

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

赴美國俄亥俄州立大學研習 TRR- 相關廠房初步分析報告

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

出國人 職 稱：助理研究員

姓 名：劉 上 銘

出國地區：美國

出國期間：89年10月17日至89年12月15日

報告日期：90年2月14日

摘 要

本次出國實習係前往美國俄亥俄州立大學，研習以電腦程式分析 TRR- 計畫之相關結構。

本次實習所使用之電腦程式包括 IDEAS 及 ABAQUS 兩種。由於 IDEAS 無法做動態載重結構分析，但卻易於建立所需分析結構之模型，於是利用 IDEAS 建立適當模型，並將組成構件做適當定義，然後將相關資料轉成可被 ABAQUS 接受的檔案，再以 ABAQUS 輸入動態載重資料，做相關的結構分析。

為了解 IDEAS 及 ABAQUS 之運用，本次實習先以簡單的結構為例，自己嘗試建立簡單模型，並以簡單的靜態載重分別在 IDEAS 及 ABAQUS 中求解，而後建立適當的 TRR- 相關建築物模型，並在實際的載重作用下求解，逐步由簡而繁學習程式應用。

目 次

摘 要

一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	28
四、建 議	30
五、附 錄	31

一、目的

本次出國實習係前往美國俄亥俄州立大學(Ohio State University) 由俄亥俄州立大學蔡宗亮教授(Professor C. L. Tsai) 指導,學習以電腦程式分析結構相關問題,包括結構之靜力及動力分析,並以 TRR- 計畫內之相關結構為對象,嘗試做分析處理,以便日後對結構有所疑慮時可加以概略分析。

實習期間,研習所使用之電腦程式包括 IDEAS 及 ABAQUS 兩種。

IDEAS 之研習,主要在於建立適當模型,設定符合實際情況的長、寬、高及接合狀態等,並將組成構件做適當定義(如鋼材、鋁材或其他特殊材質等),以符合所欲分析之結構物特性。建立完成之模型,可於 IDEAS 本身做靜態載重分析,或輸出轉成可被其他程式接受之資料檔,做動態載重分析或其他相關分析(IDEAS 無法做動態載重結構分析)。

ABAQUS 之研習,主要在於做結構動態載重分析。接收由 IDEAS 輸出的模型相關檔案,再以 ABAQUS 規定格式輸入載重資料,做相關的結構載重分析,並可將結果以文字或圖片顯示。

本次實習先以簡單的結構為例,學習建立簡單模型,並以簡單的靜態載重分別在 IDEAS 及 ABAQUS 中求解,而後建立適當的 TRR- 相關建築物模型,並在實際的載重作用下求解,逐步由簡而繁學習程式應用,並學習如何在有疑慮時可由軟體本身的使用手冊或線上輔助系統學習解決。

二、過程

本次實習行程如下：

- 1、10月17日~10月18日(去程)台北 紐華克 哥倫布市
- 2、10月19日~12月12日(實習)哥倫布市
- 3、12月13日~12月15日(回程)哥倫布市 紐華克 台北

因為本次實習之目的在於研習 TRR- 相關廠房結構的初步分析，所以在正式接觸電腦程式之前，首先先進行相關廠房資料的了解，並選定欲分析廠房。

對於研習電腦程式的過程及相關內容，將之分為 IDEAS 及 ABAQUS 兩部份加以敘述。

2-1 電腦程式 IDEAS

欲分析建築物結構，首先需有適當的模型，模擬所要分析的對象；模型的適當與否，不僅是對結果影響甚巨，一個不當、錯誤的模型，不但徒勞無功，甚至可能引起錯誤的判斷，而導致結構的危險，甚或失敗，嚴重影響建築物功能。

IDEAS 是一個良好的結構分析程式(對於靜態載重而言)，而且對於結構模型的建立具有強大的功能，並有易於使用及修正的特性，這些是我們選用 IDEAS 來建立結構模型的原因所在。

以下各節乃就 IDEAS 模型建立的步驟以及求解靜態載重的過程做相關描述。對於已有使用分析程式經驗者而言，此部份可能過於簡單，但對 IDEAS 初學者，此部份或可提供入門的參考。

2-1-1 建立二維線性架構

欲建立二維線性開口或封閉架構，第一個步驟就是建立與架構相同尺寸的圖形。

在 IDEAS 中，我們可於主要模式(Master Modeler)下使用”線”(Lines)或”連續線”(Polylines)等。當然，其他可使用的工具尚包括：點(Point)、形成矩形(Rectangle)工具、形成圓形(Circle)工具、形成橢圓形(Ellipse)工具、畫弧形(Arc)工具、雲形線(Splines)及函數曲線(Function Spline)等。這些指令的用法與一般 2 維 CAD 系統

