

# Project I

# 1. 組員與工作分配

## 1.1 組員

R02521206 簡巧涵



R02521207 詹旻霓



R02521217 劉家仁



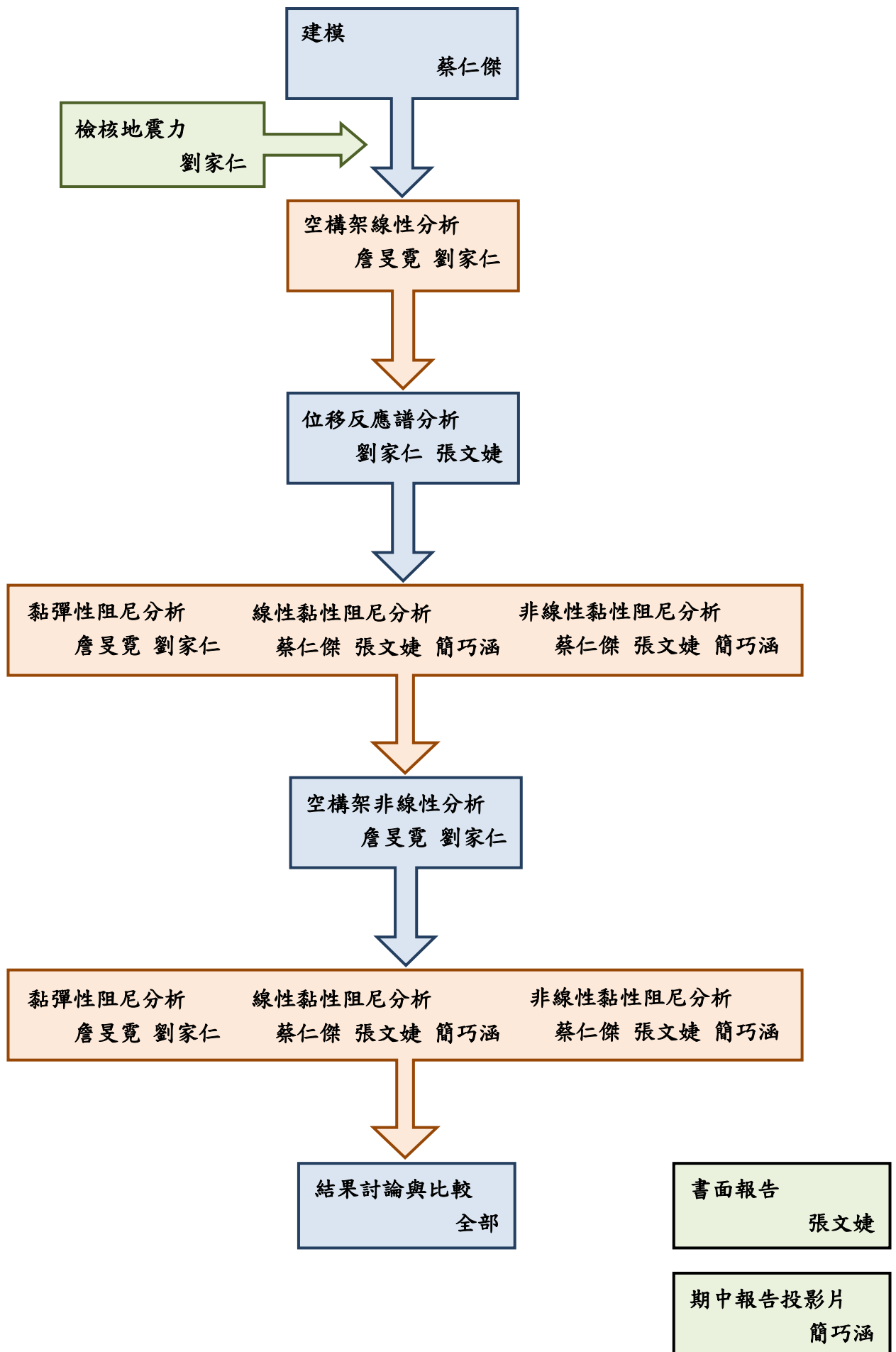
R02521224 蔡仁傑



R02521225 張文婕



## 1.2 工作分配



## 2. 結構資訊、設計目標與SAP2000模型

### 2.1 結構資訊

- (1) Site location : Chia-Yi City (East Part)
- (2) Soil type II, near fault considered ( $N_A = 1.37$ ,  $N_V = 1.44$ ,  $N_{A_M} = 1.30$ ,  $N_{V_M} = 1.48$ )
- (3) Size : 6 stories with 1 basement
- (4) Function : Office building
- (5) Steel frame structure
- (6) Structural system : SMRF
- (7) Structural plan and elevation as follows (the dead load provided on the table already consider the structure dead load and any additional dead load, so you don't have to include self-weight of structure members)

Table 1. Story data and design loading (Unit : t、m<sup>2</sup>)

Story	Height (m)	Area(m <sup>2</sup> )	Dead load		Live load(t/m <sup>2</sup> )
			Weight (t)	(t/m <sup>2</sup> )	
RF	-	1215	911.25	0.75	0.5
6F	4.0	1215	850.5	0.70	0.3
5F	4.0	1215	850.5	0.70	0.3
4F	4.0	1215	850.5	0.70	0.3
3F	4.0	1215	850.5	0.70	0.3
2F	4.5	1215	850.5	0.70	0.3
Total weight : 5163.75 t					

Table 2. Beam and girder section table

Story	Section #	Dimension (mm)	A36 Steel
2F ~ RF	B1	H 600x250x12x18	$F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
	B2	H 600x200x9x12	
	G1, G2	H 600x250x12x22	
	sb1	H 450x200x9x14	

Table 3. Column section table

Story	Section #	Dimension (mm)	A36 Steel
1F ~ 2F	C1	Box 700x700x22x22	$F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
3F ~ 6F	C1	Box 600x600x25x25	
1F ~ 2F	C2	Box 650x650x22x22	
3F ~ RF	C2	Box 600x600x20x20	

## 2.2 設計目標

分別設置黏彈性阻尼器、線性黏性阻尼器，以及非線性黏性阻尼器，於標結構物上，

Team	Max. Drift Ratio	VE $\gamma=300\%$	Linear Viscous Damper	Nonlinear Viscous Damper
1	0.010	110, T=20°	$\alpha=1.0$	$\alpha=0.1$
2	0.010	112, T=30°		$\alpha=0.2$
3	0.012	130, T=20°		$\alpha=0.3$
4	0.012	110, T=30°		$\alpha=0.4$
5	0.015	112, T=20°		$\alpha=0.5$
6	0.015	130, T=30°		$\alpha=0.6$

## 2.3 檢核地震歷時

### 2.3.1 法規反應譜

短週期與長週期結構之工址放大係數  $F_a$  &  $F_v$

嘉義(東區)	$S_S^D=0.8$	$S_S^M=1.0$	$S_1^D=0.45$	$S_1^M=0.55$
第二類地盤	$F_a=1.0$	$F_a=1.0$	$F_v=1.2$	$F_v=1.1$

短週期與一秒週期設計水平譜加速度係數：

$$S_{DS} = F_a \times S_S^D \times N_A = 1.0 \times 0.8 \times 1.37 = 1.096$$

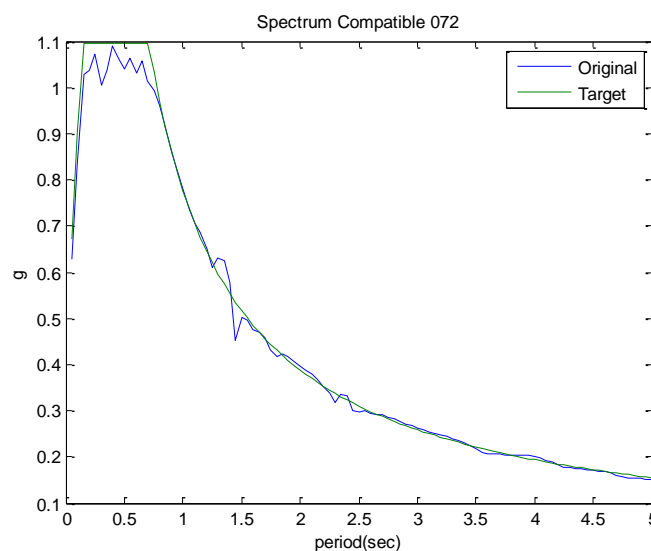
$$S_{MS} = F_a \times S_S^M \times N_{A\_M} = 1.0 \times 1.0 \times 1.30 = 1.30$$

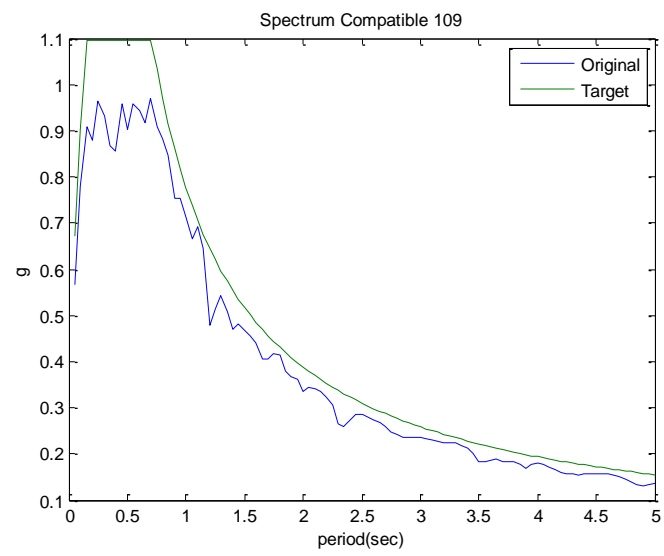
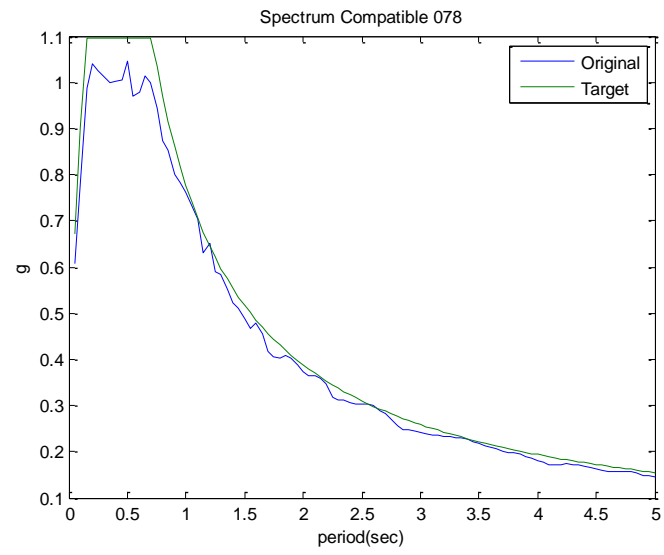
$$S_{D1} = F_a \times S_1^D \times N_V = 1.0 \times 0.45 \times 1.44 = 0.7776$$

$$S_{M1} = F_a \times S_1^M \times N_{V\_M} = 1.0 \times 0.55 \times 1.48 = 0.8954$$

### 2.3.2 檢核地震歷時與反應譜相容性

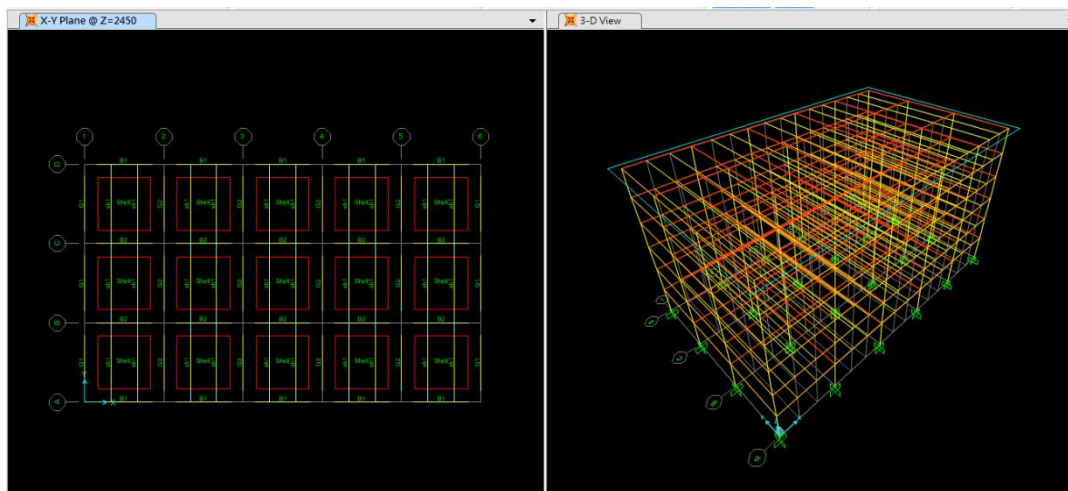
分別把 072、078 和 109 的地震歷時的反應譜(Original)與法規的反應譜(Target)放在一起檢核。  
確認這三個地震加速度歷時的反應譜與法規的加速度反應譜相當接近（符合法規）。

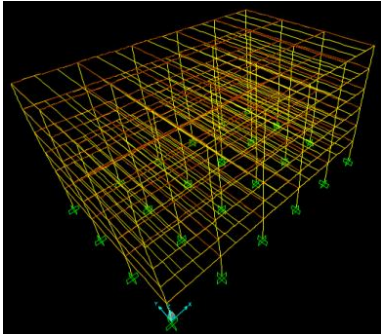
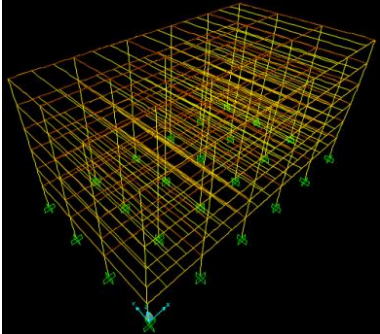
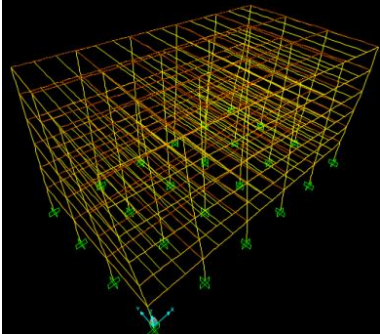
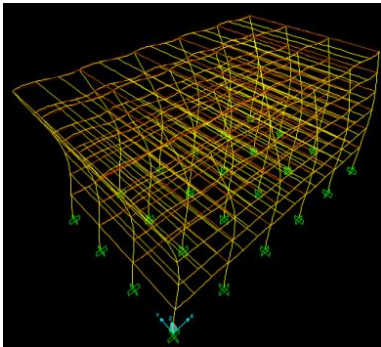
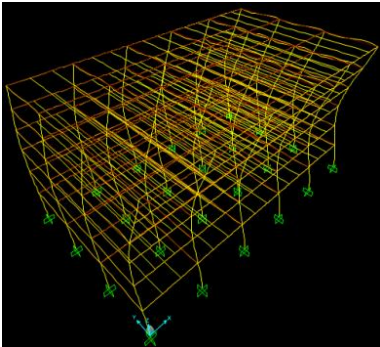
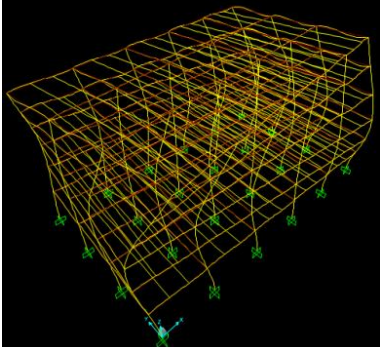




### 3. SAP2000模型與空構架線性分析

#### 3.1 SAP2000模型

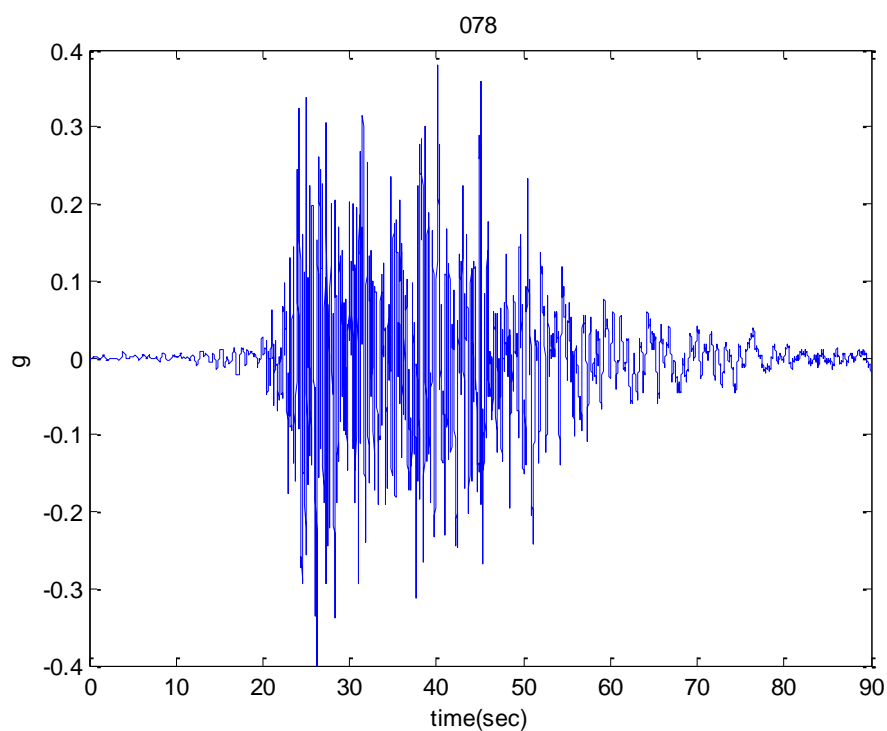
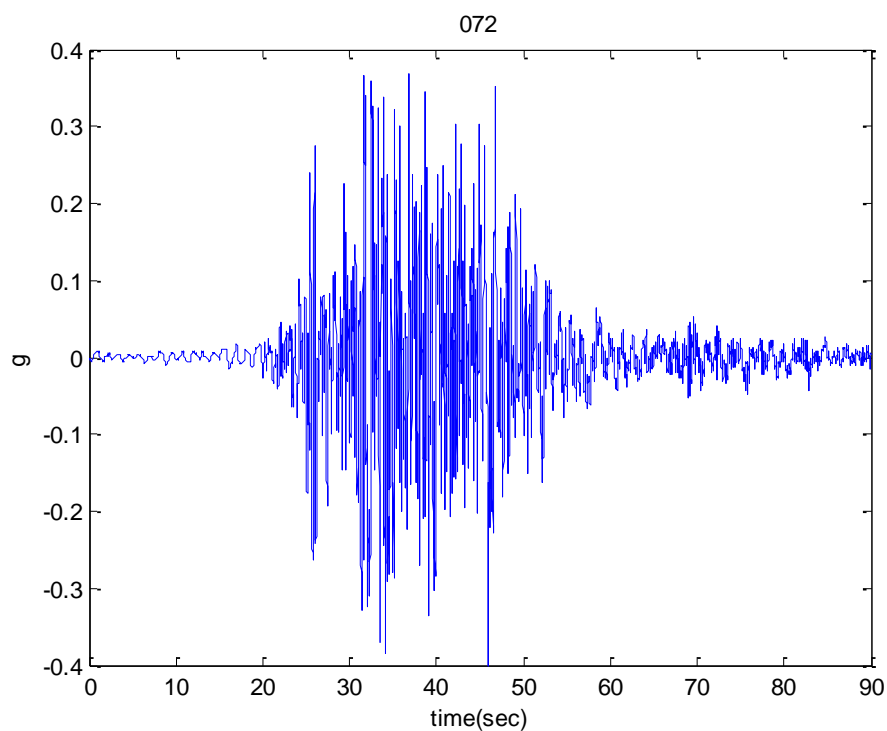


Mode 1 (長向)	Mode 2 (短向)	Mode 3 (扭轉)
結構週期 $T_1=1.383(\text{sec})$	結構週期 $T_2=1.274(\text{sec})$	結構週期 $T_3=1.100(\text{sec})$
		
Mode 4 (長向)	Mode 5 (短向)	Mode 6 (扭轉)
結構週期 $T_4=0.411(\text{sec})$	結構週期 $T_5=0.384(\text{sec})$	結構週期 $T_6=0.332(\text{sec})$
		

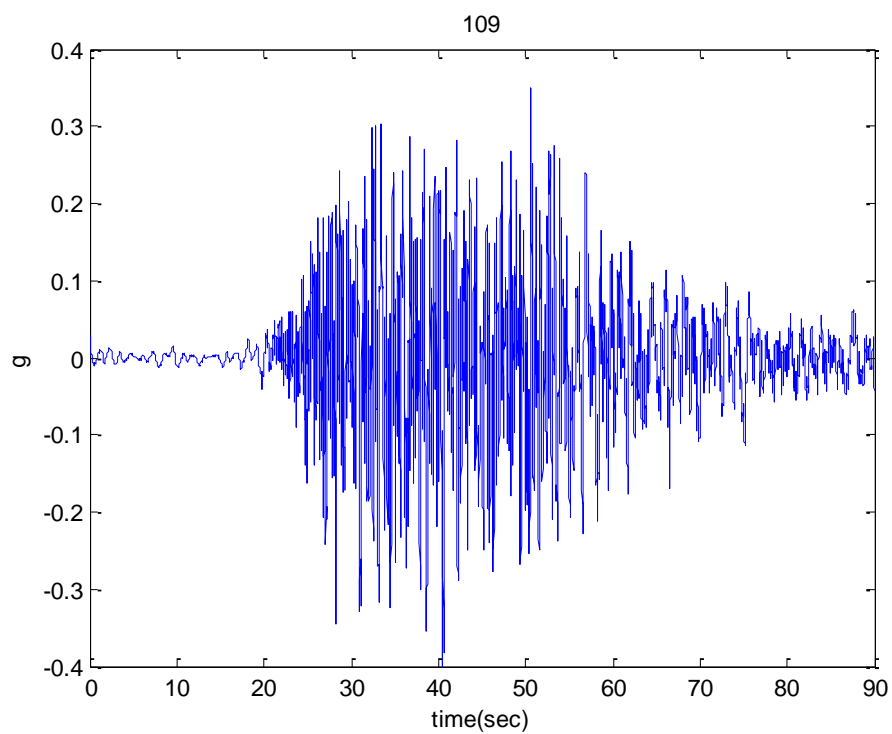
## 3.2 空構架線性分析

因 072、078 和 109 的地震歷時和法規相似，所以直接用原始的地震加速度歷時進行初步的線性分析，來確定空構架的層間位移是否大於目標結果。

### 3.2.1 地震歷時



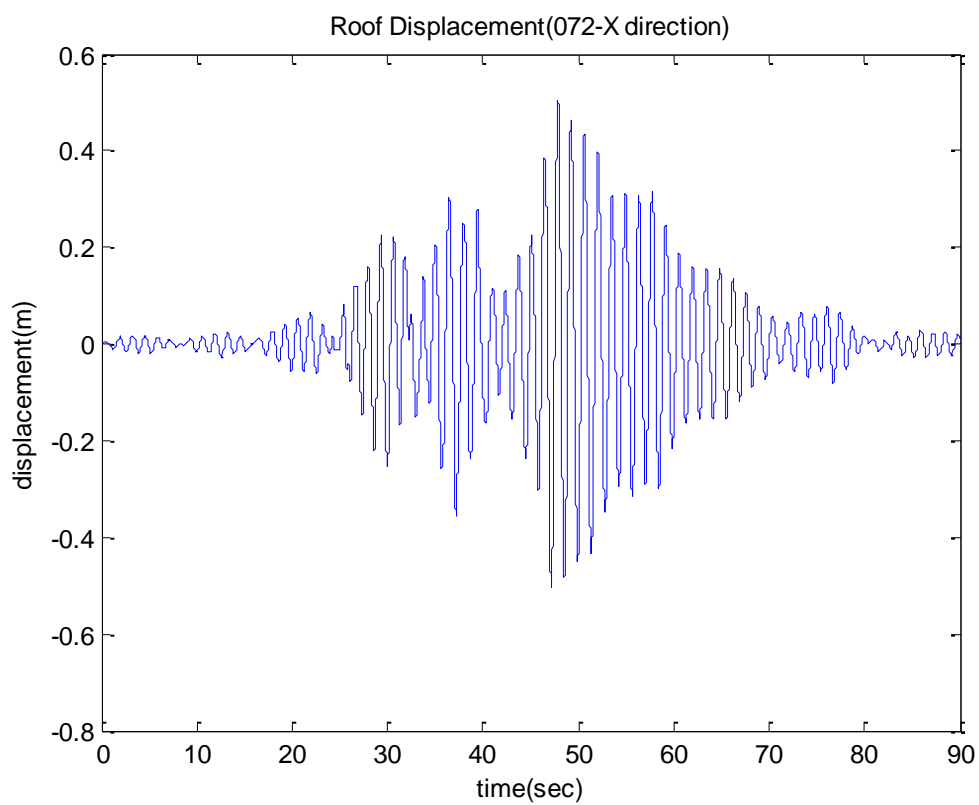


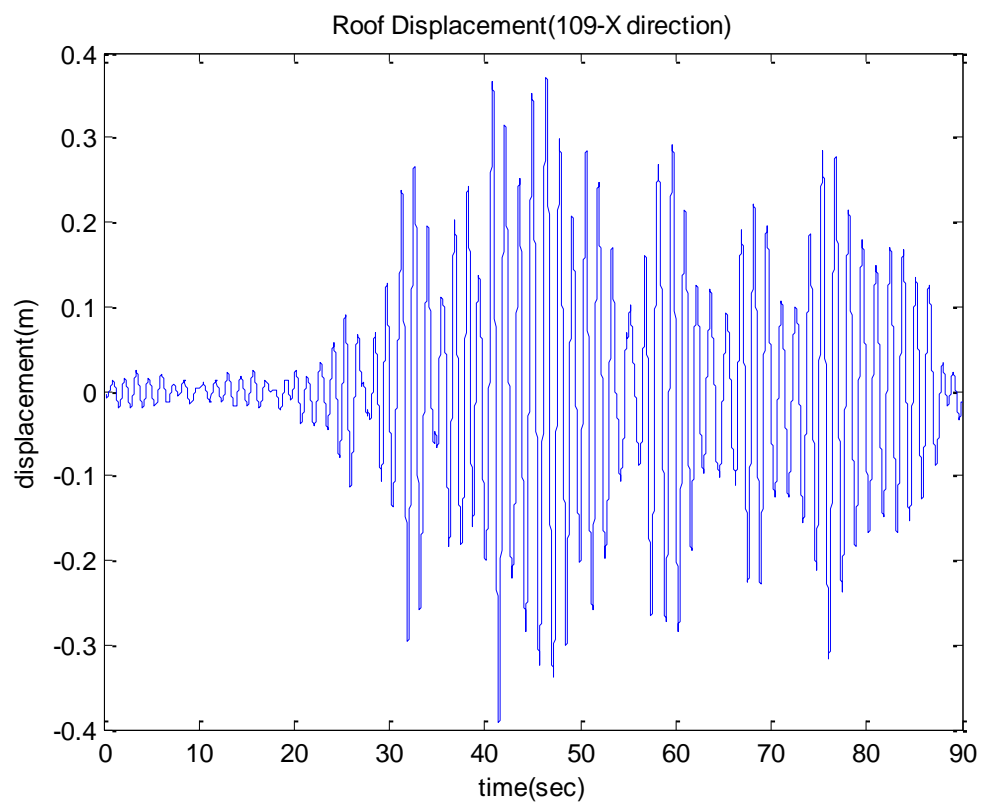
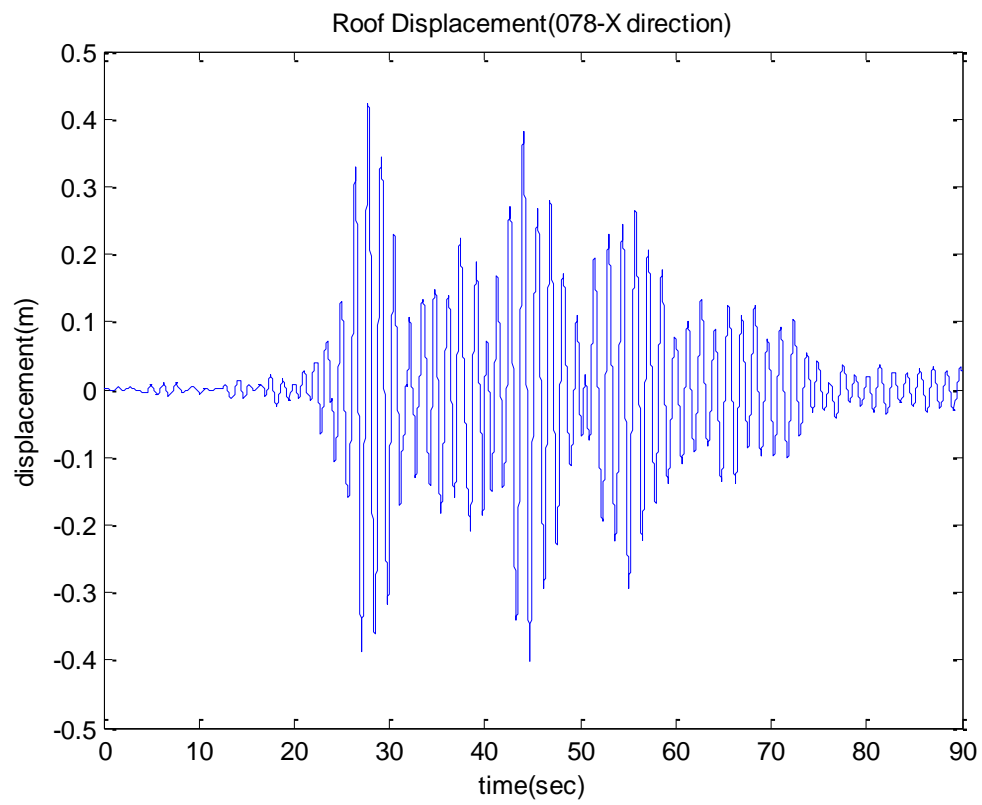


### 3.2.2 分析結果

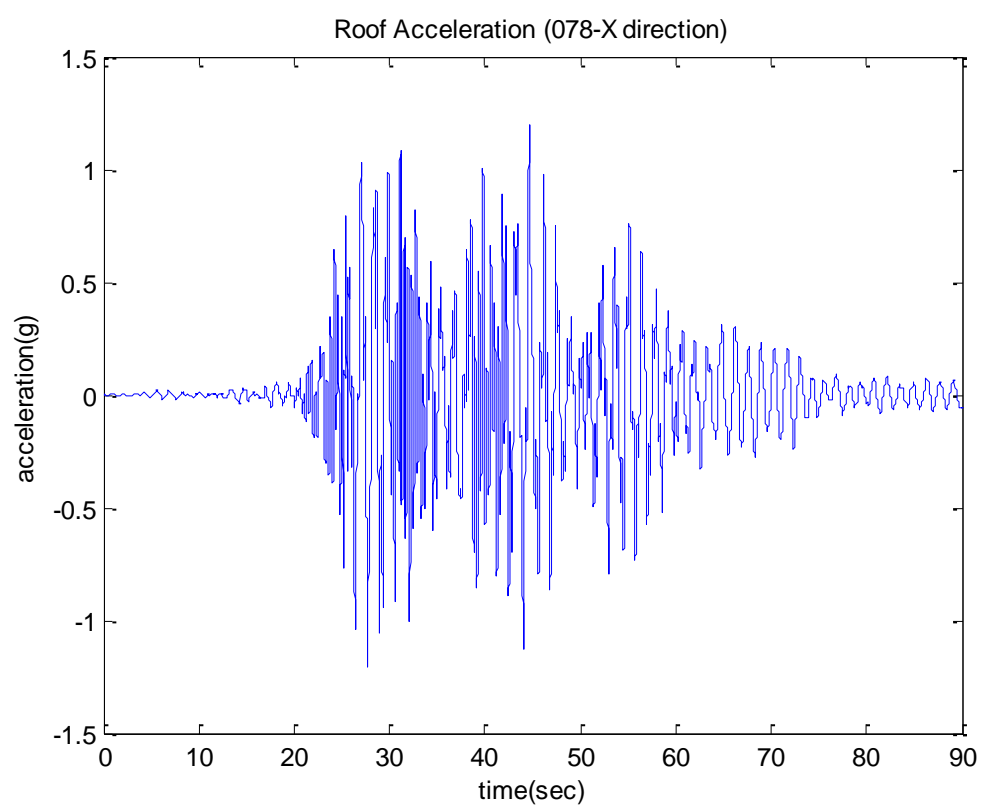
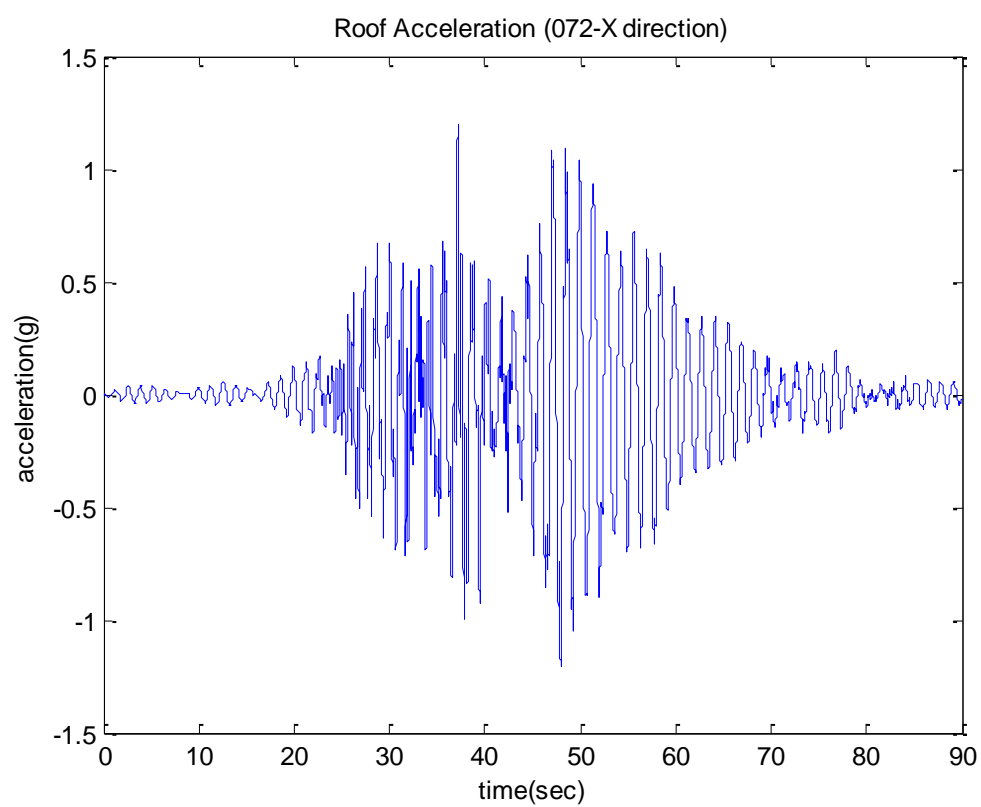
(1)頂層歷時反應

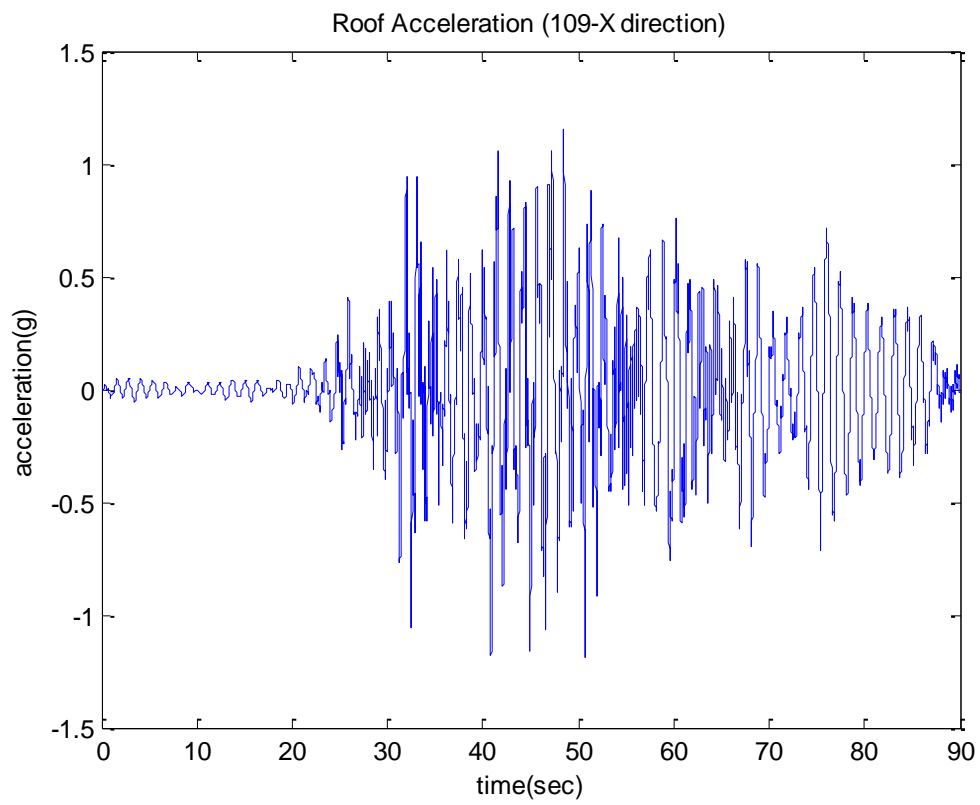
長向位移



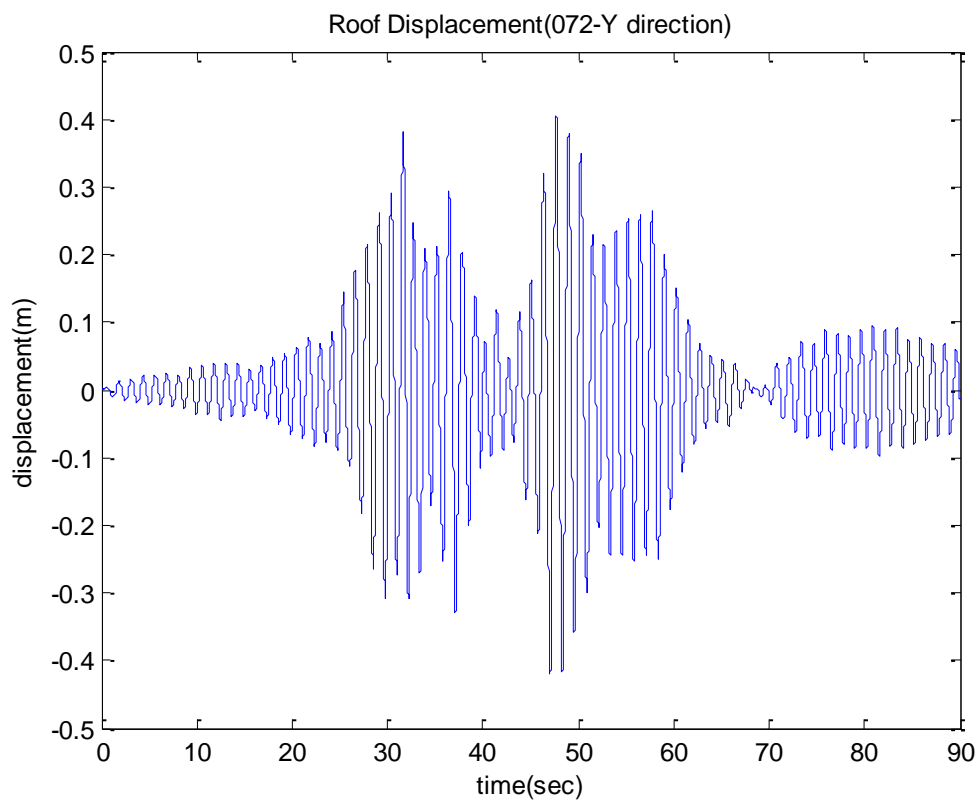


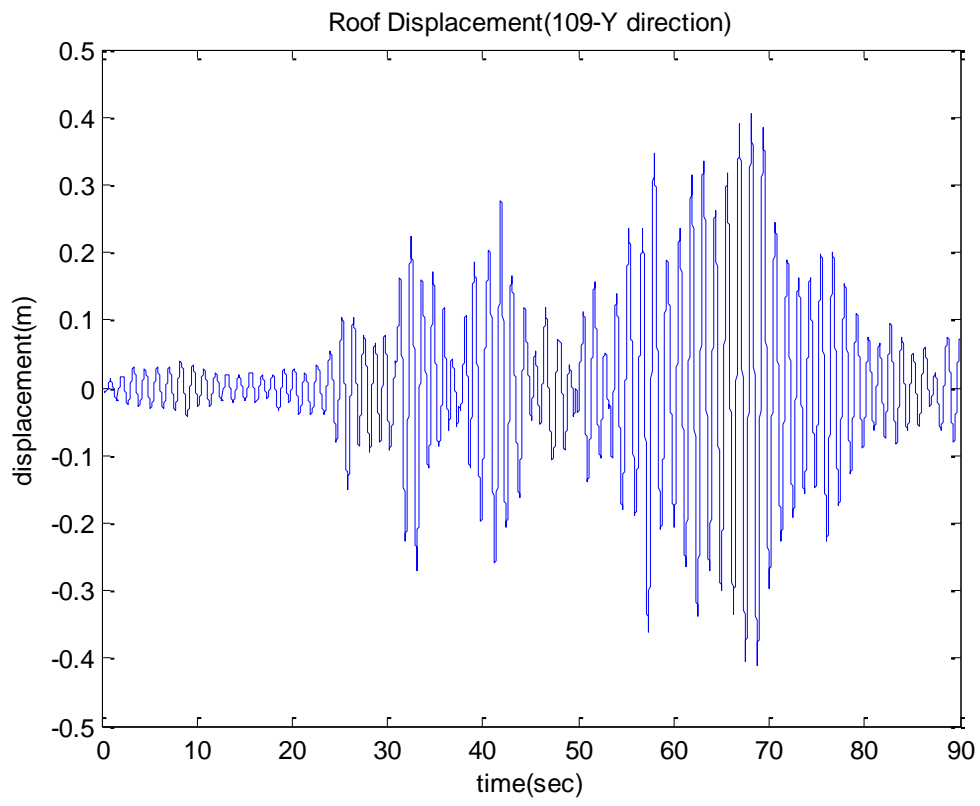
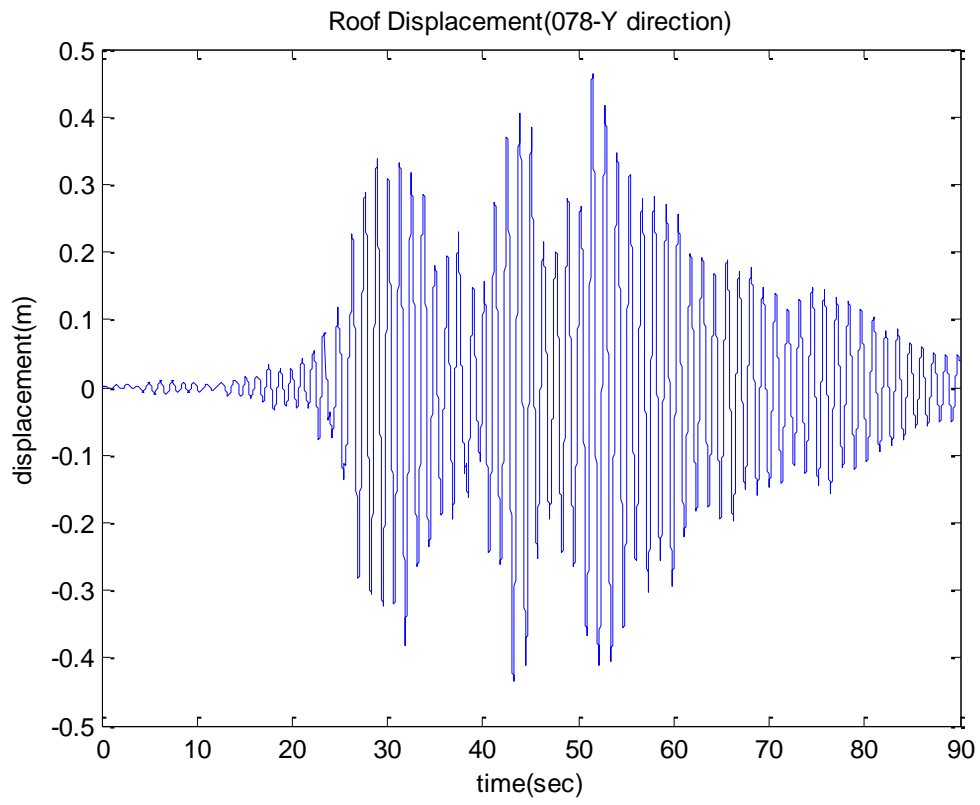
# 長向加速度



