

# 提升大客車車體結構強度之研究

張瑞宏、梁卓中

E-mail: 9510931@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

大客車為高乘載之交通工具，其安全性問題倍受各界重視，世界各先進國家大多參考歐規ECE R66 與美規FMVSS 220大客車翻覆保護安全法規，修改制定符合各國風俗民情之法規，藉由此兩法規之背景及測試之程序、要求之標準，探討法規所呈現之意涵與其設立精神，並以為改善大客車上層結構設計之重要依據。故本論文首先應用非線性軟體LS-DYNA 3D 模擬歐洲大客車上層結構強度法規ECE R66 與美國校車翻覆防護法規FMVSS 220大客車車身結構之翻覆試驗，研究大客車結構產生嚴重變形之部位、能量吸收、能量傳遞、變形行為及動態反應行為，探討法規之設立精神與翻覆法規模擬結果之差異。其次，本論文針對大客車結構強度之補強方式進行研究，經由搜尋航空器、船舶、大客車之補強結構，建立補丁式、填角式、及增加截面積等三種方式之補強結構資料庫，應用TNO大客車補強結構測試方法，進行較佳補強結構之研究。結果顯示增加截面積之補強方式具有較佳之抗翻覆效果，因此本論文應用此種補強方式改善某大客車車身段結構並進行翻覆之模擬，並探討真實之補強效果，本論文建構之模擬環境以及補強結構之資料庫，希能提供國內大客車車體製造廠對於上層結構改善方案之參考。

關鍵詞：大客車，補強結構，ECE R66，FMVSS 220，TNO

## 目錄

封面內頁 簽名頁 授權書.....	iii	中文摘要.....	iv	英文摘要.....	v
誌謝.....	v	目錄.....	vi		vii
圖目錄.....	xii	表目錄.....	xv		
第一章 緒論.....	1	1.1 緣起.....	1	1.2 文獻回顧.....	2
1.3 本文目標.....	2	第二章 大客車翻覆數值分析理論基礎.....	8	2.1 大客車翻覆之數值分析理論.....	16
2.2 LS-DYNA 程式之數值技巧.....	17	第三章 大客車翻覆安全法規.....	29	3.1 美國校車翻覆防護法規-FMVSS 220.....	29
3.2 歐洲大客車上層結構強度法規-ECE R66.....	32	第四章 大客車翻覆法規FMVSS 220與ECE R66之比較探討.....	38	4.1 法規之設立精神.....	38
4.2 大客車翻覆防護法規之模擬流程.....	41	4.3 法規之交叉比對.....	73	4.4 結果比較分析.....	53
4.5 結果與討論.....	55	第五章 大客車補強結構資料庫之建立.....	73	5.1 現有大客車結構補強類型.....	74
5.2 現有船舶與航空器結構補強類型.....	74	5.3 補強結構資料庫之建立.....	75	第六章 大客車補強方式之研究.....	83
6.1 TNO 補強結構測試.....	83	6.2 車身段結構補強模擬.....	88	6.3 大客車補強結構之能量吸收.....	88
6.4 大客車補強結構總結.....	89	第七章 結論.....	102	參考文獻.....	106
附錄A 美國FMVSS 220法規-校車翻覆防護.....	111	附錄B 歐洲ECE R66法規-大客車車身結構強度分析.....	113	附錄C 大客車補強結構資料庫.....	129
圖目錄 圖1.1 大客車之結構依車體不同區域進行分類	10	圖1.2 針對不同骨架搭接形式進行多種補強方法	10	圖1.3 Zhang之傘型網格焊點模型	11
圖1.4 Deng之焊接簡化模型	11	圖1.5 Mahadevan結構體上分佈之四個焊點在應力分析模型	12	圖1.6 航空器之艙門複合材料補強蒙皮	12
圖1.7 極地船舶底部結構之撞擊模擬	13	圖1.8 國外某型小型飛機機體結構不同角度之撞擊分析	13	圖1.9 國外某型小型飛機機體結構填角型補強	14
圖2.1 LS-DYNA數值模擬分析流程	25	圖2.2 樑元素、薄殼元素、固體元素示意圖	26	圖2.3 主從面示意圖	27
圖2.4 碰撞後自身面接觸示意圖	27	圖2.5 Lagrangian、Eulerian、ALE描述法之構型變化	28	圖3.1 大客車傾斜穩定度測試	34
圖3.2 依據FMVSS 220法規之校車車頂擠壓試驗	34	圖3.3 美規FMVSS 220之施力板尺寸示意圖	35	圖3.4 依據ECE R66法規之整車翻覆碰撞試驗	35
圖3.5 依據ECE R66法規之車身段翻覆碰撞試驗	36	圖3.6 依據ECE R66法規之大客車擬靜態車身段負載測試	36	圖3.7 依據ECE R66法規之安全空間示意圖	37
圖4.1 大客車全車骨架幾何圖	56	圖4.2 大客車車身之有限元素模型	56	圖4.3 大客車底盤之有限元素模型	57
圖4.4 大客車骨架加上蒙皮與玻璃之有限元素模型	57	圖4.5 大客車骨架材料特性曲線	58	圖4.6 大客車底盤材料特性曲線	58
圖4.7 國外某型大客車全車車頂擠壓動態反應圖(前視圖)	59	圖4.8 國外某型大客車全車翻覆動態反應圖	61	圖4.9 車體結構最嚴重之28區域	63
圖4.10 大客車車頂擠壓內能與時間之關係圖	63	圖4.11 施力板與車頂間作用力與時間關係之曲線圖	64	圖4.12 大客車翻覆能量與時間之關係圖	64
圖4.13 FMVSS 220與ECE R66之內能比較	65	圖4.14 結構變形量侵入生存空間之情形	66		

