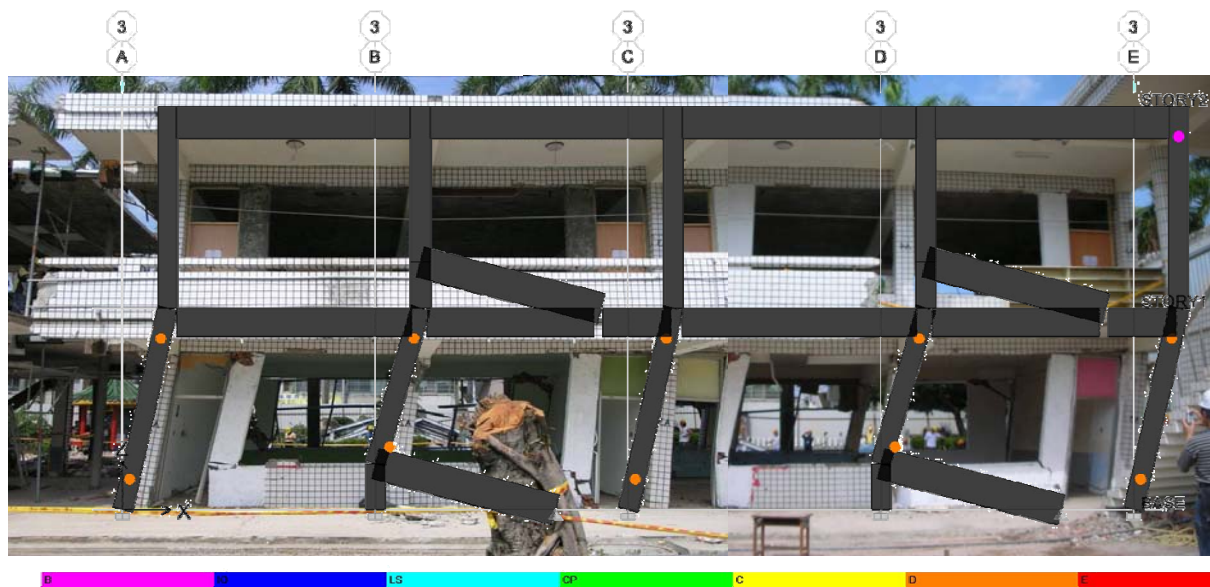


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



側推分析之校舍破壞模式

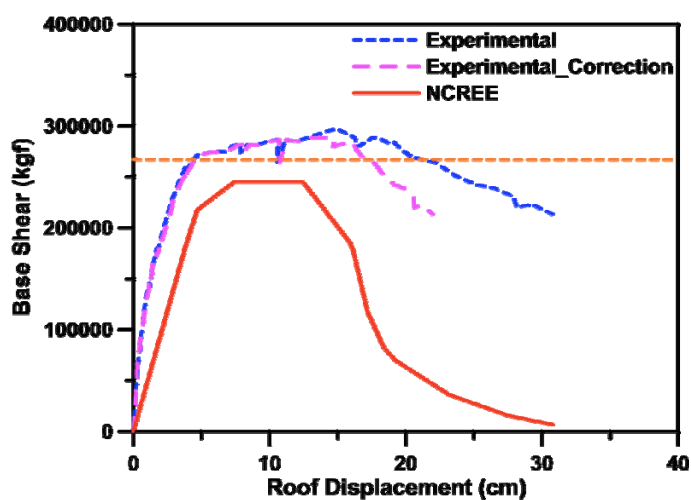
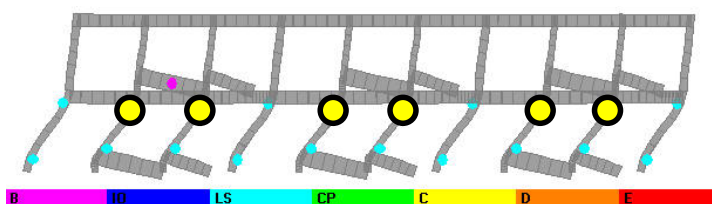
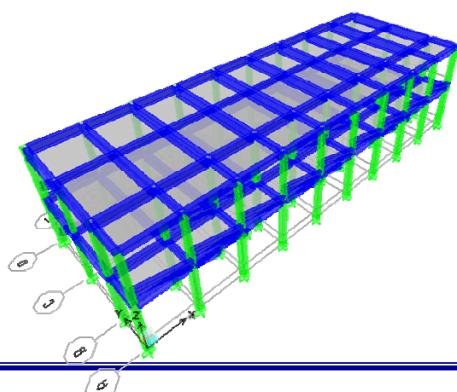


