

考量基礎沖刷 之橋梁耐震能力評估

王俊穎、邱毅宗



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

大綱

- 基本資料
- 基礎未裸露之橋梁耐震能力評估
- 基礎裸露之橋梁耐震能力評估
- 結論



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

- 3



- 4



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

Load Case Name

- DL1:結構梁柱構件自重
- DL2:含橋面版重、公共設施重、欄杆重及鄰跨重量。
- Ex:行車向地震力
- COMB1:DL1及DL2之載重組合
- PD:結構非線性側推-DL
- PUSHOVER:結構非線性側推-地震力

7



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

工址條件

- 工址: 台南縣永康市
- 地盤種類: 第二類地盤
- 橋梁設計規範: 76年版
- 用途係數: 一般橋梁1.0
- 臨近斷層: 新化斷層
- 性能目標: 公路橋梁耐震評估及補強準則之研究成果報告

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	PL0

8



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology

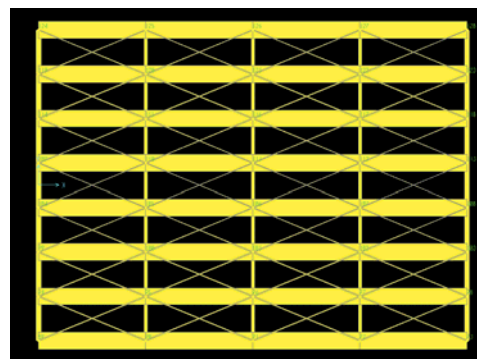


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

二、基礎未裸露-行車向



橋面版
→ 等值斜撐模擬



9



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology

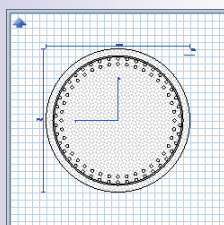


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

墩柱&帽梁配筋示意圖

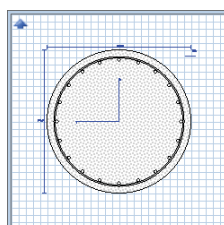
外柱:

主筋: 外#10-42 內#10-40
箍筋: #5@15公分
繫筋: #5-2



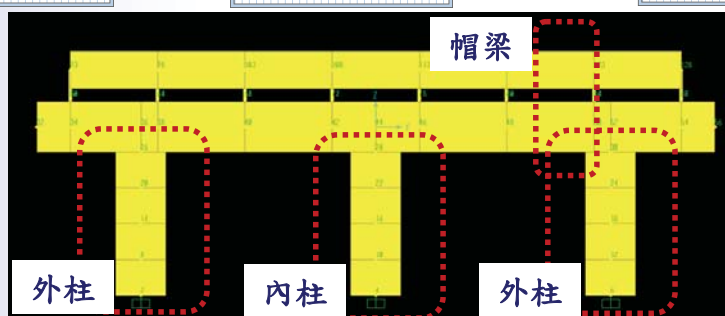
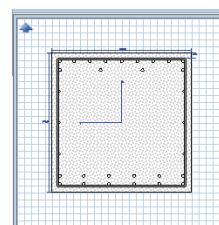
內柱:

主筋: #10-20
箍筋: #5@15公分
繫筋: #5-2



帽梁:

上層筋: #10-9 #10-4
下層筋: #10-6 #10-6
箍筋: #5@40公分



10

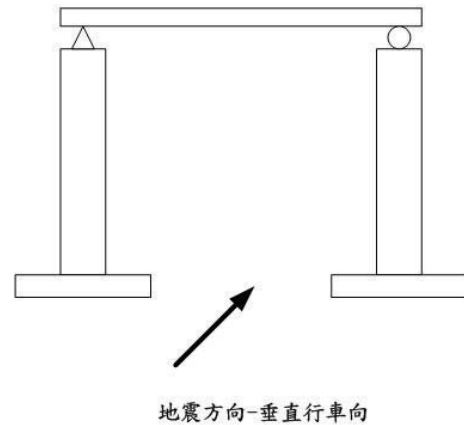
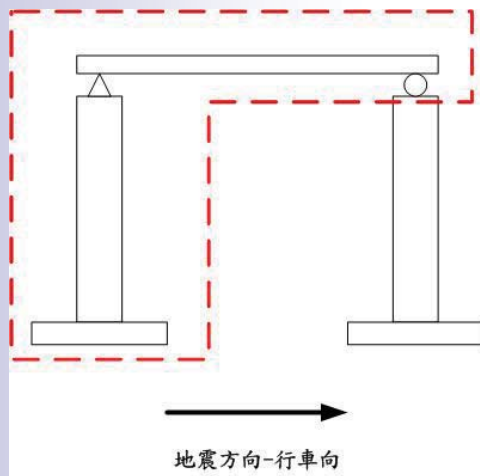


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

振動單元



11

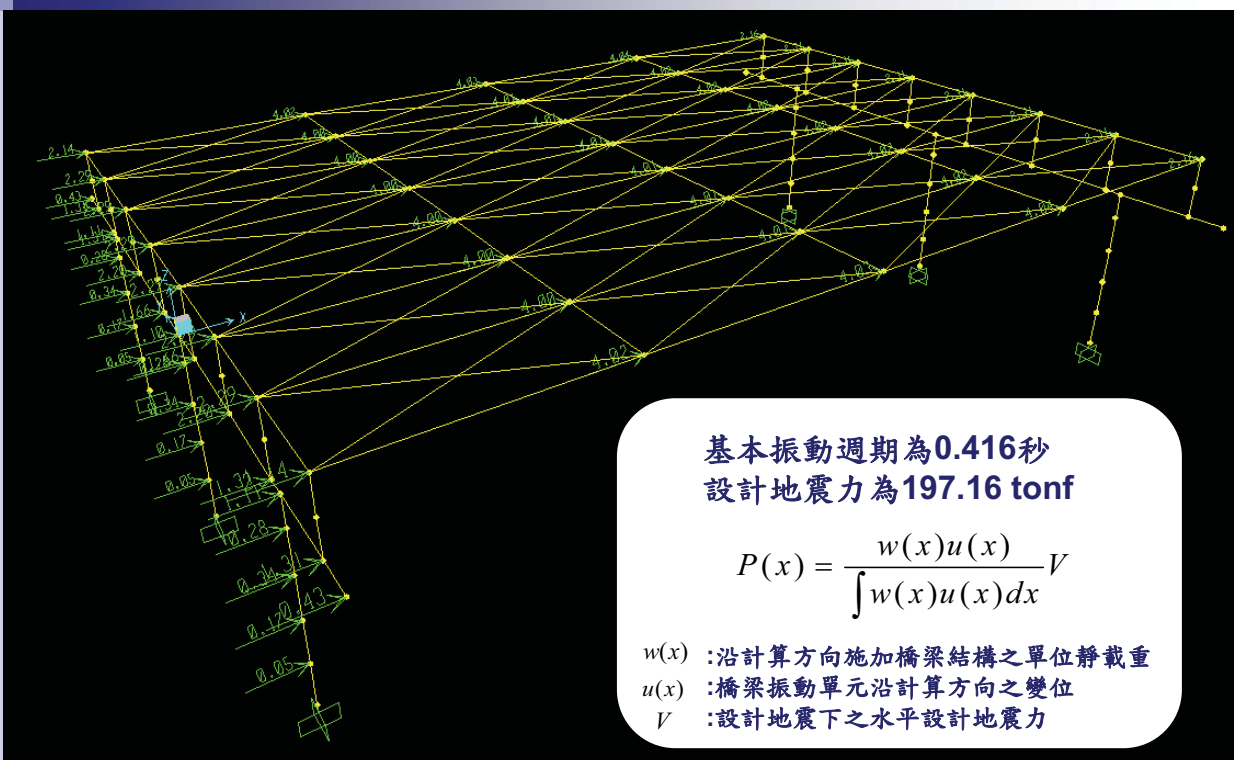


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

地震力分佈



12



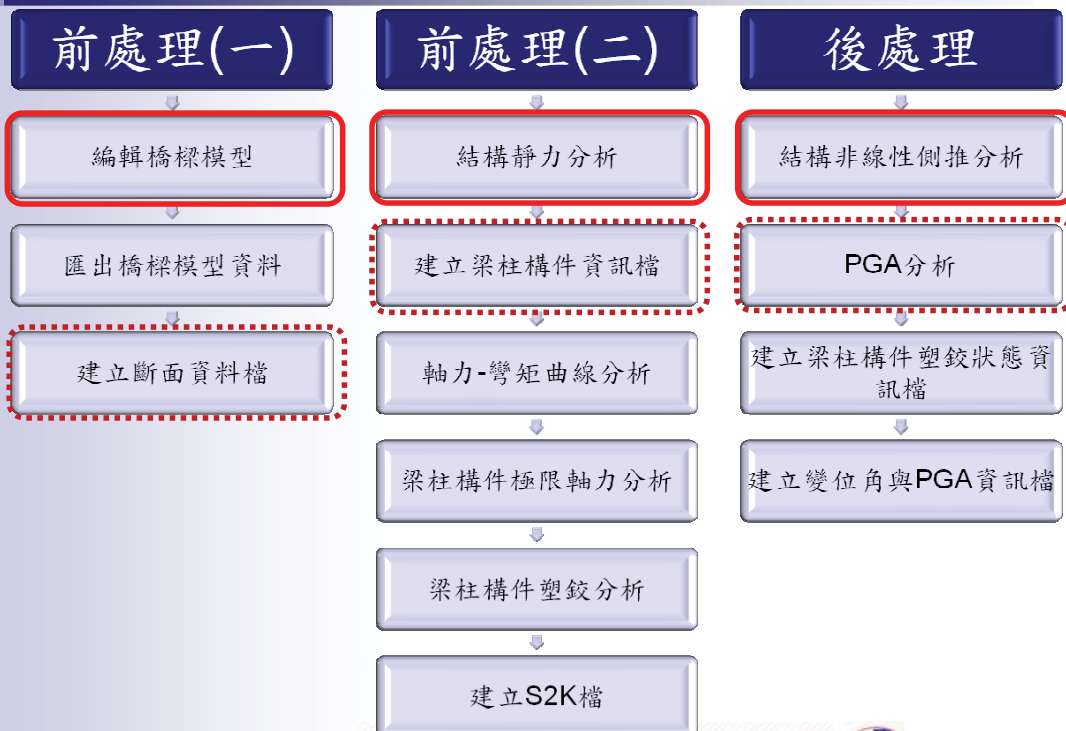
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

分析流程

前處理一	前處理二	後處理



13



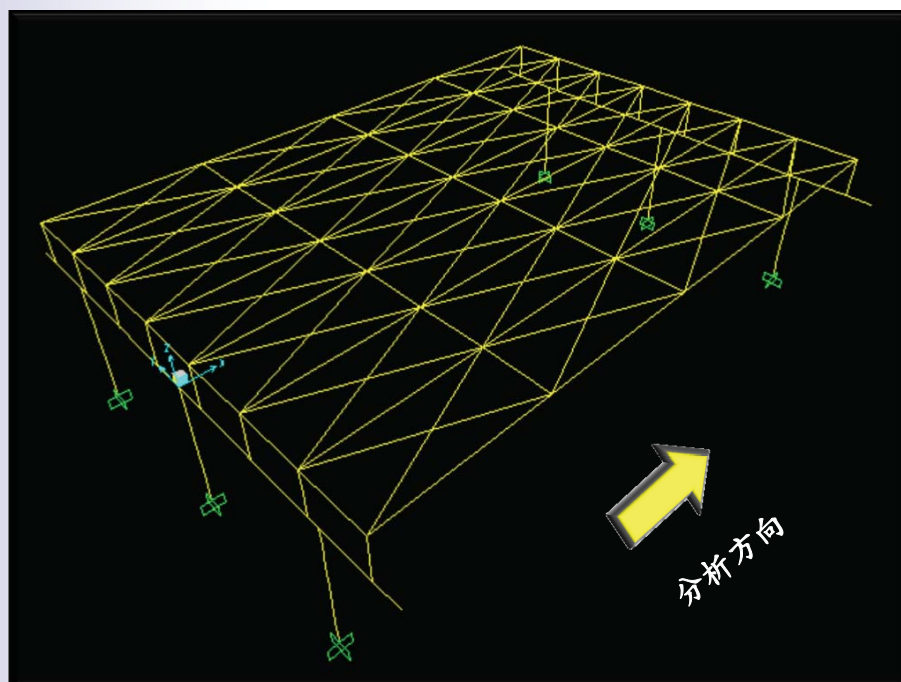
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

