

Crashworthiness Analysis of Protective Structures for Car Door

潘建道、鄧作樑

E-mail: 9419903@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

ABSTRACT Side impact collisions differ from frontal impacts, in that the occupant interacts directly with the vehicle structure. The occupant has very little protection from the striking vehicle in such collisions. These types of impacts can cause severe injury, especially to the occupant on the side the vehicle was struck. Hence, manufacturers now incorporate a wide range of safety devices and features into their vehicles. In order to satisfy the various industrial and governmental safety regulations and address consumers' valid concerns for safety, it is necessary to develop an efficient evaluation and analysis methodology with which to examine the safety aspects of a vehicle. The industry makes extensive use of numerical crash simulations during the development of a new vehicle for both structural improvements as well as for the development of safety devices. The information provided by such investigations enables vehicle manufacturers to modify their designs appropriately in order to enhance the occupant's safety. To confirm the effectiveness of protection equipment installed in vehicles, this study investigates the development and validation of a vehicle, movable barrier and dummy FEM model for studying interaction. Based on the Federal Motor Vehicle Safety Standard No.214 (FMVSS214), the numerical crash test model was developed to simulate a side impact accident and evaluate the effectiveness of side door beam. The crash simulations were conducted using the LS-DYNA3D finite element code. The SID dummy response measurements consisted of the thorax and pelvic accelerations. Additionally, the effects of position, shape and material of side door beam on the injuries of occupant are discussed herein. The proposed methodologies can then be used to design the side door beam and reduce the occupant's injuries in side impact accidents. Moreover, the simulated models obtained herein give design guidelines for the vehicular structure and safety equipment needed to protect occupants.