繪圖指令之用法相同。

並且在繪製二維幾何圖形時，IDEAS 亦提供各種抓取點、中點、圓心等輔助功能，這些指令包括焦點(Focus)、切點或線(Intersection)、對齊(Align)、直接輸入座標(Option)、導引束制條件(Navigator)如共點、相切、共線、平行、垂直、中點等束制條件。這些指令可幫助我們在建立圖形架構時可以將線的起點及終點乃至於所在位置等建立在正確的位置上。

建立好圖形架構之後，若需要修正，則可使用 IDEAS 中之編修指令，以對圖形做適當調整。這類指令包括偏移(Offset)、倒圓角(Fillet)、切直角(Make Corner)、打斷曲線(Divide At)、剪斷與延伸曲線(Trim/Extend)、結合兩曲線(merge Curve)、刪除(delete)、移動(Move)、旋轉(Rotate)、拉引(Drag)等。這些指令可使我們可以更簡便的方式形成更適當的架構。

圖 1 建立模型架構圖

當然，在實際進入 IDEAS 建立模型架構之前，我們應對所欲建立的架構已確實了解，包括各部份尺寸、起始及終止位置及所使用的材質等等。最好事先能在紙上繪出所需的圖形，並標示好相關的尺寸及接合情況，以便實際設定時得以參考遵循。

在完成所有圖形架構之後，以”Put away”將所建立的圖形儲存於圖形資料庫中，並自目前的工作桌面上消去。如果我們要繼續處理此部份的圖形架構，則以”Get”將之自圖形資料庫取出。

在本次實習中，先以簡單的模型做練習，這個簡單模型乃取材自 TRR- 相關廠房的部份架構，以一個簡單的鋼架構做為模擬的對象，其尺寸亦完全依照廠房此部份的實際尺寸，同時依據現有資料，亦將其實際的型鋼加入定義中(此部份於稍後的章節中敘述)。

2-1-2 建立桿件截面資料

在所建立的圖形架構中，也許每根桿件或組成構件分屬數種不同材質，並有不同的截面及特性，此時我們應將桿件分門別類，確定它們的截面及構成材質，以便進行我們的第二步工作 - 建立桿件截面資料。

對型鋼而言，IDEAS 提供數種不同的種類以供選擇，如工字型鋼之選項中即包括寬翼樑(Wide Flange Beam,亦即工字樑)、T 形樑(Tee Beam)、槽形樑(Angle Beam)、Z 形樑(Zee Beam)等；在我們目前所欲建立的模型架構中，所需要的為寬翼樑(Wide Flange Beam)及 T 形樑(Tee Beam)。

要建立型鋼截面資料，我們可先在 IDEAS 本身的資料庫中尋找是否有合適的標準型鋼可使用，若可發現有合適的型鋼，則直接選擇取用，若無，則需自行建立相關資料。我們以自行建立寬翼樑截面資料為例，說明如下：

進入建立樑截面資料的選項(Beam Sections)，選擇建立工字型鋼(I-Beam)按鈕，之後再選擇寬翼樑(Wide Flange Beam)，之後程式本身會要求輸入尺寸資料，這些資料包括樑深(Depth)、頂部翼寬(Width of top flange)、頂部翼深(Thickness of top flange)、腹板厚度(Web thickness)、底部翼寬(Width of bottom flange)、底部翼深(Thickness of bottom flange)、填充半徑(Fillet radius)、角落半徑

(Corner radius)及內翼斜度(Inner flange slope)等資料，只需依照提示將實際尺寸一一輸入即可建立所需截面。輸入完成後，程式會顯示出截面圖形，並詢問是否接受定義之剖面，在確認無誤之後，選擇接受。接著並選取管理剖面資料(Manage Section)之儲存(Store)選項，在給予一個編號及適當名稱之後，即可儲存所建立的截面資料，以便定義桿件時取用。

圖 2 完成輸入截面資料

2-1-3 定義網格

由於目前絕大多數的分析程式，包括 IDEAS 及 ABAQUS 均使用有限元素來分析結構，所以在進行分析之前，需決定元素長度、形狀等變數，以建立有限元素網格，才可進行應力應變分析。

進入模擬(Simulation)選項下的建立網格(Meshing)，以進入定義網格的各種參數及元素型式、形狀等選項，相關的選項包括網格型式(Mesh Type)：可選擇自由式(Free)或圖示式