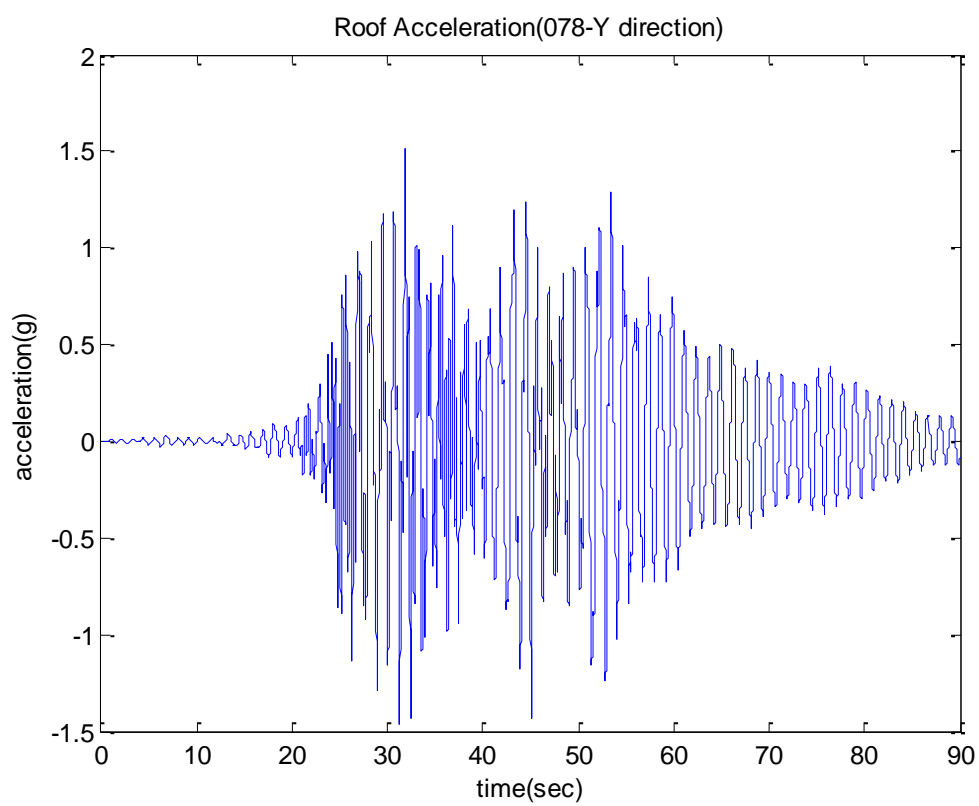
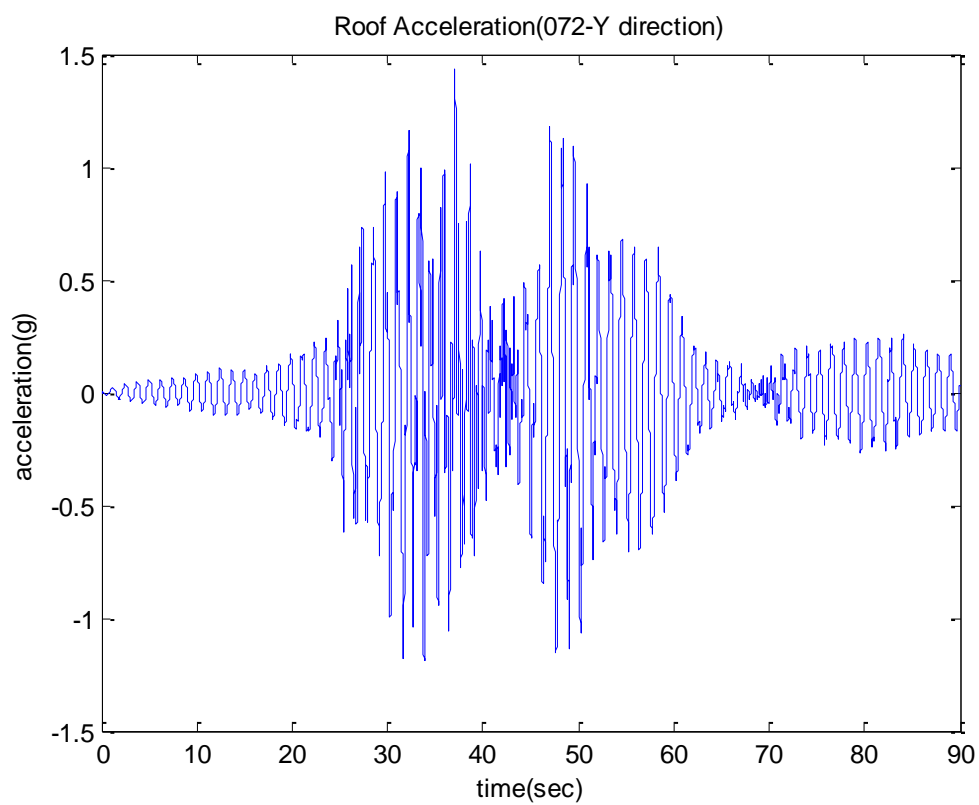


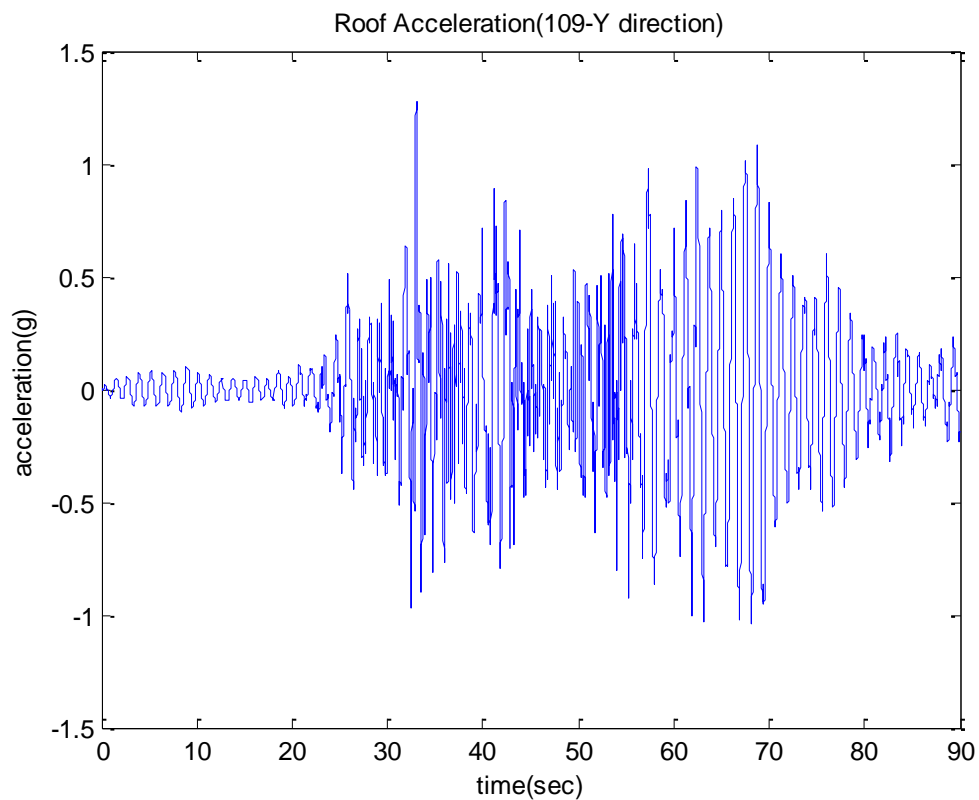
短向位移





## 短向加速度





(2) 頂層最大位移、速度與加速度反應

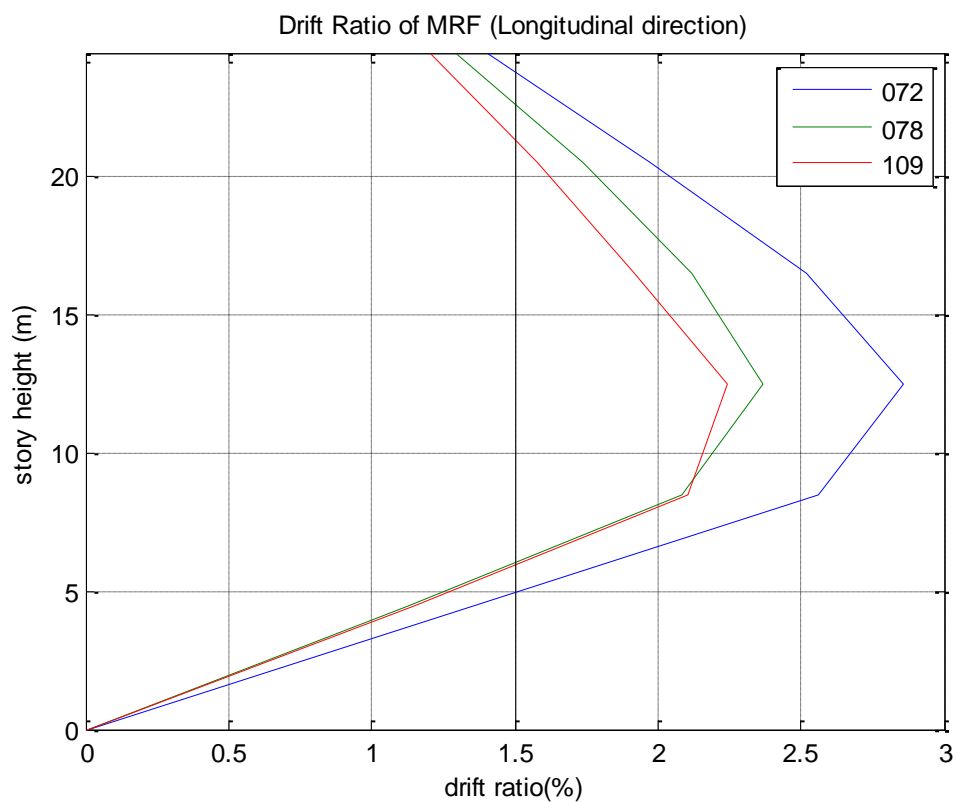
X-direction			
EQ	Displacement	Velocity	Acceleration
	m	m/s <sup>2</sup>	g
072	0.5050	2.5168	1.2101
079	0.4239	2.0426	1.2092
109	0.3916	1.9414	1.1847

Y-direction			
EQ	Displacement	Velocity	Acceleration
	m	m/s <sup>2</sup>	g
072	0.4210	2.0086	1.4300
079	0.4627	2.4179	1.5102
109	0.4109	2.0774	1.2792

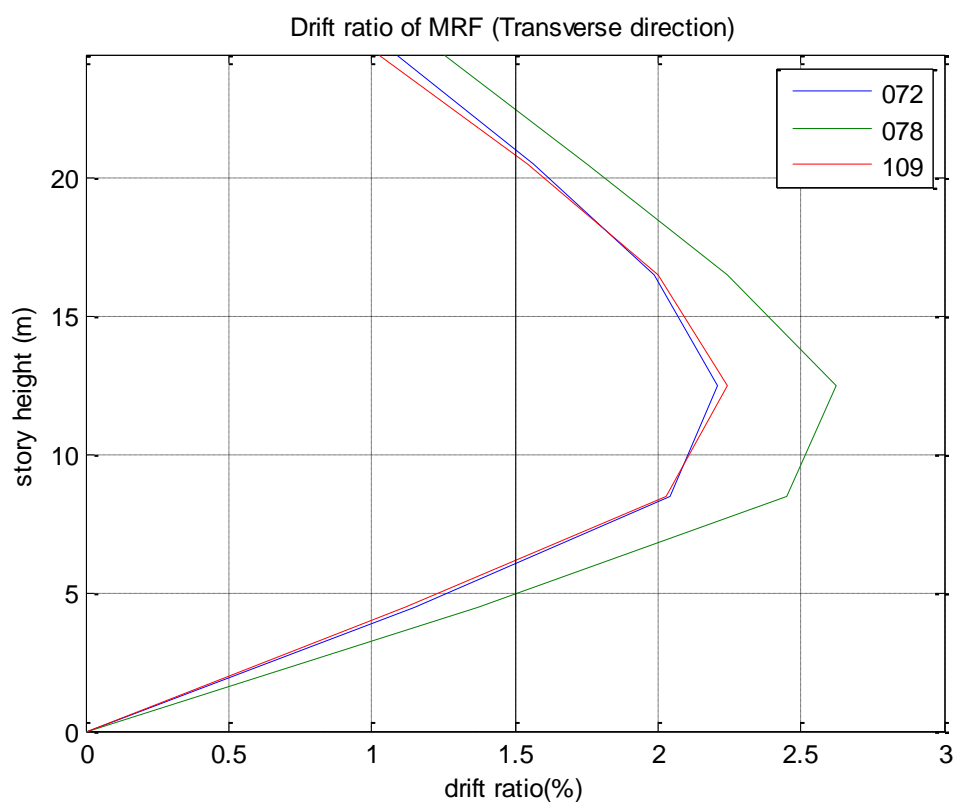
### (3) 層間變位角(Drift Ratio)

空構在這三組地震歷時下，長向與短向的最大層間變位角皆超過要求(0.015)。其中，長向以 TCU072 這筆地震超出最多，短向則是 TCU078，若要達到層間變位角的要求，需要阻尼器以降低反映。

長向



短向





## 4. 位移反應譜分析

首先，我們做了以下幾項假設：

- (1) 結構為單自由度系統。
- (2) 結構增加阻尼後週期不變。

再來，我們利用結構週期以及目標位移，對應不同組尼比的位移反應譜，初步決定設計阻尼比。

### Step 1 決定主控週期與主控地震

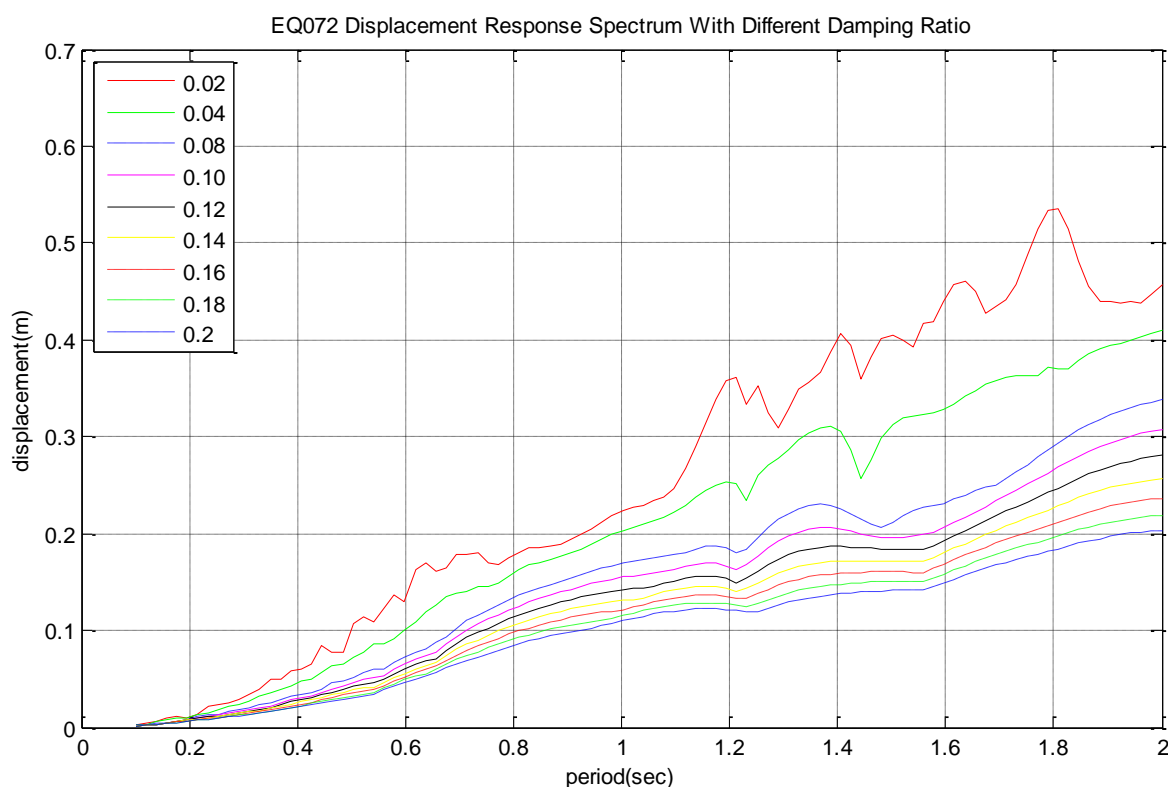
由第三節層間變位角的圖可發現，長向的層間變位角比短向的層間變位角大，所以我們使用第一模態(長向)的週期推估最大位移反應。而位移反應大致隨著週期增加而變大，因此，選用第一模態(長向)的週期為主控週期是保守的。

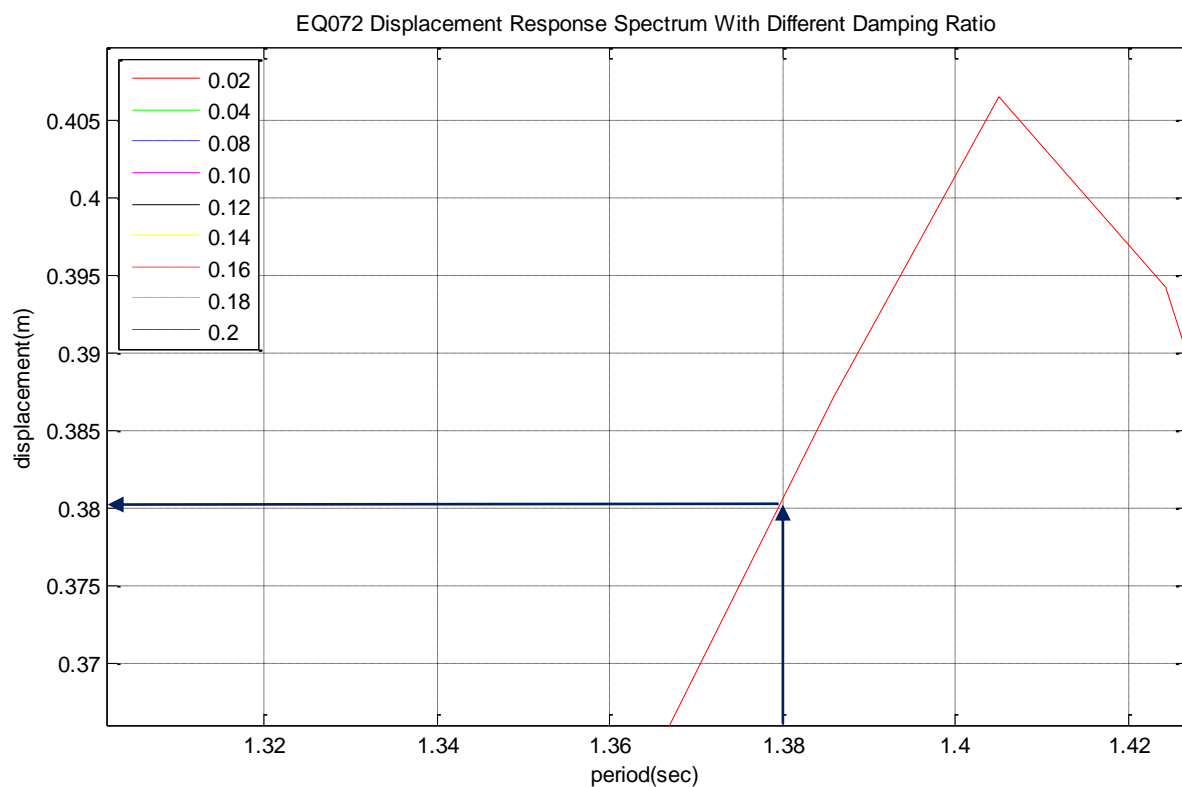
因假設結構為單自由度系統，且由第三節的頂層最大位移反應比較表可看出，072地震相較於其他兩個地震，對於長向造成的反應最大，所以取072地震為主控地震。

### Step 2 估算結構的目標位移

由第三節的層間變位角可知最大值為2.85%，而目標的層間變位角為1.5%，因此判定，位移需折減1.9倍( $2.85\%/1.5\%=1.9$ )。

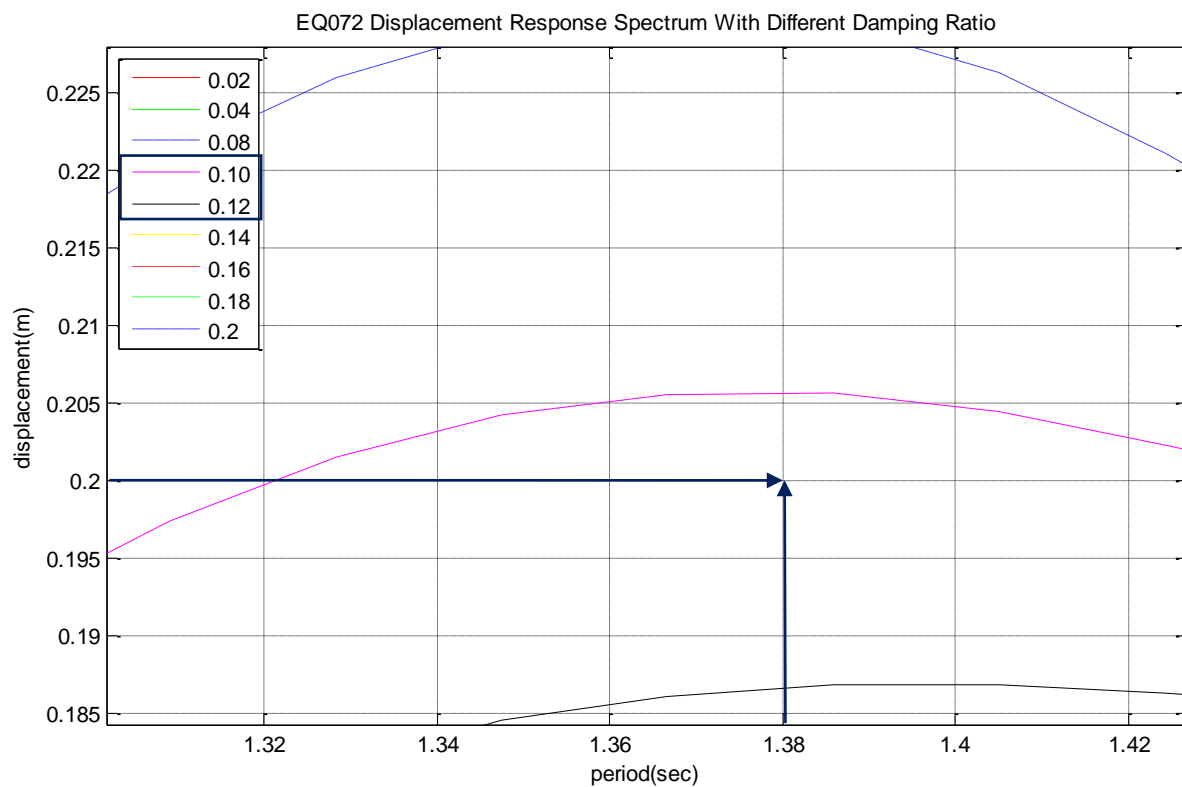
利用072地震(主控地震)所繪製的位移反應譜可估算，週期為1.38秒(主控週期)的單自由度結構，約會產生0.38公尺的最大位移反應，而目標位移為0.2公尺( $0.38/1.9$ )。





### Step 3 決定設計組尼比

在主控週期下(1.38秒)，要達到目標位移(0.2公尺)所需的組尼比介於0.10至0.12間，因為是粗略估算，取0.12為設計組尼比。

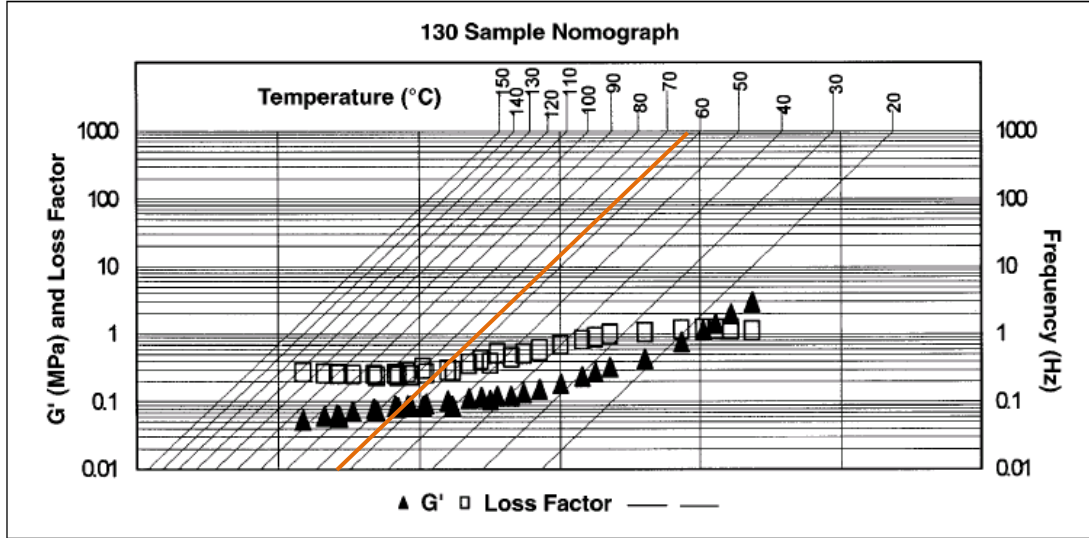


## 5. 線性分析

### 5.1 黏彈性阻尼分析

#### 5.1.1 設計阻尼參數

VE materials : 3M ISD 130 ,  $T=30^{\circ}\text{C}$  ,  $\gamma=300\%$ 。



由上圖得知，當溫度  $T=30^{\circ}\text{C}$ ，耗損因子  $\eta_v = 0.95$ ，剪力儲存模數  $G' = 0.45$ 。

接著便可利用以下公式計算出設計阻尼之相關參數：

$$K_d = G' \times \frac{nA}{t} \quad \text{式(1)}$$

$$\eta_v = 2\pi \times f_1 \times \left( \frac{C_d}{K_d} \right) \quad \text{式(2)}$$

$$\xi_r = \frac{\eta_v}{2} \left( 1 - \frac{T_{VE}^2}{T_{BF}^2} \right) \quad \text{式(3)}$$

其中， $K_d$ ：黏彈性阻尼勁度

$C_d$ ：黏彈性阻尼係數

$G'$ ：剪力儲存模數

$A/t$ ：黏彈性阻尼器之面積厚度比

$\xi_r$ ：目標阻尼比

$\eta_v$ ：耗損因子

$T_{BF}$ ：原結構物之第一震動週期

$T_{VE}$ ：加裝阻尼後之結構物第一震動週期

$f_1$ ：原結構之第一振動頻率

$n$ ：單一阻尼器之黏彈性材料層數

### Step 1 設計阻尼勁度Kd

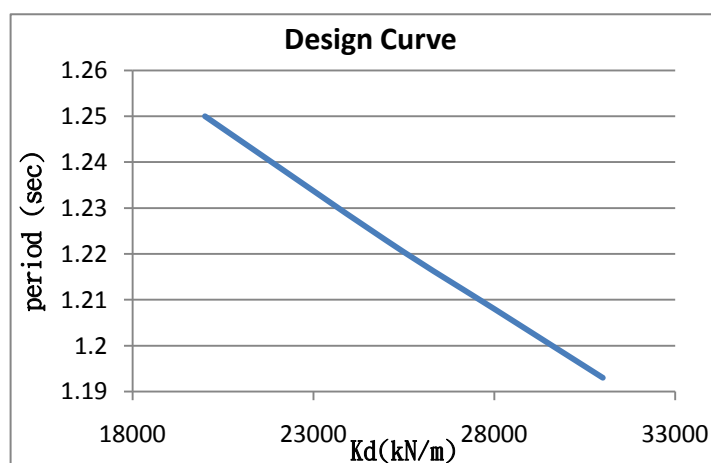
由上述公式(3)，代入反應譜分析(長向反應)所估算之目標阻尼比( $\xi_r = 12\%$ )，查圖所得之耗損因子( $\eta_v = 0.95$ )，以及第一模態週期( $T_{BF} = 1.385 \text{ sec}$ )，可得目標週期 $T_{VE}$ ：

$$12\% = \frac{0.95}{2} \left( 1 - \frac{T_{VE}^2}{1.385^2} \right)$$

$$\Rightarrow T_{VE} = 1.197(\text{sec})$$

根據長向做設計，並且藉由模型的疊代，可得阻尼勁度Kd與結構第一模態週期的關係如下。在阻尼勁度為30000(kN/m)時，其週期相當接近目標週期 $T_{VE}$ （只相差0.001秒），故選定此值作為我們的阻尼勁度。

Kd(kN/m)	Period(sec)
20000	1.25
25000	1.223
28000	1.208
30000	1.198
31000	1.193



### Step 2 設計阻尼係數Cd

由上述公式(2)，分別代入結構長向與短向的振動頻率 $f_1$ （即為結構第一與第二模態頻率），查圖所得之耗損因子( $\eta_v = 0.95$ )，以及阻尼勁度( $K_d = 30000 \text{ kN/m}$ )，即可分別得到長向與短向的阻尼係數，如下表所示。

長向	短向
$f_1 = \frac{1}{1.385} \text{ Hz}$	$f_1 = \frac{1}{1.274} \text{ Hz}$
$0.95 = 2\pi \times \frac{1}{1.385} \times \left( \frac{C_d}{30000} \right)$	$0.95 = 2\pi \times \frac{1}{1.274} \times \left( \frac{C_d}{30000} \right)$
$C_d = 6282 \left( \frac{kN}{m} \right) \approx 6400 \left( \frac{kgf}{cm} \right)$	$C_d = 5779 \left( \frac{kN}{m} \right) \approx 5891 \left( \frac{kgf}{cm} \right)$

### Step 3 設計阻尼係面積A與厚度t

考慮最極限的情況，Drift ratio 為 0.015， $\gamma = 300\%$ ，又由於樓層高度有兩種(450cm&400cm)：

$$t = \frac{\max[(\text{drift}) \times h \times \cos \theta]}{\gamma}$$

$$\rightarrow \frac{0.015 \times 450 \times \cos(\tan^{-1}(\frac{450}{900}))}{3} = 2.012(\text{cm})$$

$$\rightarrow \frac{0.015 \times 400 \times \cos(\tan^{-1}(\frac{400}{900}))}{3} = 1.827(\text{cm})$$

因此取 t 為 2.012cm，取 n=4

$$K_d = G' \frac{nA}{t}$$

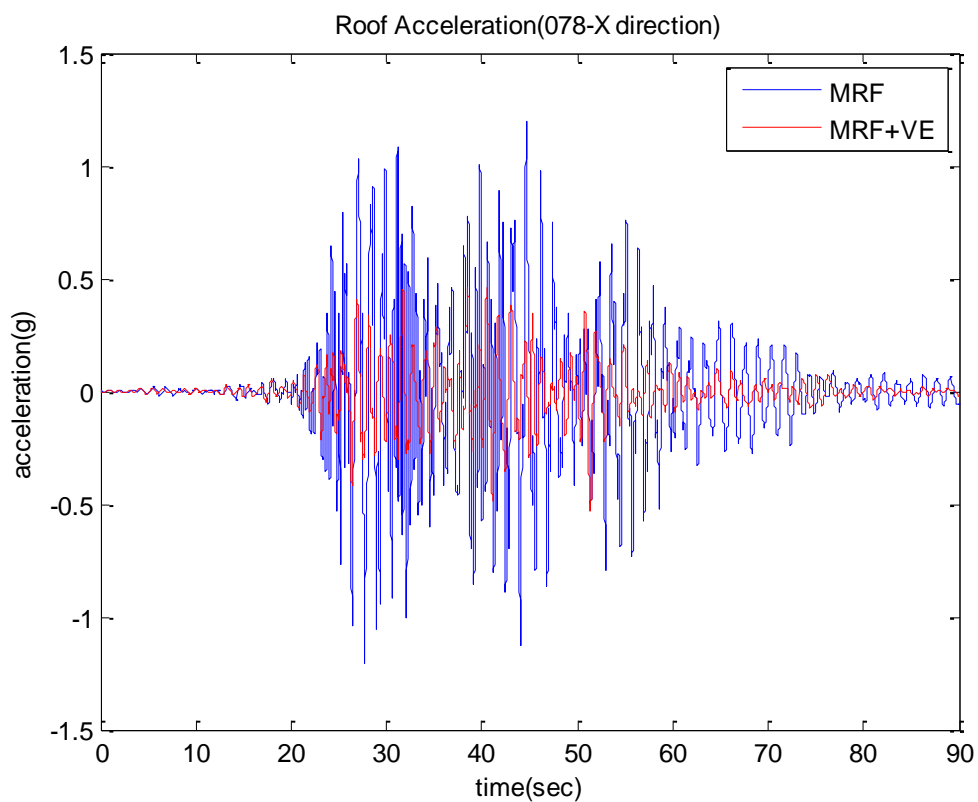
$$30000 = 0.45 \times 10^3 \times \frac{4 \times A}{0.02012}$$

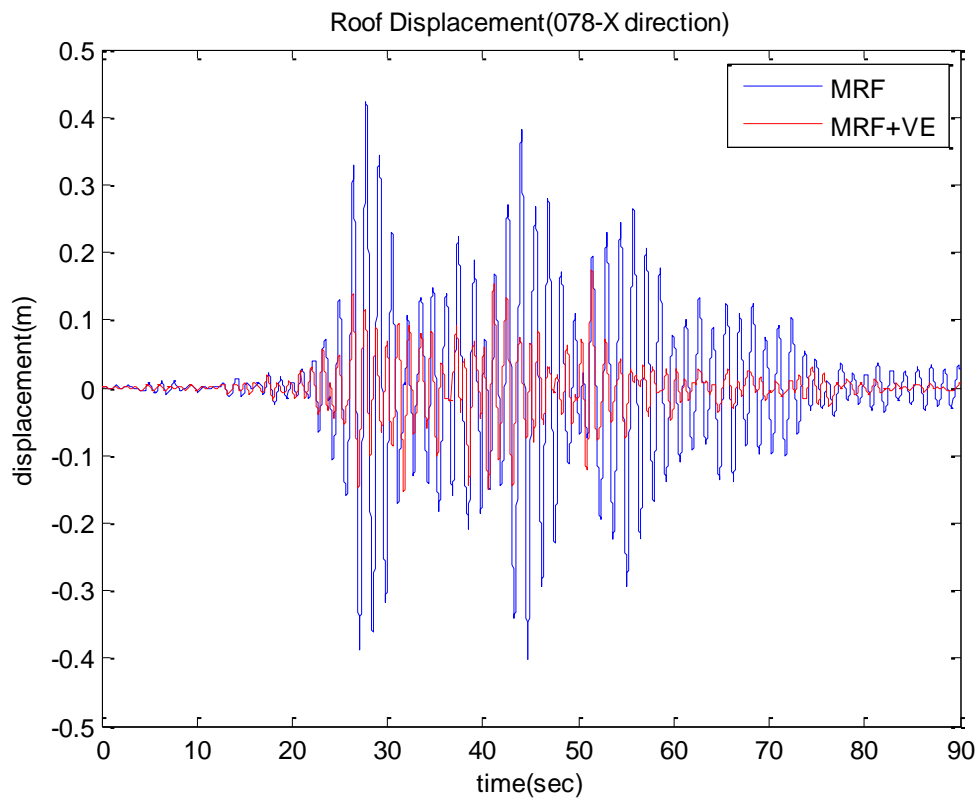
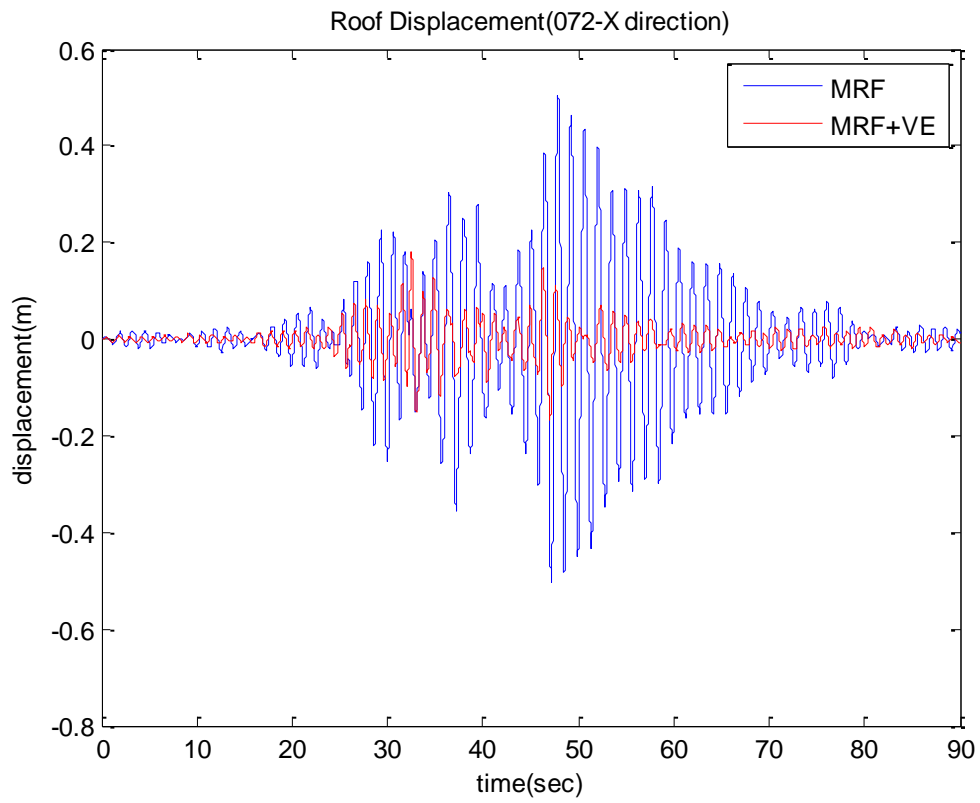
$$A = 0.335\text{m}^2 = 3350\text{cm}^2$$

因此取 A = 112cm × 30cm

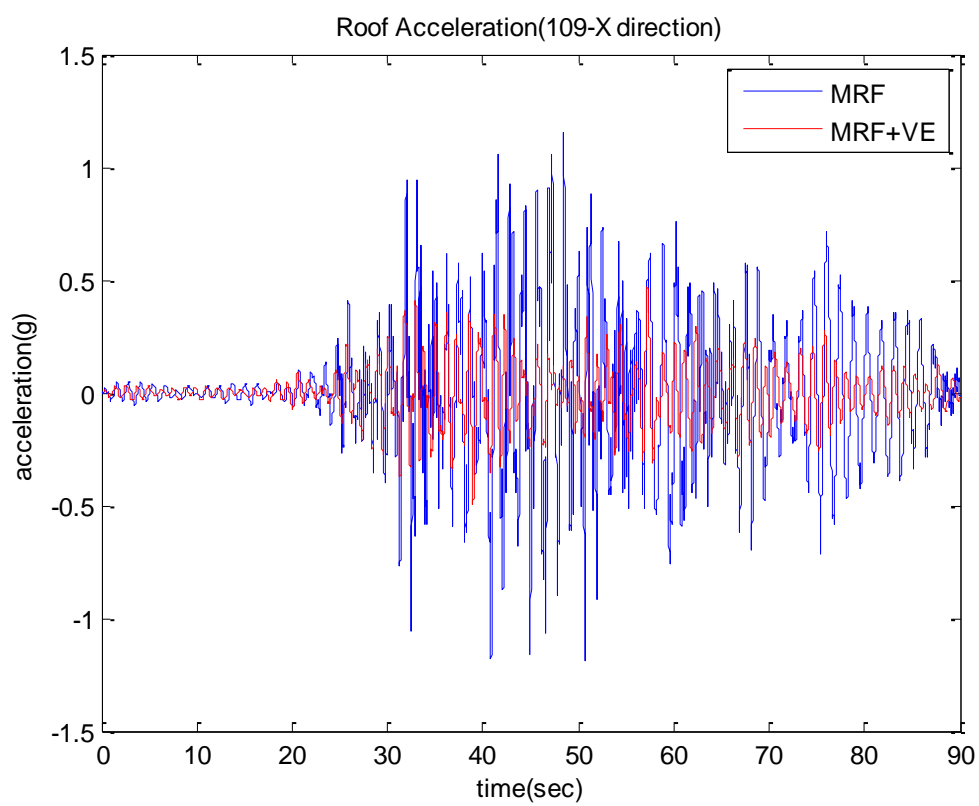
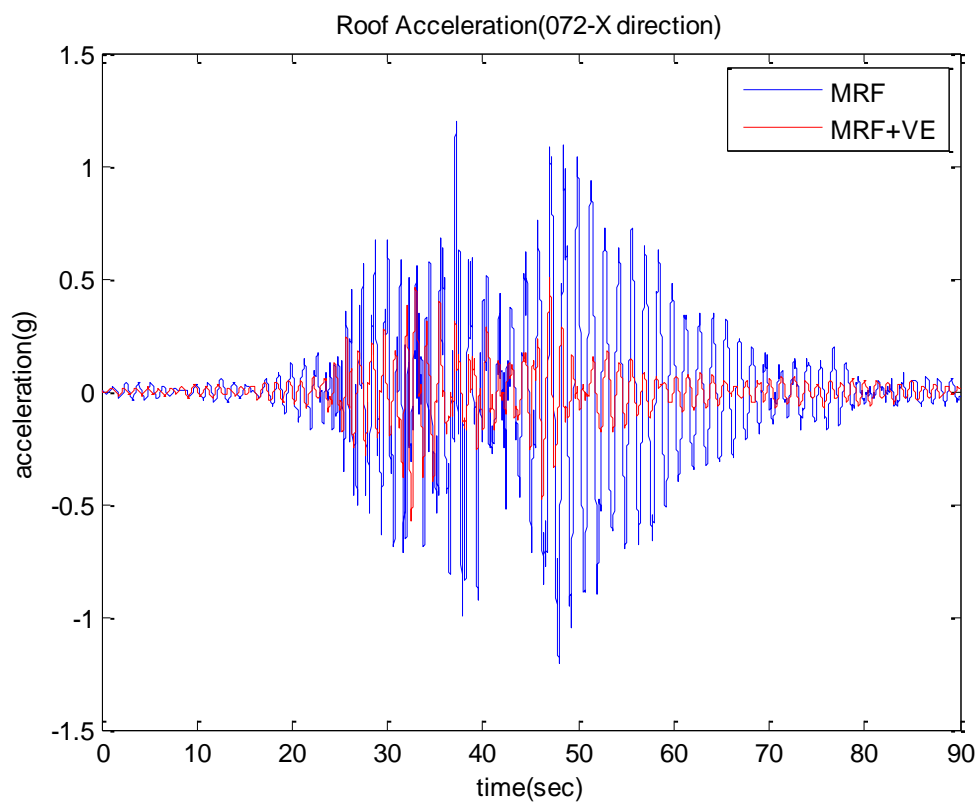
### 5.1.2 頂層時間歷時反應

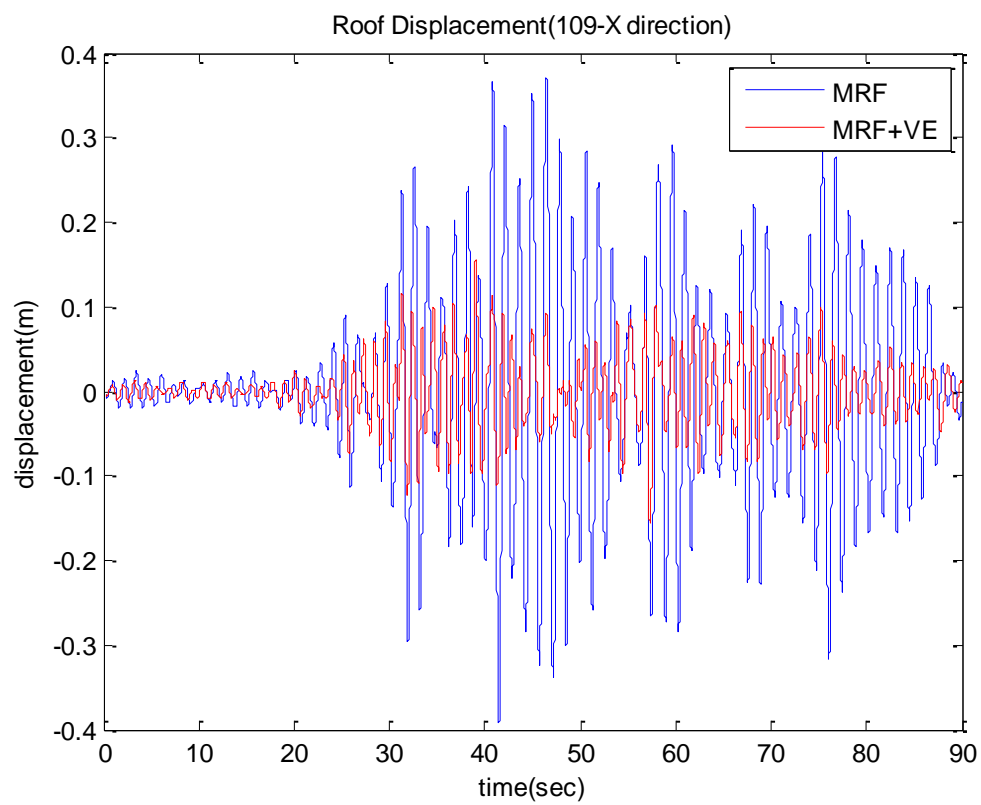
#### (1) 長向位移



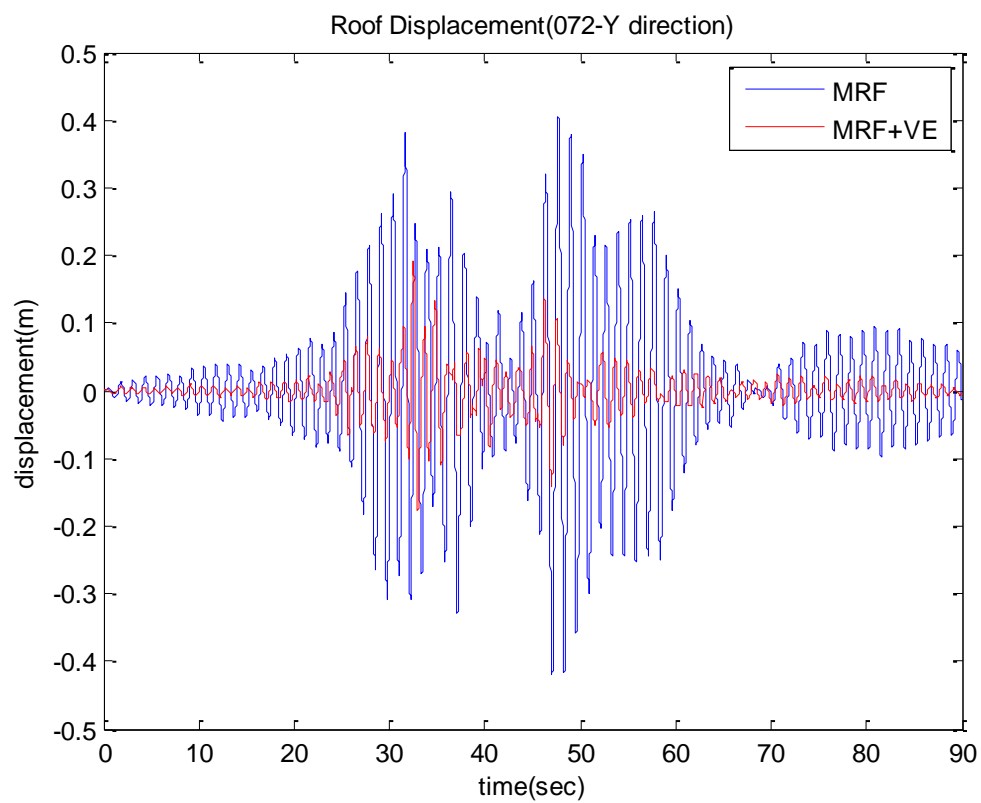


(2) 長向加速度

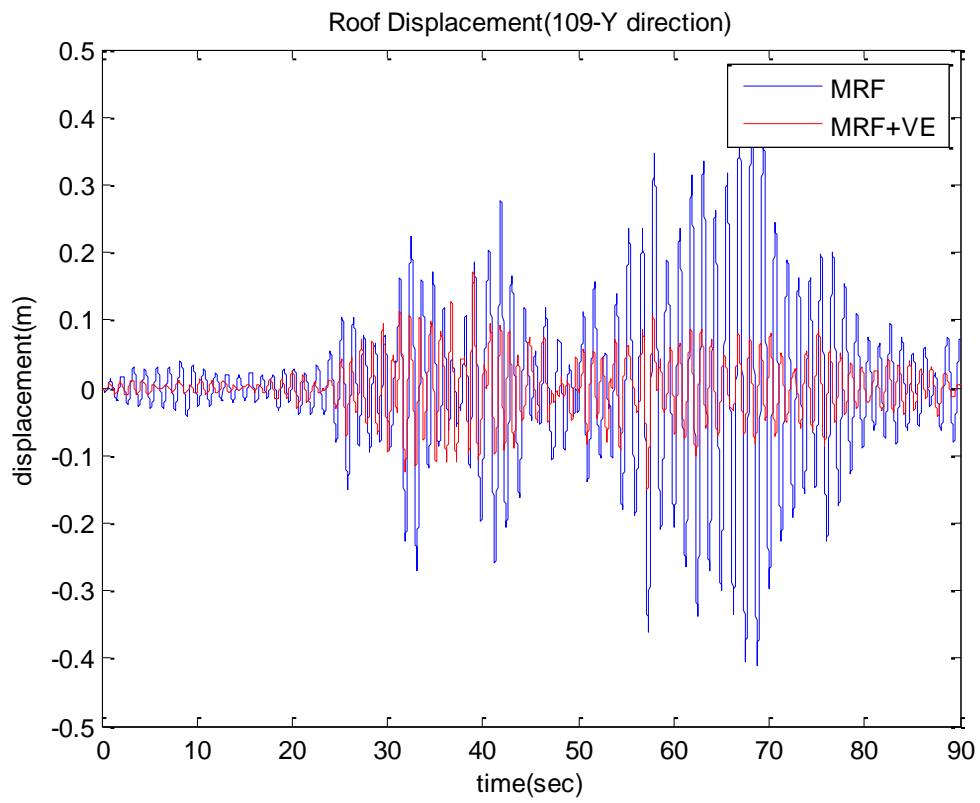
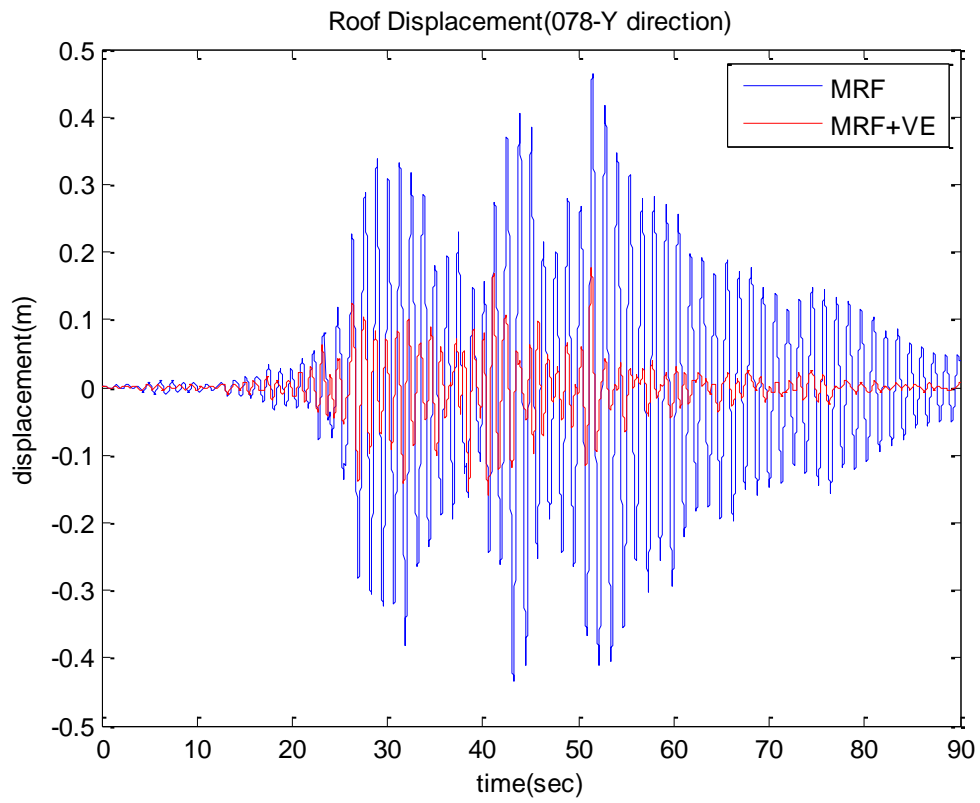




