

等效平衡結構應力法用於小型競賽車架之疲勞壽命分析

葉建志、李春穎

E-mail: 9511420@mail.dyu.edu.tw

摘要

小型賽車 (Go-kart) 本身不具懸吊及差速器系統，在過彎時如何利用車架之負載轉移設計，以提高抓地力爭取速度之問題更顯重要。本研究以市售之車架為藍圖，用有限元素分析方法 (Finite Element Analysis, FEA)，進行車架結構之靜態、動態及模態負載分析，同步使用靜、動剛性測試夾具，進行相關車架之各項機械性能實驗測試，驗證模擬分析與實驗設計之正確性。對於大多的機械都有損傷累積的性質存在，是材料產生疲勞破壞之原因。一般疲勞試驗中最常使用S-N曲線來描述，但實際是需要結合適當的損傷模式，以求得材料之損傷累積值。在車架之疲勞壽命方面，本文由靜態分析結果發現，車架前輪附近的焊接處呈現應力集中現象，有疲勞破壞有 可能性，發現依有限元素法無法直接準確計算該處應力，之後藉由等效平衡結構應力法，則解決此問題且精準的計算此處的結構應力 (Structure stress)，配合Manson-Coffin應變與疲勞壽命之關係式，求得整體車架壽命。由於在模擬賽道上，路徑過短以致無法用應變振幅求出車架壽命，當應變振幅放大10倍時，可得到自製車架約可承受165之循環負荷歷程。

關鍵詞：小型賽車，車架，有限元素分析方法，等效平衡結構應力法

目錄

| | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-----------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|----|
| 封面內頁 簽名頁 授權書..... | iii | 中文摘要..... | iv | 英文摘要..... | v | | | |
| 要..... | v | 誌謝..... | vi | 目錄..... | vii | | | |
| 錄..... | x | 表目錄..... | xiii | 符號說明..... | xiv | | | |
| 第一章 緒論 | 1.1 前言..... | 1 | 1.2 研究動機..... | 3 | 1.3 研究目的..... | 3 | | |
| 的..... | 3 | 1.4 本文架構..... | 4 | 第二章 文獻探討 | 2.1 小型競賽車Go-kart介紹..... | 5 | | |
| 介紹..... | 5 | 2.2 國內外相關之研究..... | 13 | 第三章 研究方法與進行步驟 | 3.1 簡介..... | 24 | | |
| 介..... | 24 | 3.2 有限元素法之基本理論..... | 24 | 3.3 ANSYS分析軟體之介紹及設定..... | 25 | | | |
| 定..... | 25 | 3.4 小型競賽車架分析的步驟..... | 30 | 3.5 實驗裝置之設計、製作與量測..... | 34 | | | |
| 測..... | 34 | 3.6 疲勞壽命理論..... | 39 | 第四章 結果與討論 | 4.1 網格式元素收斂性分析..... | 47 | | |
| 析..... | 47 | 4.2 小型賽車車架之分析評估..... | 48 | 4.3 等效結構應力法應用之2-D實體元素應力分析..... | 56 | | | |
| 分析..... | 56 | 4.4 小型賽車車架焊接端之應力分析..... | 58 | 4.5 小型賽車車架之疲勞壽命分析..... | 66 | | | |
| 分析..... | 58 | 4.5 小型賽車車架之疲勞壽命分析..... | 66 | 第五章 結論..... | 68 | | | |
| 分析..... | 68 | 參考文獻..... | 70 | 圖目錄 | 圖1.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | | |
| 分析..... | 70 | 圖1.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.1 小型競賽車輛 | 8 | 圖2.2 小型競賽車輛之操控情形 | 8 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.3 小型競賽車輛之分解圖 | 9 | 圖2.4 A型車架示意圖 | 10 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.5 Rudder型車架示意圖 | 11 | 圖2.6 A型變形車架示意圖 | 12 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.7 X型車架示意圖 | 12 | 圖2.8 電腦輔助工程設計建立之車架模型 | 13 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.9 不同Karting車架構型之彎曲部分距離d | 14 | 圖2.10 一般結構桿件車架：(A) 均勻管材，直徑28.5mm；(B) 縱向增強管材 (粗線)，直徑32mm | 15 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.11 負載轉移桿件機構示意圖 | 16 | 圖2.12 轉向放射狀桿件示意圖 | 17 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.13 轉向放射狀桿件可調整左右兩側之角度示意圖 | 17 | 圖2.14 小型賽車車架扭轉勁度分析模型 | 18 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖2.15 JIS S10C鋼之Manson-Coffin Plot | 22 | 圖2.16 焊接處之結構應力分佈圖 | 23 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.1 ANSYS分析處理之流程圖 | 29 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.3 CAE簡化小型賽車車架之管元素模型 | 32 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.4 車架夾治具實際圖 | 33 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.5 左邊為自製研發車架、右邊為市售車架及差異處 | 35 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.6 車架靜態負載之測試示意圖 | 36 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.7 車架靜態負載之測試實際圖 | 36 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.8 車架動態負載之測試示意圖 | 37 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.9 車架動態負載之測試儀器設備照相圖 | 38 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.10 穿過厚度t的結構應力計算步驟示意圖 | 41 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.11 低週次疲勞曲線與遲滯環對應圖 | 44 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖3.12 雨流法示意圖 | 46 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.1 網格式大小與位移量之關係圖 | 48 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.2 自行設計之車架 | 49 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.3 小型賽車之邊界設定及施力負載圖 | 51 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.4 負載與卸載時之位移關係圖 | 52 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.5 自行設計之扭轉勁度調整桿件 | 54 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.6 2-D實體元素模型邊界設定之示意圖 | 57 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.7 2-D實體元素焊接模型放大示意圖 | 58 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.8 分析車架應力與壽命之流程圖 | 59 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.9 小型賽車之整車模型 | 60 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.10 CAD建立之路面路徑 | 60 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.11 右前輪反力 | 61 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.12 左前輪反力 | 61 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.13 小型賽車之管元素車架焊接處示意圖 | 63 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.14 小型賽車車架右前輪架構之局部模型 | 63 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.15 計算焊接處A、B兩點的示意圖 | 64 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.16 A點垂直位置之節點示意圖 | 64 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 圖4.17 車架再模擬路面行駛之應變-時間曲線 | 67 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表目錄 | 表2.1 小型賽車車架添加桿件之位置 | 19 |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表2.2 車架寬度改變之Karting幾何構型 | 20 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表2.3 自行設計車架與車架(A)、(B)之扭轉勁度比較 | 21 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.1 車實驗量測之位移量及扭轉勁度表 | 52 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.2 市售車架實驗與模擬分析之扭轉勁度比較 | 53 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.3 自製車架實驗與模擬之扭轉勁度比較 | 53 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.4 原始車架與增添外掛桿件之扭轉勁度 | 55 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.5 市售車與自製車架之頻率與阻尼比較 | 56 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.6 不同尺寸之2-D實體元素計算所得結構應力 | 58 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.7 自製車架之管與實體元素分析結果的扭轉勁度比較 | 62 | |
| 分析..... | 70 | 圖2.1 小型競賽車輛 (Karting) 之系統組成 | 2 | 圖3.2 自行研發之小型賽車車架的幾何形狀 | 31 | 表4.8 A點垂直方向各負載節點之應力與剪應力 | | |

