

# 建築物安裝強震儀位置之研究及應用

姚昭智 許茂雄 張嘉祥

國立成功大學建築研究所

## 前 言

本省位於環太平洋地震帶，經常發生嚴重的地震災害。地震的發生若能事先加以預測，則災害應可防範；但迄今為止，科學上仍無一套能有效預知地震發生的方法。因此，確切瞭解地震發生時結構物的反應行為，以為建築物耐震設計之用，乃目前地震防災的基本工作之一。

要確切瞭解結構物的地震反應行為，最直接的方法就是在結構物上裝設強震儀，長期記錄並監測實際的地震反應。由這些強震儀所記錄地震發生時建築物的反應（位移、速度、加速度）資料，可判斷地震作用下建築物的變形程度、受力情形，以及其他有關之動力行為，而這些資料即為耐震設計所必須。

由於國內要裝設建築物強震儀陣列之工作剛剛開始，對於許多裝設強震儀之方法還在起步階段，故乃有此一初步研究案之構想。本文就去年在成大建研所針對裝設強震儀位置之研究提出扼要報告。第一部份乃針對國外相關文獻資料收集處理，提出裝置強震儀的量測原則。第二部份則針對各種不同特性之結構系統加以分析，增進吾人對於房屋動力特性之了解。

### (一)

在參考了美國USGS及CDMG對建築物對安裝強震化的各類建議後，將其中較重要部份予以摘要整理出來。以下將先介紹有關裝置儀器數量及位置的規則。

剛體R上有一點P(X,Y,Z)，當其在空間中運動所生之位移為  $U_x, U_y, U_z$ 時，若將其分解為平移量  $U_{x0}, U_{y0}, U_{z0}$ 及旋轉量  $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ ，則可知

$$U_x = U_{x0} + X(\cos \theta_y + \cos \theta_z - 2) - Y \sin \theta_z + Z \sin \theta_y \quad (1a)$$

$$U_y = U_{y0} + X \sin \theta_z + Y(\cos \theta_x + \cos \theta_z - 2) - Z \sin \theta_x \quad (1b)$$

$$U_z = U_{z0} - X \sin \theta_y + Y \sin \theta_x + Z(\cos \theta_x + \cos \theta_y - 2) \quad (1c)$$

這時未知數是剛體位移量  $U_{x0}, U_{y0}, U_{z0}$ 及剛體旋轉量  $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ ，空間中剛體輪廓可以不共線之三點來表示，因此，必須求得 6個線性獨立方程式，要求得這些方程式可以在任意方向之三個位置上裝設 6個儀器。（如圖1A）。要使方程式為非奇解，必須滿足下述情況：

1. 3個位置不得共線。如果共線的話，則儀器上得到之旋轉量將混淆不清。
2. 量測運動之方向不得平行。否則垂直於量測方向之平面運動無法量得。
3. 6個指向不得交於一點。

所以在量測房屋振動時，欲完全掌握房屋的運動狀況，一般會在基礎部份裝設至少六個頻

道，如圖(1B)所示。

有時候剛體的運動中，某一方向的運動量與其他兩個垂直方向的運動量比較之下幾乎為零，造成這種結果的原因有兩個，一種是結構物受到束制，另一種是外力及結構參數 (parameters)的影響。在這種情況之下，因為剛體是在平面上運動，而不是在空間運動，所以吾人可以簡化上述的等式，假設這個運動僅在X-Y 平面上，造成 $U_z = \theta_x = \theta_y = 0$ ，由(1)式中，我們可以得到平面運動的等式如下：

$$U_x = U_{x0} + X(\cos \theta_z - 1) - Y \sin \theta_z \quad (2a)$$

$$U_y = U_{y0} + X \sin \theta_z + Y(\cos \theta_z - 1) \quad (2b)$$

$$U_z = 0 \quad (2c)$$

上式中僅有三個未知數  $U_{x0}, U_{y0}, U_z$ ，故描述平面剛體運動僅需兩個點即可，因此吾人在平面剛體上至少得兩個點設置 3個測器，如(圖2A)所示。這三個測器可以是任意三個方向，也可以如(圖2B)所示的彼此垂直方向。這些量測裝置的量測方向只要符合下列兩個原則就可以：

