

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)

不規則建築物之耐震詳細評估 (以鋼結構為例說明)

陳宗琺

大綱

- 何謂不規則建築物
- 鋼結構耐震詳細評估項目
- 鋼結構耐震詳細評估方法
- 實際案例執行成果
- 補強工法介紹



何謂不規則建築物

建築物耐震設計規範與解說

1.6 規則性與不規則性結構

任一結構可依其配置，區分為下列規則性結構及不規則性結構兩類。

(一) 規則性結構

規則性結構在平面及立面上，或抵抗側力的結構系統上，沒有不規則性結構所具有的顯著不連續性。

(二) 不規則性結構

- (1) 不規則性結構在平面與立面上，或抵抗側力的結構系統上，有顯著的不連續性。一般之不規則性如表 1-1 與表 1-2 所示。
- (2) 結構具有表 1-1 所列一種或多種不規則性時，應視為具有立面上不規則性者。
- (3) 結構具有表 1-2 所列一種或多種不規則性時，應視為具有平面上不規則性者。
- (4) 不規則性結構之結構設計與分析必須依據表 1-1 與表 1-2 所列參考章節之各項規定辦理。

建築物耐震設計規範與解說

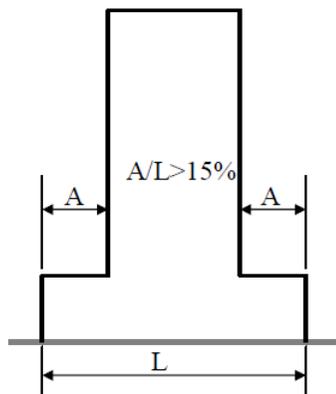
◆ 立面不規則結構

不規則種類與定義	參考章節
1a. 勁度不規則性—軟層 軟層者係指該層之側向勁度低於其上一層者之 70%或其上三層平均勁度之 80%。	3.1
1b. 勁度不規則性—極軟層 極軟層者係指該層之側向勁度低於其上一層者之 60%或其上三層平均勁度之 70%。	不容許
2. 質量不規則性 任一層之質量，若超過其相鄰層質量的 150%者，稱此建築物具質量不規則性。屋頂下一層之質量大於屋頂層質量 150%者，不視為不規則。	3.1
3. 立面幾何不規則性 任一層抵抗側力結構系統之水平尺度若大於其相鄰層者之 130%以上，視此建築物具立面幾何不規則性，但閣樓面積甚小時，可不考慮。	3.1
4. 抵抗側力的豎向構材立面內不連續 抵抗側力的豎向構材立面內錯位距離超過該構材長度者。	6.2.12
5. 強度不連續性—弱層 弱層為該層強度與該層設計層剪力的比值低於其上層比值 80%者。樓層強度係指所考慮方向上所有抵抗地震層剪力構材強度之和。	1.8 2.17

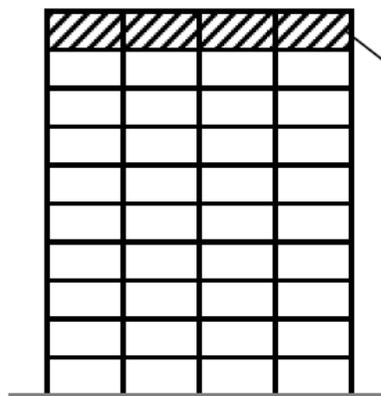


建築物耐震設計規範與解說

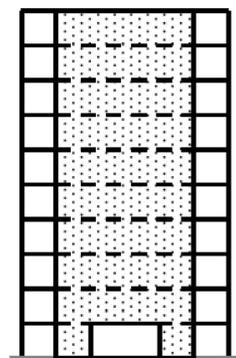
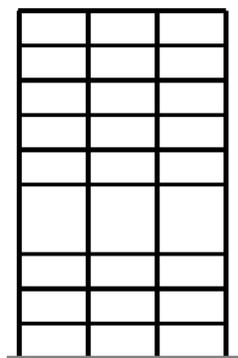
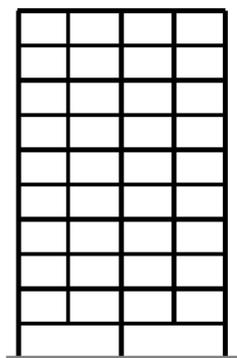
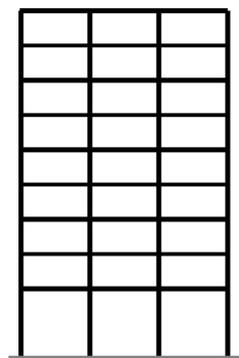
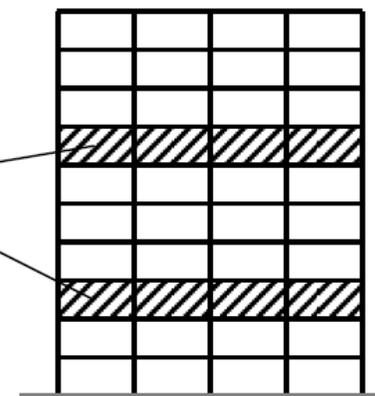
◆ 立面不規則結構



幾何形狀不規則



質量不規則



抗彎矩構架

剪力牆

勁度不規則

建築物耐震設計規範與解說

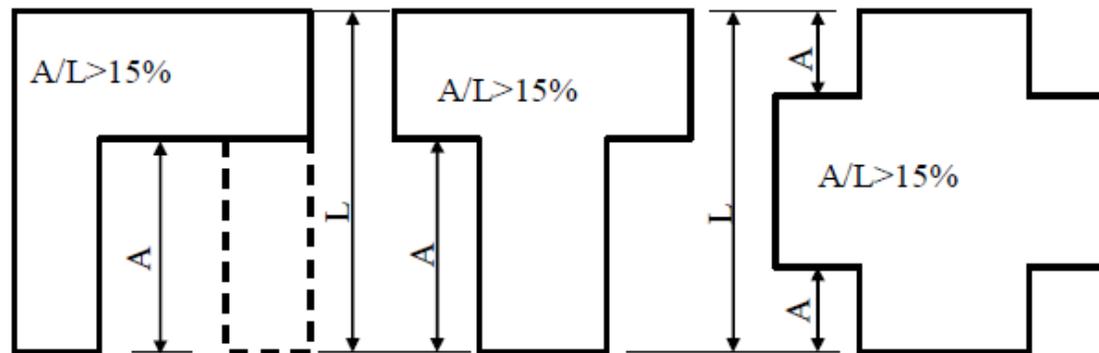
◆ 平面不規則結構

不規則種類與定義	參考章節
1. 扭轉不規則性—橫隔版非柔性時需予考慮 在包含意外扭矩的地震力作用下，沿地震力方向最大側邊層變位大於兩側邊平均層變位的 1.2 倍以上時，應視為具扭轉不規則性。	2.14、3.1 3.7、6.1 6.2.9
2. 具凹角性 結構及其側力抵抗系統的平面幾何形狀具有凹角者，超過凹角部分之結構尺寸大於沿該方向結構總長之 15% 以上者謂之。	6.2.9
3. 橫隔版不連續性 橫隔版具有急遽不連續性或勁度不連續性，包含切角或開孔，其面積超過全部面積 50% 以上者，或兩層間有效橫隔版勁度之變化超過 50% 者。	6.2.9
4. 面外之錯位性 側向力傳遞之路徑具不連續性，如豎向構材有面外錯位者。	6.2.9 6.2.12
5. 非平行結構系統 豎向側力抵抗構材不平行或對稱於側力抵抗系統之兩正交主軸者。	6.1

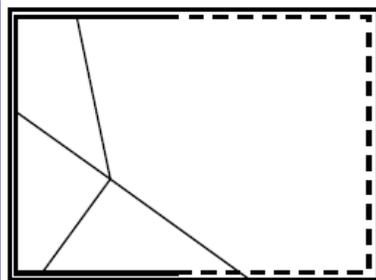


建築物耐震設計規範與解說

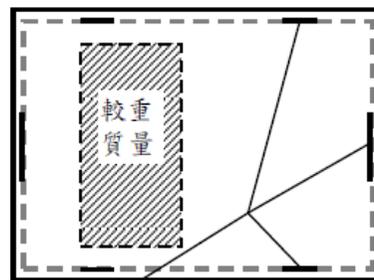
◆ 平面不規則結構



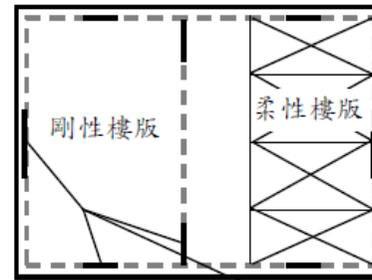
幾何形狀不規則



抗側力系統之垂直構材

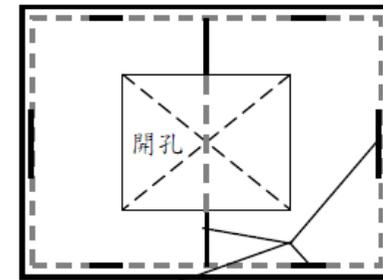


質心與剛心之偏心



抗側力系統之垂直構材

樓版勁度不連續



建築物耐震設計規範與解說

◆ 動力分析方法之適用範圍

3.1 適用範圍

凡有下述任一情況之建築物，需以動力分析方法設計之：

1. 高度等於或超過 50 公尺或 15 層以上之建築物。
2. 建築物超過 20 公尺或 5 層以上，且其勁度、重量配置或立面幾何形狀具有表 1-1 第 1 至第 3 種立面不規則性，或具有表 1-2 平面扭轉不規則性者。
3. 建築物超過 5 層或 20 公尺，非全高度具有同一種結構系統者。

動力分析方法可為反應譜分析法或歷時分析法。

解說：

一般而言，建築物不規則者，須進行動力分析。



建築物耐震設計規範與解說

◆ 動力分析方法

3.6 歷時分析法

3.6.1 輸入地震要求

至少三個與設計反應譜相符之水平地震紀錄，其應能確切反映工址設計地震(或最大考量地震)之地震規模、斷層距離與震源效應。

針對任一個水平地震紀錄，計算其 5% 阻尼之反應譜。同時，調整地震紀錄使得位於 $0.2T$ 至 $1.5T$ 週期範圍內任一點之譜加速度值不得低於設計譜加速度值之 90% 及於此週期範圍內之平均值不得低於設計譜加速度值之平均值，其中 T 為建物基本模態之振動週期。

3.6.3 非線性歷時分析

進行非線性歷時分析，結構之模擬除須按 3.4 節之規定進行，構材之非線性分析模型須要能確切反應構材真實之非線性行為；非線性歷時分析所得之反應值不得再以調整係數 $I/(1.4\alpha_v F_u)$ 予以折減。

建築物耐震設計規範與解說

◆ 動力分析方法

3.7 動態扭矩

動力分析各層所產生之動態扭矩必須考慮，可算得動態偏心距，加上意外偏心距後，以等值靜態地震力來施加。如動力分析直接取構材內力來振態疊加，因意外偏心不易加入，可將各層質心偏移計算質心 $\pm 5\%$ 建築物平面尺度的四個位置，逕行進行動力分析設計之。

建築物耐震設計規範與解說

◆ 動力分析方法

6.1 通則

1. 建築物之構材應設計使能抵抗地震力與靜、活載重等之組合作用。當考慮地震因傾倒力矩造成上舉效應時，靜載重應予折減。容許應力、載重係數及強度折減係數悉依各種構造構材設計規範之規定。
2. 下列兩種情況下，應考慮地震作用方向不沿建築物主軸方向之效應：
 - (1) 建築物具有表 1-2 第 5 種平面不規則性者。
 - (2) 建築物兩個主軸方向均具有表 1-2 扭轉不規則性者。

上述須考慮地震不沿主軸方向作用之情況，可設計構材同時承受某一主軸向 100%地震力加上與其垂直方向 30%地震力產生之效應。

採用動力分析以振態疊加法計算構材內力時，應考慮地震沿幾個不同的角度輸入的狀況。

◆ 耐震能力評估方法

➤ 靜力側推分析法(不規則建築物)

【Q005-2】：斷面主軸與側推方向不正交之處理方式？

目前部分待補強校舍規劃並不規則，可能側推方向與柱斷面主軸方向都不平行，如果仍以側推方式考量，該如何處理為宜？

【A005-2】：

理論上，當建築物不規則性提高時，其結構反應將難以第一振態主控，此時仍以側推分析方法去進行建築物之耐震能力評估將有方法是否適用的根本性疑難。在目前針對大挑空等特殊校舍並未訂立排除適用的條款下，勉強去做應如何考量，以下為幾點建議：

(1) 柱塑鉸應同時設定 M3 與 M2 兩方向塑鉸：

以圖 Q005-2-1 所示之不規則校舍為例，因結構呈扇形，不論側推 X 向或 Y 向均對柱產生兩方向的彎矩分量，故應同時設定方可考慮到某方向塑鉸先產生之效應。

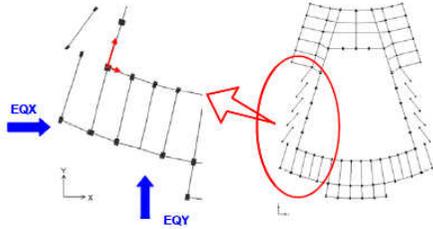


圖 Q005-2-1 建築物主軸方向不垂直時之近似塑鉸設定處理方式

(2) 增加其他側推方向以考量其他方向地震力作用之效應：

如圖 Q005-2-2 所示，針對前述之不規則校舍，可增加側推 Xa 向與 Ya 方向來考量對構架真正不利之地震力作用方向的影響，此可以透過通報 002 期之【Q002-2】所介紹的轉動模型技巧方式加以完成。

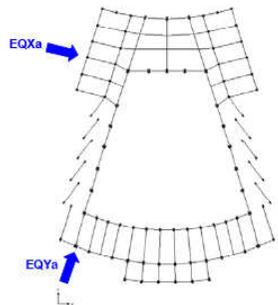
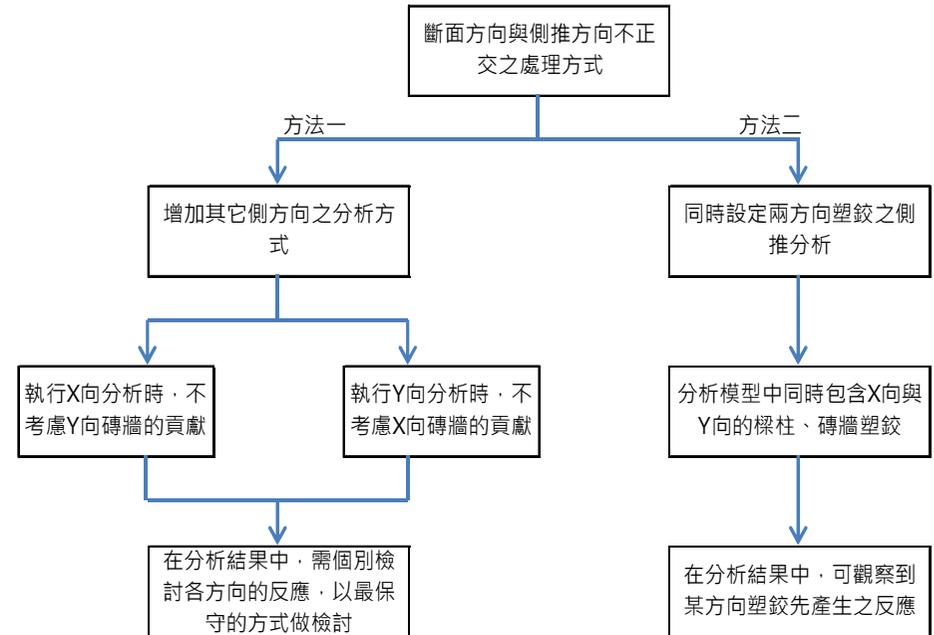
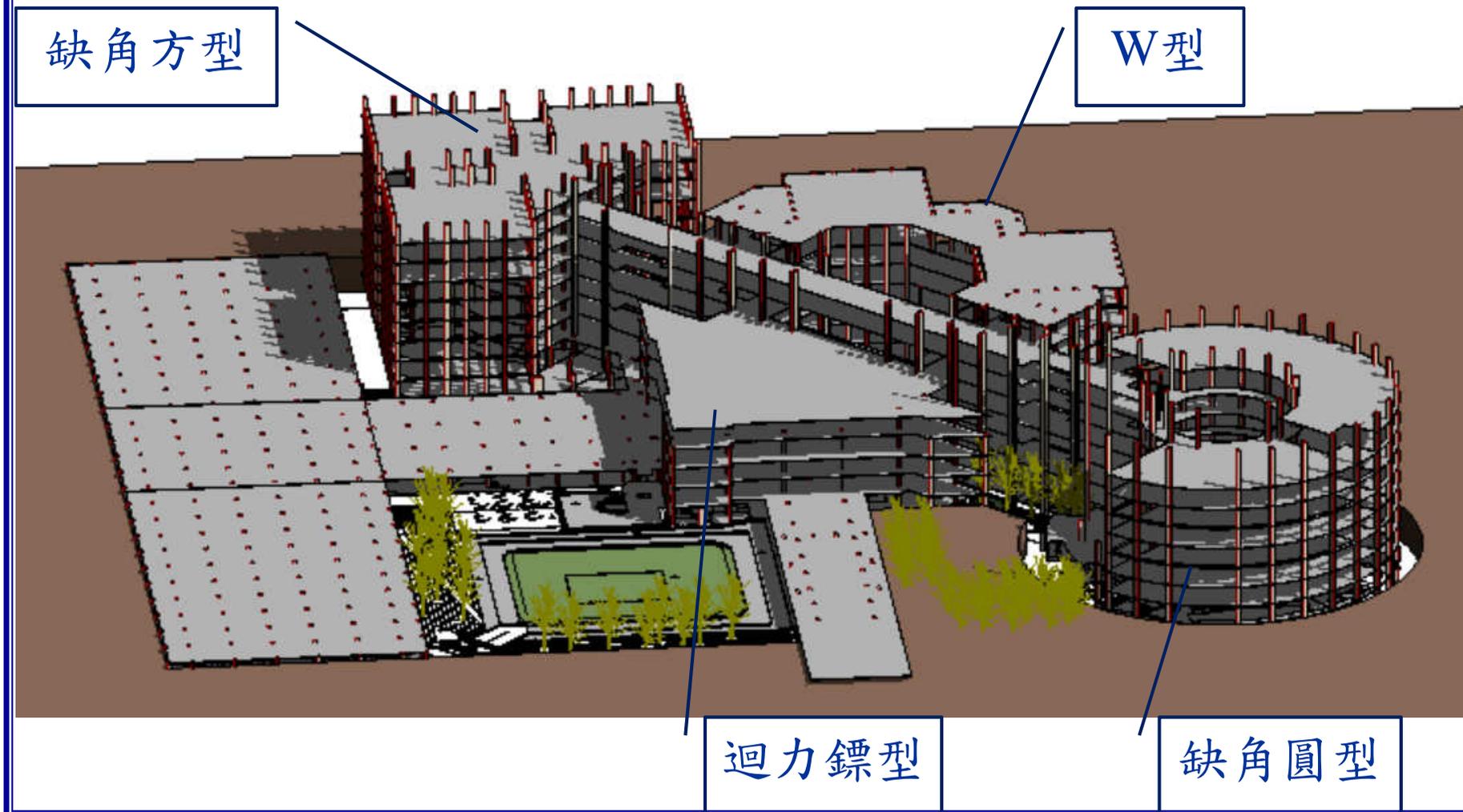


圖 Q005-2-2 建築物主軸方向不垂直時應增加側推方向分析



建築物耐震設計規範與解說

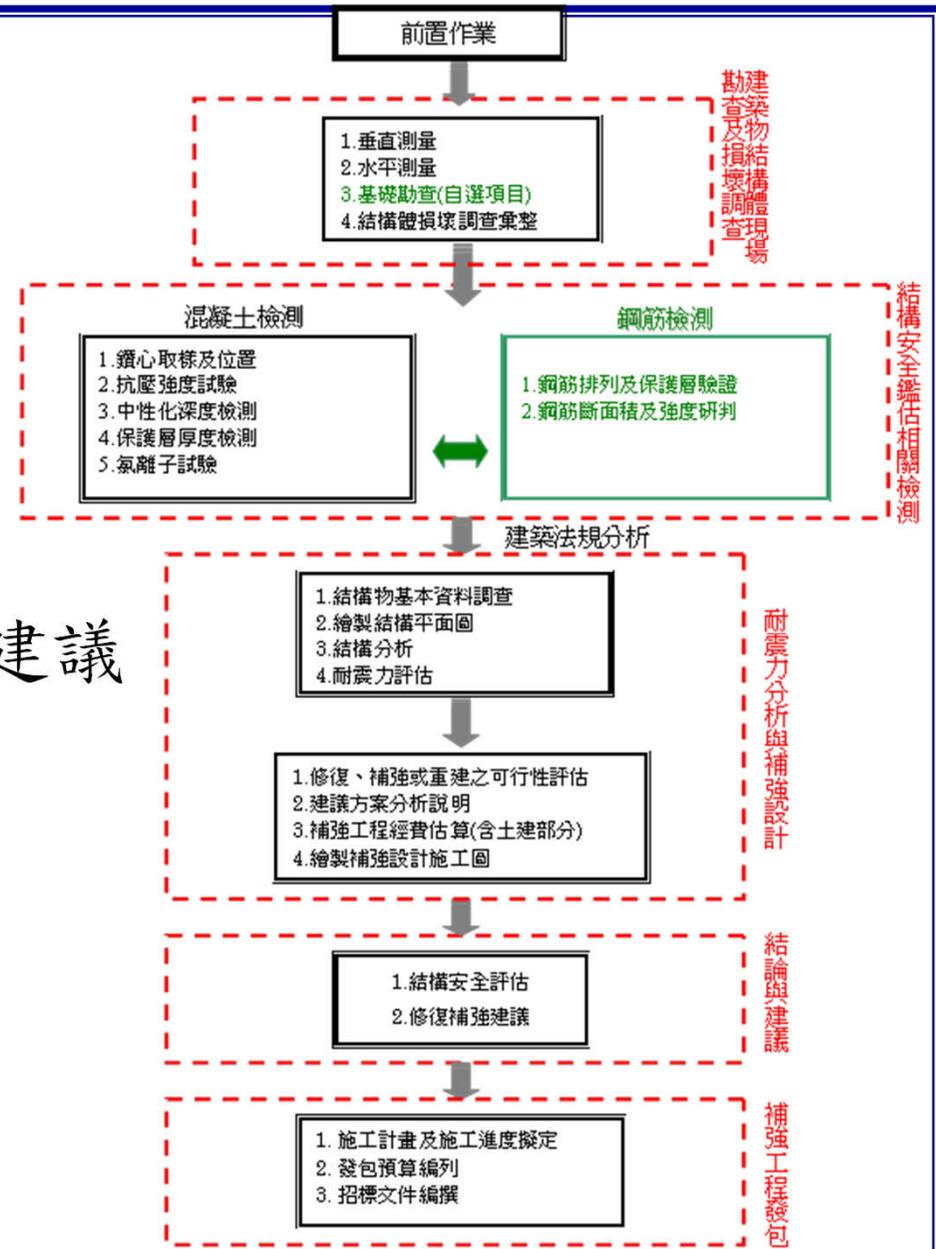
◆ 不規則建築物之實際案例



鋼結構耐震詳細評估項目

◆ 耐震評估項目

- 原始資料蒐集
- 現況調查與比對
- 損壞調查與原因判定
- 材料試驗
- 現況耐震能力評估
- 耐震補強與損壞修復建議
- 經費預估



◆ 原始資料蒐集

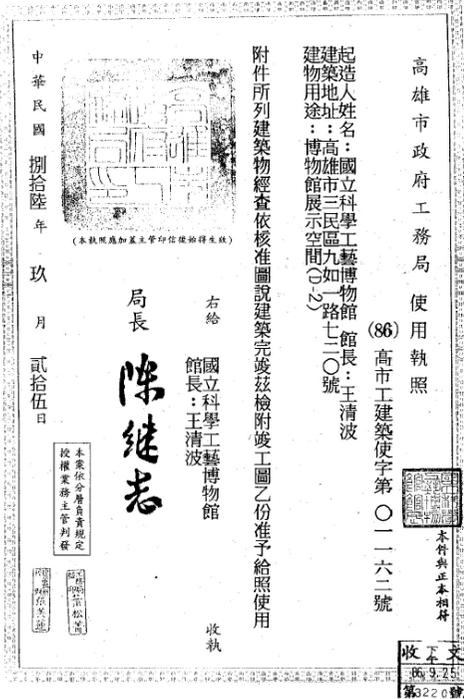
➤ 原始資料蒐集



1. 接取：12、15cm 以上詳細尺寸計附片 結構圖

◆ 原始資料蒐集

➤ 原始資料蒐集

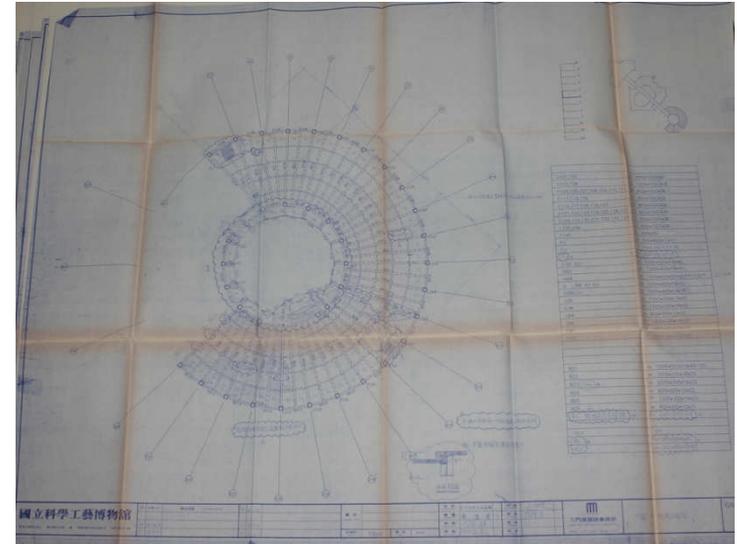


使用執照

工程計算表 CALCULATION SHEET

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110

鑽探報告



原有圖說



原有計算書

◆ 現況調查與比對

➤ 使用用途比對

樓層	原設計使用性質	原設計活載重 (kgf/m ²)	現況使用性質	耐震評估活載重 (kgf/m ²)
RF	屋頂	300	屋頂	300
4	辦公室	400	辦公室	400
3	辦公室 圖書閱覽室	400 600	辦公室 圖書閱覽室	400 600
2	視聽室	500	視聽室	500
1	中庭	600	中庭	600
B1	辦公室	600	辦公室	600
B2	展示區	1250	展示區	1250

◆ 現況調查與比對

➤ 構件尺寸比對



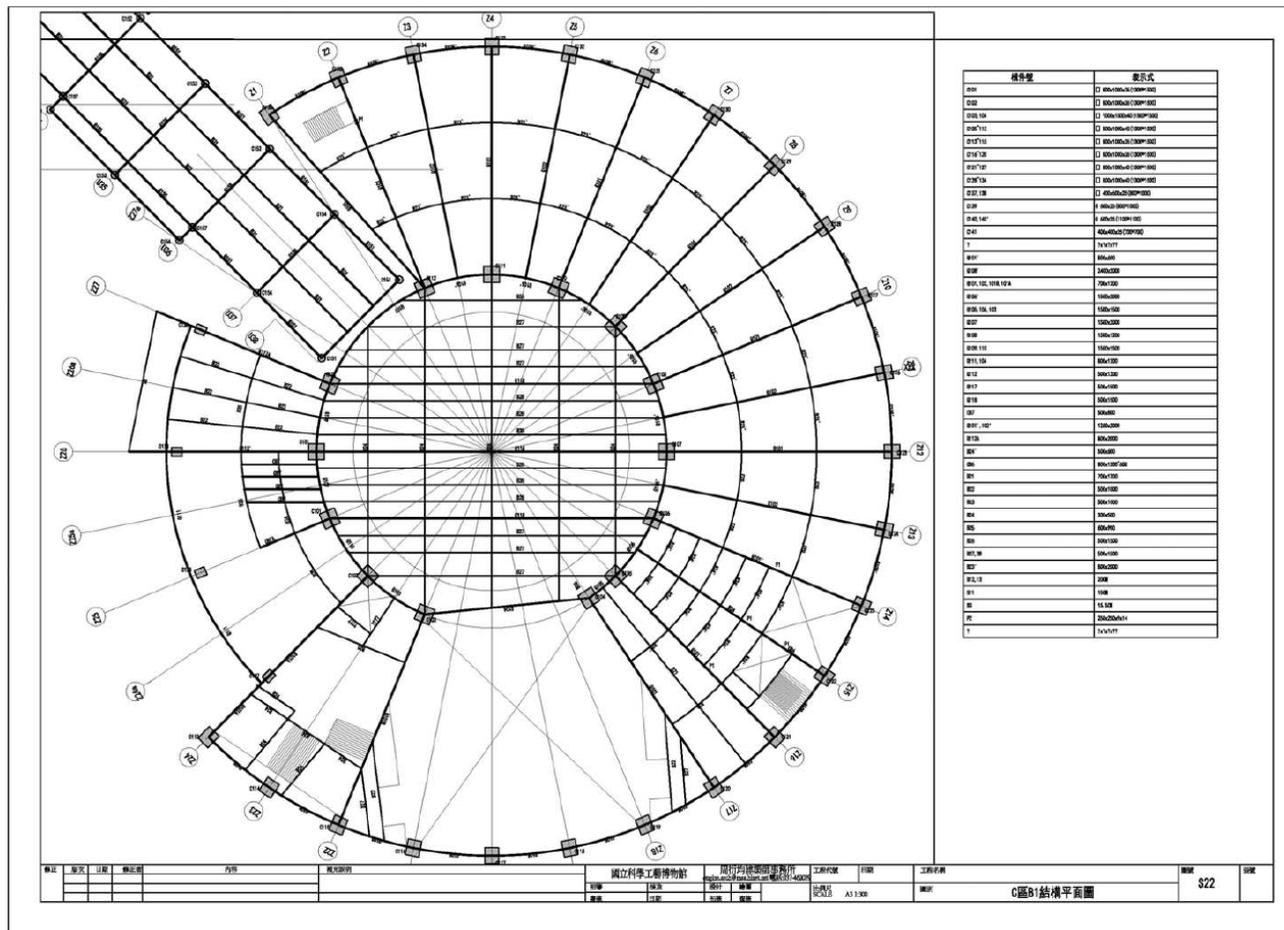
構件尺寸比對



接合型式比對

◆ 現況調查與比對

➤ 竣工圖與現況之比對



◆ 現況調查與比對

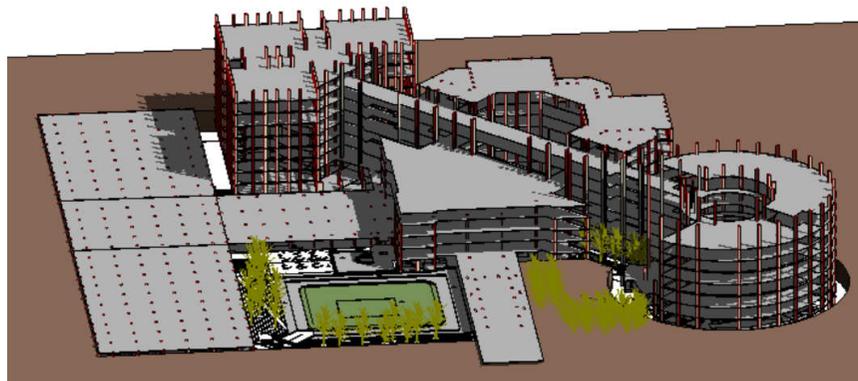
➤ 傾斜量測與伸縮縫調查



傾斜量測



伸縮縫調查



◆ 損壞調查

➤ 差異沉陷、鋼構鏽蝕、桿件變形、漏水



差異沉陷調查



空間桁架變形



鋼構油漆剝落



鋼構油漆剝落

◆ 材料試驗

➤ 混凝土試驗與鋼筋探測

材料試驗：

(a). 混凝土抗壓強度試驗(含回復)：混凝土鑽心試體數量依每一層樓地板面積(A)為基準，採下列公式計算：

$A \leq 600\text{m}^2$ 者，每層樓至少3個鑽心試體。

$A > 600\text{m}^2$ 者，每層樓至少 $N=3+(A-600)/400$ 個(無條件進位) 鑽心試體。

(b). 同一樓層若有分期興建情事，依該樓層各分期興建區域面積(A)決定取樣數量：

$A \leq 300\text{m}^2$ 者，該分期興建區域至少2個鑽心試體。

$300\text{m}^2 < A \leq 600\text{m}^2$ 者，該分期興建區域至少3個鑽心試體。

$A > 600\text{m}^2$ 者，該分期興建區域至少 $N=3+(A-600)/400$ 個(無條件進位) 鑽心試體。

氯離子含量試驗：每一層樓至少一個試體，若該樓層有分期興建，每一分期興建區域之氯離子試體至少一個試體；若試驗結果不合格，該區域須再補做2個試體確認。

中性化試驗：同混凝土鑽心數量。

鋼筋排列探測：每一層樓梁、柱至少各取3處(本案規劃每層樓4梁4柱)

◆ 材料試驗

➤ 銲道檢測 (最大應力處)

檢測方法為 1. 超音波探傷檢測 2. 射線檢測。建議檢測頻率為每層抽測兩處。

(1) 超音波探傷檢測

超音波探傷檢測係採用 A 式掃描脈波反射式儀器、直束探頭、斜束探頭及接觸媒質進行探測。當螢幕出現任何瑕疵顯示時均應先辨別是否為表面波、波式轉換回波、幾何形狀或瑕疵回波等所造成之無關顯示，錯誤顯示或瑕疵顯示。顯示經評估為瑕疵者，不論來自銲材熱影響區均應依據規定予以紀錄及評估。

(2) 射線檢測

射線檢測係採用 gama 射線儀器、底片、像質計及輻射防護設備進行探測。底片判讀完成後應將判讀結果紀錄，其項目包含裝備、能量、強度、射源尺寸、射源至底片距離、曝光時間、照相厚度、底片型別、底片尺寸、像質計種類編號、增感屏種類、日期、照射方式、判讀結果、判讀標準、檢測員姓名。

中華非破壞檢驗有限公司
超音波探傷檢驗報告

Page: 2 of 3

報告編號: UT010210001	檢驗日期: 101.02.29/101.03.08
顧客名稱: 國立科學工藝博物館	Date of Inspection: 101.02.29/101.03.08
工程名稱: 國立科學工藝博物館北館安全評估	檢驗規範: AWS D1.1
Project Name: 國立科學工藝博物館北館安全評估	Team Spec: AWS D1.1
工程編號: N/A	接受基準: AWS D1.1 靜態鋼結構
Project No.: N/A	Acceptance Criterion: AWS D1.1 靜態鋼結構
檢驗地點: 臺中市	作業程序: CH-MS-12
Place of Inspection: 臺中市	Procedure No.: CH-MS-12

檢驗設備 (Inspection Equipment)			
超音波探傷儀 (Ultrasonic equipment)		換能器 (Transducer)	
廠牌: PANAMETRICS	廠牌: K GK	直束換能器: K GK	斜束換能器: K GK
型號: EPOCH-XT	型號: <input checked="" type="checkbox"/> 單晶 Single Crystal <input type="checkbox"/> 雙晶 Double Crystal	直束換能器: <input checked="" type="checkbox"/> 單晶 Single Crystal <input type="checkbox"/> 雙晶 Double Crystal	斜束換能器: <input checked="" type="checkbox"/> 單晶 Single Crystal <input type="checkbox"/> 雙晶 Double Crystal
製造號碼: 50042958	製造號碼: 57745-17203	3343	
Serial No.: 50042958	Serial No.: 57745-17203	3343	
評鑑日期: 100.12.15	頻率/尺寸: 2MHz / 24	2MHz * 20 * 20	
Calibration Date: 100.12.15	MHz / Size: 2MHz / 24	2MHz * 20 * 20	
標準塊: A1	入射角度: 0°	70°	
Reference Block: A1	Angle of Incidence: 0°	70°	

檢驗條件 (Inspection Conditions)			
掃描靈敏度: 46dB+14dB	Exam. Mid.	直接接觸法: <input checked="" type="checkbox"/> 水浸法: <input type="checkbox"/>	
接觸媒質: <input checked="" type="checkbox"/> CMC <input type="checkbox"/> Water <input type="checkbox"/> Oil	掃描面: <input checked="" type="checkbox"/> A面掃描 <input type="checkbox"/> B面掃描	Face of Scanning: <input type="checkbox"/> A面掃描 <input type="checkbox"/> B面掃描	
檢測時機: <input type="checkbox"/> 軌道後 <input type="checkbox"/> 鍛造後 <input checked="" type="checkbox"/> 銲接後 <input type="checkbox"/> 熱處理前 <input type="checkbox"/> 熱處理後 <input type="checkbox"/> 維修檢測 <input type="checkbox"/> 其他			
表面狀況: <input type="checkbox"/> 軌道面 <input type="checkbox"/> 鍛造面 <input checked="" type="checkbox"/> 銲接面 <input type="checkbox"/> 鑄造面 <input type="checkbox"/> 加工面 <input type="checkbox"/> 研磨面			

檢測位置圖:

瑕疵數據 (Flaw data):

L: 瑕疵長度 (Flaw Len) X: 瑕疵在垂直於基準線方向上之位置 (Flaw Site)

D: 瑕疵深度 (Flaw Dep) Y: 平行於基準線方向上之位置, 端部至瑕疵起點之距離 (Flaw start)

審核 (SIGNEE) 檢驗者: (EXAMINER)

中華非破壞檢驗有限公司 (CHONG HWA NON DESTRUCTIVE INSPECTION CO., LTD) 總機 4.4 示



◆ 材料試驗

➤ 超音波檢測

鋼材腐蝕檢測係採用檢測儀、換能器、接觸媒質。顯示數值或波形穩定下所示之數值既為量測值。數值的顯示或波形的顯示為閃爍或變異很大之不穩定或無法獲得穩定時，應查驗是否為量測點表面過度粗糙、接觸媒質過厚、油漆或污物所引起。應判其原因，並予以處理後再量測。



鋼結構耐震詳細評估方法

◆ 耐震能力標準設定

➤ 強度判斷標準(PGA)

標的物耐震能力需求為對應475年之崩塌地表加速度，其耐震需求應至少為 $A_T=0.40 \times S_{DS} \times I$

➤ 位移判斷標準(層間變位角)

- 參考SEAOC VISION 2000
- 鋼結構容許應力設計法規範與解說
- 內政部建築研究所”鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬”
- 梁柱接頭測試報告

◆ 耐震能力標準設定

➤ 位移判斷標準(層間變位角)

- 參考SEAOC VISION 2000

	一般建築
	重要建築
	安全要緊建築

	無害 ($\theta < 0.2\%$)	小害 ($\theta < 0.5\%$)	中害 ($\theta < 1.5\%$)	大害 ($\theta < 2.5\%$)
小震 43 年				
中震 72 年				
大震 475 年				
烈震 970 年				

◆ 耐震能力標準設定

➤ 位移判斷標準(層間變位角)

● 鋼結構容許應力法規範及解說

13.6.1.3 塑性轉角之要求

a. 梁柱接頭所需塑性轉角(θ_p)應以下述三規定之一決定之：

(1) 0.03 弧度。

(2) 非線性動力分析所得之最大塑性轉角加上 0.005 弧度。

(3) $\theta_p = 1.1(R - 1.0)\theta_E$

b. 梁柱接頭所能提供之塑性轉角應以下列方式之一決定之：

(1) 反復載重試驗，最大塑性轉角以彎矩試驗強度之 90% 值所對應之最大轉角為基準。

(2) 若未進行結構試驗，則設計者應提供一可信之證明，說明其設計之柱、梁構材、側向支撐條件及接頭細部與過去所進行過之破壞試驗不僅在設計方式上相同，且其採用之材料、銲接方法、尺寸、銲接孔形式、施工方法、施工流程皆與過去所做的結構試驗情況類似，而其最大梁翼板厚不大於 1.25 倍過去所試驗之梁翼板厚，且其梁翼板之塑性模數與全斷面塑性模數之比值不小於過去所試驗之梁。

(3) 不符前述(2)之板厚或塑性模數比值要求但梁翼板不超過 45mm 者，設計者應提供可信之分析或計算，並經公正之第三者審查通過方得使用。

◆ 耐震能力標準設定

➤ 位移判斷標準(層間變位角)

- 內政部建築研究所”鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬

因 1994 年洛杉磯北嶺地震，造成多處梁柱翼板全滲透焊接處撕裂造成接頭處損壞。內政部建築研究所於民國92年委託廖文義、羅俊雄教授進行”鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬”。參考文中內容提到，梁柱翼板採用全滲透焊接接合方式，於北嶺地震及實驗得知，其塑性極限轉角為0.94%。因此，接頭處之轉角最大為1.44%。考慮彈性轉角為0.5%，即建議梁之韌性容量為 $R=3$ ，因此，極限轉角應為1.5%。



◆ 耐震能力標準設定

➤ 強度判斷標準(PGA)

標的物耐震能力需求為對應475年之崩塌地表加速度，其耐震需求應至少為 $A_T=0.40 \times S_{DS} \times I$

➤ 位移判斷標準(層間變位角)

- 參考SEAOC VISION 2000
- 鋼結構容許應力設計法規範與解說
- 內政部建築研究所”鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬”
- 梁柱接頭測試報告

◆ 耐震能力評估使用之軟體介紹

➤ SAP2000

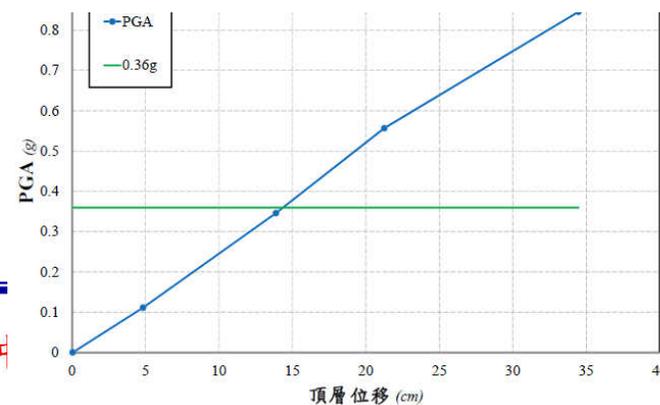
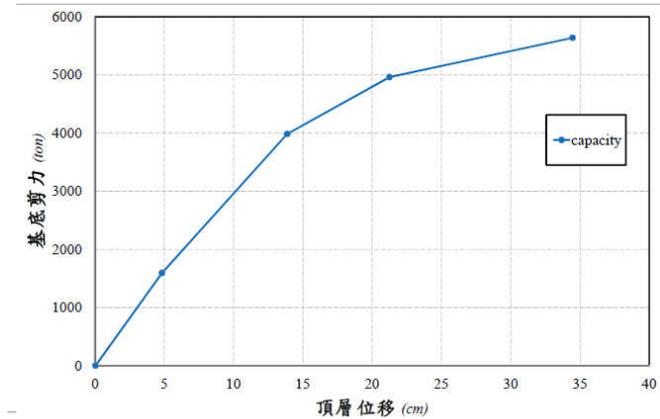
耐震評估軟體，採用由CSI (Computer & Structure Inc.) 所開發之結構分析與設計程式SAP2000。藉由程式進行非線性靜力側推分析及非線性動力分析，作為耐震評估判斷之依據。SAP2000 V15.0 內建FEMA356鋼結構塑鉸，可採用該功能進行耐震評估分析。



