

midas Civil



橋梁隔震非線性動力歷時分析 LRB-Nonlinear

台灣邁達斯 技術部製作 www.midasuser.com.tw

橋梁隔震非線性動力歷時分析

本示範例著重於執行非線性邊界歷時分析的指令介紹，因此將省略建模的過程，直接開啟已完成的分析模型檔進行後續操作。

使用MIDAS/Civil進行非線性邊界歷時分析的程序如下：

1. 定義 Nonlinear Links 隔震單元特性值
2. 模型中建立 Nonlinear Links 隔震單元
3. 輸入Time History Analysis 歷時分析條件
4. 執行非線性動力歷時分析
5. 檢視歷時分析結果

Note: 參閱MIDAS/Civil分析手冊查看更多有關 LRB 的設定說明。

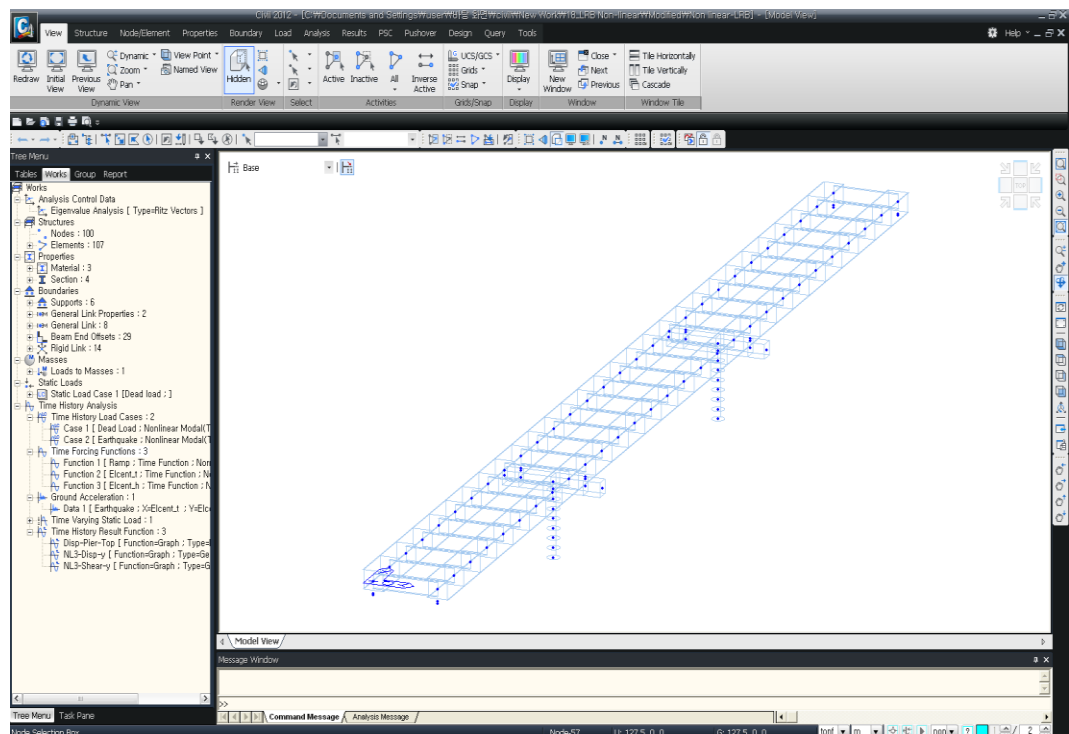


圖 1. 3-D 橋梁分析模型

橋梁配置

跨 徑：45 m + 50 m + 45 m = 140 m
橋 寬：11.4 m
主梁形式：鋼構箱型梁
車 道 數：3 車道

LRB隔震單元橋梁的非線性分析

建立模型

開啟新檔案 ( *New Project*) 並將其儲存 ( *Save*)，檔名設定為 ‘Non linear-LRB’。

指定單位系統 ‘tonf’ 與 ‘m’。單位系統可於操作過程中隨著輸入資料的需求進行變更。

 /  *New Project*
 /  *Save (Non linear-LRB)*

Tools / *Unit System*
Length> m ; Force>tonf ↵

匯入模型資訊

本例題，我們將直接匯入MCT資訊檔 (Structural Model.mct) 的方式建立分析模型。該資訊檔內已完成幾何、材料與斷面等模型資料。

 / Import / *MIDAS/Civil MCT File*
Open > Structural Model.mct ↵

定義非線性連桿單元

Nonlinear Link (LRB) 非線性連桿特性值

Abutment 橋台 (LRB-A)

	Vertical (垂直向)	Longitudinal (縱向)	Transverse (橫向)
Direction	Dz	Dx	Dy
Nonlinear	No	Yes	Yes
Linear Properties			
Effective Stiffness	479100(design)	336.1(iteration)	336.1(iteration)
Effective Damping	0	0	0
Nonlinear Properties			
Stiffness	-	1099	1099
Yield Strength	-	15.69	15.69
Post yield Stiffness ratio	-	0.08917	0.08917

Pier 墩柱(LRB-P)

	Vertical (垂直向)	Longitudinal (縱向)	Transverse (橫向)
Direction	Dz	Dx	Dy
Nonlinear	No	Yes	Yes
Linear Properties			
Effective Stiffness	1289000(design)	702.2(iteration)	702.2(iteration)
Effective Damping	0	0	0
Nonlinear Properties			
Stiffness	-	2204	2204
Yield Strength	-	33.63	33.63
Post yield Stiffness ratio	-	0.0862	0.0862

輸入非線性連桿 (LRB) 特性值

輸入鉛心橡膠隔震支承元件 (Lead Rubber Bearing isolators) 的特性值：

Boundary >  General Link >  **General Link Properties**

Define General Link Properties > 

Name (**LRB-A**) ; Application type > **Force**;

Property Type > **Lead Rubber Bearing Isolator**

Self Weight > Total Weight : (**0**)

Linear Properties

DOF > **Dx, Dy, Dz** (on) ; Effective Stiffness (**479100**), (**336.1**), (**336.1**)

Nonlinear Properties

DOF > **Dy** (on) ; 

Stiffness (k) : (**1099**)

Yield Strength : (**15.69**)

Post Yield Stiffness Ratio(r) : (**0.08917**)

Hysteretic Loop Parameter (α) : (**0.5**)

Hysteretic Loop Parameter (β) : (**0.5**) ↵

DOF > **Dz** (on) ;  (同 **Dy** 步驟輸入數值)

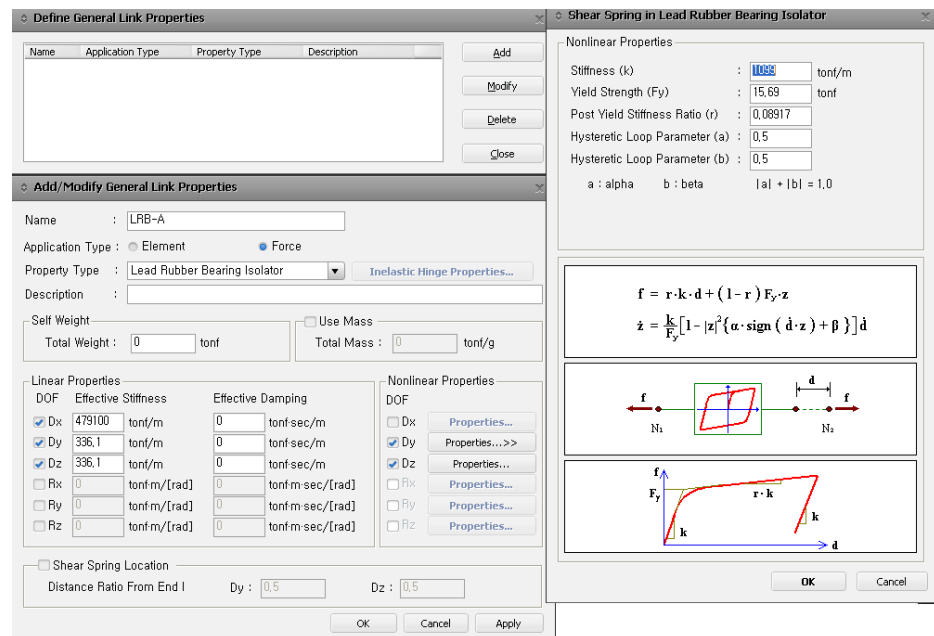


圖 2. 輸入橋台的LRB-A 特性值

輸入墩柱的LRB元件特性值：

Boundary >  General Link >  **General Link Properties**

Define General Link Properties > 

Name (**LRB-P**) ; Application type > **Force**;