(Mapped)。

自由式(Free)：選擇此選項可設定曲線及元素之連接性質。

圖示式(Mapped)：選擇此選項可設定斜線及三角形之元素型態。

元素長度(Element Length)：設定幾何上大約的元素長度。

元素類別(Element Family)：指定特定的元素類別，例如薄殼(Thin Shell)元素等，可選擇之選項依網格型式、幾何型態等而有所不同。

元素型態(Element Type)：依所選擇的元素類別、網格型式等而有不同的元素型態可供選擇。

物理特性(Physical Property)：指定元素之物理特性。每種不同的元素類別具有不同的物理特性表，此外，可形成之物理特性亦因分析程式之不同而有所差異。

圖 3 定義元素及網格，並設定截面

樑選項(Beam Options)：使用樑選項以指定樑之截面及方向等。此選項必須有樑截面存在才可使用，若尚未有資料存在應先建立樑截面相關資料。

材質(Material)：指定所選用之材質。

材質選擇(Material Selection)：可選用內建之材質、自行建立材質或自其他資料庫載入材質。

修正網格預覽(Modify Mesh Preview)：預覽先前所建立之網格，並可使用相關工具加以修正。

2-1-4 分析型態及邊界條件

欲進行結構分析，接著要定義的是邊界條件。在定義邊界條件之前，我們應將分析型態(Analysis Type)定義清楚；在模擬(Simulation)的邊界條件(Boundary Condition)選項下，我們可定義分析之型態為線性靜力分析(Linear Statics)或非線性靜力分析(Nonlinear Statics)。

線性或非線性靜力分析之差異何在呢？若我們的邊界條件是隨時間而有所變化，我們可將它放在非線性靜力分析模式下分析，而無法將它放在線性靜力分析模式下分析。

確定分析型態之後，接著我們要定義的是位移的限制條件(Displacement Restraint)。位移的限制條件限制結點的可移動與否，通常亦暗示接合狀態，例如架構底部以滾輪(roller)與平面接觸，可在二個方向有位移，以鉸接(hinge)與平面接合，可在一個方向旋轉，若以固定接合(fixed)的方式，則既不可有位移，亦不能旋轉。

在我們的模型架構中，鋼架與地面接合的狀態我們將之歸類為固定接合(fixed)，是既不可有位移，亦不能旋轉的接合方式，亦即在兩個接合點上，三個位移及三個旋轉量均受限制為零，在定義好位移的限制之後，並將此定義做為束制集合一(Constrain set 1)。

在完成定義位移的限制條件後，我們將定義結構的載重，在載重部份又可分為力量(Force)及壓應力(Pressure)。

在定義力量時，選取欲施加力量的桿件及施力點，並設定力量的大小即可。

在定義壓應力時，可選取結構表面、某一部份或元素表面等情況，並有三種壓應力以供選擇，包括壓力(Pressure)、靜水壓力(Hydrostatic Pressure)及樑均佈載重(Distributed Beam Load)等。在我們的模型架構中，以樑均佈載重做為加載力量之測試，選取作用之桿件後，並輸入力量之大小，設定完成後，並將之設為載重集合一(Load set 1)。

圖 4 設定限制條件及載重

相關條件均設定完成後，在邊界條件(Boundary Condition)選項中將束制集合一(Constrain set 1)及載重集合一(Load set 1)載入應用(Apply)，以完成邊界條件之設定。

2-1-5 進行分析及結果顯示

在完成邊界條件設定之後，即可預設我們所需的分析項目及指定分析參數，以進行結構本身的分析求解。

進入模擬(Simulation)模組中的模型求解(Model Solution)次模組，而後進入解集合(Solution Set)，點選產生(Create)以建立新的解集合，再指定邊界條件所使用的集合，而後點選輸出選擇(Output Selection)將所欲顯示的項目選出，例如元素力(Element Force)、應變(Strain)等，將原先的預設值”無”，更改為”儲存”(Store)，即可儲存在分析過程中元素力、應變等分析結果。程式本身有些預設項目，藉由這個選項可增加或減少分析過程所要儲存記錄的項目，以便在分析結果顯示時可獲取我們所需的資訊。

安排好解集合所欲擷取的項目之後，選取求解安排(Manage Solve)以設定奇異點(Singularity)移除之判斷標準、計算之矩陣是否存檔，以及輸出檔之檔名設定。完成各相關設定後，按求解(Solve)，程式提示稍候，系統轉換為分析執行程式，並顯示執行過程之訊息，待執行完畢即可顯示分析計算結果。

切換至模擬(Simulation)模組中的過程張貼(Post Procession)次模組以查看計算分析結果。

圖 5 分析結果

選擇分析結果之選項，並設定選擇對話框，以進行分析結果顯示之設定。在該對話框中，系統預設以色彩顯示應力值等結果，若不需更動則按 OK 以接受系統預定值。接著選取顯示圖元 (Display Templates)，以顯示分析結果。

2-1-6 檔案輸出

由於 IDEAS 本身無法做動態載重的分析處理，故將檔案輸出至其他應用程式，以處理動態載重的問題。IDEAS 本身具備有輸出至數種應用程式格式之功能，例如 Abaqus、Ansys、Cosmic Nastra、EVA、VisProducts 等，在這次的研習中，則選擇以 Abaqus 程式做為處理動態載重問題的電腦程式。

