

CAD/CAE 於自行車設計之分析整合

陳振秀 吳俊儀

指導老師：王柏村 博士

國立屏東科技大學

機械工程系

摘要

本文中自行車結構設計係以 Pro-ENGINEER 及 AutoCAD 軟體為 CAD 工具，依美學及機構的觀點建構出產品的實體模型，模型建構完成後引入 FEM 軟體 ANSYS 這套利用有限元素分析的軟體，依各種不同的邊界條件進行結構 CAE 分析，來解決車架結構上的問題。藉由車架結構分析的結果，來整理出一些有關車架設計的資料。並且在必要時重回 CAD 修改模型，再作 CAE 結構分析，如此循環直到所建構之產品模型確能達到預定之設計標準。此篇報告所分析的對象為一傳統型的車架。目的在於分析車架靜力分析，應力的分佈及車架變形分析。

壹、前言

我國自行車產業發展甚早，不論是產品品質、年產量或是週邊附屬零組件之供給都具有相當的水準，在國際上我國並擁有「自行車王國」的美譽。由於國內市場需求有限，我國自行車產業一向以外銷為主。然而，由於大環境的變遷，台灣人工成本過高，再加上大陸、印度及東南亞國家的競爭，中低價位自行車市場逐漸衰退，產業外移現象嚴重。為使自行車產業根留台灣，發展少量多樣、價格合理的高級自行車產品為唯一出路。

分析高級自行車發展趨勢，不論市跑車或登山車皆強調造型美感、輕量化、高強度及高剛性，在登山車方面更是走向前後避震式之全懸吊設計。此外，隨著冷戰結束，許多以往只用在國防及航太工業之高強度、低比重材料，如碳纖維、鈦合金、鎂合金甚至

鈦合金，亦被陸續運用在高級自行車產業中。

發展至今，高級自行車的設計參數已複雜到非傳統工程師們憑以往的設計製作經驗所能掌握，此時電腦輔助工程 CAE(Computer Aided Engineering)的導入，建構「虛擬原型」(Virtual Prototype)，不但可以協助工程師們作出正確可靠的設計，更可縮短新產品開發週期，降低產品開發過程中因試誤(Try-Error)所浪費的研發成本，進而提升產品市場競爭力。

電腦輔助工程 CAE 其可應用的領域非常廣包括結構分析、熱傳分析、流力分析及電磁分析等。隨著應用領域的不同亦有不同的數值方法，諸如有限元素法 FEM(Finite Element Method)、有限差分法(Finite Difference Method)、邊界元素法(Boundary Element Method)等，本文中自行車結構 CAE 分析即是採用有限元素法 FEM，可以藉由本文的結果了解有限元素法在分析車架結構各應力方面的能力及與其它方法的優劣比較。

有限元素法分析，其成本低，幾何模型

可依所欲分析的外型迅速建構完成進行分析，且尺寸可任意合理的調整，更改邊界條件方便容易，設備簡單，重覆多次執行，任何時間可執行，容易且準確地於合理供給條件下獲得求解，而一般實驗法之設備操作複雜，成本高，耗費時間，幾何模型形狀尺寸受限，邊界條件控制麻煩，以及理論幾何模型、外型受拘限等缺點。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之知識，此為其最大的缺點。

使用 ANSYS 有限元素分析軟體需要一段學習摸索之階段、ANSYS 軟體架構主要為前處理、求解、後處理三大階段，當在前處理階段時，需要建立欲分析之幾何模型與邊界條件等步驟。求解階段交由電腦自動進行求解；後處理階段乃將求解得知資料經由平均值方法分析計算並繪出曲線圖或分佈圖，以方便分析。

貳、問題定義與分析目標

(一) 問題定義

自行車車架結構，定義車架之結構利用薄殼之車架，座位桿為直徑 50mm 長 150mm、前叉為直徑 50mm 長 100mm 之桿件、前接桿為直徑 50mm 長 900mm、前下接桿為直徑 50mm 長 700mm、後上接桿為直徑 25mm 長 400mm，後下接桿為直徑 25mm 長 350mm(車體之結構設計可利最佳尺寸作最適當之調整搭配)