◆ 耐震能力評估使用之軟體介紹

➤ SERCB (PGA程式)

依據內政部建築研究所「建築物耐震評估法之修訂及視窗化研究」研究報告，結構耐震容量之分析須先判別各別構件之破壞模式並設定對應之塑性鉸性質，再藉由非線性靜力分析法(側推分析法)求取整體結構之耐震容量曲線。由耐震容量曲線反映整體結構之耐震特性。





◆ 梁柱塑鉸定義原則 (FEMA356)

➤ 梁塑性角

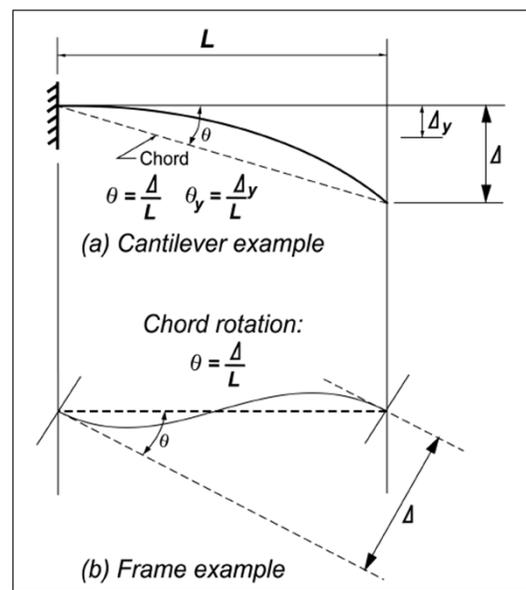


Figure 5-2 Definition of Chord Rotation

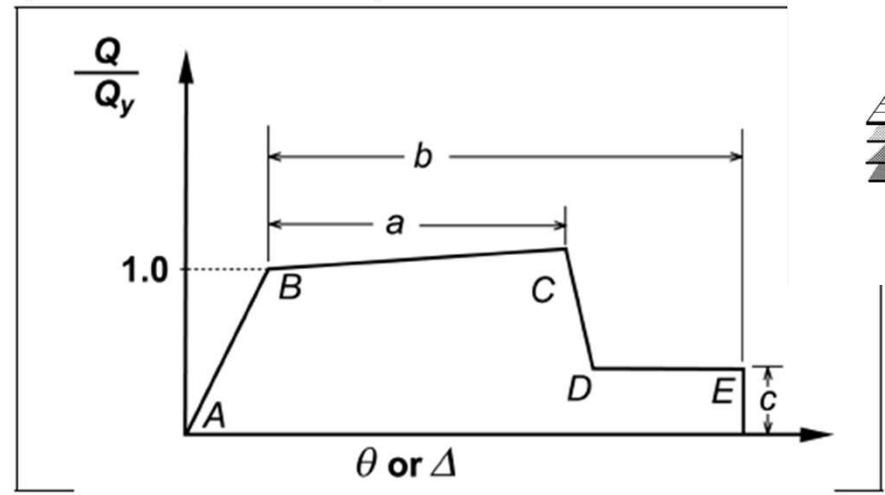


Figure 5-1 Generalized Force-Deformation Relation for Steel Elements or Components

Table 5-6 Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components

Component/Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria				
	Plastic Rotation Angle, Radians	Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, Radians					
			IO	Primary		Secondary		
a	b	c		LS	CP	LS	CP	
Beams—flexure								
a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$	9θ _y	11θ _y	0.6	10θ _y	6θ _y	8θ _y	9θ _y	11θ _y
b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$	4θ _y	6θ _y	0.2	0.25θ _y	2θ _y	3θ _y	3θ _y	4θ _y

結實斷面

Beams: $Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye}$

Beams: $\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_b}{6EI_b}$

◆ 梁柱塑鉸輸入方式

Frame Hinge Property Data for BEAM(M3) - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.6	-11
D-	-0.6	-9
C-	-1.25	-9
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.25	9
D	0.6	9
E	0.6	11

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Use Yield Moment	Moment SF <input type="text"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Use Yield Rotation (Steel Objects Only)	Rotation SF <input type="text"/>	<input type="text"/>

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

	Positive	Negative
<input type="checkbox"/> Immediate Occupancy	1. <input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Life Safety	6. <input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Collapse Prevention	8. <input type="text"/>	<input type="text"/>

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

鋼梁塑鉸定義(M3塑鉸)



◆ 梁柱塑鉸定義原則 (FEMA356)

➤ 柱塑性角

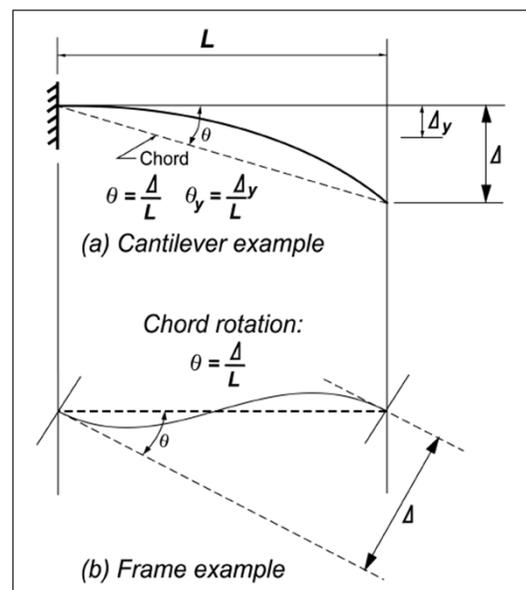


Figure 5-2 Definition of Chord Rotation

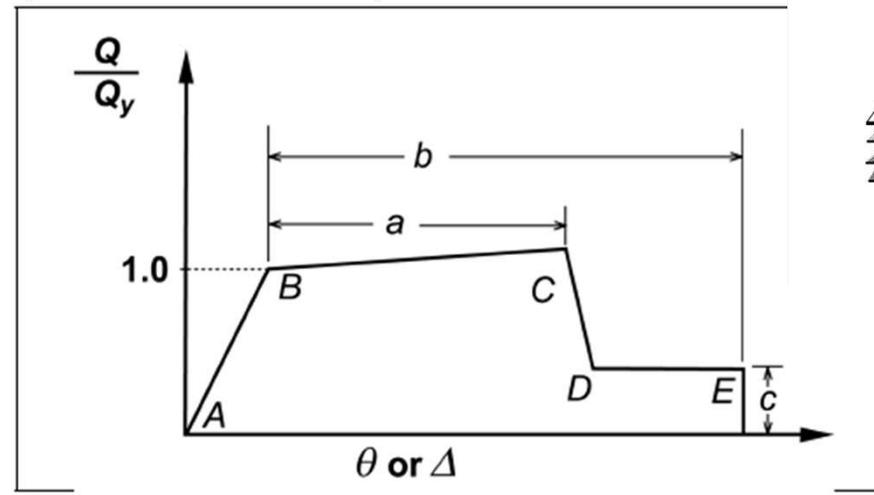


Figure 5-1 Generalized Force-Deformation Relation for Steel Elements or Components

Table 5-6 Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components

Component/Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria				
	Plastic Rotation Angle, Radians	Residual Strength Ratio	c	Plastic Rotation Angle, Radians				
				IO	Primary		Secondary	
a	b			LS	CP	LS	CP	
a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$	9θ _y	11θ _y	0.6	1θ _y	6θ _y	8θ _y	9θ _y	11θ _y
b. d $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{460}{\sqrt{F_{ye}}}$	4θ _y	6θ _y	0.2	0.25θ _y	2θ _y	3θ _y	3θ _y	4θ _y
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lowest resulting value shall be used							

結實斷面

Columns:

$$Q_{CE} = M_{CE} = 1.18ZF_{ye}\left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) \leq ZF_{ye}$$

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_c}{6EI_c}\left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right)$$

◆ 梁柱塑鉸輸入方式

Moment Rotation Data for COLUMN - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve
 Axial Force: 0. Angle: 0. Curve #1

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.25	9.
D	0.6	9.
E	0.6	11.

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

- Immediate Occupancy: 1.
- Life Safety: 6.
- Collapse Prevention: 8.

Moment Rotation Information

Symmetry Condition: Circular

Number of Axial Force Values: 1

Number of Angles: 1

Total Number of Curves: 1

Angle Is Moment About

- 0 degrees = About Positive M2 Axis
- 90 degrees = About Positive M3 Axis
- 180 degrees = About Negative M2 Axis
- 270 degrees = About Negative M3 Axis

鋼柱塑鉸定義(P-M2-M3塑鉸)

Define Materials

Materials list: 3000Psi, 4000Psi, A36, A36-10, A36-1128, A36-1131, A36-1132, A36-1146, A36-1147, **A36-1173**, A36-1191, A36-1192, A36-1193, A36-1194, A36-1195

Click to: Add New Material Quick..., Add New Material..., Add Copy of Material..., **Modify/Show Material...**, Delete Material

Show Advanced Properties

OK, Cancel

Material Properties Data

General Data

Material Name and Display Color: A36-1173

Material Type: Steel

Material Notes

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.849E-03

Mass per Unit Volume: 8.004E-06

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity: 2038901.9

Poisson's Ratio, nu: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, alpha: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 784193.

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 2531.0507

Minimum Tensile Stress, Ft: 4077.8038

Effective Yield Stress, Fye: **2311.4205**

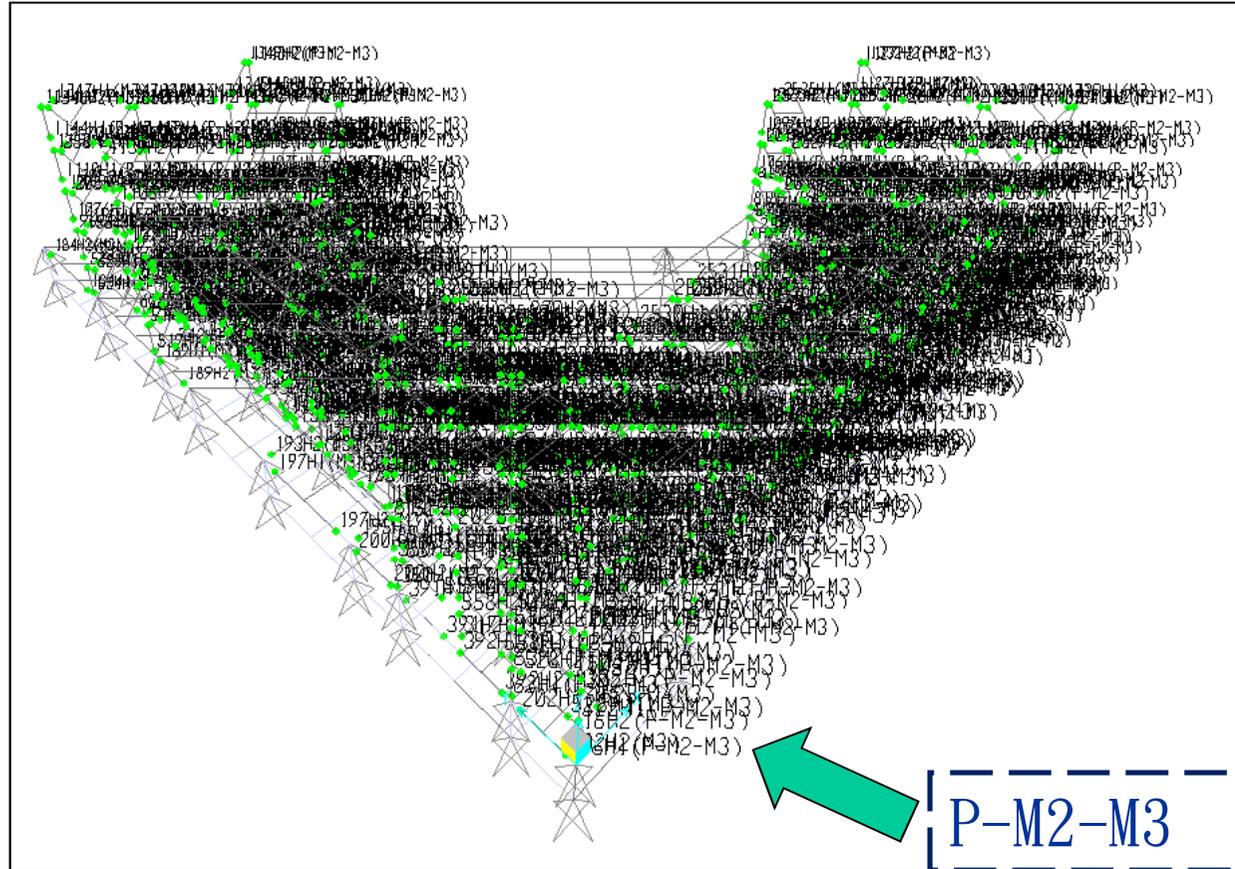
Effective Tensile Stress, Fte: 4077.8038

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_c}{6EI_c} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right)$$



◆ 梁柱塑鉸定義原則 (FEMA356)

➤ 塑性角設定完成

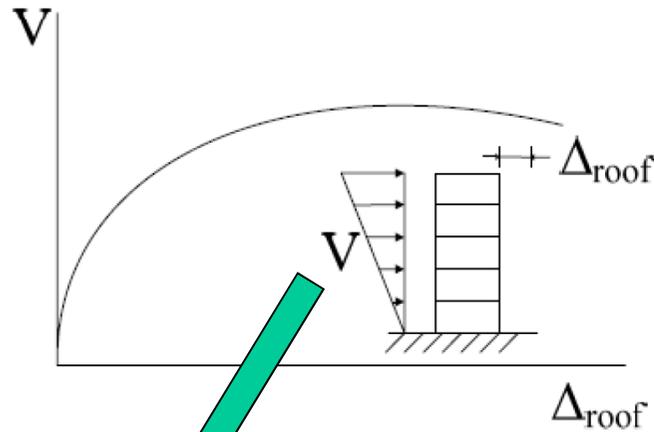


A區塑鉸分布-3D View



◆ 耐震能力評估方法

➤ 靜力側推分析法(豎向分配力輸入方式)



$$V=0.1W$$

Or

$$V=S_{DS} * I / 1.4\alpha_y * F_u W$$

User Seismic Load Pattern

Edit

User Seismic Loads on Diaphragms

Diaphragm	Diaphragm Z	FX	FY	MZ	X	Y
DIAPH1_1800	1800	1007301.1	0.	0.		
DIAPH1_1350	1350	498669.8	0.	0.		
DIAPH1_900	900	328725.4	0.	0.		
DIAPH1_450	450	164356.73	0.	0.		
DIAPH1_0	0.	0.	0.	0.		
DIAPH1_-450	-450	0.	0.	0.		

User Specified Application Point
 Apply at Center of Mass: Additional Ecc. Ratio (all Diaph.)

OK Cancel

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHY Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case Nonlinear_Lo2
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Patterr	EQY	1.
Load Pattern	EQY	1.

Add Modify Delete

Other Parameters:

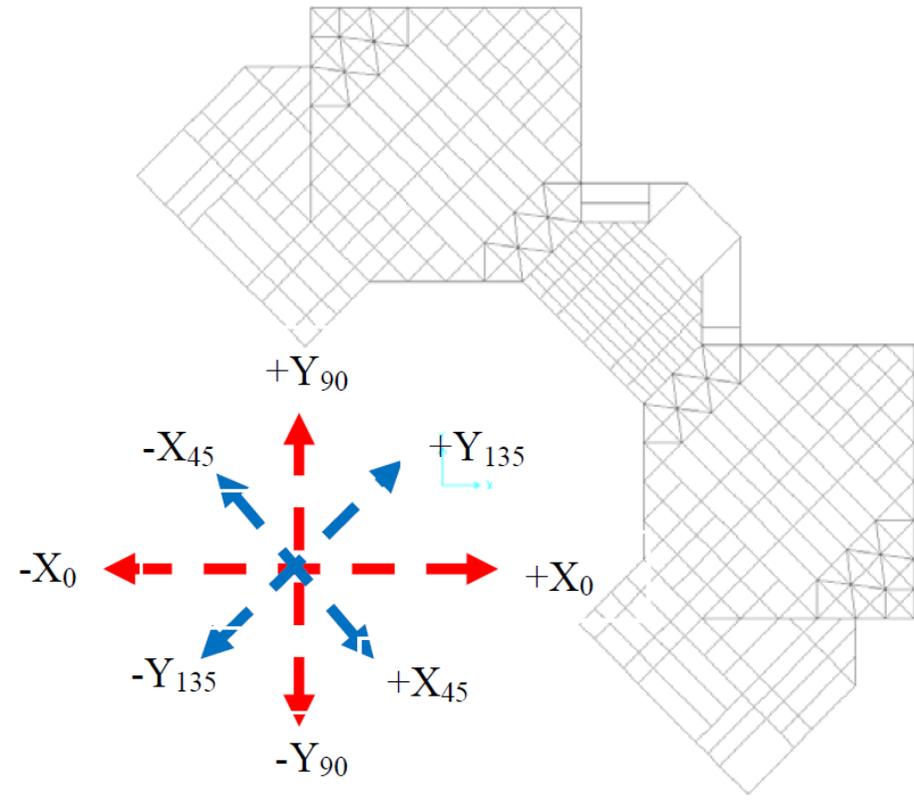
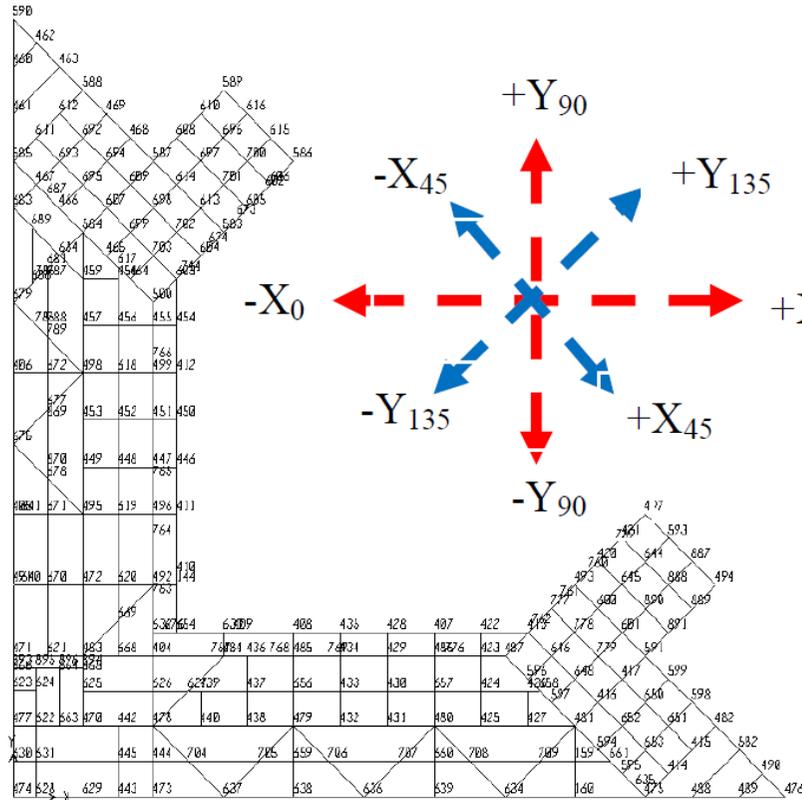
Load Application: Displ Control Modify/Show...
 Results Saved: Multiple States Modify/Show...
 Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel



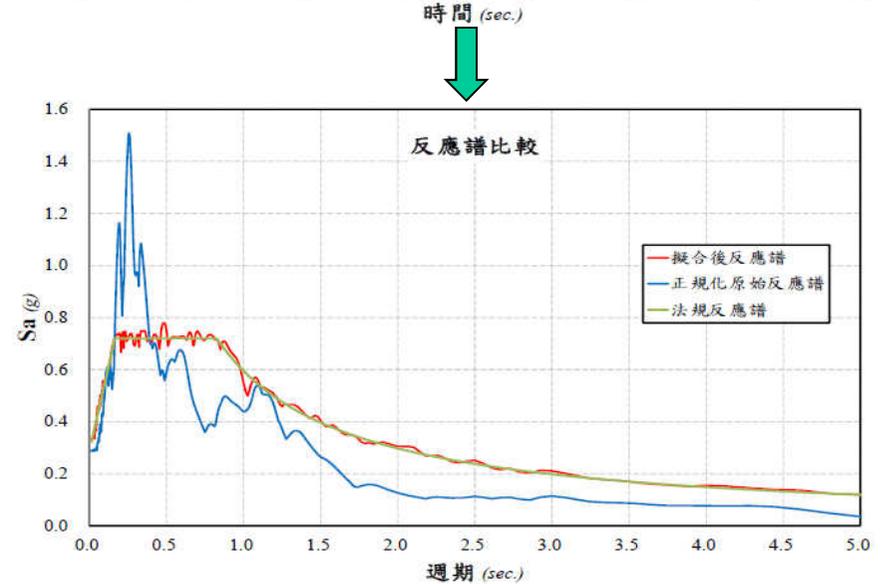
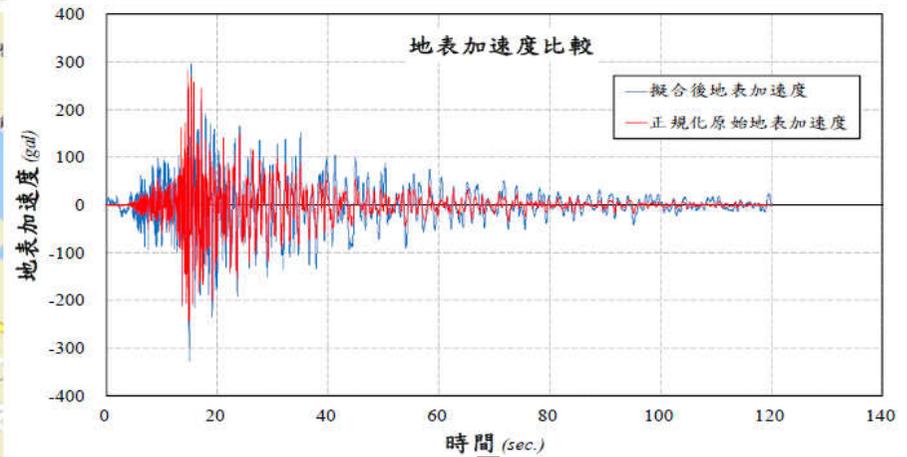
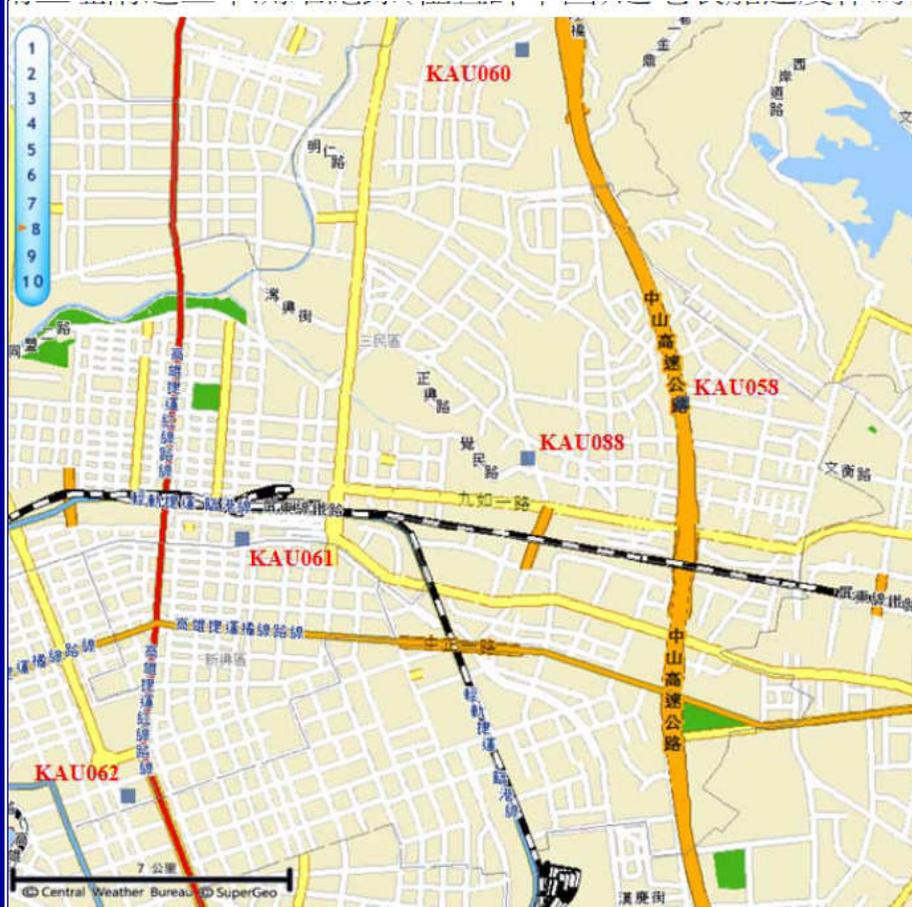
◆ 耐震能力評估方法

➤ 靜力側推分析法(側力方向)



◆ 耐震能力評估方法

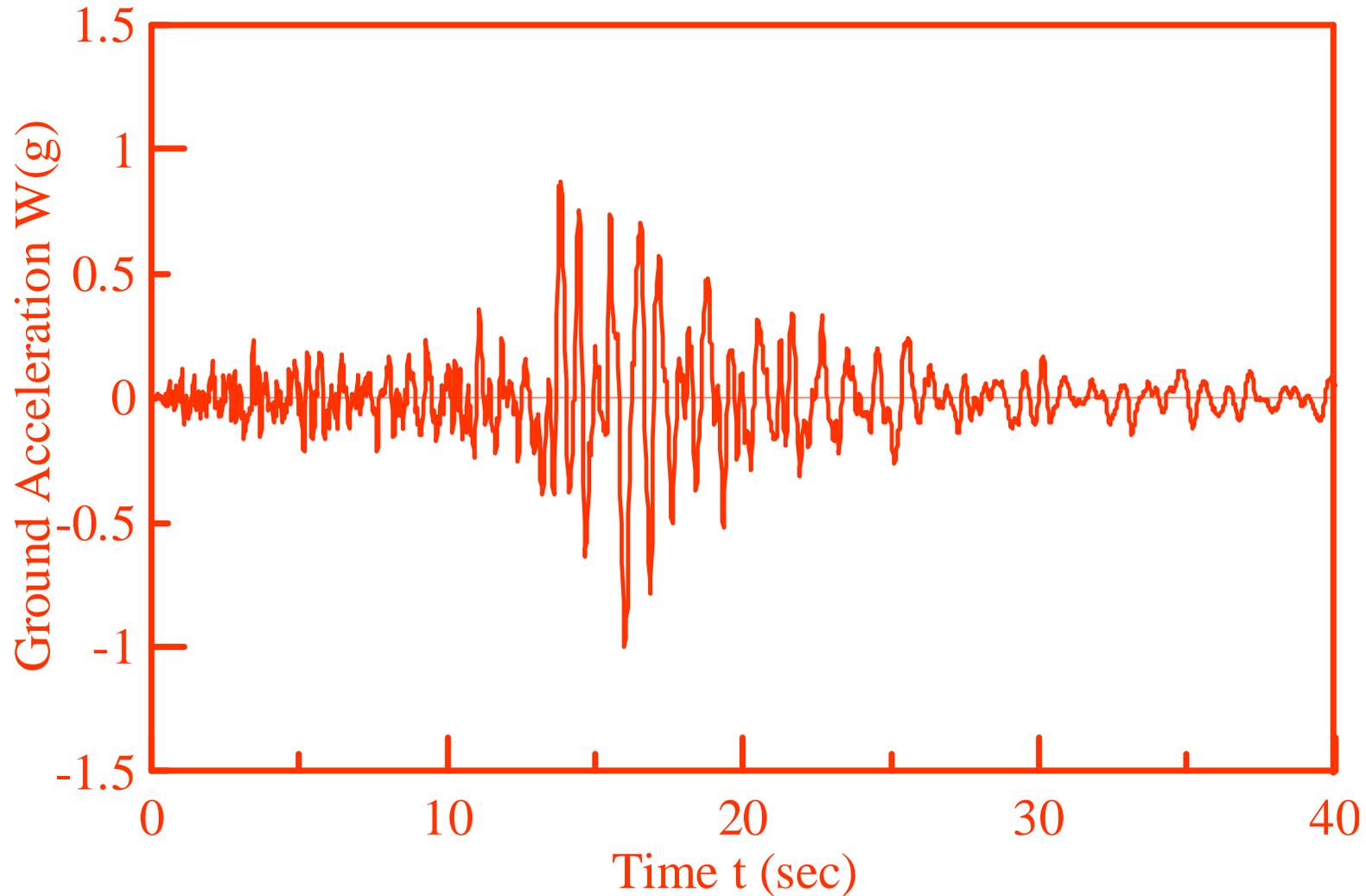
➤ 非線性歷時分析法 (工址附近三筆人造地震紀錄)



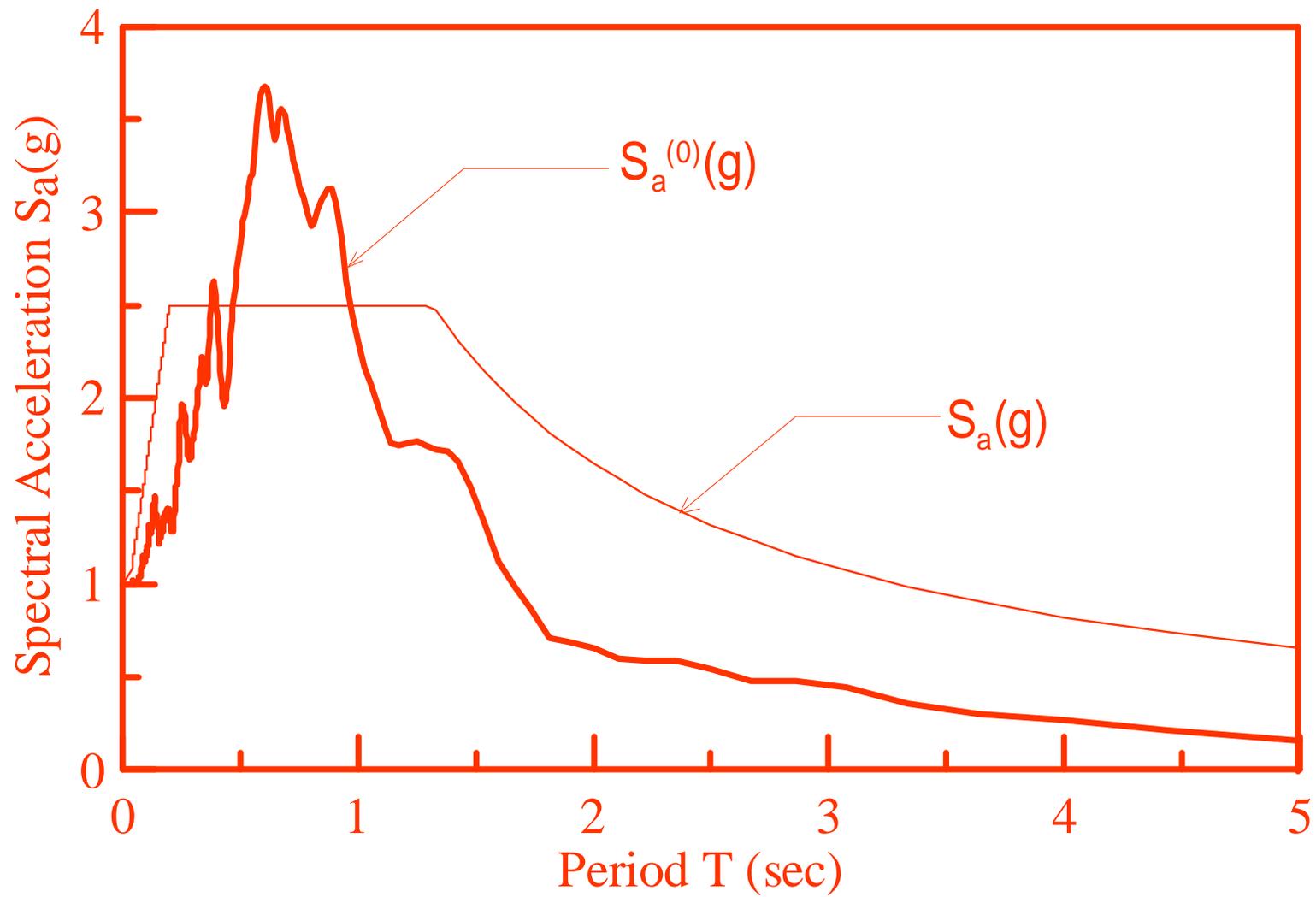
► 時間域地表加速度與時間關係

$\Delta t = 0.02s$

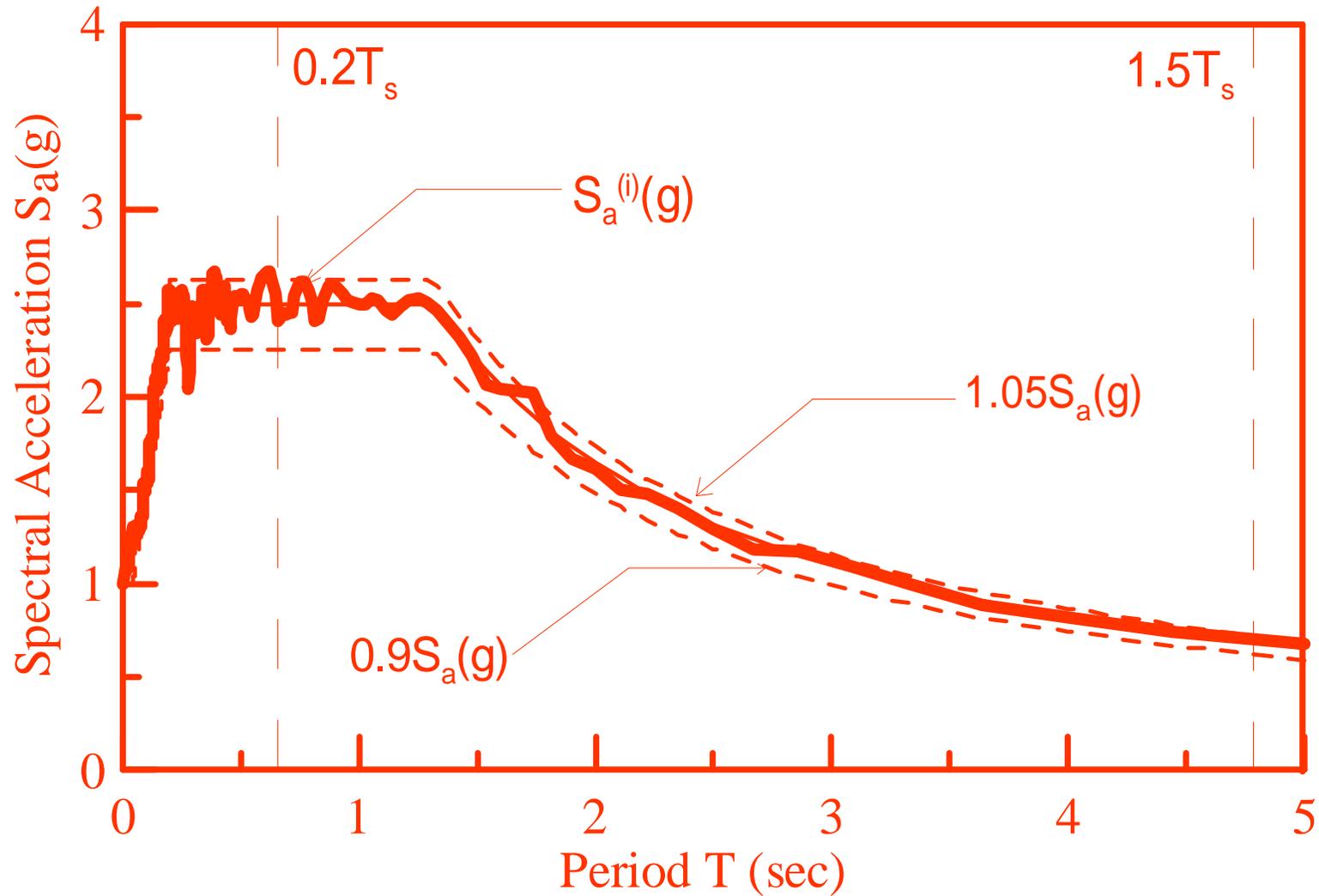
$N = 2000$



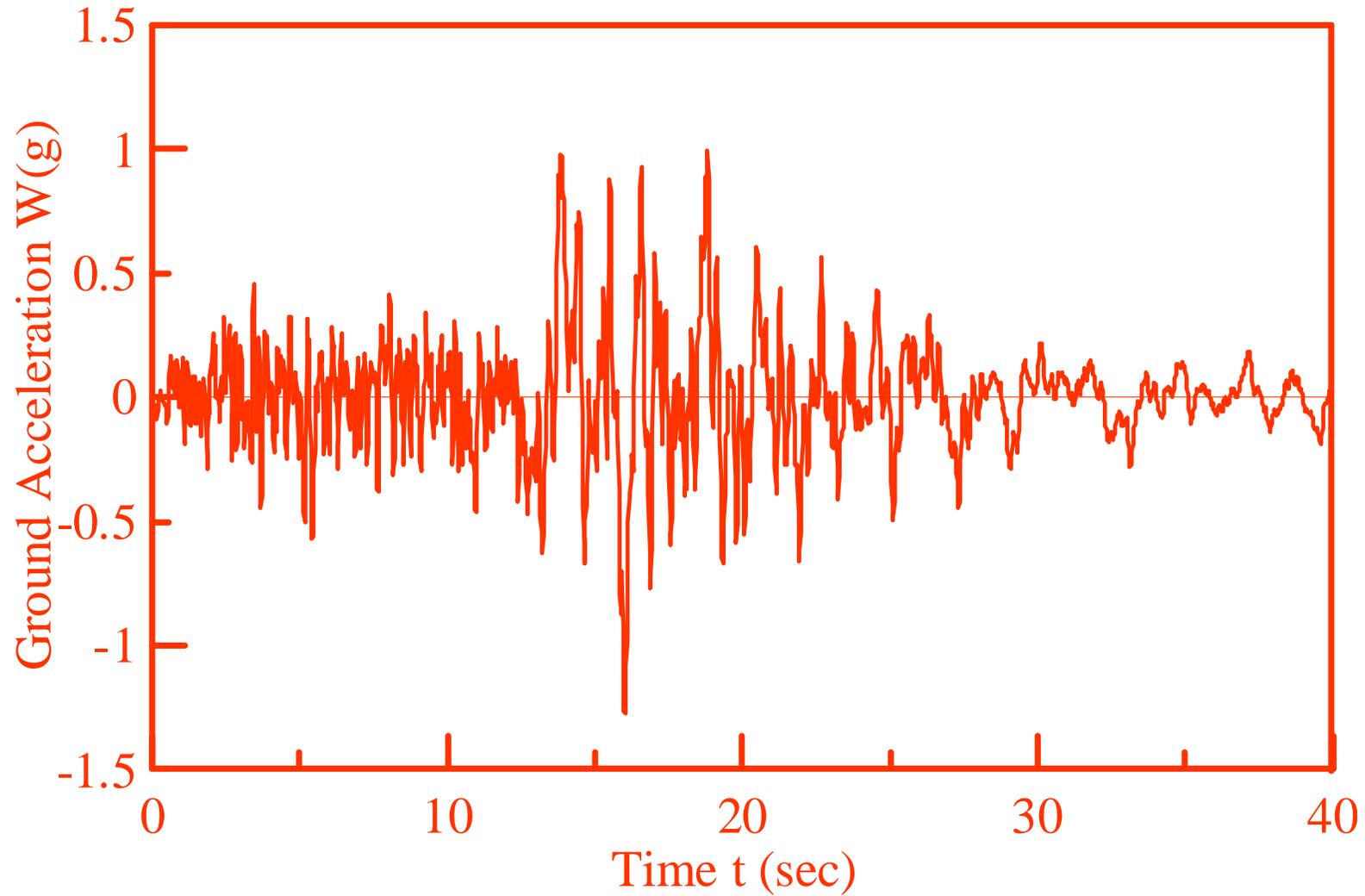
➤ 頻率域加速度反應譜與週期關係



- 保留原有頻率內涵
- 修正加速度反應譜大小



▶ 時間域人工地震



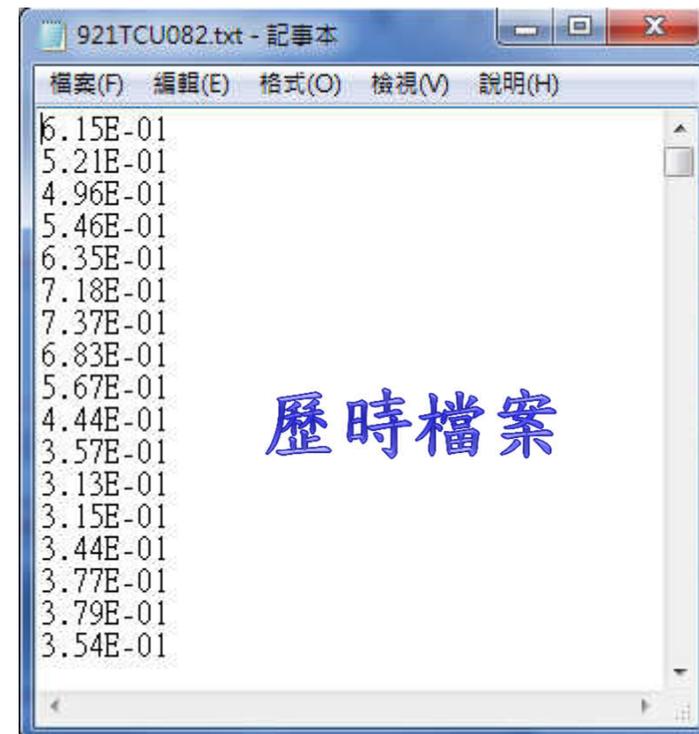
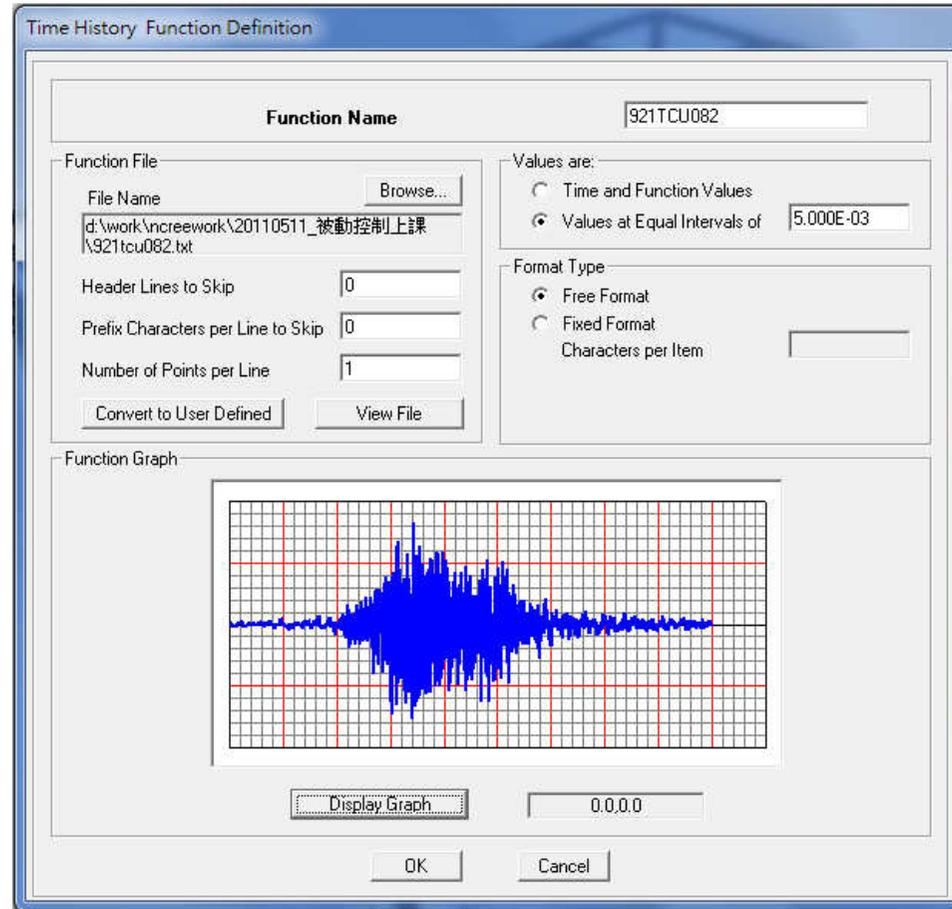
◆ 耐震能力評估方法

➤ 非線性歷時分析法 (定義地震歷時波)

The image shows a screenshot of the SAP2002 software interface. The 'Define' menu is open, and the 'Time History...' option is highlighted. A red box labeled '2.' is around the 'Functions' sub-menu, and another red box labeled '3.' is around the 'Time History...' option. A blue arrow points from the 'Time History...' option to the 'Define Time History Functions' dialog box. In the dialog box, the 'Function from File' option is selected in the 'Choose Function Type to Add' dropdown, circled in red with a label '4.'. The 'Add New Function...' button is also circled in red with a label '5.'. The dialog box lists 'RAMPTH' and 'UNIFTH' as available functions.

