Journal of Science and Engineering Technology, Vol. 2, No. 1, pp. 33-41 (2006)

實車側面撞擊事故之人體損傷分析

鄧作樑[1]　吳建勳[2]　王尚文[3]
[1]大葉大學機械與自動化工程學系
彰化縣大村鄉山腳路 112 號
[2]財團法人車輛研究測試中心
彰化縣鹿港鎮彰濱工業區鹿工南七路六號
[3]中山科學研究院四所
桃園龍潭郵政 90008 附 17 之 17 號信箱

摘　要

車禍事故導致乘客死亡或受傷已造成國家與人民重大的經濟負擔及社會成本，故車輛安全爲各大車廠與消費者所關心之議題；依據統計分析，側面碰撞車禍所佔比例僅次於正面碰撞車禍所佔的比例，各大車廠與相關研究機構無不投入許多人力、物力、財力來設計或研發各式各樣的車體結構與安全配備；如側邊防撞鋼樑、側邊防護氣囊…等等的設計，均是以降低人體在車禍事故中的傷害程度爲主要目標。探討車禍事故中人體動態反應與損傷分析是進行汽車安全設計與評估首要研究之重點，因此本論文藉由 LS-DYNA3D 分析程式建構模擬實車側面碰撞試驗的有限元素模型環境，依美國聯邦車輛安全法規 FMVSS 214 所規範的方式及程序，進行一 MDB 衝擊台車側面垂直碰撞一輛駕駛座具有側面碰撞人偶之實車模型，探討與分析車體側邊結構與人偶之間的碰撞關係、車體側邊結構潰縮能量的吸收與分布情形、人偶胸部損傷指標 TTI 與能量吸收間的關係，以爲未來車體結構設計及人體安全考量之參考。同時爲探討美國聯邦車輛安全法規 FMVSS 214 所規範的方式及程序對安全性認證之適用性，建構真實車對車駕駛邊的垂直 90 度與駕駛邊的偏角 60 度側撞事故的模型，進行分析 SID 模型於真實車輛撞擊環境下所導致的損傷狀況，並與台車衝擊實車環境下之人體損傷進行比較，以提供交通部相關單位制定國家車輛安全標準法規之參考。

關鍵詞：側面碰撞，人體損傷，LS-DYNA

An Injury Analysis of Occupants in Side-Impact Collisions

TSO-LIANG TENG[1], CHIEN-HSUN WU[2] and SHANG-WEN WANG[3]
[1] Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University
112 Shan-Jiau Rd., Da-Tsuen, Changhua, Taiwan
[2] Automotive Research and Testing Center
6, Lunkung S. 7 Rd., Lu-Kung, Changhua, Taiwan
[3] Chung-Shan Institute of Science and Technology
P.O. Box 90008-17-17 Lung-Tan, Tao-Yuan

ABSTRACT

Traffic accidents are considered a danger to human safety and health as well as a cause of significant loss of human life. Statistics have shown that side-impact collisions are the second most common cause of serious motor vehicle accidents after frontal impact. Injury prevention thus is useful and significant for its relationship to the well-being of individuals and families. The result has been the development of side-impact airbags, side bars, and other protective equipment. To reduce the severity of human injury through improved automobile design and designing protection devices, the dynamic response and injury of occupants in collisions must be analyzed. This study investigates the development and validation of a vehicle, movable barrier and dummy FEM model for studying interaction. Based on the USA Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 214 (FMVSS214), a numerical model of a crash test was developed to simulate a side-impact accident. The crash simulations are performed by using the LS-DYNA3D finite element code. The dynamic response of the human body to crashes is discussed. Additionally, the injuries of occupants are measured. The simulated models obtained here have potential for evaluating vehicle crash safety and guiding the future development of safety technologies. In order to verify the adaptability of the FMVSS214 in a side-impact test, the dynamic response and injury of occupants in the 9 and 10 o'clock directions of vehicle-to-vehicle crashes are analyzed. The results of the injury analysis are compared with the MDB-to-vehicle crash test. These results can be referential in establishing future vehicle safety laws.

***Key Words*:** side-impact, injury analysis, LS-DYNA

一、前言

隨著汽車工業的快速發展，使得車輛的性能、數量及行駛速度的不斷提升，在道路交通環境繁雜的今日，車輛的碰撞機會與嚴重性亦與日俱增，造成許多型態的交通事故。依據美國道路交通安全局（National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA）的統計分析 [4]，2003 年美國境內在機動車輛中，針對車對車肇事導致死亡、受傷及車體損傷等三種結果，以車輛碰撞部位分類，正面碰撞佔了 49%，側面碰撞佔了 29.2%，後撞佔了 20.5%，非碰撞及其他不明原因只佔 1.3%。但若以導致死亡結果的車禍事故分類，側面碰撞車禍所佔比例爲 26.6%，僅次於正面碰撞車禍所佔的比例。因此在各種車禍事故中，側面碰撞車禍所造成的乘員傷亡亦是值得重視的。由於車禍事故造成國家與社會巨大的損失，因此世界各先進國家都對車輛碰撞安全性作出強制性要求，並建立了各自的法規，其中較具有代表性的如美國聯邦機動車輛安全標準（Federal Motor Vehicle Safety Standards, FMVSS）及歐洲法規 ECE 和 EEC；美國 FMVSS 中包含 26 項被動安全性法規，對車輛結構、裝置要求與乘員安全保護有一完整的要求規定。歐洲經濟委員會（Economic Commission for Europe, ECE）和歐洲經濟共同體（European Economic Community, EEC）法規係參照美國法規並根據自身特點加以修正而形成的體系，包括車輛結構、裝置與乘員保護等之認證規定，對於各項安全指標均制定詳細的試驗方法。由於車輛結構或車輛安全防護配備之設計均須滿足各項被動安全性法規之認證，因此必須於原型物件設計製作完成階段進行各項碰撞試驗，以了解車輛在發生碰撞事故時的安全特性與乘員受傷情形。