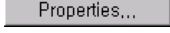
Property Type > **Lead Rubber Bearing Isolator**

Self Weight > Total Weight : (**0**)

Linear Properties

DOF > **Dx, Dy, Dz** (on) ; Effective Stiffness (**1289000**), (**702.2**), (**702.2**)

Nonlinear Properties

DOF > **Dy** (on) ; 

Stiffness (k) : (**2204**)

Yield Strength : (**33.63**)

Post Yield Stiffness Ratio(r) : (**0.0862**)

Hysteretic Loop Parameter (α) : (**0.5**)

Hysteretic Loop Parameter (β) : (**0.5**) ↴

DOF > **Dz** (on) ;  (同 **Dy** 步驟輸入數值)

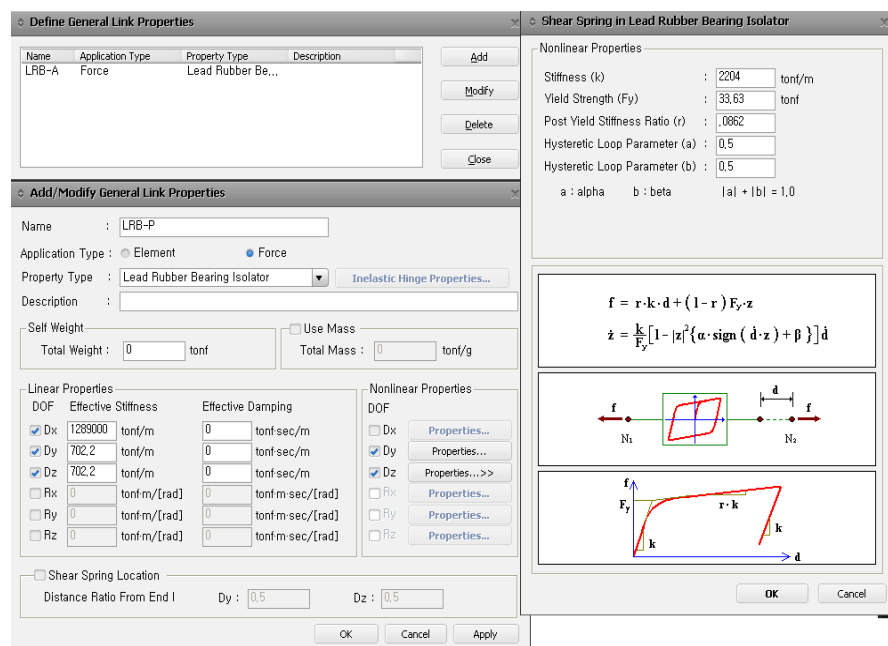


圖 3. 輸入墩柱的LRB-P 特性值

建立非線性連桿 (LRB)

