

# 2017結構抗震與健康監測新技術研討會

## 橡膠支承於建築應用— 以實驗動物中心案為例

---

潤弘精密工程  
梁嘉洲 協理  
2017.08.11



第 1 頁(共 67 頁)

## 簡報內容

---

- 一. 建築物概述與隔震目標
- 二. 地震微分區與設計地震力
- 三. 隔震系統規劃
- 四. 隔震性能分析
- 五. 隔震構造細節

# 一、建築物概述與隔震目標



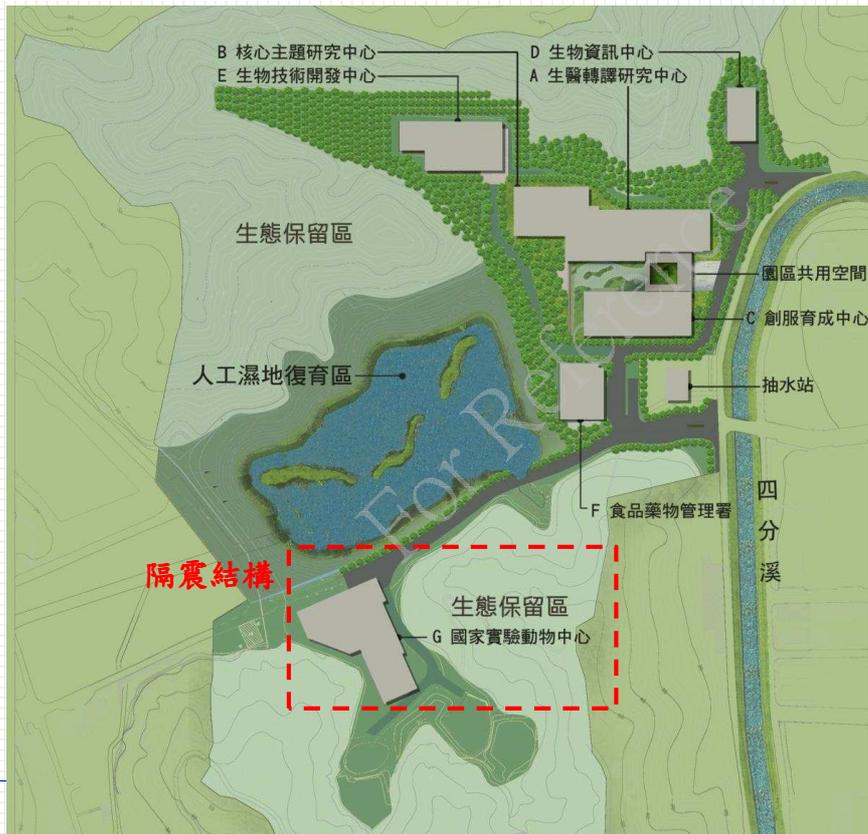
第 3 頁(共 67 頁)

## 國家生技研究園區基地位置



第 4 頁(共 67 頁)

# 國家生技研究園區配置圖



- 1 A 生醫轉譯研究中心
- 2 B 核心主題研究中心
- 3 C 創服育成中心
- 4 D 生物資訊中心
- 5 E 生物技術開發中心
- 6 F 食品藥物管理署
- 7 G 國家實驗動物中心

# 國家實驗動物中心外觀 (興建中)



# 建築概述

- 國家生技園區：
  - 業主：中央研究院
  - 統包團隊：榮工工程+亞翔工程+劉培森建築師事務所
  - 結構設計：中興工程顧問
  
- 國家實驗動物中心：
  - 設有大鼠、小鼠、倉鼠、天竺鼠及兔之育種及代養區，提供基因改造鼠產製、國家實驗鼠種原庫製作、大小鼠育種供應及各項品管與動物實驗技術服務。
  - 樓層配置：地上6層/地下1層
  - 結構型式：上構 PC預鑄/隔震/下構 RC場鑄
  - 隔震規劃：隔震層位於1F與B1F間



第 7 頁(共 67 頁)

## 國家實驗動物中心 隔震目標

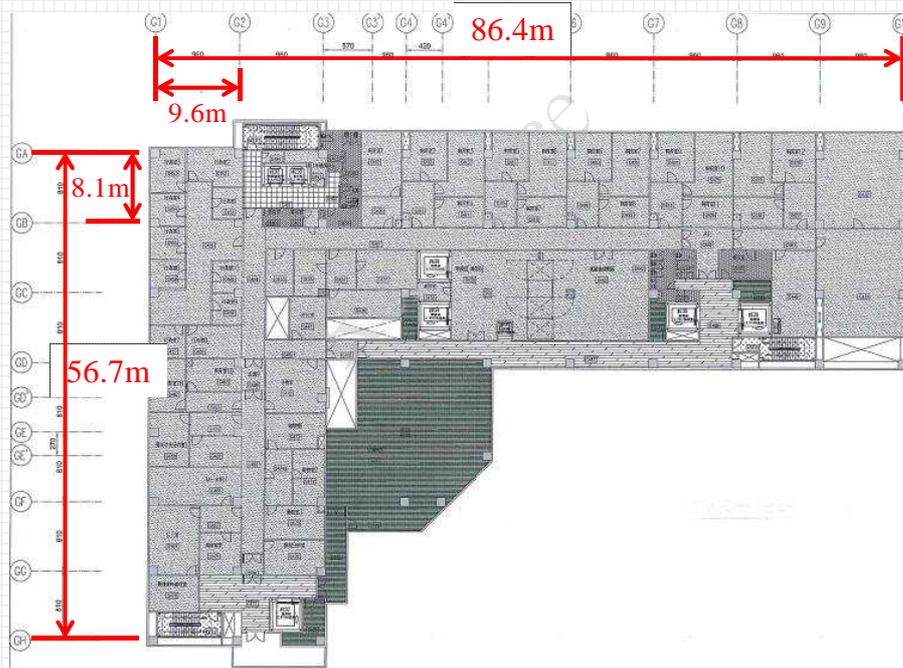
- 結構強度需求：
  - 設計地震(DBE)：320gal 結構保持彈性
  - 最大考量地震 (MCE)：400gal 結構安全無虞
  
- 隔震性能需求：
  - 中小地震 **80 gal**：內部最大加速度 < **150gal**
  - 設計地震 **320 gal**：內部最大加速度 < **250gal**
  
- 結構剛性需求：
  - 設計地震(DBE)：樓層層間變位角 < 0.02



第 8 頁(共 67 頁)

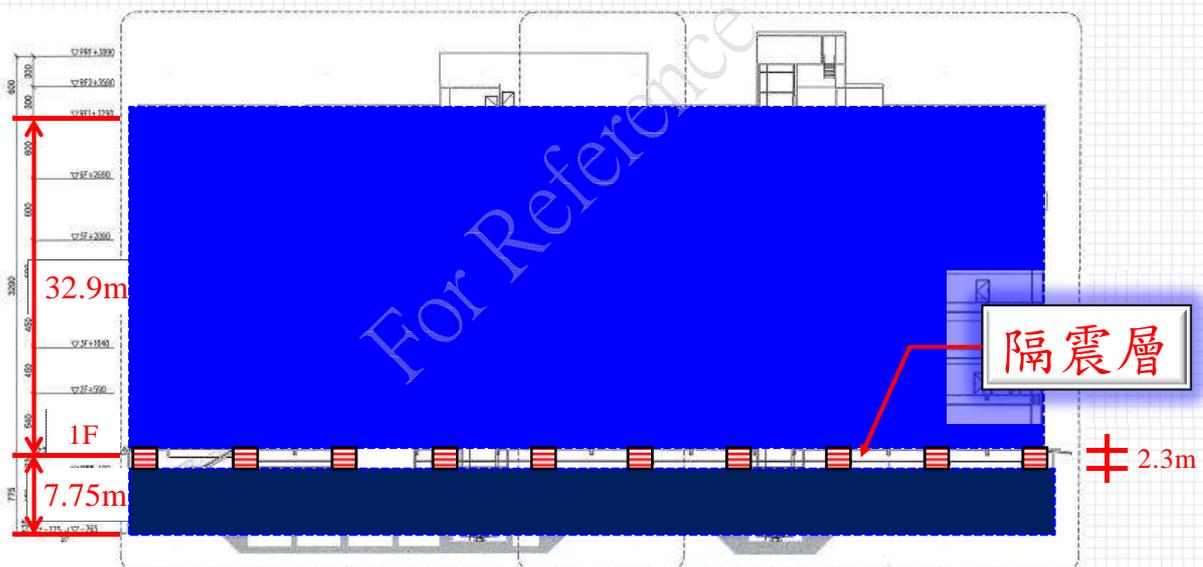
# 建築平面配置

- 標準跨距：X向9.6m/ Y向8.1m



# 建築立剖面配置

- 地上6層/高32.9m · 地下1層/深7.75m
- 隔震層高2.3m@1F版下

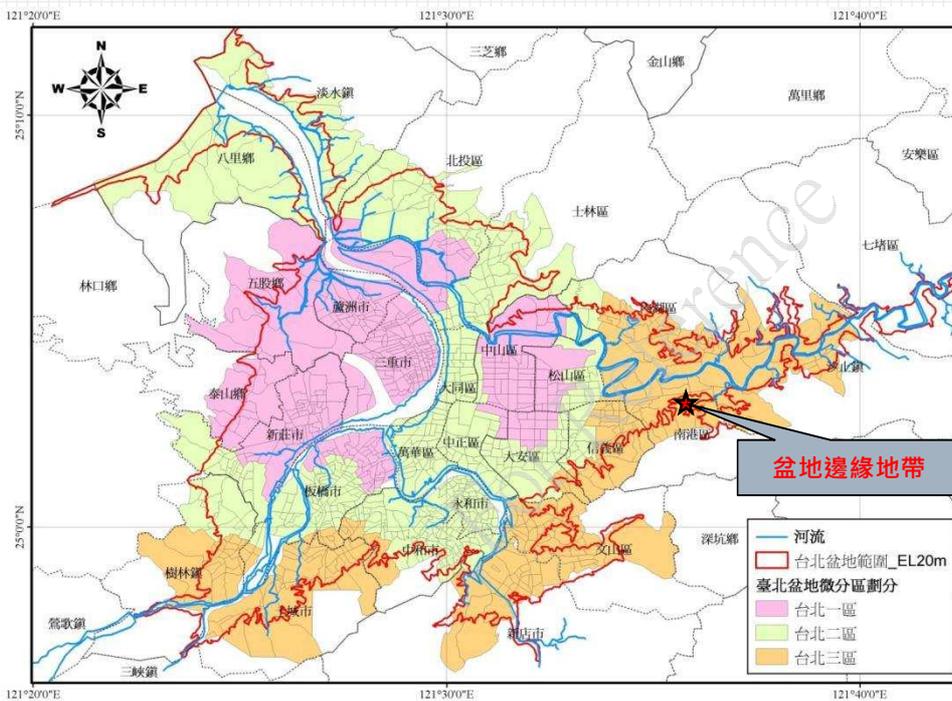


## 二、地震微分區與設計地震力



第 11 頁(共 67 頁)

## 設計地震微分區



台北市  
南港區中南里

→ (台北三區)

臺北盆地設計地震微分區

第 12 頁(共 67 頁)

# 耐震設計規範及解說

## 2.7 臺北市及新北市之工址設計與最大考量水平譜加速度係數

臺北市及新北市之震區分為臺北盆地微分區及一般震區。

### 2.7.1 臺北盆地微分區

臺北盆地範圍訂定為淡水河水系內海拔 20 公尺以下區域，包括臺北市及新北市之三重區、新莊區、板橋區、中和區、永和區、新店區、土城區、樹林區、蘆洲區、五股區、泰山區、淡水區、八里區、汐止區等轄區之全部或部分里，並劃分為臺北一區、臺北二區及臺北三區，如表 2-6(a)所示。

#### 解說：

臺北盆地內之地盤效應除了受盆地之幾何形狀影響外，亦因沖積層厚度而有所變化。考量盆地邊緣地形地質複雜，對地震力需求採較保守之訂定，但由實際測站資料分析顯示，若基盤深度小於 20 公尺（基盤面以下之土層需符合  $SPT-N > 50$  或  $V_{S30} > 270m/sec$  之條件），其長週期之地盤效應並不明顯。故若經由可信方法證實工址之基盤深度小於 20 公尺，則原屬臺北一區者得用臺北二區規定設計、屬臺北二區者得用臺北三區規定設計、屬臺北三區者得用一般震區規定設計，其設計值可依據表 2-6(b)，參照相鄰地區之規定，採保守設計。

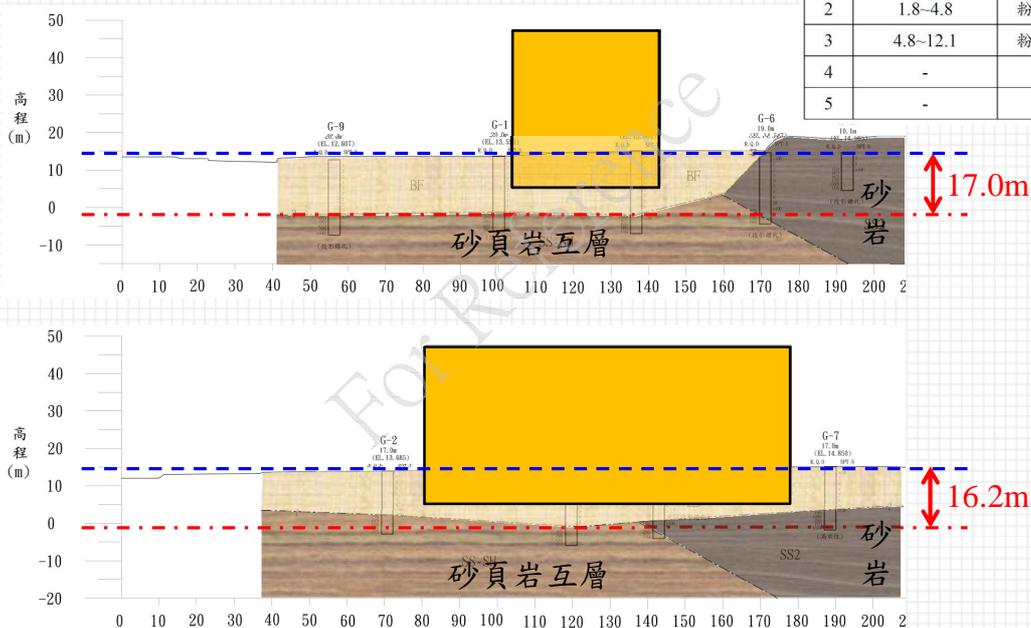


第 13 頁(共 67 頁)

## 地質剖面圖

### □ 本棟基盤深度

■ 最大深度 17.0m < 20.0m



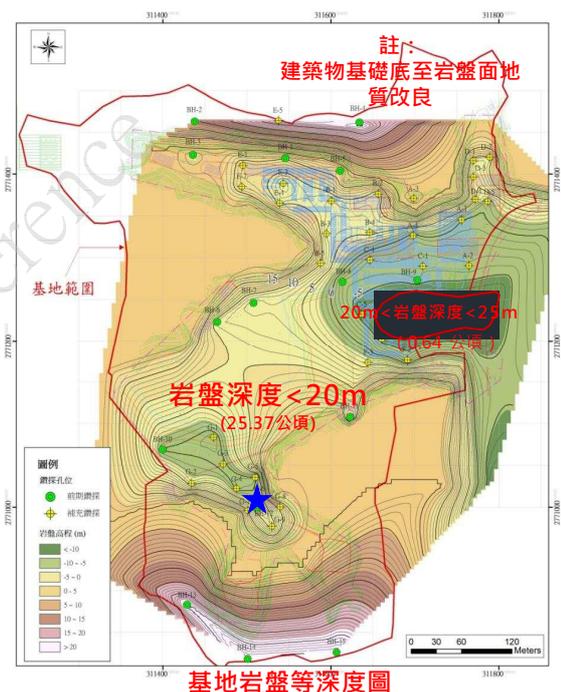
第 14 頁(共 67 頁)