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



花蓮縣新城國中現地試驗驗證

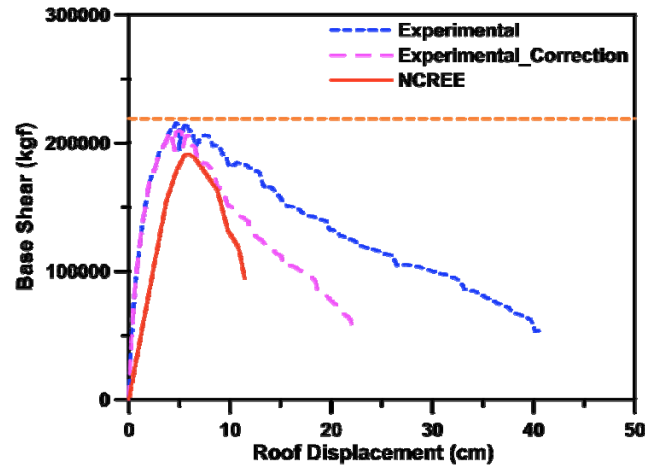
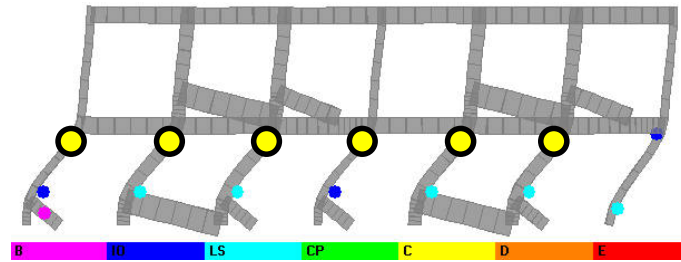


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



雲林縣口湖國小現地試驗驗證

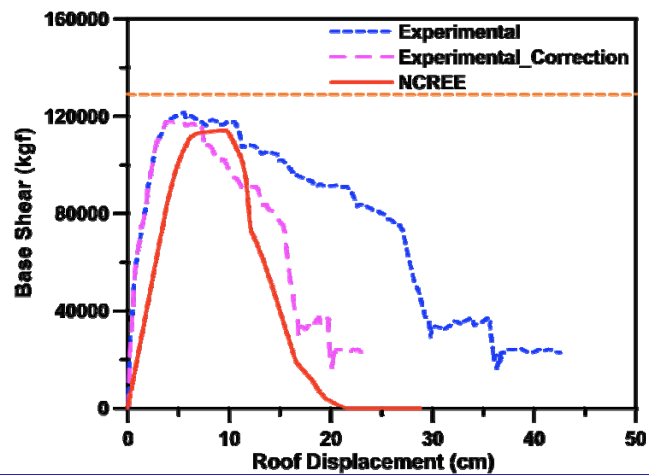
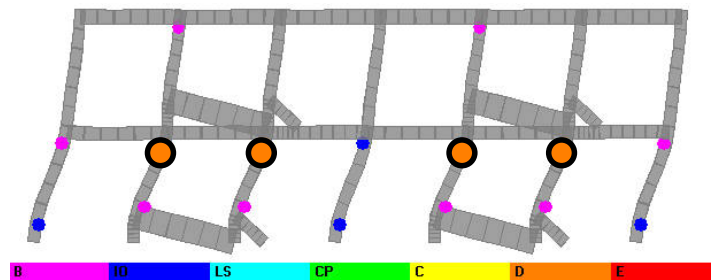


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



桃園縣瑞埔國小現地試驗驗證

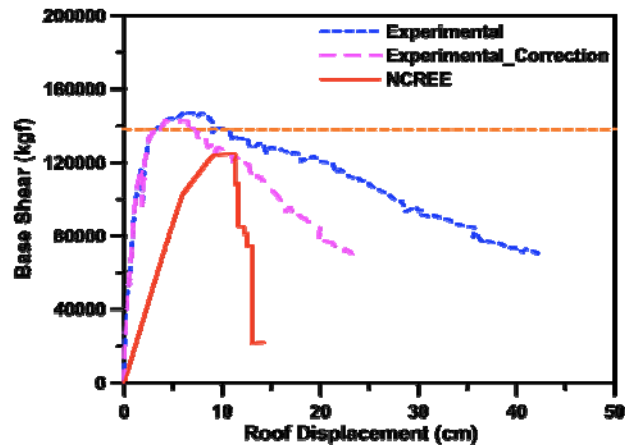
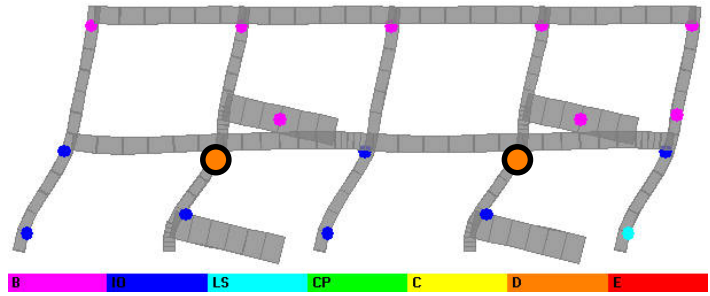


