

低矮RC校舍易損性與震損評估 On the Seismic Performance Assessment for Low-Rise RC School Buildings

簡文郁

「台灣地震損失評估系統」講習會
2015/11/23

承諾·熱情·創新

www.narlabs.org.tw

Objectives

- 評估低矮RC校舍之震害風險
— 同時考量地震潛勢與易損性
- (地震)災害風險 R_{ie} 定義

$$R_{ie} = H_i \cdot V_e$$

- 災害潛勢 H_i 表示在評估的曝險期間 t 內災害潛勢超越 i 的機率(或頻率)
- 脆弱度或易損性 V_e 則表示曝險對象在災害潛勢達到 i 時, 預期會造成損害的機率

結構之震害風險

■ 依結構可靠度分析理論, 震害風險可由災害潛勢與易損性之重積分計算

■ 災害潛勢(地震危害度曲線)

$$p_A(a) = \frac{d}{da} P_A(a) = \frac{d}{da} [1 - Q_A(a)] = -\frac{dQ_A(a)}{da}$$

■ 易損性(結構的損傷狀態達到 S 以上的機率)

$$P_{rs}(a) = \int_0^a p_s(\tau) \cdot d\tau = \Phi\left(\frac{\ln a - \lambda}{\beta}\right)$$

■ 震害風險

$$P[S] = \int_{a=0}^{\infty} P_{rs}(a) \cdot p_A(a) da = \int_{a=0}^{\infty} \Phi\left(\frac{\ln a - \lambda}{\beta}\right) \cdot p_A(a) da$$

建物性能目標

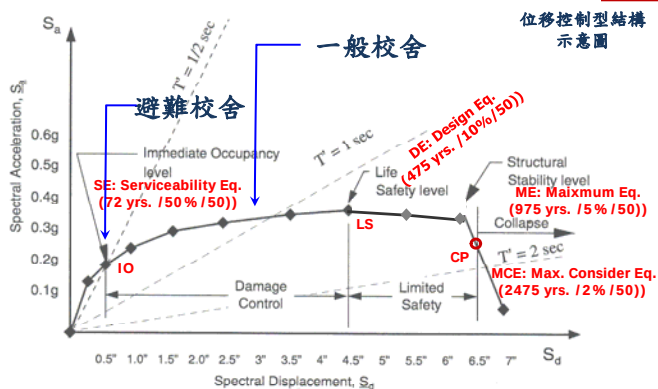
建物性能 地震 危害等級	正常運作 (OP) 1-A	立即居住 (IO) 1-B	生命安全 (LS) 3-C	預防崩塌 (CP) 5-E
常遇地震 (80%/50年)	●	●		
偶遇地震 (50%/50年)	●	●		
罕遇地震 (10%/50年)		○	○	○
最大考量地震 (2%/50年)			●	●

● : 用於初步設計之目標位移估計

○ : 用於驗證設計之可接受標準檢核

震損評估與耐震設計
技術內涵相同

結構容量譜與性能標準



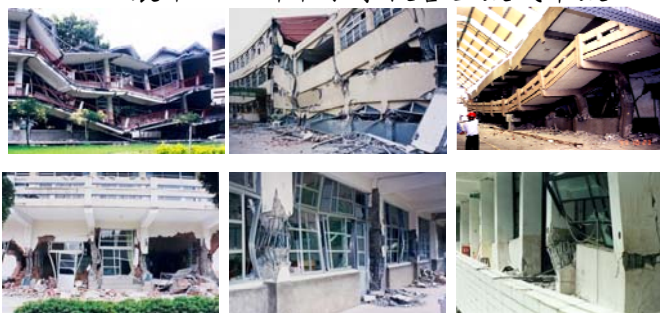
ATC-40/ Fig. 6-3. Typical Capacity Spectrum (Modified)

