

The Establishment and Analysis of Numerical Model of Frontal Sled Test

楊書銘、鄧作樑

E-mail: 9419548@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

To effectively and efficiently reduce traffic accident injuries, manufacturers now incorporate a wide range of safety devices and features into their vehicles. Evaluating the effectiveness of these protective devices involves investigating the dynamic response of the human body in a traffic accident situation. The information provided by such investigations enables vehicle manufacturers to modify their designs appropriately in order to enhance the occupant's safety. Experimental testing is a commonly employed technique for evaluating the occupant protection capability of a particular vehicle. The experimental method can be further divided into real car crash test and sled test. The sled test has been demonstrated to be highly repeatable, reproducible, durable, and serviceable test devices. Recently, rapid advances in computer technology have enabled applied mathematicians, engineers and scientists to achieve significant progress in solving previously intractable problems. Numerical simulations of sled testing provide a valuable tool for automotive engineers. However, to build an exact finite element model is the most important work of numerical analysis for simulating the experiments. The purpose of research is to develop and validate an exact finite element model of sled test system. The injury of occupant in collisions can be effectively analyzed. In simulating the sled testing, a finite element model of the Hybrid 50% crash test dummy was developed and validated. Moreover, the parameter setting in the finite element sled model was determined by the experiments. The parameters include the material of seatback and cushion, elevator of seat machine, percent elongation of seatbelt and tensile strength of retractor. The finite element model of dummy and sled system was integrated in the numerical sled testing. The reasonable accuracy of the model makes it useful for crashworthiness simulation. To confirm the accuracy of the proposed numerical model, the current results are compared with those obtained from experimental tests. The results indicate that the numerical sled model proposed in this study has considerable potential for evaluating a vehicle's crash safety performance and guiding the future development of safety technologies.