◆ 耐震能力評估方法

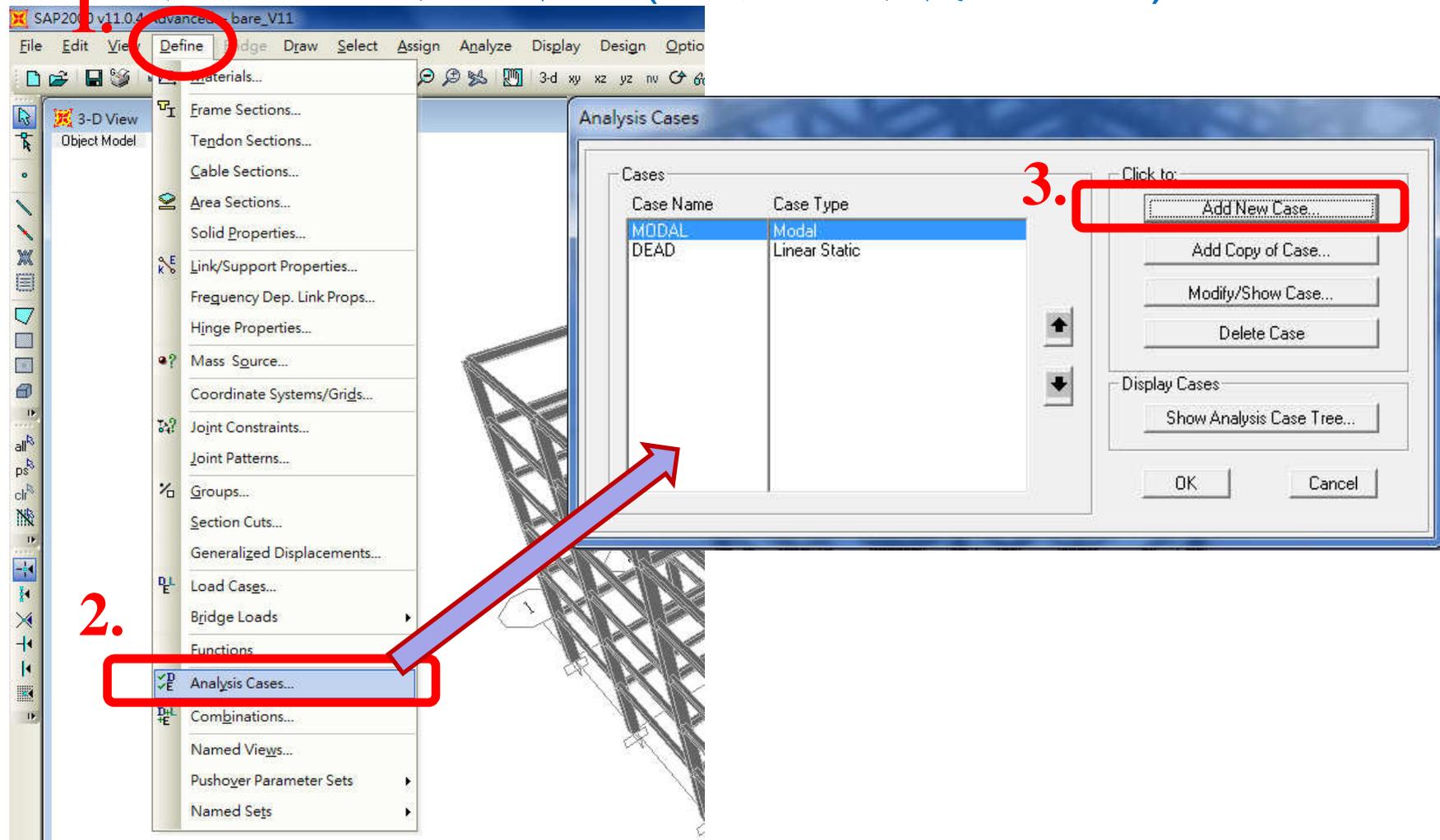
➤ 非線性歷時分析法 (定義地震歷時波)



注意單位!!

◆ 耐震能力評估方法

➤ 非線性歷時分析法 (地震歷時載重設定)



◆ 耐震能力評估方法

➤ 非線性歷時分析法 (地震歷時載重設定)

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: KAU058_X

Load Case Type: Time History

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case DL+0.5LL

Modal Load Case:
Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	KAU058	353.16
Accel	U1	KAU058	353.16

Time Step Data:
Number of Output Time Steps: 6000
Output Time Step Size: 0.02

Time History Motion Type:
 Transient
 Periodic

Other Parameters:
Damping: Proportional Damping
Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor
Nonlinear Parameters: Default

非線性歷時
直接積分法

目標加速度 A_T



◆ 耐震能力評估方法

➤ 非線性歷時分析法 (地震歷時載重設定)

固有阻尼比設定：

Damping Coefficients			Mass Proportional Coefficient	Stiffness Proportional Coefficient
<input type="radio"/>	Direct Specification			
<input checked="" type="radio"/>	Specify Damping by Period		0.3867	4.466E-04
<input type="radio"/>	Specify Damping by Frequency			
	Period	Frequency	Damping	
First	0.57		0.02	
Second	0.08		0.02	

古典阻尼矩陣：

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

參數運算上假設：

α 值與週期成線性正比關係

β 值與頻率成線性正比關係

參數輸入：

Damping項輸入阻尼比。

模態之選定為分析方向之第一及第二模態，而非整體之模態

◆ 耐震能力評估方法

➤ 模態分析法與直接積分法的差別

SAP2000之非線性類型：

幾何非線性 直接積分法 + 考慮P- Δ 效應

材料非線性 直接積分法

邊界非線性
模態積分法

連接非線性



◆ 耐震評估結果解讀

➤ 靜力分析

- 最大基底剪力作為判斷準則--- A_{p1}
- 最大層間變位角作為判斷準則--- A_{p2}
- $A_p = \text{Min}(A_{p1}, A_{p2})$

➤ 動力分析

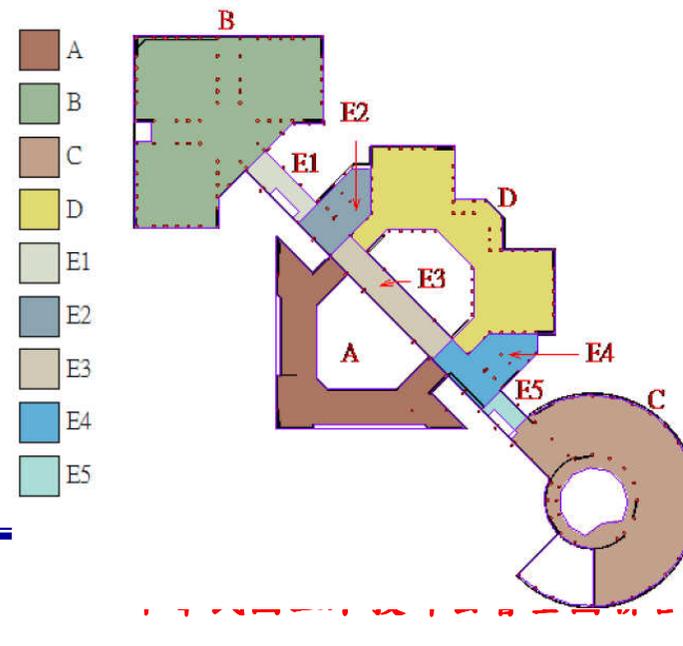
- 目標地表加速度下(A_T)之桿件損壞程度
- 目標地表加速度下(A_T)之層間位移檢討



實際案例執行成果

◆ 國立科學工藝博物館

➤ 建築物位置(於高雄市三民區九如一路720 號)



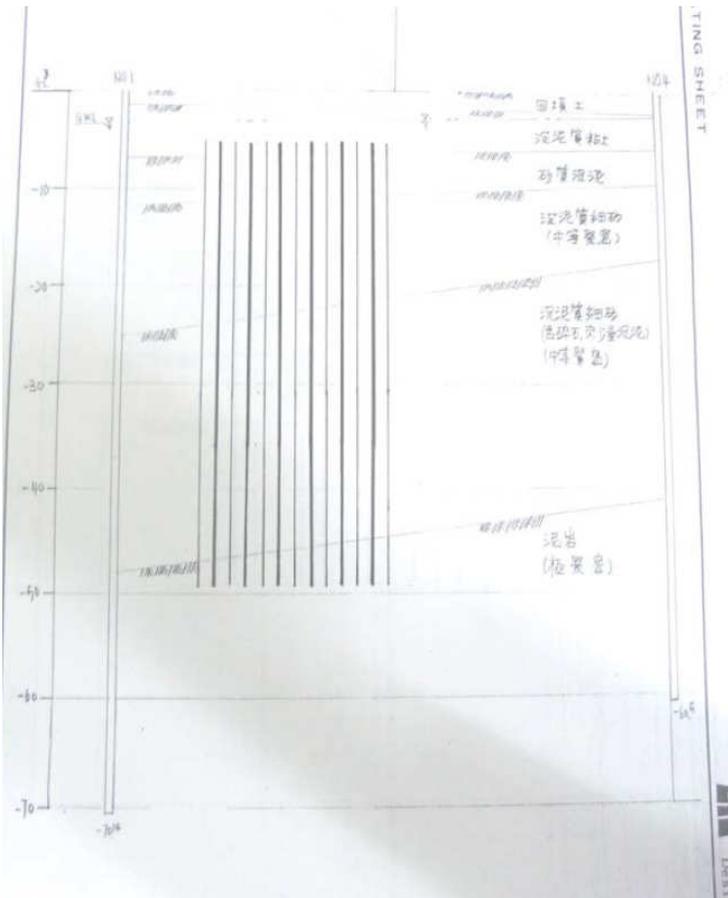
◆ 國立科學工藝博物館

➤ 建築物基本資料

項次	項目	說明
1	構造形式	鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)
2	樓層數	地下 4 層 地上 8 層
3	使用情況	行政、展示、服務空間
4	樓高	每層高 4.5 米,建築高度 36.89M
5	平面型狀	不規則型 總樓地板面積 97683.4
6	與鄰區相接現況	北館內各分區有伸縮縫做內部區隔
7	耐震初評指標 I_s	有耐震能力不足之疑慮($I_s=22.1 < 100$) 33.9~41.6
8	外觀現況	整體構架外觀大致良好，並無明顯傾斜或大區域構架損壞，部分非結構體桿件損害。
9	結構系統概述	地上結構採鋼骨梁柱構架系統(SC)，地下室採鋼筋混凝土構架系統(RC)
10	興建年代	民國 78 年設計、86 年取得使用執照
11	結構尺寸	柱：約 100cmx100cm 梁：縱向大梁(跨距 12 米) 約 50cm x100cm，橫向大梁(跨距 12 米) 約 50cmx100cm。 小梁：30cmx50cm 樓版：12~15cm 以上詳細尺寸詳附件一結構圖

◆ 國立科學工藝博物館

➤ 地盤種類(第三類地盤)



地盤種類	\bar{V}_s (m/sec)	\bar{N} 或 \bar{N}_{CH}	\bar{s}_u (kgf/cm ²)
第一類地盤(堅實地盤)	$\bar{V}_s > 360$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u > 1.02$
第二類地盤(普通地盤)	$180 \leq \bar{V}_s \leq 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$0.51 \leq \bar{s}_u \leq 1.02$
第三類地盤(軟弱地盤)	$\bar{V}_s < 180$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 0.51$

◆ 國立科學工藝博物館

➤ 斷層帶判定 (距離旗山斷層9.37KM)



斷層位置圖(東經：120.322377；北緯：22.639888)

◆ 國立科學工藝博物館

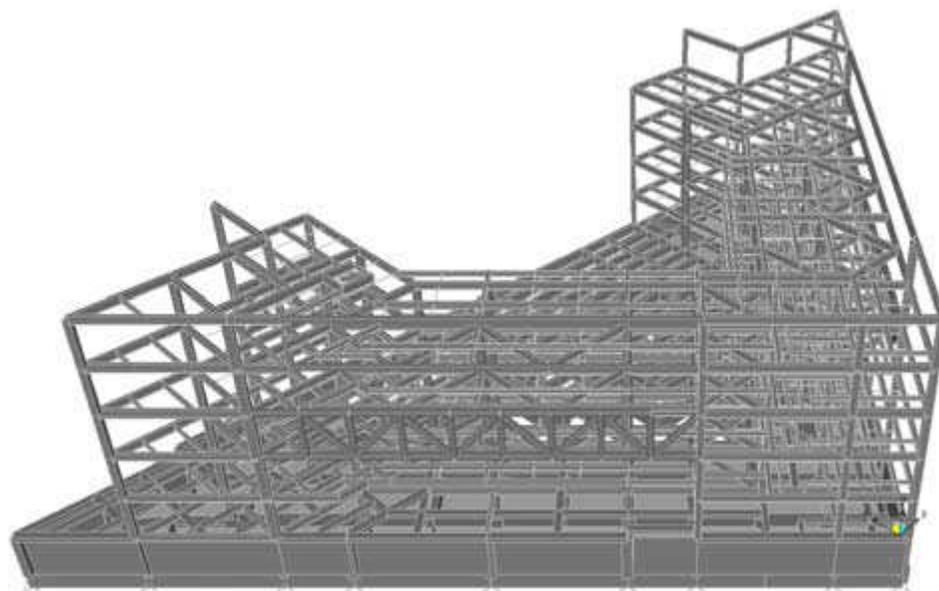
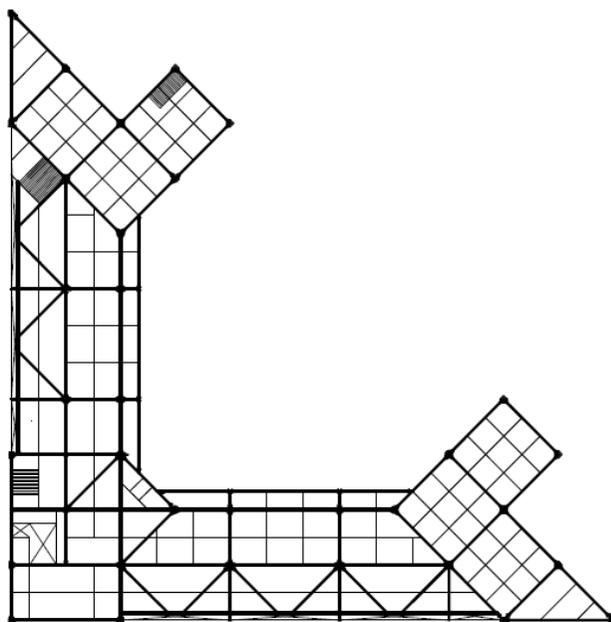
➤ 耐震能力判定標準

用途 係數	性能目標地表加速度 A_p			備註
I=1.25	V_{max}	$D_R^T = 1.5\%$ (0.36g)	垂直承載構件發生軸向破壞	本建物不作緊急避難使用，故選用 V_{max} 及層間變位角作為評估 A_p 標準
區別	建物耐震能力評估標準			
不需補強	性能目標地表加速度 $A_p \geq A_T (0.36)$ 且 $(D_R \leq 1.5\%)$			
需補強	性能目標地表加速度 $A_p < A_T (0.36g)$ 或 $(D_R > 1.5\%)$			
拆除重建	補強經費大於拆除重建經費 50%			

- 參考 SEAOC VISION 2000
- 鋼結構容許應力設計法規範與解說
- 內政部建築研究所”鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬”
- 梁柱接頭測試報告

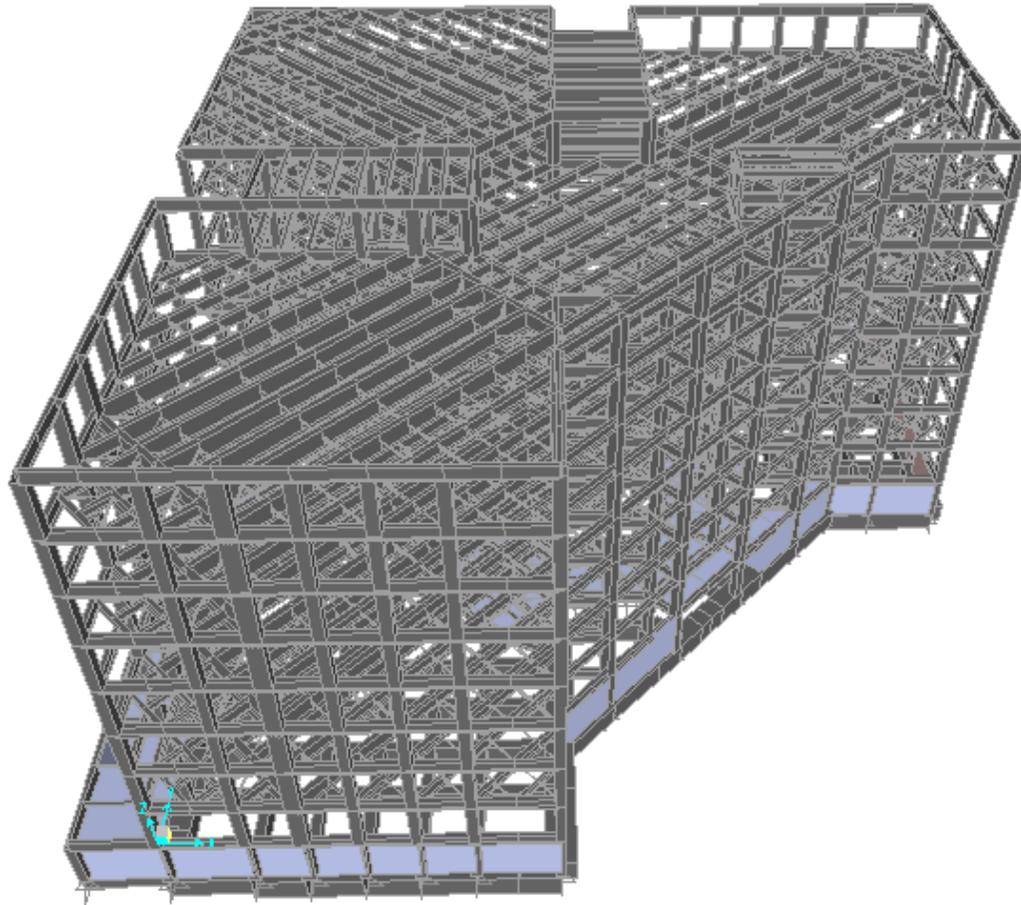
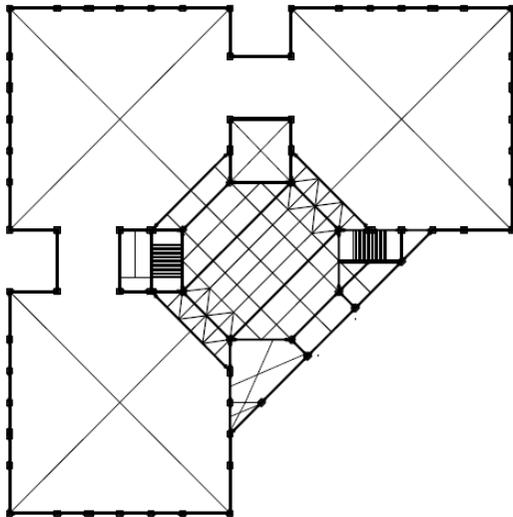
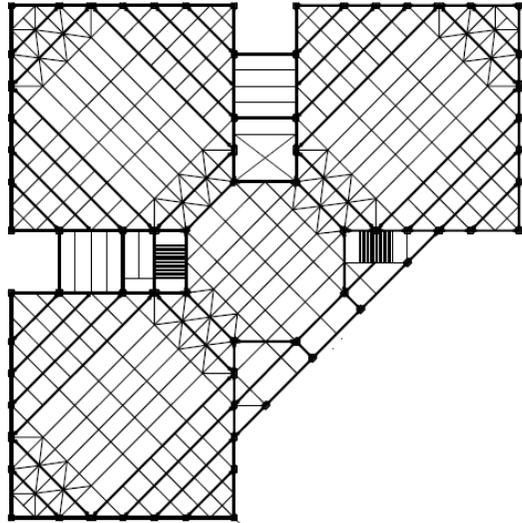
◆ 國立科學工藝博物館

➤ 結構平面及3D (A棟)



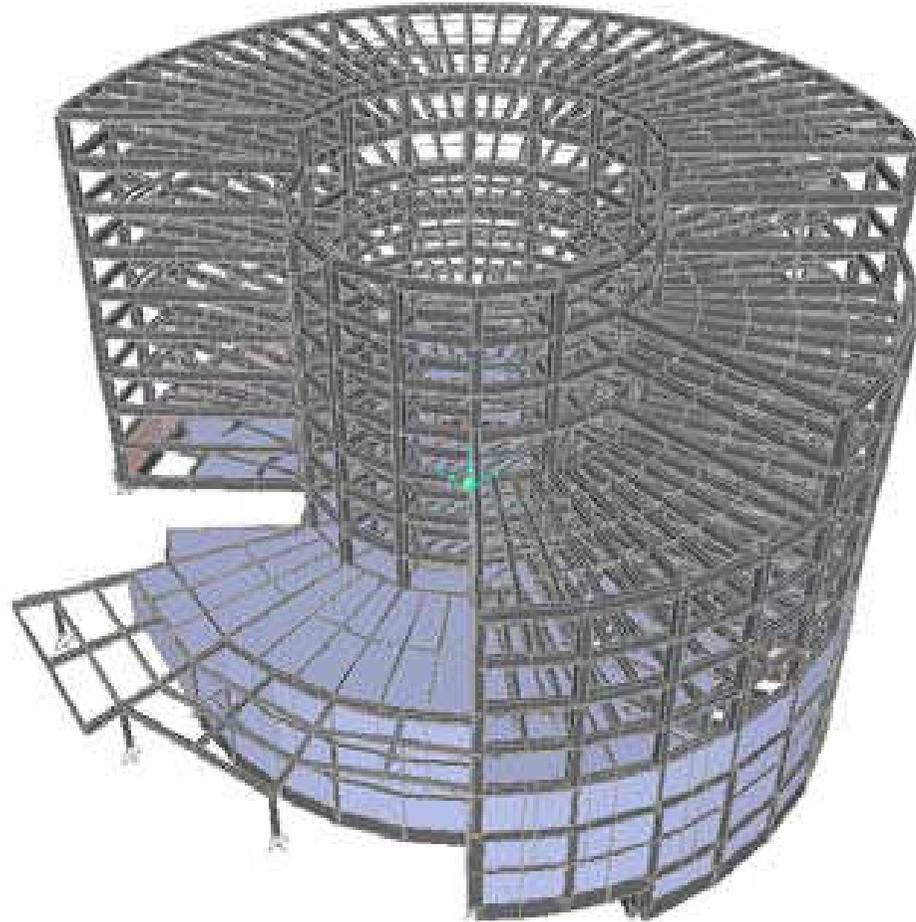
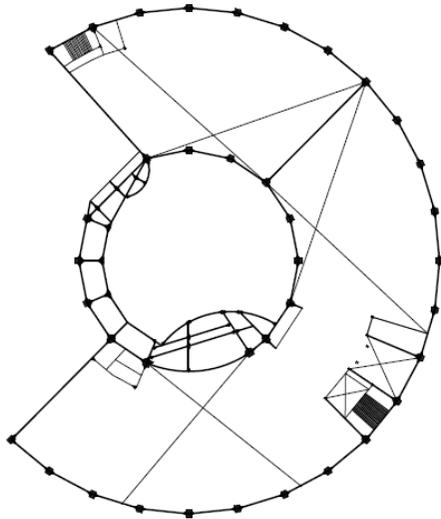
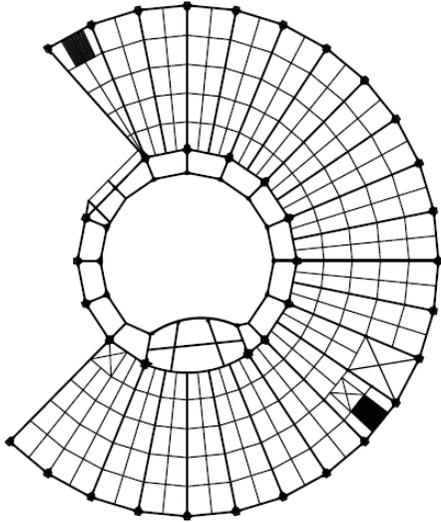
◆ 國立科學工藝博物館

➤ 結構平面及3D (B棟)



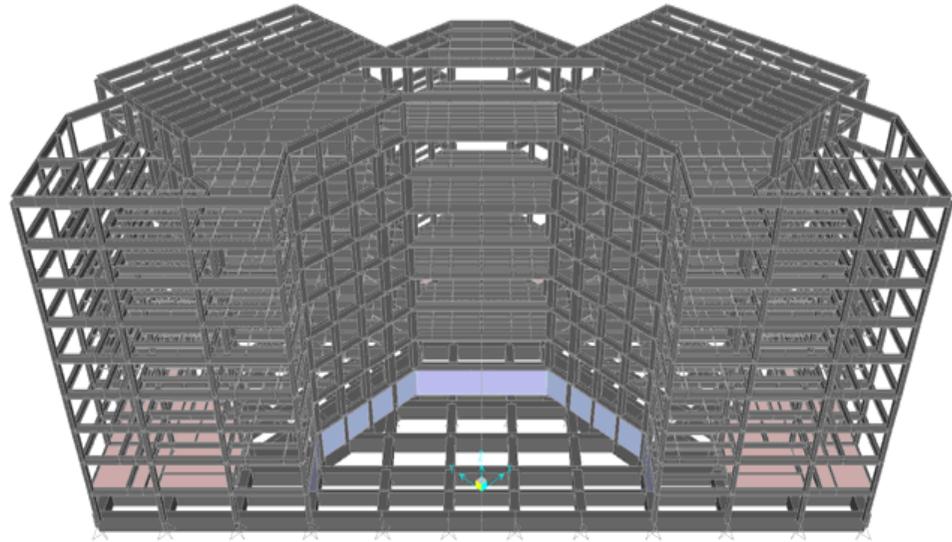
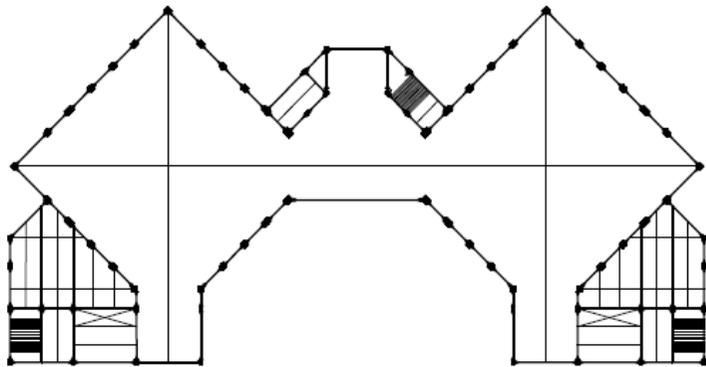
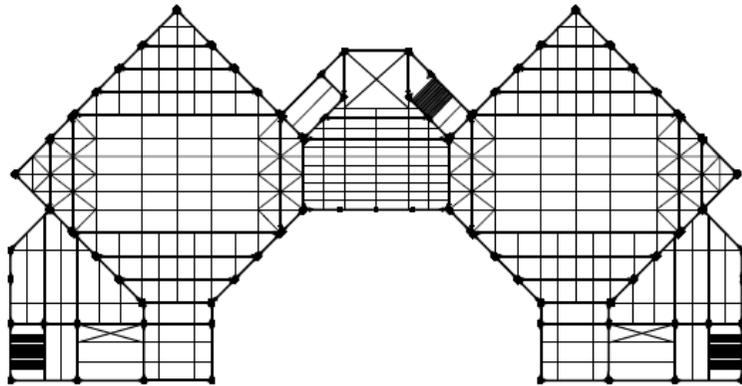
◆ 國立科學工藝博物館

➤ 結構平面及3D (C棟)



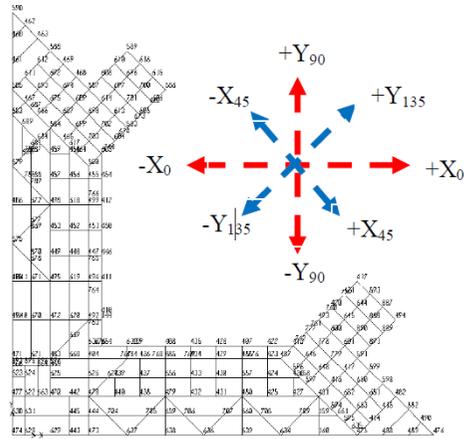
◆ 國立科學工藝博物館

➤ 結構平面及3D (D棟)

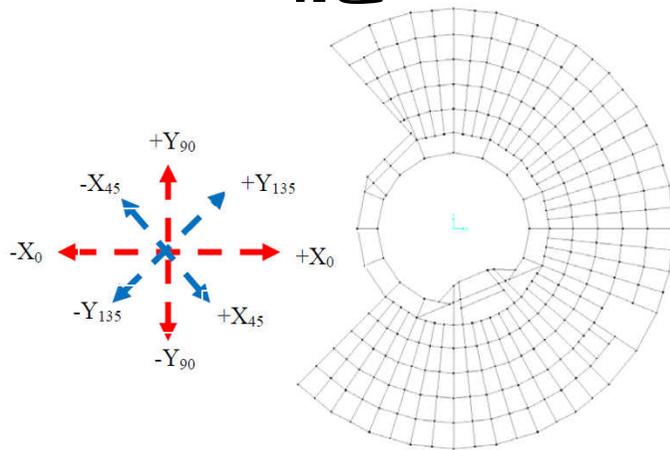


◆ 國立科學工藝博物館

➤ 地震力輸入方向



A區



C區

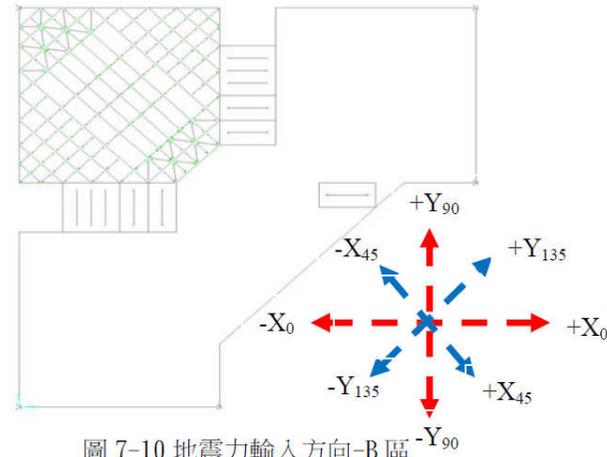
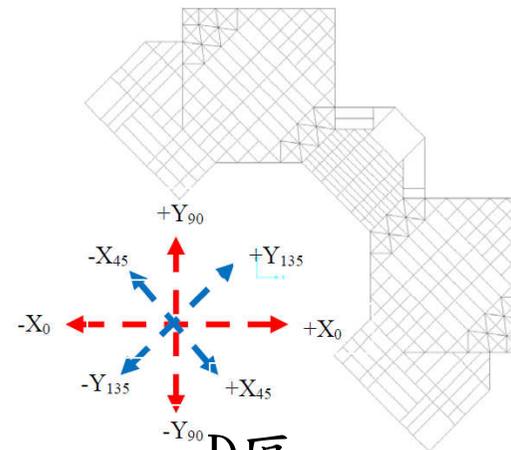


圖 7-10 地震力輸入方向-B區

B區



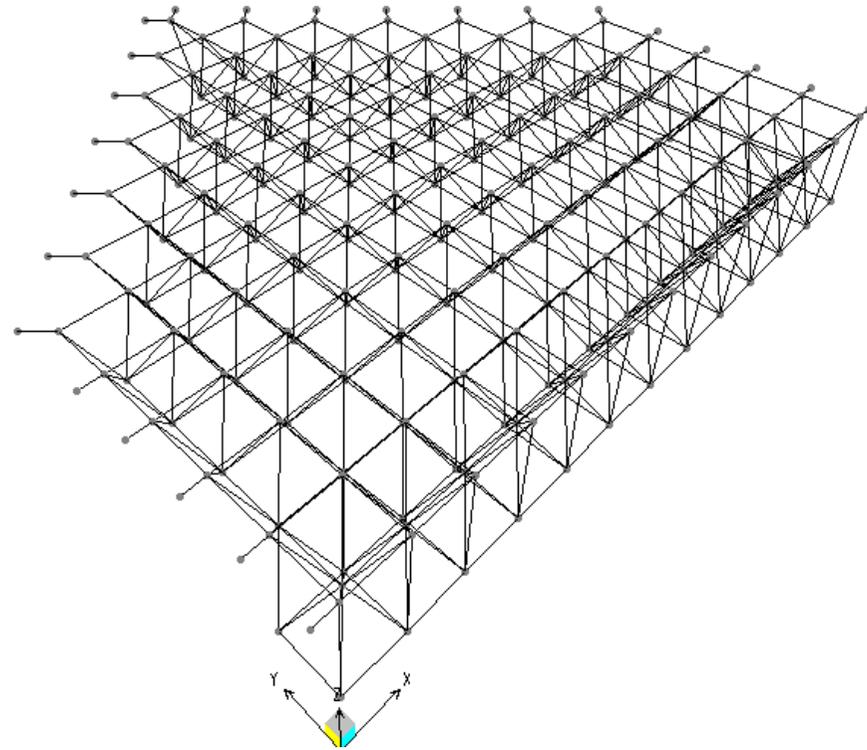
D區

a區空間桁架載重說明

- A區空間桁架反力值如下表所示，由各點反力值帶入A區主體結構。

Joint	F3
Text	Kgf
244	8192
245	0
246	12288
247	16384
248	8192
249	0
250	16384
251	8192
252	-4096
253	8192
254	4008.6
255	4183.4
256	6144
257	-2048

Joint	F3
Text	Kgf
258	-3584
259	-2048
260	3264
261	-3072
262	1024
263	3072
264	3072
265	0
266	7168
267	-3072



a區空間桁架載重說明



單向可位移 roller



單向可位移 roller

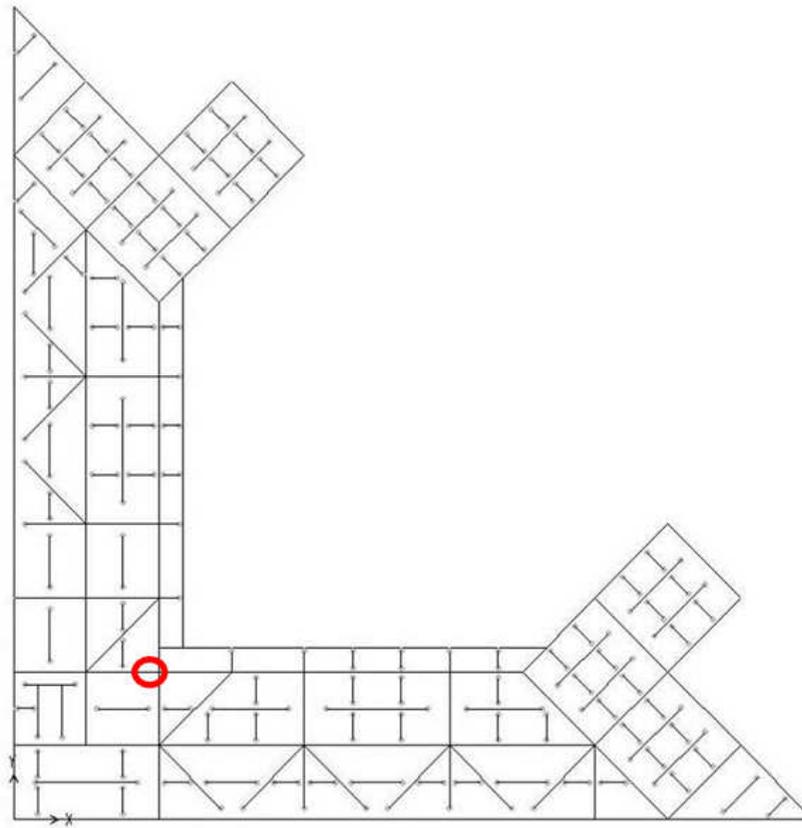


平面向可任意移 roller

◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟側推結果

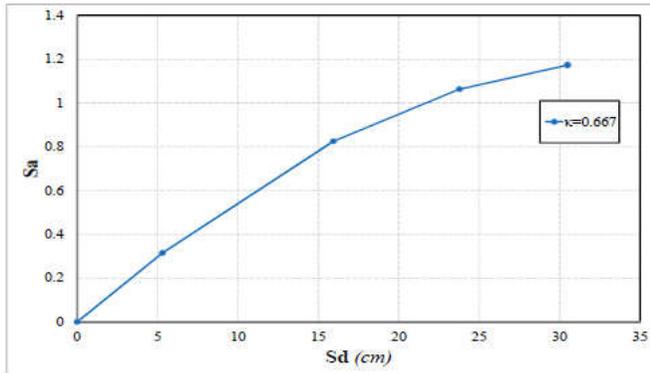
側推分析之觀測點宜選擇靠近質心點。標的物A區所選擇之觀測點如下圖之紅色圈選處。



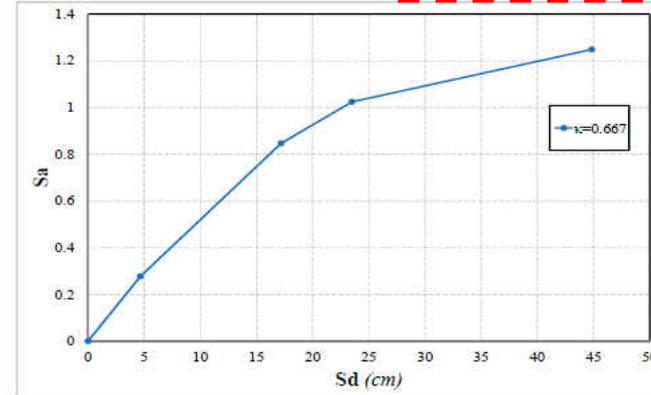
◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟側推結果(容量震譜曲線)

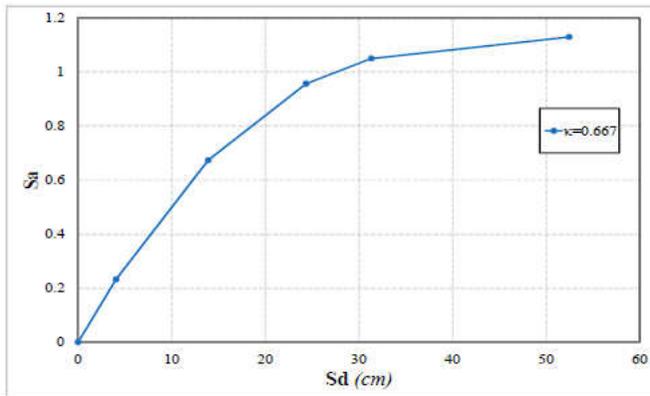
下圖為 A 區各側推方向之容量譜 S_a - S_d 關係圖。因標的物為鋼結構建築物 [因此 κ 保守取 2/3]