Keywords : Side Impact Simulation ; Side Door Beam ; LS-DYNA 3D

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	vi	誌謝	viii	目錄	x	圖目錄	xiii	表目錄	xviii	符號說明	xix	第一章	緒論	1																																																																																																																																																																																																																																																																
1.1	緣起	1	1.2	文獻回顧	3	1.3	本文目標	6	1.4	本文架構	8	第二章	動態側撞測試法規	13	2.1	側撞實驗人偶	14	2.2	MDB撞擊台車	15	2.3	測試車輛	15	2.4	動態側撞測試環境	16	2.5	人體損傷規範	17	第三章	LS-DYNA 3D基本理論	26	3.1	偏微分方程之空間離散法	27	3.1.1	Lagrangian描述法	27	3.1.2	Eulerian描述法	28	3.1.3	等向性彈性材料組構關係	29	3.2	LS-DYNA程式之應用	30	3.2.1	前後處理器	31	3.2.2	網格的劃分	31	3.2.3	元素之使用	32	3.2.4	材料之選用	32	3.2.5	接觸碰撞之處理	33	3.2.6	沙漏問題之處理	35	3.2.7	時間步幅控制	35	第四章	側撞測試有限元素模型之建構	39	4.1	側撞人偶有限元素模型	39	4.1.1	人偶胸部擺錘驗證	44	4.1.2	人偶骨盆擺錘驗證	46	4.2	MDB台車有限元素模型	47	4.2.1	MDB台車模型驗證	48	4.3	測試車有限元素模型	49	4.3.1	測試車模型驗證	50	4.4	全車側撞測試數值模擬	51	4.4.1	全車側撞測試模擬分析結果	52	第五章	車門抗撞性能之分析	75	5.1	車門侵入量之量測	75	5.2	車門抗撞性能分析	76	5.2.1	車門變形與侵入分析	76	5.2.2	人偶個部位加速度反應	77	5.2.3	人偶損傷之分析	79	第六章	車門防撞鋼樑之設計	90	6.1	鋼樑位置對乘員安全性分析	90	6.1.1	車門侵入量分析	91	6.1.2	人偶加速度反應	94	6.1.3	人偶損傷值分析	97	6.2	鋼樑形狀對乘員安全性分析	98	6.2.1	車門侵入量分析	99	6.2.2	人偶加速度反應	101	6.2.3	人偶損傷值分析	104	6.3	鋼樑材料強度對乘員安全性分析	105	6.3.1	車門侵入量分析	106	6.3.2	人偶加速度之分析	109	6.3.3	人偶損傷值分析	111	6.4	分析結果與設計	112	第七章	結論與未來展望	133	參考文獻	135	圖目錄	圖1.1	車輛發生致命撞擊之車種類型比率 [2]	10	圖1.2	車輛發生致命撞擊之型式比率 [2]	10	圖1.3	側撞事故乘員損傷部位之比率 [3]	11	圖1.4	FMVSS214準靜態車門擠壓測試示意圖 [15]	11	圖1.5	FMVSS214動態側向碰撞測試示意圖 [16]	12	圖2.1	SID人偶校正擺錘試驗示意圖 [17]	19	圖2.2	SID人偶加速規位置示意圖 [17]	19	圖2.3	MDB台車規格示意圖 [17]	20	圖2.4	MDB台車碰撞面蜂巢式結構示意圖 [17]	20	圖2.5	MDB台車蜂巢式結構裝設位置示意圖 [17]	21	圖2.6	測試車輛加速規放置位置示意圖 [17]	21	圖2.7	測試車輛量測基準線示意圖 [17]	22	圖2.8	測試車輛側邊撞擊示意圖 [17]	22	圖2.9	測試車輛撞擊之水平與垂直參考線示意圖 [17]	23	圖2.10	側面碰撞碰撞點位置示意圖 [17]	23	圖2.11	人偶於車內位置縱向參考位置圖 [17]	24	圖2.12	人偶於車內位置橫向參考位置圖 [17]	25	圖3.1	主區域與次區域示意圖 [18]	36	圖3.2	處理接觸與碰撞的步驟 [18]	36	圖3.3	點對點的概括搜尋 [18]	37	圖3.4	搜尋半徑示意圖 [18]	37	圖3.5	四個主區域示意圖 [18]	37	圖3.6	防禦點作用力之分布 [18]	38	圖3.7	沙漏模式 (a為規則變形, b、c、d均為沙漏模式) [18]	38	圖4.1	側撞實驗人偶 [24]	56	圖4.2	Word SID實驗人偶 [25]	56	圖4.3	US-SID有限元素模型	57	圖4.4	頭部模型	57	圖4.5	頸部與肩膀模型	57	圖4.6	脊椎與吸震器模型	57	圖4.7	胸部模型	57	圖4.8	腰椎模型	58	圖4.9	骨盆模型	58	圖4.10	肋骨與手臂模型	58	圖4.11	夾克模型	58	圖4.12	下肢體模型	58	圖4.13	腹部模型	58	圖4.14		

