



側面碰撞乘員損傷分析 技術之研究

財團法人車輛研究測試中心 吳建勳

一、前言

車輛碰撞事故所造成人民生命財產安全危害以及社會經濟的負擔是相當龐大的，而在所有碰撞事故中，因轎車數量多，且速度快，所造成乘員及行人傷亡程度相對嚴重，故轎車碰撞事故亦為社會大眾最關心的議題。美國轎車碰撞事故型態比例分類(圖1)中，側面碰撞比例僅次於正面碰撞，然而就乘員傷害統計資料觀察，側面碰撞事故所造成的乘員傷亡程度往往更甚於正面碰撞事故。因此如何保護乘員於側面碰撞事故中，降低傷害機率，增加生存機會，減少傷亡程度，為車廠、政府與社會大眾共同努力的議題。

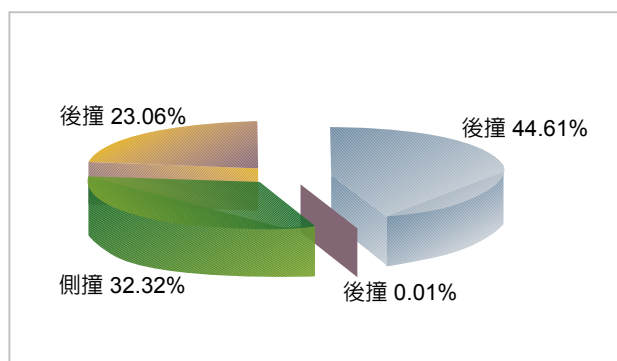


圖1 美國國家車輛(轎車)碰撞事故統計資料

本文將簡介車輛側面碰撞下乘員安全的研究狀況與國內外現行法規等，並介紹乘員安全評估與電腦輔助工程分析方法，提出改善側碰撞安全的對策，以期後續能運用此本文提出的方法與技術應用於車輛產業上，對於國內車輛安全研究與行車安全能有所助益。

二、整車側面碰撞乘員安全研究狀況

根據車對車側碰撞事故統計[1]，當事故發生時，乘員各部位受傷致死機率，如圖2所示。故導致側碰撞乘員傷亡部位多集中在頭部、胸部、腹部及臀部。在真實的側面碰撞事故中，人體會直接接觸車輛因碰撞變形的側邊結構，容易受傷而造成龐大的社會成本與醫藥負擔。茲將各部份受傷分析如下：

1. 胸部因車門侵入變形，首當其衝，成為受傷機會最高且程度最嚴重的乘員傷害部位；
2. 腹部處因靠近車門扶手，且腹腔內有許多重要器官，故亦為導致乘員傷亡原因之一；
3. 頭部因有撞擊車窗並觸及外部物之危險，且受

創後往往導致乘員死亡，亦不可忽視；

4. 臀部受創容易造成乘員下半身癱瘓。

因此，在側碰撞事故的分析研究中，皆針對人體頭部、胸部、腹部及臀部所造成的傷害反應，進而發展車輛側邊結構安全防護方面的研發。

車廠及研究單位為準確評估車體碰撞性能，提供開發設計參考，故共同研究開發車輛碰撞使用的假人以替代真人反應，成為車輛碰撞安全性能的評估工具。

人體側碰撞耐受度研究於1970年代展開，1980年代美國運輸部運用許多人體試驗數據開發出第一代美規車輛側撞假人(US-DOT SID)，而歐洲地區亦於1990年依據事故統計與人體試驗資料開發出歐規第一代側撞假人(Euro-SID-1)，後來更修正一代假人準確性問題，發展出第二代側撞假人(Euro-SID-2)。而兩地區因區域情勢與事故統計資料結果之差異，所開發出側碰撞假人，於適用條件及損傷機制計算皆不同。在車輛產品國際化與法規調和發展的同時，在不久的未來，將開發出適用於美國、歐洲地區及其他國家更真實準確反應真人碰撞行為的側碰撞假人(World-SID)，如圖3所示。