1. 不能全部平行。
2. 不能全部交於一點。

(2)式中可表示任一點任一方向的運動量，只要三個等式即可解式中 $U_{x0}, U_{y0}, \theta_z$ 三個未知數，但這三個等式太長了。吾人若是以4個測器替代3個測器，則可以輕易地解出上述三個未知數。如(如圖2B)所示在1點及2點的兩個方向放置測器，由(2)式中得知：

$$U_{x1} = U_{x0} + X_1(\cos \theta_z - 1) - Y_1 \sin \theta_z \quad (3a)$$

$$U_{x2} = U_{x0} + X_2(\cos \theta_z - 1) - Y_2 \sin \theta_z \quad (3b)$$

$$U_{y1} = U_{y0} + X_1 \sin \theta_z + Y_1(\cos \theta_z - 1) \quad (3c)$$

$$U_{y2} = U_{y0} + X_2 \sin \theta_z + Y_2(\cos \theta_z - 1) \quad (3d)$$

當轉角 $\theta_z$ 很小時，由(2)式可得到：

$$U_x = U_{x0} - Y \theta_z \quad (4a)$$

$$U_y = U_{y0} + X \theta_z \quad (4b)$$

吾人需有三個等式來解 $U_{x0}, U_{y0}$ 和 $\theta_z$ ，例如(圖2B)的三個測器方向，吾人可得

$$U_{x0} = U_{x1} + \frac{Y_1(U_{y2} - U_{y1})}{X_2 - X_1} \quad (5a)$$

$$U_{y0} = \frac{Y_2 U_{y1} - X_1 U_{y2}}{X_2 - X_1} \quad (5b)$$

$$\theta_z = \frac{U_{y2} - U_{y1}}{X_2 - X_1} \quad (5c)$$

對大部分實際例子而言，都可假設建築物是水平振動，亦即樓板是視為平面剛體，因此樓板有三個自由度，其中包括兩個水平面的平移自由度和一個繞 Z軸的旋轉自由度。根據上面的推導，可以知道我們必須在每個樓板至少有三個測器才能符合平面剛體的量測所需。如(圖3A)，即為很有代表性的樓板量測計劃。

假如垂直運動也是很重要時，則需要6個測器，因為每個樓板有6個自由度。這些測器

必須符合前述剛體運動的量測條件，（圖3B）是此類樓板代表性的量測計劃。

## （二）

為確切了解建築物的動力行為，乃將不同形狀結構系統之動力行為分類分析，如不同長寬比之矩形平面、兩翼長度不同之 L形平面，不同樓層剛度之建築物等等，以分析其特性，今限於篇幅僅列出其中兩項，以供參考。

### （1）不同長寬比之矩形平面

探討地面五層，平面為1：1,1：2,1：3,1：4,1：6,1：8等六種不同長寬比之鋼筋混凝土構架。構架之樓層高度每層假定為3.5m。

分析其各種構架之結果可知前面幾個基本模態大致均為Y向位移、Z向旋轉、X向位移，如（圖4）所示，惟當長寬比到達1：8時柔性樓板的效果便開始出現，如（圖5）。故若需針對長條形結構物進行強震儀設置，便可能需要考慮此特性。

