

汽車底盤前懸吊口字樑之響應預測分析

王栢村¹、劉旭峯²、邱黃正凱³

¹國立屏東科技大學 機械工程系 教授

²國立屏東科技大學 機械工程系 研究生

³金屬工業研究發展中心

E-mail:wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

本文應用等效有限元素模型對前懸吊口字樑結構運用有限元素分析軟體 ANSYS 進行分析，希望求得前懸吊口字樑受外力負荷時之軸向、側向、扭轉之剛性分析，並得知各方向負荷對前懸吊口字樑結構之影響，藉以改善前懸吊口字樑結構之結構剛性。並利用響應預測分析中之諧響應分析、暫態響應分析、頻譜響應分析模擬車輛行進於連續簡諧起伏路面、半正弦波凸起路面、不規則路面時之響應預測分析，以求得前懸吊口字樑結構在不同負載如行駛狀態、路面狀況等之組合負載條件下之結構響應預測，以期瞭解結構於各種動態負載之結構響應及其對振動與疲勞影響評估，來提高整車之舒適性與安全性。

關鍵詞：靜剛性、簡諧響應分析、暫態響應分析、頻譜響應分析

1. 前言

一般車輛行駛於各種不同的路面條件下，車體或零組件承受來自不同路面的外力，對車輛結構均會造成振動問題，因此分析設計領域中很重要的一部份，如何有效解決振動問題必須獲得結構的振動特性著手，要瞭解結構振動特性的方法不外乎有實驗分析、理論解析，在王等人[1]提到SAVRIN汽車底盤懸吊系統之轉向節進行模型驗證，分別利用理論有限元素分析與實驗模態分析方法，求得理論與實驗之模態參數，驗證成功則可求得等效於實際結構物之有限元素模型；胡等人[2]探討SAVRIN前懸吊轉向節結構，運用逆向工程與電腦輔助工程設計與分析技術，了解不同行駛狀況下轉向節應力分佈情形與變形，並對懸吊系統各零件連接於轉向節上之結構可能發生之外力作說明包括避震器總成、下控制臂、轉向節臂、輪軸承。實驗方面採用實驗模態分析，以使用彈力繩懸吊轉向節模擬自由邊界情況，來獲得實驗之參數，在與理論之模態分析進行模型驗證，以獲得等效於實際結構之模型。

在大客車車體結構之剛性與應力分析中[3]，針對結構剛性結構強度影響車子安全性探討，顯示在不同路面負載條件下，懸吊系統對結構強度之影響，說明懸吊系統補強的重要性。黃等人[4]對傳統懸吊系統只有單一性，無法針對不同路況與操作條件進行相對應的調整，無法兼具操控性與舒適性，因此如何改善車輛之懸吊系統，以達較佳之舒適性是非常重要的課題。

在王與吳[5]建立了單自由度振動系統有限元素分析方法，振動四種分析包括模態分析、簡諧響應分析、暫態響應分析、頻譜響應分析，並建構有限元素模型，

以分析軟體求解與理論分析所求得之解互相比對，並建立相關之分析流程，可作為車輛動態系統之參考。王等人[6]建立一全聯結車動態模型，以有限元素方法建立對應之有限元素模型，並推導其運動方程式，可發現分析結果與理論分析結果是相吻合的，所建構之動態模型與其分析步驟，可提供相關之車輛動態分析之參考。王[7]利用四分之一車體與一半車體及全車體的數學模型，探討陸地行駛品質分析之方法步驟與流程針對單自由度與多自由度振動問題解析整理，有助於車輛行駛品質分析之參考依據。

2. 問題定義與分析目標

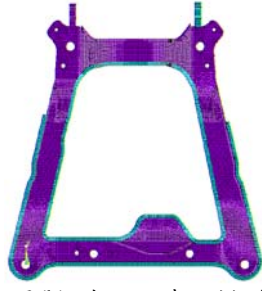
本文所進行前懸吊口字樑之響應預測結構，考慮靜剛性分析與三種路面狀況及其對應分析說明如下：

