

開口扳手應力之有限元素分析

學生姓名：黃志浩、郭永翔

指導老師：王柏村 教授

國立屏東科技大學

機械工程技術系

摘要

本文主要以有限元素分析軟體對扳手作應力分析，而求得扳手發生最大應力的位置及應力值。使用三種主要型式的有限元素模型進行分析；第一種方式是使用 PLANE42 元素來架構模型，第二種與前一型式不同的是使用 BEAM3 元素來架構扳手柄的部分，第三種是以 PLANE42 來架構扳手實體，並且以 CONTACT12 元素來模擬扳手與螺栓接觸的位置。在分析時給予的邊界條件，如限制“兩接觸點”、“兩接觸面”或是“單邊間隙”、“雙邊間隙”及施力向下或向上等條件，以得到不同邊界條件下，所產生的應力分佈結果。

扳手受到向下的負荷時，其最大應力的位置是於開口底部的下方位置，而向上施力時，其最大應力是發生於開口底部的上方處，但在固定兩接觸邊的形式中，其最大應力是皆位於下接觸面上。由結果顯示有使用 CONTACT 元素架構的模型，所得到的結果大於其他有限元素模型解出之結果，且較為合理。本文除對扳手作應力分析外，將來可作為工程人員在架構有限元素模型及設計之參考。

一.前言

扳手的形式一用途分有單頭開口扳手、雙頭開口扳手、活動扳手、六角扳手、管子扳手、棘輪扳手、銷鉤扳手、面銷扳手...等。

本文則針對單頭開口扳手為分析對象，在對其進行資料的搜集。因此在機械設計便覽中得到扳手之規格及其各部相關尺寸如附錄一之規格表所示，其扳手規格由開口寬度定號數，且扳手開口位置與扳手軸向夾 15° 角。本文使用有限元素分析(Finite Element Analysis: FEA)對扳手之應力分佈作探討，

並且利用懸臂樑分析法作為扳手柄部之近似理論分析法。

有限元素分析法是一種解析的方法，而他的發展歷史相當短。如以結構問題為例，這個方法的基本觀念是將連體(整個結構)視為次區域(有限元素)之組合，做為結構解析之模擬。在每一個子區域內之結構行為，可以用一假設函數來表示該區域內之應力或變位。這個假設函數通常必須能夠保持整個連體結構行為的連續性。但在某些情況下，這個假設的應力場或變位場不能夠確保連體的連續性，但是仍然能夠滿足解答收斂性的要求。假如結構行為可以用一個微分方程式來表示，則有限元素法與級數法及差分法相類似，均用以求該微分方程式之近似解。假如整個結構為一混雜的結構，及包括很多不同結構形式時，而每一結構形式有不同之微分方程式來表示結構的行為，則有限元素法仍然能夠直接的應用。

基於扳手是使螺栓、螺帽配合的主要工具，故本文是藉由 ANSYS 軟體來分析扳手在旋轉螺帽或螺栓時的應力分佈與應變大小，並且獲得扳手發生最大應力的位置與大小之結果，進而了解扳手受負荷可破壞的位置，將來也可為其他工程人員設計扳手的參考資料。

二.問題定義與分析目標

本文採用 41 號之單頭開口扳手作為旋緊或放鬆螺絲或螺帽的工具，在扳手尾端施加一單位長度之作用力 10N/mm ，其扳手的楊氏係數為 $207\text{E}+3\text{ MPa}$ ，其數學模式如下：

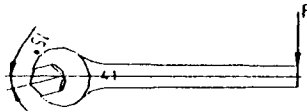
(1)問題定義：

單頭開口扳手如圖(一)所示：

扳手之材料為鋼，其楊氏係數 $E=207E+3$ MPa。

扳手之規格為 41 號 (其詳細之尺寸請參考附錄一)

扳手之厚度 17mm，扳手柄之厚度 10mm，螺栓頭之高度 20mm。



圖(一)

V：截面之剪應力

Q：面積一次矩

I：截面之慣性矩

b：樑之寬度

樑內剪應力大小是二次拋物線分佈。在截面上成的剪應力必為零，在中立軸之剪應力為最大。

(2)分析目標：

- 1.對扳手作整體及局部之應力分析及其位移量。
- 2.假設扳手的柄部具有懸臂樑的特性，並且加以驗證其正確性。
- 3.作不同的有限元素模型之分析並加以比較，而得架構有限元素模型之較佳的方法。
- 4.使用 CONTACT 元素架構模型，而求得扳手與螺栓接觸面之接觸應力。

四.有限元素模型

本文是以 41 號開口扳手作為分析對象，因此在架構實體模型時，是依其各部尺寸而架構。而在有限元素模型的架構上，主要以三種形式進行架構，其架構形式、元素形式及所需之相關參數如下：

(1)型式 A

本型式是以 PLANE42 元素來作分割，而分割原則是在可能發生應力集中及欲知其應力值的區域而做較細微的分割，而其餘的區域做較大的分割，如此可使分割產生的元素較少，以縮短求解所需的時間。其分割之情形如圖(二)所示，所需之相關參數列於表(一)中。