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



台南縣關廟國小現地試驗驗證

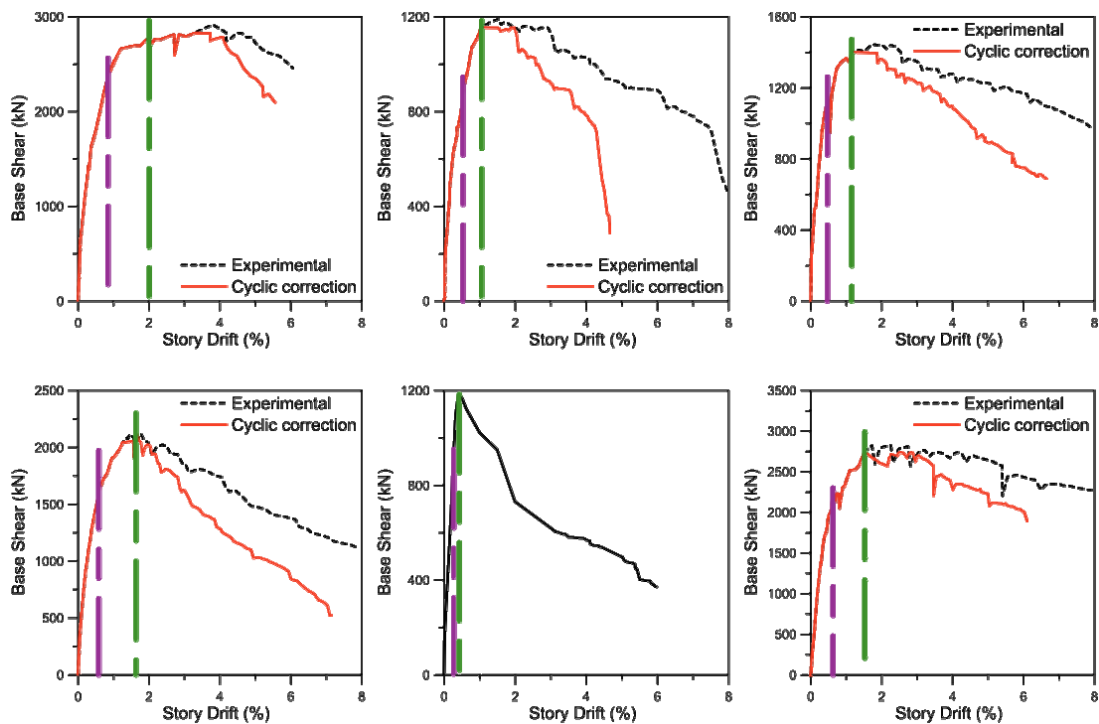


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



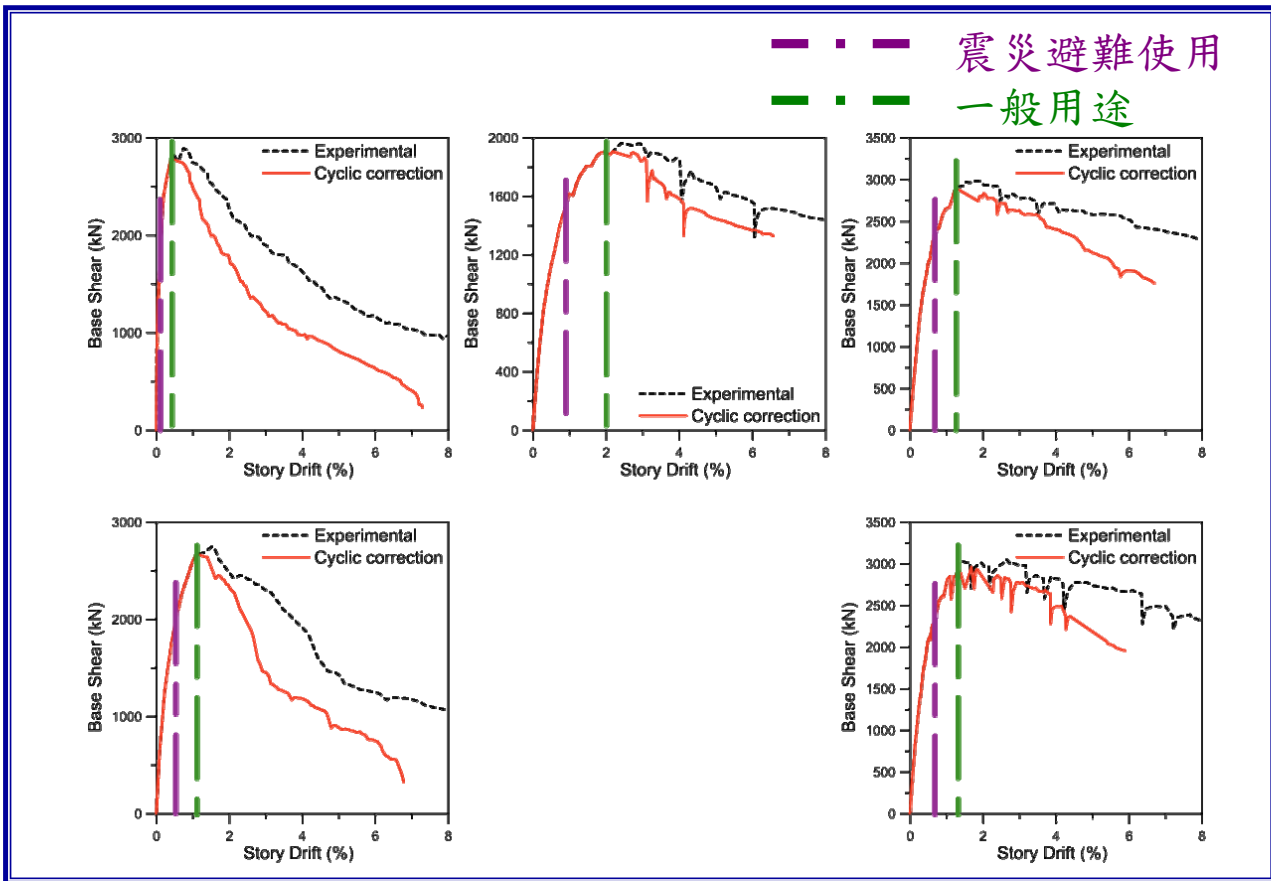
震災避難使用
一般用途



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會





