

# 橋梁結構耐震能力 推估方法之探討

主講人 曾榮川

**橋梁耐震的本質與特性**  
**震度與構件受力狀況**  
**基準測試案例與探討**

# 橋梁耐震的本質與特性



力與受力狀態

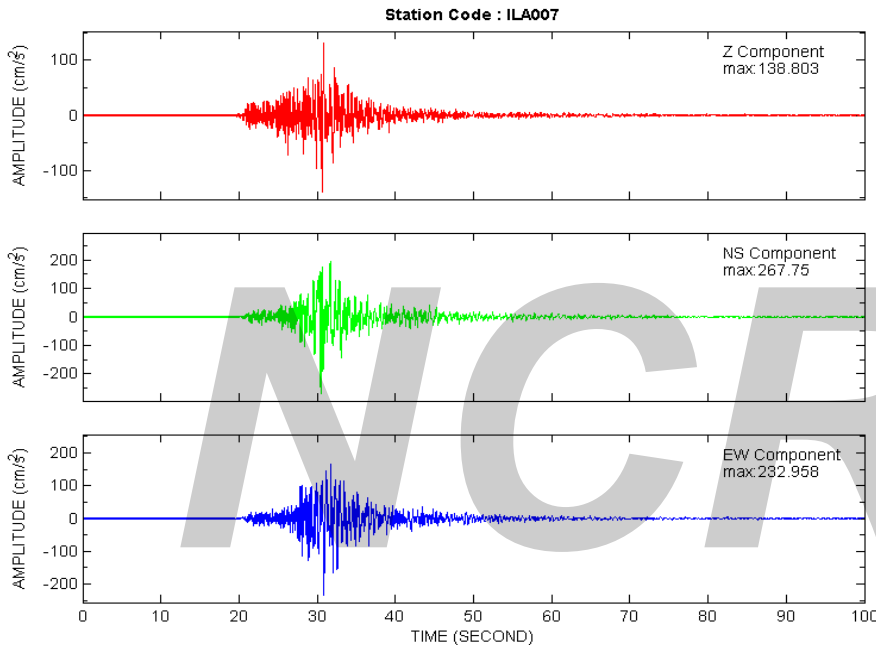
構件及系統  
受力容許狀態

(自然)需求推估  $\longleftrightarrow$  容量界定(人為)

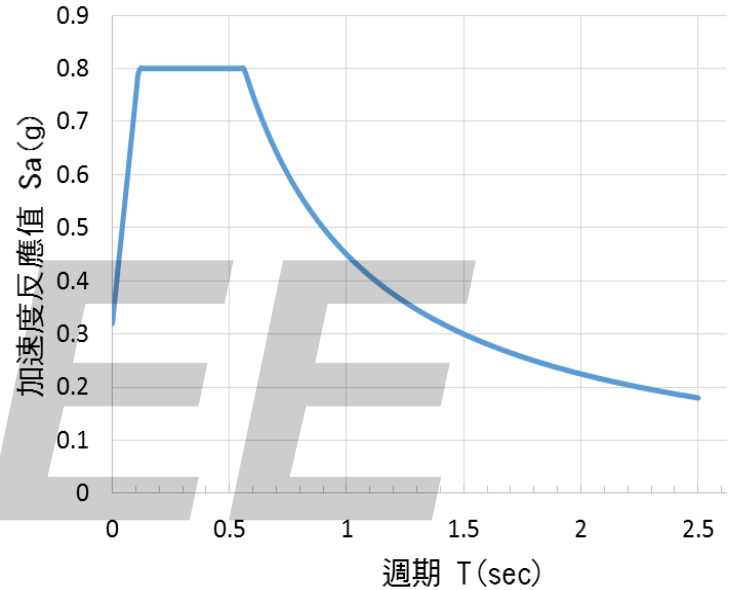
| 力的種類                                     | 行為特性                                      | 斷面力、位移或<br>韌性比的容許狀態  |
|--|---|--|
| 靜載重<br>活載重<br>土壓力<br>水壓力<br>地震力<br>..... | 線性_彈性行為<br>非線性_彈性行為<br>非線性_非彈性行為<br>..... | 一般構件檢核<br>消能構件或系統檢核<br>基礎系統檢核<br>位移限制檢核<br>防落措施檢核<br>..... |