由於了解人體在真實車禍事故中的動態反應是相當困難。爲了真實呈現車禍事故的研究，各大車廠與相關研究機構，均採用實車碰撞或台車衝擊試驗來作爲研究與發展車輛結構的分析資料；而人體在車禍事故中的損傷分析則是以死屍或人偶放置於測試車輛中來獲得相關的損傷資料 [1, 3, 6-7, 14-15,20]。近年來，由於電腦科技的快速發展，電腦運算能力亦大量提升，以及數值模擬分析程式的技術成熟，使得以增加電腦模擬車輛碰撞分析的可行性與準確性，不但可以獲得更多準確的資料，而且大大地減少車輛結構的研發時程，促進車輛的研究與發展，還可降低研發成本，使得車輛價格更具競爭性。利用有限元素技巧研究車輛結構的防撞性以及乘客與車體結構間的關係，已成爲

可行的分析方法 [2, 9-13, 16-17, 19, 21]。如 Shkolnikov 等人 [16] 以 LS-DYNA 有限元素分析軟體，將側面碰撞人偶有限元素模型進行實車的模擬研究，並與實驗值作分析比較，研究結果表示模擬相當符合實驗結果，證實利用有限元素模擬的準確性與可行性，且較數學模型有更為真實的反應行為。Deng 等人 [2] 應用 CAL3D 分析軟體，以 Hybrid 建模技術探討側面碰撞防護的研究，研究結果表示側邊結構的強度、襯墊與安全氣囊的安全防護配備對人體效益，約能減少大約 10% 的 TTI（胸部損傷指標，thoracic trauma index）表現值。Stein [17] 以模擬滑撬衝擊試驗進行側邊安全氣囊的評估，並針對模擬的方式進行改良及評估準確性。然而一般以有限元素方法進行車輛碰撞的研究大多以法規測試環境的模擬為主，較少以法規的適用性為出發點進行探討。

為了了解人體在側撞事故的損傷關係並作為車體結構改良的依據，本論文藉由 LS-DYNA3D 分析程式建構模擬實車側面碰撞試驗的有限元素模型環境，依美國聯邦車輛安全法規 FMVSS-214 所規範的方式及程序，進行一 MDB（moving deformable barrier）衝擊台車側面垂直碰撞一輛駕駛座具有側面碰撞人偶之實車模型，探討與分析車體側邊結構與人偶之間的碰撞關係、車體側邊結構潰縮能量的吸收與分布情形、人偶胸部損傷指標 TTI 與能量吸收間的關係，以為未來車體結構設計及人體安全考量之參考。由於 FMVSS-214 法規所規範的方式係以衝擊台車側面撞擊測試實車結構，此種以衝擊台車模擬為衝擊實車是否符合真實側撞車禍事故，亦即 FMVSS-214 法規所規範的方式是否可做為車輛結構或車輛安全防護配備安全性之認證，故本研究將依據法規的撞擊條件，建構真實車對車駕駛邊的垂直 90 度側撞事故的模型，進行分析 SID（side impact dummy）模型於真實車輛撞擊環境下所導致的損傷狀況，並與台車衝擊實車環境下之人體損傷進行比較，以探討 MDB 衝擊台車於被動安全性法規之適用性。另在 FMVSS-214 法規所規範的方式中衝擊台車係以垂直 90 度側向撞擊測試車，而依據側撞事故統計資料顯示 [20]，傷害程度以非駕駛邊偏角 60 度（即 2 點鐘方向）撞擊事故最為嚴重，嚴重傷害（MAIS 3+）的比率佔 29.96%，其次是駕駛邊的偏角 60 度方向（即 10 點鐘方向）與駕駛邊的垂直 90 度（即 9 點鐘方向），分別為 26.25% 以及 23.46%，因此，本研究亦進行駕駛邊的偏角 60 度方向的車對車側撞分析，進而分析人偶在這樣的撞擊條件下所導致的傷害，同時與駕駛邊的垂直 90 度側撞事故的分析結果進行比較，以探討法規所規範側面垂直碰撞測試車之適用性。本論文所建立之車輛側面碰撞分析工具，可作為國內車輛側面碰撞模擬人體損傷分析的基礎，更為未來車體結構及安全防護配備之設計參考，並可運用建立我國車輛側面碰撞相關法規之訂定。

