

以 ADAMS/NASTRAN 模擬小型乘用車於測試道路之走行表現  
The Driving Response Simulation in ARTC Test Course on a Passenger Car

謝志明 歐壯彥 張羽寬

Hsieh Chih-Ming、Ou Chuang-Yen、Chang Yu-Kuan

國瑞汽車公司 研發中心

Kuozui Motor、Research & Development Center

### 摘要

車輛開發過程中、整車的操控性與乘坐舒適性是重要的確認項目之一。若能在開發階段準確預知完成車的性能將有助於設計者進行系統諸元的最佳化設定及減少試驗者的試驗回數。

本文係利用 ADAMS 機構分析軟體搭配 NASTRAN 有限元素分析軟體對本公司生產與開發中之小汽車進行實際路面走行模擬、目的在於累積現有車輛的分析經驗、確實掌握分析技術、以供日後開發車輛的走行性能預測運用。進行流程是先以車輛構造建立 ADAMS 模型後、依實際測試條件設定進行分析、所得結果供 NASTRAN 實施強度分析計算。計算結果除以 MATLAB 進行理論解的對照外、並佐以車輛研究測試中心(ARTC)的實測值進行檢証。就檢証結果來看、ADAMS/NASTRAN 計算值與實測值趨勢相當一致、顯示此一計算手法所得的資料有一定的可信度。以此計算手法為基礎進行分析工作、當可充分表現次期開發車的性能、運用在車輛開發檢測工作上應可有效低減試驗成本與縮短開發時間。

### ABSTRACT

In the process of developing a car, it's important for researchers to confirm if the car is easy to control or is comfortable for the drivers and passengers. If researchers can predict a car's property at the development stage, it will be helpful for the researchers to set up the items in the system and reduce the times of making experiments.

In the present study, researchers used cars developed and produced in Kuozui as models to make driving simulation by ADAMS and NASTRAN. The purpose of this study was to increase researchers' experiences and techniques in analysis in order to develop a new car. The procedure to do the research in the present study was to set up on ADAMS model

according to the present cars first. And then analyze each item based on real-road test condition. Finally, the results were calculated by NASTRAN system to make sure structure stiffness of the cars is enough.

The calculation results were proved both by MATLAB and by ARTC's measurement results. The study showed the coherence between ADAMS/NASTRAN calculation results and measurement results, which represented the reliability of the methodology. The analysis based on the process of calculation mentioned in the present study could fully predict the property of cars, which can reduce the cost of experiments and time in developing and testing a car.

## 一、前言

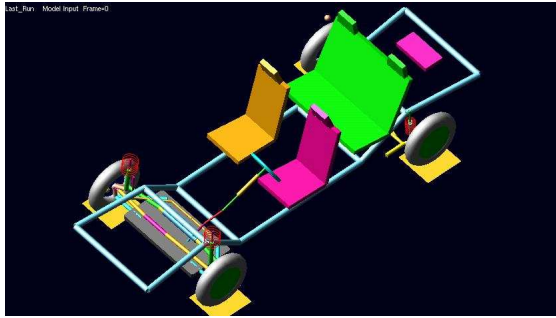
近年來、由於休閒風氣興盛與消費習慣改變、車輛的乘坐舒適性越來越被重視、對各車廠而言、除了加速充實內裝配備之外、也考驗底盤設計人員的能耐。在開發時間短、性能表現要求高的前提下、設計人員過去的設計經驗與試誤法往往不能完全因應時間上的挑戰。為此國瑞在現今新車型的設計開發上、運用電腦輔助分析軟體希望能提高開發效率並具體達成開發目標。

本次的開發工作主要在於現行生產中的四門小轎車採用中間梁形式的後懸吊系統、由於中間梁結構支持剛性強並可搭配扭力桿作用、且零件數少使用便利頗受好評。但由於無適當的分析軟體、過去以來皆於大部開發完成後方由試驗單位進行實物試驗、時間上的耗費不甚經濟、如何在開發前期運用 CAE 軟體進行適當的模擬、以早期回饋設計人員將有助於縮短開發時間與提高設計完成度。因此如何以現有的分析軟體搭配合理的進行手法以獲得可信的計算結果是本次嘗試的方向。

## 二、分析模型

就本案的影響因子而言、除了多項零件構成外、零件間機構運動與彈性變形等問題、通常無法藉由簡單的計算得到時域下的加速度變化、因此需藉由電腦輔助分析軟體 ADAMS 建構模型、進而計算系統整體的行為。