# 地震力\_地震歷時及譜加速度

## 自由場地震歷時

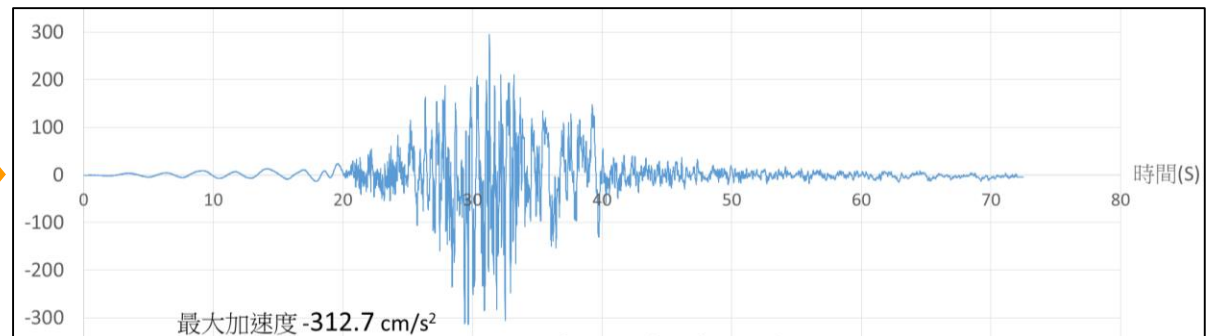


## 加速度反應譜



## 人工地震歷時

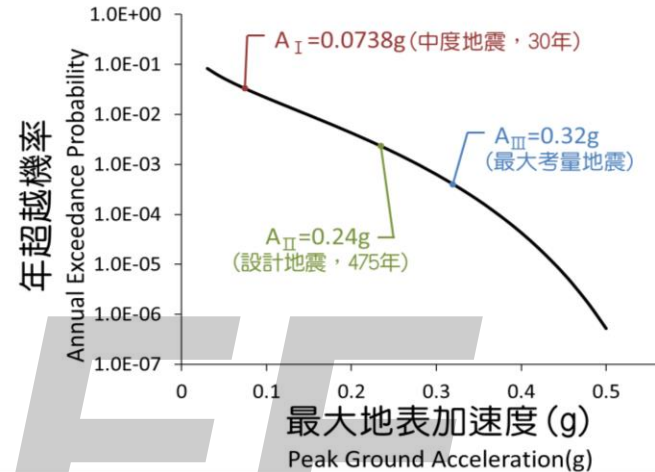
調整自由場  
地震歷時至  
與加速度反  
應譜相符



# 地震力\_危害度及地盤與反應譜

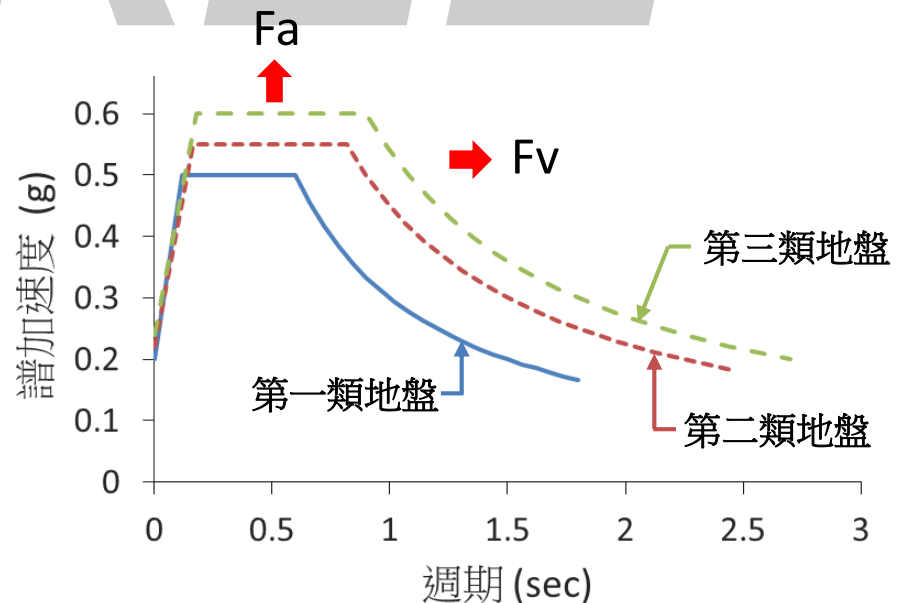
## 危害度

- 橋址各地表加速度對應之年超越機率
- 與傳至橋址之地震波的斷層息息相關



## 地盤與反應譜

- 地盤依剪力波速度分類
- 加速度反應及譜因震度或地盤堅硬或軟弱而不同



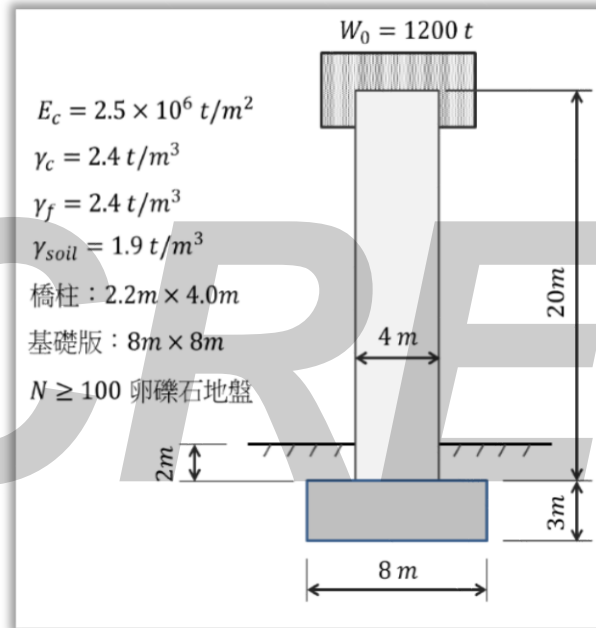
# 橋梁結構行為特性\_模式簡化



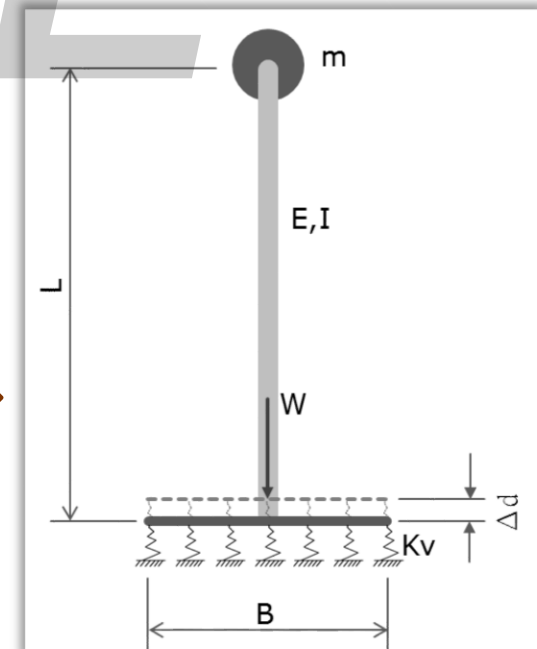
規則橋梁  
主振態控制

單柱式模擬  
上構集中質量

近似單自由度系統



單自由度系統

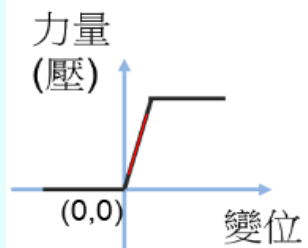


構件無質量

# 橋梁結構行為特性\_案例說明

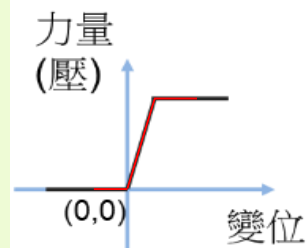
## 線性\_彈性行為

- 結構構件  
線性  
彈性
- 土壤彈簧  
線性  
彈性



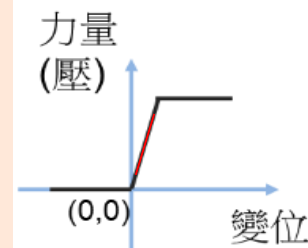
## 非線性\_彈性行為

- 結構構件  
線性  
彈性
- 土壤彈簧  
非線性  
彈性

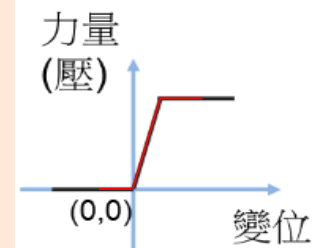


## 非線性\_非彈性行為

- 結構構件  
非線性  
非彈性
- 土壤彈簧  
線性  
彈性

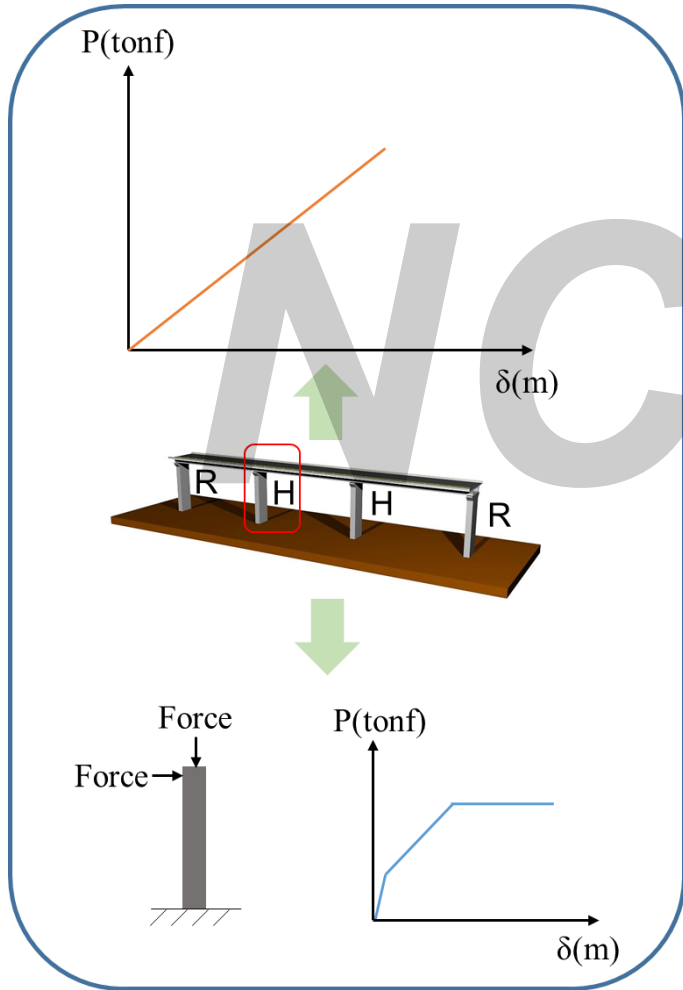


- 結構構件  
非線性  
非彈性
- 土壤彈簧  
非線性  
彈性



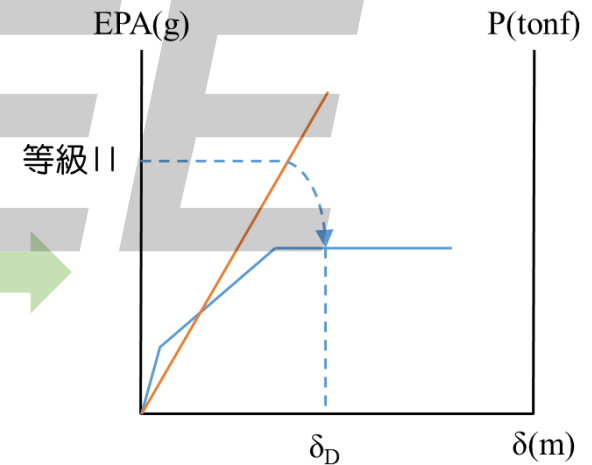
# 震度與構件受力狀況

方法一：整體結構線彈性+構件非線性非彈性



美國 AASHTO LRFD Seismic B. D.  
位移放大係數： $R_d = \left(1 - \frac{1}{\mu_D}\right) \frac{T^*}{T} + \frac{1}{\mu_D}$

轉換

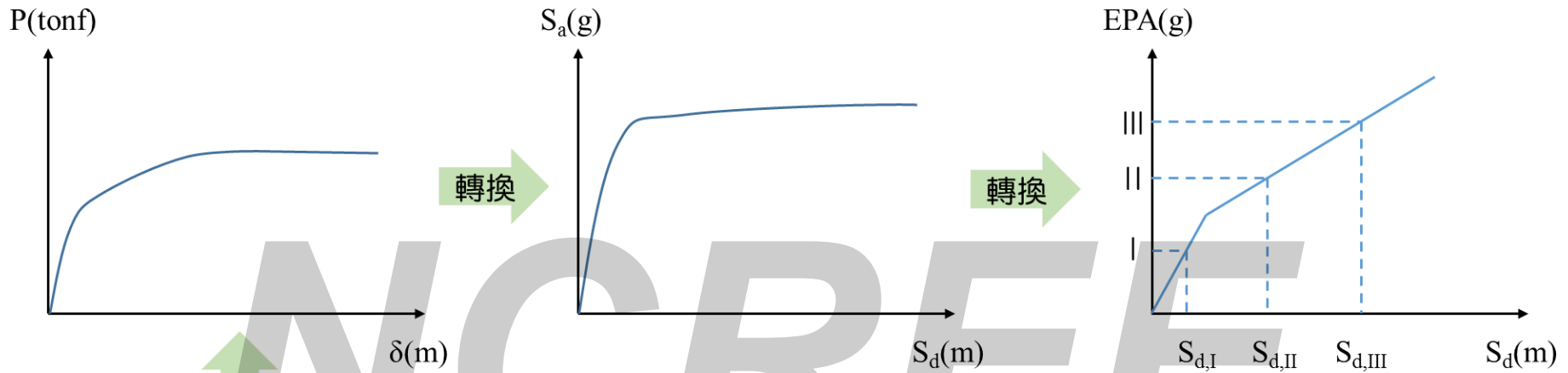


地震力折減係數： $C_s = \frac{1}{\sqrt{2\mu_a - 1}}$

(日本道路橋示方書・同解説-耐震篇)