選擇下拉式功能表的檔案(File)部份，選擇輸出(Export)，進入輸出程式的選項，選擇電腦程式 Abaqus，進入功能表選項，進行給予檔案名稱(延伸檔名為.inp)，而後選擇曾有的設定(History Definition)，設定靜力分析(Static)、輸出控制(Output Control)、邊界條件(Boundary Condition)等，待設定好之後選擇應用(Apply)，再選擇 OK 即可進行輸出檔案之編寫。在輸出檔案成功寫出後，為適合我們的需求，可能需加以修改，此部份將於 ABAQUS 中探討。

2-2 電腦程式 ABAQUS

ABAQUS 是一個具有強大運算分析能力的電腦程式，不僅可處理各種靜態載重，設定相關材質特性，更具有優異的動態載重運算分析能力，並可以圖形顯示相關運算分析結果，使我們對於分析結果易於了解及接受，這些就是我們之所以選擇以 ABAQUS 做為我們處理動態載重分析程式的原因。

在以下各節分別敘述在本次實習中 ABAQUS 的相關運用。

2-2-1 分析原理

ABAQUS 提供數種方法以處理動態載重的分析問題，以下將分為線性及非線性兩部份來介紹，當然，這只是在 ABAQUS 中提到，非常簡略的說明，若欲了解詳細的分析原理，則需另行研讀各種動力分析的專門書籍。

(一)線性動力分析

線性動力問題之研究通常使用系統的特徵模組 (eigenmodes) 做為計算反應(response)的基礎。在這樣的例子中，所需的模組及頻率將於頻率的求取步驟中首先被計算。特徵值也可以在預壓力(prestressed)系統中被提取，在預載系統(preloaded system)的動力研究中，這可能會用到。

模組的方法在線性問題的分析中經常被選用，因為使用直接積分的方法需對方程式運動的整個時間積分，這使得直接積分的方法顯然比模組的方法要麻煩得多。

(二)非線性動力分析

當我們在研究非線性動力反應時，就必需使用到對系統的直接積分了。對於所有在動力分析系統中所使用到的材料，它們的密度都必須已被定義。解決非線性動態載重問題也有三種方法可使用，包括：

(1)一般、短暫的動力分析(General, transient dynamic analysis)

一般的動力分析必須求解非線性動力反應(response)。一般線性或非線性動力分析對整個模型使用隱性積分(implicit integration)以計算一個系統的短暫動力反應。

ABAQUS 於標準(Standard)模式中提供這種直接積分法，稱為泰勒運算子(Hilber-Hughes-Taylor operator)，是一種梯形規則的擴展。泰勒運算子是一種隱性的(implicit)，在每個時間的增量中，積分運算的矩陣必須加以反轉，而同時非線性動力方程式集需被解出。這些解答是使用牛頓法(Newton's method)逐項解出。

這種解決方程式的過程可說是相當麻煩，而且如果方程式是非常的不規則，也許將難以求得解答。但無論如何，將非線性問題在放在動力問題中求解比放在靜力問題中求解要容易得多，因為就數學上而言，內

部的項目對系統來說是穩定的。一般而言，除了一些極特殊的情況外，這個方法對於所有的動力問題均可奏效。

(2)顯性的動力分析(Explicit dynamic analysis)

顯性的動力分析只限於在 ABAQUS 的顯性 (Explicit)模式下使用。

取代非線性動力分析的方法是使用中央微分算子 (central difference operator)來處理運動方程式的積分問題。這樣的方法被歸類為顯性的動力分析法並且被置於顯性模式下。

因為位移及速度在時間增量的最初即被計算出，整體的質量及勁度矩陣並不需要加以反轉，此即意味著每一個時間增量的處理過程將比隱性方法的處理過程要來得簡易的多。但因中央微分算子僅是情況下穩定，所以在顯性動力分析下的時間增量大小是必須受到限制的。

在選擇動力分析的方法時，使用者必須考量時間增量的大小是否可符合顯性分析方法的穩定條件，而且顯性方法對第一階的元素位移具有相當的限制，這些都是使用者所應該加以考量的，而經驗是唯一有用的指導。

(3)次空間投影法(Subspace projection)

次空間投影法乃是用直接、顯性的積分方法處理動力方程式，並將方程式平衡的向量空間(vector space)寫成一個個的特徵向量(eigenvector)。以提取頻率的步驟取得特徵模組(eigenmode)做為整個系統的基本向量。這樣的方法對輕微不規則而不改變模型形狀的問題是有效的，但卻難以解決真正複雜的問題。