建立支承處的非線性連桿 Nonlinear Link (LRB) 單元。

本例題共有8處要設置LRB元件，以下按順序建立左側橋台、左側墩柱、右側墩柱、右側橋台的非線性連桿單元。

建立左側橋台的非線性連桿單元：

Boundary /  **General Link**

General Link Property > **LRB-A**

 **Zoom Window** (放大視窗以便建立左側橋台LRB-A的非線性連桿)

2 Nodes (**93, 95**)

2 Nodes (**94, 96**)

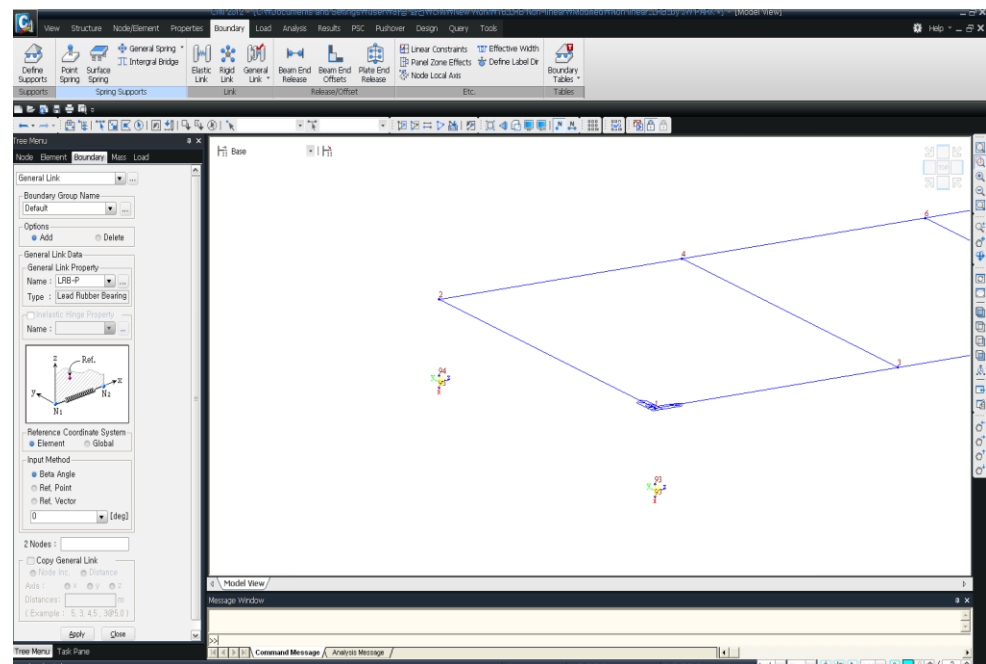


圖 4. 建立左側橋台LRB非線性連桿

建立左側墩柱的非線性連桿單元：

Boundary /  **General Link**

General Link Property>**LRB-P**

 **Zoom Window** (放大視窗以便建立左側墩柱LRB-P的非線性連桿)

2 Nodes (**59, 63**)

2 Nodes (**60, 64**)

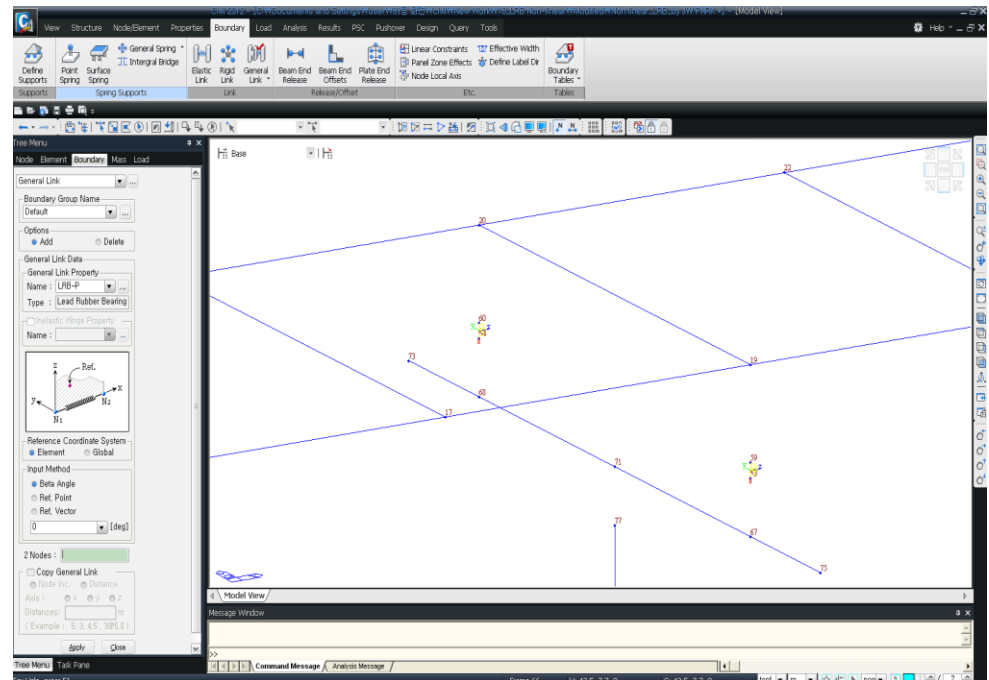


圖 5. 建立左側墩柱LRB非線性連桿

建立右側墩柱的非線性連桿單元：

Boundary /  **General Link**

General Link Property > **LRB-P**

 **Zoom Window** (放大視窗以便建立右側墩柱LRB-P的非線性連桿)

2 Nodes (**61, 65**)

2 Nodes (**62, 66**)

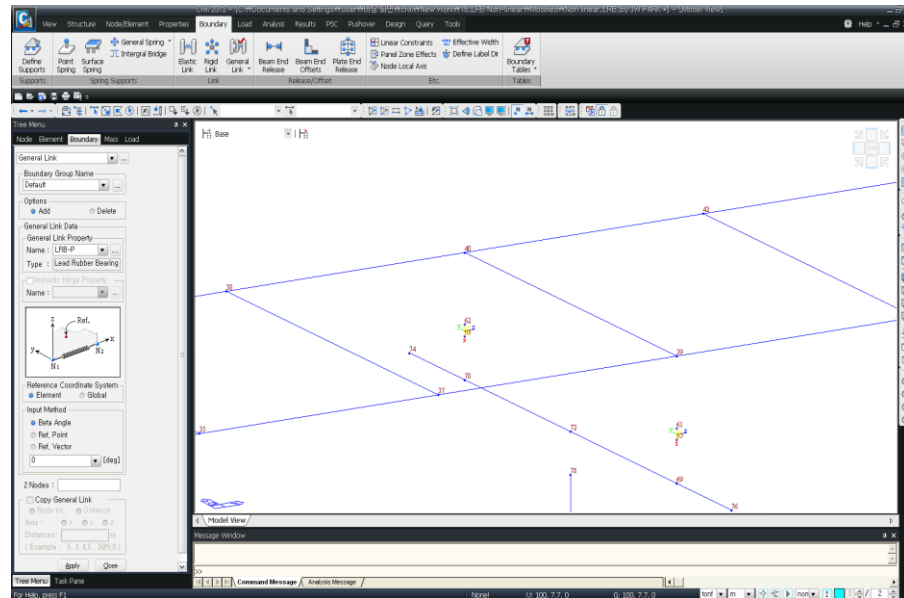


圖 6. 建立右側墩柱LRB非線性連桿

建立右側橋台的非線性連桿單元：

Boundary /  **General Link**

General Link Property > **LRB-A**

 **Zoom Window** (放大視窗以便建立右側橋台LRB-A的非線性連桿)

2 Nodes (97, 99)

2 Nodes (98, 100)

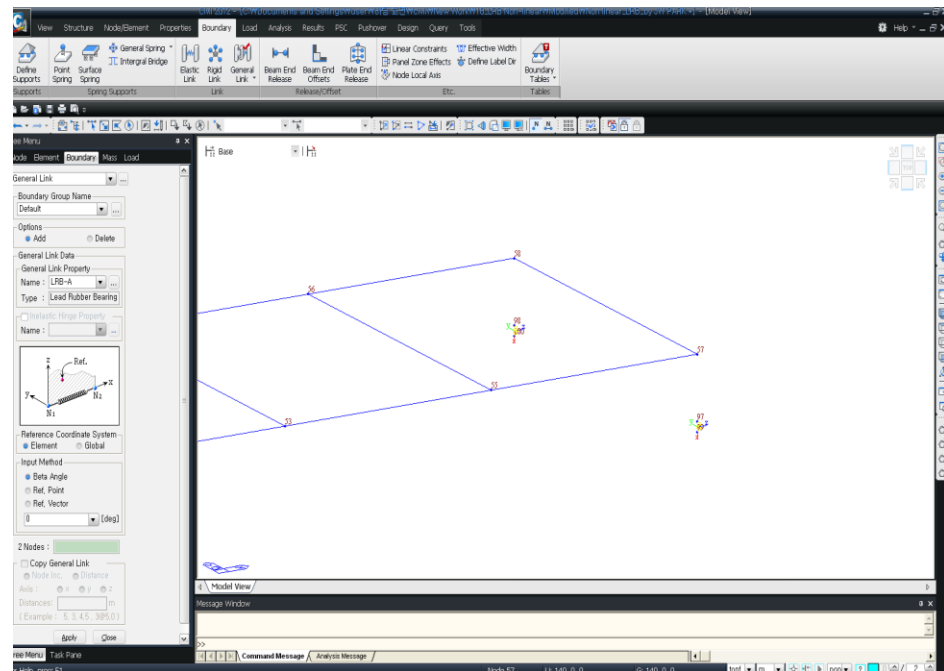


圖 7. 建立右側橋台LRB非線性連桿

輸入質量

程式中可定義 Structure Mass、Nodal Mass、Load to Mass 等三種類型的質量數據資訊，各類型質量數據的輸入與應用可參閱on-line線上說明手冊。

當執行模型中具有非線性連桿單元（Nonlinear Link）的動力歷時分析時，應將質量分配給非線性連桿單元連接的所有節點。本示範例中，將設定指派“Structure Mass”及“Load to Mass”兩種類型的質量數據。

結構質量 Structure Mass

將模型中結構單元的自重轉換為質量。

Structure / *Structure Type*

☒ Conversion of Structure Self weight into Masses

> Convert to X, Y, Z ↴

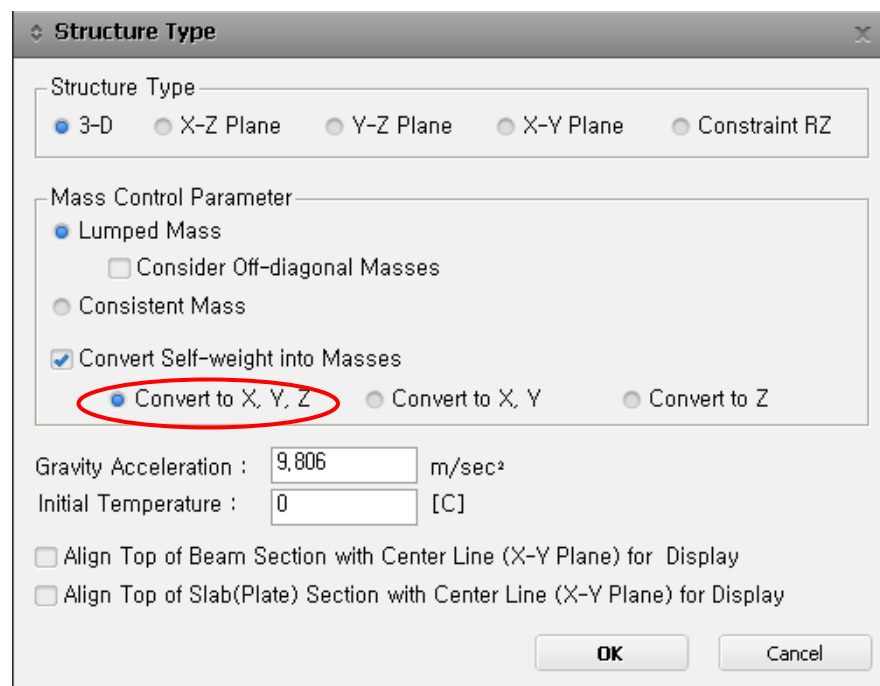


圖 8. 將結構自重自動轉換為質量

外力轉換質量 Load to Mass

將先前輸入的外力（梁單元載重）轉換為質量。

Load / Static Loads Load Type / **Loads to Masses**

Mass Direction > **X, Y, Z**

Load Type for Converting > **Beam Load (Line, Typical)** (on)

