

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-II 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-II 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-II 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-II 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-II 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-II 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瞭解，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。

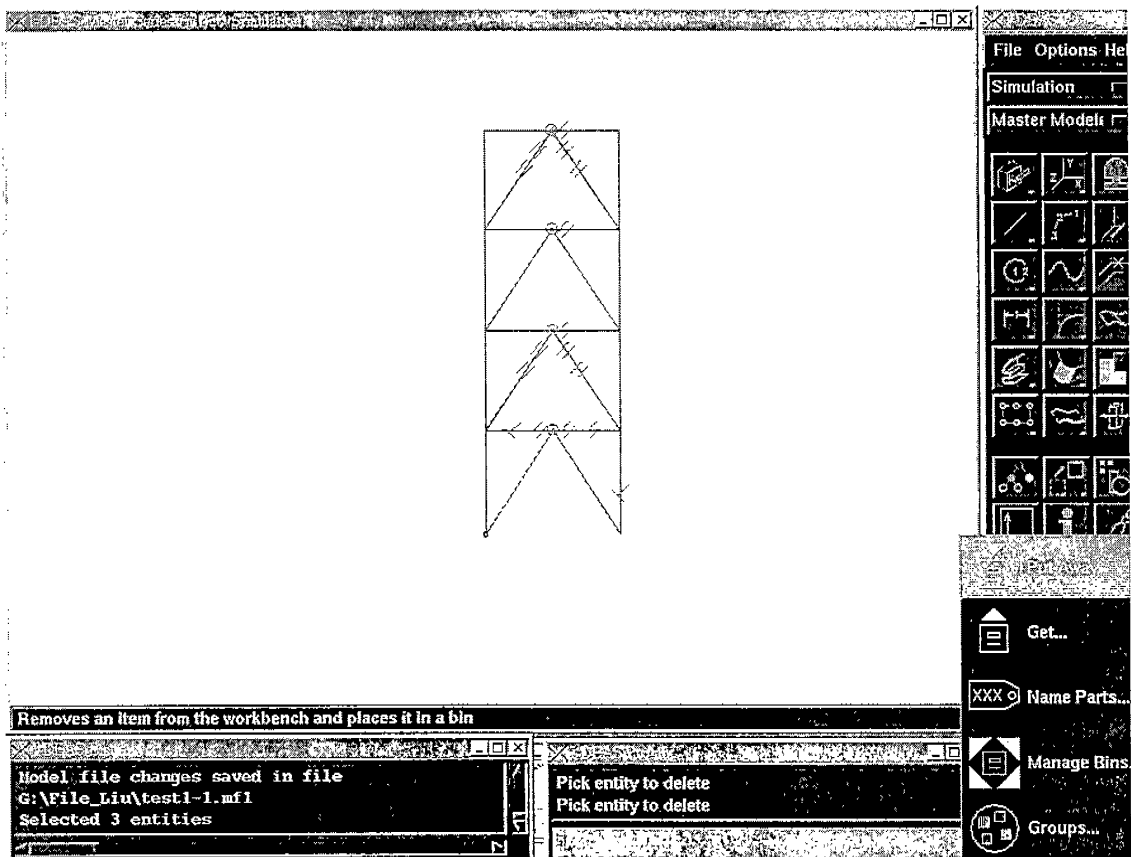


圖 1 建立模型架構圖

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-II 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。

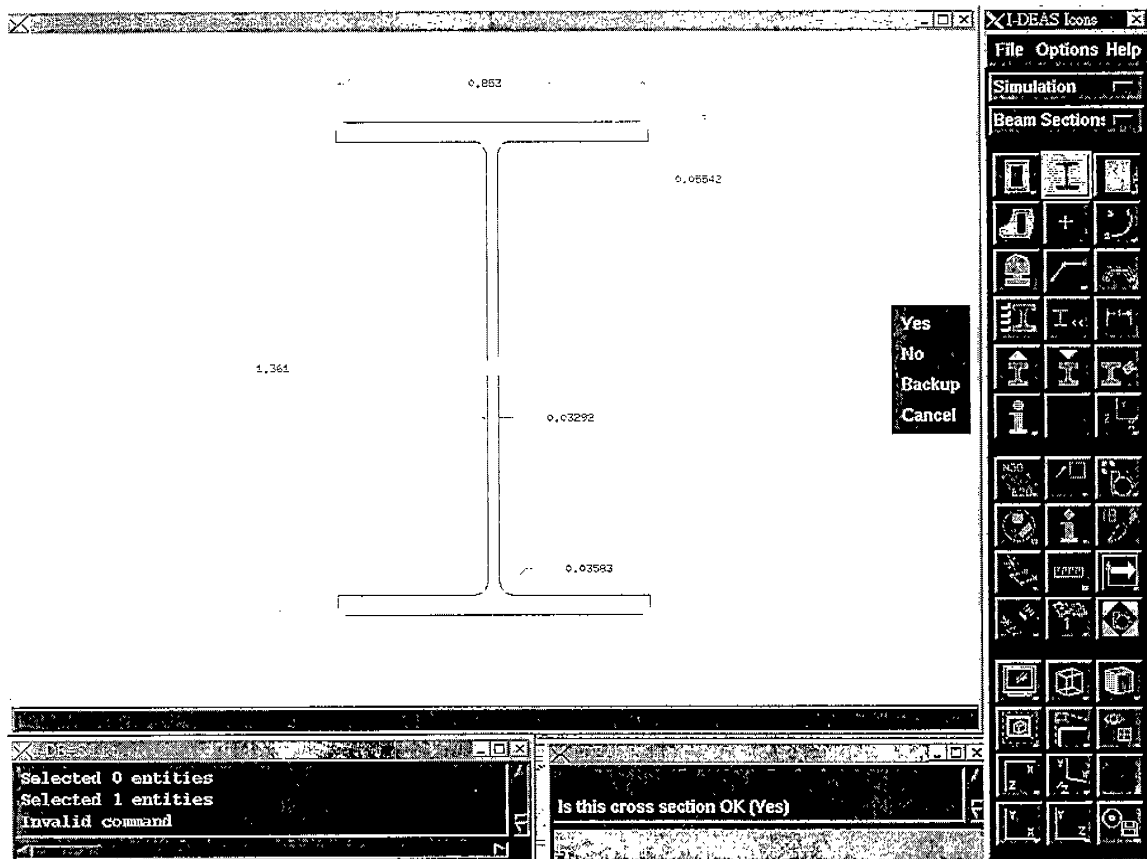


圖 2 完成輸入截面資料

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。

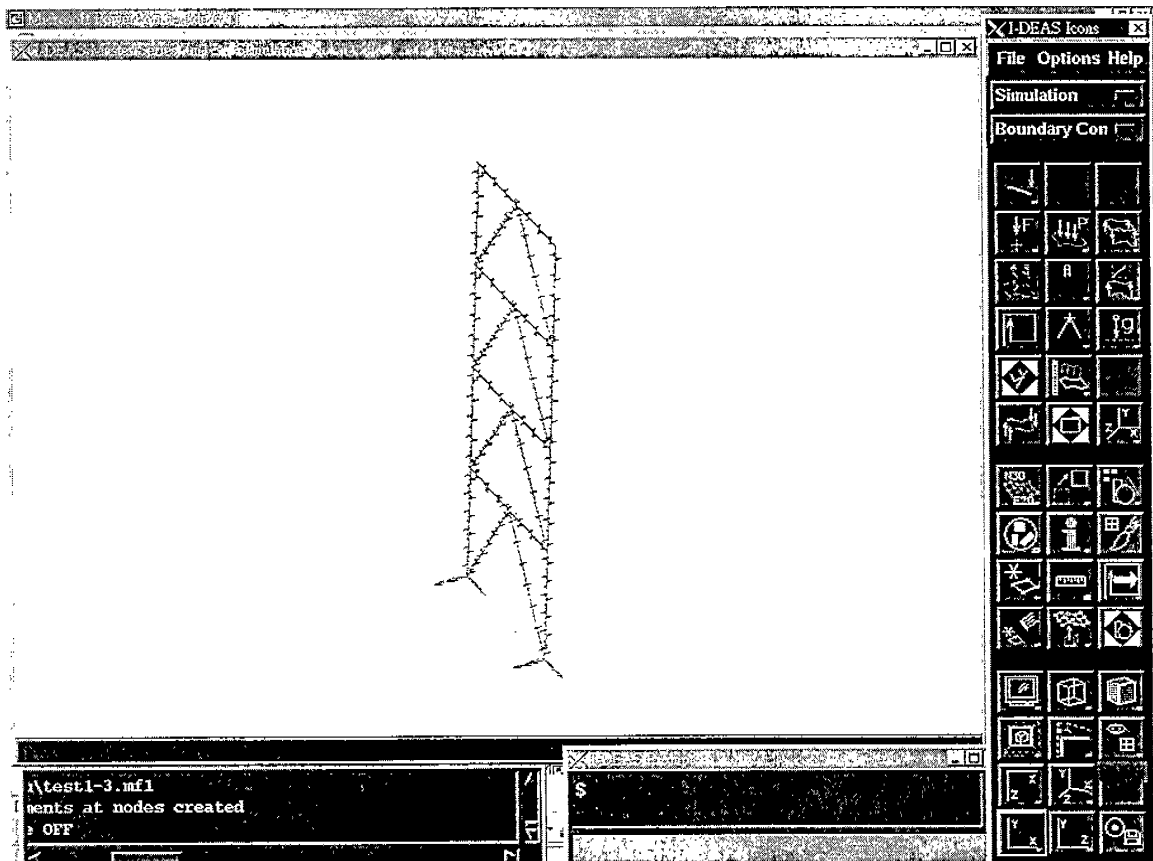


圖 3 定義元素及網格，並設定截面

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)。

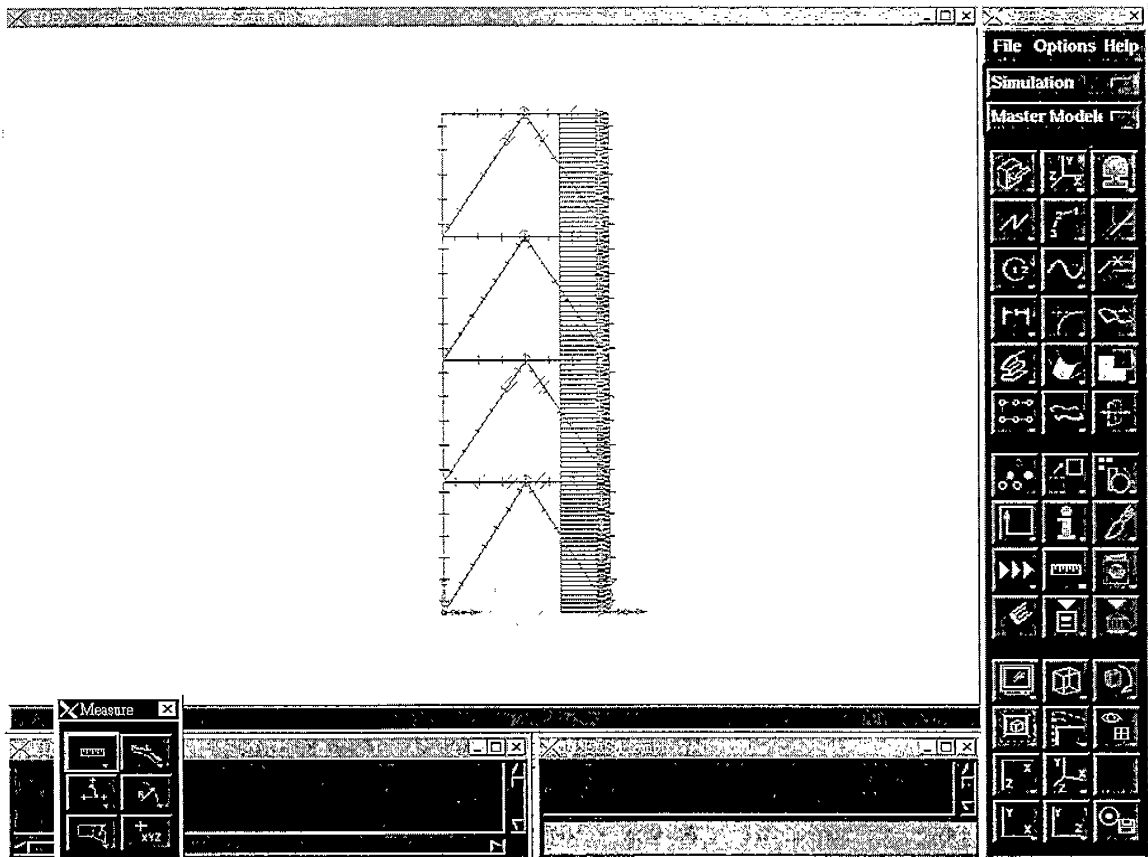


圖 4 設定限制條件及載重

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。

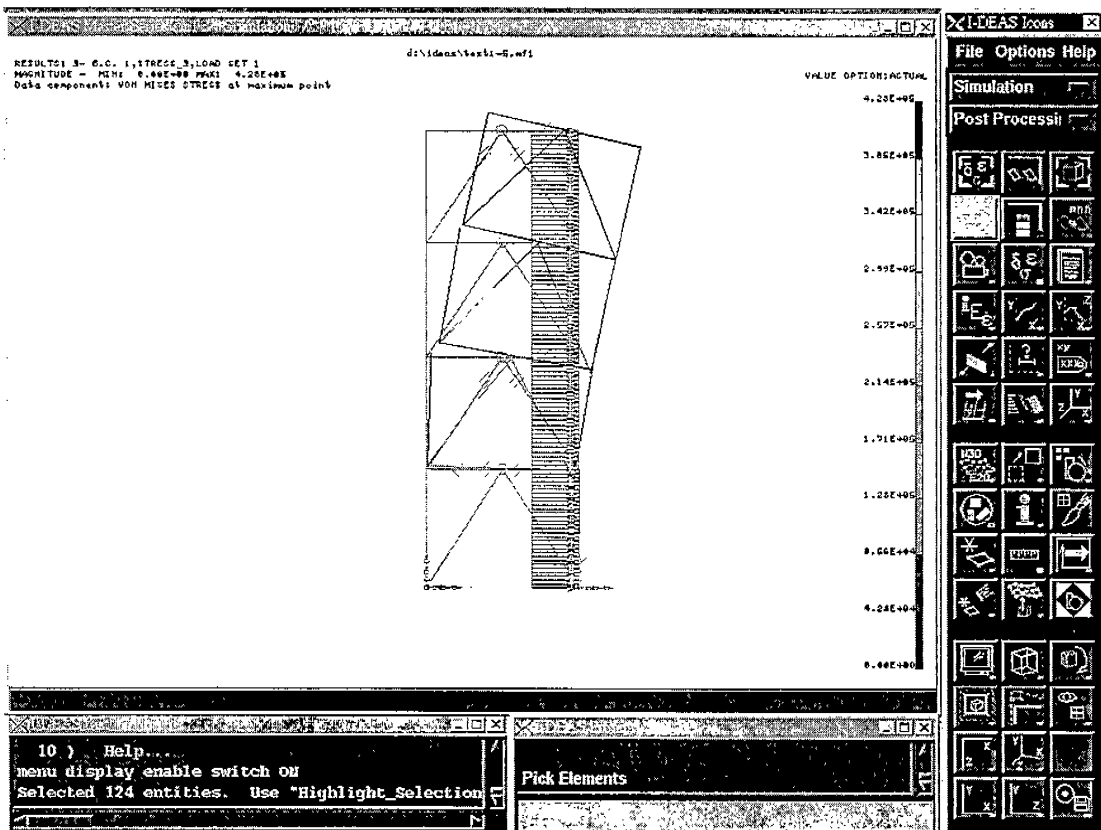


圖 5 分析結果

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很有趣的，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=1, 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。