性能→損傷

地震中校舍毀損情形

黃世建教授提供

921地震中293所中小學校舍全毀或半毀

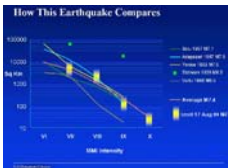
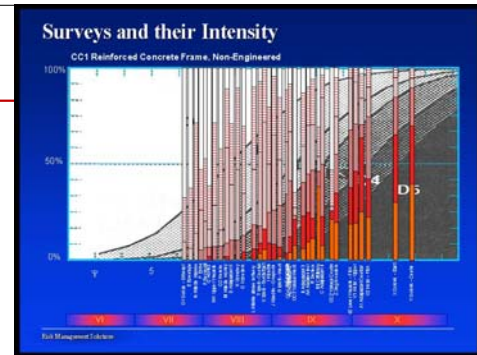
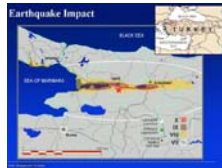


損傷與地震強度連結 → 易損性

易損性曲線

(1) 為結構損傷狀態的超越機率對地震參數(如PGA)之關係曲線

---震害調查、理論分析

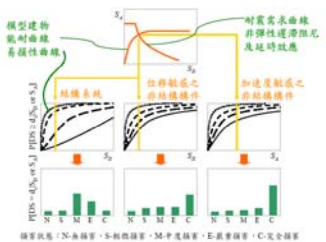
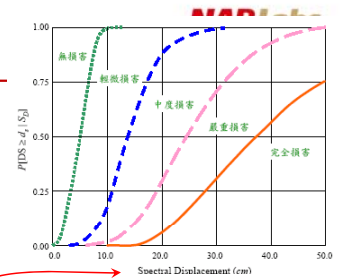


易損性曲線

(2) 結構損傷狀態的超越機率對結構變形或損傷指標參數(如層間變位比)之關係曲線

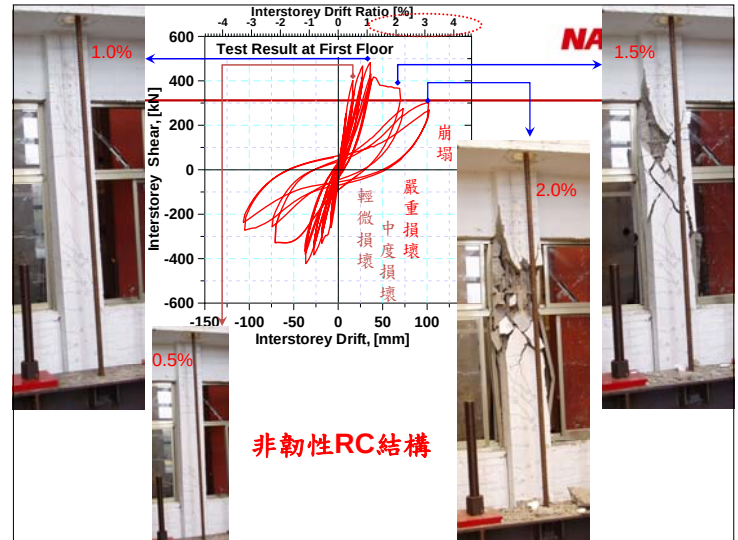
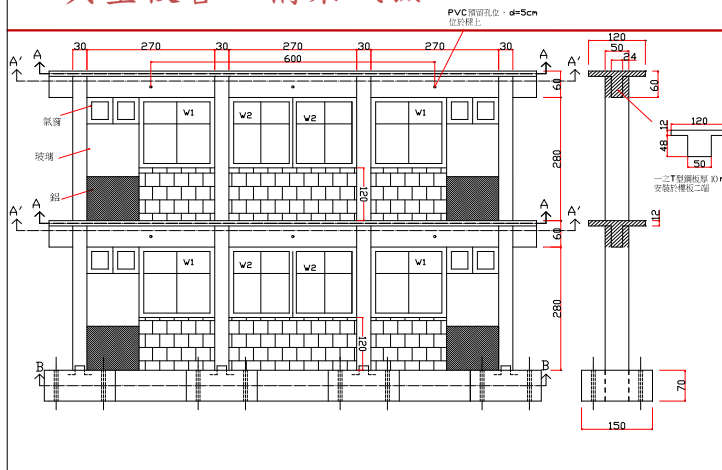
---試驗觀察

