

「結構耐震設計、評估與補強」系列簡報  
2019.10.31 (四)

結構耐震設計與評估：  
以側推分析檢核軟弱層

鍾立來

陳俊鴻、楊耀昇、邱聰智

國家地震工程研究中心

國立臺灣大學土木工程學系

國立成功大學土木工程學系

# 設計與評估：以側推分析檢核軟弱層

靜載重及活載重 (垂直力)

一層一層地往下傳，一樓承受之垂直力最大。

地震力 (水平力)

地震力往下累加，一樓承受之水平剪力最大。

一樓柱子之尺寸，不見得較大，

一樓牆量，不見得較多。

因此，一樓弱層遂形成。

再加上弱柱強梁，

一樓崩塌即為其最可能之破壞模式。

# 軟層

建築物耐震設計規範  
表1-1

## 樓層 $i$ 為軟層

$$\frac{k_i}{k_{i+1}} < 0.70$$

$$\frac{k_i}{(k_{i+1} + k_{i+2} + k_{i+3})/3} < 0.80$$

$k_i$ ：樓層  $i$  之勁度

## 樓層 $i$ 為極軟層

$$\frac{k_i}{k_{i+1}} < 0.60$$

$$\frac{k_i}{(k_{i+1} + k_{i+2} + k_{i+3})/3} < 0.70$$

# 軟層

側推第0步，已施加全部靜載重及一半活載重

第0步樓層  $i$  之位移  $\Delta_i(0) \neq 0$

側推第1步，結構仍處彈性

第0步之位移歸零，得樓層  $i$  位移  $\Delta_i = \Delta_i(1) - \Delta_i(0)$

樓層  $i$  層間位移  $\delta_i = \Delta_{i+1} - \Delta_i$

樓層  $i$  剪力  $V_i = V_i(1)$

樓層  $i$  勁度  $k_i = \frac{V_i}{\delta_i}$

# 軟層

## 範例樓房

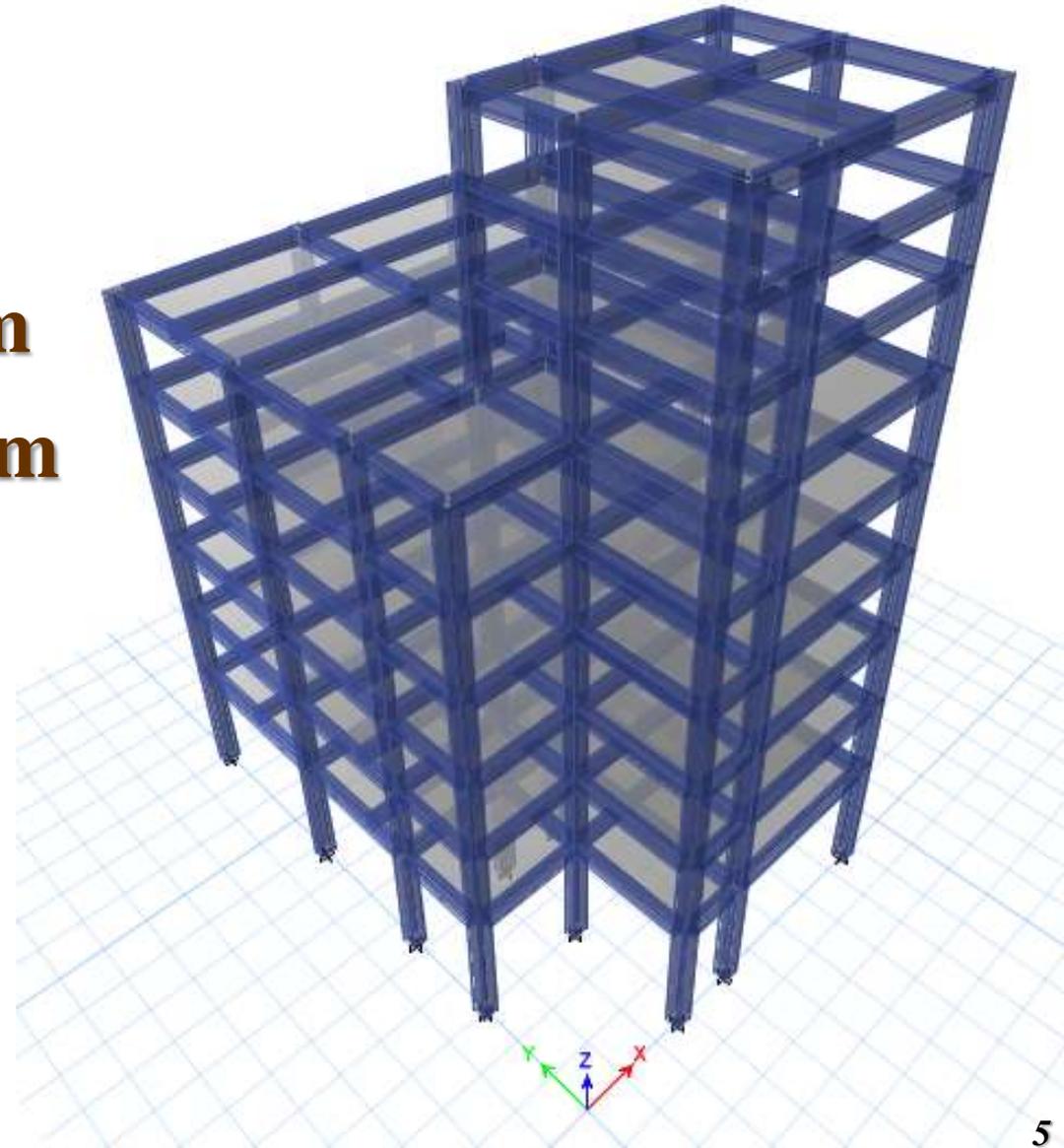
6層樓 (外加3層屋突)