為了簡化計算起見，我們對材料的性質作了一些假設：

1. 假設鋁合金在全部的作用範圍內應力和應變為線性的關係，即楊氏係數保持不變。

2. 假設鋁合金的楊氏係數和波義松係數在每一方向均為相同的值，即為等向性物質。
3. 鋁合金關交接的部份，是使用焊接的方式結合而成，焊接本身即是相當複雜的問題，不易在車架結構整體的研究上再作深入的探討，因此我們忽略因為焊接而引起材質強度減弱的情形，用完美結合的鋁管來代替。

鋁質輕而強度低，如將其做成機械構造用的材料時，會因強度低而不勝負荷，為了符合強度的需要，須要加入其它元素來增加它的強度，鋁合金的性質隨加入元素的不同而異。鋁合金分為鑄造用和鍛造用鋁合金兩種。鑄造用鋁合金容易製成鑄件，且在鑄造狀態及具有相當的強度。鍛造用鋁合金則利用加工及熱處理使其發揮強度。

我們所使用的材料為鋁合金 A1 6061-T6，它的楊氏係數，浦松比，密度如表一所示：

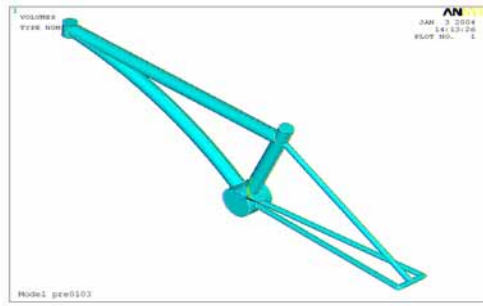
(二) 分析目標

在上述之情況之中針對有限之元素進行分析：

條件如下：位移限制、受力情形、負荷、分格等。以下就幾何模型及應力分析之邊界條件之設定分別說明。

表一 鋁合金元素性質表

材	料	A1 6061-T6
楊	氏	係
數		7.0e4 kg/mm sec ²
浦	松	比
		0.3
密	度	2.65e-9kg/mm ²



圖一、Fe-Mode 車架示意圖

1.幾何模型

幾何模型包含分析體之外型、尺寸、材質特性、分析型式、使用元素之種類，皆為有限元素分析之必要提供條件。

(1) 應力分析

本文分析為一自行車架之結構，取如圖一之元件進行分析。座位桿為直徑 50mm 長 150mm、前叉為直徑 50mm 長 100mm 之桿件、前接桿為直徑 50mm 長 900mm、前下接桿為直徑 50mm 長 700mm、後上接桿為直徑 25mm 長 400mm，後下接桿為直徑 25mm 長 350mm。在靜態負荷之情況假設加一負荷於座位 50kg、前叉部份加一 25kg 之負荷。在前叉下方作位移限制、踏板軸上方及後輪軸作一位移限制。選擇之材料為鋁合金，管壁 1mm，材料鋁合金(楊氏係數 $7e4$ 、 $\nu=0.3$ 、密度= $2.65e-9$)。進行最大應力及最小應力，及 UX、UY、UZ 各方向之應力分析。表二 SOLID 92 元素資料。

2.元素分割

分割情形如圖二所示，由於車架再分割時如用單一零件進行分割、會造成分割點之不均勻、再分析時會產生格點不均勻形成無法分析更細之行況發生，本車架為利用自動分割、其整體之分割情形非常平順平滑。

3.邊界條件

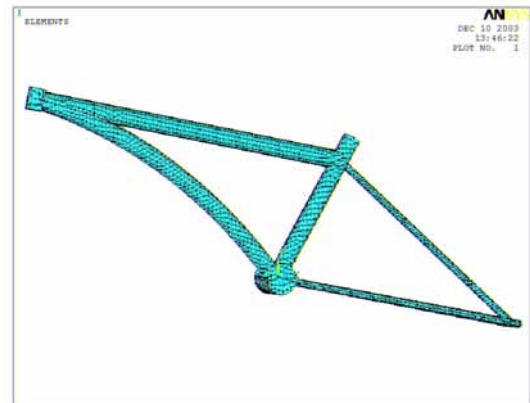
設計時將所有整體之車架作一合理之設定條件邊界，將邊界設於五通管及後輪軸接桿。五通管之邊界設於兩側，其主要之目

