

壁式橋墩+直接基礎 評估案例

張永叡
99.05.12

大綱:

橋梁基本資料

橋梁模型之建立

SERCB FOR BRIDGE之分析

壁式橋墩結構特性與補強方式介紹

橋梁基本資料

設計年代與性能目標

- 設計規範：49-76年版
- 性能目標：設計與中度地震

橋型	基礎裸露	性能目標
簡支預力梁橋+壁式橋墩+直接基礎	無	PL1-0.24g PL3-0.06g

橋址震區

- 橋址：台北市大安區大學里
- 地盤種類：第二類地盤
- 近斷層效應：無斷層經過
- Kapa：0.333

$$S_s^D = 0.6$$

$$S_1^D = 0.3$$

$$F_a = 1.0$$

$$F_v = 1.3$$

$$S_{DS} = F_a S_s^D = 0.4615$$

$$0.4 S_{DS} = 0.24$$

結構資料（一）

滾支承

鉸支承

跨徑：20m

淨寬：12m

柱高：6m

主筋：#5（直徑16mm）

箍筋：#4（直徑13mm）

結構資料（四）

■ 材料強度資料

- ✓預力混凝土：28天壓縮強度 350kg/cm^2
- ✓鋼筋混凝土：28天壓縮強度 210kg/cm^2
- ✓鋼筋降伏強度： 2800kg/cm^2

■ 靜載重

- ✓設計時考慮公共設施載重及欄杆重： 10kg/cm
- ✓橋面版厚度（包含磨耗層）： 25cm

橋梁模型之建立

材料設定 (一)

Define Materials

Materials

- A615Gr60
- A992Fy50
- FC210**
- FC350
- MAT2
- RIGID

Click to:

Add New Material Quick...

Add New Material...

Add Copy of Material...

Modify/Show Material...

OK

Cancel

混凝土強度：210kg/cm²

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: FC210

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2.400E-03

Mass per Unit Volume: 2.447E-06

Units: Kgf, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 217370.

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 90570.83

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 210.

☐ Lightweight Concrete

要自己手算！

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 217370.

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 90570.83

材料設定 (二)

Define Materials

Materials

- A615Gr60
- A992Fy50
- FC210
- FC350
- MAT2
- RIGID**

Click to:

Add New Material Quick...

Add New Material...

Add Copy of Material...

Modify/Show Material...

Delete Material

☐ Show Advanced Properties

OK

Cancel

剛性材料

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: RIGID

Material Type: Other

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 0.

Mass per Unit Volume: 0.

Units: Kgf, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1.000E+12

Poisson's Ratio, U: 0.

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 5.000E+11

彈性模數給
趨近無限大

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1.000E+12

Poisson's Ratio, U: 0.

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 5.000E+11

斷面設定 (一)

Precast Concrete I Girder

Section Name: BEAM Display Color:

Set Section Dimensions Based on a Standard Section

Section Dimensions

Bulb Tee

B1: 42 B2: 56 B3: 20 B4: 0 D1: 115 D2: 18 D3: 11 D4: 0 D5: 18 D6: 18

I Beam

B1: 42 B2: 56 B3: 20 B4: 0 D1: 115 D2: 18 D3: 11 D4: 0 D5: 18 D6: 18

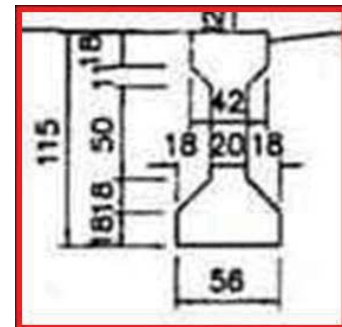
Material: + FC350

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section Notes: Modify/Show Notes...

OK Cancel



PCI預力梁斷面

斷面設定 (二)

Rectangular Section

Section Name: COLDOWN Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + FC218

Dimensions: Depth (t3): 142.5001 Width (t2): 1178.355

Display Color:

Reinforcement Data

Rebar Material: Longitudinal Bars: + A615Gr60 Confinement Bars (Ties): + A615Gr60

Design Type: ☒ Column (P-M2-M3 Design) ☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration: ☒ Rectangular ☐ Circular

Confinement Bars: ☒ Ties ☐ Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration: Clear Cover for Confinement Bars: 10.16 Number of Longit Bars Along 3-dir Face: 60 Number of Longit Bars Along 2-dir Face: 8 Longitudinal Bar Size: + #5

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration: Confinement Bar Size: + #4 Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 40 Number of Confinement Bars in 3-dir: 15 Number of Confinement Bars in 2-dir: 15

Check/Design: ☐ Reinforcement to be Checked ☒ Reinforcement to be Designed

OK Cancel

橋墩斷面及鋼筋量設定

➤ 鋼筋號數及數量需按標準圖輸入。

斷面設定 (三)

Rectangular Section

Section Name: FSEC1

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + FC210

Dimensions:
Depth (t3): 100.
Width (t2): 140.

帽梁斷面

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1000
Shear Area in 2 direction	1000
Shear Area in 3 direction	1000
Torsional Constant	1000
Moment of Inertia about 2 axis	1000
Moment of Inertia about 3 axis	1000
Mass	0
Weight	0

OK Cancel

➤ 質量設為1000倍自重以凸顯剛性桿的特質！

斷面設定 (四)

Rectangular Section

Section Name: MID

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + FC350

Dimensions:
Depth (t3): 110.
Width (t2): 20.

中隔梁斷面

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Rectangular Section

Section Name: SIDE

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + FC350

Dimensions:
Depth (t3): 110.
Width (t2): 30.

端隔梁斷面

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

中隔梁斷面

端隔梁斷面

斷面設定 (五)

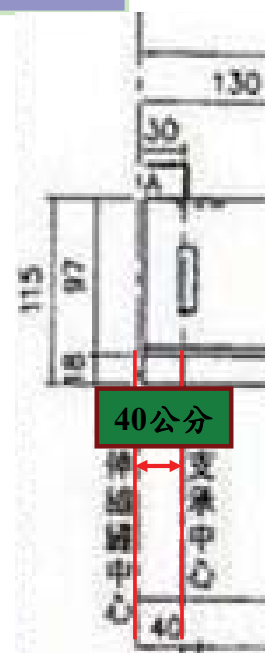
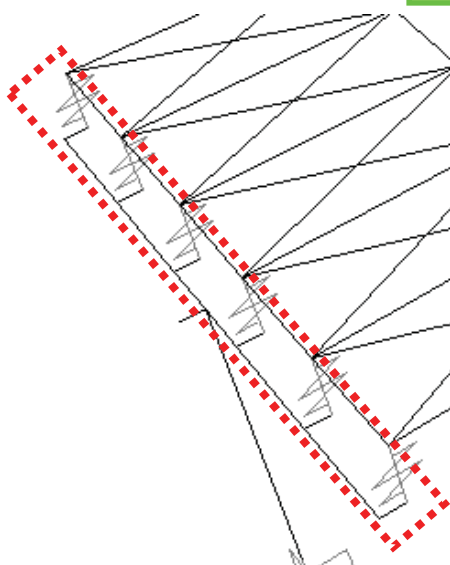
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	RC版置換構材									
2										
3		$\delta = \gamma h = t h / G$				H	剪力			
4		$H = \alpha_w \gamma$	可得	$\delta = H h / G t_w \gamma$		G	RC版的剪斷彈性係數			
5	另	$D = H * d / \lambda$	可得	$\delta' = (H / E A_g) * (d / \lambda)^2 d$		D	置換構材之應力			
6						d	置換構材之長度			
7	由	$\delta = \delta'$				λ	橫梁間距			
8			可得	$A_g = G / E * (d^3 / h \lambda) t_w$		h	主梁間距			
9						γ	剪應變			
10										
11										
12	編號	抗壓強度	主梁間距	橫梁間距	版厚	彈性模數	剪力模數	斜桿長度	等值面積	
13		kg/cm ²	cm	cm	cm	kg/cm ²	kg/cm ²	cm	m ²	
14	1	210	215	500	20	217371	90571	544.27	1.2498	0.6249
15										