一般而言，直接積分的方法當然是麻煩得多，但若在勁度矩陣中的非對稱項目是很重要的情況，又或模型參數取決於頻率時，則非使用不可了。

2-2-2 簡單模型的靜力分析

大略了解分析原理之後，接著嘗試進行相關分析，在本節所述是以靜力(static)分析做為初步嘗試。

由 IDEAS 所建立的模型，轉換成可被 ABAQUS 所接受的檔案，所轉換成的檔案如下：(同一類型資料太多時部份加以省略)

*HEADING

SDRC I-DEAS ABAQUS FILE TRANSLATOR 21-Nov-00 11:38:48

*NODE, SYSTEM=R

1, 0.0000000E+00, 0.0000000E+00, 0.0000000E+00

2, 0.0000000E+00, 1.7000000E+01, 0.0000000E+00

.

.

(中間部份省略)

.

.

138, 1.7143079E+01, 7.2857143E+00, 0.0000000E+00

139, 1.8695386E+01, 4.8571429E+00, 0.0000000E+00

140, 2.0247693E+01, 2.4285714E+00, 0.0000000E+00

*ELEMENT,TYPE=B31 ,ELSET=E0000001

9, 23, 24

11, 25, 4

10, 24, 25

8, 22, 23

7, 3, 22

*ELEMENT,TYPE=B31 ,ELSET=E0000002

31, 41, 42

28, 11, 39

29, 39, 40

30, 40, 41

32, 42, 12

*ELEMENT,TYPE=B31 ,ELSET=E0000003

```

6,    21,    2
5,    20,    21
:
(中間部份省略)
:
40,   48,   49
41,   49,   50
42,   50,   16
*ELEMENT,TYPE=B31      ,ELSET=E0000004
43,   10,   59
44,   59,   60
:
(中間部份省略)
:
68,   80,   81
69,   81,   82
70,   82,   8
*ELEMENT,TYPE=B31      ,ELSET=E0000005
85,   86,   107
104,  123,   3
:
(中間部份省略)
:
122,  138,  139
115,  132,  133
113,  130,  131
*BEAM GENERAL SECTION,ELSET=E0000001,DENSITY=
4.882E+02,ZERO= 7.133E+01
1.36780E-01, 5.73514E-03, 0.00000E+00, 4.60745E-02, 1.15920E-04, 0,
2.44145E-03
-9.999911E-01,-4.231327E-03, 0.000000E+00
1.389632E+11, 5.386171E+10, 6.500000E-06
*CENTROID

```

0.000000E+00, 0.000000E+00
 *SHEAR CENTER
 0.000000E+00, 0.000000E+00
 *BEAM GENERAL SECTION,ELSET=E0000002,DENSITY=
 4.882E+02,ZERO= 7.133E+01
 1.36780E-01, 5.73514E-03, 0.00000E+00, 4.60745E-02, 1.15920E-04, 0,
 2.44145E-03
 -9.999958E-01, 2.894350E-03, 0.000000E+00
 1.389632E+11, 5.386171E+10, 6.500000E-06
 *CENTROID
 0.000000E+00, 0.000000E+00
 *SHEAR CENTER
 0.000000E+00, 0.000000E+00
 *BEAM GENERAL SECTION,ELSET=E0000003,DENSITY=
 4.882E+02,ZERO= 7.133E+01
 1.36780E-01, 5.73514E-03, 0.00000E+00, 4.60745E-02, 1.15920E-04, 0,
 2.44145E-03
 -1.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
 1.389632E+11, 5.386171E+10, 6.500000E-06
 *CENTROID
 0.000000E+00, 0.000000E+00
 *SHEAR CENTER
 0.000000E+00, 0.000000E+00
 *BEAM GENERAL SECTION,ELSET=E0000004,DENSITY=
 4.882E+02,ZERO= 7.133E+01
 7.27431E-02, 1.18192E-03, 0.00000E+00, 1.39537E-02, 3.87541E-05, 0,
 2.93988E-04
 0.000000E+00,-1.000000E+00, 0.000000E+00
 1.389632E+11, 5.386171E+10, 6.500000E-06
 *CENTROID
 0.000000E+00, 0.000000E+00
 *SHEAR CENTER
 0.000000E+00, 0.000000E+00

```

*BEAM SECTION,MATERIAL=M0000001,SECTION=I,ELSET=E0000005
  4.626883E-01, 6.670000E-01,0, 1.000000E+00,0, 3.667000E-02, 7.334000E-
02
  0.000000E+00, 0.000000E+00,-9.999999E-01
*MATERIAL,NAME=M0000001
*ELASTIC,TYPE=ISOTROPIC
  1.390E+11 2.900E-01
*DENSITY
  4.882E+02
*EXPANSION,TYPE=ISO,ZERO=71.33
  6.500E-06
*CONDUCTIVITY,TYPE=ISO
  1.808E+02
*STEP,AMPLITUDE=STEP,INC=10
*STATIC
** BOUNDARY CONDITION SET 1
** RESTRAINT SET 1
*BOUNDARY,OP=NEW
      1, 1, 6,      0.00000E+00
      10, 1, 6,      0.00000E+00
** LOAD SET 1
*DLOAD,OP=NEW
      22,  PX,3.0000E+00
      23,  PX,3.0000E+00
          :
      (中間部份省略)
          :
      40,  PX,3.0000E+00
      41,  PX,3.0000E+00
      42,  PX,3.0000E+00
*NODE FILE,FREQUENCY=      1,GLOBAL=YES
U
*EL FILE,FREQUENCY=      1,POSITION=NODES,DIRECTIONS=YES