# 設計地震微分區

## □ 耐震規範第2.7節解說

考量**臺北盆地邊緣**地形地質複雜，對地震力需求採較保守之訂定，若**基盤深度小於20公尺**(基盤面以下之土層需符合  $SPT-N > 50$  或  $V_{S30} > 270m/s$ )，長週期之地盤效應並不明顯，若經由可信方法證實工址之基盤深度小於20公尺，則原屬臺北一區者得用臺北二區規定設計、臺北二區者得用臺北三區規定設計、**臺北三區者得用一般震區規定設計**，參照鄉鄰地區之規定，採保守設計。

園區平均覆土層深度為  
**4.6m~18.4m <20m**



# 設計地震微分區

## □ 採用地震微分區。

- 台北三區 → 一般震區
- 採用鄰近**南港區九如里及舊莊里**之規定設計

| 區里      | $S_{DS}$ | $S_{D1}$ | $S_{MS}$ | $S_{M1}$ | $T_o^D$ | $T_o^M$ |
|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| 舊莊里/九如里 | 0.66     | 0.49     | 0.80     | 0.55     | 0.742   | 0.688   |



# 設計地震微分區

## 地盤種類

■ 歸類為**第二類地盤**

G棟區域

| 土層 | 深度    | 土壤分類 | 厚度 di | Ni  | Vsi    | di/Vsi |
|----|-------|------|-------|-----|--------|--------|
| 1  | 1.80  | 砂    | 1.8   | 5   | 136.80 | 0.0132 |
| 2  | 4.80  | 砂    | 3.0   | 7   | 153.03 | 0.0196 |
| 3  | 12.10 | 粘    | 7.3   | 4   | 158.74 | 0.0460 |
| 4  | 30.00 | 砂    | 17.9  | 100 | 371.33 | 0.0482 |
|    |       | sum  | 30.0  |     | sum    | 0.1270 |

平均剪力波速  $V_{S30} = 236.31 \text{ m/s}$  屬第二類地盤

中研院地科所ES測站

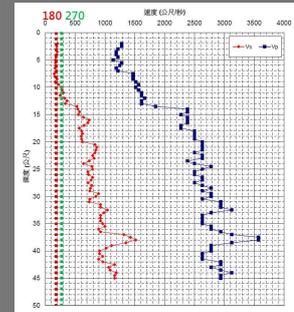
| 土層 | 深度    | 土壤分類 | 厚度 di | Ni | Vsi    | di/Vsi |
|----|-------|------|-------|----|--------|--------|
| 1  | 10.00 | 砂    | 10.0  |    | 200.00 | 0.0500 |
| 2  | 15.00 | 砂    | 5.0   |    | 400.00 | 0.0125 |
| 3  | 20.00 | 粘    | 5.0   |    | 600.00 | 0.0083 |
| 4  | 30.00 | 砂    | 10.0  |    | 750.00 | 0.0133 |
|    |       | sum  | 30.0  |    | sum    | 0.0842 |

平均剪力波速  $V_{S30} = 356.44 \text{ m/s}$  屬第一類地盤

本基地工址偏保守歸類為**第二類地盤**( $180\text{m/s} \leq V_{S30} < 270 \text{ m/s}$ )，進行地震力推算

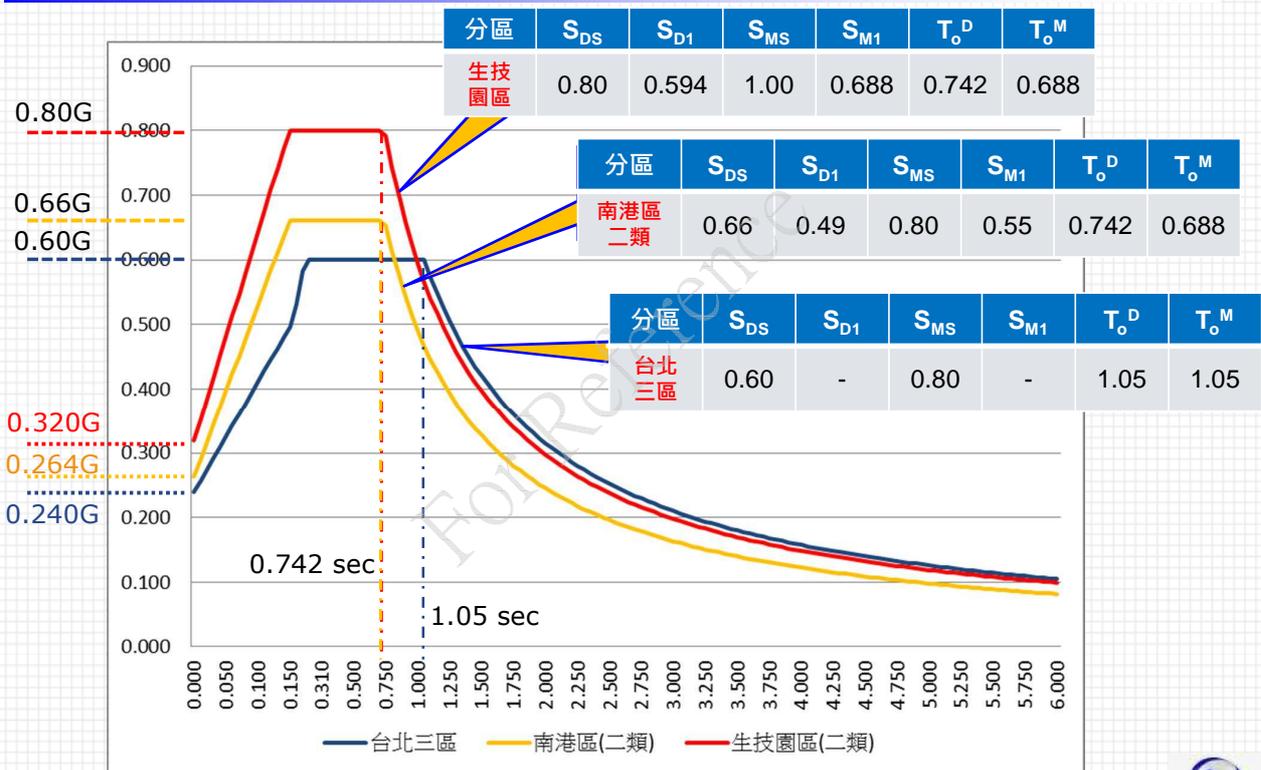
地盤種類

一般震區  
第二類地盤



中研院地科所ES測站  
剪力波速表

# 需求計畫標準與各地震分區反應譜比較

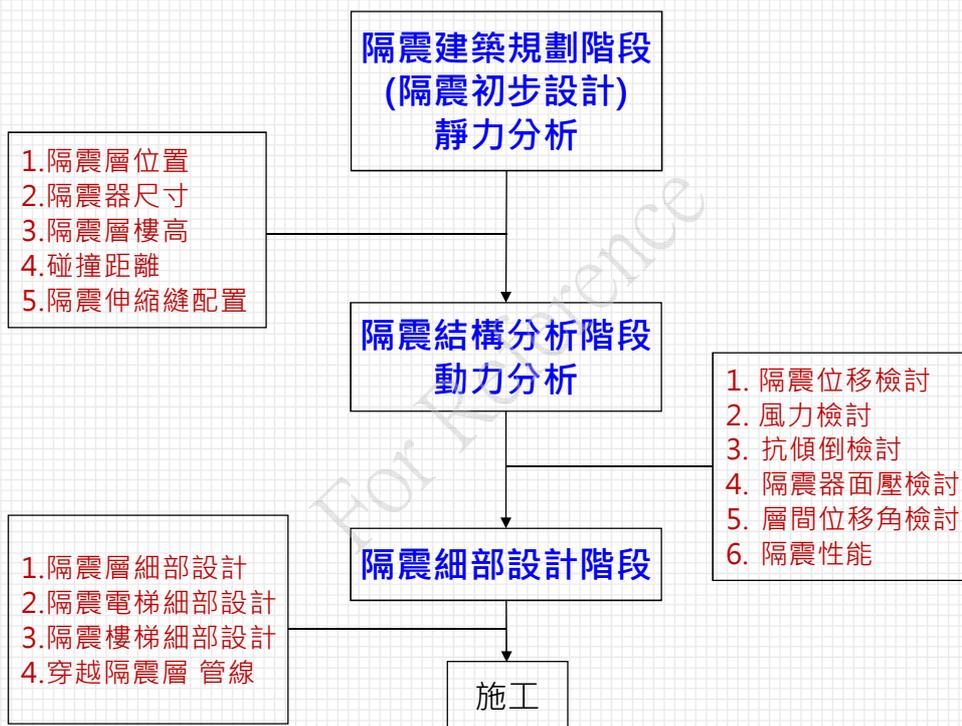


## 三、隔震系統規劃



第 19 頁(共 67 頁)

## 隔震建築規劃設計流程



第 20 頁(共 67 頁)

# 隔震層位置選擇

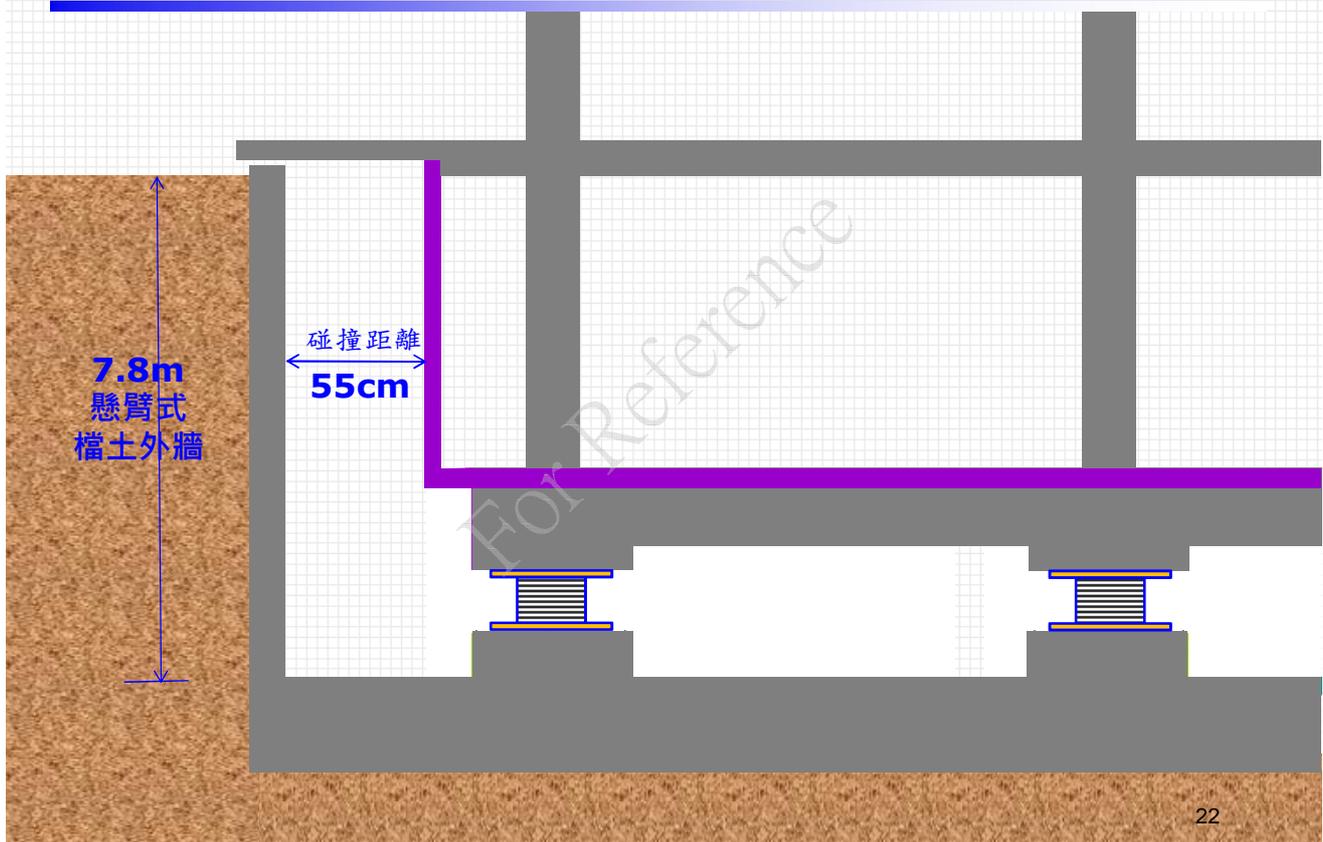
## □ 基礎隔震

- 隔震效果最佳
- 外牆擋土 (擋土牆)
- 1F 界面處理複雜 (車道、連通廊...等)

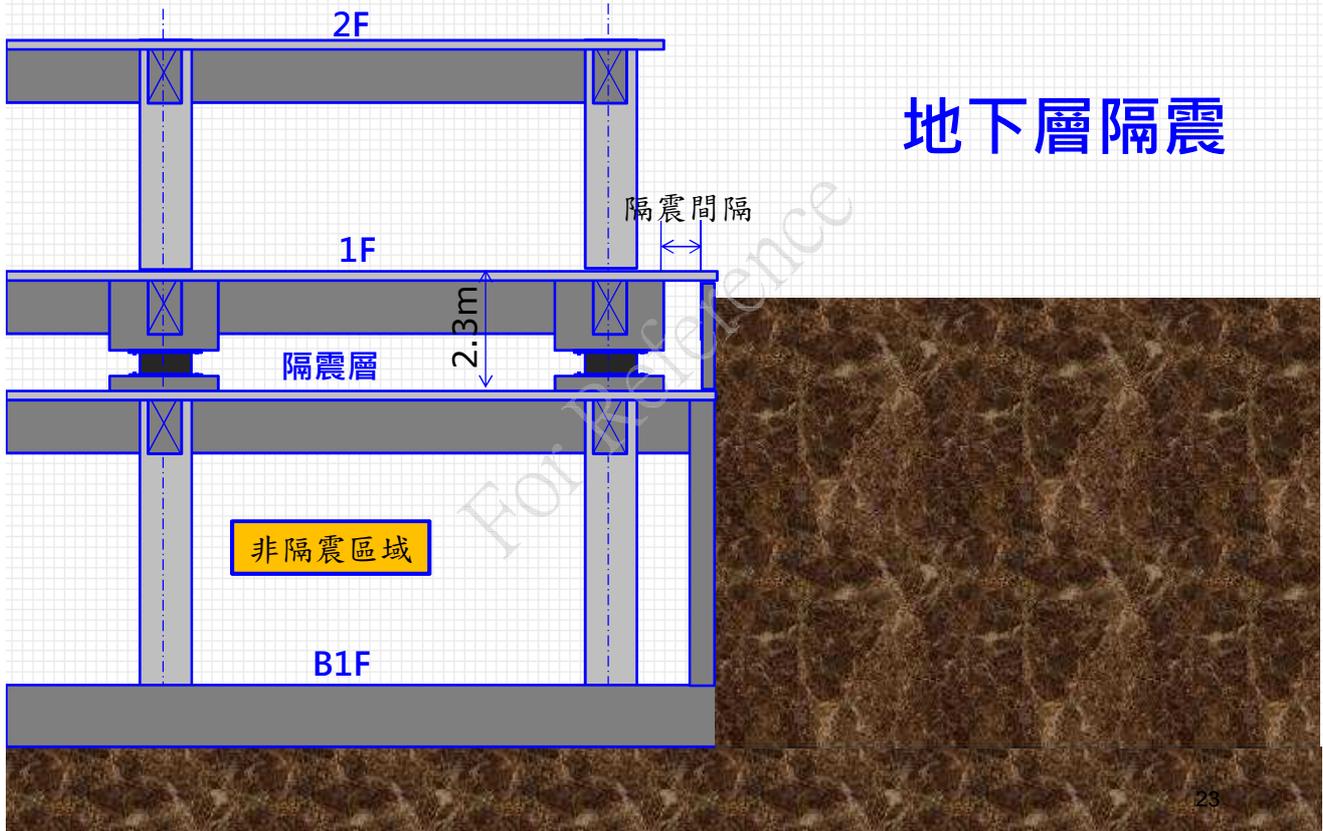
## □ 中間層隔震 (1F頂或2F頂)