LS-DYNA3D之接頭型式 [18] 59 圖4.15 人偶胸部擺錘試驗有限元素模型 60 圖4.16 人偶胸部擺錘驗證上肋骨加速度歷時圖 60 圖4.17 人偶胸部擺錘驗證下肋骨加速度歷時圖 61 圖4.18 人偶胸部擺錘驗證下脊椎加速度歷時圖 61 圖4.19 人偶骨盆擺錘試驗有限元素模型 62 圖4.20 人偶骨盆擺錘驗證加速度證歷時圖 62 圖4.21 MDB台車 [26] 63 圖4.22 MDB台車有限元素模型 63 圖4.23 台車正面撞擊平面牆試驗數值模型 64 圖4.24 MDB台車重心位置速度歷時圖 64 圖4.25 Taurus側撞實車有限元素模型 65 圖4.26 Taurus實車對柱碰撞試驗數值模型 65 圖4.27 車子重心之位移歷時圖 66 圖4.28 車子重心之速度歷時圖 66 圖4.29 FMVSS-214側撞動態測試數值模型 67 圖4.30 全車側撞測試模擬之人偶動態反應 68 圖4.31 全車側撞測試SID上肋骨加速度歷時圖 69 圖4.32 全車側撞測試SID下肋骨加速度歷時圖 69 圖4.33 全車側撞測試SID下脊椎加速度歷時圖 70 圖4.34 全車側撞測試SID骨盆加速度歷時圖 70 圖5.1 車門防撞鋼樑有限元素模型 82 圖5.2 車門結構有限元素模型 82 圖5.3 車門結構位移圖 83 圖5.4 車門各部份之侵入量 (t = 0.06 sec) 84 圖5.5 人偶上肋骨加速度歷時圖 84 圖5.6 人偶下肋骨加速度歷時圖 85 圖5.7 人偶下脊椎加速度歷時圖 85 圖5.8 人偶骨盆加速度歷時圖 86 圖5.9 人偶與車門動態反應 (t = 0.024 sec) 86 圖5.10 車門對骨盆及胸部損傷示意圖 [27] 87 圖6.1 鋼樑與車門之相對位置示意圖 114 圖6.2 鋼樑與人偶之相對位置示意圖 115 圖6.3 不同鋼樑裝設位置之L1線上侵入量 116 圖6.4 不同鋼樑裝設位置之L2線上侵入量 116 圖6.5 不同鋼樑裝設位置之L3線上侵入量 117 圖6.6 不同鋼樑裝設位置之L4線上侵入量 117 圖6.7 不同鋼樑裝設位置之L5線上侵入量 118 圖6.8 不同鋼樑裝設位置之人偶上肋骨加速度歷時圖 118 圖6.9 不同鋼樑裝設位置之人偶下肋骨加速度歷時圖 119 圖6.10 不同鋼樑裝設位置之人偶下脊椎加速度歷時圖 119 圖6.11 不同鋼樑裝設位置之人偶骨盆加速度歷時圖 120 圖6.12 不同截面形狀之防撞鋼樑 121 圖6.13 不同形狀鋼樑之L1侵入曲線 122 圖6.14 不同形狀鋼樑之L2侵入曲線 122 圖6.15 不同形狀鋼樑之L3侵入曲線 123 圖6.16 不同形狀鋼樑之L4侵入曲線 123 圖6.17 不同形狀鋼樑之L5侵入曲線 124 圖6.18 不同形狀鋼樑之人偶上肋骨歷時圖 124 圖6.19 不同形狀鋼樑之人偶下肋骨歷時圖 125 圖6.20 不同形狀鋼樑之人偶下脊椎歷時圖 125 圖6.21 不同形狀鋼樑之人偶骨盆歷時圖 126 圖6.22 不同材料強度鋼樑之L1基準線侵入量 126 圖6.23 不同材料強度鋼樑之L2基準線侵入量 127 圖6.24 不同材料強度鋼樑之L3基準線侵入量 127 圖6.25 不同材料強度鋼樑之L4基準線侵入量 128 圖6.26 不同材料強度鋼樑之L5基準線侵入量 128 圖6.27 不同材料強度鋼樑之人偶上肋骨歷時圖 129 圖6.28 不同材料強度鋼樑之人偶下肋骨歷時圖 129 圖6.29 不同材料強度鋼樑之人偶下脊椎歷時圖 130 圖6.30 不同材料強度鋼樑之人偶骨盆歷時圖 130 表目錄 表4.1 吸震器阻尼比相依函數 [21] 71 表4.2 側撞人偶驗證各部位加速度峰值 71 表4.3 人偶車內位置橫向參考尺寸 [20] 72 表4.4 人偶車內位置橫向參考尺寸 [19] 73 表4.5 座椅參考角度示意圖 [19] 73 表4.6 全車側撞測試人體損傷值 74 表5.1 車門侵入量之量測位置 88 表5.2 人偶損傷值比較表 89 表6.1 防撞鋼樑於不同位置之人偶損傷值比較表 131 表6.2 不同形狀防撞鋼樑之人偶損傷值比較表 131 表6.3 不同降服強度材料表 132 表6.4 不同降服強度防撞鋼樑之人偶損傷比較表 132