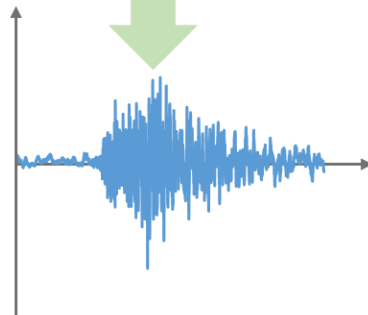
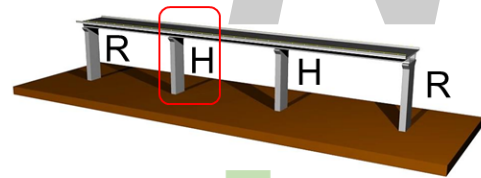
# 震度與構件受力狀況

方法二：整體結構非線性非彈性分析推估構件受力



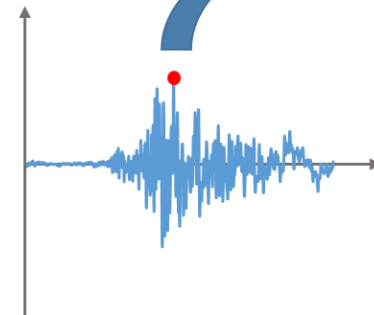
單自由度容量譜+R- $\mu$ -法推估

非線性動力歷時分析



各等級地震歷時

塑鉸  
模擬  
+



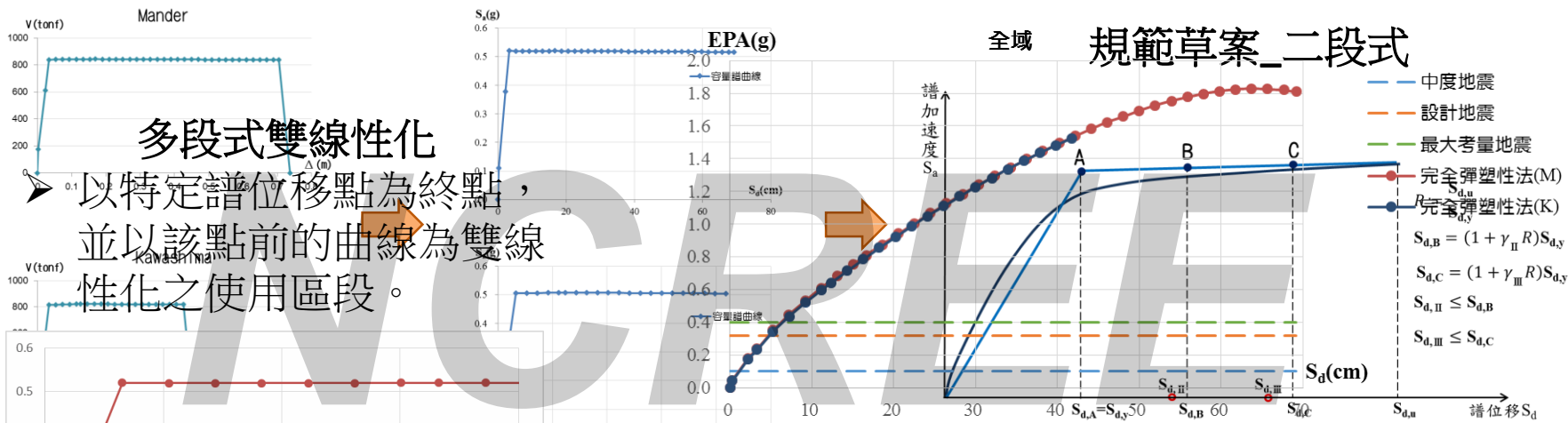
結構地震反應

最大  
受力狀況與檢核

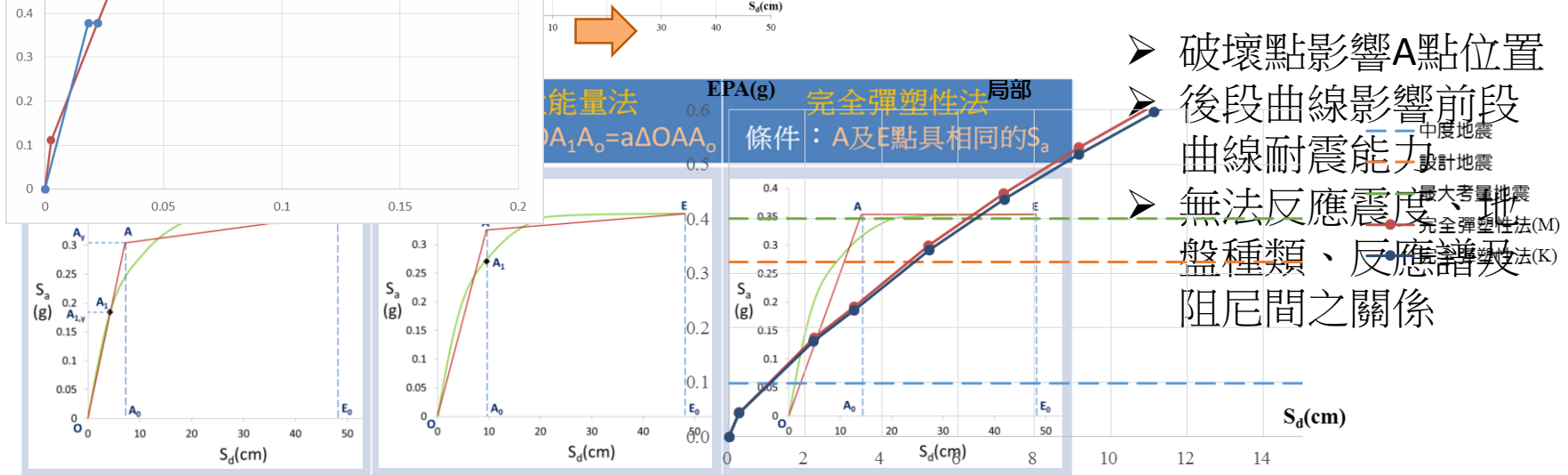
# 容量譜 + R-μ-T推估法

鋼筋混凝土組成律：Mander & Kawashima

容量曲線 → 容量譜曲線 → 雙線性化 → R-μ-T → EPA



雙線性化方法



# R- $\mu$ -T法迭代收斂的必要性 (1/3)

步驟一：求得容量譜曲線上特定 $i$ 點( $S_{d,i}, S_{a,i}$ )對應之彈性譜加速度 $S_{a,i}^e$

- 進行雙線性化(完全彈塑性法)，計得降伏點( $S_{d,i}^y, S_{a,i}^y$ )及韌性比 $R_i = S_{d,i}/S_{d,i}^y$
- 計算週期 $T_i = 2.01 \sqrt{S_{d,i}^y/S_{a,i}^y}$ ，單位採用m及g。
- 利用 $T_{0,i}$ 、 $T_i$ 、 $R_i$ 計得 $S_{a,i}^e$

步驟二：求得容量譜曲線上特定 $i$ 點( $S_{d,i}, S_{a,i}$ )相對應之標稱阻尼比 $\xi_i$

- 有效阻尼 $\beta_{eff,i} = C_r \times 4 \times (S_{d,i} - S_{d,i}^y) \times S_{a,i}^y / \pi / (S_{d,i} \times S_{a,i})$   
 $C_r$ ：阻尼折減係數，考慮構件非線性行為不具理想(飽滿)遲滯迴圈，計算時可適當折減。
- 標稱阻尼比 $\xi_i = \beta_0 + \beta_{eff,i}$ ，計得 $B_{s,i}$ 及 $B_{1,i}$

# R-μ-T法迭代收斂的必要性 (2/3)

步驟三：計得有效最大地表加速度 $E_{PA,i}$

$$E_{PA,i} = \frac{S_{a,i}^e T_i B_{S,i}}{2.5 T_{0,i}} \text{ for } T_i \geq T_{0,i} \dots\dots\dots(1)$$

$$E_{PA,i} = \frac{S_{a,i}^e B_{S,i}}{2.5} \text{ for } T_i < T_{0,i} \dots\dots\dots(2)$$

步驟顯示，給定 $T_{0,i}$ 可計得 $E_{PA,i}$ ，其他參數由容量譜曲線得到。

$T_{0,i}$ 之定義如下：

$$T_{0,i} = \frac{S_i^1 F_{v,i} B_{S,i}}{S_i^S F_{a,i} B_{1,i}} \dots\dots\dots(3)$$

式(1)及(2)之 $E_{PA,i}$ 與 $T_{0,i}$ 互有關係，且應滿足下式

$$E_{PA,i} = \frac{S_i^S F_{a,i}}{2.5} \dots\dots\dots(4)$$

即給定初始值，續迭代滿足式(4)的 $(S_{d,i2}, E_{PA,i})$ 。實務操作，例如給定等級II地震，得到對應的 $S_{II}^S$ 、 $S_{II}^1$ ，依地盤種類得到 $T_{0,i}$ ，續得 $(S_d, E_{PA})$ 曲線，等級II地震之 $E_{PA,II}$ 對應至 $S_{d,II}$ 。

同理也可以得到 $(S_{d,I}, E_{PA,I})$ 及 $(S_{d,I}, E_{PA,I})$ 。



- 中度地震
- 設計地震
- 最大考量地震
- 完全彈塑性法(M)
- 完全彈塑性法(K)