### （1）L形平面

探討地面五層，L形平面翼長比為1：1,1：1.5,1：2,1：2.5,1：3五種鋼筋混凝土構架。構架每層高度假定為3.5m。

分析各種構架之結果可知其與上述不同長寬矩形平面者類似，唯因L形之剛度不為均勻分布者，故其模態會因此而不同，如（圖6）。

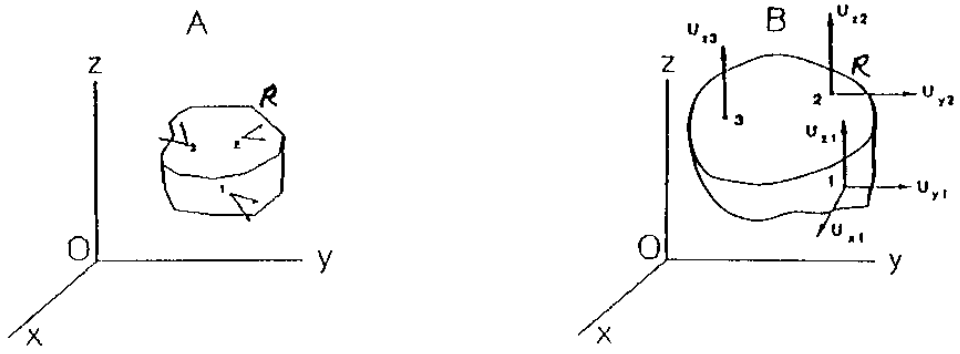


圖 1 . 空間運動之量測。A:任意方向, B:平行座標

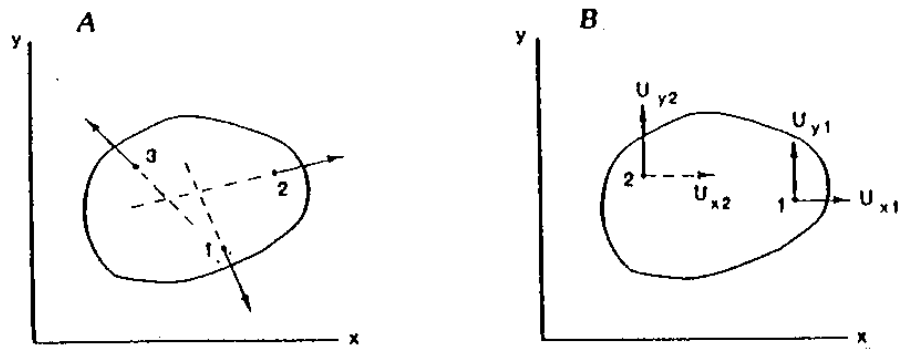


圖 2 . 平面運動之量測。A:任意方向 B:平行座標

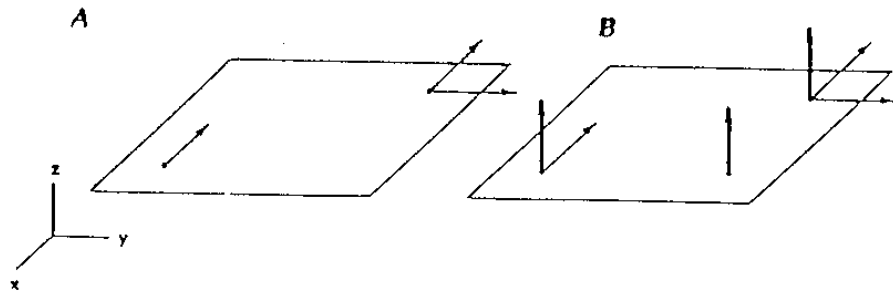


圖 3 . 剛體樓板之標準量測計劃  
A 水平運動  
B 水平及垂直運動

圖4 矩形平面，長寬比 1 : 2，各模態之振動週期及振動形態

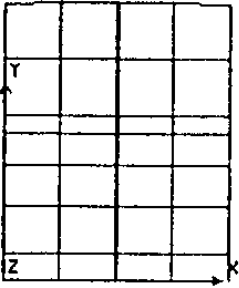
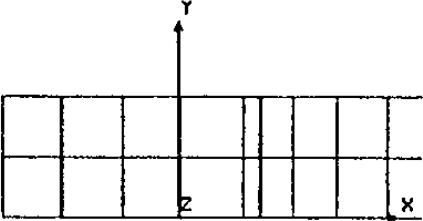
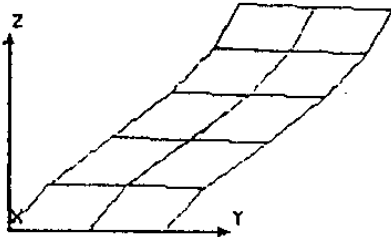
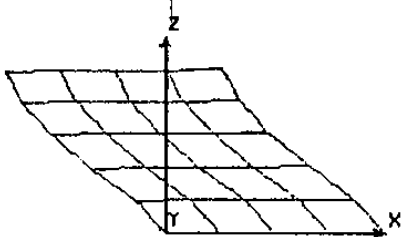
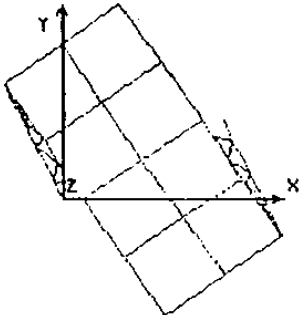
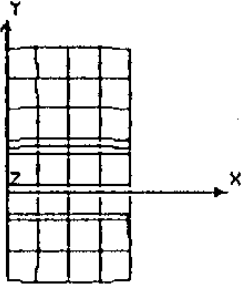
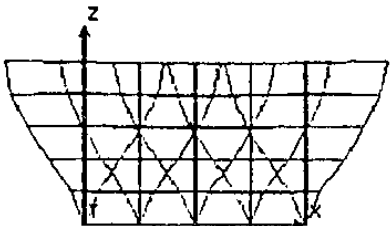
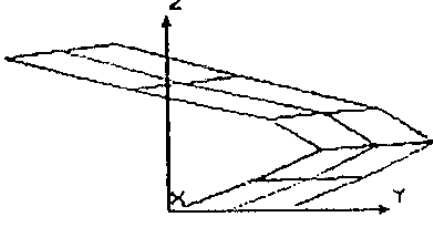
	1	2
模態說明	Y 向位移第一模態	X 向位移第一模態
振動週期	0.57395 sec	0.54133 sec
平面圖		
立面圖		
	3	4
模態說明	Z 向扭轉第一模態	Y 向位移第二模態
振動週期	0.50156 sec	0.17830 sec
平面圖		
立面圖		