本文中的模型包括大部分的底盤零件及部分的車體零件、並加入適當的配重以表示試驗時乘員體重與計測儀器的重量。相關組成建請參照圖一與表一。



圖一、模型之組成示意圖

表一、模型之組成零件與數量統計表

系統名	主要構成品數
前懸吊系統（含剎車系統）	27
後懸吊系統（含剎車系統）	14
轉向系統	8
車身系統	2
乘員與配重	5
路面	4
合計	60

模型的組成零件均依設計人員提供之座標與質量而建立、但基於為縮短計算時間電腦容量的考量、車身部分(含引擎系統)僅以底板衍架(Frame)代表、但依實際量測之全車重心與質量進行設定、經比較靜止狀態下的四輪負荷可見計算值與實測值相近、預期模型應無重大的疏漏缺憾。

表二、靜態前後軸重量測比較

	左前輪	右前輪	左後輪	右後輪	備註
ADAMS 模型計算值	404	403	293	291	單位: kg
實車量測值	408	410	289	283	
差異	-0.98%	-1.71%	1.38%	2.83%	

此外基於中間梁的可撓特性需另外準備此單品之有限元素模型(FEM MODEL)、以供 NASTRAN 計算彈性體的作用、此處的有限元素模型以統合 CAE 軟體作成,節點間距約為 10.0mm、分割之節點與元素數量如下表三所示。此一模型若加以扭轉負荷設定計算、以平衡後的角度變化與扭矩關係即可求得中間梁的扭轉剛性值、所得數值(112Nm/deg)與實驗值(118Nm/deg)相近、顯示有限元素模型具有相當的可信度。

表三、零件分割之節點與元素數量統計表

零件名稱	Elements	Nodes
中間梁	5609	5580

有限元素模型經格式轉換後以 NASTRAN 進行 NORMAL MODE 分析後即可交由 ADAMS/FLEX 從事分析、但由於有限元素模型分割過細、雖然可以充分表露彈性體的行為、不過在運算時間方面讓分析人員吃了極大的苦頭。基於 ADAMS 與

NASTRAN 間的格式交換程序繁雜且運算時間長、因此本文將暫不以 ADAMS/FLEX 進行討論。

### 三、分析方法與基本假設

本案以 ADAMS R12 搭配 NASTRAN 2001 版本軟體進行分析、主要關注對象為車身行走期間的加速度變化、檢討過程中除以 Matlab 進行四分之一車的計算實施檢證外、並委託車輛研究測試中心(ARTC)進行實車量測。量測內容除後輪輪心的加速度、輪心與車身的相對變位外、亦對中間梁的多處量取其應變量、藉以驗證模型的正確性並可 NASTRAN 強度分析進行比較、整體 CAE 分析流程請參閱表四。

因車兩以等速度進入波狀路段與積水路段、此期間內無加減速度及轉向行為發生、因此輪胎轉動效應將予忽略。路面起伏狀況則以輪胎與地面相接的接地点舉昇行程變化來表示。又輪胎與地面的接觸關係以 Bushing 配合 ADAMS 內定的 Contact 功能進行條件設定。

表四. CAE 分析流程

CAE 工作項目	入力條件來源	計算結果	驗證
ADAMS 同相路面入力計算(全車)	ARTC 路面及其試驗方法	加速度 變位軌跡 負荷變化	MATLAB 1/4 車計算 ARTC 加速度量測
NASTRAN 強度計算(中間梁)	ADAMS 計算結果(負荷變化)	中間梁剛性 應力應變	ARTC 應變量測
ADAMS 逆相路面入力計算(全車)	ARTC 路面及其試驗方法	加速度 變位軌跡 負荷變化	ARTC 加速度量測
NASTRAN 強度計算(中間梁)	ADAMS 計算結果(負荷變化)	中間梁剛性 應力應變	ARTC 應變量測

由於中間梁的撓性特性兼具部分平衡桿作用、若設定為全剛體則不符實際的行為、此處暫將其中間梁分割成相對稱的二件零件、並在其對稱中心設定扭轉彈簧以表現其扭轉剛性。由於中間梁的斷面與形狀並不規則、不易藉由簡單的數值計算得到、因此此扭轉剛性依前述的中間梁有限元素模型的力矩與變扭轉角度關係計算而得、依實際的作用行為來看、應屬合理。

此外、本案車輛結構的阻尼率(Damping Ratio)概定其值為 0.001。數值計算時假設避振器減衰力表現仍屬於第一段線性區間(0~0.1m/s)。又因考慮分析的方便性與實際的