國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

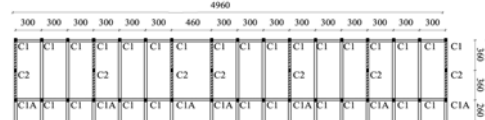
中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



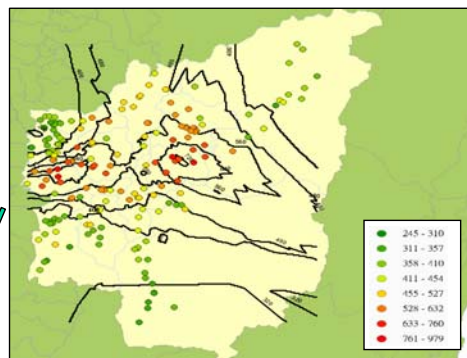
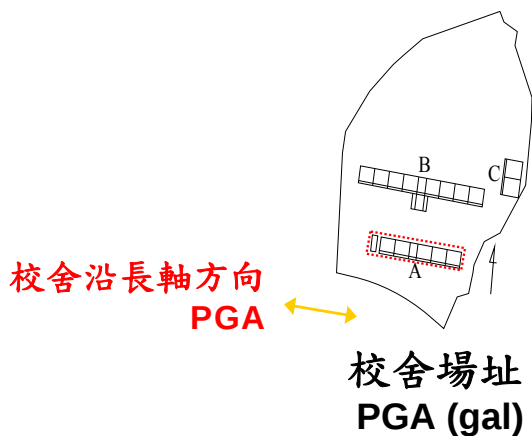
南投縣校舍 921 地震災損資料庫