1. 靜剛性分析：針對前懸吊口字樑結構經由計算其力與位移比值的倒數即為靜剛性值，瞭解結構剛性對結構的影響進行探討。
2. 簡諧響應分析：考慮路面連續簡諧起伏路面狀況，求得系統輸入與輸出間之頻率響應函數，與前懸吊口字樑結構之位移與簡諧激振之操作變形振型 (operational deflection shape, ODS)。
3. 暫態響應分析：進行時間域響應分析，考慮行駛於路面凸塊狀況，以求得前懸吊口字樑結構之位移與麥西斯應力(von Mises stress)及最大主應力(principal stress)，有助於瞭解結構系統受變動負荷後，系統實際之運動狀態。
4. 頻譜響應分析：進行頻率域響應分析，考慮行駛於不規則路面狀況，以求得前懸吊口字樑結構之系統輸出參數的頻率域響應、功率頻譜密度函數。

3. 有限元素分析

圖 1(a)前懸吊口字樑實際結構實體照片，其材料參數楊氏係數為 615GPa，蒲松比 0.29，密度為 8965 kg/m³，重量 33.19 kg，其結構依完整描述之有限元素模型如圖 1(b)四項要素說明如下：

1. 元素形式：因口字樑結構符合薄殼結構之特性，故採用線性殼元素 Shell63 來符合實際結構。
2. 模型分割：為了使元素大小方正採用 mapped mesh 分割，共有 23664 個元素，22879 個節點。
3. 邊界條件：因口字樑前橫樑連接車身，故令口字樑前橫樑連接車身位置完全固定。
4. 負荷條件：根據不同響應預測分析，分別有不同負荷條件，將於後續進行詳細說明。



圖(a) 口字樑結構示意圖 圖(b) 有限元素之模型
圖 1、前懸吊之口字樑結構(如圖 a)和有限元素模型(如圖 b)

3.1 靜剛性分析

圖 2 為前懸吊口字樑連接車身組合示意圖，為模擬實際來自控制臂之負荷，故將前懸吊後橫樑連接車身位置 A 設為外力負荷處，B 前橫樑為假設之固定邊界，如圖 3 實際前懸吊口字樑邊界示意圖。

◆ 負荷條件：依照不同之靜剛性分別有不同的之負載，施以 1 單位外力(F_x, F_y, F_z)或力矩(T_y)，相關設定說明如下：

■ 側向剛性($K_x = \frac{F_x}{u_{max}}$)：如圖 4(a)所示，

$f_x = F_x / N$ ，其中 N 為自由端所有節點數， f_x 為實際施加於有限元素模型之節點外力。

■ 側向剛性($K_y = \frac{F_y}{v_{max}}$)：如圖 4 (b)所示，

$f_y = F_y / N$ 。

■ 側向剛性($K_z = \frac{F_z}{w_{max}}$)：如圖 4 (c)所示，

$f_z = F_z / N$ 。

■ 扭轉剛性($K_{\theta_y} = \frac{T_y}{\theta_{y,max}}$)：如圖 4 (d)所示，分

別設定兩個外力 $f_z = F_z / d$ 形成力矩 T_y ，其中 d 為直徑。

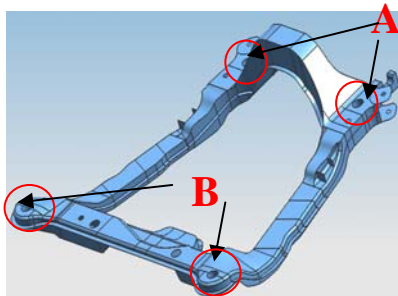
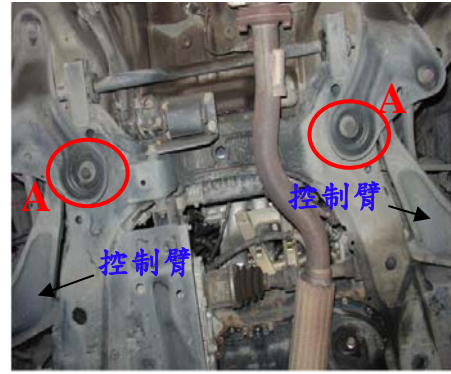
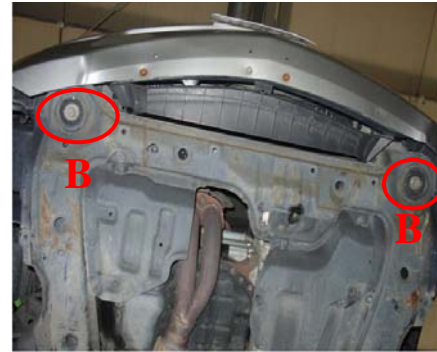