REFERENCES

- 參考文獻 [1] 內政部警政署94年第07號(93年警察機關受(處)理A1類道路交通事故概況) <http://www.npa.gov.tw/index.php> [2] <http://www.nhtsa.gov/> [3] R. F. Else, BSc, CEng, MIMechE, Autoliv Led, " Side Impact Airbag Technology ", SAE Paper No.934217, (1993) [4] Kyoso Ishida, Mitsugi Fukahori, Katsunori Hanakawa, Hideaki Tanaka and Kenji Matsuda, " Development of a Technique to Strengthen Body Frame With Structural Foam ", SAE Paper No.2001-01-0313, (2001) [5] S. Erzen, Z. Ren, and Anzel, " Analysis of FRP side-Door impact beam ", http://www.sussex.ac.uk/automotive/tvt2002/15_erzen.pdf#search='side%20door' [6] David C. Viano, " Evaluation of Armrest Loading in Side Impacts ", SAE paper 912899, (1991) [7] Roger P. Daniel, Robert W. Hultman, and Lee A. Walker, " Research and Development for Lower Lateral Force Armrests ", SAE paper No. 952734, (1995) [8] Yih-Chang Deng, " The Importance of Test Method in Determining the Effects of Door Padding in Side Impact ", SAE paper 892429, (1989) [9] F. Shokoochi, D. S. Breed, " One-Dimensional Model for Predicting Side Intrusion Injuries Including Effects of Padding ", SAE paper 910600, (1991) [10] Thomas J. Trella, Hampton C. Gabler III, Joseph N. Kaniyanthra, and J. Joseph Wagner, " Side Impact Crashworthiness Design: Evaluation of Padding Characteristics Through Mathematical Simulations ", SAE paper 912900, (1991) [11] S. Sundararajan, C. C. Chou, G. G. Lim, J. A. Prater, and R. R. Clements, " Dynamic Door Component Test Methodology ", SAE paper 950877, (1995) [12] Midoun, D. E., Rao, M. k., Kalidindi R., " Dummy Models for Crash Simulation in Finite Element Programs ", SAE Paper No. 912912, (1991) [13] Yih-Chang Deng, Bruce Tzeng, " Side Impact Countermeasure Study Using A Hybrid Modeling Technique ", SAE paper 962413, (1996) [14] Madama Gopal, Vital Anne, " Performance Evaluation of Door & Seat Side-Impact Airbags for Passenger Van and Sport-Utility Vehicles ", SAE Paper No. 980912, (1998) [15] Laboratory Test Procedure For FMVSS No.214 " Static " Side Impact Protection, NHTSA, April, (1992) [16] <http://www.safercar.gov/> [17] Laboratory Test Procedure For FMVSS No.214 " Dynamic " Side Impact Protection, NHTSA, January, (2003) [18] LS-DYNA THEORETICAL MANUAL, V970, 2003. [19] " Testing for Side Impact Protection-Passenger Cars, 1991 Ford Taurus, Contract No: DTRS-57-95-C-00010(TTD#3) " MGA Proving Grounds, Burlington, WI53105, March 31, (1997) [20] <http://www.ncac.gwu.edu> [21] Zaouk, A.k., Marzougui, D., " Development and Validation of a US Side Impact Moveable Deformable Barrier FE Model ", FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, The George Washington University, Ashburn, (2002). [22] Brown, C.M., " Ford Taurus Broadside Collision With a Narrow Fixed Object ", FOIL Test Number 95S008, US-DOT, FHWA RD 96 105, NTIS Reference PB97-173652, (1997) [23] Hultman, R.W., Laske, T.G., Chou, C.C., Lim, G.G., Chrobak, E.I., Vecchio, M.T., " NHTSA

Passenger Car Side Impact Dynamic Test Procedure-Test-To-Test Variability Estimates ” , SAE Paper No. 910603, (1991) [24]

http://www.nxtsolutions.com/System/ATDs__Dummies_/Adult_Side_Impact_ATDs/adult_side_impact_atds.html [25]

<http://www.dynres.com> [26] <http://www.messring.de/> [27] Robert Kaufman & Dr. C. Mock “ Injury Patterns in Side Impact The Effects of Door Panel Stiffness , Geometry and Intrusions ” , CIREN SEATTLE