- 隔震效果較差
- 隔震界面較單純
- 樓電梯界面處理

# 原規劃基礎隔震配置示意

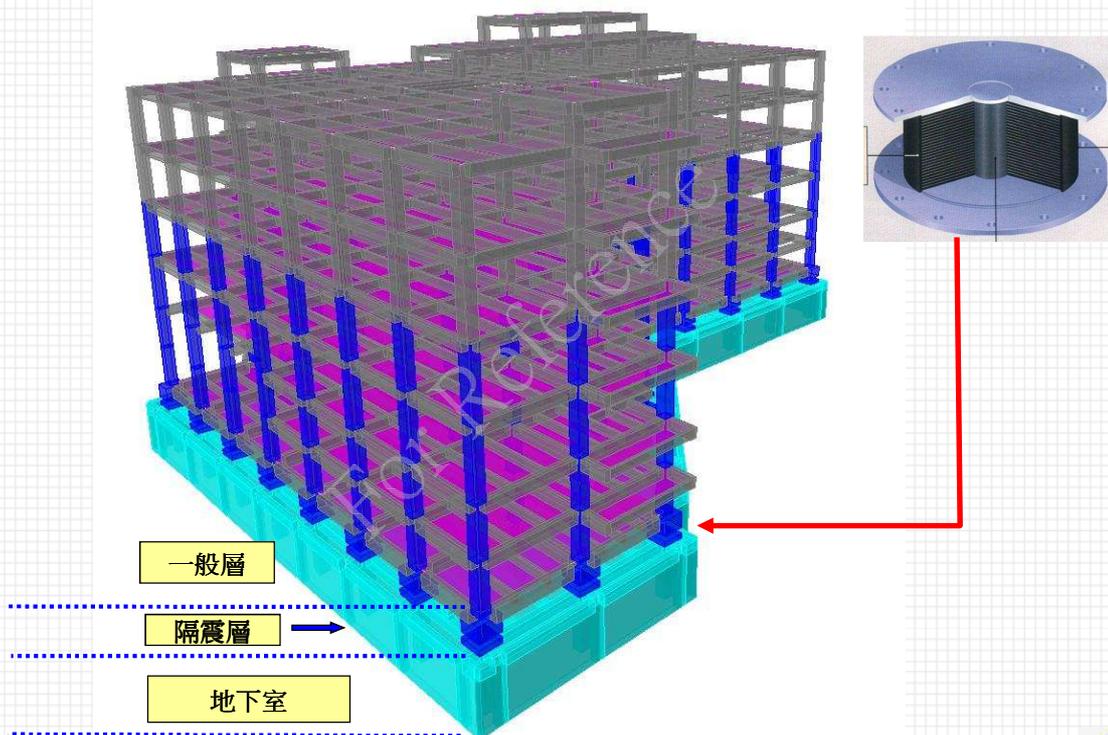


# 本案之隔震配置



第 23 頁(共 67 頁)

# 結構3D model

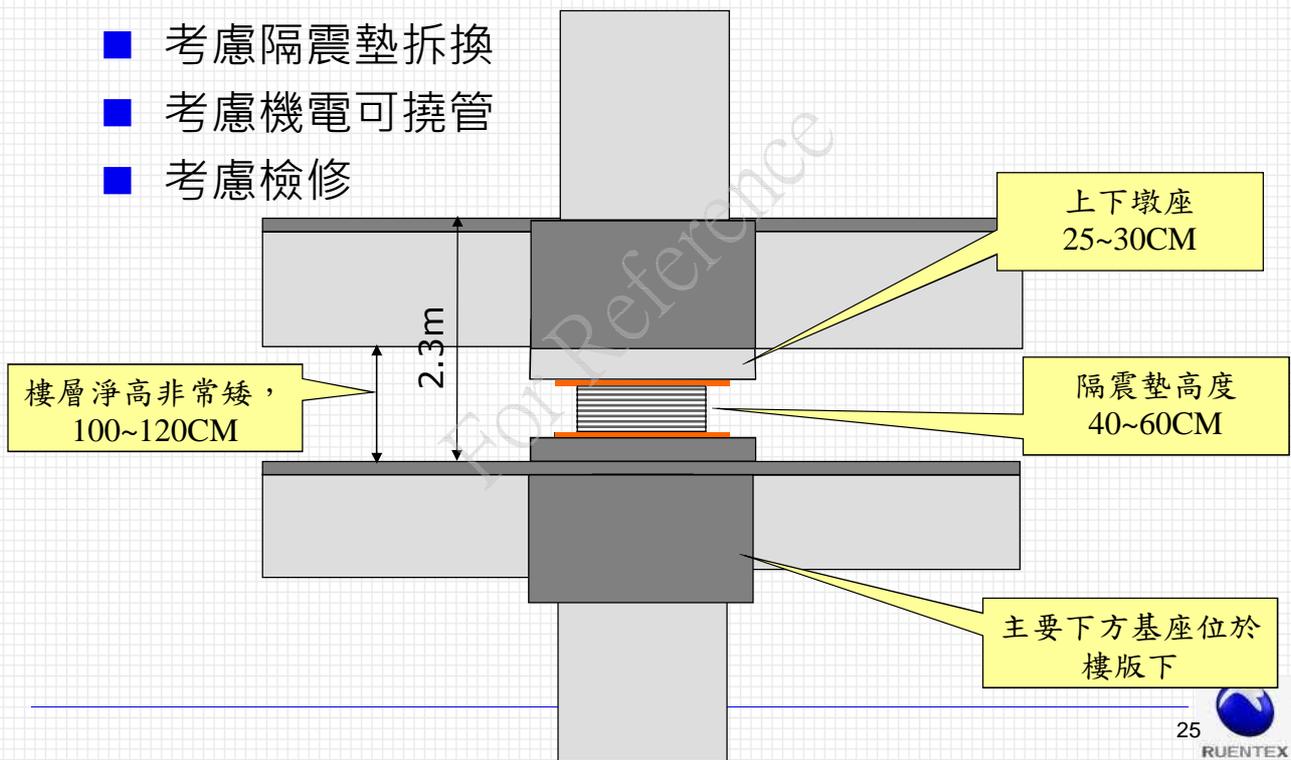


第 24 頁(共 67 頁)

# 隔震層樓高

## □ 隔震層之空間需求

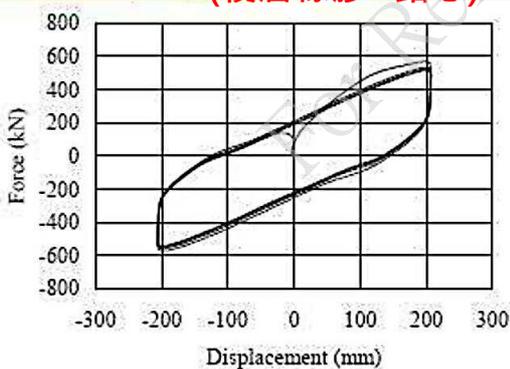
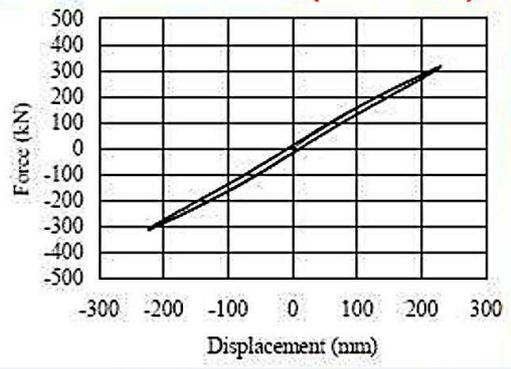
- 考慮隔震墊拆換
- 考慮機電可撓管
- 考慮檢修



# LRB與RB隔震墊

|      | Lead Rubber Bearing<br>鉛心橡膠支承墊          | Rubber Bearing<br>橡膠支承墊         |
|------|---|---------------------------------|
| 外觀示意 | <p>積層橡膠      鉛心</p>                     | <p>積層橡膠 =<br/>橡膠層 + 鋼板層交替重疊</p> |
| 差異分析 | 採用積層橡膠+鉛心，地震時利用鉛心變形消散地震能量，橡膠則提供穩定之恢復能力。 | 採用積層橡膠，僅提供垂直力支撐與穩定之恢復能力。        |

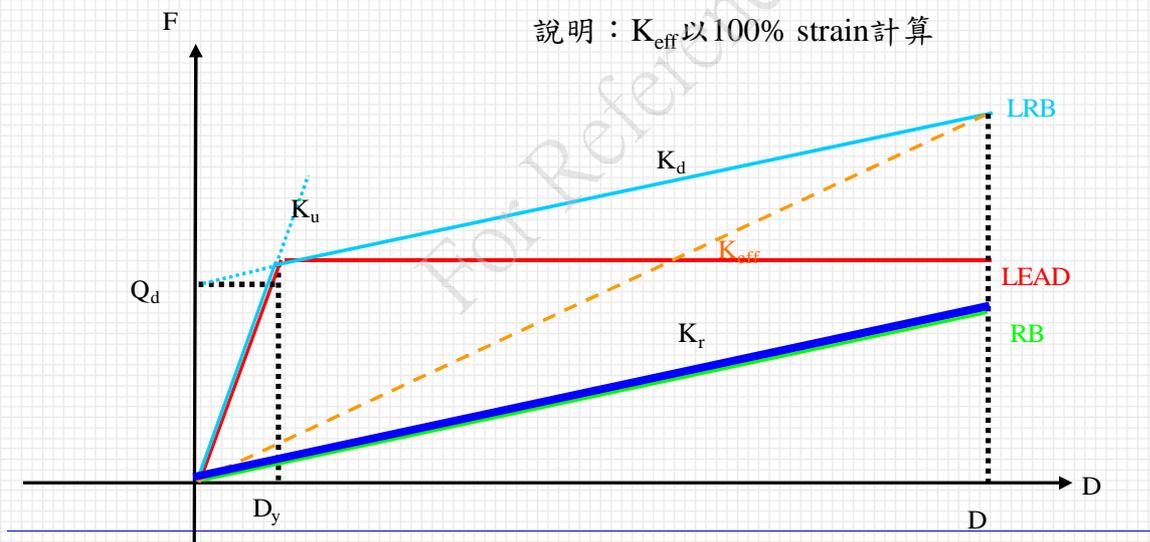
# LRB與RB隔震墊

|        | LRB<br>(橡膠+鋼板+鉛心)  | RB<br>(橡膠層+鋼板層)  |
|--------|--|--|
| 主要功能   | 消散地震能量<br>提供隔震墊常態下之剛性  | 支撐上部結構重量<br>提供隔震墊歸位之彈性回復力  |
| 遲滯消能曲線 | <p>(積層橡膠+鉛心)</p>  | <p>(積層橡膠)</p>  |

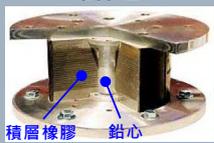
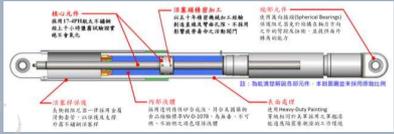
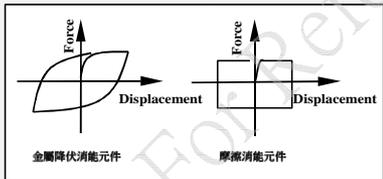
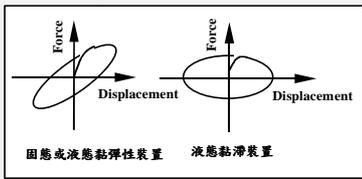
# LRB與RB勁度特性比較

|       | LRB   |       |                | RB              |
|-------|-------|-------|----------------|-----------------|
|       | $K_u$ | $K_d$ | $K_{eff}$      | $K_r$           |
| 90cm  | 16409 | 1261  | 2252<br>(100%) | 1230<br>(54.6%) |
| 100cm | 19606 | 1508  | 2498<br>(100%) | 1477<br>(59.1%) |

說明： $K_{eff}$ 以100% strain計算



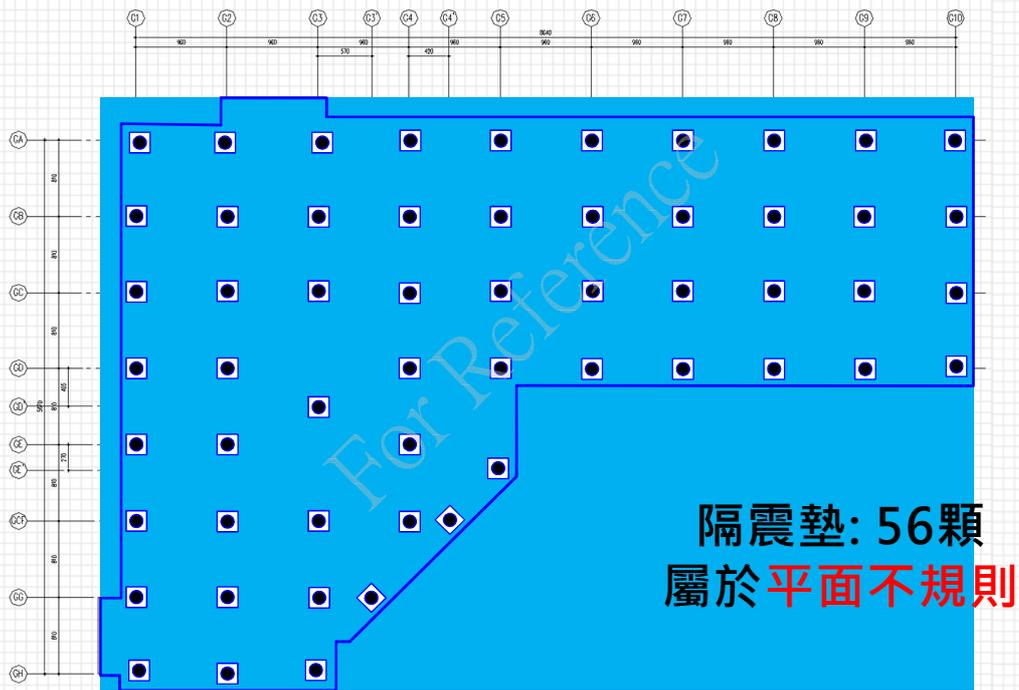
# LRB之鉛心與黏滯型阻尼器比較

|      |  |   |
|------|--|---|
|      | <p style="text-align: center;"><b>鉛心</b></p>  <p style="text-align: center;">積層橡膠 鉛心</p>      | <p style="text-align: center;"><b>黏滯型阻尼器</b></p>    |
| 類型   | 位移型阻尼器   | 速度型阻尼器  |
| 消能原理 | <p style="text-align: center;">利用金屬降伏</p>  <p style="text-align: center;">金屬降伏消能元件 摩擦消能元件</p> | <p style="text-align: center;">阻尼材料</p>  <p style="text-align: center;">固態或液態黏彈性裝置 液態黏滯裝置</p> |
| 消能時機 | 中震時金屬降伏後   | 小地震即發揮功效  |
| 效用   | 提供勁度及強度<br>減少變位，加速度改善少   | 減少地震變位及加速度<br>增加舒適度   |
| 目標   | 中震可修，大震不倒  | 減少風力及地震力之反應   |



