

# 應用ANSYS軟體於平面桁架結構之分析自動化

學生： 葉祐任、林明興

指導老師： 王柏村 博士

國立屏東技術學院機械工程技術系

## 摘要

本文是利用有限元素法分析軟體ANSYS提供之 APDL (ANSYS Parametric Design Language)語言撰寫一分析平面桁架結構之自動化程式。本文包括(一)理論分析，其中簡介有限元素法、平面樑元素的特性、以及靜力破壞和挫屈破壞分析。(二)應用有限元素分析軟體的流程。(三)平面桁架結構自動化分析之程式設計說明，自動化程式的設計理念包含、流程說明、程式設計技巧、人機介面設計說明及應用步驟等。(四)實例應用分析為九桿件桁架結構。問題定義、有限元素模型、輸入資料準備，至結果與討論，提供了進行本自動化分析程式應用的標準程序。所得到之結果為靜力破壞與挫屈破壞安全係數，使用者在輸入元素資料後可直接得到上述的兩種安全係數值，以作為結構設計的參考。未來可將本自動化分程序應用到更廣泛的桁架結構及其它結構的自動化設計理念上。

關鍵字: 有限元素法，APDL(ANSYS Parametric Design Language)語言，ANSYS軟體，平面桁架結構，平面樑元素，靜力破壞，挫屈破壞，人機介面設計，安全係數。

## 壹、前言

工程結構係指由構件相連結而成之任何系統，其目的為支持或傳遞以安全地承受負荷。因此，結構分析的目的在了解每一構件或組合體內受力之情形。工程上常見的結

構物有桁架(truss)、構架(frame)等，本文以桁架為探討重點。

桁架結構為工程上所常見，如鋼骨結構、吊車架、倉儲架、管路、橋樑、建築物等【3】，均可視為桁架結構。桁架在分析時除了考慮靜力破壞，挫屈(buckling)亦不容忽視，只有壓應力時才考慮挫屈破壞。

通常挫屈破壞之臨界應力遠低於結構材料的容許應力。桁架係長的構件於其兩端點互相結合而形成之剛體結構，組合之構件可為工型樑、槽型鋼、角鋼、金屬桿及其他特殊桿件。在桁架結構中常會遇見之問題為在承受荷重作用時，構材所承受的應力是否超出容許工作應力及臨界挫屈應力以判斷是否達到靜力破壞及挫屈破壞，這兩種問題是本文所探討之重點【3】。

有限元素法(Finite Element Method, FEM) 起初是用來研究複雜航空結構的應力分佈，是一種能求得許多工程問題近似解的數值分析技巧。而現今已被延伸應用於廣泛的連體力學(Continuum mechanics)【4】。有限元素法之基本前題為欲解的區域可以用許多元素的組合代替，因為元素能以許多方式將之組合在一起，所以它們可以代表極複雜的幾何形狀。有限元素法較實驗方法比較起來，其模型可迅速架構與修正，且尺寸亦可做合理調整，邊界條件更改方便、容易，可在任何時間有限設備重複執行至所得合理結果，且較實驗方法來得低廉，基於其多變性及靈活性的考量在學界及工業界亦將之作為分析結構應力的分析工具。

本文採用的ANSYS軟體是一種運用有限

元素法分析問題時所採用的應用工具軟體，在以有限元素法對桁架結構作分析時，通常採用桁架元素(truss element)或樑元素(beam element)，兩者最主要的區別，在於樑元素考慮了側向力之作用。採用平面樑元素作架構，優點為架構簡單、分析快速，以樑元素可以達到本文的要求。使用者僅先定義有限元素模型及相關輸入資料，即可依序輸入作自動化分析。

APDL(ANSYS Parametric Design Language)是ANSYS的程式設計語言，本文以APDL來發展自動化程式。僅考慮平面桁架結構，作應力分析自動化程式設計。基於設計的理念，使用者僅需定義有限元素模型及相關資料如：材料性質、物理性質、位移限制、承受負載等，即可由輸出之資料作為設計之考量。分析結果可得靜力破壞和挫屈破壞安全數。將來可方便應用在實際桁架結構或較複雜的結構分析與設計，而此自動化程式之理念亦可應用於其他結構分析上【4】。