結構反應



典型校舍RC構架試驗

NAR Labs



中度破壞—嚴重破壞

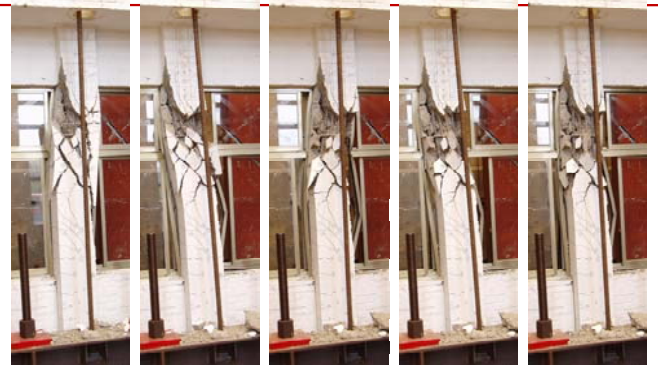
NAR Labs



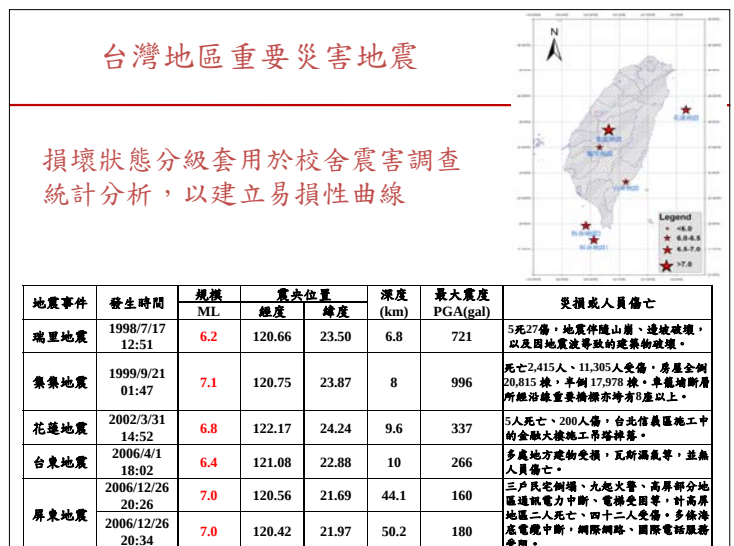
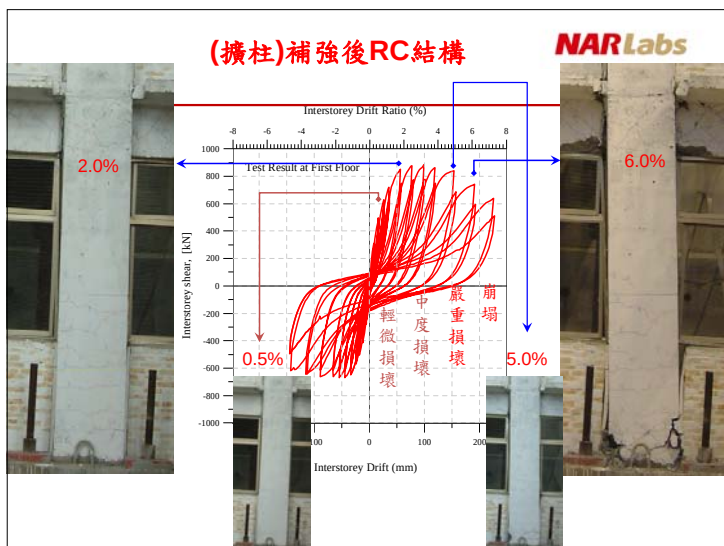
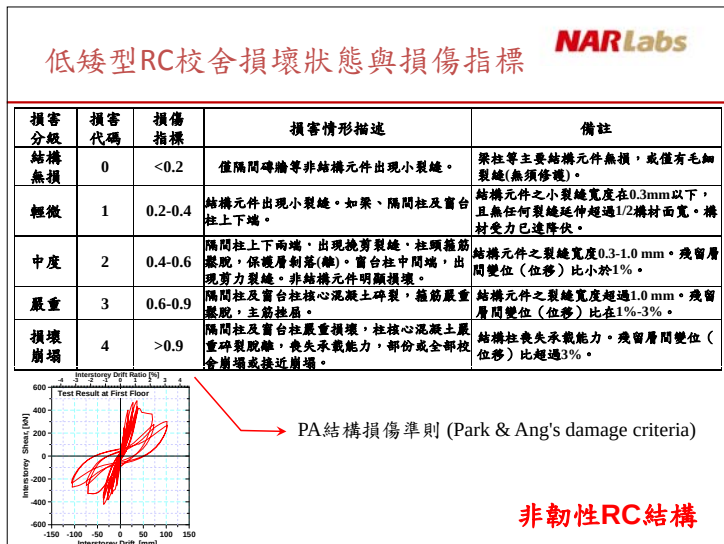