Gravity (**9.806**) ; Load Case > **Dead load**

Scale Factor (**1**) ; Add ↵

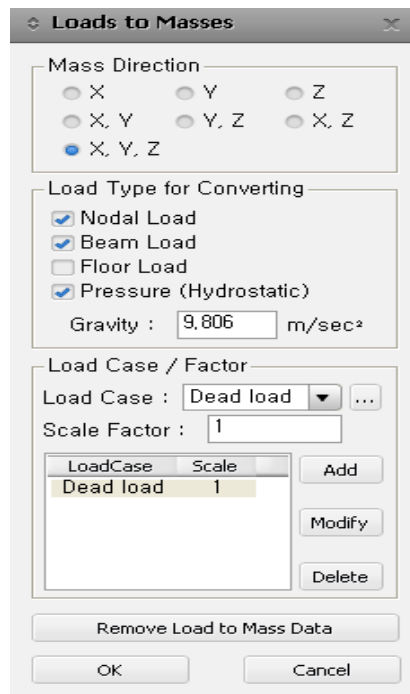


圖 9. 將梁單元載重轉換為質量

輸入歷時分析資料

歷時分析函數

本示範例將考慮對靜載重及地震載重的分析。不同於線性分析，疊加原理並不適用於非線性分析結果中。因此若在分析後以線性組合疊加每次加載的獨立結果是不正確的。對於歷時分析，我們需要考慮兩種載重同時作用下的受力結果。

為了反應歷時分析中的靜載重，我們將採用 **Time Varying Static Load 時變靜荷載** 功能。該功能基本上創建了在執行地震荷載的歷時分析時，靜載重到位作用的條件。我們將建立兩種歷時分析函數，其中 'Ramp' 函數指派給靜載重，而 El Centro 函數數據用於地震荷載。

首先定義一個斜坡時間函數來表示靜載重作用。

Load / Seismic Load Type / Time History Analysis Data /  **Time History Functions**

Add Time Function

Function Name (**Ramp**)

Enter the data as shown in 圖 10.

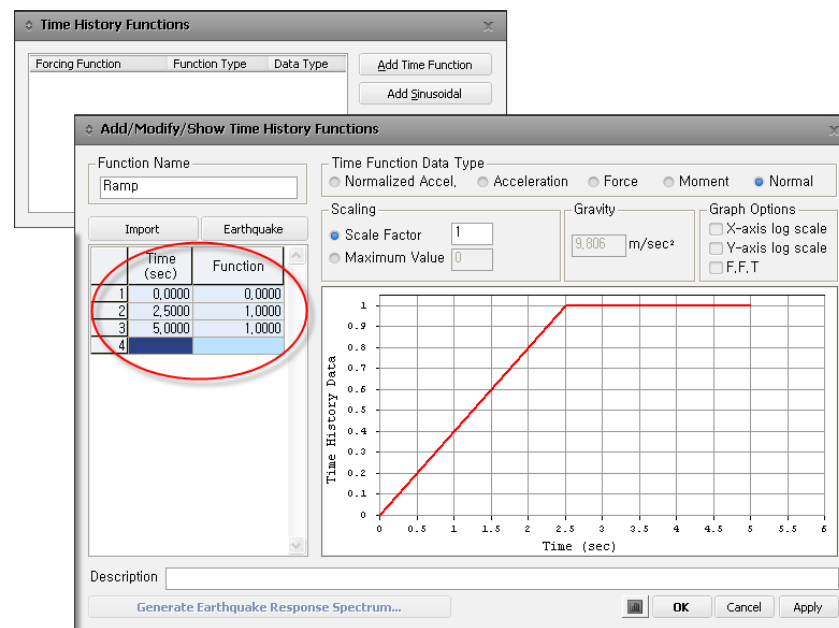


圖 10. 定義靜載重作用的斜坡時間函數

地震荷載資料採用 El Centro 歷時函數數據。

Load / Seismic Load Type / Time History Analysis Data /  **Time History Functions**

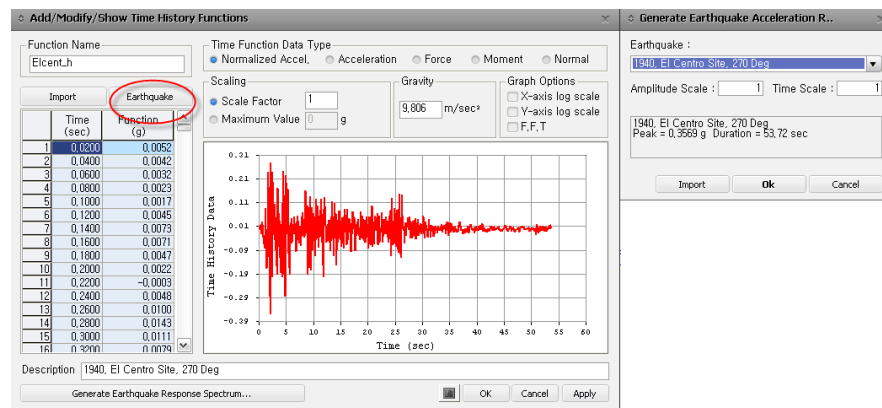
Add Time Function

Earthquake

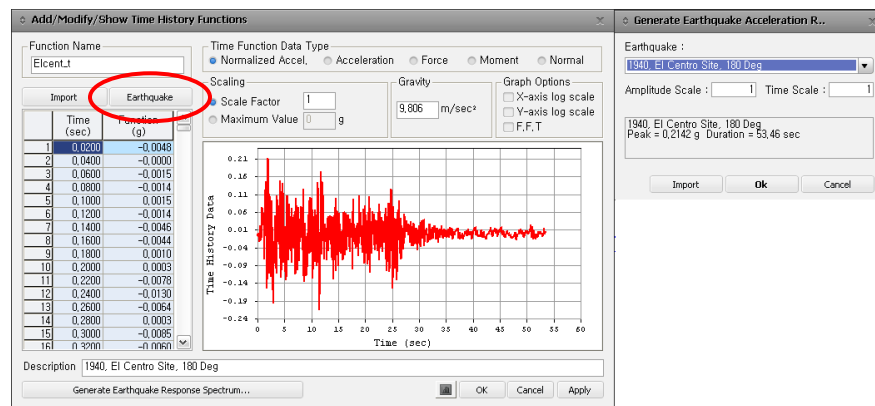
Earthquake>1940 EL Centro Site, 270 Deg > OK > Apply

Earthquake

Earthquake>1940 EL Centro Site, 180 Deg > OK > OK



(a) El Centro Site 270Deg (Peak: 0.3569g)



(b) El Centro Site 180Deg (Peak: 0.2142g)

圖 11. El Centro 地震函數的輸入

輸入特徵值分析資料

一般而言，進行歷時分析的方法有模態疊加法（Modal Superposition Method）與直接積分法（Direct Integration Method）兩種。本示範例中，我們將採用模態疊加法進行分析，故在設定歷時分析載重前需先定義特徵值分析控制項。

對於特徵值分析，MIDAS/Civil 提供了Eigen Vectors與Ritz Vectors Method兩種解析方法。通常分析模型中使用非線性連桿（Nonlinear Link）時，執行非線性模態歷時分析比較建議使用Ritz Vectors方法。在此情況下，為了將非線性連桿的變形包含於初始荷載向量的計算，非線性連桿的力向量必須包含在初始載重向量中。本例我們將採用Ritz Vectors方法分析並勾選“Include GL-link Force Vector”項目。

Load / Seismic / Time History Analysis Data /  **Load Cases**
Eigenvalue Analysis Control...