鋼筋混凝土造

樓高 (不含屋突) 23.6 m

一樓停車，挑高為5.6 m

其餘樓層高3.6 m



# 軟層

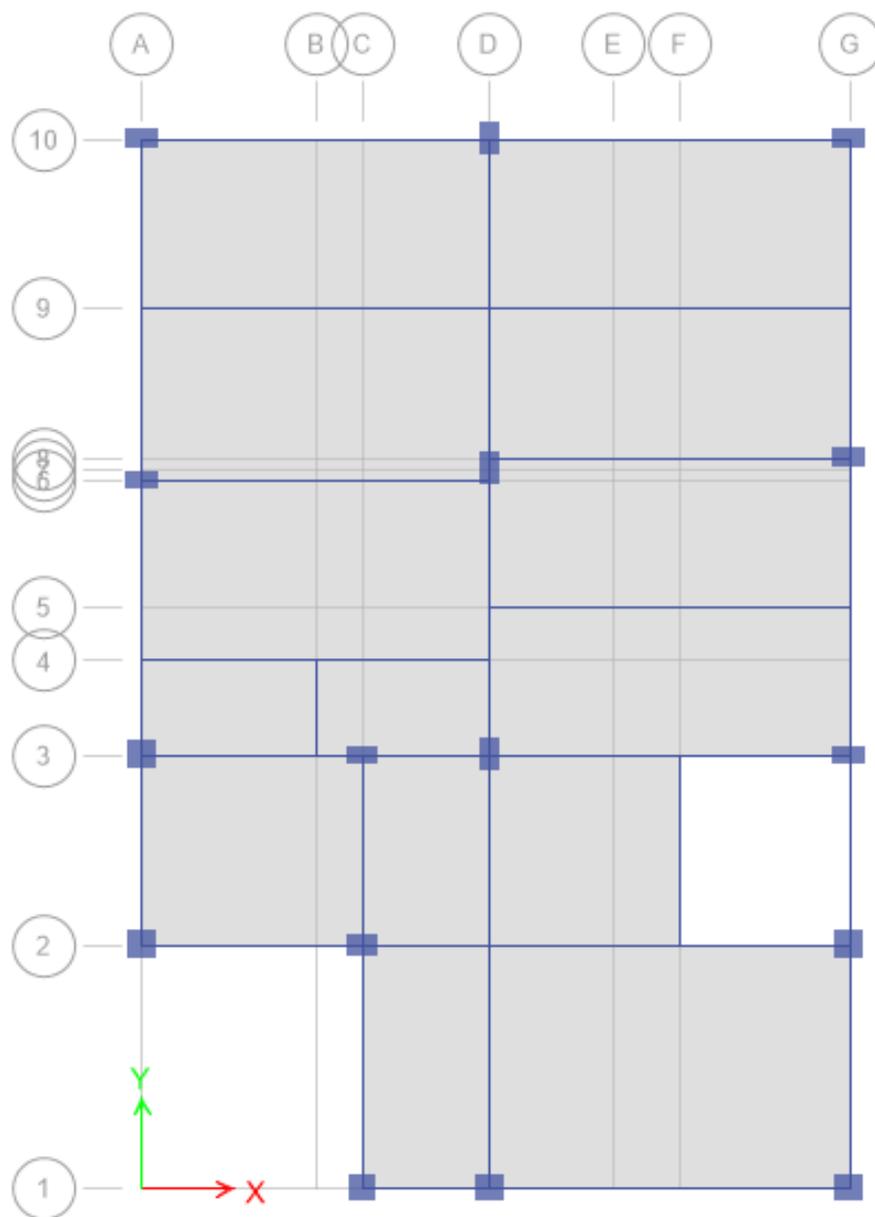
## 範例樓房

每一樓層之樓地板面積

皆為 $301.5 \text{ m}^2$

有16根柱子

無RC牆或磚牆

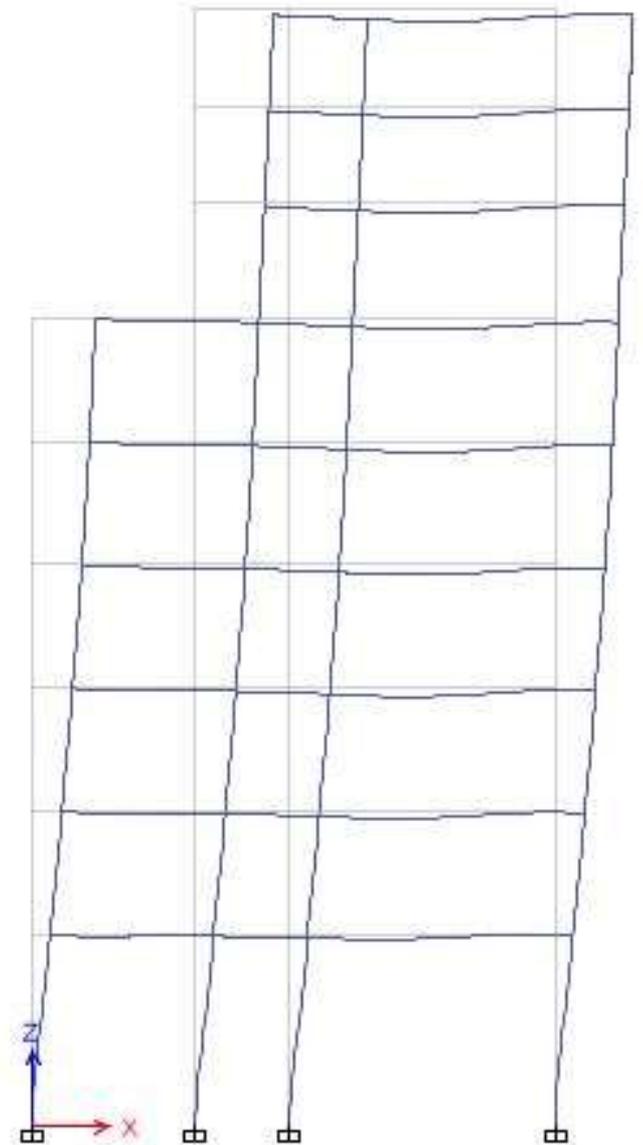


## 側推分析

### 第1步

非線性鉸尚未產生

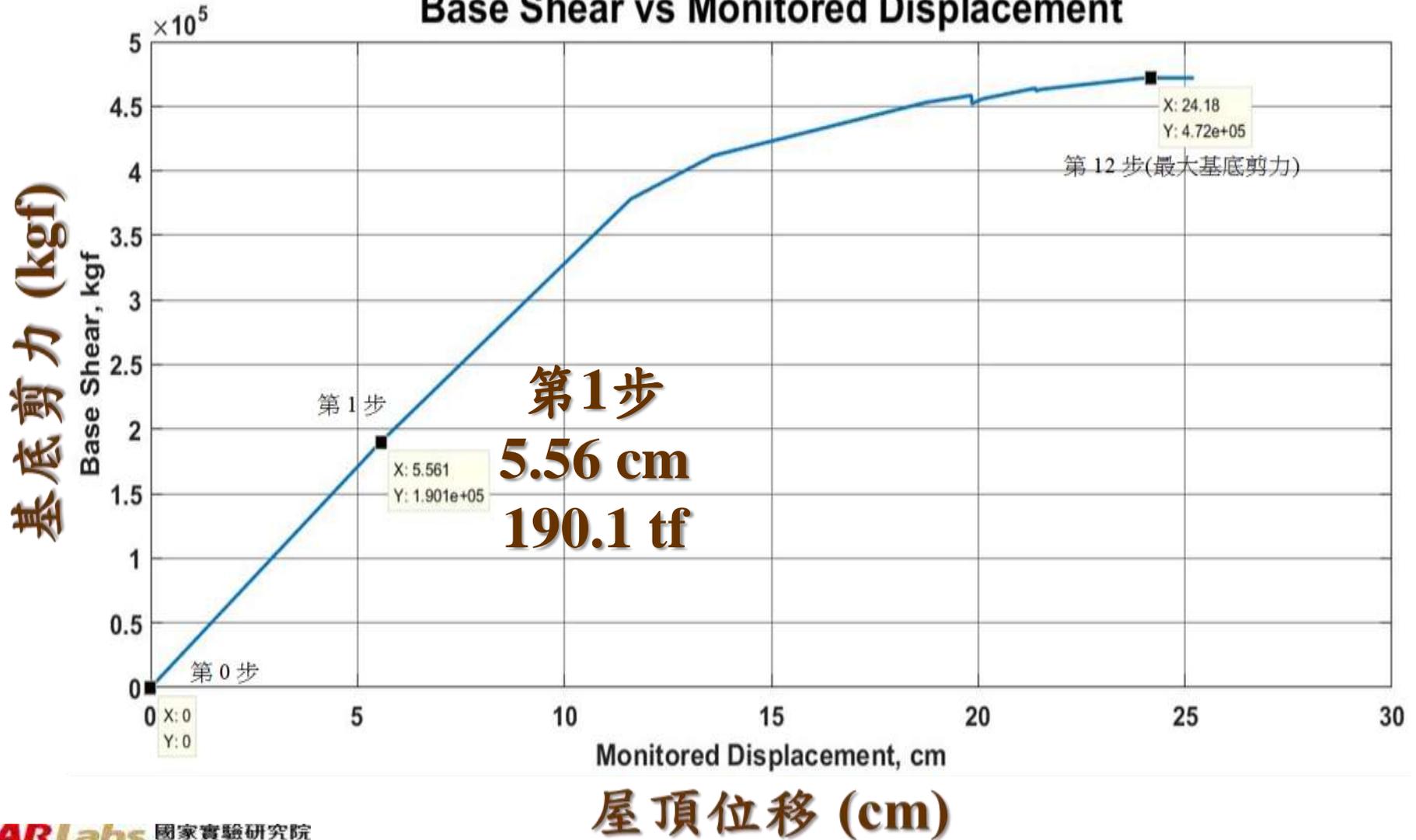
仍為線彈性



# 軟層

## 側推分析：容量曲線

### Base Shear vs Monitored Displacement



# 軟層

## 軟層檢核

樓層 $i$	剪力 $V_i$ (tf)	層間位移 $\delta_i$ (cm)	勁度 $k_i$ (tf/cm)	勁度比 $k_i/k_{i+1}$	勁度比 $\frac{3k_i}{k_{i+1} + k_{i+2} + k_{i+3}}$
6F	61.90	0.4814	128.59	--	--
5F	99.99	0.6843	146.13	1.136	--
4F	132.94	0.8808	150.93	1.033	--
3F	159.92	1.0408	153.65	1.018	1.083
2F	179.78	1.1845	151.78	0.988	1.010
1F	190.13	1.7907	106.17	0.700	0.698