## 貳、理論分析

### (一) 有限元素法簡介

有限元素分析可說是一種最被普遍使用的工程分析方法。其應用的領域相當廣，如作應力變形分析、振動分析、熱分析及熱流分析等【4】。有限元素法應用於結構分析，是將整體的結構問題轉變成較單純的單一結構模式，將這些小模式分析出來的結果合併，便成了整個問題的分析結果。適合於方程式之自動推導及能夠處理極不規則之混合結構及荷重情形【5】。進行有限元素法於結構分析，首先選擇元素型式再將結構依元素特性對結構體作分割以得到元素與節點之組合結構，有限元素法之分析步驟如下：

#### 1. 架構元素勁度矩陣

(element stiffness matrix)  $[K]^e$

不同形式之元素，均可定義單一元素之方程式如下：

$$[K]_{n \times n}^e \{d\}_{n \times 1}^e = \{f\}_{n \times 1}^e \quad (1)$$

其中， $[K]^e$ ：元素勁度矩陣。 $\{d\}^e$ ：元素節點位移向量。 $\{f\}^e$ ：元素節點外力向量。

2. 應用元素勁度矩陣到結構之每一元素上。

3. 建立結構勁度矩陣  $[K]^s$ ：

將各單一元素之方程式組合以形成支配整個系統之方程組。

$$[K]^s \{d\}^s = \{f\}^s \quad (2)$$

其中， $[K]^s$ ：結構勁度矩陣 (structure stiffness matrix)。 $\{d\}^s$ ：結構位移向量。 $\{f\}^s$ ：結構力向量。

4. 設定邊界條件：將已知邊界條件之對應的節點位移代入  $\{d\}^s$ 。

5. 設定外力作用條件：將已知外力作用於對應之外力大小代  $\{f\}^s$ 。

6. 求解線性聯立方程式：由4,5步驟，可化簡為  $n$  個未知數，由式(2)可得  $n$  個方程式，因此，使方程式數目與未知數數目相等，可求得所有節點之未知位移及外力。

7. 後處理：將所得位移與外力作進一步處理以得到如應變，應力等。

### (二) 平面樑元素之特性

分析桁架結構如前述可採用桁架元素(truss element)或樑元素(beam)，本文欲分析平面之桁架結構，統一取用平面樑元素，在ANSYS軟體為BEAM3 elastic beam)適用於平面結構問題。平面樑元素有兩個節點，每個節點有三個自由度(UX、UY、ROTZ)，如圖一(a)所示之BEAM3元素有兩個端點I、J各端點都有三個自由度UX為X軸方向之位移自由度，UY為Y軸方向之位移自由度，ROTZ是Z軸方向角位移自由度。平面樑元素可承受之外力，如圖一(b)所示，包括軸向力為X軸與Y軸力之合成力與由側向力所形成的彎矩，因此在模擬時，所分析出來的結果會有兩種值，分別為軸向應力與彎曲應力如圖一(c)。而樑元素所得之分析應力為這兩種應力之合成，因此分析應力會有兩種如下所示：

$$LS_{12} = LS_1 + LS_2 \quad (3)$$

$$LS_{13} = LS_1 + LS_3 \quad (4)$$

表一、平面樑元素需要輸入之材料及物理性質表。

	符號	意義
材料性質	EX	楊氏係數值
材料性質	DENS	密度值
物理性質	AREA	元素截面積
物理性質	IZZ	元素慣性矩
物理性質	HEIGHT	截面高度

### (三) 靜力破壞分析

一般在設計結構時，結構本身必須要有足夠的強度以抵抗負載避免破壞產生，在此建立一個觀念，即靜力破壞安全係數為材料本身容許應力與分析應力之比。為避免破壞，安全值必須大於1，若考慮壓縮應力時則安全值不能介於-1~-1之間，否則判定為破壞。破壞之意義可指結構物破裂或完全潰，亦可指結構物超過允許變形量，使得結構物本身已失去了原來的功能【8】。決定安全因素所要考慮的事項很多，在此是以靜力破壞作考量。通常使用值在1~15。有時必須考慮負載移去後不留下永久變形，因此延性材料如鋼、鋁等可取降伏應力為材料本身的容許應力【6】。材料之容許應力可由材料性質表中查出，若材料本身容許應力不容易界定時，脆性材料如鑄鐵，則可取極限應力為容許應力。所得之靜力破壞安全係數值可依實際要求在設計上作考慮，如無法確定材料本身是否如理論般的強度或材料本身會受腐蝕【7】，則安全係數值應要求較高。針對桁架結構，以平面樑元素作分析時，靜力破壞安全係數可定義如下