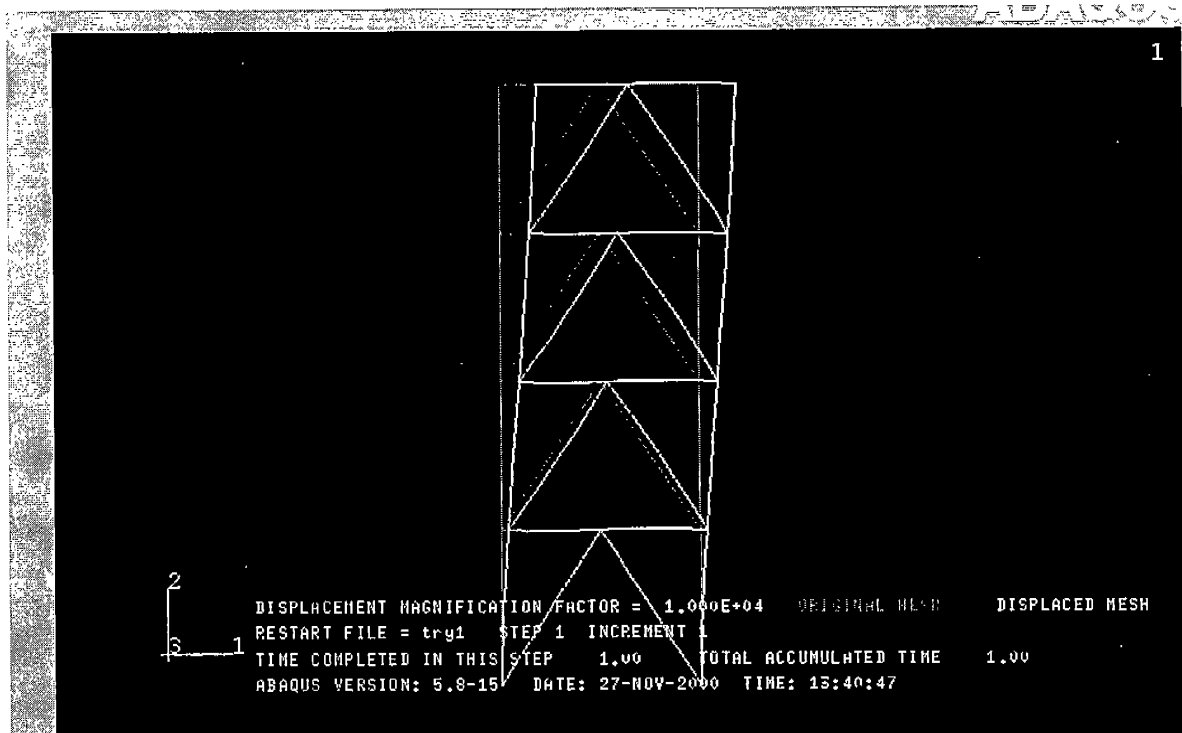


圖 6 經放大的位移圖

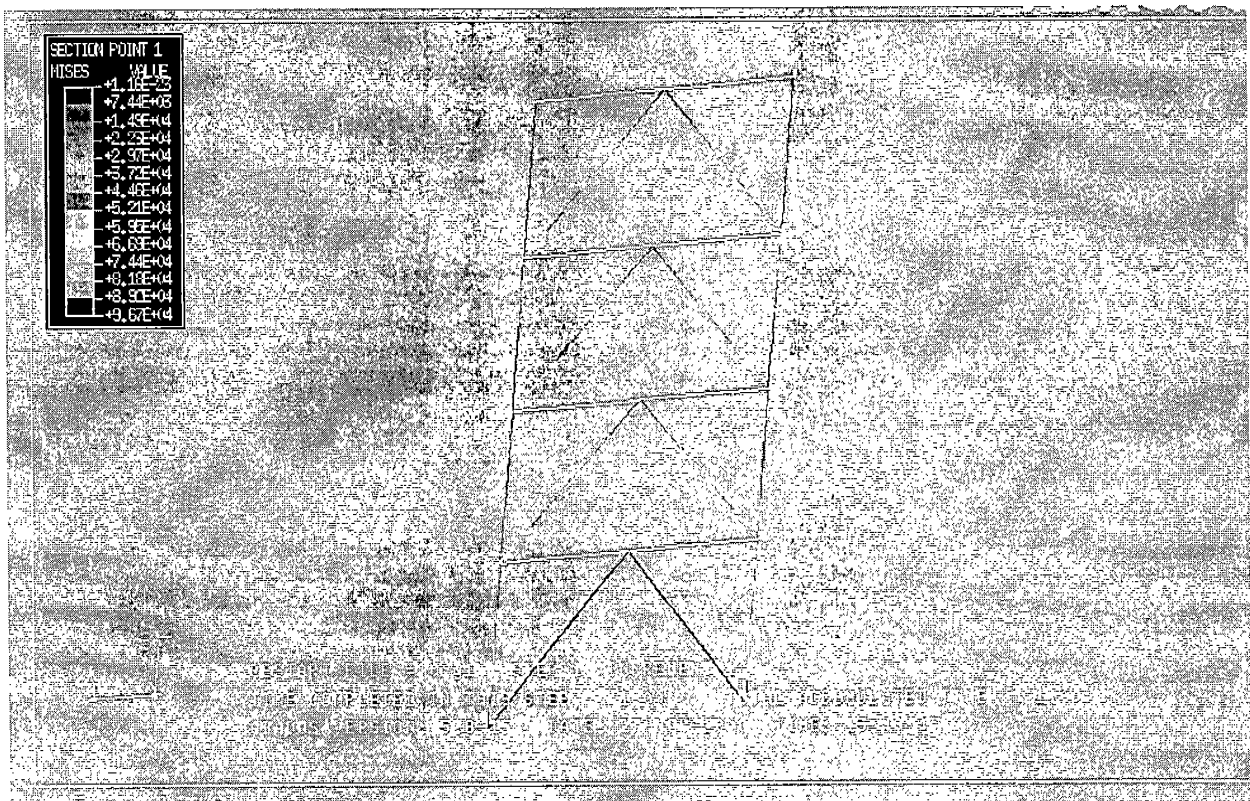


圖 7 應力分佈圖

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。

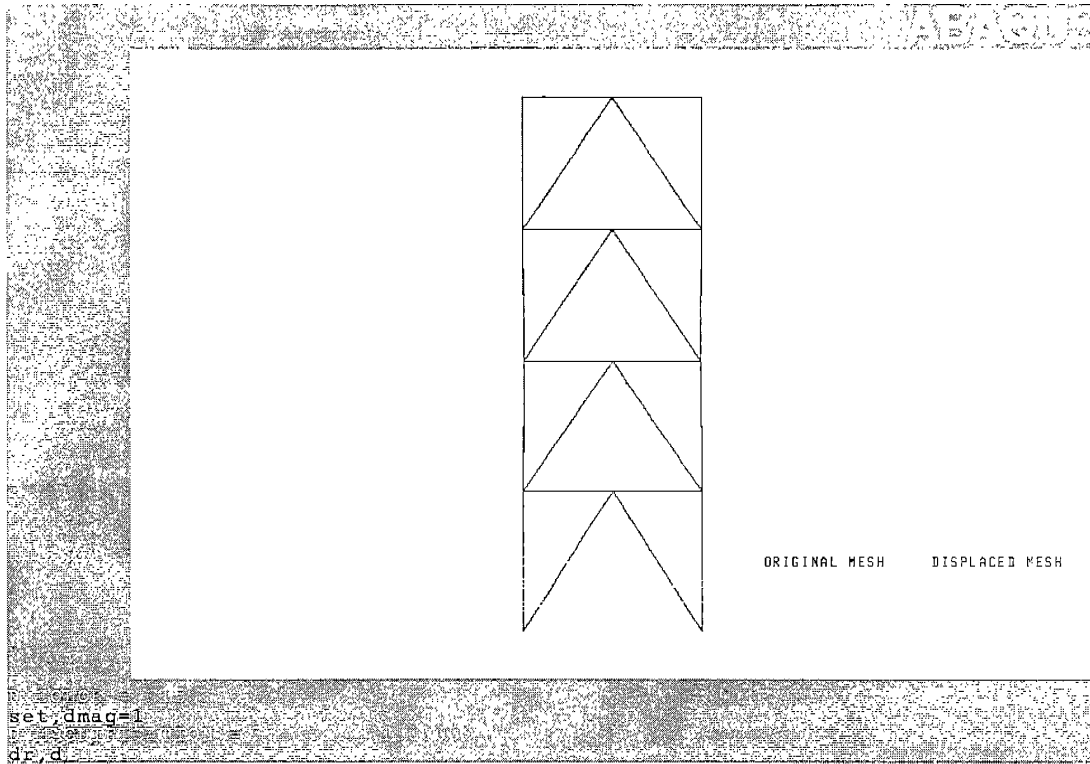


圖 8 實際位移圖

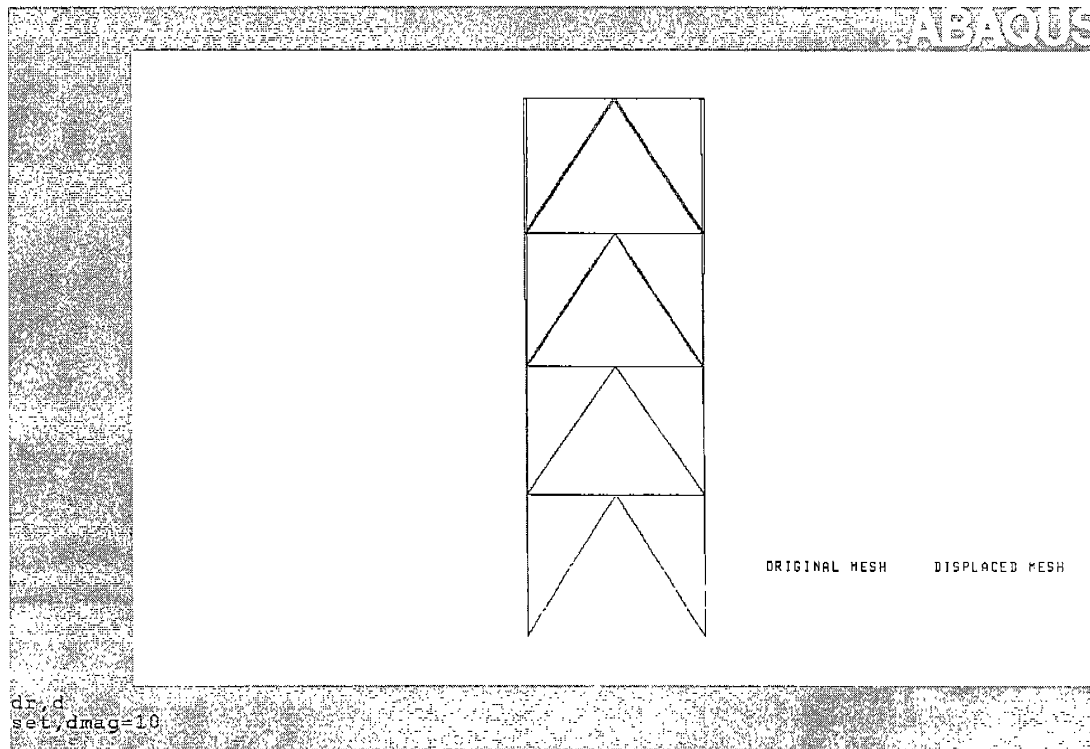


圖 9 實際位移量*10

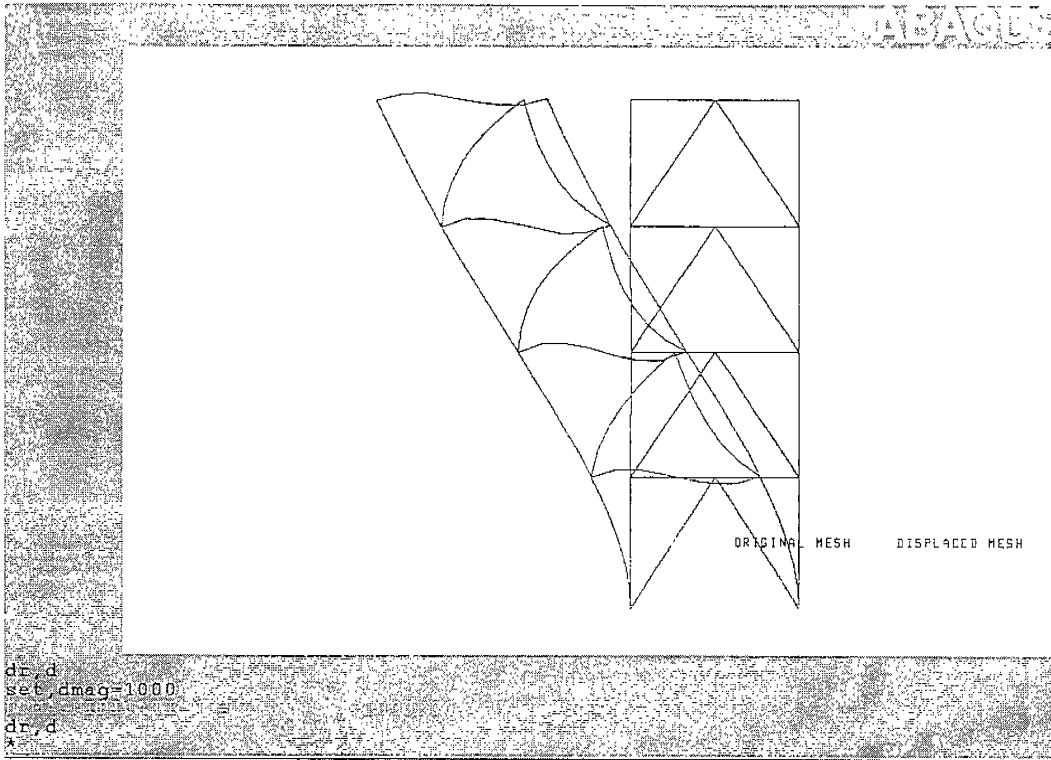


圖 10 實際位移量*1000

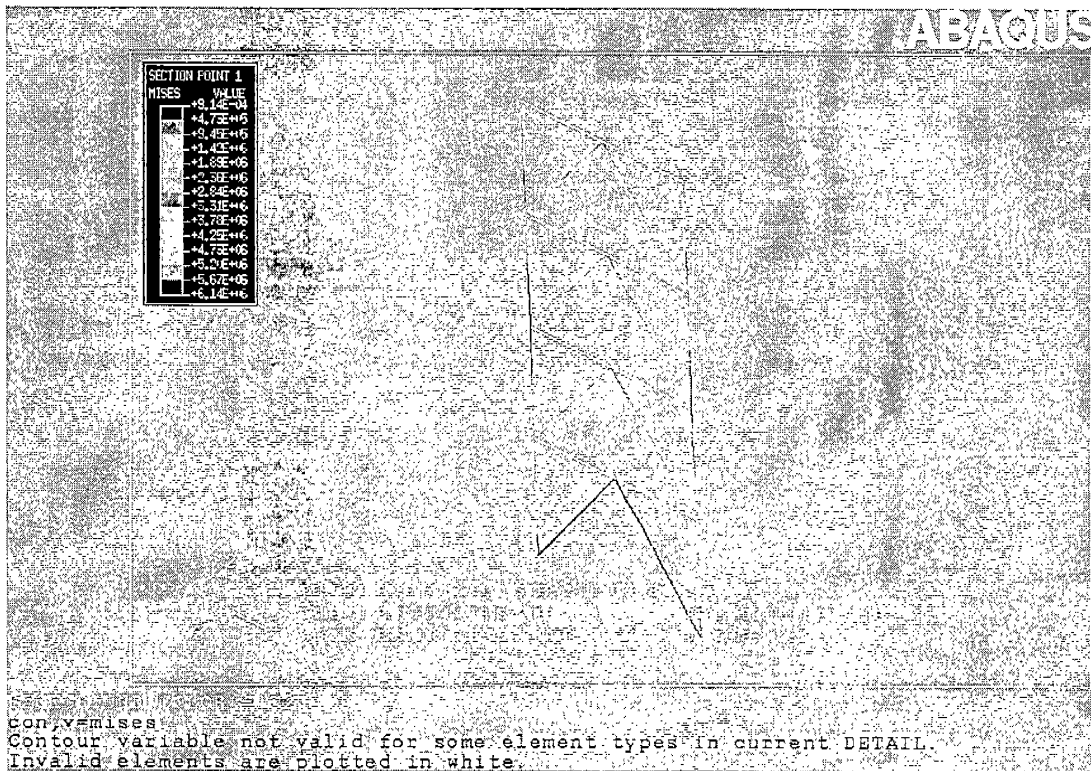


圖 11 應力分佈圖

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。

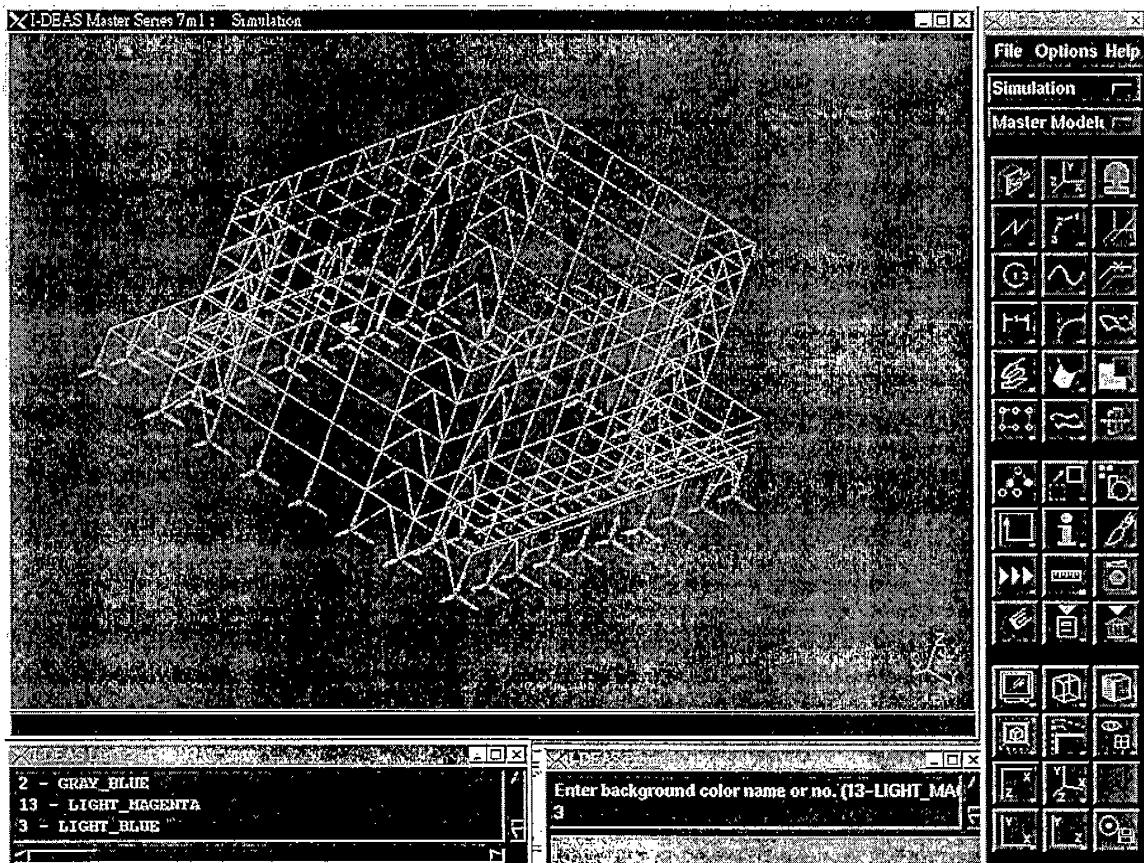


圖 12 廠房模型圖

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。

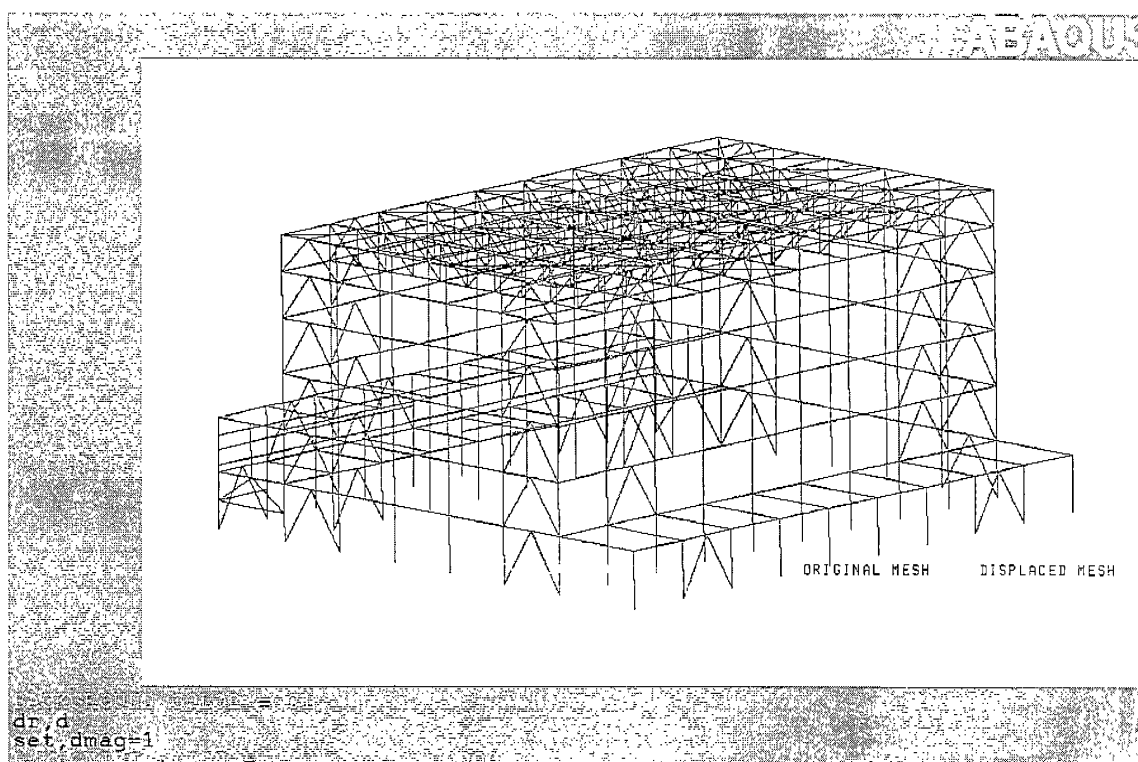


圖 13 實際位移圖

