

筆記型電腦鉸鍊之有限元素分析

學生：李振朝、黃永坤、黃耀民

指導教授：王栢村 博士

國立屏東科技大學機械工程系

摘要

本報告是利用有限元素分析軟體 ANSYS，分析筆記型電腦鉸鍊相關結構之應力分析，將專題簡化成兩個次主題，一是求鉸鍊結構上螺絲固定處的反作用力，二是將所求得的鉸鍊螺絲固定處的反力作為外力負荷作用於鉸鍊固定座(I/O bracket)上，以求鉸鍊固定座應力分佈與最大應力發生處。並試圖更改鉸鍊結構上螺絲固定的方式能使鉸鍊固定座受負荷後所產生的應力變小。本報告提供筆記型電腦的結構設計上一套有系統的分析模式，做為將來改善產品設計時之參考。

一、前言

在這個資訊爆炸、科技日新月異的時代裡，電腦已成為家庭當中必備的家電用品之一，每個人的生活都離不開電腦，隨著電腦之普及，電腦功能配備也愈來愈好，也發展成筆記型電腦逐漸取代桌上型電腦之時代，筆記型電腦是未來電腦市場的主流[1, 2]，筆記型電腦目前之佔有率與日俱增，要方便攜帶，符合短、小、輕、薄的原則去設計，為遷就此一狀況，在功能上必然限制多及需開發新技術[2, 3]，因此本報告目標朝向筆記型電腦結構上之研究。

筆記型電腦(Notebook PC)的鉸鍊是液晶顯示器(Liquid Crystal Display LCD)[4]與主機本體連接部分，功能在支撐液晶顯示器的重量及連接液晶顯示器與主機本體使其能轉動，須承受掀起或關閉液晶顯示器前後板時

的作用力。本報告之目的乃針對現有之實際問題模擬當筆記型電腦掀開或關閉時對於連結液晶顯示器與主機本體之鉸鍊、鉸鍊固定座部分的受力分佈狀況，並分析產生鉸鍊固定座破壞的主因。為往後類似問題建立一套分析模式並可做為設計鉸鍊型式及固定位置時之重要參考依據。

本報告則是以有限元素分析(Finite Element Analysis, FEA)軟體 ANSYS5.0 [5]，來進行筆記型電腦鉸鍊相關結構之應力分析，有限元素法較實驗方法比較起來，分析其耗費成本低，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覆執行至所得合理結果，方法步驟都很簡便容易，不像實驗方法有成本高、且耗時、幾何模型尺寸形狀受限之缺點。但有限元素法需要熟悉有限元素法的分析方法及理論，以及熟悉軟體的操作等較專業的之知識，此為其較大之缺點。

本報告之背景是由環隆電器股份有限公司所生產之筆記型電腦中，曾出現當筆記型電腦在掀起或關閉時，造成鉸鍊固定座破壞問題，因此得以藉由環隆電器股份有限公司所提供之實際問題，進行鉸鍊(hinge)受力分析、鉸鍊固定座之破壞分析及研究改善方法等。預計對環隆電器公司的助益不但能了解產品(筆記型電腦)破壞處之成因及解決方法，包括改善元件形狀或更換零件等；同時也能

建立一套分析模式，可供今後產品不明原因破壞之改善或設計研發工作上作為參考。

二、問題定義與分析目標

(一)整體計劃之問題定義與分析目標：

◎問題定義：

一筆記型電腦結構如圖一所示，液晶顯示器與前蓋後蓋及附絞鍊支架 (frame with hinge) 由兩側各兩支螺絲固定，附絞鍊支架與絞鍊鉚接成一體，絞鍊由一垂直及水平螺絲固定於固定座上，為模擬筆記型電腦開啓或關閉之狀態，故於前蓋或後蓋上方處施以三軸向推力如圖二所示，一般在開啓或關閉筆記型電腦施力處可能分別在單邊、中間及兩邊同時施力，而從靜力學觀點上分析，應以單側受力時絞鍊及固定座所受之反力將是最大 [6]，因此不考慮在中間施力及兩側同時施力所造成之影響；其各部位元件材料名稱及性質如表一、表二所示。

表一、各元件材料明細表

編號	元件名稱	材料名稱
(A)	液晶顯示器後蓋 (rear cover)	塑膠原料 GE LEXAN SP7602
(B)	液晶顯示器前蓋 (front cover)	塑膠原料 GE LEXAN SP7602
(C)	附絞鍊支架 (frame with hinge)	構造用碳鋼 S45C
(D)	絞鍊固定座 (I/O bracket)	鎂合金 AZ91D
(E)	絞鍊 (hinge)	構造用碳鋼 S45C
(F)	液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD)	
(G)	下蓋主體 (main bottom)	塑膠原料 GE LEXAN SP7602

表二、各類材料性質表

材料種類	塑膠原料 SP7602	構造用碳鋼 S45C	鎂合金 AZ91D
楊氏係數 (Young modulus) (N/mm ²)	4045	200 × 10 ³	4570
浦松比 (Poisson's ratio)		0.28	