# R- $\mu$ -T法迭代收斂的必要性 (3/3)

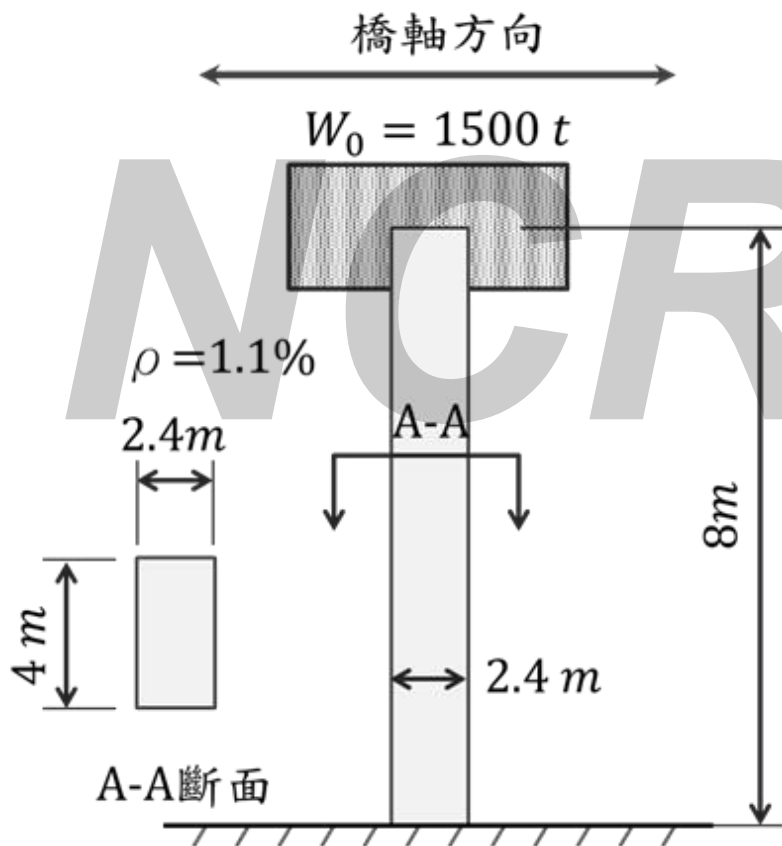
就設計分別進行等級 I、II 及 III 等性能要求檢核，即符合規範規定要求。在實務上，有求得任何震度對應受力狀況之需求，前提是必須知道該震度的  $S_i^S$  及  $S_i^1$ 。規範草案已規定 ( $S_I^S$ ，

**NCREE**

# 基準測試案例與探討 (1/11)

測試案例：測試案例應單純且結構特性已被瞭解

基本資料：如圖示、二類地盤、柱混凝土單位重 $2.4\text{T/m}^3$



$$S_{II}^S = 0.8 \cdot S_{II}^1 = 0.45$$

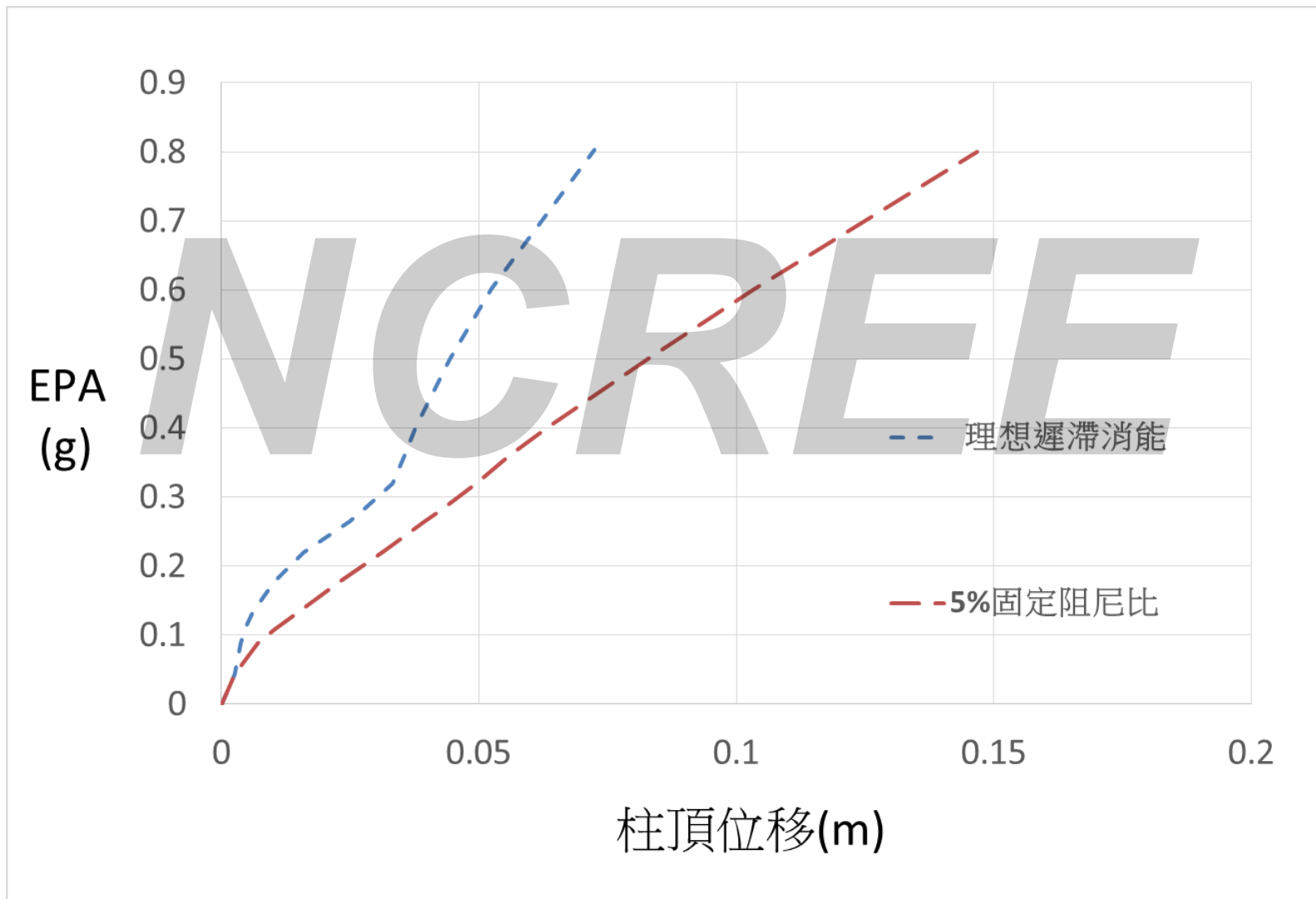
$$S_{III}^S = 1.0 \cdot S_{II}^1 = 0.55$$

