

# 雙層巴士翻覆之數值模擬與分析

蔡易修、梁卓中

E-mail: 9419524@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

大客車為目前極為重要之公路交通運輸工具，近年來國內不少業者常於取得大客車牌照後，為求乘客之舒適性改造車體，常加大上層空間以增內裝，造成整車重量過重及重心上移現象，當大客車行經彎道及超車換道容易造成車輛翻覆，目前國內車體打造廠大多是以傳統經驗方式打造車體，缺乏設計分析之能量，對於車體改造多憑自身經驗，故大客車之建造品質實為一大隱憂。大客車近年肇事率極高，每萬量之肇事為22.6件遠超過小客車每萬量之肇事1.4件，於此高承載數及高肇事率之下，大客車之安全性實不容輕視。由於目前國內大客車相關法規不夠嚴謹，政府相關單位將參考歐洲大客車上層結構強度法規ECE R66(Economic Commission for Europe, ECE)及美國校車翻覆防護法規FMVSS 220(Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS) 制定適合我國之大客車車體結構強度法規，原預定於民國一百年正式執行，但近來大客車事故接連發生，政府將提前於民國九十七年一月一日推動執行相關法規，因此大客車翻覆強度之相關研究亦積極展開。近年來國內外大客車之研究大多為探討大客車車體結構強度之研究，截至目前似無對大客車門窗開口大小、位置及個數對大客車翻覆強度之影響研究，由於台灣大客車業者過度使用上層空間而造成上層結構之強度減弱，且上層結構強度也會因門窗開口大小、位置及個數不同而受影響。由於有限元素等數值模擬方法之快速發展，現已為模擬車輛碰撞之主要工具，可有效減少實車碰撞試驗次數，進而節省大量成本。因此本論文將利用有限元素分析軟體LS-DYNA 建立大客車有限元素模型，以歐規ECE R66 為參考規範，進行大客車翻覆強度之相關研究；首先以國外某型之大客車為研究對象，依據美規FMVSS 220 之規定，建構車頂擠壓試驗之數值模擬環境，並進行模擬試驗；其次，以Belingardi 等發表之簡易車身段為研究對象，首先建構車身段翻覆模擬環境，探討以樑元素及殼元素模擬車身段骨架之差異；之後，並建構大客車全車骨架有限元素模型翻覆之數值模擬環境，以分析全車骨架變形是否能符合歐規ECE R66 安全空間之要求；此外亦進行門窗開口大小、位置、個數對大客車車體強度之影響探討，依市面上常見之大客車進行分類，建構各類型之大客車有限元素模型，依歐規ECE R66 之規定進行翻覆試驗之數值模擬分析，以分析全車骨架之變形行為，並驗核能否符合歐規ECE R66 之要求；最後，探討骨架結構之環向肋骨之完整性對翻覆強度之影響性及大客車全車(含玻璃、蒙皮)之翻覆強度探討。由數值模擬結果得知目前常見之大客車，以具七面車窗且為連續直搭環向肋骨有較佳之翻覆強度。本論文為初步之定性分析，研究成果期能作為將來大客車全車安全防護設計及國內車輛法規訂定之參考。

關鍵詞：大客車，門窗開口，翻覆，FMVSS 220，ECE R66

## 目錄

第一章 緒論.....	1	1.1 緣起.....	1	1.2 文獻回顧.....	3
本文目標.....	7	第二章 大客車翻覆安全法規.....	15	2.1 美國校車翻覆防護法規-FMVSS 220.....	15
2.2 歐洲大客車上層結構強度法規-ECE R66.....	16	第三章 大客車翻覆數值分析理論基礎.....	22	3.1 LS-DYNA 基本理論.....	23
3.1.1 運動方程式.....	23	3.1.2 時間積分.....	25	3.2 LS-DYNA 程式之應用技巧.....	25
3.2.1 前處理器.....	26	3.2.2 LS-DYNA 主程式處理器.....	30	3.2.3 後處理器.....	30
第四章 美規FMVSS 220校車車頂擠壓試驗數值模擬情境建構.....	35	4.1 美規FMVSS 220 車頂擠壓試驗之數值模擬環境建構.....	35	4.2 大客車車頂擠壓試驗之動態反應分析.....	36
4.2.1 問題描述.....	36	4.2.2 國外某型大客車全車骨架之有限元素模型建構.....	37	4.2.3 結果與討論.....	37
第五章 歐規ECE R66大客車翻覆數值模擬情境建構.....	51	5.1 歐規ECE R66 大客車翻覆試驗之數值模擬環境建.....	51	5.2 簡易車身段翻覆試驗之動態反應分析.....	52
5.2.1 問題描述.....	52	5.2.2 簡易車身段有限元素模型建構.....	53	5.2.3 結果與討論.....	53
5.3 大客車全車骨架翻覆試驗之動態反應分析.....	57	5.3.1 問題描述.....	57	5.3.2 大客車全車骨架有限元素模型建構.....	57
5.3.3 結果與討論.....	57	第六章 門窗開口大小、位置及個數對大客車車體翻覆強度之影響探討.....	79	6.1 台灣大客車門窗開口現況.....	79
6.2 不同門窗開口型式及個數對大客車全車骨架系統之影響.....	80	6.2.1 問題描述.....	80	6.2.2 有限元素模型建構.....	80
6.2.3 大客車開門、開窗之數值模擬分析.....	80	6.2.3.1 不同車門數大客車翻覆之數值模擬分析.....	81	6.2.3.2 不同車窗數大客車翻覆之數值模擬分析.....	82
6.2.3.3 不同骨架安排型式之大客車翻覆之數值模擬分析.....	83	6.3 大客車(含蒙皮、玻璃)翻覆強度之探討.....	85	6.3.1 問題描述.....	85
6.3.2 大客車全車結構(含蒙皮、玻璃)之有限元素模型建構.....	85	6.3.3 結果與討論.....	86	第七章 結	