◎分析目標

1. 求出絞鍊螺絲固定端之反作用力。
2. 求出絞鍊固定座的最大應力及其發生處。
3. 改善絞鍊固定座在筆記型電腦開啓或關閉所發生之斷裂現象。

◎簡化分析過程

由於主要(整體)問題要進行分析時，因需一體架構出絞鍊及絞鍊固定座之有限元素模型，在架構上將使問題更顯複雜與困難，故為使問題簡化易分析又不影響分析的正確性前題下，將主要(整體)問題分成二個次主題來進行分析，二個次主題如以下(二)《次主題1》、(三)《次主題2》所定義。

(二)《次主題1》求絞鍊之反作用力
之問題定義與分析目標：

◎問題定義：

絞鍊結構尺寸已知，如圖三所示，為不考慮液晶顯示器前、後蓋變形情況，故兩支附絞鍊支架由一剛性樑連接，進而模擬出一起作動之狀態，絞鍊部分由一垂直及水平方向之螺絲加以固定於絞鍊固定座上如圖四所示，在剛性樑側邊施予三軸向之推力，模擬出筆記型電腦開啓或關閉狀態，其各部位元件材料名稱及性質如表一、表二所示。

◎分析目標：

1. 求出絞鍊螺絲固定處上之反作用力大小及其方向。
2. 將求出之絞鍊螺絲固定處反作用力，適當地輸入絞鍊固定座上，以便進行下個《次主題2》絞鍊固定座之分析。

(三)《次主題2》求絞鍊固定座最大應力及其發生處之問題定義與分析目標：

◎問題定義：

由《次主題 1》求得鉸鍊反作用力後，再將此反作用力適當地作用於鉸鍊固定座上，其元件材料名稱及性質如表一、表二所示。

◎分析目標：

1. 求出鉸鍊固定座上的最大應力及其發生位置。
2. 將第 1 項分析目標所求得鉸鍊固定座之最大應力及其發生位置與實際上破壞狀況相互比較，證明該分析結果是否合理。

三、有限元素分析：

(一)《次主題 1》之有限元素分析流程

◎有限元素模型：

1. 元素型式：以 3D BEAM 4 元素來架構，係利用直接架構法架構出有限元素模型[5]，如表三所列。

表三、元素定義

Type of Element	BEAM 4
Node of Each Element	2
DOF of Each Node	Ux,Uy,Uz,ROTX,ROTY,ROTZ
Real Constants	AREA,ISTRN
Material Properties	EX

2. 分割(設立節點位置) 如圖五所示。

- (1) 有邊界條件處
- (2) 有外力負荷處
- (3) 截面積改變處
- (4) 螺絲固定處

3. 位移限制：

就實際上鉸鍊螺絲固定方式來看，當此結構受三軸向外力作用，開啓時以 Y 方向，關閉時 Z 方向之作用力影響最大，因 Y、Z 方

向作用力大小將主宰是否能夠使筆記型電腦開啓與關閉的主要作用力，由於開啓之 Y 方向與關閉之 Z 方向作用力會在鉸鍊水平螺絲固定位置產生 X 軸向彎矩(moment)，而使鉸鍊尾端擺動而頂住鉸鍊固定座；在鉸鍊水平螺絲固定位置亦也會產生 Y 軸向之彎矩而使鉸鍊尾端擺動頂住鉸鍊固定座的情形，故由以上所產生的現象可對此結構之位移限制假設成如表四所示。

表四、鉸鍊之位移限制

	節點號碼	位移限制
水平鎖入螺絲固定處	9、15	UX=0、UY=0、UZ=0 θX=0、θY=0
垂直鎖入螺絲固定處	7、13	UX=0、UY=0、UZ=0 θZ=0

4. 外力負荷：

由環隆電器股份有限公司所提供之資料得知，鉸鍊轉動之扭力值為 8(kgf-cm)，故 $T = 8 \text{ kgf-cm} = F \times 23.75 \text{ cm}$ [7]， $F = 3.3 \text{ (N)}$ ；再考慮液晶顯示器重量約 10 (N)，並將該值取安全因數約為 2，故假設作用外力為約 25(N)。由於 Y、Z 方向作用力為主要開啓或關閉筆記型電腦的關鍵，但為模擬真實狀況中使用者在開啓或關閉筆記型電腦可能會有三軸向施力，故外力負荷假設如表五所列。

表五、附鉸鍊支架之外力負荷與分析所得反作用力

狀態	外力負荷	節點	FX (N)	FY	FZ	MX(N-mm)	MY	MZ
0° 開啓	FX=10N FY=25N FZ=-10N	7(左側垂直螺絲處)	-5.58	-26.7	47.919			-142.81
		9(左側水平螺絲處)	0	0	-43.79	2825.8	52.758	
		13(右側垂直螺絲處)	-4.41	1.710	-31.70			56.005
		15(右側水平螺絲處)	0	0	37.58	2799.2	45.267	
90° 關閉	FX=10N FY=-10N FZ=25N	7(左側垂直螺絲處)	-5.58	2.085	65.687			20.765
		9(左側水平螺絲處)	0	0	-87.55	-3044.4	105.46	