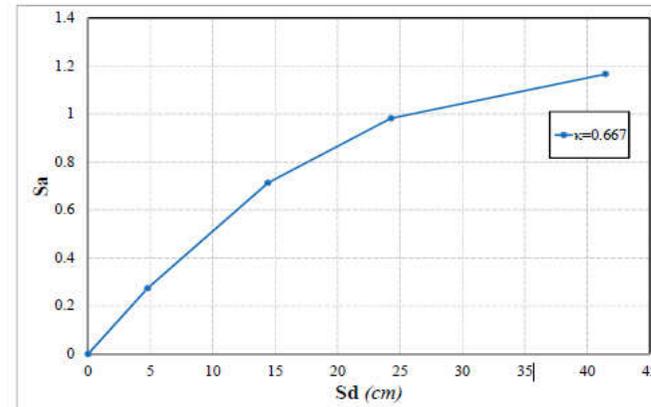
(a) +X₀ 方向容量震譜曲線圖



(b) -X₀ 方向容量震譜曲線圖



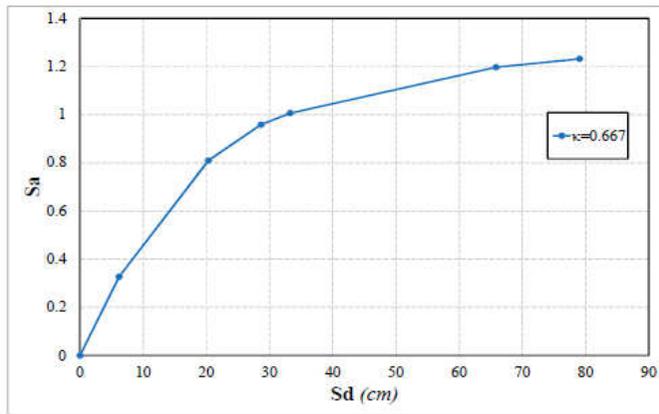
(c) +Y₉₀ 方向容量震譜曲線圖



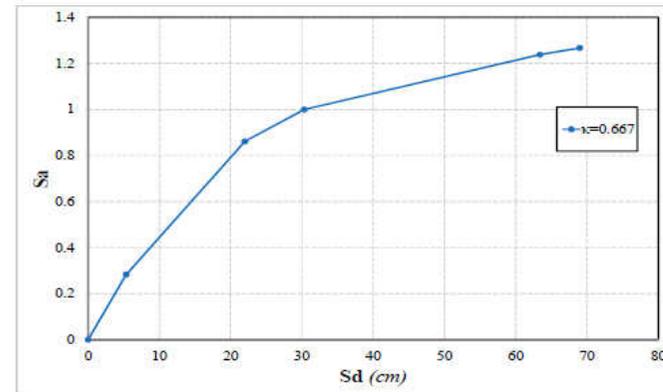
(d) -Y₉₀ 方向容量震譜曲線圖

◆ 國立科學工藝博物館

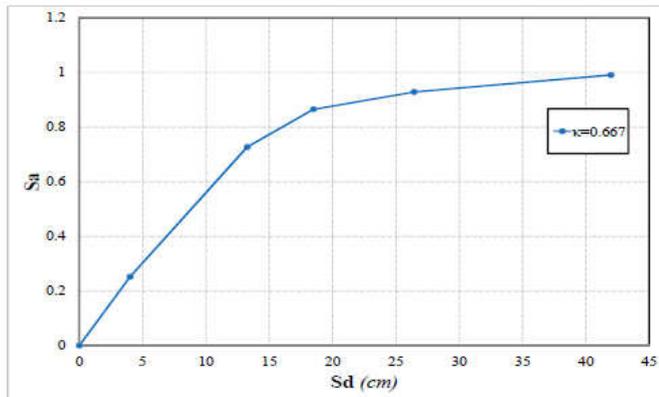
➤ A棟側推結果(容量震譜曲線)



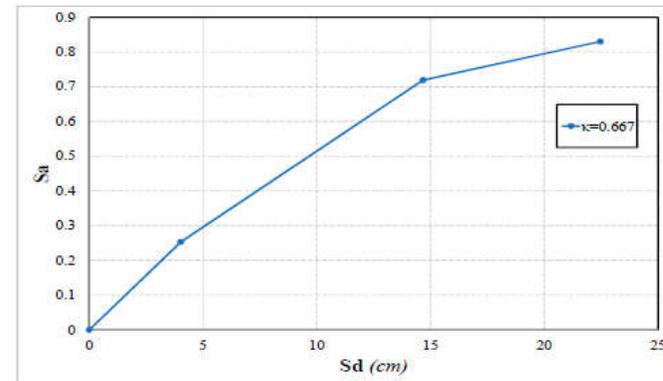
(e) +X₄₅ 方向容量震譜曲線圖



(f) -X₄₅ 方向容量震譜曲線圖



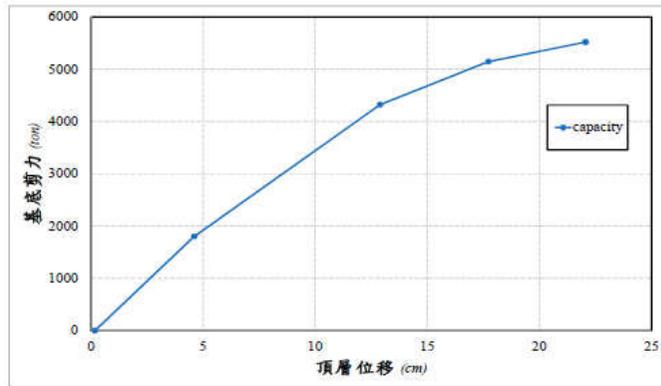
(g) +Y₁₃₅ 方向容量震譜曲線圖



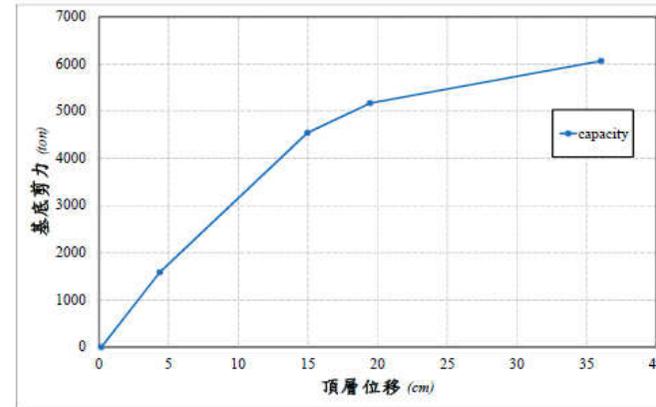
(h) -Y₁₃₅ 方向容量震譜曲線圖

◆ 國立科學工藝博物館

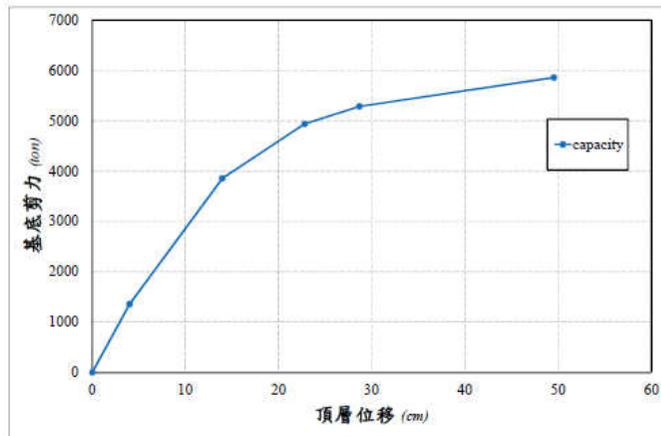
➤ A棟側推結果(容量曲線)



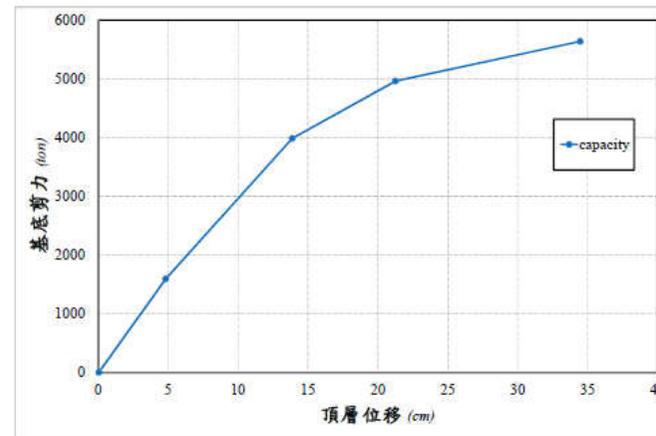
(a) +X₀ 方向側力-位移曲線圖



(b) -X₀ 方向側力-位移曲線圖



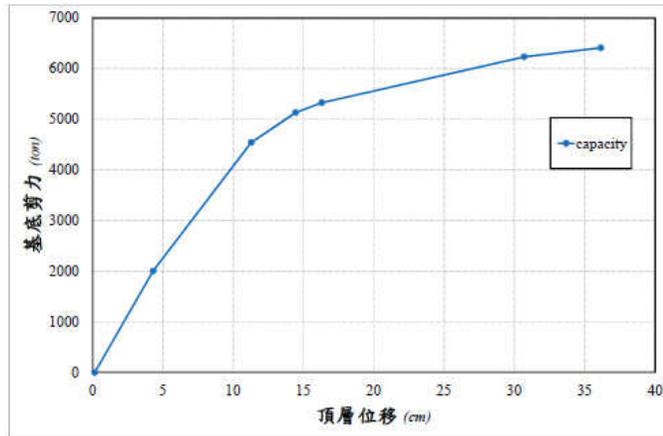
(c) +Y₉₀ 方向側力-位移曲線圖



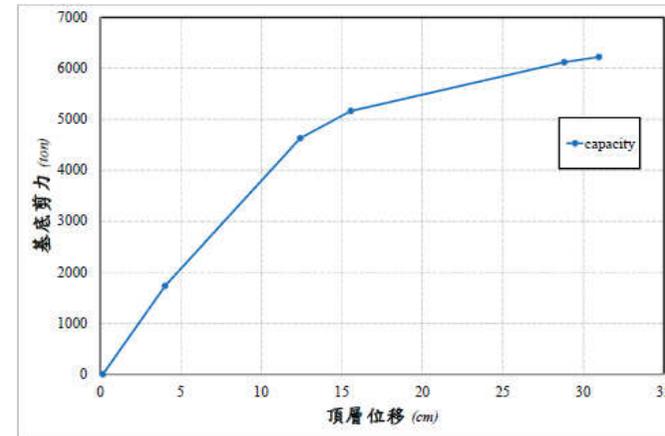
(d) -Y₉₀ 方向側力-位移曲線圖

◆ 國立科學工藝博物館

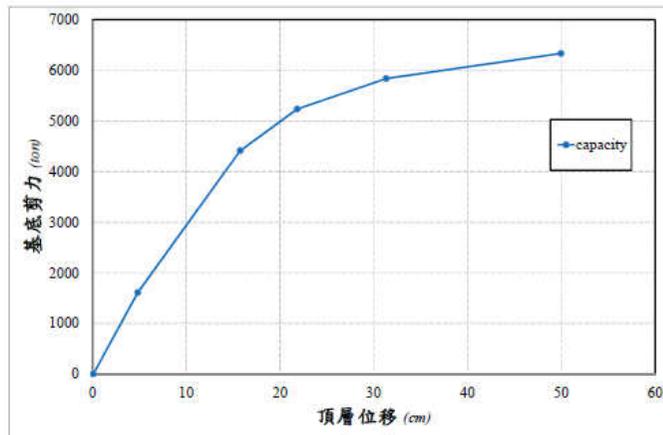
➤ A棟側推結果(容量曲線)



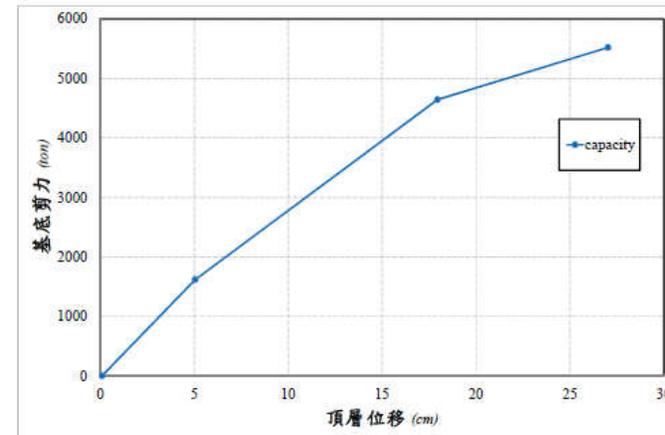
(e) +X₄₅ 方向側力-位移曲線圖



(f) -X₄₅ 方向側力-位移曲線圖



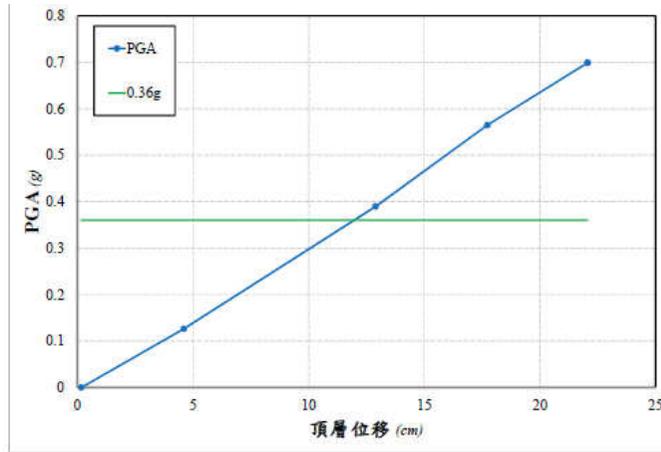
(g) +Y₁₃₅ 方向側力-位移曲線圖



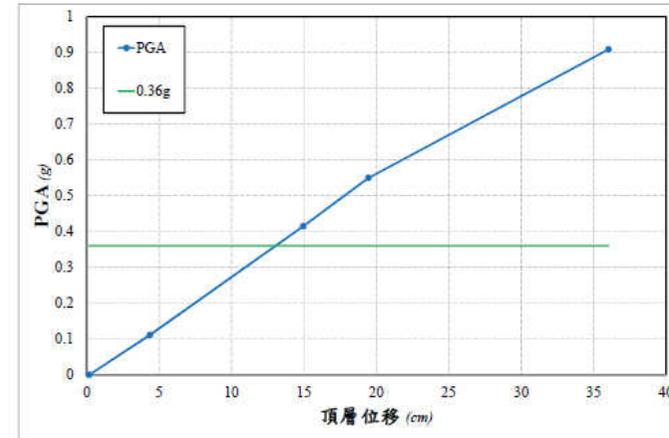
(h) -Y₁₃₅ 方向側力-位移曲線圖

◆ 國立科學工藝博物館

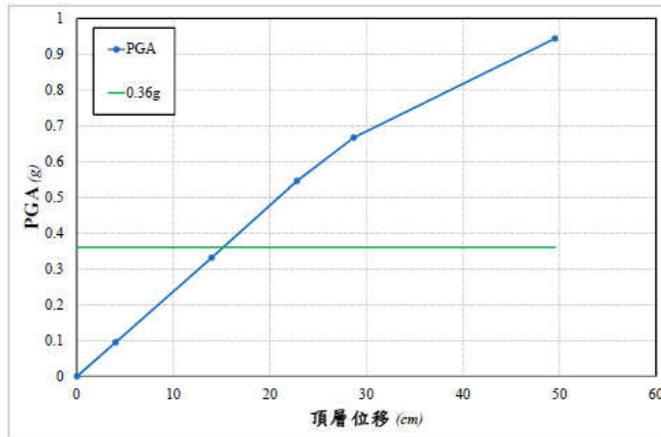
➤ A棟側推結果(性能曲線)



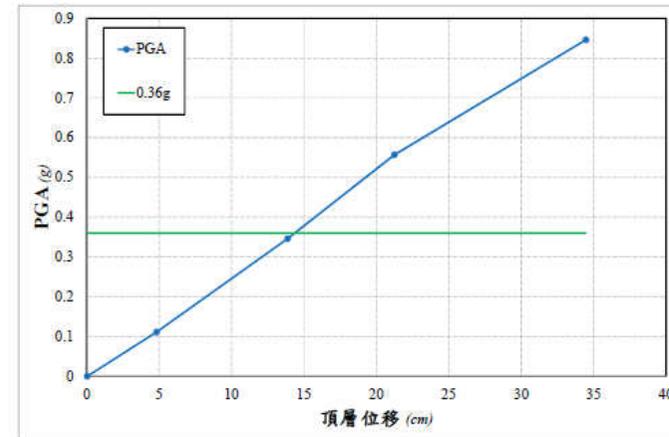
(a) +X₀ 方向地表加速度對位移曲線圖



(b) -X₀ 方向地表加速度對位移曲線圖



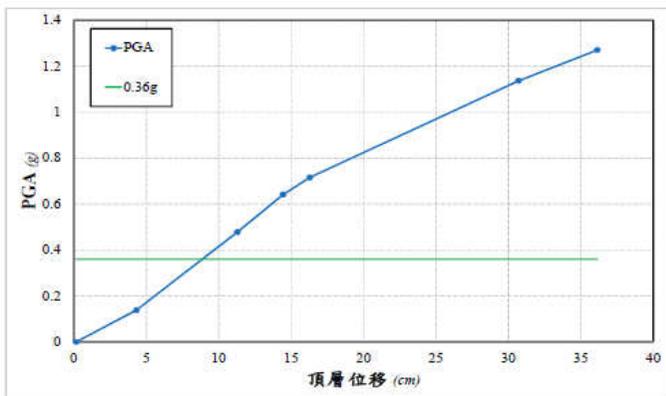
(c) +Y₉₀ 方向地表加速度對位移曲線圖



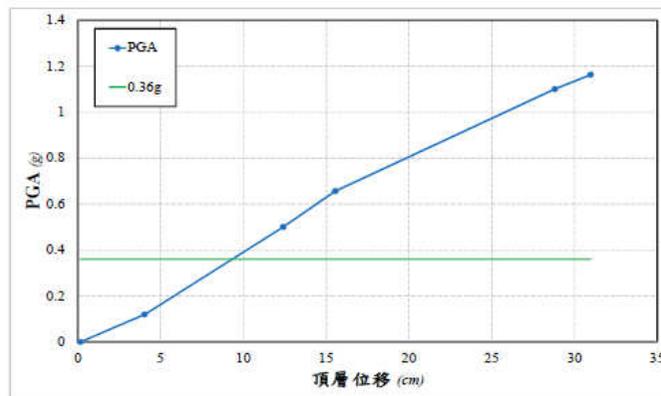
(d) -Y₉₀ 方向地表加速度對位移曲線圖

◆ 國立科學工藝博物館

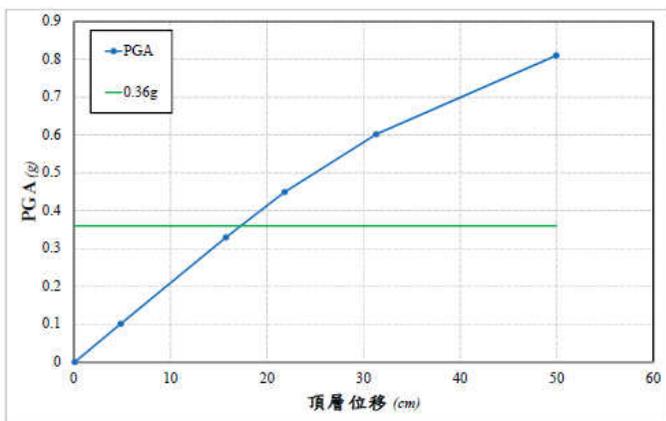
➤ A棟側推結果(性能曲線)



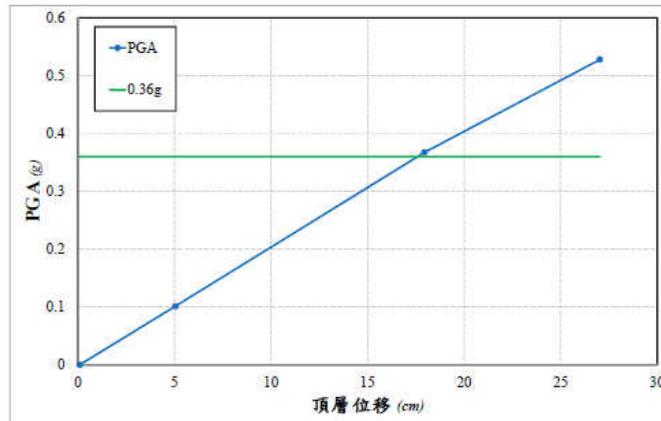
(e) +X₄₅ 方向地表加速度對位移曲線圖



(f) -X₄₅ 方向地表加速度對位移曲線圖



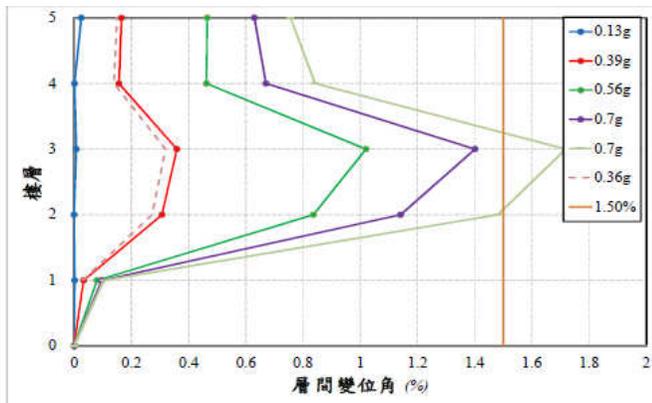
(g) +Y₁₃₅ 方向地表加速度對位移曲線圖



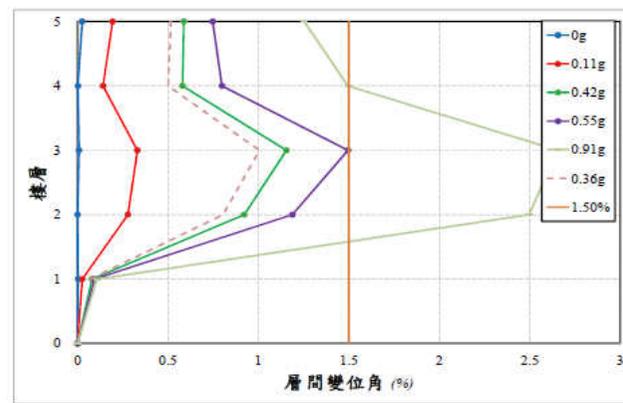
(h) -Y₁₃₅ 方向地表加速度對位移曲線圖

◆ 國立科學工藝博物館

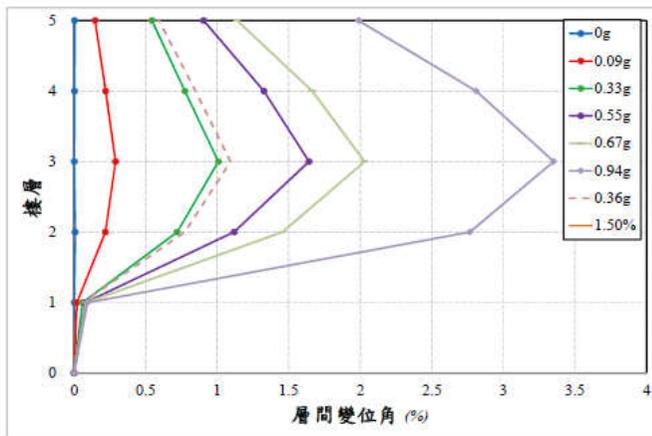
➤ A棟側推結果(層間位移角檢討)



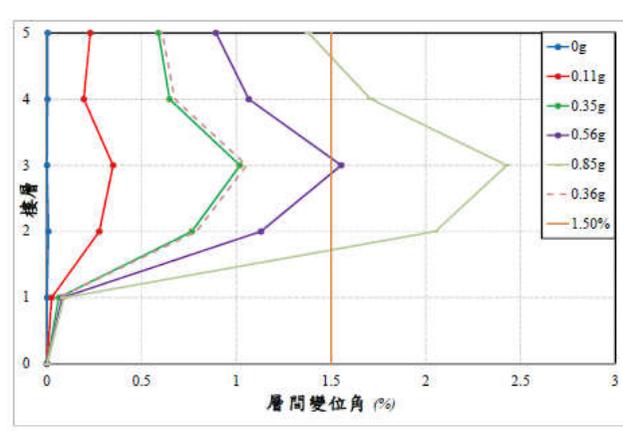
(a) +X₀ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=0.32)



(b) -X₀ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=1.01)



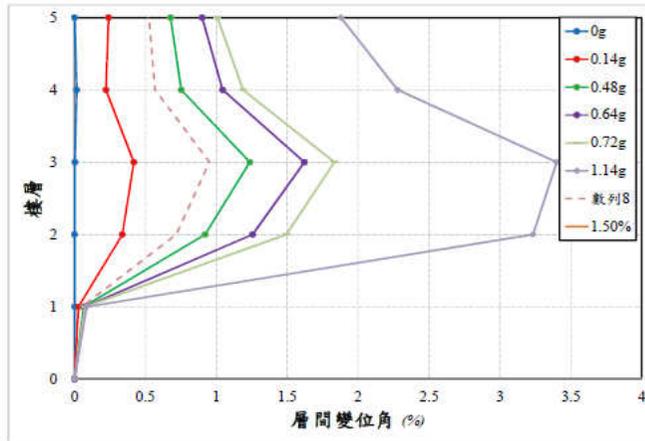
(c) +Y₉₀ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=1.09)



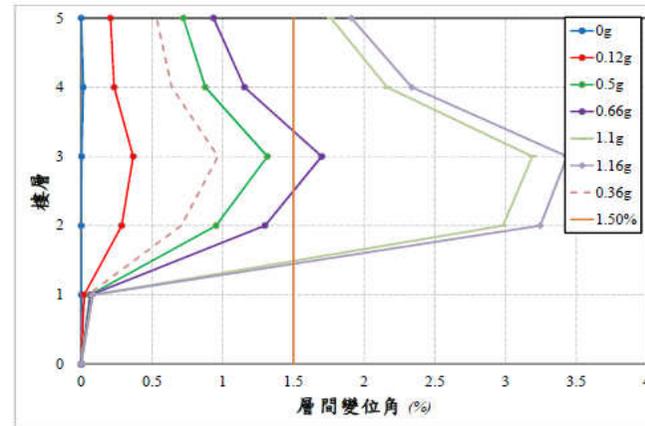
(d) -Y₉₀ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=1.05)

◆ 國立科學工藝博物館

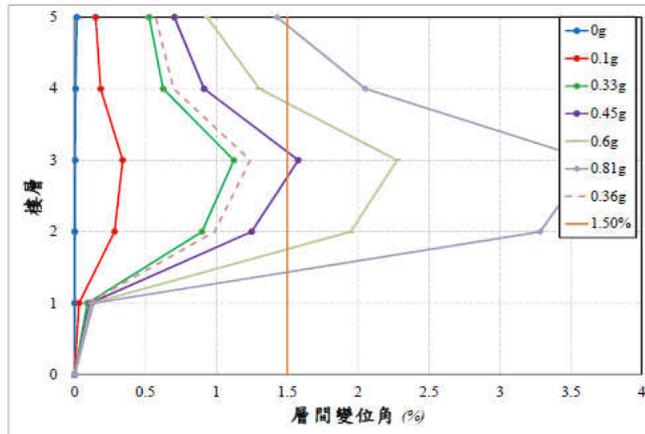
➤ A棟側推結果(層間位移角檢討)



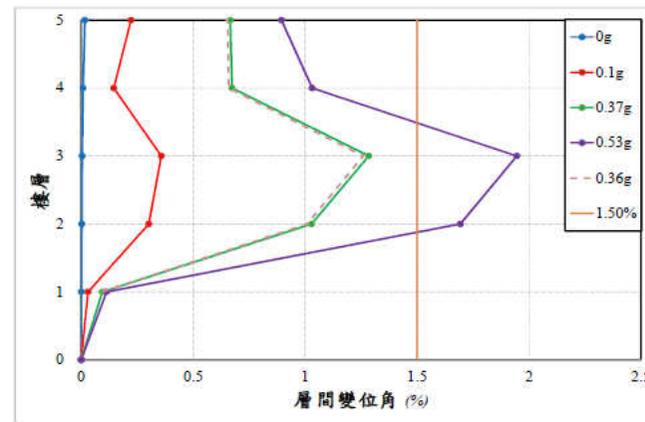
(e) +X₄₅ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=0.95)



(f) -X₄₅ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=0.97)



(g) +Y₁₃₅ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=1.24)



(h) -Y₁₃₅ 方向層間變位角發展圖(DR_{max}=1.26)

◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟側推結果(綜合成果說明)

彙整評估結果表如下表所示，A區各方向最大PGA值大於 $A_T=0.36g$ (考慮 $I=1.25$)耐震要求且層間變位角小於 1.5%，滿足強度控制準則及層間變位角控制準則。為求得各方向現況耐震能力 A_P 值，遂採內插方式求得層間變位角達 1.5%時之 A_P 值，整理如下表並得知，-Y₁₃₅ 方向之現況耐震能力最低為 0.42g，因此現況耐震能力 A_P 值為 0.42g 大於 0.36g，滿足強度準則與層間變位角準則

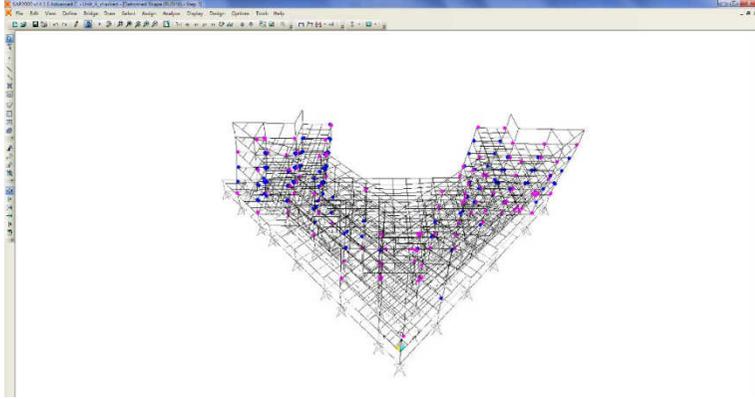
表 4-5 A區結構耐震能力綜合評估表*

分析方向	強度控制準則			層間變位角控制準則		
	475年地震需求PGA值	最大PGA值	是否合格	容許層間變位角	性能PGA值	是否合格
	(g)	(g)		(%)	(g)	
+X ₀	0.36	0.70	是	1.5	0.70	是
-X ₀		0.91	是		0.55	是
+X ₄₅		1.14	是		0.59	是
-X ₄₅		1.16	是		0.57	是
+Y ₉₀		0.94	是		0.50	是
-Y ₉₀		0.85	是		0.54	是
+Y ₁₃₅		0.81	是		0.43	是
-Y ₁₃₅		0.53	是		0.42	是

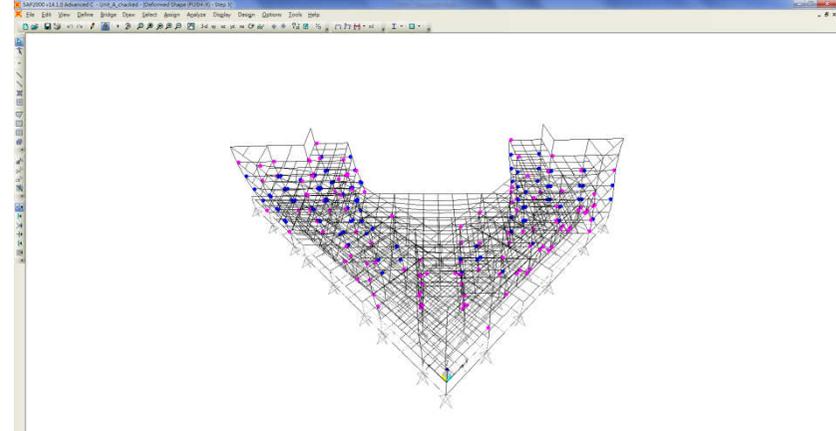
A區各方向最大PGA值大於 $A_T=0.36g$ (考慮 $I=1.25$)耐震要求且層間變位角小於 1.5%，滿足強度控制準則及層間變位角控制準則。為求得各方向現況耐震能力 A_P 值，遂採內插方式求得層間變位角達 1.5%時之 A_P 值，整理如上表。其中-Y₁₃₅ 方向之現況耐震能力最低為 0.42g，並由塑鉸發展圖觀察得知，豎向構材均無破壞。因此現況耐震能力 A_P 值為 0.42g 大於 0.36g，滿足強度準則與層間變位角準則。

◆ 國立科學工藝博物館

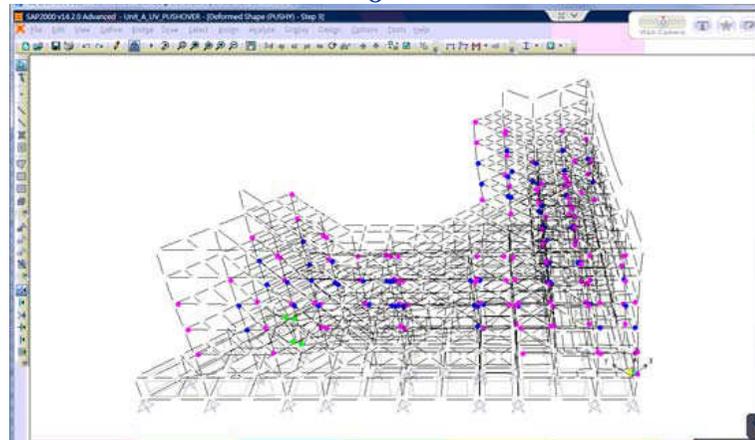
➤ A棟側推結果(1.5%層間位移時之塑鉸發展)



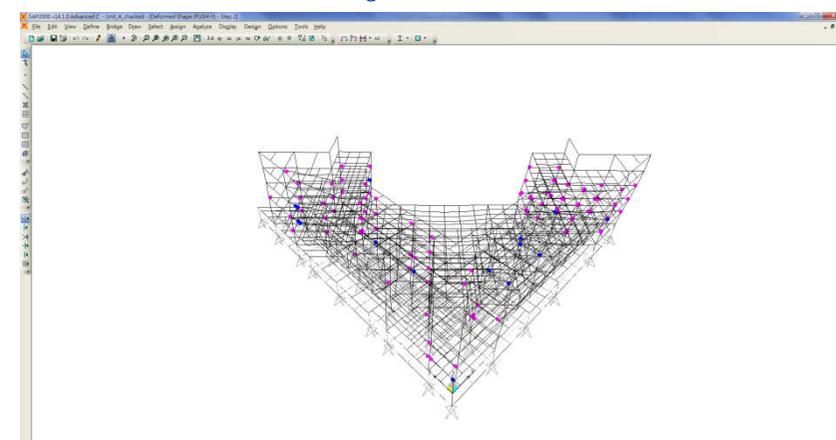
+X₀ 方向



-X₀ 方向



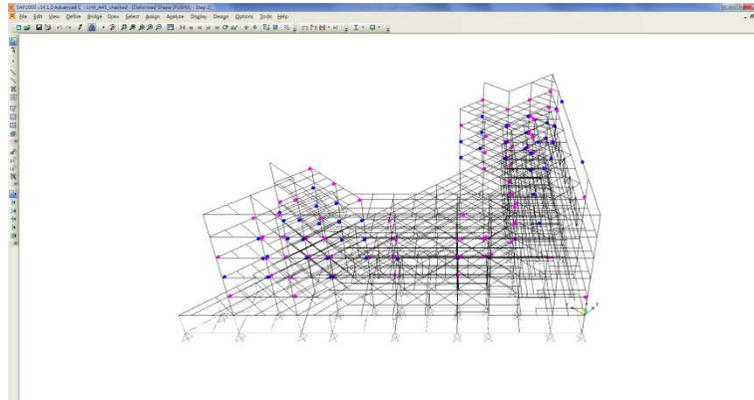
+Y₉₀ 方向



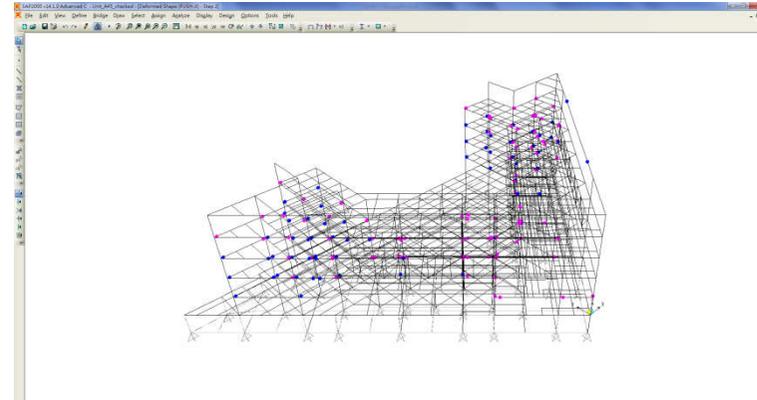
-Y₉₀ 方向

◆ 國立科學工藝博物館

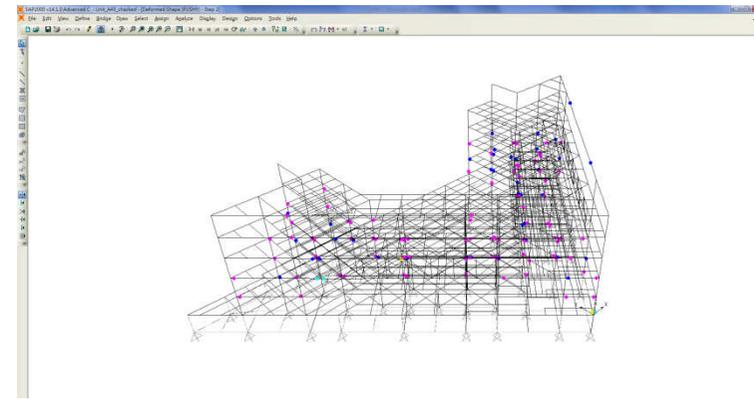
➤ A棟側推結果(1.5%層間位移時之塑鉸發展)



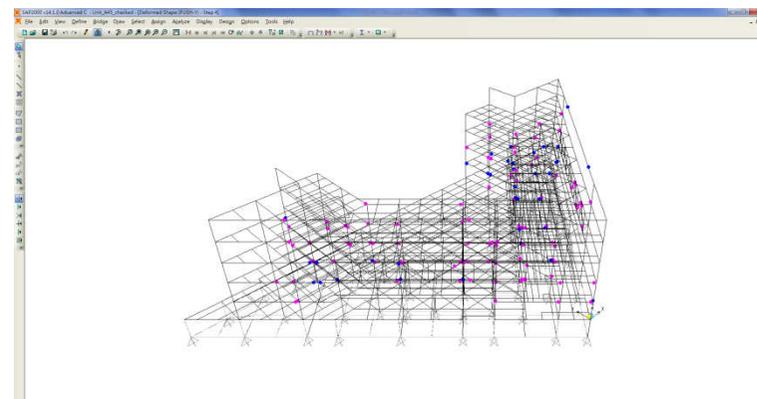
+X₄₅ 方向



-X₄₅ 方向



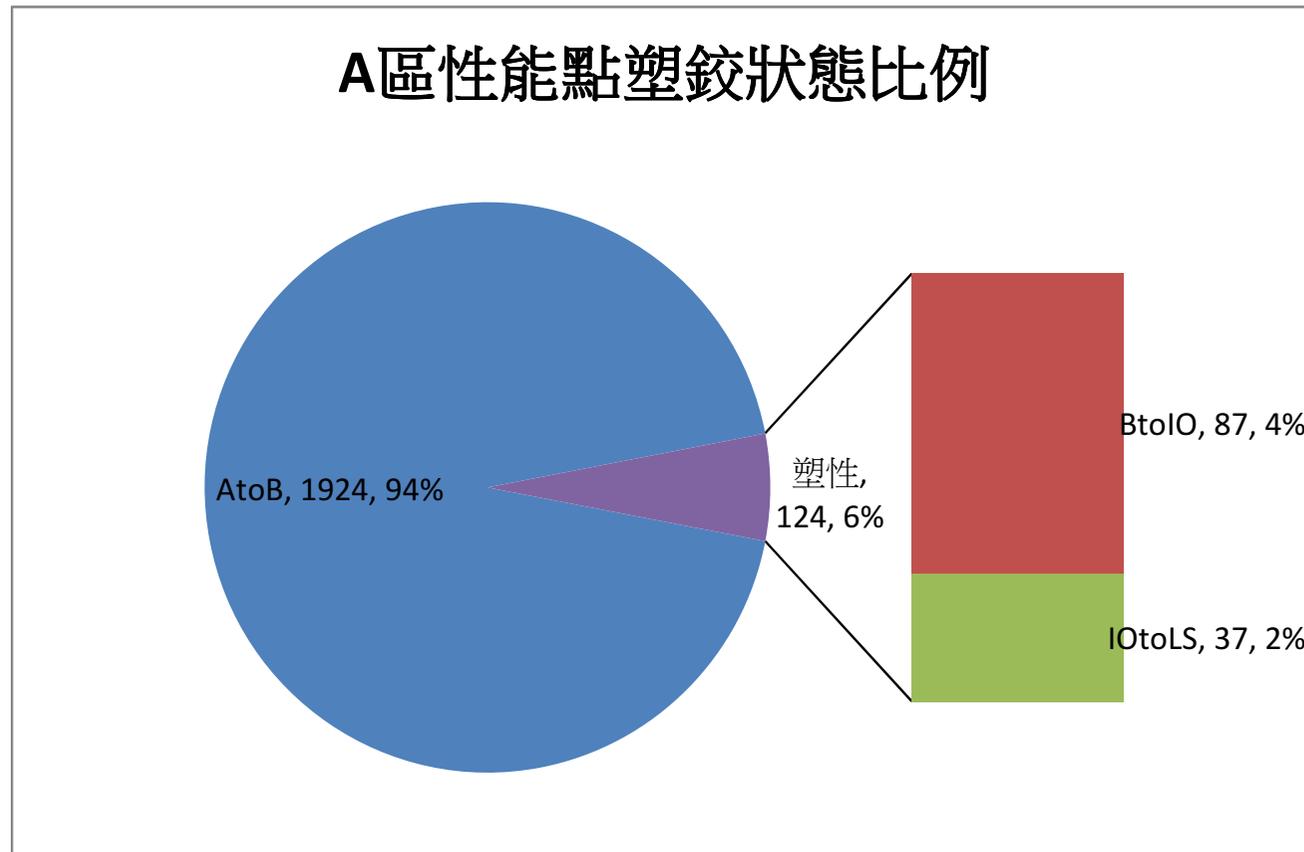
+Y₁₃₅ 方向



-Y₁₃₅ 方向

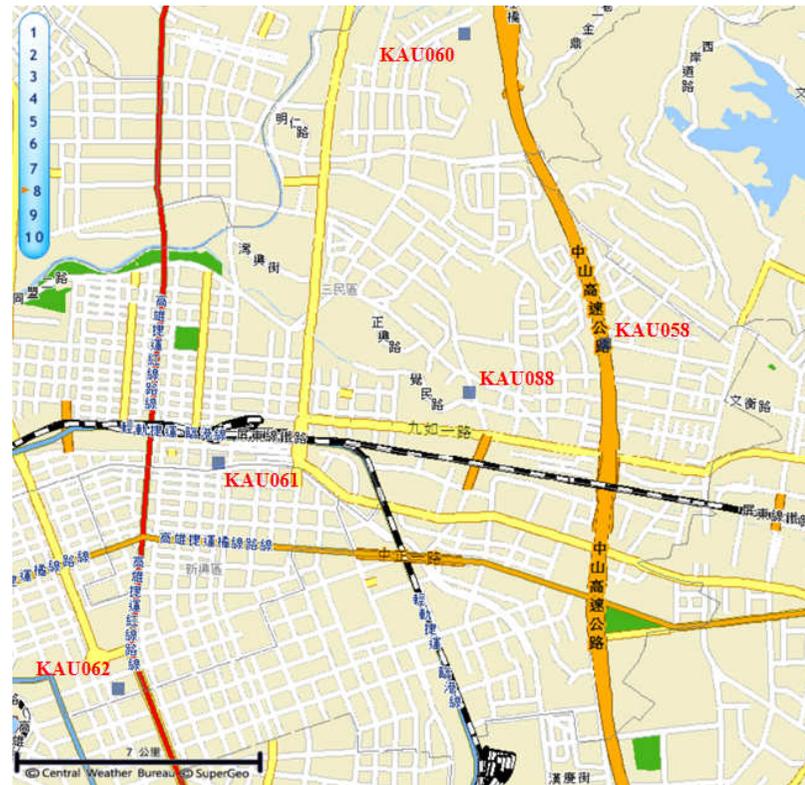
◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟-Y₁₃₅側推結果(1.5%層間位移時之塑鉸發展)