三.理論分析



圖(二) 型式 A 之有限元素模型

由於扳手柄部為均質對稱且承受一彎矩力，符合樑之分析條件，本文使用旋臂樑之分析法對扳手柄部作理論分析，其應用公式如下：

表(一) 型式 A 之模型相關參數

1.樑內的彎曲應力

$$\sigma = \frac{Ey}{\rho} = \frac{My}{I} \dots (1)$$

ρ ：曲率半徑

M：承受之彎矩

I：截面之慣性矩

2.樑內的剪應力

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \dots (2)$$

Type of Element	PLANE42
Node of each Element	I、J、K、L
DOF of each Element	UX、UY、KEYOPT(1)=1
Real Constant	Thickness、KEYOPT(3)=3
Material Properties	EX=207E3、Nuxv=0.3

*邊界條件

依邊界條件的不同，又區分成四種模型來分析討論。其條件如下。

a.負荷狀況(Loadng)

在扳手的柄端設兩種施力狀況：第一種是在柄端施以向下 10N/mm 之 F 力，使其產生順時針旋轉的力矩作用。第二種是在柄端施以向上

10N/mm 的力，使其產生逆時針旋轉的力矩作用，分別以各種狀況做分析探討。

b. 位移限制(displacement)

考慮扳手在施加外力時，其接觸位置及情況而使用兩種不同型式的位移限制；第一種是在可能發生點接觸的位置做點的 UX、UY 的位移限制。第二種是假設為面接觸，而將扳手的接觸面位置作位移限制。

(2) 型式(B)

本型式在扳手頭之部份以 PLANE42 元素來架構模型，而以 BEAM3 元素來架構扳手柄之部分，且分割原則與 A 模型之分割相同。其分割之情形如圖(三)所示，所需之相關參數列於表(二)中。



圖(三) 型式 B 之有限元素模型

表(二) 型式 B 之模型相關參數

Type of Element	PLANE42	BEAM3
Node of each Element	I、J、K、L	I、J
DOF of each Element	UX、UY、KEYOPT(1)=1	UX、UY、ROT
Real Constant	Thickness、KEYOPT(3)=3	AREA、IZZ、HEIGHT
Material Properties	EX=207E3、Nuxy=0.3	EX=207E3、DENS=7.82E-6

*邊界條件

a. 負荷狀況>Loading)

在扳手的柄端設兩種施力狀況；第一種是在柄端施以向下 10N/mm 之 F 力，使其產生順時針旋轉的力矩作用。第二種是在柄端施以向上 10N/mm 的力，使其產生逆時針旋轉的力矩作用，分別以各種狀況做分析探討。

b. 位移限制(displacement)

考慮扳手在施加外力時，其接觸位置及情況而使用兩種不同型式的位移限制；第一種是在可能發

生點接觸的位置做點固定之位移限制。第二種是假設為面接觸，而將扳手的接觸面位置作位移限制。

(3) 型式(C)

本型式與前兩種實體模型不同的是多加一個螺栓的部分，於扳手本體及螺栓以 PLANE42 元素來分割，且在接觸面的位置，使用 CONTAC12 元素來架構，並將接觸面處間隙，設為單邊餘隙及雙邊餘隙而分別求解。其分割原則除上述的以外，則在欲知接觸力分佈之接觸面作細分割，以得到較準確的結果。其分割情形如圖(四)所示，而所需之相關參數列於表(三)。



圖(四) 型式 C 之有限元素模型

表(三) 型式 C 之模型相關參數

Type of Element	PLANE42	CONTAC12
Node of each Element	I、J、K、L	I、J
DOF of each Element	UX、UY、KEYOPT(1)=1	UX、UY
Real Constant	Thickness、KEYOPT(3)=1	KN、KS、KEYOPT(4)=1、KEYOPT(7)=1
Material Properties	EX=207E3、Nuxy=0.3	MU=0.3

*邊界條件

a. 負荷狀況>Loading)

在扳手的柄端設兩種施力狀況；第一種是在柄端施以向下 10N/mm 之 F 力，使其產生順時針旋轉的力矩作用。第二種是在柄端施以向上 10N/mm 的力，使其產生逆時針旋轉的力矩作用，分別以各種狀況做分析探討。

b. 位移限制(displacement)

將螺栓內部以平均方式取出六點並加以固定。(4)將各有限元素模型(FE-model)及資料統計如表(四)所列：

表(四) 有限元素模型之種類

FE-model	接觸型式	負荷型式	編號
型式(A)	兩點接觸	向下施力	A1
		向上施力	A2
	兩邊接觸	向下施力	A3
		向上施力	A4
型式(B)	兩點接觸	向下施力	B1
		向上施力	B2
	兩邊接觸	向下施力	B3
		向上施力	B4
型式(C)	單邊餘隙	向下施力	C1
		向上施力	C2
	雙邊餘隙	向下施力	C3
		向上施力	C4