Keywords : Sled testing, Frontal impact, LS-DYNA

Table of Contents

目錄	封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	v	英文摘要	vii	誌謝	ix	目錄	xi	圖目錄	xv	表目錄	xx	符號說明	xxi	第一章前言	1	1.1	研究動機	1	1.2	文獻回顧	4	1.3	研究目的	7	1.4	論文架構	9	第二章基本理論	13	2.1	偏微分程式之空間離散法	14	2.1.1	Lagrangian描述法	14	2.1.2	Eulerian描述法	15	2.2	等向性彈性材料組構關係	16	2.3	分析程式之應用	17	2.3.1	前、後處理器	17	2.3.2	網格劃分	17	2.3.3	沙漏問題之處理	18	2.3.4	接觸面問題之計算	18	2.4	人體損傷指標	21	2.4.1	頭部傷害指標	21	2.4.2	頸部傷害指標	22	2.4.3	胸部傷害指標	23	2.4.4	下四肢傷害指標	24	第三章有限元素人偶模型之建構	30	3.1	有限元素人偶模型	31	3.1.1	頭部	32	3.1.2	頸部	32	3.1.3	上軀幹	33	3.1.4	下軀幹	33	3.1.5	上四肢	34	3.1.6	下四肢	34	3.1.7	人偶關節	35	3.2	實驗人偶校正法規	37	3.2.1	頭部落下測試	38	3.2.2	頸部擺臂撞擊測試	38	3.2.3	胸部擺錘撞擊測試	39	3.2.4	膝部擺錘撞擊測試	40	3.3	有限元素人偶模型之驗證	41	3.3.1	頭部落下測試模擬	41	3.3.2	頸部擺臂撞擊測試模擬驗證	43	3.3.3	胸部擺錘撞擊測試模擬	45	3.3.4	膝部擺錘撞擊測試模擬	47	第四章衝擊台車有限元素模型之建構	99	4.1	台車有限元素模型	99	4.2	座椅有限元素模型	100	4.2.1	座椅材質	100	4.2.2	轉向器結構勁度	101	4.3	安全帶有限元素模型	102	4.3.1	安全帶有限元素模型之建構	103	4.4	台車有限元素模型之應用	104	第五章台車衝擊試驗數值模擬	116	5.1	數值模擬方法驗證	116	5.1.1	台車衝擊數值模型	116	5.1.2	台車衝擊試驗模擬分析	117	5.2	有限元素人偶模型適用性分析	118	5.3	衝擊台車數值模型適用性分析	119	5.4	衝擊台車數值模型之建構	120	5.5	台車衝擊試驗與模擬	122	5.6	安全帶特性分析	123	5.6.1	織帶拉伸率特性分析	124	5.6.2	捲收器抗拉強度特性分析	124	第六章結論與未來展望	146	參考文獻	149	圖目錄	圖1.1	92年度道路交通事故車類別百分比	10	圖1.2	整車實車碰撞測試	10	圖1.3	台車衝擊試驗	11	圖2.1	數值分析流程圖	25	圖2.2	沙漏模式	26	圖2.3	主區域與次區域示意圖	26	圖2.4	處理接觸與碰撞之步驟	27	圖2.5	點對點的概括搜尋示意	27	圖2.6	搜尋半徑示意圖	28	圖2.7	四個主區域	28	圖2.8	主區域在S之投影	29	圖2.9	防禦點作用力之分布	29	圖3.1	三種有限元素可變形人偶模型	49	圖3.2	Hybrid 50%可變形有限元素人偶模型	50	圖3.3	Hybrid 50%可變形人偶外部有限元素模型組成	51	圖3.4	Hybrid 50%可變形人偶內部有限元素模型組成	51	圖3.5	頭部外部有限元素模型	52	圖3.6	頭骨有限元素模型	52	圖3.7	頸骨外部有限元素模型	52	圖3.8	頸骨有限元素模型	52	圖3.9	胸部外部有限元素模型	53	圖3.10	胸骨有限元素模型	53	圖3.11	腰部有限元素模型	53	圖3.12	骨盤骨有限元素模型	53	圖3.13	腰椎外部有限元素模型	54	圖3.14	腰椎骨盤有限元素模型	54	圖3.15	手部有限元素模型	54	圖3.16	腿部有限元素模型	55	圖3.17	LS-DYNA的六種JOINT形式	55	圖3.18	關節座標定義	56	圖3.19	肩胛骨關節 -方向負載曲線	56	圖3.20	左肩關節	
----	------	-----	-----	-----	------	---	------	-----	----	----	----	----	-----	----	-----	----	------	-----	-------	---	-----	------	---	-----	------	---	-----	------	---	-----	------	---	---------	----	-----	-------------	----	-------	---------------	----	-------	-------------	----	-----	-------------	----	-----	---------	----	-------	--------	----	-------	------	----	-------	---------	----	-------	----------	----	-----	--------	----	-------	--------	----	-------	--------	----	-------	--------	----	-------	---------	----	----------------	----	-----	----------	----	-------	----	----	-------	----	----	-------	-----	----	-------	-----	----	-------	-----	----	-------	-----	----	-------	------	----	-----	----------	----	-------	--------	----	-------	----------	----	-------	----------	----	-------	----------	----	-----	-------------	----	-------	----------	----	-------	--------------	----	-------	------------	----	-------	------------	----	------------------	----	-----	----------	----	-----	----------	-----	-------	------	-----	-------	---------	-----	-----	-----------	-----	-------	--------------	-----	-----	-------------	-----	---------------	-----	-----	----------	-----	-------	----------	-----	-------	------------	-----	-----	---------------	-----	-----	---------------	-----	-----	-------------	-----	-----	-----------	-----	-----	---------	-----	-------	-----------	-----	-------	-------------	-----	------------	-----	------	-----	-----	------	------------------	----	------	----------	----	------	--------	----	------	---------	----	------	------	----	------	------------	----	------	------------	----	------	------------	----	------	---------	----	------	-------	----	------	----------	----	------	-----------	----	------	---------------	----	------	-----------------------	----	------	---------------------------	----	------	---------------------------	----	------	------------	----	------	----------	----	------	------------	----	------	----------	----	------	------------	----	-------	----------	----	-------	----------	----	-------	-----------	----	-------	------------	----	-------	------------	----	-------	----------	----	-------	----------	----	-------	-------------------	----	-------	--------	----	-------	---------------	----	-------	------	--