的為將一成為主要之固定端點行程一車架之中心主軸並成為設定之必要假設條件。再則後輪主軸接桿為一固定端點用意與前點相似為一需固定之端點。

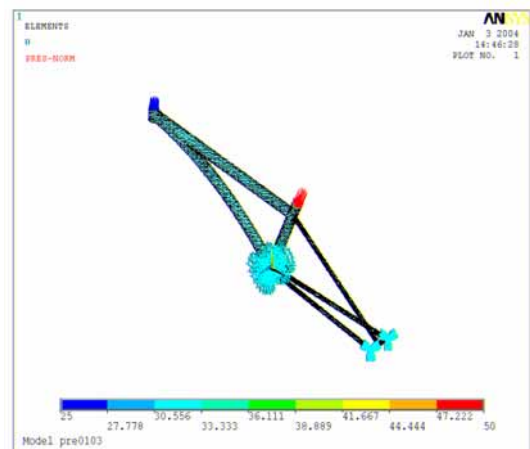
設車架之一固定端點雖為一件看似不起眼之工作，但其實質上之意義卻是有著非常大的設定意義，如果我們將固定其他之固定端點求出之結果影響其應力之變化及各車架之受力情形，圖三為本次設定之情形。

表二 Ansys 元素資料表

種類	SOLID 92
節點數	10 個
形狀	三角形
自由度	UX、UY、UZ、ROTX、ROTY、ROTZ



圖二、Ansys 有限元素分割示意圖



圖三、Ansys 有限元素固定示意圖

參、結果與討論

直徑 50mm 長 150mm、前叉為直徑 50mm 長 100mm 之桿件、前接桿為直徑 50mm 長 900mm、前下接桿為直徑 50mm 長 700mm、後上接桿為直徑 25mm 長 400mm、後下接桿為直徑 25mm 長 350mm。

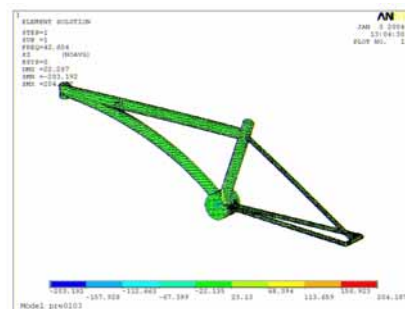
傳統車架忽略車架之大齒輪及飛輪，設定為對稱形狀我可設定為半邊模式、本次設定為整體模式。加負荷於車架及固定端皆做合理之設定。可知車架受到負荷後，除管座會有向下彎曲之趨勢，座管也會有向前彎的變形，前管也會有往後拉而產生變形。

3-1 模態分析結果

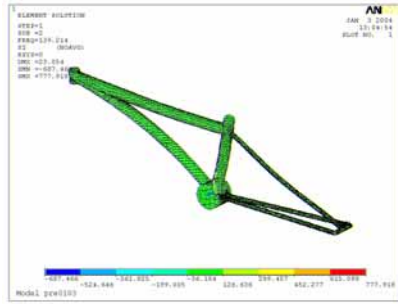
模態分析本次設定 2000Hz 之頻率、對 20 個模態進行分析、得之結果及其圖形。其最主要之分析為期各件之接受頻率之值(參考表三)並可知 20 個 Mode 之變化情形(請參考圖四至圖二十三)進而分析模型之變化進而加以做改善工作。