第 29 頁(共 67 頁)

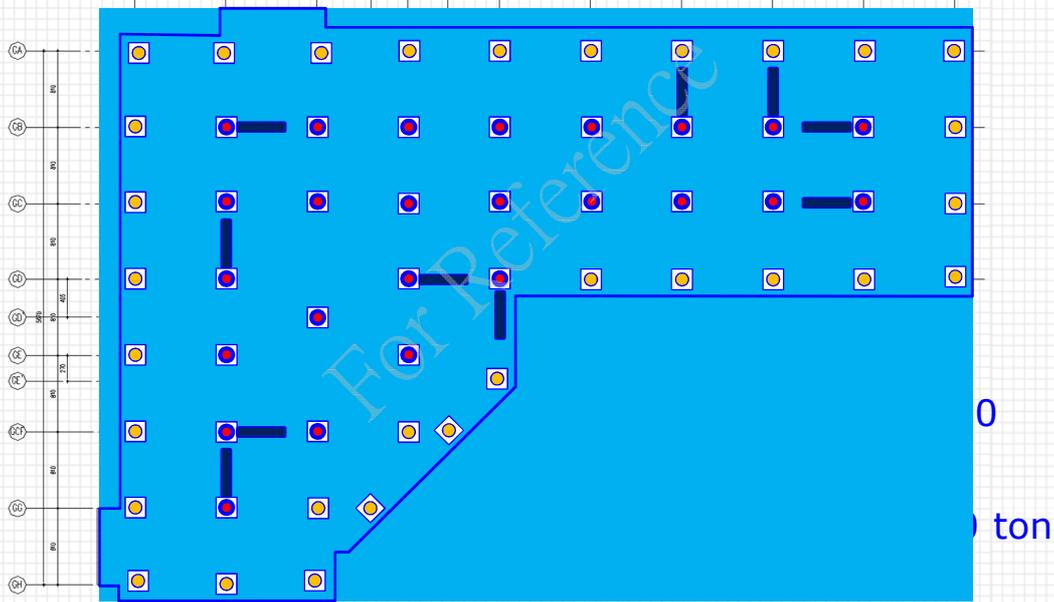
# 隔震層平面與隔震墊配置



第 30 頁(共 67 頁)

# 本案隔震層配置

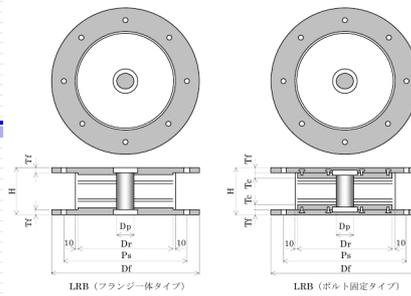
目標：降低隔震層勁度，增加隔震效果！  
調整隔震層勁度中心，避免扭轉放大！



第 31 頁(共 67 頁)

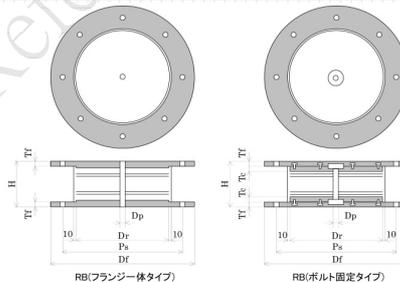
# 本案隔震墊規格

## □ φ900 LRB規格



| LRB型式              | 顆數  | 橡膠外徑   | 單層橡膠厚  | 層數 | 橡膠總厚  | 鉛心直徑   | 垂直勁度     | γ=100%    |           |         |
|--------------------|-----|--------|--------|----|-------|--------|----------|-----------|-----------|---------|
|                    |     |        |        |    |       |        |          | 降伏前水平勁度   | 降伏後水平勁度   | 特性強度    |
| Type               | No. | Dr(mm) | tr(mm) | N  | H(mm) | Dp(mm) | Kv(kN/m) | Ku (kN/m) | Kd (kN/m) | Qd (kN) |
| LRB-R-4090180180-S | 31  | 900    | 6.0    | 30 | 180.0 | 180    | 4414724  | 17977     | 1383      | 198     |

## □ φ1000RB規格



| RB型式              | 顆數  | 單層橡膠厚  | 層數 | 橡膠厚度  | 橡膠外徑   | 橡膠內徑   | 垂直勁度     | 水平勁度      |
|-------------------|-----|--------|----|-------|--------|--------|----------|-----------|
| Type              | No. | tr(mm) | N  | H(mm) | Dr(mm) | Dp(mm) | Kv(kN/m) | Kr (kN/m) |
| RB-R-4100070200-H | 25  | 7.0    | 29 | 203.0 | 1000   | 70     | 4001130  | 1477      |

第 32 頁(共 67 頁)

# 速度型阻尼選用性質

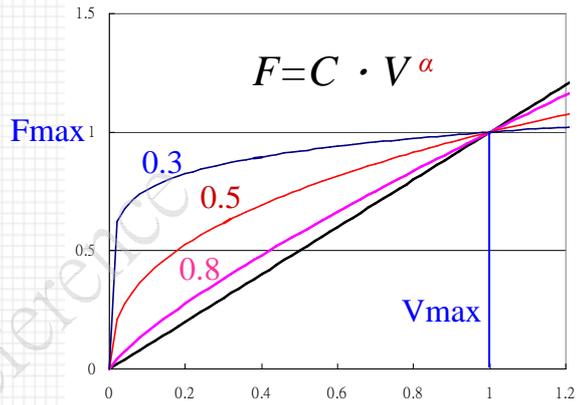
## □ 阻尼力 $F$

■  $F = C \cdot V^\alpha$

$C$  : 阻尼係數

$V$  : 阻尼器所受相對速度

$\alpha$  : 指數，一般0.3~1.0之間



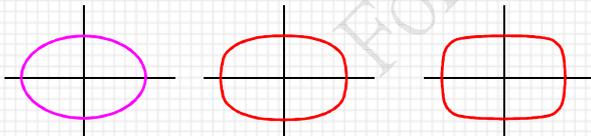
## □ $\alpha$ 越小時

■ 每一cycle 消能較多

$\alpha=1.0$

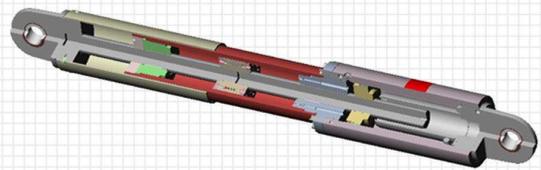
$\alpha=0.5$

$\alpha=0.3$ (本案)

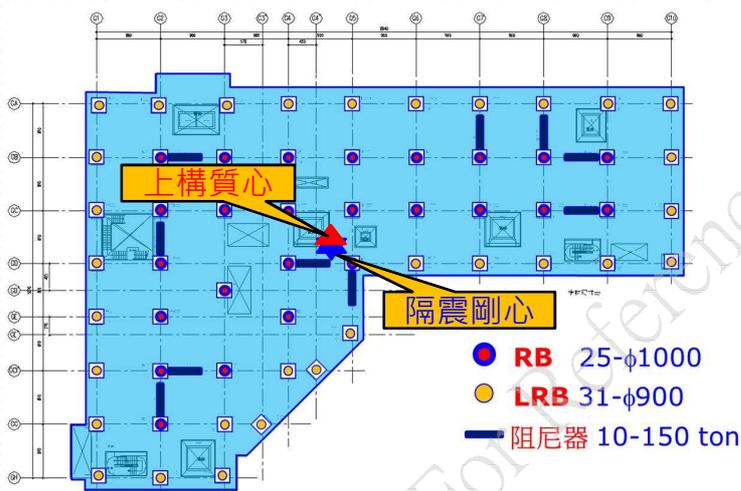


■ 速度小時，有較大之阻尼力

■ 中小地震阻尼亦可發揮較佳效果



# 隔震剛心與上構質心偏移比例



□ 上構質心位置：  
(35.5m, 36.5m)

□ 隔震剛心位置：  
(35.4m, 35.3m)

□ 偏移比例： $<3\%$

■ X : 0.09%

■ Y : 2.02%

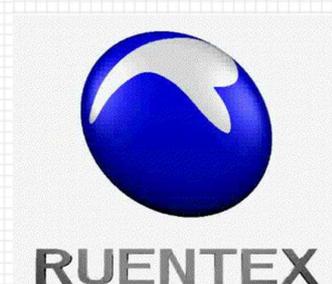
| 隔震墊剛心 |     | 0.0    | 9.6    | 19.2   | 25.5  | 28.8  | 33.0  | 38.4  | 48.0  | 57.6  | 67.2  | 76.8  | 86.4  |             |        |
|-------|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------|
|       |     | G1     | G2     | G3     | G3'   | G4    | G4'   | G5    | G6    | G7    | G8    | G9    | G10   |             |        |
| 56.7  | GA  | 185.3  | 185.3  | 185.3  |       | 185.3 |       | 185.3 | 185.3 | 185.3 | 185.3 | 185.3 | 185.3 | 1853        | 80050  |
| 48.6  | GB  | 185.3  | 152.8  | 152.8  |       | 152.8 |       | 152.8 | 152.8 | 152.8 | 152.8 | 152.8 | 185.3 | 1593        | 68818  |
| 40.5  | GC  | 185.3  | 152.8  | 152.8  |       | 152.8 |       | 152.8 | 152.8 | 152.8 | 152.8 | 152.8 | 185.3 | 1593        | 68818  |
| 32.4  | GD  | 185.3  | 152.8  |        |       | 152.8 |       | 152.8 | 185.3 | 185.3 | 185.3 | 185.3 | 185.3 | 1570.2      | 73996  |
| 28.4  | GD' |        |        | 152.8  |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 152.8       | 2934   |
| 24.3  | GE  | 185.3  | 152.8  |        |       | 152.8 |       |       |       |       |       |       |       | 490.9       | 5868   |
| 21.6  | GE' |        |        |        |       |       |       | 185.3 |       |       |       |       |       | 185.3       | 7116   |
| 16.2  | GF  | 185.3  | 152.8  | 152.8  |       | 185.3 | 185.3 |       |       |       |       |       |       | 861.5       | 15852  |
| 8.1   | GG  | 185.3  | 152.8  | 185.3  | 185.3 |       |       |       |       |       |       |       |       | 708.7       | 9741   |
| 0.0   | GH  | 185.3  | 185.3  | 185.3  |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 555.9       | 5337   |
|       |     | 1482.4 | 1287.4 | 1167.1 | 185.3 | 981.8 | 185.3 | 829   | 676.2 | 676.2 | 676.2 | 676.2 | 741.2 | 9564.3      | 338527 |
|       |     | 42026  | 36498  | 32429  | 1501  | 35787 | 3002  | 33074 | 30125 | 30125 | 30125 | 30125 | 33020 | 337836      | 35.39  |
|       |     |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Yavg= 35.32 | 34g    |

# 隔震系統配置選擇

- 隔震系統能柔軟，週期延長至4秒較佳
- 隔震墊之降伏強度 $F_y \geq$ 設計風力 (625tf)

| 配置方案           | 方案1             | 方案2                           | 方案3                          |
|----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
| 隔震墊配置          | 100cm LRB x56   | 100cm LRB x25<br>90cm LRB x31 | 100cm RB x25<br>90cm LRB x31 |
| 阻尼器            | 100tonf x 8 pcs | 100tonf x 8                   | 150tonf x 10                 |
| 降伏強度 $F_y$     | 843.6tf         | 842.7tf                       | 715.8tf                      |
| 週期 $T_{eD}$    | 3.696 sec       | 3.727 sec                     | 3.867 sec                    |
| 阻尼比 $\xi_{eD}$ | 20.86%          | 21.05%                        | 24.85%                       |
| 基底剪力 $V_s$     | 0.111W          | 0.110W                        | 0.108W                       |
| 設計位移 $D_{TM}$  | 49.2cm          | 49.6cm                        | 49.9cm                       |
| 屋頂加速度 @320gal  | 252gal          | 245gal                        | 188gal                       |
| 屋頂加速度 @80gal   | 115gal          | 111gal                        | 71.2gal                      |

## 四、隔震性能分析



# 隔震性能要求

- 耐震設計性能目標
  - 依據統包需求書

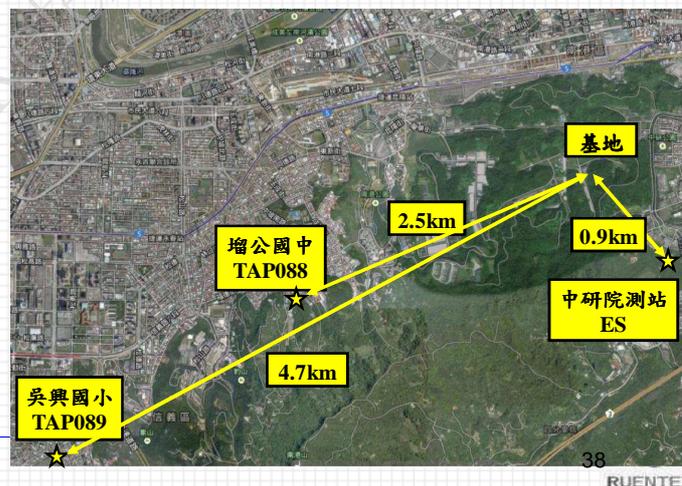
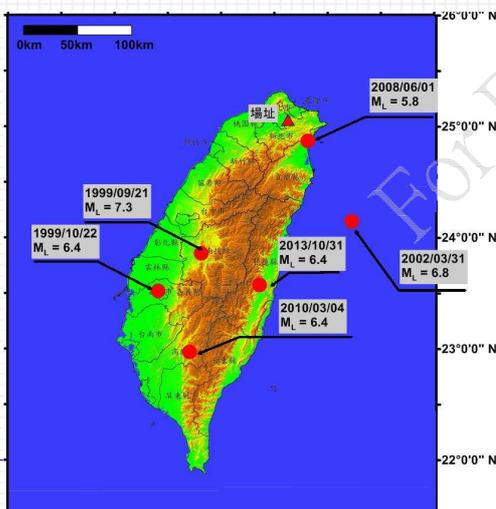
| 地震震度                | 設計性能目標  |
|---------------------|---|
| 中小震 80gal<br>(5級)   | 樓層加速度 < 150gal  |
| 設計地震 320gal<br>(6級) | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 結構系統保持彈性</li> <li>● 樓層加速度 &lt; 250gal</li> <li>● 層間變形角 &lt; 1/500</li> </ul> |