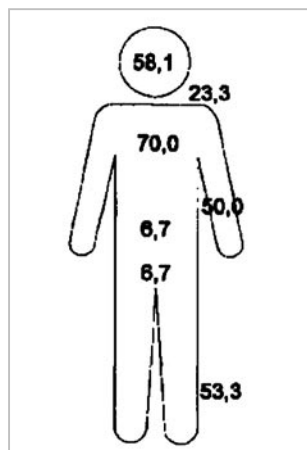


圖2 車禍事故乘員身體各部位受傷百分比

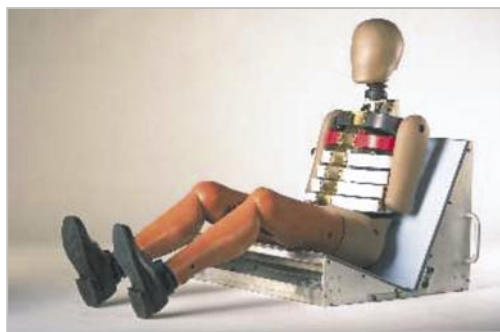


圖3 調和法規的側碰撞假人(World-SID)

三、整車側面碰撞安全法規概要

為了減輕車輛碰撞事故對人類造成的傷害，車輛工業發達的國家針對車輛碰撞事故中常見的人體損傷和其他危害制定了相應的碰撞安全法規，主要為美規(FMVSS-214)及歐規(ECE-R95)。

美國與歐洲現有的側面碰撞法規試驗方法差別較大，主要表現在移動台車、尺度、碰撞形式、假人、碰撞速度、碰撞點的位置、乘員損傷評價等方面，執行需求差異如表1所示。

表1 歐規及美規側碰撞法規執行需求差異

	ECE-R95 (歐洲)	FMVSS-214 (美國)
碰撞型式		
台車重	950 kg	1366 kg
台車碰撞表面	6部份Honeycomb	2部份Honeycomb
衝擊速度	50 km/h	33.5 mph
衝擊角度	台車運動方向與目標車縱軸線呈90度	台車運動方向與目標車縱軸線呈63度
假人	駕駛座側前後座各一具US-SID	前駕駛座一具EURO-SID
損傷指標	頭、胸、腹、臀	胸部、臀部



四、整車側面碰撞假人損傷需求

歐規與美規車輛側碰撞法規所採用的假人評價標準有很大的不同(表2)。歐規假人(Euro-SID)主要以變形量與碰撞力機制來制定損傷標準，表示車體結構側邊侵入變形量與侵入速度以及撞擊力為造成乘員傷害的主要原因；而美規假人(US-SID)以加速度(慣性)的機制為主，表示車體結構側邊侵入撞擊力為造成乘員傷害的主要原因，其假人構造的設計亦因此不同。

表2 歐規及美規假人損傷指標比較

損傷規範	Euro-SID	US-SID
頭 部	頭部損傷指標HPC ≤ 1000	無
胸 部	肋骨變形量 RDC $\leq 42\text{mm}$ 胸部黏滯指標 V*C $\leq 1.0\text{m/s}$ 腹部受力峰值 APF $\leq 2.5\text{kN}$	胸部損傷指標 TTI $\leq 85\text{G}$ (四門房車) ; TTI $\leq 90\text{G}$ (兩門房車)
臀 部	恥骨受力峰值 PSPF $\leq 6\text{kN}$	骨盆加速度峰值 Pelvis G $\leq 130\text{G}$

4. 避免腹部受到撞擊力過大造成腹腔器官破裂大量出血，腹部受力峰值(APF)不得超過2.5 kN。
5. 避免臀部受到撞擊力過大，造成骨盆腔受傷導致下半身癱瘓，臀部受力峰值(PSPF)不得超過6 kN。