表三 Ansys 模態頻率、意義資料表

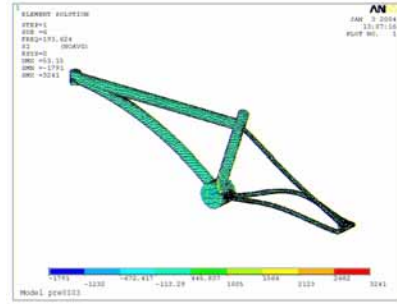
Mode	TIME/FREQ	物理意義
M 1	42.604	車架 Y 軸向運動
M 2	139.21	後車架 Y 軸向運動
M 3	152.59	後車架 Y、Z 軸向運動
M 4	182.49	後車架 Y、Z 軸向運動
M 5	189.79	後車架 Y、Z 軸向運動
M 6	193.62	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 7	193.82	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 8	194.06	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 9	194.66	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M10	261.74	前車架 Y、Z 軸向運動
M 11	275.04	前後車架 Y 軸向運動
M 12	411.88	前後車架 Y 軸向運動
M 13	430.85	前後車架 X、Y 軸向運動
M 14	503.90	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 15	530.25	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 16	531.38	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 17	531.48	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 18	531.65	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 19	540.17	後車架 X、Y、Z 軸向運動
M 20	664.07	前後車架 X、Y、Z 軸向運動