分析模型

前處理一	前處理二	後處理



14



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

開啟專案

前處理一	前處理二	後處理



15



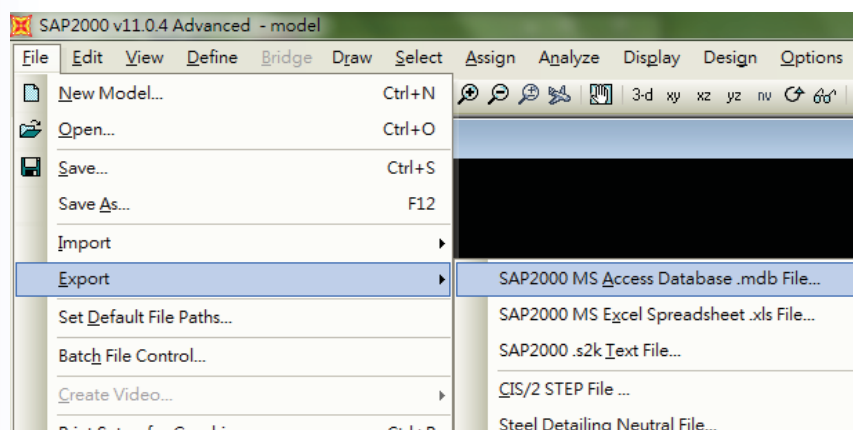
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

匯出橋梁模型資料檔*.MDB

前處理一	前處理二	後處理



16



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology

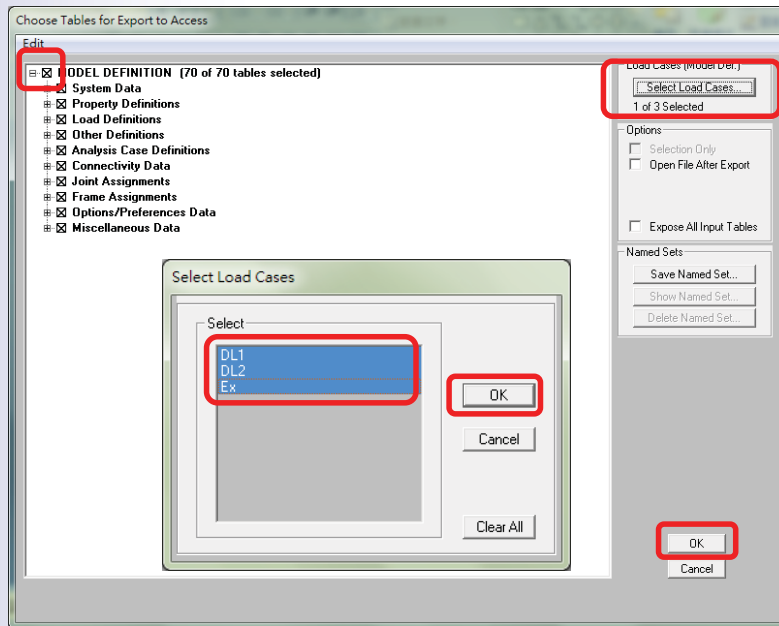


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

匯出*.MDB

前處理一	前處理二	後處理

■ 選取全部資料後匯出



17



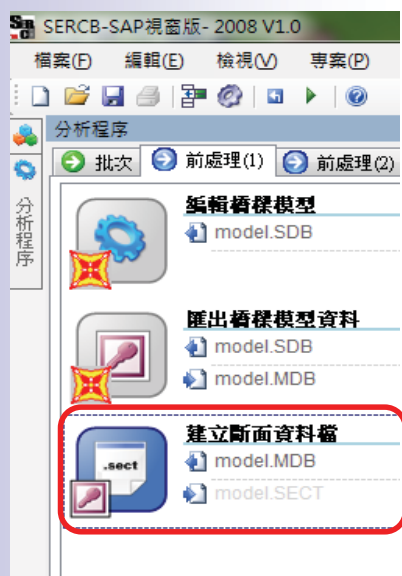
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



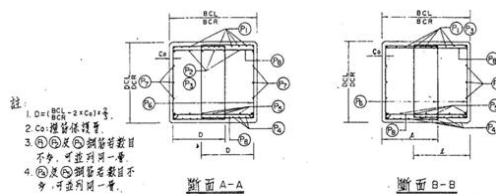
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

建立斷面資料檔

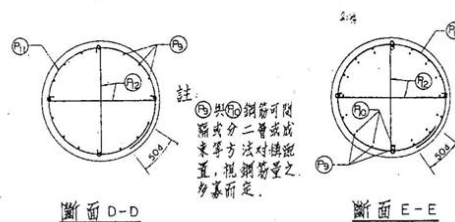
前處理一	前處理二	後處理



依設計圖修改斷面配筋資料



帽梁配筋



墩柱配筋

18



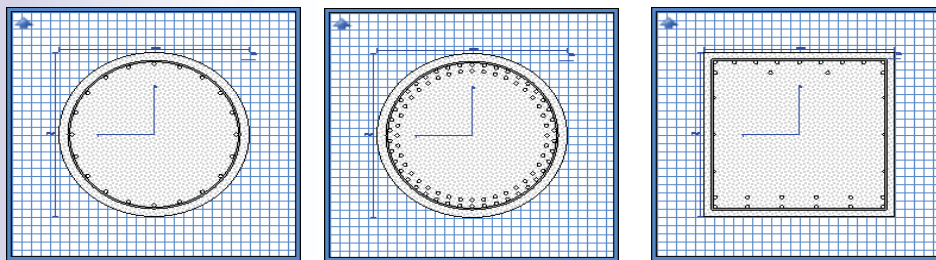
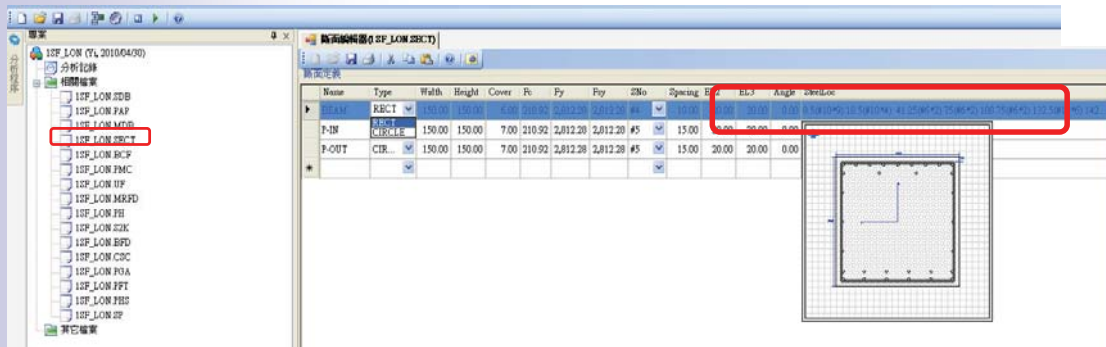
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

修改斷面配筋資料

前處理一	前處理二	後處理



19



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology

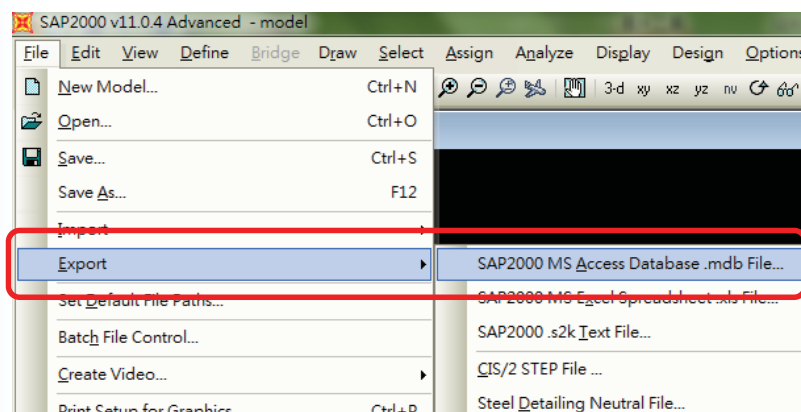


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

結構靜力分析

前處理一	前處理二	後處理

- 匯入*.MDB→靜力分析
- 匯出分析結果



20



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology

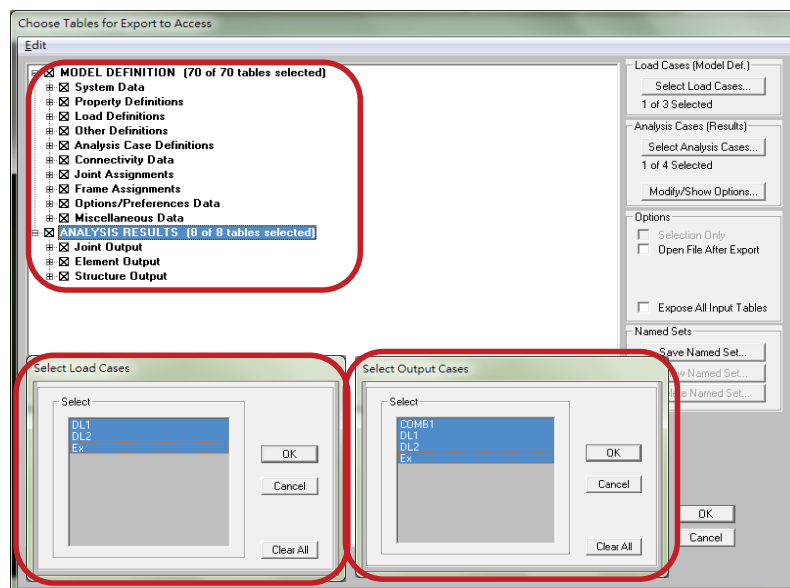


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

匯出靜力分析資料

前處理一	前處理二	後處理

- 選取所有項目匯出
Model Definition
Analysis results
Load Cases
Analysis Cases



21



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology

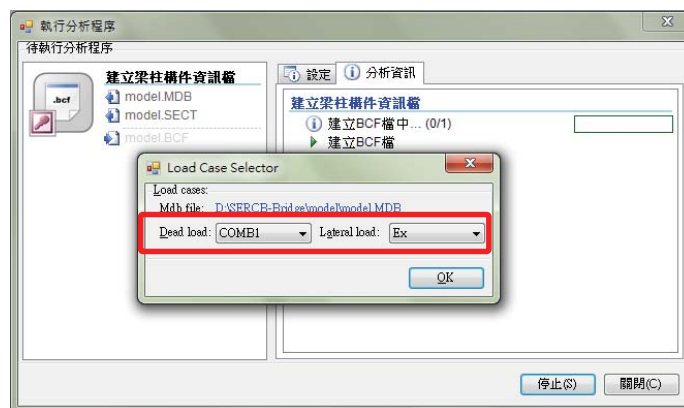


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

建立梁柱構件資訊檔

前處理一	前處理二	後處理

- 使用者點選
靜載重及側力 Load Case Name



22



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

前處理一	前處理二	後處理



- 軸力彎矩曲線分析
- 梁柱構件極限軸力分析
- 梁柱構件塑鉸分析
- 建立S2K檔

23



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



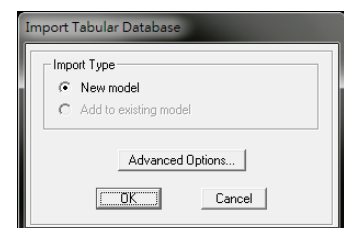
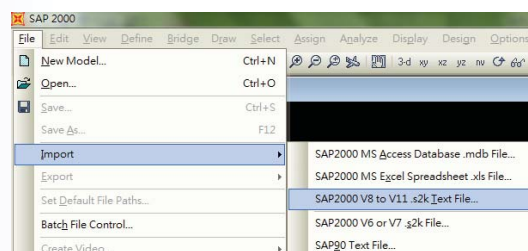
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

結構非線性側推分析

前處理一	前處理二	後處理



- SAP2000>>Import *.S2K
>> New model
- 定義側推分析Load Case
- 側推分析
- 匯出*.bfd & *.csc檔 *.MDB檔