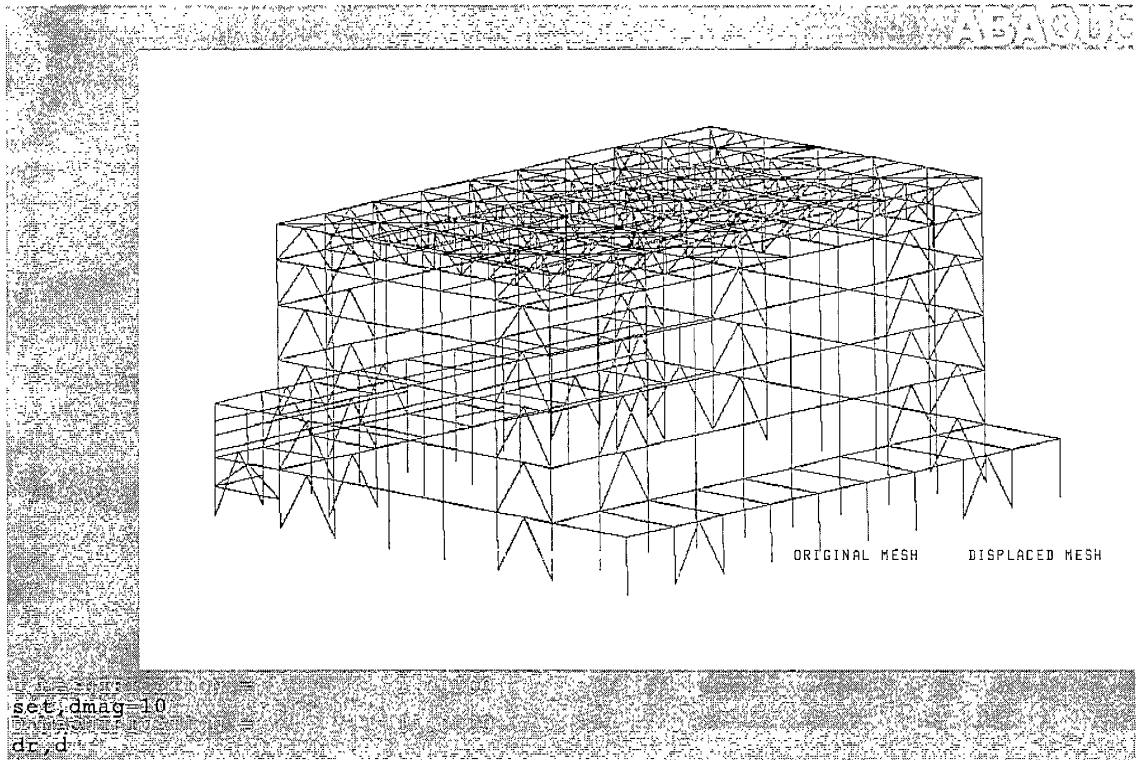


圖 14 實際位移量*10

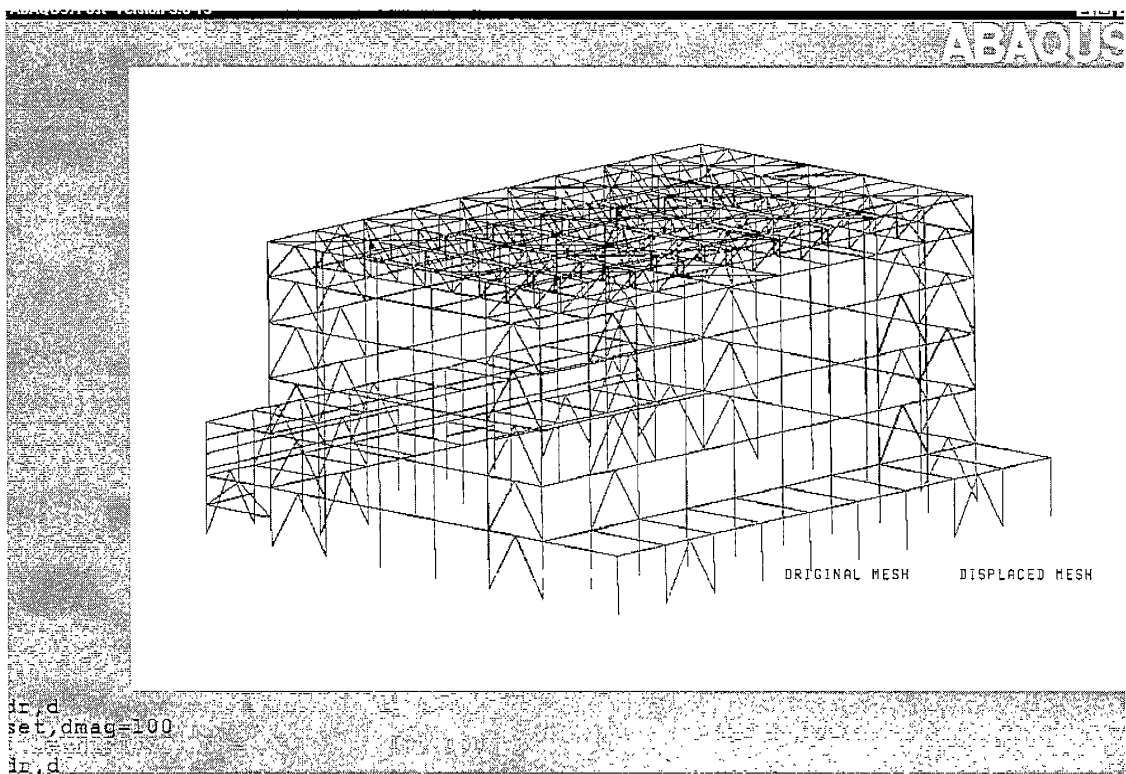


圖 15 實際位移量*100

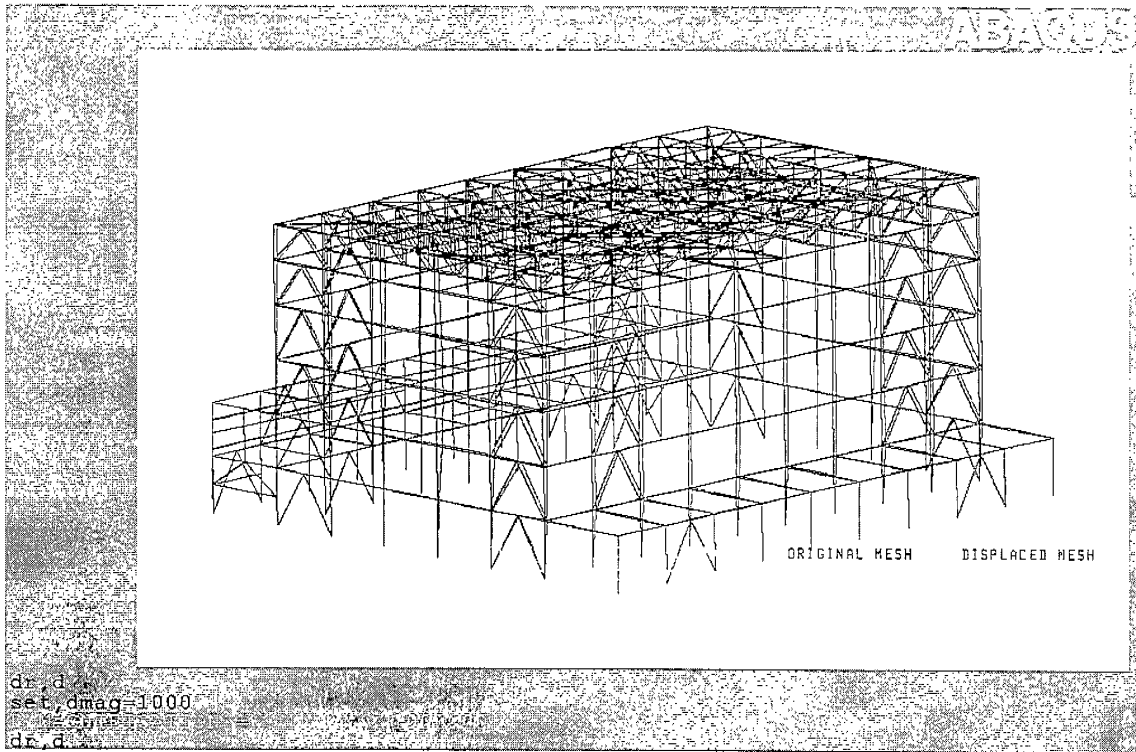


圖 16 實際位移量*1000

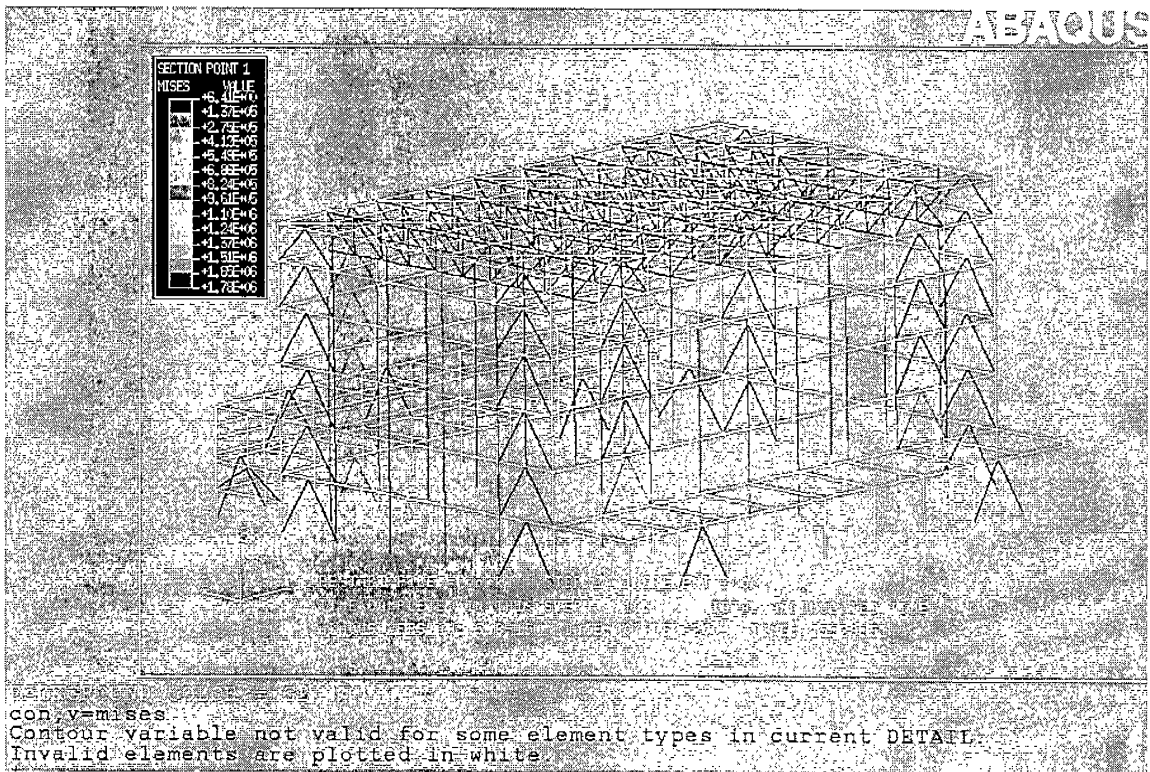


圖 17 應力分佈圖

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很重要，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 STADDIII、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

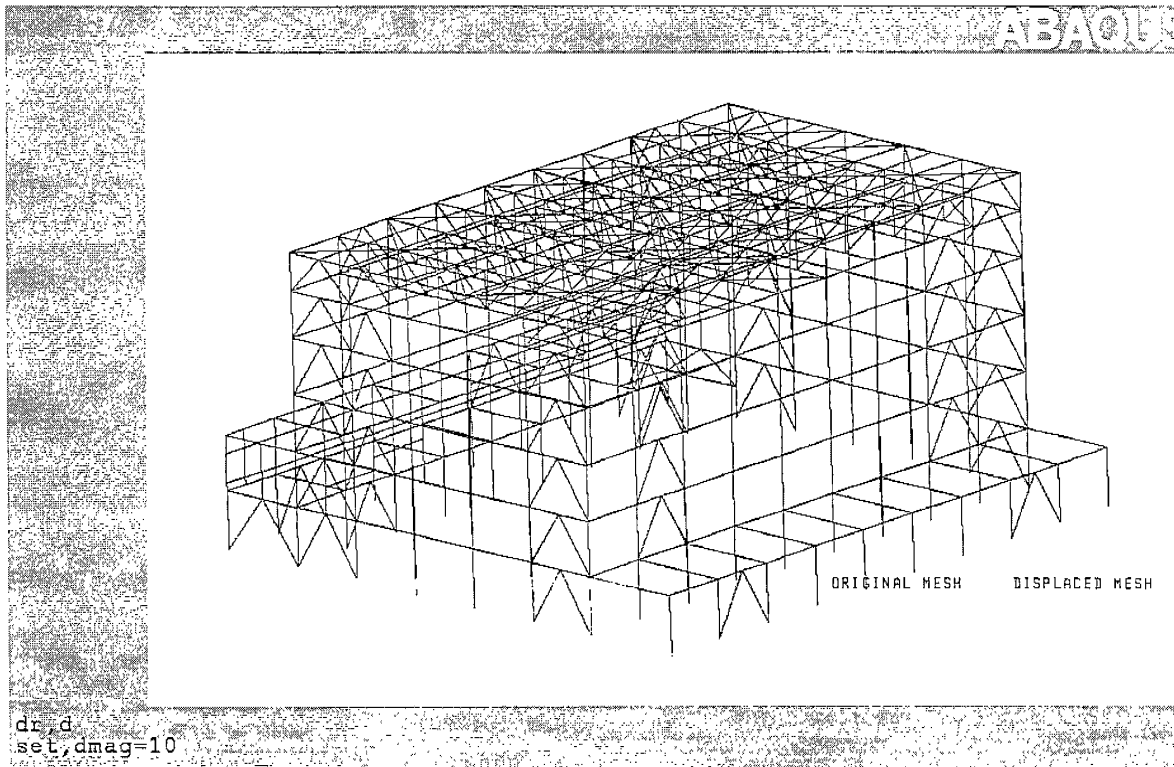
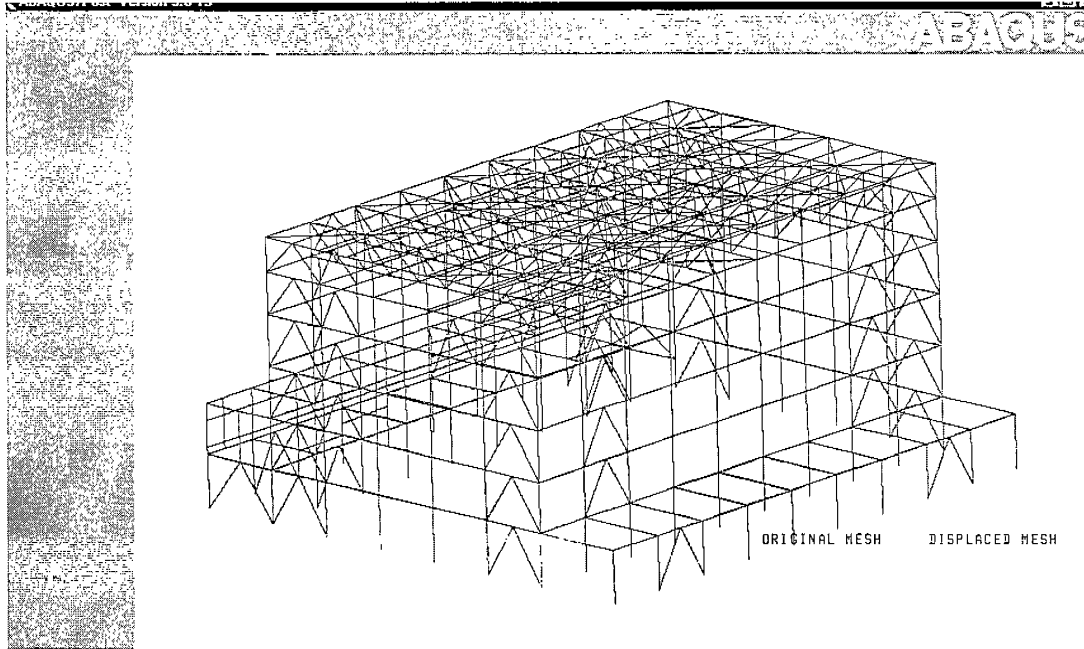
目前和核研所有合作計畫的單位多屬核能專業方面的單位或團體，但個人以為除核能外，許多方面均可與國外建立合作關係，例如在土木結構方面，日後 TRR-II 計畫執行完畢之後，新舊建築物之間的界面維護及原有結構物的耐久性等問題，有許多方面都值得加以注意，若能有多方的資訊來源，對於問題的預防及解決將甚有裨益。