$$N_{12} = \frac{SA}{LS_{12}} \quad (8)$$

$$N_{13} = \frac{SA}{LS_{13}} \quad (9)$$

其中  $N_{12}$ :樑頂面之靜力破壞安全係數。 $N_{13}$ :樑底面之靜力破壞安全係數。 $SA$ :材料本身之容許應力值。判斷破壞與否，只要任一值介於-1~-1之間，都視為破壞。如下所示，判斷基準若  $-1 < N_{12} < 1$ ，則此桿件視為靜力破壞。若  $-1 < N_{13} < 1$ ，則此桿件視為靜力破壞。

其中  $LS_{12}$ :樑頂面之合成應力。 $LS_{13}$ :樑底面之合成應力。 $LS_1$ :軸向應力。 $LS_2$ :上彎曲應力。 $LS_3$ :下彎曲應力。 $LS_{12}$ 、 $LS_{13}$ 這兩種應力在分析上都必須考慮，在求靜力破壞安全係數或挫屈破壞安全係數時，相對地也會產生兩種值。圖一(C)只是說明分析應力為軸向應力與彎屈應力相加，至於圖形形狀則因應力大小而變， $LS_1$ 會因負載作用方向不同而有正負值之分， $LS_2$ 與 $LS_3$ 則是正負號相反，正值表拉伸應力，負值表壓縮應力。選擇BEAM3來模擬桁架結構時，求解快速、架構簡單，可求得軸向與彎曲應力，但無法得到剪應力值。應用樑元素時，凡邊界、受力點、固定端、均佈力、欲求解之點的必須要設定適當的節點(node)。以下是BEAM3元素勁度矩陣之簡述【17】：

$$[K]^e = [T]^T [K]^* [T] \quad (5)$$

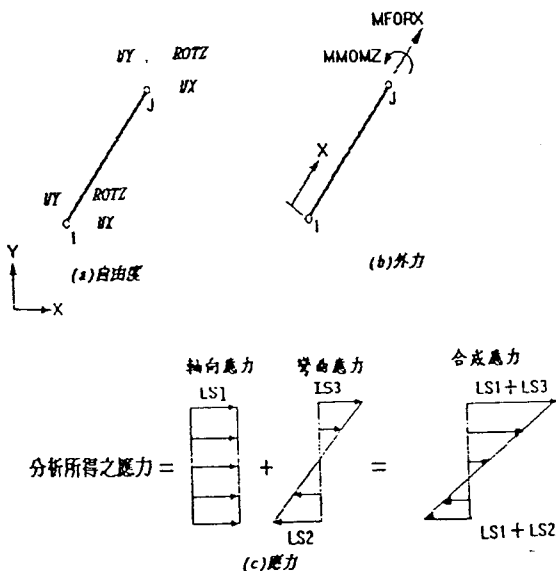
其中， $[T]$ 代表座標轉換矩陣。

$$[K]^* = \int [B]^T [D] [B] dx \quad (6)$$

其中， $[K]^*$ 為元素局部勁度矩陣、 $[B]$ 為應變節點位移矩陣。

$$[D] = EI \quad (7)$$

其中， $[D]$ 為彈性矩陣、 $E$ 為楊氏係數、 $I$ 為慣性矩。



圖一、平面樑元素特性

使用BEAM3元素架構有限元素模型時，必須輸入各種材料及物理特性如表一。

#### (四) 挫屈破壞分析

挫屈是一種桁架結構常見之破壞情形，即長而細的結構元件受軸向壓力時，並不是壓縮破壞而是由於過大之側向彎曲而破壞，稱為挫屈破壞【9】。可由歐拉臨界挫屈負荷判斷，只要受力大於臨界挫屈負荷時就會產生挫屈破壞。而且只有在桿件本身受到壓力時，才考慮挫屈破壞。由前述平面樑元素作桁架結構分析，單一樑元素之挫屈臨界應力如下【9】：