24

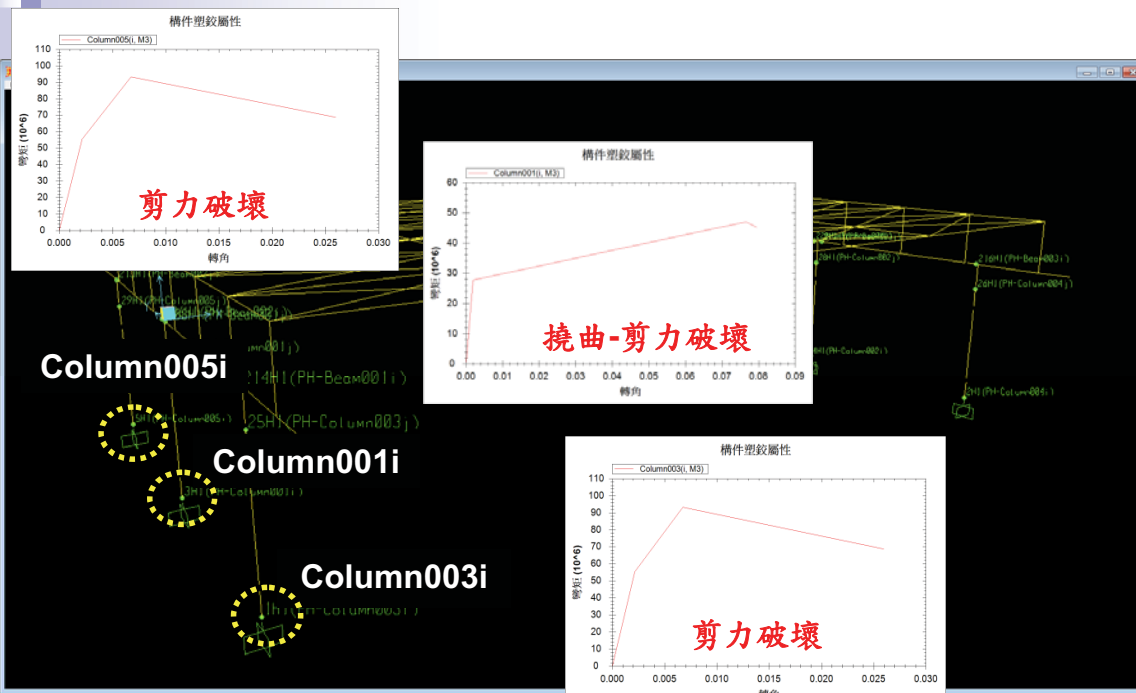


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

前處理一	前處理二	後處理



25



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

定義 Analysis Case-PD

前處理一	前處理二	後處理

Analysis Case Data - Nonlinear Static

Analysis Case Name: PD [Set Def Name] [Modify/Show...]

Analysis Case Type: Static

Initial Conditions:

- ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☐ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Analysis Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load	DL1	1.
Load	DL1	1.
Load	DL2	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

Load Application: Full Load [Modify/Show...]

Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

26



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

定義 Analysis Case-Pushover

前處理一	前處理二	後處理

Analysis Case Data - Nonlinear Static

Analysis Case Name: PUSHOVER [Set Def Name] [Modify/Show...]

Analysis Case Type: Static

Initial Conditions:

- ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [PD] [v]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Analysis Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load	Ex	1.
Load	Ex	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

Load Application: Displ Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

- 接續PD
- 位移控制
- Results Save
➔ Multiple States

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control:

- ☐ Full Load
- ☒ Displacement Control

Control Displacement:

- ☒ Use Conjugate Displacement
- ☐ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 26.8

Monitored Displacement:

- ☒ DOF: U1 at Joint: 95
- ☐ Generalized Displacement

[OK] [Cancel]

Results Saved for Nonlinear Static Analysis Cases

Results Saved:

- ☐ Final State Only
- ☒ Multiple States

For Each Stage:

Minimum Number of Saved States: 10

Maximum Number of Saved States: 100

☒ Save positive Displacement Increments Only

[OK] [Cancel]

27



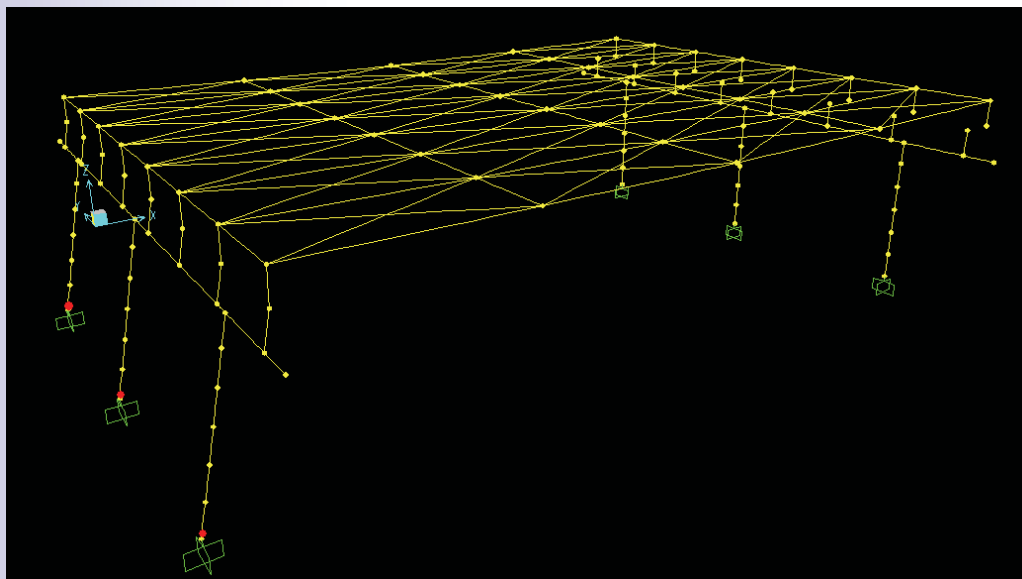
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

側推分析結束-最終步塑鉸狀態

前處理一	前處理二	後處理



28



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology

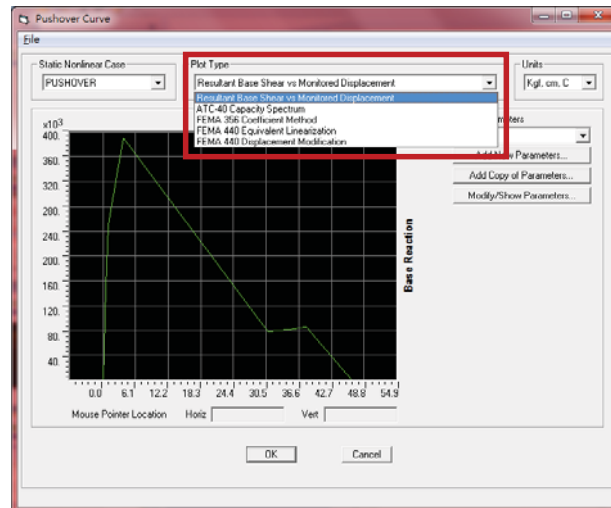
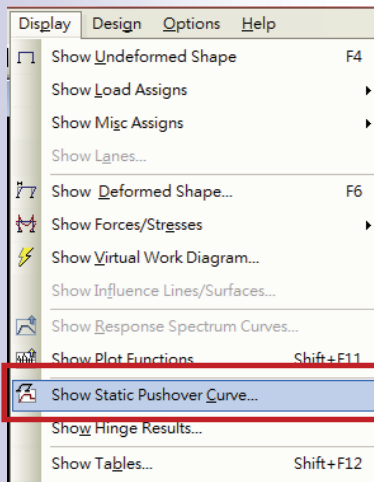


國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

匯出*.bfd檔及*.csc檔

前處理一	前處理二	後處理

- SAP2000>>Show Static Pushover Curve
- *.BFD>>Base Shear VS Monitored Displacement
- *.CSC>>ATC-40 Capacity Spectrum



29



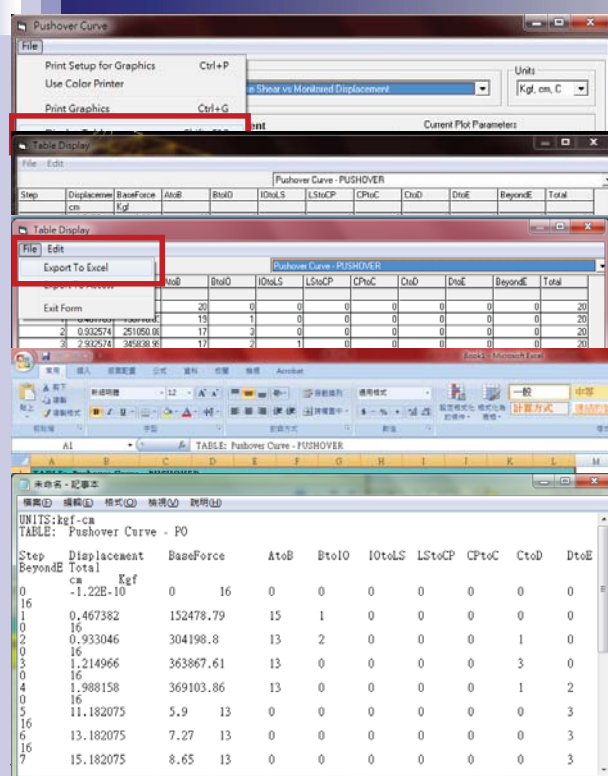
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

*.bfd檔

前處理一	前處理二	後處理



- Pushover Curve >>File>>Display Tables
- Table Display>>File>>Export To Excel
- 全選Excel 資料並複製
- 開啟記事本
- 鍵入"UNITS:kgf-cm"
- 貼上Excel資料
- 另存新檔 *.bfd檔
- 路徑:專案資料夾
- 檔名:同專案名稱

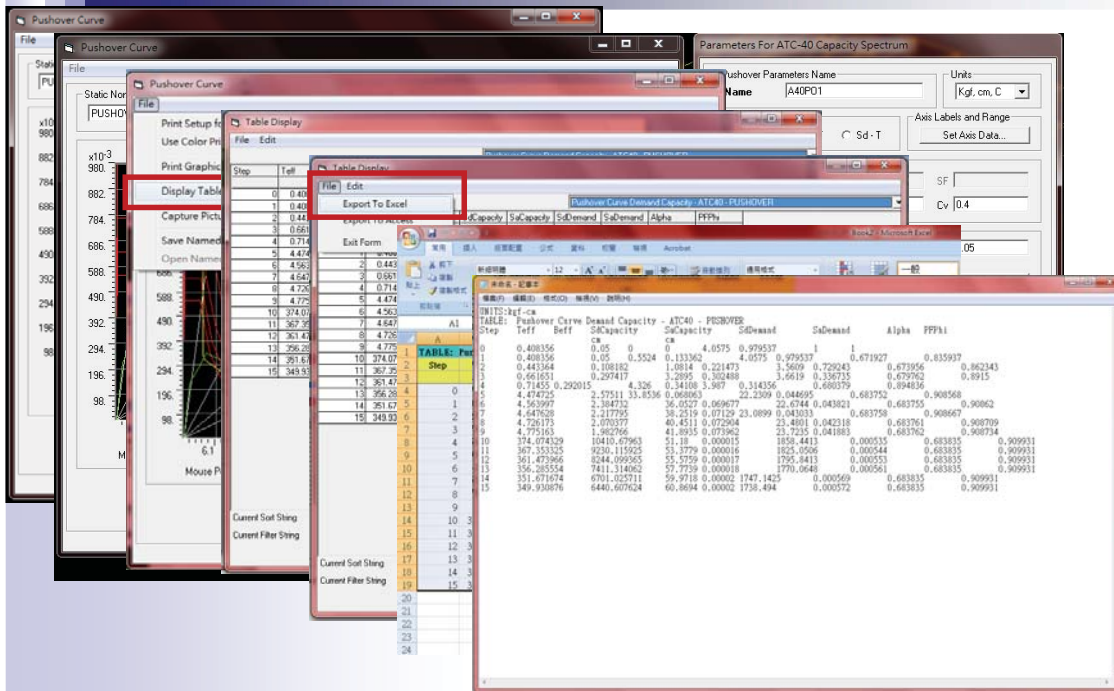
臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