◆ 國立科學工藝博物館

➤ 人工地震歷時資料

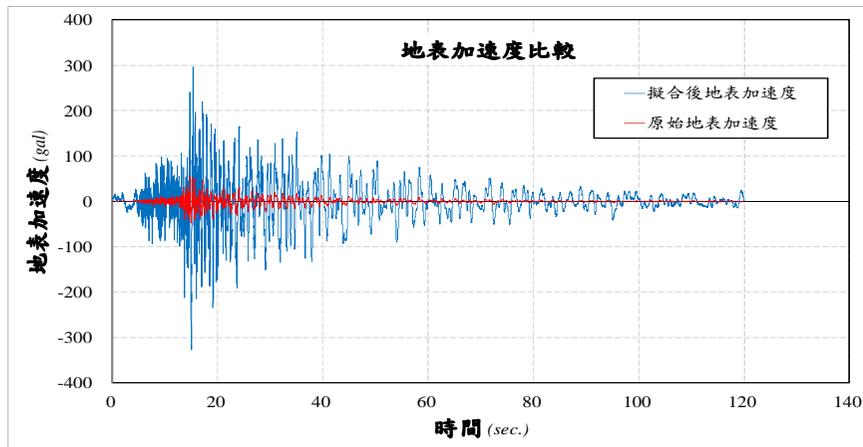
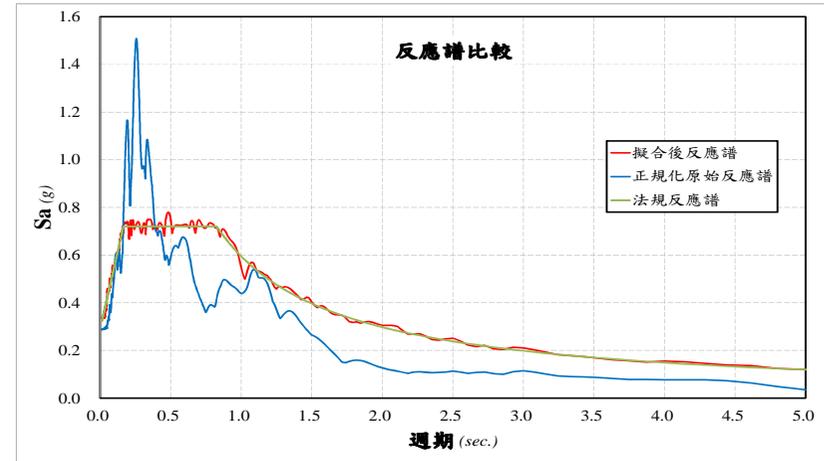
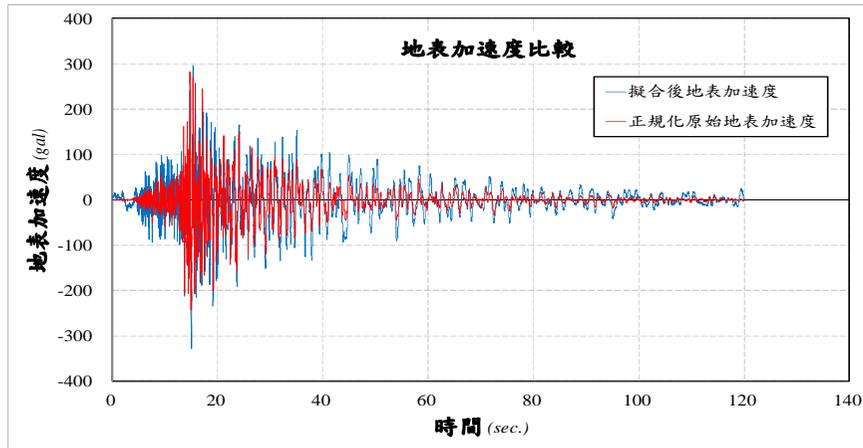


自由場測站代碼	測站名	測站經度	測站緯度	震度	震央距 (km)	記錄長度 (sec)	垂直向 (gal)	南北向 (gal)	東西向 (gal)
KAU058	高雄應用科技大學	120.329	22.648	4	52.63	120	32.74	61.72	55.5
KAU062	高雄女中	120.292	22.622	5	57.35	90	32.36	70.36	92.5
KAU088	民族國小	120.319	22.644	4	53.69	90	27.58	68.76	71.74



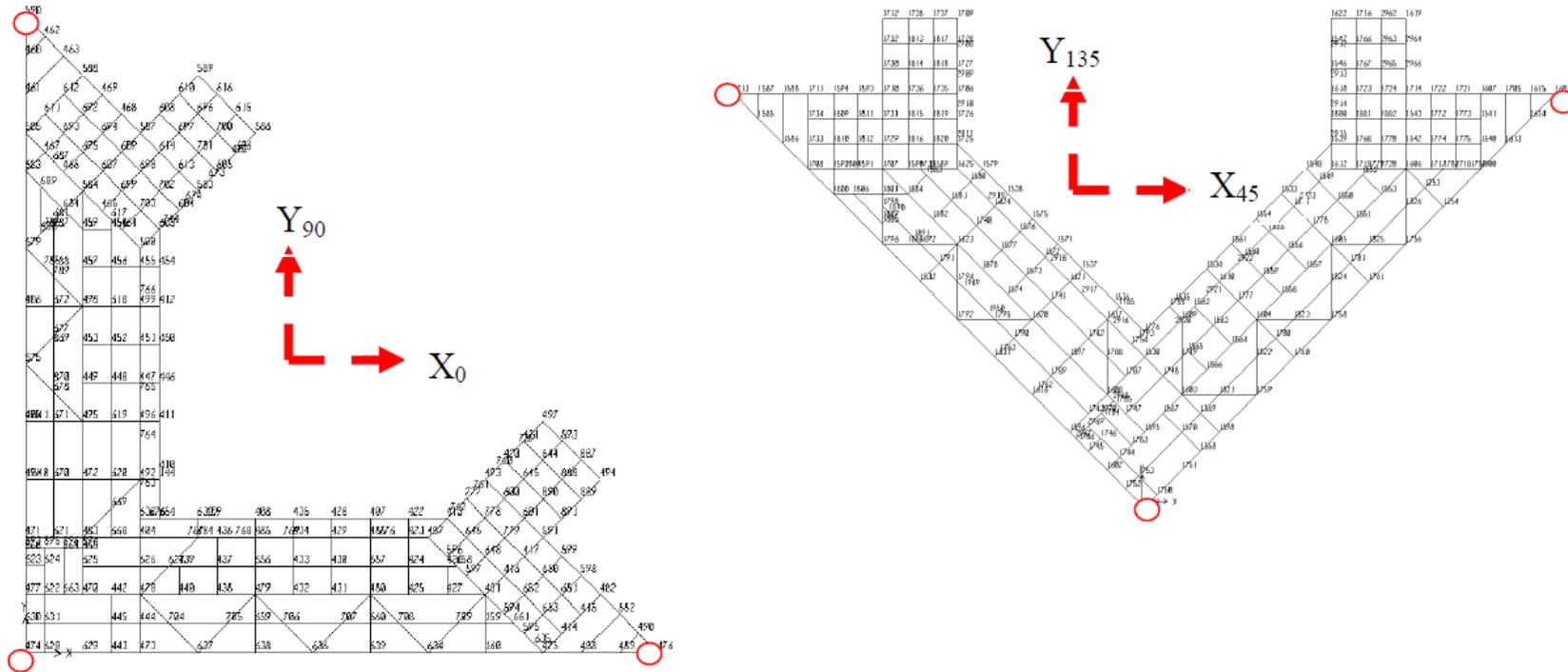
◆ 國立科學工藝博物館

➤ 人工地震歷時資料(KAU058)



◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(地震方向與觀測點)



- 觀測點最大頂層位移之發生時間
- 觀測點最大頂層加速度之發生時間



◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(觀測點最大位移之發生時間)

表 5-2A 區觀測點最大位移比較表(側推分析 1.5%)

地震歷時與方向	節點編號	觀測點最大位移 (cm)	發生時間 (s)	地震歷時與方向	節點編號	觀測點最大位移 (cm)	發生時間 (s)	地震歷時與方向	節點編號	觀測點最大位移 (cm)	發生時間 (s)
KAU058_X ₀	590	29.56	26.68	KAU062_X ₀	590	30.26	49.98	KAU088_X ₀	590	22.75	34.6
KAU058_X ₀	474	17.91	14.68	KAU062_X ₀	474	18.27	47.54	KAU088_X ₀	474	18.31	31.6
KAU058_X ₀	476	17.17	14.68	KAU062_X ₀	476	17.55	47.56	KAU088_X ₀	476	17.53	31.6
KAU058_Y ₉₀	590	15.83	24.72	KAU062_Y ₉₀	590	17.19	58.92	KAU088_Y ₉₀	590	16.71	31.58
KAU058_Y ₉₀	474	15.99	24.7	KAU062_Y ₉₀	474	17.71	32.1	KAU088_Y ₉₀	474	17.18	31.58
KAU058_Y ₉₀	476	29.54	26.58	KAU062_Y ₉₀	476	26.34	33.46	KAU088_Y ₉₀	476	21.12	34.48
KAU058_X ₄₅	1713	15.95	20.04	KAU062_X ₄₅	1713	15.66	59.3	KAU088_X ₄₅	1713	16.26	31.6
KAU058_X ₄₅	1599	22.12	24.72	KAU062_X ₄₅	1599	23.52	47.52	KAU088_X ₄₅	1599	19.90	40.02
KAU058_X ₄₅	1601	15.61	14.68	KAU062_X ₄₅	1601	16.04	54.88	KAU088_X ₄₅	1601	16.08	31.58
KAU058_Y ₁₃₅	1713	16.69	14.72	KAU062_Y ₁₃₅	1713	18.09	33.92	KAU088_Y ₁₃₅	1713	15.80	31.62
KAU058_Y ₁₃₅	1599	16.79	20.56	KAU062_Y ₁₃₅	1599	15.97	59.34	KAU088_Y ₁₃₅	1599	16.80	31.6
KAU058_Y ₁₃₅	1601	23.87	26.56	KAU062_Y ₁₃₅	1601	23.90	33.9	KAU088_Y ₁₃₅	1601	17.92	37.16

※A 區各方向側推分析達 1.5%層間變位角時之觀測樓層(4F)位移量

X₀:16.18 cm, Y₉₀:17.16cm, X₄₅:16.61cm, Y₁₃₅:16.46cm

*1 KAU058、KAU062、KAU088 為測站人工地震歷時資料

*2 X₀、Y₉₀、X₄₅、Y₁₃₅ 為地震作用方向

◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(觀測點最大加速度之發生時間)

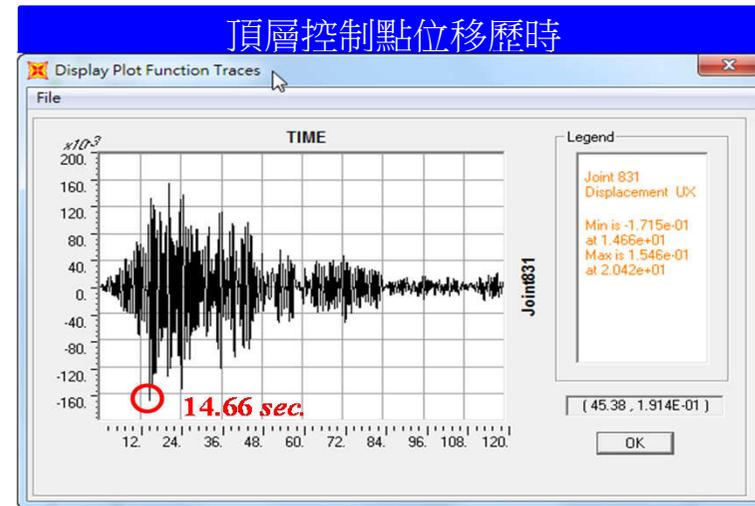
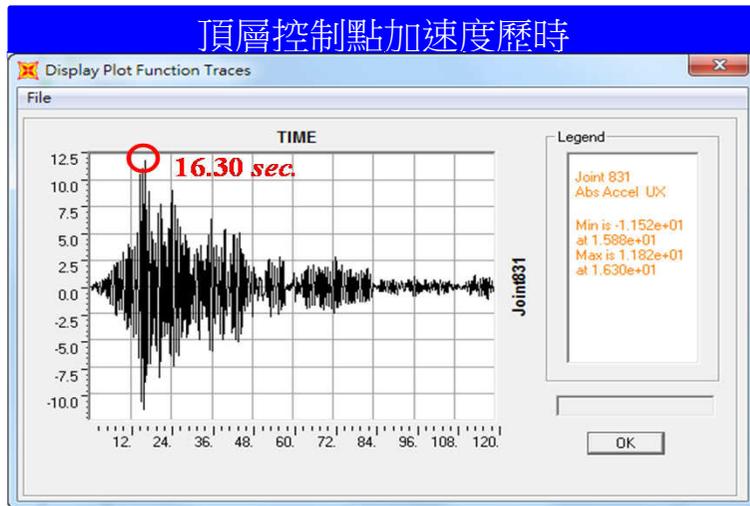
表 5-3 A 區觀測點最大加速度比較表

地震歷時與方向	節點編號	觀測點最大加速度(g)	發生時間(s)	地震歷時與方向	節點編號	觀測點最大加速度 (cm/s ²)	發生時間(s)	地震歷時與方向	節點編號	觀測點最大加速度 (cm/s ²)	發生時間(s)
KAU058_X ₀	590	1.14	26.2	KAU062_X ₀	590	1.19	49.96	KAU088_X ₀	590	0.95	34.62
KAU058_X ₀	474	0.79	24.72	KAU062_X ₀	474	0.76	47.96	KAU088_X ₀	474	0.81	31.62
KAU058_X ₀	476	0.75	23.8	KAU062_X ₀	476	0.73	47.54	KAU088_X ₀	476	0.78	31.62
KAU058_Y ₉₀	590	0.65	14.68	KAU062_Y ₉₀	590	0.70	58.92	KAU088_Y ₉₀	590	0.73	31.58
KAU058_Y ₉₀	474	0.68	24.14	KAU062_Y ₉₀	474	0.75	58.88	KAU088_Y ₉₀	474	0.79	31.56
KAU058_Y ₉₀	476	1.09	26.56	KAU062_Y ₉₀	476	1.01	60.3	KAU088_Y ₉₀	476	0.94	34.44
KAU058_X ₄₅	1713	0.68	26.28	KAU062_X ₄₅	1713	0.73	42.64	KAU088_X ₄₅	1713	0.77	31.6
KAU058_X ₄₅	1599	1.01	24.72	KAU062_X ₄₅	1599	1.02	47.96	KAU088_X ₄₅	1599	0.81	31.6
KAU058_X ₄₅	1601	0.70	14.68	KAU062_X ₄₅	1601	0.74	54.4	KAU088_X ₄₅	1601	0.76	31.6
KAU058_Y ₁₃₅	1713	0.73	14.72	KAU062_Y ₁₃₅	1713	0.62	33.86	KAU088_Y ₁₃₅	1713	0.66	31.56
KAU058_Y ₁₃₅	1599	0.75	20.56	KAU062_Y ₁₃₅	1599	0.69	59.32	KAU088_Y ₁₃₅	1599	0.77	31.6
KAU058_Y ₁₃₅	1601	0.89	26.54	KAU062_Y ₁₃₅	1601	0.87	33.86	KAU088_Y ₁₃₅	1601	0.74	34.4

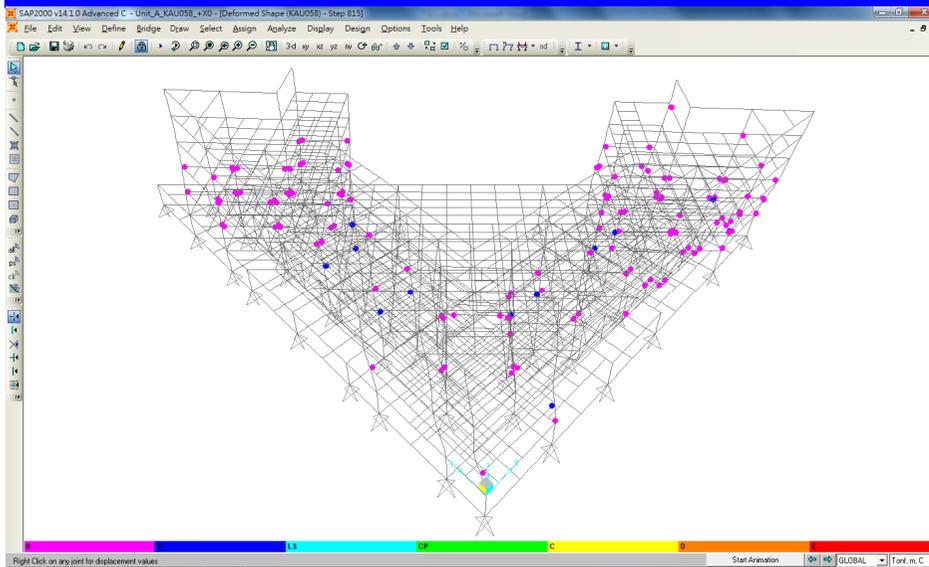
*1 KAU058、KAU062、KAU088 為測站人工地震歷時資料

*2 X₀、Y₉₀、X₄₅、Y₁₃₅ 為地震作用方向

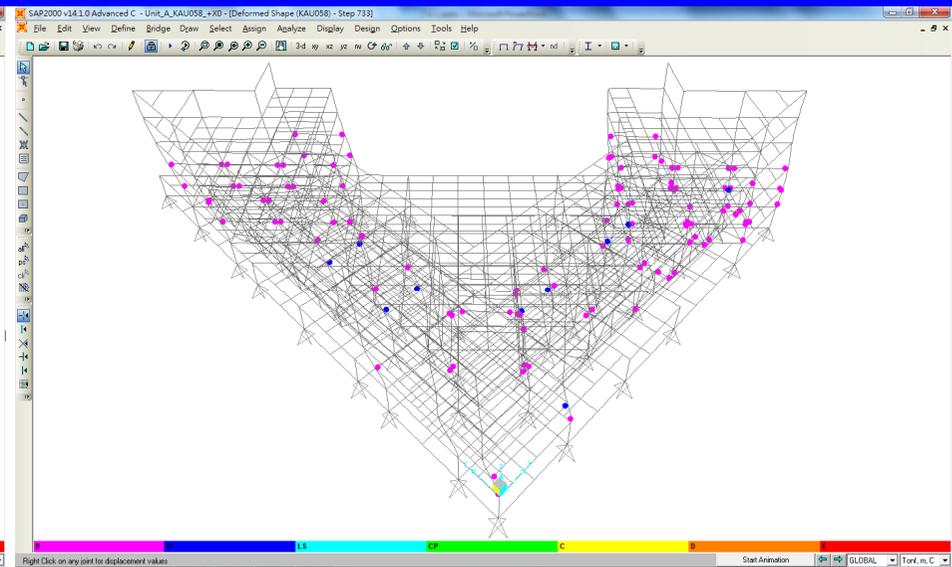
A區+X₀方向頂層最大反應(KAU058)



頂層控制點最大加速度時塑鉸分布

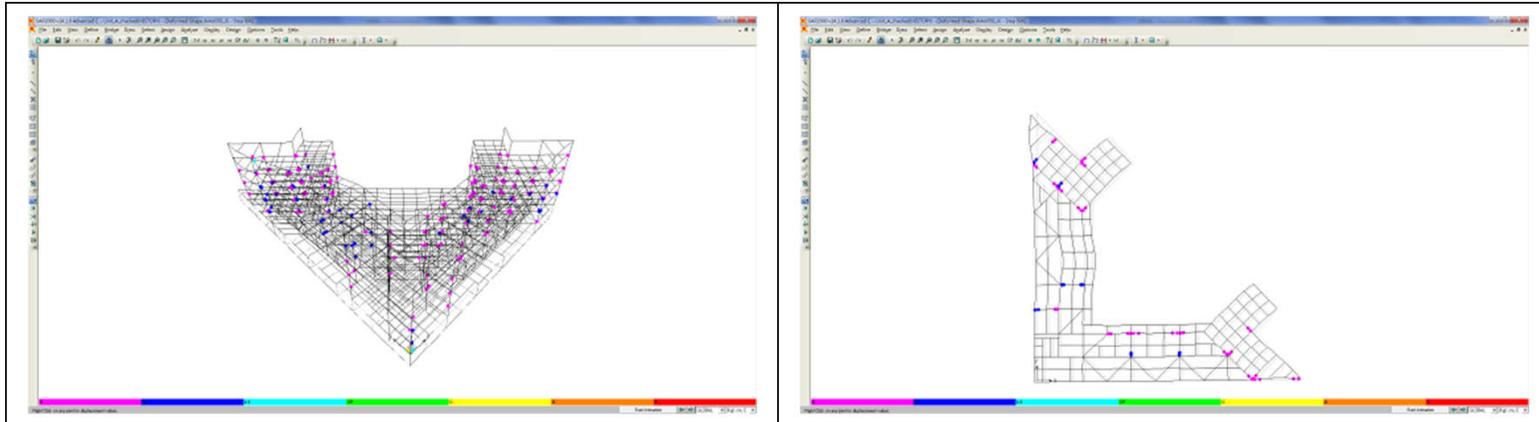


頂層控制點最大位移時塑鉸分布

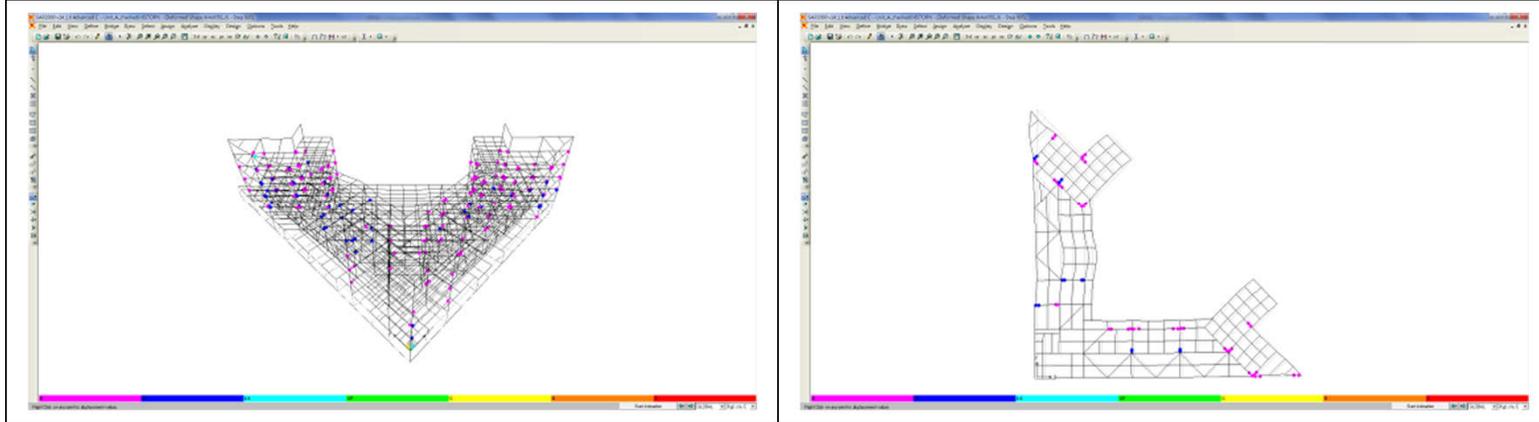


◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(塑鉸發展圖)

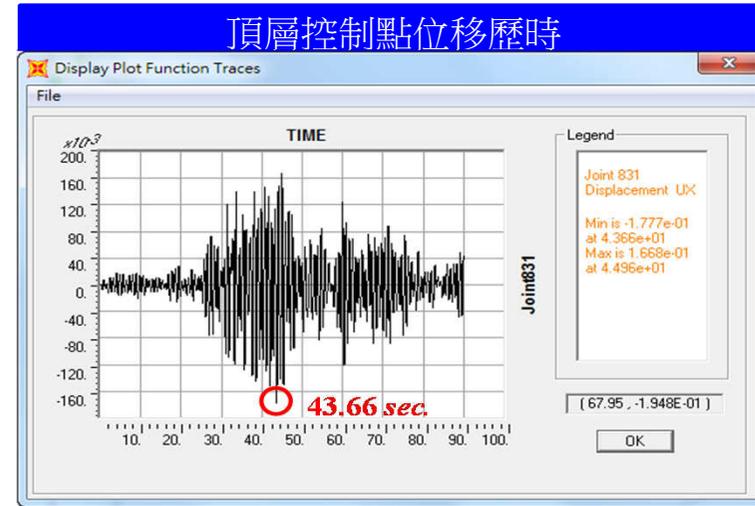
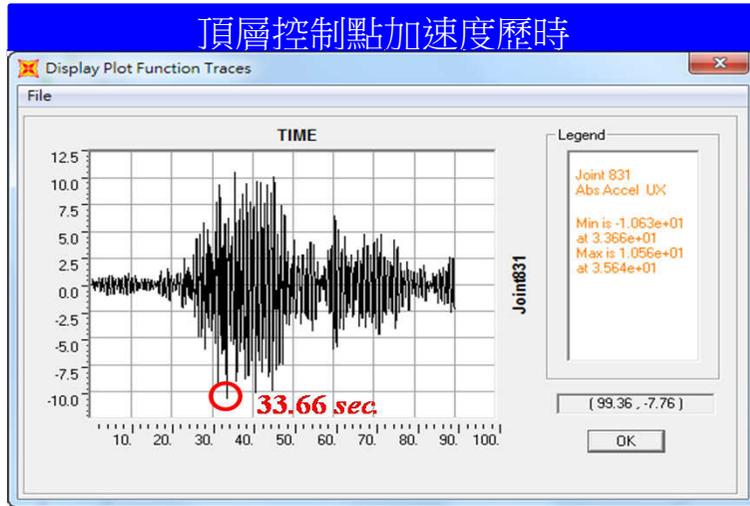


A 區 KAU058_X₀ 方向最大位移下之塑鉸發展與屋頂變形圖

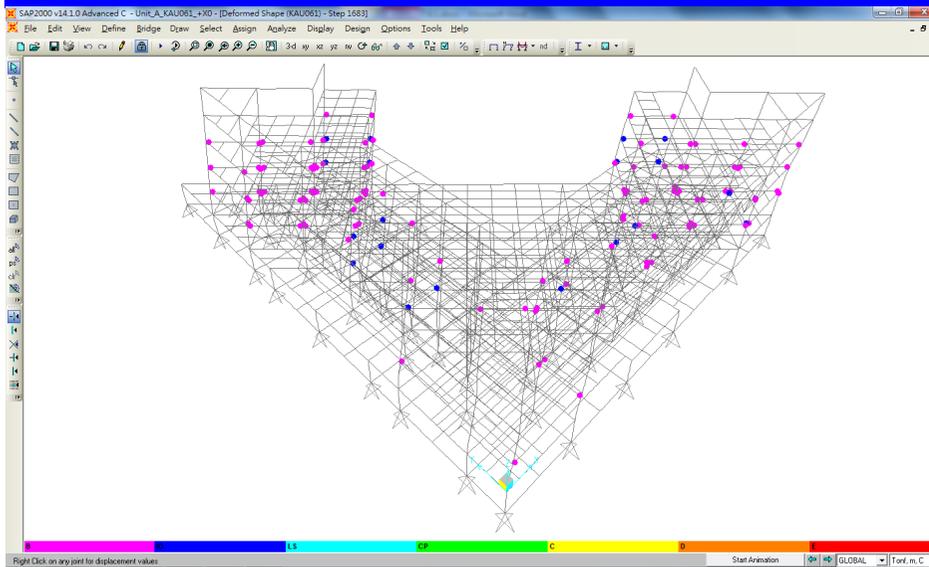


A 區 KAU058_X₀ 方向最大加速度下之塑鉸發展與屋頂變形圖

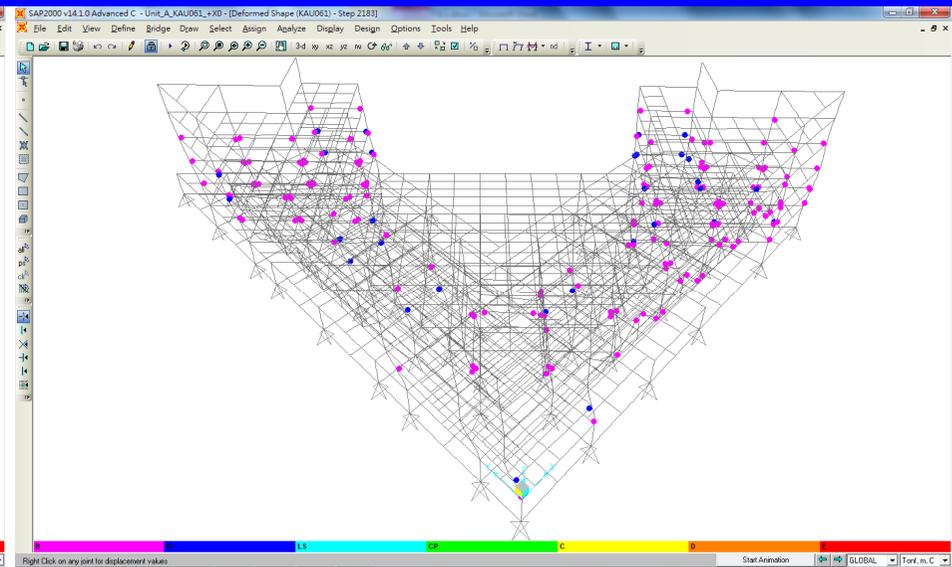
A區+X₀方向頂層最大反應(KAU061)



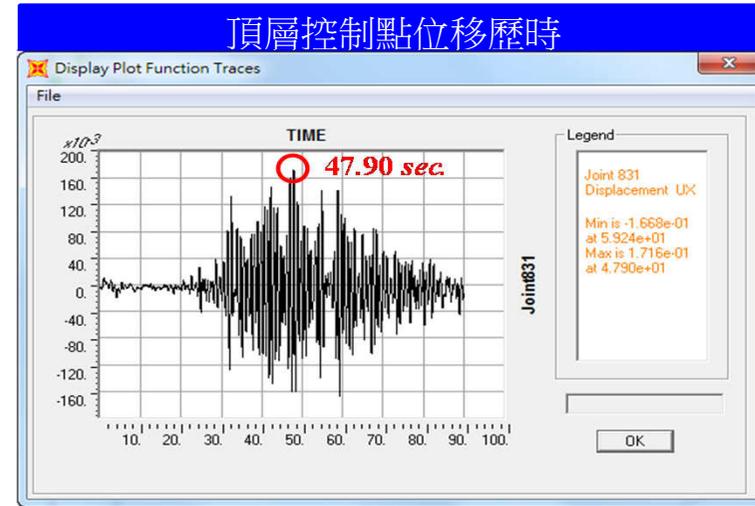
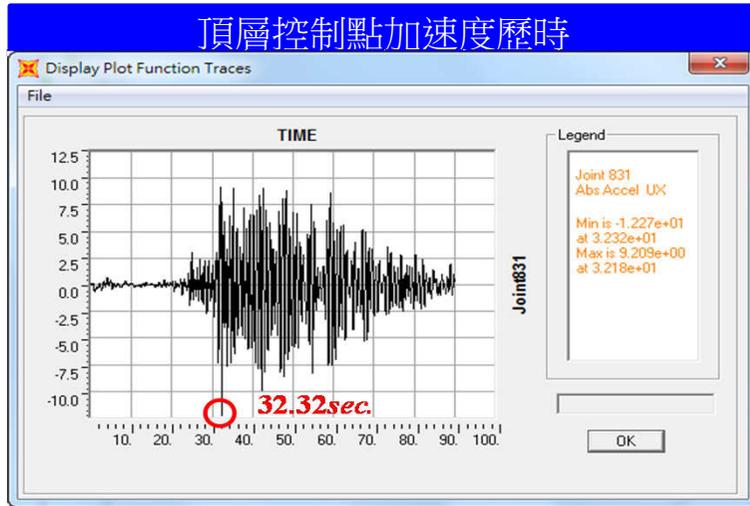
頂層控制點最大加速度時塑鉸分布



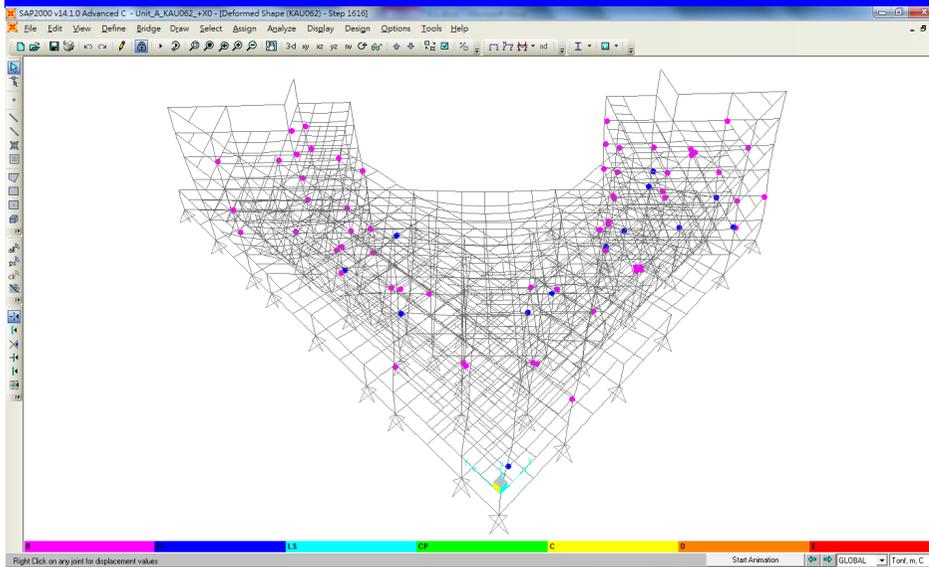
頂層控制點最大位移時塑鉸分布



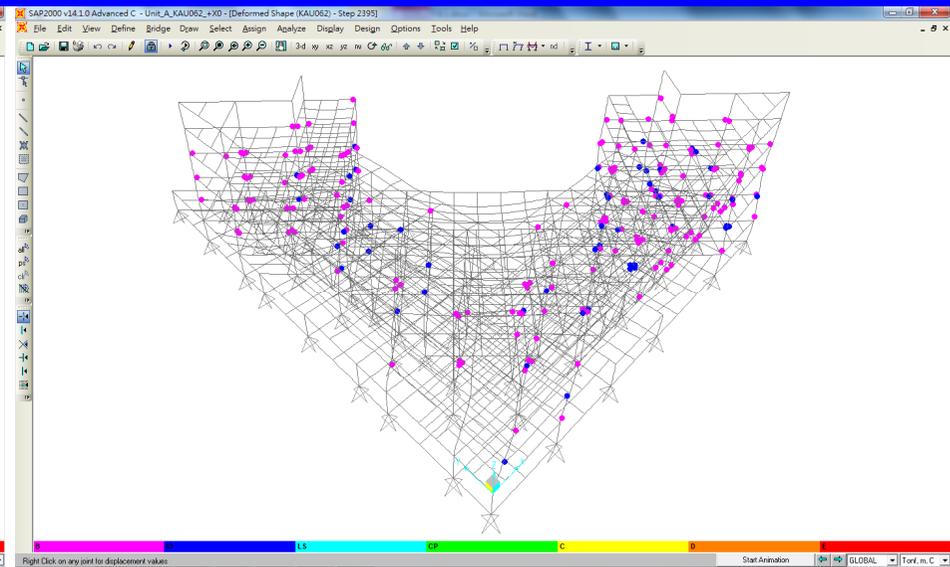
A區+X₀方向頂層最大反應(KAU062)



頂層控制點最大加速度時塑鉸分布

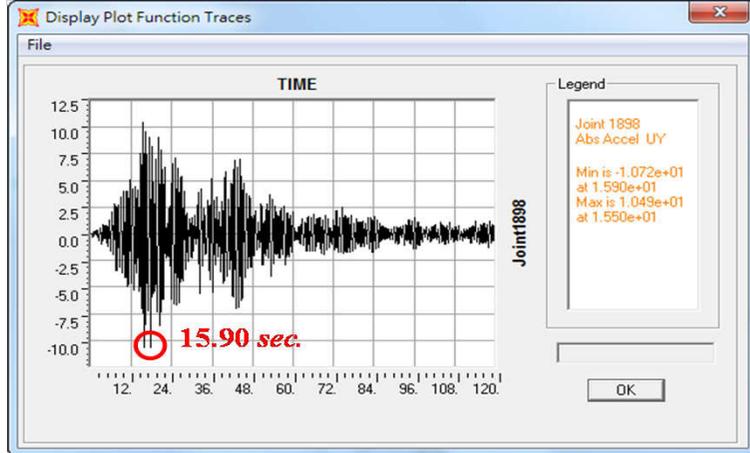


頂層控制點最大位移時塑鉸分布

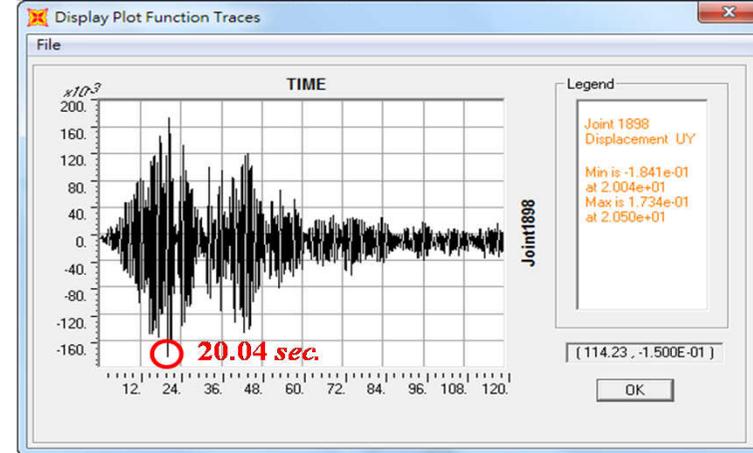


A區+X₄₅方向頂層最大反應(KAU058)

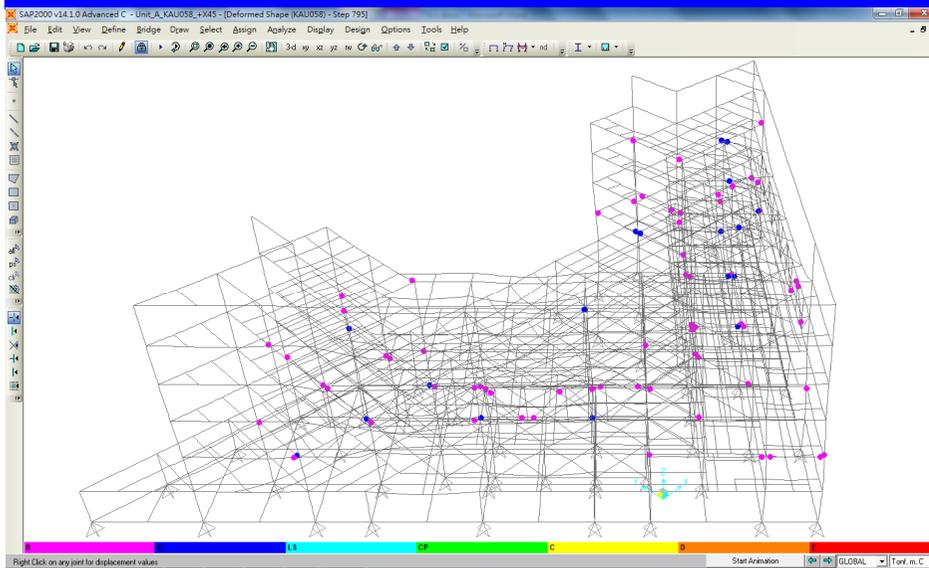
頂層控制點加速度歷時



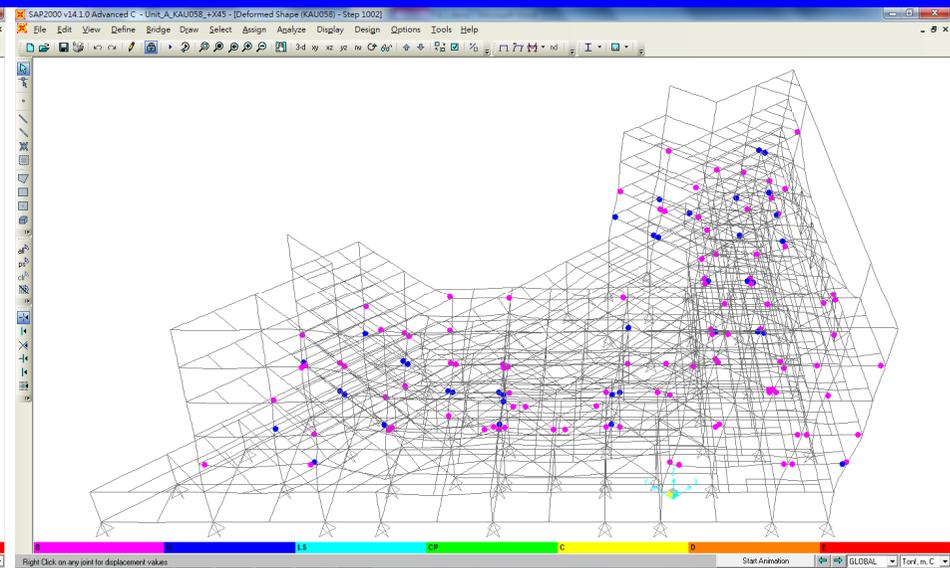
頂層控制點位移歷時



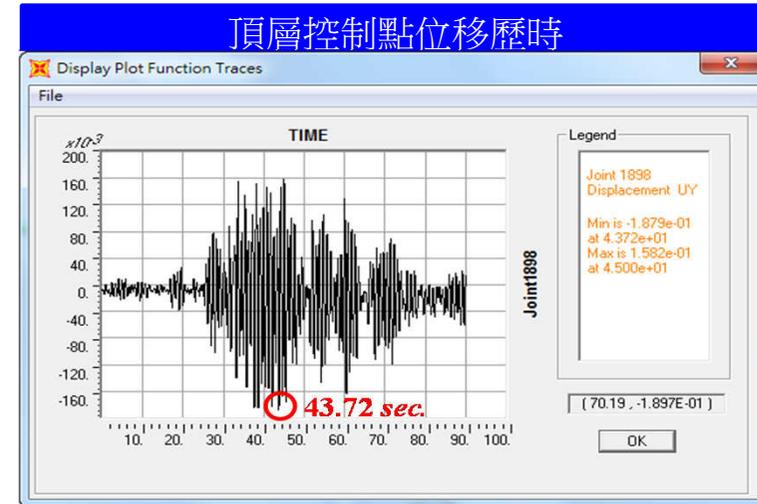
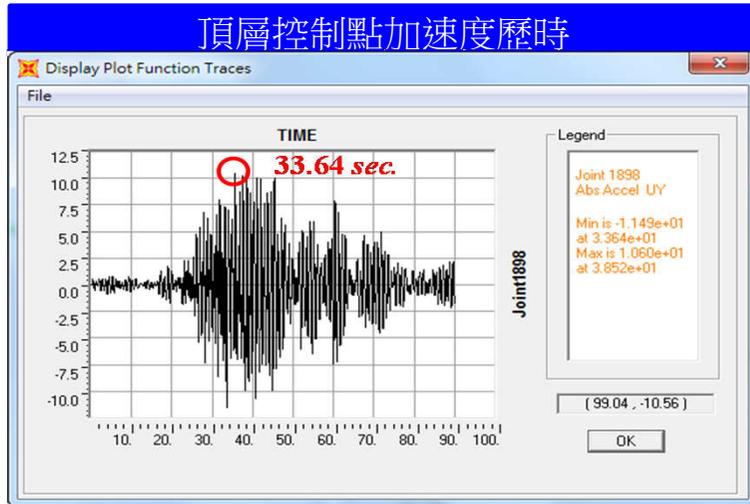
頂層控制點最大加速度時塑鉸分布