二、側撞試驗程序及規範

（一）實車側撞試驗程序

分析真實車對車側面碰撞事故中，大部分表示兩部車皆在碰撞時移動，且被撞擊車輛的速度為衝擊車輛的一半，所以美國國家道路交通安全局規範衝擊車（striking car）速度為 48km/h，測試車（struck car）的速度為 24km/h。這些數值是針對嚴重事故，基於簡化試驗的原因，不以兩部移動車輛來執行實車碰撞試驗，因此允許衝擊車以偏斜角度的運動方式，來產生正確的測試車的變形量以及表現垂直 90 度的側向撞擊。因此在法規 FMVSS-214 動態試驗中，由一輛代表美國中小型汽車的平均尺寸及重量所設計發展的 MDB 衝擊台車以垂直 90 度的角度撞擊測試車，此撞擊條件為模擬車對車側面撞擊事故所發展而來的。MDB 衝擊台車的前端撞擊面構造使用鋁製蜂巢結構材料，為模擬撞擊車的車體前部結構特性，以及針對試驗的可重複性與方便替換所發展出來的。MDB 台車重達 1367kg，MDB 台車撞擊位置為測試車輛駕駛側的乘客艙；然而為了簡化實驗程序，設定測試車輛呈靜止狀態，為模擬兩車同時運動的方式，給予 MDB 台車一個傾斜 27 度的速度方向，而以 MDB 台車車輪傾斜 27 度來表示，MDB 台車衝擊速度為 53.6km/h，如圖 1 所示。撞擊點的位置是根據真實事故統計資料顯示最嚴重的傷害事故撞擊位置。駕駛座上裝置 SID 實驗人偶以量測側向加速度值，並計算其損傷指標。

（二）損傷指標

胸部損傷指標是一個以胸部加速度為基礎所量測計算的數值，在美國聯邦汽車安全法規中可用來評估車輛側撞的防撞性。人偶胸部損傷指標 TTI 值計算式為

$$TTI(d) = \frac{RIBy + T12y}{2} \qquad (1)$$

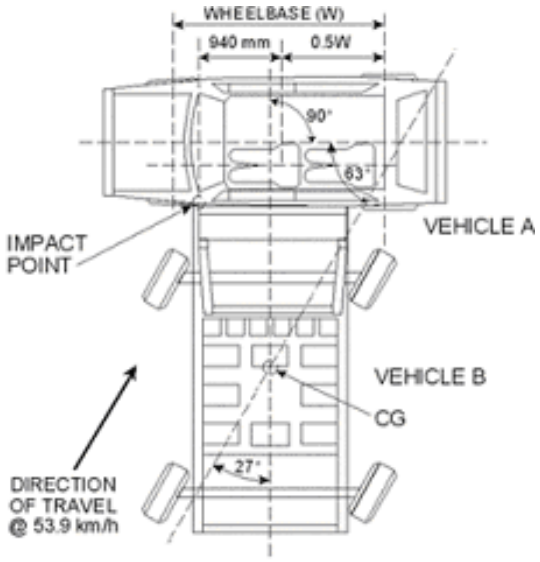


圖 1. 美規 FMVSS-214 實車碰撞試驗示意圖 [4]

其中 *RIBy* 表示人偶之上、下肋骨加速度峰值中取其最大值，*T12y* 表示下脊椎加速度峰值。在試驗中，越高的 TTI 值表示人體受傷程度越是嚴重。

美規 FMVSS-214 側撞保護安全法規中規範：實車側撞試驗結果之人偶胸部損傷標準 TTI 值須低於 85G 以下，骨盆加速度須低於 130G 以下；以此損傷標準來評估乘員受傷程度，作爲車輛側邊結構安全性的依據標準。

三、實車側撞數值模型

在本文之實車側撞數值模型係依據美規 FMVSS-214 動態試驗規範中所建構的，主要包含側撞人偶、MDB 台車及全車，所有數值模型已與實驗量測數據進行比對與調校 [18]，故對側撞數值模擬分析可有較佳的可信度。

（一）側撞人偶數值模型

本文所建立的側面碰撞人偶 SID 有限元素模型，是以實驗 SID 人偶的外型，建構其材料性質、關節特性、以及組件元素等，以成爲可變形的有限元素側撞人偶模型。本研究所建構的 SID 側撞人偶模型所採用之材料有（a）彈性材料，用於替代人體軟組織及皮膚。（b）剛性材料，用於替代人體大部分的組件。（c）泡棉包裝材料，用於替代人體肌肉組織。（d）橡膠材料，用於替代具伸縮、彎曲特性的人體組件。SID 有限元素模型，共計有 69 個組件，43874 個節點，41517 的固體元素，12803 個殼元素及 2712 個樑元素所組成。

（二）MDB 台車數值模型

美規 FMVSS214 中所規範的 MDB 衝擊台車爲代表美國中小型車輛的平均尺寸及重量所設計的，而 MDB 台車數值分析模型即根據試驗 MDB 台車的構造藉由 LS-DYNA3D 所建構發展而來 [5]。MDB 台車模型共計有 7 個組件，8908 個節點，5698 個固體元素及 150 個殼元素。

（三）全車數值模型

本文之 1991 年份 Ford Taurus 側面碰撞車輛模型是以正面碰撞模型針對側邊碰撞的考量下建構 [5]，這車輛模型的駕駛邊（即被碰撞側）被重新定義，使其更適用於側面碰撞分析研究，而車體前方的結構更爲簡化。整個模型共計有 171 個組件，49453 個節點，340 個固體元素，48141 個殼元素，142 個樑元素以及 34 個質量元素。