$$S_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{L^2 A} \quad (10)$$

其中  $S_{CR}$ ：挫屈破壞應力。E：楊氏係數。I：慣性矩。L：桿件長度。A：桿件截面積一致。在此應注意的是， $S_{CR}$ 之臨界負荷為桿件兩端支，模擬接近於實際桁架結構情形。可進一步定義單一樑元素之挫屈破壞之安全係數，如下：

$$NCR_{12} = \frac{S_{CR}}{LS_{12}} \quad (11)$$

$$NCR_{13} = \frac{S_{CR}}{LS_{13}} \quad (12)$$

其中  $NCR_{12}$ 、 $NCR_{13}$ ：分別代表代表樑元素頂面及底面之挫屈破壞安全係數。判別挫屈破壞之基準以負值作為考慮，至於挫屈破壞應力大小值依分析者自行取用。若  $NCR_{12}$ 、 $NCR_{13}$  任一值介於0~1之間，則桿件都視為破壞。挫屈破壞之判斷基準如下所示：  
若  $-1 < NCR_{12} < 0$ ，則此桿件視為挫屈破壞。若  $-1 < NCR_{13} < 0$ ，則此桿件視為挫屈破壞。

#### 參、應用有限元素分析軟體之流程

在使用ANSYS有限元素分析軟體作結構分析時，主要有四個流程如下：

##### (一) 前處理(Preprocessing):

① 主要在架構有限元素模型(Finite Element Model)，一完整之有限元素模型須定義選用之元素形式，結構元素之分割(mesh)，詳細之邊界條件包含位移限制條件及外力負荷狀態。

② 產生幾何模型的方式有兩種，一是由下而上(bottom up)方式，定義點(key point)的位置，再連成線(line)，再合成面(area)，又可由面組成體積(volume)以得到實際結構之幾何模型。另一種方式為由上而下(Top-down)方式，首先架構固定之幾何形狀，稱為初始幾何元件(primitive)，如矩形、圓形、立方體、球體等，再以布林運算(Boolean Operation)作邏輯加減，以組合結構之幾何模型。  
③ 在前處理階段，通常須定義元素，元素相關之材料及物理性質，架構幾何模型，以及詳細之結構有限元素模型之分割情形。

##### (二) 求解(solution):

在求解階段，須分別定義邊界條件之位移限制(displacement constant) (key point)的位置，再連成線(line)，再合成面(area)，又可由面組成體積(volume)外力負荷狀態，定義位移限制須考慮實際結構之邊界條件狀況，而外力負荷有點力或均佈力等形式，也須符合實際結構之受負荷狀態，不論位移限制或負荷之設定，均可以以節點方式定義，或由幾何模型參數，如點、線、面定義，當完成有限元素模型之架構，可實際進入求解階段求得各元素節點之位移與外力負荷。

##### (三) 後處理 (post processing)

此階段旨在將求解結果作進一步之處理，以得到所需之資訊，如應力，應變等。另外，可透過圖形顯示功能，繪製各種圖表，以供後續分析之用，並提供介面功能以得到圖形，表格之列印檔案，亦可作已知結果之進一步運算分析，如本文需之靜力，挫屈安全係數之計算。

##### (四) 解釋結果

此步驟是有限元素分析最重要之步驟，主要工作為驗證分析結果之正確性，可由理論或實際作比較分析，若無理論或實際結果，則應作有限元素模型之收斂性分析，以確認分析結果之正確性。其次，再依分析目標，逐項探討解結果之合理性，以作後續之應用。