橋面版等值斜撐斷面

- 橋面版僅提供勁度，重量以靜均佈載重分佈各大梁上。
- 利用置換構材之轉換公式，以桁架結構模擬RC版結構。

斷面設定 (六)

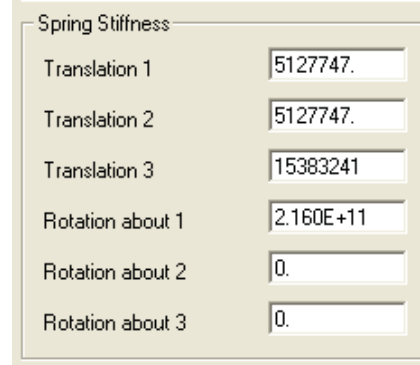
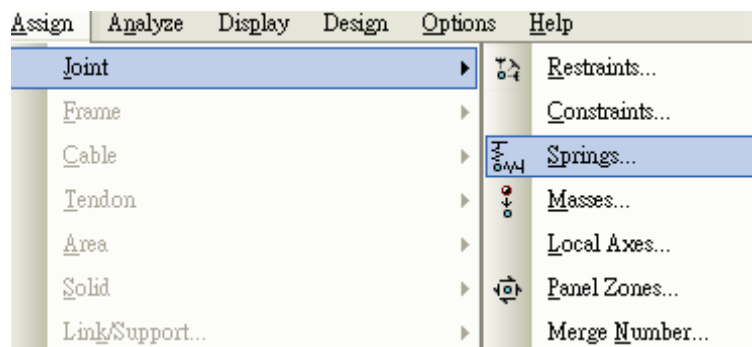
其餘桿件斷面



- 支承中心與帽梁中心之偏移以剛性桿連結模擬。

支承及基礎系統設定 (一)

以土壤彈簧模擬直接基礎

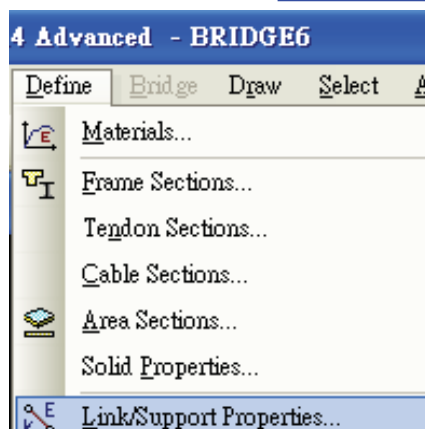


- 土壤彈簧設置參考公路橋梁耐震能力評估及補強準則4.5.5.1節建議。
- 土壤彈簧中為0之自由度皆設為固定。

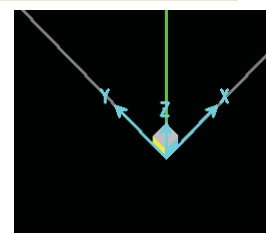


支承及基礎系統設定 (二)