四、實車側撞數值模擬分析

（一）MDB 台車側撞模擬

以 MDB 台車與 Ford Taurus 側撞車輛模型根據法規 FMVSS-214 動態試驗規範的撞擊條件，藉由 LS-DYNA3D 的功能建構數值分析模型，再整合 SID 模型置於車輛模型駕駛座上。模擬的方式爲兩車運動狀態定義測試車呈靜止狀態，MDB 台車以傾斜 27 度角度的 53.6km/h 撞擊速度，如圖 2 所示；記錄人偶加速度反應，以進行模擬人體於側撞事故的損傷分析。分析結果並與 Ford 汽車公司所進行的實車側撞試驗的實驗數據 [8] 進行比較與驗證。

1. SID 人偶動態反應分析

SID 人偶動態反應如圖 3 所示。在計算時間 0 到 0.06 秒的範圍內，0 秒時車輛側邊結構受 MDB 台車撞擊開始

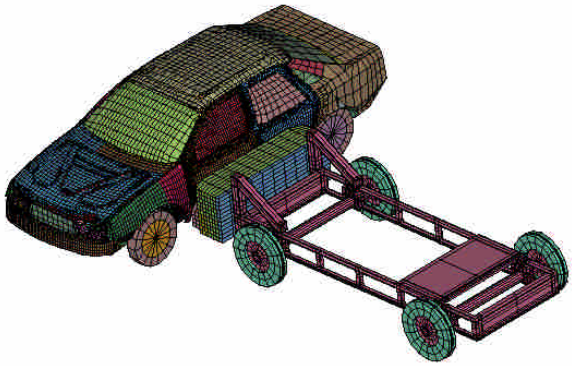
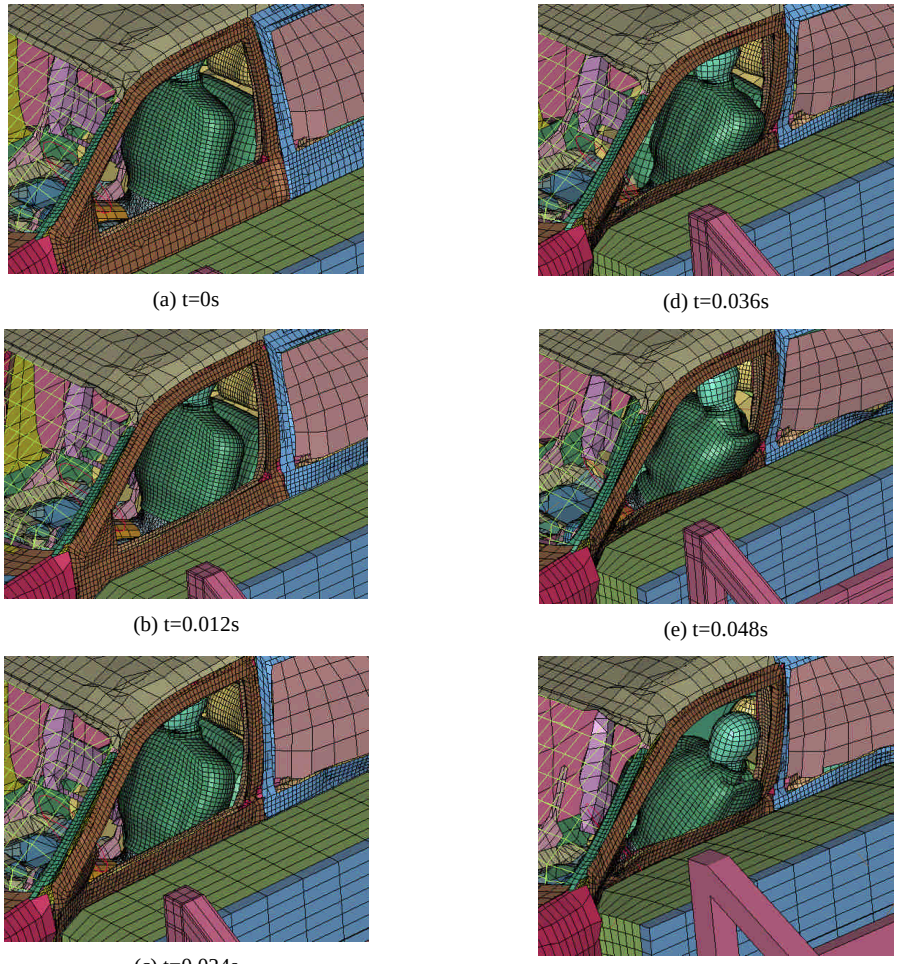


圖 2. MDB 台車側撞實車有限元素模型



(a) t=0s (d) t=0.036s

(b) t=0.012s (e) t=0.048s

(c) t=0.024s (f) t=0.06s

圖 3. MDB 台車對車撞擊模擬動態反應圖

產生變形；0.012 秒時車門接觸座椅結構，座椅產生變形；0.016 秒時車門結構發生侵入現象，扶手開始接觸 SID 人偶的腹部與臀部；0.024 秒時，車門開始接觸 SID 胸部部位；0.036 秒時，受車門不斷侵入的作用下整個 SID 人偶發生被車門帶動的現象；0.048 秒時，SID 人偶開始脫離座椅，整個 SID 人偶重心集中於胸部，產生極大的位移，此時頭部開始有鞭甩現象。0.06 秒時，頭部已擺甩出車窗外。