*.CSC檔

前處理一	前處理二	後處理



31



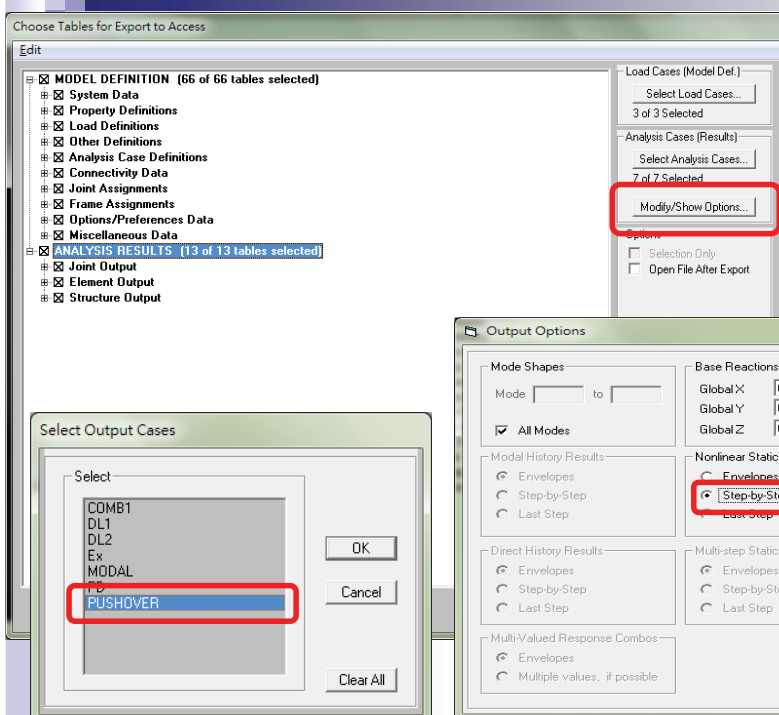
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

匯出側推分析資料*.MDB

前處理一	前處理二	後處理



- Output Case >> Pushover
- Nonlinear Static Results>> "Step-by-step"

32



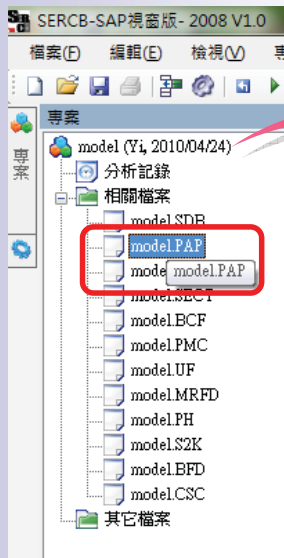
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

PGA分析

前處理一	前處理二	後處理



輸入工址資料

PAP編輯器(model.PAP*)

	City	District	Village	SoilType	Distance (km)	Kepa	CodeVersion	ImpactFactor	Info
▶	台南縣	永康市	*	第二類地盤	10	1	49及76年版	一般橋樑I=1.0	新化斷層, N...
*									

33

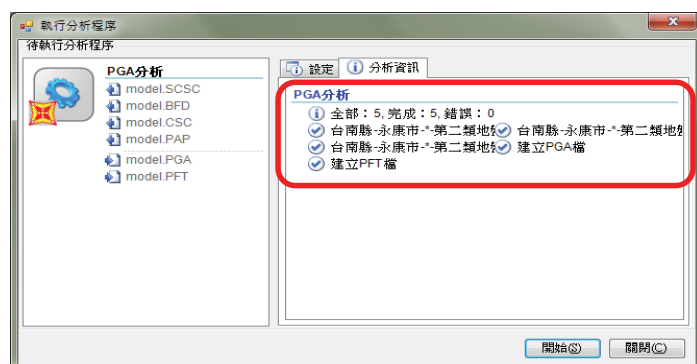


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

使用者自行選取降伏點



34



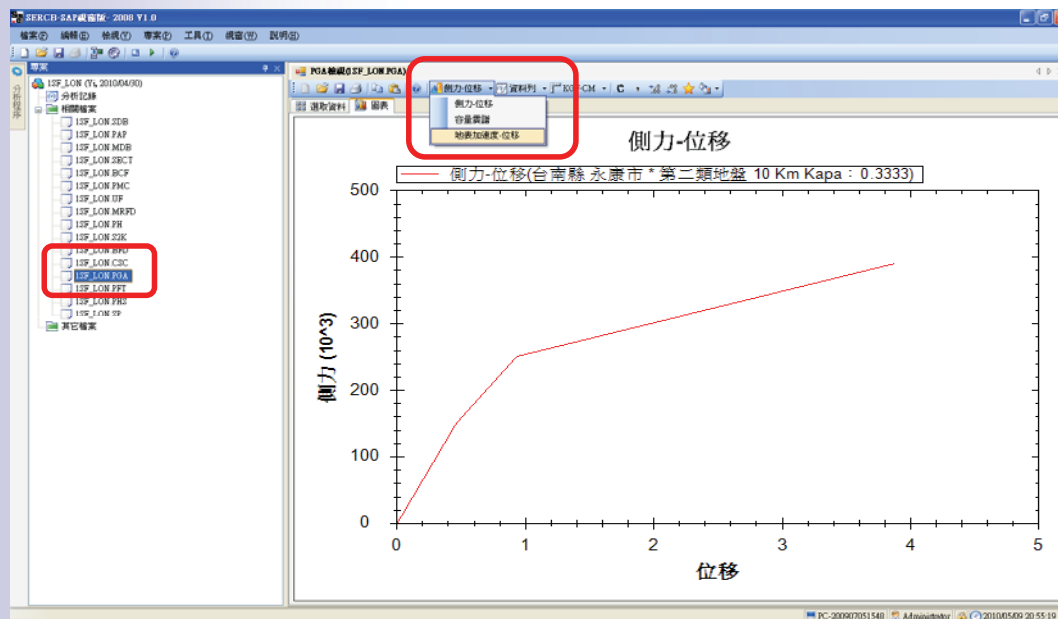
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

檢視*.PGA檔-容量曲線

前處理一	前處理二	後處理



35



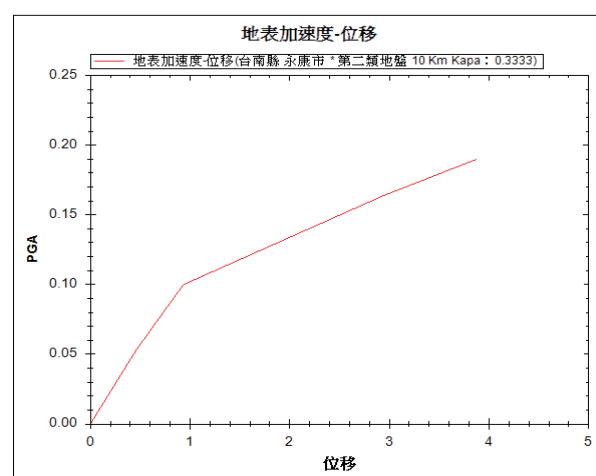
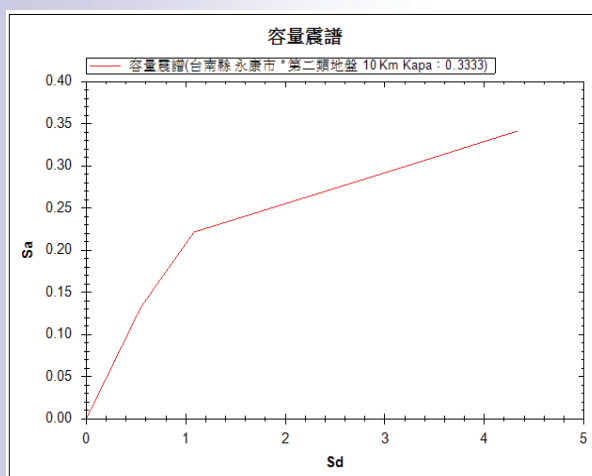
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

容量震譜、PGA-位移

前處理一	前處理二	後處理



36



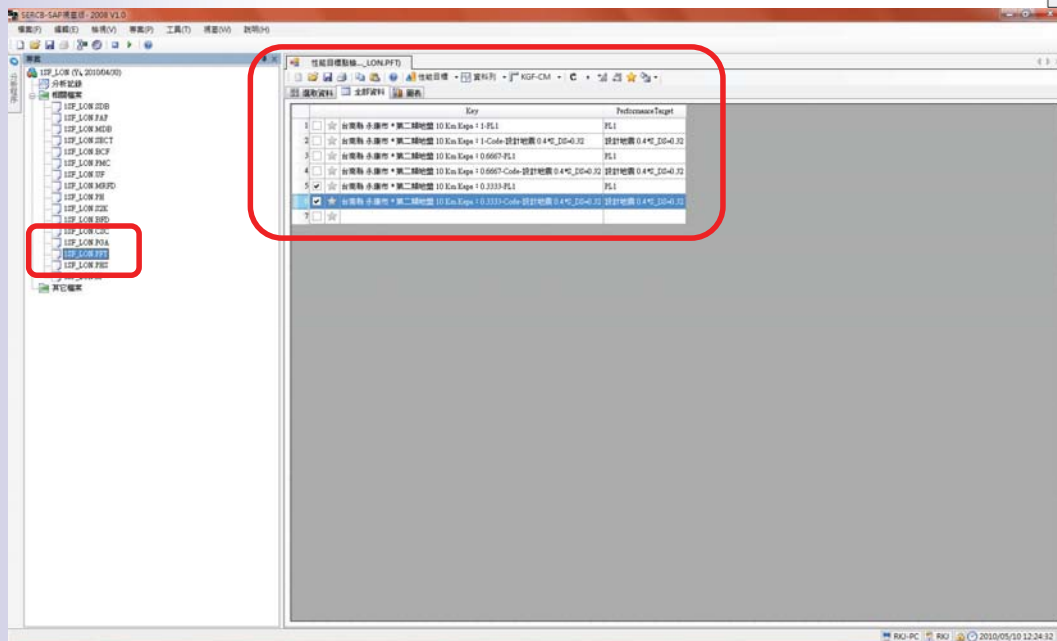
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

檢視*.PFT檔-性能目標

Kapa=1/3



37



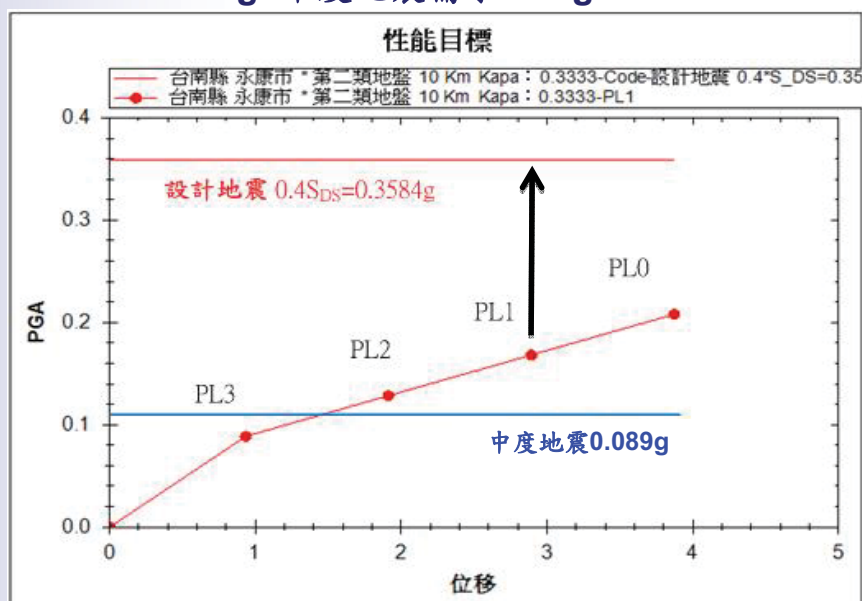
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

性能目標

PL1=0.168g < 設計地震需求 0.4S_{DS}=0.358g
PL3=0.089g < 中度地震需求 0.11g



38



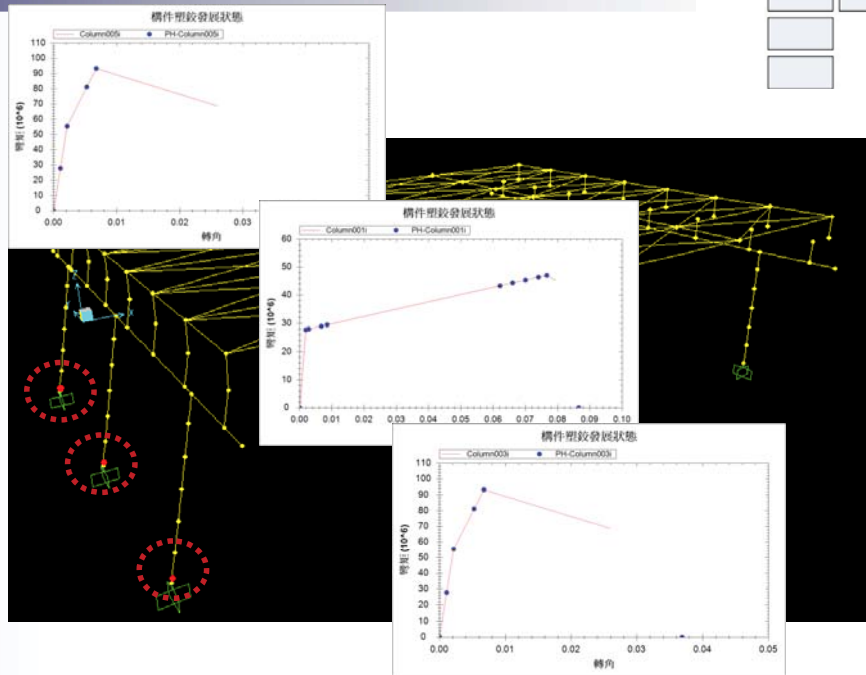
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