- 35棟校舍
- 結構圖說及配筋資料
- 震損照片與訪談記錄
- 經歷最大地表加速度

NCREE-07-023



完整結構圖及配筋資料



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



35棟921震損校舍之震害受損等級



崩壞 大害



中害



小害



微害



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



崩壞

大害

中害

小害

微害



$$CDR = \frac{\text{Capacity}}{\text{Demand}} = 0.49$$

5棟崩壞校舍，均需補強

NAME	PGA (Actual)	PGA (Pushover)	0.4S _{DS}	CDR	Result
She-Liao Elementary School B	0.390	0.223	0.394	0.57	unsafe
Yong-Chang Elementary School A	0.450	0.226	0.330	0.69	unsafe
Yan-He Junior High School C	0.260	0.212	0.394	0.54	unsafe
Yan-He Junior High School D	0.260	0.166	0.394	0.42	unsafe
Zhu-Shan Junior High School D	0.190	0.090	0.394	0.23	unsafe
Average				0.49	unsafe



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



崩壞

大害

中害

小害

微害



$$CDR = \frac{\text{Capacity}}{\text{Demand}} \leq 0.64$$

7棟大害校舍，均需補強

NAME	PGA (Actual)	PGA (Pushover)	0.4S _{DS}	CDR	Result
Dong-Guang Elementary School A	0.840	0.229	0.308	0.74	unsafe
Ji-Ji Junior High School A	0.620	0.201	0.330	0.61	unsafe
Zhu-Shan Elementary School A	0.250	0.211	0.394	0.54	unsafe
Nan-Guang Elementary School A	0.520	0.218	0.308	0.71	unsafe
Pu-Li Junior High School E	0.540	0.205	0.308	0.67	unsafe
Ji-Ji Elementary School A	0.570	0.217	0.330	0.66	unsafe
E-Liao Elementary School A	0.710	0.209	0.371	0.56	unsafe
Average				0.64	unsafe



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

崩壞

大害

中害

小害

微害



$$CDR = \frac{\text{Capacity}}{\text{Demand}} \leq 0.61$$

3棟中害校舍，均需補強

NAME	PGA (Actual)	PGA (Pushover)	0.4S _{DS}	CDR	Result
Zhong-Shan Elementary School A	0.420	0.258	0.371	0.70	unsafe
Rui-Zhu Elementary School A	0.380	0.216	0.394	0.55	unsafe
Qiao-Xing Elementary School C	0.650	0.234	0.394	0.59	unsafe
Average				0.61	unsafe



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



崩壞

大害

中害

小害

微害



$$CDR = \frac{\text{Capacity}}{\text{Demand}} \leq 1.06$$

9棟小害校舍，4棟需補強

NAME	PGA (Actual)	PGA (Pushover)	0.4S _{DS}	CDR	Result
Zhong-Shan Elementary School B	0.640	0.259	0.371	0.70	unsafe
Tai-Ping Elementary School A	0.380	0.188	0.308	0.61	unsafe
Tai-Ping Elementary School B	0.580	0.476	0.308	1.55	safe
Tai-Ping Elementary School C	0.380	0.486	0.308	1.58	safe
Yong-He Elementary School A	0.620	0.508	0.371	1.37	safe
Nan-Fong Elementary School A	0.520	0.324	0.308	1.05	safe
Ming-Jian Elementary School B	0.360	0.214	0.394	0.54	unsafe
Yan-He Junior High School B	0.200	0.568	0.394	1.44	safe
E-Liao Elementary School B	0.580	0.310	0.371	0.84	unsafe
Average				1.06	safe



國家地震工程
National Center for Earthquake Engineering Research

崩壞

大害

中害

小害

微害



$$CDR = \frac{\text{Capacity}}{\text{Demand}} \leq 1.36$$

11棟微害校舍，3棟需補強

NAME	PGA (Actual)	PGA (Pushover)	0.4S _{DS}	CDR	Result
She-Liao Elementary School A	0.390	0.524	0.394	1.33	safe
She-Liao Elementary School C	0.380	0.522	0.394	1.33	safe
Tou-She Elementary School A	0.450	0.488	0.308	1.58	safe
Dong-Guang Elementary School B	0.430	0.511	0.308	1.66	safe
Yong-Chang Elementary School B	0.360	0.604	0.330	1.83	safe
Ming-Gang Elementary School A	0.580	0.233	0.342	0.68	unsafe
Ming-Gang Elementary School C	0.400	0.428	0.342	1.25	safe
Xi-Ling Elementary School A	0.280	0.700	0.342	2.05	safe
Xi-Ling Elementary School B	0.290	0.565	0.342	1.65	safe
He-Ping Elementary School B	0.580	0.260	0.342	0.76	unsafe
He-Ping Elementary School A	0.390	0.281	0.342	0.82	unsafe
Average				1.36	safe