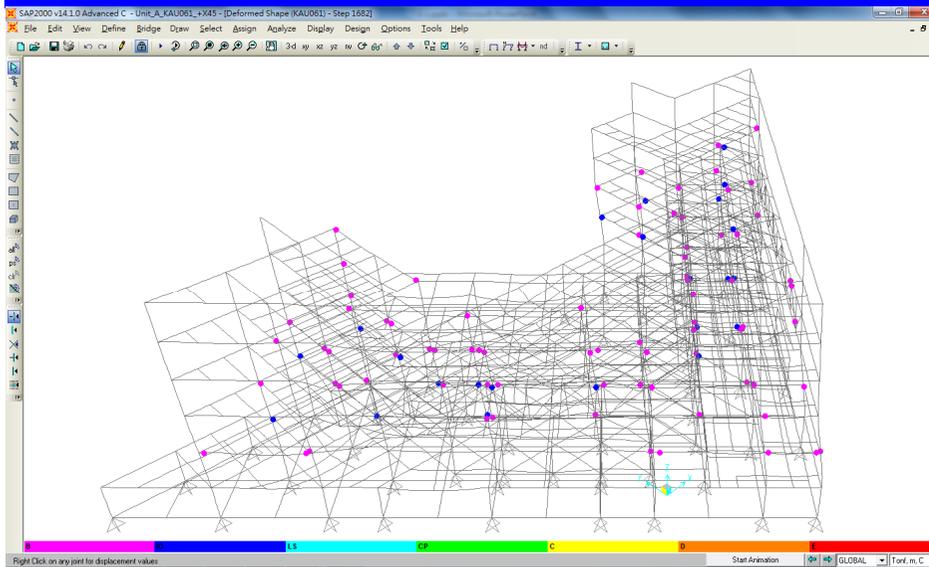
頂層控制點最大位移時塑鉸分布



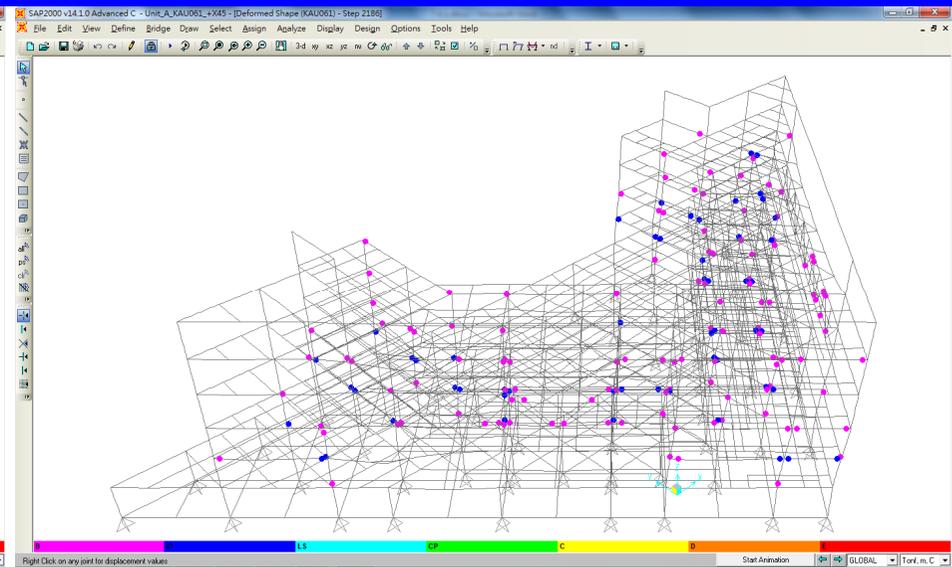
A區+X₄₅方向頂層最大反應(KAU061)



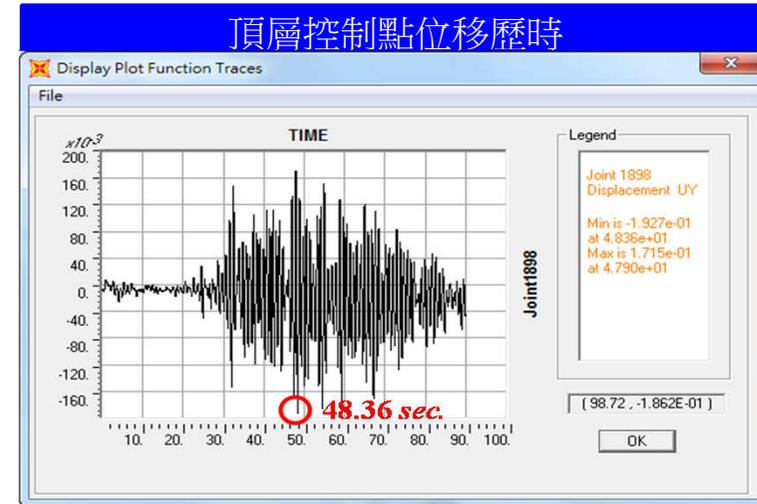
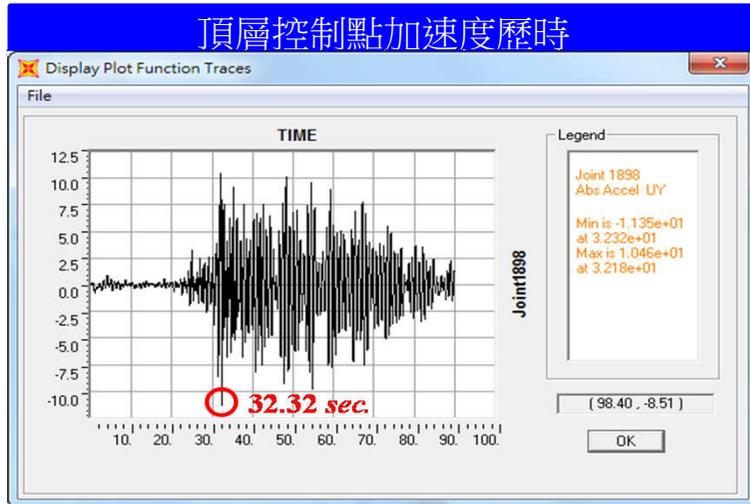
頂層控制點最大加速度時塑鉸分布



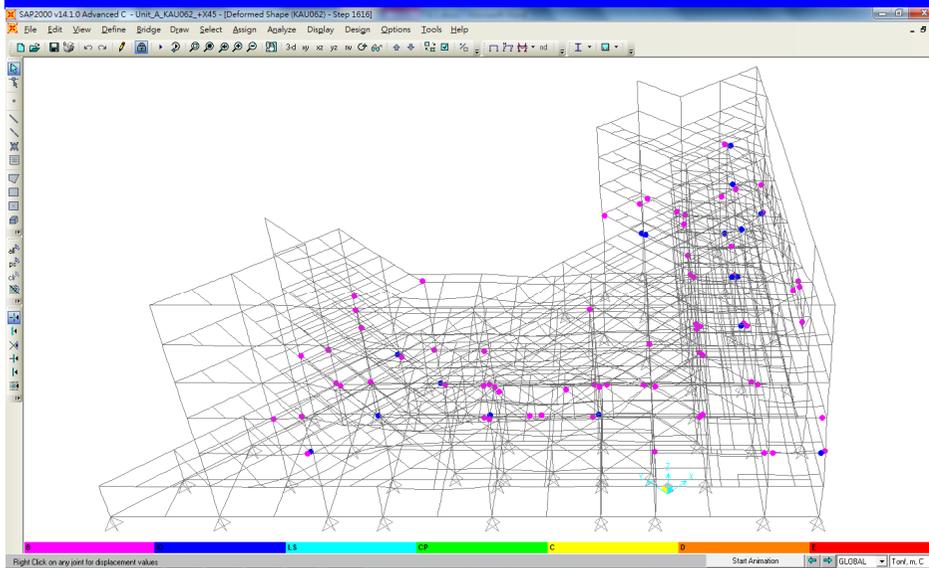
頂層控制點最大位移時塑鉸分布



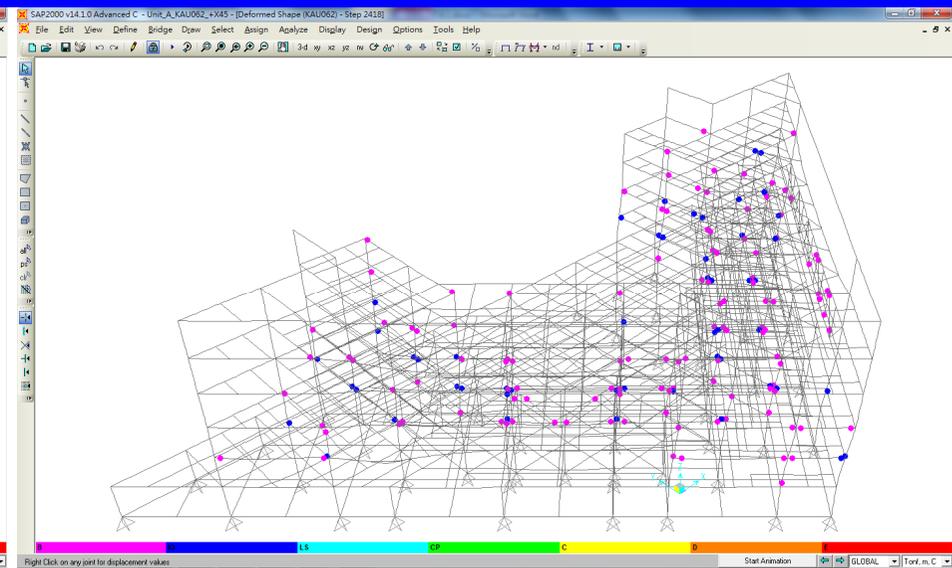
A區+X₄₅方向頂層最大反應(KAU062)



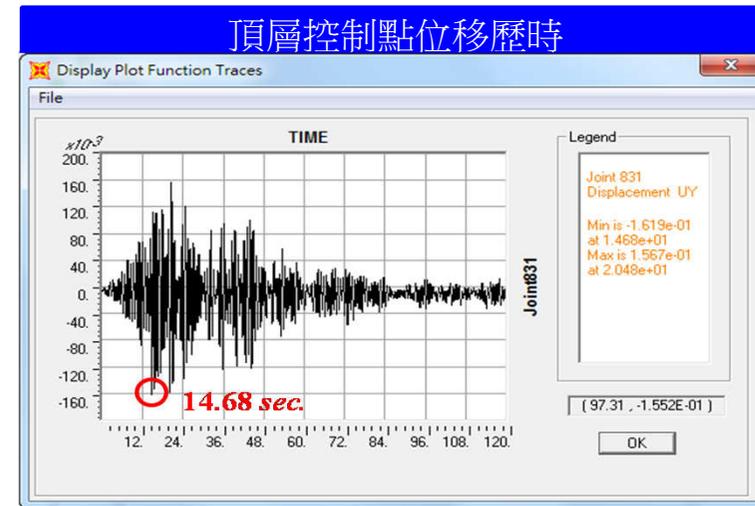
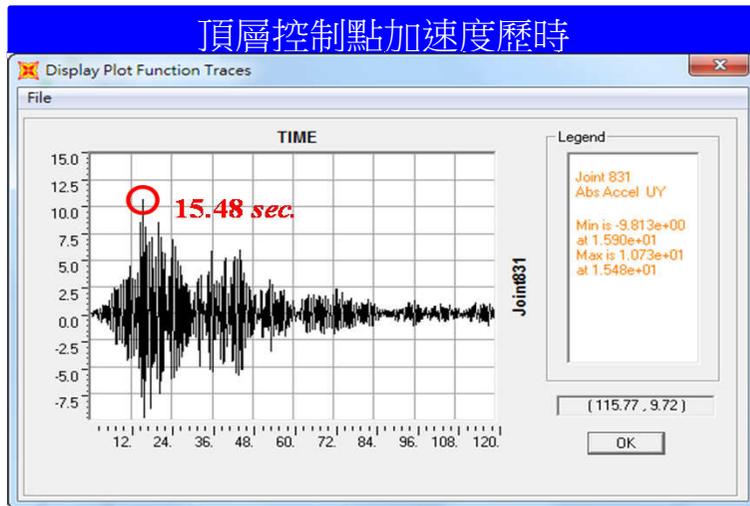
頂層控制點最大加速度時塑鉸分布



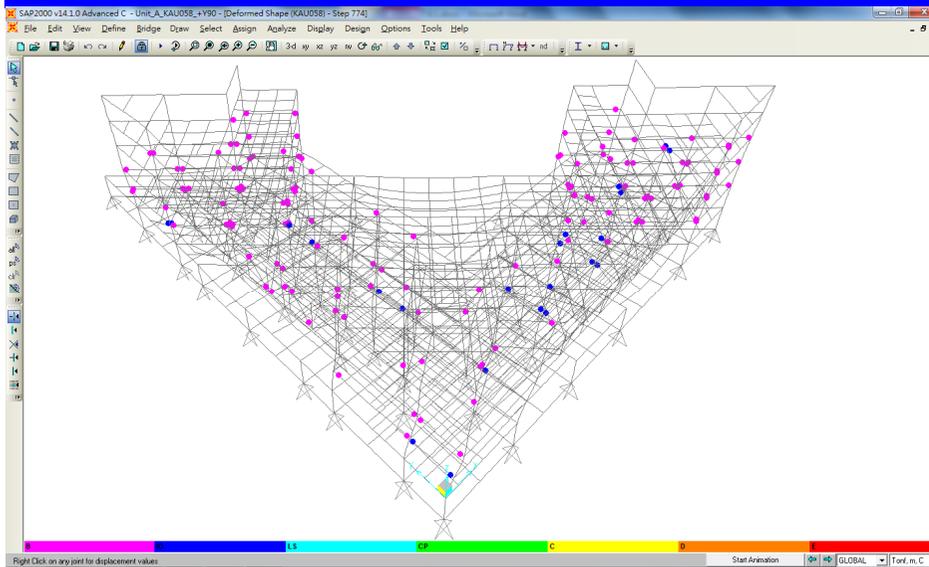
頂層控制點最大位移時塑鉸分布



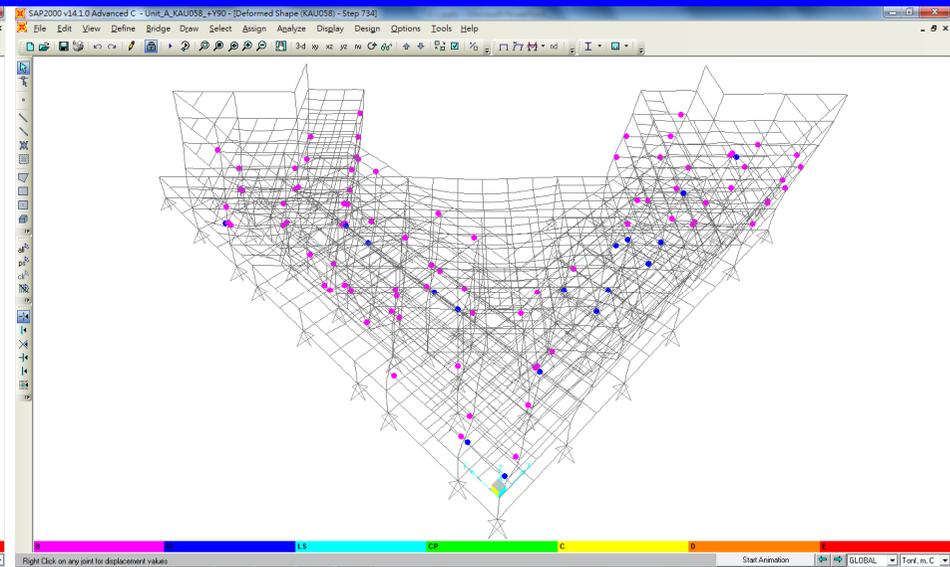
A區+Y₉₀方向頂層最大反應(KAU058)



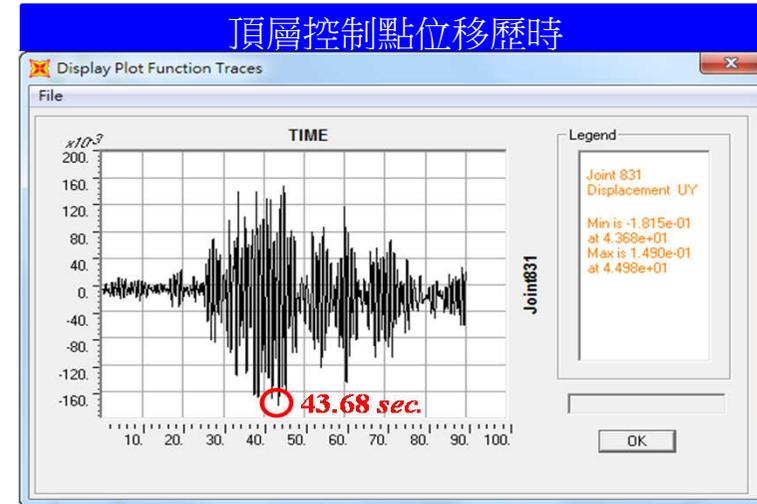
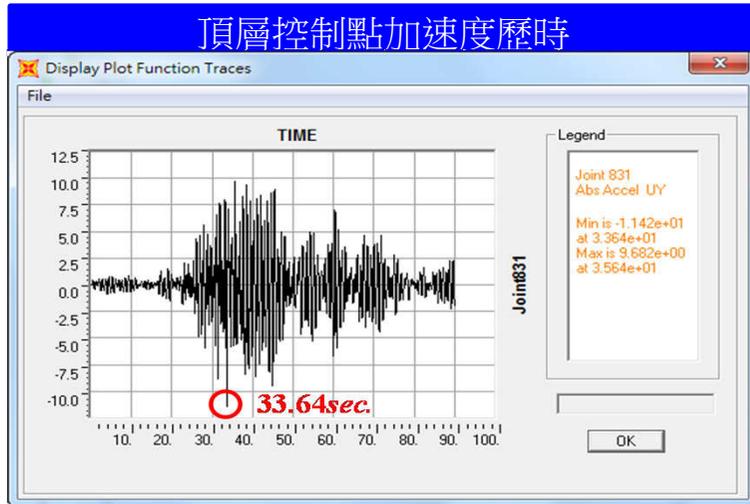
頂層控制點最大加速度時塑鉸分布



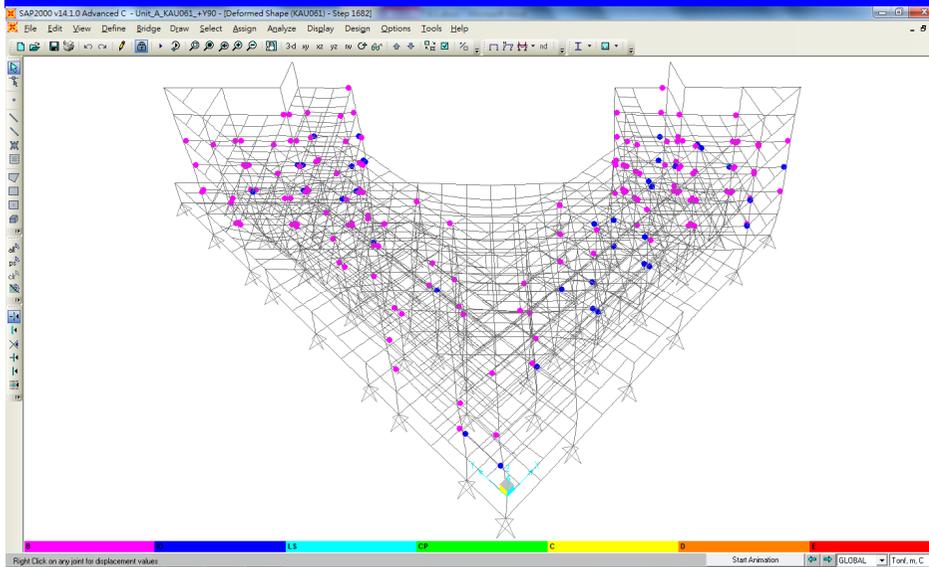
頂層控制點最大位移時塑鉸分布



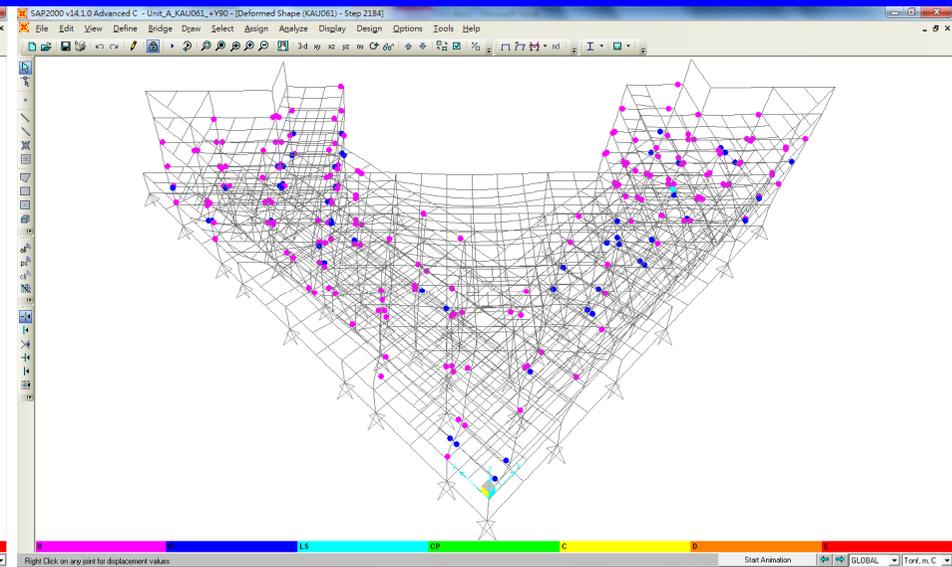
A區+Y₉₀方向頂層最大反應(KAU061)



頂層控制點最大加速度時塑鉸分布

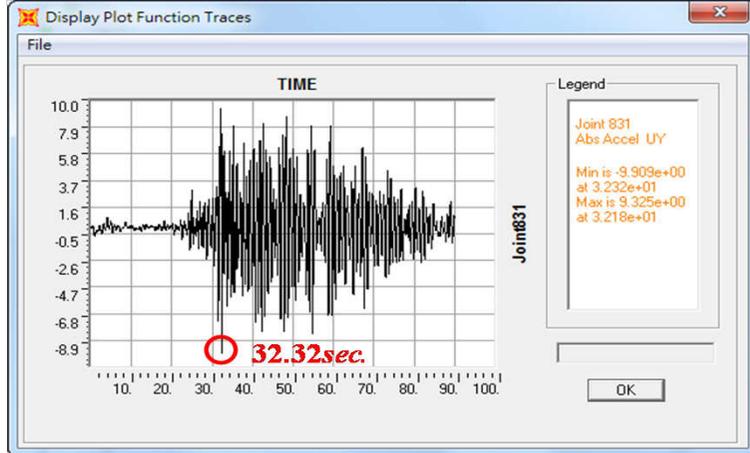


頂層控制點最大位移時塑鉸分布

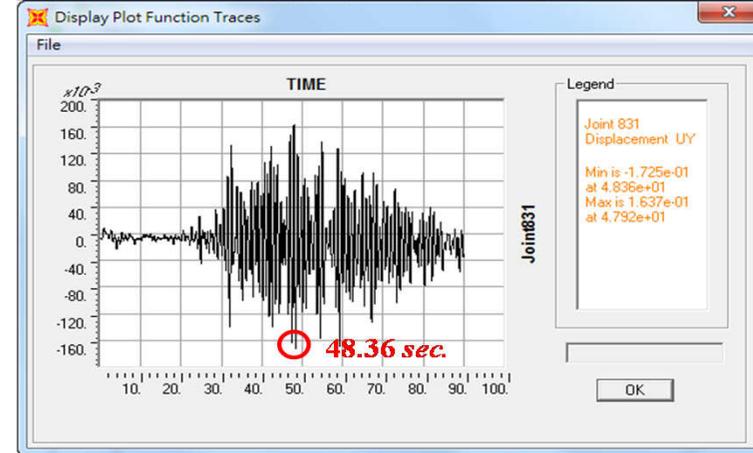


A區+Y₉₀方向頂層最大反應(KAU062)

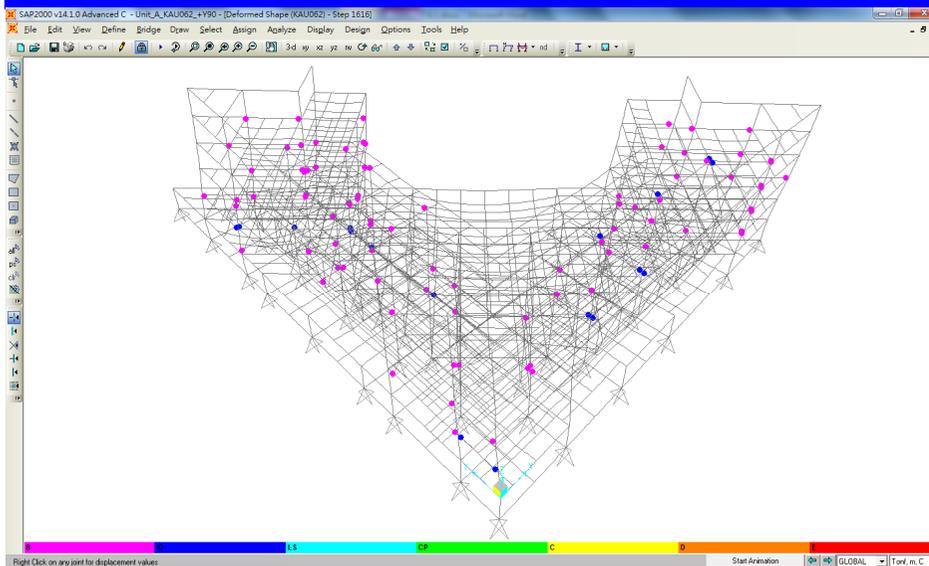
頂層控制點加速度歷時



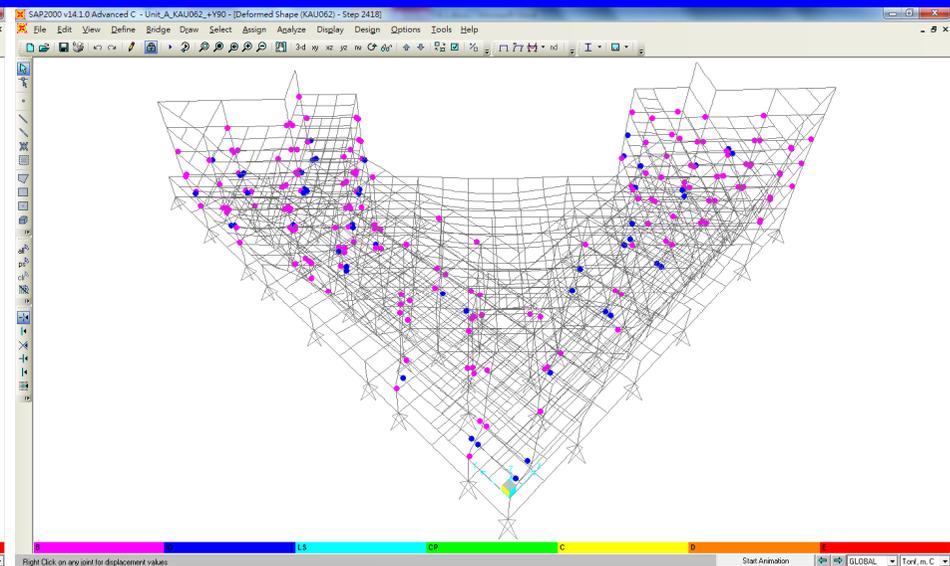
頂層控制點位移歷時



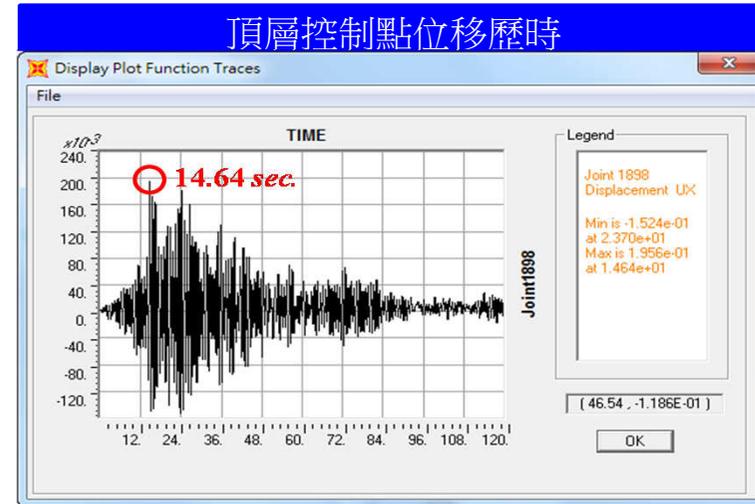
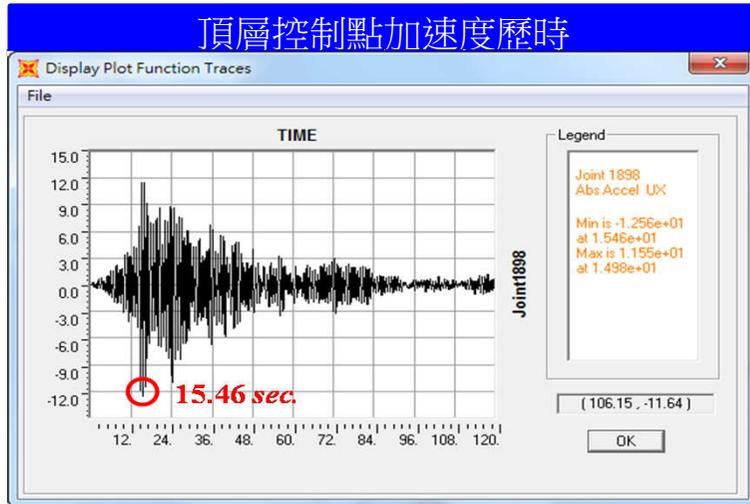
頂層控制點最大加速度時塑鉸分布



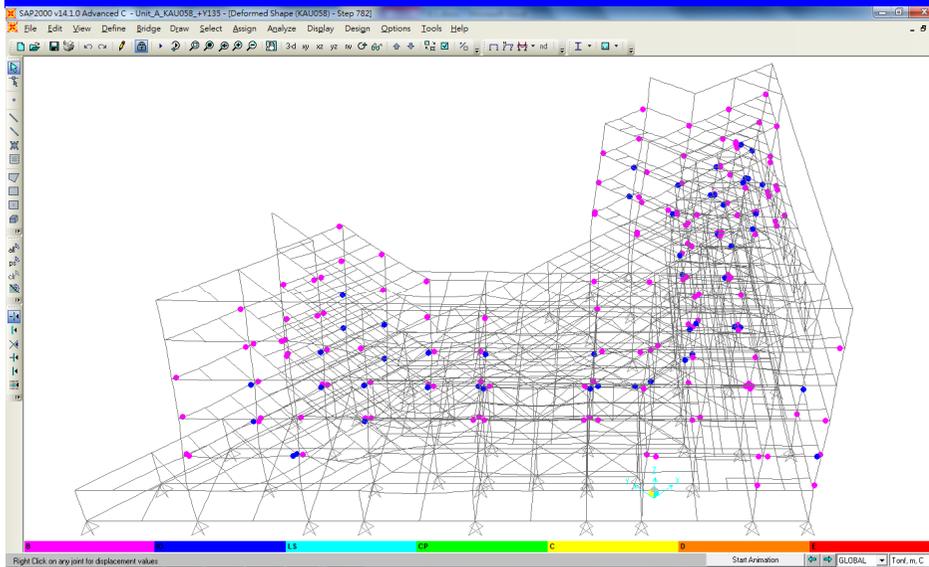
頂層控制點最大位移時塑鉸分布



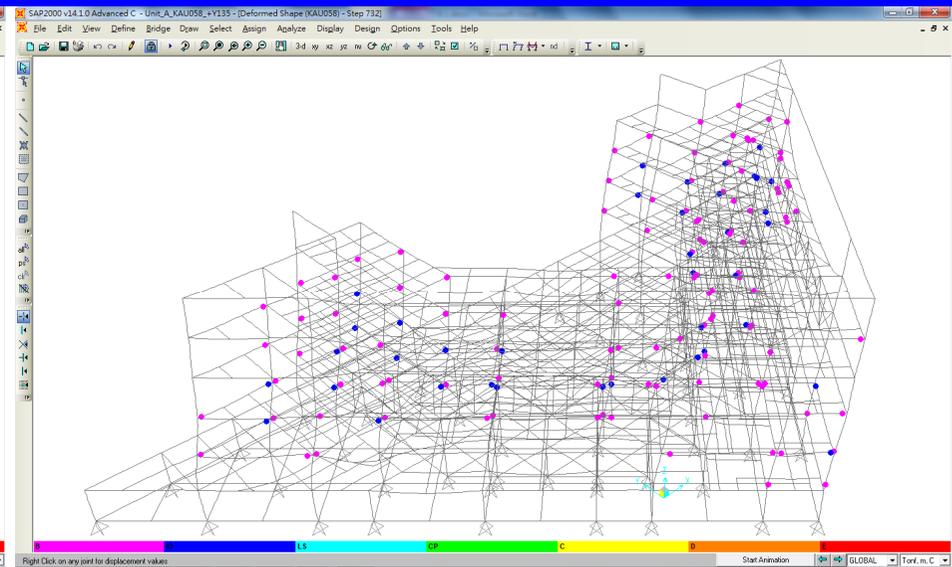
A區+Y₁₃₅方向頂層最大反應(KAU058)



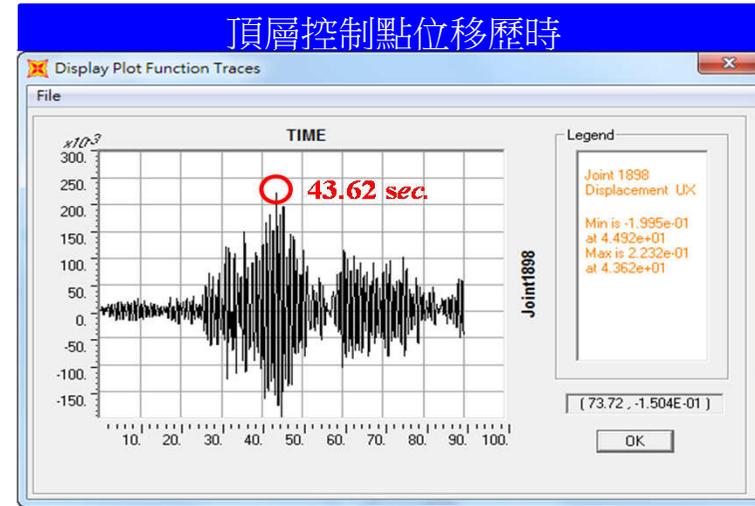
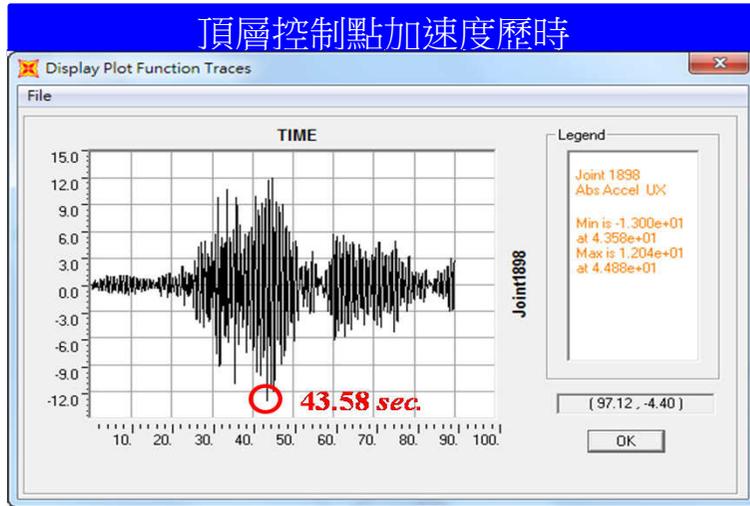
頂層控制點最大加速度時塑鉸分布



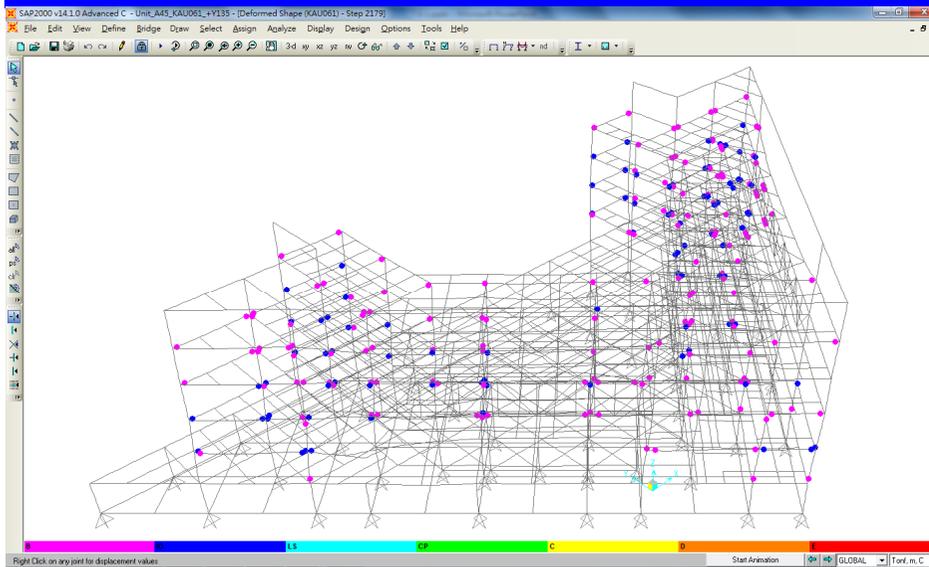
頂層控制點最大位移時塑鉸分布



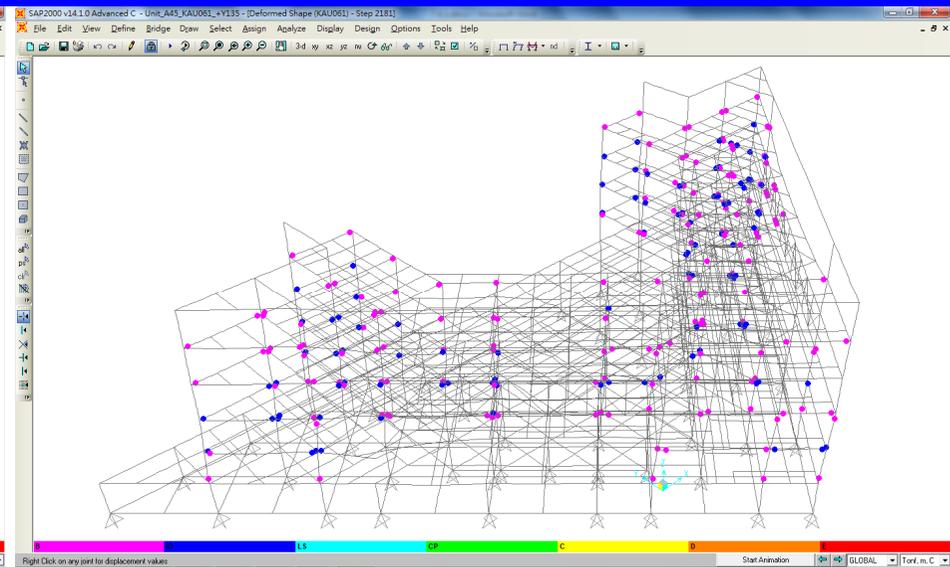
A區+Y₁₃₅方向頂層最大反應(KAU061)



頂層控制點最大加速度時塑鉸分布

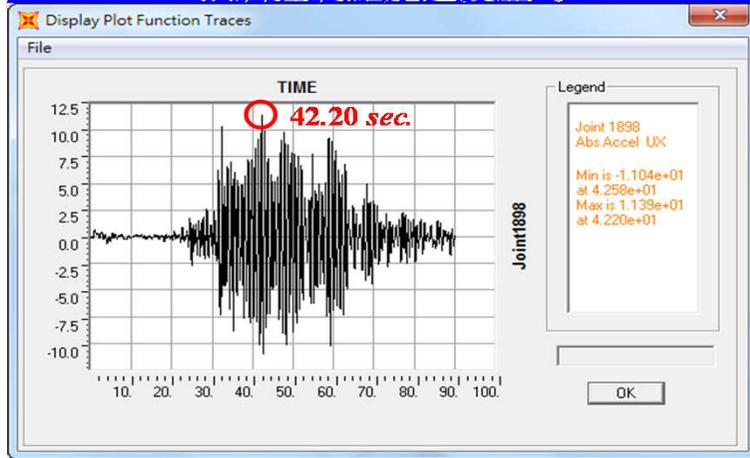


頂層控制點最大位移時塑鉸分布

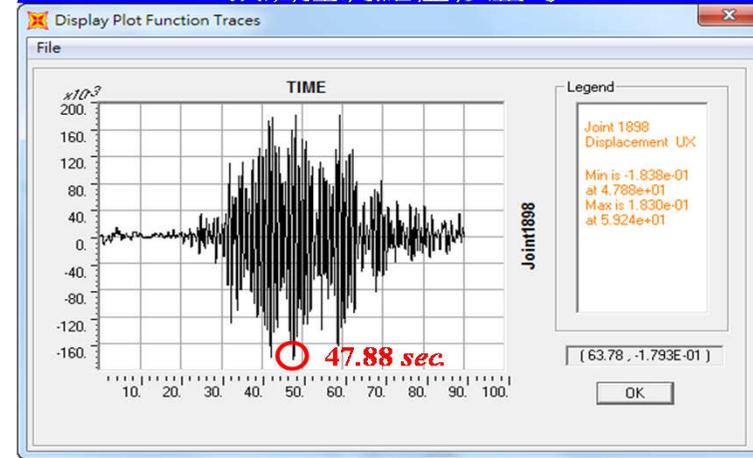


A區+Y₁₃₅方向頂層最大反應(KAU062)