- 由非線性歷時分析驗證

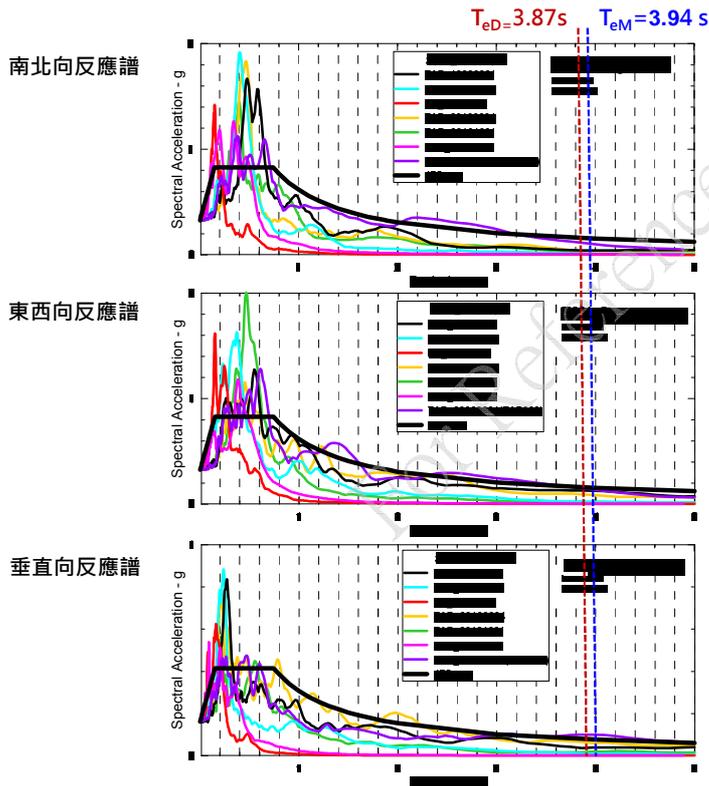
# 加速度歷時資料

- 鄰近位置、近似地質
- 代表性地震
  - 規模、位置、震度

| 地震發生日期     | 測站          | 地震規模 | 歷時震度 |
|------------|-------------|------|------|
| 1999.09.21 | TAP088 增公國中 | 7.3  | 5級   |
| 1999.10.22 | TAP088 增公國中 | 6.4  | 3級   |
| 2002.03.31 | TAP089 吳興國小 | 6.8  | 4級   |
| 2008.06.01 | ES 中研院地科所   | 5.8  | 4級   |
| 2010.03.04 | TAP088 增公國中 | 6.4  | 3級   |
| 2013.10.31 | TAP088 增公國中 | 6.4  | 4級   |

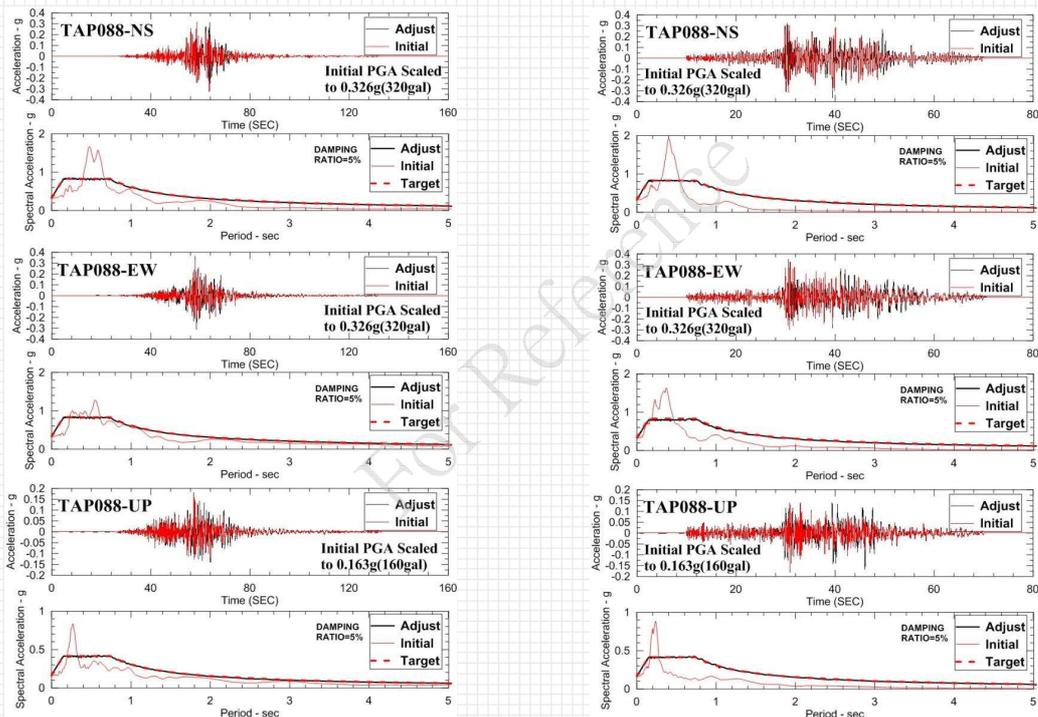


# 地震加速度反應譜 (Scaled to DBE)



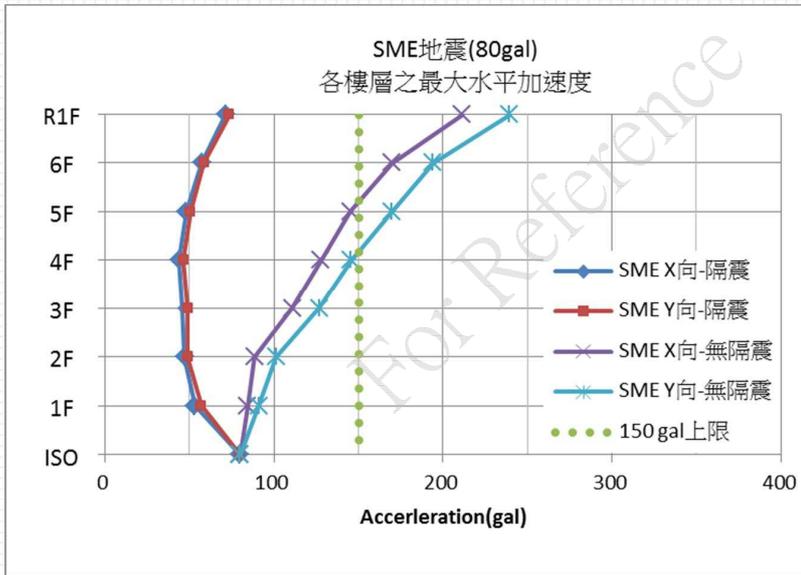
# 加速度歷時資料 (Spectrum Matching)

地震加速度歷時 (以EZ-FRISK程式製作(Atik and Abrahamson 所提方法))



# 隔震性能分析結果 (EPA=80gal)

□ 最大樓層加度@R1F · **71.2gal < 150gal** · OK!



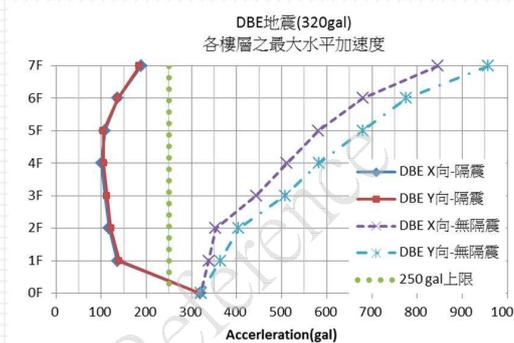
性能目標

● 樓層加速度 < 150gal

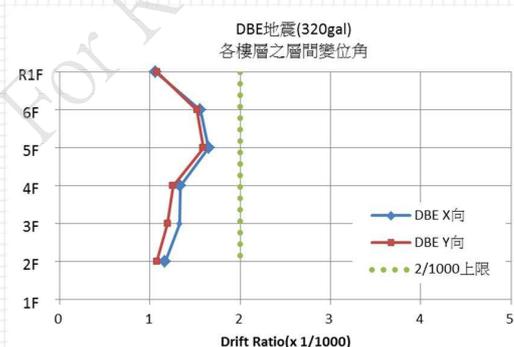
# 隔震性能分析結果 (DBE=320gal)

■ R1F加速度  
**188.4gal**

■ 最大層間變形角  
@5F  
**1.65/1000**



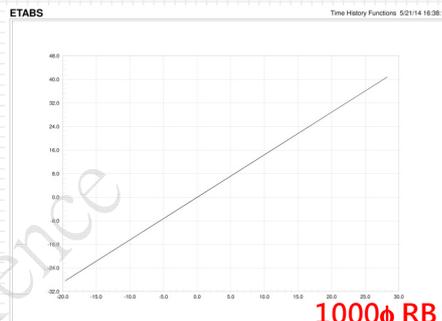
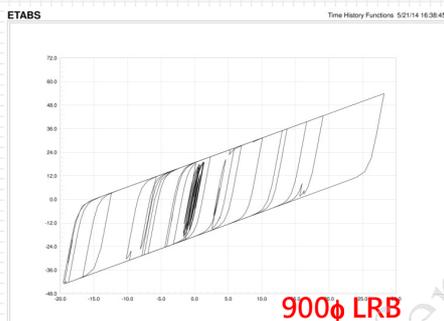
● 樓層加速度 < 250gal



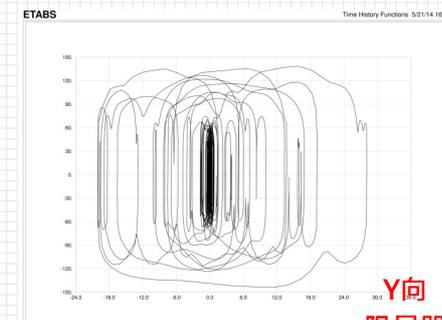
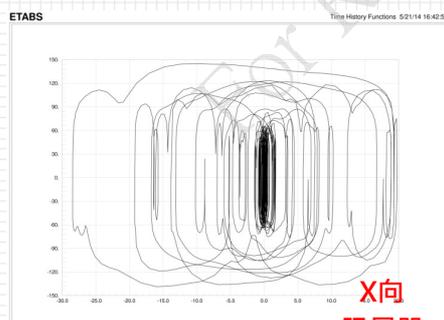
● 層間變形角 < 2/1000