圖 2、前懸吊口字樑邊界示意圖

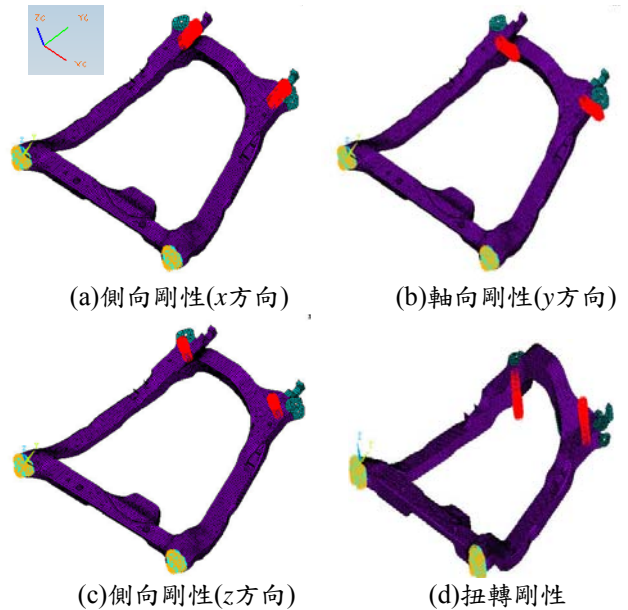


(a)前懸吊口字樑之後端邊界



(b)前懸吊口字樑之前端邊界

圖 3、實際前懸吊口字樑邊界示意圖



(a)側向剛性(x方向)

(b)軸向剛性(y方向)

(c)側向剛性(z方向)

(d)扭轉剛性

圖 4、靜剛性分析理念有限元素模型示意圖

3.2 簡諧響應分析

表 1 為連續簡諧起伏路面之狀況條件，透過數學關

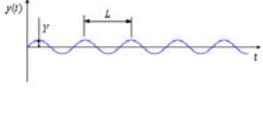
係式 $f = \frac{v}{L}$ ，在不同車速 v (m/sec)及波長 L (m)之條件

下，可以找出有興趣之頻率(f)範圍上下限，進行求解。

由結構應力之簡諧響應分析中，可求出 $\sigma_{max} = \sigma$ ，

$\sigma_{min} = -\sigma$ ，以進行後續疲勞強度及性能評估等應用。

表 1、連續簡諧起伏路面之狀況條件

路面狀況	數學模型	輸入	輸出
連續簡諧起伏路面	$y(t) = Y \sin \omega t$, $\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{V}{L}$, $f = \frac{V}{L}$, 其中, V =車速(m/sec), L =波長(m), Y =位移振幅(m) 	ANSYS: harmonic analysis $V, Y, L \rightarrow$ 定義 $y(t)$, $\omega = 2\pi f$, $f = \frac{V}{L}$	ANSYS: harmonic analysis 結構之簡諧響應 $\sigma_m(t) = \sigma \sin(\omega t - \phi)$ 得 $\sigma_{max} = \sigma$, $\sigma_{min} = -\sigma$


- ◆ 負荷條件：進行簡諧響應分析時必須定義系統之輸入，為模擬實際來自控制臂之負荷，故將前懸吊後橫樑連接車身位置設為外力負荷處，在 F_z 設定 1(N 或 N/mm)於口字樑後橫樑上方，模擬扭轉時之負荷。

3.3 暫態響應分析

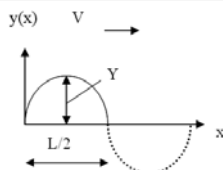
本節中，模擬車子行駛於半正弦波路面，其波數方程式如表 2(b)所示，對口字樑進行暫態響應分析，有限元素模型同 3.1 節扭轉剛性分析，說明如下：

- ◆ 負荷條件：定義系統之輸入。
 - 初始條件之設定假設為零。
 - 系統輸入條件之設定如表 2(c)中所示。當已知車速 V ，可求得時域方程式。
 - 假設 $f(t) = Y(t) = F \sin 2\pi(V/L)t$ ，以得到外力時域函數。

表 2、凸起路面之狀況條件
(a)路面凸塊之分析理念架構

路面狀況	數學模型	輸入	輸出
路面凸塊		ANSYS: transient analysis input: $y(t)$	ANSYS: transient analysis output: $\sigma_{eq}(t)$, $\sigma_1(t)$ 求得 σ_{max} , σ_{min}

(b) 半正弦波數方程式與模型示意圖

模型示意圖	空間域方程式
	$y(x) = \begin{cases} Y \sin \frac{2\pi}{L} x, & 0 < x < L \\ 0, & x \geq L \end{cases}$