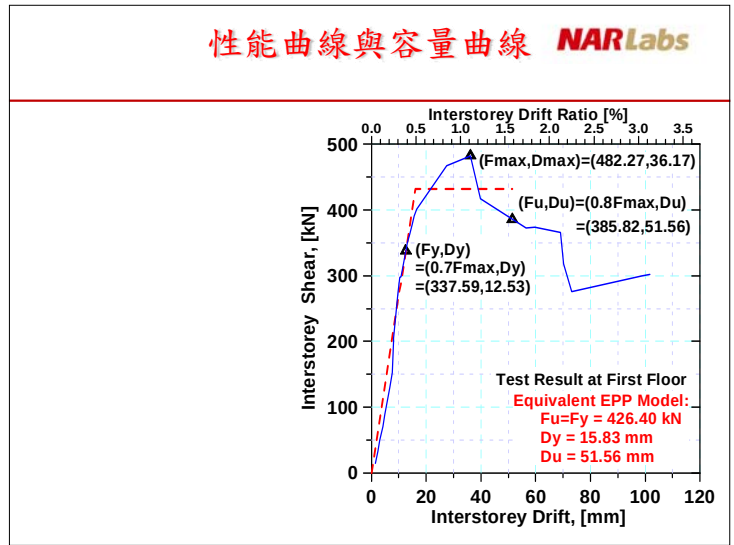
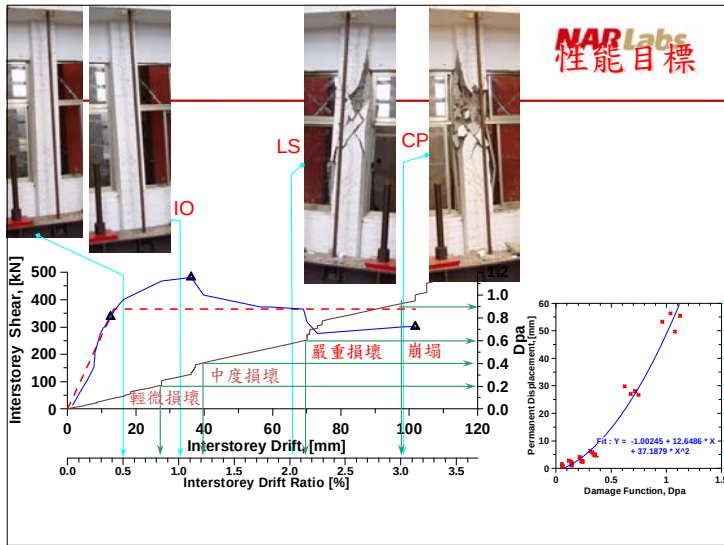
(g) $D_s^T = 1.5\%$, (C1) (h) $D_s^T = -1.5\%$, (C1) (i) $D_s^T = 1.5\%$, (C2) (j) $D_s^T = -1.5\%$, (C2) (k) $D_s^T = 0\%$, (1.5%歸零)