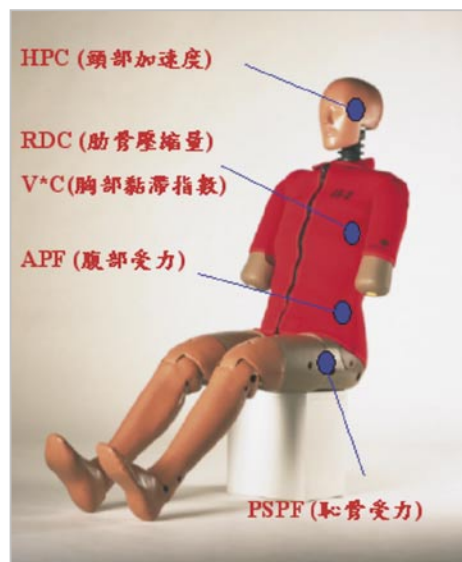


圖4 歐規假人(Euro-SID)損傷計算部位

其中，歐規假人的損傷需求(圖4)包含：

1. 避免腦部於顱內碰撞傷害的程度，由頭部加速度所計算的頭部保護性能HPC值不得超過1000。
2. 避免因側碰撞擠壓胸腔內器官生存空間，歐規假人共有三根肋骨，每一肋骨壓縮變形量(RDC)不得超過42 mm。
3. 避免因側碰撞擠壓胸部的速度過快，每一肋骨黏滯指數(V*C)不得超過1.0 m/s。

相對而言，美規假人的損傷需求(圖5)包含：

1. 避免胸部內器官因遭受側碰撞的撞擊力導致加速度值(慣性)過大所造成傷害，由胸腔內最上端(LUR)與最下端(LLR)肋骨加速度以及脊椎第十二節處(T12)的加速度，綜合計算的TTI值不得超過85 G。
2. 避免因臀部撞擊力過大導致骨盆器官加速度值過大造成傷害，骨盆加速度值(Pelvis G)不得超過130 G。



圖5 美規假人(US-SID)損傷計算部位

五、整車側碰撞乘員損傷分析概要

由於執行破壞性測試來驗證其車體結構之安全性將耗費大量測試費用，若運用電腦模擬分析技術於車體設計分析與假人損傷評估上，將可大大降低時間與成本，由於分析可探討各種使用狀況，所以亦可累積許多數據資料，作為未來車體碰撞性能設計之相關運用，因此本中心針對車輛側碰撞乘員損傷，以電腦分析的方式虛擬法規(ECE-R95)之測試程序，評估假人損傷反應是否符合要求，確認車體防側撞性能。分析流程如下所述：

(一) 執行全車側碰撞CAE分析

依據歐規整車側碰撞安全法規(ECE-R95)條件執行CAE分析模擬(圖6)，採用車輛碰撞專業軟體cta\VPG 3.0之ES1假人及MDB台車CAE模型執行本文分析研究，並進行車體動態反應與結構變形歷程分析。