(或 Analysis > **Eigenvalue Analysis Control**)

Ritz Vectors

Starting Load Vectors

Load Case > **Dead load** ; Number of Generations > **1** 

Load Case > **Ground Acc X** ; Number of Generations > **8** 

Load Case > **Ground Acc Y** ; Number of Generations > **8**  ↵

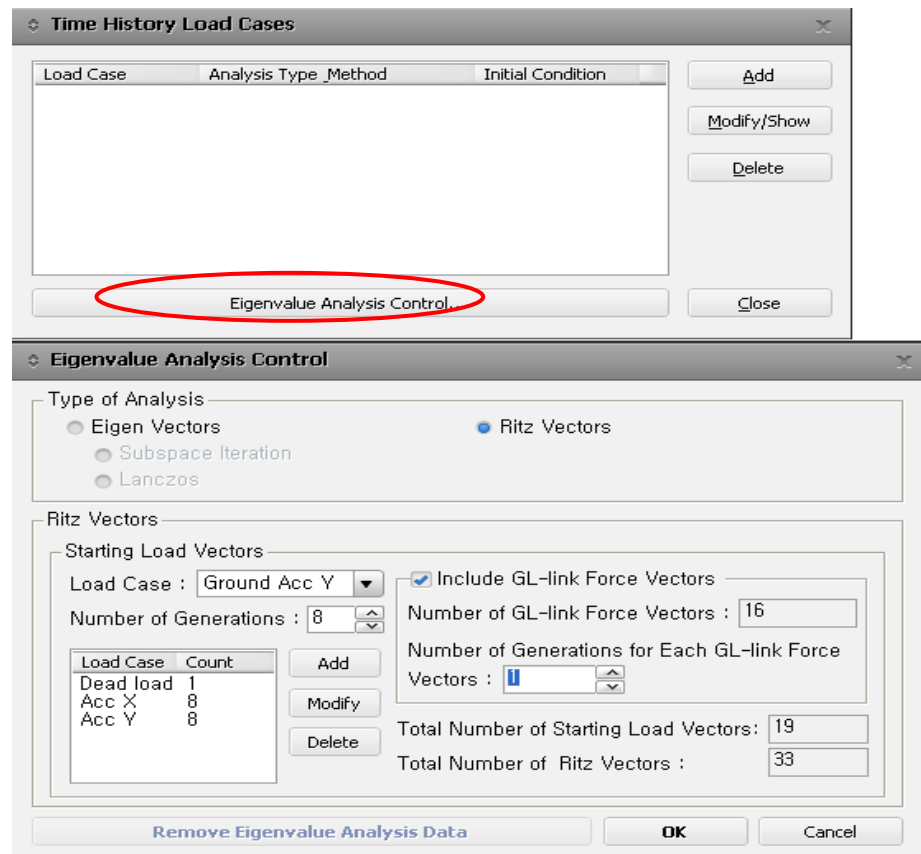


圖 12. Eigenvalue Analysis Control 輸入資訊

設定歷時分析載重狀況

輸入靜荷載與地震荷載的歷時分析載重狀況。

定義“Dead Load”歷時分析載重。

Load / Seismic / Time History Analysis Data /  **Load Cases**

ADD

Load Case Name (**Dead Load**)

End Time (**5**) ; Time Increment (**0.002**)

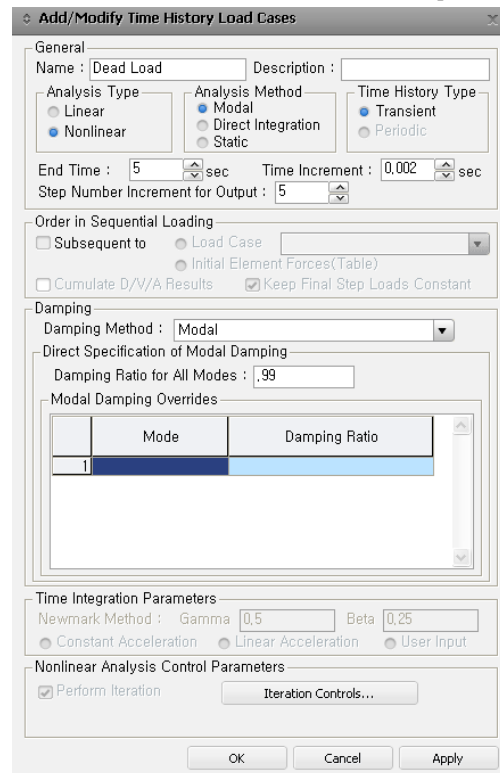
Step Number Increment for Output (**5**)

Analysis Type > **Nonlinear** ; Analysis Method > **Modal**

Damping > **Direct Specification of Modal Damping**

Damping Ration for All Modes > Damping Ratio for All Modes (**0.99**)  ↵

各項目的詳細內容說明請參閱On-line Help。



General

Name : Dead Load Description :

Analysis Type : ☒ Linear ☒ Nonlinear

Analysis Method : ☒ Modal ☐ Direct Integration ☐ Static

Time History Type : ☒ Transient ☐ Periodic

End Time : 5 sec Time Increment : 0.002 sec

Step Number Increment for Output : 5

Order in Sequential Loading

☐ Subsequent to ☒ Load Case

☐ Initial Element Forces (Table)

☐ Cumulate D/V/A Results ☒ Keep Final Step Loads Constant

Damping

Damping Method : Modal

Direct Specification of Modal Damping

Damping Ratio for All Modes : .99

Modal Damping Overrides

Mode	Damping Ratio
1	.99

Time Integration Parameters

Newmark Method : Gamma 0.5 Beta 0.25

☒ Constant Acceleration ☐ Linear Acceleration ☐ User Input

Nonlinear Analysis Control Parameters

☒ Perform Iteration Iteration Controls...

OK Cancel Apply

99% 阻尼比假設從開始（零秒）到結束時間的阻尼為 99%。此設定是為了在使用時變靜荷載的非線性分析中讓靜載重快速達到收斂。

End Time：歷時分析的結束時間。工程師應考慮地震歷時數據的持續時間來定義此處的 End Time。

Time Increment：時間增量。歷時分析的時間增量顯著影響分析結果的準確性。確定時間增量的常用經驗法則是使用時間強制函數週期中較小者的 1/10 或結構的固有頻率。本例由於所輸入各筆數據資料的最高周期為 0.02，因此這裡使用 0.002。

Step Number Increment for Output：產生歷時分析結果所需的分析時間步長。以（輸出步數 x 時間增量）的間隔產生的結果。如果指定 1，則每 0.002 秒產生分析結果。如果指定 5，則每 0.01 秒產生分析結果。此處考量合理的分析速度，使用 5。

圖 13. Time History Load Case 輸入資訊

定義“Earthquake”地震荷載歷時分析載重。

Load / Time History Analysis Data /  Load Cases

Add

Load Case Name (**Earthquake**)

End Time (**50**) ; Time Increment (**0.002**)