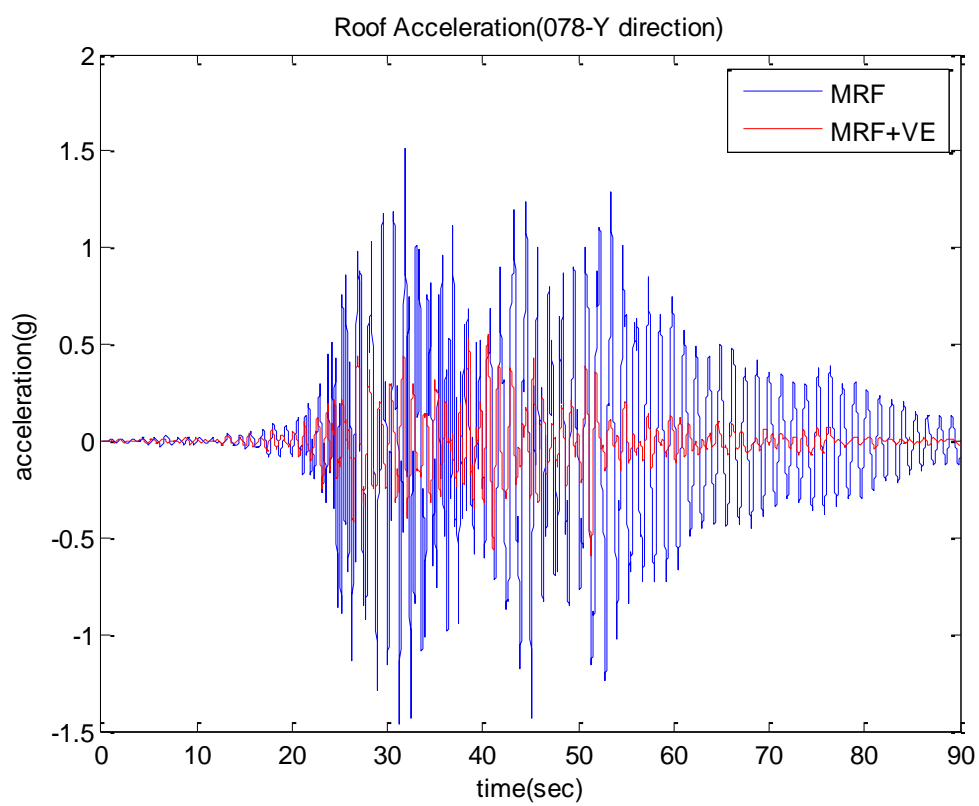
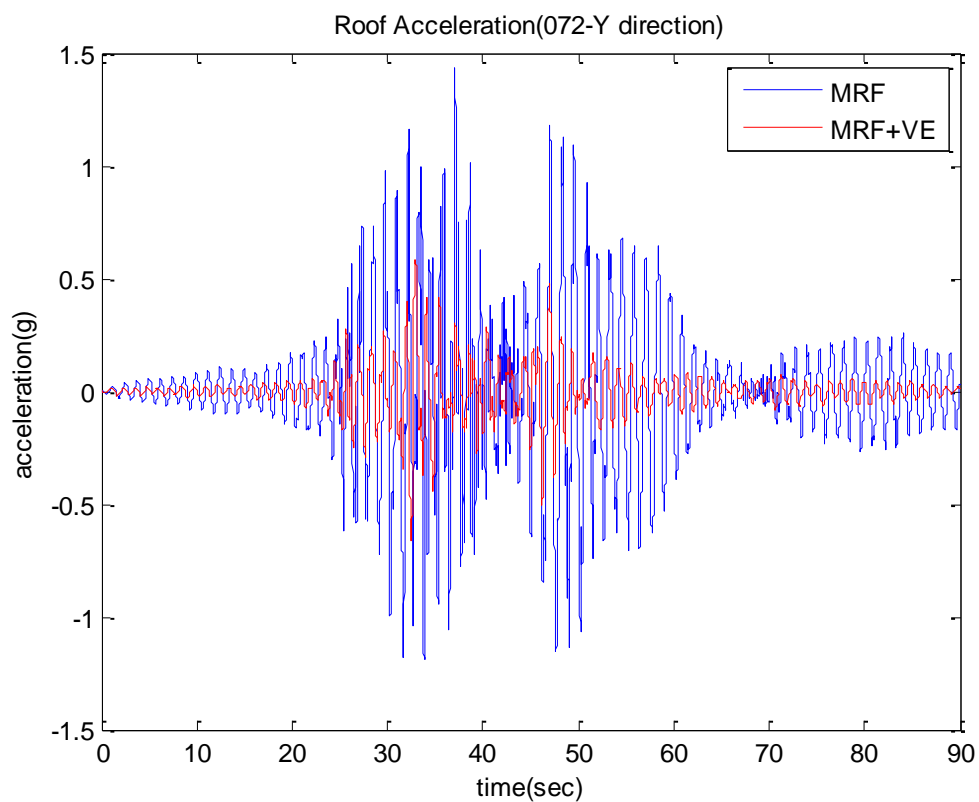
(3) 短向位移

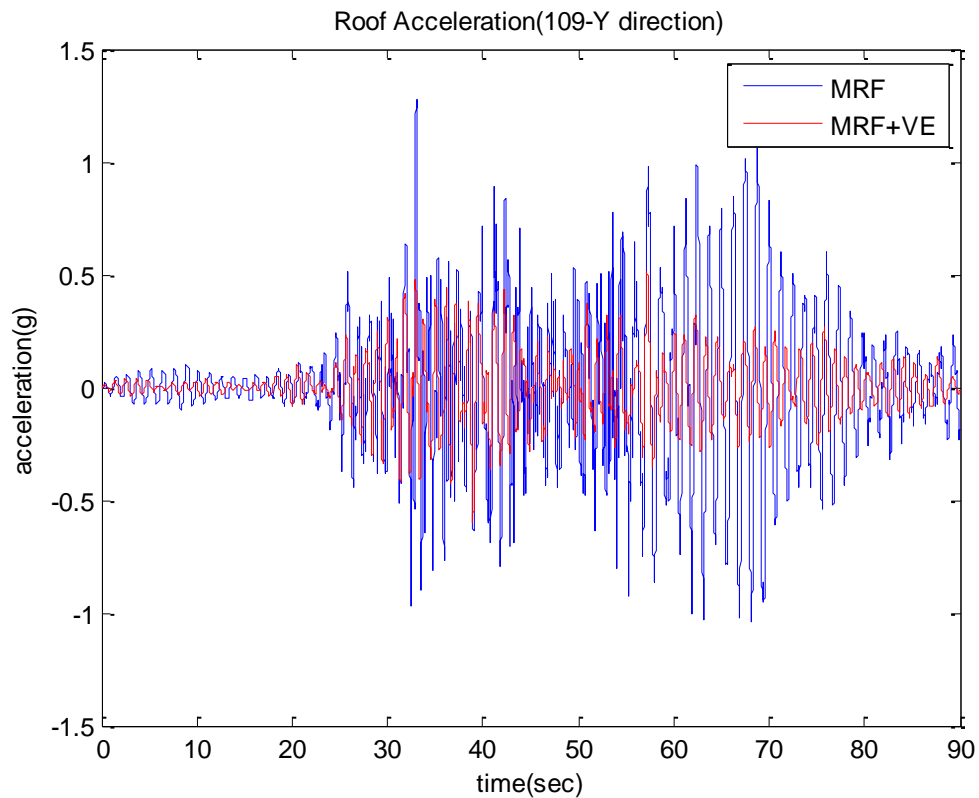






(4) 短向加速度





### 5.1.3 頂層最大位移、速度與加速度反應

由下表的 Ratio of Response 可知，加裝黏彈性阻尼器的結構其頂層位移、速度與加速度都有明顯地下降。

#### (1) 長向

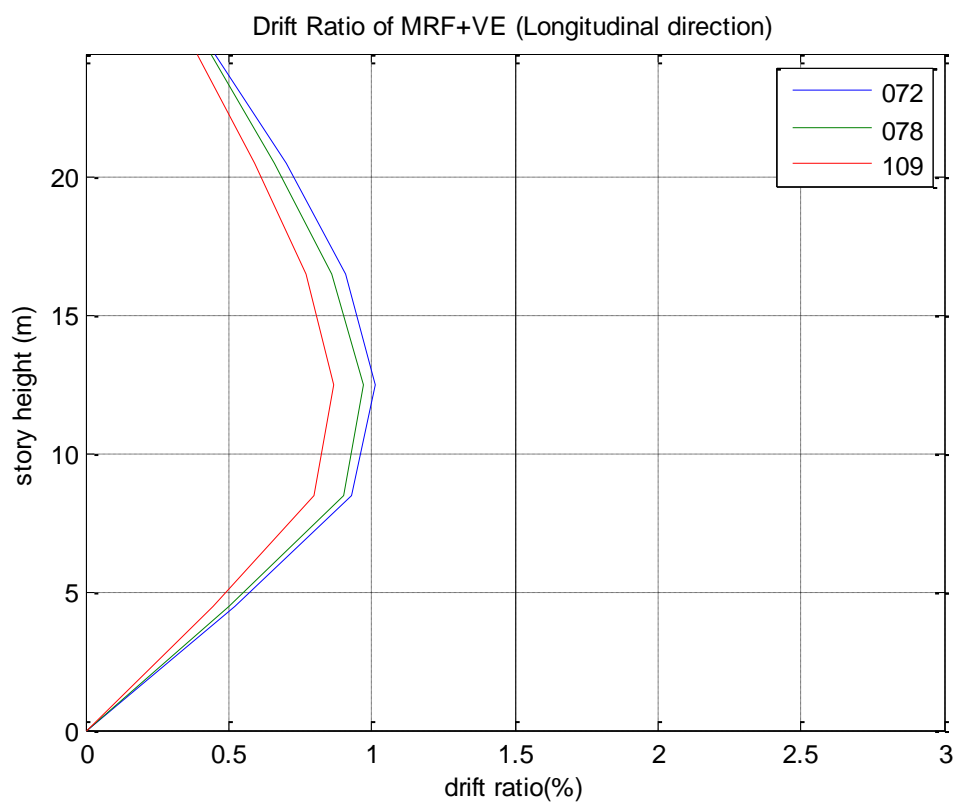
EQ	Bare Frame			Bare Frame + VE			Ratio of Response		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(4) / (1)	(5) / (2)	(6) / (3)
	Dis.	Vel.	Acc.	Dis.	Vel.	Acc.	Dis. Ratio	Vel. Ratio	Acc. Ratio
	(m)	(m/s)	(g)	(m)	(m/s)	(g)	(%)	(%)	(%)
<b>72</b>	0.5050	2.5168	1.2101	0.1801	1.0606	0.5785	35.66	42.14	47.81
<b>78</b>	0.4239	2.0426	1.2092	0.1752	0.9155	0.5325	41.33	44.82	44.04
<b>109</b>	0.3916	1.9414	1.1847	0.1563	0.8946	0.4966	39.91	60.80	41.92

#### (2) 短向

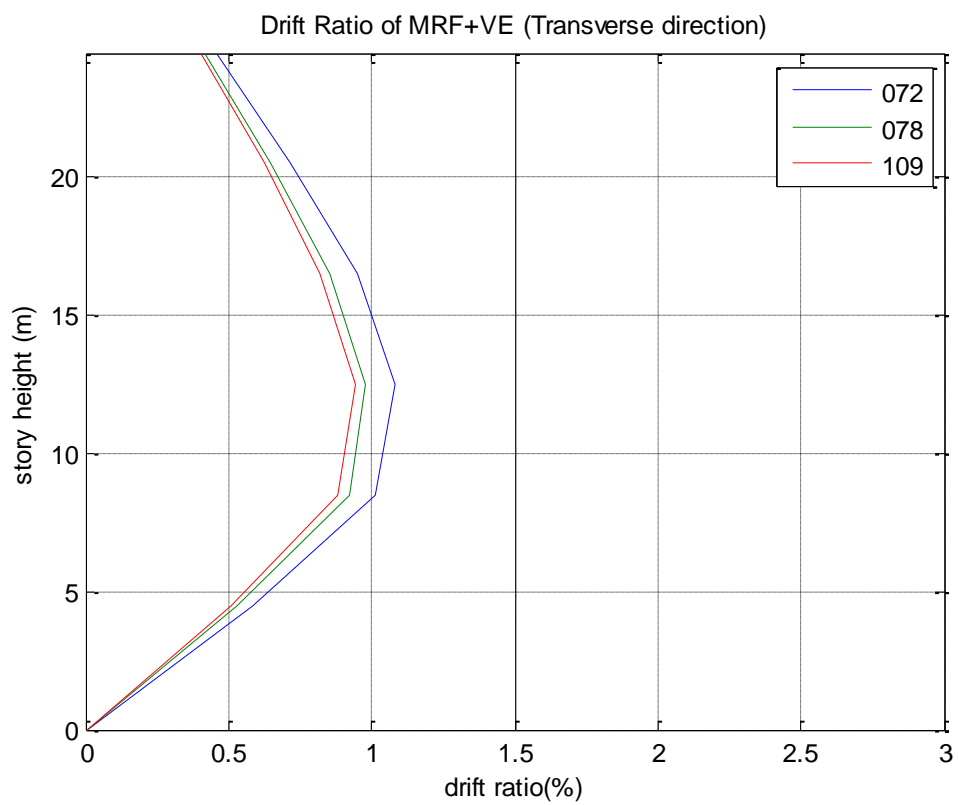
EQ	Bare Frame			Bare Frame + VE			Ratio of Response		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(4) / (1)	(5) / (2)	(6) / (3)
	Dis.	Vel.	Acc.	Dis.	Vel.	Acc.	Dis. Ratio	Vel. Ratio	Acc. Ratio
	(m)	(m/s)	(g)	(m)	(m/s)	(g)	(%)	(%)	(%)
<b>72</b>	0.4210	2.0086	1.4300	0.1928	1.2347	0.6664	45.80	61.47	46.60
<b>78</b>	0.4627	2.4179	1.5102	0.1764	0.9174	0.5924	38.12	37.94	39.23
<b>109</b>	0.4109	2.0774	1.2792	0.1697	0.9481	0.5996	41.30	45.64	46.87

#### 5.1.4 層間變位角(Drift Ratio)

(1)長向



(2)短向



### (3) 檢核最大層間變位角

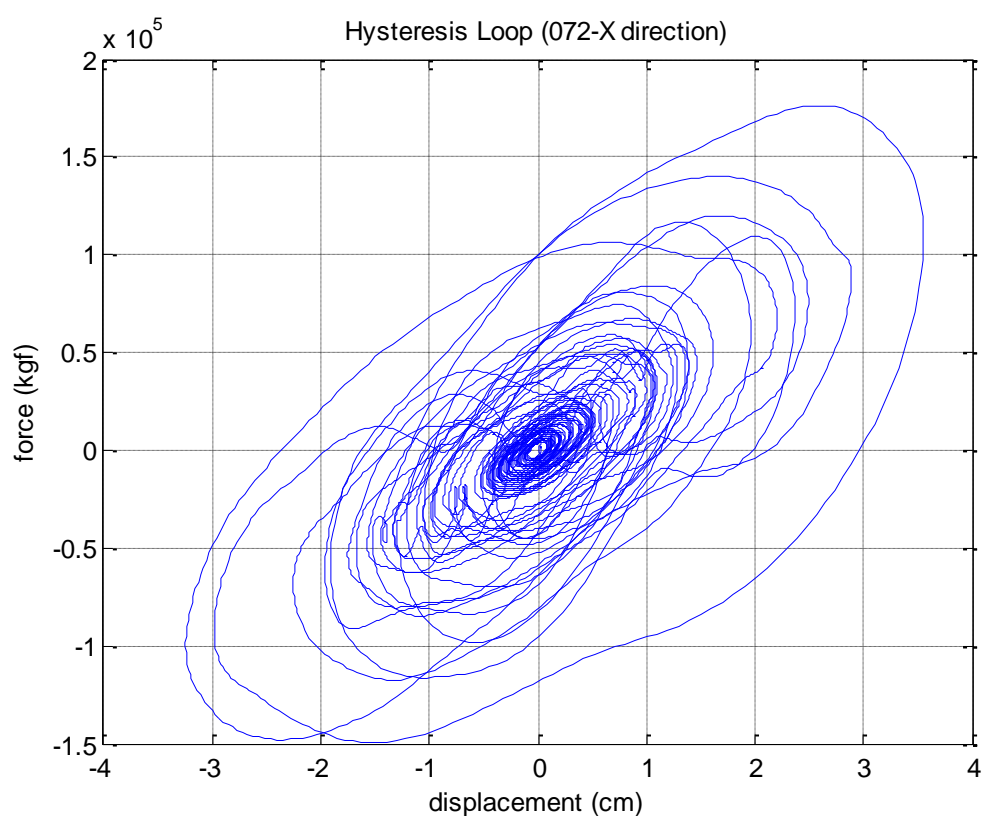
根據上圖，最大的層間變位角發生在三樓，因此我們檢核三樓是否能符合設計目標，層間變位角小於 1.5%。結果顯示，加裝黏彈性阻尼器的結構，長短向的層間變位角在三筆地震下皆小於 1.5%。

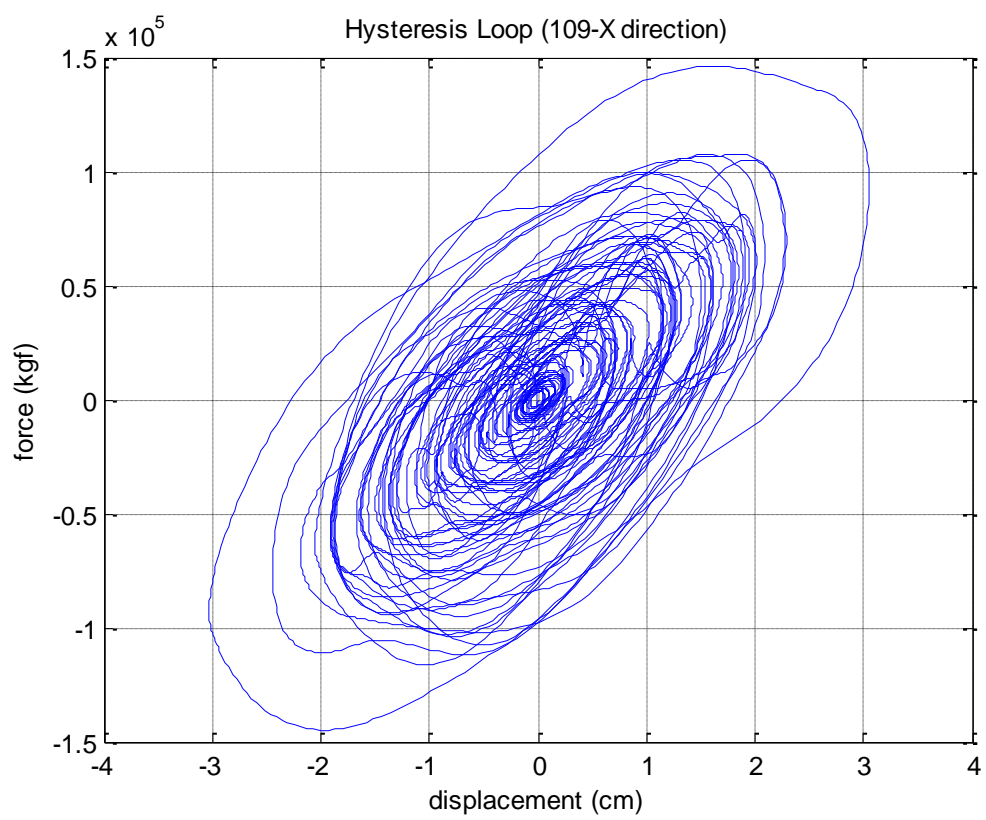
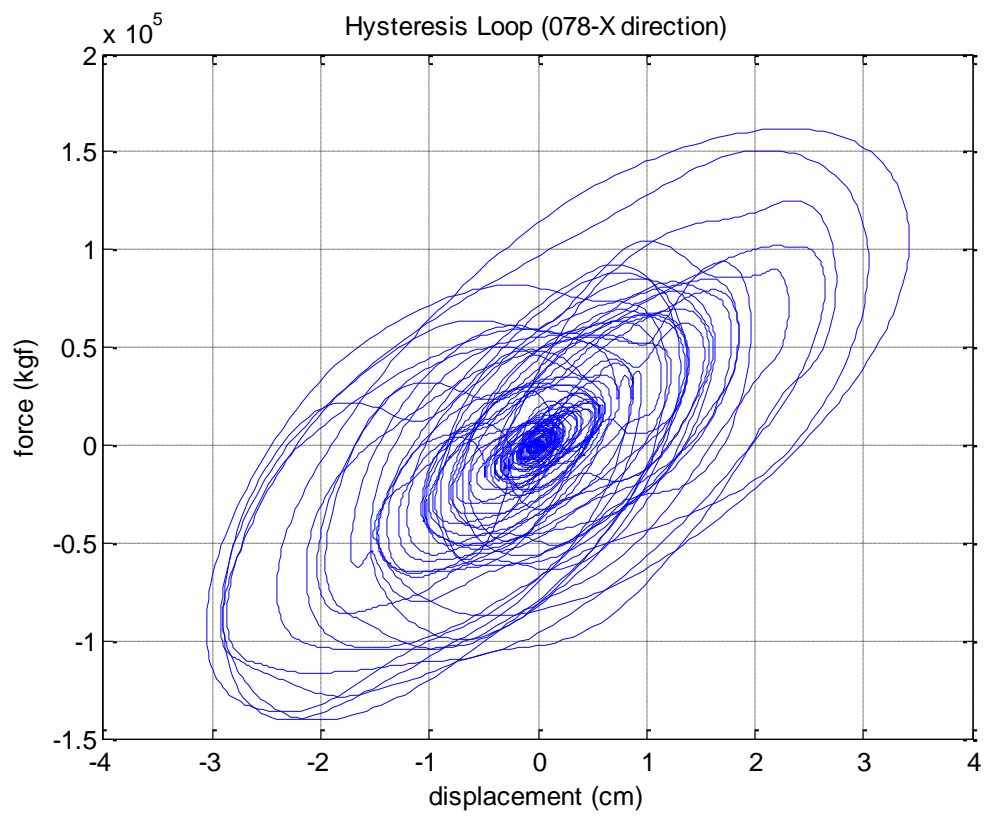
EQ	Direction	Drift (%)	Check drift<1.5%
72	X	1.01	O.K.
	Y	1.08	O.K.
78	X	0.97	O.K.
	Y	0.98	O.K.
109	X	0.87	O.K.
	Y	0.94	O.K.

### 5.1.5 阻尼遲滯迴圈

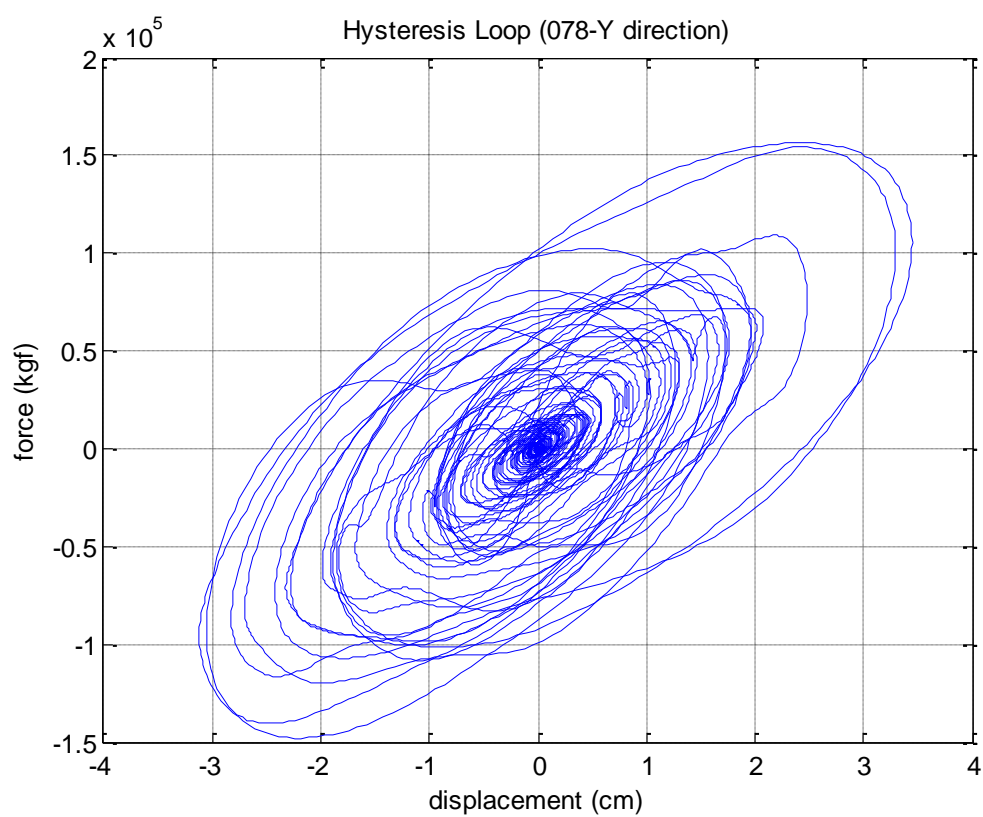
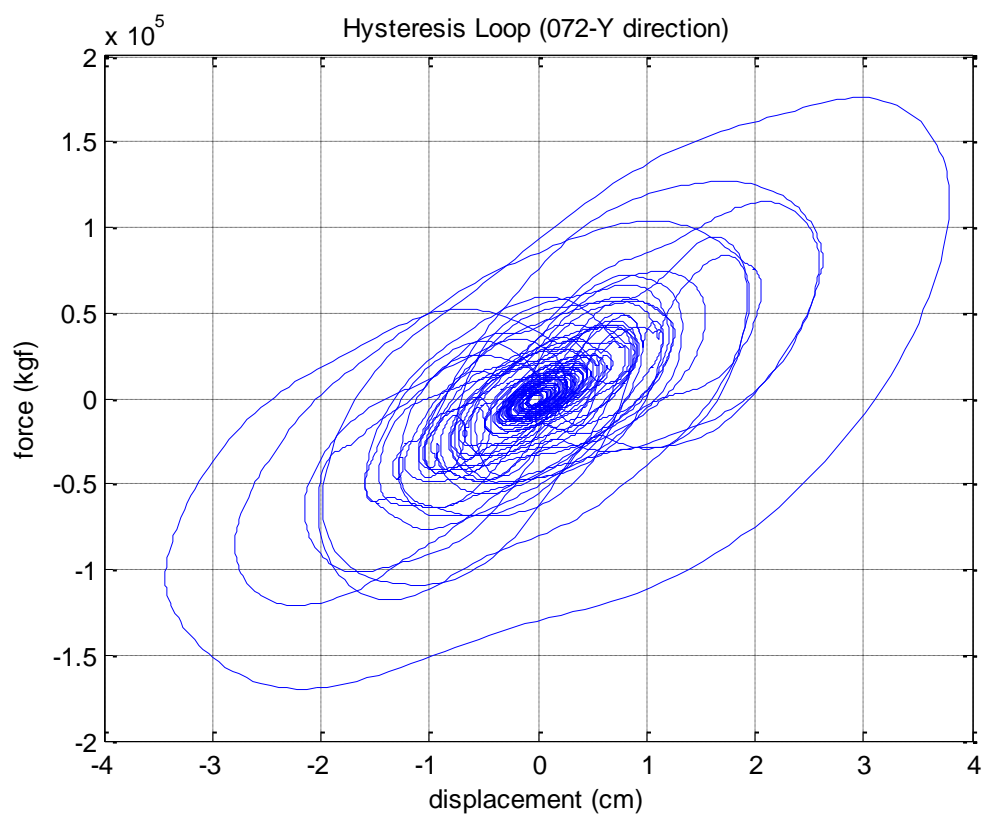
因為最大的層間變位角發生在三樓，以下以三樓的黏彈性阻尼做圖比較。

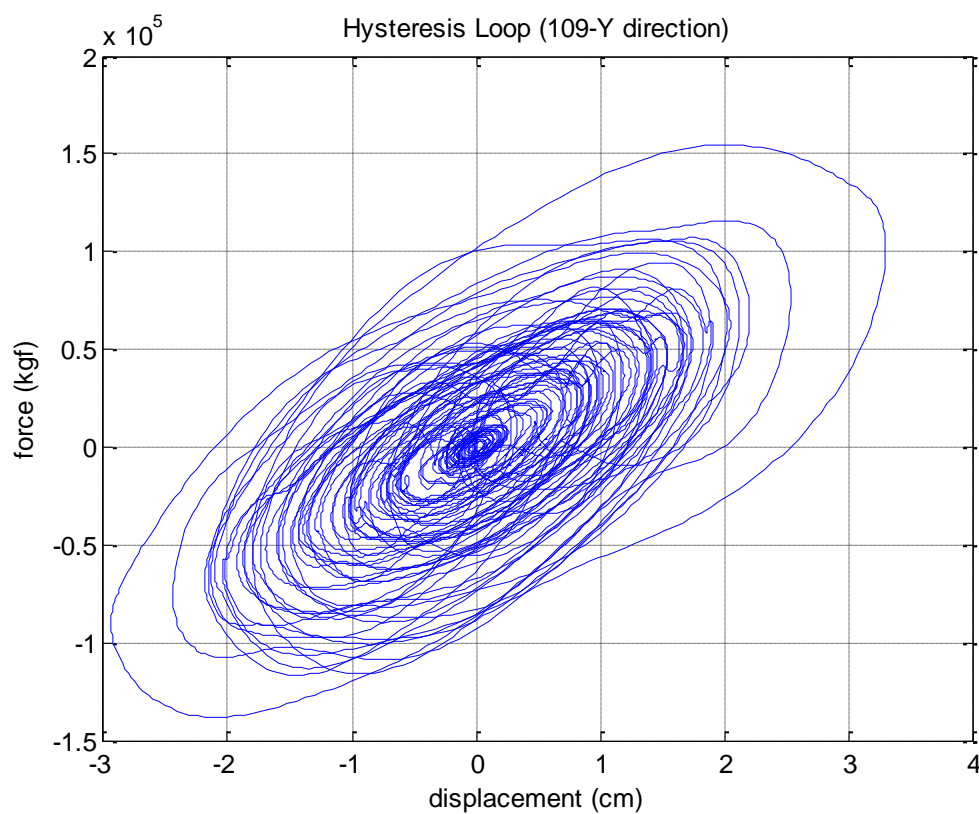
#### (1) 長向





(2)短向





上圖可看出黏彈性阻尼器的遲滯迴圈成傾斜的橢圓形，橢圓形是因剪力與簡應變的關係為橢圓方程式；而傾斜式由於黏彈性阻尼器具有勁度。

### (3)最大阻尼力

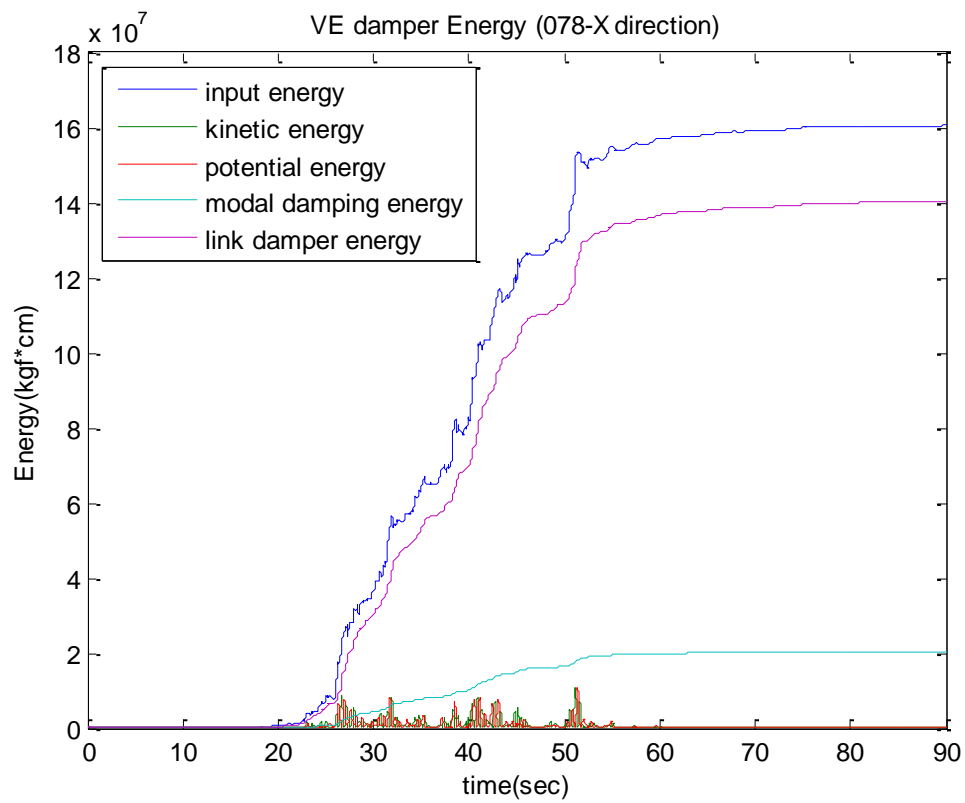
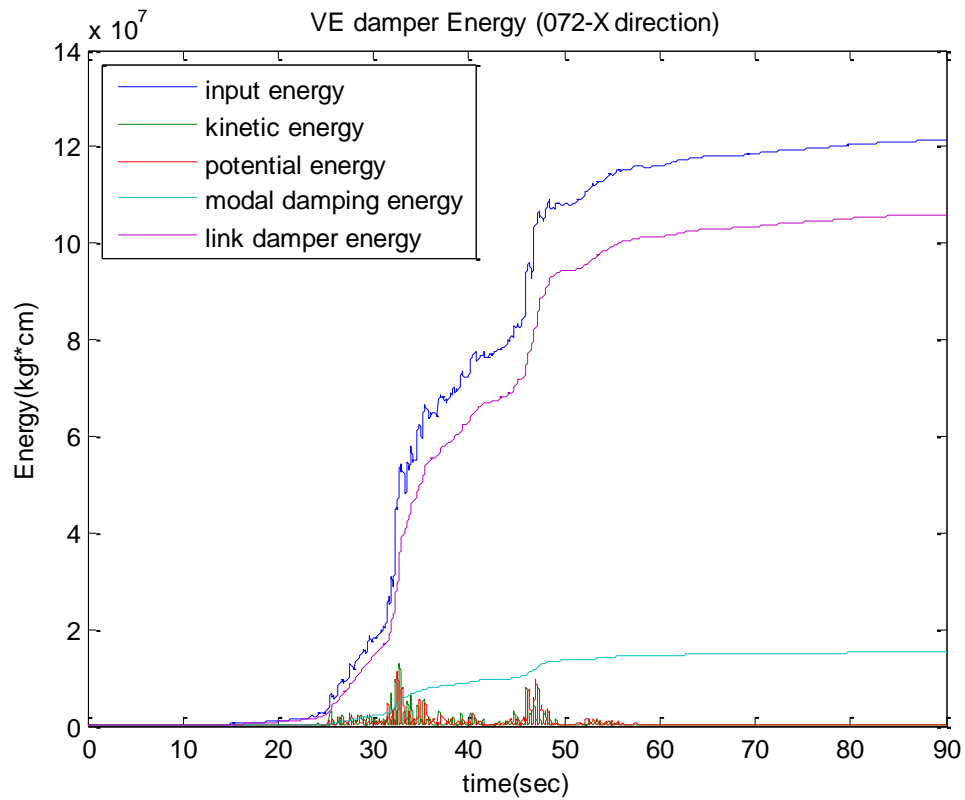
EQ	X-direction (tonf)	Y-direction (tonf)
<b>072</b>	176.39	175.80
<b>078</b>	162.02	156.44
<b>109</b>	146.05	154.59

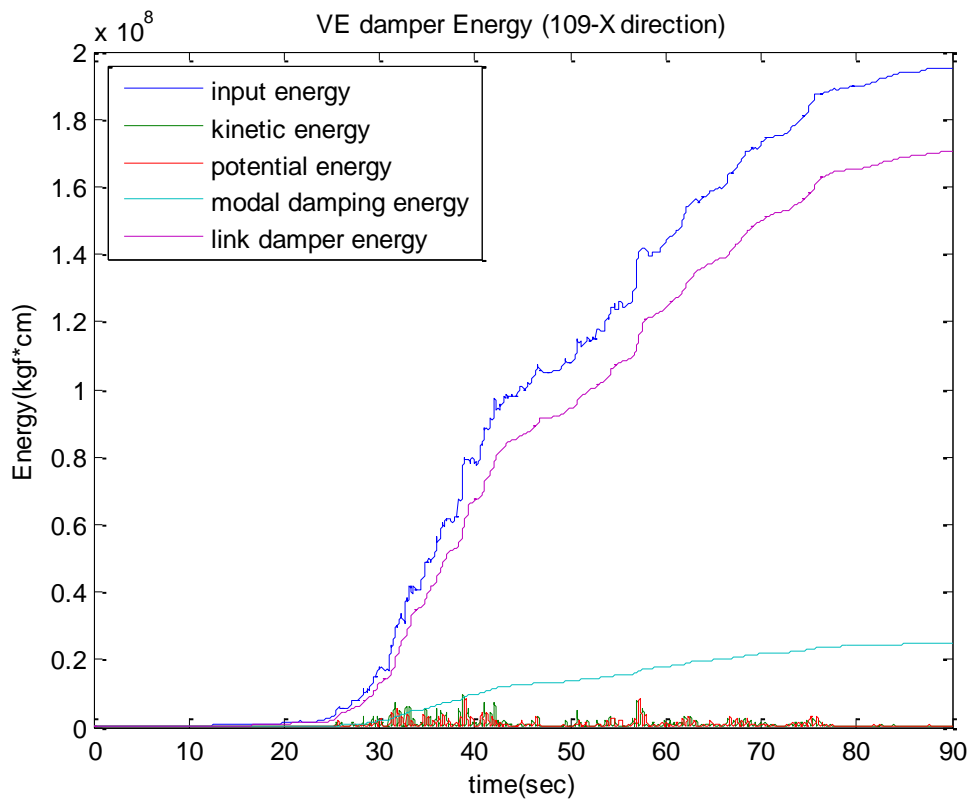


### 5.1.6 能量反應圖

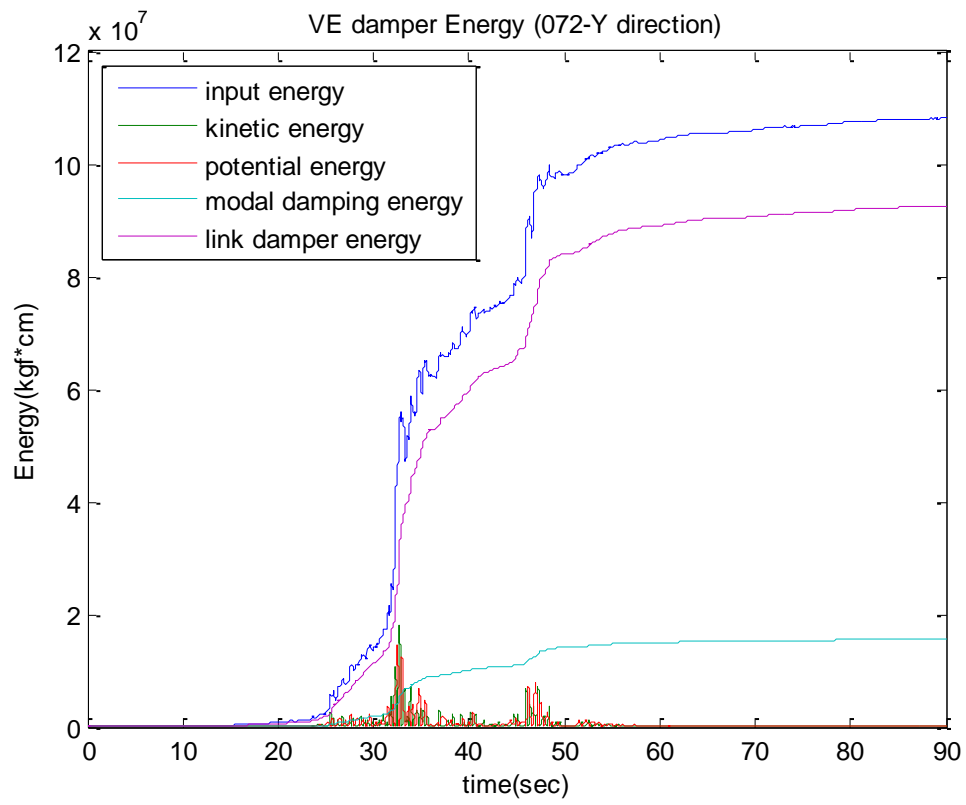
由能量反應圖可看出，黏彈性阻尼器(link damper energy) 消散了大部分的能量。