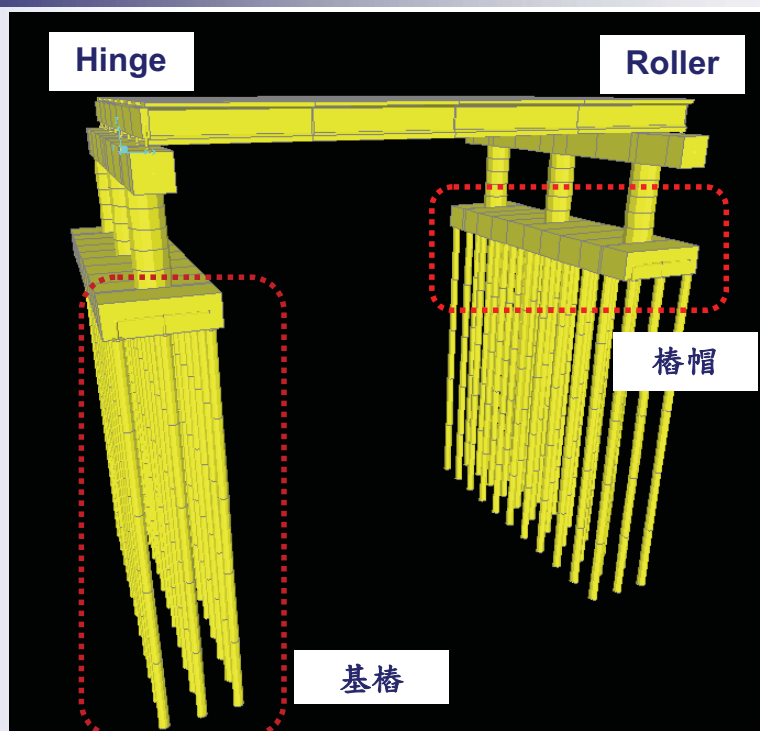
建立梁柱構件塑鉸狀態資訊

前處理一	前處理二	後處理



39

三、基樁裸露-行車向



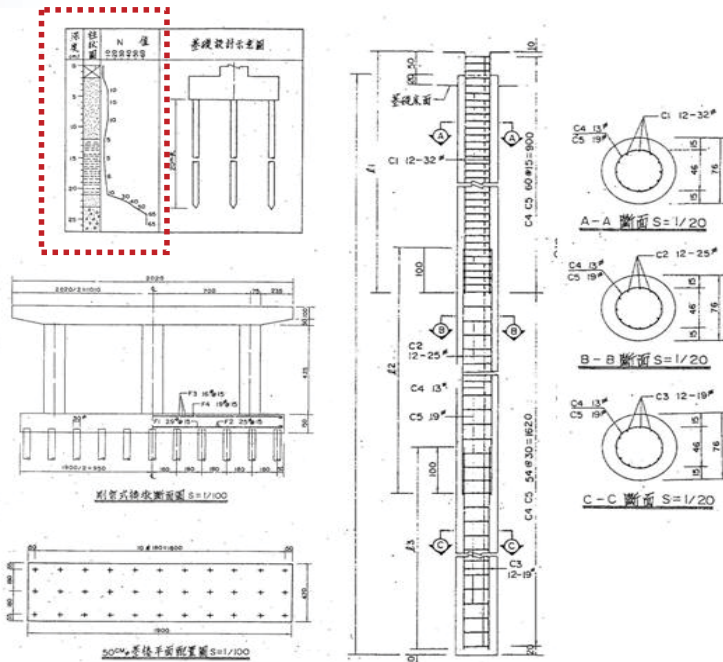
40

樁基礎設計圖及土層資料

土壤鑽探資料
0-10m SPT-N=5
10-20m SPT-N=10

基樁尺寸
樁徑:50公分
樁長:20公尺

各橋墩共33支



41

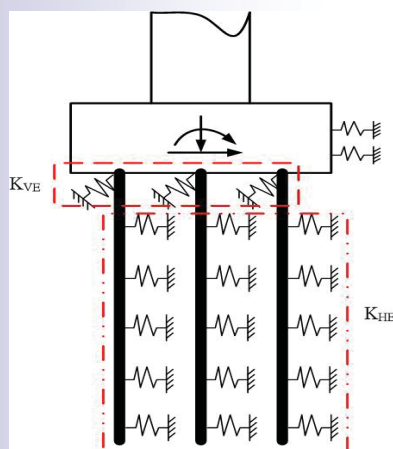


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



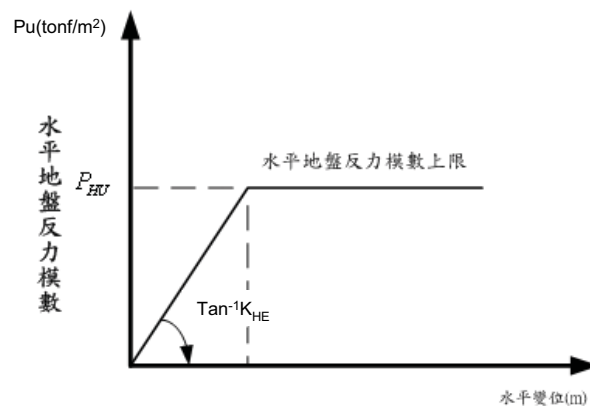
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

土壤彈簧-彈塑性模型



基礎彈簧分析模式

「國家地震中心-公路橋梁耐震評估及補強準則之研究成果報告」[1]



日本道路橋示方書[2]

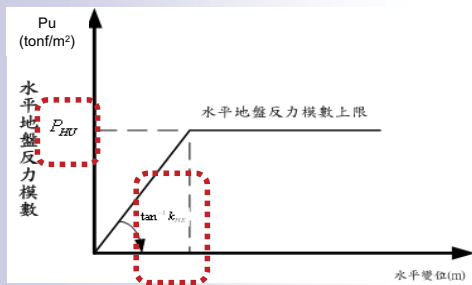
42



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering



$$k_{HE} = \eta_k \alpha_k k_H$$

$$P_{HU} = \eta_p \alpha_p k_U$$

P_{HU} : 水平地盤反力模數上限值 (kgf/cm²)

K_H : 地震時水平地盤反力模數 (kgf/cm³)

P_U : 地震時被動土壓力 (kgf/cm²)

α_k : 單樁水平方向地盤反模數修正係數，建議值如表

α_p : 單樁水平方向地盤反模數上限修正係數，建議值如表

η_k : 考慮群樁效應水平方向地盤反模數修正係數，可用 2/3

η_p : 考慮群樁效應水平方向地盤反模數上限修正係數

黏土層地盤 $\eta_p = 1.0$

砂土層地盤 $\eta_p \alpha_p = (\text{水平方向樁中心距/樁徑}) \leq \alpha_p$

修正係數表

地盤種類	α_k	α_p
砂土地盤	1.5	3.0
黏土地盤	1.5	1.5



地震時水平地盤反力模數

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-3/4}$$

$$B_H = \sqrt{\frac{D}{\beta}}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$$

k_{H0} : 水平地盤反力係數基準值 (kg/cm³)

B_H : 垂直於荷重方向之等值荷重寬度 (cm)

D : 樁徑 (cm)

EI : 基礎撓曲勁度

β : 基樁之特徵係數 (cm⁴)

實際計算可依下式計算: $k_H = 0.34(\alpha E_0)^{1.1} D^{-0.31} (EI)^{-0.103}$

地震時被動土壓力

$$P_U = \gamma \cdot x \cdot K_{EP} + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_{EP}}$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \delta)}{\cos \delta \cos \alpha}} \right]}$$

P_U : 深度 x 處地震時之被動土壓力 (kgf/cm²)

K_{PE} : 被動土壓力係數

γ : 土壤單位重 (kgf/cm³)

c : 土壤凝聚力 (kgf/cm²)

ϕ : 土壤摩擦角 (deg)

α : 地表面與水平面之夾角 (deg)

δ : 樁與土壤間之摩擦角可取 $-\phi/6$ (deg)

x : 深度 (cm)



基樁軸向單樁樁頭等值彈簧常數

$$k_{VP} = a A_p E_p / L$$

A_p : 單樁截面積

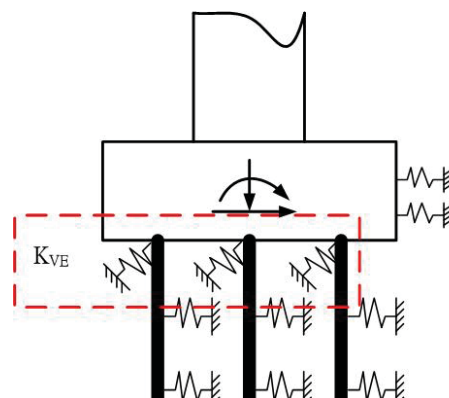
E_p : 樁頭之彈性模數

L : 樁長

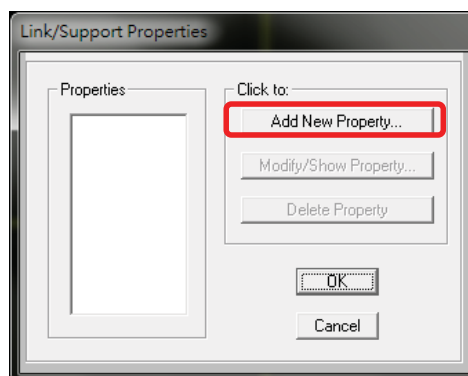
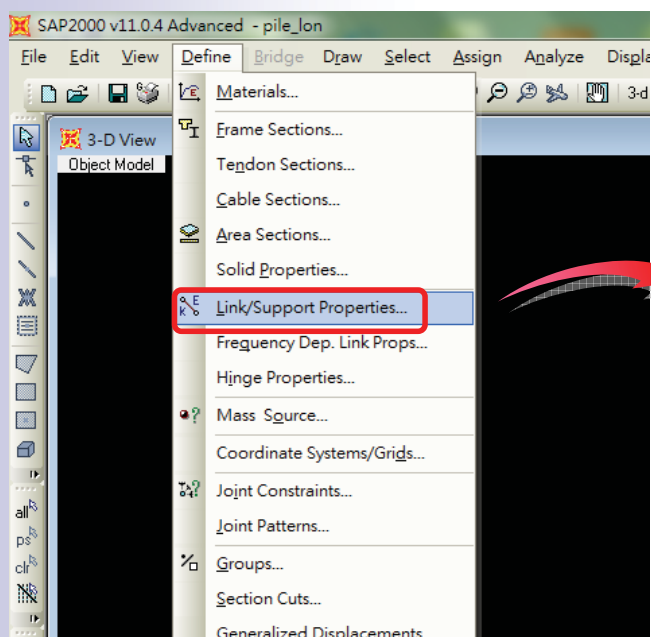
a : 基樁埋入深度大於10倍樁徑， a 值可由下列經驗公式估算

： $a = 0.031(L/D) - 0.15$

場鑄樁



Link-土壤彈簧



Link 參數設定

Link/Support Property Data

Link/Support Type: **MultiLinear Elastic**

Property Name: L8

Property Notes:

Total Mass and Weight:

Mass: 0.0, Weight: 0.0

Rotational Inertia 1: 0.0, Rotational Inertia 2: 0.0, Rotational Inertia 3: 0.0

Factors For Line, Area and Solid Springs:

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.0

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.0

Directional Properties:

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☐ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...
☐ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☐ R2	☐	☐	Modify/Show for R2...
☐ R3	☐	☐	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters: Advanced...