五. 結果與討論

將分析所得之結果整理後，分成兩項重點來討論。1. 扳手整體性應力分析，其中又將三種主要模型 A、B、C 各別加以討論。2. 探討承受負荷之最大位移，並作段落總結。

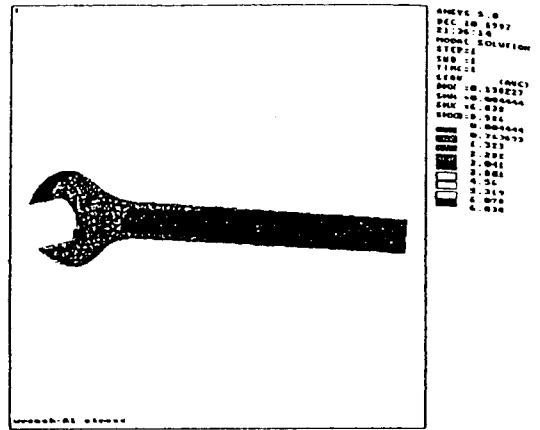
(一) 各類有限元素模型之整體性應力分析

1. 在形式 A 之有限元素模型下分成 A1、A2、A3、A4 等四種不同的狀況之分析，其結果如下：

(a) 在 A1 的位移限制及負荷下， σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(五)所示，其主要應力是分佈在開口上方右側的接觸點，然後延伸至開口的底部及下接觸面的區域，而應力較大的區域為下接觸面的附近，且柄前端的上下緣應力較柄內部的應力大，其最大應力是在開口底部的下方 MX 之位置。

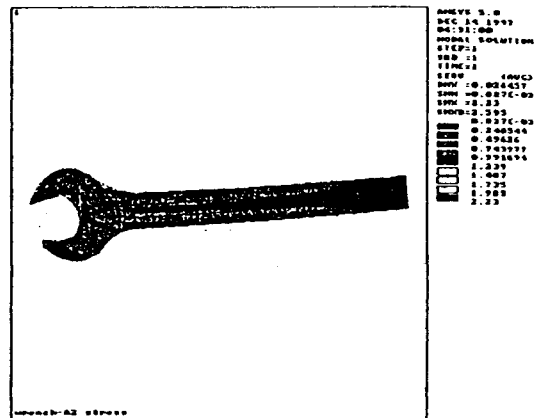
(b) 在 A2 的位移限制及負荷作用下， σ_{eqv} 等效應力的分佈如圖(六)所示，其 σ_{eqv} 等效應力在柄部之應力分佈較 A1 大，且愈靠近扳手頭應力愈大，形成如對稱式的應力分佈情形，靠近外緣的應力較大，而愈靠近內部其應力值愈小，且扳手頭部上緣及扳手之開口底部的偏上方處的應力值較大，其最大應力發生的位置顯示在開口底部偏上方的位置。

(c) 在 A3 型式的條件下，受負荷向上作用作用而



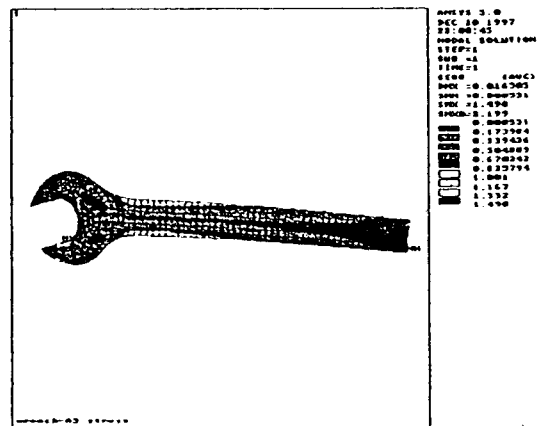
圖(五) A1-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

產生之 σ_{eqv} 等效應力分佈如圖(七)所示，其接



圖(六) A2-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

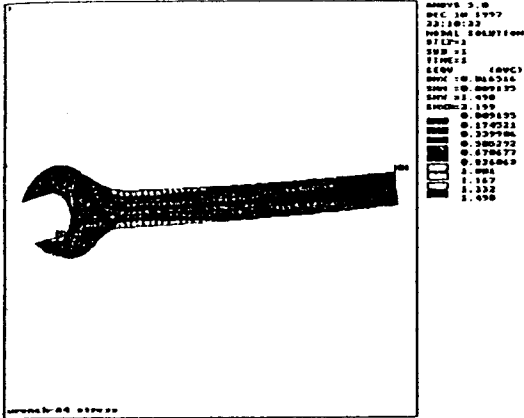
觸面附近的應力較大，並在扳手之柄部的應力



圖(七) A3-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

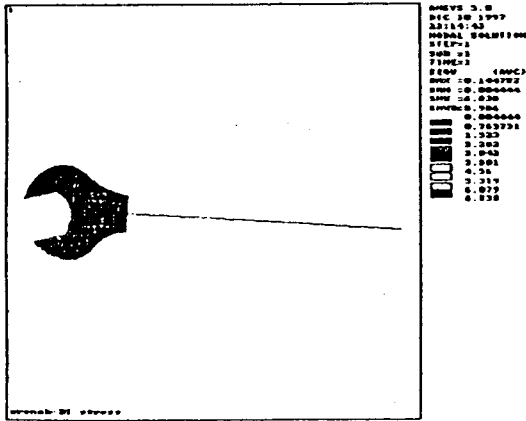
分佈為對稱情形，柄的外緣應力較大，而愈向內部應力值愈小，最大應力值發生在下方接觸面 MX 的位置。