	13(右側垂直螺絲處)	-4.42	7.914	-109.6					-57.645
	15(右側水平螺絲處)	0	0	106.51	-2580.6	128.30			

(二)《次主題2》之有限元素分析流程

◎有限元素模型：

- 1.元素型式：在架構鉸鍊與鉸鍊固定座部份主要是由 3D STRUCTURAL SOLID ELEMENT SOLID45 元素，採用實體模型法架構；在架構螺絲部份主要是由 3D TRUSS ELEMENT LINK8 元素，採直接架構法架構，如表六所列。

表六、元素定義

Type of Element	SOLID 45	LINK 8
Node of Each Element	8	2
DOF of Each element	Ux,Uy,Uz	Ux,Uy,Uz
Real Constants	None	AREA,ISTRN
Material Properties	EX,NUXY	EX

- 2.分割(設立節點位置)：如圖六所示，元素分割尺寸採每格 1mm 分成一等份，再使用 VMESH 分割有限元素模型。
- 3.位移限制：在底面為 X 軸、Y 軸、Z 軸之位移限制($U_X=0, U_Y=0, U_Z=0$)；同時有三軸向之旋轉位移限制($\theta_X=0, \theta_Y=0, \theta_Z=0$)，如圖六所示。
- 4.外力負荷：

將《次主題 1》求得之鉸鍊反作用力，作用於鉸鍊固定座有限元素模型上，但由於有限元素軟體

無法直接將彎矩作用於鉸鍊固定座之有限元素模型上，故須把彎矩化為力偶方式輸入，以為外力負荷，經由下述計算過程，設 X 軸方向力矩為 M_x ，Y 軸方向力矩為 M_y ，鉸鍊固定座上水平螺絲固定處的兩壁高 h，壁寬 w，由 x 軸向力矩轉換成十個力偶分力 F_a ，由 Y 軸向力矩轉換成五個力偶分力 F_b ，如圖七所示，則原始設計的力矩轉換成力偶分力的過程如下：

$$F_a = M_x / (10 \times h)$$

$$F_b = M_y / (5 \times w)$$

計算結果如表七、八所示。

表七、鉸鍊固定座所受力矩及輸入力偶分力

狀態	位置	X 軸向力矩 Moment x (N-mm)	X 軸力矩轉換之力偶分力 $F_a(N)$	Y 軸向力矩 Moment Y (N-mm)	Y 軸力矩之力偶分力 $F_b(N)$	
原始設計	0° 開啓	左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	2825.8	56.516	52.758	1.1724
		右側鉸鍊固定座水平螺絲孔	2799.2	55.984	45.267	1.6766
	90° 關閉	左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	3044.4	60.888	105.46	2.344
		右側鉸鍊固定座水平螺絲孔	2580.6	51.612	128.30	2.851
變更設計	0° 開啓	左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	2825.8	235.48	52.758	26.379
		右側鉸鍊固定座水平螺絲孔	2799.2	233.267	45.267	22.6335
	90° 關閉	左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	3044.4	253.7	105.46	52.73
		右側鉸鍊固定座水平螺絲孔	2580.6	215.05	128.3	64.15

表八、鉸鍊固定座所輸入之作用力

狀態	位置	FX(N)	FY	FZ	X 軸力矩轉換之力偶分力 Fa(N)	Y 軸力矩轉換之力偶分力 Fb(N)			
原始設計	0° 開啓	左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	0	0	43.799	56.516	1.1724		
		左側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	-5.584	-26.71	47.919				
		右側鉸鍊固定座水平螺絲孔	0	0	37.58	55.984	1.6766		
		右側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	-4.415	1.7104	-31.69				
		左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	0	0	-87.55	60.888	2.344		
		左側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	-5.581	2.0856	65.687				
	90° 關閉	右側鉸鍊固定座水平螺絲孔	0	0	106.51	51.612	2.851		
		右側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	-4.418	7.9144	-109.6				
		變更設計	0° 開啓	左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	0	0	-43.79	235.48	26.379
				左側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	5.5847	26.710	47.919		
				右側鉸鍊固定座水平螺絲孔	0	0	37.58	233.26	22.633
			90° 關閉	右側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	-4.415	1.7104	-31.69		
左側鉸鍊固定座水平螺絲孔	0			0	-87.55	253.7	52.73		
左側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	-5.581			2.0856	65.687				