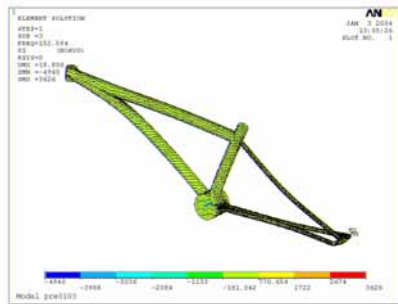
圖四、M 1 示意圖



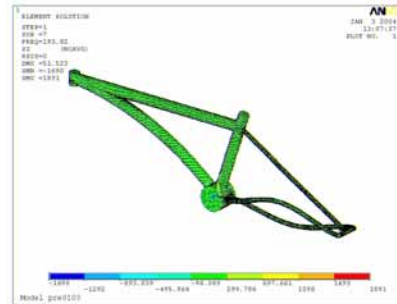
圖五、M2 示意圖



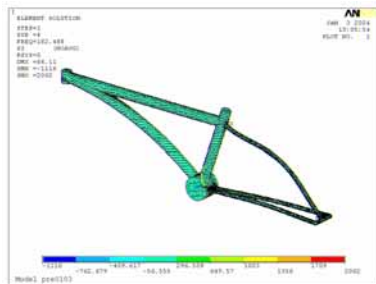
圖九、M6 示意圖



圖六、M3 示意圖



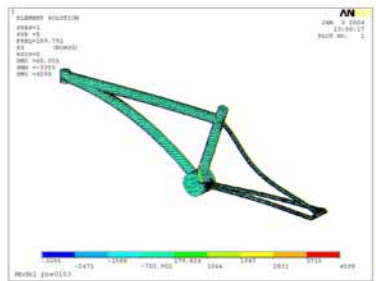
圖十、M7 示意圖



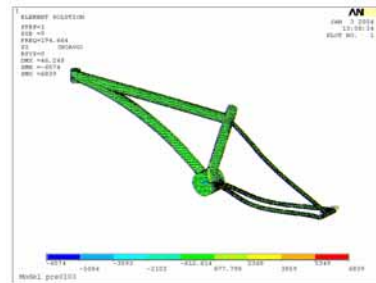
圖七、M4 示意圖



圖十一、M8 示意圖



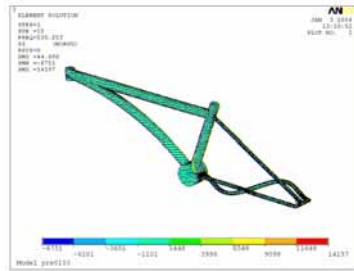
圖八、M5 示意圖



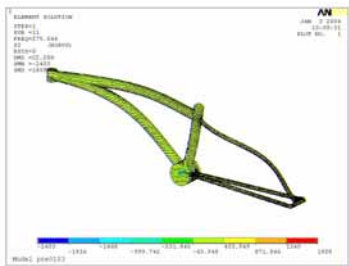
圖十二、M9 示意圖



圖十三、M 10 示意圖



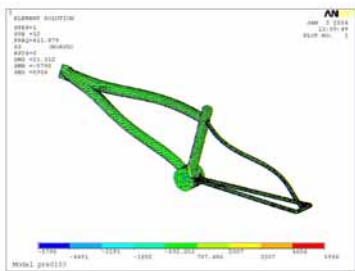
圖十八、M 15 示意圖



圖十四、M 11 示意圖



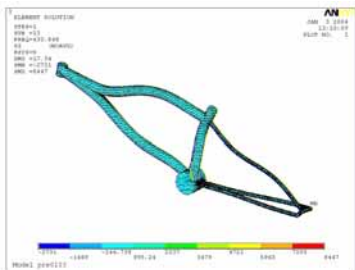
圖十九、M 16 示意圖



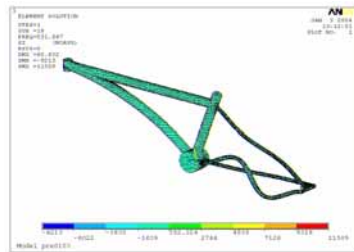
圖十五、Mode 12 示意圖



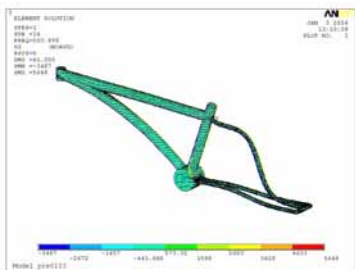
圖二十、Mode 17 示意圖



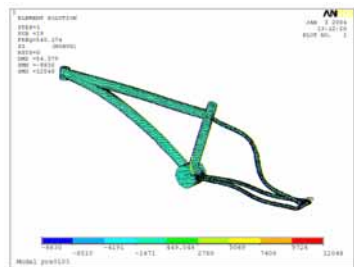
圖十六、M 13 示意圖



圖二十一、M 18 示意圖



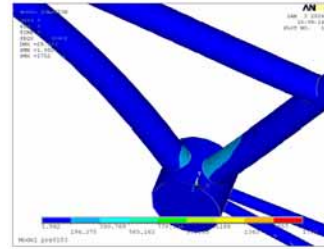
圖十七、M 14 示意圖



圖二十二、M 19 示意圖



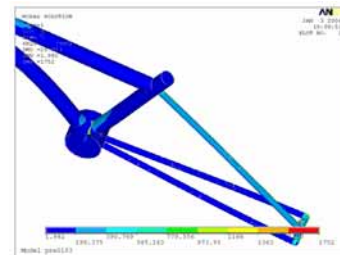
圖二十三、M 20 示意圖



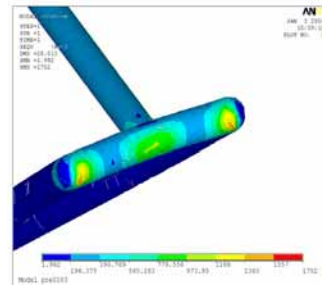
圖二十六、Ansys eqv 示意圖

3-2 應力分析結果

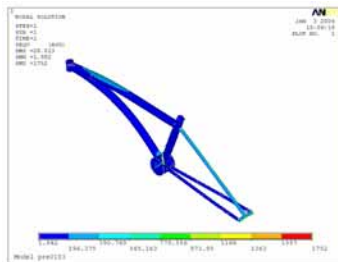
總結設定之最終目標，應力之最大值及其分佈。分析結果所得到之最大應力會出現在後車架結構(後上接桿與後橫桿)結合處。此分析結果與分析前的預測相差不遠，因為此結合處的管件直徑較小，所以最大應力發生在後管件接合處，其平均應力最大值在 $1557\text{kg/mm}^2 \sim 1752\text{kg/mm}^2$ 。(請參考圖二十四至圖三十二)。另外為了合乎腳踏車實際的運動狀況，也分析了 Y 軸向的應力分析，結果最大應力處與平均應力所發生的位置相同，Y 軸向的最大應力值 $540\text{kg/mm}^2 \sim 700\text{kg/mm}^2$ 。(請參考圖三十三至圖三十八)。