(d)分析 A4 的條件下，其 σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(八)所示，在接觸面的應力較大，但下方接觸面附近應力較上方的接觸面大，最大應力在接觸面之內側 MX 位置，並且柄部的應力分佈成對稱性，外緣的應力較大，而愈向內部其應力值愈小。



圖(八) A4-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

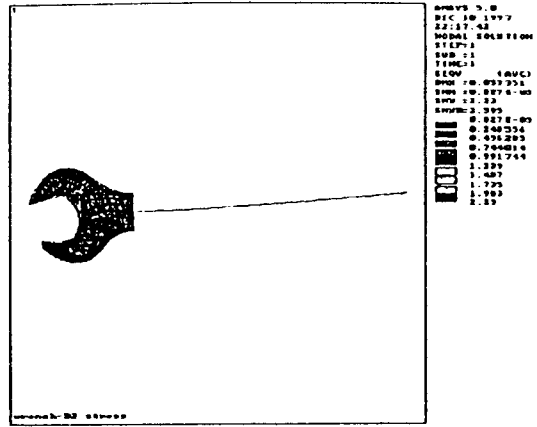
2.在 B 之有限元素模型中，於柄之部分使用 BEAM3 元素來架構，其中有 B1、B2、B3、B4 等四種不同的狀況之分析。其結果如下：



圖(九) B1-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

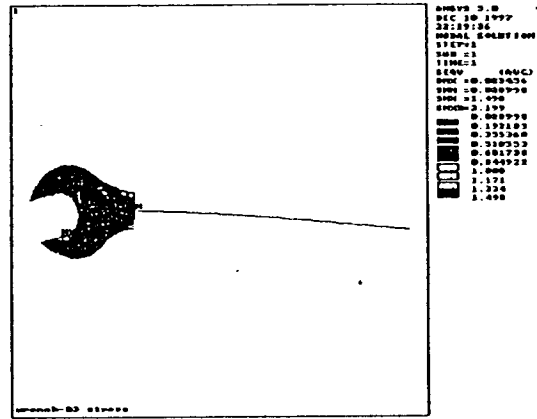
(a)於 B1 的位移限制及負荷作用下， σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(九)所示，其應力分佈與 A1 相同。

(b)於 B2 的位移限制及負荷作用下， σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(十)所示，其應力分佈與 A2 相同。



圖(十) B2-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

(c)於 B3 的位移限制及負荷作用下， σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(十一)所示，其應力分佈與 A3 相同。



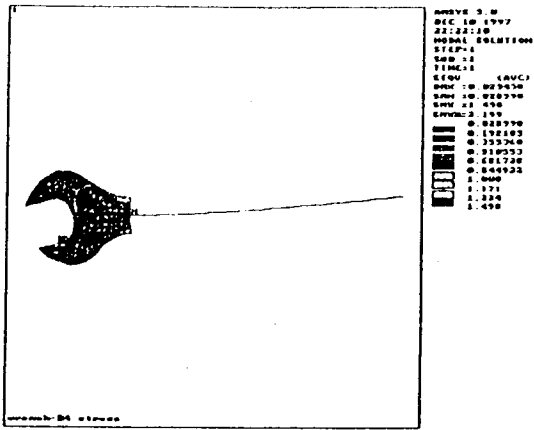
圖(十一) B3-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

(d)於 B4 的位移限制及負荷作用下， σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(十二)所示，其應力分佈與 A4 相同。

3.對於 C 型式之有限元素模型，使用 CONTACT12 元素來架構扳手與螺栓之間的接觸關係，依假設的餘隙及不同的負荷條件下分成四種情況，而分析比較及討論：

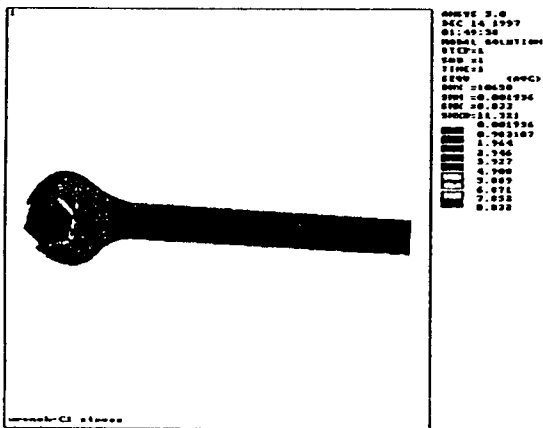
(a)在 C1 的條件情況下，其所得之 σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(十三)所示，其應力大致上分佈於扳手頭的位置，最大應力位置及其分佈的情形也都與 A1 及 B1 型式之有限元素模型分析時所產生的應力分佈皆相似。但其應力質不相同。