鍊固定座水平螺絲孔	0	0	106.51	215.05	64.15
右側鉸鍊固定座垂直螺絲孔	-4.418	7.9144	-109.6		

四、原始設計分析結果與討論：

- (一) 由《次主題 1》求得之鉸鍊反作用力，附鉸鍊支架之外力負荷與分析所得之反作用力如表五所列，由表中數據得知 X 軸向力矩(Mx)為主要開啓、關閉筆記型電腦之反作用力。
- (二) 由附鉸鍊支架之外力負荷與分析所得反作用力表，可以看出，無論是開啓、關閉時的三軸向反作用力中，以 Z 軸向反作用力(Fz)為最大，因此造成 X 軸向力矩(Mx)，而 X 軸向力矩正是造成鉸鍊固定座破壞之主因。
- (三) 表五中，開啓時的 Z 軸向反作用力，明顯的大於關閉時的 Z 軸向反作用力，這是由於在開啓時所施的三軸向外力負荷中，以 Y 軸向外力負荷(Fy)為主，因此 Y 軸向反作用力也因此而增加，分散了 Z 軸向反作用力。
- (四) 由於筆記型電腦在承受開啓、關閉時反覆變動應力作用下，而造成鉸鍊固定座發生疲勞之現象，而破壞鉸鍊固定座本體，因此疲勞乃是造成鉸鍊固定座破壞之主要原因。
- (五) 由《次主題 2》求得鉸鍊固定座最大應力及其發生處，如圖八、九，鉸鍊固定座原始設計開啓與關閉之應力分布圖中，可以發現最大應力發生處在水平螺絲孔與垂直螺絲孔間的轉角處，與實際破壞位置相符合。
- (六) 疲勞破壞理論計算結果如表九所列，進而畫出疲勞破壞曲線圖如圖十五所示，筆記型電腦之鉸鍊

固定座在開啓、關閉時的最大疲勞應力落點全落在 Goodman line 安全區域外，因而造成鉸鍊固定座破壞之主要原因。

五、變更設計分析

(一) 定義問題及分析目標：

◎問題定義：

為改善鉸鍊固定座所受之覆變應力，故在鉸鍊水平螺絲孔內攻牙，如圖十所示，由於在鉸鍊水平螺絲孔內攻牙後，亦使得鉸鍊固定座與鉸鍊在鎖入螺絲時能緊密固定，而使鉸鍊在開啓關閉時不易直接頂撞鉸鍊固定座及擺動。

◎分析目標：

求出鉸鍊固定座的疲勞應力分布，並以疲勞破壞理論 (Goodman theory) 求證變更設計後是否使最大應力減小而不致發生破壞現象。

(二) 有限元素分析流程

1. 元素型式：在架構鉸鍊與鉸鍊固定座部份主要是由 3D STRUCTURAL SOLID ELEMENT SOLID45 元素，採用實體模型法架構；在架構螺栓部份主要是由 3D TRUSSELEMENT LINK8 元素，採直接架構法架構。
2. 分割(設立節點位置)：同《次主題 2》。
3. 位移限制：
在底面為 X 軸、Y 軸、Z 軸之位移限制($U_X=0, U_Y=0, U_Z=0$)；同時有三軸向之旋轉位移限制($\theta_X=0, \theta_Y=0, \theta_Z=0$)，如圖十一所示。

4. 外力負荷：

將《次主題 1》求得之鉸鍊反作用力，作用於鉸鍊固定座有限元素模型上，但由於有限元素軟體無法直接將彎矩作用於鉸鍊固定座之有限元素模型上，故需將 X 軸向力矩 (moment X) 及 Y 軸向力矩 (moment Y) 轉換成力偶分力；設 X 軸向力矩為 M_x ，Y 軸向力矩為 M_y ，鉸鍊固定座上水平螺絲直徑為 d ，兩壁間間距為 L ，由 X 軸向力矩轉換成三個力偶分力 F_a 分別作用於模擬水平螺絲的三根桁架元素上，由 Y 軸向力矩轉換的力偶分力 F_b 作用於左右兩側桁架元素上，如圖十二所示，則變更設計的力矩轉換成力偶分力的過程如下：

$$F_a = M_x / (3 \times L)$$

$$F_b = M_y / d$$

計算結果如表七、八所列。

六、變更設計後分析結果與綜合性比較

- (一) 變更設計後疲勞應力計算結果如表九所列，進而畫出疲勞應力曲線圖如圖十五所示，故筆記型電腦之鉸鍊固定座在開啓、關閉時的最大疲勞破壞應力有明顯降低且落點全落在 Goodman line 安全區域內。
- (二) 原始設計上的鉸鍊與鉸鍊固定座固定方式為以一支水平及垂直螺絲鎖入固定，而鉸鍊螺絲孔並無螺牙，因此造成在開啓、關閉時鉸鍊上下端抵住鉸鍊

螺絲孔內攻牙可將力偶之分力作用到螺牙牙面上如圖十二所示，所以可以大幅降低整體鉸鍊固定座之應力，使最大應力降至疲勞破壞應力曲線圖(Goodman theory)之安全範圍內，如圖十五所示，使鉸鍊固定座不至於發生疲勞破壞現象。

關閉時 右側鉸鍊固定座	137.521	0	68.75	68.75
開啓時 右側鉸鍊固定座	146.302	0	73.2	73.2

(三) 由圖十三、十四，鉸鍊固定座變更設計後在開啓、關閉時的應力分布圖可以看出，在原始設計時疲勞破壞發生處的應力值已大幅下降，變更設計後的最大應力發生處在水平螺絲孔下方，且應力值已變小，若在架構螺絲模型時以更多支桁架元素架構，將更趨進真實狀況，也能進一步降低應力集中效應。