$$S_I^S = \frac{S_{II}^S}{3.25} \cdot S_I^1 = \frac{S_{II}^1}{3.25}$$

不考慮近斷層效應

# 基準測試案例與探討 (2/11)

## 測試案例分析結果\_R- $\mu$ -T推估法

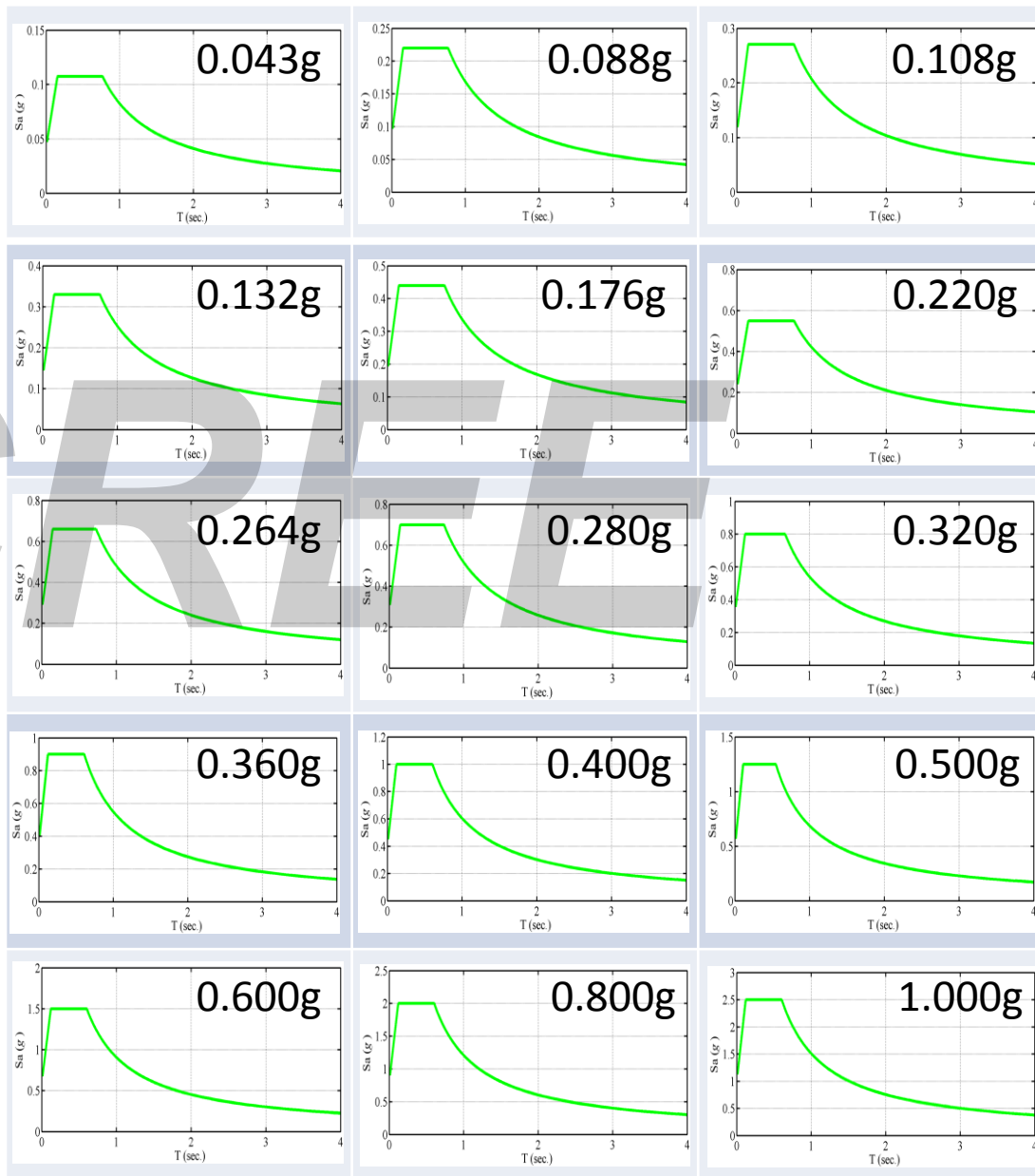
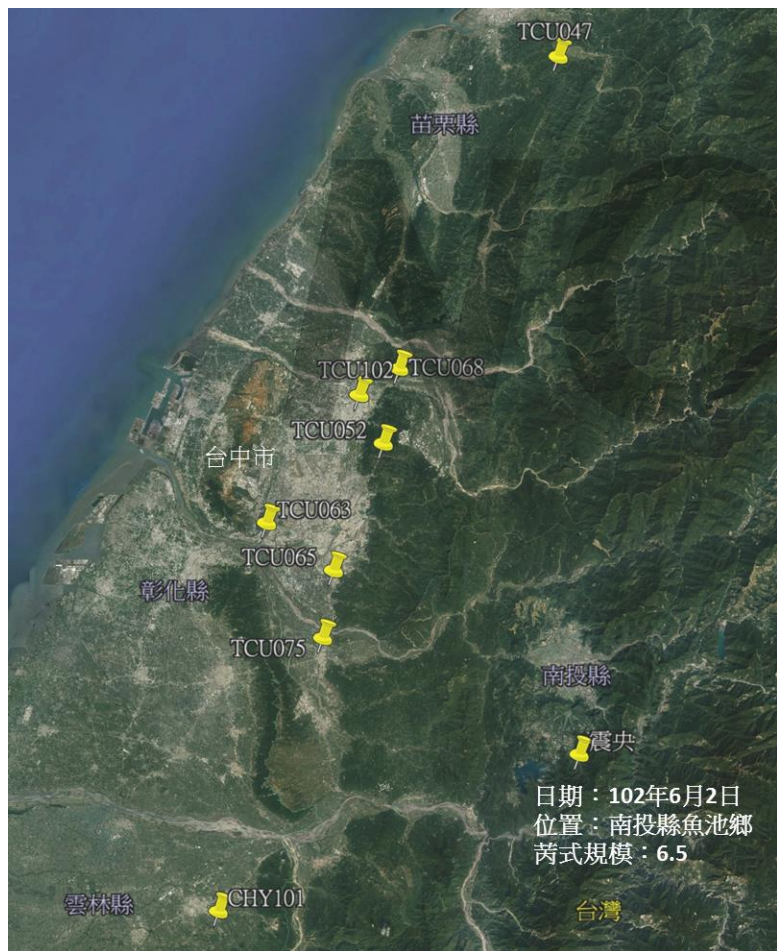