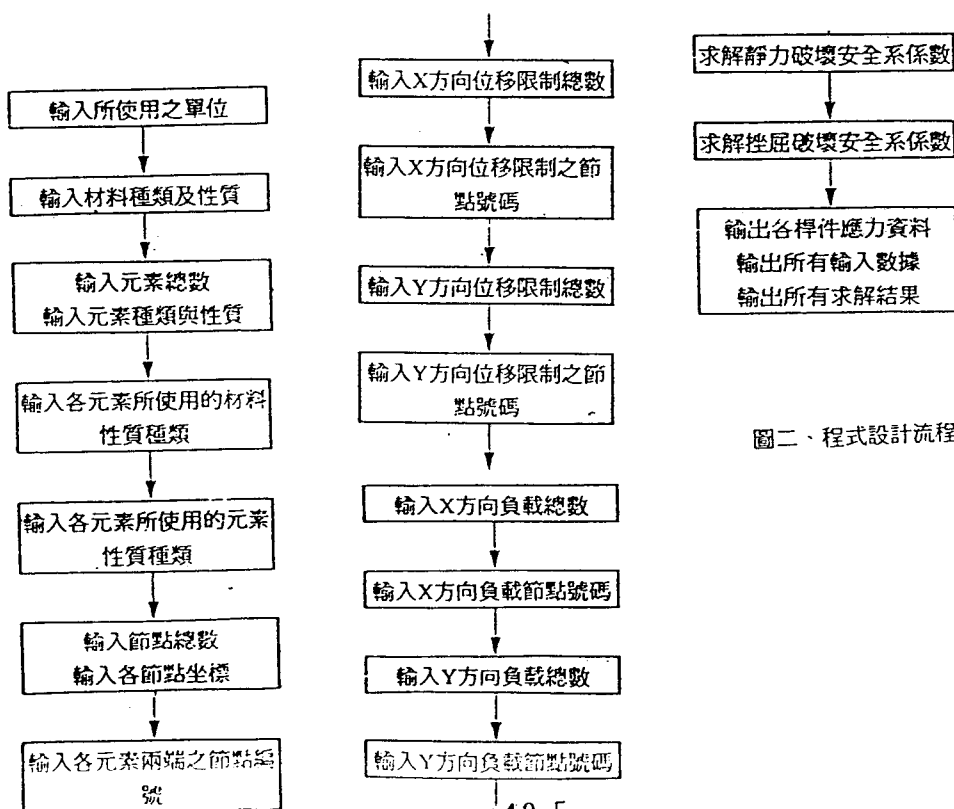
# 肆、平面桁架結構自動化分析之程式設計

本節在說明以APDL語言作平面桁架結構自動化分析之程式設計理念，包括：程式設計之流程說明、程式設計技巧、人機界面設計說明、應用步驟等。

## (一) 流程說明

程式流程圖如圖二所示，有關ANSYS程式架構及以APDL作自動化程式，流程圖說明如下：

- (1) 輸入所使用之單位：要求選擇輸入SI或USCS任一種單位之重力加速度值。
- (2) 輸入材料種類及性質：1. 輸入共使用幾種材料性質。2. 要求輸入材料楊氏係數(EX)、密度(DENS)、材料本身容許應力(SA)。
- (3) 輸入元素總數：要求輸入所使用元素的總數。
- (4) 輸入元素種類與性質：1. 輸入共使用幾種不同物理性質之元素。2. 要求輸入面積(AREA)、慣性矩(Izz)、截面高度(HEIGHT)。
- (5) 輸入節點總數。
- (6) 輸入各節點座標：輸入X座標與Y座標。
- (7) 輸入各元素所使用的材料性質種類：依所使用的編號輸入。
- (8) 輸入各元素所使用的物理性質種類：依所使用的編號輸入。
- (9) 輸入各元素兩端之節點編號：連結節點，建立元素。
- (10) 輸入X-軸方向位移限制總數。
- (11) 輸入X-軸方向位移限制之節點號碼。
- (12) 輸入X-軸方向位移限制總數。
- (13) 輸入Y-軸方向位移限制之節點號碼。
- (14) 輸入X-軸方向負荷總數。
- (15) 輸入X-軸方向負荷節點號碼。
- (16) 輸入Y-軸方向負荷總數。
- (17) 輸入Y-軸方向負荷節點號碼。
- (18) 求解靜力破壞安全係數：靜力破壞安全因數( $N_{12}$ 、 $N_{13}$ )。
- (19) 求解挫屈破壞安全係數：挫屈破壞安全因數( $NCR_{12}$ 、 $NCR_{13}$ )。
- (20) 輸出所有求解結果：分析應力( $LS_1$ 、 $LS_2$ 、 $LS_3$ 、 $LS_{12}$ 、 $LS_{13}$ )、挫屈臨界應力值( $S_{CR}$ )、靜力破壞安全係數( $N_{12}$ 、 $N_{13}$ )、挫屈破壞之安全係數( $NCR_{12}$ 、 $NCR_{13}$ )。