## 參考文獻

- [1] 內政部警政署, <http://www.npa.gov.tw/> [2] 行政院交通部, <http://www.motc.gov.tw/> [3] FARS Web-Based Encyclopedia, <http://www-fars.nhtsa.dot.gov/> [4] 東森新聞報, <http://www.ettoday.com/> [5] 奇摩新聞, <http://tw.news.yahoo.com/> [6] 大紀元e報, <http://www.epochtimes.com.tw/> [7] TVBS-NEWS, <http://www.tvbs.com.tw/> [8] UNECE, <http://www.unece.org/> [9] NHTSA, <http://www.nhtsa.dot.gov> [10] 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) [11] D. Kecman and M. Djokic, "The effect and modeling of 'finite stiffness hinges' in the collapse analysis of roll-over safety rings in buses and coaches" Int. J. of Vehicle Deign, vol. 11, nos 4/5, pp.374-384 (1990) [12] Taeg Kim, "Study on the stiffness improvement of bus structure" Society of Automotive Engineers, 931995 (1993) [13] 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。
- [14] 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) [15] Toni Roca, Jordi Arbiol and Salvador Ruiz, "Development of rollover – resistance bus structures", Society of Automotive Engineers, 970581 (1997) [16] 徐康聰, 黃天澤, "客車折彎件的電腦分析", 客車技術與研究(中國大陸), 1997。
- [17] 閔永軍, 許林雲, "客車車身的降噪結構設計", 客車技術與研究(中國大陸), 1997。
- [18] 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。
- [19] 馬建, "大客車車架縱梁強度程式化計算模型探", 客車技術與研究(中國大陸), 1997。
- [20] 詹耀進, 倪少虎, "三段式高地板客車底盤的設計", 客車技術與研究(中國大陸), 1997。
- [21] 劉兆賢, "CK6980 型客車底盤車架的設計", 客車技術與研究(中國大陸), 1997。
- [22] 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) [23] 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) [24] 范志銘, "車輛傾斜穩定度檢測規範及標準比較研究", 經濟部八十八年度科技研究發展專案計畫技術報告, 1998。
- [25] 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 [26] James C. Anderson, "Rollover Crashworthiness of a New Coach Structure" Society of Automotive Engineers, 2000-01-3520 (2000) [27] Matyas Matolcsy, "Body section rollover test as an approval method for requires strength of bus superstructures", Society of Automotive Engineers, 2001-01-3209 (2001) [28] 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) [29] Jeffrey C. Elias, Lisa K. Sullivan and Linda .B. McCray, "Large School Bus Safety Restraint Evaluatoin", The 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper Number:345 (2001) [30] Giovanni 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 (2002) [31] Matolcsy, Matyas "Protection of Bus Drivers in Frontal Collisions" The 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper Number:359 (2002) [32] 辜宏恩, "大型汽車傾斜穩定度研究", 大葉大學機械工程學系碩士班技術報告, 2003。
- [33] 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。
- [34] 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。
- [35] 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。
- [36] 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。
- [37] 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。
- [38] 車輛研究測試中心, <http://www.artc.org.tw/> [39] MGA Research Corporation, <http://www.mgaresearch.com/> [40] 財團法人車輛研究測試中心, 大客車設計應用技術研討會, 2004 [41] 林智群, "車輛碰撞之動態反應", 大葉大學車輛工程研究所碩士班畢業論文, 2003 [42] 趙海鷗, "LS-DYNA 動力分析指南", 兵器工業出版社, 2003 [43] LS-DYNA THEORETICAL MANUAL, 1998 [44] LS-DYNA KEYWORD USE 'S MANUAL, V970, 2003