-方向負載曲線 57 圖3.21 肘關節 -方向負載曲線 57 圖3.22 肘關節- 方向負載曲線 58 圖3.23 肘關節- 方向負載曲線 58 圖3.24 腕關節- 方向負載曲線 59 圖3.25 髌關節- 方向負載曲線 59 圖3.26 髌關節- 、 方向負載曲線 60 圖3.27 左髌關節- 方向負載曲線 60 圖3.28 右髌關節- 方向負載曲線 61 圖3.29 人偶頭部落下實驗設備 62 圖3.30 頭部落下測試有限元素模型 62 圖3.31 有限元素人偶模型頭部落下動態反應圖 63 圖3.32 頭部落下測試頭部加速度歷時圖 64 圖3.33 人偶頸部撓曲實驗設備 64 圖3.34 人偶頸部撓曲擺臂 65 圖3.35 人偶頸部撓曲實驗示意圖 65 圖3.36 頸部擺臂撞擊測試有限元素模型 66 圖3.37 人偶頸部拉伸加速度曲線圖 66 圖3.38 人偶頸部壓縮加速度曲線圖 67 圖3.39 D平面旋轉定義 67 圖3.40 頸部擺臂撞擊拉伸動態反應圖 68 圖3.41 頸部拉伸模擬之頭部D平面之旋轉角歷時圖 69 圖3.42 頸部擺臂撞擊壓縮動態反應圖 70 圖3.43 頸部壓縮模擬之頭部D平面之旋轉角歷時圖 71 圖3.44 人偶胸部擺錘撞擊實驗設備 71 圖3.45 胸部擺錘撞擊測試有限元素模型 72 圖3.46 胸部擺錘撞擊動態反應圖 73 圖3.47 胸部擺錘撞擊測試胸部變形圖 74 圖3.48 人偶膝部擺錘撞擊實驗設備 75 圖3.49 膝部擺錘撞擊測試有限元素模型 75 圖3.50 膝部擺錘撞擊動態反應圖 76 圖3.51 膝部擺錘撞擊測試膝部受力圖 77 圖4.1 台車衝擊試驗 106 圖4.2 台車衝擊動態反應圖 107 圖4.3 車輛座椅 108 圖4.4 座椅有限元素模型變形動態圖 109 圖4.5 座椅轉向器 110 圖4.6 轉向器之設定 110 圖4.7 轉向器特性量測 111 圖4.8 轉向器特性量測模擬動態反應圖 111 圖4.9 兩點式安全帶 112 圖4.10 三點式安全帶 112 圖4.11 安全帶有限元素模型 113 圖4.12 安全帶拉伸率實驗設備 113 圖4.13 捲收器抗拉強度實驗設備 114 圖4.14 衝擊台車有限元素模型 115 圖5.1 衝擊台車有限元素模型 126 圖5.2 台車衝擊加速度曲線 126 圖5.3 台車撞擊試驗數值模擬動態反應 127 圖5.4 台車衝擊試驗頭部加速度歷時圖 128 圖5.5 台車衝擊試驗胸部加速度歷時圖 128 圖5.6 台車衝擊試驗胸部位移量歷時圖 129 圖5.7 台車衝擊試驗骨盆加速度歷時圖 129 圖5.8 三種人偶頭部加速度比較圖 130 圖5.9 三種人偶胸部加速度比較圖 130 圖5.10 三種人偶骨盆加速度比較圖 131 圖5.11 48km/hr速度之台車衝擊試驗模擬反應圖 132 圖5.12 33.4km/hr速度之台車衝擊試驗模擬反應圖 133 圖5.13 衝擊台車數值模型建構流程圖 134 圖5.14 轉角器拉力負載曲線圖 135 圖5.15 轉角器模擬結果曲線圖 135 圖5.16 安全帶織帶拉伸實驗 136 圖5.17 安全帶拉伸率曲線 136 圖5.18 安全帶捲收器抗拉強度實驗 137 圖5.19 捲收器抗拉強度曲線 137 圖5.20 台車衝擊試驗(實驗前) 138 圖5.21 台車衝擊試驗(實驗後) 138 圖5.22 台車撞擊實驗曲線 139 圖5.23 頭部總方向加速度 139 圖5.24 頸部總受力 140 圖5.25 胸部總加速度 140 圖5.26 骨盆總加速度 141 圖5.27 3種不同織帶拉伸率曲線 141 圖5.28 不同織帶拉伸率之頭部總加速度曲線圖 142 圖5.29 不同織帶拉伸率之胸部總加速度曲線圖 142 圖5.30 不同織帶拉伸率之骨盆總加速度曲線圖 143 圖5.31 3種不同捲收器抗拉強度曲線圖 143 圖5.32 不同捲收器抗拉強度之頭部總加速度曲線圖 144 圖5.33 不同捲收器抗拉強度之胸部頭部總加速度曲線圖 144 圖5.34 不同捲收器抗拉強度之骨盆總加速度曲線圖 145 表目錄 表1.1 歷年臺灣地區機動車輛及道路交通事故統計表 12 表2.1 六面體元素節點位置 36 表2.2 顯性、隱性積分法比較表 36 表3.1 有限元素人偶之組件、材料性質、元素與節點數量 78 表3.2 有限元素人偶關節接頭 79 表3.3 人偶各部位重量 80 表3.4 有限元素人偶組件、材料與屬性 81 表3.5 人偶內部構造之量測裝置 82 表3.6 人偶各部位材料性質、元素、節點之描述 83 表3.7 人偶各組件剛性、黏彈性、彈性材料性質 88 表3.8 人偶各組件低密度泡棉材料性質 93 表3.9 人偶各組件彈簧性材料性質 93 表3.10 人偶各部位重量與慣性矩 94 表3.11 有限元素人偶模型之關節接頭 95 表3.12 關節旋轉停止角度 97 表3.13 關節彈性強度 98 表3.14 關節摩擦係數 98 表4.1 安全帶各部位組件、材料性質、元素之描述 115 表5.1 三種人偶台車衝擊模擬分析時間 145