參考文獻

- 【1】行政院體育委員會“賽車場設置與規範制度之研究”，2003。【2】經濟部工業局，「經濟部工業局推動新興產業之發展政策與方向新聞稿」，91年3月5日，2002。【3】<http://www.honeylakesports.com/kart%20structure.htm/>【4】RKS竹南小型賽車場網頁，<http://www.rks.idv.tw/>【5】國際小型賽車委員會/國際汽車聯合會(Commission Internationale de Karting / Federation Internationale de l'Automobile, CIK/FIA)，<http://www.cikfia.com/>【6】中華賽車會CTMSA“如何振興台灣小型賽車運動社論”，2003。【7】中華賽車會CTMSA網頁，<http://www.ctmsa.org.tw/>【8】藤原浩、小出直人、町台三郎編輯，“RACINGKART……百科”，交通…社株式.社出版，日本東京2005。【9】E. Pezzuti, L. Reccia, A. Ubertini, A. Gaspari, “Analisi dell' interazione pilota-kart mediante tecnica multi-body”，AIAS 2002, settembre 2002。【10】M. E. Biancolini, R. Baudille, C. Brutti, L. Reccia, “Integrated Multi-body/FEM Analysis of Vehicle Dynamic Behaviour”，Fisita Congress, Giugno 2002。【11】L. Solazzi, S. Matteazzi, “Analisi e sviluppi strutturali di un telaio per kart da competizione”，AIAS 2002, Settembre 2002。【12】H. Wiggins, Jr., “Go-Kart Chassis Formed from Tubular Sections,” US Patent No. 6022049, 2000。【13】L. C. Amundsen and R. C. Amundsen, “Vehicle Frame with Independent Seat Frame,” US Patent No. 5265690, 1993【14】B. M. H. Sheridan, “Adjustable Cross-Loading Go-Kart Chassis,” US Patent No. 6039335, 2000。【15】Atkinson, “Vehicle,” US Patent No. 6267388 B1, 2001【16】梁卓中、鄧作樑、游家華，“單人座小型賽車Go-kart行駛彎道之車架分析”，第20屆機械工程研討會，第C冊固力與設計上集，pp.1701~1708，2003。【17】梁卓中、鄧作樑、游家華、吳佳璟，“單人座小型賽車(Go-Kart)車架之扭轉勁度分析”，第28屆全國力學會議 pp.1160~1166，2004。【18】黃政介，“小型賽車車架的設計與疲勞壽命分析”，大葉大學機械工程研究所碩士班畢業論文，2005。【19】L. F. Coffin, "A Study of Effects of Cyclic Thermal Stresses on a Ductile Metal," Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 76, pp.931-950, 1954。【20】S. S. Manson, "Behavior of Materials under Conditions of Thermal Stress," National Advisory Commission on Aeronautics, Report 1170, Cleveland: Lewis Flight Propulsion Laboratory, 1954。【21】劉松柏譯，“材料強度破壞學”，成環科技叢書系列。【22】P. Dong, "A structural stress definition and numerical implementation for fatigue analysis of welded joint," International Journal of Fatigue, 23, pp.865-876, 2001。【23】康淵、陳信吉編著，“ANSYS入門《修訂二版》”，全華科技圖書股份有限公司。【24】W. Hertzberg, “Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials,” Second Edition, MEI YA Publications Inc. 1983。【25】M. Matsuishi and T. Endo, “Fatigue of Metals Subjected to Varying Stress,” Japan Society of Mechanical Engineers, Fukuoka, Japan, March 1968。【26】J. A. Bannantine, J. J. Comer and L. J. Handrock, “Fundamentals of Metal Fatigue Analysis,” Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990。