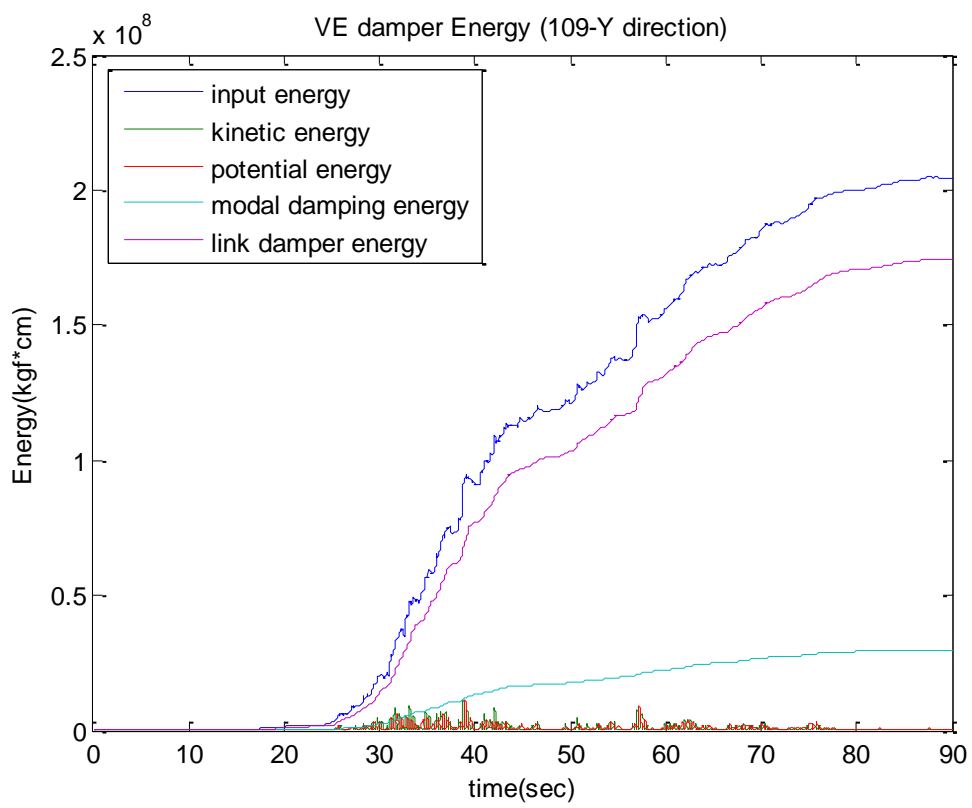
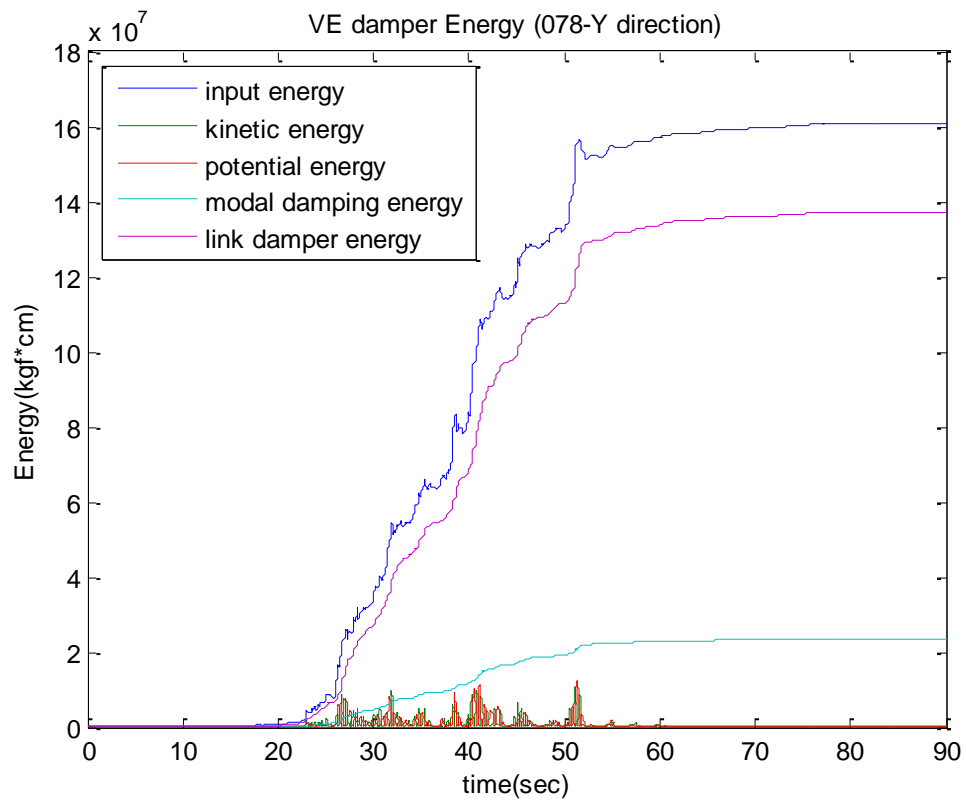
(1)長向





(2)短向





## 5.2 線性黏性阻尼分析

### 5.2.1 設計阻尼參數

Linear Viscous Damper :  $\alpha = 1$

由設計圖可以得知該結構系統安裝阻尼的方式為對角斜撐型式，所以放大因子 $f$ 即該阻尼元件與水平夾角在水平向的分量 $\cos\theta$ 。再藉由下表結構系統參數、設計目標阻尼比 $\xi_{viscous}$ 與式(4)，即可以求得該阻尼元件參數。

$$C = \frac{(2\pi)^{3-\alpha} \xi_{viscous} A^{1-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}{T^{2-\alpha} \lambda \sum_j \phi_{r,j}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j} \quad \text{式(4)}$$

其中  $C$ ：阻尼係數  
 $\xi_{viscous}$ ：設計目標阻尼比  
 $\phi_i$ ：結構系統第一模態  
 $\phi_{rj}$ ：結構系統第一模態各樓層差值  
 $\cos\theta_j$ ：各個阻尼元件與水平夾角  
 $m_i$ ：各樓層重量  
 $T$ ：原結構物第一模態週期  
 $A$ ：結構系統頂層最大位移量  
 $\lambda$ ：非線性阻尼參數  
 $\alpha$ ：非線性阻尼係數

再估算結構系統頂層最大位移量 $A$ ，可以依規範給予的公式 $A = \Gamma \cdot S_d(T, \zeta)$  做估算。先根據位移反應譜的分析結果，估算出的目標位移 $S_d$ ，接著計算分配因子 $\Gamma = \frac{\phi^T m l}{\phi^T m \phi}$ ，根據上述資訊即可求得結構系統頂層最大位移量。

其中  $\phi$ 為結構系統第一模態  
 $m$ 為結構系統質量矩陣  
 $l$ 為模態參與係數，為了計算方便可以直接假設為 $\tilde{1}$ 的單位行列式

由式(4)，可得知要設計阻尼參數需要結構系統資訊，並帶入反應普分析所估算之目標阻尼比，整理如下表，即可以計算阻尼係數。

## (1) 長向

Period in Longitudinal Direction $T = 1.38539 \text{ sec}$ $\alpha = 1$						
Floor	Mass (ton)	Modal shape $\phi_i$	$m_i \phi_i^2$	$\phi_{rj}$	$\cos\theta$	$\cos^2\theta \times \phi_{rj}^2$
2 <sup>nd</sup> Floor	850.5	0.138	16.28266	0.138	0.894	0.0153
3 <sup>rd</sup> Floor	850.5	0.352	105.5009	0.214	0.9138	0.0382
4 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.579	284.7447	0.226	0.9138	0.0428
5 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.774	508.9678	0.195	0.9138	0.0317
6 <sup>th</sup> Floor	8505	0.912	707.3202	0.138	0.9138	0.0160
RF	911.25	1.000	911.25	0.088	0.9138	0.0065
$\sum m_i \phi_i^2$			2534.066	$\sum \cos^2\theta \times \phi_{rj}^2$		0.1505

$$C = \frac{4\pi\xi_{\text{viscous}} \sum_i m_i \phi_i^2}{T \sum_j \phi_{r,j}^2 \cos^2\theta_j} = \frac{4\pi \times 0.10 \times 2534.066}{2 \times 2 \times (1.38539 \times 0.1505)} = 3818 \text{ kgf} \cdot \text{s/cm}$$

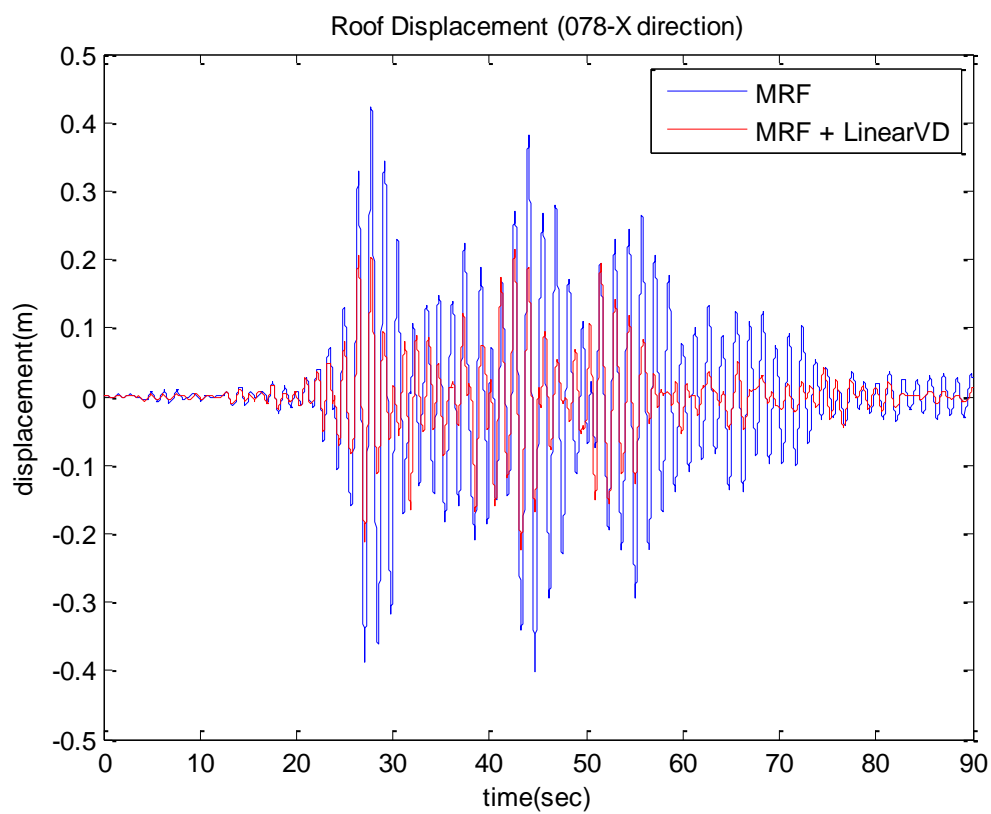
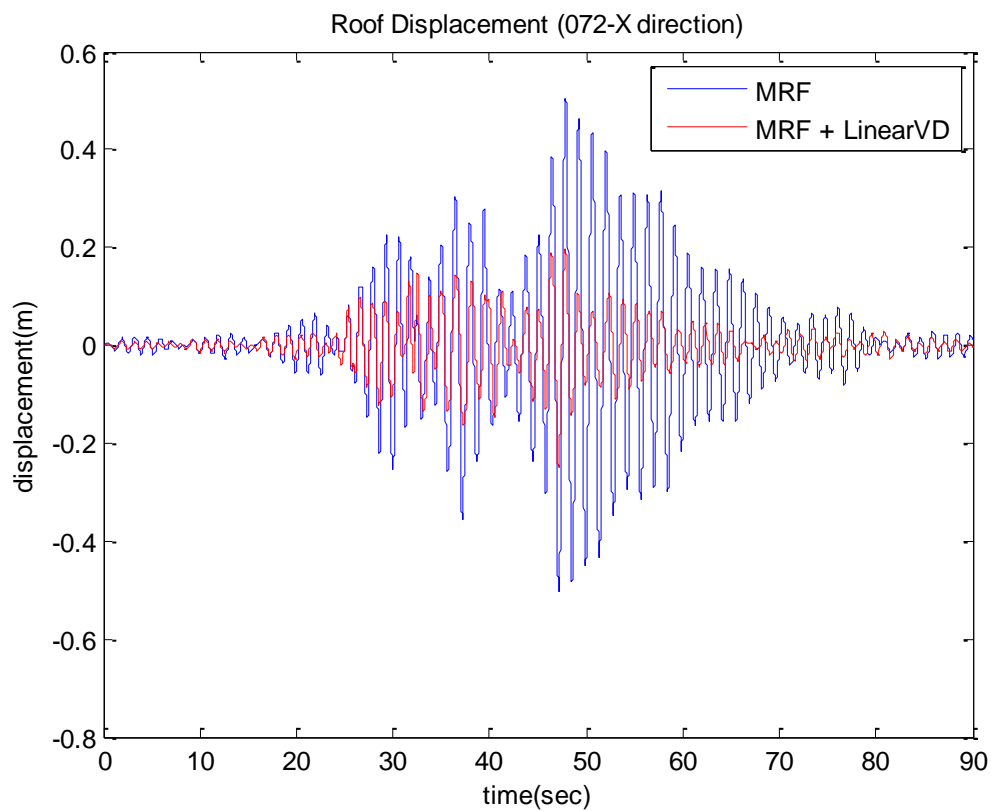
## (2) 短向

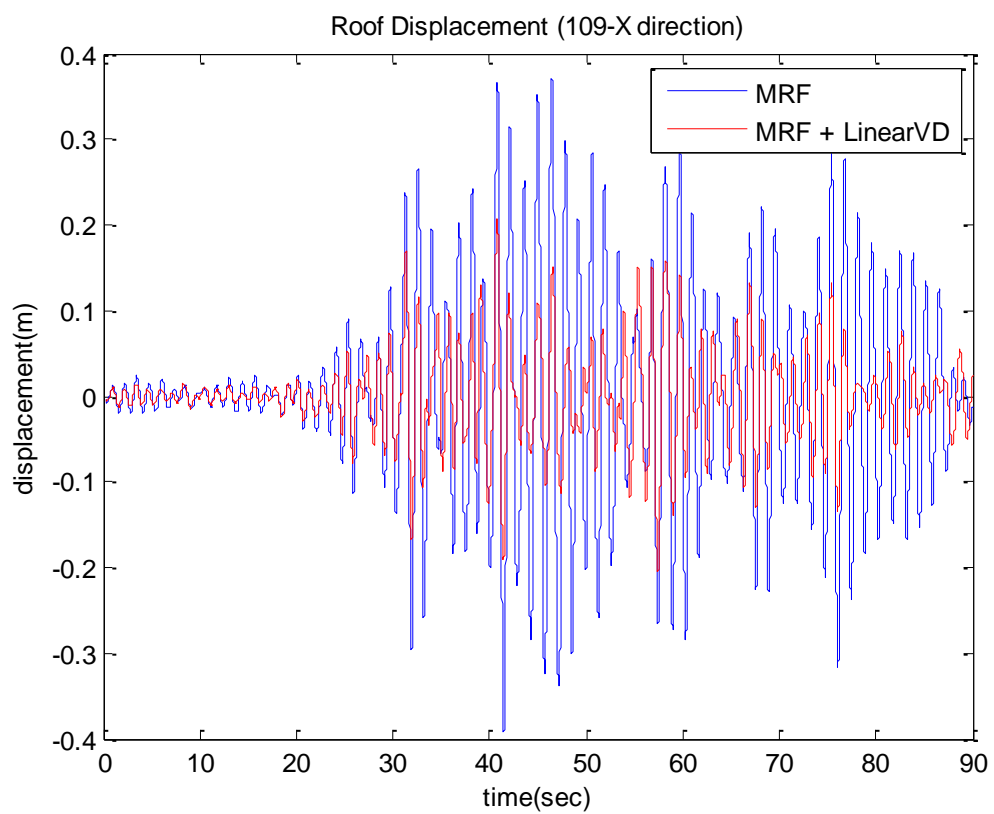
Period in Transverse Direction $T = 1.27382 \text{ sec}$ $\alpha = 1$						
Floor	Mass (ton)	Modal shape $\phi_i$	$m_i \phi_i^2$	$\phi_{rj}$	$\cos\theta$	$\cos^2\theta \times \phi_{rj}^2$
2 <sup>nd</sup> Floor	850.5	0.138	16.28266	0.138	0.894	0.0153
3 <sup>rd</sup> Floor	850.5	0.352	105.5009	0.214	0.9138	0.0382
4 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.579	284.7447	0.226	0.9138	0.0428
5 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.774	508.9678	0.195	0.9138	0.0317
6 <sup>th</sup> Floor	8505	0.912	707.3202	0.138	0.9138	0.0160
RF	911.25	1.000	911.25	0.088	0.9138	0.0065
$\sum m_i \phi_i^2$			2534.066	$\sum \cos^2\theta \times \phi_{rj}^2$		0.1505

$$C = \frac{4\pi\xi_{\text{viscous}} \sum_i m_i \phi_i^2}{T \sum_j \phi_{r,j}^2 \cos^2\theta_j} = \frac{4\pi \times 0.10 \times 2534.066}{2 \times 2 \times (1.27382 \times 0.1505)} = 4153 \text{ kgf} \cdot \text{s/cm}$$

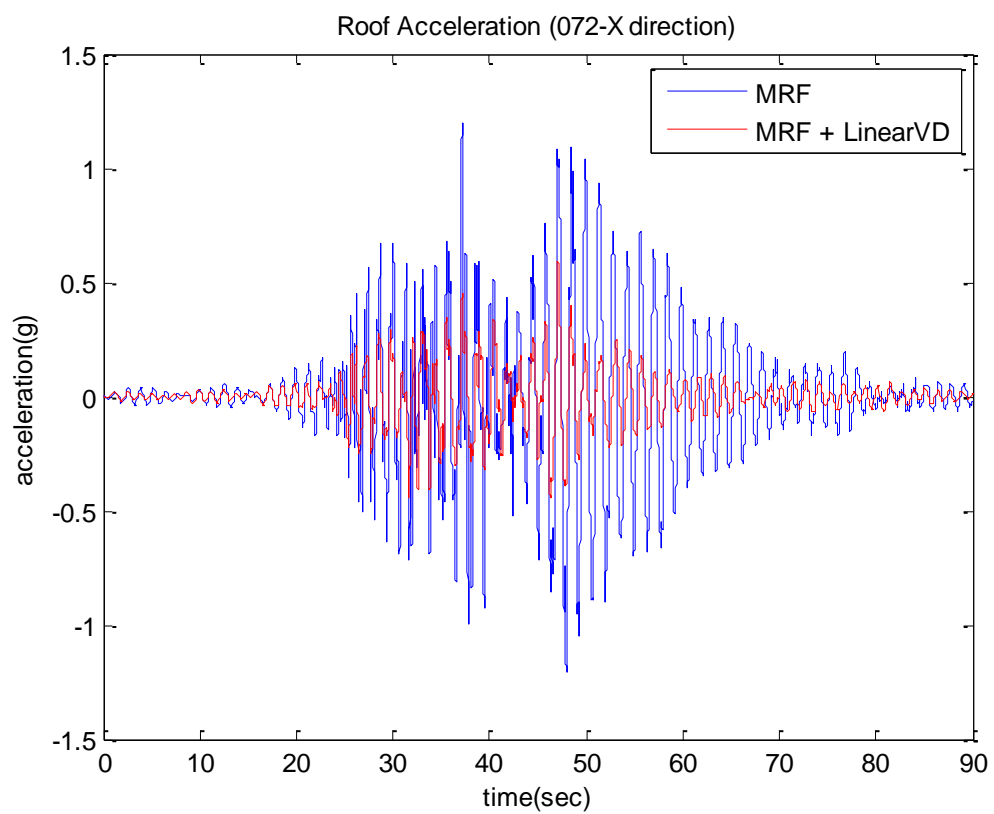
### 5.2.2 頂層時間歷時反應

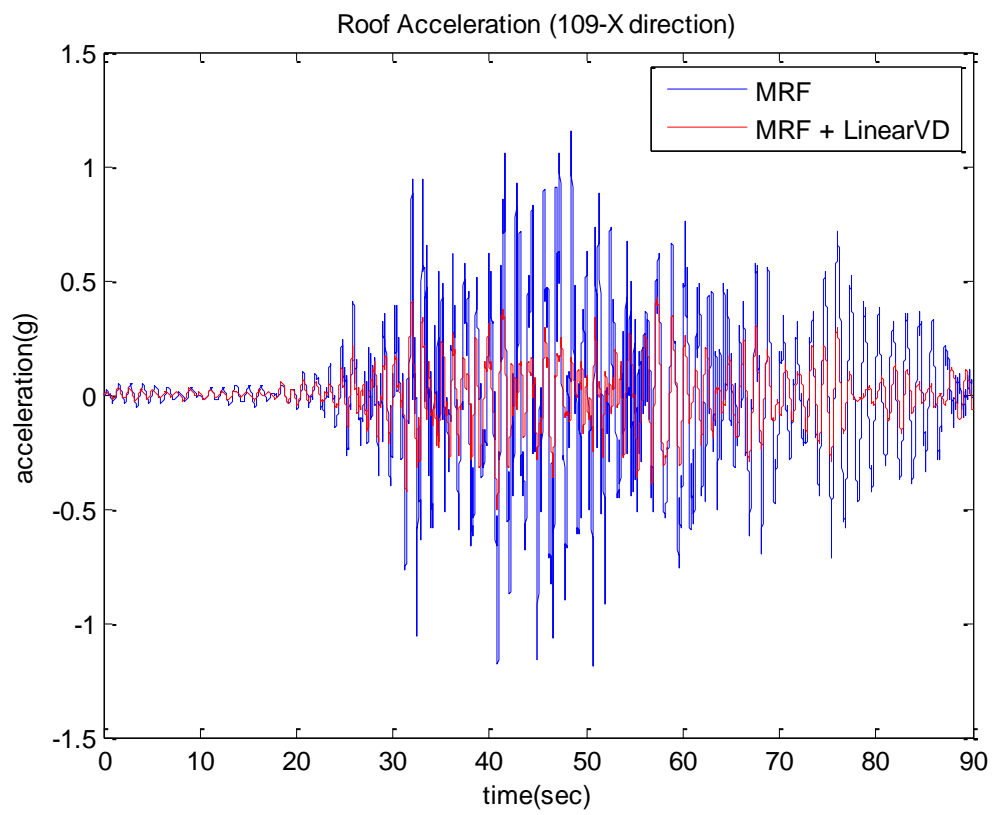
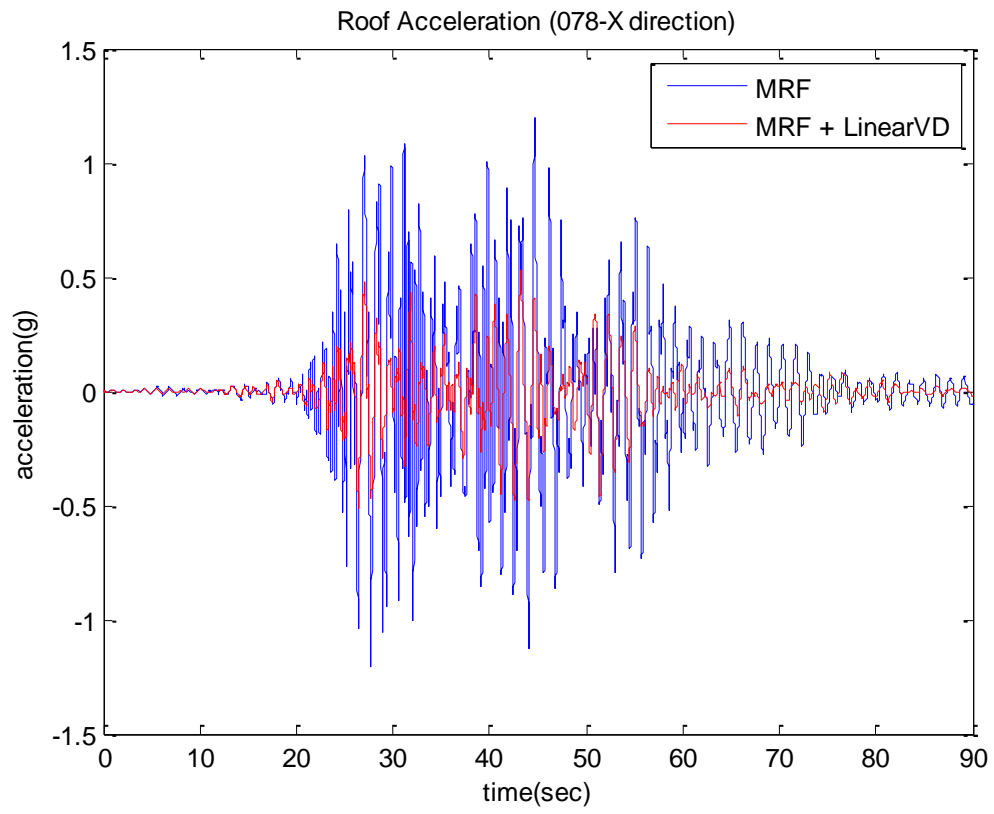
#### (1) 長向位移





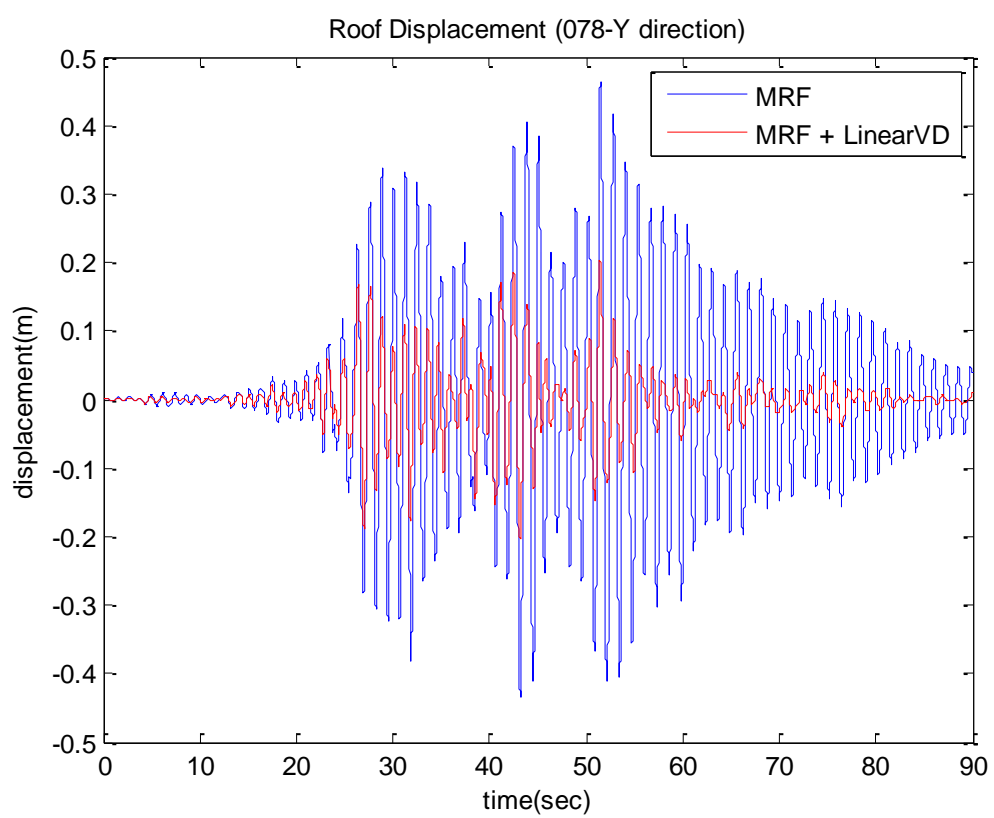
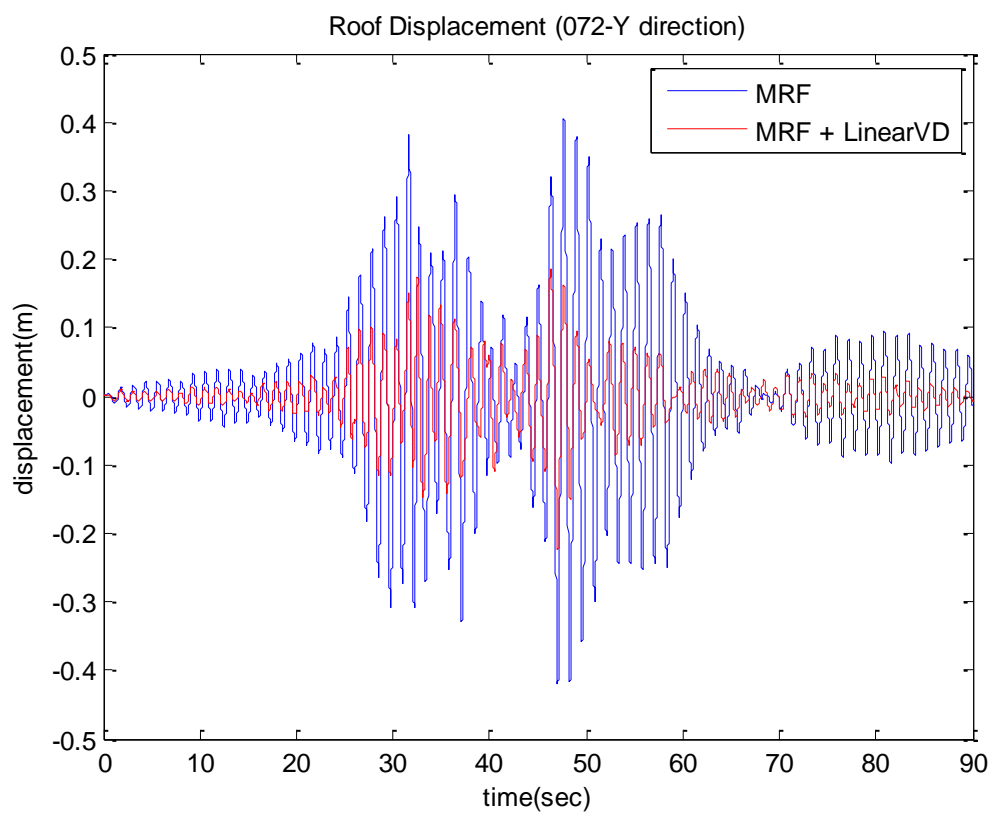
(2)長向加速度

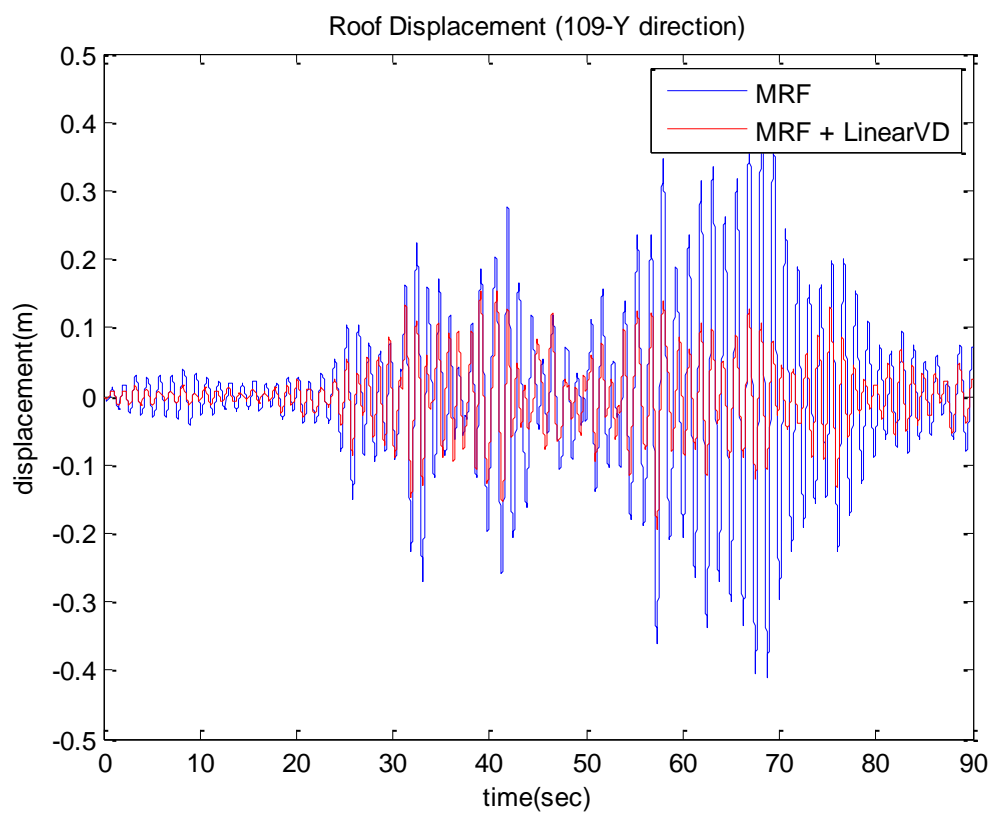




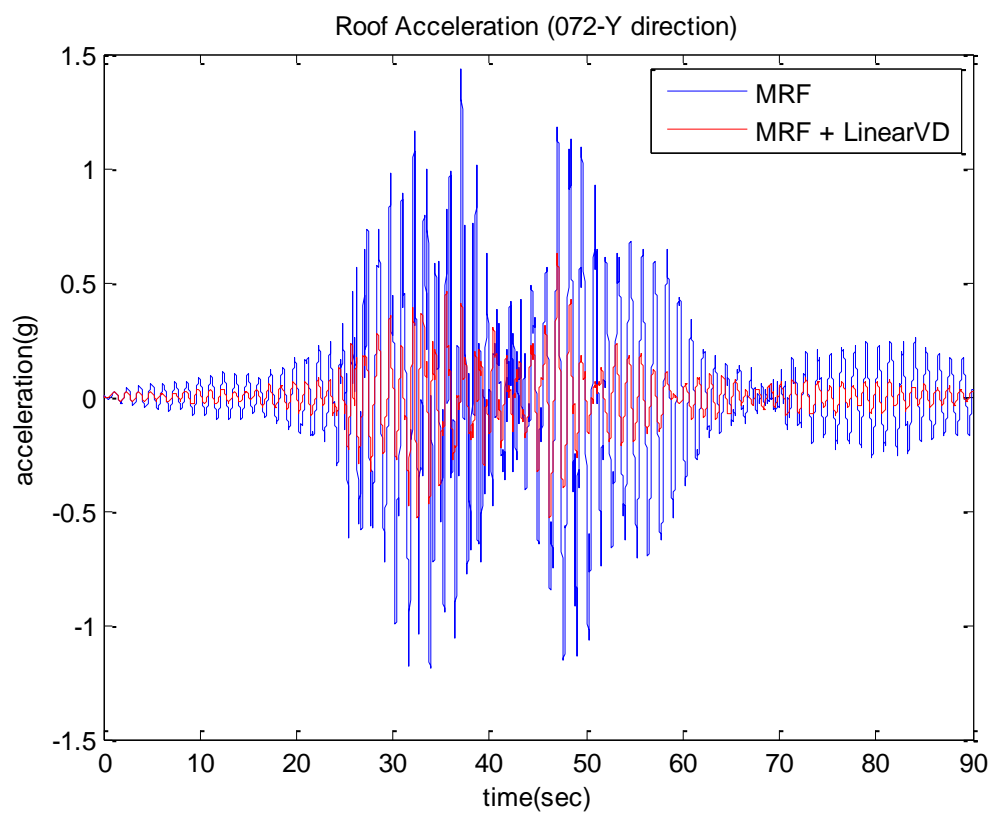


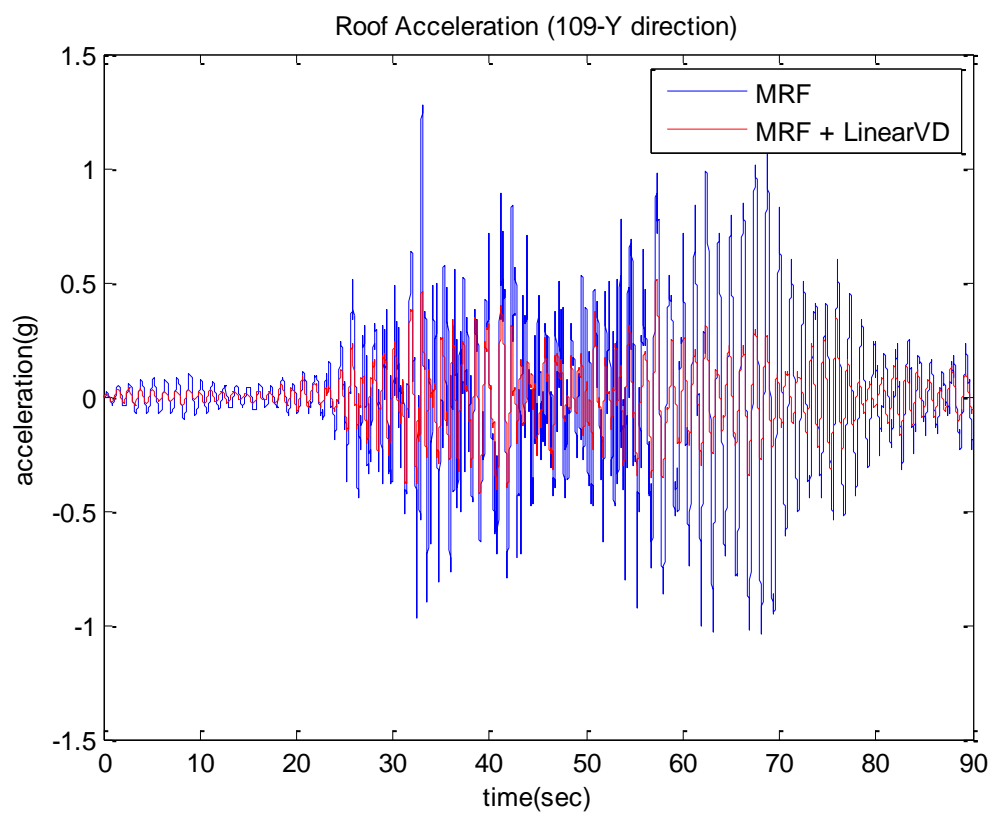
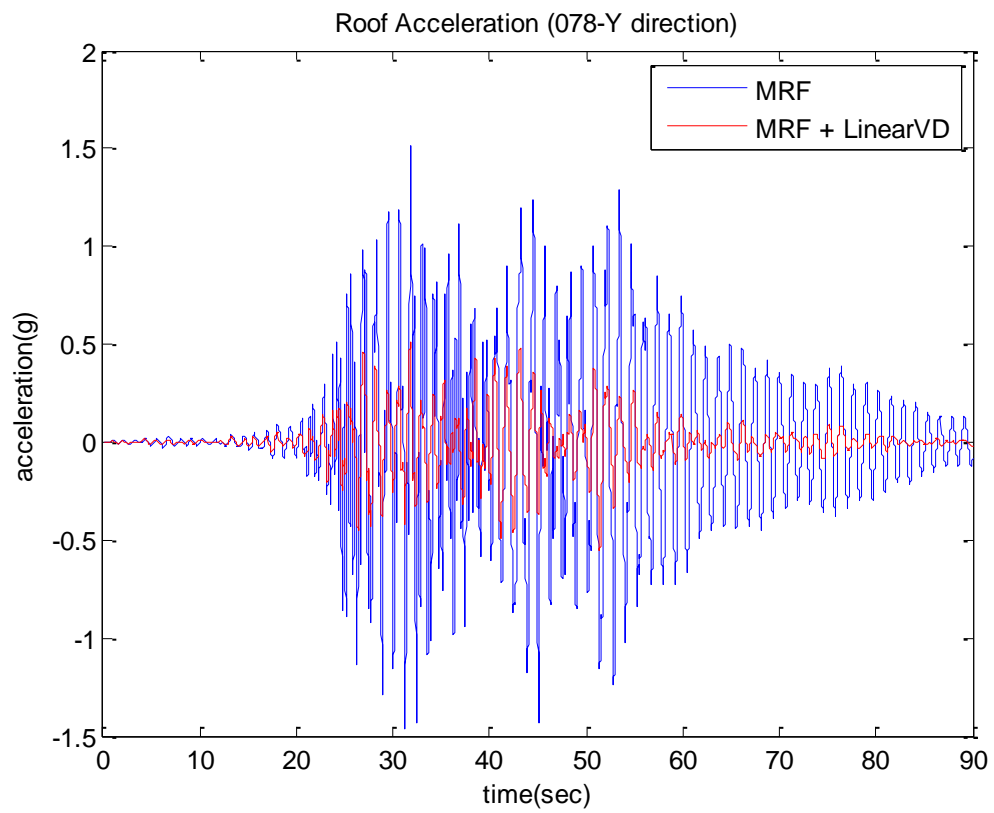
### (3)短向位移





(4)短向加速度





### 5.2.3 頂層最大位移、速度與加速度反應

#### (1)長向

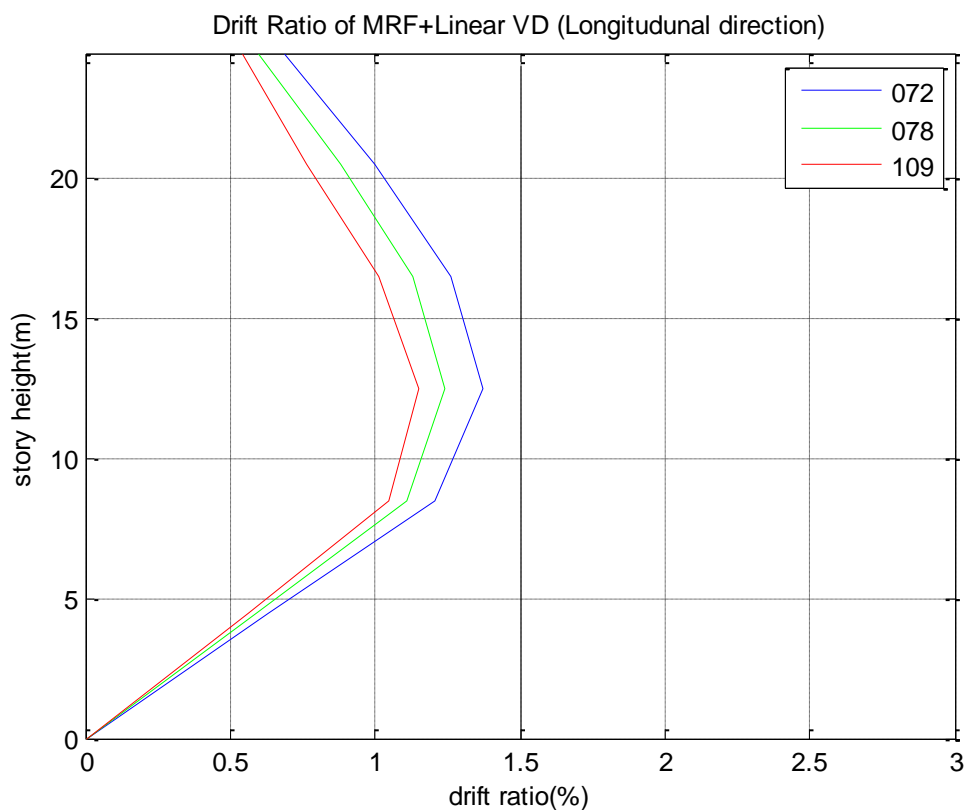
EQ	Bare Frame			Bare Frame + Nonlinear VD			Ratio of Response		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(4) / (1)	(5) / (2)	(6) / (3)
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
72	0.5050	2.5168	1.2101	0.2492	1.1468	0.5944	49.34	45.56	49.12
78	0.4239	2.0426	1.2092	0.2249	1.0190	0.5283	53.05	49.89	43.69
109	0.3916	1.9414	1.1847	0.2063	1.0250	0.5010	52.69	52.80	42.29

#### (2)短向

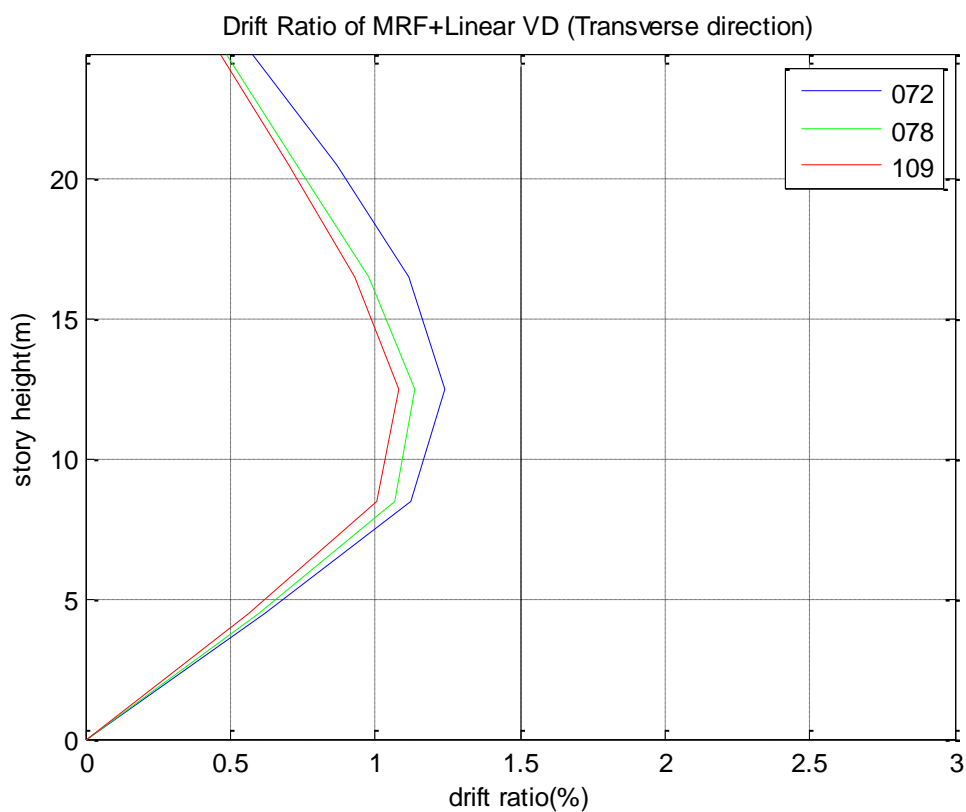
EQ	Bare Frame			Bare Frame + Nonlinear VD			Ratio of Response		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(4) / (1)	(5) / (2)	(6) / (3)
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
72	0.4210	2.0086	1.4300	0.2249	1.0199	0.6244	53.43	50.78	43.67
78	0.4627	2.4179	1.5102	0.2031	1.0503	0.5515	43.88	43.44	36.52
109	0.4109	2.0774	1.2792	0.1930	0.9524	0.5108	46.97	45.85	39.93

### 5.2.4 層間變位角(Drift Ratio)

#### (1)長向



(2)短向



(3) 檢核最大層間變位角

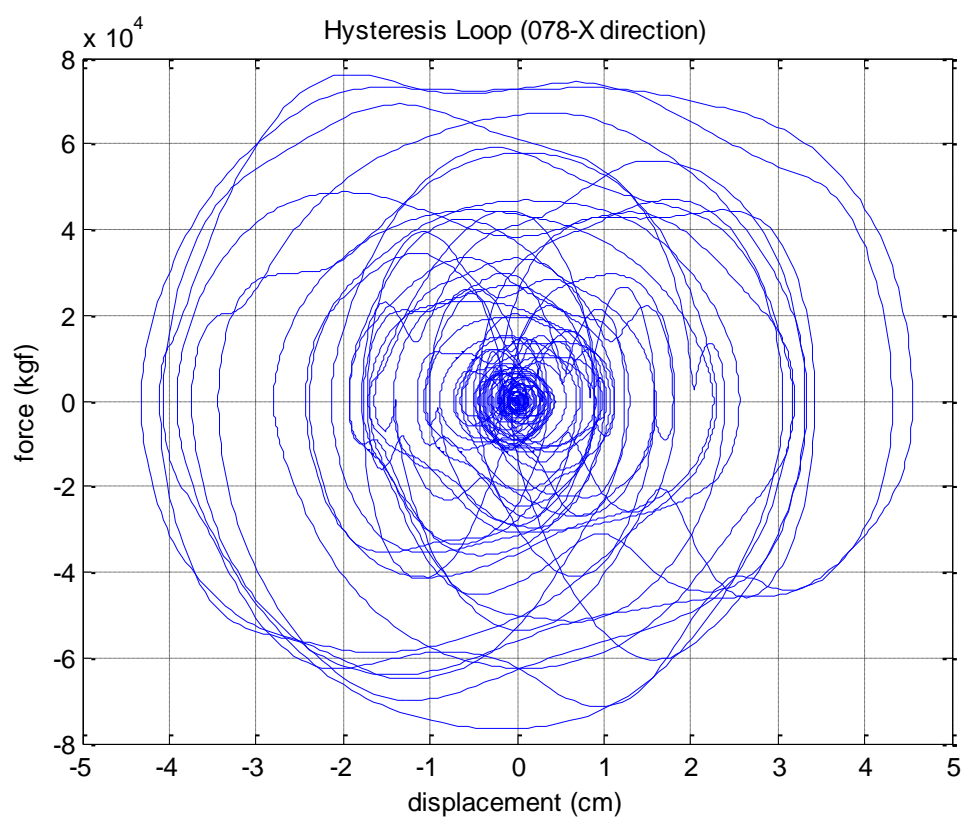
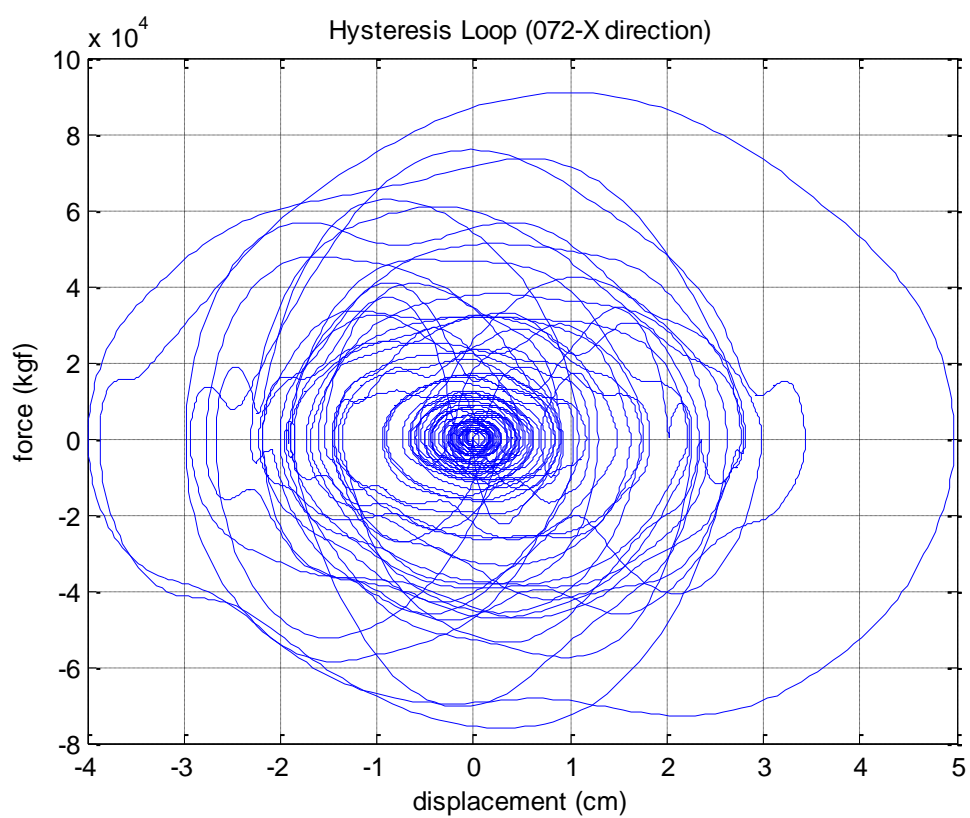
根據反應譜分析，最大的層間變位角發生在三樓，因此我們檢核三樓是否能符合設計目標，層間變位角小於 1.5%。

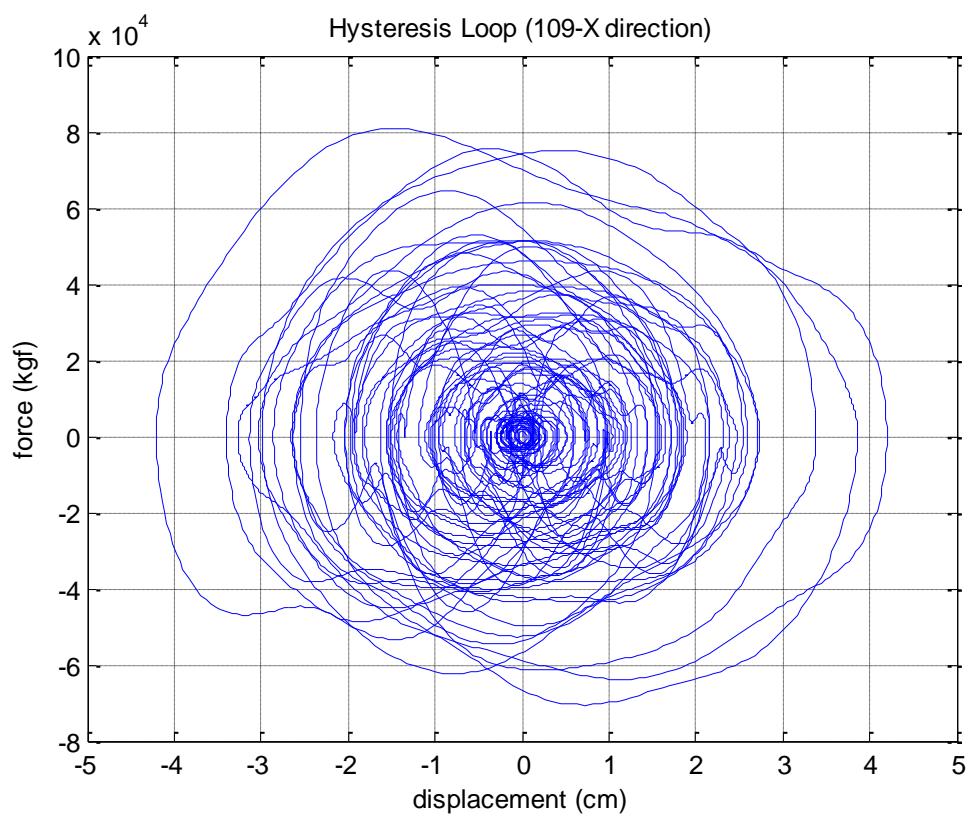
EQ	Direction	Drift(%)	Check drift<1.5%
72	X	1.37	O.K.
	Y	1.24	O.K.
78	X	1.24	O.K.
	Y	1.14	O.K.
109	X	1.15	O.K.
	Y	1.08	O.K.