2. SID 人偶加速度反應

（1）SID 上肋骨加速度反應：圖 4 為 SID 上肋骨加速度歷時圖。在 0.026 秒時，車門接觸 SID 胸部部位，能量傳遞至胸部導致上肋骨加速度開始增加；當 0.031 秒發生第一次加速度峰值為 25G；在 0.035 秒時，因受車門不斷侵入的作用下整個 SID 人偶被帶動的影響，導致加速度再度增加，並在 0.041 秒時達

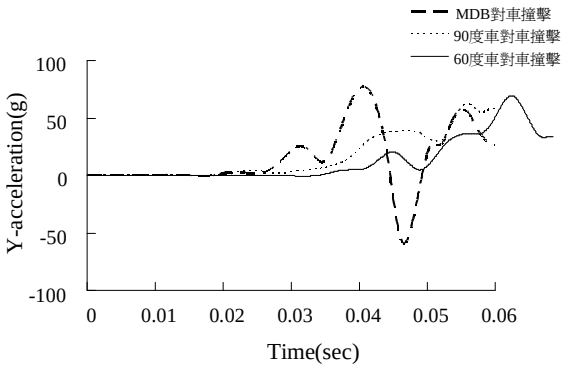


圖 4. SID 上肋骨加速度歷時圖

到第二次加速度峰值為 74.5G；在 0.047 秒時由於 SID 人偶開始脫離座椅，整個 SID 人偶重心集中於胸部，產生極大的位移，致使加速度再度增加，並於 0.055 秒時發生第三次加速度峰值為 55G。

（2）SID 下肋骨加速度反應：圖 5 爲 SID 下肋骨加速度歷時圖。在 0.026 秒時，當車門接觸 SID 胸部部位，能量傳遞至胸部導致下肋骨加速度反應開始增加；當 0.031 秒時發生第一次加速度峰值爲 34.2G；在 0.035 秒時，因受車門不斷侵入的作用下整個 SID 人偶被帶動的影響，致使加速度反應再度增加，並在 0.041 秒時達到第二次加速度峰值爲 93.3G；在 0.048 秒時由於 SID 人偶開始脫離座椅，整個 SID 人偶重心集中於胸部，產生極大的位移，致使加速度反應再度增加，並於 0.054 秒時發生第三次加速度峰值爲 36.8G。

（3）SID 下脊椎加速度反應：圖 6 爲 SID 下脊椎加速度歷時圖。在 0.02 秒時當車門結構發生侵入現象，扶手開始接觸 SID 人偶的腹部與臀部，能量傳遞至腹部，導致下脊椎加速度反應開始增加；當 0.035 秒時發生第一次加速度峰值爲 37.3G；在 0.036 秒時，因受車門不斷侵入的作用下整個 SID 人偶被帶動的影響，致使加速度反應再度增加，並於 0.042 秒時達到第二次加速度峰值爲 75.8G；在 0.048 秒時由於 SID 人偶開始脫離座椅，整個 SID 人偶重心集中於胸部，產生極大的位移，致使加速度反應再度增加，並於 0.051 秒時發生第三次加速度峰值爲 44.7G。

（4）SID 骨盆加速度反應：圖 7 爲 SID 骨盆加速度歷時圖。在 0.016 秒時當車門結構發生侵入現象，扶手開始接觸 SID 人偶的腹部與臀部，能量傳遞至腹部，導致骨盆加速度反應開始增加，並在 0.035 秒發生最大加速度峰值爲 108G。