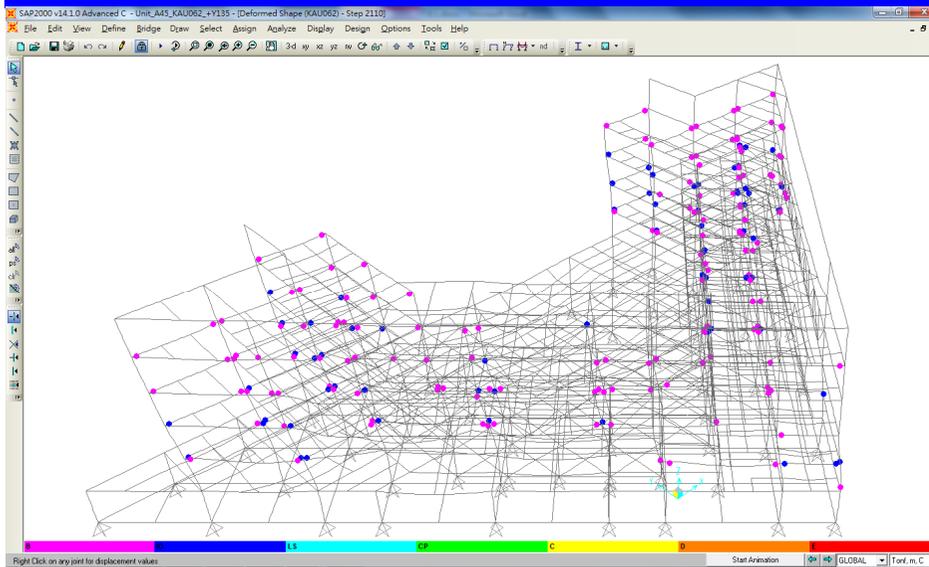
頂層控制點加速度歷時



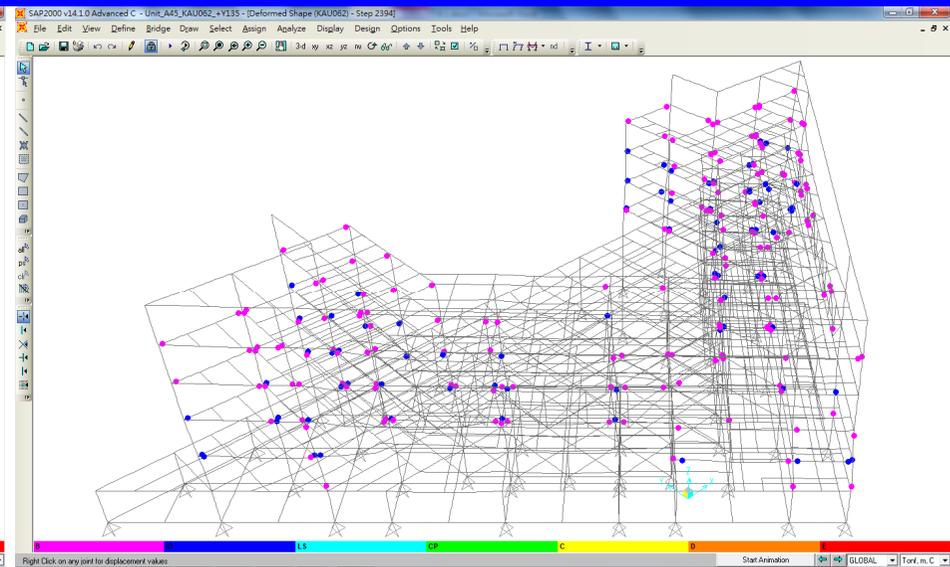
頂層控制點位移歷時



頂層控制點最大加速度時塑鉸分布

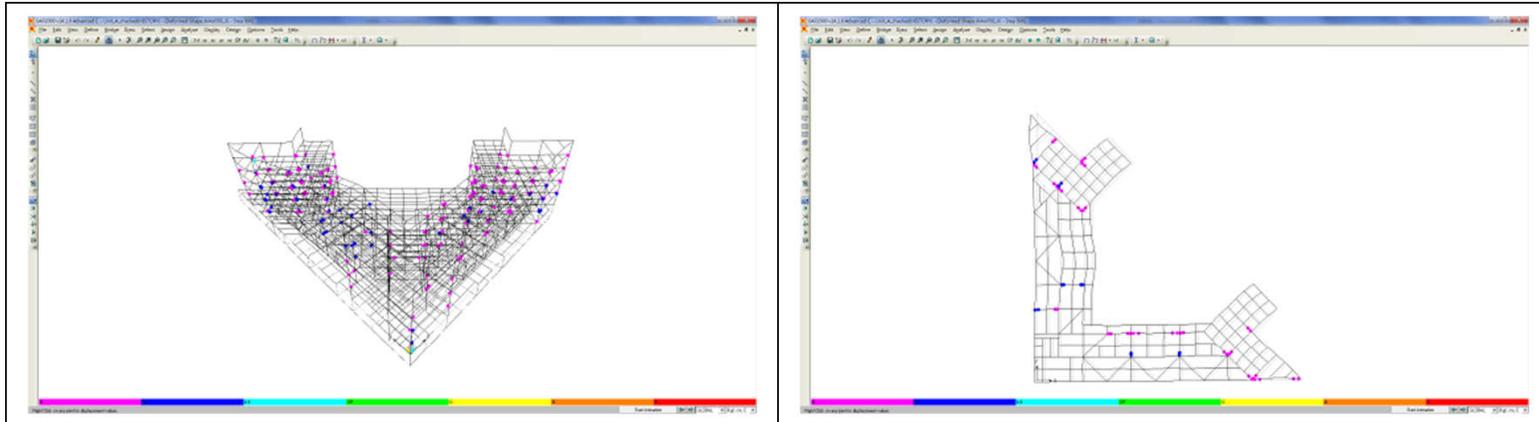


頂層控制點最大位移時塑鉸分布

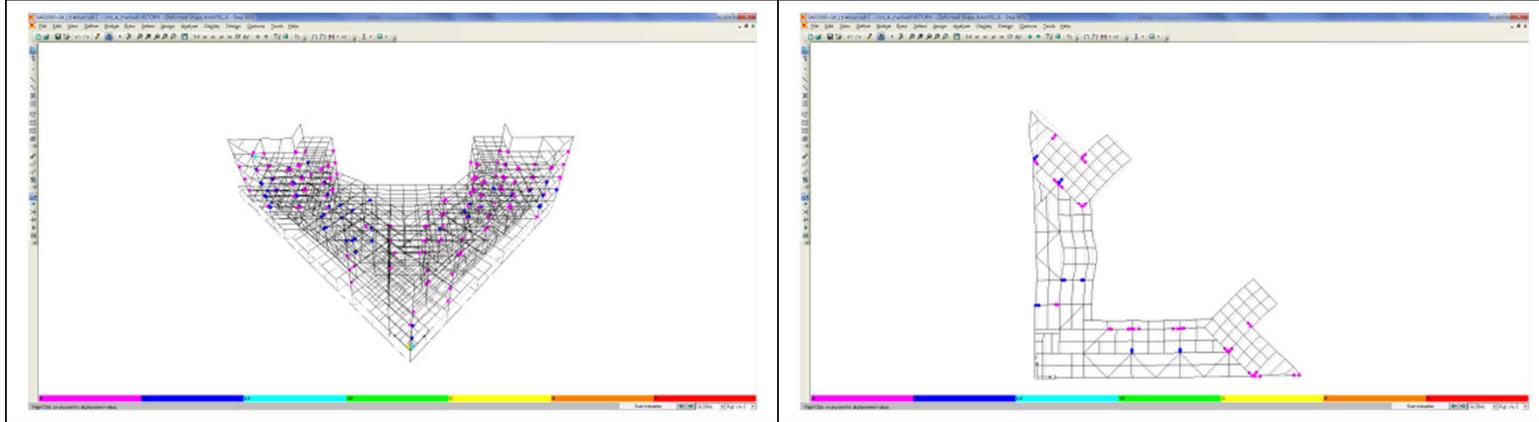


◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(塑鉸發展圖)



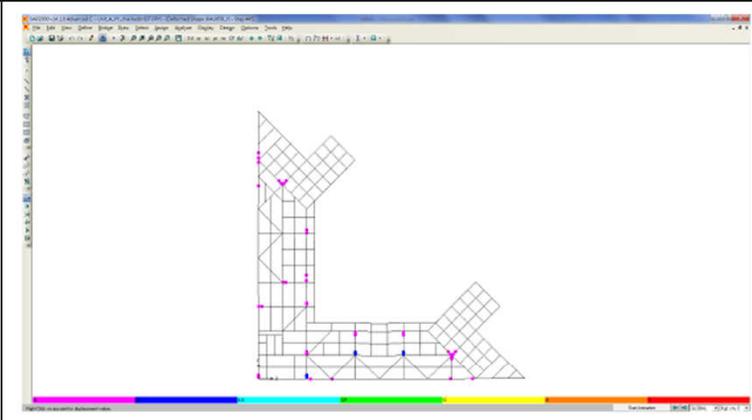
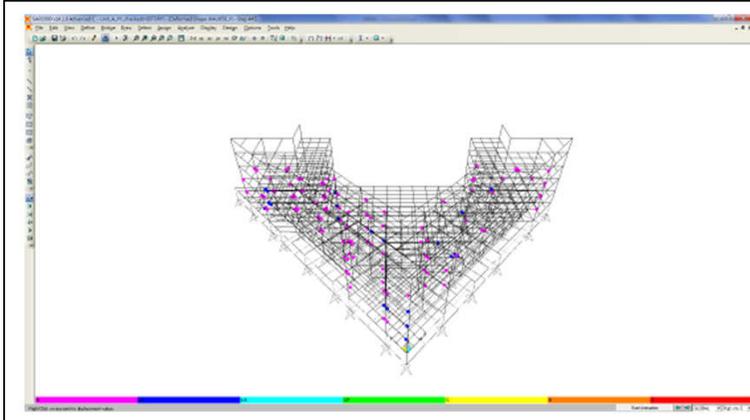
A 區 KAU058_X₀ 方向最大位移下之塑鉸發展與屋頂變形圖



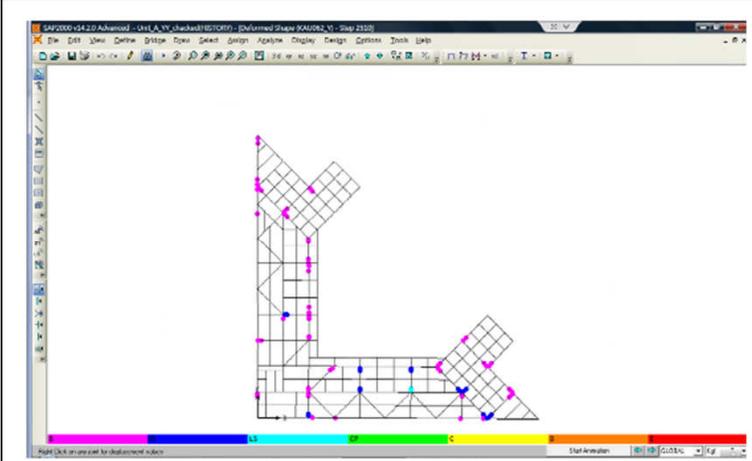
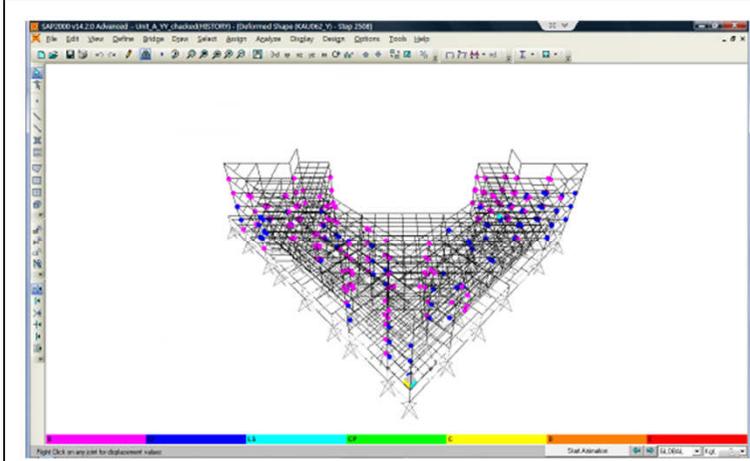
A 區 KAU058_X₀ 方向最大加速度下之塑鉸發展與屋頂變形圖

◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(塑鉸發展圖)



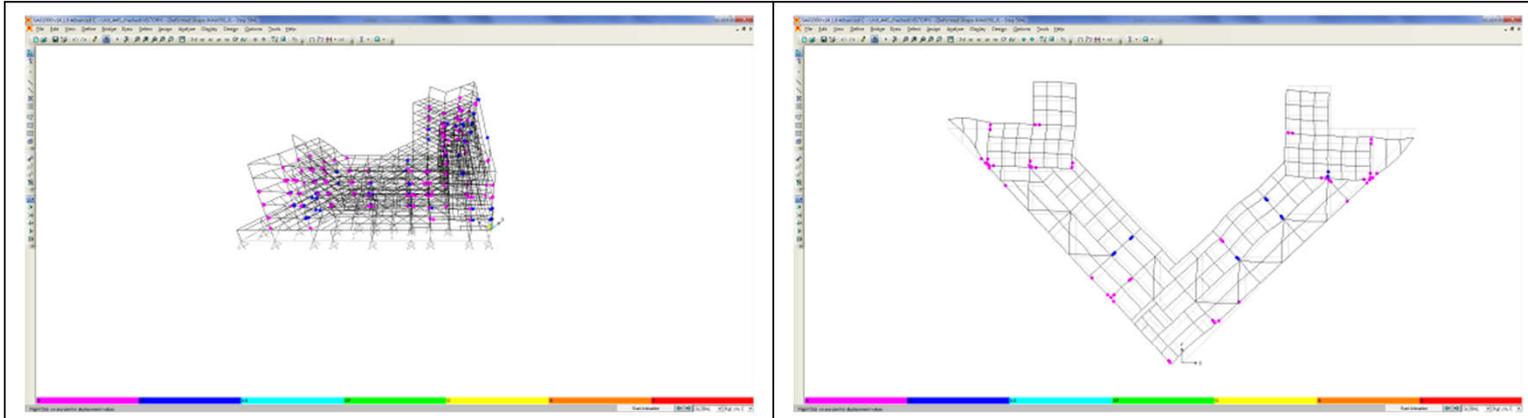
A 區 KAU058_Y₉₀ 方向最大位移下之塑鉸發展與屋頂變形圖



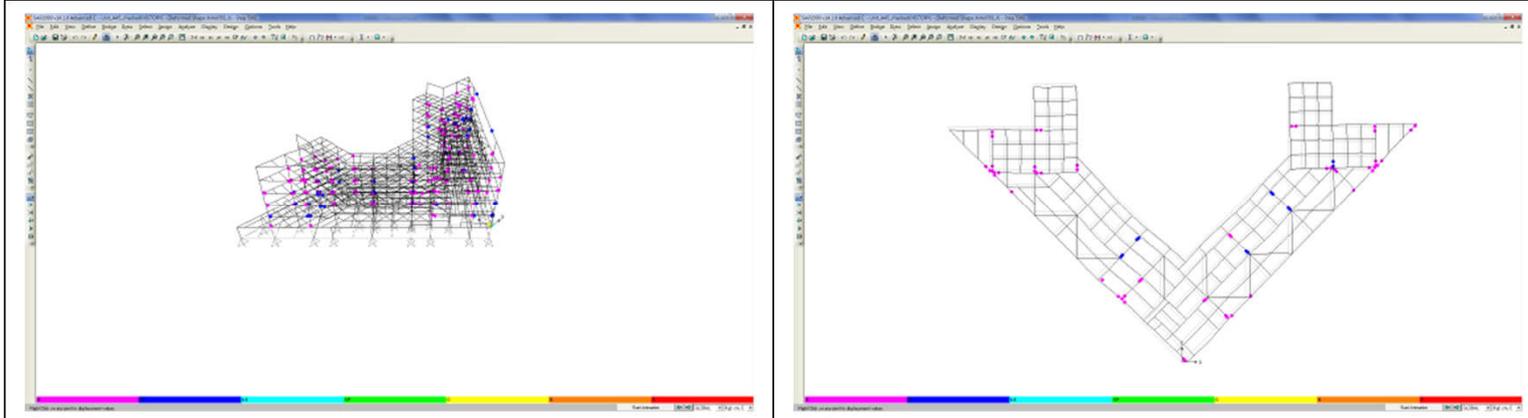
A 區 KAU058_Y₉₀ 方向最大加速度下之塑鉸發展與屋頂變形圖

◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(塑鉸發展圖)



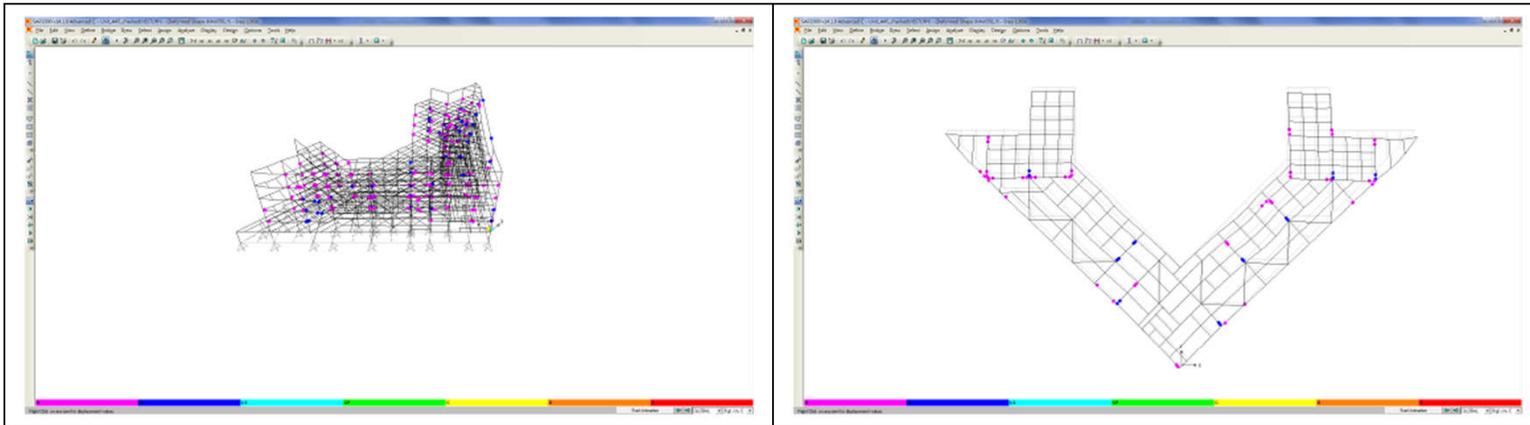
A 區 KAU058_X₄₅ 方向最大位移下之塑鉸發展與屋頂變形圖



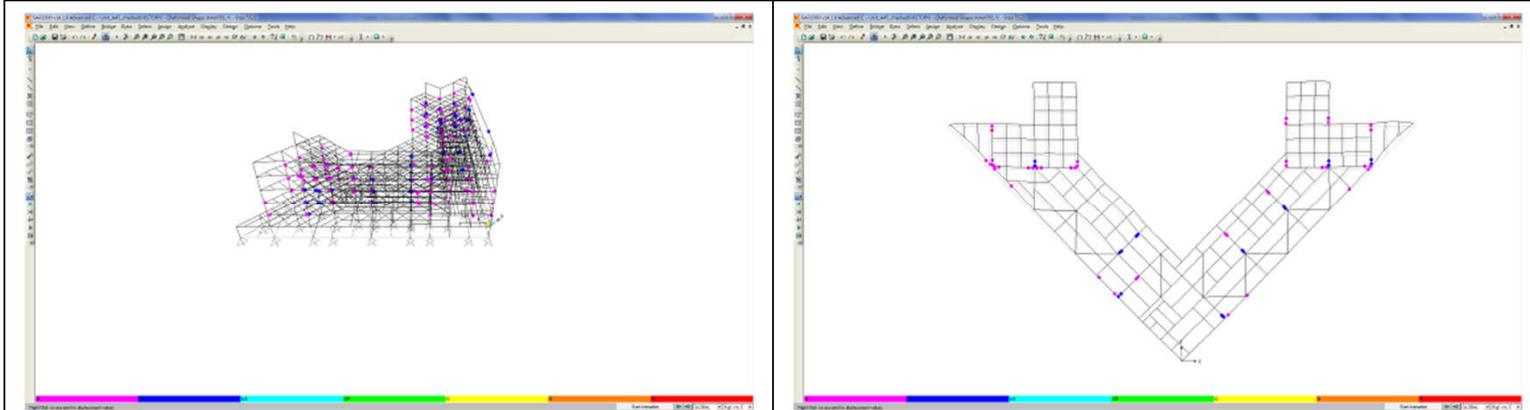
A 區 KAU058_X₄₅ 方向最大加速度下之塑鉸發展與屋頂變形圖

◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(塑鉸發展圖)



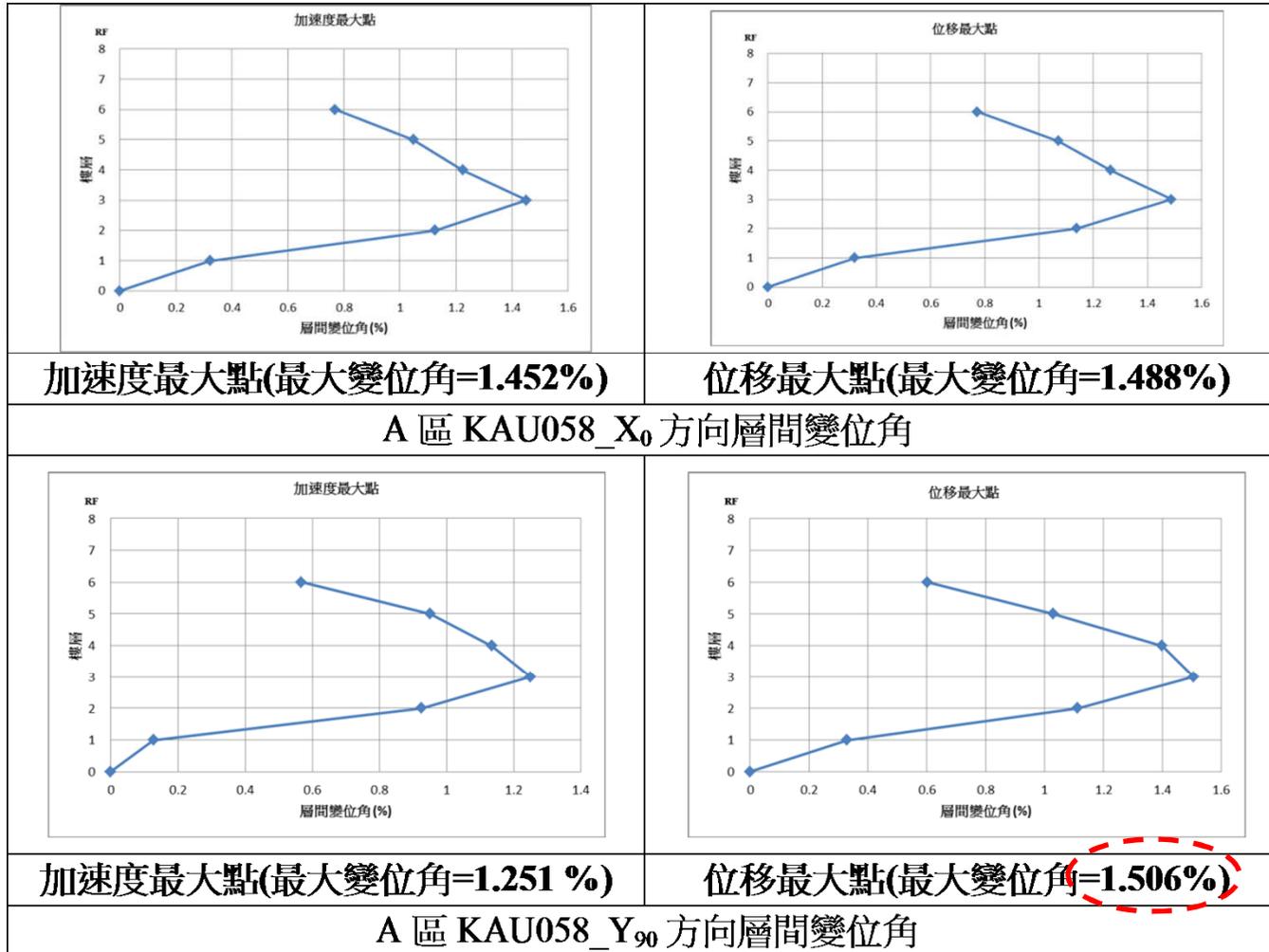
A 區 KAU058_Y₁₃₅ 方向最大位移下之塑鉸發展與屋頂變形圖



A 區 KAU058_Y₁₃₅ 方向最大加速度下之塑鉸發展與屋頂變形圖

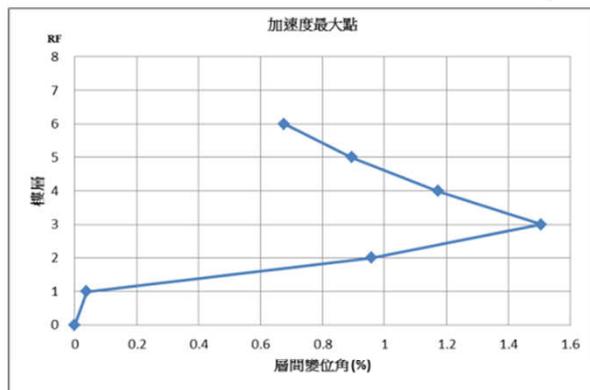
◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(層間變位角)

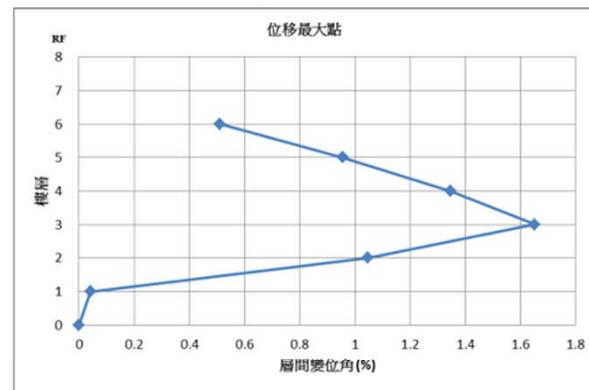


◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟歷時分析成果(層間變位角)

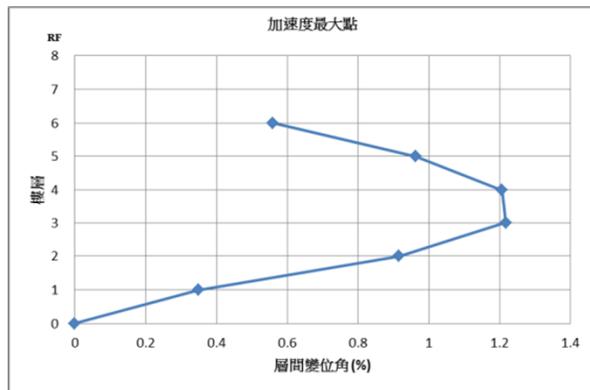


加速度最大點(最大變位角=1.451%)

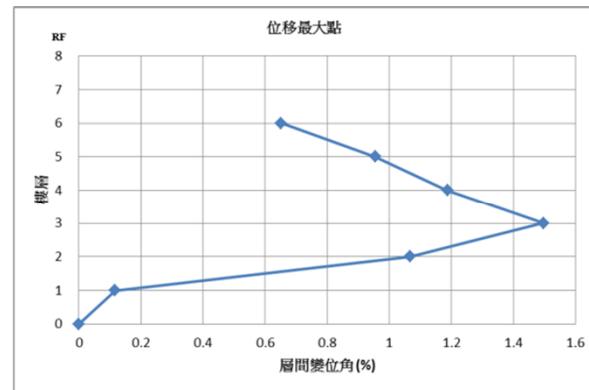


位移最大點(最大變位角=1.648%)

A 區 KAU058_X₄₅ 方向層間變位角



加速度最大點(最大變位角=1.205%)

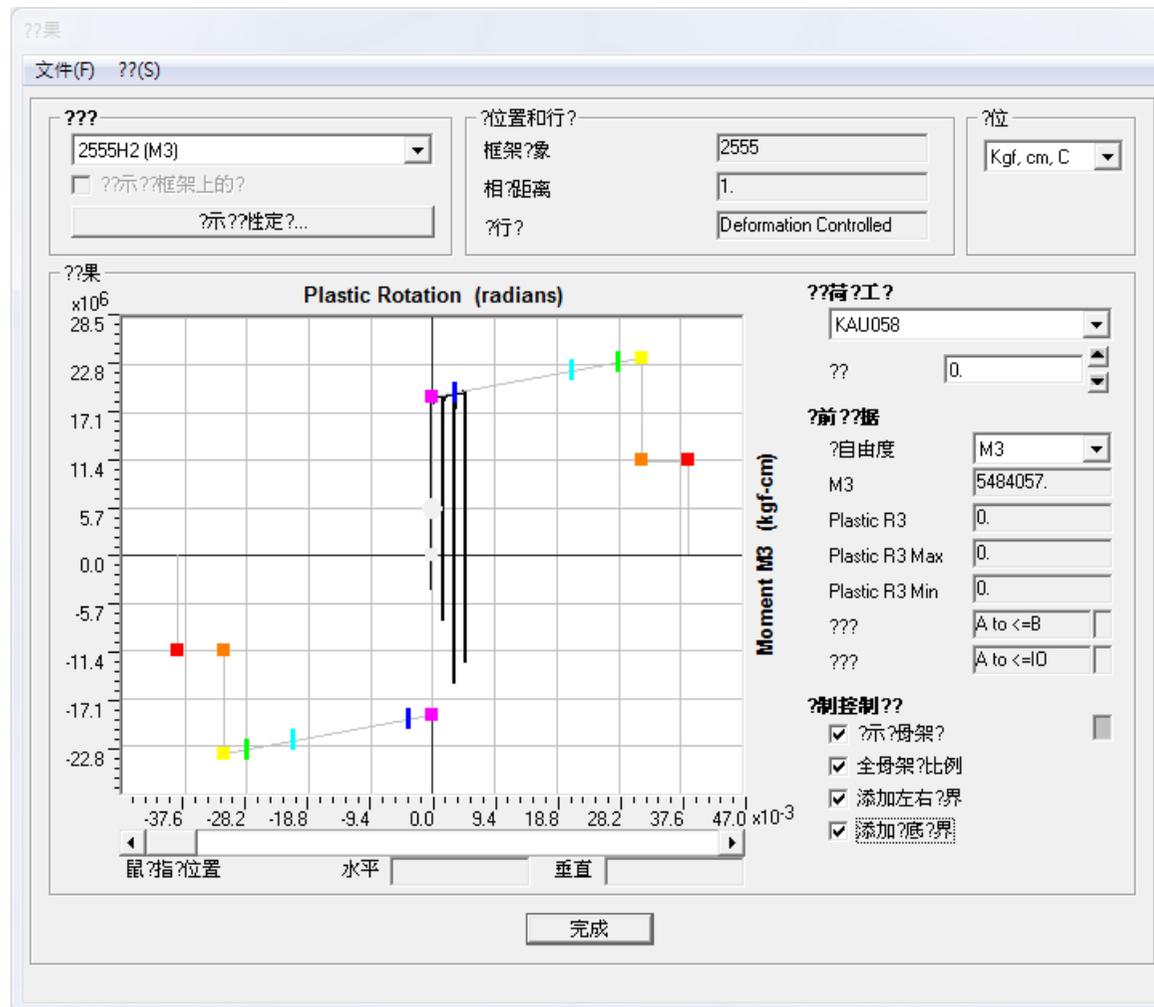


位移最大點(最大變位角=1.497%)

A 區 KAU058_Y₁₃₅ 方向層間變位角

◆ 國立科學工藝博物館

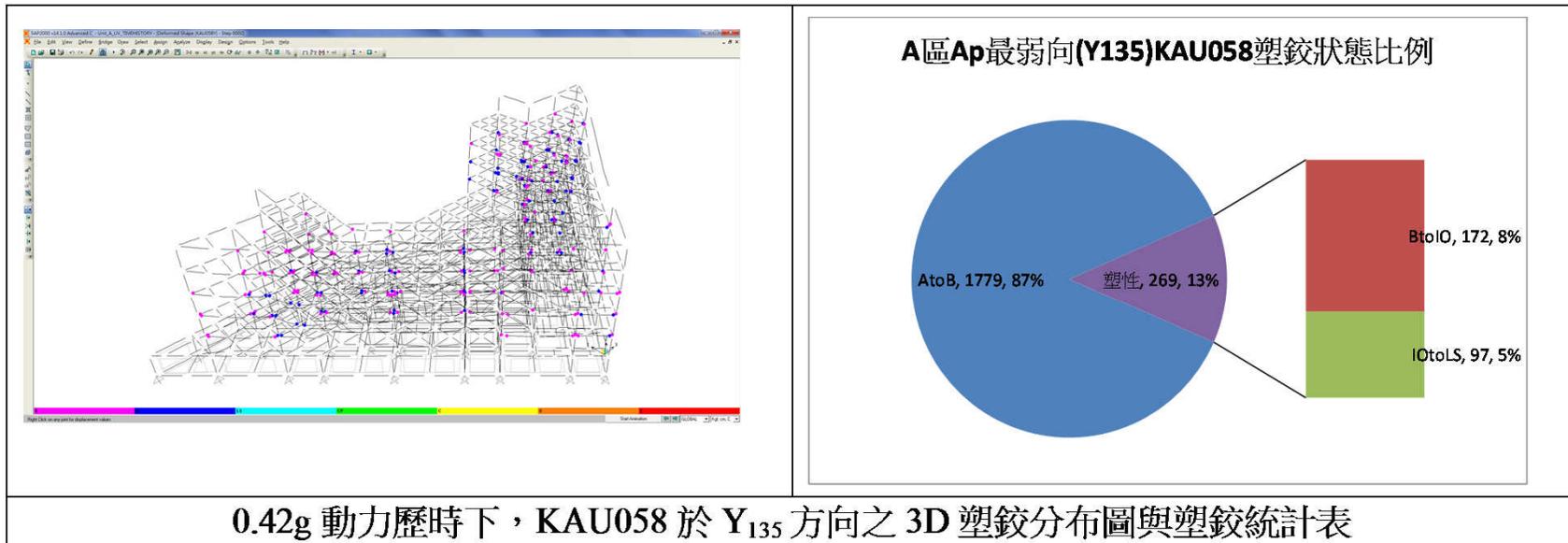
➤ A棟歷時分析成果(0.36g 塑鉸發展圖)



◆ 國立科學工藝博物館

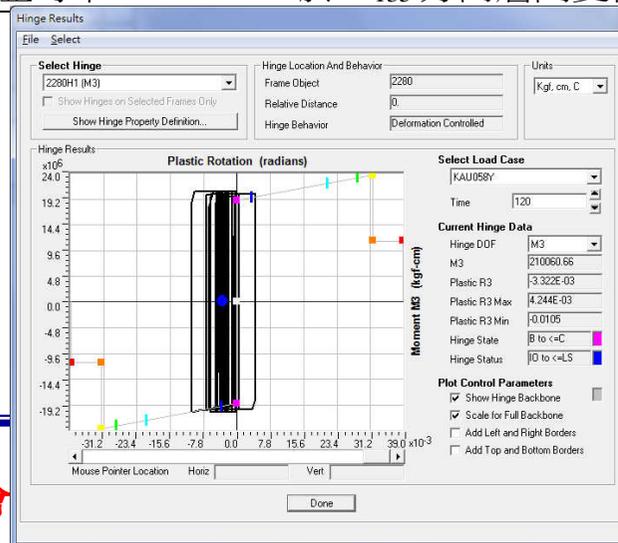
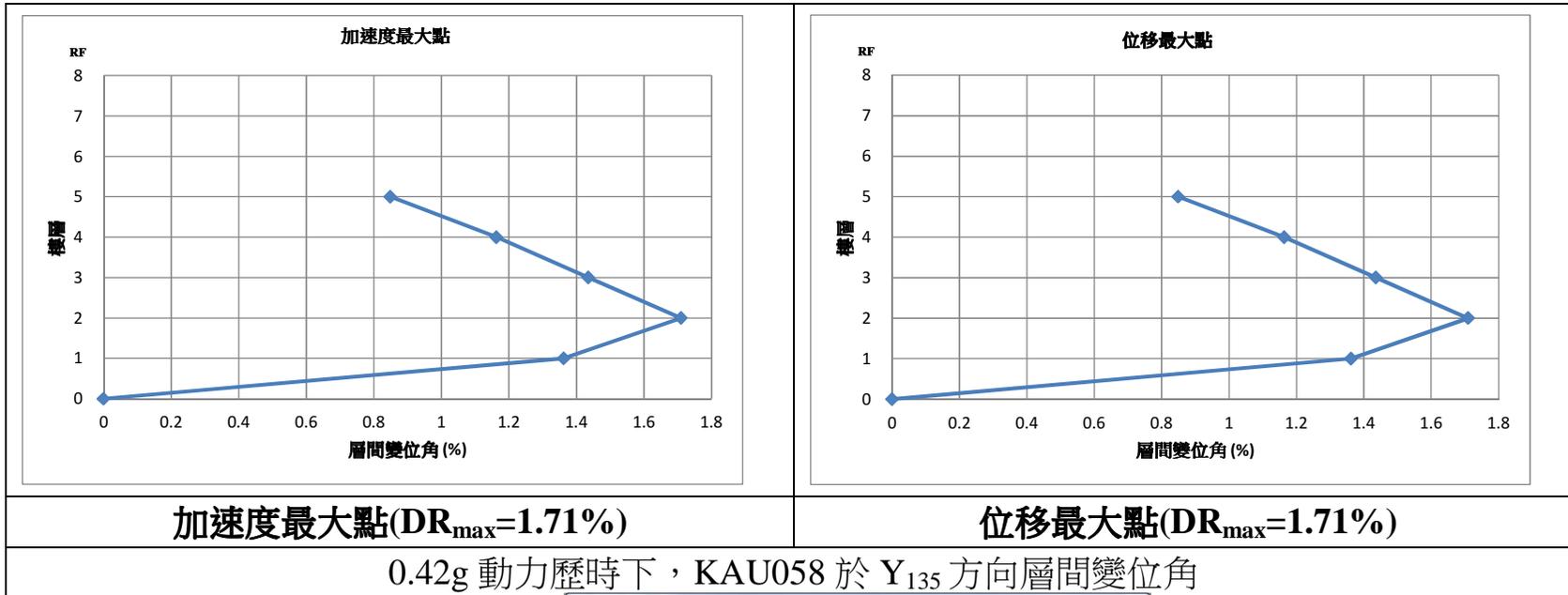
➤ A棟靜力側推與動力歷時分析成果

比較側推分析與動力分析所得現況耐震結果之差異性，以A區現況耐震能力 $A_p=0.42g$ ($-Y_{135}$ 方向)調整動力歷時規模為 $0.42g$ ，並以 Y_{135} 方向作為動力歷時作用方向。調整後動力歷時分析結果如下圖。

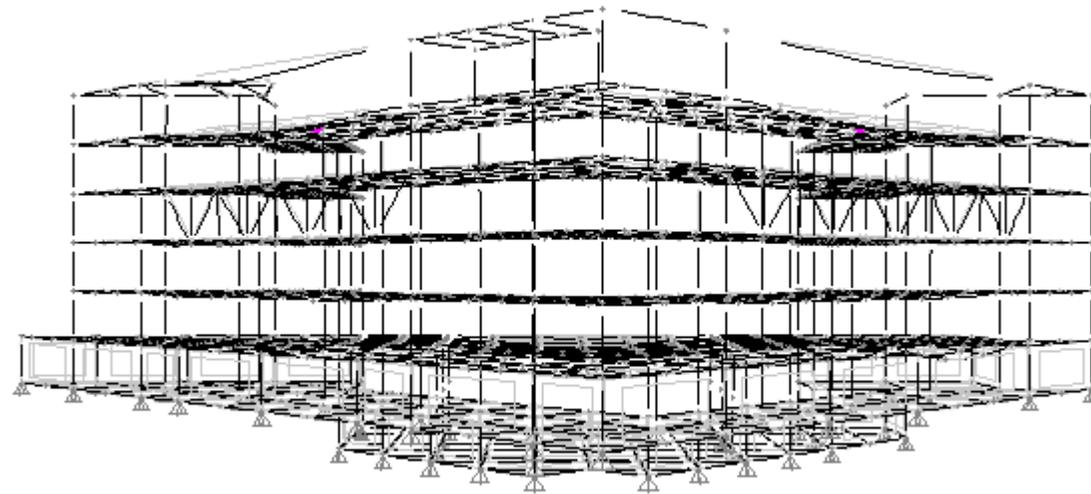


◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟靜力側推與動力歷時分析成果

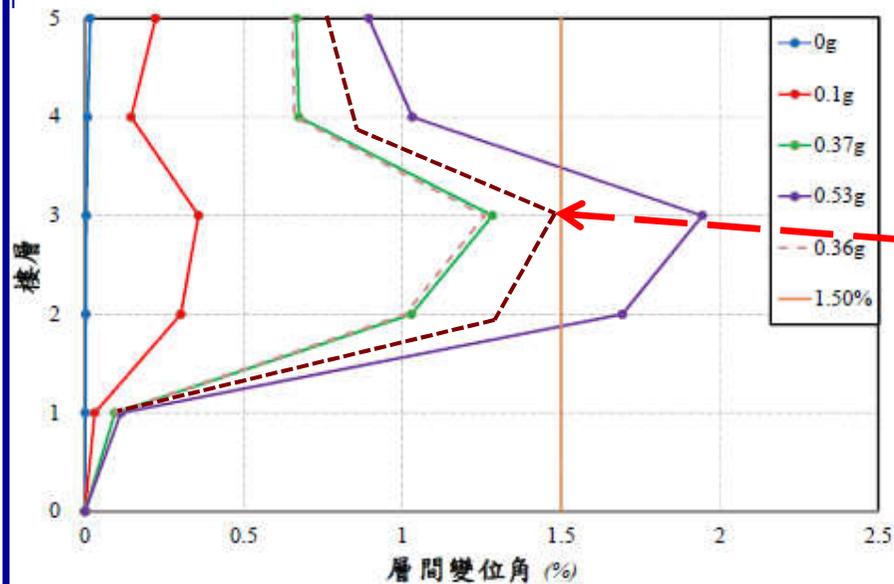


SAP2000 Filename: Unit_A_UV_TIMEHISTORY.sdb Deformed Shape Case: KAU062Y Time 0.