圖4.15 車頂擠壓試驗過程中易產生應力集中部位 67 圖5.1 補強結構資料庫之建立架構 79 圖5.2 補丁式補強結構 80 圖5.3 填角式補強結構 80 圖5.4 增加截面積式補強結構 81 圖6.1 大客車邊柱結構 91 圖6.2 TNO補強結構測試情境 92 圖6.3 焊點(Spot-weld)於軟體中之建構方式 93 圖6.4 未施加補強結構之細部尺寸 93 圖6.5 補丁式補強結構之細部尺寸 94 圖6.6 填角式補強結構之細部尺寸 94 圖6.7 增加截面積式補強結構之細部尺寸 95 圖6.8 補強結構之作用力與行程曲線圖 95 圖6.9 補強結構所提升之等效應力曲線 96 圖6.10 未加補強結構之車身段翻覆動態反應圖 97 圖6.11 加上補強結構之車身段翻覆動態反應圖 99 圖6.12 車身段翻覆之位移量與時間關係圖 101 表目錄 表1.1 2004年依車種別之致命事故統計 14 表1.2 九十四年台灣地區A1類道路交通事故統計 15 表4.1 大客車各部位之有限元素資料 68 表4.2 大客車各部位之材料性質 68 表4.3 大客車各部位之位移量 69 表4.4 大客車各部位之等效應力與等效塑性應變 70 表4.5 大客車於ECE R66測試之各區段內能分佈 71 表4.6 大客車於FMVSS 220測試之各區段內能分佈 71 表4.7 大客車G區段之內能比較 72 表4.8 大客車G區段之位移量比較 72 表4.9 大客車G區段之應力與應變比較 72 表5.1 大客車補強結構資料庫彙整表 82 表6.1 補強結構模擬結果之比較 101 表6.2 補強結構之能量吸收 101