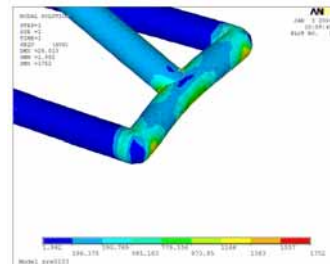
圖二十七、Ansys eqv 示意圖



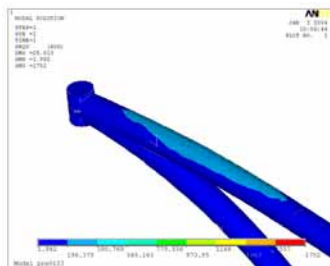
圖二十八、Ansys eqv 示意圖



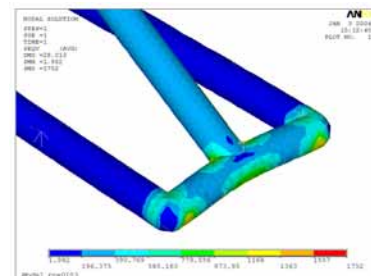
圖二十四、Ansys eqv 示意圖



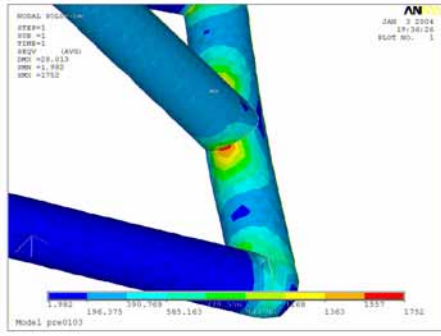
圖二十九、Ansys eqv 示意圖



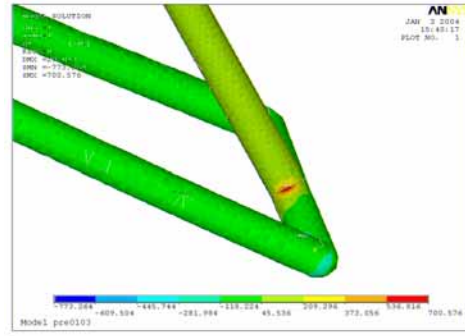
圖二十五、Ansys eqv 示意圖



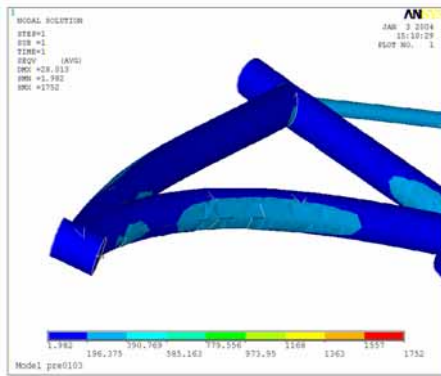
圖三十、Ansys eqv 示意圖



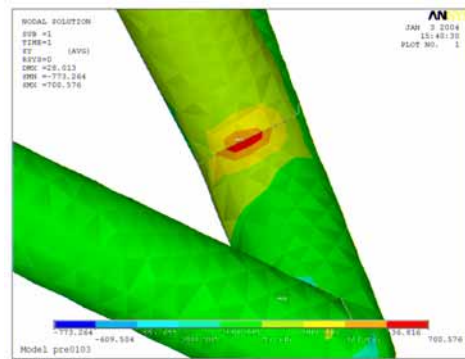
圖三十一、Ansys eqv 示意圖



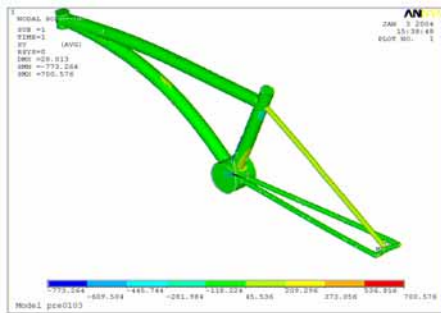
圖三十五、Ansys Y 軸應力示意圖



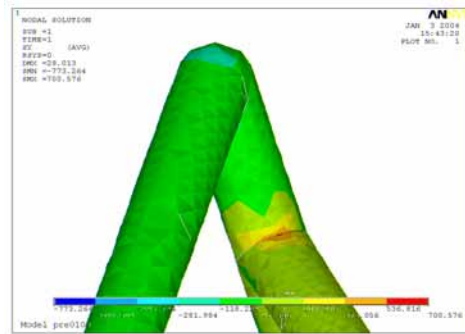
圖三十二、Ansys eqv 示意圖



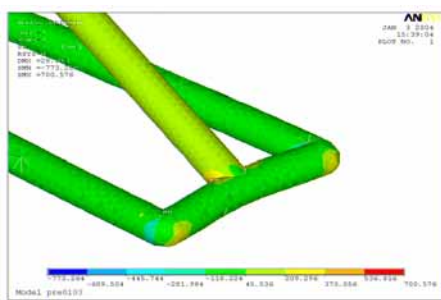
圖三十六、Ansys Y 軸應力示意圖



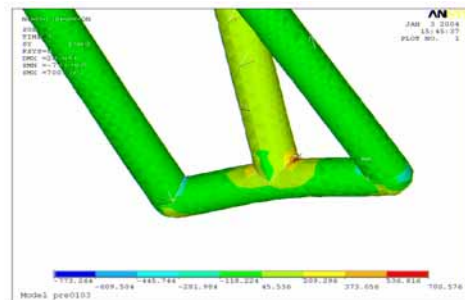
圖三十三、Ansys Y 軸應力示意圖



圖三十七、Ansys Y 軸應力示意圖



圖三十四、Ansys Y 軸應力示意圖



圖三十八、Ansys Y 軸應力示意圖

肆、結論與建議

4.1 結論

在本次專題實務之中我們將所有能用上之資源都善加利用，因應現今多變的社會我們必須更有創意並使原有之設計更佳化，所以自行車結構分析必須更有說服力，我們常說數字會說話因為我們必須將一些複雜之應力變化，做一更合理明白之詮釋、所以我們利用 POR-E 繪製一假設車架圖、再利用 ANSYS 分析將車架之應力變化、求出其平均應力及最大應會集中在那些部位，進而將其受力部位更進一步做分析改善，所以、我們在分析之前做了許多有限元素之假設，這些變數是可以變更以因應不同之需求及在不同狀況之變化，使架之定義更為彈性化、分析效能提昇設計之最大實質效益。