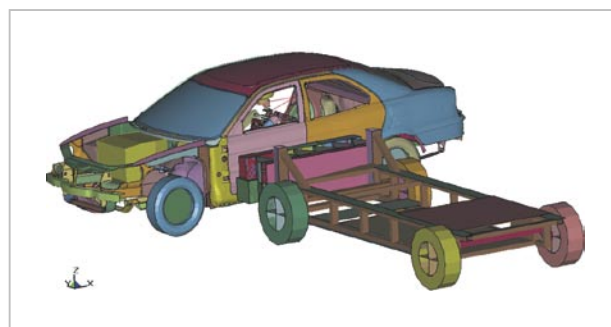


圖6 整車側碰撞CAE分析

(二) 觀察假人碰撞動態歷程

假人損傷反應主要為假人與車內空間部件接觸所造成，觀察每一時間點假人的碰撞動態歷程(圖7)，並分析假人各部位加速度反應(圖8)，評估造成假人各部位損傷的原因。

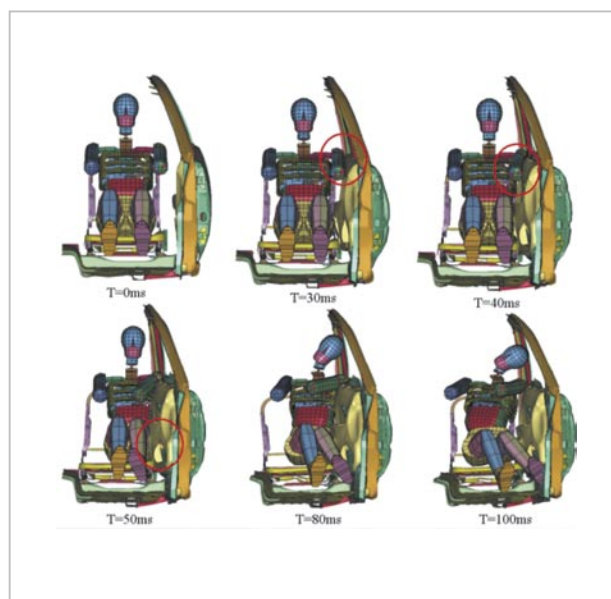


圖7 歐規假人側碰撞分析動態歷程行為

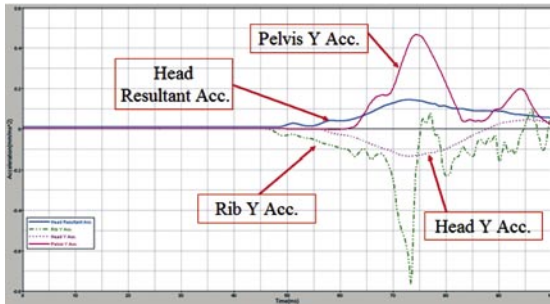


圖8 假人側碰撞分析各部位運動歷程訊號

(三) 計算假人損傷反應訊號

計算假人各部位損傷訊號(圖9)，並與假人動態歷程行為做一比對，探討其損傷反應訊號影響原因並計算損傷結果檢視是否滿足法規需求(表3)。

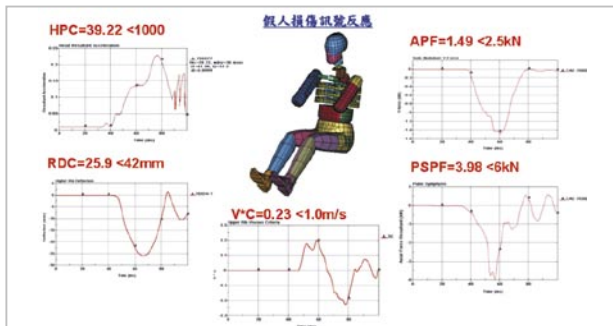


圖9 歐規假人側碰撞分析損傷訊號結果

表3 歐規假人側碰撞分析損傷反應結果

假人反應量測需求	法規要求	CAE值
頭部HPC值	< 1000	39.22
肋骨壓縮變形量 (RDC)	< 42mm	H:25.9
		M:15.7
		L:10.8
胸部黏滯指數 (V*C)	< 1.0m/s	H:0.23
		M:0.12
		L:0.08
腹部峰值力 (APF)	< 2.5kN	1.49
肋骨聯合峰值力 (PSPF)	< 6kN	3.98

六、整車側碰撞乘員損傷改善設計方案

車輛碰撞安全法規為設計及改善的依據，而改善並提升碰撞安全性的措施皆是以直接或間接降低法規所規定的假人傷害指標為目標，主要以車輛結構緩衝、吸能措施與乘員保護為訴求。

而車輛側面碰撞防護主要分為車身碰撞及拘束系統二方面。車身結構強度為影響安全性最主要因素，故一般整車側碰撞安全性能改善對策為車身碰撞安全對策為主，拘束系統安全對策為輔。然而車身變更設計所耗費成本極大，在沒有更好的設計變更時，適度採用拘束系統安全對策，亦可大大增加保護效果。