作用狀況、暫不考慮磨擦力及橫風作用。

### 三、實驗概述

在實車實物試驗部分、乃委託車輛研究測試中心實施、以該中心現有路面為主進行各式路面的走行量測、路面與車速規制按車輛研究測試中心(ARTC)既有路面為主、概分為四區十八種路面、請參閱表五、預期將可充分代表台灣地區的大部分的路面條件。

表五、標準路面與車速規制統計表

單位: km/h	瀝青不良路	低漥路	起伏路	長波狀路	波狀路	短波狀路	人孔路	凸起路
標準車速	70	70	40	50	40	10	70	70

單位: km/h	正向段差路	逆向段差路	人孔路	輪徹路	積水路	RC 凹凸路	AC 凹凸路	標準不良路
標準車速	100	100	70	40	30~40	5	40	20~80

本文以波狀路及積水路為例、進行數據比較、波狀路係以車輛彈簧上共振現象為觀察主體、車輛以 50 公里時速下行經振幅 0.05 公尺高的 sin 曲線路面、單一波長 12.5 公尺、共計 100 公尺。積水路則以避振器減衰為主要檢討內容、車輛設定以 40 公里時速行經多個凹陷路面。

以上各項試驗試驗進行時均開啓高速攝影機、拍攝車輛運動狀態、計錄時間。並在每項試驗完成後立即檢查車輛的操作機能是否受損。

試驗時量測車身與後輪輪心的相對位移、中間梁的加速度及多個位置的應變量大小、試驗設備及架設位置請參考圖二。

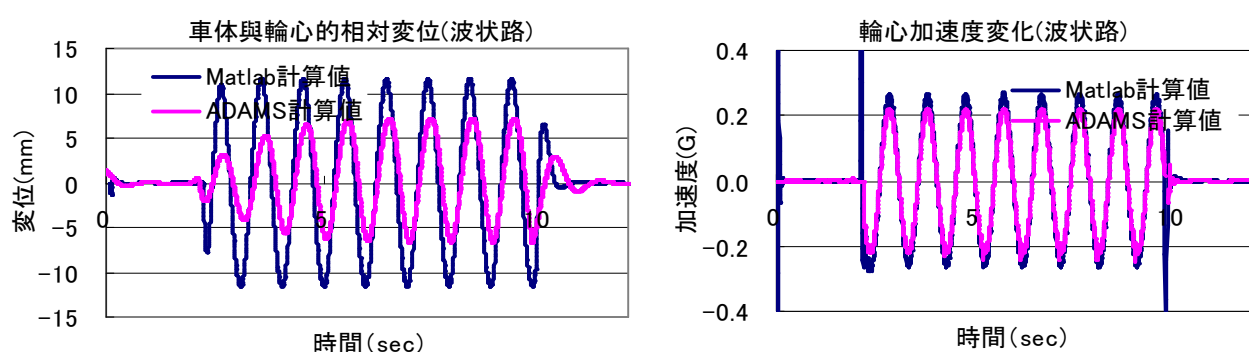


圖二、試驗設備及架設位置示意圖（左：變位計、中：加速規&應變規、右：四分之一車數值計算模型）

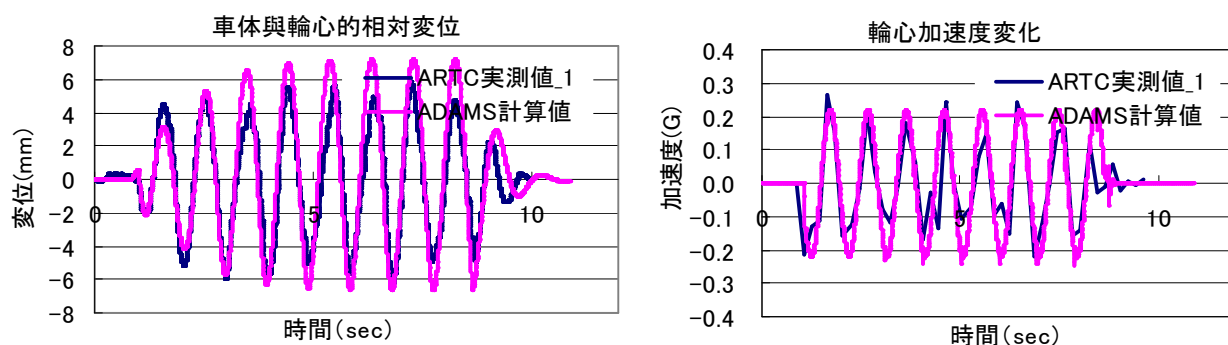
## 五、分析與結果比較

由於本案主要著眼的考量,暫時先就"波狀路"及"積水路"為例提出討論.