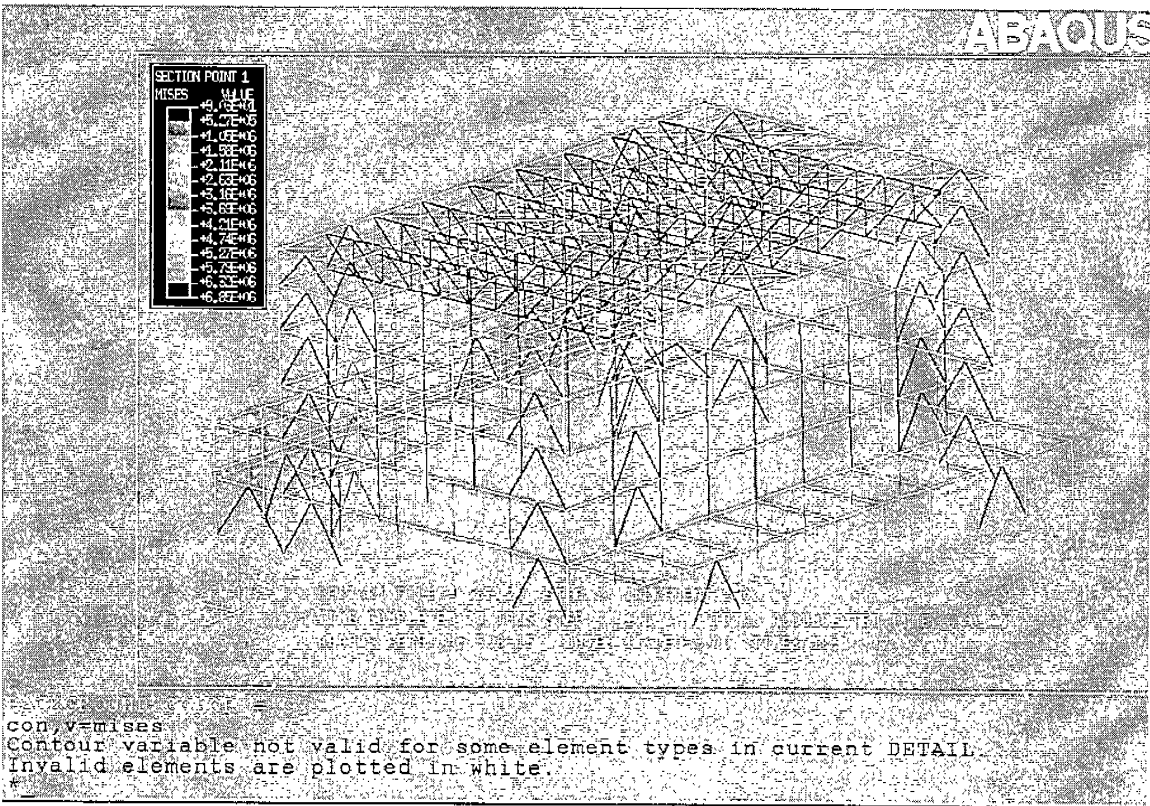
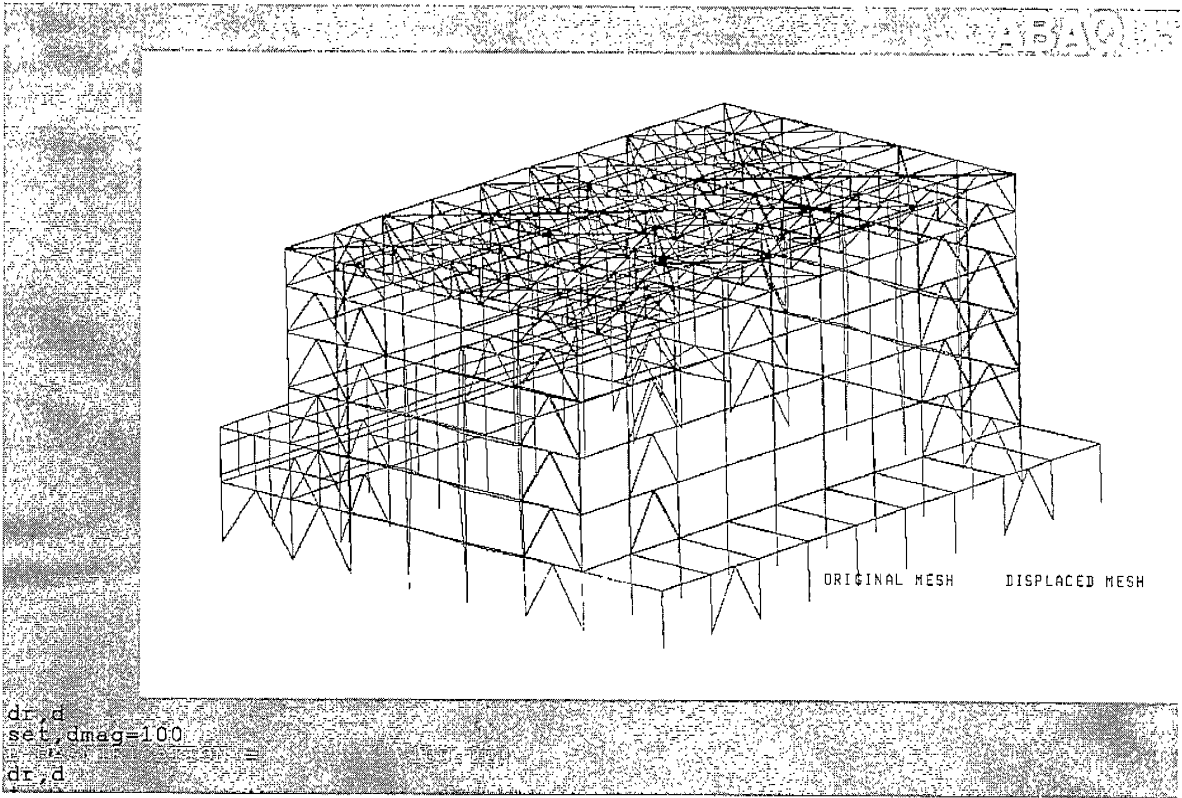
3. 謹慎擬定研習時間

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。

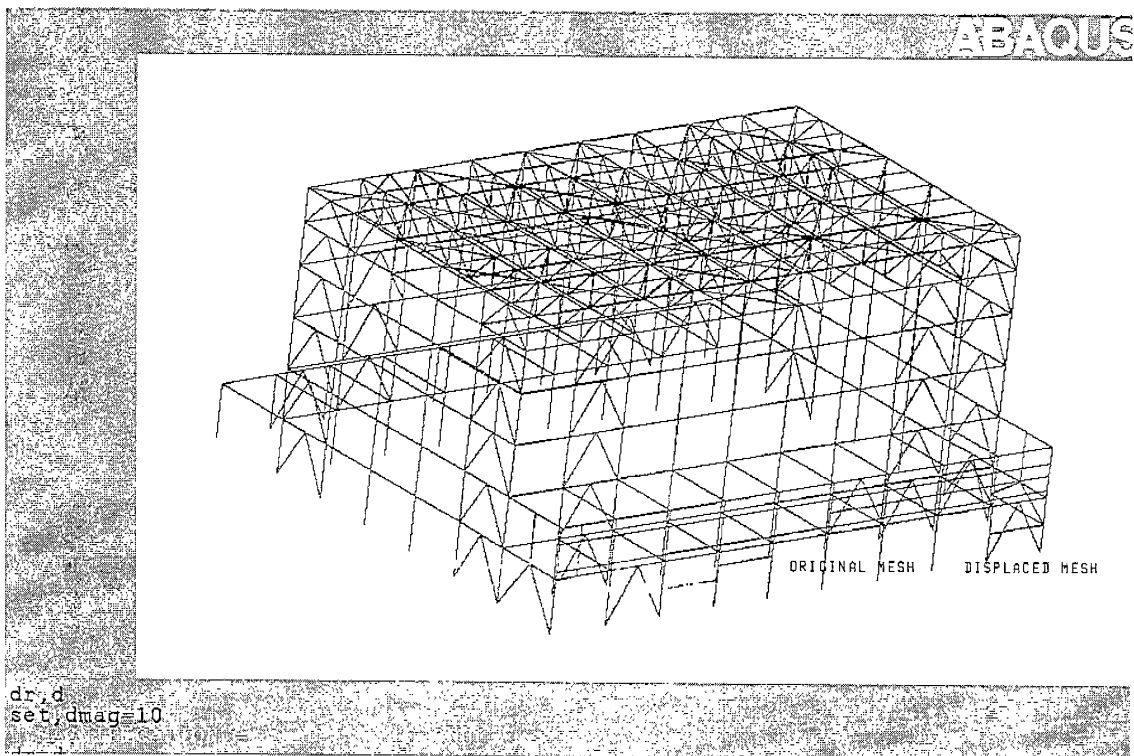
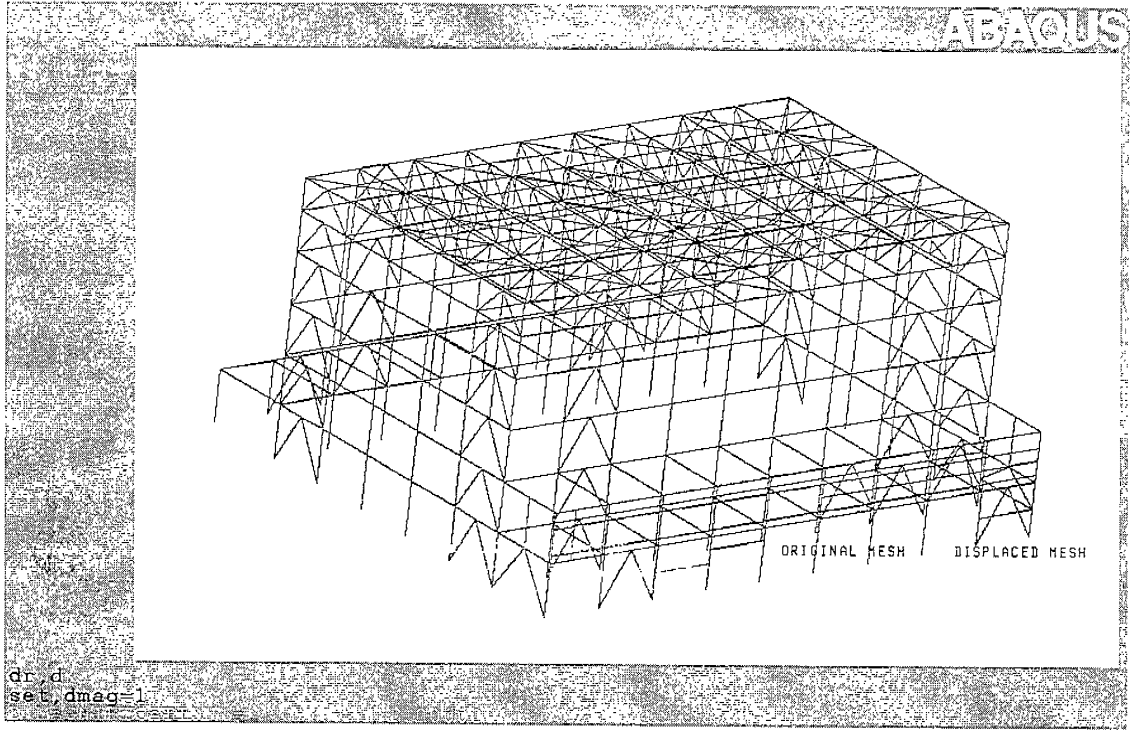
五、附錄

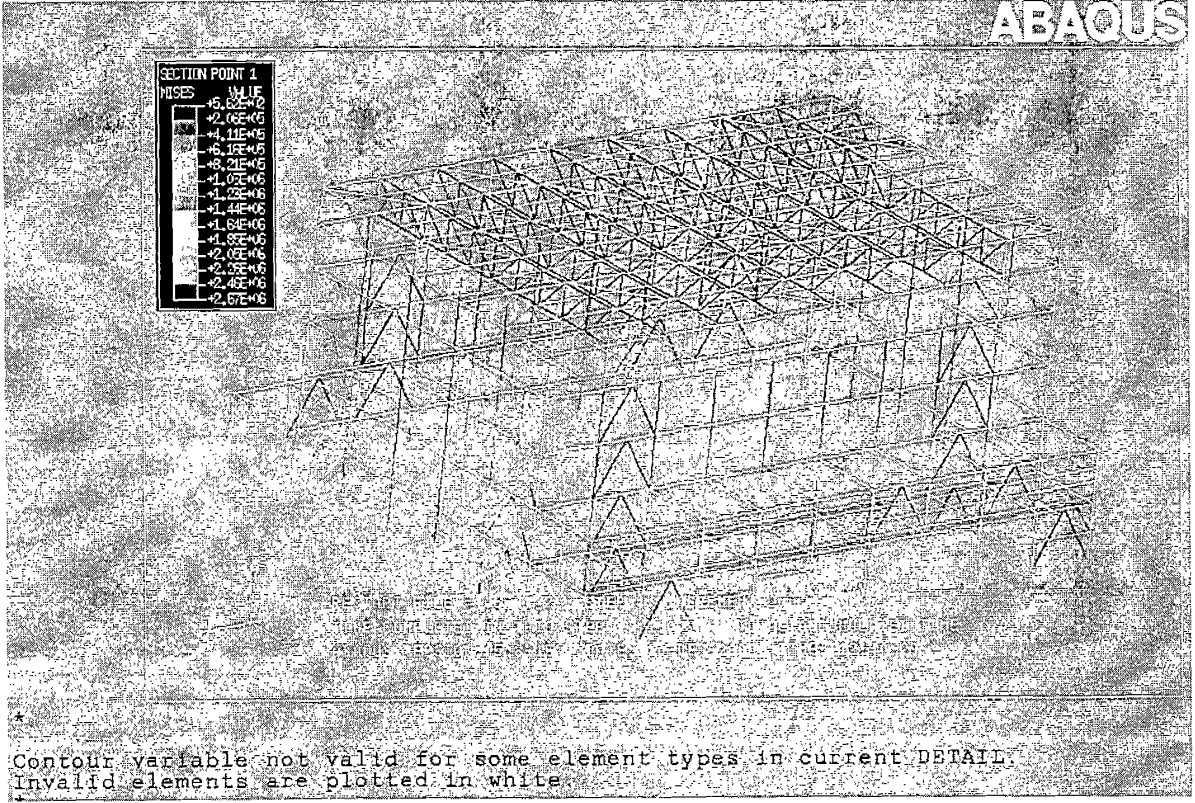
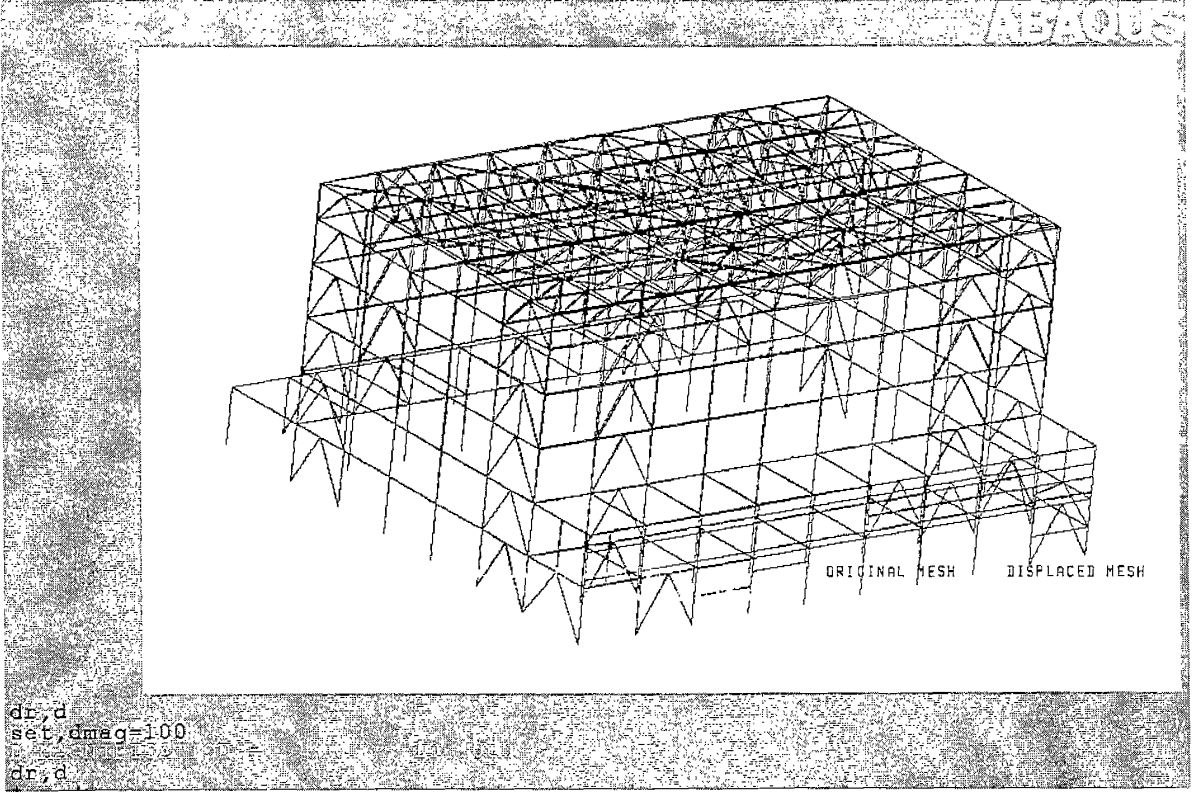
1. 將南—北向地震紀錄做為動態載重資料檔，加載於廠房南北向做分析。下圖所列分別為實際位移、實際位移量 $\times 10$ 、實際位移量 $\times 100$ 、及應力分佈圖。