```

S,E

*END STEP

對於所轉換成的檔案，其相關意義簡略說明如下：

在檔案開頭(HEADING)部份即說明本檔案係由 IDEAS 轉換而來，並列出轉換的日期及時間。接著列出各節點(NODE)編號及該點座標所在，顯示出本模型架構共計有 140 個節點。各元素(ELEMENT)的編號、所屬型態(TYPE)及所屬的元素集合(ELSET)名稱，分屬由 E0000001~E0000005 的五個集合。

接著敘述樑的截面(SECTION)、分別所屬集合名稱(ELSET)及相關物理特性，例如重心(CENTROID)、剪力中心(SHEAR CENTER)等。再來則是材質(MATERIAL)、彈性(ELASTIC)、密度(DENSITY)、傳導性(CONDUCTIVITY)等材料性質。

在基本特性之後，開始進入分析迴路，分析型態為靜力分析(STATIC)，列入邊界條件(BOUNDARY CONDITION)的限制條件(RESTRAINT)集合及載重(LOAD)集合，在分析的過程並另外寫入節點檔案(NODE FILE)及元素檔案(EL FILE)。

為了節省硬碟空間及方便了解分析結果起見，最後數行將修正為

```
*NODE FILE,FREQUENCY=0
```

```
U
```

```
*EL FILE,FREQUENCY= 0
```

```
S,E
```

```
*RESTART, WRITE, FREQUENCY=1, OVERLAY
```

```
*END STEP
```

因不須查看分析過程中節點及元素的變化，故不另寫入節點檔案(NODE FILE)及元素檔案(EL FILE)以節省硬碟空間。並加上 RESTART 指令以便查看分析結果。

修改後，我們可利用貼上(POST)之指令來檢視結果，所得位移(displacement)及應力分佈之結果分別如以下二圖所示。位移的結果係經過放大，以突顯變位的差異。

圖 6 經放大的位移圖

圖 7 應力分佈圖

2-2-3 簡單模型的動力分析

在有了以簡單模型做靜力分析的經驗之後，接著嘗試以簡單模型做動力分析。

動態載重的資料來自本所測站，921 地震時所測得的紀錄(東-西向部份)，當然，紀錄的格式與 ABAQUS 所可接受的格式不同，經整理之後，所得載重資料檔如下：(由於資料極為龐大，僅列出最前面一小部份)

0,	-0.14,	0.005,	0.279,	0.01,	0.159,	0.015,	-0.14
0.02,	-0.02,	0.025,	0.1,	0.03,	-0.439,	0.035,	-0.02
0.04,	0.159,	0.045,	0.219,	0.05,	0.04,	0.055,	-0.02
0.06,	-0.08,	0.065,	-0.02,	0.07,	-0.199,	0.075,	-0.02
0.08,	0.1,	0.085,	0.1,	0.09,	0.04,	0.095,	-0.14
0.1,	-0.14,	0.105,	0.219,	0.11,	0.159,	0.115,	-0.02
0.12,	-0.02,	0.125,	0.04,	0.13,	-0.08,	0.135,	-0.14
0.14,	0.04,	0.145,	0.04,	0.15,	-0.02,	0.155,	-0.02
0.16,	-0.14,	0.165,	-0.02,	0.17,	0.04,	0.175,	0.04
0.18,	0.1,	0.185,	0.1,	0.19,	-0.02,	0.195,	-0.08
0.2,	-0.02,	0.205,	0.1,	0.21,	-0.02,	0.215,	-0.08
0.22,	0.04,	0.225,	0.1,	0.23,	-0.08,	0.235,	-0.02
0.24,	0.159,	0.245,	0.04,	0.25,	0.1,	0.255,	0.04
0.26,	0.04,	0.265,	0.04,	0.27,	-0.02,	0.275,	0.159

:

(以下省略)

:

本資料檔案的第一、三、五、七行為時間(單位為秒)，由資料檔案我們可看出，時間增量為 0.005 秒。第二、四、六、八行為所測得之紀錄(單位 gal)。

為使程式檔案可接受並處理資料，且符合相關條件，我們將程式檔案做一些修正，修正情況如下：(檔案前面部份與靜力分析時相同，不再重覆列出)

```

:
** BOUNDARY CONDITION SET 1
** RESTRAINT SET 1
*BOUNDARY,OP=NEW
      1, 1, 6,      0.00000E+00
      10, 1, 6,      0.00000E+00
**
** THIS INPUT ASSUMES THAT 921 RECORD HAS BEEN COPIED TO
QUAKE.AMP
*AMPLITUDE,VALUE=RELATIVE,INPUT=QUAKE.AMP,NAME=EQ
*RESTART,WRITE,FREQUENCY=200
**
*STEP
*FREQUENCY
10,
*END STEP
*STEP
EARTHQUAKE INPUT
*MODAL DYNAMIC
.005 , 10.
*MODAL DAMPING
1,6
*BASE MOTION,DOF=1,AMPLITUDE=EQ,SCALE=32.174
*END STEP

```

程式中任一列的第一、二行若標註為”**”時，即代表本列為說明列，該列中的任何文字均不影響程式之執行。

檔案中所使用之限制條件(RESTRAINT SET)與靜力分析時相同，即設定與地面接觸之接合狀態為固定接合(fixed)，並將資料檔定名為 QUAKE.AMP 檔。

分析所得的圖面如下列所示，分別為實際位移量、實際位移量 * 10、實際位移量 * 1000 及應力分佈圖。

圖 8 實際位移圖

圖 9 實際位移量*10

圖 10 實際位移量*1000

圖 11 應力分佈圖

2-2-4 廠房模型的動力分析

經多次修改及除錯，終於可以順利進行簡單模型的動態載重分析。

接著就是把廠房模型在 IDEAS 中建立，並輸出為 ABAQUS 檔案，以利動力分析的進行。當然，限於時間關係，所建立的模型只針對廠房建築物外牆結構部份，而外覆的鍍鋅鋼板忽略不計，並且內部設施及相關設備不包含在內。

在 IDEAS 中所建立的廠房模型如下頁圖面所示。

圖 12 廠房模型圖

在此模型中，我們在設定邊界條件時，依然設定廠房與地面的接觸點為固定接合(fixed)，做為廠房的限制條件。

將檔案轉為 ABAQUS 檔後，並將本所測站所測得之東-西向地震紀錄做成動態載重資料檔，加載於廠房東西向。由於執行程式及資料檔均極龐大，故不在此列入。

執行後結果列於下面圖中，分別為實際位移、實際位移量 * 10、實際位移量 * 100、實際位移量 * 1000 及應力分佈圖。

圖 13 實際位移圖

圖 14 實際位移量*10

圖 15 實際位移量*100

圖 16 實際位移量*1000

圖 17 應力分佈圖

程式之執行約需十幾個小時，所產生的資料檔案可達 2~5GB，因限於時間關係，尚未將所有的地震資料寫成資料檔，僅寫入較主要部份。

上面圖形的產生，係程式分析完畢後，以 POST 指令查看分析結果，因實際位移量較小，故除實際位移圖外，另分別將位移量乘以 10、100 及 1000，以放大位移量，使結果較易查看，同時將應力分佈以圖形顯示出來。

完成以東-西向地震紀錄做為動態載重資料檔，加載於廠房東西向後，接著再分析以南-北向地震紀錄做為動態載重資料檔，加載於廠房南北向，以及將東-西、南-北向地震紀錄分別做為動態載重資料檔，同時加載於廠房東西向及南北向，所得的分析結果編列於附錄中。

三、心得

1. IDEAS 的模型建立應多留意元素及網格的設定

模型建立是 IDEAS 功能很強的部份。其圖形的建立方式與大部份的 CAD 程式相仿，若有使用過 CAD 程式的相關經驗，應該是很容易上手的。

除了圖形外，其餘部份包括截面(section)定義、元素及網格設定等項目需較多的時間去了解，但也不難入門。

在截面的定義上，選擇適當形式的斷面，依序將相關資料逐一鍵入，並加以確認及儲存即可。

在元素及網格設定方面，則需對分析對象有較深入的了解，並明白對分析結果的要求，才能做適當之判斷。因為若以較小的長度定義元素，並以較複雜的形態定義網格，固然可得到較精確而理想的分析成果，但若分析目的只在於概略性的了解，則無異形成資源之浪費；反之，若定義的元素及網格太過簡略，而無法提供具有參考價值的分析結果，那麼這樣的分析也就沒有意義了。所以說，以在 IDEAS 中建立分析模型而言，設定元素及網格是需要特別留意的部份。