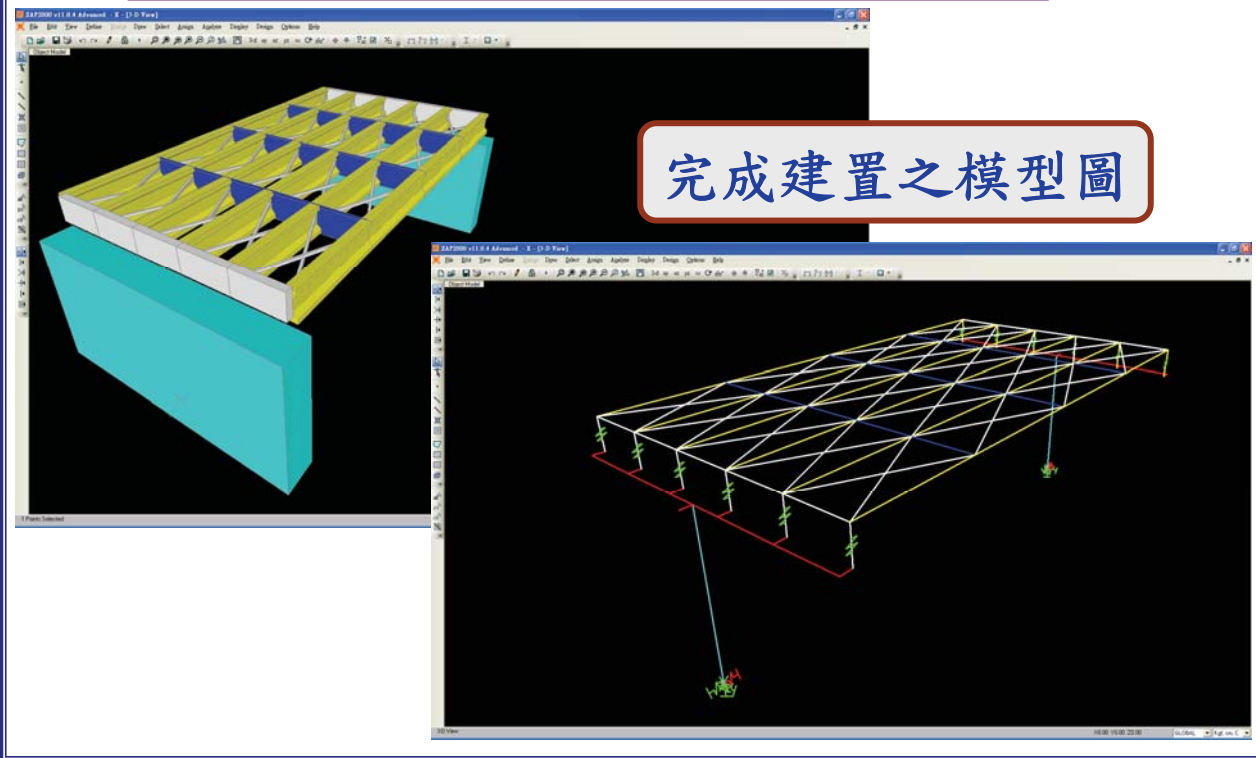
滾支承及鉸支承



- 以LINK方式模擬支承屬性。
- LINK之局部座標系統與一般CONSTRAINT之座標系統方向不同，需注意！

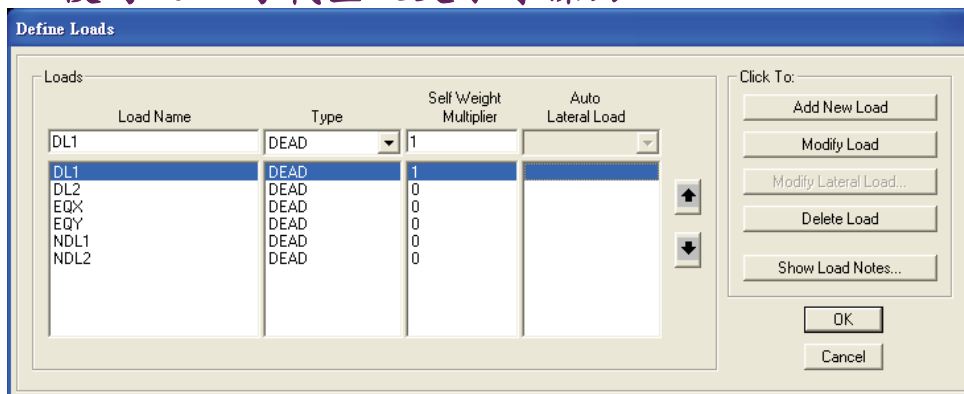


支承及基礎系統設定 (三)



載重組合設定 (一)

- DL1：包含橋墩、帽樑、剛性桿之重量。
- DL2：包含橋面版、欄杆、公共設施及PCI預力梁之重量。
- EQX：X向（行車向）之地震力。
- EQY：Y向（垂直行車向）之地震力。
- NDL1：前跨之臨跨載重及支承摩擦力。
- NDL2：後跨之臨跨載重及支承摩擦力。



載重組合設定 (二)

Define Mass Source

Mass Definition

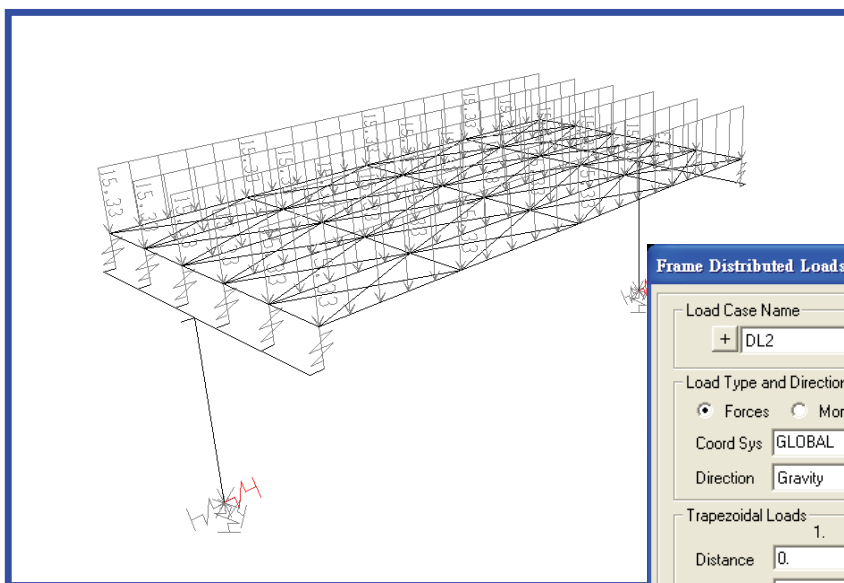
☐ From Element and Additional Masses
☒ From Loads
☐ From Element and Additional Masses and Loads

Define Mass Multiplier for Loads

Load	Multiplier
DL1	1.
DL1	1.
DL2	1.
NDL2	1.

- 定義質量來源來自於靜載重及屬震動單元內之臨跨載重。
- 滾支承端之臨跨載重並無參與震動，故其質量不在考慮範圍內。

載重組合設定 (三)



Frame Distributed Loads

Load Case Name: Units:

Load Type and Direction

☒ Forces ☐ Moments
 Coord Sys:
 Direction:

Options

☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Distance	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0.25"/>	<input type="text" value="0.75"/>	<input type="text" value="1."/>
Load	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>

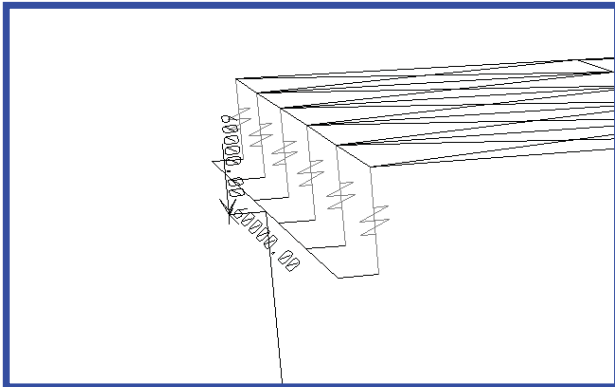
☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load

Load:

- 計算靜均佈載重之值並填入 UNIDORM LOAD 欄位。

載重組合設定 (四)



Response Combination Data

Response Combination Name: DL

Notes: Modify/Show Notes...

Combination Type: Linear Add

Define Combination of Case Results

Case Name	Case Type	Scale Factor
NDL1	Linear Static	1.
NDL2	Linear Static	1.
DL2	Linear Static	1.
DL1	Linear Static	1.

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

- 臨跨載重之值應等同於上部結構支承反力，代表為單一橋墩所受之力量。
- 考量所有靜載重和，給予一組載重組合。
- 滾支承端之臨跨載重雖不參與振動但需加入載重組合內。



載重組合設定 (五)

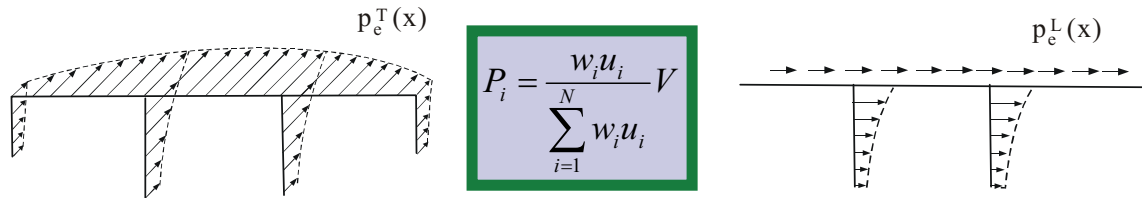
1. 定義載重組合：執行非線性側推分析時，必須有側向之地震力，分別為行車向（X向）與垂直行車向（Y向），在地震力之設定前，需先指定X、Y向地震力之載重組合。
2. 進行模態分析：目的為找出X、Y向反應主要之模態，以利後續分析。
3. 豎向力分配：將模態分析後各結點質量輸出至EXCEL，並將結點質量轉為力量（注意單位換算及座標系）。

	A	B	C	D	E	F	G
1	TABLE: Assembled Joint Masses						
2	Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
3	Text	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm	Kgf-cm-s2	Kgf-cm-s2	Kgf-cm-s2
4	1	12.53	12.53	12.53	0	0	0
5	2	13.03	13.03	13.03	0	0	0
6	3	12.53	12.53	12.53	0	0	0
7	4	61.18	61.18	61.18	0	0	0
8	5	6.6	6.6	6.6	0	0	0