< 0.700  
軟層

< 0.7  
極軟層

# 弱層

建築物耐震設計規範  
表1-1

樓層  $i$  為弱層

$$\frac{(V_C/V_D)_i}{(V_C/V_D)_{i+1}} < 0.8$$

$V_{Ci}$  : 樓層  $i$  之剪力 (側力) 強度 (容量)

$V_{Di}$  : 樓層  $i$  之設計剪力 (側力) (需求)

# 弱層

樓層之極限剪力強度 (容量)

$$\frac{(V_C/V_D)_i}{(V_C/V_D)_{i+1}} < 0.8$$

一樓之極限剪力強度

僅於一樓柱子 (垂直構件) 及二樓梁 (水平構件)，設置非線性鉸，再執行側推分析，得  $V_{C1}$ 。

二樓之極限剪力強度

僅於二樓柱子及二、三樓梁，設置非線性鉸，再執行側推分析，得  $V_{C2}$ 。

以此類推，得各樓層之極限剪力強度 (容量)  $V_{Ci}$ 。

# 弱層

樓層  $i$  之設計剪力 (需求)

$$V_{Di} = \sum_{j>i} F_j$$

$F_j$  : 樓層  $j$  之設地震力

$$\frac{(V_C/V_D)_i}{(V_C/V_D)_{i+1}} < 0.8$$