嚴重破壞---完全損壞(倒塌)

NAR Labs



(l) $D_s^T = 2.0\%$, (C1) (m) $D_s^T = -2.0\%$, (C1) (n) $D_s^T = 2.0\%$, (C2) (o) $D_s^T = -2.0\%$, (C2) (p) $D_s^T = 0\%$, (2.0%歸零)



低矮型RC校舍震害調查(1)

NAR Labs

抽樣點	PGA (gal)		各損害程度之校舍棟數					調查 總棟數
	EW	NS	無損	輕微	中等	嚴重	完全損壞	
省山國小	143	190	41	4	2	0	0	47
豐東國中	298	169	11	1	0	0	2	14
草屯國小	325	257	4	5	3	5	7	24
健民國小	489	312	2	0	0	0	1	3
南投國小	340	420	7	0	0	0	6	13
雙冬國小	518	639	2	1	0	0	0	3
石岡國小	502	362	0	0	0	0	3	3

集集地震災區3樓以下校舍損壞抽樣調查結果
(資料來源：葉永田等，2002)

低矮型RC校舍震害調查(2)

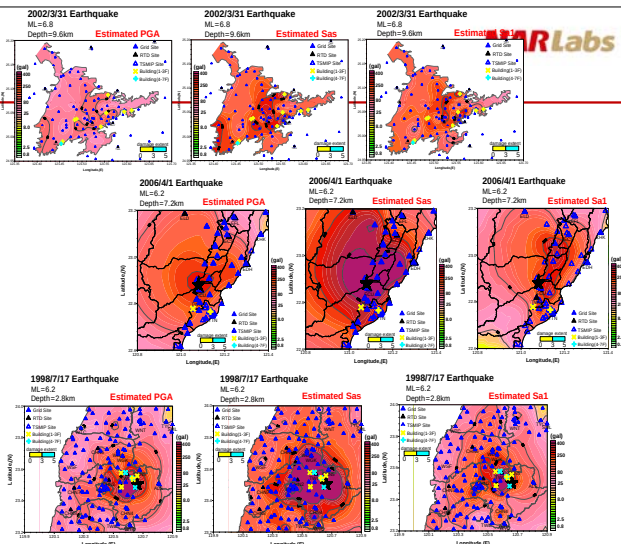
NAR Labs

表 7 五次災害地震中3層樓以下受損校舍棟數統計表

代表學校	PGA (gal)	損害分級					總棟數	備註
		0	1	2	3	4		
梅山、瑞峰、梅圳國小	270.2	1	1	1	2	1	6	瑞里地震
內埔、太興國小	434.7	9	0	1	1	0	11	
培英、仁壽國小	502.6	0	0	1	0	1	2	
省山國小	165.0	41	4	2	0	0	47	集集地震
豐東國中	224.0	11	1	0	0	2	14	
草屯國小	289.0	4	4	3	5	7	24	
南投、健民國小	385.0	9	0	0	0	7	16	
石岡、雙冬國小	501.0	2	1	0	0	3	6	
華江高中	72.7	0	1	0	0	0	1	花蓮地震
利嘉國小	167.3	1	2	0	0	0	3	台東地震
里港國中	62.5	41	24	1	0	0	66	恆春地震
永港國小	87.5	21	7	0	0	0	28	
竹林國小	112.5	29	15	0	0	0	44	