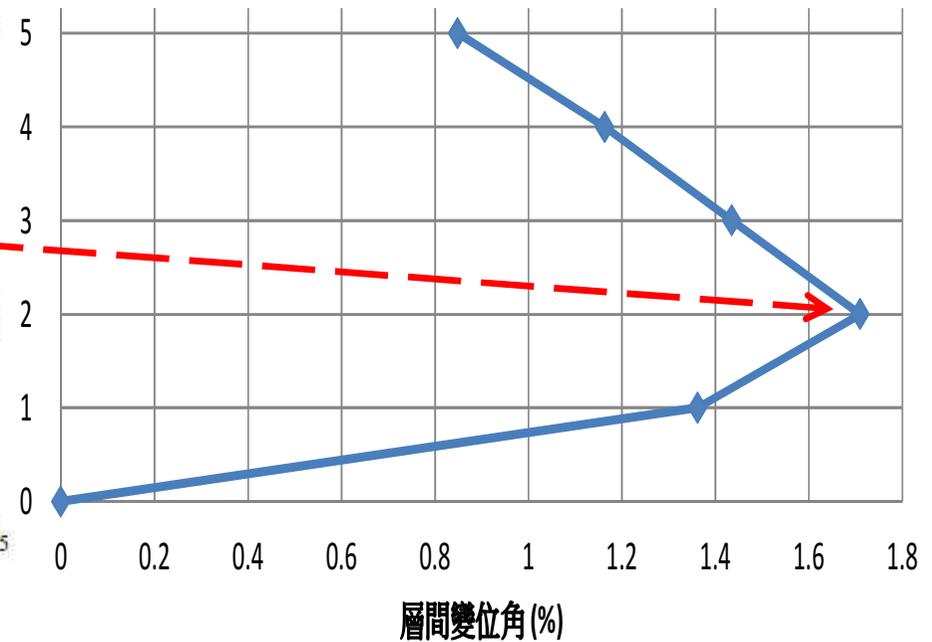


◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟靜力側推與動力歷時分析成果



靜力側推分析



歷時分析



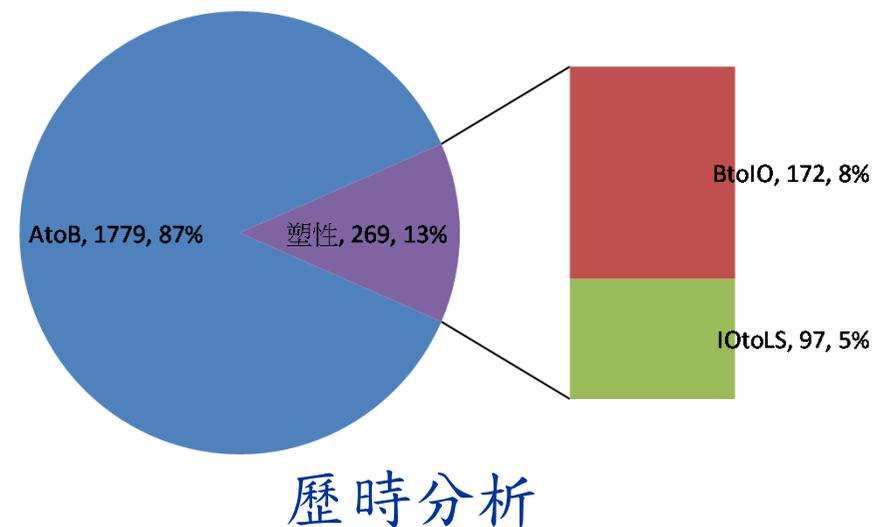
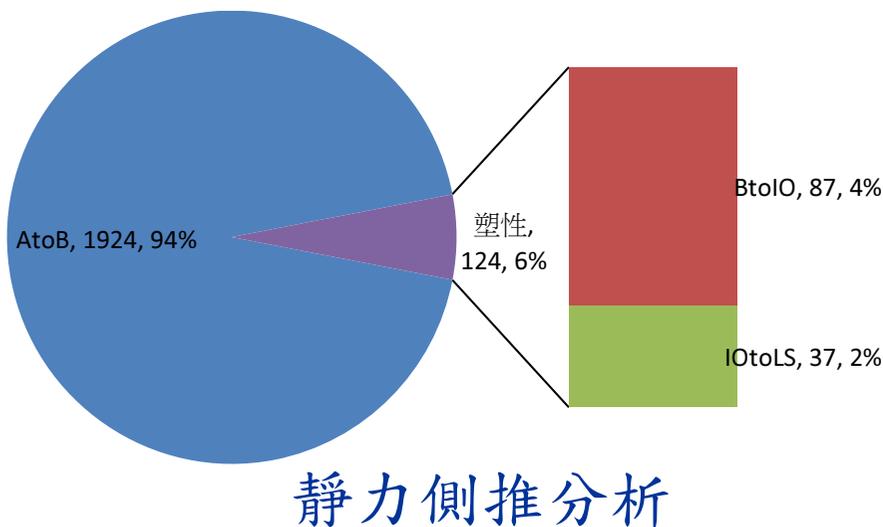
◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟靜力側推與動力歷時分析成果

動力歷時分析結果將與靜力側推進行比較，比較內容包含 3D 塑鉸分布圖、層間變位角、塑鉸狀態比例統計表。

比較得知 A 區在 0.42g 動力分析下，其 3D 塑鉸降伏分布較靜力側推分析為多，此外，動力分析之層間變位角大於靜力側推分析結果。其主要原因為建築物平面不規則及立面勁度與質量不規則所致。由動力歷時分析之塑鉸狀態比例統計表亦可得知非線性行為進入 LS(人命安全)之比例偏高。

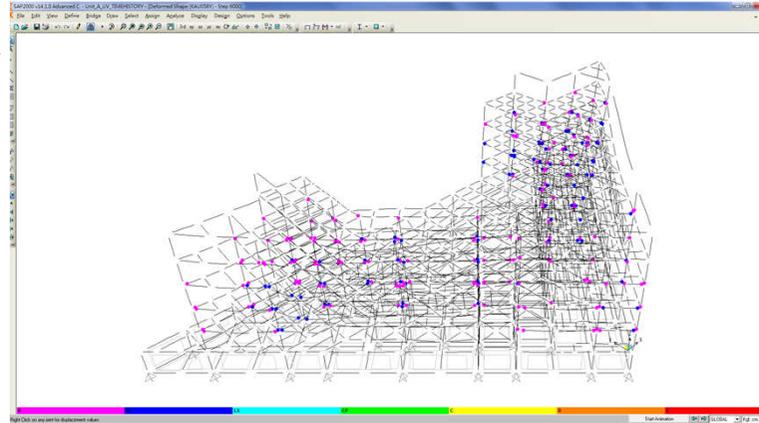
分析方法	A to B	B to IO	IO to LS	Drift Ratio	備註
靜力側推	1924 (94%)	87 (4%)	37 (2%)	1.5%	Ap=0.42g
動力歷時	1770 (87%)	170 (8%)	108 (5%)	1.76%	KAU062(0.42g)



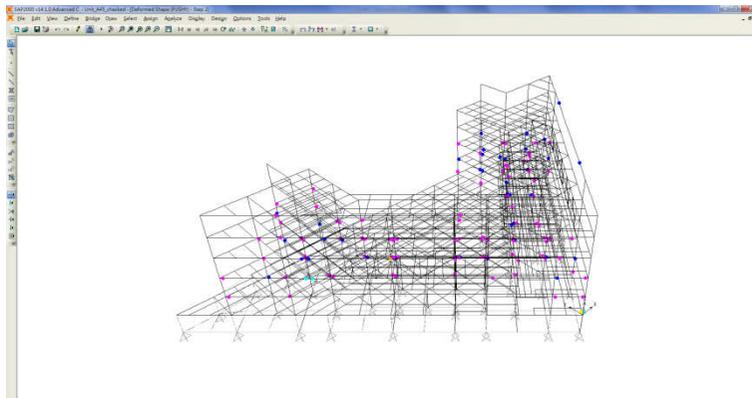
◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟靜力側推與動力歷時分析成果

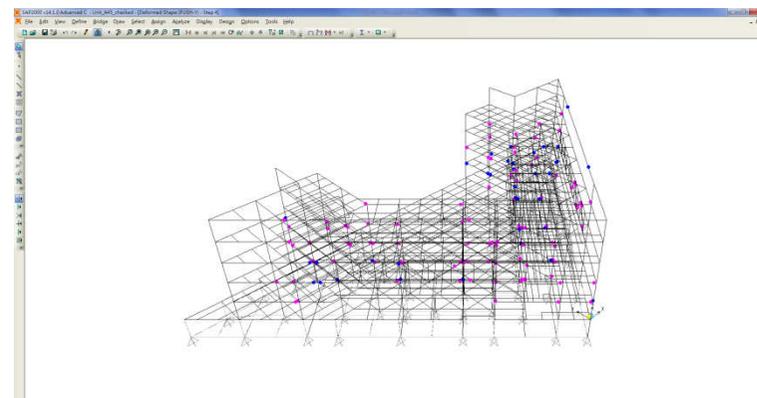
動力塑性發展較多



歷時 Y_{135} 方向



側推 $+Y_{135}$ 方向



側推 $-Y_{135}$ 方向

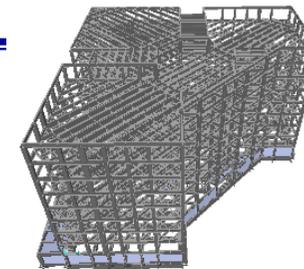
◆ 國立科學工藝博物館

➤ A棟靜力側推與動力歷時分析成果

分析標的物	方向	現況側推分析下，各破壞模式之耐震能力			0.36g動力歷時反應之結果		
		強度控制(g)	層間變位角控制(g)	豎向構材是否發生破壞	現況耐震能力(g)	最大層間變位角(%)	豎向構材是否破壞
A區	+X ₀	0.7	0.7	否	0.7	1.652	否
	-X ₀	0.91	0.55	否	0.55		否
	+X ₄₅	1.14	0.59	否	0.59	1.593	否
	-X ₄₅	1.16	0.57	否	0.57		否
	+Y ₉₀	0.94	0.5	否	0.5	1.652	否
	-Y ₉₀	0.85	0.54	否	0.54		否
	+Y ₁₃₅	0.81	0.43	否	0.43	1.497	否
	-Y ₁₃₅	0.53	0.42	否	0.42		否

由上表得知，-Y₁₃₅方向之現況耐震能力最低為0.42g，並由塑鉸發展圖觀察得知，豎向構材均無破壞。因此現況耐震能力A_p值為0.42g大於0.36g，滿足強度準則與層間變位角準則。動力分析時，層間變位角超過1.5%之要求。然SERC B為定義鋼筋混凝土建物，其進行動力分析時，建議放寬層間變位角標準依NCREE所建議之2%為動力分析依據。由上表得知，動力分析之層間變位角1.652%小於2%，因此判斷現況耐震能力於動力分析下亦符合耐震能力標準。

◆ 國立科學工藝博物館



➤ B棟靜力側推與動力歷時分析成果

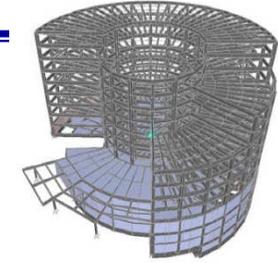
分析方法	A to B	B to IO	IO to LS	Drift Ratio	備註
靜力側推	5205 (94%)	280 (5%)	51 (1%)	1.5%	Ap=0.57g
動力歷時	4750 (80%)	274 (5%)	511 (9%)	1.45%	KAU062(0.57g)

分析標的物	方向	現況側推分析下，各破壞模式之耐震能力			0.36g動力歷時反應之結果		
		強度控制(g)	層間位移角控制(g)	豎向構材是否發生破壞	現況耐震能力(g)	最大層間變位角(%)	豎向構材是否破壞
B區	+X ₀	1.13	0.58	否	0.58	0.876	否
	-X ₀	1.1	0.58	否	0.58		否
	+X ₄₅	0.83	0.57	否	0.57	1.202	否
	-X ₄₅	0.87	0.57	否	0.57		否
	+Y ₉₀	1.05	0.58	否	0.58	1.088	否
	-Y ₉₀	1.06	0.57	否	0.57		否
	+Y ₁₃₅	1.18	0.59	否	0.59	1.119	否
	-Y ₁₃₅	1.25	0.59	否	0.59		否

由側推分析得知，B區各方向最大PGA值大於 $A_T=0.36g$ (考慮 $I=1.25$)耐震要求且層間變位角小於1.5%。由上表得知，-X₄₅方向之現況耐震能力最低為0.57g，並由塑鉸發展圖觀察得知，豎向構材均無破壞。因此現況耐震能力 A_P 值為0.57g大於0.36g，滿足強度準則與層間變位角準則。



◆ 國立科學工藝博物館



➤ C棟靜力側推與動力歷時分析成果

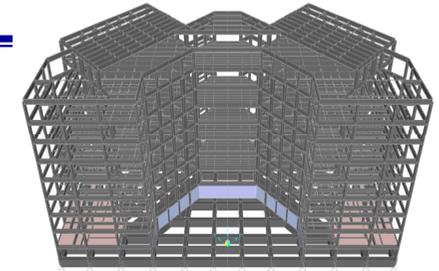
分析方法	A to B	B to IO	IO to LS	Drift Ratio	備註
靜力側推	3038 (96%)	77 (2%)	49 (2%)	1.5%	Ap=0.48g
動力歷時	2860 (91%)	168 (5%)	136 (4%)	1.35%	KAU062(0.48g)

分析標的物	方向	現況側推分析下，各破壞模式之耐震能力			0.36g動力歷時反應之結果		
		強度控制(g)	層間位移角控制(g)	豎向構材是否發生破壞	現況耐震能力(g)	最大層間變位角(%)	豎向構材是否破壞
C區	+X ₀	1.29	0.51	否	0.51	0.927	否
	-X ₀	1.23	0.48	否	0.48		否
	+X ₄₅	1.42	0.55	否	0.55	1.094	否
	-X ₄₅	1.21	0.49	否	0.49		否
	+Y ₉₀	1.26	0.5	否	0.5	0.984	否
	-Y ₉₀	1.28	0.51	否	0.51		否
	+Y ₁₃₅	0.98	0.67	否	0.67	1.118	否
	-Y ₁₃₅	1.01	0.65	否	0.65		否

由側推分析得知，C區各方向最大PGA值大於A_T=0.36g(考慮I=1.25)耐震要求且層間變位角小於1.5%。由上表得知，-X₀方向之現況耐震能力最低為0.48g，並由塑鉸發展圖觀察得知，豎向構材均無破壞。因此現況耐震能力A_p值為0.48g大於0.36g，滿足強度準則與層間變位角準則。



◆ 國立科學工藝博物館



➤ D棟靜力側推與動力歷時分析成果

分析方法	A to B	B to IO	IO to LS	Drift Ratio	備註
靜力側推	4824 (86%)	344 (6%)	442 (8%)	1.5%	Ap=0.43g
動力歷時	5025 (90%)	446 (8%)	139 (2%)	1.12%	KAU088(0.43g)

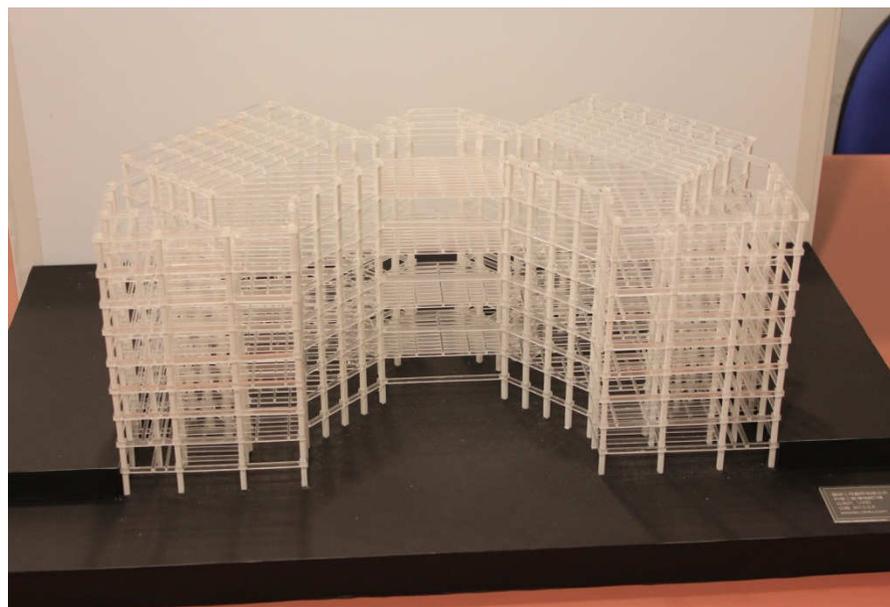
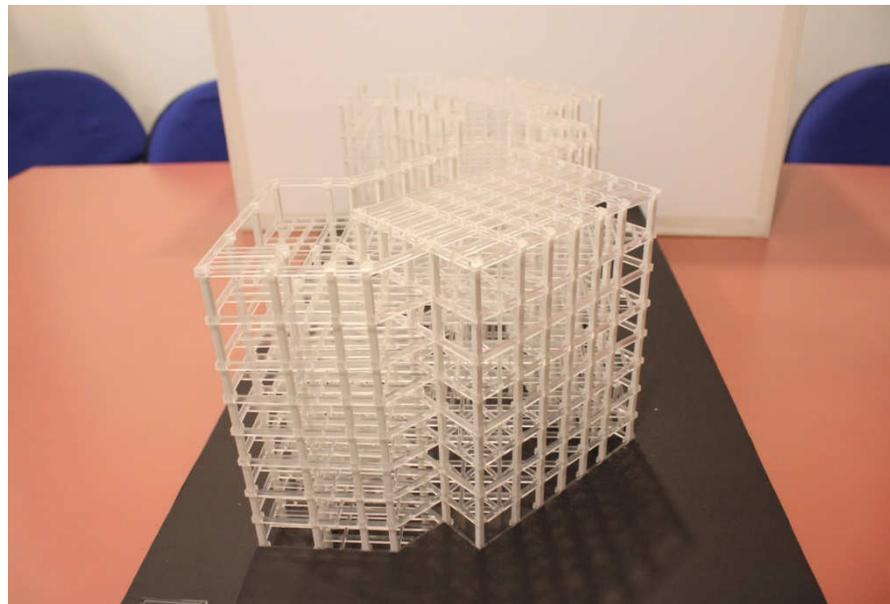
分析標的物	方向	現況側推分析下，各破壞模式之耐震能力				0.36g動力歷時反應之結果	
		強度控制(g)	層間位移角控制(g)	豎向構材是否發生破壞	現況耐震能力(g)	最大層間變位角(%)	豎向構材是否破壞
D區	+X ₀	1.13	0.64	否	0.64	0.969	否
	-X ₀	1.15	0.64	否	0.64		否
	+X ₄₅	1.06	0.53	否	0.53	0.958	否
	-X ₄₅	1.05	0.53	否	0.53		否
	+Y ₉₀	1.14	0.63	否	0.63	0.84	否
	-Y ₉₀	1.11	0.64	否	0.64		否
	+Y ₁₃₅	1.06	0.59	否	0.59	1.111	否
	-Y ₁₃₅	1.06	0.6	否	0.6		否

由側推分析得知，D區各方向最大PGA值大於 $A_T=0.36g$ (考慮 $I=1.25$)耐震要求且層間變位角小於1.5%。由上表得知，+X₄₅方向之現況耐震能力最低為0.53g，並由塑鉸發展圖觀察得知，豎向構材均無破壞。因此現況耐震能力 A_P 值為0.53g大於0.36g，滿足強度準則與層間變位角準則。

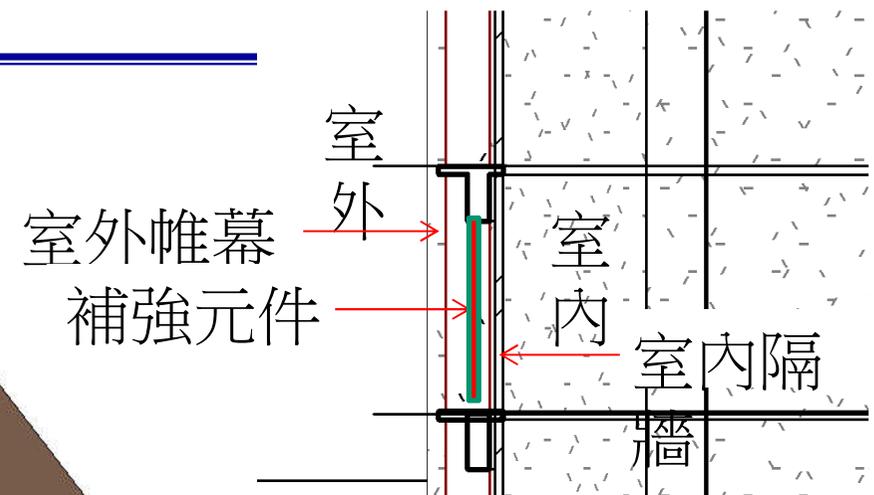
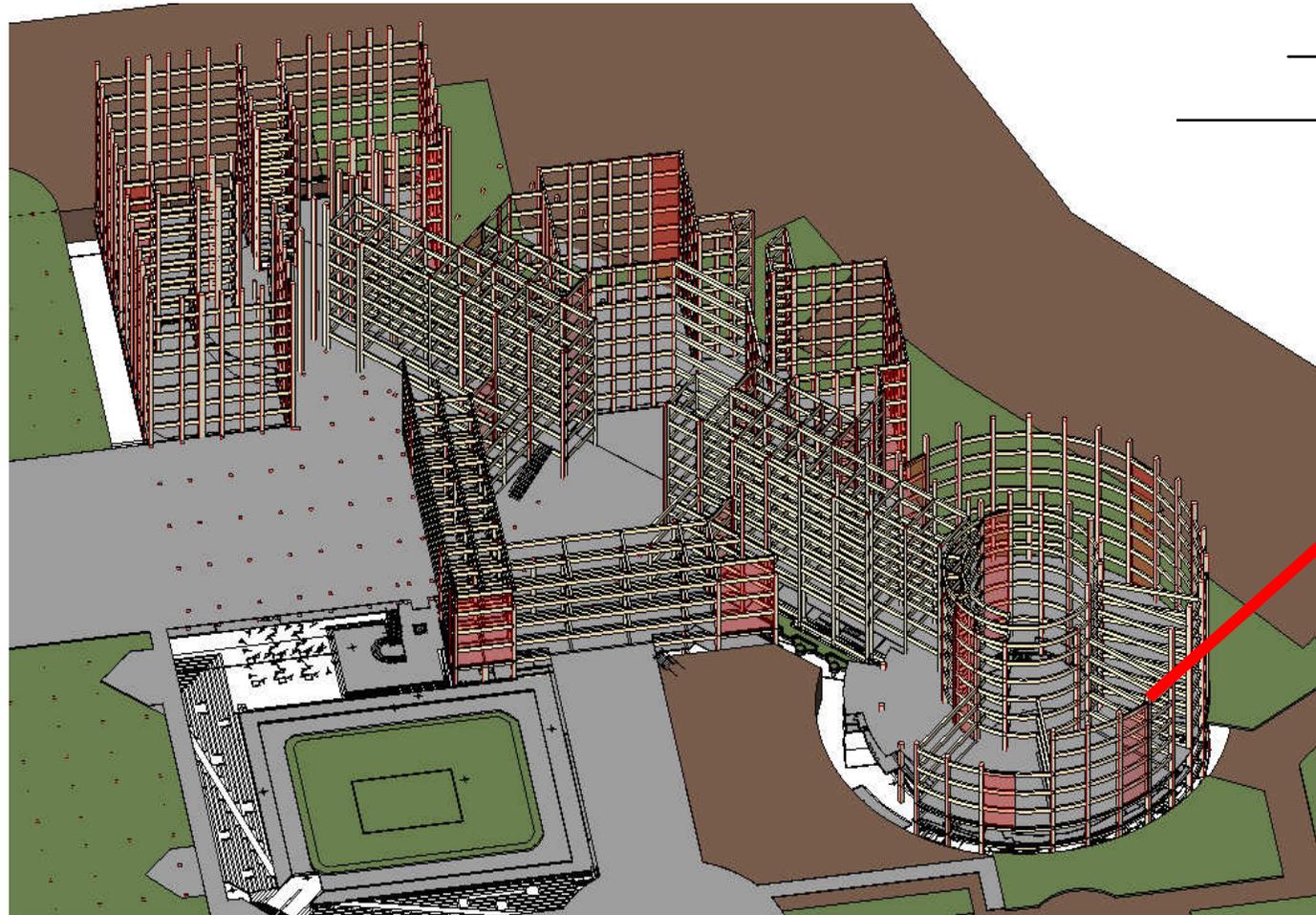


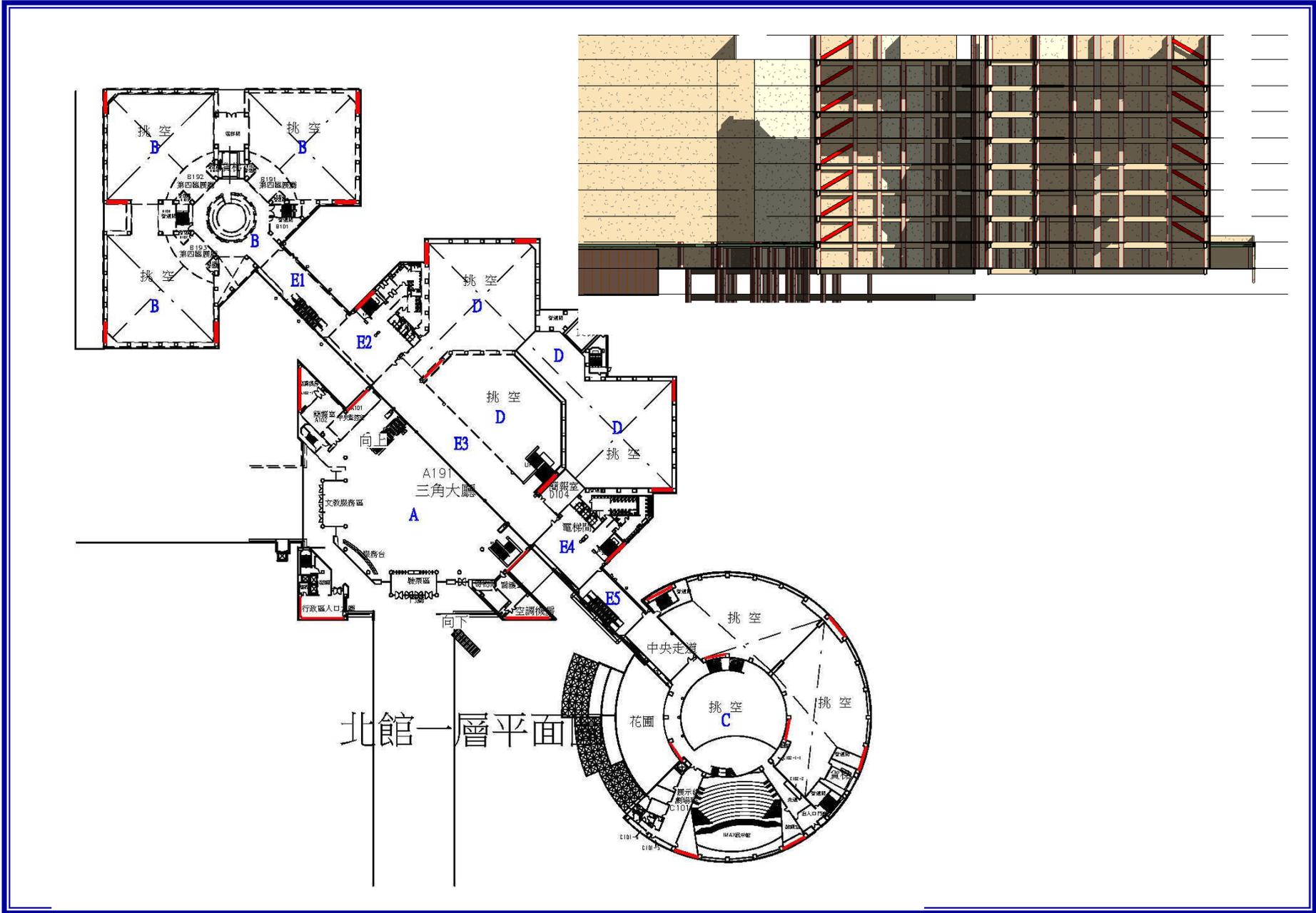
補強工法與位置建議

訪談過程



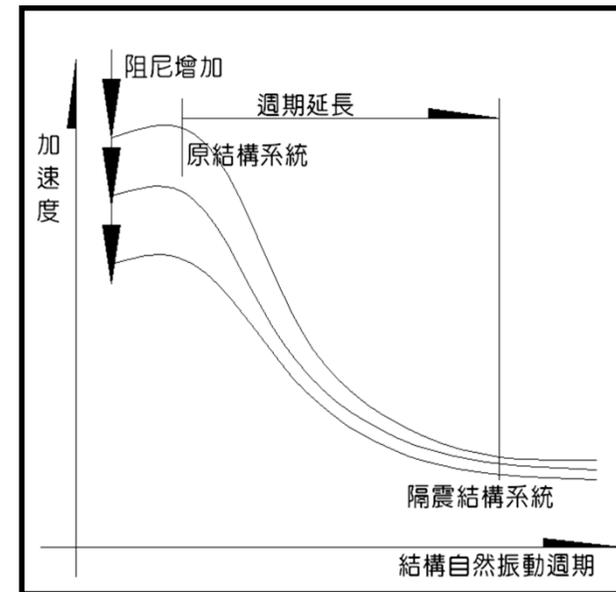
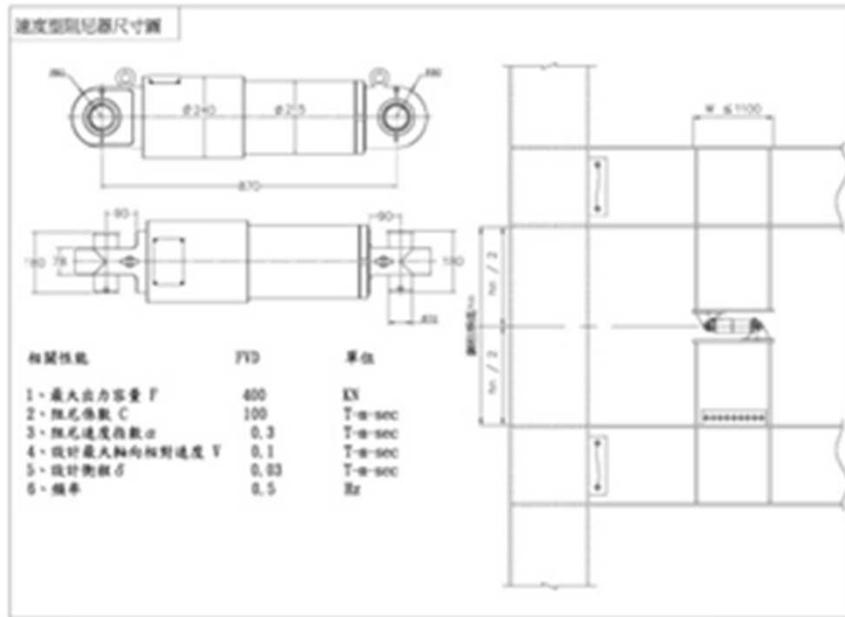
補強位置





補強工法建議---鋼斜撐工法

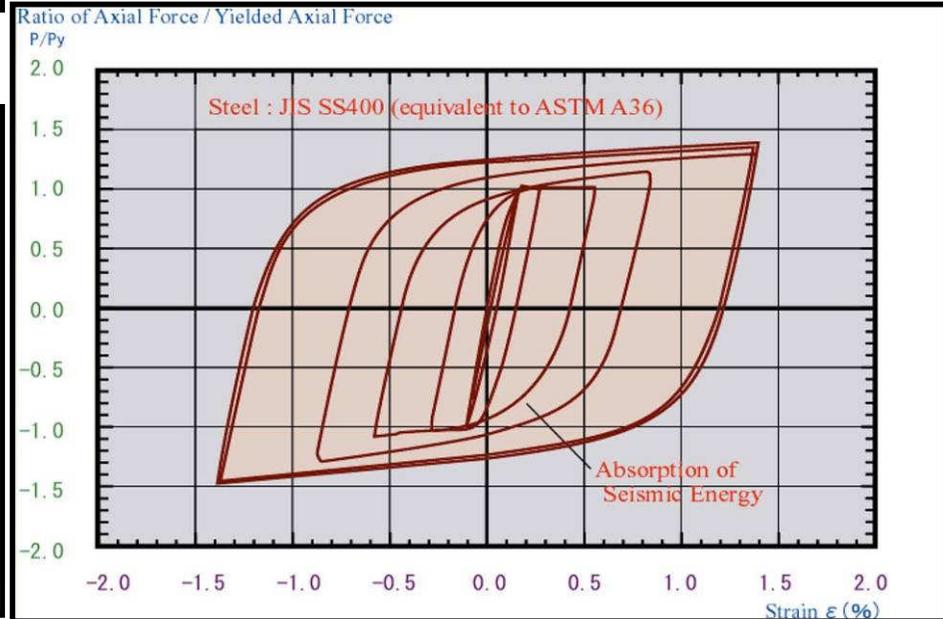
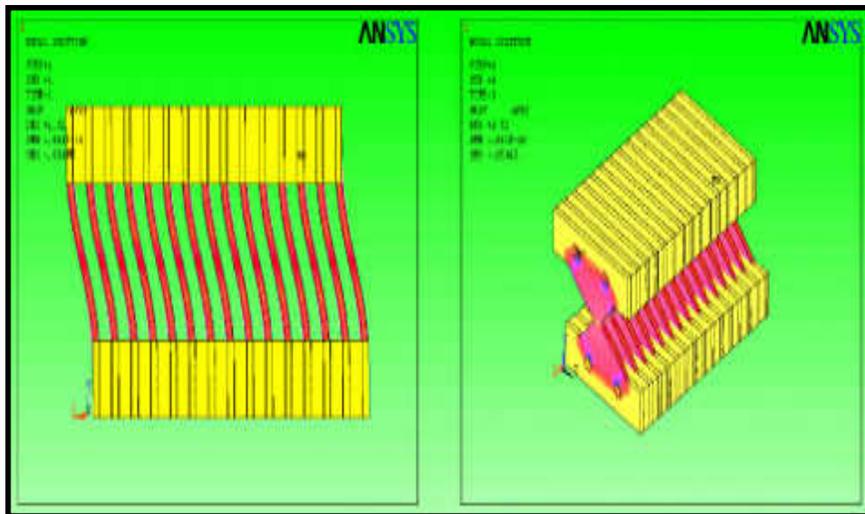
補強工法建議---增設消能元件工法



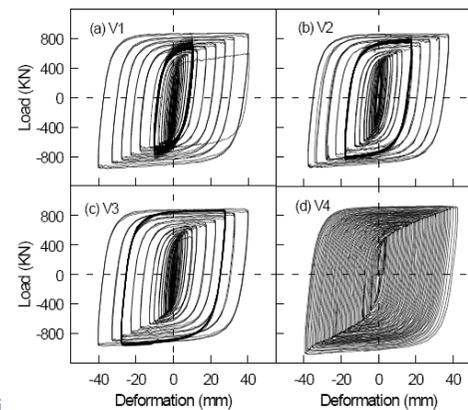
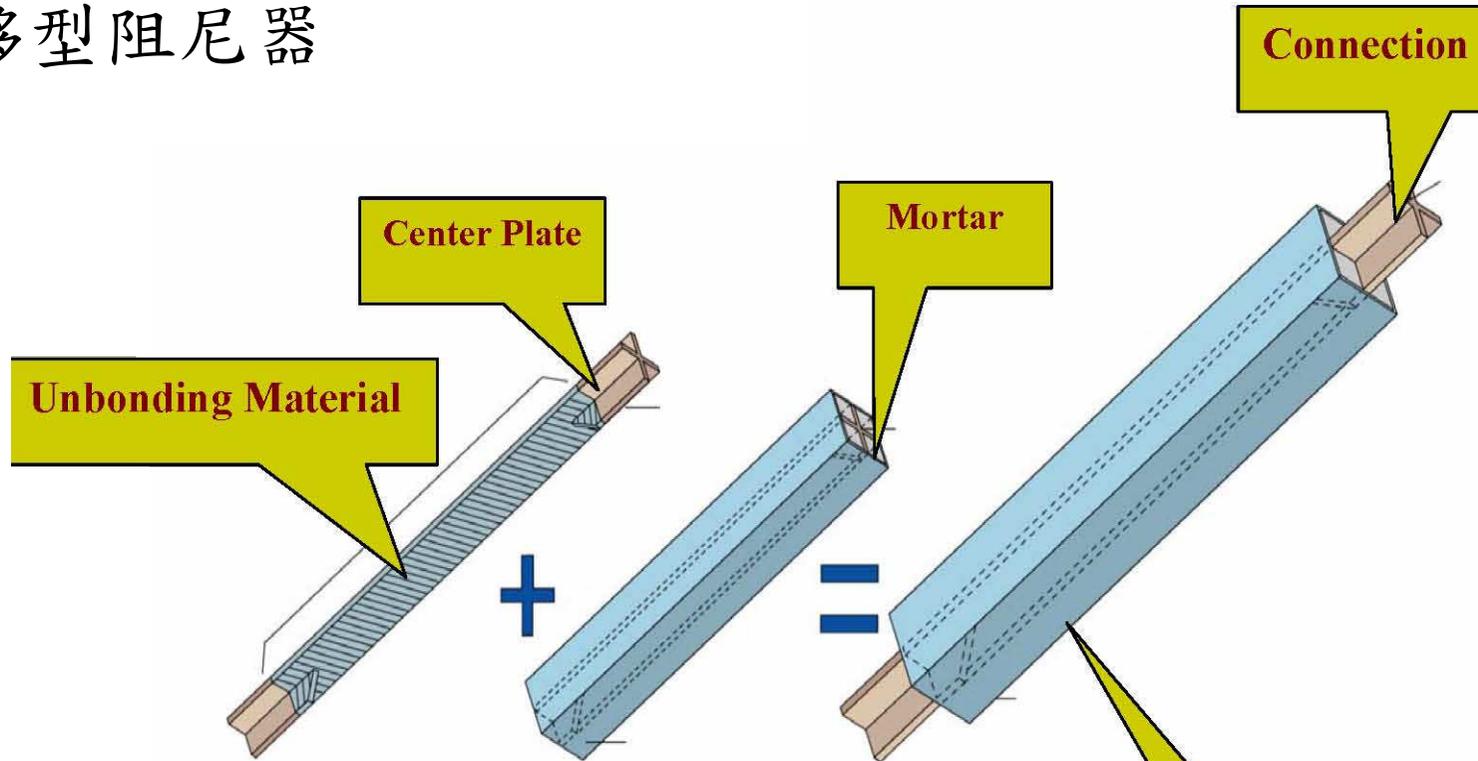
位移型阻尼器



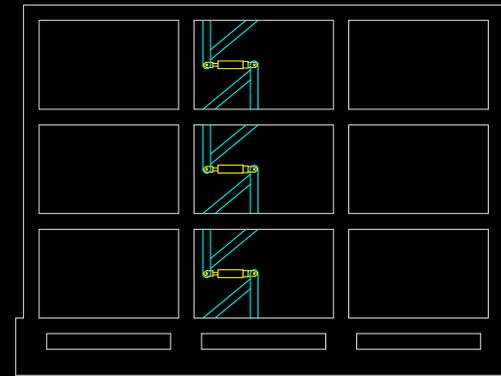
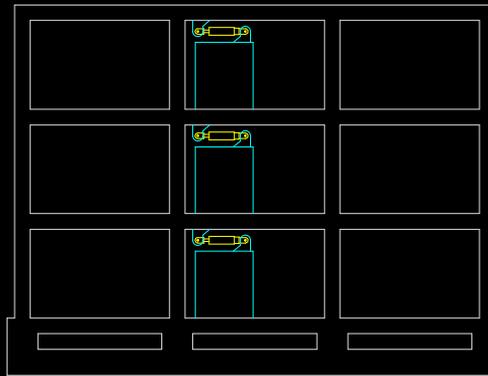
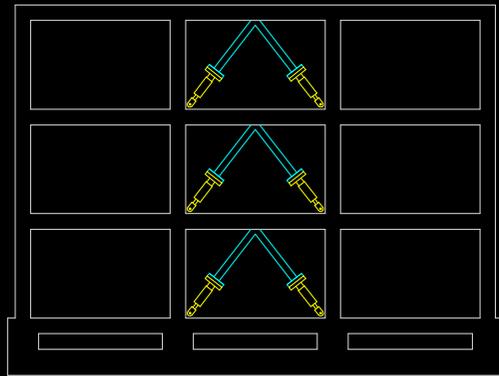
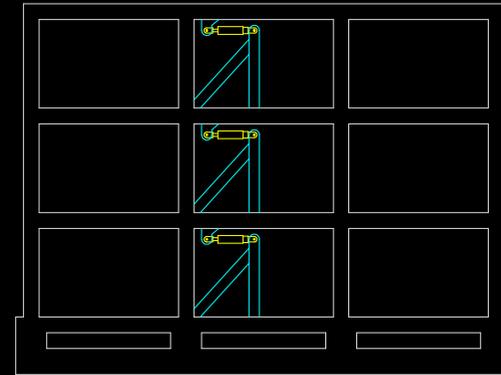
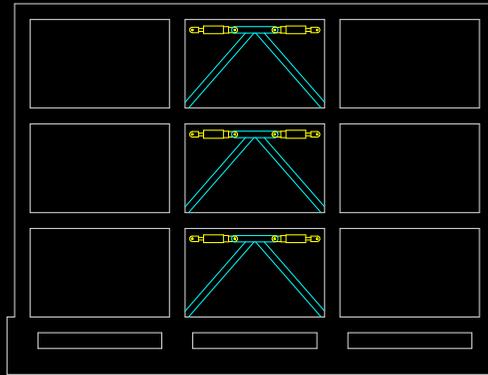
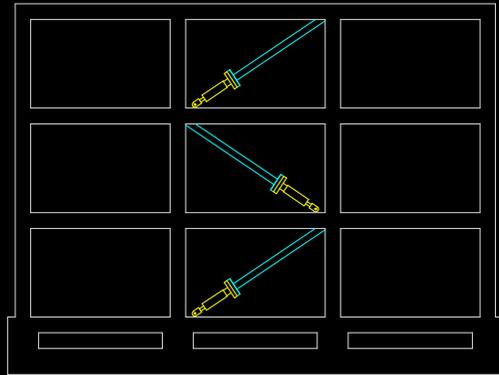
以鋼板為材料，為一種易降服且高效能的結構防震裝置，主要藉由鋼板降服後的非彈性變形來吸收地震進入結構的能量



位移型阻尼器



阻尼器常見安裝方式



Thanks for your attention !!
alex@kc.ctntu.com