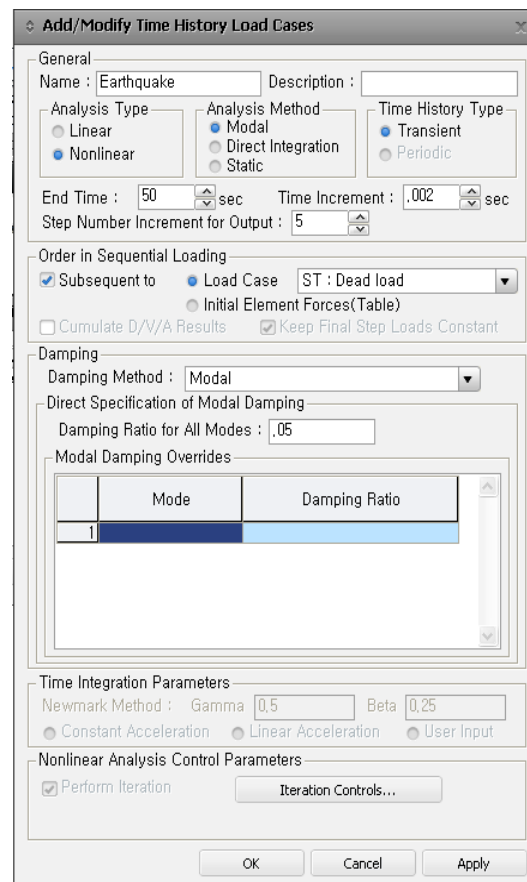
Step Number Increment for Output (**5**)

Analysis Type > **Nonlinear** ; Analysis Method > **Modal**

Order in sequential Loading > Subsequent to > Load Case > Dead Load

Damping > Damping Method > **Modal**

Damping Ratio for All Modes (**0.05**) ↴



Add/Modify Time History Load Cases

General

Name : Description :

Analysis Type : ☐ Linear ☒ Nonlinear

Analysis Method : ☒ Modal ☐ Direct Integration ☐ Static

Time History Type : ☒ Transient ☐ Periodic

End Time : sec Time Increment : sec

Step Number Increment for Output :

Order in Sequential Loading

☒ Subsequent to ☒ Load Case ☐ Initial Element Forces(Table) ST :

☐ Cumulate D/V/A Results ☒ Keep Final Step Loads Constant

Damping

Damping Method :

Direct Specification of Modal Damping

Damping Ratio for All Modes :

Modal Damping Overrides

Mode	Damping Ratio
1	.05

Time Integration Parameters

Newmark Method : Gamma Beta

☐ Constant Acceleration ☒ Linear Acceleration ☐ User Input

Nonlinear Analysis Control Parameters

☒ Perform Iteration

本例亦可採用非線性直接積分方法 (Nonlinear Direct Integration Method) 進行分析。採用直接積分法可不需要進行RitzVector分析，但根據時間增量的設定情況需要較多的分析時間。

Order in Sequential Loading :

持續加載的順序。定義與連續加載的多個時間歷時分析條件順序相關的數據。

Subsequent to :

選擇先前定義的歷時分析條件，該條件在當前定義的歷時分析條件之前執行。當前的歷時分析條件中的Analysis Type分析類型與Analysis Method分析方法必須與前一個荷載條件的分析類型、方法一致。根據前面的分析條件，得到位移、速度、加速度、構件力、非線性鉸發展狀態和非線性連桿的變化。

在加載的情況下，當勾選“Keep Final Step Loads Constant”項目時，在前一分析條件的最終階段下的加載將持續保持在當前的分析條件中。

圖 14. Time History Load Case 輸入資訊

輸入地表加速度

接下來指定 El Centro 地表加速度的方向。

先前輸入兩個時間歷時地震數據函數 Elcent_t 和 Elcent_h 的最大加速度分別為 0.2142g 和 0.3569g。在第一振動模態的方向上輸入與兩個最大加速度中的較大者相關的地震數據。也就是說，該模型的第一振動模態是在 Y 方向上，為該橋梁的橫向方向。因此，在 Y 方向上施加更大的加速度數據 (Elcent_h)。