國家地震工程
National Center for Earthquake Engineering Research

校舍耐震能力評估之驗證



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



0304甲仙地震-玉井國中vs玉井工商



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



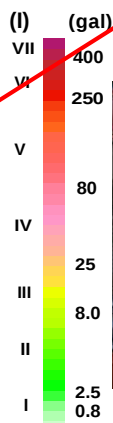
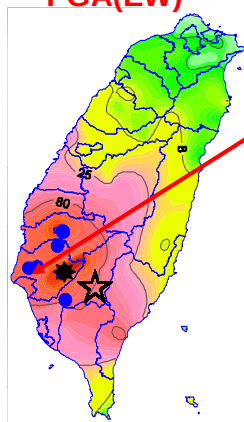
待補強校舍之震害

2010/03/04 08:18:52 (ML6.4)

Data: 97sites

結構性損傷共計9校14棟

Observed
PGA(EW)



案例-玉井國中



0304甲仙地震結構損傷
之校舍分布

多處柱產生結構性損壞
影響結構整體耐震能力



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



補強工程完工

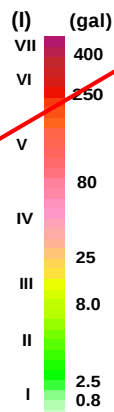
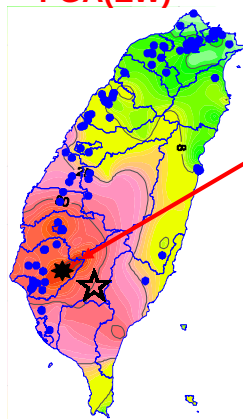
完成補強工程之校舍皆無結構性破壞

2010/03/04 08:18:52 (ML6.4)

Data: 97sites

全國補強工程完工共計110校167棟

Observed
PGA(EW)