### 5.2.5 阻尼遲滯迴圈

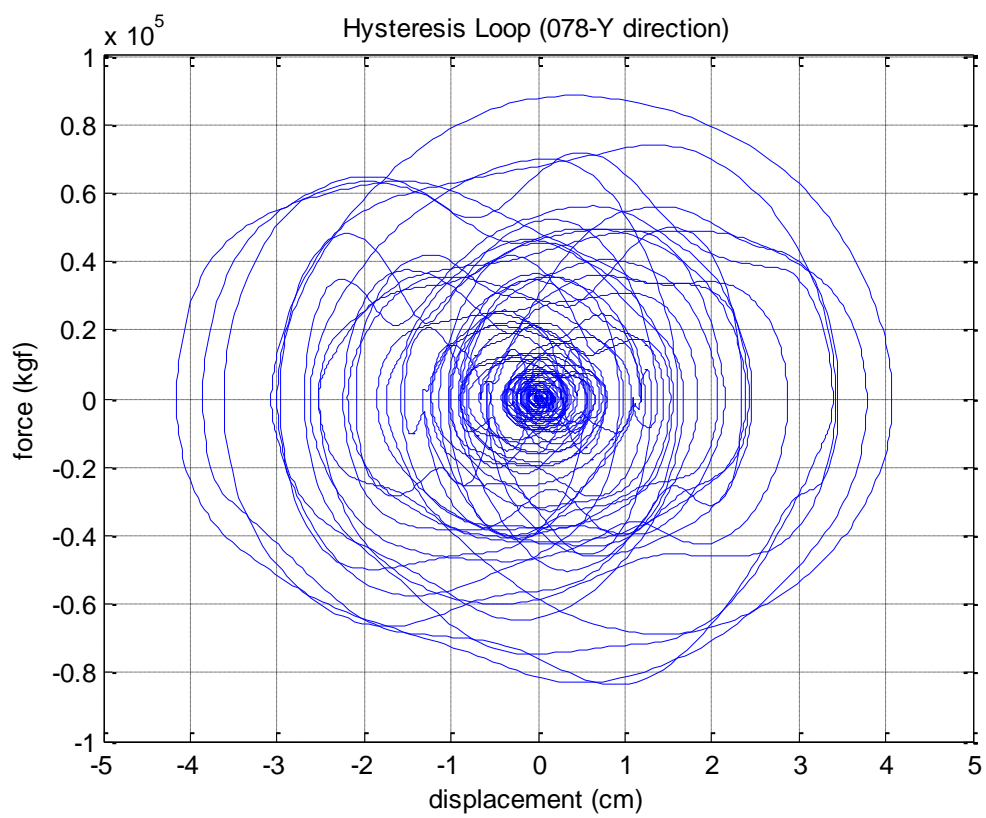
以下以三樓的黏性阻尼作圖比較

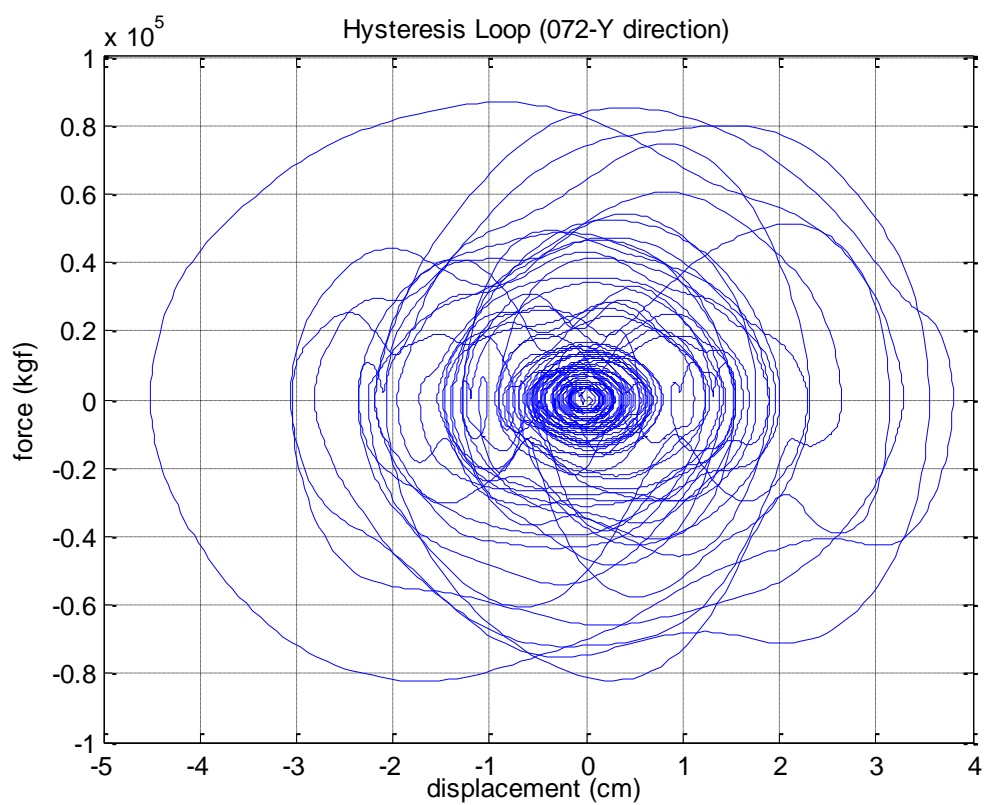
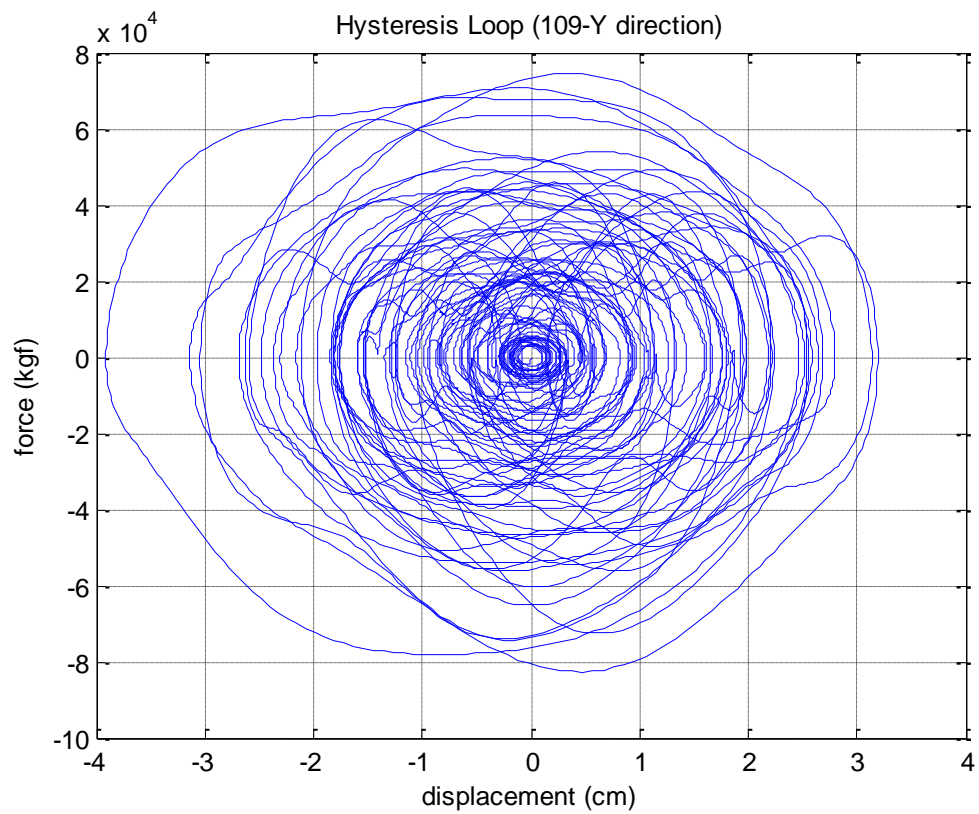
(1)長向





(2)短向





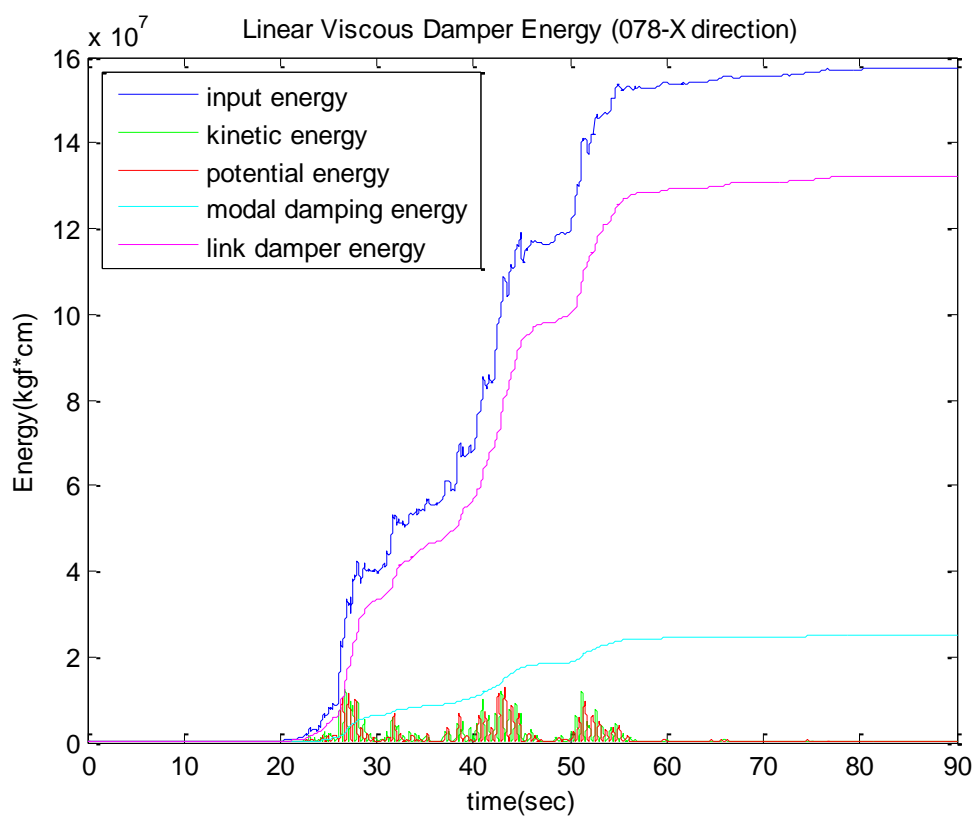
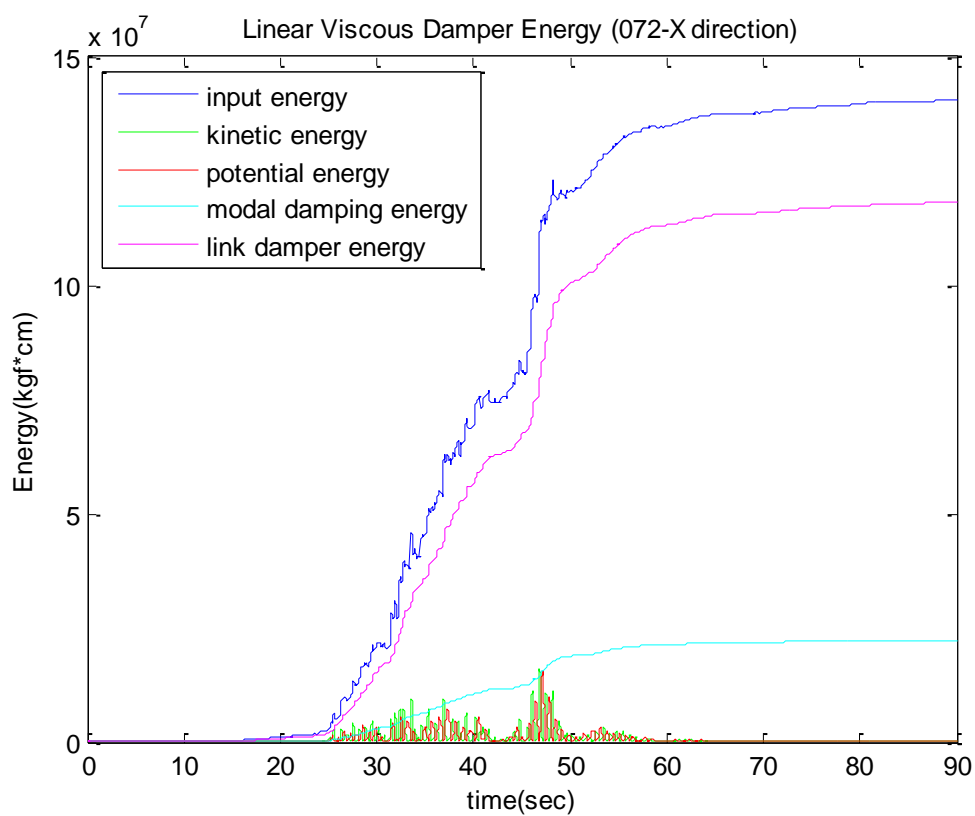
(3)最大阻尼力

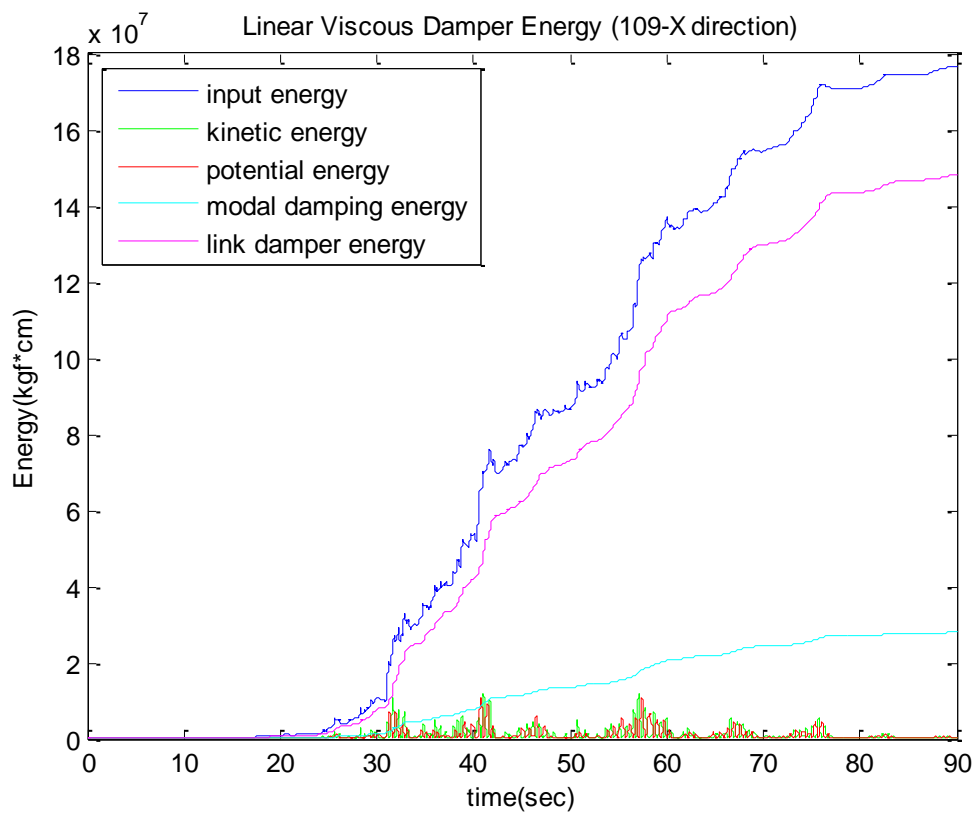
EQ	X-direction (tonf)	Y-direction (tonf)
072	90.77	86.83
078	76.64	88.40
109	80.83	82.68



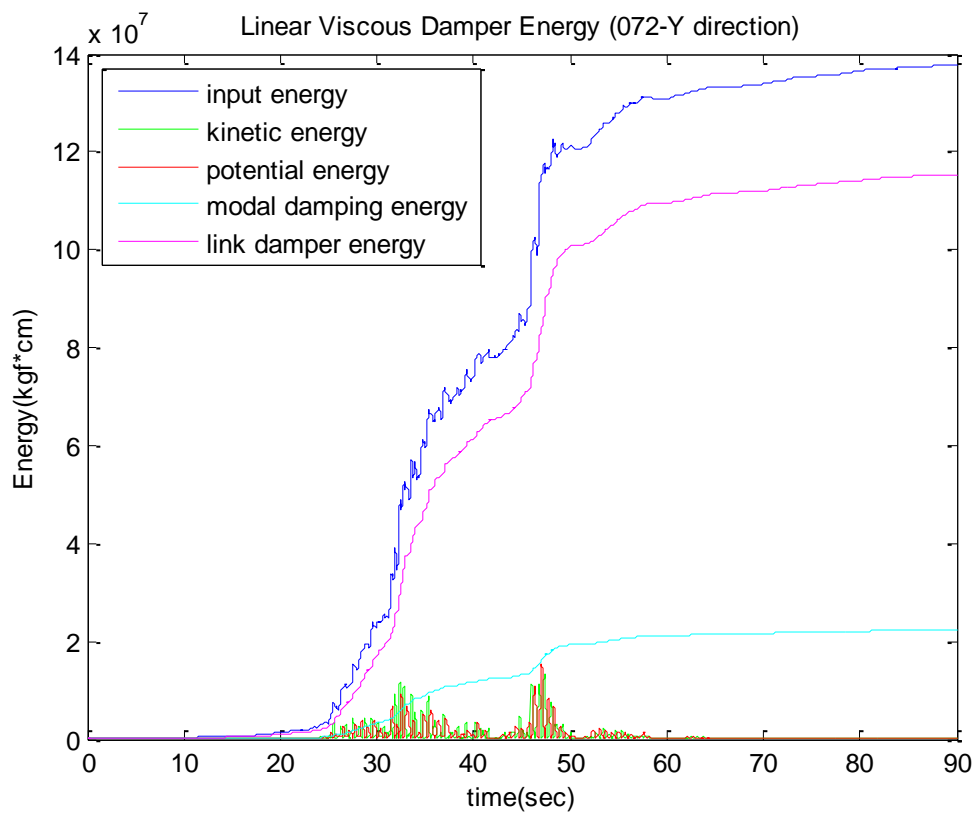
## 5.2.6 能量反應圖

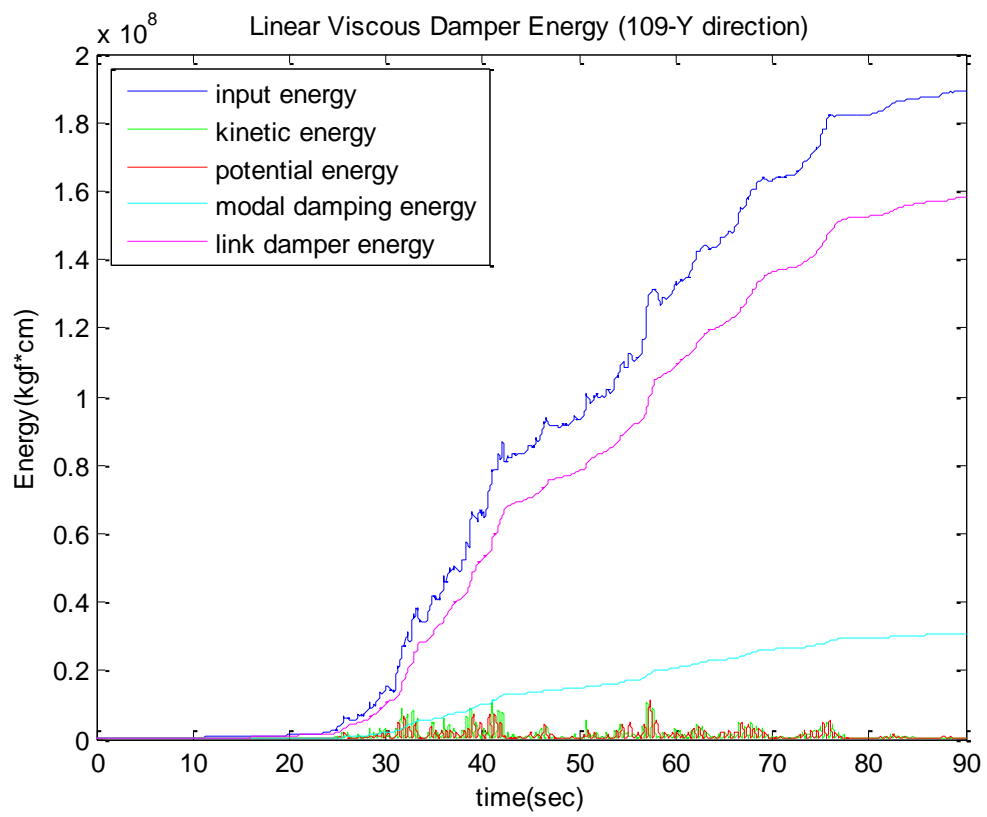
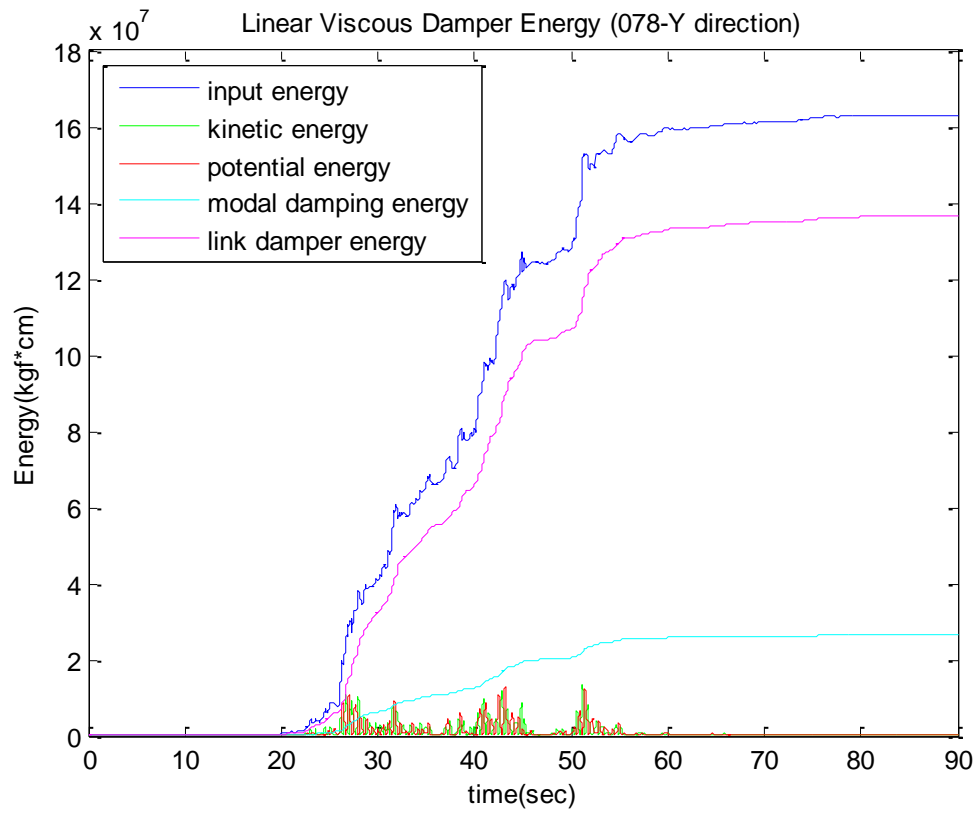
### (1)長向





(2)短向





### 5.3 非線性黏性阻尼分析

#### 5.3.1 設計阻尼參數

Linear Viscous Damper :  $\alpha = 0.6$

由設計圖可以得知該結構系統安裝阻尼的方式為對角斜撐型式，所以放大因子 $f$ 即該阻尼元件與水平夾角在水平向的分量 $\cos\theta$ 。再藉由下表結構系統參數、設計目標阻尼比 $\xi_{viscous}$ 與式(4)，即可以求得該阻尼元件參數。

$$C = \frac{(2\pi)^{3-\alpha} \xi_{viscous} A^{1-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}{T^{2-\alpha} \lambda \sum_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j} \quad \text{式(4)}$$

其中  $C$ ：阻尼係數

$\xi_{viscous}$ ：設計目標阻尼比

$\phi_i$ ：結構系統第一模態

$\phi_{rj}$ ：結構系統第一模態各樓層差值

$\cos\theta_j$ ：各個阻尼元件與水平夾角

$m_i$ ：各樓層重量

$T$ ：原結構物第一模態週期

$A$ ：結構系統頂層最大位移量

$\lambda$ ：非線性阻尼參數

$\alpha$ ：非線性阻尼係數

再估算結構系統頂層最大位移量 $A$ ，可以依規範給予的公式 $A = \Gamma \cdot S_d(T, \zeta)$ 做估算。先根據位移反應譜的分析結果，估算出的目標位移 $S_d$ ，接著計算分配因子 $\Gamma = \frac{\phi^T m l}{\phi^T m \phi}$ ，根據上述資訊即可求得結構系統頂層最大位移量。

其中  $\phi$ 為結構系統第一模態

$m$ 為結構系統質量矩陣

$l$ 為模態參與係數，為了計算方便可以直接假設為 $\tilde{1}$ 的單位行列式

由式(4)，可得知要設計阻尼參數需要結構系統資訊，並帶入反應普分析所估算之目標阻尼比，整理如下表，即可以計算阻尼係數。

(1) 長向

Period in Longitudinal Direction $T = 1.38539 \text{ sec}$ $\alpha = 0.6$ $\lambda = 3.42$ $S_d = 0.38\text{m}$						
Floor	Mass (ton)	Modal shape $\phi_i$	$m_i \phi_i^2$	$\phi_{rj}$	$\cos\theta$	$\cos^{1.6}\theta \times \phi_{rj}^{1.6}$
2 <sup>nd</sup> Floor	850.5	0.138	16.28266	0.138	0.8940	0.03530
3 <sup>rd</sup> Floor	850.5	0.352	105.5009	0.214	0.9138	0.07337
4 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.579	284.7447	0.226	0.9138	0.08039
5 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.774	508.9678	0.195	0.9138	0.06329
6 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.912	707.3202	0.138	0.9138	0.03656
RF	911.25	1.000	911.25	0.088	0.9138	0.01774
$\sum m_i \phi_i^2$			2534.066	$\sum \cos^{1.6}\theta \times \phi_{rj}^{1.6}$		0.30664

$$C = \frac{(2\pi)^{3-\alpha} \xi_{viscous} A^{1-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}{T^{2-\alpha} \lambda \sum_j \phi_{r,j}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}$$

$$\Gamma = \frac{\phi^T m l}{\phi^T m \phi} = 1.2838$$

$$A = \Gamma \cdot S_d = 1.2838 \times 0.38 = 0.487 \text{ m}$$

$$C = \frac{(2\pi)^{2.4} \times 0.10 \times 0.487^{0.4} \times 2534.066}{2 \times 2 \times (1.38539^{1.4} \times 3.42 \times 0.30664)} = 14922.6 \text{ kgf} \cdot (\text{cm/s})^{0.6}$$

(2) 短向

Period in Transverse Direction T = 1.27382 sec $\alpha = 0.6$ $\lambda = 3.42$ $S_d = 0.38\text{m}$						
Floor	Mass (ton)	Modal shape $\phi_i$	$m_i \phi_i^2$	$\phi_{rj}$	$\cos \theta$	$\cos^{1.6} \theta \times \phi_{rj}^{1.6}$
2 <sup>nd</sup> Floor	850.5	0.138	16.28266	0.138	0.8940	0.03530
3 <sup>rd</sup> Floor	850.5	0.352	105.5009	0.214	0.9138	0.07337
4 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.579	284.7447	0.226	0.9138	0.08039
5 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.774	508.9678	0.195	0.9138	0.06329
6 <sup>th</sup> Floor	850.5	0.912	707.3202	0.138	0.9138	0.03656
RF	911.25	1.000	911.25	0.088	0.9138	0.01774
$\sum m_i \phi_i^2$			2534.066	$\sum \cos^{1.6} \theta \times \phi_{rj}^{1.6}$		0.30664

$$C = \frac{(2\pi)^{3-\alpha} \xi_{viscous} A^{1-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}{T^{2-\alpha} \lambda \sum_j \phi_{r,j}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}$$

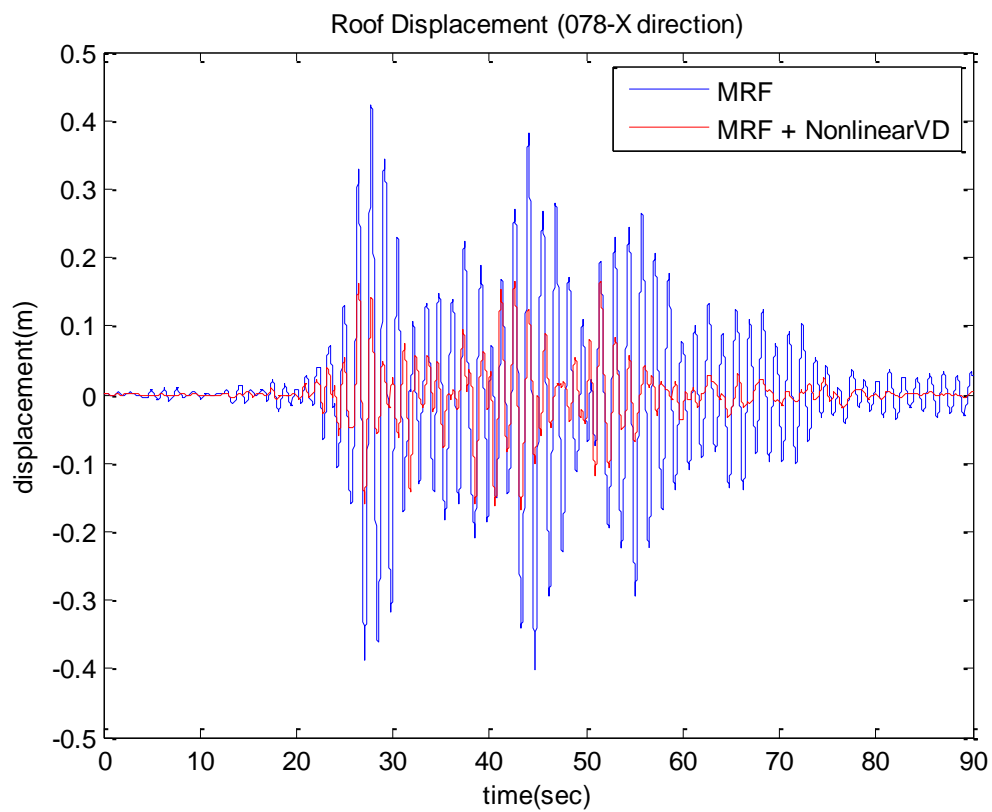
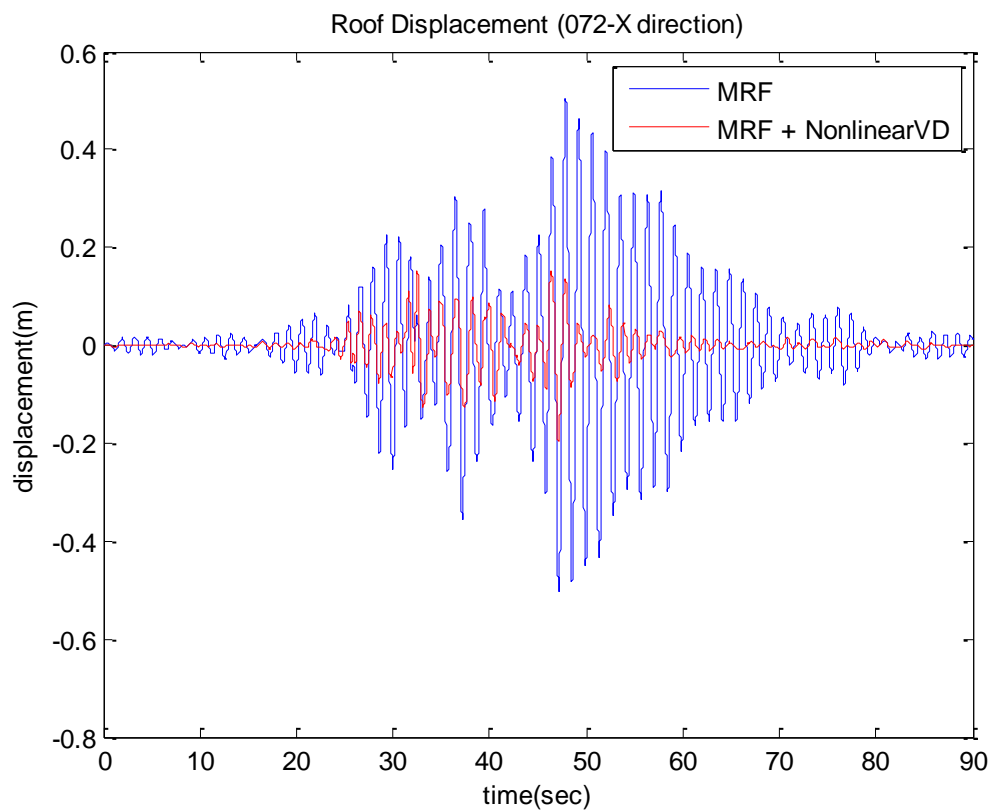
$$\Gamma = \frac{\phi^T m l}{\phi^T m \phi} = 1.2838$$

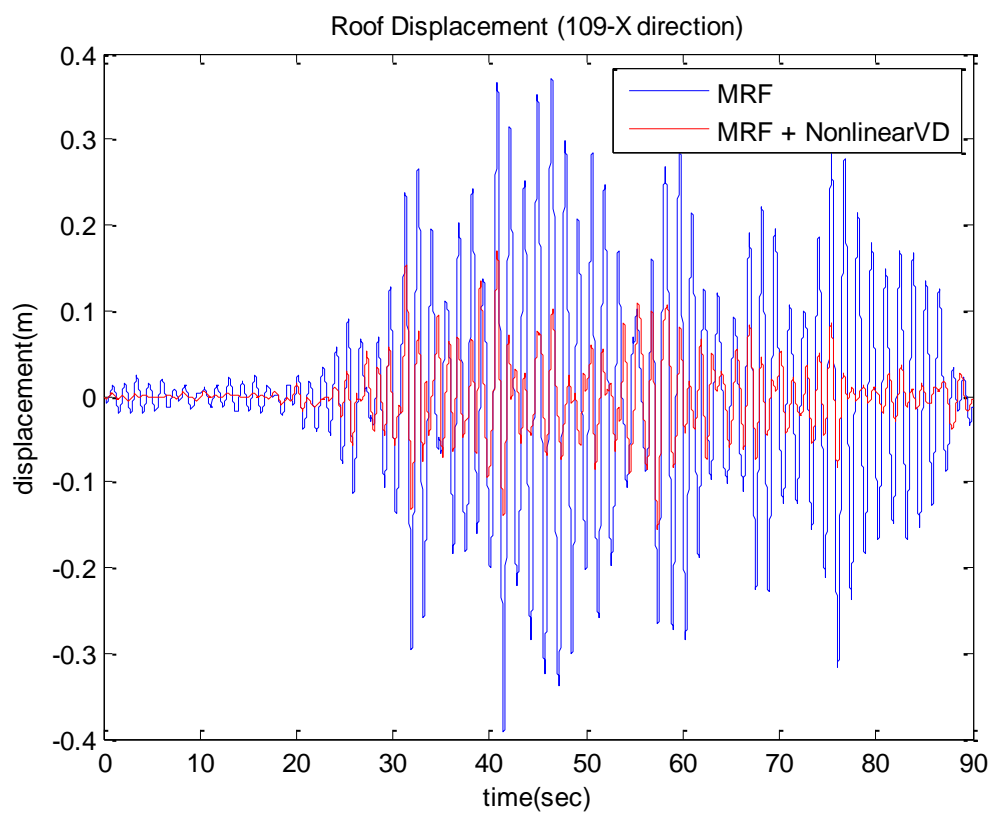
$$A = \Gamma \cdot S_d = 1.2838 \times 0.38 = 0.487 \text{ m}$$

$$C = \frac{(2\pi)^{2.4} \times 0.10 \times 0.487^{0.4} \times 2534.066}{2 \times 2 \times (1.27382^{1.4} \times 3.42 \times 0.30664)} = 16783.9 \text{ kgf} \cdot (\text{cm/s})^{0.6}$$

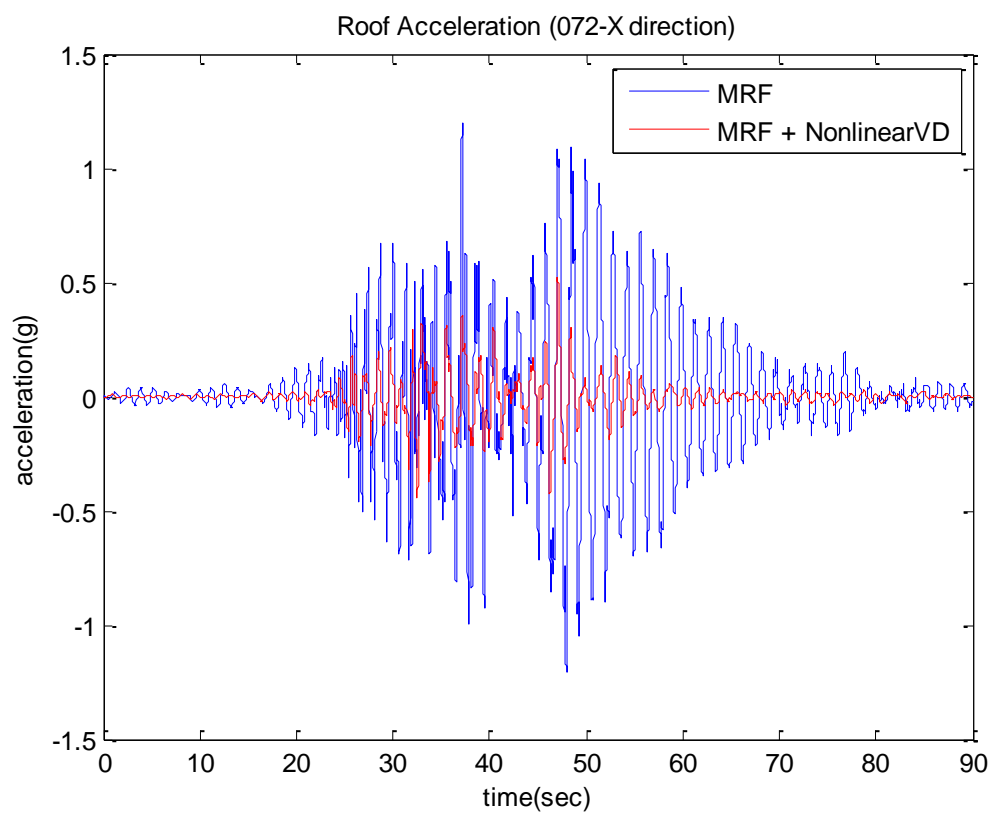
### 5.3.2 頂層時間歷時反應

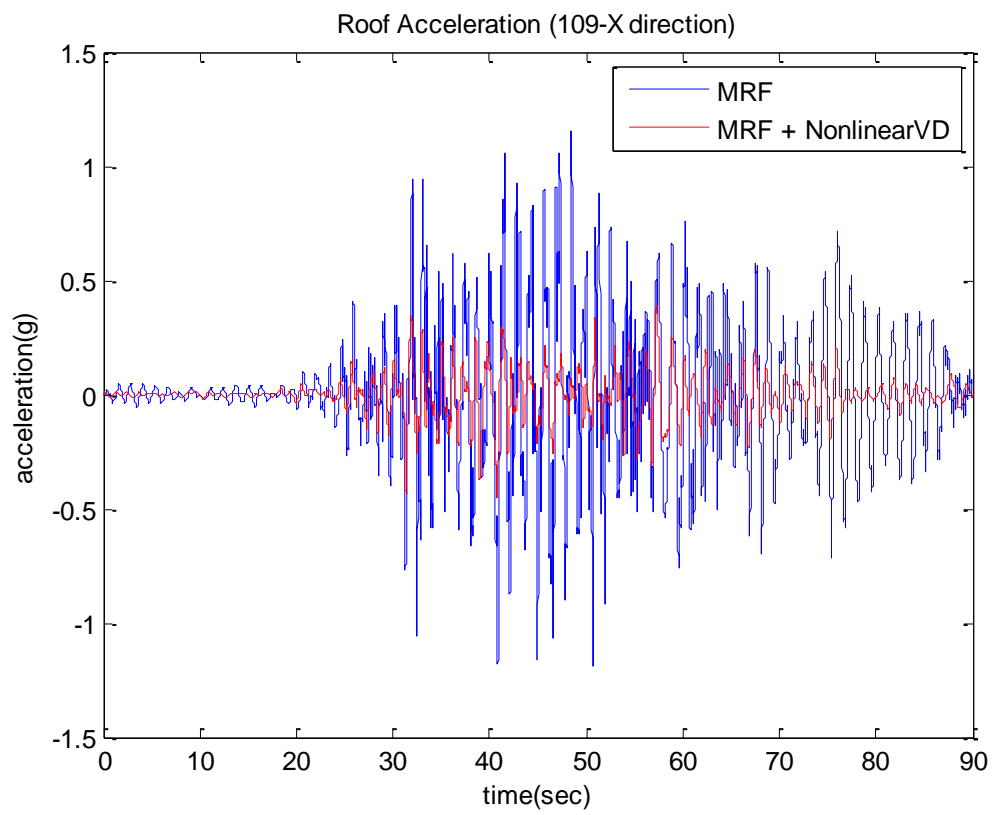
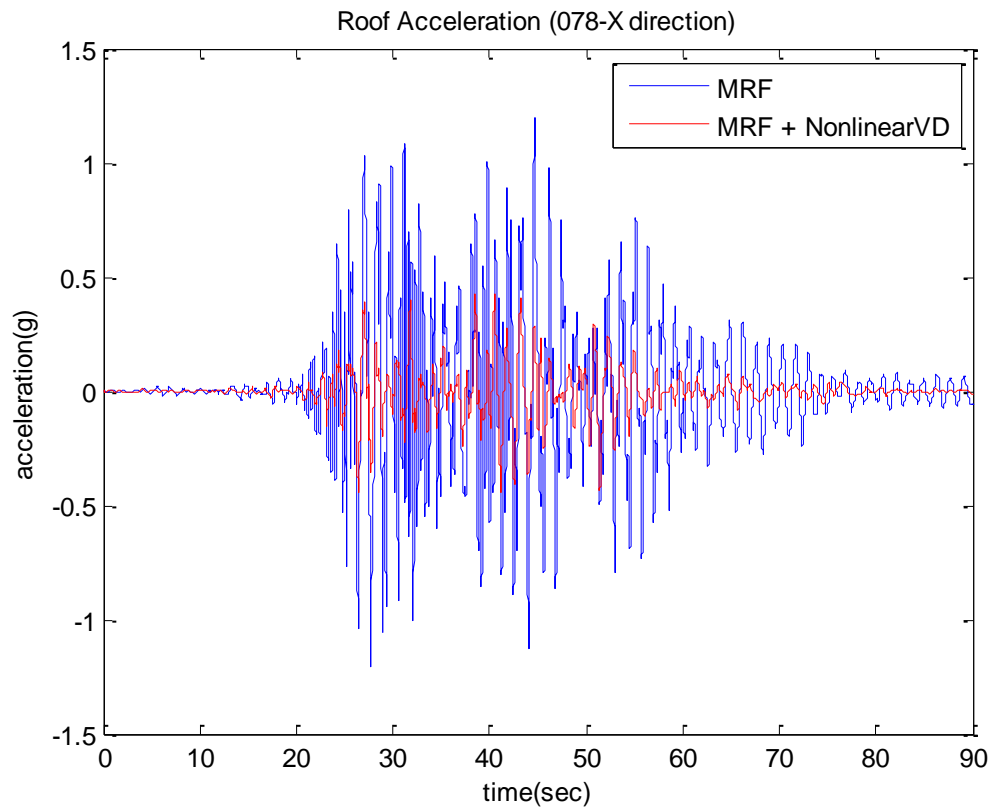
#### (1) 長向位移