(b)在 C2 的條件情況下，其所得之 σ_{eqv} 等效應力的



圖(十二) B4-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

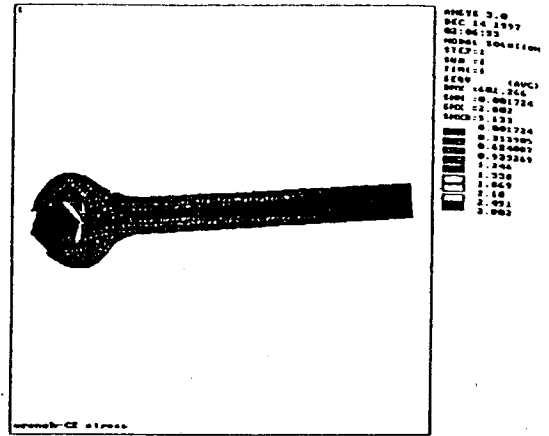
分佈情形如圖(十四)所示，與 A2 及 B2 型式之有限元素模型分析結果較有差異之處為其應力值不同。



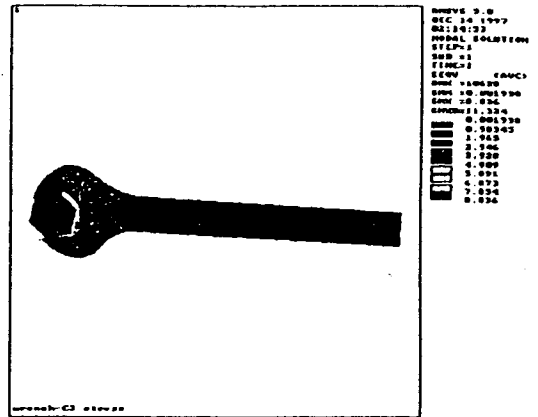
圖(十三) C1-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

(c)在 C3 的條件情況下，其所得之 σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(十五)所示，與 A3 及 B3 型式之有限元素模型分析之結果較有差異之處為其應力值不同。

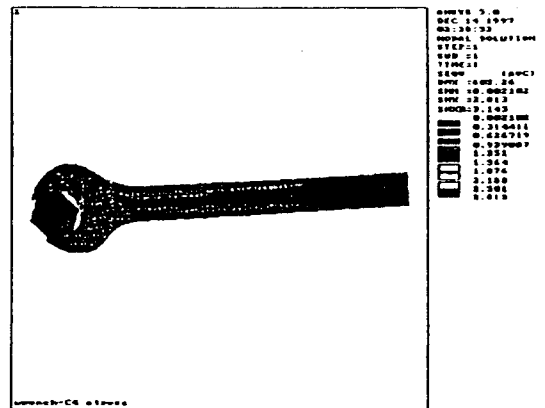
(d)在 C4 的條件情況下，其所得之 σ_{eqv} 等效應力的分佈情形如圖(十六)所示，與 A4 及 B4 型式之結果除應力值不相同之外，另外在最大應力發生的位置也不相同，其最大應力是在開口底部上方 MX 的位置。



圖(十四) C2-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖



圖(十五) C3-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖



圖(十六) C4-model 之 σ_{eqv} 應力分佈圖

由於以上所呈現的結果本文將(A)、(B)、(C)型的分析結果統計於表(五)，並且加以討論。

表(五)A、B、C之 model 應力總表

		σ_{eqv}		σ_1	σ_x		σ_y		τ_{xy}	
		Max	Min	Max	Max	Min	Max	Min	Max	Min
作用力向下	A1	6.838	0.004444	6.83	5.483	-3.913	5.882	-3.251	2.365	-1.935
	A3	1.498	0.008531	1.519	1.489	-1.322	1.32	-0.6561	0.53473	-0.3596
	B1	6.838	0.00444	6.831	5.483	-3.913	5.882	-3.251	2.365	-1.935
	B3	1.498	0.028998	1.519	1.489	-1.368	1.32	-0.6562	0.53475	-0.3592
	C1	8.833	0.001936	8.804	7.498	-4.779	7.417	-5.529	3.22	-2.67
	C3	8.836	0.001938	8.804	7.5	-4.78	7.419	-7.896	3.221	-2.671
作用力向上	A2	2.23	0.827E-3	2.272	1.724	-1.341	1.75	-1.243	0.72722	-1.079
	A4	1.498	0.009135	1.331	1.322	-1.489	0.6562	-1.32	0.35958	-0.5347
	B2	2.23	0.827E-3	2.272	1.724	-1.389	1.751	-1.243	0.72628	-1.079
	B4	1.498	0.028998	1.378	1.368	-1.489	0.6562	-1.32	0.35919	-0.5348
	C2	2.802	0.001724	2.889	1.692	-1.484	2.312	-1.097	0.85013	-1.352
	C4	2.813	0.002102	2.9	1.699	-1.489	2.321	-1.115	0.85323	-1.357