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。





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)

赴哥倫比亞大學附設醫學中心實習心得

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：羅崇功

出國地點：加拿大安太略省渥太華市、美國紐

約州紐約市及田納西州橡樹嶺

出國期間：89年9月29日至89年12月29日

報告日期：90年2月27日

行政院研考會/省(市)研考會 編號欄

摘 要

此次赴哥倫比亞大學附設醫學中心放射腫瘤部實習三個月，主要是瞭解國外一流的教學醫院，針對每一個放射治療案例，如何在模擬加速器上定位、如何以電腦斷層掃描(Computed Tomography, CT)擷取影像、如何在電腦軟體輔助下將治療計畫定案、及治療後如何進行劑量評估比對等一系列的醫療流程。由於核能研究所保健物理組希望未來能將現有的劑量評估技術，推廣應用於醫院日常之放射診斷治療上，此次實習對初次跨足醫用領域的保健物理組而言，實有莫大的助益。

在醫院實習期間，跟隨五位醫學物理師共觀察二個腦部腫瘤(meningioma)及三個攝護腺腫瘤(prostate cancer)案例。雖然每個案例由於其採用之照射治療方式不盡相同，療程亦略有出入，但其基本流程相當一致且單純，只要對整個醫療的流程瞭解後，便不至於摸不著頭緒。參與 CLINAC 600C 型加速器的日常校正工作，更使我對機器的構造、功能、操作方式、及各校正項目的物理意義有進一步的認識。

配合行程安排及實習醫院要求，離開台北後先直飛加拿大渥太華，參加加拿大國家研究院(National Research Council of Canada, NRCC)所舉辦之 OMEGA-BEAM 程式研討會。OMEGA-BEAM 程式最主要的功能，在於其針對加速器各種細部構造的形式，開發出一套只要輸入基本參數即可自動轉換成複雜的幾何描述輸出，以提供蒙地卡羅程式 EGS4 進行評估運跑。目前更已結合後續發

展之 DOSXYZ 程式介面，可直接讀取電腦斷層掃瞄影像數據，建立蒙地卡羅程式 EGS4 運跑所需之完整幾何描述。未來只需要在各子程式資料連結處理程序上稍做改進，可說是相當方便且完整的一套放射醫療劑量評估系統。

十一月初赴田納西州橡樹嶺參加洛桑阿洛摩斯 (Los Alamos) 實驗室舉辦之 MCNP 程式進階課程。MCNP 程式為保健物理組常用之蒙地卡羅遷移計算程式，在工作上累積了一些運跑經驗，也遭遇了不少問題。此次課程提供了與程式修撰、維護者及世界各地的資深使用者直接請益的機會，使我對程式有更進一步的認知，尤其在 Repeated Structure 及其 Tally 的描述方式上更是受益良多、茅塞頓開，對以往認為非常複雜而感到困擾的一些問題皆已有解決的方案。

目 錄

摘 要

	(頁碼)
一、目 的	1
二、過 程	3
(一) 行 程	3
(二) OMEGA-BEAM 程式研討會	5
(三) MCNP 程式進階課程	11
(四) 哥倫比亞大學附設醫院實習	15
三、心得與建議	18
(一) OMEGA-BEAM 程式研討會	18
1	8
(二) MCNP 程式進階課程	29
(三) 哥倫比亞大學附設醫院實習	35
四、蒐集資料	44
(一) OMEGA-BEAM 程式研討會	44
(二) MCNP 程式進階課程	44
(三) 哥倫比亞大學附設醫院實習	44

一、目的

美國橡樹嶺國家實驗室自 1960 年代開始，針對美國人特性建立一套數學化擬人假體，並利用蒙地卡羅數值分析方法建立了體內劑量分析評估所需之整套參數。隨著電腦斷層掃描（CT）及核磁共振（MRI）等提供人體影像工具之陸續發展使用與精進，自 1980 年代中期起，數值化人體模型建立與劑量評估技術之應用開始受到廣泛的注意。1990 年代電腦技術的大步邁進，更加速此一技術之開發，並逐步朝向結合精準人體結構與蒙地卡羅數值分析方法，建立精準細緻的劑量評估技術。

有鑒於此，核能研究所保健物理組於八十九年起推動一五年期之中長期醫用計畫，嘗試開始建立數值化人體模型，及以蒙地卡羅程式 MCNP 進行體內外劑量評估之技術，並希望在研發過程中能與國內醫院合作，將此劑量評估技術進一步推廣應用於醫院日常之放射診斷治療上，提升醫

療品質以造福民社。因此，此次赴美國哥倫比亞大學附設醫學中心放射腫瘤部實習，主要目的有三：

- (一) 瞭解目前國外數值化人體模型建置技術及其與醫用劑量評估技術結合的發展情形，以為國內建立模型與評估技術時之參考。
- (二) 參加 MCNP 程式進階課程，以提升蒙地卡羅程式應用於醫用劑量評估之掌控能力。
- (三) 瞭解國外醫學物理師在整個醫療流程的各個階段所扮演的角色，並建立對醫院放射診斷、治療及劑量評估系統的認知，以作為日後與國內醫院合作時溝通之基礎。

二、過 程

(一) 行程 (89.09.29 至 89.12.29, 共計 92 天)

1. 台北—渥太華：9 月 29 日星期五，由台北中正機場搭乘長榮航空 BR010 班機至加拿大西岸溫哥華，再轉搭加拿大航空 CP908 班機至渥太華，抵達時間為 9 月 30 日星期六。10 月 1 日星期日休息一天調整時差，2 日至 5 日參加 OMEGA-BEAM 程式研討會。
2. 渥太華—紐約：10 月 6 日星期五，原本預定搭乘加拿大航空 AC310 班機至紐約拉瓜第雅 (Laguardia, LGA) 機場，但是班機因天候惡劣臨時取消，最後改搭美國大陸航空班機飛紐澤西州紐華克 (Newark, EWR)

機場，在此發生行李延誤近 30 小時事件，只好取消預訂旅館，在機場附近旅館過夜。

3. 紐約—橡樹嶺：10 月 9 日星期一，與武承嗣博士聯繫後，赴哥倫比亞大學附設醫院放射腫瘤部報到，開始瞭解放射治療的流程。11 月 6 日星期一，搭乘美國大陸航空 CO4003 班機飛田納西州 Knoxville 機場。7 日至 10 日參加 MCNP 程式進階課程。

4. 橡樹嶺—紐約：11 月 11 日星期六，搭乘美國大陸航空 CO4068 班機飛紐澤西州紐華克機場，回復正常的實習作息至 12 月 22 日星期五。

5. 紐約 — 台北：12 月 23 日至 25 日為聖誕節

連續假期，26 日整理好行裝後，27 日搭乘長榮航空 BR031 班機，於 29 日星期五返抵台北。

(二) OMEGA-BEAM 程式研討會

配合行程安排及實習醫院要求，離開台北後先前往加拿大渥太華，參加加拿大國家研究院（National Research Council of Canada, NRCC）國家度量衡標準局（Institute for National Measurement Standards, INMS）游離輻射標準實驗室（Ionizing Radiation Standards Group, IRS）所舉辦之 OMEGA-BEAM 程式研討會。加拿大國家研究院位於渥太華郊區，為加拿大科學及技術研究領域首屈一指的領導者，其研究領域及相關發展可參閱網站 <http://www.nrc.ca> 介紹。參加此次研討會的學員共計二十一名（如圖一），來自九個不同國家，包括美國、加拿大、英國、法國、荷蘭、義大利、澳大利亞、南非及台灣，大多為



1-Akyurekli Dennis	7-Daniels Frank	13-Jager Niek	19-Robar James L	23-Rogers Dave
2-Brouwer Wm F.M.	8-Duverger Eric	14-Li Francisco	20-Sethi Anil	24-Walters Blake
3-Choo Ephraim	9-Hajdok George	15-Kvei-Hva Lin	21-Schreiber Enc	25-Kalach Nina
4-Cionca Codrin N	10-Harrett Alexander	16-Lo Chung-Kung		26-Kawrakow Iwan
5-Weston Steve	11-Holmes Timothy	17-Oidham Mark		27-Proulx Michel
6-Culap Tim	12-Houliard Jean-Pierre	18-Ostwald Trish		28-Farahvash Feridoun

圖一、參加 OMEGA-BEAM 學員及工作人員合照

醫院醫師、物理師及醫學中心之研究人員。十月二日至五日四天的研討會中，共分十五個講題，分別介紹整個 OMEGA-BEAM 程式系統的架構、如何以 BEAM 程式模擬直線加速器、程式參數的物理意義、如何以 BEAMDP 程式讀取修改由 BEAM 所得包括粒子能量、角度分佈等之運跑結果、如何以 DOSXYZ 程式建立假體並執行劑量評估，如何以電腦斷層影像數據建立評估假體等，並配合講題的進行安排了七次上機實做及系

統安裝說明，以加深對講題中介紹之程式功能的熟悉與瞭解。課程表如下表一所示。

表一、 OMEGA-BEAM 程式研討會課程表

Schedule for the OMEGA/BEAM Workshop
 Building M-35, NRC, Blair Rd. and Montreal Rd.
 Ottawa, Canada, Oct 2-5, 2000

Monday October 2

Lecture or Lab #	Time	Lecturer	Title
	8:00		Registration/Muffins, Coffee and Juice
1	8:30	Rogers	OMEGA Overview/Course overview and evaluation
2	8:45	Rogers	Doing It with BEAM: example of a complete accelerator simulation
Coffee	10:00		Goodies
Lab I	10:15		Familiarization with system: run BEAM examples
Lunch	12:30	Deli Lunch I	
3	13:30	Rogers	Overview and Design of Beam: (EGS4 system, specifying, building, compiling, LATCH, dose zones)
4	14:30	Walters	Inputs to main in BEAM, including source options
Coffee	15:15		Goodies
5	15:30	Walters	The CMs: their capabilities and inputs
Lab II	15:45		Create your own accelerators
	18:00		End of formal session: lab remains open
	19:00		Lab closes

表一、 OMEGA-BEAM 程式研討會課程表 (續)

Tuesday October 3

Lecture or Lab #	Time	Lecturer	Title
	8:00		Muffins, Coffee and Juice
6	8:30	Walters	Phase Space files: what is in them, how to read/write, utilities to handle (readphsp, BEAMDP, xmgr)
7	9:15	Rogers	The Physics in BEAM: parameter selection (AE, ECUT, SMAX, ESTEPE), brem ang dist'n, PRESTA
Coffee	10:00		Goodies
Lab III	10:15		Analyze overnight calcs. with BEAMDP, do more BEAM simulations
	12:00		Report back on lab
Lunch	12:30	Deli Lunch II	
8	13:30	Rogers	Variance Red'n in BEAM: range rejection, brem splitting, forcing, Russian Roulette, ECUT selection
9	14:30	Walters	The BEAM QA process - some examples
Coffee	14:50		Goodies
Lab IV	15:00		BEAM calculations: Investigating techniques of variance reduction
	17:30		Report back on lab IV
	18:00		End of formal session: lab may remain open
	19:00		Lab closes

OMEGA-BEAM 程式系統最主要的功能，在於其子程式 BEAM 能針對加速器各種細部構造的形式，開發出一套只要輸入基本參數即可自動轉換成複雜的幾何描述輸出，並提供蒙地卡羅程

式 EGS4 模擬評估運跑，獲得直線加速器的能譜資料，包括粒子位置、能量及角度分佈等。利用其子程式 BEAMDP 可直接將 BEAM 計算所得的能譜資料，作為蒙地卡羅法隨機數選取之資料

表一、 OMEGA-BEAM 程式研討會課程表 (續)

Wednesday October 4

Lecture or Lab #	Time	Lecturer	Title
	8:00		Muffins, Coffee and Juice
10	8:30	Rogers	Beam characterization models
Lab V	9:30		Using BEAMDP multiple source models
Coffee	10:00		Goodies
	11:30		Report Back on Lab V
11	12:00	Walters	DOSXYZ (stand alone) dose calculations in a phantom, STATDOSE
Lunch	12:30	Deli Lunch III	
12	13:30	Walters	DOSXYZ with CT input
Lab VI	14:00		Dose calculation in phantoms
Coffee	15:00		Goodies
	17:00		Report back on lab
	18:00		Leave for banquet
	19:00		cash bar
	19:30		Banquet

表一、 OMEGA-BEAM 程式研討會課程表 (續)

Thursday October 5

Lecture or Lab #	Time	Lecturer	Title
	8:00		Muffins, Coffee and Juice
13	8:30	Kawrakow	Voxel Monte Carlo – another approach
14	9:00	Rogers	Course evaluations and installation of BEAM
15	9:30	Kawrakow	New Physics for EGSnrc
Coffee	10:00		Goodies
Lab VII	10:45		Practice installation or free choice
Lunch	12:30	Pizza and Beer	
	13:30		tout fini

庫，因此在執行同一加速器之劑量計算時可以節省模擬粒子經過加速器的時間。目前更已結合後續發展之子程式 DOSXYZ，可以直接讀取電腦斷層掃瞄影像數據，建立蒙地卡羅程式 EGS4 運跑所需之完整人體幾何描述。未來只需要在各子程式資料連結處理程序上稍做改進，可說是相當方便且完整的一套放射醫療劑量評估系統。

(三) MCNP 程式進階課程

十一月初赴田納西州橡樹嶺參加洛桑阿洛摩斯(Los Alamos)實驗室舉辦之 MCNP 程式進階課程。此次課程舉辦地點在 Knoxville 市的田納西州立 Pellissippi 技術學院。參加此次進階課程的學員共計 23 名，其中有 10 名為橡樹嶺國家實驗室的研究人員，除了我及一位來自德國 WTI (Weapon and Tactics Instructor)外，其餘皆為美國相關公司或研究單位人員。十一月七日至十日四天的課程中，共分十一個講題，分別介紹 Repeated Structures 的幾何描述、如何以 MCPLLOT 觀察各組成區之截面數據、一般 Tally 的撰寫方式及其在 Repeated Structures 時如何簡化，MCNP 程式使用的統計分析方法、射源項一般的撰寫方式及其在 Repeated Structures 時該如何描述、臨界問題及變異數抑低技術等。由於此為進階課程，在一些較為基礎的部份皆簡要略過，且上課時每人一部電腦，當某一講題告一段落時，馬上進行範

例問題實做，然後對答案、發解答再討論講解。
課程表如表二所示，整個課程節奏緊湊，四天下
來獲益良多，課程結束時亦獲頒結業證書一張(如
圖二)。



圖二、參加 MCNP 進階課程結業證書

表二、 MCNP 進階課程課程表

ADVANCED MCNP

Tuesday, 7 November 2000

- 9:00 - 10:00 Introduction to MCNP**
- 10:00 - 10:15 Break**
- 10:15 - 12:00 Repeated Structures Geometry**
- 12:00 - 1:00 Lunch**
- 1:00 - 2:30 Cross-Sections and Physics**
- 2:30 - 2:45 Break**
- 2:45 - 4:00 XS and Physics (cont)**

Diagnostics Applications Group, X-5
Applied Physics Division

Los Alamos
NATIONAL LABORATORY

ADVANCED MCNP

Wednesday, 8 November 2000

- 9:00 - 10:30 Tallies and Output**
- 10:30 - 10:45 Break**
- 10:45 - 12:00 Tallies in Repeated Structures**
- 12:00 - 1:00 Lunch**
- 1:00 - 2:15 Statistical Analysis**
- 2:15 - 2:30 Break**
- 2:30 - 4:00 Statistical Analysis (cont)**

Diagnostics Applications Group, X-5
Applied Physics Division

Los Alamos
NATIONAL LABORATORY

表二、 MCNP 進階課程課程表 (續)

ADVANCED MCNP

Thursday, 9 November 2000

- 9:00 - 10:00 Source Overview and Exercises**
- 10:00 - 10:15 Break**
- 10:15 - 12:00 SDEF in Repeated Structures**
- 12:00 - 1:00 Lunch**
- 1:00 - 2:15 Criticality**
- 2:15 - 2:30 Break**
- 2:30 - 4:00 Criticality (cont)**