(c) 半正弦時域方程式與模型示意圖

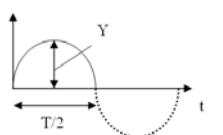
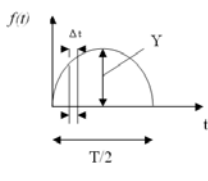
模型示意圖	時域方程式
	$y(t) = \begin{cases} Y \sin 2\pi \left(\frac{V}{L}\right)t, & 0 < t < \frac{L}{V} \\ 0, & t > \frac{L}{V} \end{cases}$ $T = \frac{L}{V}, f = \frac{1}{T} = \frac{V}{L}$

表 2、凸起路面之狀況條件(續)

(d)半正弦外力時域方程式與模型示意圖與時間間距 Δt

模型示意圖	數學方程式
	$f(t) = \begin{cases} F \sin 2\pi \left(\frac{V}{L}\right)t, & 0 < t < \frac{L}{V} \\ 0, & t > \frac{L}{V} \end{cases}$

3.4 頻譜響應分析

圖 5 為不規則路面模型，本節引用 ISO[8]，其有限元素模型同 3.1 節扭轉剛性分析，口字樑結構之元素形式、模型分割、位移限制，皆同 3.1 節靜剛性分析，A 級路面之數學模型如表 3，其中 $S_y(f)$ 路面位移 PSD，不同路面位移 PSD 之係數如表 4。本節假設 $S_y(f)$ 外力 PSD 與路面位移 PSD 相同，在 0.1~100Hz 頻寬中輸入相對應的 PSD 值，可分析獲得口字樑任一位置上的應力功率頻譜密度函數 $S_\sigma(f)$ 。

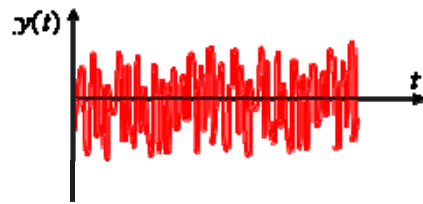


圖 5、不規則路面示意圖

表 3、不規則路面之分析理念架構

路面狀況	數學模型	輸入	輸出
不規則路面	$S_y(f) = 4 \times 10^{-6} \left(2\pi \frac{f}{V}\right)^{-2}$, $\frac{f}{V} \leq \frac{1}{2\pi}$ $S_y(f) = 4 \times 10^{-6} \left(2\pi \frac{f}{V}\right)^{-1.5}$, $\frac{f}{V} > \frac{1}{2\pi}$	ANSYS: spectrum analysis input: ISO 路面	ANSYS: spectrum analysis output: $S_\sigma(f)$:應力頻譜密度函數 σ_{rms} :應力平方平均根值 $\sigma_{rms} = \left[\int_{f_1}^{f_2} S_\sigma(f) df \right]^{1/2}$

表 4、不同等級路面粗糙度值[8]

Degree of Roughness $S_g(\lambda_0)$, $10^{-6} \text{m}^2/\text{cycles/m}$		
Road Class	Range	Geometric Mean
A(Very Good)	< 8	4
B(Good)	8-32	16
C(Average)	32-128	64
D(Poor)	128-512	256
E(Very Poor)	512-2048	1024
F	2048-8192	4096
G	8192-32768	16384
H	> 32768	

4. 結果與討論

本文主要探討前懸吊口字樑結構，軸向、側向及扭轉之靜剛性分析，與行駛於三種不同路面響應預測之結果，綜合討論如下。

4.1 靜剛性分析

本研究以有限元素分析方法，對前懸吊口字樑做一完整探討，並進行靜剛性分析，探討整體結構剛性的影響，表 5 是各方向靜剛性分析結果包括變形、靜剛性、最大與最小應力，表 6 是各方向之應力分佈圖，綜合討論如下：

1. 表 5(a)顯示不同施力方向靜剛性值，在 3.1 小節已經詳細說明靜剛性分析定義，與其負荷方向之界定
2. 表 5(b)在 1N 負荷下顯示 σ_{eqv} 與 σ_1 最大最小值，其應力最大發生位置皆發生在口字樑之兩側如表 6 圈選處，此處為未來進行結構變更或改變結構材質設計之有興趣之位置。
3. 從分析結果可以觀察出剛性愈小，principal stress(σ_1)、von Mises stress(σ_{eqv})之應力值也相對的愈大，反之，剛性愈大 principal stress(σ_1)、von Mises stress(σ_{eqv})之應力值也相對的愈小，這是符合常理的，也代表分析結果之正確性。