## 參考文獻

- [1] FARS Web-Based Encyclopedia , <http://www-fars.nhtsa.dot.gov/> [2] 內政部警政署 , <http://www.npa.gov.tw/> [3] UNECE , <http://www.unece.org/> [4] NHTSA , <http://www.nhtsa.dot.gov> [5] J.C. Brown, " The design and type approval of coach structures for roll-over using the CRASH-D program " Int. J. Vehicle Deign, vol. 11, nos 4/5, pp.361-373. (1990) [6] 王偉中, 葉銘泉, 任貽明, " 大客車車體結構之安全性研究 " , 財團法人車輛研究測試中心成果報告(1993) [7] Taeg Kim, " Study on the stiffness improvement of bus structure " Society of Automotive Engineers, 931995 (1993) [8] E. Larrode, A. Miravete and F. J. Fernandez, " A New Concept of a Bus Structure Made of Composite Materials by Using Continuous Transversal Frames " , Composite Structure, Vol.32 pp.345-356. (1995) [9] Toni Roca, Jordi Arbiol and Salvador Ruiz, " Development of rollover – resistance bus structures " , Society of Automotive Engineers, 970581 (1997) [10] Alesksandar Subic\* and Jimin He " Improving Bus Rollover Design Through Model Analysis " Crashworthiness 1997-v2-n2 (1997) [11] 羅升, " 中型客車三段式車架設計 " , 客車技術與研究(中國大陸) , (1997) [12] Matyas Matolcsy, " Development Possibilities in Relation to ECE Regulation 66 (Bus Rollover Protection) " , The 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper Number:98-S4-O-04 (1998) [13] Sandor Vincze, " European Test Methods for Superstructures of Buses and Coaches Related to ECE R66(The Applied Hungarian Calculation Method) " , The 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper Number : 98-S4-P-18 (1998) [14] N. Randell and D. Kecman " Dynamic Simulation in the Safety Research, Development and Type Approval of Minibuses and Coaches " SAE 982770 (1998) [15] 范志銘, " 國內傾斜穩定度法規檢測制度建立研究 " , 經濟部八十八年度科技研究發展專案計畫技術報告, (1999) [16] Savaidis " Hot-Spot Stress Evaluation of Fatigue in Welded Structural Connections Supported By Finite Element Analysis " International Journal of Fatigue 22. 85-91 (2000) [17] James C. Anderson, " Rollover Crashworthiness of a New Coach Structure " Society of Automotive Engineers, 2000-01-3520 (2000) [18] Matyas Matolcsy, " Body section rollover test as an approval method for requires strength of bus superstructures " , Society of Automotive Engineers, 2001-01-3209 (2001) [19] Linda McCray and Aida Barsan-Anelli, " Simulations of Large School Bus Safety Restraint-NHTSA " , The 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) , Paper Number:313 (2001) [20] Zhang " Optimization of Spot-Welded Structures " Finite Element in Analysis and Design 37. 1013-1022(2001) [21] Deng " Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Mechanical Behavior of Spot Welds " Finite Element in Analysis and Design 35. 17-39 (2003) [22] Belingardi, Davide Gastaldin, Paolo Martella and Lorenzo Peroni, " Multibody Analysis of M3 Bus Rollover : Structure Behaviour and Passenger Injury Risk " The 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper Number:288 (2003) [23] Mahadevan, " Body section rollover test as an approval method for requires strength of bus superstructures " , Society of Automotive Engineers, 2003-01-3126 (2003) [24] Luis Castejon, Jesus Cuartero, Antonio Miravete and Marco Carrera Carrera " Simulation and Testing of Composite Buses Roll over " SAE 2004-01-0741 (2004) [25] 吳昌明, " 大客車車身結構之翻覆強度分析 " , 大葉大學車輛工程研究所碩士班畢業論文, (2004) [26] 梁卓中, 林育正, 吳昌明, " 歐規ECE R66 大客車車身段翻覆試驗之數值模擬 " , 第二十一屆全國學術研會論文集, pp.3269-3274, (2004) [27] 梁卓中, 黃朝琴, 吳昌明, 張瑞宏, " 歐規ECE R66 大客車車身段擺錘碰撞試驗之數值模擬 " , 第二十一屆全國學術研會論文集, pp.3275-3280, (2004) [28] 梁卓中, 粘鴻祺, 蔡易修, " 美規FMVSS 220 校車車頂擠壓試驗之數值模擬 " , 第二十一屆全國學術研會論文集, pp.3281-3285, (2004) [29] 梁卓中, 蔡易修, 粘鴻祺, " 大客車門窗開口對強度之影響及設計建議 " , 車輛研究資訊雙月刊, pp.2-7, 2005-03 (2005) [30] TC.Wittenberg " Design of Fiber Metal Laminate Shear Panels For Ultra-High Capacity Aircraft " Aircraft Design 4 99-113(2001) [31] Hendrik " Comparison of The Crashworthiness of Various Bottom and Side Structures " Marine Structures 15 443-460(2002) [32] C.G Daley " Application of Plastic Framing Requirements For Polar Ships " Marine Structures 15 533-542(2002) [33] M.Bossak, " Global/Local Analysis of Composite Light Aircraft Crash Landing " Computers and Structure 81 503-514(2003) [34] M.Meo, " Numerical Simulations of Low-Velocity Impact on An Aircraft Sandwich Panel " Composite Structure 62 353-360(2003)