Diagnostics Applications Group, X-5
Applied Physics Division

Los Alamos
NATIONAL LABORATORY

ADVANCED MCNP

Friday, 10 November 2000

- 9:00 - 10:00 Variance Reduction**
- 10:00 - 10:15 Break**
- 10:15 - 12:00 Variance Reduction (cont)**
- 12:00 - 1:00 Lunch**
- 1:00 - 2:00 Variance Reduction (cont)
or Special Topics**
- 2:00 - 2:15 Break**
- 2:15 - 3:00 Consultation, Open discussion,
Conclusion**

Diagnostics Applications Group, X-5
Applied Physics Division

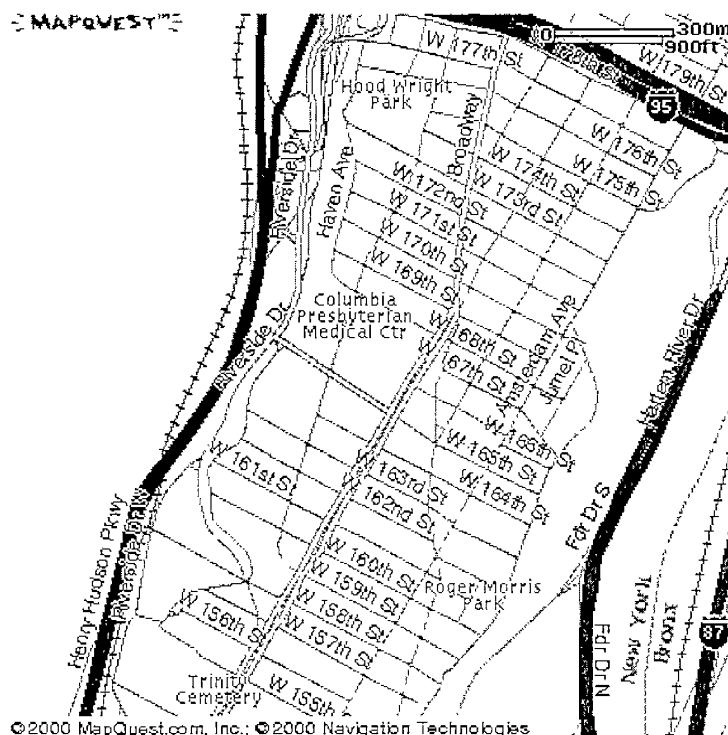
Los Alamos
NATIONAL LABORATORY

MCNP 程式為保健物理組常用之蒙地卡羅遷移計算程式，在工作上累積了一些運跑經驗，也遭遇了不少問題。此次課程提供了與程式修撰、維護者及世界各地的資深使用者直接請益的機會，使我對程式有更進一步的認知，尤其在 Repeated Structure 及其 Tally 的描述方式上更是受益良多、茅塞頓開，對以往認為非常複雜而感到困擾的一些問題皆已有解決的方案。

(四) 哥倫比亞大學附設醫院實習

十月六日結束加拿大 OMEGA-BEAM 程式研討會行程後，與哥倫比亞大學附設醫學中心放射腫瘤部主任武承嗣博士取得聯繫，於十月九日開始在其部門實習實習，整個實習過程至十二月二十二日結束。其間除參加 MCNP 進階課程的一星期外，其餘十星期皆在此度過。哥倫比亞大學附設醫學中心位於紐約曼哈頓市區北邊 Broadway 與 168 街交叉口（如圖三）。實習期間每天早上大約十點到辦公室，跟隨物理師校正直線加速

器、閱讀報告或看看治療計畫及案例，幾乎都在下午六點左右離開，雖然上下班已避開交通尖峰時刻，但由租屋處至醫院仍需八十分鐘左右。每星期四晚上五點到八點，旁聽武承嗣博士在哥大研究所開的放射治療課程，在武博士的安排下，整個實習獲益匪淺。實習期間，直線加速器校正方面主要接觸者為大陸籍的劉、傅兩位物理師；治療計畫及醫療流程則主要與 Joe 及 Jack 兩位劑量師討論。



圖三、哥倫比亞大學附設醫學中心地理位置

此次實習的主要目的是瞭解國外一流的教學醫院，針對每一個放射治療案例，如何在模擬加速器上定位、如何以電腦斷層掃瞄擷取影像、如何在電腦軟體輔助下將治療計畫定案、及治療後如何進行劑量評估比對等一系列的醫療流程。瞭解國外醫學物理師在整個醫療流程的各個階段所扮演的角色，有助於日後與國內醫院溝通時尋求合作的切入點。此次實習對初次跨足醫用領域的保健物理組而言，實有莫大的助益。

三、心得與建議

(一) OMEGA-BEAM 程式研討會

1. 不同物質區介面附近劑量無法以解析法求得

由於病人器官組織的組成及密度改變嚴重影響電子彈性散射的行為，因此放射治療計畫，尤其是使用電子射束的治療計畫，其劑量計算一般而言非常複雜。目前最常被使用的 Fermi-Eyges 模型，採用三維窄射束的解析運算法，但計算結果與量測值仍有 10% 以上的差距。雖然近年來有一些更複雜的窄射束運算法陸續提出，但所得結果仍未能令人滿意且計算時間與蒙地卡羅法相去不遠，甚至猶有過之。

2. 蒙地卡羅法為未來趨勢

隨著電腦速度的提升及平行運算的發展，直接使用蒙地卡羅法模擬電子射束所造成的劑量已是一個可行的方法。藉由數值實驗，我們可以清楚得知劑量在非均質邊界的劇烈變化。

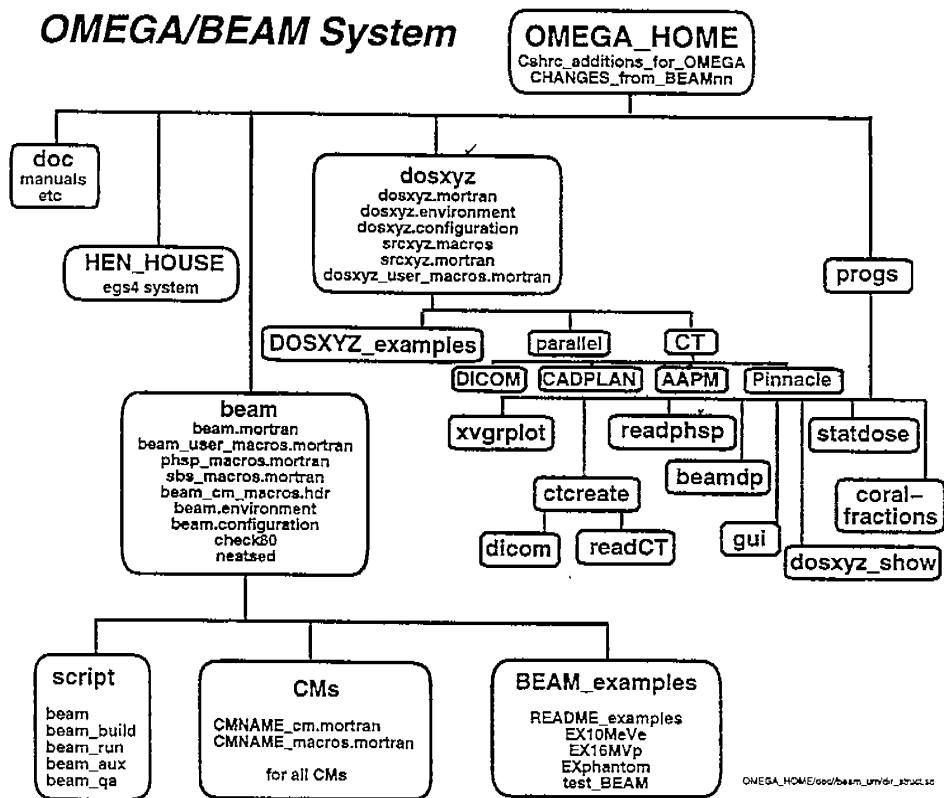
除此之外，在目前蒙地卡羅技術亦是唯一可以將病人本身高密度材質(如骨頭)回退散射效應納入考量的方法。

蒙地卡羅法亦可使用於光子射束的劑量計算。雖然就單一射束而言，其計算收斂速度約較電子射束慢約 10 倍，但是在多射束狀況下，由於其運跑粒子總數通常不需改變，因此計算時間仍可接受。隨著科技的進步，未來一定可以蒙地卡羅法在幾分鐘內得到精準的劑量分布。

3. OMEGA-BEAM 程式系統介紹

有鑒於此，加拿大國家研究院的游離輻射標準實驗室，於 1990 年提出 OMEGA(Ottawa Madison Electron Gamma Algorithm)計畫。此計畫成立的目的，便是要以蒙地卡羅技術建立一套三維的放射治療計畫程式系統。此系統除文件檔及所使用之蒙地卡羅程式核心 EGS4 外，可切割為加速器模擬、射束特性描述及劑

量計算等三部分，但通常被統稱為 OMEGA-BEAM，整個檔案架構如圖四所示。自 1995 年起，加拿大國家研究院每年舉辦一次程式研討會，只有參加研討會才可取得程式的授權。雖然至今只辦了六屆，僅約一百餘人取得此程式系統，但在醫界已受到相當的重視並具有廣泛的公信力。

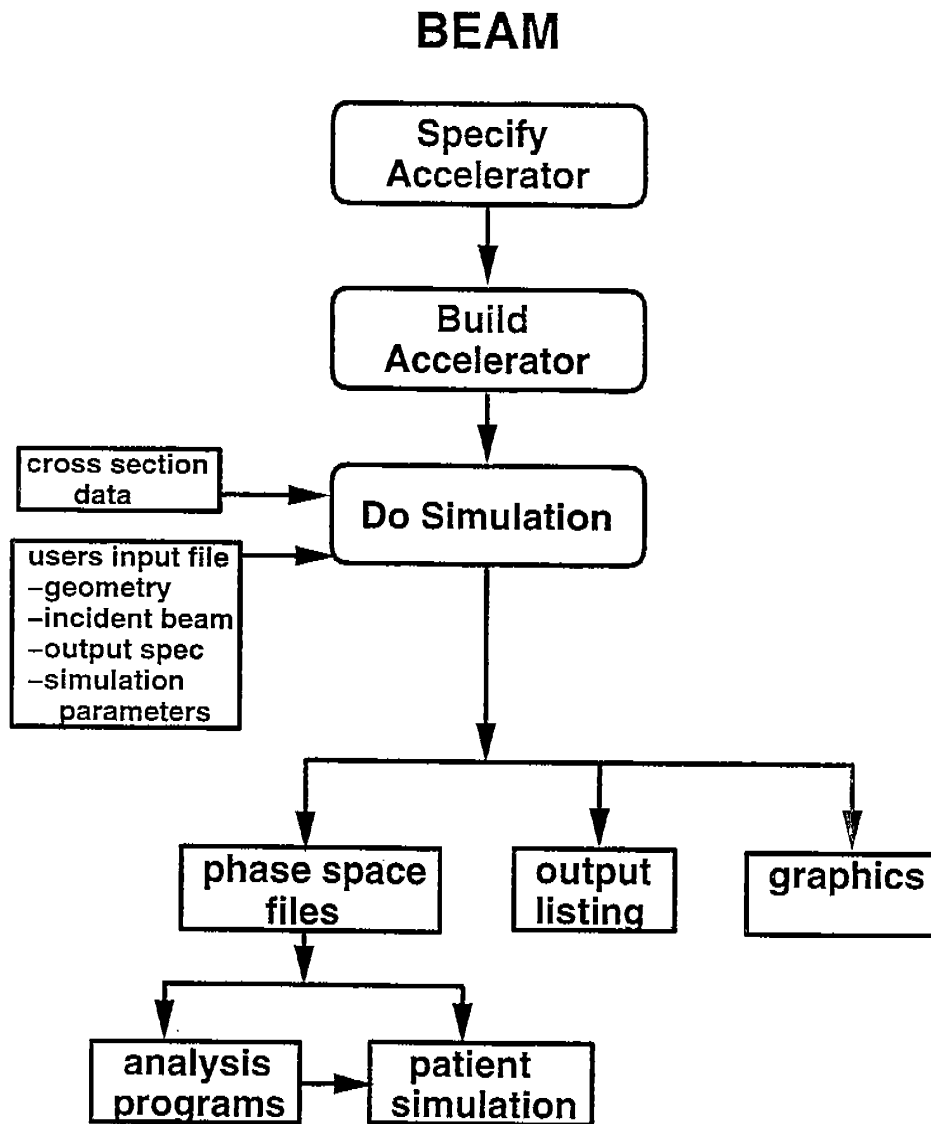


圖四、 OMEGA-BEAM 程式系統檔案架構

3.1 加速器模擬程式 BEAM

加速器模擬程式 BEAM 為 OMEGA-BEAM 程式系統的核心，模擬粒子經過直線加速器後的射束特性分佈。BEAM 採用元件逐一模擬(Component-by-Component)方式建立加速器的幾何描述，並在模擬運跑時，以 LATCH 變數記錄每一粒子於何元件產生及通過哪些元件，最後可依使用者指定建立通過任一元件後的射束特性分佈。因此，對同一加速器而言，若進行某些可移動設備不同設定時之模擬，使用者僅需讀取前一元件之射束特性分佈，便可繼續往下模擬，節省許多運跑時間。

整個 BEAM 程式執行步驟之流程示意圖如圖五所示。BEAM 程式的核心為為了模擬直線加速器而發展的許多元件模組(Component Modules, CMs)。進行加速器模擬前，必須對此加速器有完整的瞭解，若



圖五、 BEAM 程式執行步驟示意圖

未能掌握每個元件的相關資料，至少需要知道有哪些元件。雖然在模擬每一元件，如 X 光管或多葉準直儀時各有其對應元件

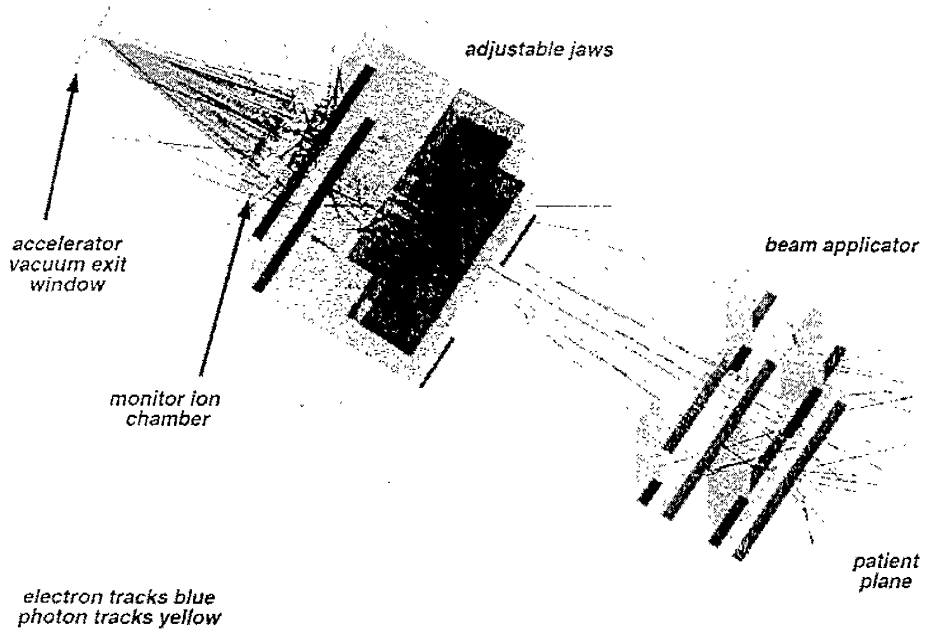
模組，僅需輸入各項尺寸及位置參數即可，修改加速器任一元件的相關參數亦可直接進行；但若欲加入某一漏失的元件時，則所有過程必須重來一次。所以若要 BEAM 重新自行建立一套直線加速器，對初學者而言並不如預期容易。

3.2 射束特性處理程式 BEAMDP

BEAMDP(BEAM Data Processing)顧名思義，其功能為 BEAM 輸出之射束特性處理程式。此程式可將 BEAM 程式中所記錄之各粒子 LATCH 變數，轉換建立成通過某一平面之粒子種類、能量、位置、角度、方向等之分佈曲線，作為劑量評估運跑時隨機選取粒子時之依據。