# 隔震系統歷時反應 (MCE=400gal)

隔震墊  
歷時反應



阻尼器  
歷時反應



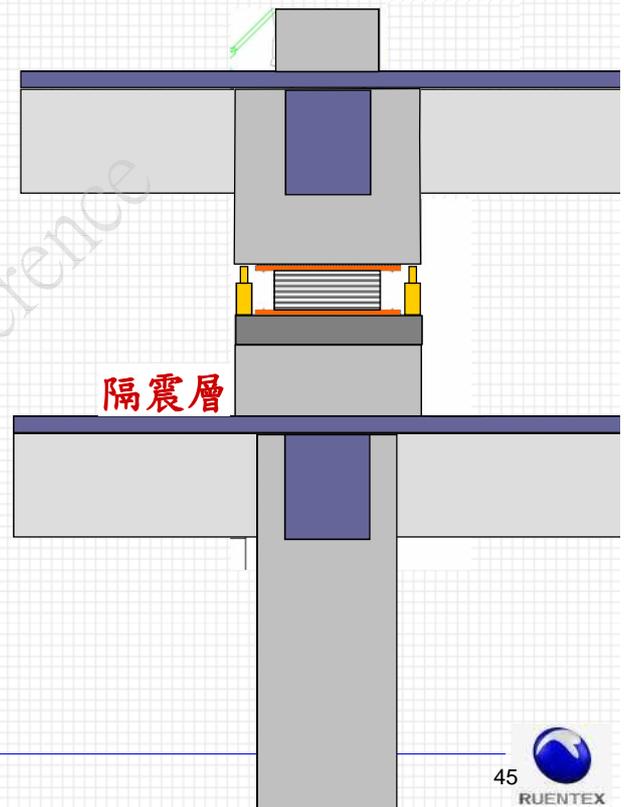
## 五、隔震構造細節

- 隔震墊墩座特殊考量
- 電梯四周滑動機制
- 隔震樓梯特殊考量



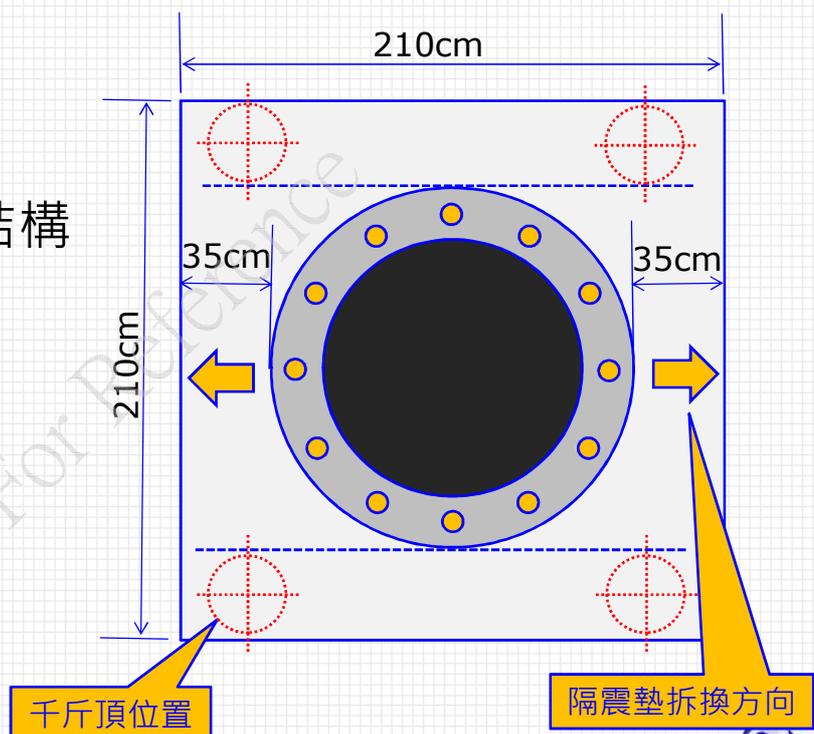
# 隔震墊墩座

- 隔震墊安裝基座
- 將隔震墊力量傳遞至上下RC結構
- 隔震墊更換時作為支承座
  - 需考慮拆換空間

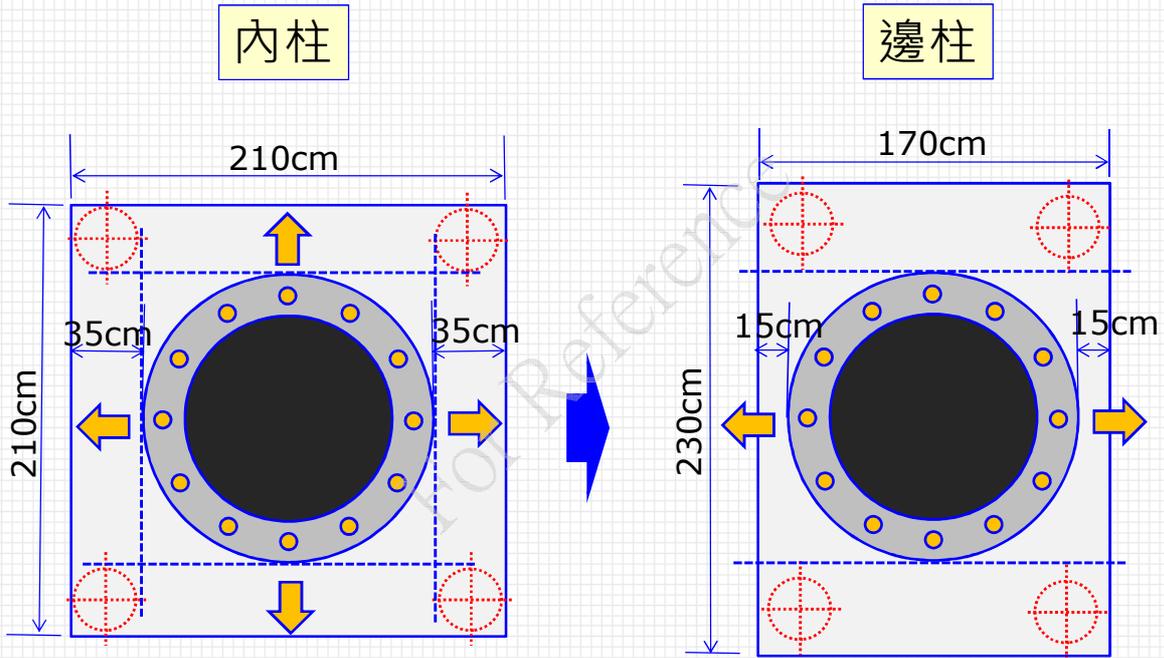


# 隔震墊與隔震墩座

- 隔震墊安裝基座
- 將隔震墊力量傳遞至上下RC結構
- 隔震墊更換時作為支承座
  - 拆換空間

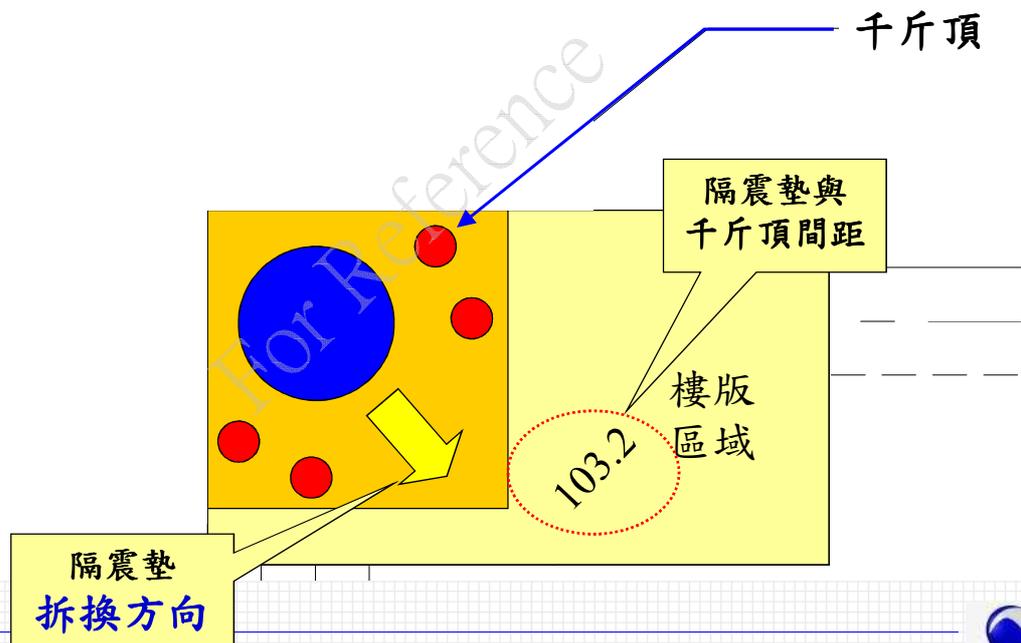


# 隔震墊拆換空間檢討



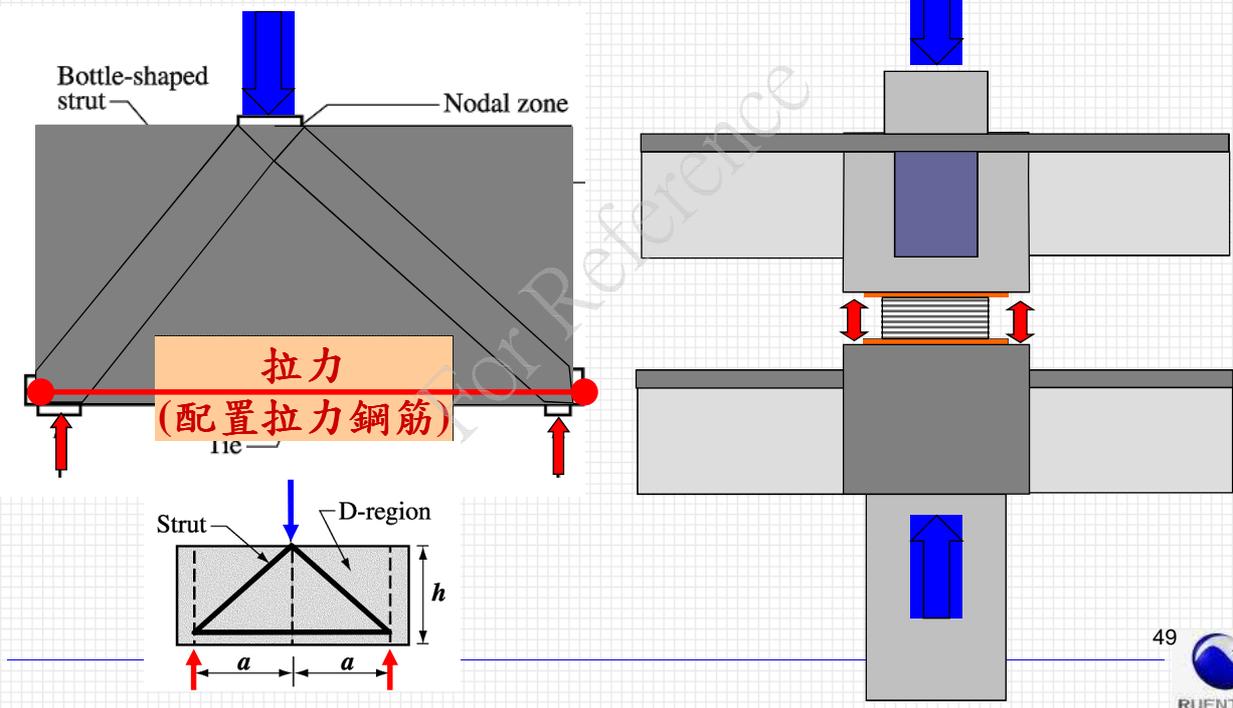
# 隔震墊拆換空間檢討

## □ 角柱



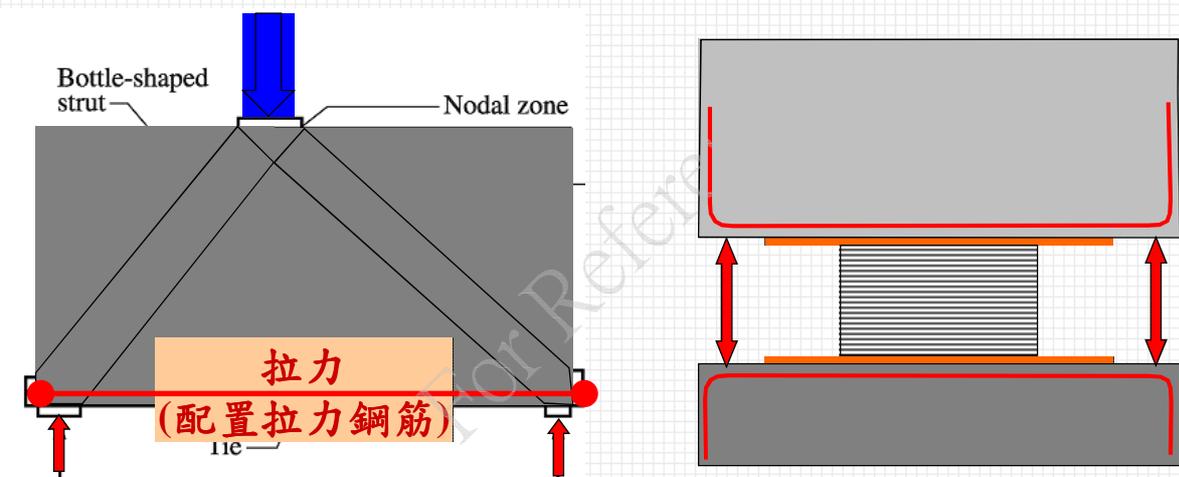
# 隔震墊墩座受力—隔震墊更換

## □ 類似牛腿行為



第 49 頁(共 67 頁)

# 隔震墊更換受力對應配筋



50



第 50 頁(共 67 頁)

# 隔震界面處理

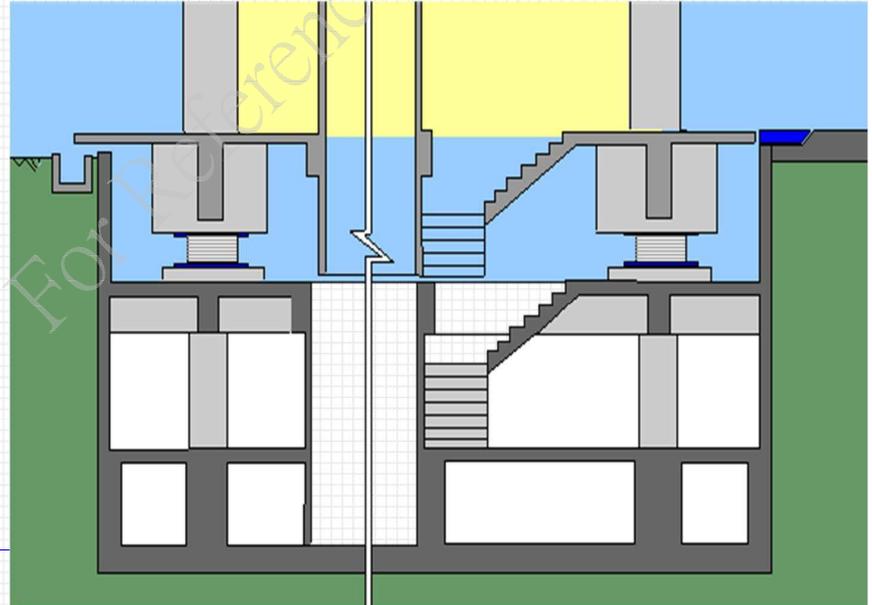
□ 隔震層上下相對位移：30~80cm

□ 建築界面：

- 樓梯
- 電梯
- 進出口

□ 機電界面：

- 水、電配管

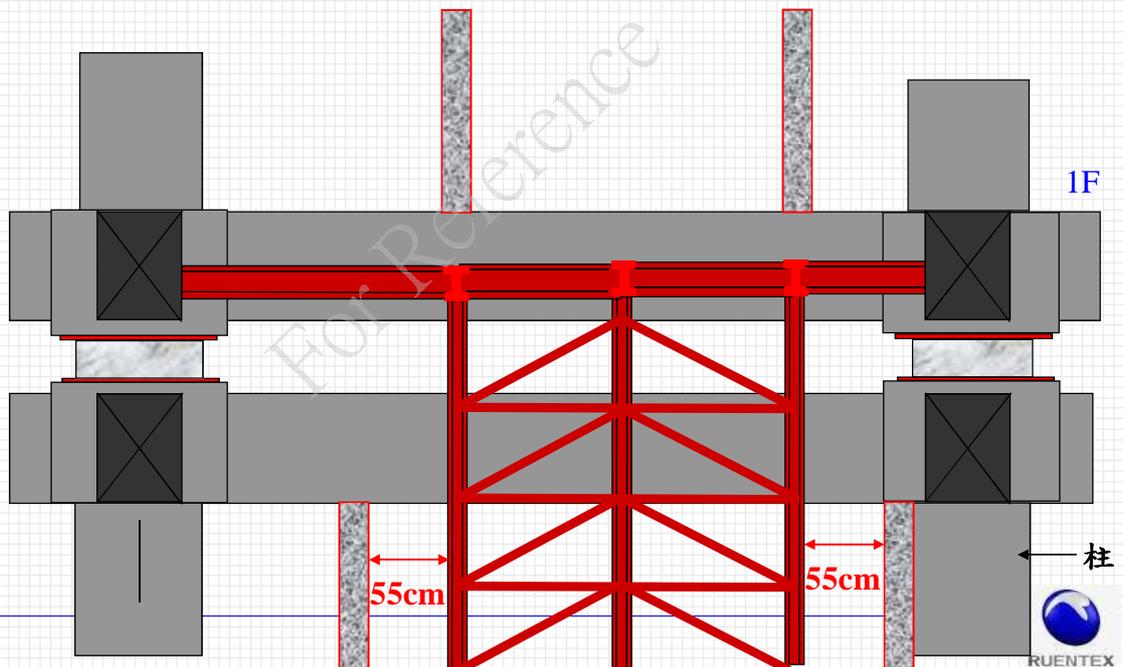


第 51 頁(共 67 頁)

# 隔震電梯界面

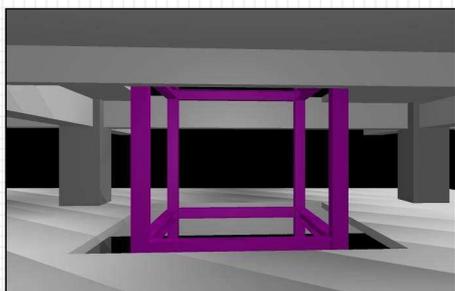
□ 電梯倒吊

□ 提供使用者便捷動線



第 52 頁(共 67 頁)

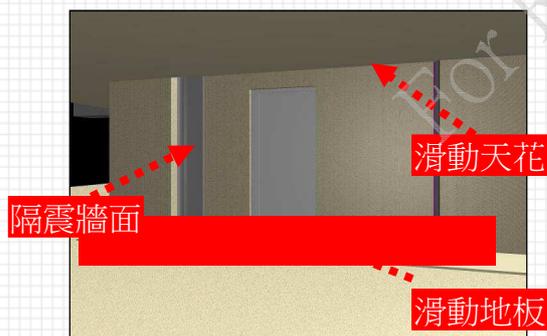
# 穿越隔震層電梯界面



倒吊電梯間結構



滑動天花



梯廳透視圖



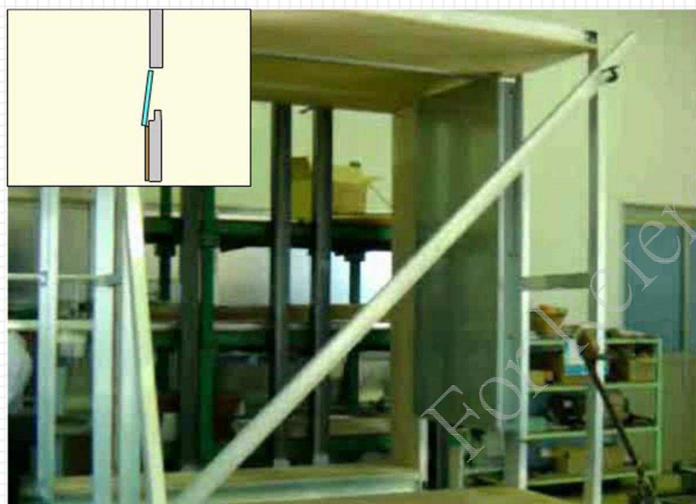
滑動地板

53



第 53 頁(共 67 頁)