註：單位：MPa

討論：

- 比較以上的結果之後，分別有下列幾各重點進行討論：
- (a)在比較 A1、B1 及 A3、B3 和 A2、B2 及 A4、B4 的結果後，發現在(A)、及(B)兩種型式的 FE-model 中，其邊界條件之位移限制及負荷狀態的設定值相同時，則 ANSYS 所解出的結果都幾乎相同，且誤差值均在 5%以內，如此的結果比較顯示，在(B)的 FE-model 中利用 Beam3 的元素來取代(A)的 FE-model 中，扳手的柄部份假設是合理的，並且也顯示出架構 Beam3 的元素型式時，所輸入之資料是正確的。
 - (b)在比較兩點及兩邊的位移限制所到的結果發現，在限制“兩邊接觸”的邊界條件下，其結果顯示 A3 與 A4 雖然負荷狀態不同，一個是向下施力，而另一個是向上施力，但是其等效的應力值是相同的，而且最大位移量也相同，不過在 σ_x 、 σ_y 、及 τ_{xy} 的應力值正好大小及方向都對調而不改變，但是只有 σ_1 的值有較明顯的誤差，其誤差大約在 20%內。而在 B3 與 B4 的情況也相同，但只有“兩接觸點”的位移限制條件下的有限元素模型，其結果就沒有以上現象。由於“固定兩邊”的位移限制使扳手的自由度減少，使有限元素模型在改變外力負荷的條件時，其應力場的改變較

小，只是使其應力場由至值得應力與負荷的應力互換而已，而不改變其值得大小，也因此其等效應力 σ_{eqv} 的值是相同的，而且最大的位移量也相同，只是位移方向改變，而“固定兩點”的位移限制方式條件下，對於扳手的自由度大於“固定兩邊”的位移限制條件因此其誤差量較大。至於最大主應力的應力值的誤差較大，而在 20%內，是因為扳手的實體模型並不完全對稱，而且改變負荷狀態後，其最大主應力發生的位置會不同，如圖 A3-1 與圖 A4-1 所示，因此其值的誤差結果是合理的。

- (c)在扳手受向下的外力時，其最大應力的位置均是位於開口底部，且接近下接觸面的位置，如圖 A1-1 所示 MX 的位置，此處是可能發生破壞的位置。而在扳手承受向上的外力負荷時，其最大應力的位置均顯示在開口底部且接近上接觸面的位置，如圖 A2-2 所示的 MX 位置，剛好是與向下受力的最大應力處相對應，其也是可能發生破壞的位置，但是除了固定兩邊的扳手，不論是向下或向上施力，其最大應力均在下接觸線後方的位置。其結果此乃是再加負荷時無論是向下或向上施力，其位移限制皆固定相同位置，因此最大等效應力的位置也會相同，只是壓應力與拉應力區域互換而已。

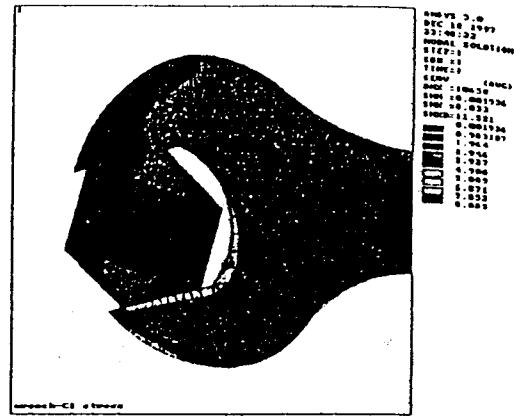
(d)由承受向下之負荷的 C1 與 C3 之扳手應力分佈，可得最大應力產生的位置均發生在開口底部的下方 MX 處，最大等效應力為 $\sigma_{eqvmax}=8.83\text{MPa}$ ，此處是可能破壞的位置。由 C2 與 C4 的應力分佈情形，可發現在受向上的負荷條件下，最大應力均呈現在開口之底部上方位置，其最大等效應力 $\sigma_{eqvmax}=2.8\text{MPa}$ ，此處也是將來可能會破壞的位置。並且在接觸的位置，皆集中應力的分佈，因此在扳手及螺栓的接觸位置也是以後可能破壞的位置，如磨耗的情況。

(e)由統計的結果比較，本組發現在各別的負荷條件下，其條件相同的 C1 與 C3 及 C2 與 C4 的結果幾乎相同，誤差量在 0.02MPa 以下，由此可之單邊間隙及雙邊間隙的條件假設之改變，對整體的扳手應力分佈影響不大，但是由雙邊間隙的有限元素模型解出的結果皆略大於單邊間隙所解出的結果，因為雙邊間隙的 FE-model 在分析時，歧見係在左右平均的情況下，在負荷條件所產生的 contact 關係，會產生較單邊間隙的條件下的應力集中現象還大。因為應力集中的現象較大，所以呈現出的結果是略大的緣故。如圖(十七)、(十八)應力集中的分佈情況，可以更容易瞭解應力集中程度的差異。