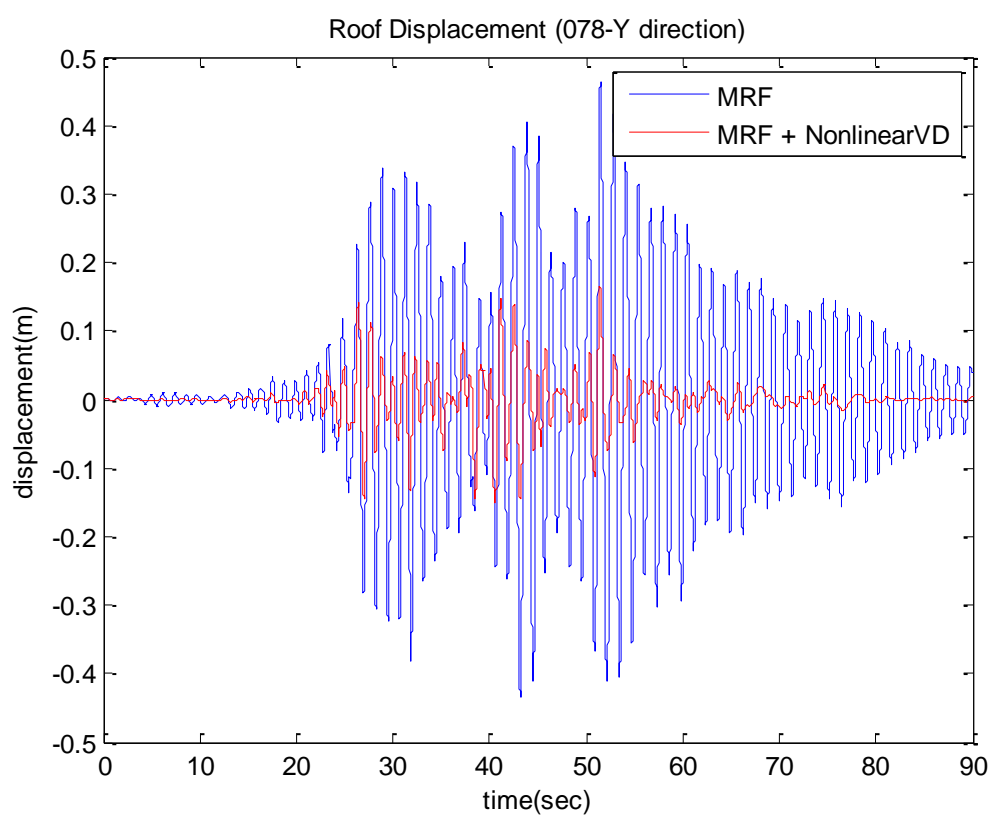
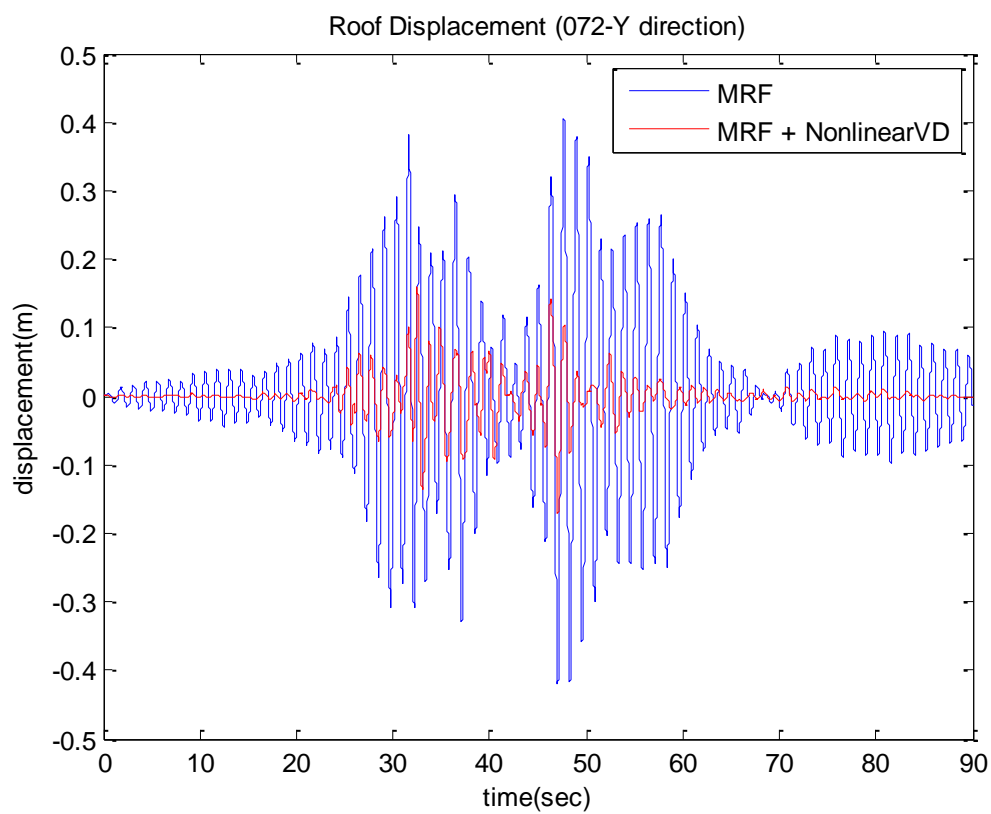
(2)長向加速度

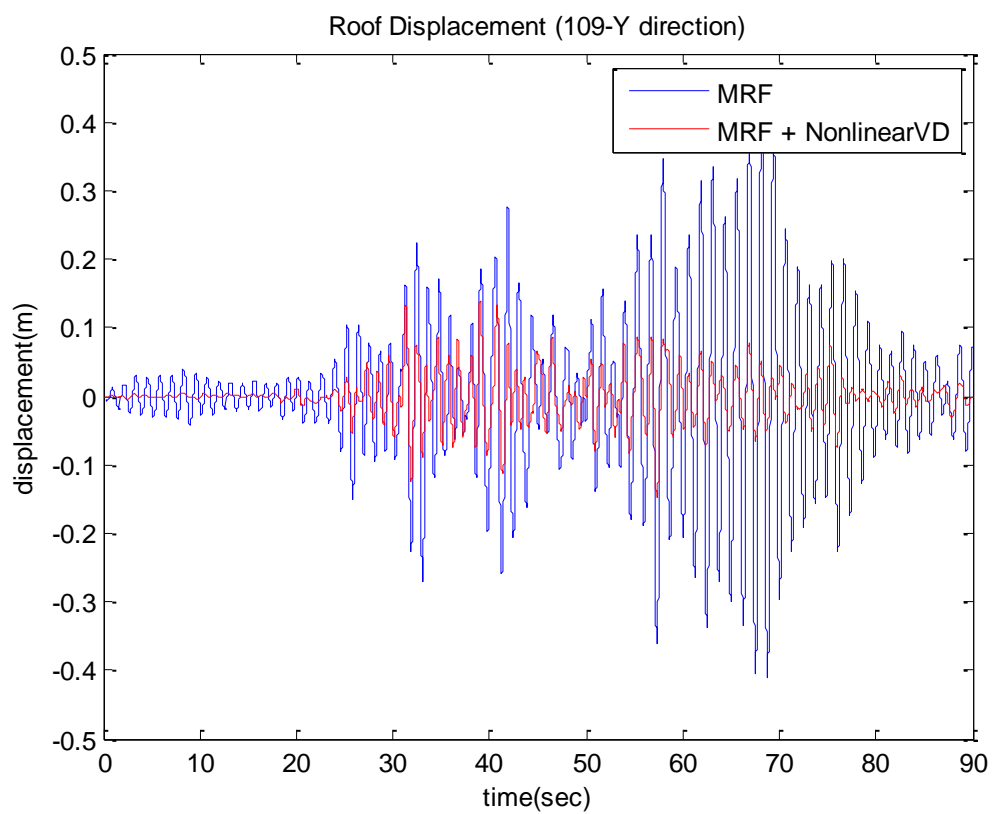




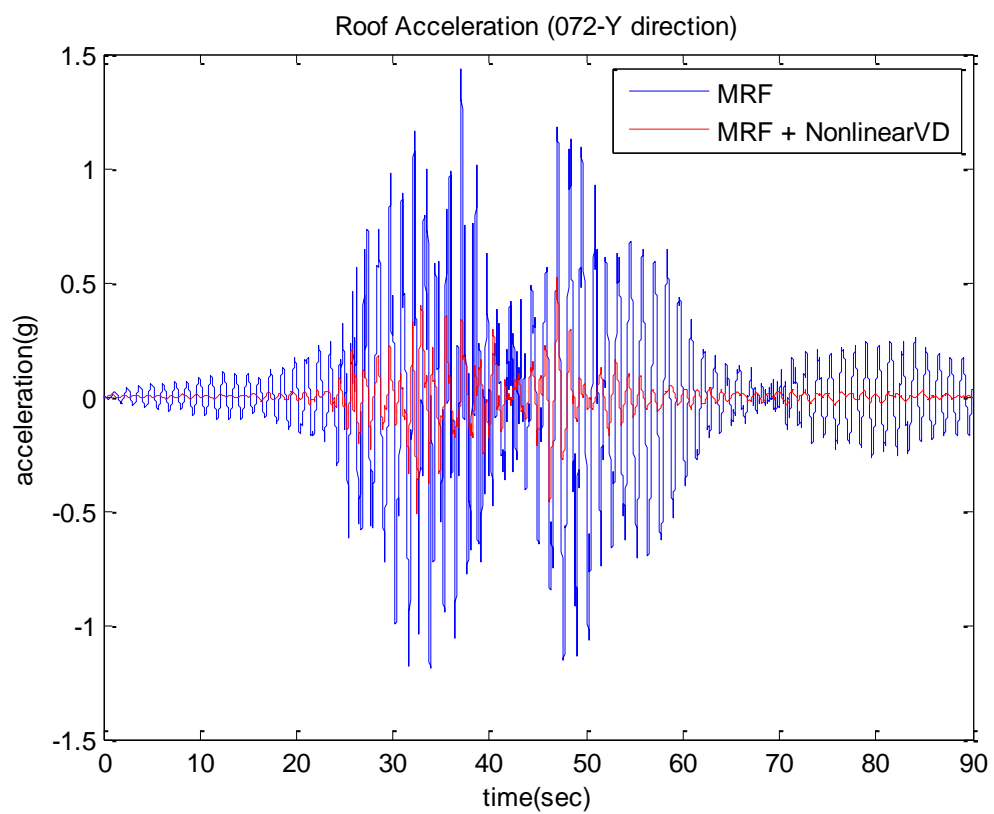


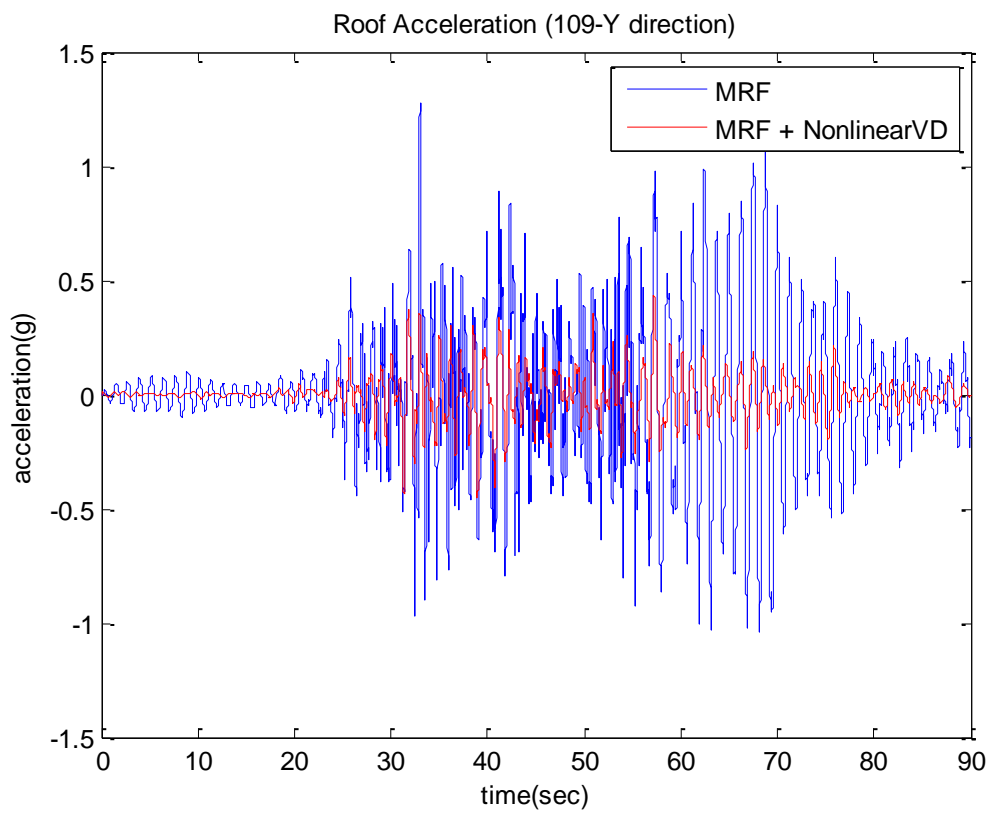
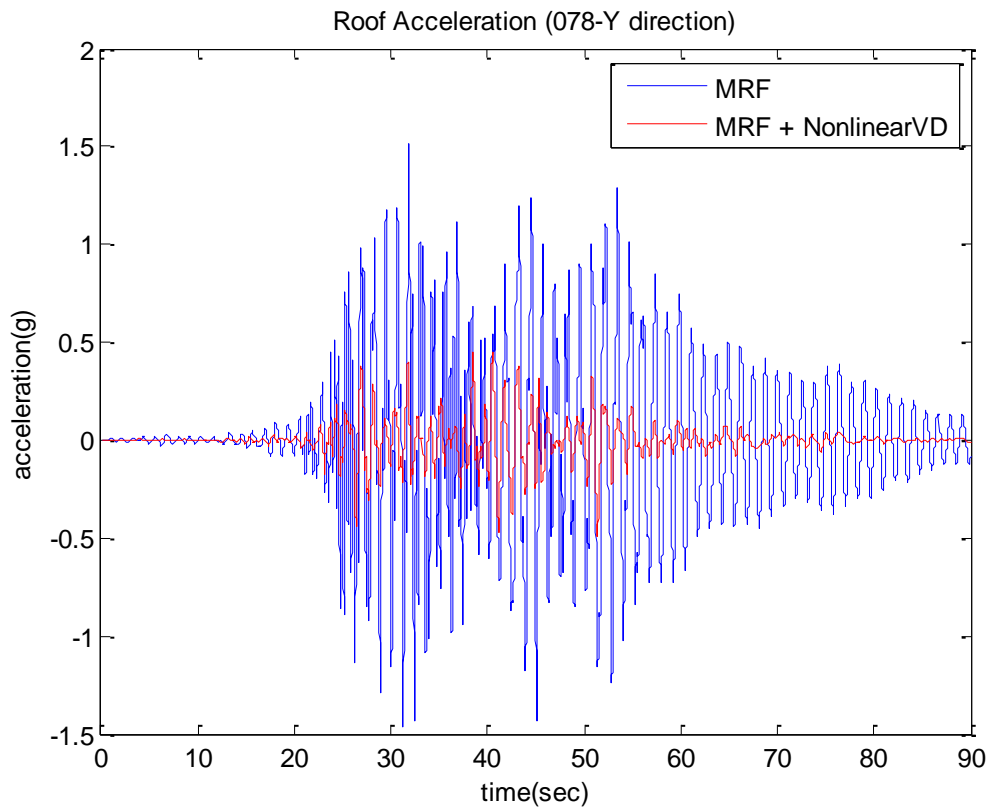
### (3)短向位移





(4)短向加速度





### 5.3.3 頂層最大位移、速度與加速度反應

#### (1)長向

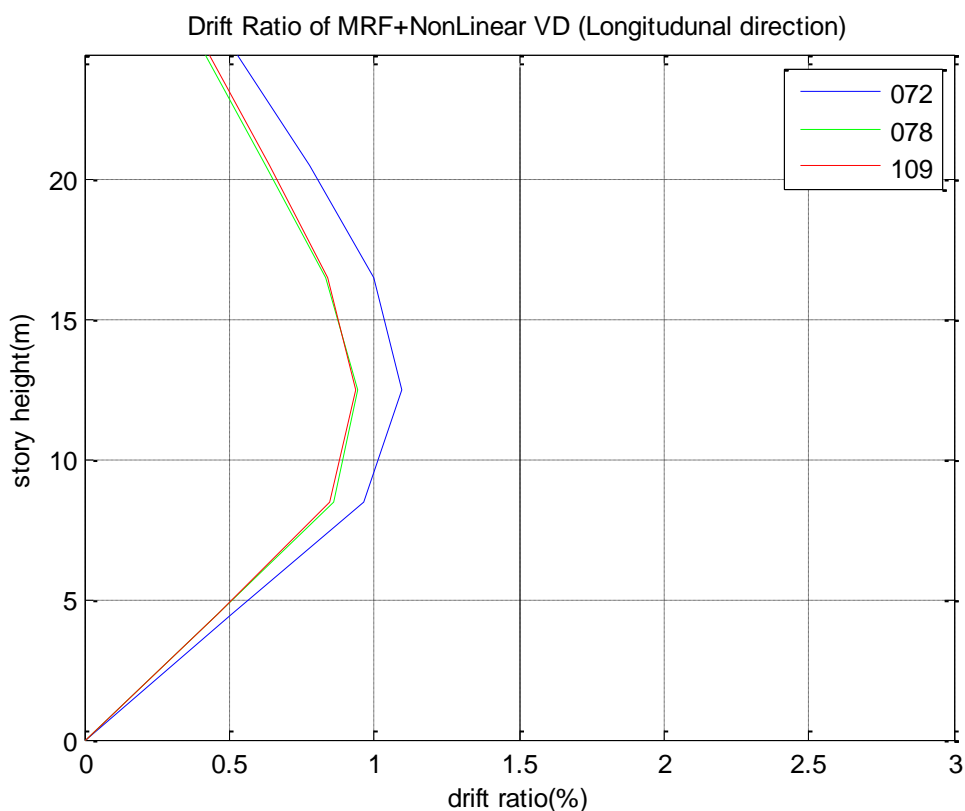
EQ	Bare Frame			Bare Frame + Nonlinear VD			Ratio of Response		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(4) / (1)	(5) / (2)	(6) / (3)
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
<b>72</b>	0.5050	2.5168	1.2101	0.1972	1.9211	0.5197	39.05	76.33	42.95
<b>78</b>	0.4239	2.0426	1.2092	0.1681	1.5983	0.4445	39.66	78.25	36.76
<b>109</b>	0.3916	1.9414	1.1847	0.1688	1.5029	0.4524	43.11	77.42	38.19

#### (2)短向

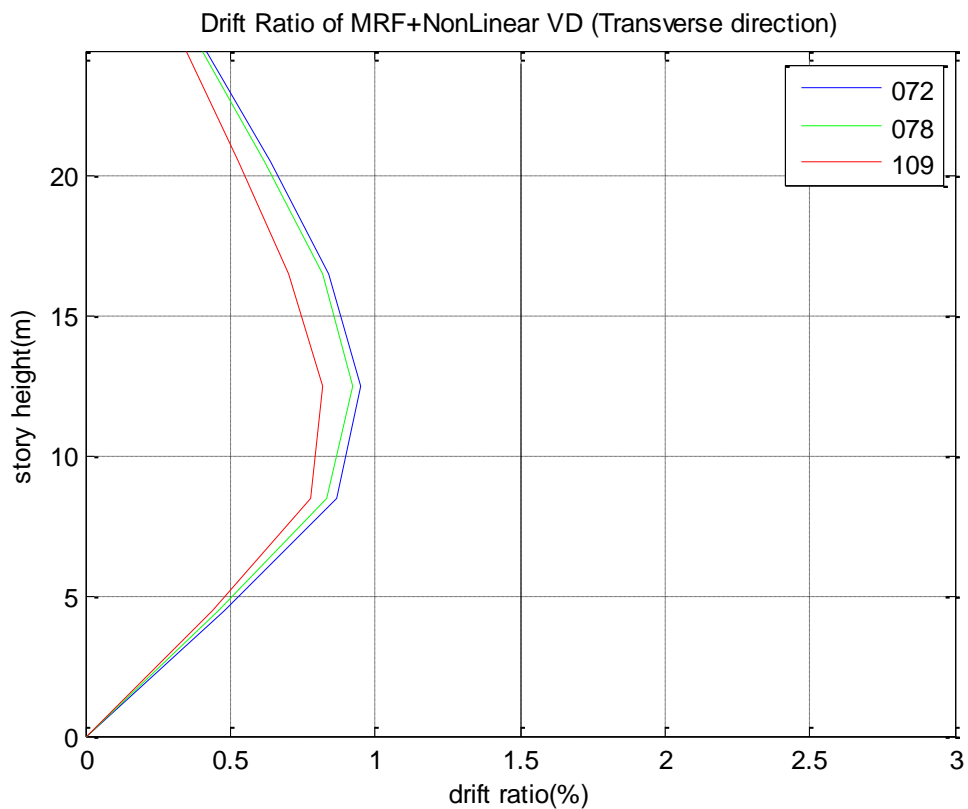
EQ	Bare Frame			Bare Frame + Nonlinear VD			Ratio of Response		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(4) / (1)	(5) / (2)	(6) / (3)
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
<b>72</b>	0.4210	2.0086	1.4300	0.1700	1.6704	0.5180	0.4037	0.8316	0.3622
<b>78</b>	0.4627	2.4179	1.5102	0.1644	1.6161	0.4882	0.3552	0.6684	0.3233
<b>109</b>	0.4109	2.0774	1.2792	0.1467	1.4202	0.4508	0.3570	0.6836	0.3524

### 5.3.4 層間變位角(Drift Ratio)

#### (1)長向



(2)短向



(3) 檢核最大層間變位角：

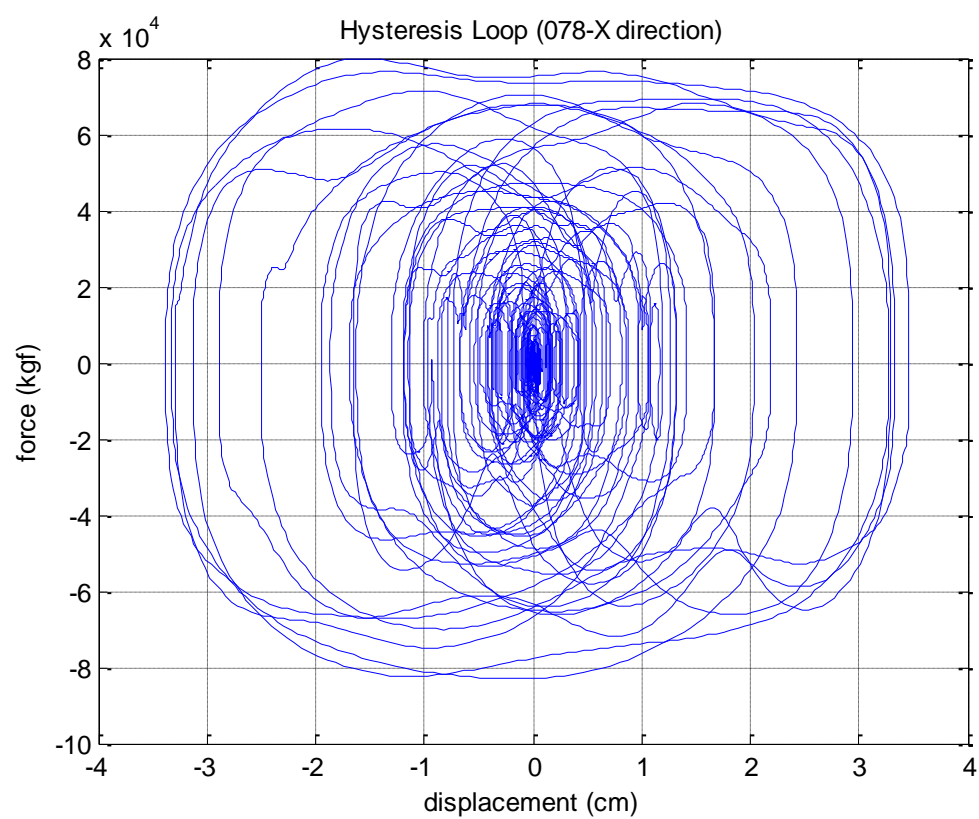
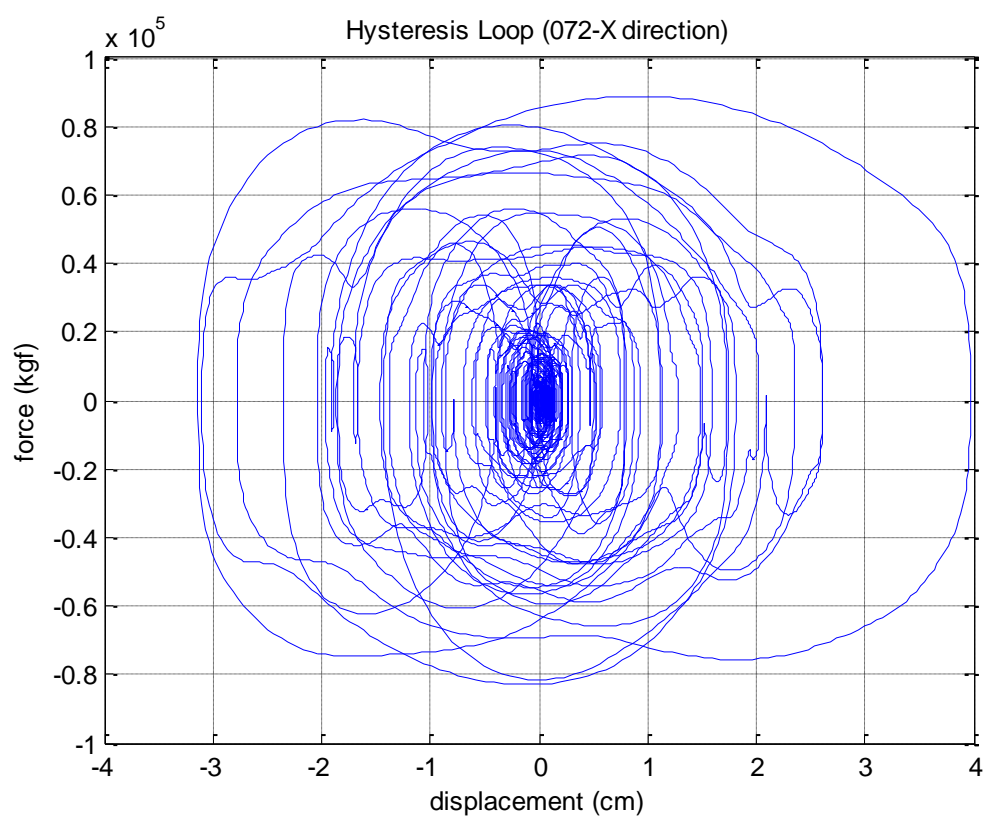
根據反應譜分析，最大的層間變位角發生在三樓，因此我們檢核三樓是否能符合設計目標，層間變位角小於 1.5%。

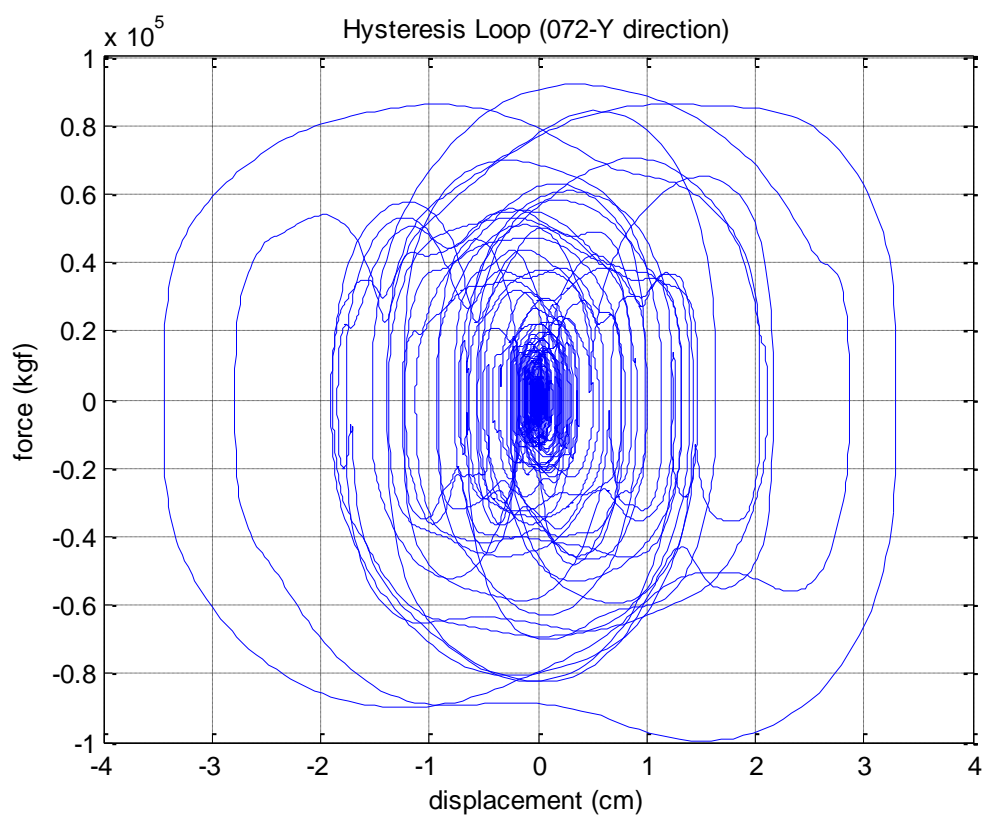
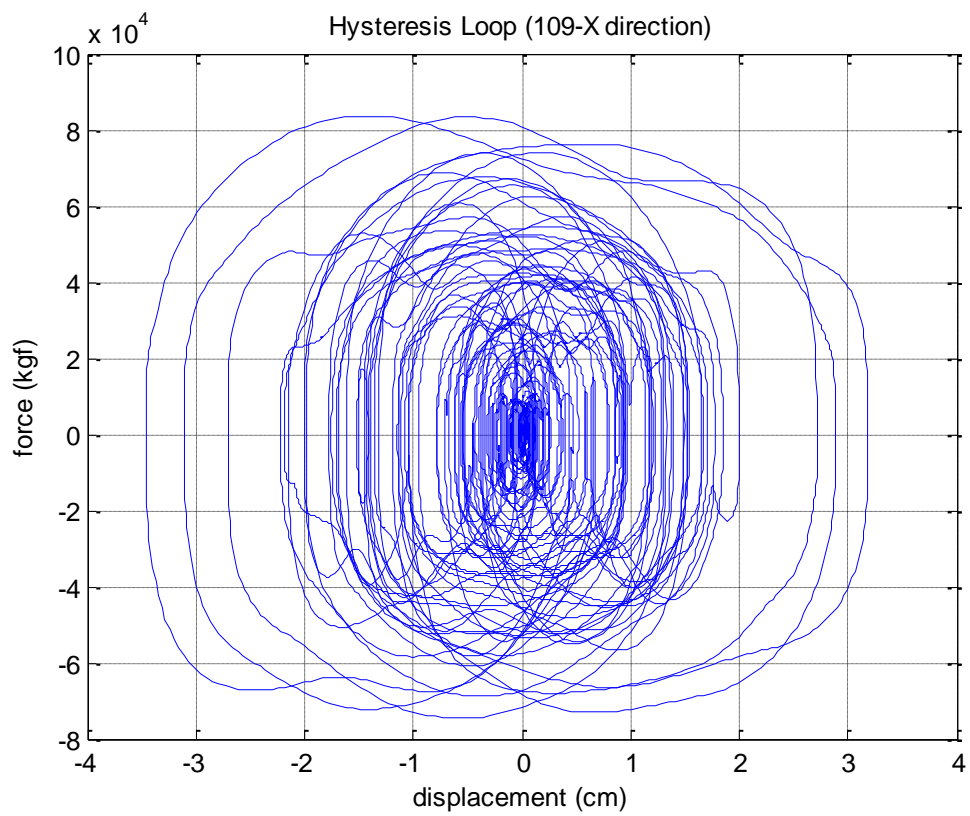
EQ	Direction	Drift(%)	Check drift<1.5%
72	X	1.09	O.K.
	Y	0.95	O.K.
78	X	0.94	O.K.
	Y	0.92	O.K.
109	X	0.93	O.K.
	Y	0.81	O.K.

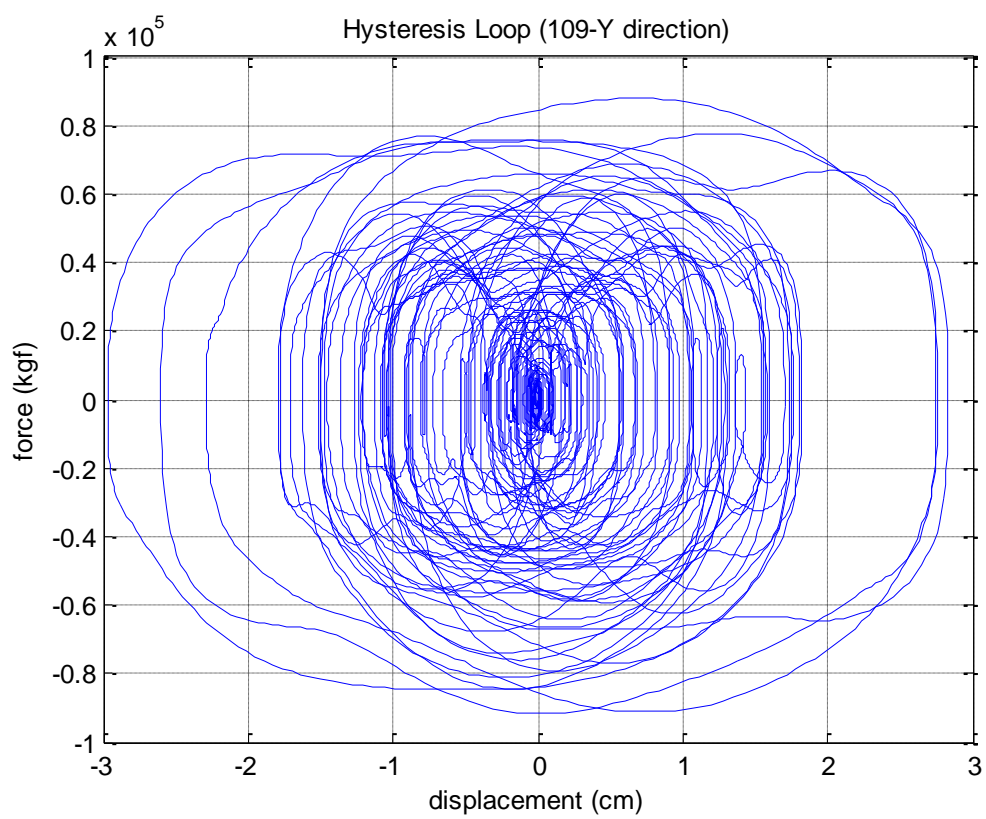
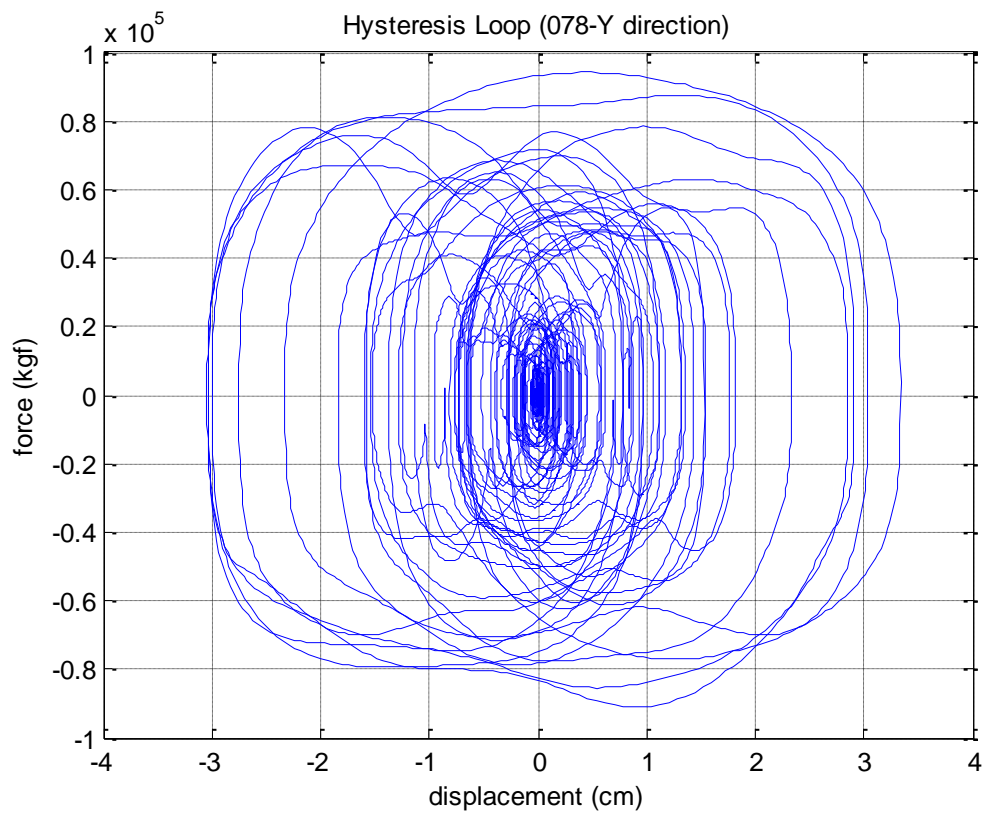
### 5.3.5 阻尼遲滯迴圈

以下以三樓的黏性阻尼作圖比較

(1)長向







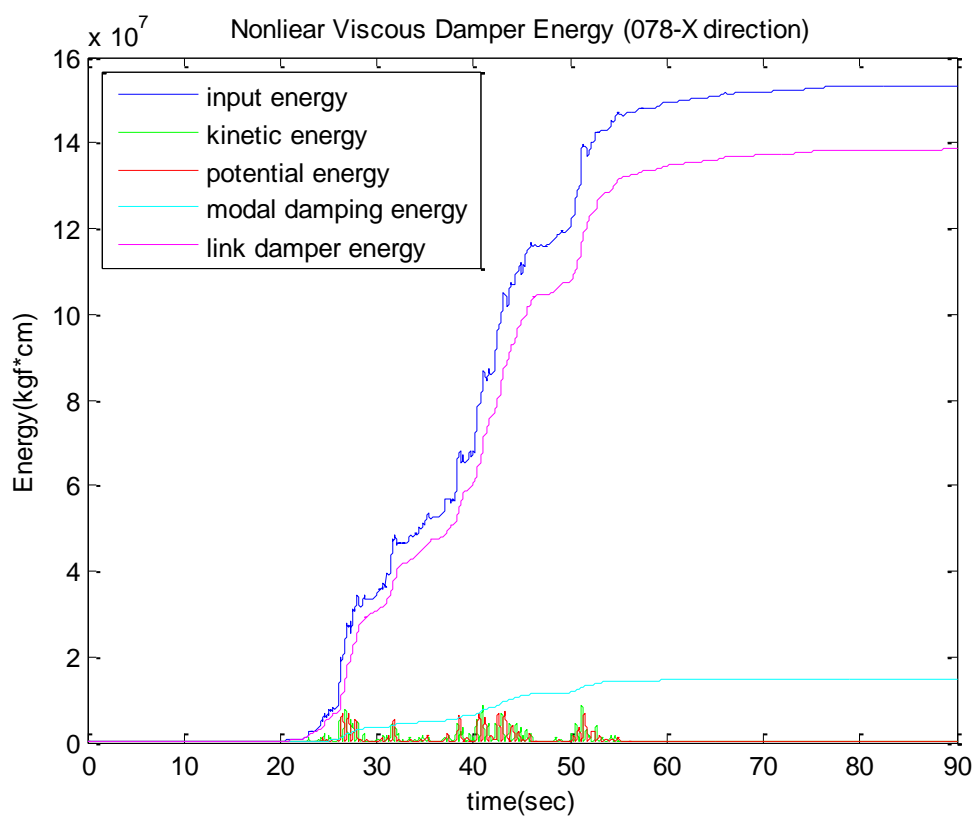
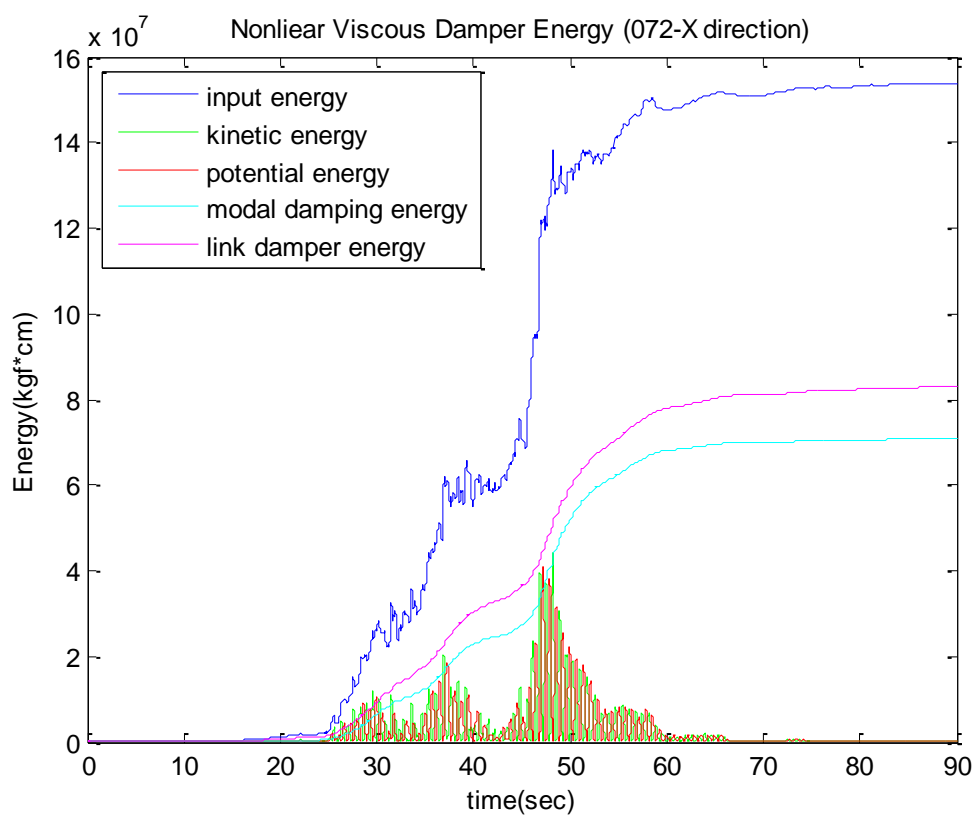
(3)最大阻尼力