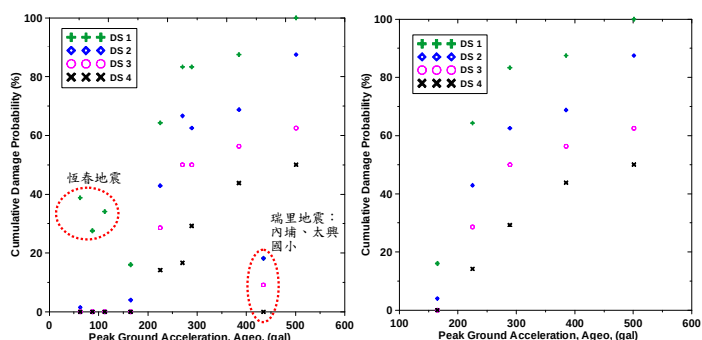
資料庫查詢

震度分佈及災損點位置比較



三層樓以下RC校舍易損性比較

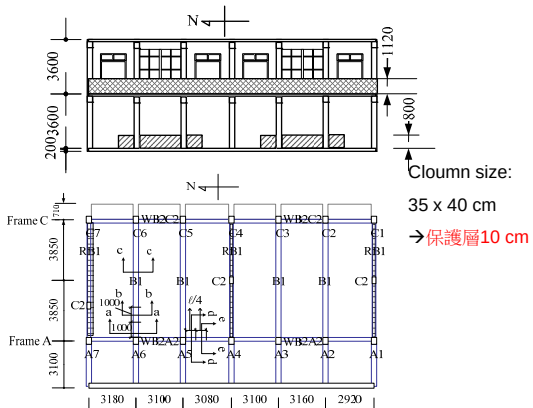
NAR Labs



五次地震震損調查整併

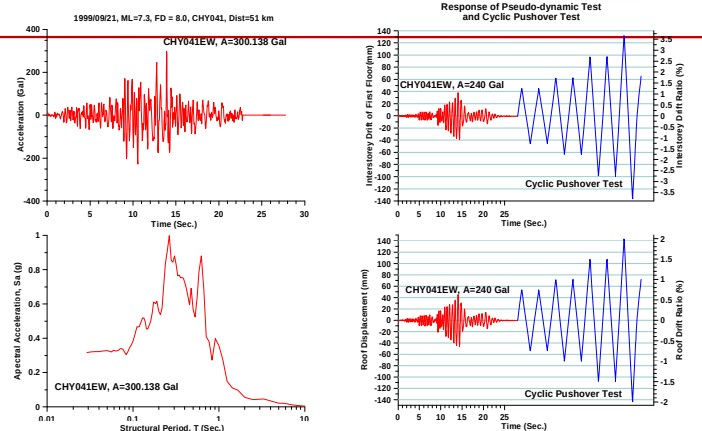
集集地震震損調查
(部分調整)