在進行動態測試之前、除了量取四輪靜態負荷進行檢證外、參考過去的本公司研究成果〔4〕、同時以同相的波狀路為例用 MATLAB 進行四分之一車的數值計算。數值計算模型主要以右後輪懸吊系統的諸元而建立、用以確認計算結果的可信度、所得結果請參閱圖三。



圖三、MATLAB 數值計算與 ADAMS 應用軟體的計算結果比較

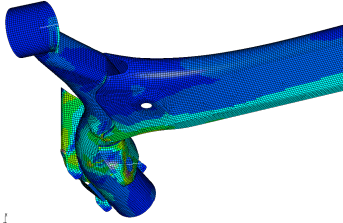


圖四、ADAMS 應用軟體與實測值的比較 (同相波狀路)

雖然 MATLAB 与 ADAMS 二者的組成內容並不盡相同(全車與四分之一車)、但由上面的比較來看、兩者的趨勢一致、顯示目前條件設定與計算結果應有一定的可信度。若 ADAMS 同一計算結果與實車實測結果進行比較更可發現二者間的差異更為之縮小、如圖四。

若將此時計算所得的最大負荷與變位關係輸入有限元素軟體中計算其應變變化、與

實際應變規量取的結果頗為相近、如表六所示。除顯示在同相條件下現行的設定相當合宜外、此一分析手法亦可用於日後的強度分析計算。



表六、同相波狀路下計算值與實測值的差異比較

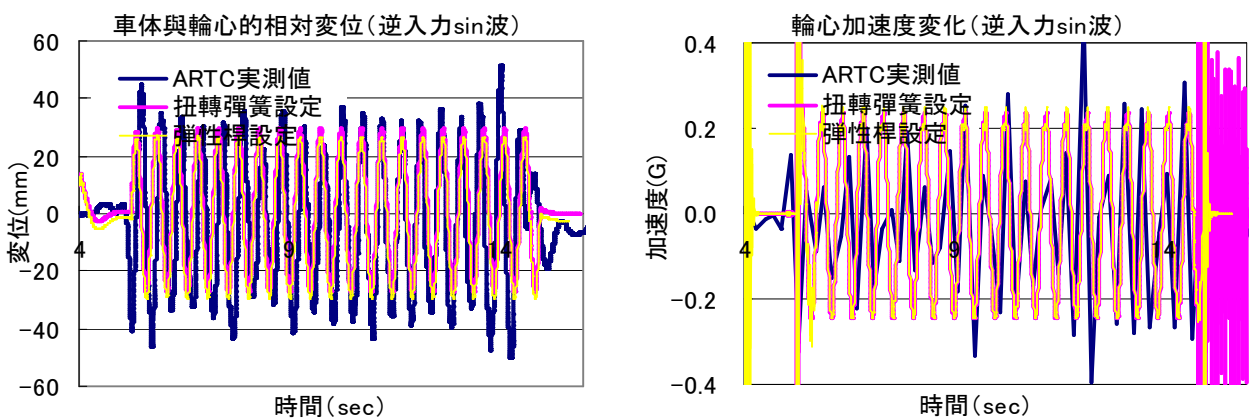
單位：Mpa	計算值	實測值	差異%
靜態負荷	6.90	6.59	4.74%
動態負荷	27.25	22.81	19.44%

圖五、應力分布計算結果(同相波狀路)

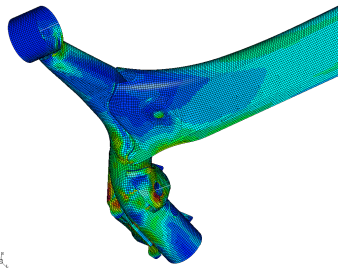
積水路亦有相同的趨勢、如附錄所示、此處不再贅述。由上面的結果中可以發現在同相輸入的條件下、由於中間梁並無扭轉現象發生、因此扭轉剛性部分的設定尚無法判斷良劣、但其他部分的設定應屬合理。換而言之、若路面以左右逆向的條件輸入、定義中間梁的設定方式為變因、模型中的其他部分為控制變因來進行檢討將可充分看出變因造成的影響。

為針對梁的扭轉行為實施適當的模擬、以下嘗試將梁的以撓性桿的方式進行設定、如下表所示。測試條件為車速 50 公里走行 ARTC 測試道的逆入力波狀路、並依計算所得結果進行比較。

經比較上述設定計算所得之結果如下圖六所示。以加速度變化資料來看、因量測時取點過疏、相比之下誤差較大、且在波狀路面完了瞬間、扭轉彈簧的設定不易收斂。推想為減衰設定失當所致、建議日後從事類似分析工作時應該避免此設定方式。至於位移變化則相當一致、大部份的誤差皆在 10% 左右、計算與實際測得數據相近、顯示日後類似的設定以彈性桿進行模擬為宜。