# 弱層

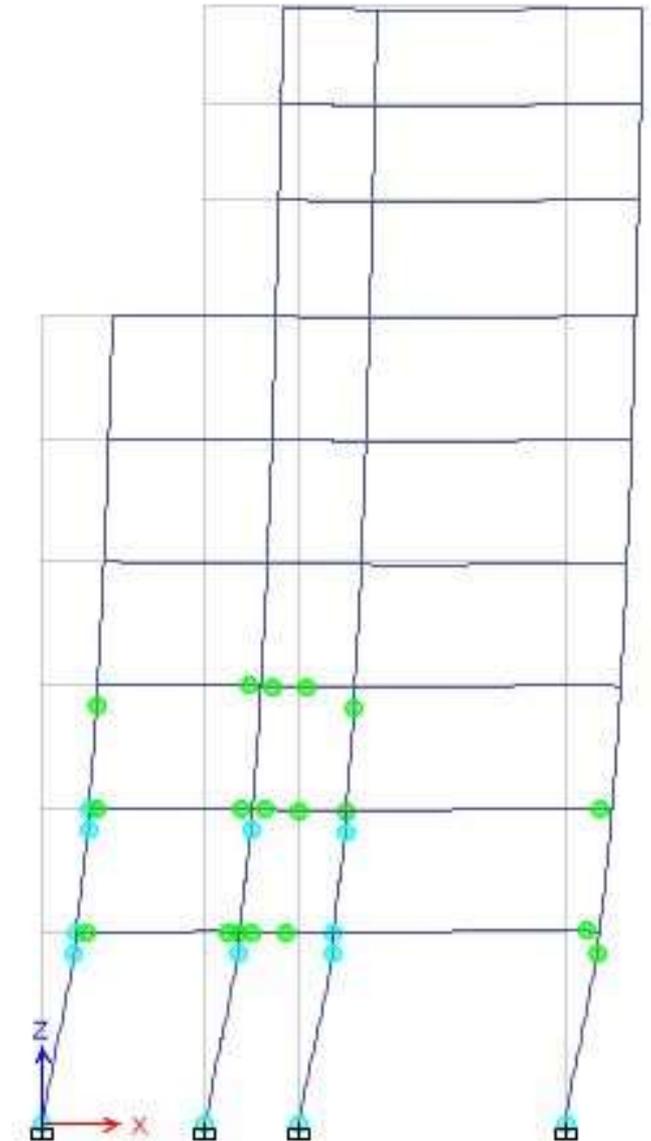
側推分析

第12步

達最大基底剪力

一樓柱底及柱頂

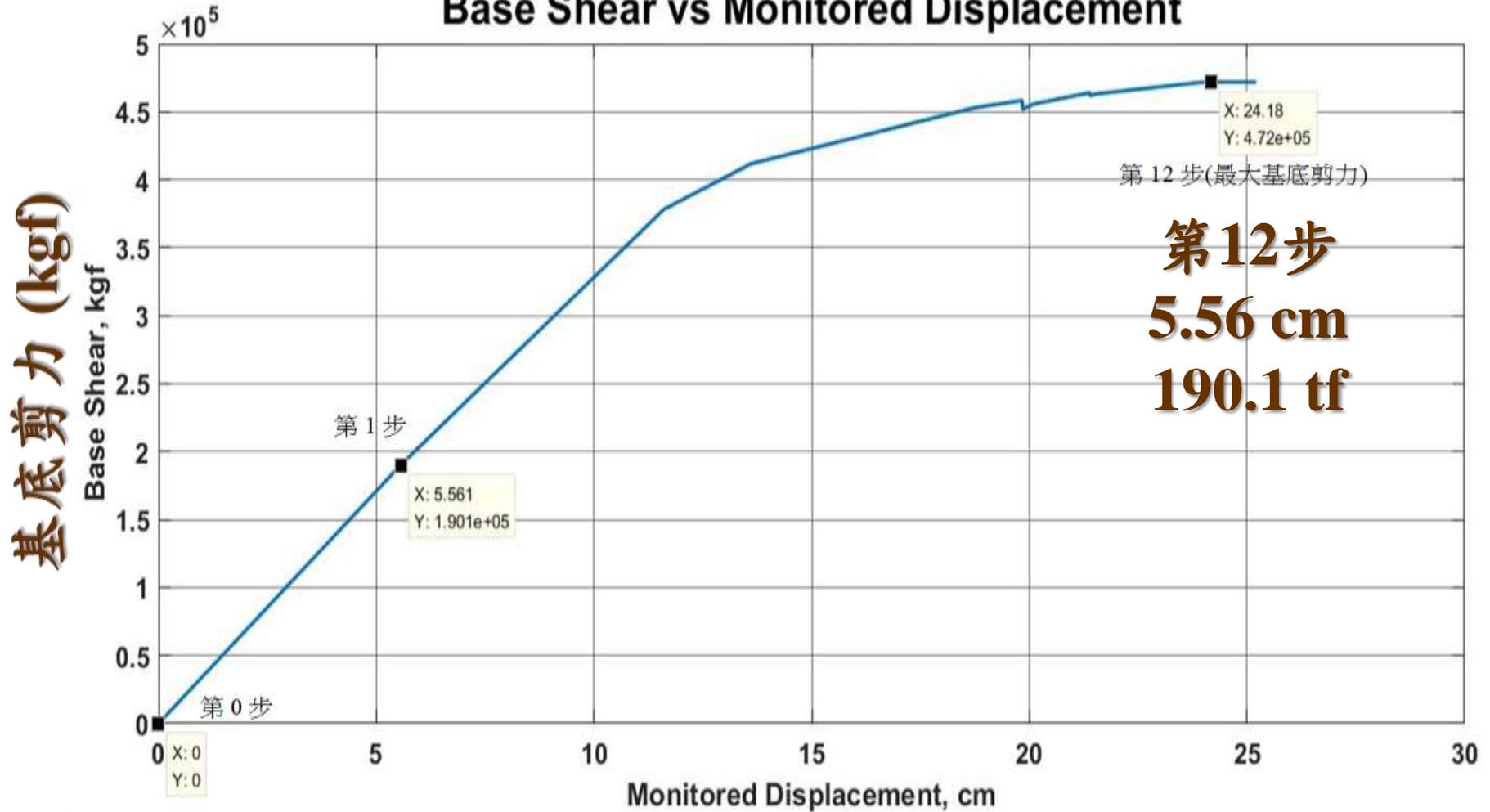
皆產生非線性鉸



# 弱層

## 側推分析：容量曲線

### Base Shear vs Monitored Displacement



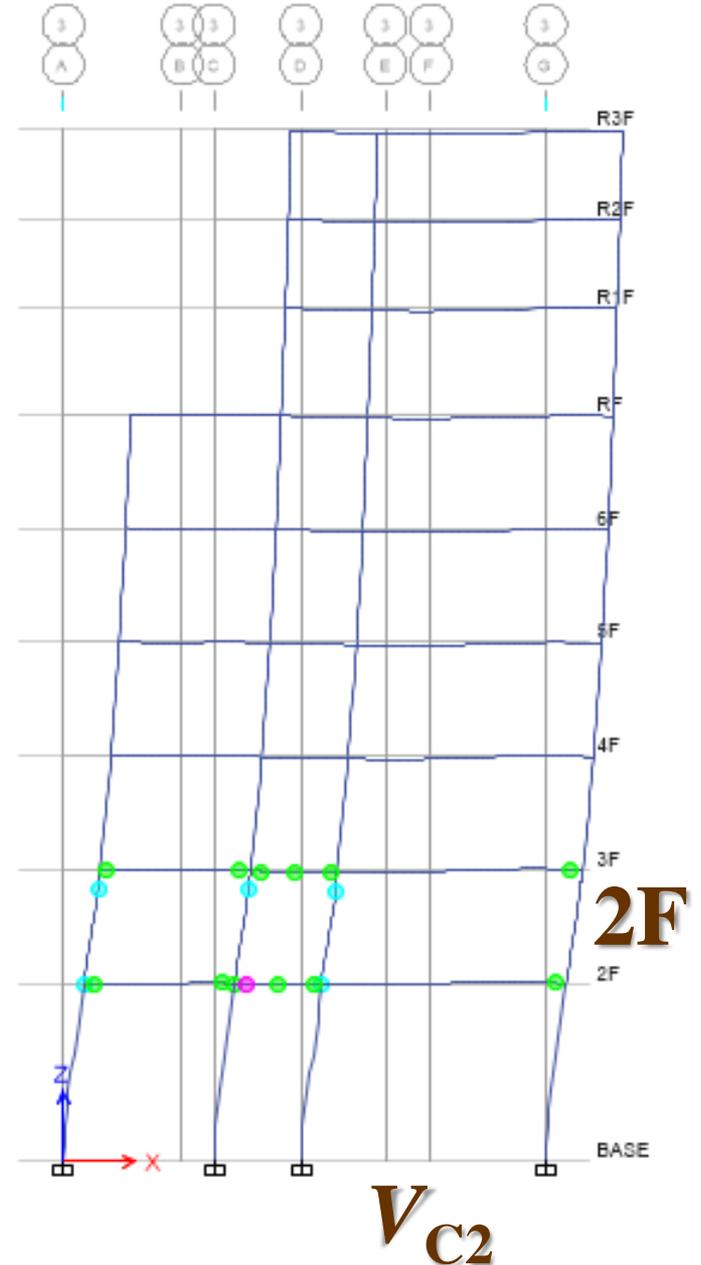
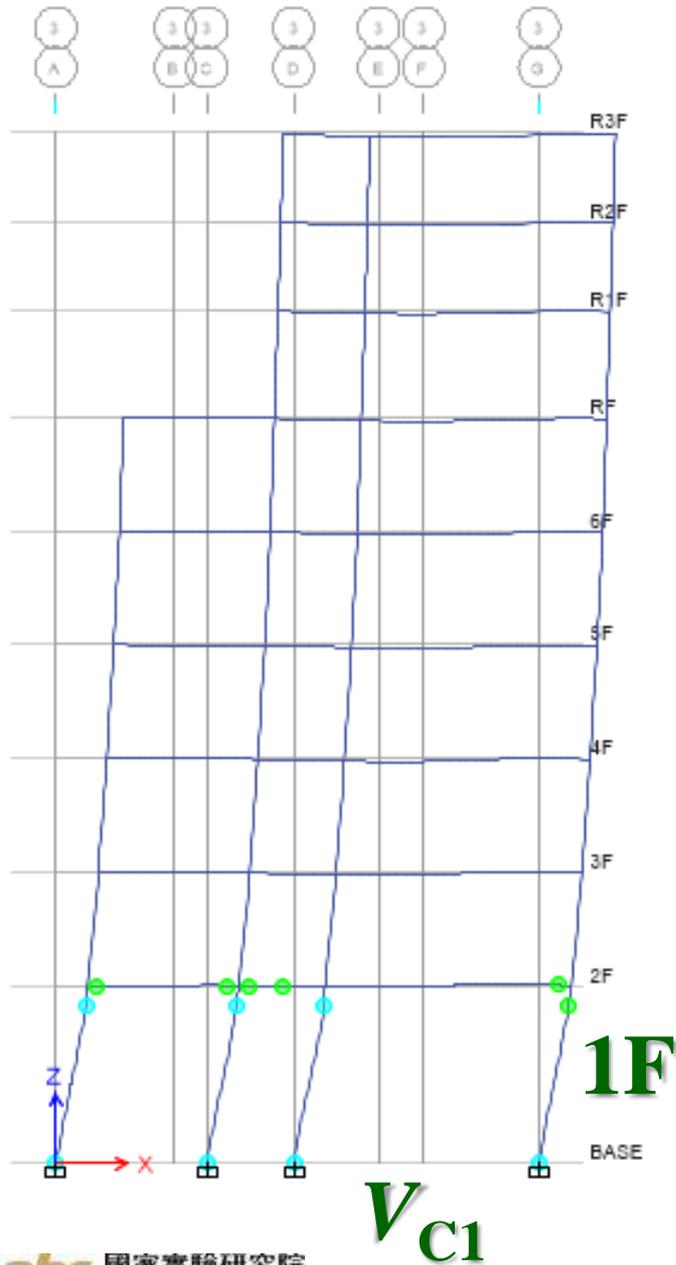
基底剪力 (kgf)