載重組合設定 (六)

4. 將模態分析之各結點位移輸出至EXCEL。
5. 根據公路橋梁耐震評估及補強準則中之建議，側推分析時所選用之水平力量分佈係依據公路橋梁耐震設計規範中，中小地震力作為結點分佈力之基準：

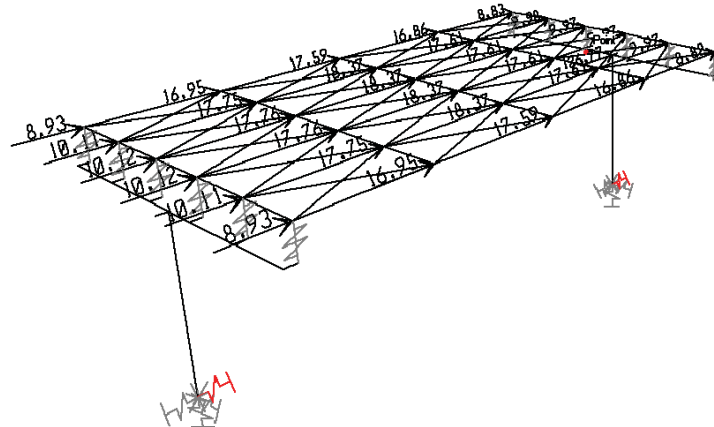


式中， L 即為交通部97年頒佈之公路橋梁耐震設計規範，第2.6節之設計總橫力下限值，但不考慮重要性係數。在此處為所有結點力之總和； w_i 、 u_i 分別為結構模型中第 i 個結點之重量及以該重量作用於水平向後造成之變形量。



載重組合設定 (七)

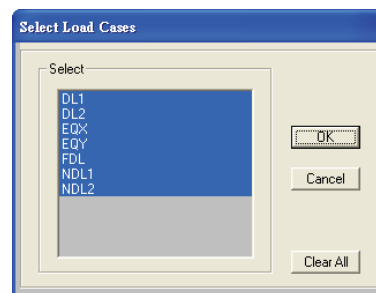
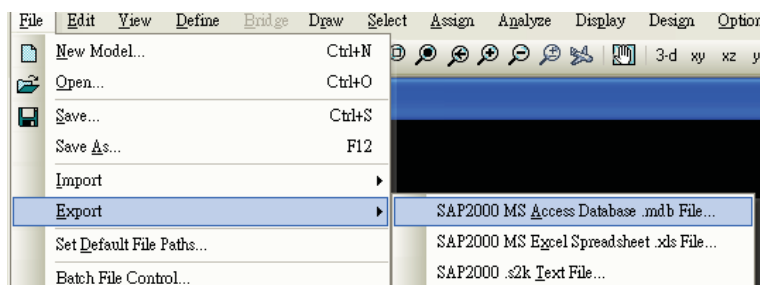
6. 利用式重新分配各結點之結點力，重新指定至各結點上。
7. X向與Y向之作法大致相同，惟在考慮振動單元時，X向之地震力不需將振動單元外之橋墩列入計算，但Y向地震力需將所有橋墩均列入計算。



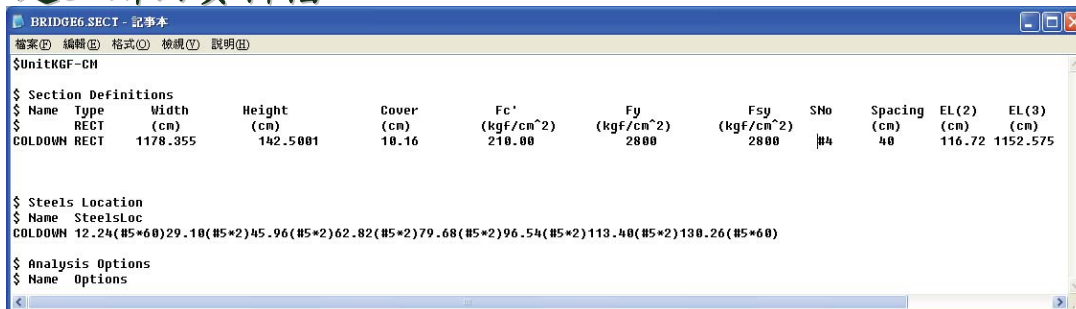
SERCB FOR BRIDGE 之分析

前處理 (一)

1. 匯出橋梁模型資料 (MDB檔)

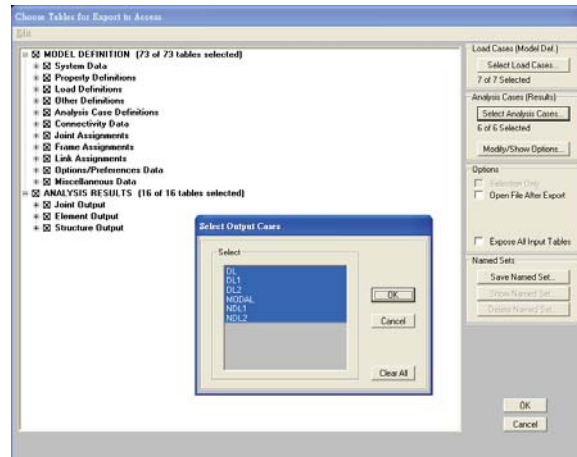


2. 建立斷面資料檔



前處理 (二)

1. 結構靜力分析 (匯出MDB檔, 覆蓋原有檔案)



2. 建立梁柱構件資訊檔

BRIDGES.BCF - 記事本

Member / Column Definitions	Section	Height	FrameName
DL	Column	600.000	931 93J
Column001	Column	600.000	931 93J
Column002	Column	600.000	931 93J

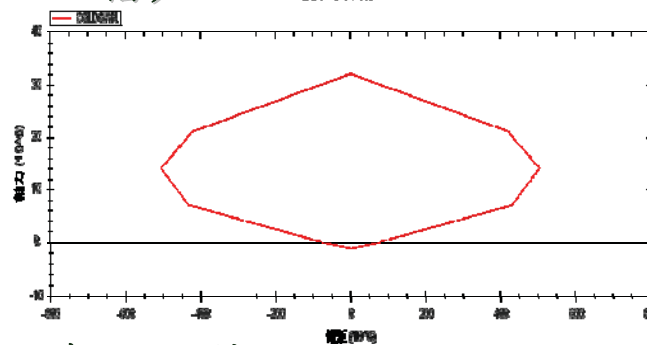
Member forces	LoadCase	P(i)	H(i)	Height(i)	P(j)	H(j)	Height(j)
DL	DL	-315415.8778	-200016.9474	0.0001	-557215.4877	-1235583.6293	600.0000
Column001	EQX	0.0000	52677634.8673	0.0001	0.0000	403588612.5782	600.0000
DL	DL	-217787.9360	3988317.4400	0.0001	-459586.5517	7588317.4400	600.0000
Column002	EQX	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	600.0000



前處理 (二)