案例-玉井工商



翼牆補強

剪力牆補強

補強工程完工之校舍分布

補強工程於民國98年10月30日竣工，
此次地震中，均無產生結構性破壞。



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



補強工法

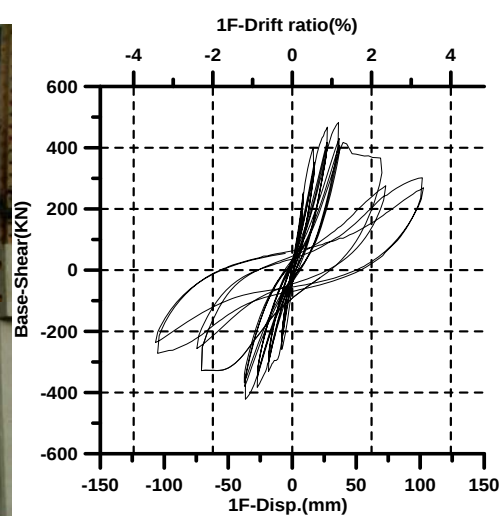


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



測試結果 - 原型試體



$$V_{\text{prototype}} = 48.2 \text{ t}$$

破壞模式: 短柱剪力破壞

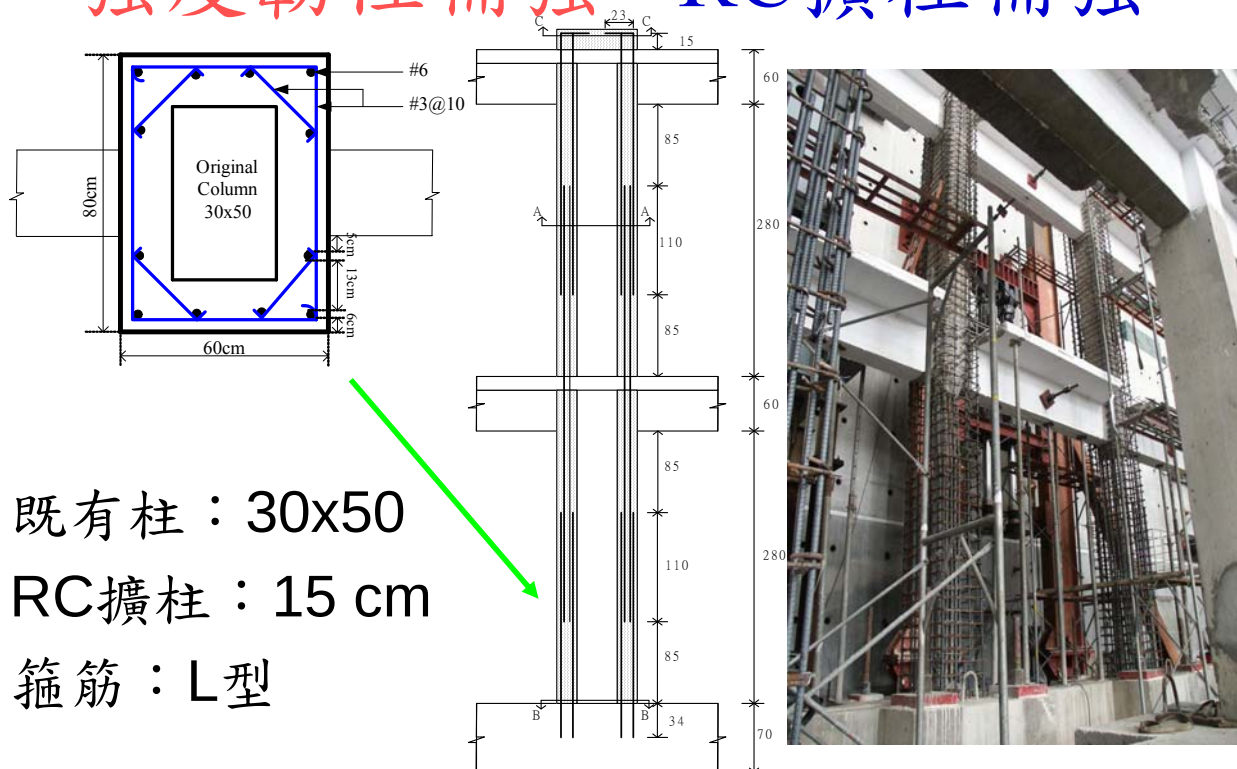


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



強度韌性補強 - RC擴柱補強

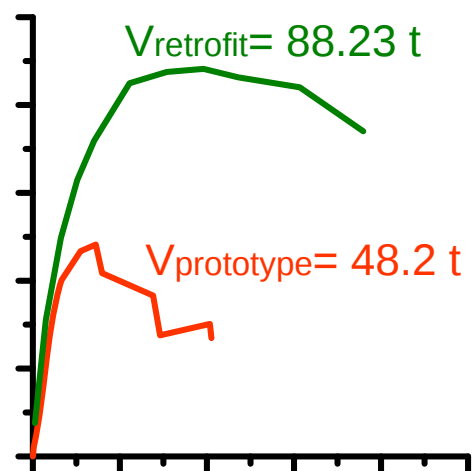


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



測試結果 - RC擴柱補強



破壞模式：梁、內柱撓曲破壞

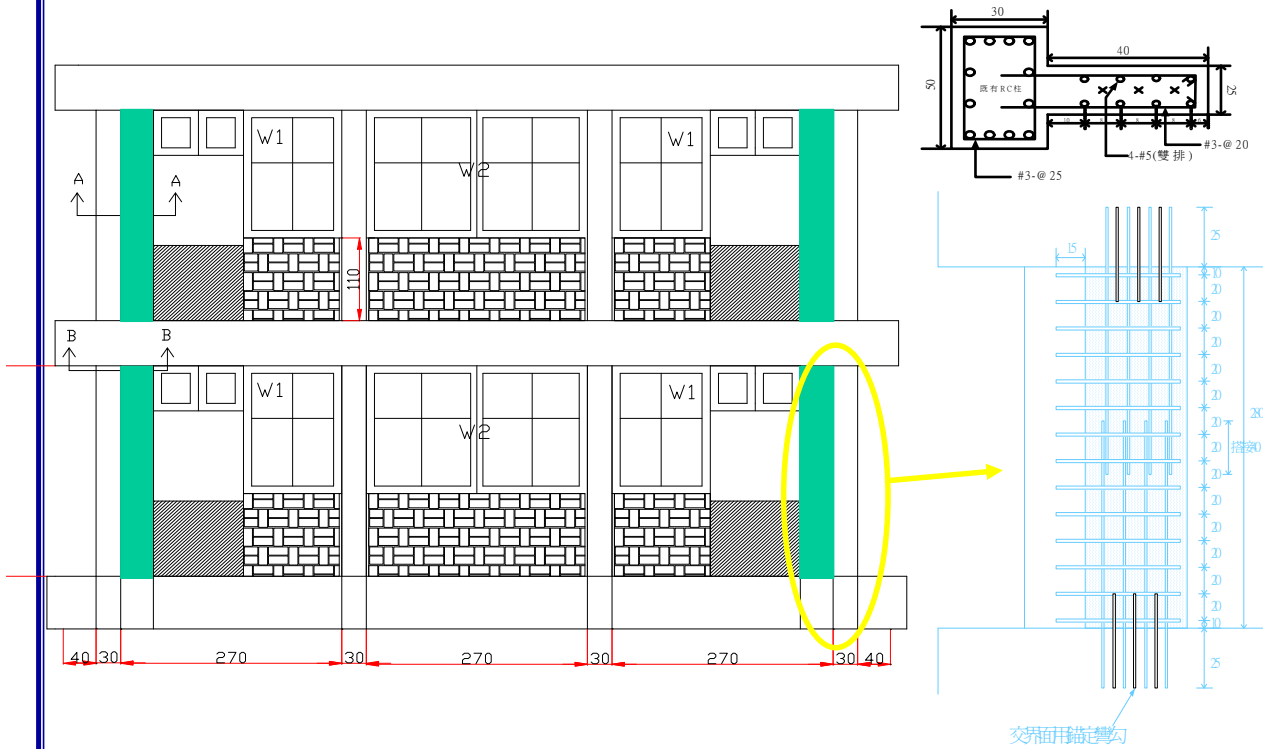


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

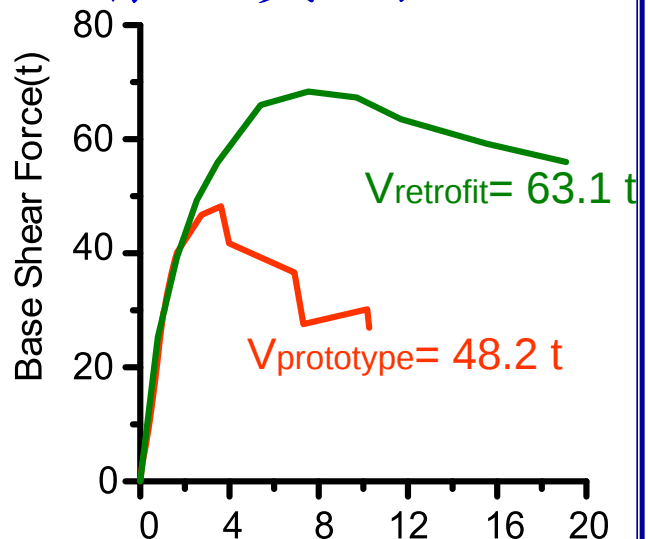
中華民國土木技師公會全國聯合會
建築物實施耐震能力評估及補強講習會



強度韌性補強－翼牆補強



測試結果－增設翼牆



破壞模式：梁－撓曲破壞

接頭－剪力破壞

結論與建議

- 校舍耐震補強之重要
- 由上而下全面推動之必要
- 技術驗證之必需
- 選用經濟有效之補強方法



參考文獻

中國土木水利工程學會 (2005)，「混凝土工程設計規範與解說」，土木401-96。

內政部營建署 (2001)，「最新建築技術規則」。

鍾立來等 (2010)，「校舍結構耐震行為之檢核與驗證」，中華民國結構工程學會，結構工程，第二十五卷，第三期，第3-23頁。

營建署 (2004)，「建築物耐震設計規範及解說」。



參考文獻

許丁友等 (2003)，「國民中小學典型校舍耐震能力初步評估法」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-03-049。