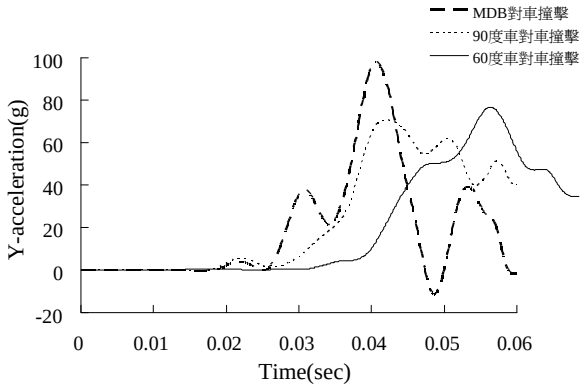


圖 5. SID 下肋骨加速度歷時圖

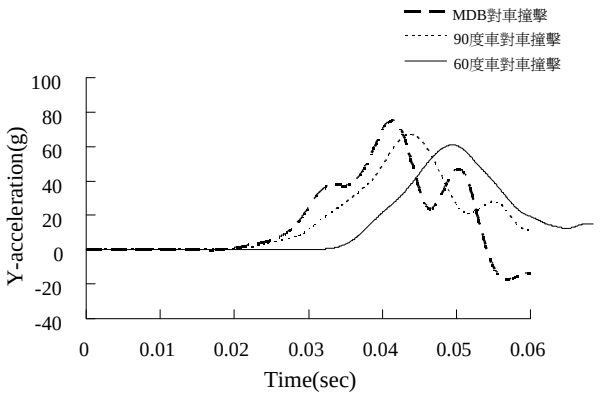


圖 6. SID 下脊椎加速度歷時圖

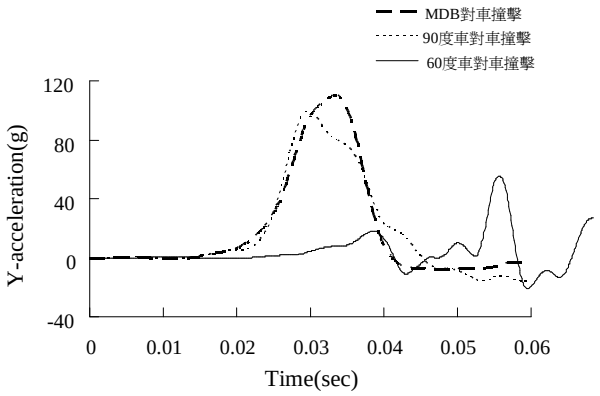


圖 7. SID 骨盆加速度歷時圖

3. SID 人偶損傷分析

（1）胸部損傷分析：以 SID 上肋骨最大峰值 74.5G、下肋骨最大峰值 93.3G 與下脊椎最大峰值 75.8G，經由 SID 的胸部創傷指標的計算獲得 84.2G，未超過法規規範之胸部創傷指標 85G，推斷人偶胸部損傷程度爲輕度、或中度傷害，但不至有死亡或重大傷害之虞。實車碰撞試驗 [8] 中表示實驗人偶 TTI 範圍介於 73-83G 之間，而模擬結果獲得 TTI 值較實驗值上限高出大約 1G，模擬值與試驗平均值誤差爲 7.6%，如表 1 所示。

（2）骨盆損傷分析：以 SID 骨盆加速度的峰值計算骨盆損傷值爲 108G，未超過法規規範之骨盆損傷指標 130G，推斷人偶骨盆損傷程度爲輕度、或中度傷害，但不至有死亡或重大傷害之虞。實車碰撞試驗 [8] SID 的骨盆損傷值爲 115.2G，與模擬的骨盆損傷指標誤差爲 4.3%，如表 1 所示。

表 1. MDB 台車對車側面撞擊人體損傷值

分析方式 / 人體部位	實驗平均值 [8]	數值模擬值
下脊椎	83.5G	75.8G
上肋骨	59.2G	74.5G
下肋骨	70.5G	93.3G
骨盆	115.2G	108.0G
TTI	78G（73-83G）	84.2G

（二）垂直 90 度車對車側撞模擬

Ford Taurus 正撞汽車（衝撞車）重量為 1210 公斤，Ford Taurus 側撞汽車（被撞擊車）重量為 1350 公斤。模擬的方式為兩車運動狀態定義測試車呈靜止狀態，衝撞車以傾斜 27 度角度的 53.6km/h 撞擊速度，如圖 8 所示；記錄人偶加速度反應，以進行模擬人體於側撞事故的損傷分析。

將車對車側撞模擬結果與實車碰撞試驗之 MDB 台車對車撞擊模擬結果進行比較與分析，由圖 4~圖 7 之 SID 加速度歷時圖中可看出，在車對車碰撞條件下，SID 的下脊椎、上肋骨及下肋骨處的加速度反應的峰值有較 MDB 台車對車的碰撞條件下的表現為低，峰值發生時間也有延遲的現象；然而骨盆加速度反應峰值雖然也有較低的表現，但是峰值發生時間提早。在人體損傷方面：在車對車碰撞條件下，SID 上肋骨最大峰值 62.3G、下肋骨最大峰值 70.5G 及下脊椎最大峰值 66.8G 可計算胸部創傷指標 TTI 值為 68.6G，較於 MDB 台車對車撞擊條件下的 TTI 值 84.2G 為小。且在 SID 骨盆損傷指標為 99.1G，亦顯示較於 MDB 台車對車撞擊條件下骨盆損傷值為 108G 為小。MDB 台車對車撞擊與車對車撞擊模擬結果比較如表 2 所示。

造成車對車側撞模擬結果與 MDB 台車對車撞擊模擬結果反應差異的原因分析如下：

1. 台車與實車撞擊接觸面的構造差異（幾何差異、材料差異），實際車輛外型的衝擊車的前面潰縮結構強度較法規的衝擊台車的峰巢結構為弱，而也有較大的潰縮區域能釋緩撞擊的能量，因此被撞擊車輛吸收較小的能量導致傳遞至人偶的能量已減少許多，人偶的加速度反應因而有較低的趨勢。
2. 實際衝擊車輛外型的前面防撞桿高度亦是造成降低人偶反應的主要因素，由於一般中小型轎車防撞桿的高度較