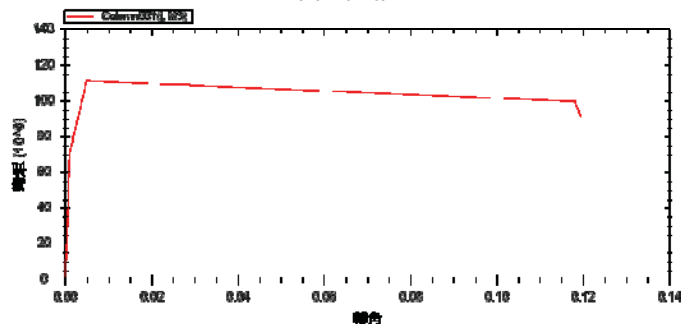
3. 軸力—彎矩曲線 (PMC檔)

軸力—彎矩曲線



4. 梁柱構件塑鉸分析及建立S2K檔

構件塑鉸特性



後處理

1. 結構非線性側推分析（匯入S2K檔）
2. 側推分析前，需先建立側推分析時所要用到之分析組合。一般來說，會分為以下三種：
 - **PUSHD**：靜載重之非線性側推分析。
 - **PUSHX**：行車向之非線性側推分析。
 - **PUSHY**：垂直行車向之非線性側推分析其設定同X向，惟Load Name需改為EQY。

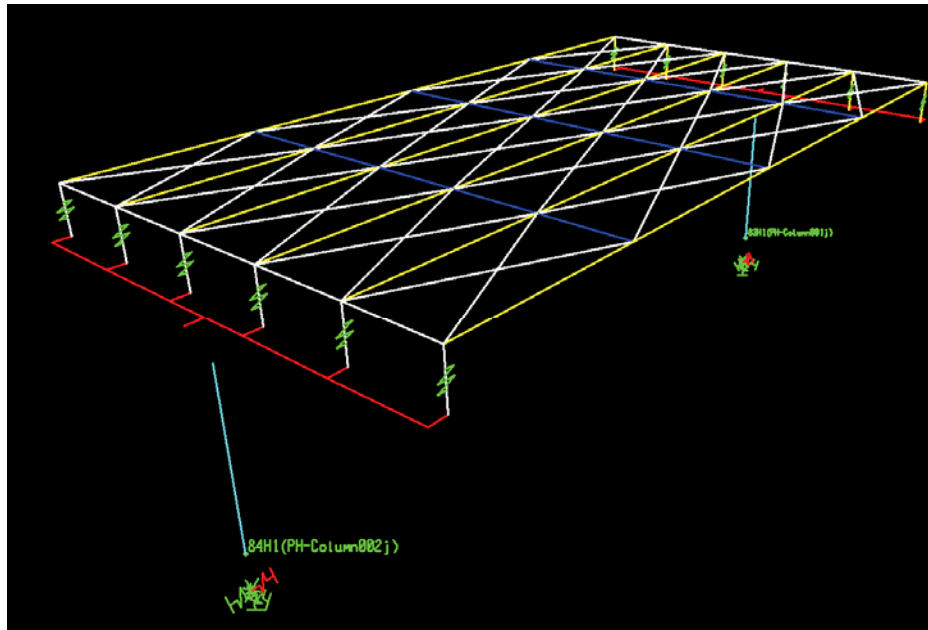
後處理

Analysis Case Data - Nonlinear Static

Analysis Case Name PUSHX Set Def Name		Notes Modify/Show...	Analysis Case Type Static									
Initial Conditions <input type="radio"/> Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State <input checked="" type="radio"/> Continue from State at End of Nonlinear Case pushD <small>Important Note: Loads from this previous case are included in the current case</small>		Analysis Type <input type="radio"/> Linear <input checked="" type="radio"/> Nonlinear <input type="radio"/> Nonlinear Staged Construction										
Modal Analysis Case All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL		Geometric Nonlinearity Parameters <input checked="" type="radio"/> None <input type="radio"/> P-Delta <input type="radio"/> P-Delta plus Large Displacements										
Loads Applied <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Type</th> <th>Load Name</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load</td> <td>EQX</td> <td>1.</td> </tr> <tr> <td>Load</td> <td>EQX</td> <td>1.</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: right;"> Add Modify Delete </div>				Load Type	Load Name	Scale Factor	Load	EQX	1.	Load	EQX	1.
Load Type	Load Name	Scale Factor										
Load	EQX	1.										
Load	EQX	1.										
Other Parameters <table border="1"> <tr> <td>Load Application</td> <td>Displ Control</td> <td>Modify/Show...</td> </tr> <tr> <td>Results Saved</td> <td>Multiple States</td> <td>Modify/Show...</td> </tr> <tr> <td>Nonlinear Parameters</td> <td>Default</td> <td>Modify/Show...</td> </tr> </table> <div style="text-align: right;"> OK Cancel </div>				Load Application	Displ Control	Modify/Show...	Results Saved	Multiple States	Modify/Show...	Nonlinear Parameters	Default	Modify/Show...
Load Application	Displ Control	Modify/Show...										
Results Saved	Multiple States	Modify/Show...										
Nonlinear Parameters	Default	Modify/Show...										

後處理

3. 壁式橋墩之塑鉸只發生於柱底，故必須先將各橋墩柱頂之塑鉸刪除。



後處理

4. 需將CSC、BFD及MDB檔匯出，以進行下一步驟之分析。其中BFD檔及CSC檔之匯出方法如下：

BRIDGE6 BFD - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

units:kgf-cm

0	-0.002693	0
1	0.139004	192884.89
2	0.153026	203976.12
3	0.706189	274356.54
4	2.214962	316714.6

第 1 列

- 將X (Y) 向達最大反應前之各模態中其於規範下基底剪力與位移之數值資料邊即為文字檔以BFD檔輸出。
- 將X (Y) 向達最大反應前之各模態中其於ATC-40容量反應譜之各數值資料邊即為文字檔以BFD檔輸出。

BRIDGE6y.CSC - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

units:kgf-cm

0	0.040358	0.05	0	0	0.0284	0.702681	1	1
1	0.040358	0.05	0.0593	1.465914	0.0284	0.702681	0.605394	0.756239
2	0.043146	0.088744	0.1394	3.014291	0.0283	0.611862	0.59859	0.837873
3	0.072388	0.32608	0.5255	4.037164	0.0518	0.397624	0.490761	1.076429
4	0.072388	0.32608	0.5255	4.037164	0.0518	0.397624	0.490761	1.076429
5	0.945889	17.87002	2.693	0.12117	4.6993	0.211441	0.508268	0.625913

後處理

5. 利用CSC、BFD檔匯出PGA及PFC檔前，需先輸入橋址位置（PAP檔）之資訊及挑選降伏點之模態別。

X.PAP - 記事本

檔案(F)	編輯(E)	格式(O)	檢視(V)	說明(H)
台北市	大安區	大學里	台北盆地	0 1 49及76年版 重要橋樑I=1.2
台北市	大安區	大學里	台北盆地	0 2/3 49及76年版 重要橋樑I=1.2
台北市	大安區	大學里	台北盆地	0 1/3 49及76年版 重要橋樑I=1.2