其中設計條件的設定之中、材料不同之性質會得到不同結果、其不同之結果以反映材質之不同特性、相比較之下，我們將更清楚能將車架受力更有預測之空間、將其應力變化情形進與分析結果，我們可發現車架之設計和其不同之材質、密度、浦松比和用途之不同我們可做一合理之定義，及將所有結構修正、使車架之本質結構更能結合其外之變化受力或結合其他組件之較佳相容性。

材質—我們拿鋁合金材料作為本次設計材料。

鋁之熔點為 660、密度為 2.70g/cm³ 屬輕合金之中最重要之金屬之一、除牆檢外具有頗佳的耐蝕性、因此在大環境中使用，十分安定。鋁合金 6061-0 抗拉強度可 18,000PSI，降伏強度可達 8,000 PSI、伸長率 30%。有以上之條件，我們可知其為輕合金之中強度延展性皆為較佳之產品，所以其可對設計之車架結構，做更有特色之結構設計而不被材料之性質所引響。

狀態—我們設計之狀態雖為靜態、但唯有將其結構應力作一全面之了解、方能對所有車架之設計原理做一更明確之定義，對未來之

設計會有數據能證明設計是否合理。

採用 CAE 工程分析軟體，針對各種自行車模型進行應力與騎乘品質有關的結構分析，騎乘品質有關的振動分析有模態分析、簡諧響應分析、頻譜分析，經過分析結果與理論數據及理論圖形的比對，可以確認工程分析軟體的可靠性與正確性。在本文的分析過程可以得到下列結論：

1. 應力分析：

理論分析之應力參數的平均應力值與 ANSYS 軟體分析出來的數據完全相同，由此可以證實 ANSYS 在中車架模型分析的正確性。

ANSYS 軟體分析可配合動態模擬更能明確觀察各個振動模態之產生變化進而分析車架變化。

2. 騎乘品質分析：

針對施加一外力車架車體所產生軸向及法線 UX、UY、UZ 5 之應力變化，確認 ANSYS 在行駛品質分析的可靠性。受應力越均勻行駛品質愈佳，乘坐愈舒適。可利用鋁合金加以變化、使車架之受力均勻品質愈佳，乘坐愈舒適。