表九、改善前後鉸鍊固定座開啓關閉時之疲勞應力

狀態	最大應力 σ_{max} (pa)	最小應力 σ_{min} (pa)	平均應力 σ_m (pa)	應力振幅 σ_a (pa)	
					應力
原始設計	關閉時左側鉸鍊固定座	542.85	0	271.43	271.43
	開啓時左側鉸鍊固定座	456.823	0	228.42	228.42
	關閉時右側鉸鍊固定座	378.908	0	189.5	189.5
	開啓時右側鉸鍊固定座	491.758	0	245.9	245.9
變更	關閉時左側鉸鍊固定座	158.039	0	79	79

七、結論

- (一) 筆記型電腦開啓、關閉之反作用力，以 X 軸向力矩(M_x)為主。
- (二) 由於筆記型電腦在承受開啓、關閉時反覆變動應力作用下，而造成鉸鍊固定座發生疲勞之現象，而破壞鉸鍊固定座本體，因此疲勞乃是造成鉸鍊固定座破壞之原因。
- (三) 在不影響整體結構、生產製程、成本之前提下，進行變更設計工作，將原始設計之鉸鍊螺絲孔內攻牙可將整體鉸鍊固定座之應力大幅降低，使最大應力降至疲勞破壞應力曲線圖(Goodman theory)之安全區域範圍內，使鉸鍊固定座不至於發生疲勞破壞現象。
- (四) 本報告除了解決已發生之實際問題外，並為往後類似問題建立一套有系統之分析模式，可做為設計鉸鍊型式及固定位置時之重要參考依據。

1. 曹永煌, 1997, 「筆記型電腦的採購哲學」, O & 1 BYTE 雜誌, 十一月號, 第 81 - 86 頁。
2. 趙銘, 1994, 「筆記型電腦面面觀」, 資訊與教育雜誌, 第 44 期, 第 1 - 6 頁。
3. 曾信誠, 1997, 「筆記型電腦採購白皮書」, 第三波雜誌, 十一月號, 第 175 - 188 頁。
4. 佚名, 1997, 「LCD PANEL 在 NOTEBOOK 的興替」, 零組件雜誌, 一月號, 第 38 - 45 頁。
5. 王柏村, 1998, 有限元素法及應用講義。
6. 許昭和, 楊勝安, 1996, 應用力學—靜力學, 復文書局。
7. 曾豪, 1996, 全方位材料力學, 鼎茂圖書出版有限公司。

八、誌謝

很感謝王柏村博士認真的指導和協助, 並不厭煩地糾正專題製作時所發生的錯誤, 學到許多寶貴的為人處事態度及方法, 也感謝本組同學同心協力、互助合作, 順利將本專題完成, 由衷感謝。

This work uses finite element analysis software to analyze the hinge structure of note book computer. To simplify the problem, this work is divided into two parts, one is to determine the reaction forces at hinge which are fixed with screws. The resultant reaction forces are then applied to I/O bracket as external forces. The I/O bracket stress analysis can then be obtained. Results show that the location of maximum stress coincident with the real failure. A modified hinge which is screwed is proposed to cure the structure failure problem. The work provides a systematic procedure for note book computer structure analysis and can be adopted for other product design.

The Finite Element Analysis of The Hinge of Notebook Computer

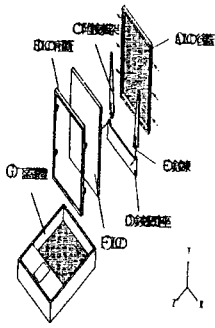
Youn-Kwun Huang

Zan-Chau Li

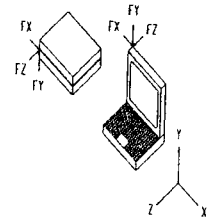
Yau-Ming Huang

Bor-Tsuen Wang

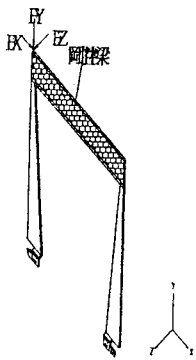
Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science
and Technology