# 基準測試案例與探討 (3/11)

人工地震歷時：

8個測站、16個水平向

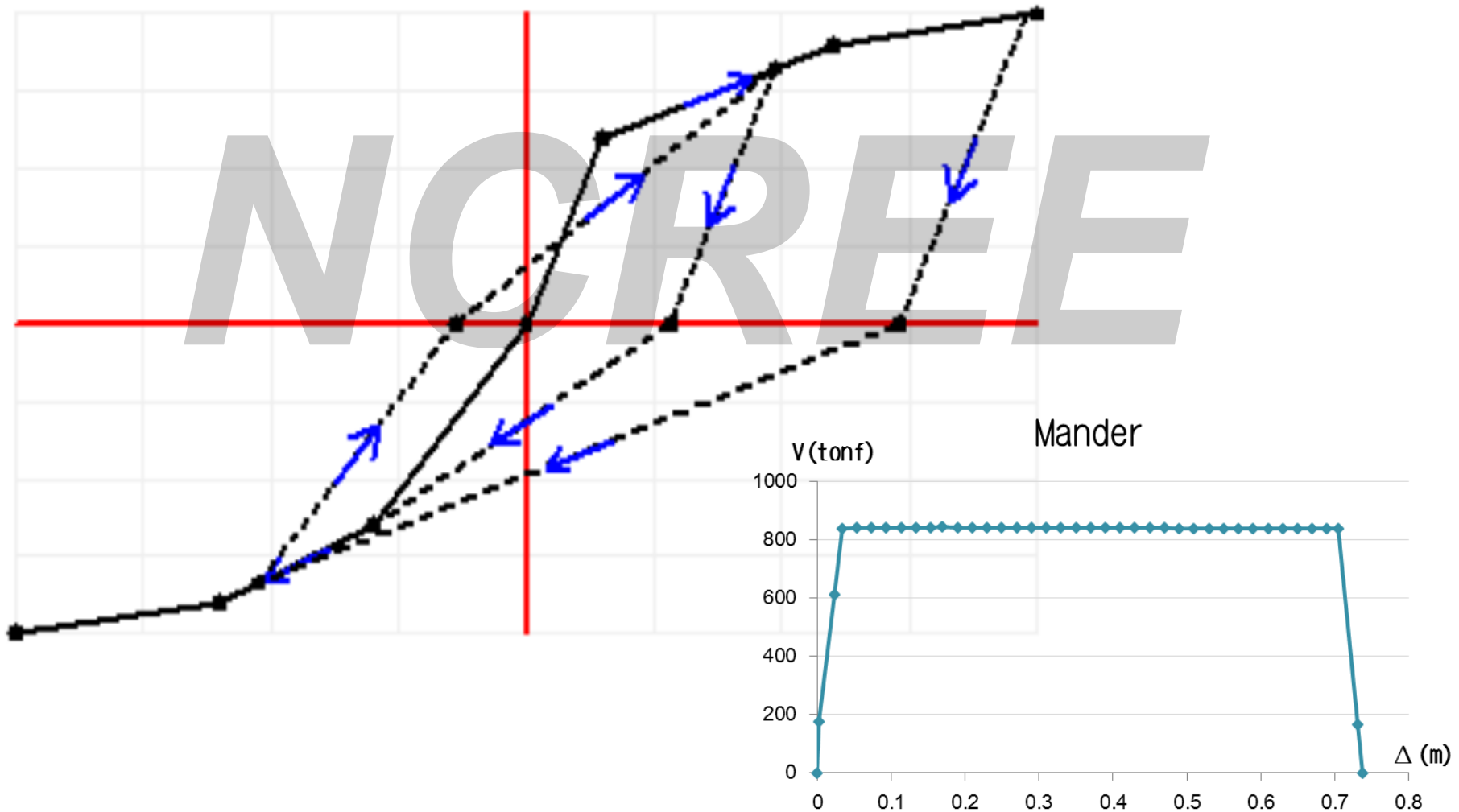
15種地表加速度



# 基準測試案例與探討 (4/11)

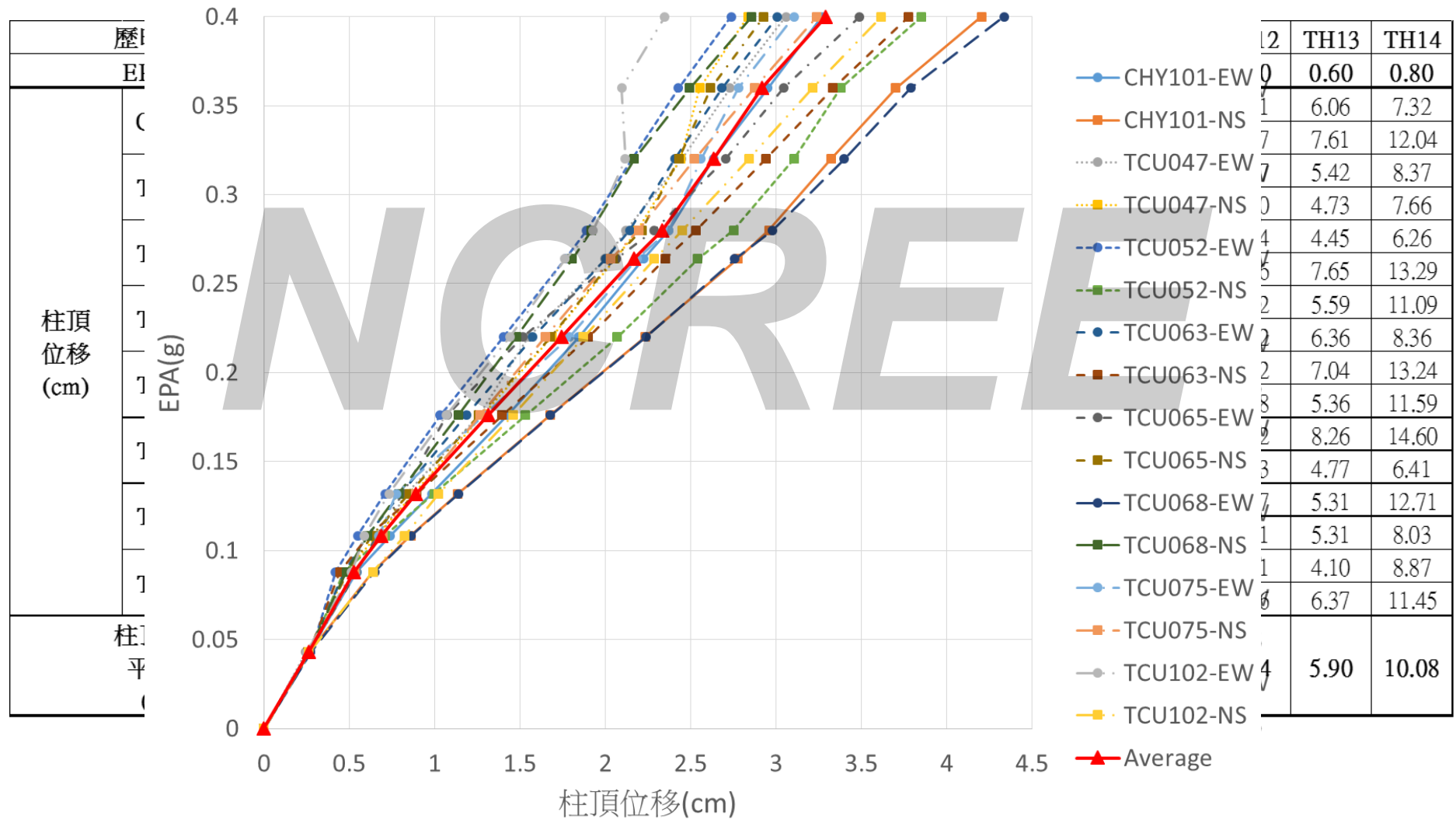
測試案例\_非線性動力歷時分析

採用SAP2000及該軟體中的Takeda Model



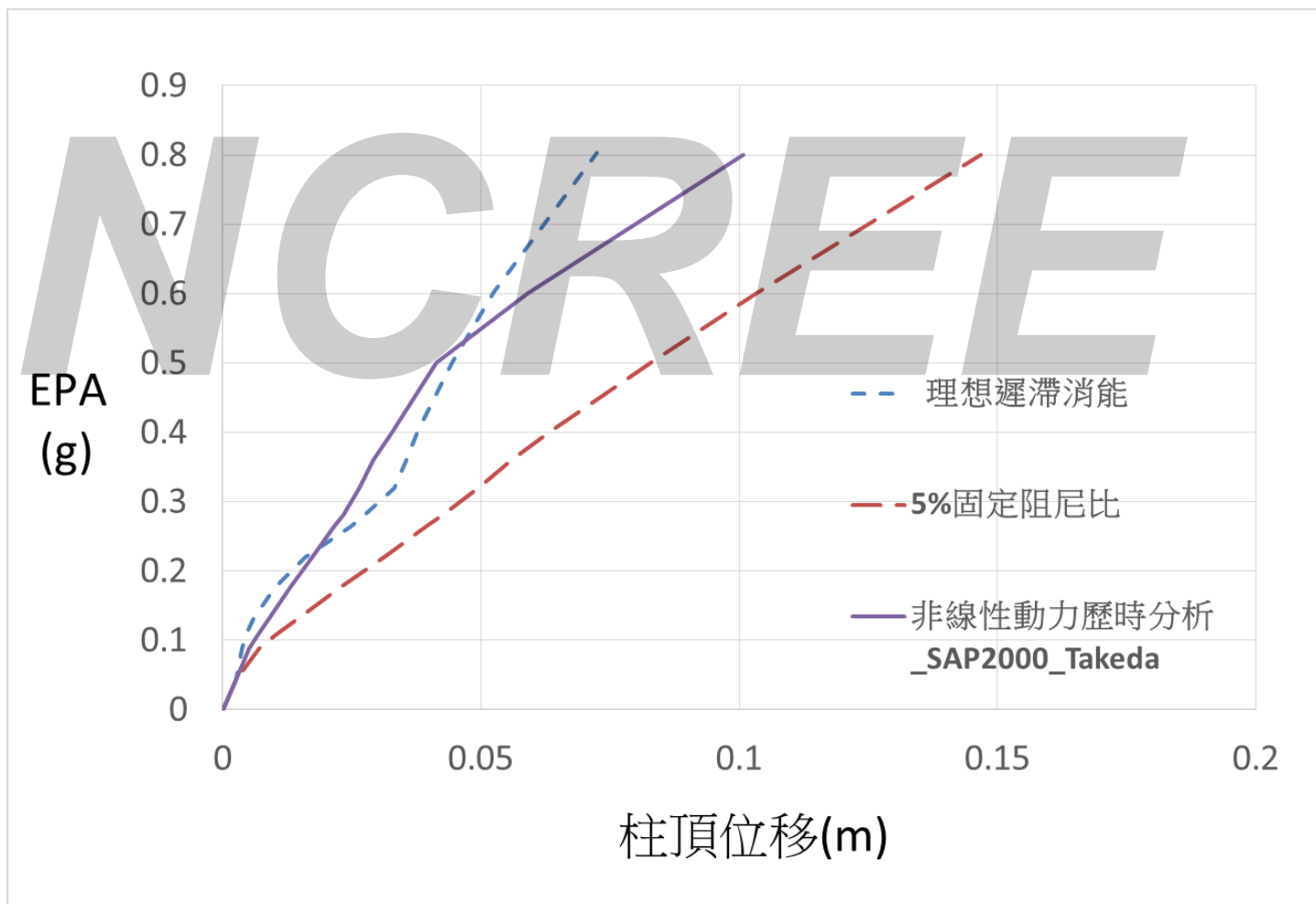
# 基準測試案例與探討 (5/11)

## 測試案例\_非線性動力歷時分析成果



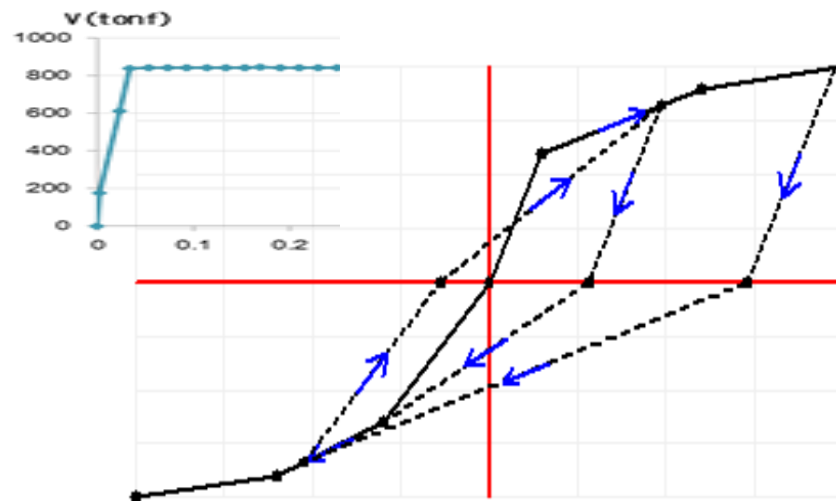
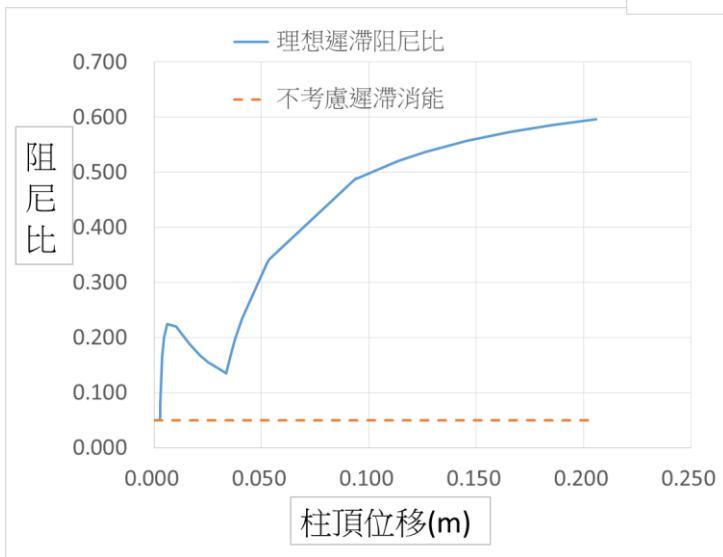
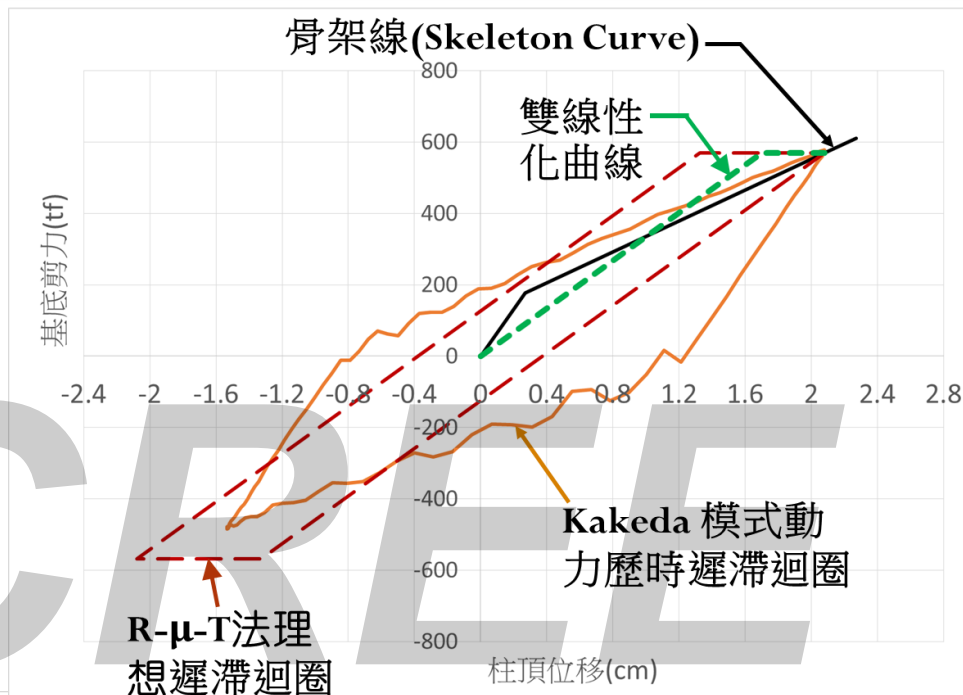
# 基準測試案例與探討 (6/11)