圖二、程式設計流程圖

## (二)程式設計技巧

在撰寫APDL設計自動化分析程序時，程式設計與撰寫技巧，如下所示：

1. 使用\*msg指令，達到顯示對話框的功能，可含變數輸出，提示語長度最好在一行內結束。
2. 使用\*GET，將所計算之table值轉換為矩陣型式，才能與其他矩陣作運算或其他運算。
3. 使用do loop迴圈達到連續輸入與建立矩陣之功能。
4. 使用VFUM達到矩陣A次方倒數與矩陣B相乘，其功能同等於 $B/A^N$ ，因APDL本身計算功能與其他軟體不同，每種運算要使用一行指令，如此更改容易，不易出錯。
5. 矩陣之建立、運算、輸出：
  - (1) 矩陣定義使用\*dim指令以建立 $1 \times N$ 矩陣，如  $X(I)=X_{1 \times N}$ 。
  - (2) 運算與一般矩陣不同  
如： $A_{1 \times N} \times B_{1 \times N} = C_{1 \times N}$ 。
  - (3) 輸出使用(1,1)便可，以STATUS(1,1)指令即可輸出。
6. 某行指令不用時使用!凍結功能。
7. 矩陣定義必須在矩陣建立之前，否則無效。
8. 避免使用受爭議的代號，如NO。
9. ANSYS本身建立結構命令與其他命令起始位置不同，易於檢查。
10. 在一組同性質命令之前可用!\*\*\*\*\*來取代每一指令後加提示語，以免次序變動產生複雜情形。

## (三)人機介面設計說明

使用者界面方面，共提供了五種方式，來引導使用者順利進行操作程序，說明如下：

1. 本自動化程式採用對話框設計，使用者容易進入使用狀況。
2. 程式執行時採用提示語設計，使用者可依照提示輸入不易出錯。
3. 程式須輸入數值時，有內定值作參考及單位提示，容易識別。
4. 含有架構圖形顯示功能，可依此判斷是否

輸入錯誤。

5. 若直接在Menu off 狀態下執行，可保留交談框內容之停留時間，以利暫不熟練本程式之使用者。

## (四)應用步驟

在使用本程式來分析桁架結構分析時，必須先架構好有限元素模型(FEM)，且將必要的資料整理下來，如表一所示，建立好完整的資料後，有助於執行程式輸入資料之方便性，及執行自動化分析。

## 伍、實例應用分析：九桿件平面桁架構

以下舉一平面桁架結構實例，使用自動化程式來分析，採用英制單位，實例不考慮桿件材料本身的自重且有兩種材料。本例題為不考慮桿件材料本身自重之桁架結構問題而且包含2種材料，其中的分析過程，最主要是求得靜力破壞安全係數與挫屈破壞安全係數，來判斷此設計是否合乎安全要求。

1. 問題定義：欲分析之結構如圖三所【18】，為兩種材料所組成。第一種材料為鋼，截面積為 $0.4in^2$ ，楊氏係數為 $30 \times 10^6$  (psi)，材料本身的降服應力是50000(psi)，慣性矩為 $0.012686(in^4)$ ，直徑為 $0.7136(in)$ 。第二種材料為鋁，截面積為 $0.7(in^2)$ ，楊氏係數為 $10 \times 10^6$  (psi)，降服應力是30kpsi，慣性矩為 $0.0389(in^4)$ ，直徑為 $0.9441(in)$ 。兩種材料截面都是圓形，桿件1、2、3為第一種材料，其餘是第二種材料，節點1受X-軸與Y-軸兩方向的位移限制，節點4受Y-軸方向的位移限制，節點5受到垂5000(lb)，節點6分別受到垂直負載7000(lb)與水平力2000(lb)作用，在不考慮材料本身自重的情況下，擬求靜力破壞與挫屈破壞安全係數之值為多少。

## 2.有限元素模型:

根據圖三轉成有限元素模型，有限元素模型之架構如圖四所示。其中共有6個節點及9個元素，箭頭表示集中力並作用在節點上。節點6受到垂直負載7000(lb)及水平力2000(lb)作用，節點5受到垂直負載2000(lb)作用。三角形代表位移限制，其尖端在節點上。圖中節點1與節點4均受到位移限制，方向指向Y-軸，代表垂直方向位移限制，而節點1亦受到水平方向位移限制。