OK, Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification:

Property Name: L8, Direction: U2, Type: MultiLinear Elastic, NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases:

Effective Stiffness: 72241.71, Effective Damping: 0.0

Shear Deformation Location:

Distance from End-J: 0.0

Multi-Linear Force-Deformation Definition:

	Displ	Force
1	-1.000E-06	-1.000E-08
2	-1.000E-08	-1.000E-08
3	0.0	0.0
4	6.7209	485530.3
5	67.2	485530.3

Order Rows, Delete Row, Add Row

土壤只承受壓力

47

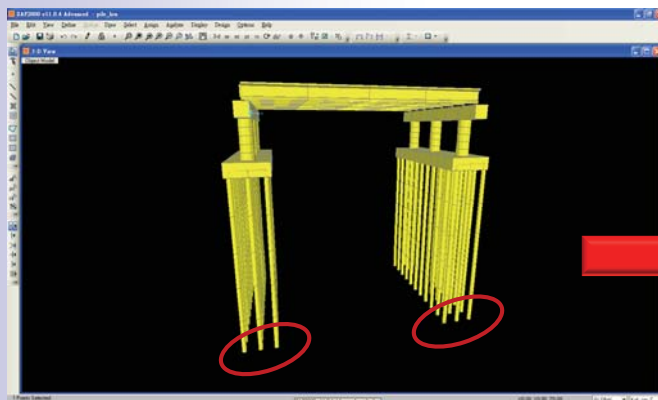


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

基樁底部彈簧設定-Link



Link/Support Property Data

Link/Support Type: MultiLinear Elastic

Property Name: FDX

Property Notes:

Total Mass and Weight:

Mass: 0.0, Weight: 0.0

Rotational Inertia 1: 0.0, Rotational Inertia 2: 0.0, Rotational Inertia 3: 0.0

Factors For Line, Area and Solid Springs:

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.0

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.0

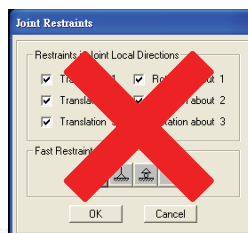
Directional Properties:

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☒	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☒	☐	Modify/Show for U2...
☒ U3	☒	☐	Modify/Show for U3...
☒ R1	☒	☐	Modify/Show for R1...
☒ R2	☒	☐	Modify/Show for R2...
☒ R3	☒	☐	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters: Advanced...

Fix All, Clear All

OK, Cancel



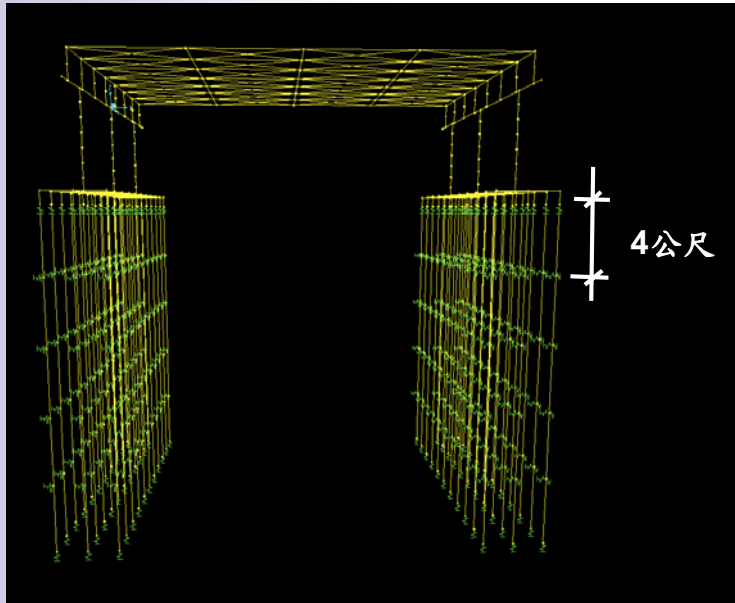
48



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering



基樁裸露深度：
以設計沖刷深度同時考量回
淤量達該深度一半為基準，
本案例假設4公尺。

49

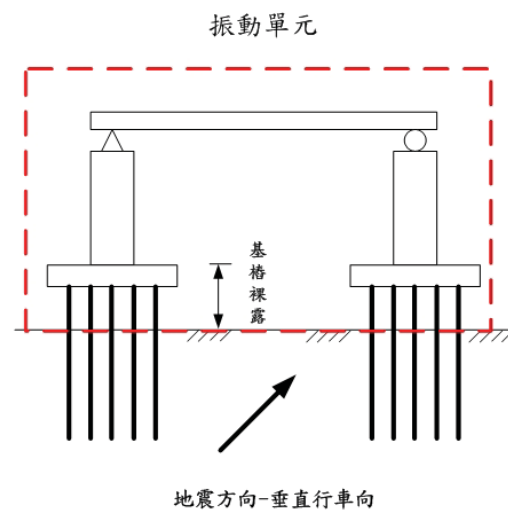
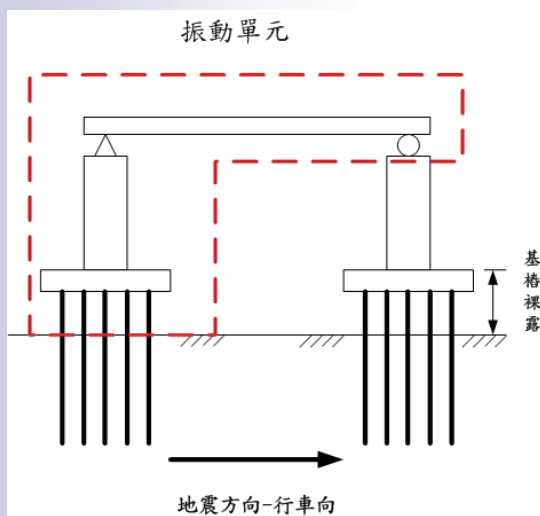


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

振動單元



50

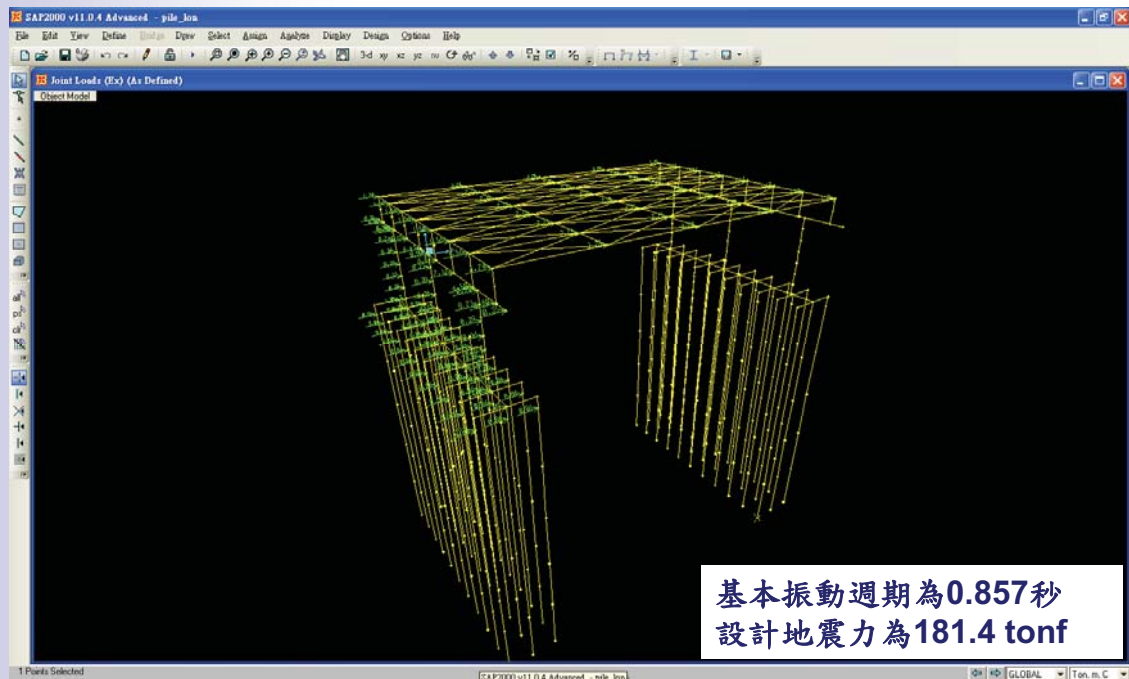


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

地震力分佈



51

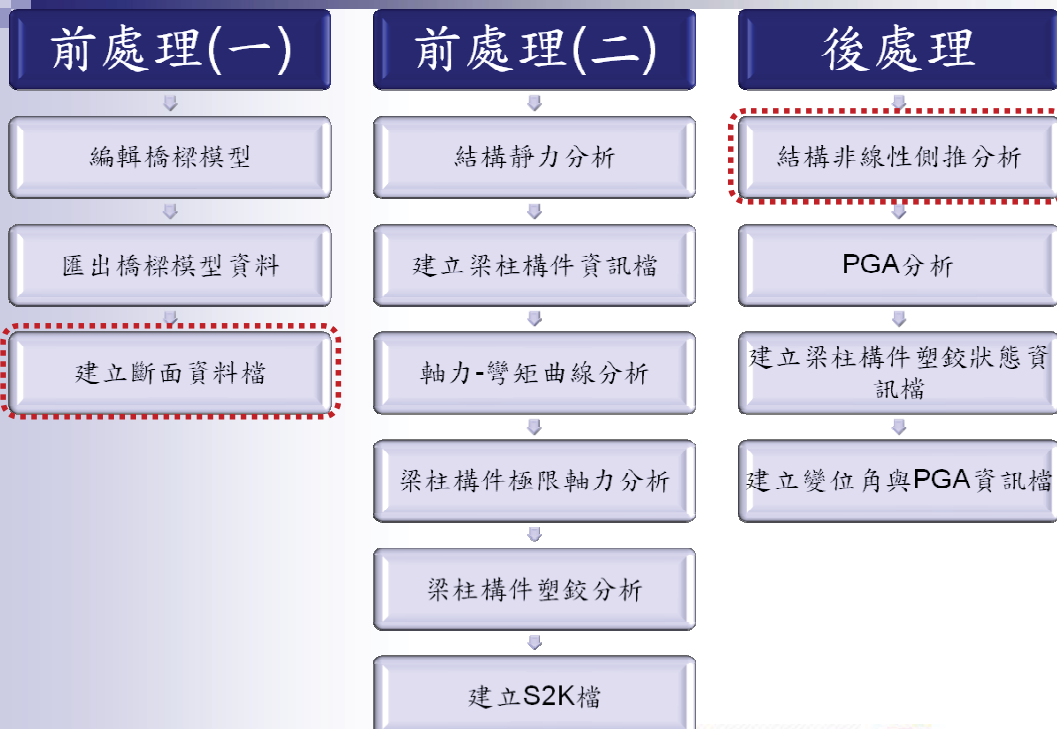


國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

分析流程



前處理一	前處理二	後處理

52



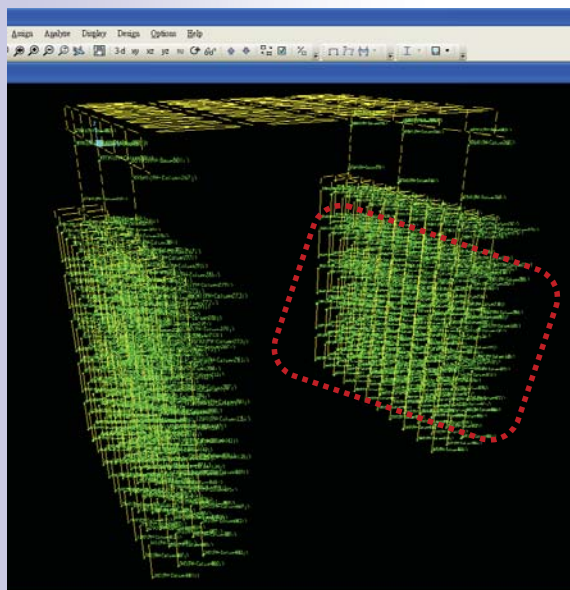
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