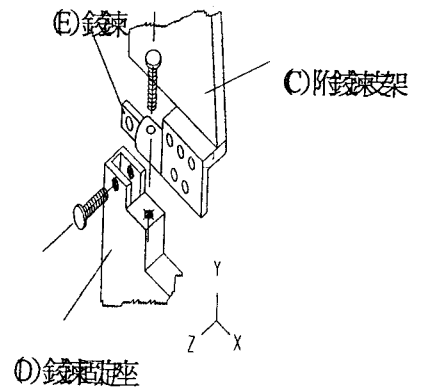
圖一、筆記型電腦結構圖



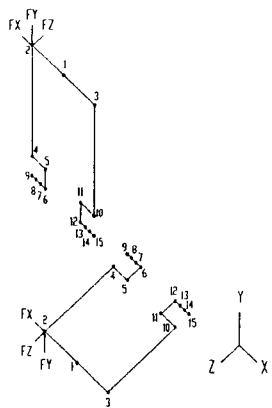
圖二、筆記型電腦開啓、關閉受力示意圖



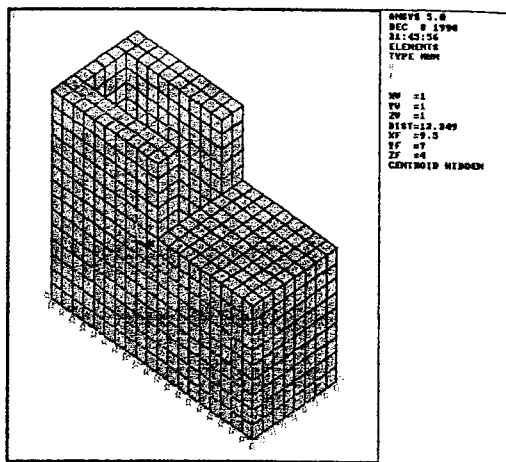
圖三、附鉸鏈支架 (frame with hinge) 受力示意圖



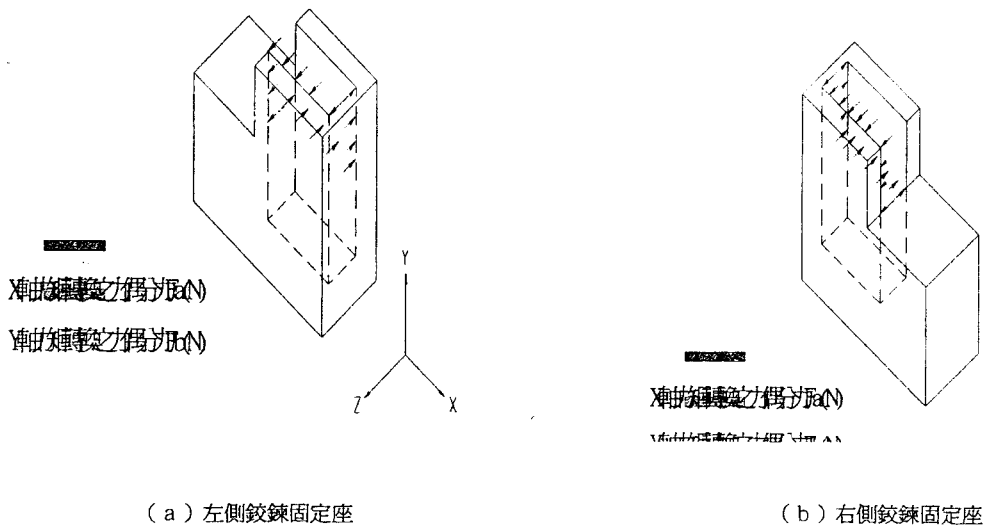
圖四、鉸鍊 (hinge) 與鉸鍊固定座 (I/O bracket) 原始固定方式示意圖



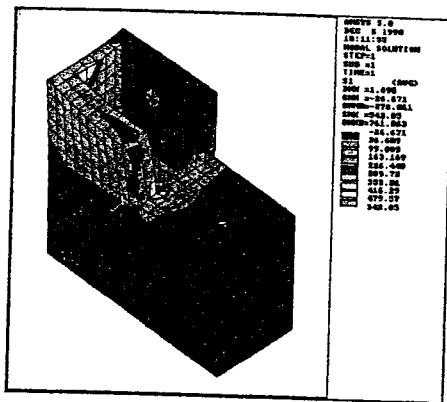
圖五、附鉸鏈支架 (frame with hinge) 之有限元素模型與節點分佈位置圖



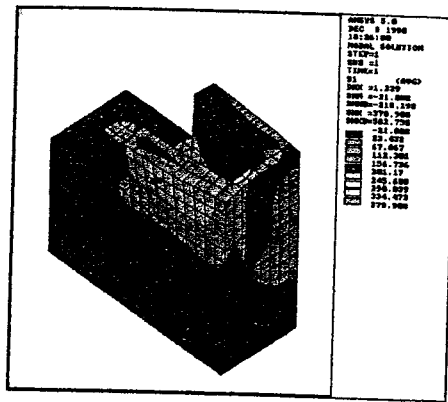
圖六、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 原始設計之位移限制與外力負荷圖