(一) 車身碰撞安全對策

側面碰撞時車身變形空間小，所以側面碰撞受傷的危險性比正面碰撞高的多，為了加強乘員保護，車門、車門檻與車身柱都要設計成剛性結構，並且越來越多地採用防側碰撞空氣囊，來減輕乘員因二次碰撞造成的傷害。實現側面碰撞防護的思想是係將側撞力有效地轉移到車身具有保護作用的 cross member、A.B.C pillar、Floor、Roof及其他部件，使撞擊力被這些部件分散、吸收，進而把可能造成的傷害降低到最小程度(圖10)。因此，我們可採用以下措施：

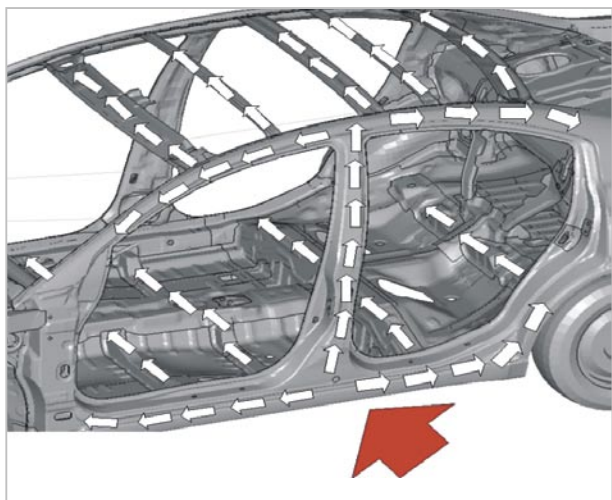


圖10 車體側碰撞力傳遞概念

1. 增加車門強度，包含增加板厚，增加防撞鋼樑（圖11）。



圖11 車體防側撞鋼樑示意圖

2. 增加車身側邊結構強度，包含增大A,B,C柱截面形狀及板厚，加強車身與車門連接區域，車身與車門檻及車體橫樑連接區域。
3. 增加車門檻樑(Side Sill)強度，包含增大承載面積，在樑內增加加強板，填充發泡樹脂。

4. 安裝橫樑系統，包含B柱上端，儀表板及後擋風玻璃下端。
5. 增加車門鉸鏈強度。

(二) 拘束系統安全對策

在拘束系統安全對策中，因安全帶系統於側碰撞較無保護作用，且撞擊空間有限，僅能從車門內飾板設計及加裝側碰撞空氣囊，藉以吸收乘員與車內部空間撞擊能量，達到降低乘員傷害的目的。兩項主要應用對策說明如下：

1. 車門內飾板設計襯墊 (padding)

車身內飾板材質較"軟"，除避免乘員與堅硬的車身鈑件發生撞擊外，並阻隔遭破裂變形的金屬鈑件割傷乘員，此外增加適合的包裝材料，更可局部吸收當發生側撞時乘員與車門之間的撞擊能量。由文獻得知，車門襯墊的設計最多可降低10~15%的乘員傷害值，為乘員腹部及臀部保護性能的有效方案。

2. 側碰撞空氣囊

空氣囊為車體設計外有效提升整車側碰撞安全性之輔助工具，空氣囊設計概念為：在車輛發生碰撞後，乘員與車內構件碰撞前，迅速地在兩者之間打開一個充滿氣體的氣墊，使乘員"撲"在氣墊上，以緩和衝擊並吸收碰撞能量，進而達到減輕乘員傷害程度的目的。

側碰撞空氣囊主要目的是保護頭部與胸部兩個部位，保護胸部的氣囊大多安裝於座椅和



車門上，保護頭部的氣囊大致安裝在B柱及AB柱橫梁間。根據氣囊安裝位置不同，側碰撞空氣囊分類為圖12所示。



圖12 各式側碰撞氣囊

七、結論

本文對於整車側碰撞乘員損傷分析技術作了概略性的探討，並規劃出一車輛側碰撞安全性設計的流程概念圖(圖13)，後續期能運用法規、檢測與設計分析等技術，並結合業界實務設計經驗共同提昇車體側碰撞安全設計技術，降低乘員傷害機會與程度，為社會大眾提供一個安全且舒適的行车環境貢獻心力。