- R- $\mu$ -T法與動力歷時分析測試案例比較
- 在混凝土顯著開裂後至降伏附近，動力歷時分析有比理想遲滯消能還高的EPA



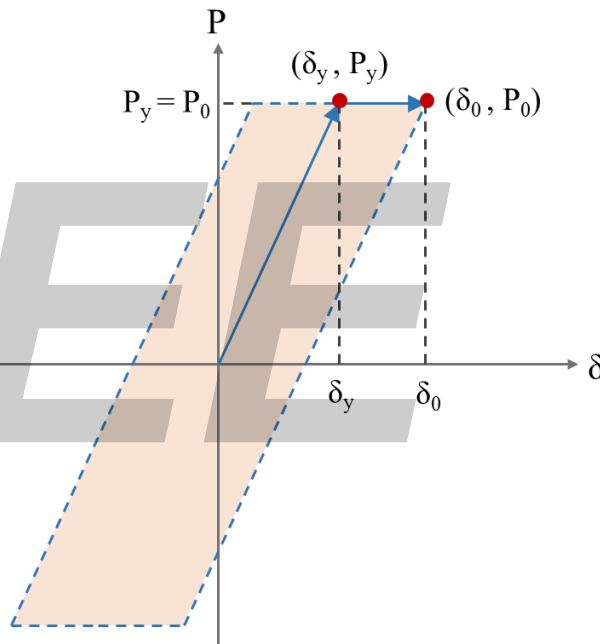
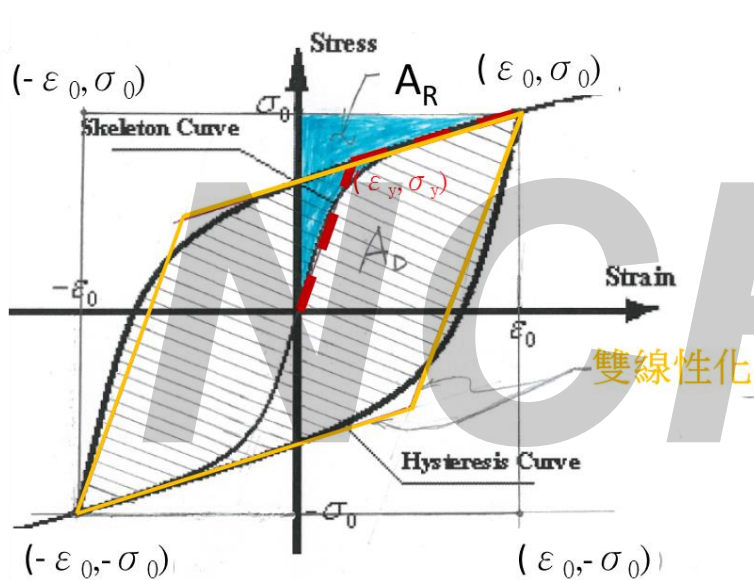
# 基準測試案例與探討 (7/11)

- 如右圖示，理想遲滯迴圈阻尼比  $\beta_{eff} = 11.5\%$ ，Kakeda Model 則為  $\beta_{eff} = 19\%$ ，總計後阻尼比分別為 16.5% 及 24%，初判為該區段阻尼較高所致。



# 基準測試案例與探討 (8/11)

理想與實際遲滯迴圈間的高不確定性，造成實務應用的問題。



$$A_D = 4 \times (\epsilon_0 \times \sigma_0 - 2A_R)$$

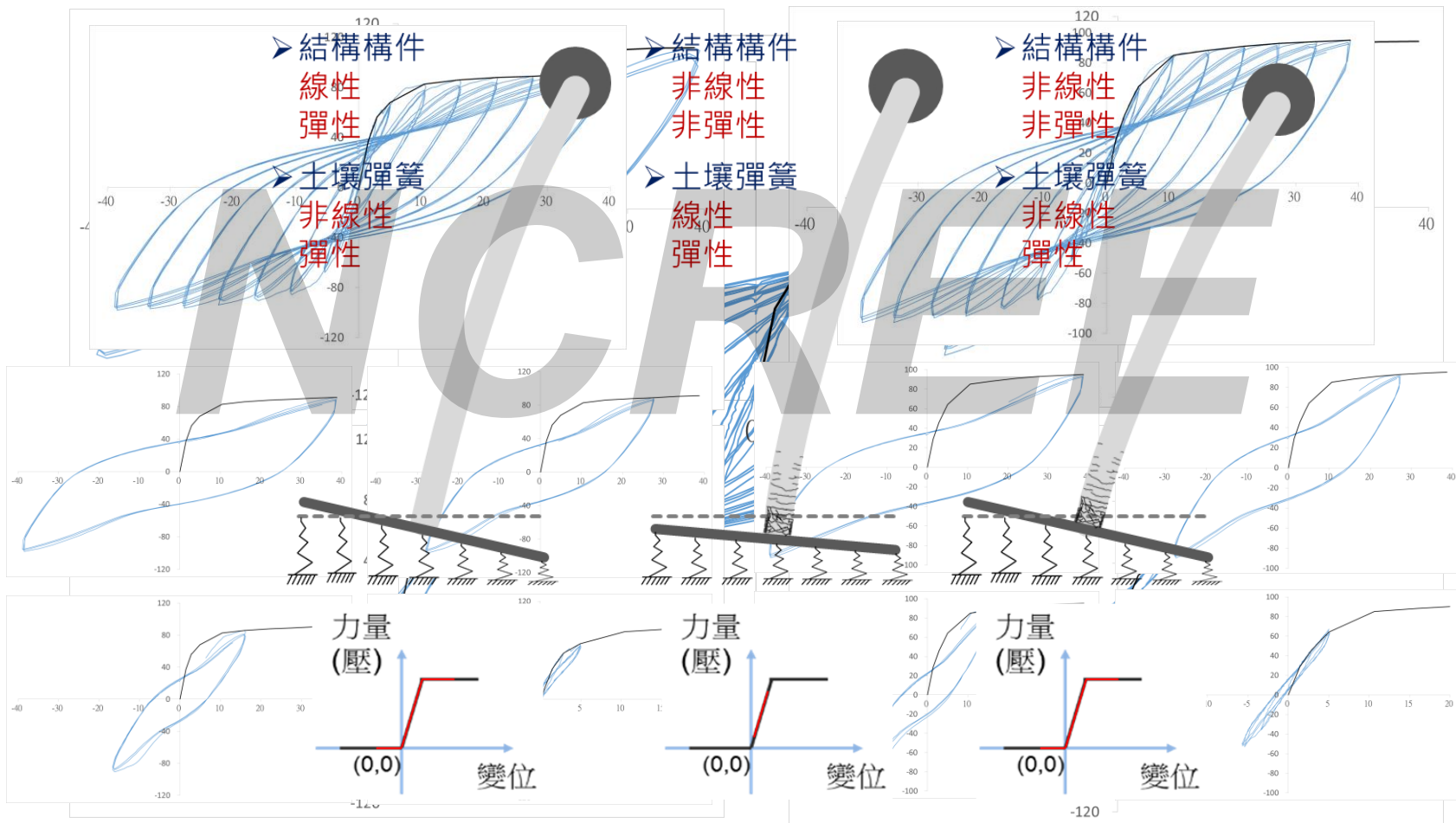
$$\beta_{eff} = \frac{A_D}{2\pi\epsilon_0\sigma_0}$$