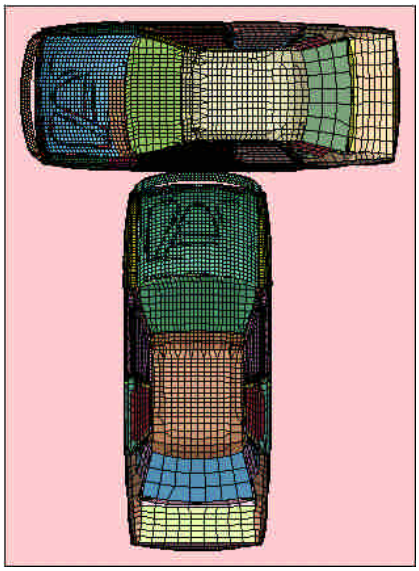


圖 8. 垂直 90 度車對車碰撞數值模型

表 2. MDB 台車對車與車對車 90 度側撞人體損傷值

撞擊型式 / 人體部位	MDB 台車-車	車-車
下脊椎	75.8G	66.8G
上肋骨	74.5G	62.3G
下肋骨	93.3G	70.5G
骨盆	108.0G	99.1G
TTI	84.2G	68.6G

MDB 台車前端蜂巢結構高度為低，當發生撞擊時，較低的防撞桿撞擊至乘客艙的底端，使得側邊結構產生侵入的現象，同時造成車底結構產生變形突起的現象，車底結構以及側邊結構吸收了大量的能量，相反地，傳遞至人偶的能量相對減少許多，因此降低乘員損傷程度；而台車或較大型車輛，因為撞擊表面的高度較高，撞擊的區域的高度幾乎等於在車內人偶的胸部位置或更高，這樣的撞擊方式，即使側邊結構吸收了些許能量，但人偶與車體撞擊的發生時間更短，人偶吸收的能量愈大，撞擊部位又為胸部及頭部等重要部位；因此，人偶的撞擊反應也就更為劇烈，損傷的程度也更為嚴重。

3. 為安全性考量，一般法規訂定的標準皆較為嚴苛，以適用於其他中小型轎車車型的碰撞需求。

（三）垂直 60 度車對車側撞模擬

模擬的方式為正撞汽車（衝撞車）與側撞汽車（被撞擊車）之運動狀態定義測試車呈靜止狀態，衝撞車以傾斜

40 度角度的 63.5km/h 撞擊速度，即是以 41.6km/h 的側向速度分量及 48km/h 的軸向速度分量來表示垂直傾斜 30 度（約 10 點鍾方向）撞擊測試車的駕駛側，如圖 9 所示；記錄人偶加速度反應，以進行模擬人體於側撞事故的損傷分析。

由圖 4~圖 7 之 SID 加速度歷時圖結果比較得知，在偏角 60 度方向撞擊而來的側撞事故，由於有較多的乘客艙緩衝空間，因此有較慢且有差異性的人偶反應，然而在乘客艙遭侵入的同時，人偶各部位的反應有較不同的變化，人偶下脊椎處的加速度峰值減少幅度約有 5G，但上下肋骨處的加速度峰值皆增加約 7G，而骨盆處的加速度峰值從 99G 降至 55G，降幅最多。在人體損傷方面：由胸部損傷指標的公式計算獲得傷害指標 TTI 爲 68.9G，相當接近於垂直 90 度撞擊的傷害指標 68.6G，顯示撞擊角度對於人體胸部損傷的影響不大。雖然 SID 人偶反應在垂直 90 度與偏角 60 度側撞事故上整體的傷害評估相似，但所造成的傷害明顯不同，尤其是在腿部以及臀部部位。垂直 90 度車對車撞擊與偏角 60 度車對車撞擊模擬結果比較如表 3 所示。

五、結論

爲探討美國聯邦車輛安全法規 FMVSS 214 所規範的方式及程序對安全性認證之適用性，本文藉以 LS-DYNA3D 有限元素分析軟體以及美規可變形 SID 有限元素人偶模型，建構一套車輛側向撞擊及人偶損傷分析模型。爲評估真實事故型態的乘員安全性，並使用所建立的側撞分析工具，以事故統計的資料爲基礎，進行兩種車對車的撞擊型態的模擬分析，進而探討乘員的傷害反應，並針對側撞分析的方法提出建議。由本研究分析結果得知，以實際車對車側面碰撞與 MDB 台車對車側面碰撞的模擬結果分析比較，顯示前者其 SID 人偶碰撞反應的模擬結果較低，實屬合理之考量，而法規訂定的標準本應較爲嚴苛，以適用於其他中小型轎車車型的碰撞需求。另以垂直 90 度與偏角 60 度車對車撞擊事故進行分析，在相同衝擊車的速度下，雖然受撞擊的角度不同，但所導致的乘員胸部的傷害程度影響不大；然而所造成乘員骨盆傷害卻大爲不同。本研究所建立之模型爲評估側撞條件下乘員安全相關研究的最佳分析工具，同時亦可提供汽車業者或相關測試單位作爲數值模擬分析工具。特別是我國目前並無相關車輛被動安全性認證法規的訂定，本研究所建立之數值分析工具與側撞安全法規之探討，再配合車輛研究測試中心實車碰撞實驗室的各項車輛碰撞測試裝備，可充分協助交通部相關單位制定國家車輛安全標準法規，使國內能與國外車輛工業先進國家並駕齊驅，達到增進產品設計開發之品質與效能，以及促進國內車輛產業升級轉型的目的。然而訂定國家車輛安全標準法規或者研發車輛安全防護裝置，應針對實際車禍事故之特徵作爲參考依據，方可有效降低交通事故之乘員傷亡，但由於目前台灣交通部及內政部的交通事故統計資料僅有事故次數與傷亡人數等，缺乏交通事故之車輛類型、碰撞類型、發生時間及損傷部位等資料，故應儘速仿照歐美各國建立正確而詳細的交通事故統計資料庫。