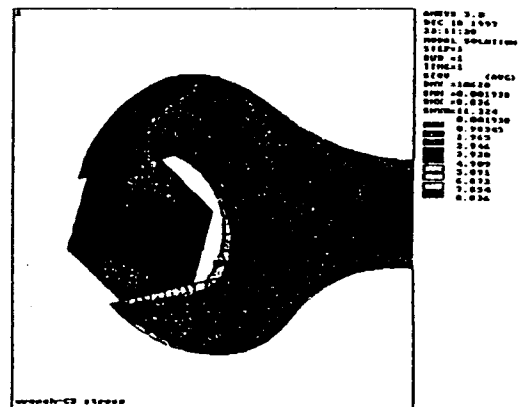
(f)在(C)之有限元素模型中，所到的應力分部雖與(A)、(B)之模型的應力分析相似，但其柄之應力區域變小，而在扳手頭之應力變大，其結果乃是接觸位置的假設不同，以 CONTACT12 元素在接觸位置作架構，其自由度高於接觸位置固定之方式的自由度，因此(C)再受負荷時，柄之負荷部分傳至扳手頭的區域，所以應力曲才導致與(A)、(B)模型應力分佈差異的原因。

(g)在利用 CAE 的軟體來分析結構或元件時，其所給予的邊界條件是相當重要的，若假設的不正確，則得到的結果誤差就非常大，因此在架構 FE-model 時，需慎重選擇邊界條件，才能得到正確的結果。

(h)在做扳手的應力分析時，發現其扳手柄部的應力

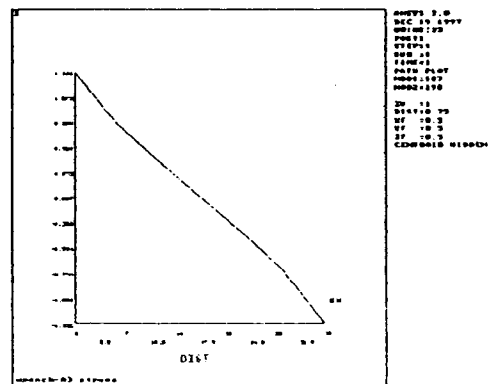


圖(十七) 作用力向下且單邊接觸之 σ_{eqv}



圖(十八) 作用力向下且雙邊接觸之 σ_{eqv}

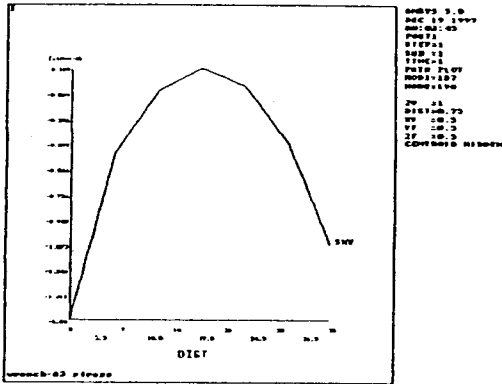
分佈具有旋臂樑的特性，與本組分析前的假設相符，於是更進一步將其扳手的柄部曲一局部斷面之線上的 Node 作應力分析，並且作成曲線圖，其結果曲線圖(十九)、(二十)如下所示。



圖(十九) σ_1 應力曲線圖

其斷面應力曲線圖之分析結果所呈現的情形與預期的結果相符，其 σ_1 應力的分佈曲線

為線性曲線，則 τ_{xy} 剪力曲線圖為二次拋物線，而且愈靠內部應力愈大，愈外側應力值愈小，如此結果為旋臂樑之特性無誤，況且在 B 型 FE-model 中，使用 Beam3 元素求解時，其結果皆合理，則又可再一次得到驗證之前的假設正確。



圖(二十) τ_{xy} 應力曲線圖

(i)在此 A、B、C 主要之有限元素模型型式中，其所解出結果所需時間分別如下，A 之有限元素模型求解所需時間為 6.42 秒，而 B 之有限元素模型只需 3.58 秒，但 C 之有限元素模型所需之求解時間是 243.04 秒。在以上的結果發現 B 型式的有限元素模型之求解時間最短，並且其分析出的結果也相當合理，而 B 型式之 FE-model 除邊界條件外，不同的是使用 Beam3 元素來代替扳手柄的部分，因其具有懸臂樑的特性，如此不但分析出的結果合理，而且減少 Mesh 之 element 的數量，相對的也加快了求解的時間，以減少了時間的浪費。

(二)樑受負荷之最大位移的探討

在(A)與(B)型式中，除應力的比較外，其最大位移量如表(六)所示，其位移量之誤差值也均在 5%內。而最大位移的誤差較大，那是合理的，其結果的產生是因為(A)型式的有限元素模型中，扳手的柄部之斷面積是由自由端向扳手頭