YieldSelect

YieldSelect

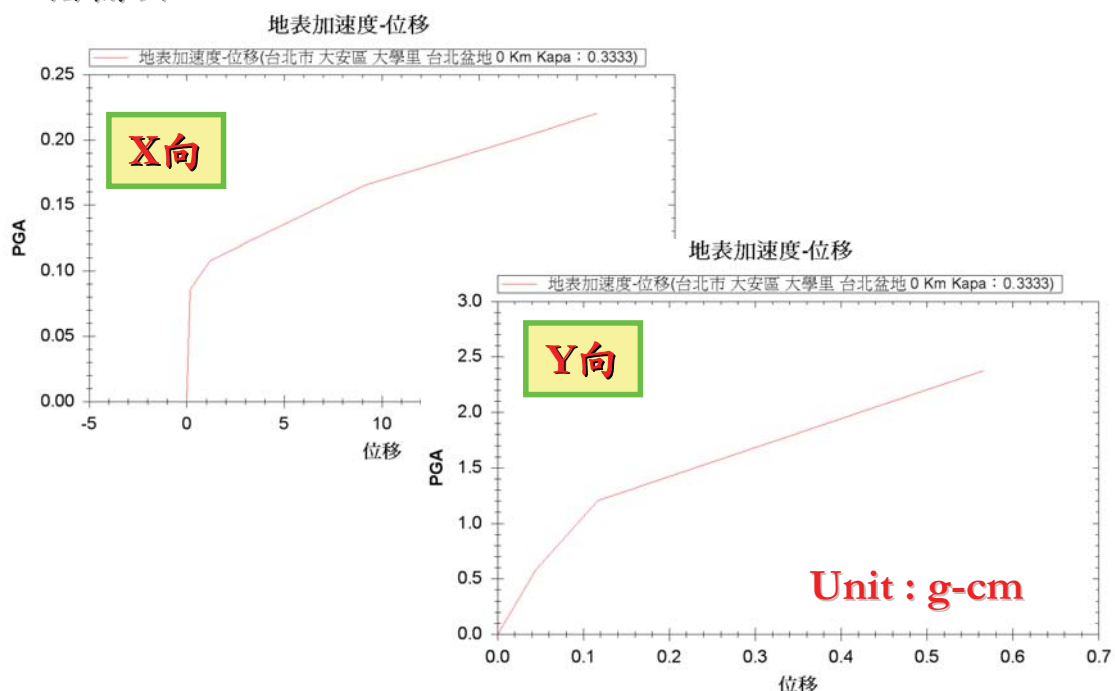
Step	Sd	Sa
2	0.1901	0.221794

OK



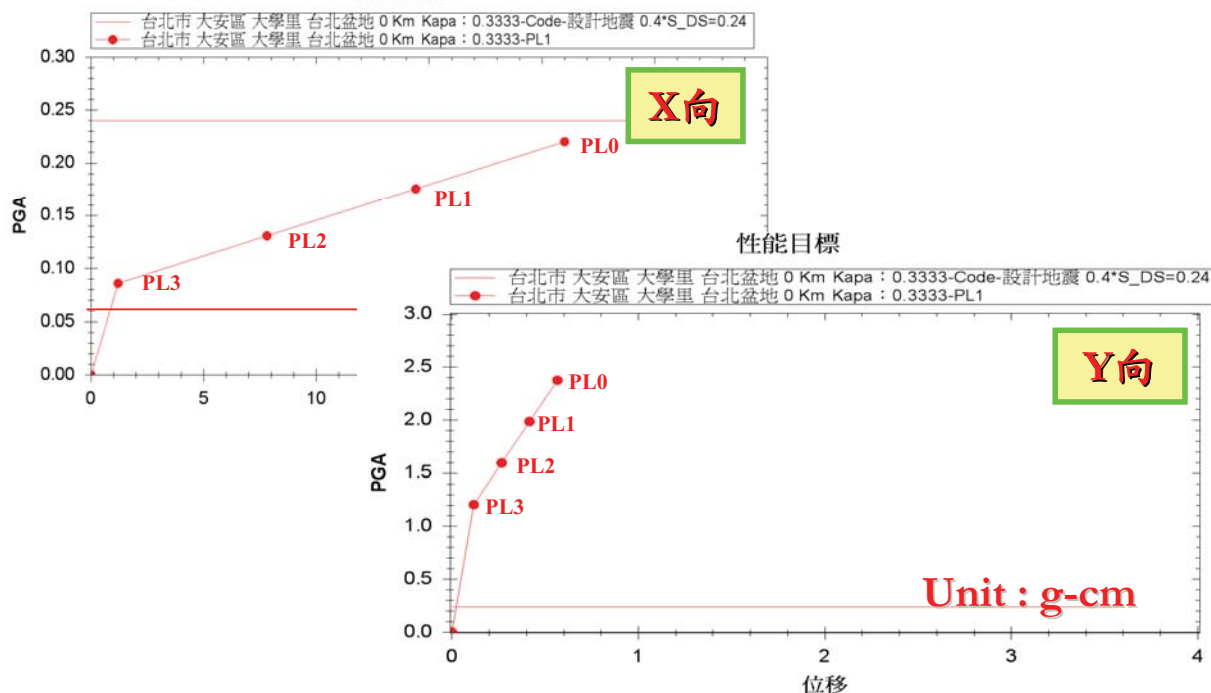
後處理

6. PGA檔輸出：



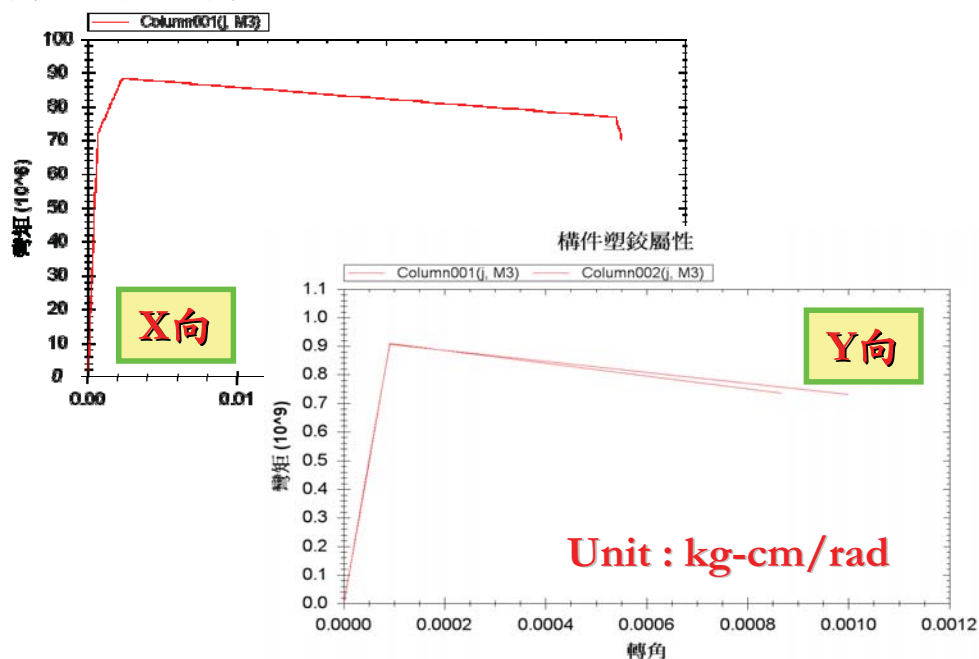
後處理

7. PFC檔輸出：性能目標



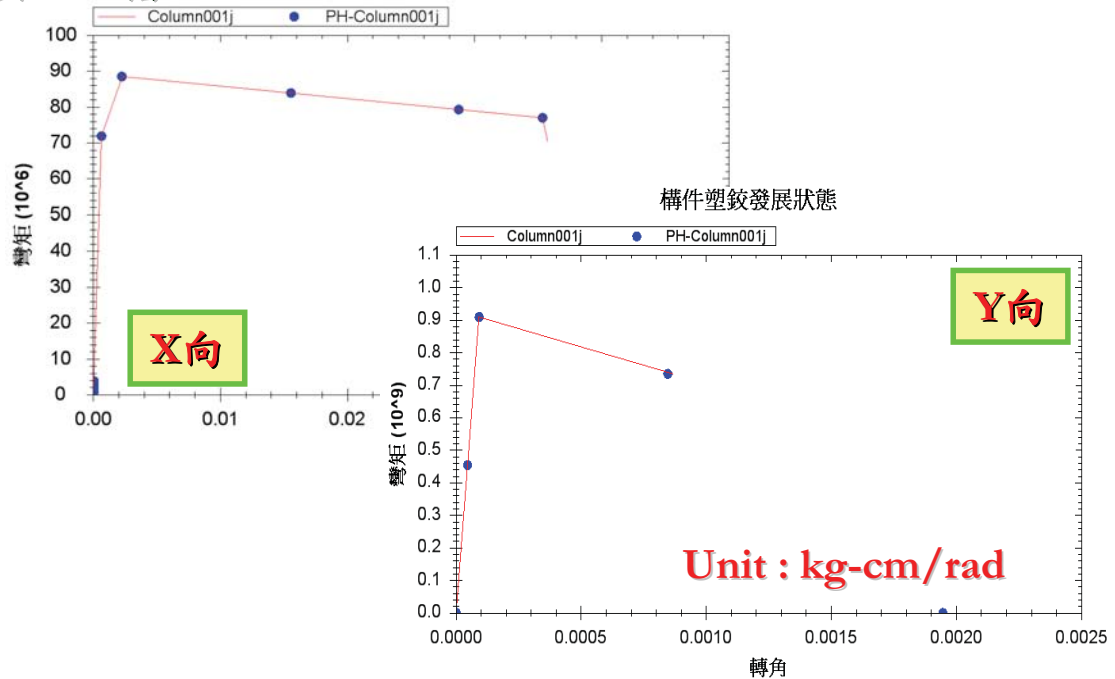
後處理

8. 利用MDB檔匯出PH檔：構件塑鉸屬性



後處理

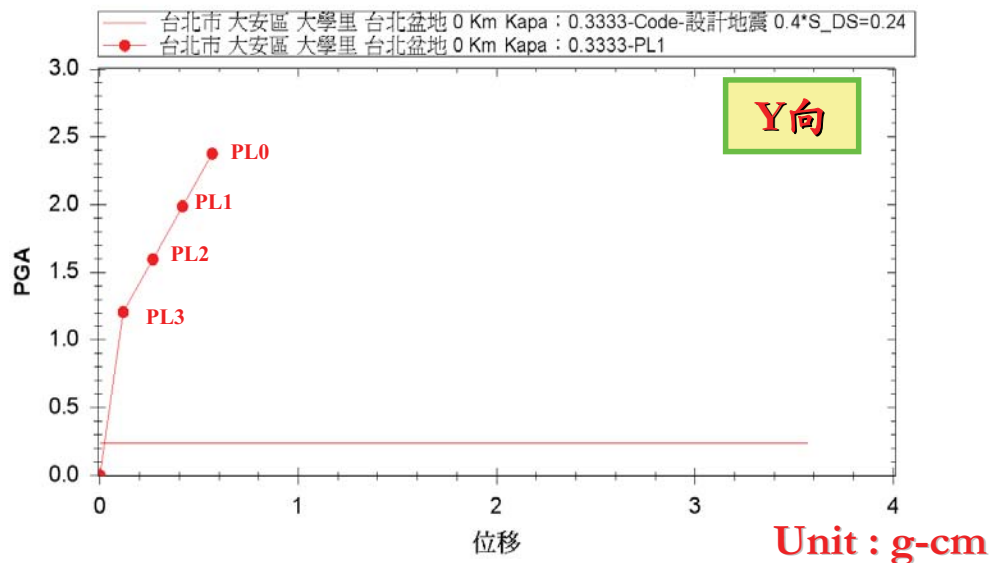
9. 匯出PHS檔： 構件塑鉸發展狀態



分析結果及討論

- ✓ 橋梁應具有足夠強度，於中度地震（Frequent Earthquake, FE）保持彈性。

性能目標



分析結果及討論

- ✓ 由於本橋設計規範屬於民國49~76年版，依準則表1.4之建議，設計地震之補強性能點為PL1。