配合程式系統的三維展示軟體，可將各粒子通過各元件之路徑逐一展示出來，產生如圖六非常花俏的圖形。

**BEAM simulation
AECL Therac 20:
20 MeV electron radiotherapy beam**



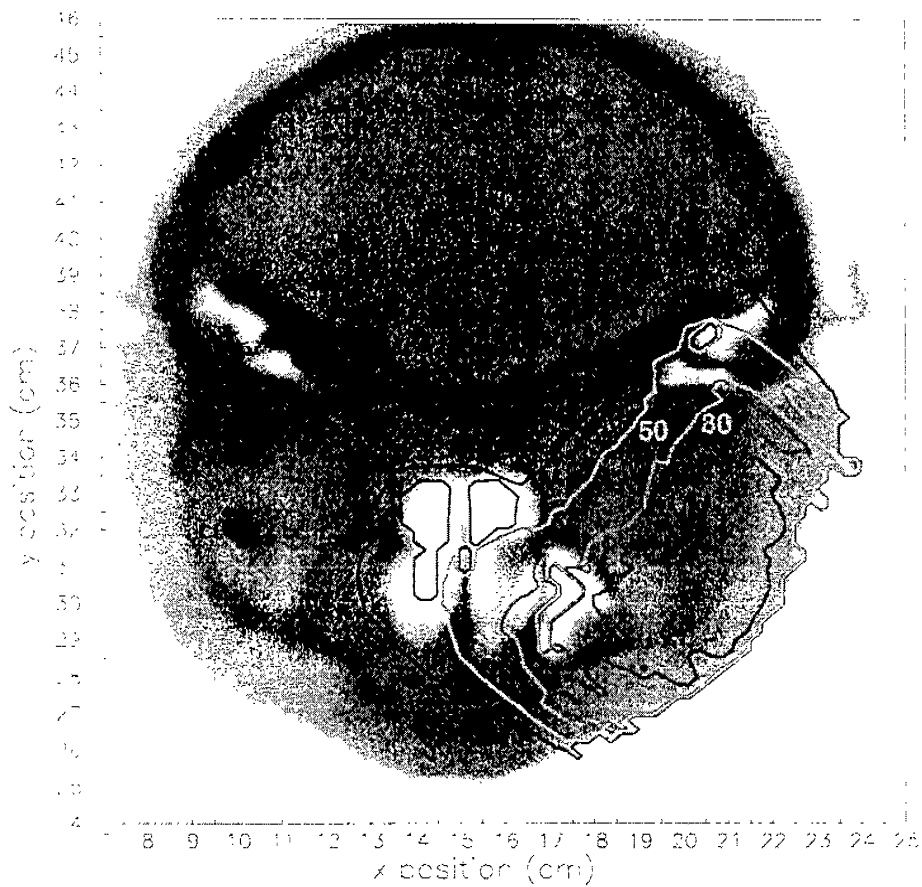
圖六、 粒子路徑展示圖

3.3 劑量計算程式 DOSXYZ

DOSXYZ 利用 BEAMDP 產生的粒子射束特性分佈曲線，進行直角座標網格的劑量計算。此程式假體部份僅可使用直角網格切割方式，使用者可調整網格大小及射源（加速器）入射方向，目前更已建立

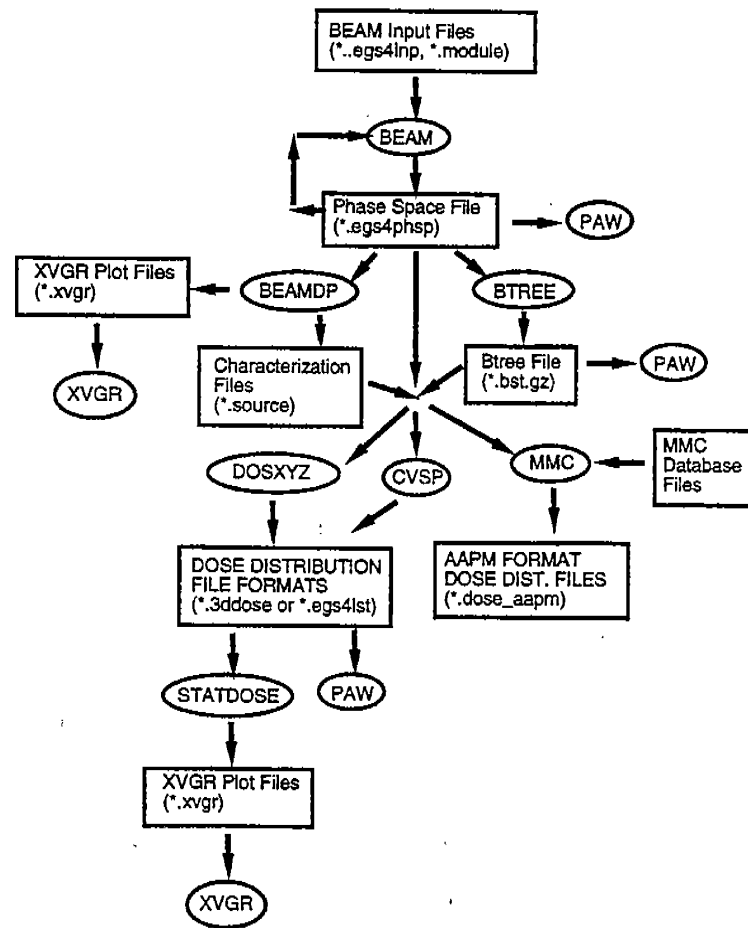
由 CT 影像資料輔助定義假體的功能，使其實用性大增。

程式系統亦發展相關劑量結果展示介面，目前可顯示在假體中各切面劑量計算結果的等劑量分佈曲線（如圖七），三維展示功能則仍在發展中。



圖七、劑量計算結果展示功能

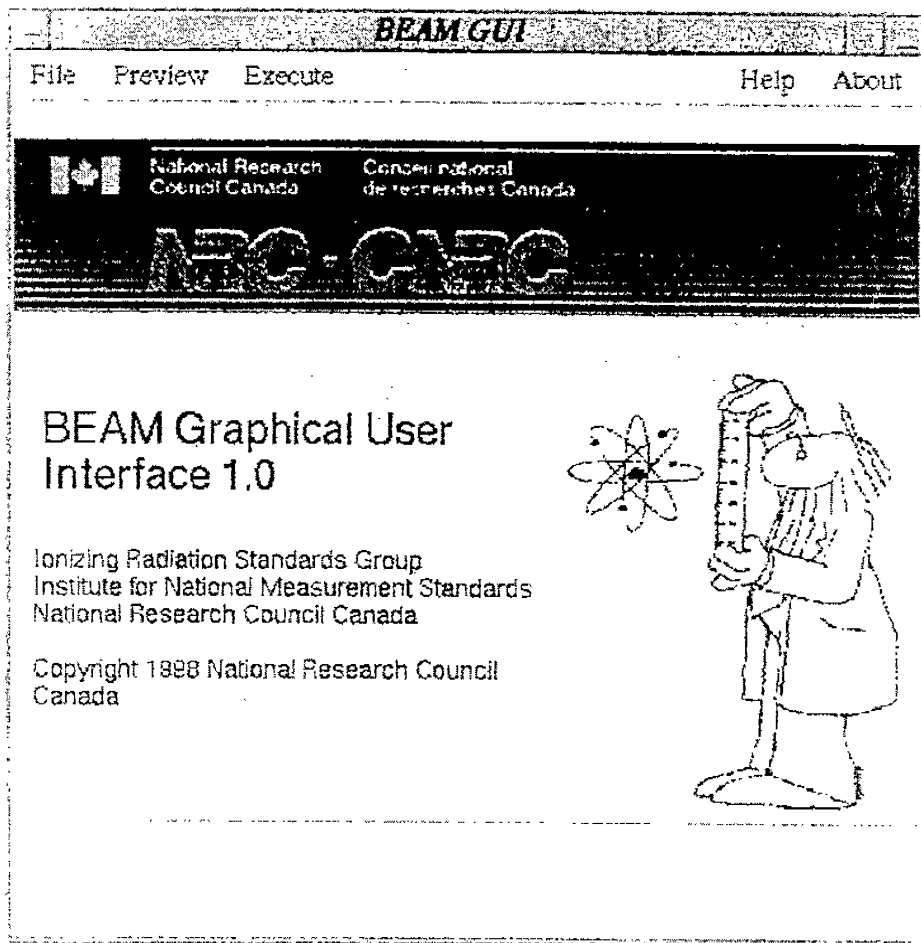
整個 OMEGA-BEAM 程式系統的計算執行流程如圖八所示。由於在各子程式間的資料連結處理上仍相當複雜，相信仍有極大的改善空間。未來只要能在此稍作加強改進，可說是相當方便且完整的一套放射醫療劑量評估系統。



圖八、 OMEGA-BEAM 程式流程圖

3.4 使用者圖形介面

利用使用者圖形介面(Graphical User Interface, GUI)輔助使用者建立輸入檔為此程式系統的特點之一。BEAM、BEAMDP及DOSXYZ的使用者介面(如圖九)皆已



圖九、 BEAM 程式使用者圖形介面

建立。使用者只要依循介面輸入參數及選項，則介面會自動產生 EGS4 蒙地卡羅程式運跑時所需之輸入檔；但是使用者介面簡化了許多程式功能，雖然比較容易上手，但功能則較為侷限。

4. OMEGA-BEAM 研討會對目前工作的幫助

保健物理組推動的醫用計畫，原本就是希望能將蒙地卡羅體內外劑量評估的技術應用推廣於醫院日常之放射診斷治療上，就此目的而言，加拿大國家研究室所發展的 OMEGA-BEAM 程式系統已雛形初具。雖然保健物理組擬採用之蒙地卡羅分析程式並非 EGS4，但是此次研討會所介紹的整個系統架構及體素假體建立技術方面有許多值得參考之處。目前保健物理組極力發展之數值化人體模型建置技術，已初具將 CT 影像轉換成蒙地卡羅法 MCNP 程式幾何描述功能，且精細度較 OMEGA-BEAM 程式系統中的 DOSXYZ 猶有過之，整體而言

劑量評估的核心技術並不遜色，但加速器模擬方面則完全無法比擬。由於組內亦不乏 EGS4 程式專家，未來如何將 BEAM 產生之射束特性分佈資料擷取出來，轉換成 MCNP 程式可用之射源項再進行後續的劑量評估，或為可行之方向。

(二) MCNP 程式進階課程

1. MCNP 程式簡介

MCNP(Monte Carlo N-Particle)是一個三維蒙特卡羅法遷移程式，可用來模擬中子、光子、電子或耦合中子/光子/電子等粒子時間依存之遷移行為及反應器臨界系統之特性。程式以一次平面、二次曲面及四次環形曲面所圍成的幾何形狀來表示實際三度空間之任意幾何形狀。對於各種原子與核子反應截面的處理，採用最準確的連續能量之描述方式，但必要時亦可延用傳統的多能群反應截面來計算。MCNP 程式最主要的特點在於它具有的運作彈性與應用的廣泛性，因為不管是對於任何射源的描述、

幾何形狀的建立、反應截面的選擇、模擬結果的輸出、各種變異數抑低技術等等，都提供了功能強大且易於使用的處理方式。

2. MCNP4C 版新增 Macrobody 功能

此次進階課程採用 MCNP4C 版本，國內目前並未獲得美國能源部核准，因此無人取得。此次課程強調的新版功能主要為幾何輸入上的簡化，即程式提供類似 QAD-CG 程式描述幾何的 Macrobody 功能。圖十為簡化前後的

MCNP4B		MCNP4C	
1 px -50		1 rpp -50 10 0 15 -25 25	
2 px 10			
3 py 0			
4 py 15			
5 pz -25			
6 pz 25			
1 0 1 -2 3 -4 5 -6		1 0 -1	
2 0 -1:2:-3:4:-5:6		2 0 1	

Diagnostics Applications Group, X-5
Applied Physics Division

Los Alamos
NATIONAL LABORATORY

圖十、MCNP 新舊版幾何輸入比較

輸入檔比較，左右皆為模擬一個立方體將整個空間切割為兩個區域，新版 MCNP4C 以 3 行完成與舊版 MCNP4B 中 8 行完全相同的幾何描述。

雖然 Macrobody 法在幾何輸入上較為簡明，但是 Tally 時則造成不少困擾，尤其是與 Surface 相關的 Tally，使用者要清楚程式將組成 Macrobody 的各個面如何加以區分編號，否則便無法得到所要的資料。

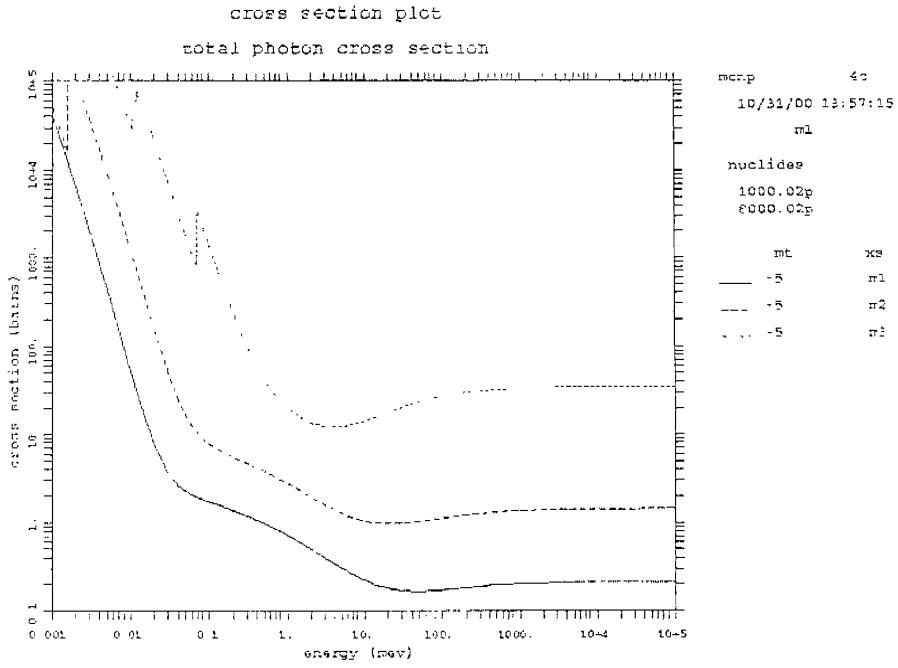
3. Repeated Structures 的幾何描述及 Tally

由於 MCNP 程式設定 Cell 數目不得超過百萬，對人型假體動輒上億的體素而言必須採用其 Repeated Structures 的功能來建置。恰好此次進階課程 Repeated Structures 亦為其重點之一。除了 Repeated Structures 幾何描述相關的 Universe、Fill、Lattice 等參數設定、觀念介紹外，如何利用 Index 指定單一體素或某一區域以進行 Tally，如何描述位於 Repeated

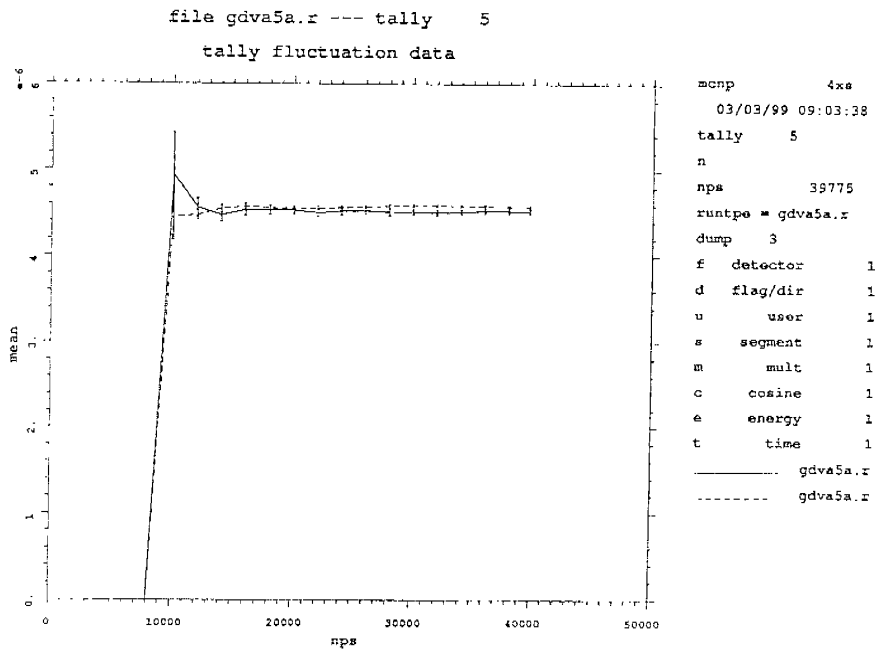
Structures 內之射源亦有詳盡說明。不但解決了出國前進行 Repeated Structures 測試時所遭遇的一些問題，對未來進行體內射源所造成劑量之評估，該如何進行體內射源的描述亦有相當大的幫助。

4. MCNPLOT 功能超乎想像

MCNPLOT 為 MCNP 程式的繪圖介面，以往多利用其檢驗幾何描述上是否有所遺漏。此次課程雖然沒有特定講題介紹 MCNPLOT，但由於上機講解時不斷使用，才瞭解以往平白浪費了許多程式功能。MCNPLOT 除了能將模擬的幾何組成畫出作為檢驗外，亦可將每一元素或材料區之各種截面數據畫出作為參考（如圖十一），更可在程式運跑時監控粒子的軌跡或收斂情形（如圖十二），及作為擾動（Perturbation）分析比較之工具。參與此次程式課程的使用者，對 MCNPLOT 的功能皆相當熟悉，上機實做時在左右同學的協助下，獲益良多。



圖十一、使用 MCPLLOT 畫出截面數據



圖十二、使用 MCPLLOT 畫出收斂情形

5. MCNP 進階課程對目前工作的幫助

MCNP 程式為保健物理組常用的蒙地卡羅遷移計算程式，在執行醫用計畫中也擬採用其作為劑量評估計算的核心，但是受限於 Cell 數目的限制，必須以 Repeated Structures 的方式建立體素假體。出國前雖已掌握 Repeated Structures 的幾何描述方式，但一直無法將 Index 與體素的對應關係確立出來。此次課程恰好在此議題上有充分闡述，因此以往遭遇的困難已完全解決，更由於確立了 Index 與體素的對應關係，後續的 Tally 問題亦迎刃而解，可說是此次實習最大的收穫。

除此之外，課程中介紹許多變異數抑低的技巧及使用的時機，如何由 MCNP 輸出檔中尋找一些重要訊息進行除錯或資料解讀，及如何以 MCNPLOT 產生所需的圖形或監控程式的運跑等，使我對程式有更深一層的認識且更能掌握。