蘇耕立 (2008)，「台灣中小學校舍結構耐震能力初步評估方法之探討」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文，黃世建指導。

杜怡萱等 (2007)，「台灣中部校舍集集地震災損資料庫建立與評估」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-07-023。



參考文獻

江文卿等 (2008)，「花蓮縣新城國中校舍現地實驗—靜態單向側推」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-008。

江文卿等 (2008)，「雲林縣口湖國小校舍現地靜態推垮實驗」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-044。

翁元滔等 (2008)，「桃園縣瑞埔國小校舍耐震性能現地試驗-標準構架試體擬動態與反覆側推試驗」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-004。



參考文獻

邱耀正等 (2008)，「校舍建築RC擴柱補強現地試驗與分析」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-033。

林士涵、Soheil Yavari、吳俊霖、黃世建、Kenneth J. Elwood、楊元森、翁樸文、Beyhan Bayhan、Jack P. Moehle (2010)，「校舍建築RC擴柱補強現地試驗與分析」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-10-002。

邱聰智等 (2008)，「典型校舍耐震補強設計與驗證」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-038。



參考文獻

鍾立來等，「校舍結構耐震評估與補強技術手冊」，國家地震工程研究中心，報告 NCREE-08-023。

鍾立來等，「校舍結構耐震評估與補強技術手冊(第二版)」，國家地震工程研究中心，報告 NCREE-09-023。

鍾立來等(2012)，「以現地試驗檢核校舍結構耐震能力之初步評估」，中國土木水利工程學刊，第二十四卷，第三期，第299-311頁。