本文主要是針對自行車車架應力分析，以電腦輔助工程分析 CAE 之有限元素分析法進行分析，在進行本次車架應力分佈分析後確立電腦輔助工程分析 CAE 的便利性及可靠性，應用 ANSYS 軟體的優點可免除的推導系統運動方程式之繁瑣工作，另外也能夠很容易擴展到撓性結構車體模型，此建立發展之分析方法能應用到其他更複雜的全車震動分析模型。亦可以提供日後使用 ANSYS 軟體來分析更多自由度的自行車車輛動態系統及其行駛品質分析，並可以作為將來實際問題從事車輛動態分析之參考。

4.2 建議

1. 未來可以考慮使用 ANSYS 軟體來分析更多自由度的車輛動態系統及其行駛品質分

析，如全車體模型。

2. 未來可以考慮分析自行車動態系統行經規則路面之暫態分析及其騎乘品質分析，使其振動分析更加完整。
3. 各種車輛模型其車體假設為剛性樑進行分析，未來亦可以考慮建構撓性車體模型進行分析，使其更符合車輛實際動態行為。
4. 本文只限在建立固定各種車架模型進行分析，未來亦可以考慮建構整體車輛模型進行分析，使其更符合實際情況。
5. 本文建立之分析方法也可以應用到其他部分，可延伸製做系統之產品分析。

伍、誌謝

在這次專題報告之中我們雖非常努力將報告完成，但許多默默幫助我們的師長或同學容我在此道出心中謝意，沒有這些援助我們將會走的更辛苦。

1. 首先要感謝我們的指導教授 王柏村教授，如果不是他細心指導我們的專題，使我們產生許多新的想法及不同的構思，我不會知道分析的要點及細部設定原則，非常感謝教授。
2. 我要感謝二碩二林政煌學長、在使用 ANSYS 析軟體之中我不斷的請教學長，學長也不厭其煩教導我們、耽誤不少其寶貴時間在此說聲抱歉，但心中還是由衷表達感謝之意。
3. 非常感謝本班謝志杰同學的 POR-E 繪圖軟體指導、因軟體相容性之問題所以我們央求謝志杰同學的幫忙、其也利用其寶貴時間不斷指導我們並給我們一些寶貴之意見使報告的完整性更佳。
4. 似乎要感謝的人太多了。如幫我校正及英文指導的蔡嫦菁小姐，及給我鼓勵的人士們！再次說聲 謝 謝

陸、參考文獻

1. 王柏村，2001，電腦輔助工程分析之實務與應用，全華科技圖書股份有限公司，台北
2. 王柏村，2001，ANSYS 有限元素分析應用實例課程講義
3. 王柏村，吳焜熙，童元辰，2001，「九個自由度全聯結車動態模型之有限元素分析」，ANSYS 應用論文集。
4. 陳建呈，呂學榮，1998，「四個自由度的機車動態模型之有限元素分析」，有限元素分析範例 ANSYS 之應用，國立屏東科技大學機械工程系。
5. 蘇自平，1995，自行車安全性檢撤技術，機械工業雜誌。
6. 蘇銘，避震系統參數設計與分析，自行車月刊 22 期。
7. 蔡天成，震自行車後懸吊系統之特性評估，自行車月刊 22 期。
8. 梁志鴻，全避震自行車功能設計製造，自行車月刊 17 期。
9. 汪志平，自行車避震機構之主要類型，自行車月刊（技術專欄）。
10. 吳宏訓，車架結構分析，自行車月刊。

Abstract

In the first step, we use two softwares “Pro-Engineer” and “Autocad” being the tooling to design the bike model. In the second step, “Ansys” are brought to make different kinds of index condition in order to solving the question while making the bike structure. Finally, we collect the above testing results to be our design

origin. Of course, we will back “Pro-engineer” modifying the model and re-analyzing the bike structure until we are sure the bike model can be in our standard. The bike structure is our main observed and analyzed point in this report. We can have some harvest of bike structure , stress and transfigured situation.