$$\beta_{eff} = \frac{4(\delta_0 - \delta_y) \times P_y}{\pi\delta_0 P_y}$$

理想 (飽滿) 的遲滯迴圈

# 基準測試案例與探討 (9/11)

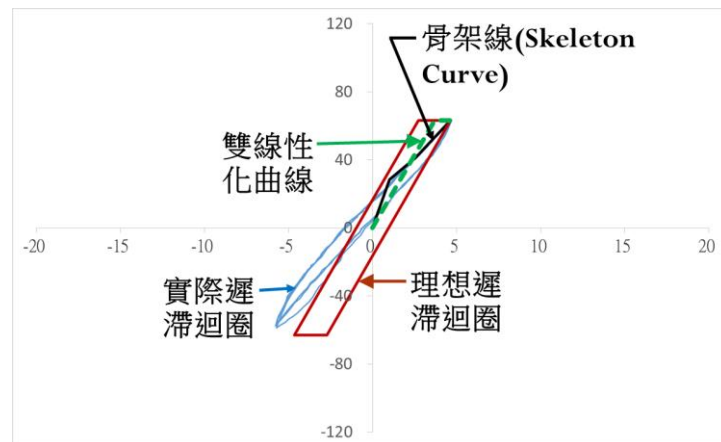
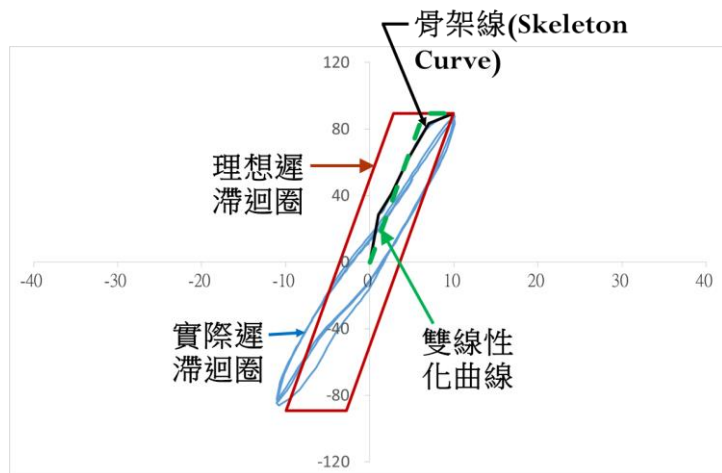
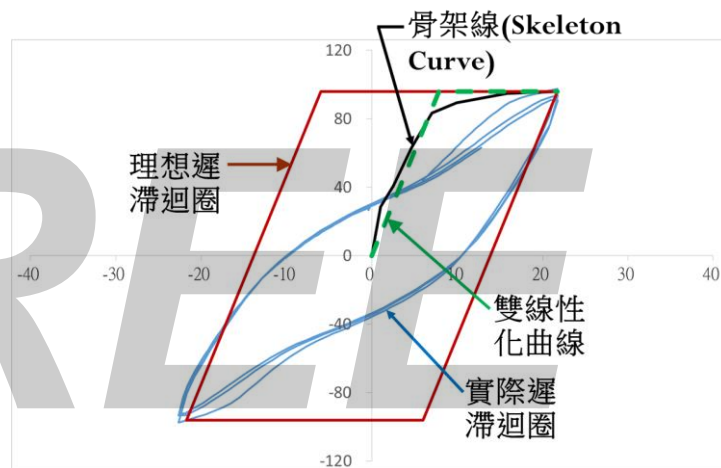
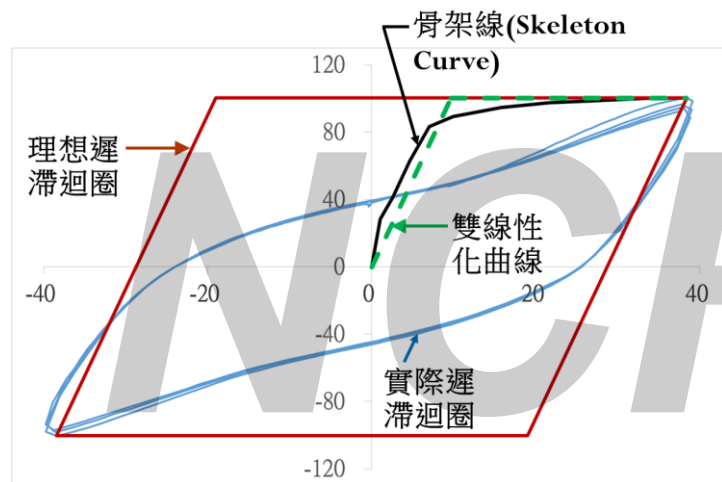
理想與實際遲滯迴圈間的高不確定性，造成實務應用的問題。



實際 (非飽滿) 的遲滯迴圈

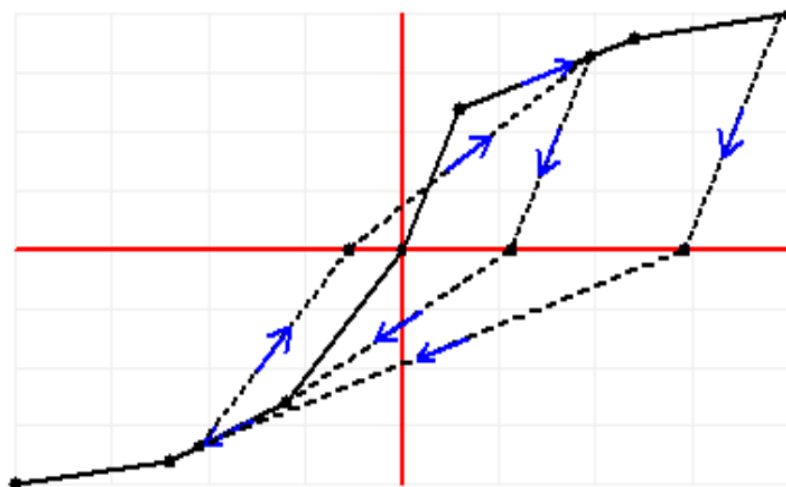
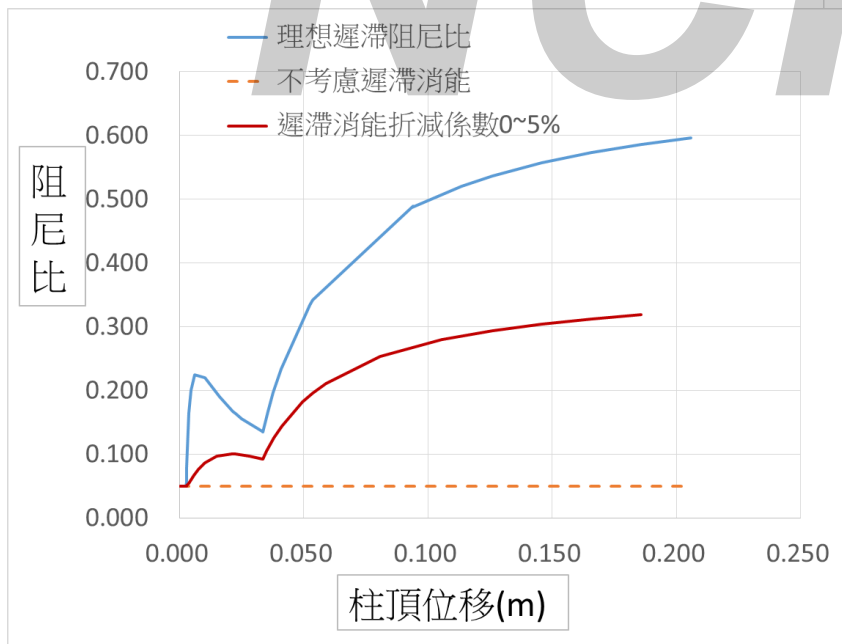
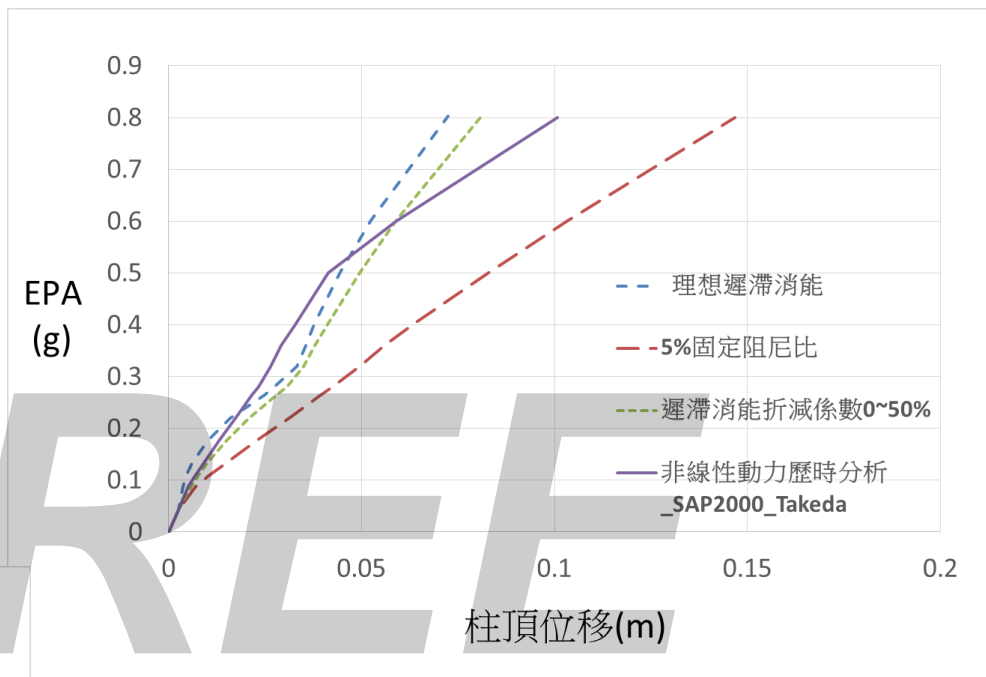
# 基準測試案例與探討 (10/11)

就上述實驗案例，實際遲滯迴圈消能阻尼比各區段不一，後降伏段約略為理想消能的30-50%，混凝土開裂至降伏段顯著由小至大之趨勢。



# 基準測試案例與探討 (11/11)

- 作適當的遲滯迴圈  
消能折減
- 以混凝土開裂時折  
減至0%，降伏後折  
減至50%，其間折減  
數以二次曲線變化



# 敬請指教