表 1-4 重要橋梁（公路橋梁耐震設計規範 I=1.2）之性能目標

地震等級	採用之設計規範版本		
	84 及 89 年版	49 及 76 年版	49 年版以前
中度地震	PL3	PL3	PL3
設計地震	PL2	PL1	PL1

- ✓ 進行Y向側推時，塑鉸方向應掌握並作適當之轉換。

壁式橋墩結構特性 與補強方式介紹

壁式橋墩耐震性能之特徵

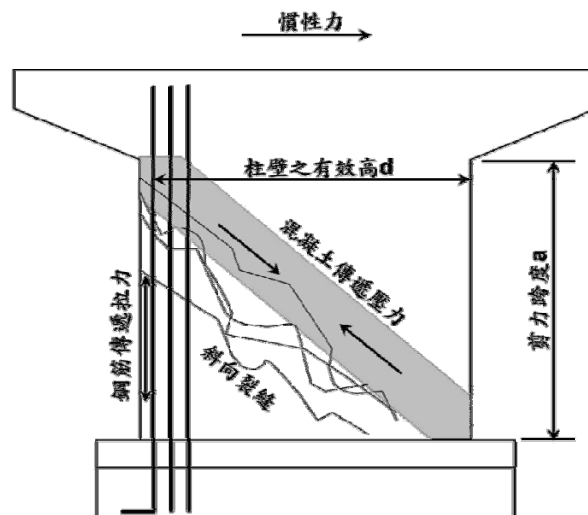
壁式橋墩等大斷面之下部結構及兩端為橋台之橋梁，地震時之振動特性有以下之特徵：

- 下部結構之高度較小，斷面較大，多為短週期結構。由於對地盤之能量發散及高減衰(阻尼)效應(阻尼在10%以上)，可以獲得較佳之耐震性能。
- 壁式橋墩耐震性能評估，以檢核墩柱之剪力強度為要項。它具有類似深梁效應，且所需之主筋量小，為大斷面小鋼筋量之結構。但為防止裂縫發生造成水平耐力急速下降而破壞，所以一般都增加了許多的軸向主筋。故一般而言，壁式橋墩的耐力餘裕度較大。
- 壁式橋墩在橋軸直角方向之耐力餘裕度較高時，在地震作用下，支承部會成為弱點而先產生破壞，故壁式橋墩反而成為較不易遭受地震災害的構造。