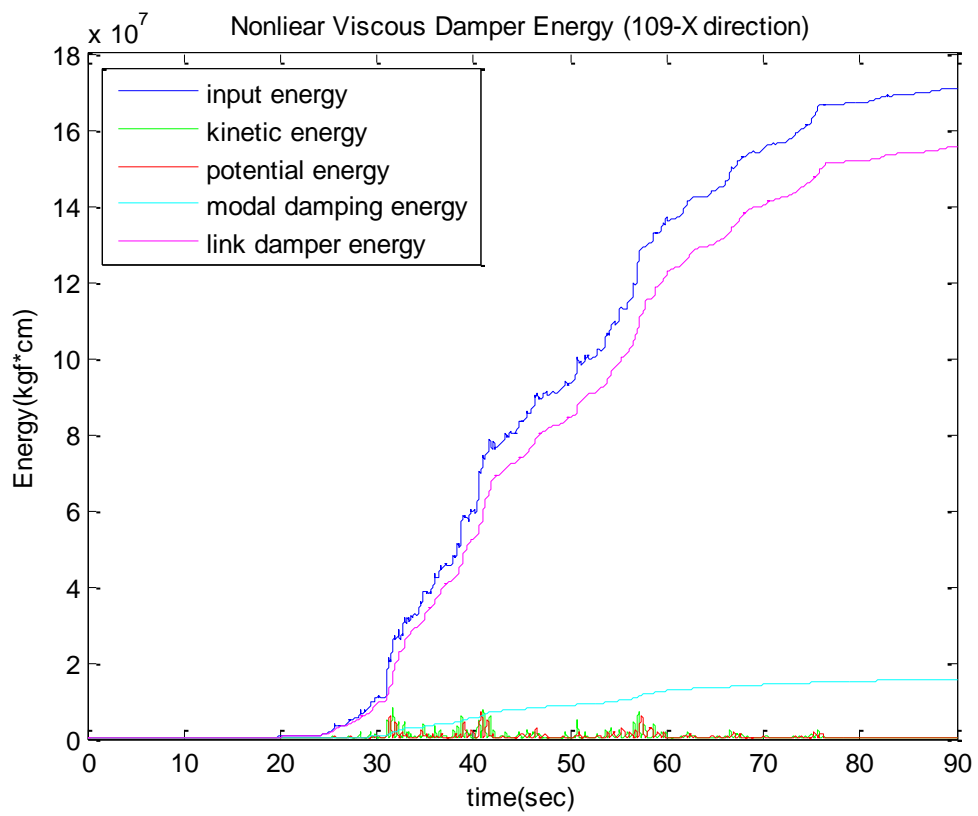
EQ	X-direction (tonf)	Y-direction (tonf)
072	88.82	99.68
078	83.09	94.19
109	83.64	91.74



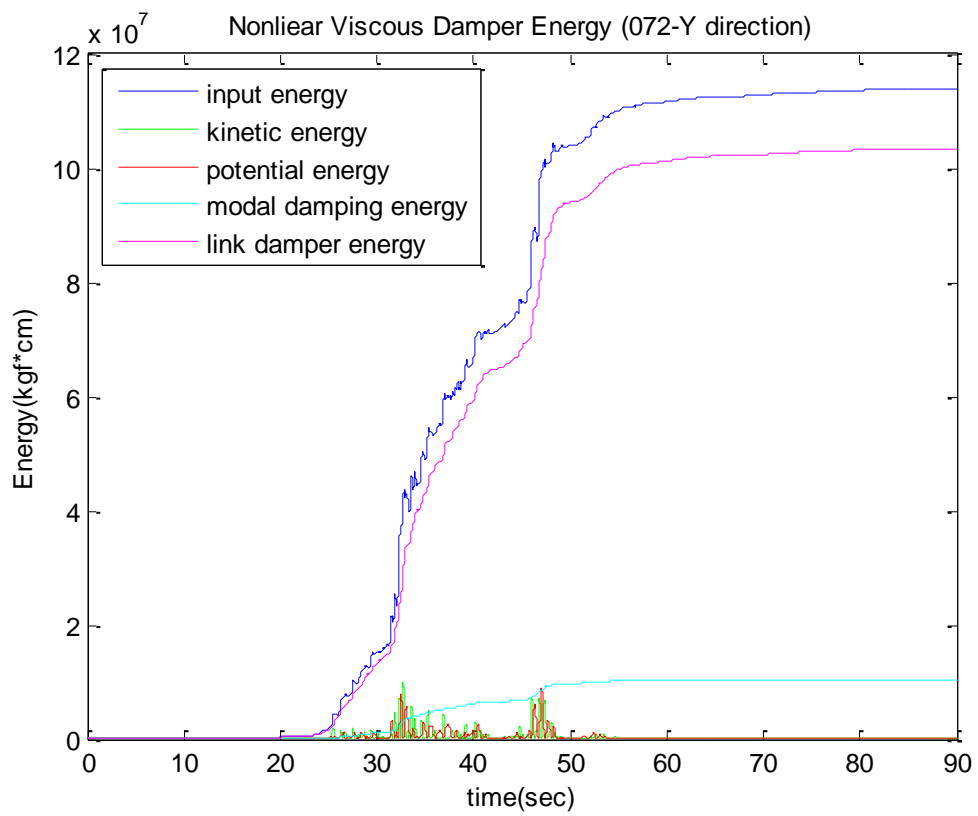
### 5.3.6 能量反應圖

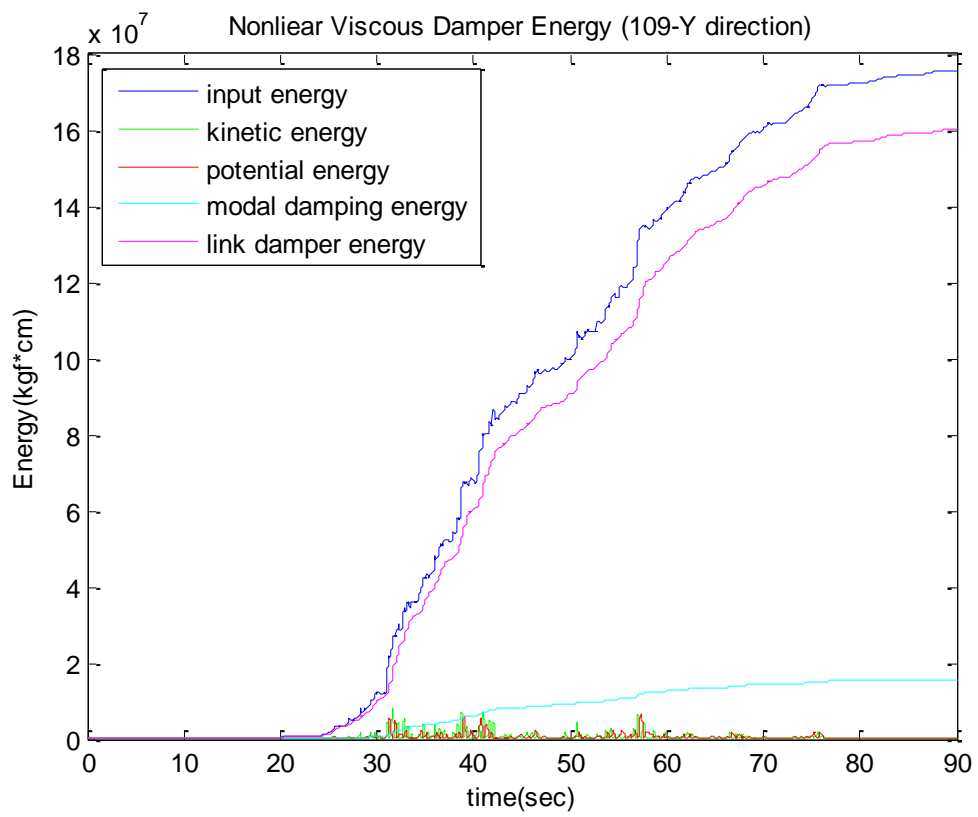
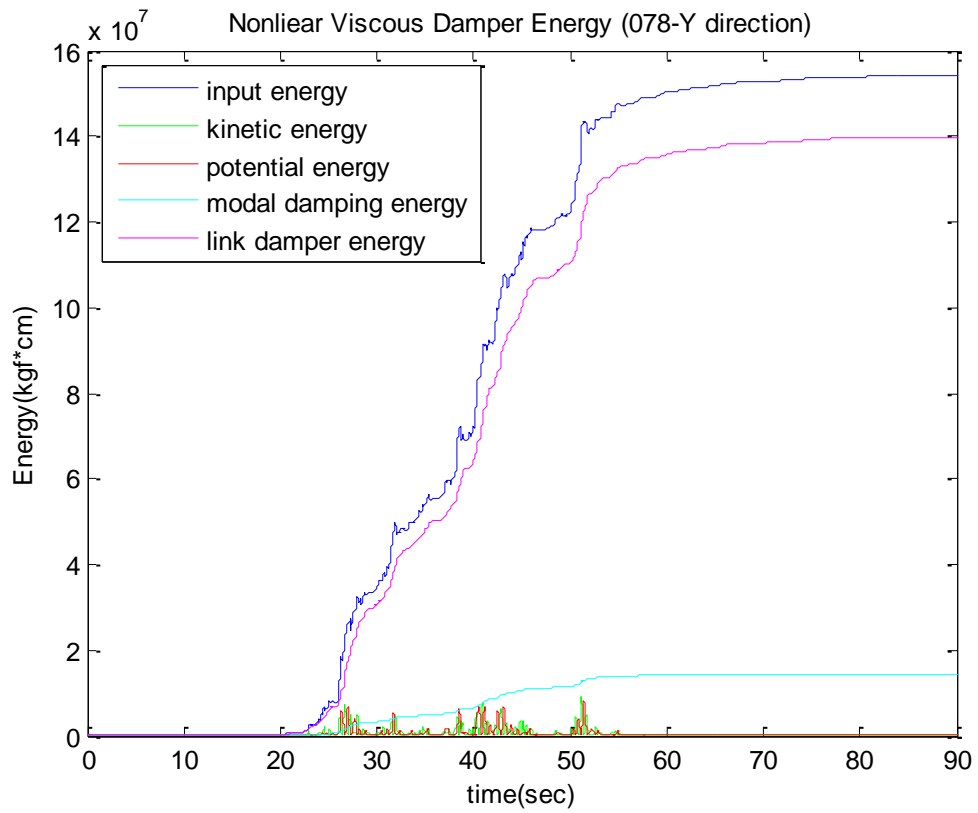
(1)長向





(2)短向



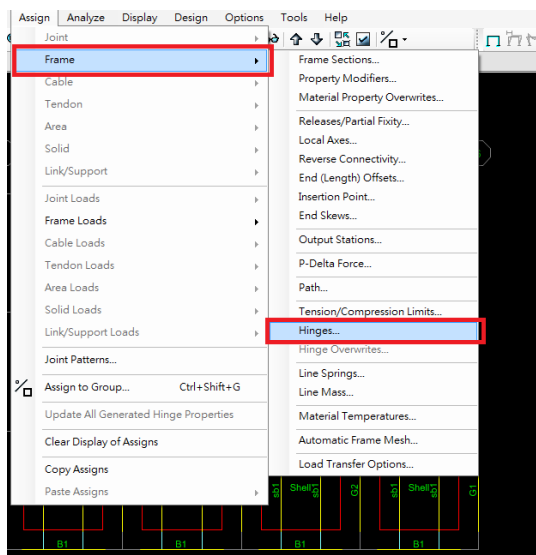


## 6. 空構架非線性分析

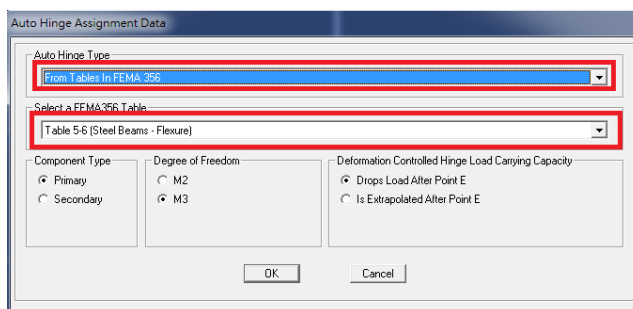
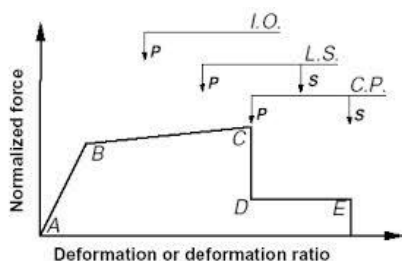
在非線性分析這個部份採用了真實地震TCU052來進行分析，但由於我們所採用的建模工具-SAP2000無法直接模擬塑性行為，因此需添加塑鉸以模擬結構物樑柱接頭降伏的情形。

### 6.1 建立模型塑鉸

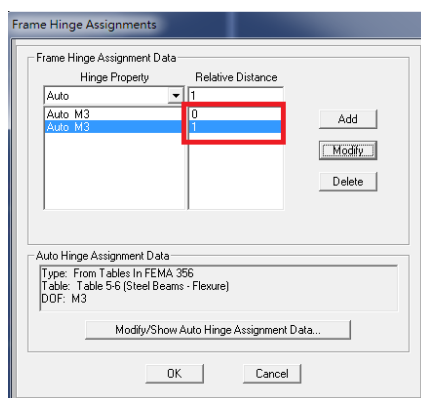
Step 1：選取欲添加塑鉸的桿件，並選擇Assign/Frame/Hinges來設定之



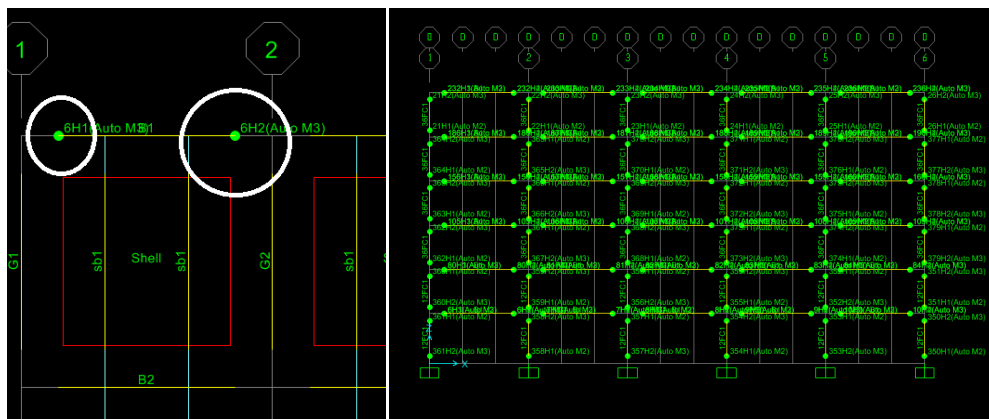
Step 2：選取FEMA356所建議的模型，並選取塑鉸性質



Step 3：一根桿件添加兩個塑鉸，0與1代表兩端



## Step 4：添加完成後會顯示出塑鉸位置

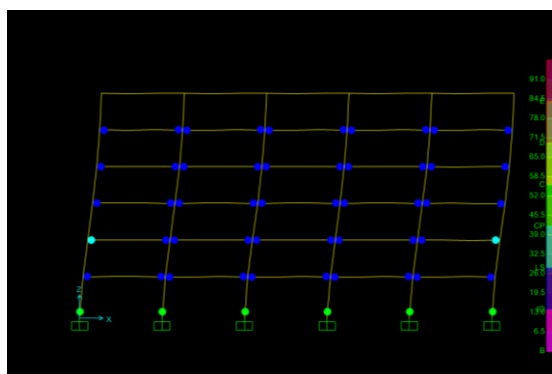


## 6.2 空構架分析

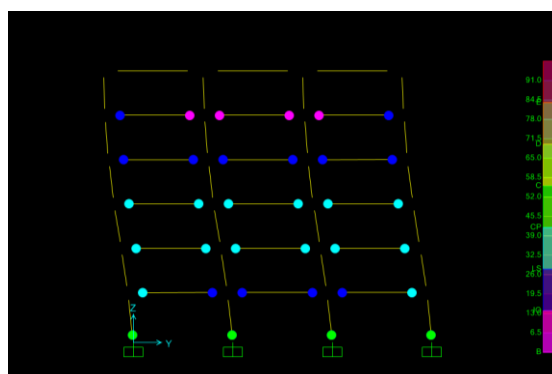
### 6.2.1 塑鉸

空構架長向與短向在受地震力 TCU052 之下產生之塑鉸如下圖所示，只發生在梁的兩端或一樓柱底，符合強柱弱梁的設計。

(1)長向

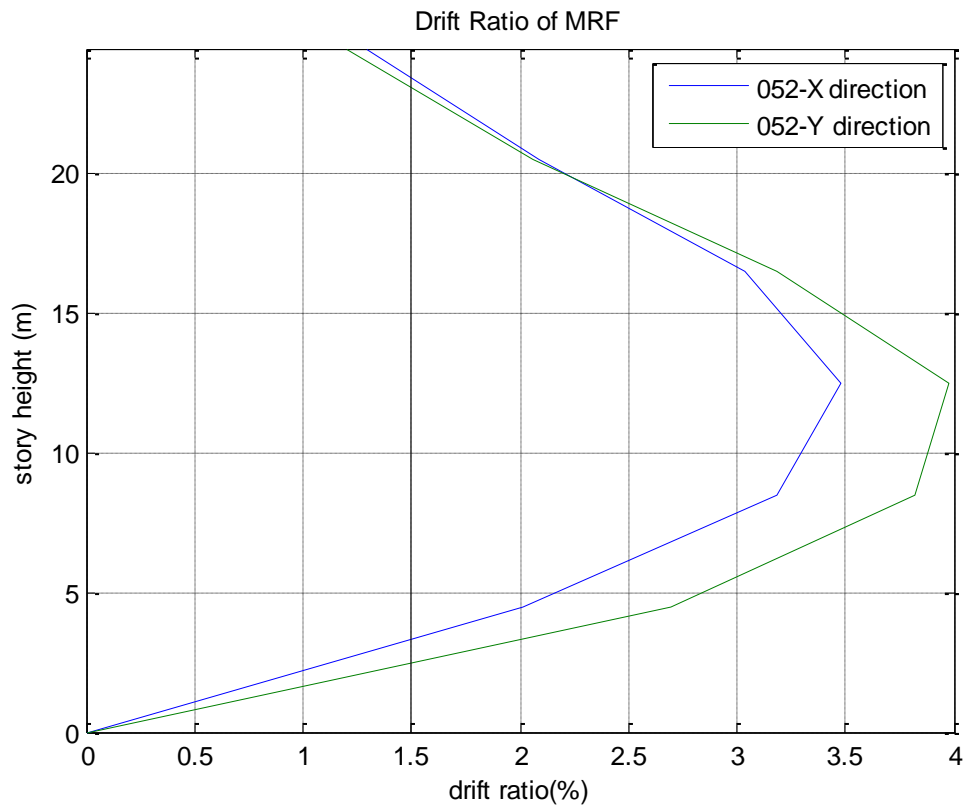


(2)短向



### 6.2.2 層間變位角

由下圖可以看出，受到 TCU052 的地震時，結構有較大的層間變位角。



空構架的其他反應，會在後續呈現，與加裝阻尼器(黏彈性、線性黏性與非線性黏性阻尼器)後的結構做比較，故在此不一一列出。

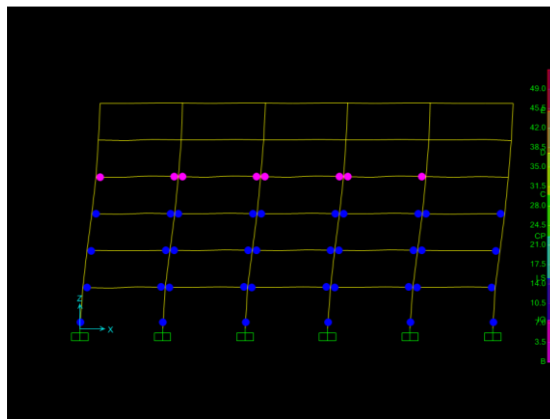
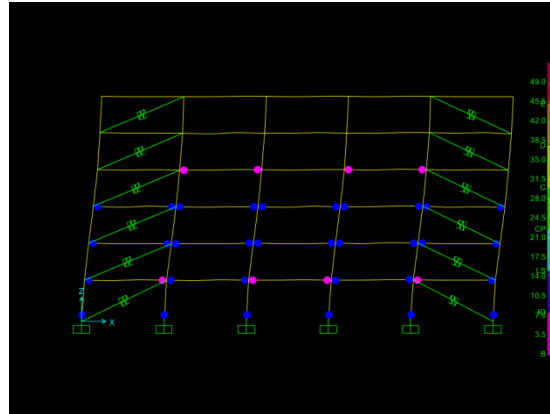
## 7. 非線性分析

### 7.1 黏彈性阻尼分析

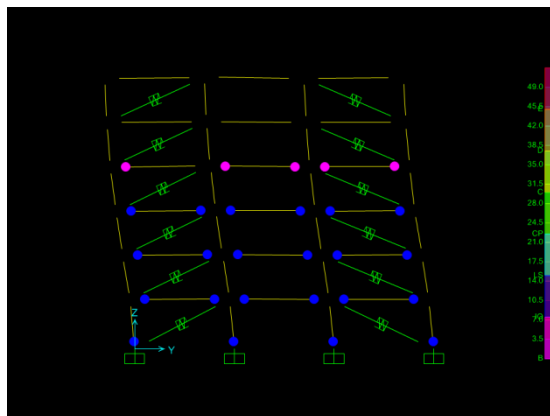
#### 7.1.1 塑鉸

加了 VE damper 之構架在受地震力 TCU052 產生之塑鉸如下，可看出增加阻尼，可控制結構反應（轉角相較於空構架有被控制住）。

(1)長向



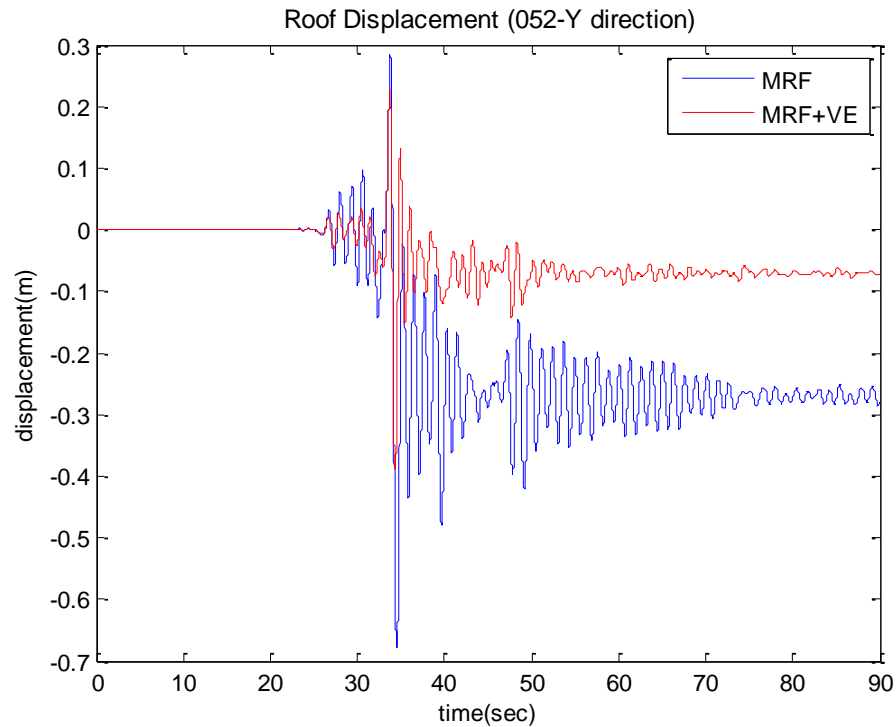
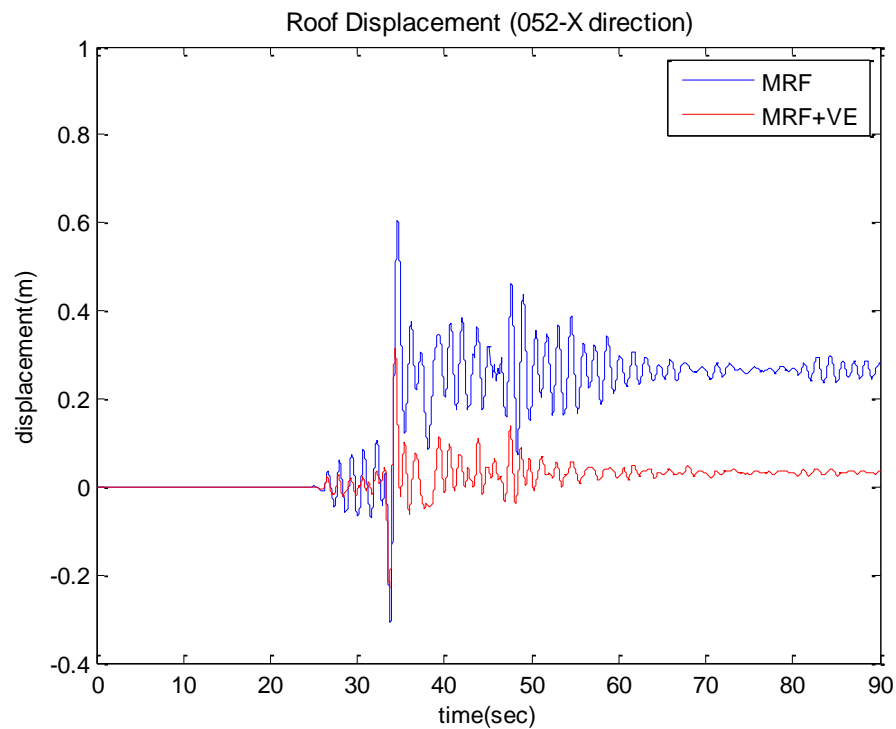
(2)短向



### 7.1.2 頂層時間歷時反應

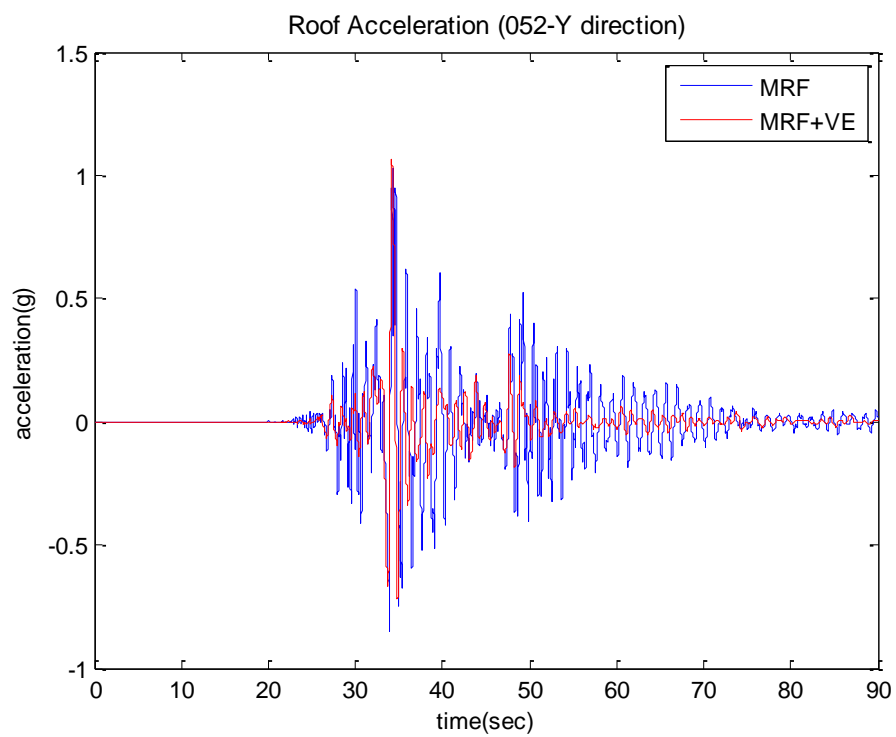
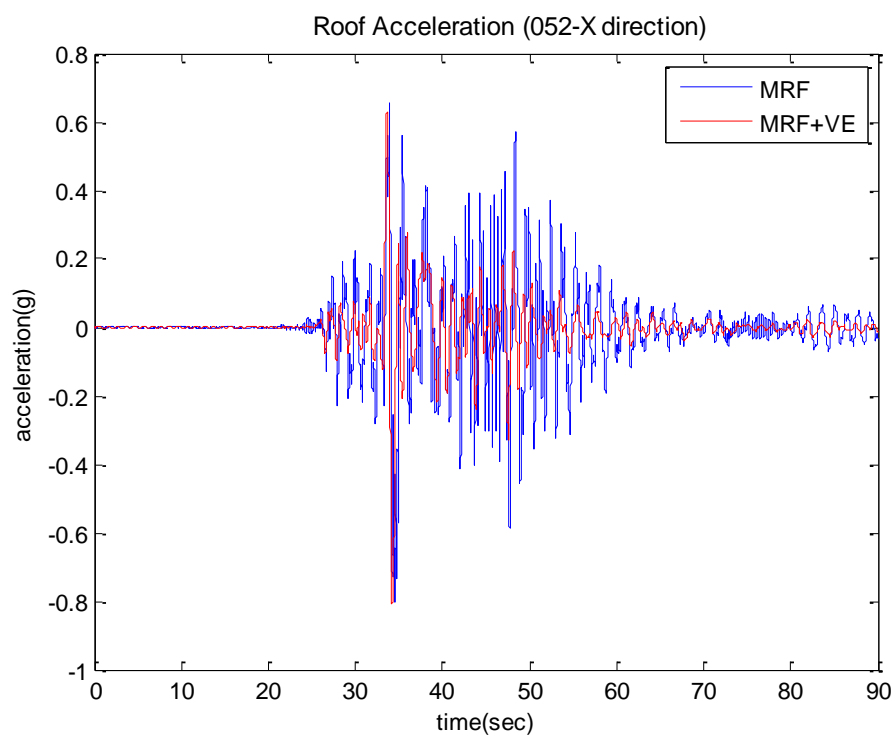
#### (1) 位移

透過位移圖可以看出結構進入非線性後，會有永久位移的產生。加裝黏彈性阻尼器雖能降的位移反應，但能無法避免永久位移。





(2)加速度



### 7.1.3 頂樓最大位移、速度與加速度反應

由下表的 Ratio of Response 可知，加裝黏彈性阻尼器的結構進入非線性行為後，其頂層位移與速度的下降幅度比線性行為的下降幅度小，加速度甚至有放大的現象。

(1)長向

EQ	Bare Frame			Bare Frame + VD			Ratio of Responses		
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
052	0.6067	1.9231	0.8050	0.3155	1.3731	0.8089	52.00	71.40	100.48

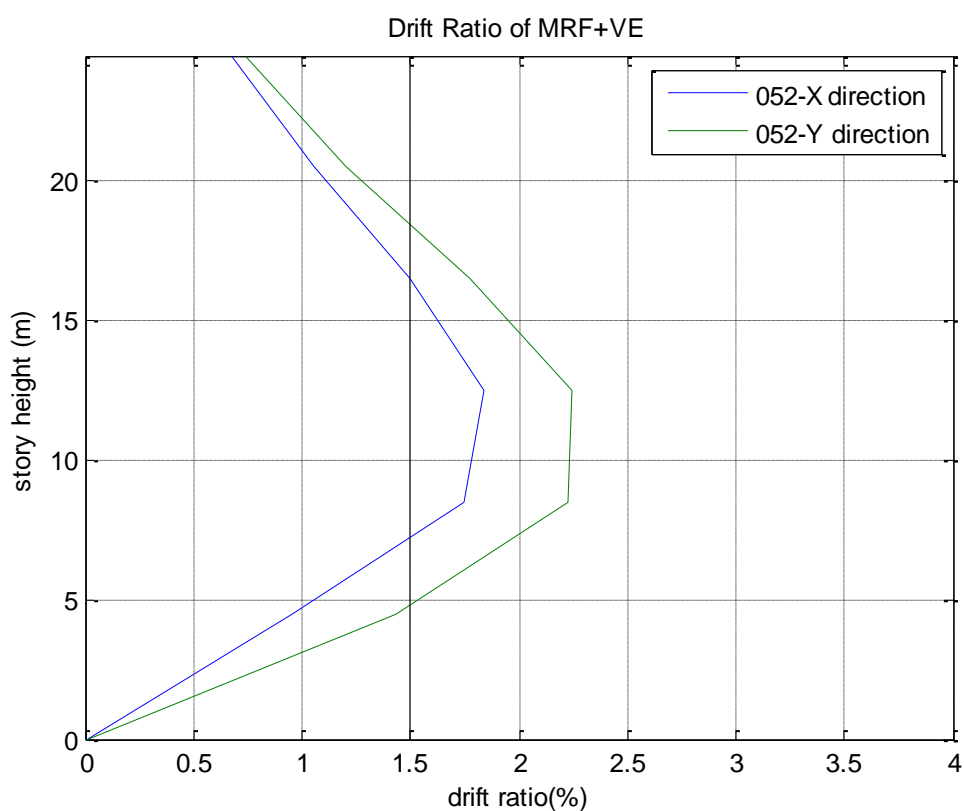
(2)短向

EQ	Bare Frame			Bare Frame + VD			Ratio of Responses		
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
052	0.6786	2.0969	1.0282	0.3900	1.6518	1.0615	57.47	78.77	103.24

### 7.1.4 層間變位角(Drift Ratio)

(1)長向與短向層間變位角

由下圖可看出結構加了黏彈性阻尼器後，雖能降低層間變位角的反應，但在仍超過我們預設的最大值 1.5%。



## (2)三樓層間變位角

由前面的分析知道，最大層間變位角發生在三樓，因此列出裝設阻尼前後的三樓層間變位角做比較。可發現加裝黏彈性阻尼器後，最大層間變位角有明顯的降低。

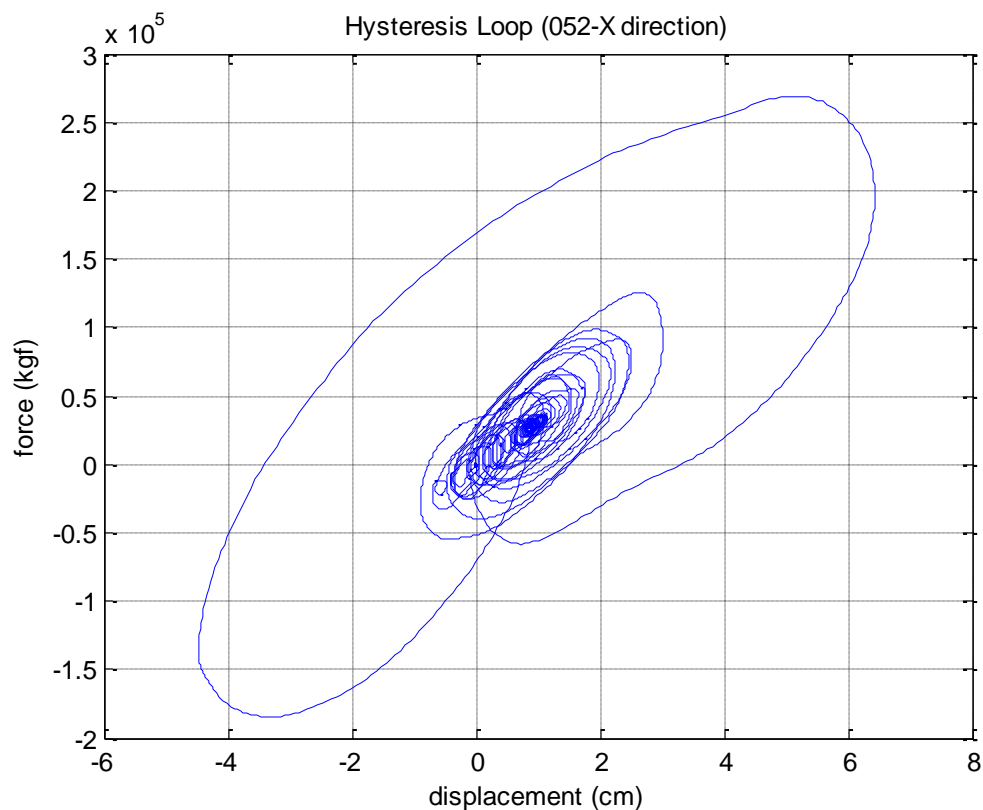
TCU052-X direction		
EQ	Bare Frame	Bare Frame + VD
	Inter story drift (%)	Inter story drift (%)
052	3.48	1.84

TCU052-Y direction		
EQ	Bare Frame	Bare Frame + VD
	Inter story drift (%)	Inter story drift (%)
052	3.98	2.24

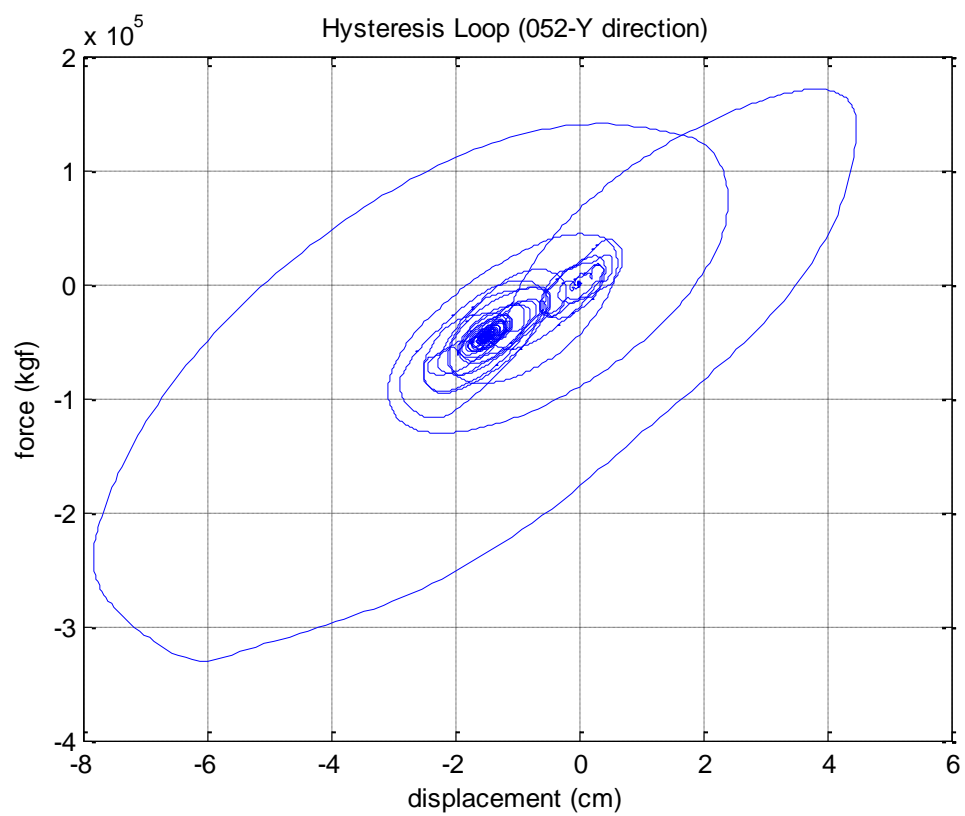
### 7.1.5 阻尼遲滯迴圈

由前面的分析知道，最大層間變位角發生在三樓，因此下列繪製三樓阻尼器的遲滯迴圈圖。

#### (1)長向



(2)短向



(3)最大阻尼力

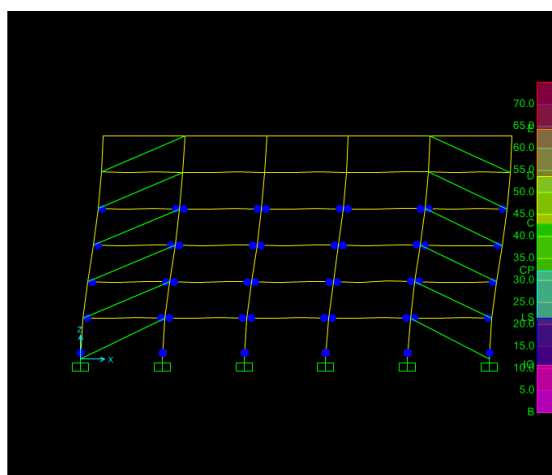
EQ	X-direction (tonf)	Y-direction (tonf)
052	268.9	330.1

## 7.2 線性黏性阻尼分析

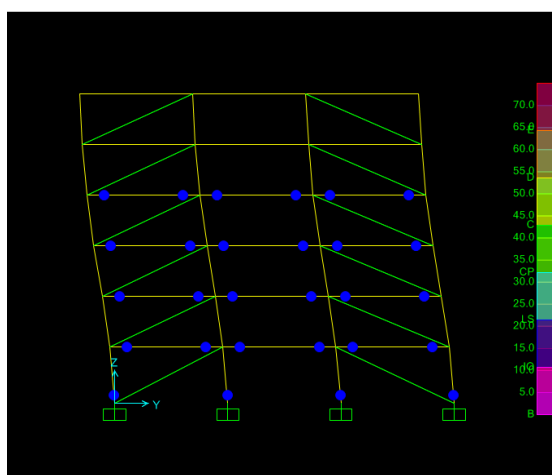
### 7.2.1 塑鉸

加了 VE damper 之構架在受地震力 TCU052 產生之塑鉸如下：

(1)長向



(2)短向

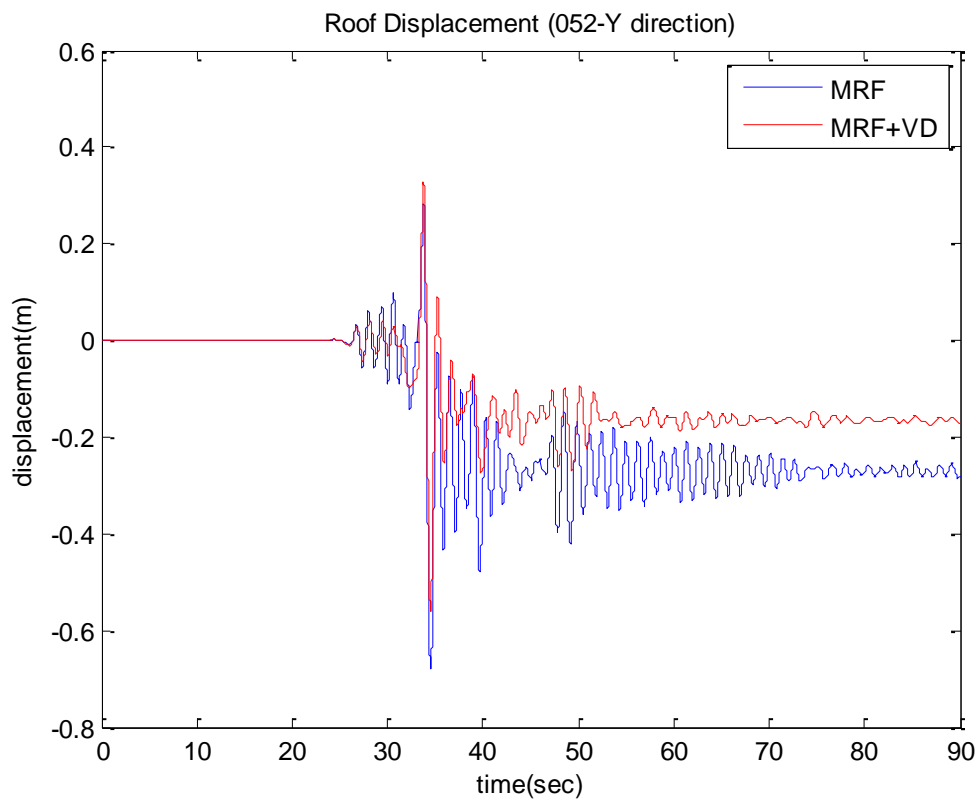
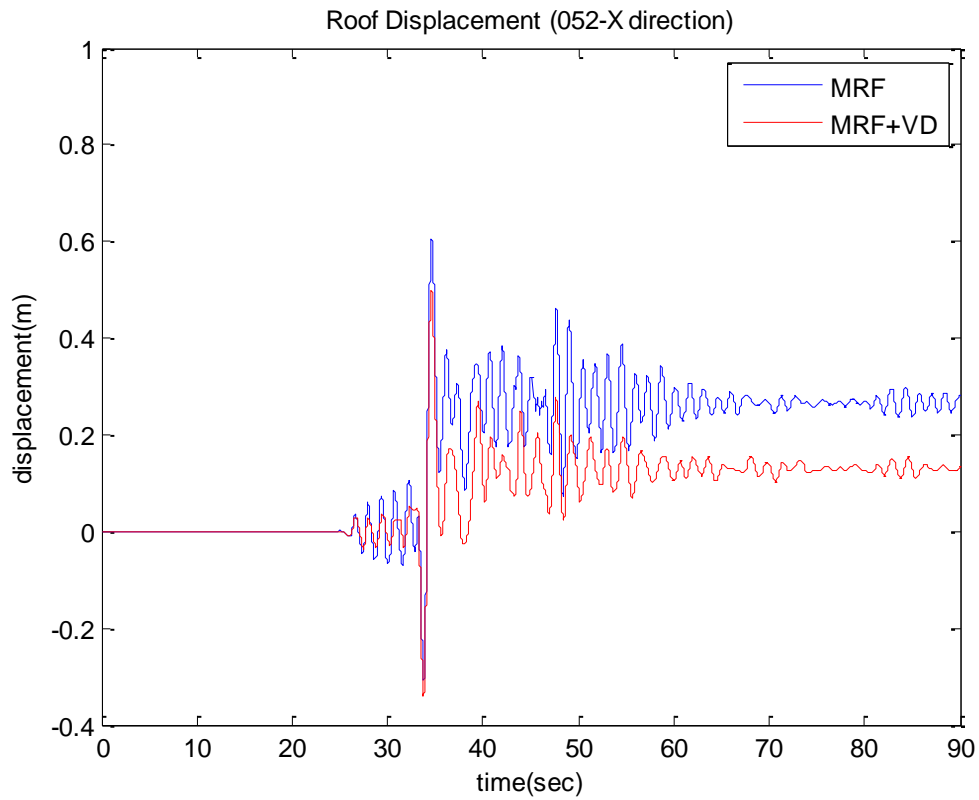