第12步(最大基底剪力)

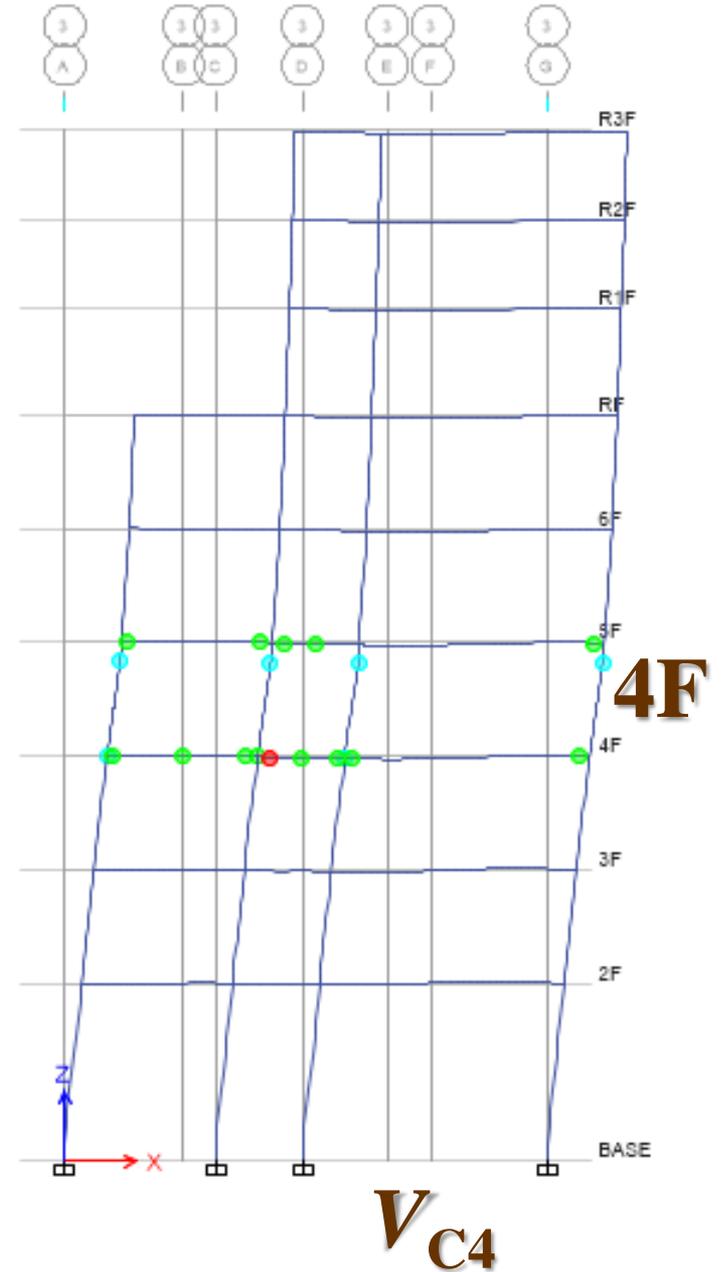
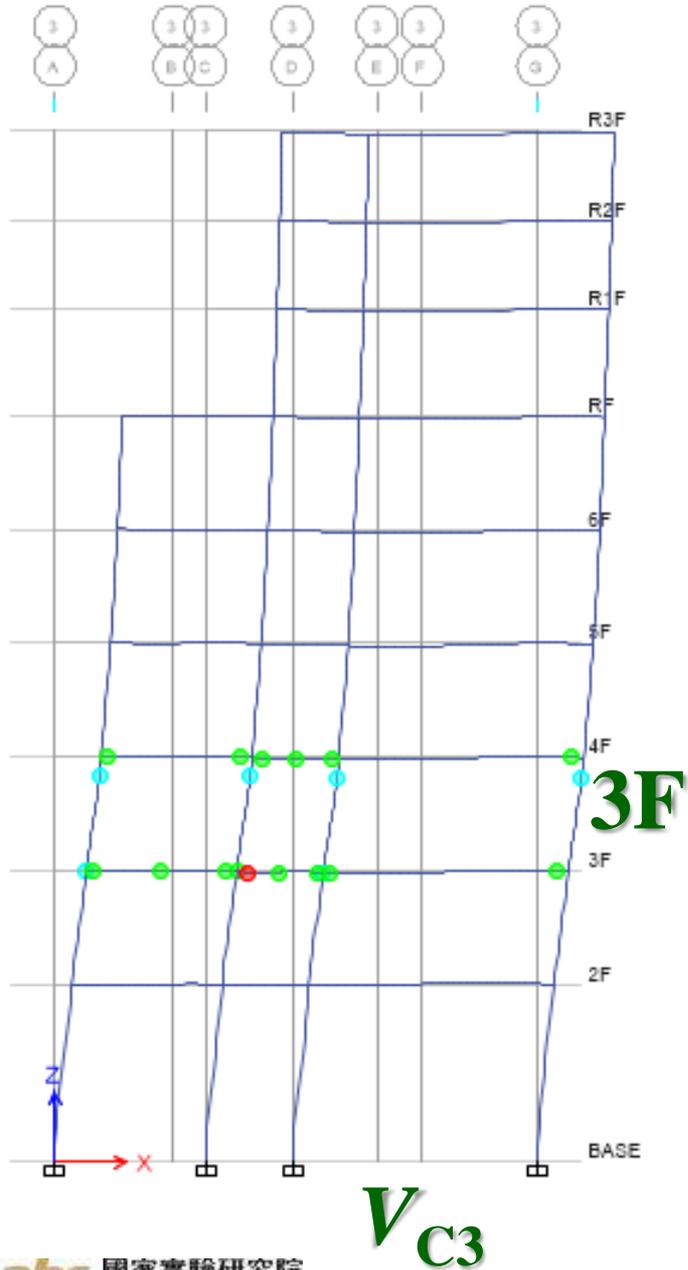
第12步  
5.56 cm  
190.1 tf

屋頂位移 (cm)