圖六、ADAMS 應用軟體與實測值的比較 (逆相波狀路)



表八、逆相波狀路下計算值與實測值的差異比較

單位：Mpa	計算值	實測值	差異%
靜態負荷	6.90	6.59	4.70%
動態負荷	52.20	47.00	11.06%

圖七、應力分布計算結果(逆相波狀路)

由上可知、經由變位、加速度與應變量測的佐證、目前的分析模型應可充分反映實車的運動行為表現及零件間的負荷傳遞、顯見此一分析手法確實可行且具有相當的可信度。其計算結果除可運用於車輛運動特性的預測外、亦可將此處計算所得的各點負荷值輸出供有限元素模型進行強度與疲勞耐久強度計算、降低對試驗測試的依賴及等待的時間、進而有更充裕的時間進行設計檢討、並可大幅短縮開發歷程。

## 六、結論

經由本次的分析、得以掌握在一般正常操作下車輛的運動行為與應力/應變關係、發現與 ADAMS/NASTRAN 分析所得結果一致、顯示 ADAMS/NASTRAN 可以對車輛乘坐舒適性與結構強度問題實施快速且適當的模擬、若能對二者施行進一步的整合、預期將可藉此大幅縮短開發試驗的時間與成本。對產業界極具助益、只是在本次分析的模型中僅含部分路面特性(波狀路,積水路)。日後若能獲致更完整的路面資訊進行分析、應可獲得更完備的資料供設計人員參考。

為因應開發時程緊縮的衝擊、提昇自我研發能力與經驗、掌握關鍵技術為產業升級的不二法門。在國瑞立足台灣、向下扎根的方針下、本次探討的問題雖然無重大創見、但分析所得的技術與經驗、相信對日後的研發工作將有實質上的助益。

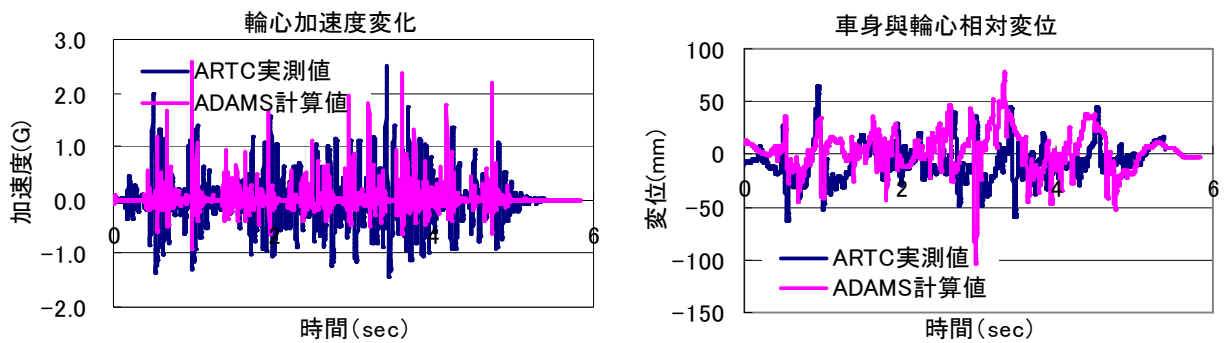
## 七、參考資料

- [1] 陳正宗,林信立,邱垂銓,全湘偉,黃志勇,韓文仁,秦無忝 "有限元素分析與工程實例 --MSC/NASTRAN 軟體運用",北門出版社,民國 85 年 6 月.
- [2] Daryl L. Logan "MECHANICS OF MATERIALS", Harper Collins College Publishers.
- [3] Ansrew Pytel, Jaan Kiusalaas "ENGINEERING MECHANICS--DYNAMICS",



- [4]傅增棣,陳冠中 "車輛舒適性研究--結案報告",國瑞內部報告,民國 91 年 8 月.
- [5]黃俊仁,馮君平 "汽車乘坐之振動舒適性研究(期末報告)",車輛研究測試中心,民國 92 年 12 月.
- [6]黃俊仁,馮君平 "汽車乘坐之振動舒適性研究(期末報告)",車輛研究測試中心,民國 92 年 12 月. 十七屆全國力學會議,民國 92 年 12 月.
- [7]張榮明 "小型車路況模擬耐久測試報告(業界合作結案報告)",車輛研究測試中心,民國 92 年 11 月.

八、附錄



附錄一、ADAMS 應用軟體的計算結果與實測比較(積水路)