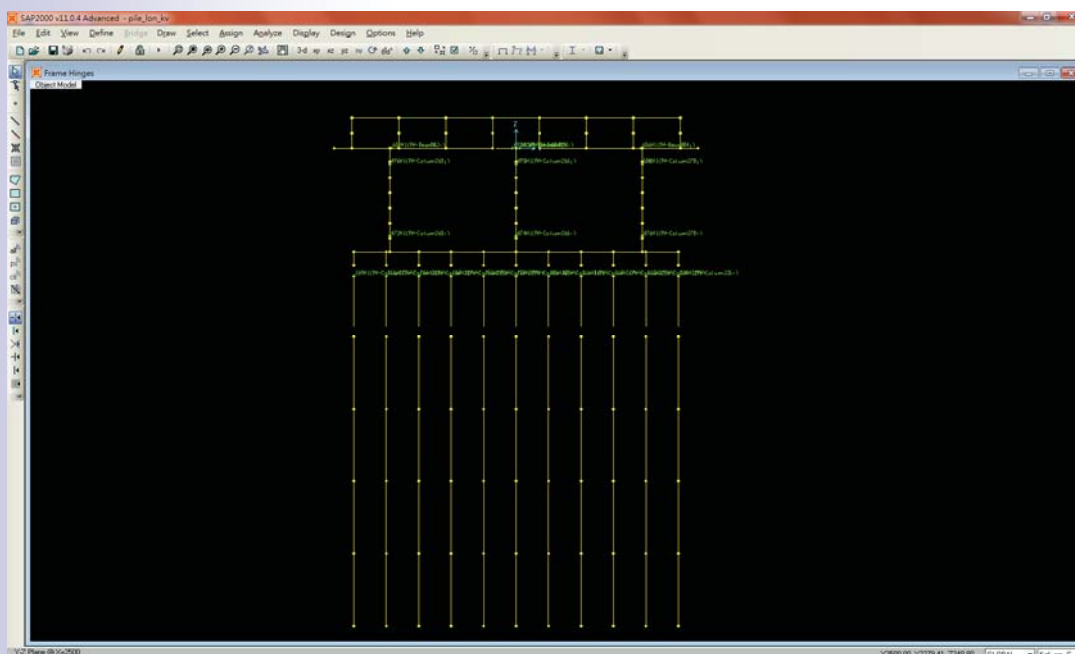
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering



基樁塑鉸



前處理一	前處理二	後處理



55



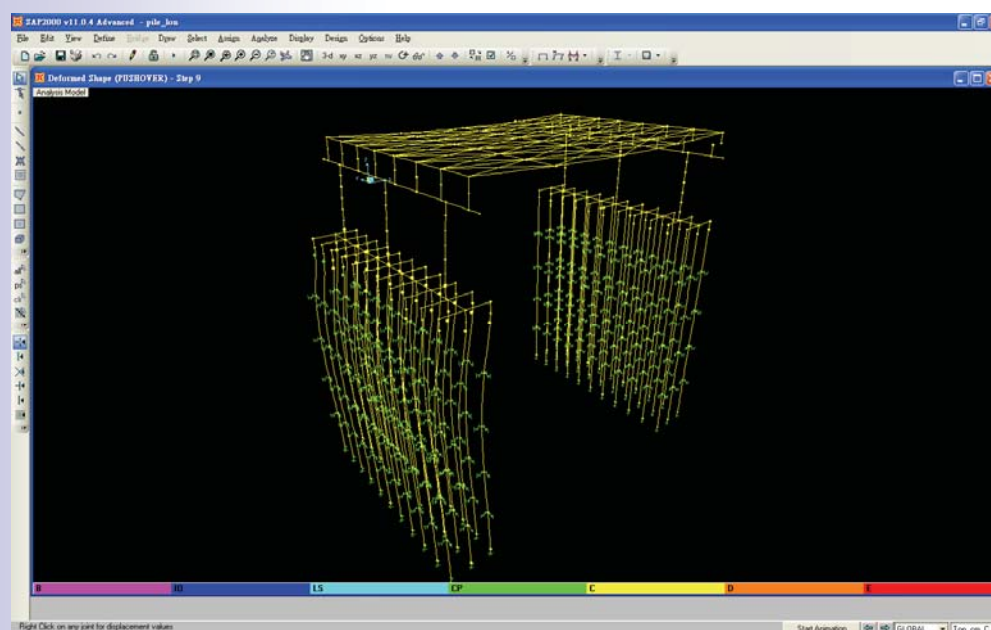
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

側推分析結束-最終步塑鉸狀態

前處理一	前處理二	後處理



56



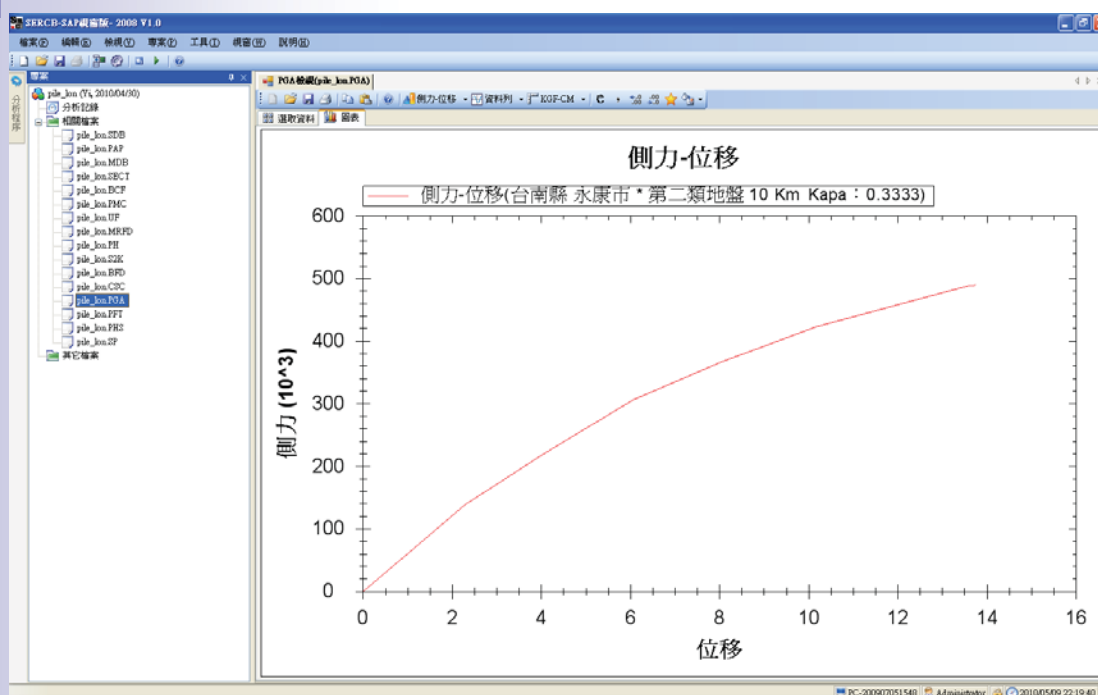
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

檢視*.PGA檔-容量曲線

前處理一	前處理二	後處理



57



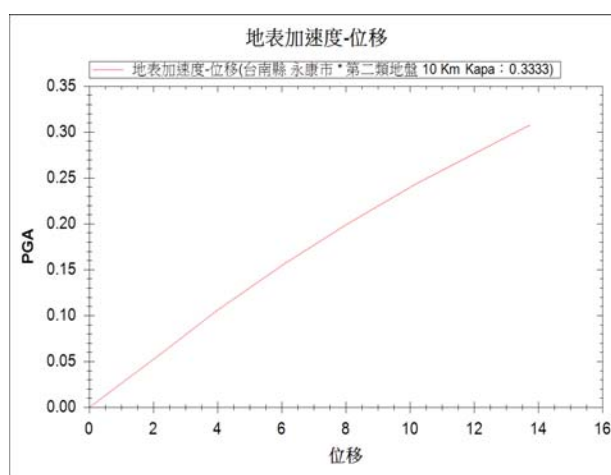
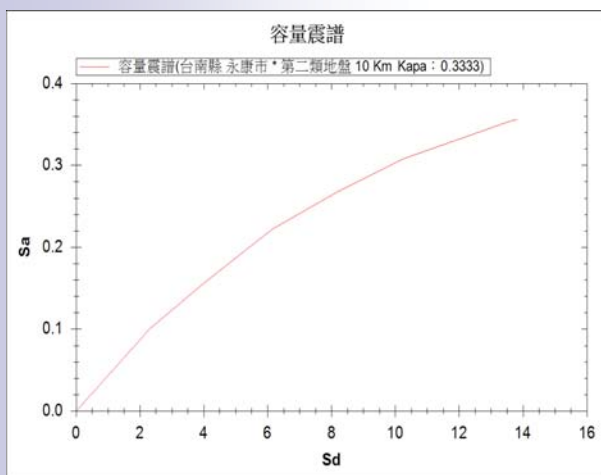
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

容量震譜、PGA-位移

前處理一	前處理二	後處理



58



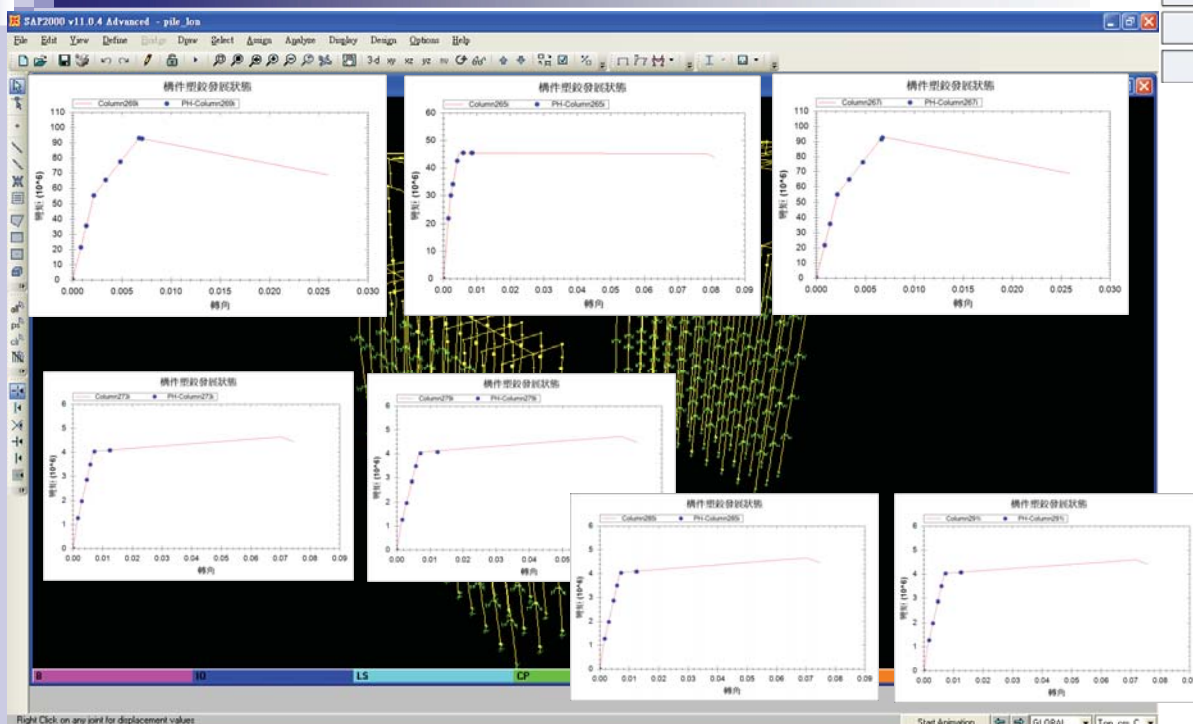
國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

檢視塑鉸狀態資訊

前處理一	前處理二	後處理



59



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



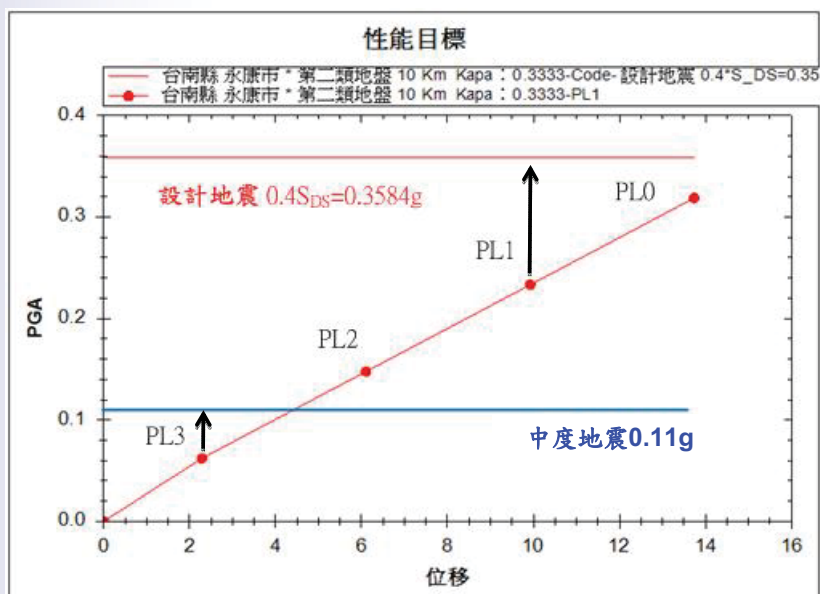
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