圖5 矩形平面，長寬比 1 : 8，各模態之振動週期及振動形態

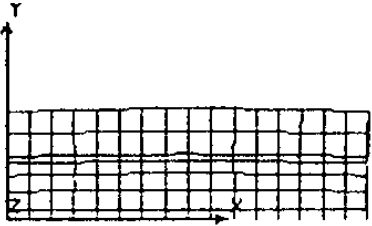
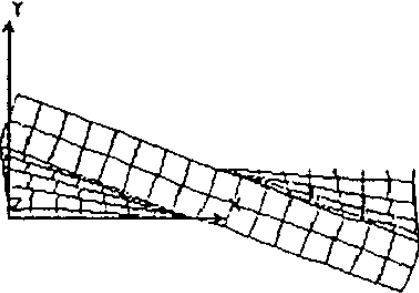
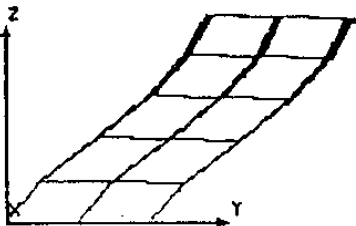
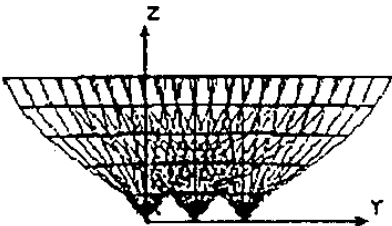
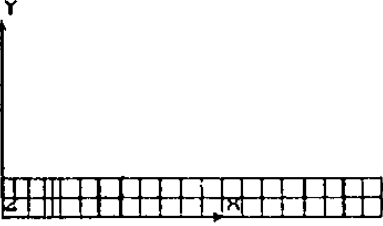
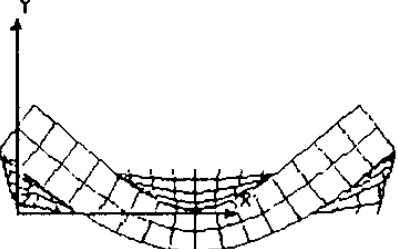
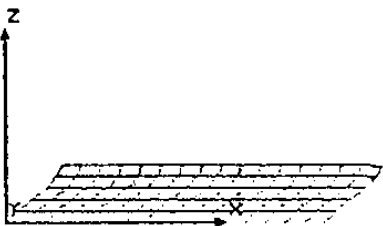
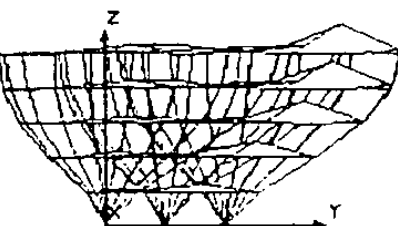
	1	2
模態說明	Y 向位移第一模態	Z 向扭轉第一模態
振動週期	0.61053 sec	0.58165 sec
平面圖		
立面圖		
	3	4
模態說明	X 向位移第一模態	Y 向位移第二模態
振動週期	0.54568 sec	0.23875 sec
平面圖		
立面圖		

圖6 L形平面，翼長比 1:1.5，各模態之振動週期及振動形態

	1	2
模態說明	Y 向位移第一模態	X 向位移第一模態
振動週期	0.57880 sec	0.56045 sec
平面圖		
立面圖		
	3	4
模態說明	Z 向扭轉第一模態	Y 向位移第二模態
振動週期	0.52990 sec	0.18089 sec
平面圖		
立面圖		