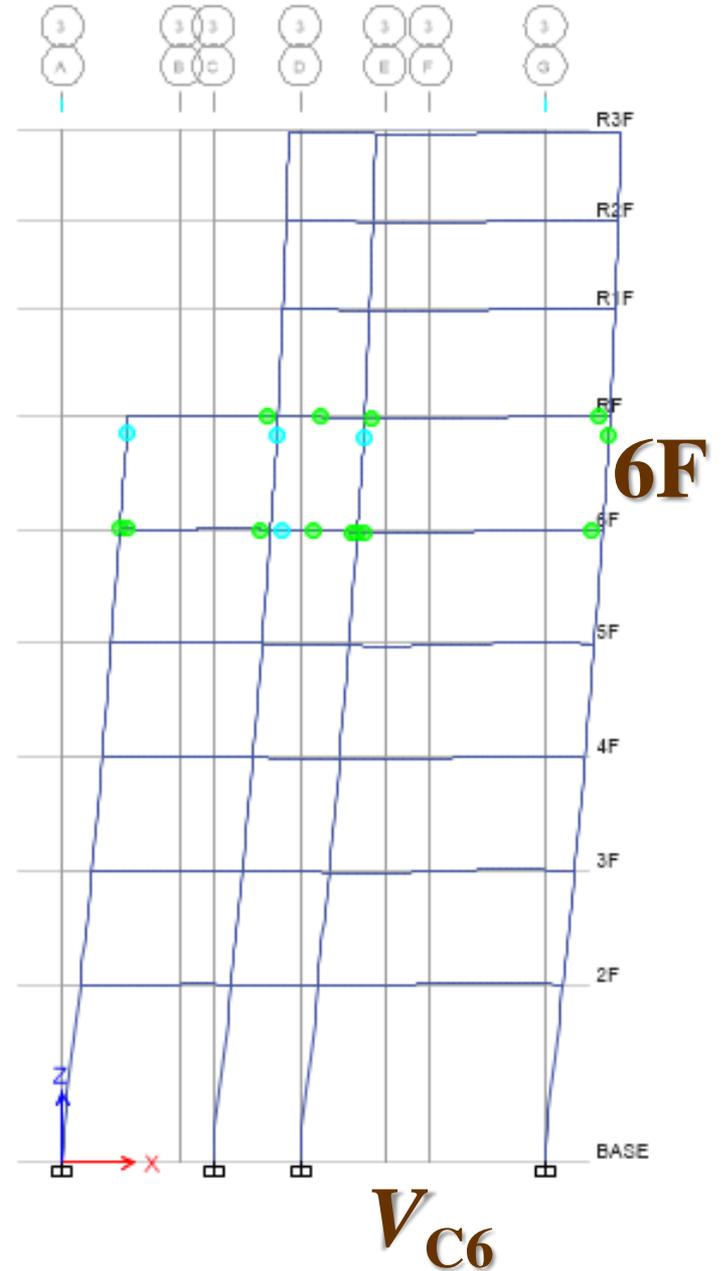
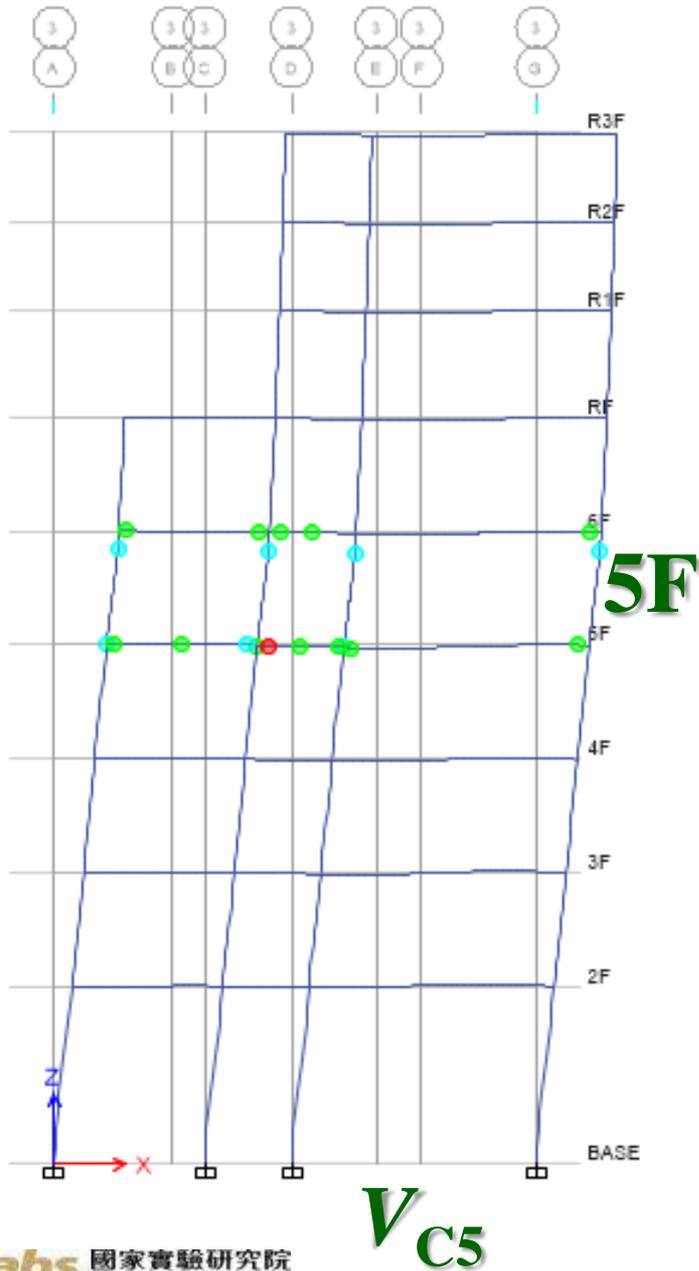
# 弱層



# 弱層



# 弱層



# 弱層

## 弱層檢核

樓層 $i$	剪力容量 $V_{Ci}$ (tf)	剪力需求 $V_{Di}$ (tf)	容量需求比 $(V_C/V_D)_i$	上下樓層比 $\frac{(V_C/V_D)_i}{(V_C/V_D)_{i+1}}$
6F	493.6	185.1	2.667	--
5F	644.6	338.6	1.904	0.714
4F	680.4	463.8	1.467	0.771
3F	671.1	562.1	1.194	0.814
2F	581.4	632.3	0.919	0.770
1F	467.2	670.0	0.697	0.758

< 0.8  
弱層

# 設計與評估：以側推分析檢核軟弱層

鍾立來、陳俊鴻、楊耀昇、邱聰智 (2019)，「結構耐震設計與評估：以側推分析檢核軟弱層」，技師報，第1175期。

鍾立來、施忠賢、楊耀昇、賴昱志、賴濤、蕭輔沛、邱聰智 (2016)，「0206美濃地震：維冠金龍大樓可能之倒塌機制」，技師報第1017期，  
<https://youtu.be/z04ffPqPN2k>。

鍾立來、翁樸文、蕭輔沛、邱聰智、沈文成、李翼安、黃世建、趙汶欣、楊耀昇、邱建國 (2018)，「0206花蓮地震中高樓建築物倒塌之勘察」，土工技術，第156期。

中國土木水利工程學會 (2011)，「混凝土工程設計規範之應用(土木404-100)下冊」，科技圖書。

內政部營建署 (2011)，「建築物耐震設計規範及解說」。

# 設計與評估：以側推分析檢核軟弱層

以非線性側推分析，  
檢核軟弱層  
掌握樓房之耐震表現  
供工程界自主檢查  
減緩軟弱層之集中式破壞

謝謝！

<https://youtu.be/yVhY8DD8lyM>

Chung's group

<https://www.youtube.com/channel/UCkqFe9pQB9u5bYvmuRrIZTw>