校舍現地試驗——擬動態、反覆側推

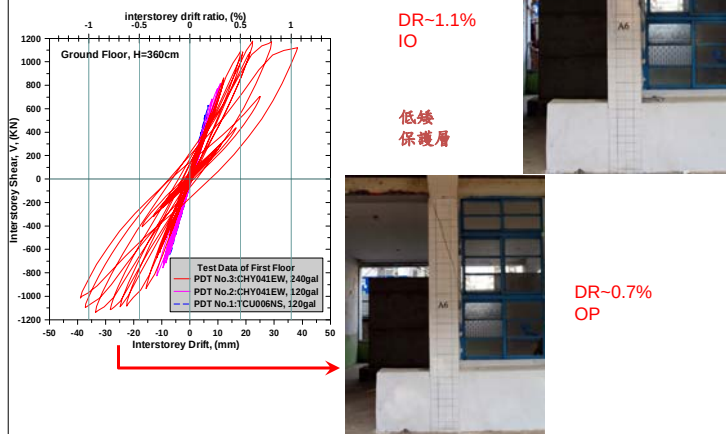


校舍現地試驗——擬動態、反覆側推

NAR Labs

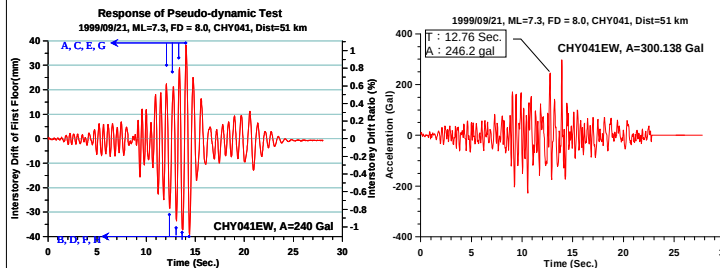


校舍現地試驗——擬動態



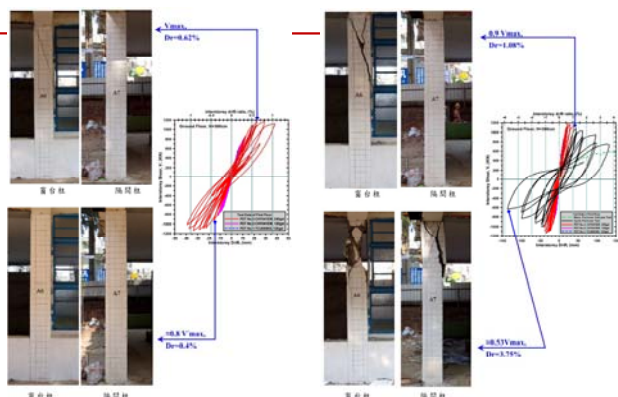
地震輸入與反應

NAR Labs



校舍易損性試驗觀察

NAR Labs



既有RC校舍結構動態及反覆側推試驗下之遲滯迴圈及損傷程度之關係比較 (Dr：一樓之層間變位比)

簡化震害風險模型之假設

NAR Labs

- 地震危害度之形狀相似， $Q_A(a) = C_1 a^{-C_2}$
- 結構損壞機率和容量需求比值 CDR 成比例關係(設計規範之暗示?)
- 災害潛勢以50年內超越機率達10%之地震動強度(需求) D_i 為評估標準 (相當於 C_1)
- 依照耐震設計規範，反映「震災可能發生潛勢」：區域地震及活動斷層，地盤類別

簡化震害風險模型

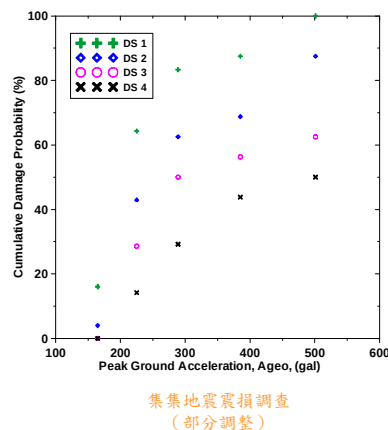
NAR Labs

- 災害潛勢 = 設計地震需求
- 易損性 由地震災害調查結果統計得到
- 結構物之相對震害風險函數可簡化
- 其中， a 代表結構物之容量(以PGA表示)
- E 為 a 對 D_i 之正規變數，亦即容量需求比
- 僅需要校舍易損性函數及CDR值:對數常態分布函數

三層樓以下RC校舍易損性比較

NAR Labs

- PGA到達400 gal時，受損嚴重以上之校舍接近60%；約40%校舍有倒塌可能
- 統計推估災區國中小校舍設計地震為0.2g
- 災區平均地震動0.4g，震害潛勢指標 E 之期望值約為50



三層樓以下RC校舍易損性

NAR Labs

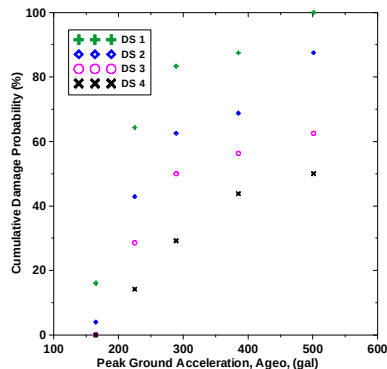
■ 校舍達嚴重以上受損程度之易損性累積機率為50%時之E值設定為50

■ E之變異性較大，假設其變異性係數COV為0.5

■ 形狀及比例參數分別為
 $\beta = 0.4724$ $\lambda = 3.912$

$$R_s(e) = \int_e^{\infty} p_s(\tau) \cdot d\tau$$

$$= 1 - \Phi\left(\frac{\ln e - \lambda}{\beta}\right)$$



集集地震震損調查
(部分調整)