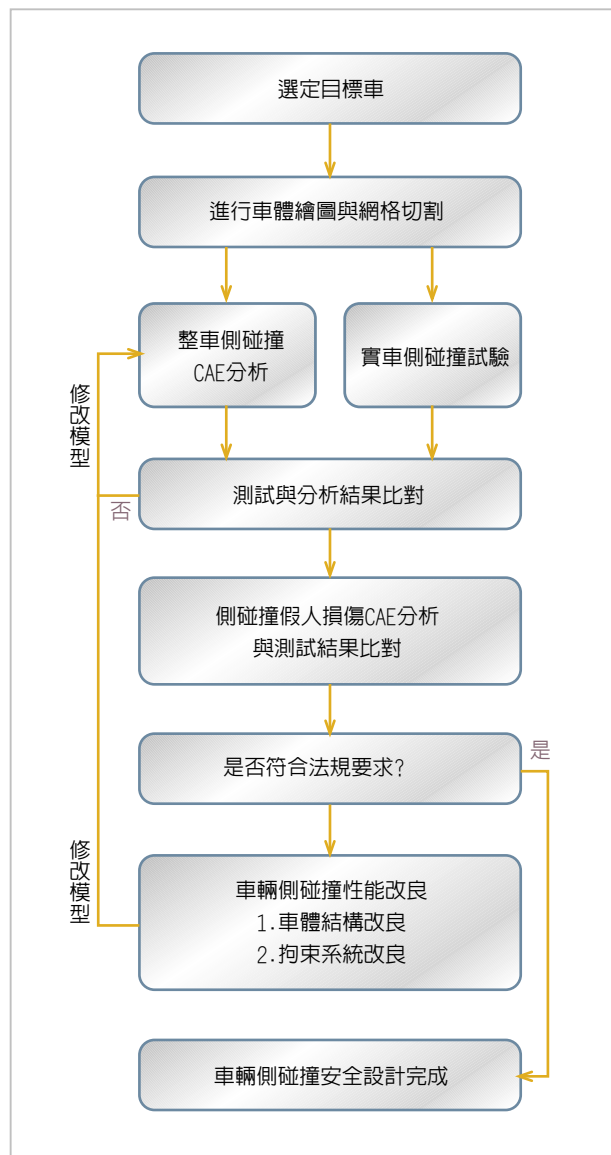


圖13 整車側碰撞安全性設計分析流程

八、參考文獻

- [1] <http://www.nhtsa.gov/>
- [2] 歐洲ECE-R95法規條文
- [2] 美國FMVSS-214法規條文
- [3] 李肇豪, 吳建勳, 車輛側碰撞分析技術報告, 車輛研究測試中心, 民94.
- [4] Shkolnikov M. B., Dholakia, R., Surtani, M. S., "Numerical Simulation of a Vehicle Side Impact Test: Development, Application and Design Iterations", SAE Paper No. 960101, (1996)
- [5] Shkolnikov, M.B., Dholakia, R., Surtani, M. S., "Numerical Simulation of a Vehicle Side Impact Test : Development, Application and Design Iterations", SAE Paper No. 960101, (1996)
- [6] Maruthayappan, R., Rao, A., Gupta, V., Samaha, R.R., Trella, T.J., "Improved Finite Element SID for In-Vehicle Simulation", SAE Paper No. 1999-01-0716, (1999)
- [7] Laboratory Test Procedure For FMVSS No.214 "Dynamic" Side Impact Protection, NHTSA, August, (1999)
- [8] European New Car Assessment Programme "EuroNCAP " Side Impact Testing Protocol, Version 4.1, March 2004.
- [9] LS-DYNA 970 Keyword User's Manual Volume I, LSTC., 2003.



ACC (頸部加速度)

ADC (肋骨壓縮量)

ATC (胸部黏滯指數)

ATF (腹部受力)

TSPFT (肋骨受力)