圖七、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 原始設計之力偶分力分佈圖

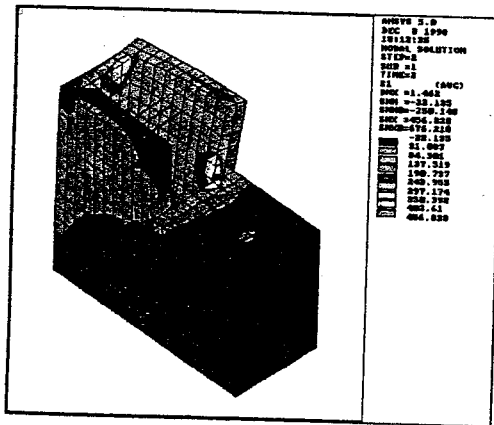


(a) 左側鉸鍊固定座

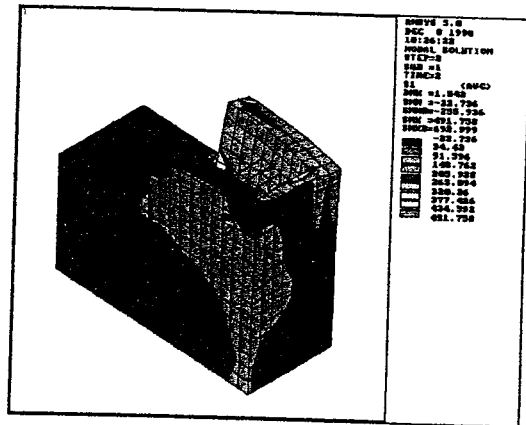


(b) 右側鉸鍊固定座

圖八、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 原始設計關閉時之應力分佈圖

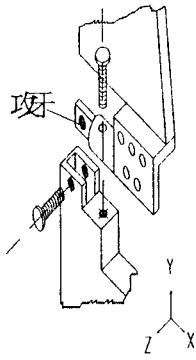


(a) 左側鉸鍊固定座

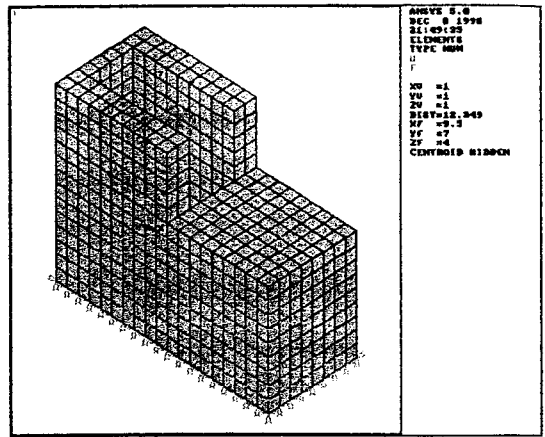


(b) 右側鉸鍊固定座

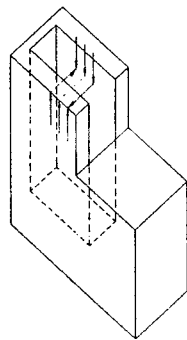
圖九、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 原始設計開啓時之應力分佈圖



圖十、鉸鍊 (hinge) 與鉸鍊固定座 (I/O bracket) 變更固定方式示意圖



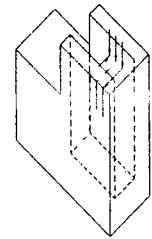
圖十一、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 變更設計後之位移限制與力負荷圖



軸向轉矩力偶力 $F_a(N)$

單位: 牛頓 (N)

(a) 左側鉸鍊固定座

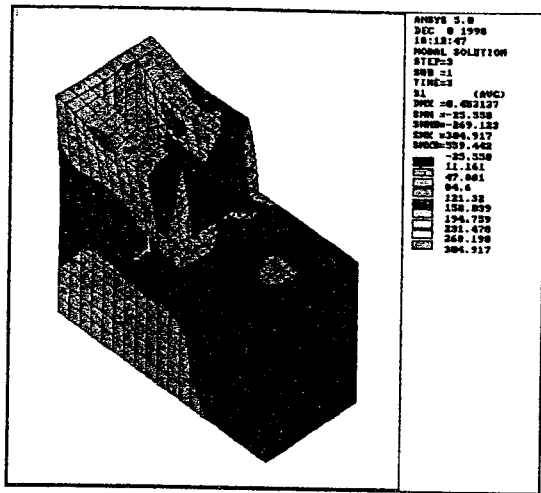


軸向轉矩力偶力 $F_a(N)$

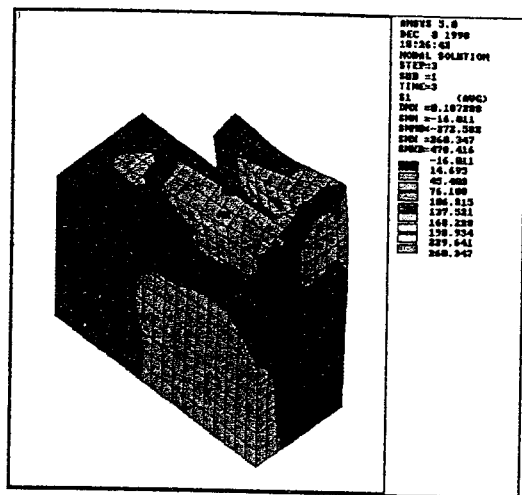
單位: 牛頓 (N)