REFERENCES

- [1]行政院內政部警政署 [2]Status report Vol.37, No.6, June 8, 2002 [3]E. S. Charles and B. J. Michael, "Evaluation of Seat Back Strength and Seat Belt Effectiveness in Rear End Impacts," SAE 872214, 1987.
- [4]Y. S. Mats, Per L., H. Yngve and L. Stefan, "The Influence of Seat-Back and Head-Restraint Properties on the Head-Neck Motion During Rear-Impact," *Accid. Anal.*, Vol.28, NO.2, pp.221-227, 1996.
- [5]M. Roy, P.A. Murray, Pitcher M. and Galasko CSB, "Lower Back and Neck Strain Injuries: The Relative Roles of Seat Adjustment and Vehicle Seat Design," Paper Number 98-S6-W-29, 1998.
- [6]S. Makoto, "Seat Designs for Whiplash Injury Lessening," SAE Paper Number 98-S7-O-06, 1998.
- [7]V. M. Bhavin, P. Prasad and W. II Pobert, "Importance of Seat and Head Restraint Positions in Reducing Head-Neck Injuries," SAE paper NO.2001-01-2659, 2000.
- [8]M. Lawrence, P. Siegmund, "Seat back and head restraint response during low-speed rear-end automobile collisions," *Accident Analysis and Prevention* 32., pp.219-232, 2000.
- [9]H. Zellmer, S. Michael and A. Seidenschwang, "Enhancement of seat performance in low-speed rear impact," NHTSA 17th June 4-7, 2001.
- [10]K. U. Schmitt, M. Muser, M. Heggendorf, P. Niederer, and F. Walz, "Seat Component to Prevent Whiplash Injury," SAE Paper No. 224, 2002.
- [11]D.Otte, "Comparison and Realism of crash Simulation Tests and Real Accident Situation for the Biomechanical Movements in Car Collisions," SAE Paper No.902329, 1990.
- [12]Y.C. Deng, "Simulation of belt-restrained occupant response in 30 mph barrier impact," *International Journal of Vehicle Design*, Vol.12, No.2, pp.160-174., 1991.
- [13]W. Brian, M. Nicholas, G. John and R. Neil, "The Crash Analysis of a passenger Vehicle Under Differing Frontal Crash Conditions," SAE

Paper No.932910, 1993.