由上面的圖可看出增加阻尼，可控制結構反應（轉角相較於空構架有被控制住）。

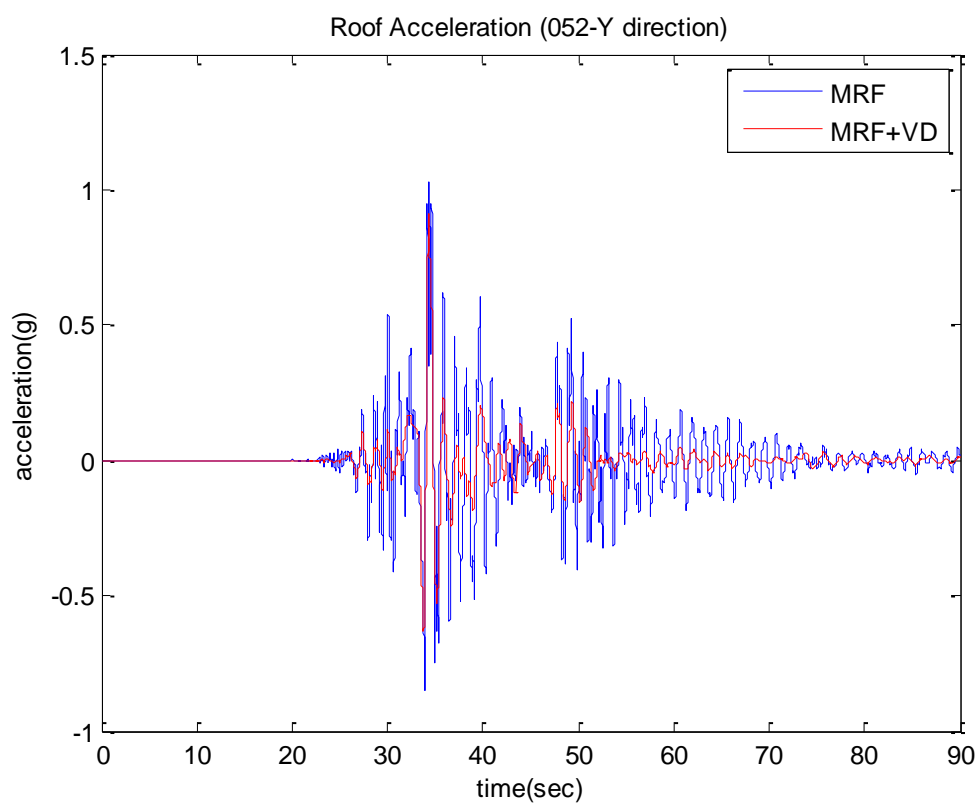
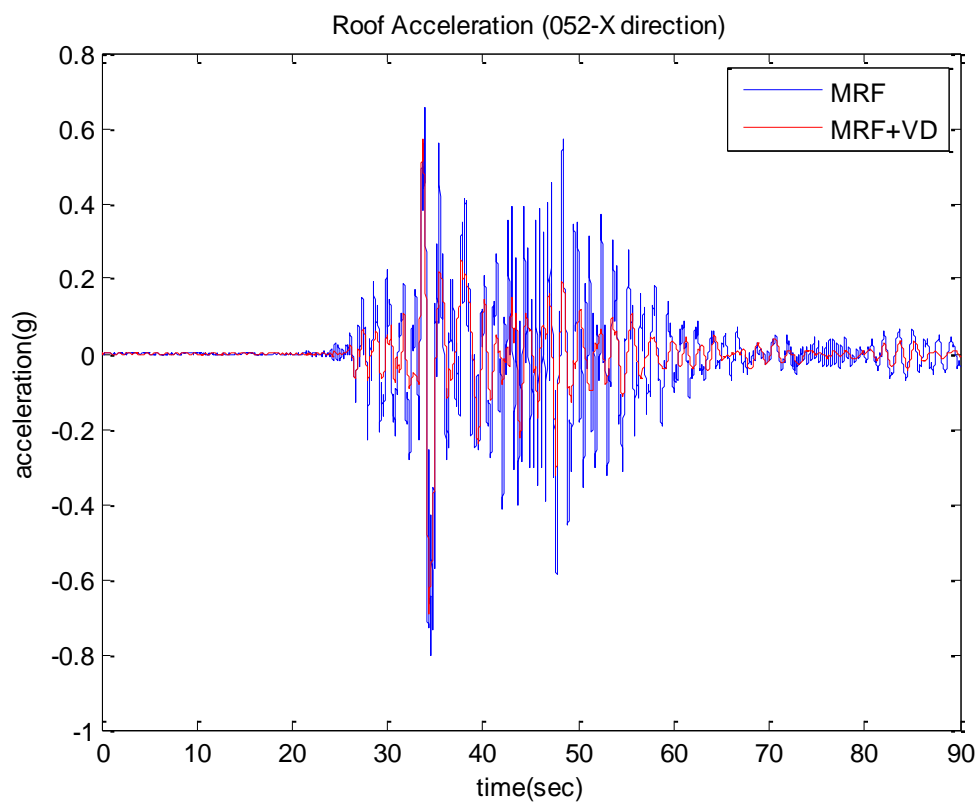
### 7.2.2 頂層時間歷時反應

#### (1) 位移

透過位移圖可以看出結構進入非線性後，會有永久位移的產生。



(2) 加速度



### 7.2.3 頂樓最大位移、速度與加速度反應

由下表的 Ratio of Response 可知，加裝線性黏性阻尼器的結構進入非線性行為後，其頂層位移、速度與加速度的下降幅度比線性行為的下降幅度小。

(1)長向

EQ	Bare Frame			Bare Frame + VD			Ratio of Responses		
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
052	0.6067	1.923	0.8050	0.4994	1.714	0.6928	82.31	77.36	86.06

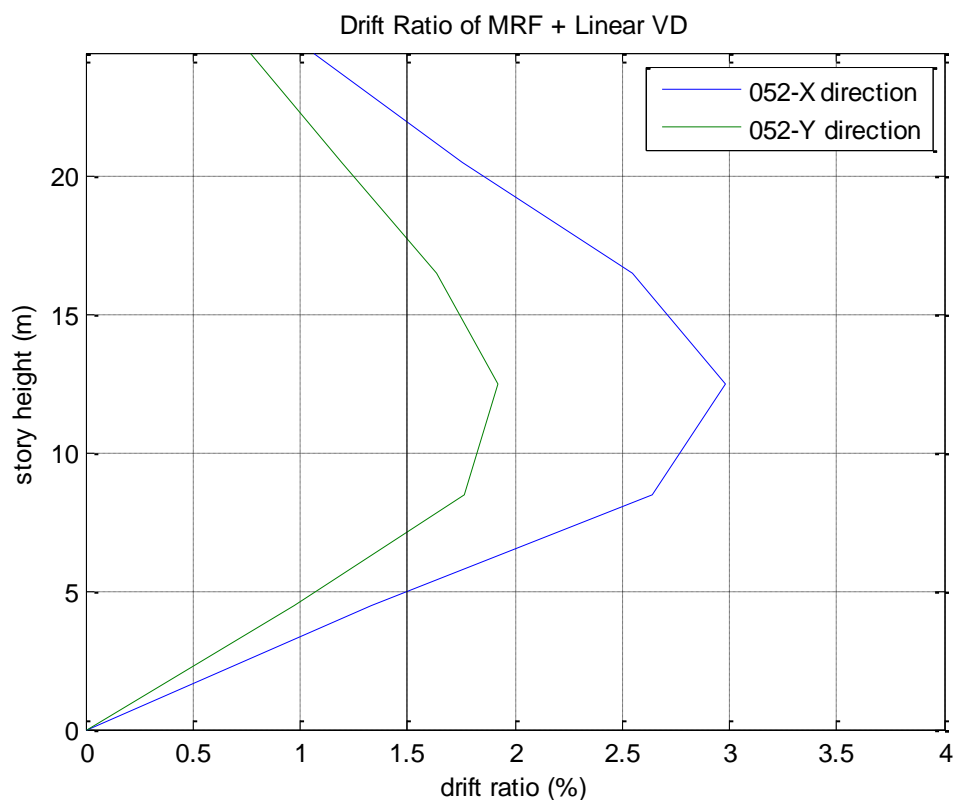
(2)短向

EQ	Bare Frame			Bare Frame + VD			Ratio of Responses		
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
052	0.6786	2.0969	1.0282	0.5594	2.034	0.913	82.40	97.0	88.80

### 7.2.4 層間變位角(Drift Ratio)

(1)長向與短向層間變位角

由下圖可看出加了線性黏性阻尼器的結構有降低層間變位角的反應，但在仍超過我們預設的最大值 1.5%。





## (2)三樓層間變位角

由前面的分析知道，最大層間變位角發生在三樓，因此列出裝設阻尼前後的三樓層間變位角做比較。可發現加裝線性黏性阻尼器後，最大層間變位角有明顯的降低。

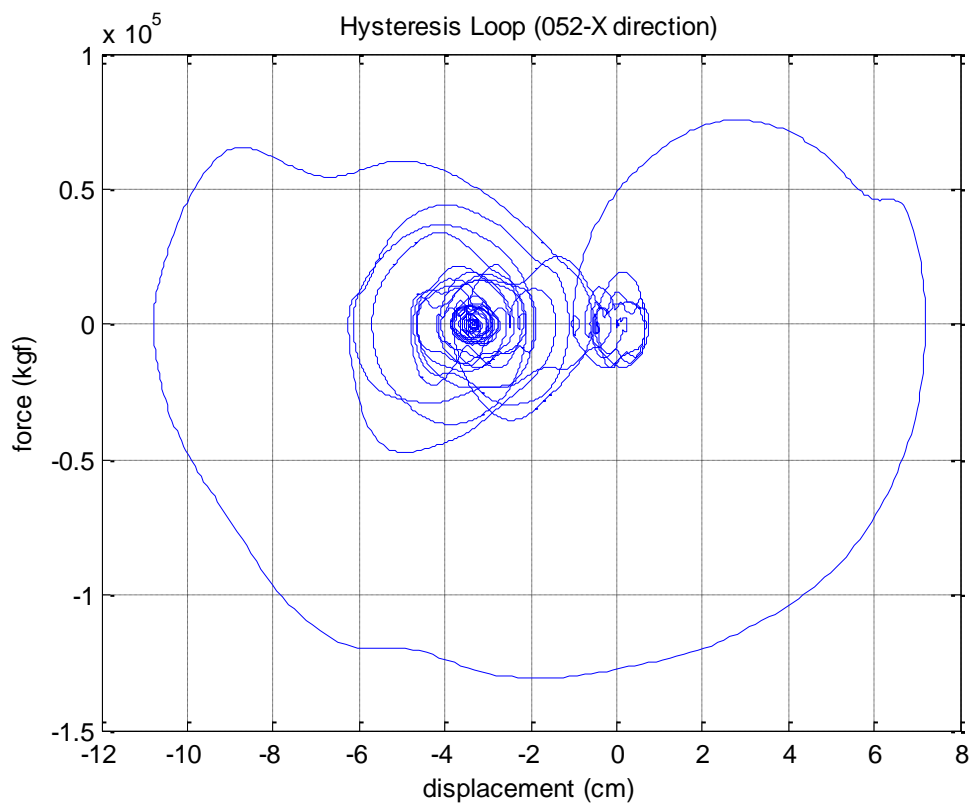
TCU052-X direction		
EQ	Bare Frame	Bare Frame + VD
	Inter story drift (%)	Inter story drift (%)
052	3.48	2.98

TCU052-Y direction		
EQ	Bare Frame	Bare Frame + VD
	Inter story drift (%)	Inter story drift (%)
052	3.98	1.92

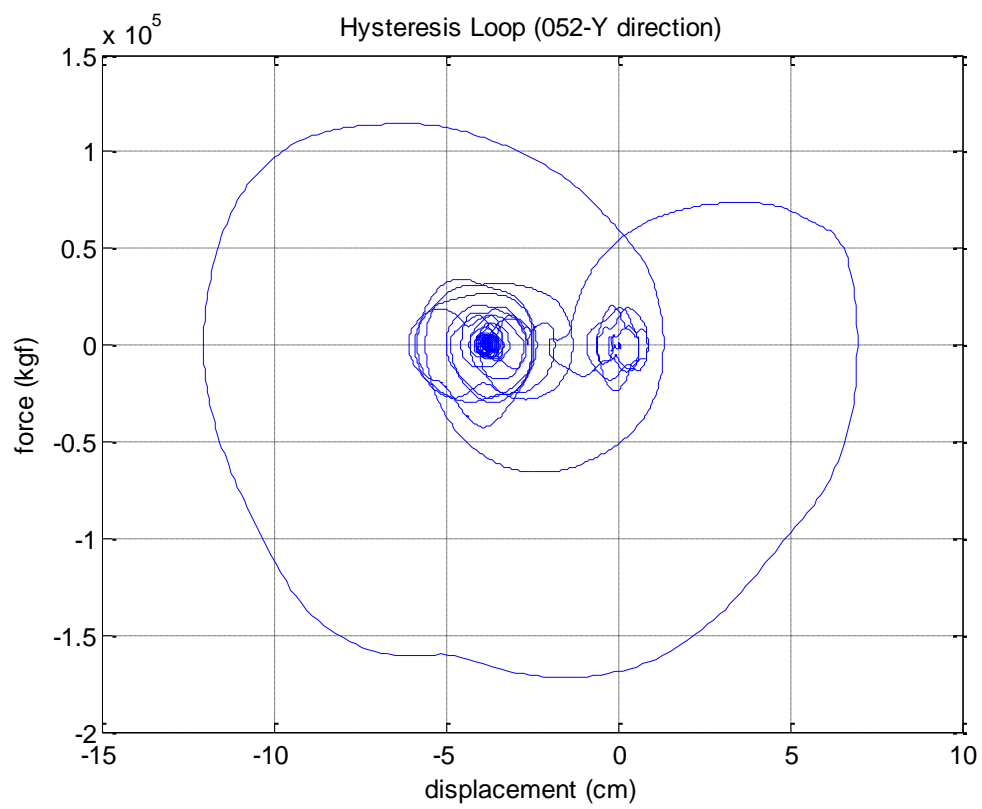
## 7.2.5 阻尼遲滯迴圈

由前面的分析知道，最大層間變位角發生在三樓，因此下列繪製三樓阻尼器的遲滯迴圈圖。

### (1)長向



(2)短向



(3)最大阻尼力

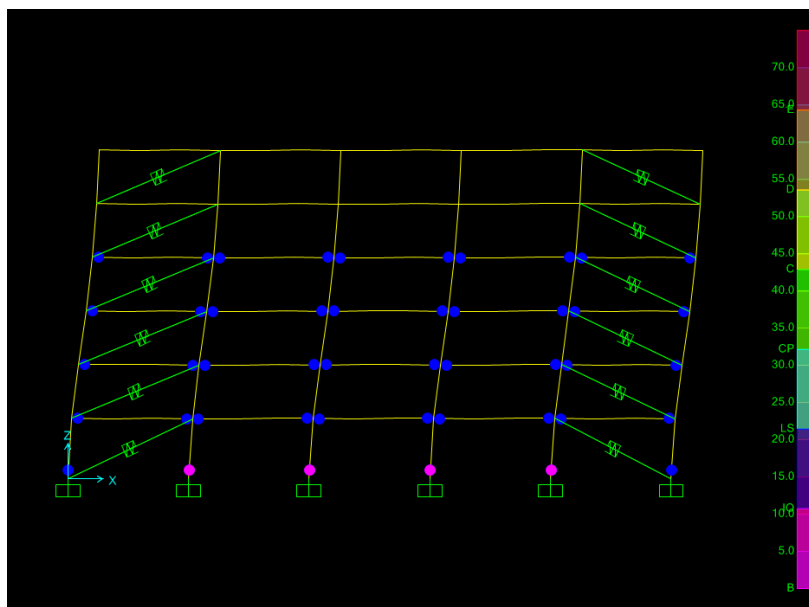
EQ	X-direction (tonf)	Y-direction (tonf)
052	132.0	172.2

## 7.3 非線性黏性阻尼分析

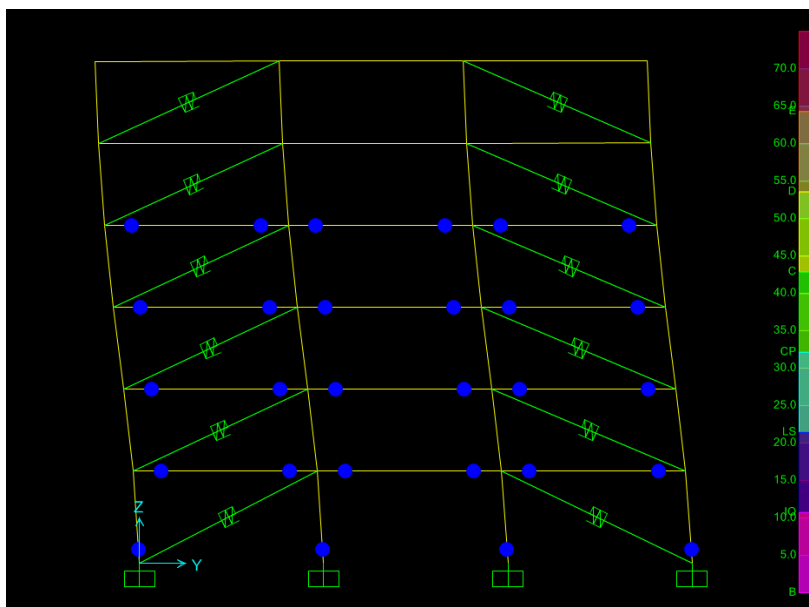
### 7.3.1 塑鉸

加了 VE damper 之構架在受地震力 TCU052 產生之塑鉸如下：

(1)長向



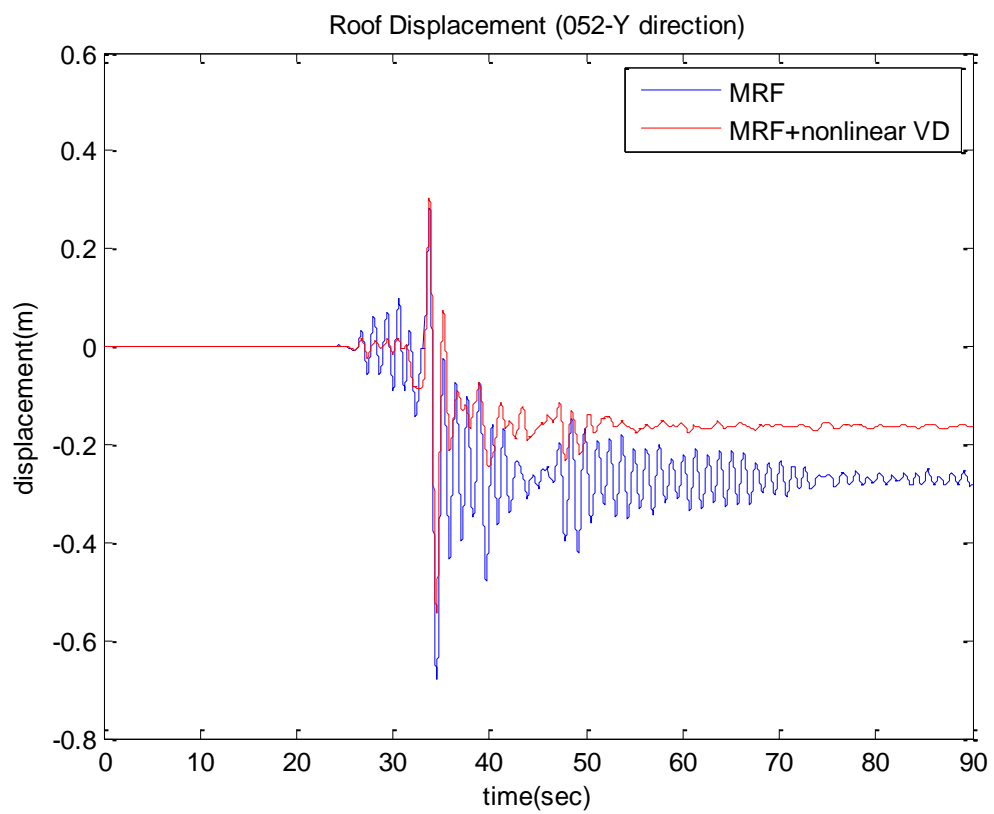
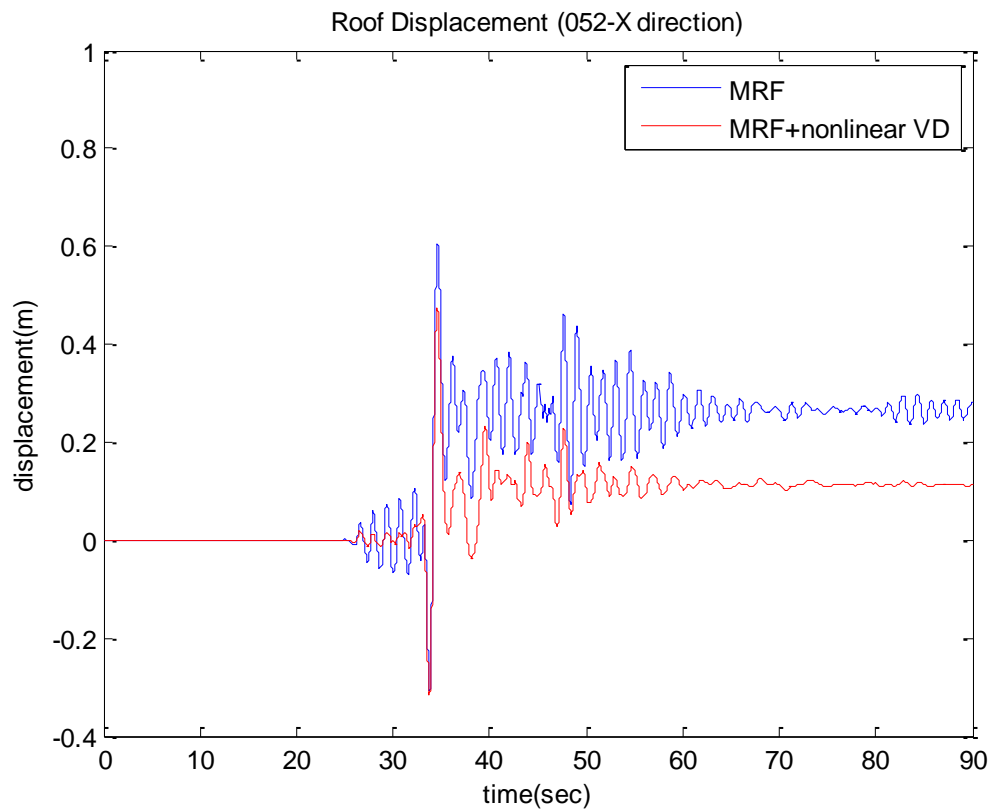
(2)短向



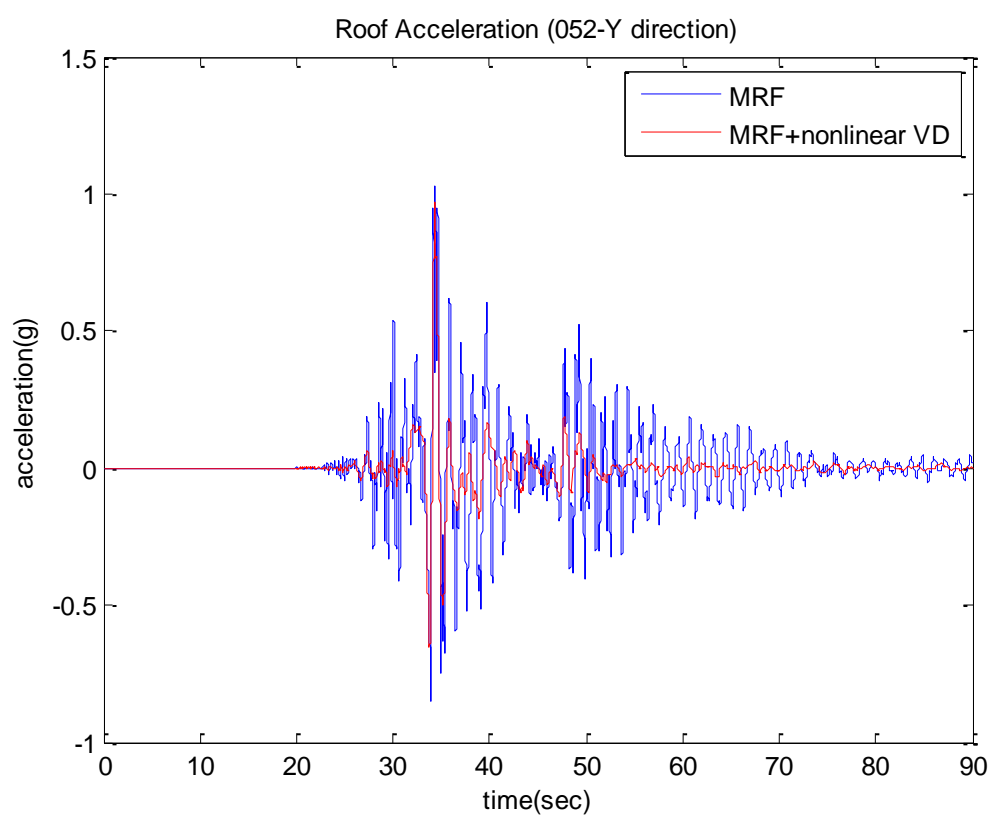
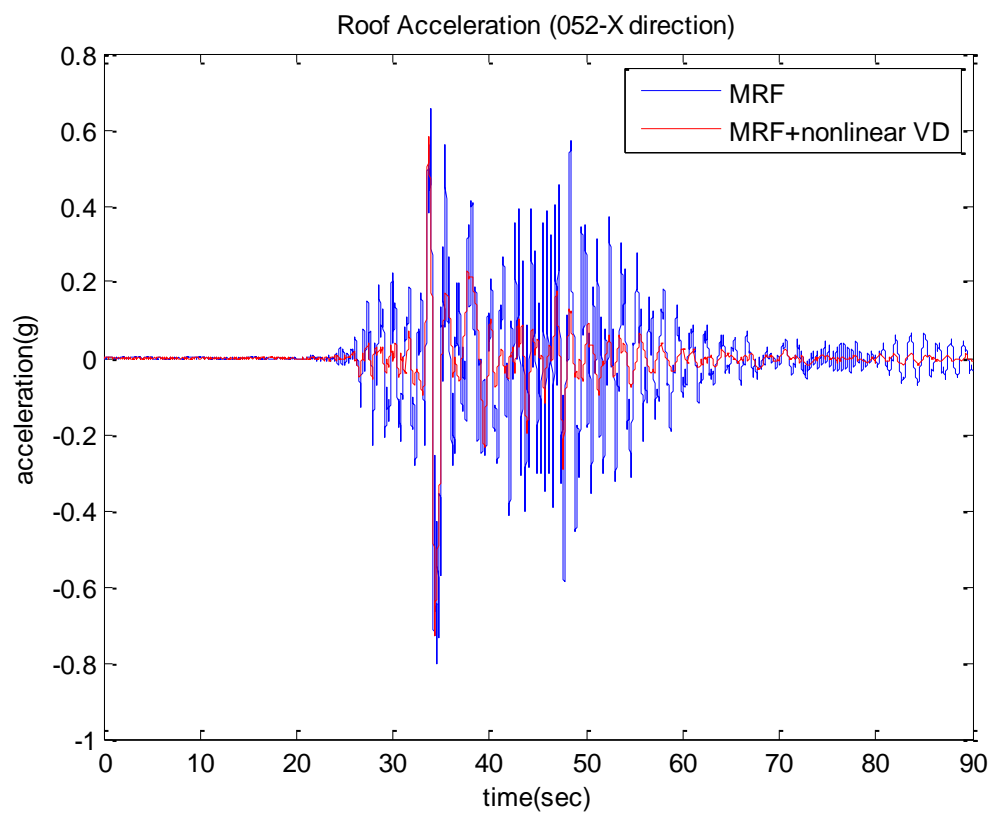
### 7.3.2 頂層時間歷時反應

#### (1) 位移

透過位移圖可以看出結構進入非線性後，會有永久位移的產生。



(2) 加速度



### 7.3.3 頂樓最大位移、速度與加速度反應

由下表的 Ratio of Response 可知，加裝線性黏性阻尼器的結構進入非線性行為後，其頂層位移、速度與加速度的下降幅度比線性行為的下降幅度小。

#### (1) 長向

EQ	Bare Frame			Bare Frame + nonlinear VD			Ratio of Responses		
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
052	0.6067	1.9231	0.8050	0.4748	1.659	0.7284	78.26	86.27	90.48

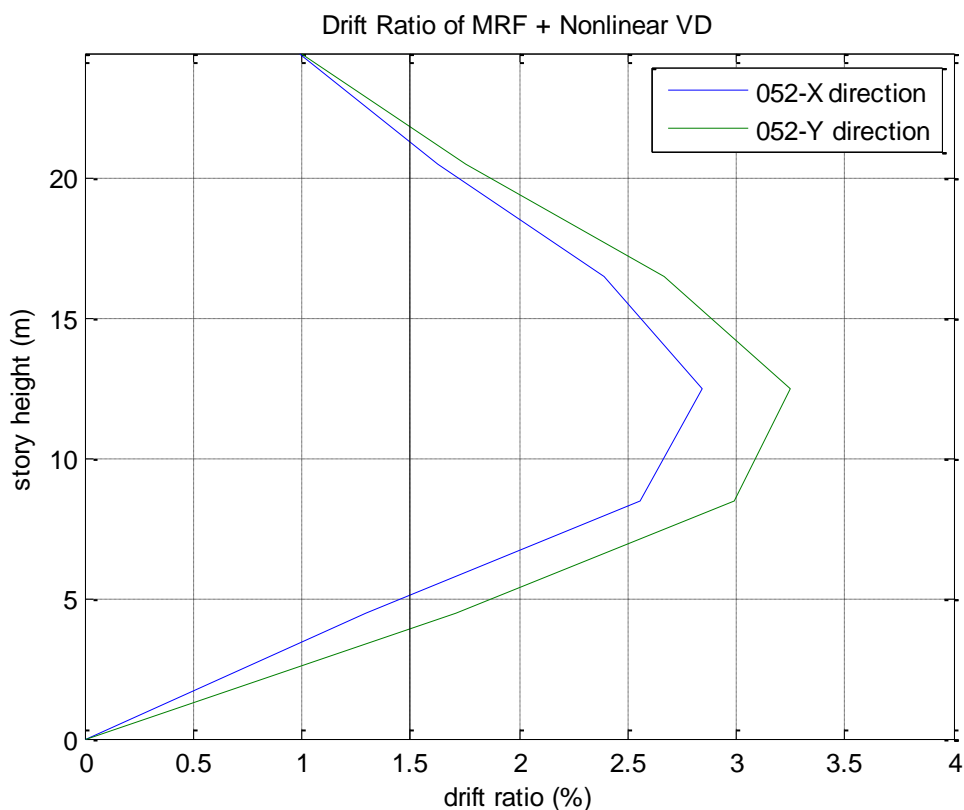
#### (2) 短向

EQ	Bare Frame			Bare Frame + nonlinear VD			Ratio of Responses		
	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. (m)	Vel. (m/s)	Acc. (g)	Dis. Ratio (%)	Vel. Ratio (%)	Acc. Ratio (%)
052	0.6786	2.0969	1.0282	0.5432	1.984	0.9722	80.05	94.62	94.55

### 7.3.4 層間變位角(Drift Ratio)

#### (1) 長向與短向層間變位角

由下圖可看出加了非線性黏性阻尼器的結構有降低層間變位角的反應，但在仍超過我們預設的最大值 1.5%。



## (2)三樓層間變位角

由前面的分析知道，最大層間變位角發生在三樓，因此列出裝設阻尼前後的三樓層間變位角做比較。可發現加裝非線性黏性阻尼器後，最大層間變位角有明顯的降低。

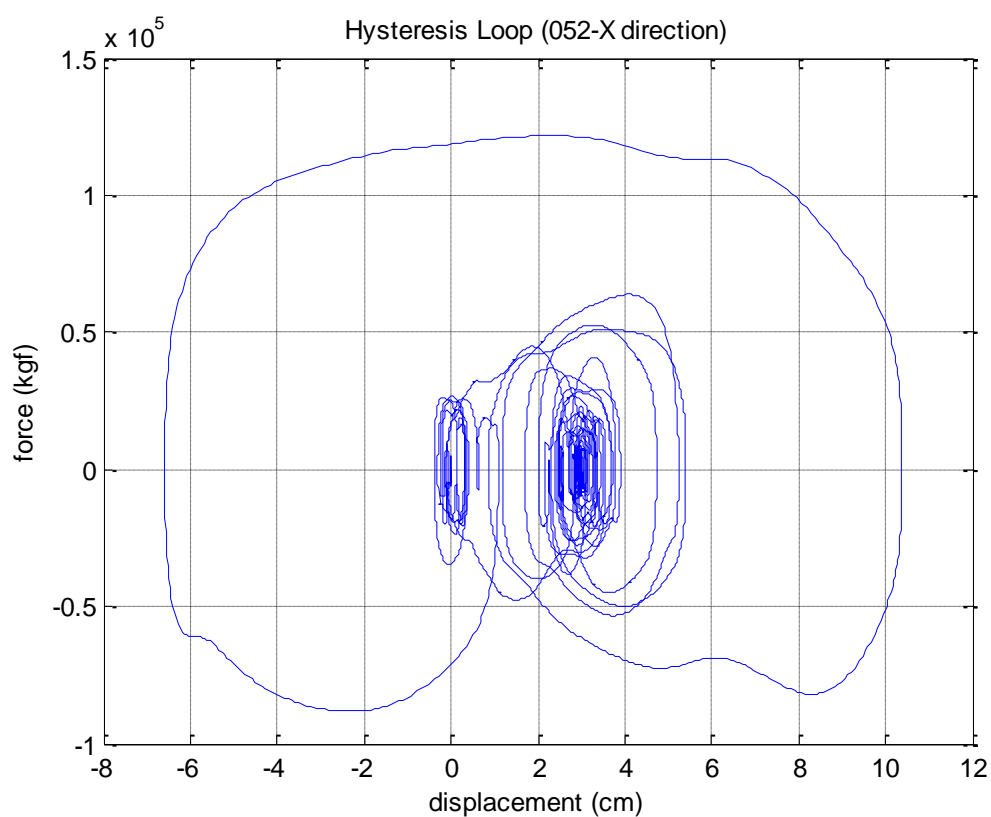
TCU052-X direction		
EQ	Bare Frame	Bare Frame + VD
	Inter story drift (%)	Inter story drift (%)
052	3.48	2.85

TCU052-Y direction		
EQ	Bare Frame	Bare Frame + VD
	Inter story drift (%)	Inter story drift (%)
052	3.98	3.25

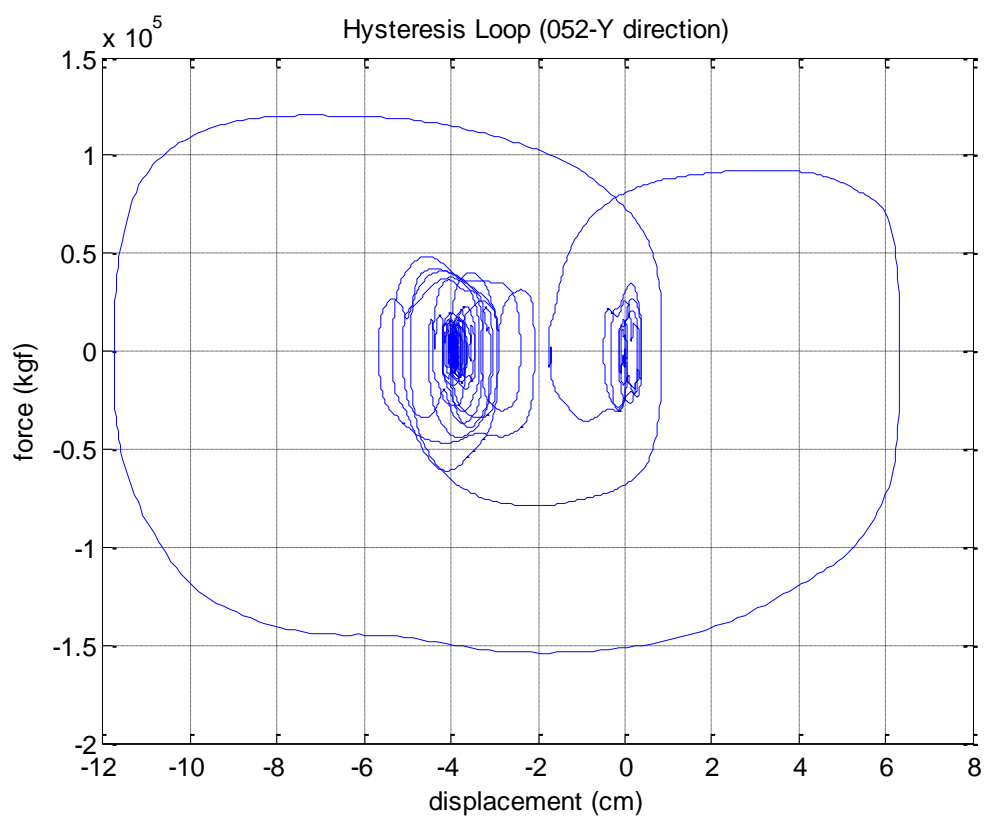
## 7.2.5 阻尼遲滯迴圈

由前面的分析知道，最大層間變位角發生在三樓，因此下列繪製三樓阻尼器的遲滯迴圈圖。

### (1)長向



(2)短向



(3)最大阻尼力

EQ	X-direction (tonf)	Y-direction (tonf)
052	121.7	154.0



## 8. 結果討論與比較

我們將本學期之報告分成四個部份進行討論與比較：空構架分析、反應譜與模態分析、線性分析與非線性分析。其中，線性分析與非線性分析的部分，主要針對加裝了阻尼器之構架與空構架進行比較，以及加裝不同阻尼器之差別。

### 8.1 空構架分析

我們對沒有加斜撐與阻尼器之空構架模型（SAP2000）輸入三筆與規範反應譜相符之地震歷時 TCU072、TCU078 和 TCU109，結果顯示在這三組地震歷時下，長向或是短向之最大層間變位角皆超過要求的 0.015，其中長向在 TCU072 地震下超出最多，短向則是 TCU078，若要達到題目要求的層間變位角，需要裝設阻尼器來補強結構物以達到題目要求。

### 8.2 反應譜與模態分析

首先利用 SAP2000 進行分析找出結構物長、短向模態週期，並以此為基礎來估算阻尼。在此先做出以下的假設：

- (1) 結構物之長、短向行為分別由第一以及第二模態主控，在歷時中保持彈性，故模態週期不會改變。
- (2) 將結構物視為單自由度系統。
- (3) 結構物在添加額外阻尼時，其週期不會改變。

因假設結構為單自由度系統，且由第三節的頂層最大位移反應比較表可看出，TCU072地震相較於其他兩個地震，對於長向造成的反應最大，所以取TCU072地震為主控地震。且由空構架分析結果可看出，結構物在TCU072長向的層間變位角為三組地震中的最大值(2.85%)。

由以上的基礎，我們可以建立 TCU072 的彈性位移譜。由第一模態週期 1.38sec(長向)對應到 2% 阻尼比，求得位移為 0.38m。空構架最大層間變位角 2.85%，必須增添阻尼使其變位角控制在目標 1.5% 之內，因此將所對應的最大位移 0.38m 折減  $2.85/1.5$  後，得到目標最大位移為 0.2m，再藉由第一模態週期 1.38sec 對應到所需的阻尼比約為 12%。

此方法只針對單一地震的長向反應，因此在添加阻尼之後，必須檢核主控地震的短向及其他地震下長、短向的反應。

### 8.3 線性分析

#### 8.3.1 黏彈性阻尼器：

- (1) 我們利用阻尼比與結構頻率之關係式求得加裝阻尼器後結構對應之頻率，接著利用試誤法找到黏彈性阻尼器的勁度 K 值，再搭配型號 130 的圖表和溫度 30°C 可以找出適當的 C 值並設計出面積厚度比。
- (2) 加裝了黏彈性阻尼器的結構，長、短向層間變位角在 TCU072、TCU078 和 TCU109 地震中皆在 0.015 以下，透過圖表我們亦可觀察到位移與加速度都有明顯地下降，頂層位移及頂層加速度的部份下降約 35~45% 左右。
- (3) 從黏彈性阻尼器之遲滯迴圈中，我們可明顯看出其為傾斜的橢圓形，主要是因為黏彈性阻尼器具有勁度，遲滯迴圈會傾斜而黏彈剪力與剪應變的關係為一橢圓方程式。

(4) 藉由能量反應圖可看出，大部分的能量是藉由阻尼器來消散。

### 8.3.2 線性黏性阻尼：

- (1) 利用與黏彈性阻尼相同之阻尼比設計阻尼參數  $C$ ，在模擬黏性阻尼器時不需額外再加入勁度，因此對於結構物的振動週期並沒有影響。但在工程實例中，通常會加裝斜撐來擺放阻尼器，而這些斜撐仍會提供結構物些許的勁度，因此在工程實務上仍須考慮加入斜撐對於結構物的影響。
- (2) 結構物加裝線性黏性阻尼器後，長、短向層間變位角在 TCU072、TCU078 和 TCU109 地震中皆在 0.015 以下。
- (3) 而從阻尼器的遲滯迴圈圖來觀察，雖然有些紊亂但仍可以看出其圖型是比較接近圓形的。從能量反應圖來觀察，可以看到地震輸入結構物的能量大多都由阻尼器來消散的。

### 8.3.3 非線性黏性阻尼：

- (1) 其設計流程與特性與線性黏性阻尼器類似，但是與線性黏性阻尼器的不同在於需要考慮頂層最大位移量，且力量與速度並非呈現性關係。
- (2) 結構物在加裝非線性黏性阻尼器後，得到的結果與線性黏性阻尼很相像，但層間變位角較線性黏性阻尼器小。
- (3) 而從阻尼器的遲滯迴圈圖型來觀察，雖然有些紊亂但仍可以看出其圖型有呈現接近矩形的樣子。從能量反應圖來觀察，可以看到地震輸入結構物的能量大多都試由阻尼器來消散的。

## 8.4 非線性分析

### 8.4.1 空構架分析：

我們在模型中給定塑鉸性質以模擬結構物可能產生的塑鉸，再輸入 TCU052 這組真實的大地震進行非線性分析，由結構所產生的塑鉸可得知結構進入非線性，透過分析完成後的結果可看出再柱底以及某些梁的兩端產生塑鉸，而藉由增加阻尼器於結構物中可降低塑鉸產生的數量以及其大小。

### 8.4.2 黏彈性阻尼器：

- (1) 加裝黏彈性阻尼器的結構進行非線性分析後，與空構架反應相比，折減位移和速度的效果不如預期，加速度則幾乎沒有被折減，顯示在 TCU052 這筆大地震下，加裝黏彈性阻尼器的效益並不大。
- (2) 從位移的歷時圖可看出線性分析和非線性分析最大的不同在於非線性分析中桿件會降伏，進而產生永久位移，而透過阻尼器的安裝能稍微降低永久位移的大小，但位移仍不會回到原點。
- (3) 比較空構架和加裝黏彈性阻尼器分析後所產生的塑鉸圖可看出，加裝阻尼器之結構所產生的塑鉸數量較少，大小也相對較小。
- (4) 儘管遲滯迴圈仍為傾斜的橢圓形，但 TCU052 這筆地震會有突然極大的加速度產生（亦即瞬間輸入極大的力），進而產生較大的迴圈，也因為永久變形的產生，使得遲滯迴圈最後無法回到原點。

### 8.4.3 線性黏性阻尼：

- (1) 在 TCU052 地震反應下，可以看到加裝線性黏性阻尼器的結構物與空構架反應相比，對於位移與加速度上的折減效益並不明顯。
- (2) 而從其位移反應圖來觀察，可以看出在 TCU052 地震反應下結構物進入非線性下，造成部份桿件降伏，進而產生永久的位移。但與空構架相比，加裝了線性黏性阻尼器的結構物，能夠將永久位移量降低許多。

(3) 從層間變位角上的反應來看，不管是在長向或是短向上，在中間樓層的層間變位角超過題目所要求的 0.015，但是在初始設計是根據符合規範之地震，因此遇到如 TCU052 這類的大地震，超過標準算是必然的結果。

(4) 從遲滯迴圈圖來觀看，在圖型中間的部分仍接近圓形，但會因為 TCU052 出現一極大的加速度，產生較大的迴圈，使遲滯迴圈的位移量無法回歸原點。

#### 8.4.4 非線性黏性阻尼：

(1) 其位移反應、層間變位角與永久的位移量這些性質與線性黏性阻尼非常相似。

(2) 從遲滯迴圈圖來觀看，在圖型中間的部分仍接近矩形，符合非線性黏性阻尼的特性。

### 8.5 不同阻尼器比較

#### (1) 黏彈性阻尼器與黏性阻尼器的比較

加裝黏彈性阻尼器會對於結構物的週期產生改變，而黏性阻尼器沒有提供勁度且不影響週期，設計也較簡單。

因黏彈性阻尼器提供勁度，因此在遲滯迴圈上的圖型有傾斜的現象。而黏性阻尼器不提供勁度，其遲滯迴圈呈現水平。

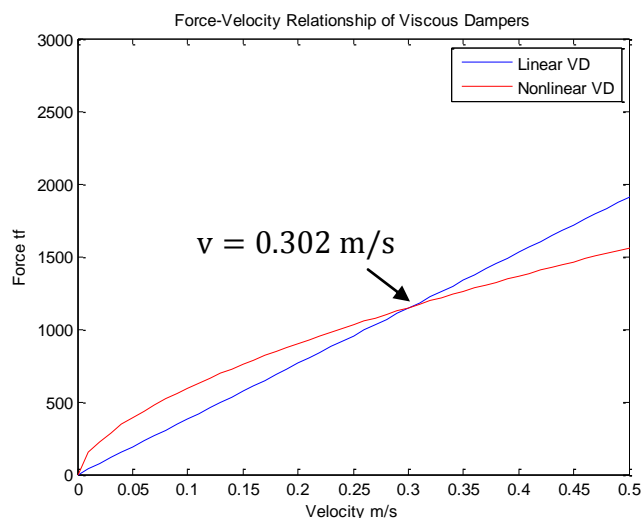
在 TCU052 地震反應下，黏彈性阻尼器與黏性阻尼器在受到脈衝形的加速度後，兩者間的最大差別在於黏性阻尼器有產生出永久的位移量，從遲滯迴圈上可以觀察到有兩種迴圈分別在左右兩邊，這是產生出永久位移量的現象。而黏彈性阻尼器較不明顯，但仔細觀察仍可發現到有兩種迴圈。

在頂層位移反應下的比較，可以看到黏彈性阻尼器折減的比力與黏性阻尼去相比是有較好的結果，但是在於加速度反應折減上並沒有黏性阻尼器要來得有效。

#### (2) 線性黏性阻尼器與非線性黏性阻尼器的比較

由設計公式可以看出，兩者在設計阻尼參數最大的不同點在於，線性黏性阻尼器不需要考慮頂層的最大位移量，而非線性黏性阻尼器則需要。

從阻尼輸出力量與速度關係來看這關係也可以由下圖觀察。在速度反應較低的地震下，可以看到在加裝非線性黏性阻尼器的輸出力量是明顯的比線性阻尼器要來得大。而在速度反應較高的地震下，則是以線性阻尼器輸出的力量較大。



### (3)線性分析與非線性分析的比較

在線性分析中，從層間變位角上來看，都符合題目之要求且不會太過於保守，在阻尼器的設計上算有不錯的成果。而在非線性分析上會超過預期的標準，可以藉由多加阻尼或是其他補牆方式來達到要求。

在非線性分析進入塑性時，部份桿件會有降伏的現象並產生塑鉸，這時地震力輸入的能量則由桿件降伏來消散能量。

在線性分析上，最後結構物都會回到原位。但在非線性分析上結構物會因為桿件降伏產生出永久的位移量，且位移不會再回到原點。

由於非線性分析產生的永久位移量，造成在阻尼器的遲滯迴圈上產生兩種遲滯迴圈，但其遲滯迴圈的圖形也是會符合阻尼器的特性。在線性分析上阻尼器的遲滯迴圈只會有單一種的圖形。