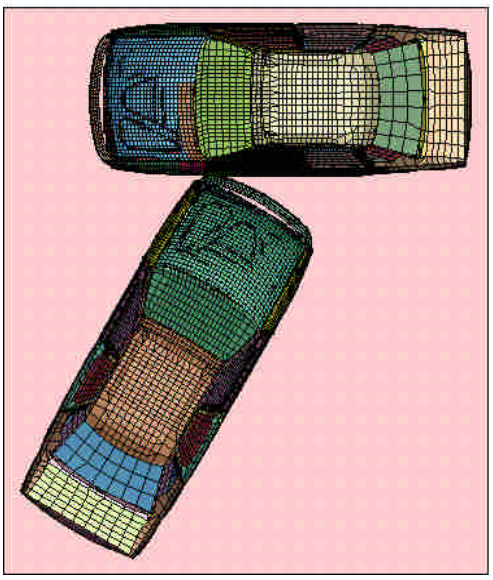


圖 9. 偏角 60 度車對車碰撞數值模型

表 3. 垂直 90 度與偏角 60 度的車對車側撞人體損傷值

撞擊角度 / 人體部位	車-車 垂直 90 度	車-車 偏角 60 度
下脊椎	66.8G	61.1G
上肋骨	62.3G	69.2G
下肋骨	70.5G	76.6G
骨盆	99.1G	55.5G
TTI	68.6G	68.9G

參考文獻

1. Augenstein, J., J. Bowen, E. Perdeck, J. Singer, T. Horton, A. Rao, K. Digges, A. Malliaris and J. Steps (2000) Injury

patterns in near-side collisions. *SAE Paper No. 2000-01-0634*.

2. Deng, Y. C. and B. Tzeng (1996) Side impact countermeasure study using a hybrid modeling technique. *SAE Paper No. 962413*.
3. Farmer, C. M., E. R. Braver and E. L. Mitter (1996) *Two-vehicle Side Impact Crashes: The Relationship of Vehicle and Crash Characteristics to Injury Severity*. Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, TX.
4. http://www.nhtsa.gov/
5. http:/www.ncac.gwu.edu
6. Huelke, D. F., H. W. Sherman and J. L. Steigmeyer (1989) Side impacts to the passenger compartment-clinical studies from field accident investigations. *SAE Paper No. 890379*.
7. Hultman, R. W., T. G. Laske, C. C. Chou, G. G. Lim, E. I. Chrobak and M. T. Vecchio (1991) NHTSA passenger car side impact dynamic test procedure-test-to-test variability estimates. *SAE Paper No. 910603*.
8. Hultman, R. W., T. G. Laske, C. C. Chou, G. G. Lim, E. I. Chrobak and M. T. Vecchio (1991) NHTSA passenger car Side impact dynamic test procedure-test-to-test variability estimates. *SAE Paper No. 910603*.
9. Kirkpatrick, S. W. (2000) Development and Validation of High Fidelity Vehicle Crash Simulation Models. *SAE Paper No. 2000-01-0627*.
10. Malkusson, R. and P. Karlsson (1998) Simulation method for establishing and satisfying side impact design requirements. *SAE Paper No. 982358*.
11. Maruthayappan, R., A. Rao, V. Gupta, R. R. Samaha and T. J. Trella (1999) Improved finite element SID for in-vehicle simulation. *SAE Paper No. 1999-01-0716*.
12. Marzougui, D., C. D. Kan and N. E. Bedewi (1997) *Development and validation of an NCAP simulation using LS-DYNA3D*. FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, The George Washington University, Ashburn.
13. Midoun, D. E., M. K. Rao and R. Kalidindi (1991) Dummy models for crash simulation in finite element programs. *SAE Paper No. 912912*.
14. Salwender, H. J. (1993) *Injury Severity of Restrained front Seat Occupants in Car-to-car Side Impacts*. University of Heidelberg, Germany.
15. Schuller, E., G. Beier and T. Steiger (1989) Injury patterns of restrained car occupants in near-side impacts. *SAE Paper No. 890376*.
16. Shkolnikov, M. B., R. Dholakia and M. S. Surtani (1996) Numerical simulation of a vehicle side impact test: development, application and design iterations. *SAE Paper No. 960101*.
17. Stein, D. J. (1997) Apparatus and method for side impact testing. *SAE Paper No. 970572*.
18. Teng, T. L., C. C. Liang, C. P. Peng and C. H. Wu (2003) The study of SID finite element model. The 27th Conference on Theoretical and Applied Mechanics, Tainan, Taiwan.
19. Tominaga, K., S. Yamaguchi and K. Kizuki (1996) Numerical analysis of side impact phenomena using MADYMO-3D DOT-SID dummy. *SAE Paper No. 962414*.
20. Zaouk, A. K., A. M. Eigen and K. H. Digges (2001) Occupant injury patterns in side crashes. *SAE Paper No. 2001-01-0723*.
21. Zaouk, A. K. and D. Marzougui (2002) *Development and validation of a US side impact moveable deformable barrier FE model.* FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, The George Washington University, Ashburn.

收件：94.03.22　修正：94.05.30　接受：94.08.22