4.2 行駛於連續簡諧起伏路面之響應預測

表 7 為連續簡諧起伏路面之數學方程式換算表，數學方程式依照表 1 中之數學模型，給於車速、波長，經方程式換算後得到的頻率，因此，根據此換算表，可以算推出，在已知車速、路面波長時，得到換算後的頻率值(Hz)，得到此頻率值，後續可以與頻率響應函數圖形，綜合討論如下：

1. 表 8 為扭轉(T_y)方向外力之 σ_{eqv} 及 σ_1 之頻率響應函數圖及 ODS。表 8 中之 ODS 為對應頻率響應函數圖形所選出來之峰值，觀察 ODS 有助於瞭解結構於該頻率作業下之振動情形，有助於結構之設計考慮。
2. 表 8 中， σ_{eqv} (MPa)之頻率響應函數圖形中，有三處明顯的峰值，由固定邊界模態分析得知，對應之自然頻率分別為 28Hz、60Hz 及 104Hz，因結構體受外界激振時在共振頻率處響應最大，為瞭解口字樑的可能破壞區域，故在操作模態振型的觀察上，選定這三個共振頻率處，做為觀察點。
3. 以表 7 連續簡諧起伏路面之數學方程式換算表為例，當車速為 100(km/hr)、波長 L 為 1(m)時，則所求出之頻率值為 27.7777 (Hz)，在表 8 σ_{eqv} 的頻率響應函數圖形下，約 27(Hz)的位置，往上找到對應頻率響應函數圖形上的點，則能找到對應 σ_{eqv} 的值，大約 0.9(MPa)；而當車速為 100(km/hr)、波長 L 為 10(m)時，則所求出之頻率值為 2.77777 (Hz)，其 σ_{eqv} 頻率響應函數圖形之對應值約為 0.04(MPa)。
4. 針對行駛於連續簡諧起伏路面，由表 8 可找到有興趣之位置頻率響應函數分別為 28Hz、60Hz 及 104Hz，對應表 7 得到所對應之應力值可得知當不同車速與波長其於扭轉方向之實際負載。

4.3 行駛於半正弦凸起路面之響應預測

由表 9 中， u_{z_10188} 的時間域響應中， u_{z_10188}

所代表意義為位於口字樑有限元素模型節點編號 10188 之 z 方向最大位移值，表 10 為不同速度、同外力作用之時間域響應，綜合討論如下：

1. 從表 9 車輛行駛於半正弦波凸起路面響應時間域響應圖，可觀察出約 0.02 秒時間域響應振幅皆是最大的，之後也都有慢慢穩定之趨勢，此現象是符合實際行駛凸起路面之情形，也代表分析與實際狀況之吻合性。
2. 由表 9 可觀察出 $V=40$ (km/hr)當行經半正弦波路面時，觀察 σ_{eqv} 之時間域響應約在 0.02 秒時有最大的響應，也代表此時有最大外力負載。
3. 表 10 為不同速度，同外力作用之時間域響應，有助於瞭解結構系統受變動負荷後，系統實際之運動狀態。
4. 從表 10 中，可看出在外力 T_y 作用時，在速度 $V=40$ $\sigma_{eqv,max}=40.809$ (MPa)、 $\sigma_{1,max}=43.702$ ， $V=100$ $\sigma_{eqv,max}=48.315$ (MPa)、 $\sigma_{1,max}=51.136$ (MPa)，應力值隨著車速增加而提升。

4.4 行駛於不規則路面路面之響應預測

本節之分析目的，在於了解在已知系統輸入參數之頻率域分佈，如表 11 為輸入不同 ISO 路面、不同速度之功率密度函數參數，則可求得有興趣之系統輸出參數的頻率域響應，如表 12、13 所示討論如下：

1. 經由分析獲得有興趣點之響應功率頻譜密度函數，由響應功率頻譜密度函數可由表 3 計算獲得該點之平方平均根值(root mean square value, rms value)，此平方平均根值可代表該處受可能的受破壞程度。
2. 當平均值=0，平方平均根值等於標準差 $\sigma_{rms} = \sigma_{std}$ ，其力最大值與最小值為正負 3 倍標準差，即 $\sigma_{max}, \sigma_{min} = \pm 3\sigma_f$ ，如表 14 所示，故可從 r.m.s 值可知行經於不規則路面對口字樑所受負載。