性能目標

前處理一	前處理二	後處理

$PL1=0.307g < \text{設計地震需求 } 0.4SDS=0.3584g$

$PL3=0.060g < \text{中度地震需求 } 0.11g$



60



國立臺北科技大學
National Taipei University of Technology



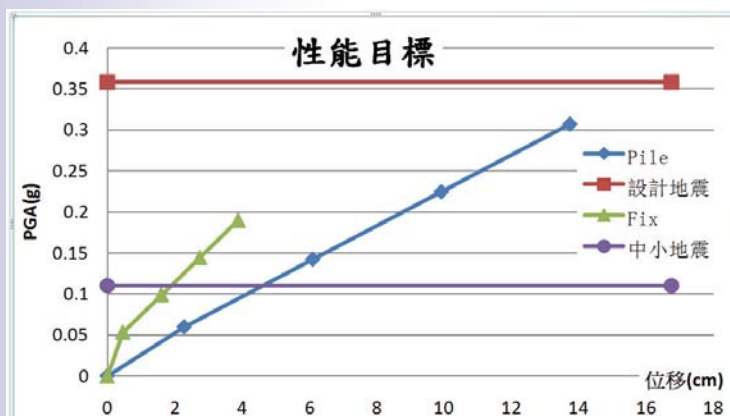
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

結論

- 依「交通部公路總局，公路橋梁耐震評估及補強準則之研究成果報告」所訂之性能目標檢核，**PL1及PL3**皆未達耐震目標-設計地震及中度地震之需求，行車向需要進行補強。



- 依強度準則檢核，具樁基礎裸露的結構由於基本振動週期變大，將降低地震力需求，分析所得**PL0與PL1**對應之**PGA**值高於不含基礎裸露者。



- 位移準則檢核，依公路橋梁耐震設計規範第C4.6節有關P- Δ 效應與偏心載重之規定，檢核樁相對位移及橋墩相對位移的依據， Δ_0 須小於 $0.2M_u/P$ 方稱合格。

$$\Delta_0 = Q_s \frac{M_u}{P} = 0.2 \frac{M_u}{P}$$

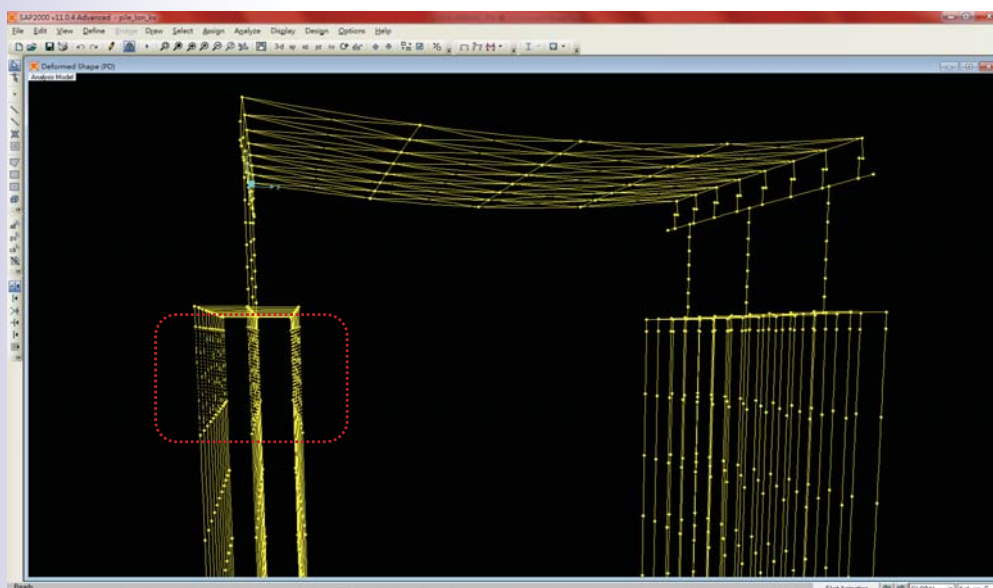
Δ_0 :容許相對變形

M_u :檢核構件之極限彎矩

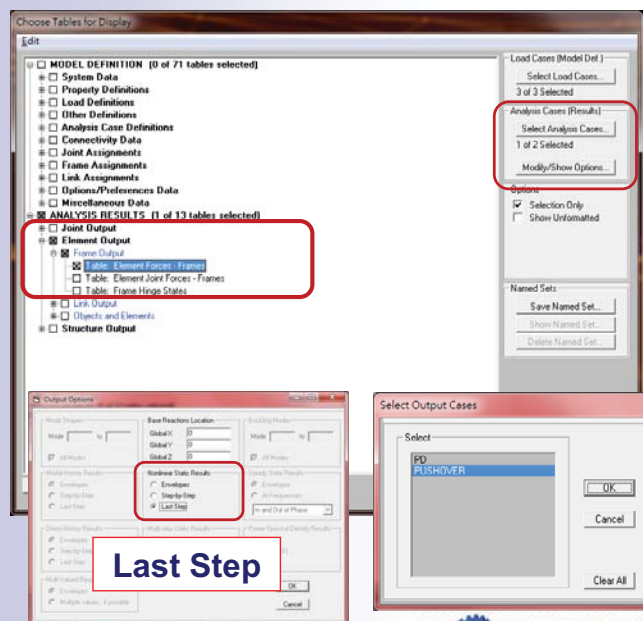
P :側推分析所得該狀態下之軸力



樁軸力及計算樁容許相對變位

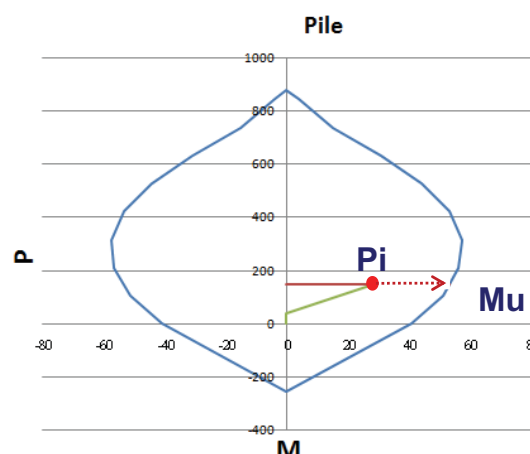
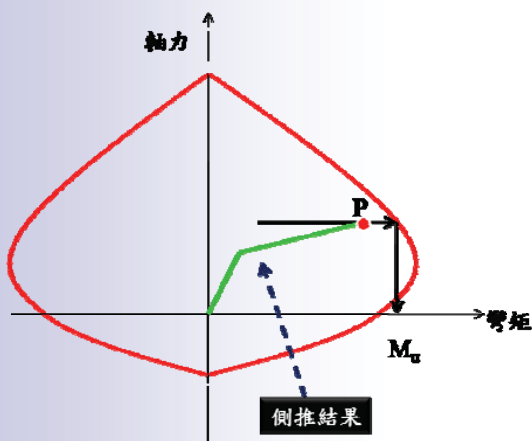


檢核樁桿件軸力 P_i

[illegible]

極限彎矩Mu

- *.PMC檔>>檢核斷面之P-M Curve
求極限彎矩
■樁頂容許相對位移7.5公分

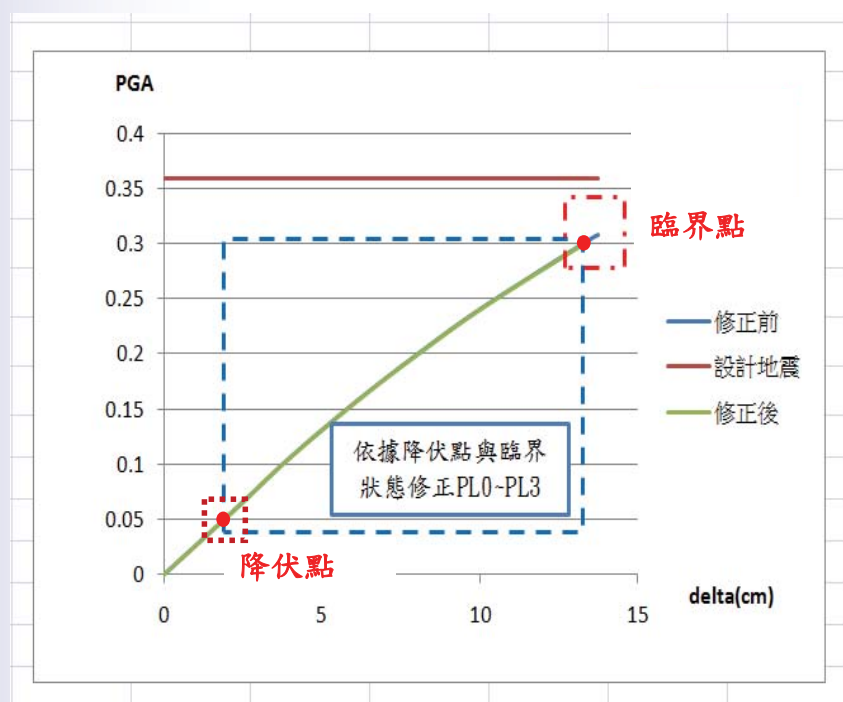


內插求臨界狀態點

樁頂及樁底變位量				PGA-位移曲線		
步數	樁頂絕對位移(公分)	樁底絕對位移(公分)	樁頂相對位移(公分)	步數	柱頂位移	PGA
0	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0
1	0.0002	0.0000	0.0002	1	0.0004	0
2	0.0003	0.0000	0.0003	2	0.0005	0
3	1.3787	0.0707	1.3080	3	2.2849	0.0599
4	2.5147	0.1148	2.3999	4	3.9577	0.1051
5	3.9296	0.1693	3.7602	5	6.0585	0.1566
6	4.9176	0.2075	4.7102	6	8.0585	0.2074
7	5.8915	0.2440	5.6475	7	10.1575	0.2581
內插	7.7727	0.2727	7.5000	內插	13.38917	0.301623891
8	7.8813	0.2744	7.6069	8	13.5756	0.305
9	7.9311	0.2747	7.6564	9	13.74	0.3074

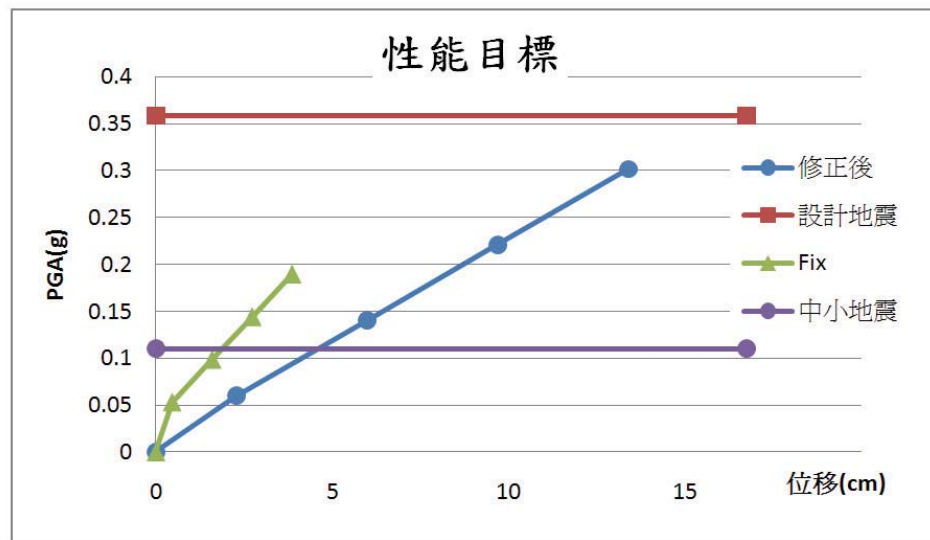
67

修正PGA-位移曲線



68

有無基樁裸露橋梁性能目標比較



- 經位移準則檢核並修正性能目標後，樁基礎裸露案例基樁裸露後之橋梁耐震能力仍大於未裸露者，顯示本例假設4公尺之沖刷深度時尚無降低橋梁耐震能力之虞。
- 構架式橋墩行車向與垂直行車向振動特性並不相同，地震力分配及側推分析後塑鉸發生的順序、破壞型式亦有所差異，使用者進行耐震能力評估時應分別進行行車向及垂直行車向之側推分析，作為後續補強參考。

Thank You