Load / Seismics / Time History Analysis Data /  **Ground Acceleration**

Time History Load Case Name > **Earthquake**

Function for Direction-X

Function Name > **Elcent_t**

Function for Direction-Y

Function Name > **Elcent_h**

Operations >  **Add**

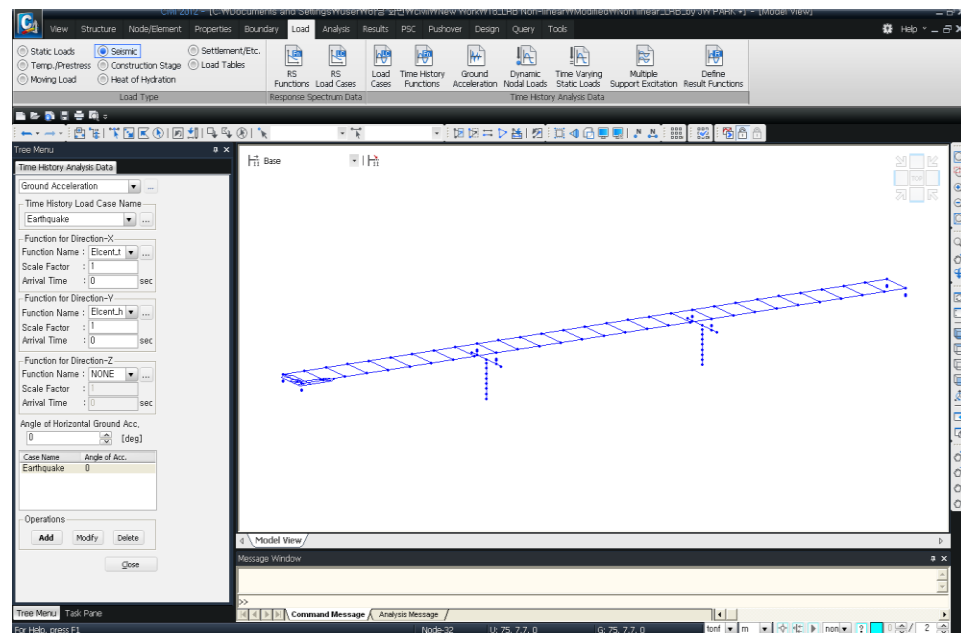


圖 15. 定義各方向地震資料

設定時變靜荷載

採用 *Time Varying Static Load* 時變靜荷載功能，設定在歷時分析中考慮靜載重的作用。

Load / Seismic / Time History Analysis Data /  *Time Varying Static Load*

Time History Load Case Name > **Dead Load**

Static Load > **Dead Load**

Function > Function Name > **Ramp**

Operations >  ↵

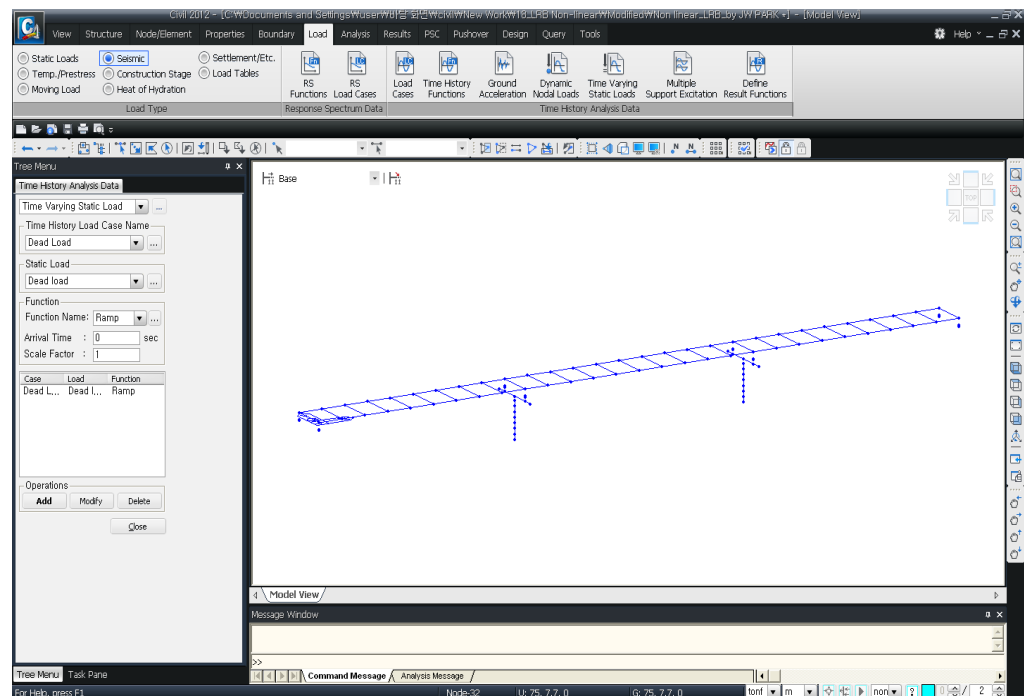


圖 16. 輸入時變靜荷載

執行分析

完成邊界非線性分析的各项輸入後，即可執行分析。

Analysis /  ***Perform Analysis***

查看分析結果

歷時分析結果圖形

使用 **Time History Graph** 歷時分析結果圖形功能查看作用於LRB隔震器上的剪力和橋墩頂部的變位情況。

Initial View

View /  Display 或  Display from the Icon Menu

Boundary 表單

General Link (on) ; General Link Number (on) ↵

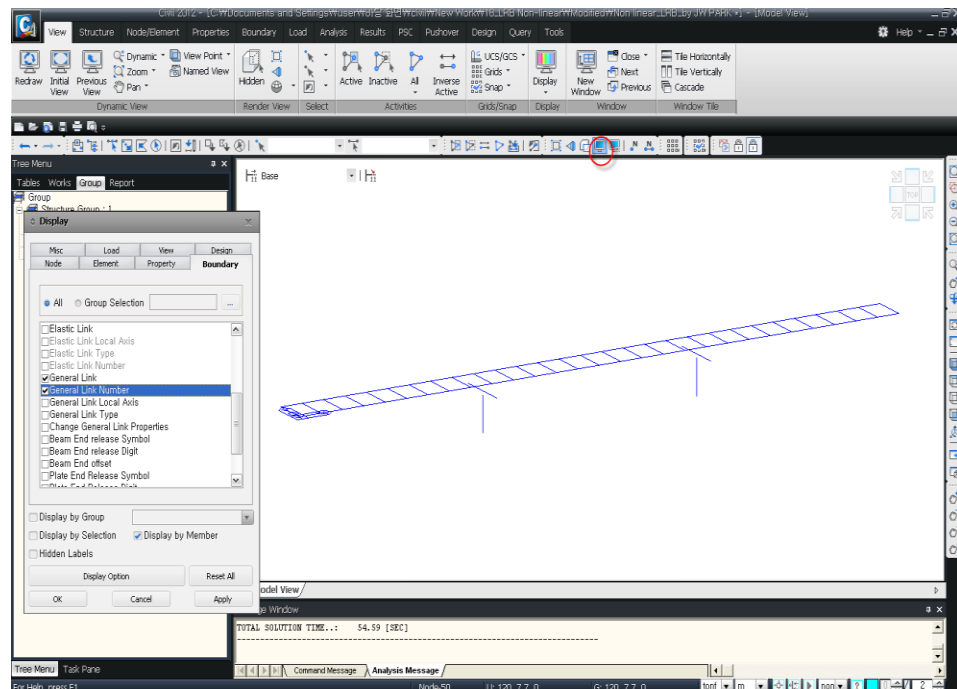


圖 17. 初始模型視景與顯示 Nonlinear Link 編號

查看非线性連桿 General Link No.3 的縱向水平力和變形情況。

Result / Time History Result / T.H Graph/Text /  **Time History Graph**

Define/Modify Function > **General Link Deform/Force**

Add New Function

Name (NL3-Shear-y)

NL-Link No > **3(nl:59,n2:63)** ; Type > **J-Node Force**

Components > **F-y** ; Time History Load Case > **Earthquake** ↵

Add New Function

Name (NL3-Disp-y)

NL-Link No > **3(nl:59,n2:63)** ; Type>**Deformation**

Components > **D-y** ; Time History Load Case > **Earthquake** ↵

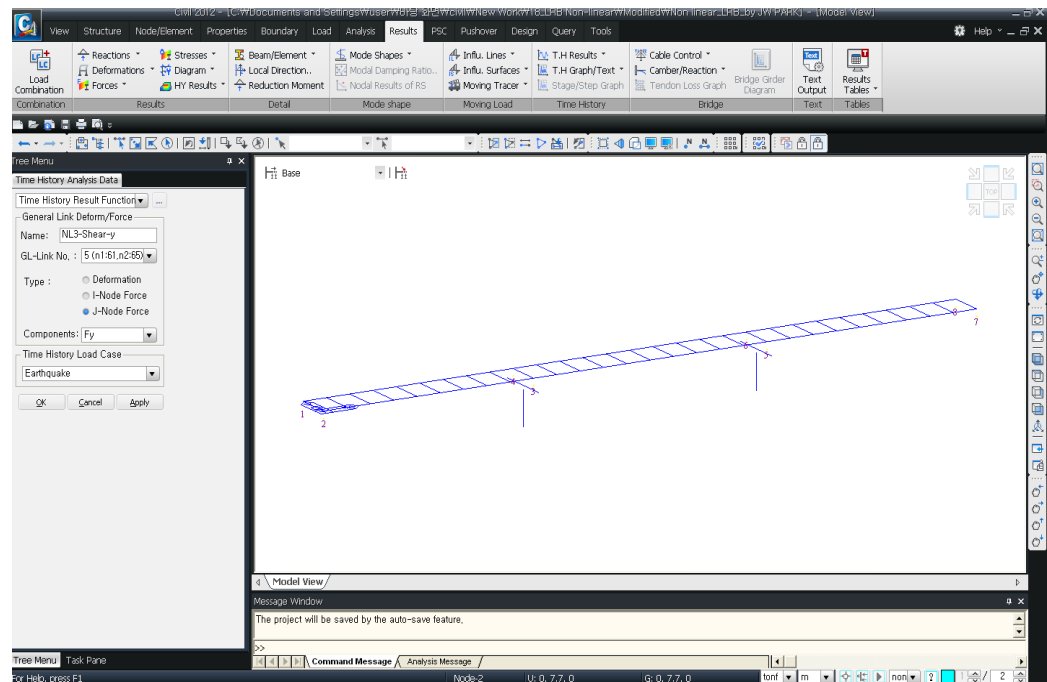


圖 18. General link No.3 縱向水平力和變形

輸出LRB隔震器的磁滯圖形。

Result / Time History Result / T.H Graph/Text /  **Time History Graph**

Check Function to Plot > **NL3-Shear-y** (on)

Click **Add from list**

Horizontal Axis > **NL3-Disp-y**

Type of Display

X Axis Decimal Pt. (4) ; Y Axis Decimal Pt. (1)