漸增的，而在 Beam3 的元素中，其斷面積是假設為相同之斷面，而且在 Real Constants 中，本組所設定的斷面積值是取較小的斷面積值，如此以求較保守的解。

1. 在最大位移的結果顯示，向下施力的位移量會大於向上施力的位移量，而且所生的應力值也較大。因為扳手頭的設計以對稱軸偏轉 15° 的設計，以扳手整個實體來看，對稱軸上方位於扳手頭及柄部之間的圓弧處材料較下方圓弧處材料多，因此施力向上較施力向下時更能承受所生的應力，而更能抵抗變形，因此向下施力的位移及應力都會較大。
2. 在相同的負荷條件時，其結果在比較之後發現，只有在 FE-model 擁有相同的位移限制條件下時，其結果才會接近，而且誤差量不超過 0.1%，否則誤差量會在 500%以上。因此在架構 FE-model 時，位移限制的條件選擇不同，其結果的正確性就會受很大的改變。

在此次分析中，以各種不同之有限元素模型加以分析並且給予不同之邊界條件下，反覆的求解及驗證結果的正確性，並且相互比較其解出的結果及有限元素模型的形式，以了解扳手應力分佈情形及其各項條件下的影響，然後在將架構 FE-model 的方法，進而設計成參數化程式以減少求解的時間，以增加效率。

本文分析完成後得到

- (1)扳手受負荷時，應力分佈大致均勻分佈於扳手頭的位置，因此在扳手的設計上，其扳手頭的厚度較厚，而且在柄的部分，其愈靠外緣兩邊的應力愈大，而在愈向柄的內側之位置時，其應力愈小，因此在扳手的設計上，才將柄的中央的厚度減小，以節省材料。在來是扳手受力時，其最大應力均發生在開口底部的上方或下

表(六) A、B-model 之最大位移量

Modle	作用力向下				作用力向上			
	A1	A3	B1	B3	A2	B2	A4	B4
d_{max}	0.13823	0.01651	0.14478	0.02346	0.02646	0.01652	0.03335	0.02346
單位：mm								

方，此位置可能是將來破壞的地方。但是在設計手工具時，一般扳手的強度較螺栓的強度高，因為是考慮以保護工具的原則前提下而設計。

- (2)在三種主要的有限元素模型分析中，使用 CONTACT12 元素的 C-model 中，所分析出的結果與其他兩種的結果差異很大，由所列的結果中就可看出，此乃是因為前兩種 FE-model 的位移限制假設只是實際狀況下的等效條件，而使用 contact 元素的(C)型才是較接近真實狀況。
- (3)在分析的結果呈現出在接觸面的應力很大，雖然經過設計的扳手破壞的可能性很小，可是很可能在高使用率的情形下造成磨耗，因為扳手摩擦與磨耗是由兩各接觸固體的表面產生相對運動所引起。因此可選用耐磨耗的材料來製造扳手，或是將扳手施以表面處理而增加耐磨性。
- (4)在架構有限元素模型時，只要是具有樑的特性時，以 Beam3 元素來架構，可減少很多的 Mesh Element，且縮短求解時間，增加效率。

五.結論

本文經由有限元素分析軟體對扳手作應力分析，並且探討扳手承受向下或向上之 10N/mm 的外力時，可能產生最大應力的位置及應力值，另外也探討扳手柄之部分能否使用樑元素來架構有限元素模型，並驗證其結果之合理性及對求解時間之影響。

本文可得到下列幾點結論：

- (1)扳手受到向下負荷時，其最大應力的位置是於開口底部的上方處，但在固定兩接觸邊的型式中，其最大應力是位於下接觸面。
- (2)扳手的柄部分，經分析後，證明具有旋臂樑之特性。
- (3)在(B)之有限元素模型中，使用樑元素來架構扳手柄部分是合理的。
- (4)以樑元素架構柄時，其求解時間較平面元素架構之模型之求解時間快 44%以上。

1. R.C. HIBBELER 原著，1995 年，沉勇全、彭世明、曾建榮、簡國雄譯，材料力學(第二版)，高立圖書有限公司
2. 張元敏譯，1979 年，材料力學及彈性力學所用計算例題及公式，徐氏基金會出版
3. 小栗富士雄著，黃葵森譯，1983 年，標準機械設計圖表便覽，新太出版社
4. 賴耿陽著，1982 年，工具之選擇與使用，復漢出版社印行
5. 黃春盛編譯，1981 年，機械工具操作與圖解，華聯出版社
6. 中國機械工程學刊編輯部，1990 年 2-12 月，中國機械工程學刊，中國機械工程學會
7. 中國機械工程學刊編輯部，1992 年 2-12 月，中國機械工程學刊，中國機械工程學會
8. 中國機械工程學刊編輯部，1993 年 2-6 月，中國機械工程學刊，中國機械工程學會
9. 朱清流，1987 年 4 月，機械月刊，P134-139