5. 結論

本文旨在建立響應預測分析包括靜剛性分析、簡諧響應分析、暫態響應分析與頻譜響應分析，建立一套分析流程，有助於日後相關之振動分析，主要結論如下：

1. 運用有限元素分析方法，可分別將各個方向進行靜剛性的分析，未來也可對應力或變形較大之位置做局部的分析探討，以提供結構設計改善的依據，並可針對結構進行材質變更以達到輕量化的目的。
2. 藉由連續簡諧起伏路面之頻率響應函數，根據不同的車速及路面之波長，可推算得對應之激振頻率，觀察到不同頻率下，口字樑結構受應力的狀況，可作為設計時，避免疲勞破壞或輕量化等變更設計的參考資料。
3. 對口字樑進行暫態響應分析，針對行駛於半正弦波凸起路面，可求得口字樑時間域隨外力變化情形，有助於瞭解車輛行經半正弦波凸起路面，前懸吊口字樑結構隨時間變化之情形。
4. 對行駛於 ISO 隨機路面，由功率頻譜密度函數之特

性，可求得對應之平方平均根值(rms)，當平均值為零時，rms 也等於標準差(std)，配合高斯常態分佈函數之特性，即可由應力 PSD 求得對應之 std 再配合三倍原則，則可求得應力範圍為正負 3 個標準差範圍，故可得在不規則路面狀況下之應力最大值與最小值之分佈狀態。

- 由模擬實際邊界與外力負荷界定前懸吊口字樑結構之負載及邊界條件，進而針對連續簡諧起伏路面、凸起路面、不規則路面進行對應之響應預測分析，有助於結構設計之參考依據。

6. 參考文獻

- 王栢村，胡惠文，林鴻裕，戴偉哲，邱黃正凱，2008，「汽車前懸轉向節之模型驗證」，2008精密機械製造科技研討會，台北，論文編號：A27。
- 胡惠文，張書源，陳坤義，謝寶賢，2007，「SAVRIN 前轉向節之結構強度分析」，第三十一屆全國力學會議，高雄，論文編號：K11。
- 胡惠文，王栢村，楊忠霖，2006，「大客車車體結構強度之剛性與應力分析」，第十一屆車輛工程學術研討會，彰化，論文編號：A1-6B。
- 黃銘湖，張銘宏，莊家民，何世榮，鄒岱潔，2006，「車輛電子控制懸吊系統」，第十一屆車輛工程學術研討會，彰化，論文編號：F1-7B。
- 王栢村，吳焜熙，2001，「單自由度系統之有限元素分析」，ANSYS 2001 台灣區用戶大會暨論文發表會，第1-11頁。
- 王栢村，童元辰，吳焜熙，2001，「九個自由度全聯結車動態模型之有限元素分析」，ANSYS 2001 台灣區用戶大會暨論文發表會，第13-21頁。
- 王栢村，2000，「陸地車輛動態行駛品質分析」，永達學報，第1卷，第1期，第1-12頁。
- ISO, 1982, Reporting Vehicle Road Surface Irregularities, ISO/TC/108/SC2/WG4 N57, International Organization for Standardization.

表 5、各方向靜剛性分析結果

(a)施以 1N 各方向變形與靜剛性

力	u_{max} (mm)	v_{max} (mm)	w_{max} (mm)	K_x, K_y, K_z (N/mm) K_{ϕ} (N-mm/Deg)
F_x (N)	0.78107×10^{-3}	0.25069×10^{-3}	0.51096×10^{-3}	1.28×10^3
F_y (N)	0.98719×10^{-4}	0.23054×10^{-3}	0.27220×10^{-3}	4.34×10^3
F_z (N)	0.73739×10^{-3}	-0.51367×10^{-2}	0.21851×10^{-1}	4.58×10^1
T_y (N)	-0.77967×10^{-3}	-0.32375×10^{-3}	-0.18602×10^{-2}	0.01487