校舍資料庫之耐震指標

NAR Labs

校舍補強計畫各工作階段之耐震指標之符號與定義比較

工作階段	評估方法	耐震指標	說明1	說明2
初步評估	基底抗剪強度簡易疊加	$I_s = 100 \cdot \frac{V_u}{I \cdot V_d}$	$V_d = \frac{W \cdot S_{ad}}{1.4 \alpha_y \cdot F_U}$	475年設計地震力，允許韌性容量。統一取 $I=1.25$ 。
詳細評估 補強設計	強度韌性法	$CDR = \frac{A_c}{I A_{D475}}$	A_{D475} 為 475 年設計地表加速度EPA	A_c 為結構達允許韌性容量時能承受之地表加速度值
	側推分析法	$CDR = \frac{A_p}{A_{D475}}$	A_{D475} 為 475 年設計地表加速度EPA	A_p 為損害控制在中度破壞(一般校舍)或輕微損壞(避難校舍)之性能地表加速度值

➡ 轉換為統一之震害潛勢(風險)指標 E

案例分析

NAR Labs

台北市松山區敦化北路一國小為例

校舍名	總樓地板面積(M ²)	IS _i 或CDR _i	震害潛勢指標E _i	校舍震害影響係數f _i	校舍影響面積A _{aff,i}	備註
A棟	1894.0	0.723	90.375	0.1133	215.0	低潛勢
B棟	1170.0	0.62	77.500	0.1837	215.0	低潛勢
D棟	2085.0	0.798	99.750	0.0711	148.3	低潛勢
E棟	904.2	0.634	79.250	0.1671	151.1	低潛勢
C棟	2956.0	1.054	131.750	0.030	088.7	低潛勢
F棟	638.9	0.733	91.625	0.1077	68.8	低潛勢
H棟	5266.0	0.362	54.300	0.4355	2293.3	高震損潛勢校舍

➡ 中震害風險學校

結論與建議

NAR Labs

- 低矮非韌性設計RC校舍易損性(三層樓以下)
 - PGA500gal, 約有50%完全損壞或倒塌；
 - PGA300gal, 約有50%嚴重損壞。
 - PGA200 gal 的小地震動, 約10%嚴重受損、倒塌。
- 損傷狀態分類及易損性在工程實務應用，以保守之標稱值作為補強設計之目標。
- 未考慮不同地區之變異性
- 檢討震害調查內涵

結論與建議

NAR Labs

- 校舍地震災害風險簡化為耐震能力與地震需求比之函數，採用對數常態機率分布函數
- 應用已大量建置之校舍耐震能力CDR值
- 建議沒有評估資料的校舍(只有普查資料)，其IS值依據統計結果評定，即可進行校舍或學校震損風險評估

第四屆海峽兩岸地震工程青年學者研討會暨第六屆臺灣邊界元素法(6thTaiwan EM)會議

國中、小校舍易損性曲線參數研究
 A Study on Fragility Curves of Low-Rise School Buildings in Taiwan
 黃李暉、葉錦勳等

謝謝！ 請指教！

NAR Labs

- 致謝：NCREE校舍補強計畫、耐震資訊網提供完整校舍耐震能力試驗與資訊

校舍之易損性參數比較表

	輕微損壞	中度損壞	嚴重損壞	倒塌
標準校舍(三樓、1982建造、單邊走廊，廊外柱)	0.75%	1.5 %	3 %	4.5 %
既有校舍(五樓、1974以前建造、單邊走廊，廊外無柱)	0.5%	0.95 %	1.9 %	2.8 %
補強後之標準校舍	0.8%	2.5 %	4 %	5.5 %