# 牆面伸縮縫蓋版作法

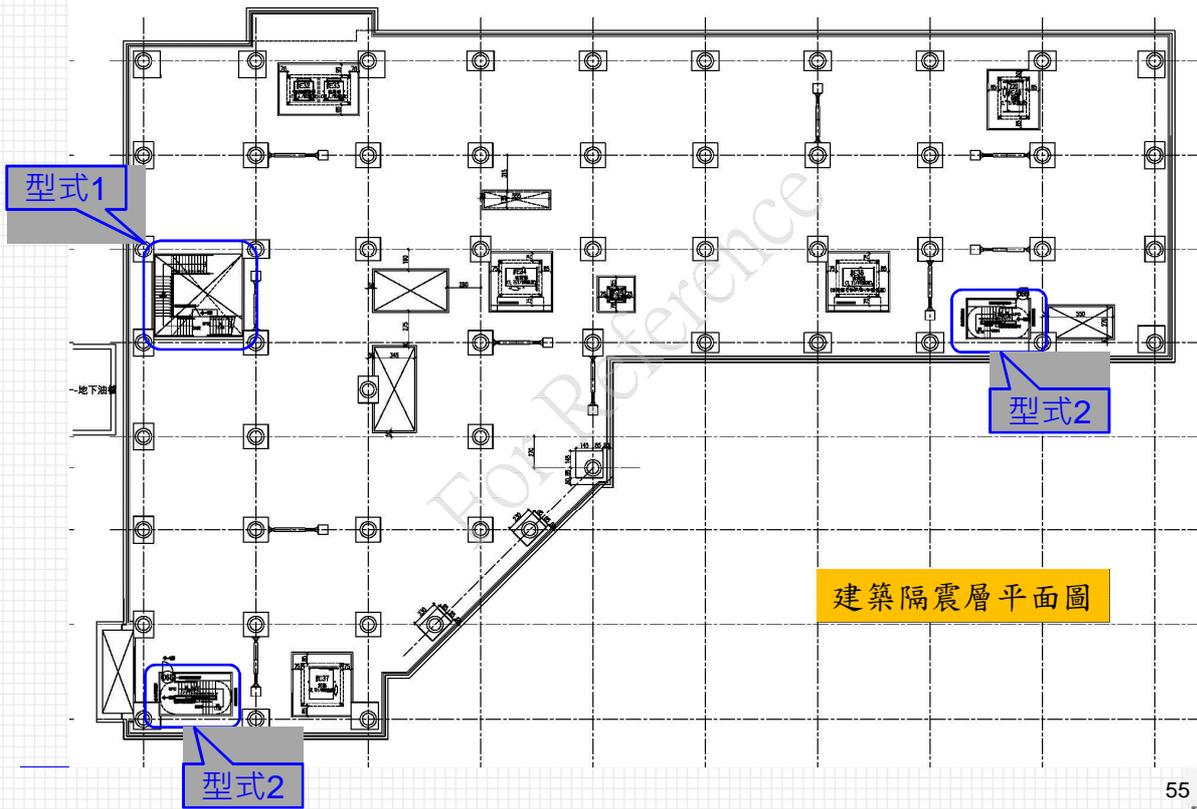


54

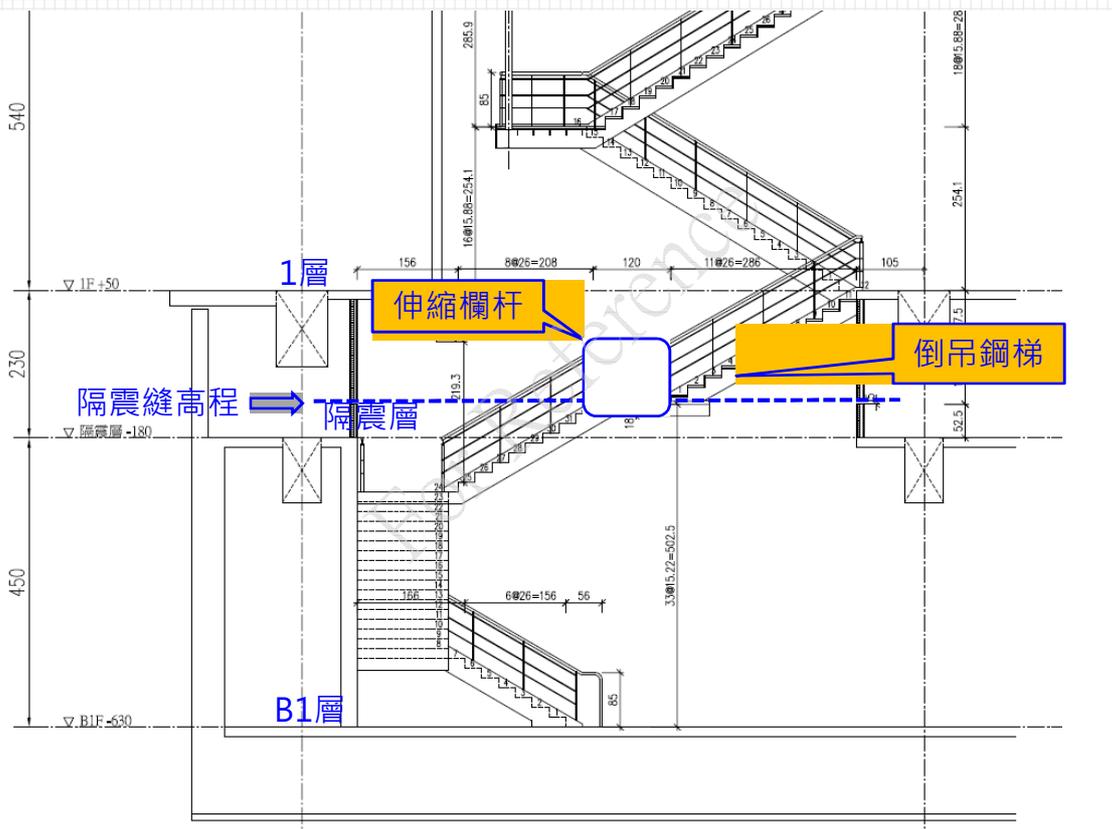


第 54 頁(共 67 頁)

# 穿越隔震層樓梯



# 型式1樓梯剖面圖



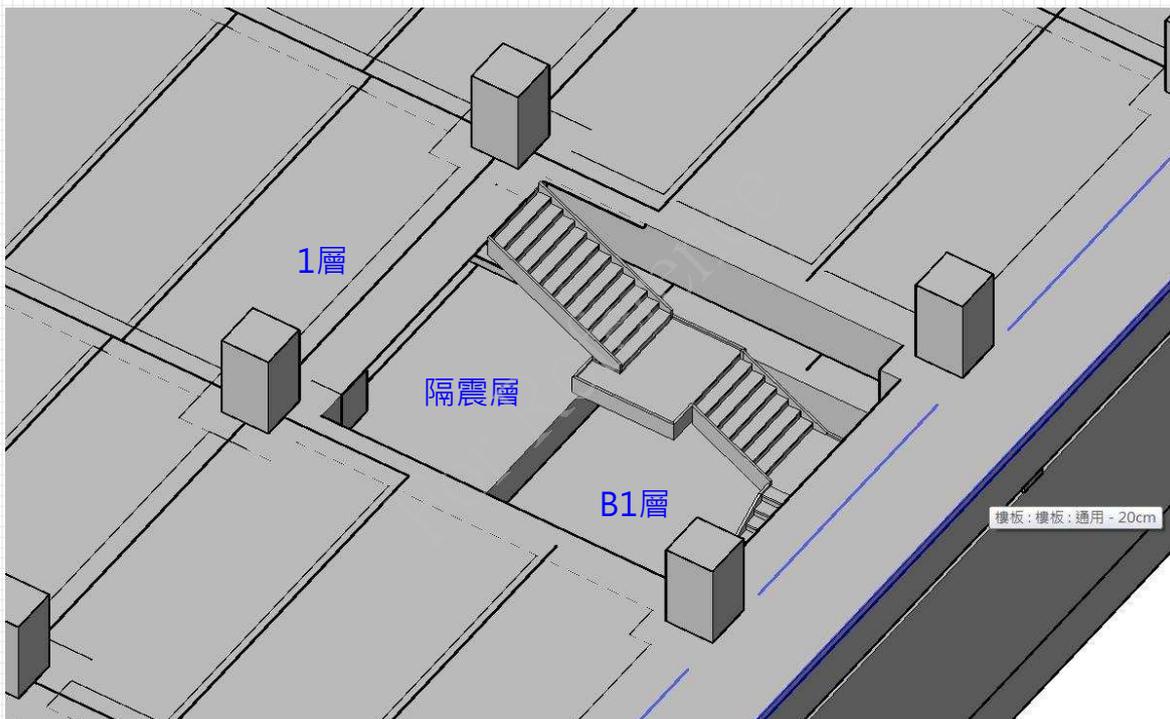
# 樓梯倒吊



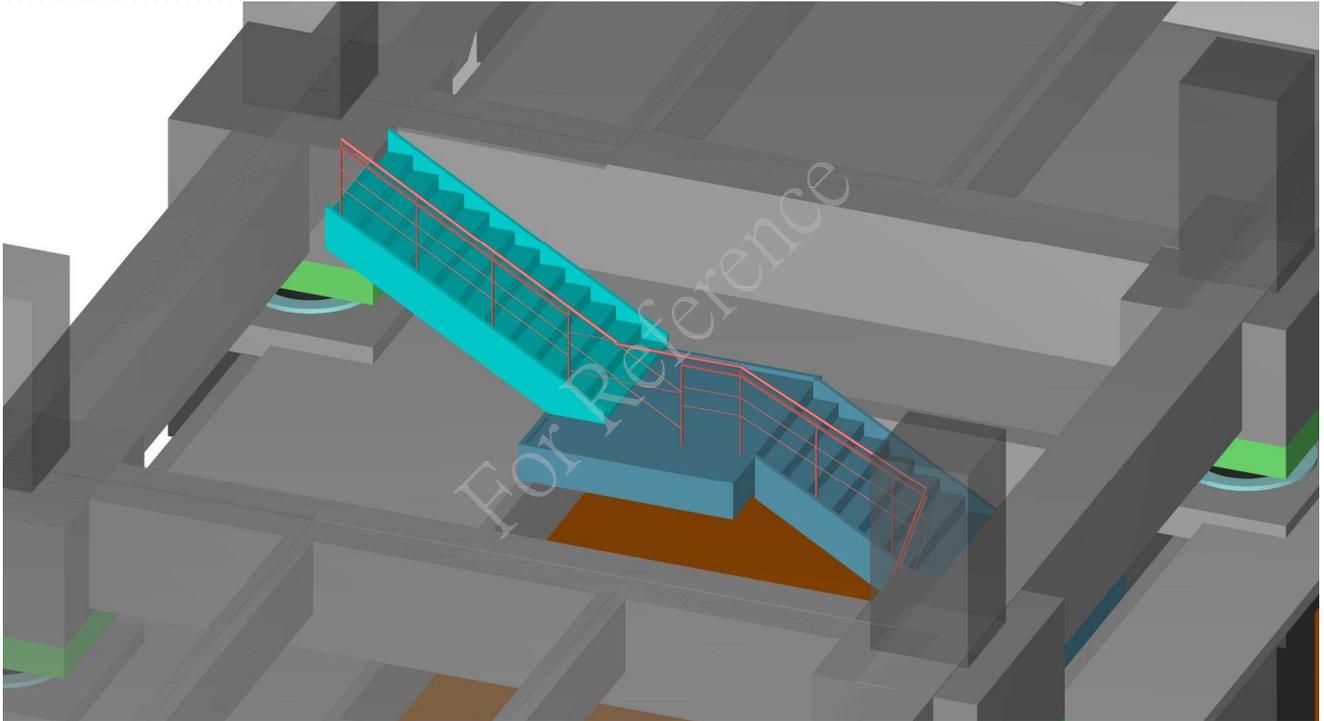
倒吊樓梯

隔震層

# 樓梯型式1

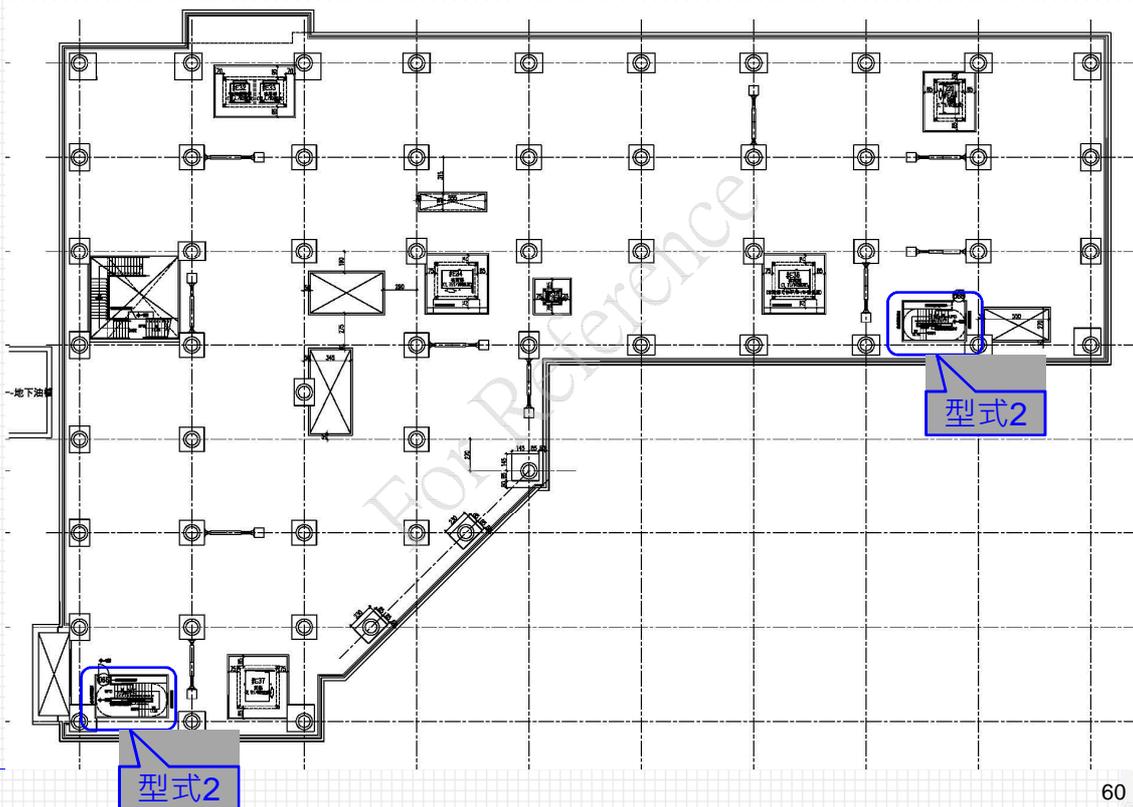


# 樓梯型式1 隔震樓梯3D



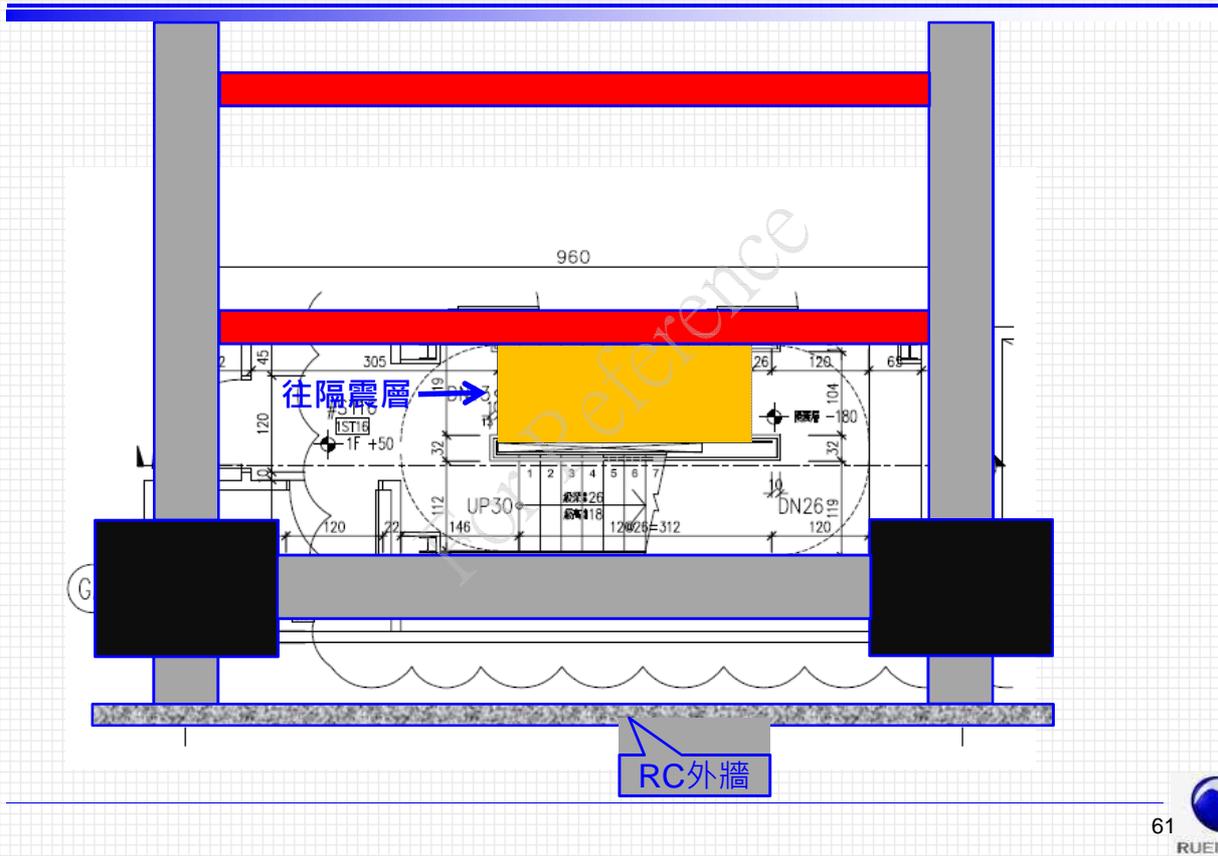
第 59 頁(共 67 頁)