壁式橋墩的剪力強度評估

- 斜向剪力裂縫發生後，連結載重點與支點間之混凝土將形成桁架型的承載機制。這種效果使得橋軸直角方向之耐震性能大增。依日本道路橋示方書規定，剪力跨度比(a/d)在2.5以下時，混凝土之容許剪力強度將可增加，增加係數依 a/d 之值而異。



壁式橋墩的補強方式介紹（日本）

1. 當斷面尺寸邊長比超過3時，中間需貫穿螺桿補強。
2. 螺桿之垂直間距 $\leq 30\text{cm}$ 。
3. 螺桿之水平間距 $\leq \min$ （補強後斷面深度， 200cm ）。
4. 螺桿之降伏強度折減為原本的 $2/3$ 。
5. 螺桿上下層交錯配置。



壁式橋墩的補強方式介紹（日本）

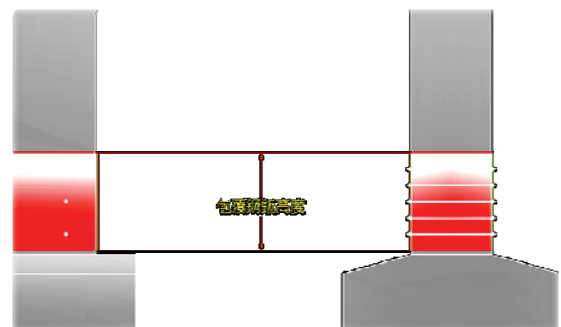
6. 包覆鋼板高度 \geq 補強後斷面深度。
7. 包覆鋼板高度。
8. 鋼板與基礎面留設 $5\sim 10\text{cm}$ 。
9. 鋼板厚度介於 $6\text{mm}\sim 12\text{mm}$ 。
10. 混凝土組成律：Kawashima模式。
11. 將箍筋與螺桿換算成等值斷面，計算等值螺箍筋體積比 ρ_s 。

$$\rho_s = \frac{4A_h}{Sd}$$

A_h ：圍束箍筋斷面積

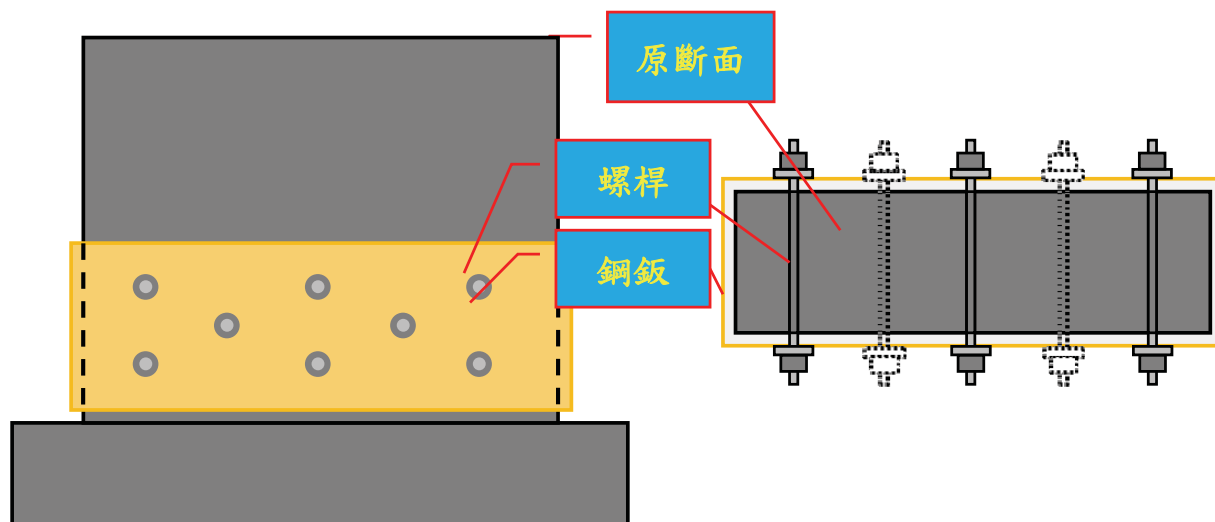
S ：圍束箍筋之間距

d ：圍束箍筋之有效圍束寬度



壁式橋墩的補強方式介紹（日本）

12. 計算等值斷面時，由「鋼板與箍筋」計算等值斷面 A_{h1} ，由「螺桿」計算等值斷面 A_{h2} ，則 $A_h = \min(A_{h1}, A_{h2})$ 。

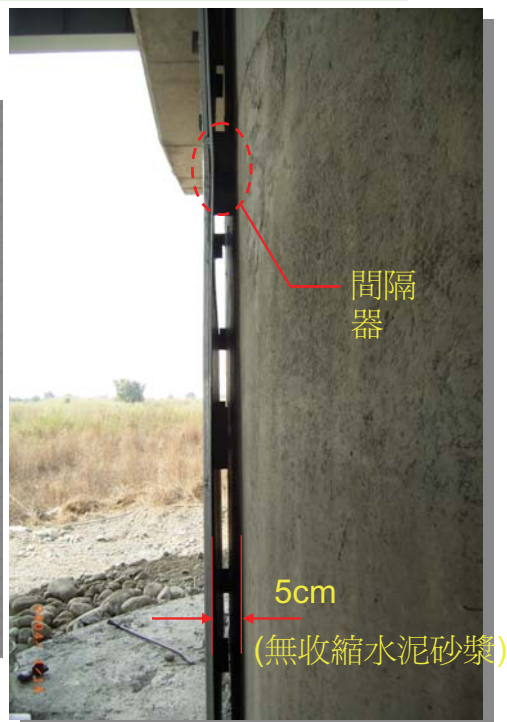


壁式橋墩的補強案例（鋼板）



壁式橋墩的補強案例（鋼板）

安裝施工中



壁式橋墩的補強案例（鋼板）

安裝完成



壁式橋墩的補強案例（鋼板）



壁式橋墩的補強案例（RC）

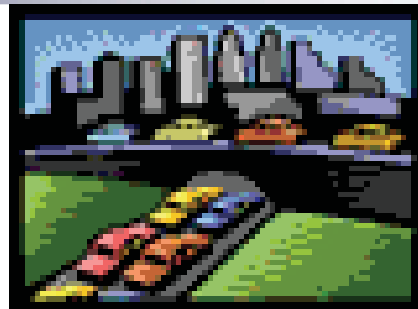
補強步驟：

1. 配合植筋補強墩柱彎矩強度,並配合施做水平向鋼筋。



壁式橋墩的補強案例（RC）

2. 壁式橋墩短向需貫穿預力鋼棒，以提供所需之圍束效果。
(透過均布分佈之鋼棒提供符合規範需求之圍束鋼筋量)
3. 鋼棒施予一少量的預力，提供鋼棒固定密合於橋墩圍束區。



簡報完畢
敬請指正