(b)施以 1N 各方向最大與最小應力

力	$\sigma_{eqv,max}$ (MPa)	$\sigma_{eqv,min}$ (MPa)	$\sigma_{1,max}$ (MPa)	$\sigma_{1,min}$ (MPa)
F_x (N)	6.0500×10^{-1}	-4.2303×10^{-1}	5.5785×10^{-1}	-0.16629×10^{-1}
F_y (N)	3.0078×10^{-1}	-2.1666×10^{-1}	2.922×10^{-1}	-0.78445×10^{-2}
F_z (N)	3.7678×10^1	-1.9241×10^1	2.6361×10^1	-0.13375×10^1
T_y (N)	0.71478×10^{-1}	-0.38717×10^{-1}	0.49003×10^{-1}	-0.13580×10^{-1}

表 6、各方向靜剛性分析之應力分佈圖

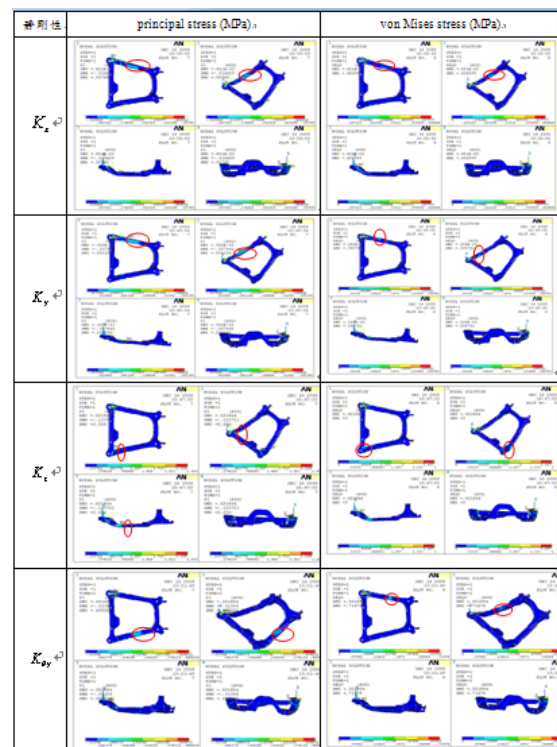


表 7、連續簡諧起伏路面之數學方程式換算表

V=車速 (km/hr)	V=車速 (m/sec)	L=波長 (m)	f=V/L (Hz)
40	11.1111	0.5	22.2222
80	22.2222	0.5	44.4444
100	27.7777	0.5	55.5555
40	11.1111	1	11.1111
80	22.2222	1	22.2222
100	27.7777	1	27.7777
40	11.1111	10	1.11111
80	22.2222	10	2.22222
100	27.7777	10	2.77777