## 3.輸入資料準備:

首先依據題目所給定的條件與有限元素模型之資料建立資料表，如表二所示。為必要建立之資料，以輸入順序由上而下排列，關於材料性質(MP)、物理性質(RC)、節點(NODE)與元素(ELEMENT)之總數，必須依照程式提示而輸入，以免發生錯誤。

## 4.結果輸出與討論:

經過資料輸入完成自動化分析後，所得之重要結果建立成表格如表三及表四所示，表三可得知每一元素之軸向應力與彎屈應力表四則包括每一元素之靜力破壞安全係數與挫屈破壞安全係數。經過自動化分析表三代表各桿件所分析出來的應力值，表四代表各桿件所分析出來的靜力破壞安全係數與挫屈破壞安全係數。得知所有桿件的應力值都沒有介於 -1 ~ 1 之間，因此都合乎要求。特別要注意的是第9號桿件，在靜力破壞安全係數  $N_{12}$  為最小值，在挫屈破壞安全係數亦是最小值，若有特別考慮必須較高之安全值時，應特別注意。

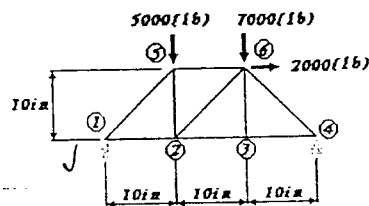
## 六、結 論

本文成功地以ANSYS軟體所提供之APDL發展自動化分析程式應用於平面桁架結構之靜力破壞與挫屈破壞分析上，可提高使用效率及方便使用者之應用。基本上有如下優點:

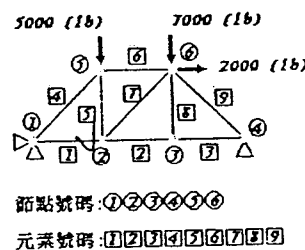
- 1.減少架構程式所花時間，提高使用效率。
- 2.輸入容易，減少錯誤產生。
- 3.修改容易，可提高使用效率。
- 4.只要擁有FEM基本架構理念甚至只要了解

使用流程者便可使用。

- 5.沒有煩雜的輸入過程，含有各種提示，作業簡單化。
- 6.輸出之結果內含輸入之資料，容易做比對、儲存。其缺點與必須加強之處如下所示:
  - 1.須加強人機介面的溝通能力
  - 2.輸入錯誤時能有即時改正的功能
  - 3.有重大輸入錯誤，程式能要求重新輸入針對缺點在後續研究方面，希望能加強人機介面之溝通能力、配合所架構之圖形一起輸出及防止人為輸入錯誤等。未來本自動化程式設計理念可應用在實際的桁架結構上或作為其他結構的自動化分析考。



圖三、九桿件平面桁架結構圖



節點號碼: ①②③④⑤⑥

元素號碼: ①②③④⑤⑥⑦⑧⑨

圖四、九桿件平面桁架結構之有限元素模型

表二、實例輸入資料表

(a)材料性質表

MP	EX	DENS	SA
1	30e6	1	100000
NM= 2	10e6	1	100000

(b)元素物理性質表

RC	AREA	Izz	HEIGHT
1	0.4	1	1
NC= 2	0.7	1	1

(c)節點座標資料表

NODE	X	Y
1	0	0
2	10	0
3	20	0
4	30	0
5	10	10
NN= 6	20	10

(d)元素所使用之材料性質(MP)、物理性質(RC)與兩端節點座標資料表

ELEMENT	RC	MP	NODE1	NODE2
1	1	1	1	2
2	1	1	2	3
3	1	1	3	4
4	2	2	1	5
5	2	2	5	2
6	2	2	5	6
7	2	2	6	2
8	2	2	3	6
NE= 9	2	2	6	4

(e)位移限制資料表

NUMBER	UX=0,NODE	NUMBER	UY=0,NODE
UXN=1	1	1	1
		UYN=2	4

(f)負載條件資料表

NUMBER	NODE	FX · VALUE	NUMBER	NODE	FY,VALUE
FXN=1	5	-5000	1	5	-5000
			FYN=2	6	-7000

表三、實例分析所得元素之應力表

ELEMENT	LS1	LS2	LS3
1	17421.	1451.6	-1450.6
2	17417.	23.288	-23.288
3	17393.	-4956.0	4956.0
4	-10049.	-625.88	625.88
5	-39.856	-1235.3	1235.3
6	-7127.0	-776.54	776.54
7	39.312	1199.0	-119.0
8	-46.544	1025.5	-1025.5
9	-14075.	-3057.8	3057.8