2. 邊界條件儘量與實際情形相符

邊界條件的設定，可說是電腦程式分析結果恰當與否的另一個關鍵。

我們知道，在現實的結構物中，想完全符合結構學上之接合定義，如固定接合(fixed)、鉸接(hinge)等的接合狀況是難以達成的，但在一般情況下的行為表現應可加以歸類。例如我們所假設結構物與地面之接合係屬固定接合，並非在任何力量及力矩下均可維持不變，只是在一般的作用力及力矩下，行為表現可將之歸類為固定接合。

另一個邊界條件的重點是載重條件的設定。作用於建築物的載重需有相關資料的收集分析，才可做出正確的假設；以本文引用的動態載重分析而言，以建築物附近測站所測得的紀錄自然有一定的代表性，作用點在與地面接觸部份也很清楚，但考量其他

的作用力時，就不是那麼容易判別了，例如風力，欲得出具有代表性的資料，就必須有許多資料的收集，而作用點的位置更是頗費思量。

綜合以上得知，對於邊界條件的設定，除了相關資料的收集必須充分外，如何歸類及分析判斷，更是需多加思考。

3.由程式自動輸出的檔案需檢查及適度修改

在本次實習中，所使用的 ABAQUS 原始檔案係由程式輸出所自動產生，雖然可為 ABAQUS 所接受，但若要切合我們的需要，則應加以適當修正。例如，我們如要以圖形顯示計算所得的位移、應力等結果，則必須加上 RESTART 之指令，否則無法以 POST 指令顯示其結果；再如可以使用 OVERLAY 以覆蓋不需使用的資料，以免徒然浪費硬碟空間，這些都應配合我們的需求而加以適度修正。

另一個可能需要注意的部份是預設值的恰當與否。例如材質的設定、材料連續性的問題、彈性模數(modulus of elasticity)等項目，若我們未加以設定，程式會自動給予預設值，而預設值是否符合我們實際的情況則常被忽略，這一部份若不加以注意，可能導致分析結果的偏差，所以，注意預設值的正確與否也是檢查自動輸出檔案要點。

4.善用電腦程式的線上輔助系統或使用手冊

電腦分析程式往往指令繁多，而且失之毫釐，謬以千里，而若要熟悉一個電腦分析程式往往需耗時半年以上，以本次實習所使用的 ABAQUS 來說，包含數種分析模式，每種模式均有許多指令，而相同的指令又因使用的參數或格式的不同，而有不同的作用及意義，往往使初學者茫然無所適從，此時，線上輔助系統或使用手冊往往能提供莫大的幫助，若能了解並善用這些強有力的工具，便能隨著指引而逐步了解，並掌握程式的精髓，而即使已熟悉相關指令者，也常需要查詢使用手冊以確認無誤；所以，要想學好電腦分析程式，了解並善用線上輔助系統或使用手冊是重要，而且必不可少的過程。

四、建議

就此次赴美國實習經驗，個人有以下幾點建議以供參考：

1. 選用標準電腦分析程式

目前市面上的結構分析程式種類繁多，除了 IDEAS 及 ABAQUS 外，諸如 STADD、ANSYS 等均係知名的分析程式，每個電腦程式所具備之功能可能差異並不很大，而就自己所知，熟悉電腦分析程式的同仁，似乎每人所熟悉的分析程式各有不同，建議核研所內可選擇一套電腦分析程式做為標準，讓使用分析程式的同仁均了解，以便於分析結果的比對及相互參考。

2. 建立多方研究管道及合作關係

目前和核研所有合作計畫的單位多屬核能專業方面的單位或團體，但個人以為除核能外，許多方面均可與國外建立合作關係，例如在土木結構方面，日後 TRR- 計畫執行完畢之後，新舊建築物之間的界面維護及原有結構物的耐久性等問題，有許多方面都值得加以注意，若能有多方的資訊來源，對於問題的預防及解決將甚有裨益。

3. 謹慎擬定研習時間

此次實習研習時間較短，在對電腦程式的認識方面即受到相當的侷限，甚為可惜。類似此類研習，欲掌握程式基本指令，更能進一步應用於實際狀況，需相當時日的研習方可應用自如，此次個人較無經驗，所擬定的時間較匆促。日後若有類似機會，建議應有半年以上的研習時間較為恰當，提供日後有機會出國做相關研習者做為參考。

五、附錄

1. 將南 - 北向地震紀錄做為動態載重資料檔，加載於廠房南北向做分析。下圖所列分別為實際位移、實際位移量 * 10、實際位移量 * 100、及應力分佈圖。

2.將東-西、南-北向的地震紀錄做成二個動態載重資料檔，分別加載於廠房的東西及南北向做分析。下圖所列分別為實際位移、實際位移量 * 10、實際位移量 * 100、及應力分佈圖。