# 樓梯型式2

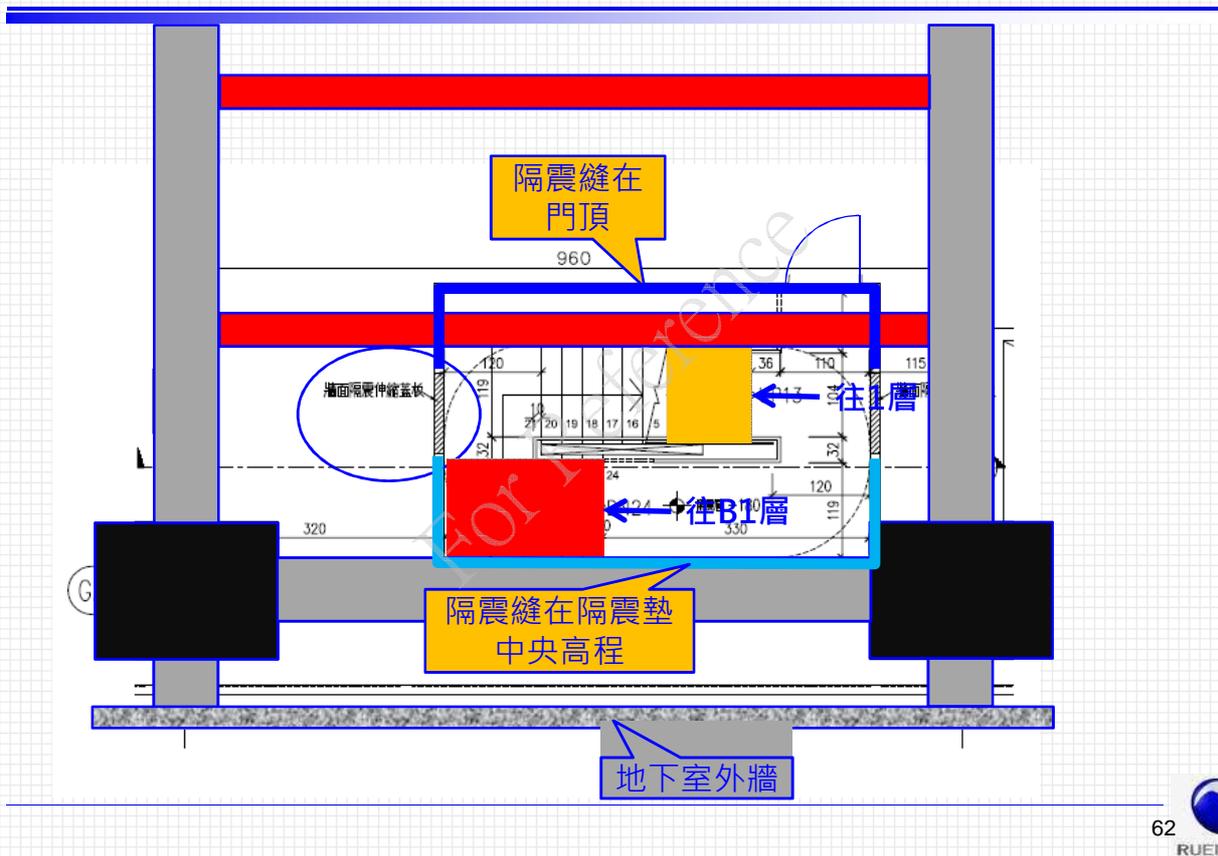


第 60 頁(共 67 頁)

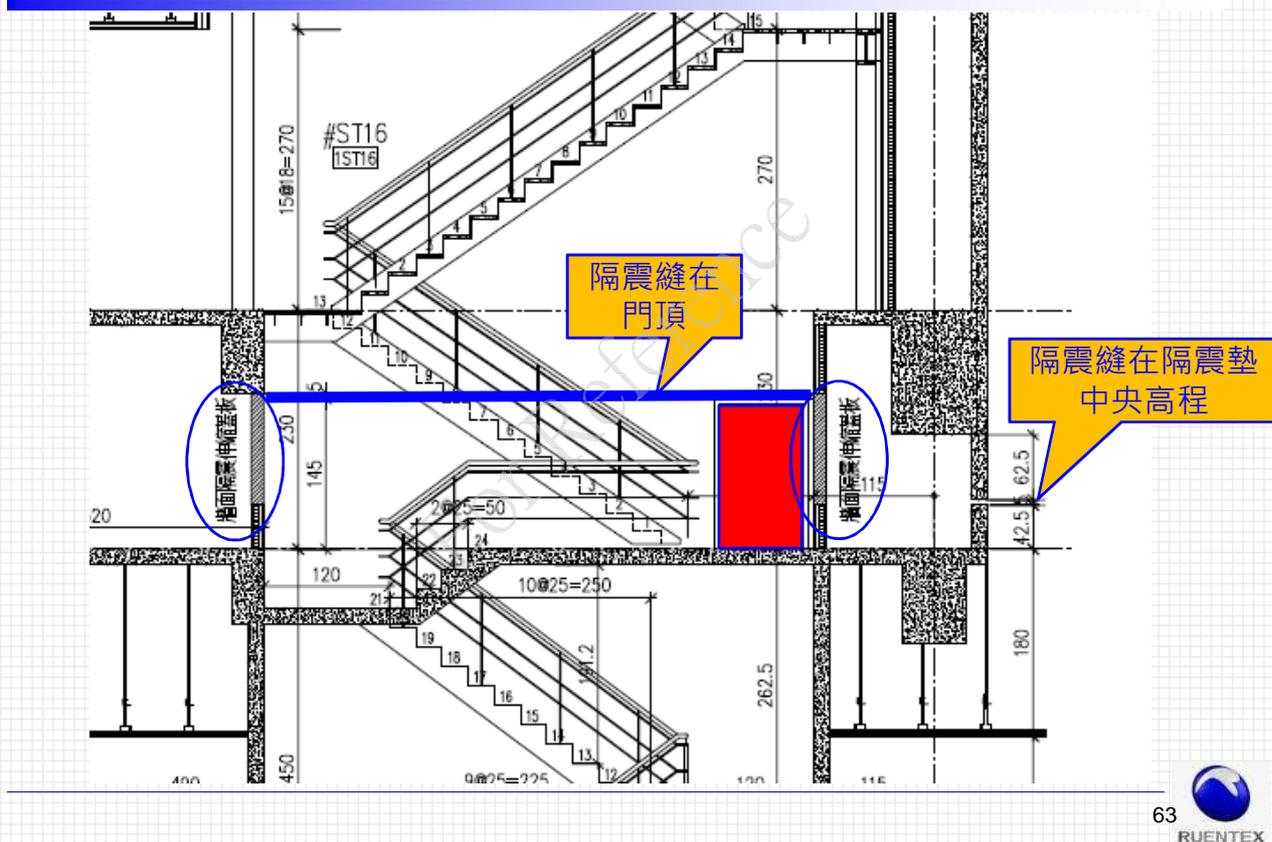
# 樓梯型式2 1樓樓梯平面圖



# 樓梯型式2 隔震層樓梯平面圖

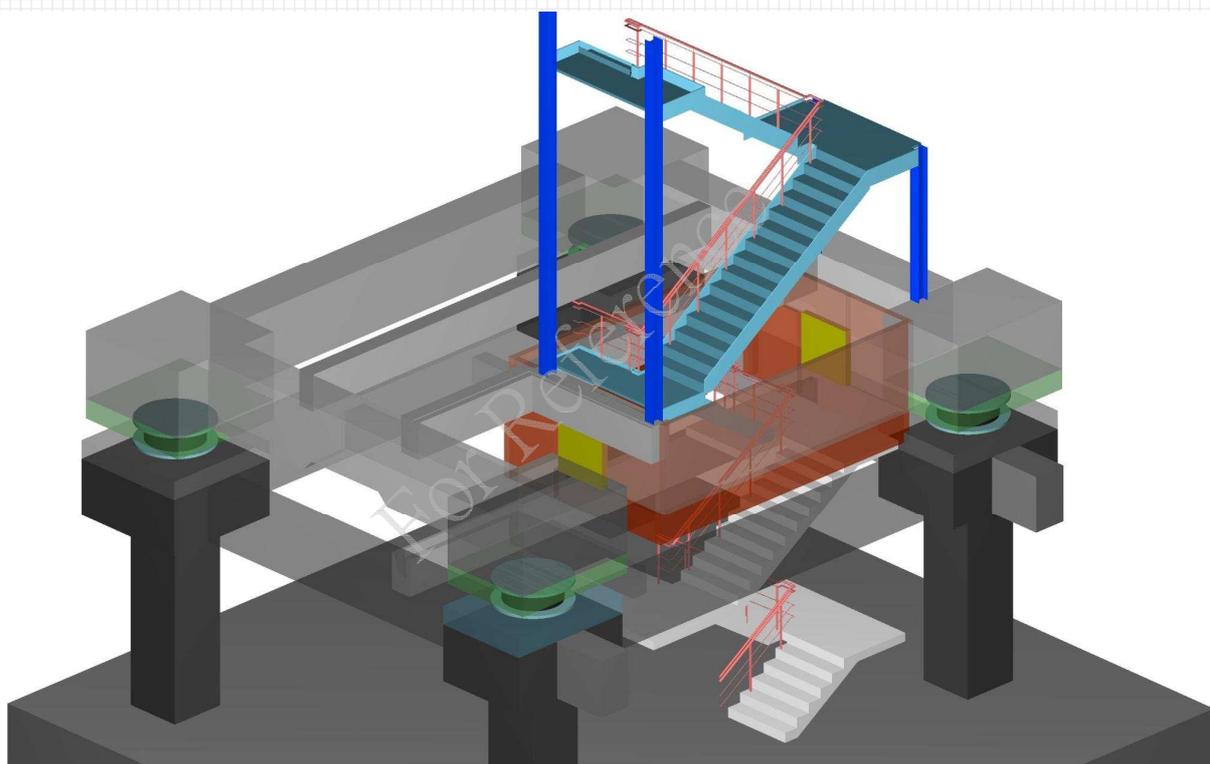


# 樓梯剖面



第 63 頁(共 67 頁)

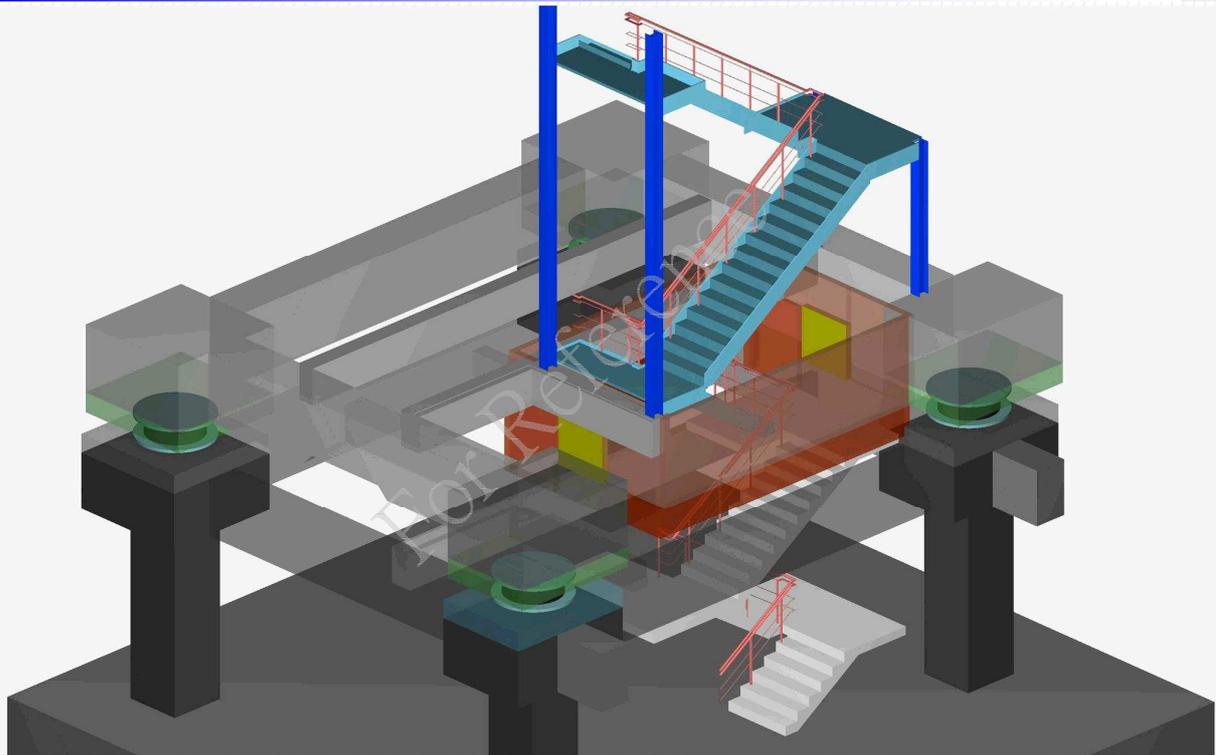
# 樓梯3D



64  RUENTEX

第 64 頁(共 67 頁)

## 樓梯型式2 樓梯隔震動畫

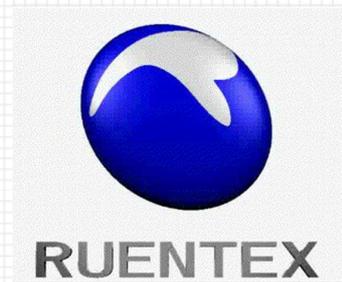


## 總結

- RB與LRB的搭配優勢：
  - 可降低隔震系統勁度，提升隔震效果!
  - 調整隔震層勁度中心，避免扭轉放大!
  
- LRB、RB與阻尼器的搭配，可讓隔震系統不論在中小地震或大地震下均有良好的隔震效果。
  
- 隔震建築細節有賴結構技師與建築師的緊密配合。

簡報完畢  
感謝聆聽

---



第 67 頁(共 67 頁)