表 8、 T_y 負荷下之 σ_{eqv} 及 σ_1 之
頻率響應函數圖及 ODS

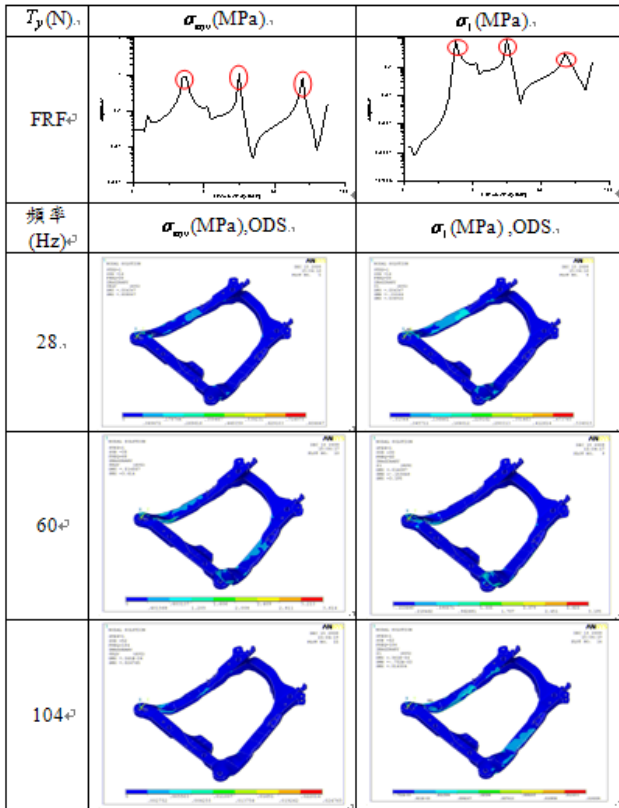


表 9、 T_y , $V=40$ (km/hr) 之半正弦波凸起路面
時間域響應

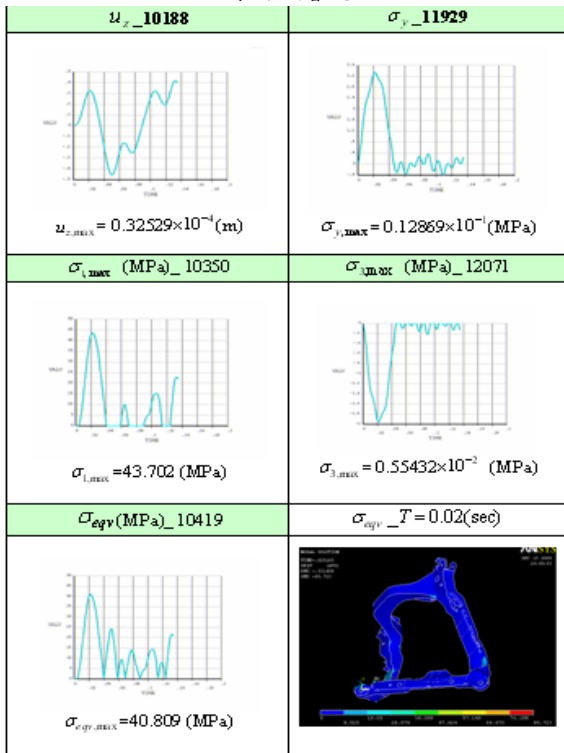


表 10、不同速度、同外力方向之時間域響應

V(km/hr)	$\sigma_{eqv,max}$ (MPa)	$\sigma_{1,max}$ (MPa)
40	40.809	43.702
80	47.174	50.124
100	48.315	51.136

表 11、A 級不規則路面, $V=40$ (km/hr) 之
路面位移 PSD 數值

f(Hz)	V(km/hr)	V(m/s)	Ω	A, $Sg(\Omega_0)$	$Sg(\Omega)$, (m ² /cycle/m)
0.1	40	11.11111	0.009	4	0.001250879
0.5	40	11.11111	0.045	4	5.00352E-05
1	40	11.11111	0.09	4	1.25088E-05
1.768388	40	11.11111	0.159155	4	0.000004
5	40	11.11111	0.45	4	8.4134E-07
10	40	11.11111	0.9	4	2.97459E-07
30	40	11.11111	2.7	4	5.72459E-08
50	40	11.11111	4.5	4	2.66055E-08
80	40	11.11111	7.2	4	1.31459E-08
100	40	11.11111	9	4	9.40646E-09

表 12、不同 ISO 路面、不同速度之功率頻譜密度函數

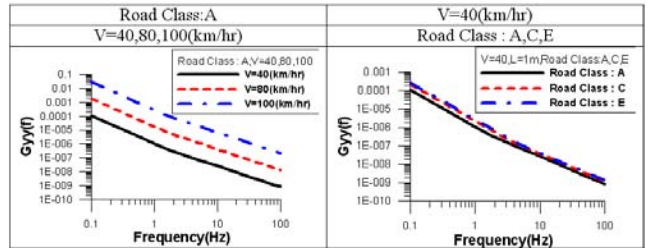


表 13、ISO, A 級路面、不同速度之功率頻譜密度函數

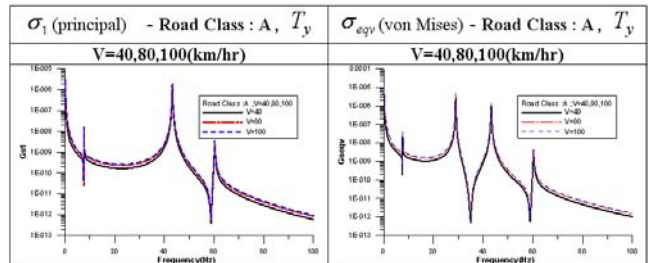


表 14、不同速度之 $\sigma_{1,std}$ 及 $\sigma_{eqv,std}$ 之總表

Road Class : A ; T_y				
V	$\sigma_{1,std}$ (MPa)	$\pm 3\sigma_{1,std}$ (MPa)	$\sigma_{eqv,std}$ (MPa)	$\pm 3\sigma_{eqv,std}$ (MPa)
40	4.51×10^{-4}	$\pm 1.35 \times 10^{-3}$	1.50×10^{-3}	$\pm 4.51 \times 10^{-3}$
80	6.43×10^{-4}	$\pm 1.93 \times 10^{-3}$	2.16×10^{-3}	$\pm 6.47 \times 10^{-3}$
100	7.22	2.17	2.43	7.28