- [14]T.C. Lin, C. Wawa and T.B. Khalil, "Evaluation of the Hybrid Dummy Interactions with Air Bag in Frontal Crash by Finite Element Simulation," SAE Paper No.952705, 1995.
- [15]G. Nilson, "An Analytical Method to Assess the Risk of the Lap-Belt Slipping off the Pelvis in Frontal Impact" SAE Paper No.952708, 1995.
- [16]D. Marzougui, C.D Kan. and N.E. Bedwi, "Development and Validation of an NCAP Simulation Using LS-DYNA3D," NCAC paper, 1996.
- [17]S. Moss and Y. Huang, "Development of an Advanced Finite Element Model Database of the Hybrid Crash Test Dummy Family," SAE Paper No.971042, 1997.
- [18]H. Staffan, "Validation of Coupled PC-CRASH-MADYMO Occupant Simulation Model," SAE Paper No.2000-01-0471, 2000.
- [19]P. Vezin, K. Bruyere and F. Bermond, "Comparison of Head and Thorax Cadaver and Hybrid responses to a Frontal Sled Deceleration for the Validation of a Car Occupant Mathematical Model," NHTSA 17th June 4-7, 2001.
- [20]M. Rashidy, B. Deshpande, T.J. Gunasekar. and R. Morris, "Analytical Evaluation of an Advanced Integrated Safety Seat Design in Frontal, Rear, Side, and Rollover crashes" NHTSA 17th June 4-7, 2001.
- [21]A. Malott and C. Parenteau, "Sled Test Results Using the Hybrid 6 year old an Evaluation of Various Restraints and Crash Configurations," SAE Paper No.010316, 2004.
- [22]黃世囑, 汽車碰撞中人體動力反應模擬模型的探討, 第十五屆全國力學會議, 工業技術研究院機械工業研究所, 新竹, pp1205-1211, 1991。
- [23]謝裕忠, 應用非線性有限性元素法於汽車安全設計之分析與模擬, 碩士論文, 中正大學機械研究所, 嘉義, 1993。
- [24]朱健源, 汽車後撞中人體動態反應模擬, 碩士論文, 成功大學醫學工程所, 台南, 1994。
- [25]蔡文魁, Hybrid 衝擊人偶有限元素模型的建立與應用, 碩士論文, 中正大學機械研究所, 嘉義, 1994。
- [26]周正賓, 人體動態有限元素分析, 碩士論文, 成功大學醫學工程研究所, 台南, 1995。
- [27]賴大鵬, 應用有限元素法電腦模擬台車衝擊實驗, 碩士論文, 中正大學機械研究所, 嘉義, 1995。
- [28]張凱敦, 人體模型之動力系統分析, 碩士論文, 逢甲大學機械研究所, 台中, 1997。
- [29]楊秉文, 車禍事故中人體頭頸部之損傷分析, 碩士論文, 國防大學中正理工學院兵器系統工程研究所, 桃園, 2002。
- [30]吳建昌, 車禍肇事人體受正面撞擊組織損傷分析, 碩士論文, 大葉大學機械工程研究所, 2003。
- [31]藍宏文, 車輛正面撞擊之數值模擬分析, 碩士論文, 大葉大學機械工程研究所, 2004。
- [32]LS-DYNA 970 User Manual.
- [33]Appendix a part 572E dummy performance calibration test procedure.
- [34] <http://www.u-car.com.tw/ucar-hot/subject-seat-belt.asp> [35]美安(Autoliv)工業股份有限公司安全帶簡介。