表四、實例分析所得之安全係數值

ELEMENT	$N_{12}$	$N_{13}$	$NCR_{12}$	$NCR_{13}$
1	2.64951	3.13083	4.97601	5.87997
2	2.86688	2.87455	5.38425	5.39866
3	4.02027	2.23724	7.55043	4.20173
4	-2.81032	-3.18363	-2.56895	-2.9102
5	-23.52592	25.09458	-43.0107	45.87858
6	-3.79574	-4.72403	-6.93943	-8.6366
7	24.22707	-25.86966	22.14628	-23.6478
8	30.64434	-27.98347	56.02481	-51.16013
9	-1.75099	-2.72293	-1.6006	-2.48907

## 七、誌 謝

非常感謝指導教授王柏村博士熱心的指導和提供多方面的協助，以及不厭其煩地糾正在製作時所犯下的種種錯誤，並提供極寶貴的處理方法和經驗，不僅使本專題能夠順



利完成並且使我們的對處理事務方面的能力增進不少，由衷地感謝！

#### 參考資料

- 1.毛迪, 1988, 實用鋼結構設計, 科技圖書股份有限公司。
- 2.王麒麟, 1985, 最新材料力學, 傳統書局。
- 3.朱少熔, 1995, 材料力學, 東華書局。
- 4.李雅榮譯, 1990, 有限元素法, 科技圖書。
- 5.李銓鋒, 1992, 電腦輔助工程應用-有限元素分析, 高立圖書有限公司。
- 6.林則孟, 1994, 電腦輔助設計與製造教材  
大綱編撰計畫, 教育部顧問室。
- 7.孟繼洛, 1996, 應用力學-靜力學, 高立圖書有限公司。
- 8.陳宏謀, 1992, 結構學觀念分析, 文笙書局。
- 9.陳宏謀, 1993, 材料力學觀念分析, 文笙書局。
- 10.陳長成譯, 1995, 材料力學, 文京圖書有限公司。
- 11.陳啓中, 1995, 結構系統概論, 詹氏書局。
- 12.程杰, 1994, 材料力學總複習, 建強出版社。
- 13.曾豪, 1996, 全方位材料力學(上), 鼎茂圖書出版有限公司。
- 14.雷萬青譯, 1975, 工程系統設計與規畫, 中國土木水利工程學會。
- 15.劉弘祥譯, 1987, 有限元素程式在地工力學之應用, 科技圖書。
- 16.劉國雄, 1991, 工程材料科學, 全華圖書。

- 17.Zahavi, E., 1992, *The Finite Element Method in Machine Design*, Prentice-Hall International, Inc.
- 18.Knight, C.E., 1993, *The Finite Element Method in Mechanical Engineering*, PWS-KENT Publishiy Company .
- 19.Zinkiewicz, Q. C., 1997, *The Finite Element Method*, McGraw-Hill, London.

#### The Application of ANSYS Software to The Automation Programing of Plane Truss Structures

Yo-Zin Ya  
Ming-Sing Lin

Bor-Tsuen Wang

Department of Mechanical Engineering  
National Pingtung Polytechnic Institute

#### Abstract

This paper presents the use of APDL (ANSYS Parametric Design Language) of ANSYS, a finite element software to develop a automated analysis program for the analysis of plane truss structures. This paper consist of (1) theoretical analysis, (2) applicative procedures of finite element software, (3) design process of automated analysis program, and (4) Case studies. The finite element method is briefly introduced. The two beam element is also as well as the static and buckling failure. The design concept, program

flow chart, programing technique, user-interface, and application procedures of the automated analysis program are shown, One cases studies ,including a four- and a nine-truss structures are deworstrted The standard procedure is defining problem, constructing finite element model, preparing input data and resoult discuss are presented step-by- step. The automated program can directly provide the safety factor for both static and buckling failures these can be used for structure evaluation. The develop automated analysis teching can not only be applied to general truss structure program but also be extended to other types of structural analysis.