(三) 哥倫比亞大學附設醫院實習

1. 放射治療流程

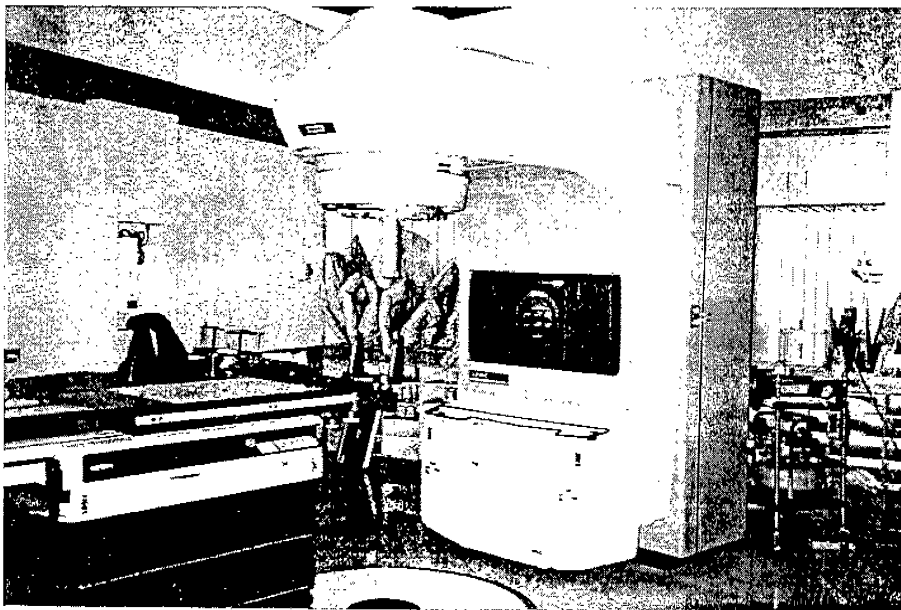
病患經會診確定罹患癌症需進行放射治療後，必須先至放射腫瘤部報到，物理師依病人體型及治療部位製作固定器後，與病患約定時間進行模擬定位。

模擬定位時，將病人確實固定於直線加速器上，使用 120 kVp 能量進行定位，當物理師覺得位置正確時，會在病患身上作記號（可能畫線或貼標籤）並擷取一張影像，以作為進行電腦斷層掃瞄時定位參考。

CT 掃瞄時依模擬定位時之固定方式（大多為三點定位）將病人固定並經影像比對無誤後，視狀況注射顯影劑進行掃瞄。掃瞄完成之影像資料自動存入資料中心。

醫師由資料中心取得影像資料後，逐張畫出腫瘤與其所關心的重要器官位置，確定採行

劉、傅兩位物理師，日校正工作僅約需 10 分鐘檢查照野大小設定是否正確、雷射定位是否偏離、光學距離指標(Optical Distance Indicator, ODI)是否正確及安全系統互鎖功能是否正常等重要參數，並將其記錄於記錄本上即可。執行月校正除需花上二小時左右來蒐集、量測各項資料及執行底片照射檢驗等工作外，尚須讀取底片黑度進行照野劑量平坦性及對稱性分析。分析結果需連同各項量測數據整理後，交給部門主管過目簽字後存檔，圖十四為十月份整理的月校正報表。



圖十三、 CLINAC 600C 型加速器

的放射治療方式（3D 順形治療或 IMRT）後，交由物理師設計治療計畫。

物理師藉由廠商提供的三度空間劑量評估電腦系統軟體，依其經驗決定照野的數目、角度、大小、形狀等參數，然後以試誤法方式調整至符合醫師的要求。物理師將電腦評估的劑量分佈提供醫師參考，並經其同意後將治療計畫定案。治療計畫定案後，病患依照治療計畫排定時間，接受一系列的放射治療直到達到劑量要求。

1. 直線加速器校正

在哥倫比亞大學附設醫學中心放射腫瘤部實習期間，參與 CLINAC 600C 型加速器(圖十三)的日常校正工作。由於此台加速器於九月份剛執行完年校正工作來不及參與，故於實習期間內除日校正外，執行了十月份及十一月份兩次的月校正工作。

直線加速器校正方面主要接觸者為大陸籍的

MONTHLY QA of MEDICAL ACCELERATOR – CLINAC600C

SN: 150 _____ Physicist: Tian Li: *eli* Date: October (10/31/2004)

Safety interlocks (OK, Y/N)

Emergency off OK _____

Wedge interlocks: OK _____

Part I. MECHANICAL CHECKS

Cross-hair centering (use a 10 cm x 10 cm field)

Gantry rotation:	Angle set	Cross-hair motion measured in mm
	0°	0.5 mm
	+45°	0.5 mm
	-45°	0.5 mm

(Report errors more than 1 mm)

Gantry and collimator angle indicator (use a 10 cm x 10 cm field)

Gantry rotation:	Angle set	Error measured with bubble-level in deg. digital/mechanical
	0°	0.0
	90°	90.3
	270°	270.4
	180°	180.1

(Report errors more than 1°)

Collimator rotation:	Angle set	Alignment of corners and field edges measured in mm, or error measured in degree
	0°	0.0
	90°	90.2
	270°	270.1

(Report errors more than 1°)

Treatment couch position (use a 10cm x 10cm field)

	Angle	Measured error in mm
	0°	1.1 mm
	90°	1.1 mm
	270°	1.1 mm

(Report errors more than 2mm)

Laser Alignment: Left Right Sagittal Ceiling

Coincidence (mm) 1 mm 1 mm 1 mm 1 mm

*** (Right laser adjusted)

(Adjust if error more than 2mm)

圖十四、 CLINAC 600C 十月份月校正記錄

Back pointer adjustment: Coincidence (mm) Left 1 mm Right 1 mm
(Adjust if error more than 2mm)

Field size indicator (collimator setting) ODI test with pointer stick(calibrated), or rule

Set	Measured	Set	Measured
5 cm x 5 cm	4.9 x 4.9	90 cm	90
10 cm x 10 cm	9.9 x 10.0	100 cm	100
25 cm x 25 cm	25.1 x 25.0	110 cm	110
		120 cm	120

(Report errors more than 2 mm)

Light/radiation field coincidence 30
(Report errors more than 2mm)

Jaw symmetry (measure edge distance from isocenter)

X1	1.0	Y1	5.0
X2	5.1	Y2	5.1

(Report errors more than 2mm)

Latching of (OK, Y/N) Wedges OK Trays OK

Field light intensity (OK, Y/N) OK

Tray position
 Measured error 2 mm
(Adjust if error more than 2mm)

Graticule position (use a 20cm x 20cm field, take a film of the graticule)
 Measured error 2 mm
(Adjust if error more than 2mm)

Part II. DOSIMETRY TEST

Ion Chamber: model PR-06C sn 64150 Voltage +300
 Electrometer: model 192 sn 19021138

T = 22.1 P = 758.6 $C_{T,P} = (273.2 + T) * 760 / 295.2 / P = 1.0000$

Beam Energy = 6MV SAD = 100cm Depth 1.5 cm SSD 98.5 cm

(Use 10cm x 10cm field, 100 MU readings, take 3 readings, in one of the readings interrupt the beam after 40 MU's and than give the rest. for backup monitor constancy check)

nC MU1 MU2

圖十四、 CLINAC 600C 十月份月校正記錄 (續)

Columbia Presbyterian Medical Center

Department of Radiation Oncology

	20.8	100	100
	20.8	100	100
	20.8	100	100
Mean :	20.8	100	100
max difference (%)	0.0	0%	0%

Dose = $nC \times CF \times C_{TP} / 100 = nC \times (4.766) \times C_{TP} / 100 = 0.098$ cGy/MU
(Adjust if error more than 2%)

Add 10 cm of plastic, d = 11 cm, 100 MU
 $nC = 15.2$ Ratio $D_{10}/D_{max} = 0.731$, expected 0.734 , dif. 0.4%
(Report errors more than 2%)

Wedge position (use a 10cm x 10cm field, measure wedge transmission factor at dmax, or compare with recorded geometrical position during annual calibration)

Open field output at 11.5 cm depth: 1.49

<u>15°</u>	nC _w = 10.0	wedge trans. fact.	0.711	expected	0.706	dif.	1.0%
<u>30°</u>	nC _w = 8.1	wedge trans. fact.	0.544	expected	0.541	dif.	1.0%
<u>45°</u>	nC _w = 7.4	wedge trans. fact.	0.500	expected	0.499	dif.	0.2%
<u>60°</u>	nC _w = 6.3	wedge trans. fact.	0.423	expected	0.419	dif.	1.0%

(Report errors more than 2%, or 2mm)

Beam flatness constancy and symmetry:

(use FILM DENSITOMETRY, 10cm depth, 20 cm x 20 cm field size and 70 MU)

Measured density: Center 1.26 X_L 1.26 X_R 1.26 Y_S 1.26 Y_L 1.25
 X: Flatness 2.5% Symmetry 1.9% Expected Flatness 2.5%
 Y: Flatness 1.7% Symmetry 1.7% Expected Flatness 2.9%
(Report errors more than 2% for flatness and 3% for symmetry)

Keithley Tracker Calibration

Center 1.028 Right 1.029 Left 1.021 Top 1.029 Bottom 1.028
(Please record it on the daily QA and please recharge the tracker!)

Note:

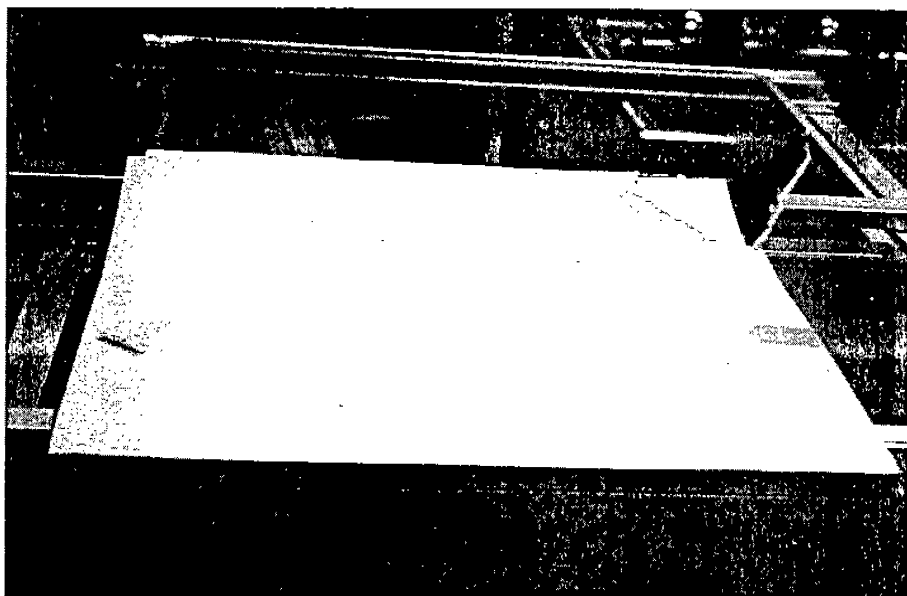
圖十四、 CLINAC 600C 十月份月校正記錄 (續)

執行月校正時需以底片驗證劑量的平坦性及對稱性。底片照射前劉物理師會先在紙封套上畫出照野大小，並在角落處戳個洞定義 X-Y 方向（如圖十五）。紙封套內有層黑色襯裡可以阻絕可見光，照射時連同封套一起照射，然後送至暗房洗片。底片洗好後放在感應器下計讀（如圖十六），感應器會依設定進行橫向及縱向掃描。所得結果透過 RFA 300 訊號轉換器（如圖十七），將感應器所讀取的底片黑度轉換成劑量儲存於電腦中，然後再利用電腦軟體分析資料的平坦性及對稱性（如圖十八）。

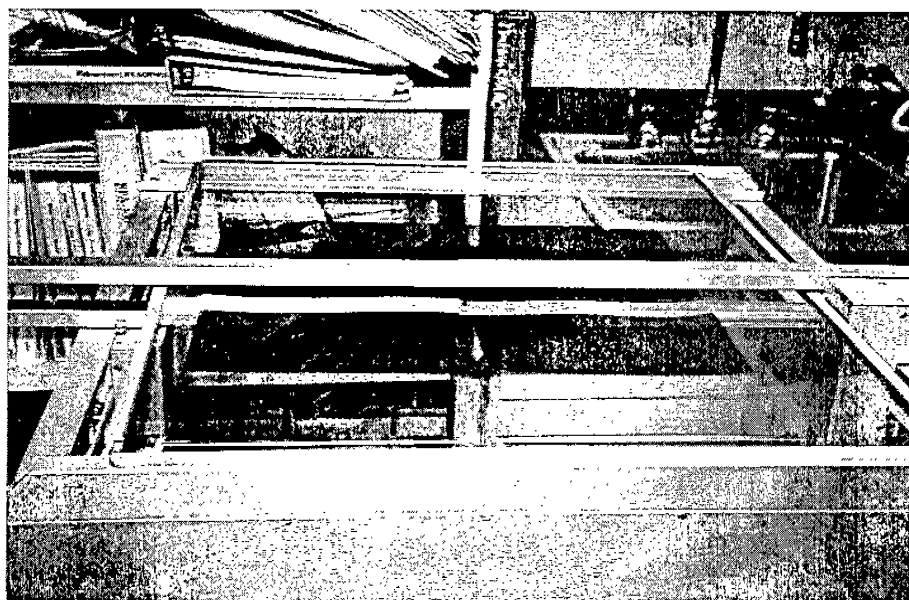
3. 放射腫瘤部實習對目前工作的幫助

保健物理組初次跨足醫學物理領域，對醫學物理師在整個醫療流程所扮演的角色甚至直線加速器各元件的名稱及功能皆不甚了解，因此在合作溝通時可能發生一知半解甚至不知所云的窘境。此次實習，雖不敢說已完全瞭解醫學物理師的需求及確認可以合作的議題與方

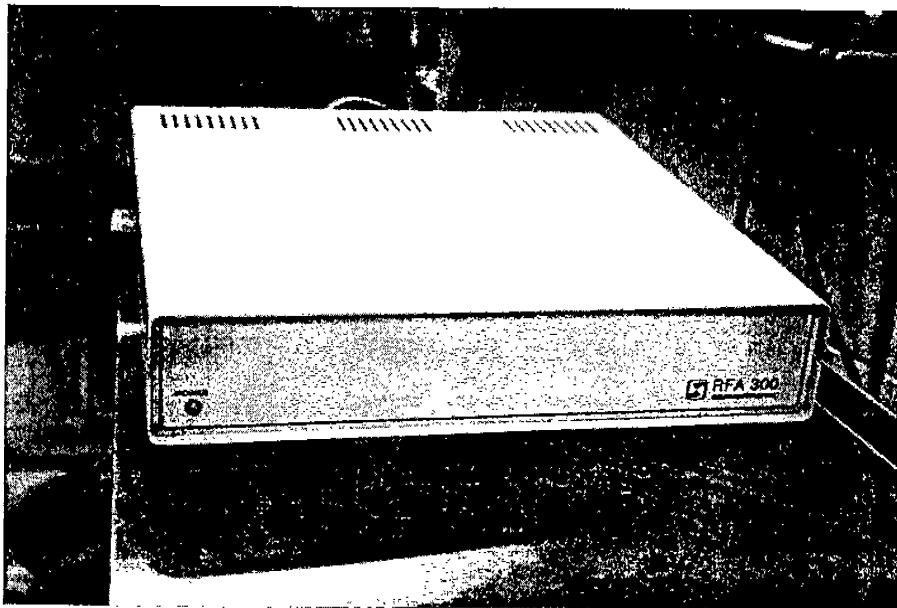
向，但是至少因為這一段時間的觀察與實作經驗，提供了彼此溝通的基礎。



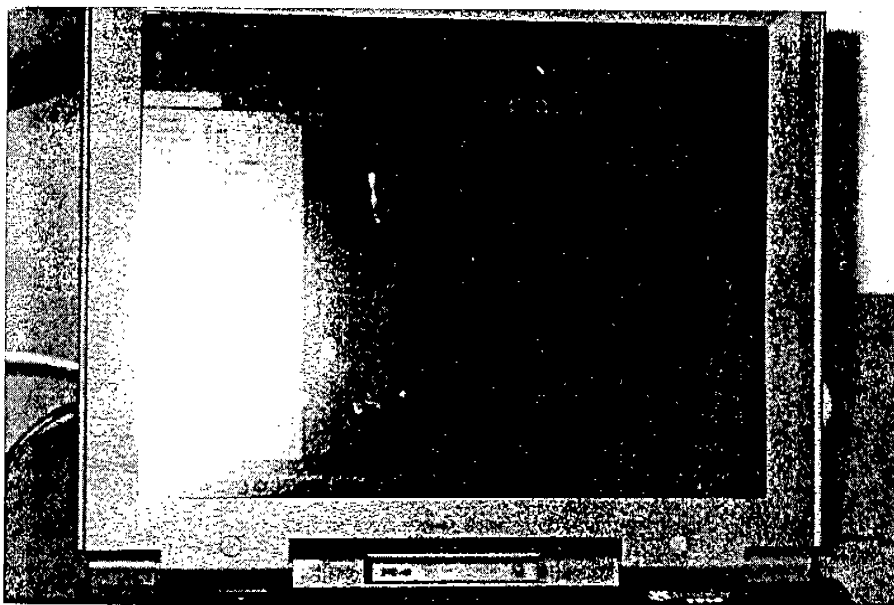
圖十五、照射前於底片封套上作記號



圖十六、底片放在感應器下計讀



圖十七、 RFA 300 訊號轉換器



圖十八、 平坦性及對稱性分析

四、蒐集資料

(一) OMEGA-BEAM 程式研討會

1. OMEGA-BEAM 研討會課程講義
2. OMEGA-BEAM 程式光碟
3. BEAM 程式使用手冊
4. BEAM 程式運跑案例
5. DOSXYZ 程式使用手冊
6. BEAMDP 程式使用手冊
7. BEAM, DOSXYZ and BEAMDP GUI 使用手冊

(二) MCNP 程式進階課程

1. MCNP 程式進階課程講義
2. MCNP 程式進階課程運跑案例解答

(三) 哥倫比亞大學附設醫院實習

1. 哥大研究所放射治療課程教材，FAIZ M. KHAN, “The Physics of Radiation Therapy”, 2nd edition.
2. CLINAC 600C 直線加速器校正項目表
3. CLINAC 600C 直線加速器校正紀錄表