(b) 右側鉸鍊固定座

圖十二、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 變更設計後之力偶分力分佈

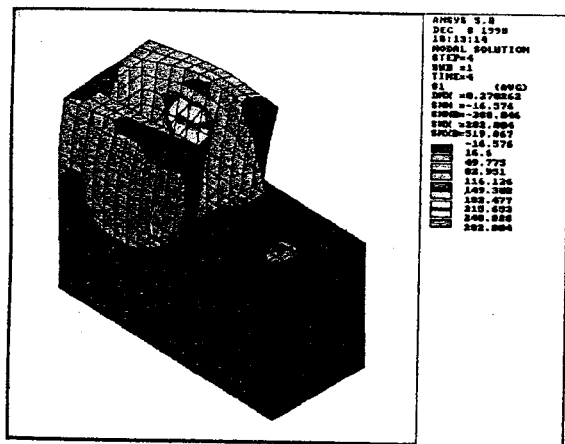


(a) 左側鉸鍊固定座

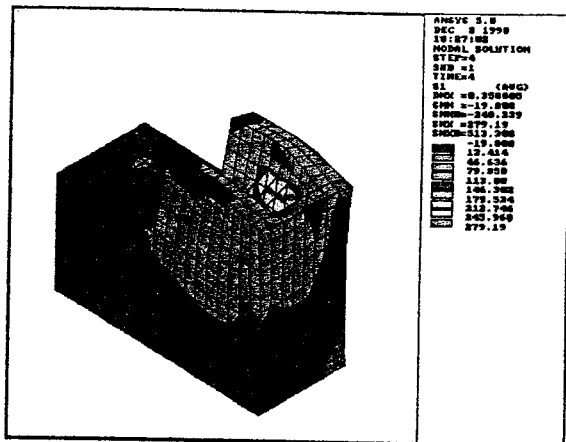


(b) 右側鉸鍊固定座

圖十三、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 變更設計後關閉時之應力分佈圖



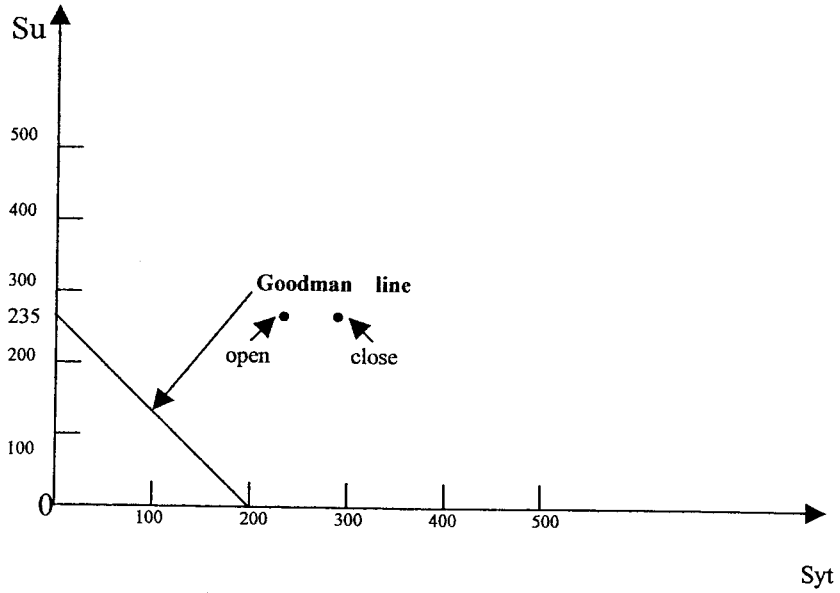
(a) 左側鉸鍊固定座



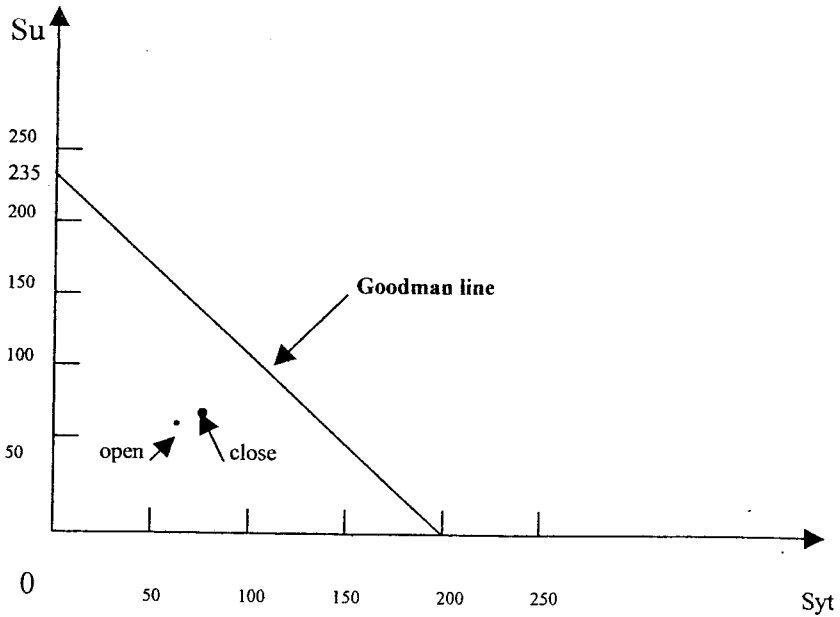
(b) 右側鉸鍊固定座

圖十四、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 變更設計後開啓時之應力分佈圖

(1) 原始設計



(2) 變更設計



圖十五、鉸鍊固定座 (I/O bracket) 原始設計與變更設計後狀況之疲勞破壞曲線