Type > **Time History Graph** ↵

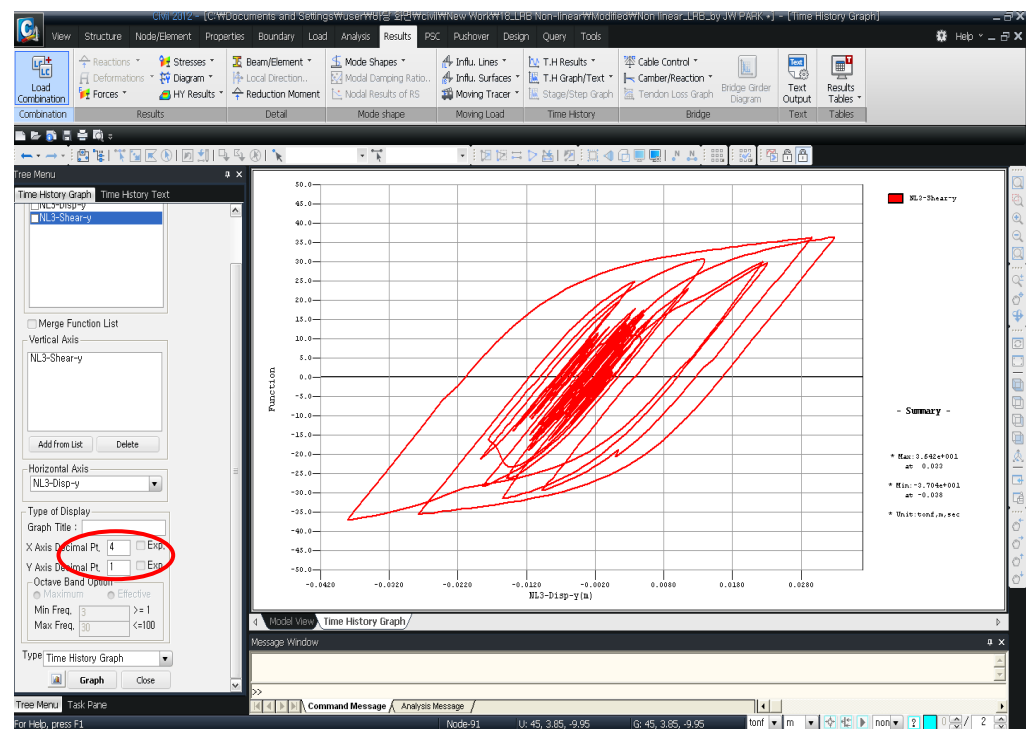


圖 19. LRB隔震器的磁滯圖形

使用時間歷時圖形查看橋墩頂部的變位情況。

Result / Time History Result / T.H Graph/Text /  **Time History Graph**

Define/Modify Function > **Disp/Vel/Accel**

Add New Function

Name: **(Disp-Pier-Top)**

Node Number: **(77)**

Type of Result > **Displ.**

Components > **DX**

Time History Load Case > **Earthquake**

Included Mode Number > **All** ↓

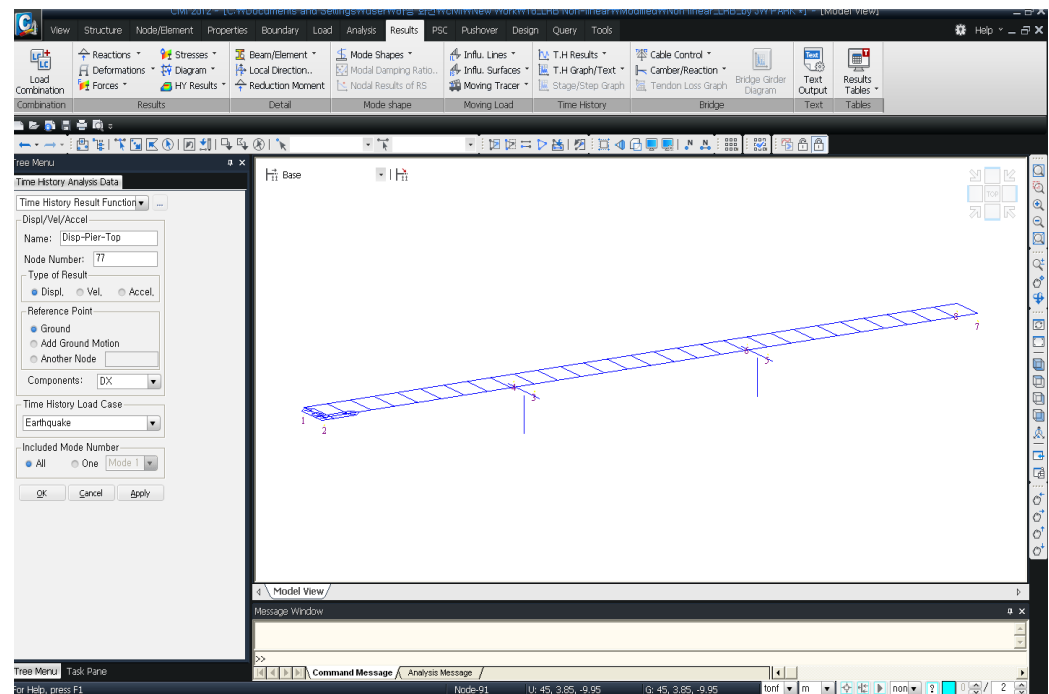


圖 20. 設定顯示橋墩頂部變形的各項參數

查看時間歷時圖形確認橋墩頂部的變位。

Result / Time History Result / T.H Graph/Text /  **Time History Graph**

Check Function to Plot > **Disp-Pier-Top** (on)

Click **Add from list**

Horizontal Axis > **Time**

Type of Display

X Axis Decimal Pt. (1) ; Y Axis Decimal Pt. (4)

Type: > **Time History Graph** 

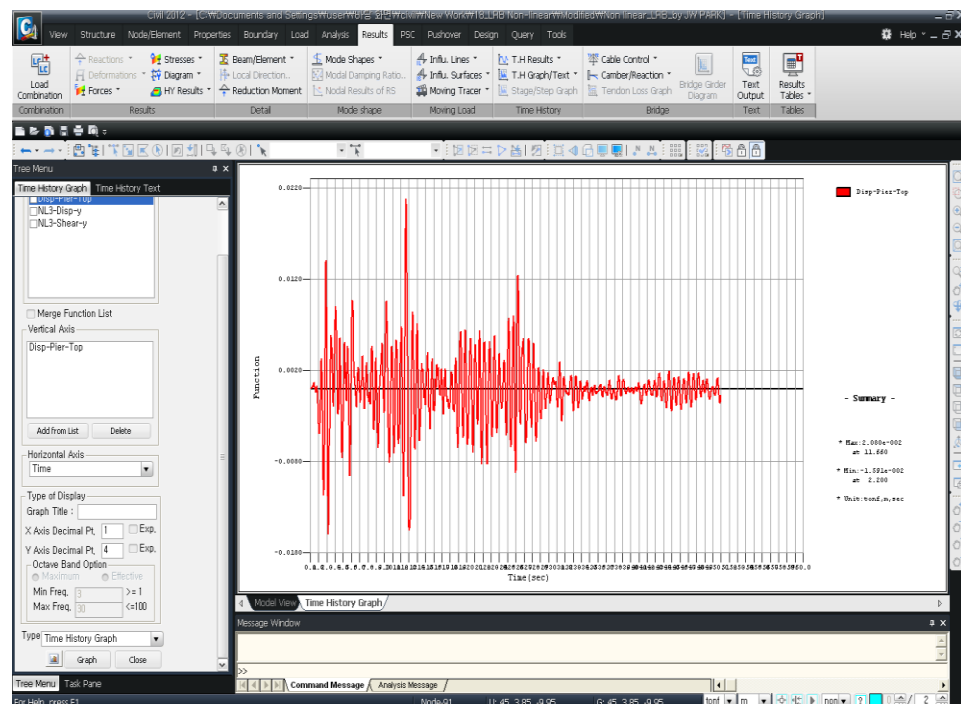


圖 21. 橋墩頂部(節點 77)的歷時變位圖