

傳統型雨刷結構之模型驗證

王栢村¹、黃凱昱¹、黃智群²、張明仁²

¹ 屏東科技大學機械工程系

² 山多力國際股份有限公司

科技部計畫編號: MOST 103-2622-E-020-006 -CC3

摘要

雨刷為汽車零組件的重要組件之一，主要清除擋風玻璃上的雨水，使駕駛員能有良好的視野安全行駛於道路上。本文主要建立傳統型雨刷的有限元素模型，探討其結構的振動特性，分別運用有限元素分析(FEA)與實驗模態分析(EMA)，進行傳統型雨刷的模型驗證。首先介紹雨刷的模型驗證理念，旨在驗證等效於雨刷實體結構的有限元素模型，透過雨刷的理論模態分析(TMA)與實驗模態分析(EMA)所求得的結構模態參數，進行理論與實驗模態參數比對，包含自然頻率及模態振型，驗證結果顯示雨刷結構模態有良好的對應，確認雨刷的理論有限元素模型之可靠性，而實驗所得之模態阻尼比，可輸入分析模型使能考慮結構阻尼效應。未來可應用此驗證的分析模型進行雨刷的結構設計變更，如雨刷造型設計、結構應力與變形分析、以及降低雨刷作動時產生的振動行為。

關鍵字： 雨刷、有限元素分析，實驗模態分析、模型驗證

1. 前言

汽車上普遍使用的雨刷，作用是為了清除附著在汽車擋風玻璃上的雨水及雜質，以確保駕駛的行車安全，一般雨刷作動下產生振動噪音問題，可能為長時間使用下與雨刷本身結構及膠條材質有相關聯性。

為了瞭解雨刷之振動特性及確認雨刷模型驗證的可靠度，首先進行模型驗證相關的文獻回顧，王等人[1]結合有限元素分析與實驗模態分析進行迴轉式壓縮機之泵零件與組件模型驗證，透過單一零組件的模型驗證確認材料參數後，再逐一組合成泵組件進行整體的模型驗證。王與余[2]透過理論分析與實際固定邊界下進行古鈸的聲音量測，觀察聲音頻譜與結構振動模態特性進行比對驗證，也藉由不同位置的敲擊量測得到最佳的敲擊位置。王等人[3]探討公螺旋轉子之模態特行與模型驗證，分析結果得到轉子的振動模態為彎曲、伸縮及扭轉模態，在頻率響應函數圖中，實驗與理論分析曲線圖呈現相吻合的趨勢，代表實驗結果的可靠度是良好的。在理論分析方面，Kim *et al.* [4]探討雨刮連桿之動態分析模擬，利用MATLAB 分析程式建立雨刷系統模擬分析，探討主刷與副刷掃略位置之曲線是否呈現一致性，並從雨刷作動仿真結果中，觀察每秒下兩刷作動情形。黃與陳[5]

探討汽車單臂雨刷動態分析，利用 ADAMS 及 ANSYS 建構虛擬模型，進行雨刷與擋風玻璃之間的動態分析，作動過程中的變形量、應力及應變均勻且對稱分佈於膠條兩側，結果顯示於雨刷的分析研究有很大的啟發。Miklos *et al.* [6] 探討汽車雨刷機構之動態模擬，雨刷在反作用力及位置、相對角加速與相對加速度，呈現規律性變化，而在雨刷麥西斯應力中，最大值主要在連接桿上。王等人[7]透過 ANSYS 有限元素分析軟體針對雨刷之預應力與振動特性探討，在雨刷反作用力與應力圖中，呈現左右對稱，並且觀察雨刷自由邊界與固定邊界的理論振動模態特性，其在低頻率中皆呈現旋轉剛體模態。張等人[8]探討汽車刮水器摩擦引起的噪音特性試驗分析中顯示，刮水器可分為換向噪聲及刮刷噪聲，換向噪聲及刮刷噪聲特性則會因為玻璃上水量的多寡有所影響。

本文主要目的是透過雨刷的模型驗證，可以得到雨刷的自然頻率模態振型及阻尼比(實驗取得)，並與理論模態分析做比較驗證，確認分析模型的等效性，若模型驗證比對吻合後，未來進行雨刷的幾何結構設計變更，對產品設計有很大的應用。

2. 傳統型雨刷結構與模型驗證理念說明

2.1 傳統型雨刷結構介紹

圖 1、2 為傳統雨刷結構與各部位零件示意圖，主要零件有接頭(連接搖臂)、大骨架及中骨架兩支、小翅四支、彈片兩個及膠條所組成，各零件間由銷所連結，而膠條分別被雨刷上四個小骨架的夾爪所夾持，雨刷全長 600.0mm，大骨架 340.0mm，中骨架 167.0mm，小翅 98.0mm，傳統雨刷零件總表可見表 1 所示。

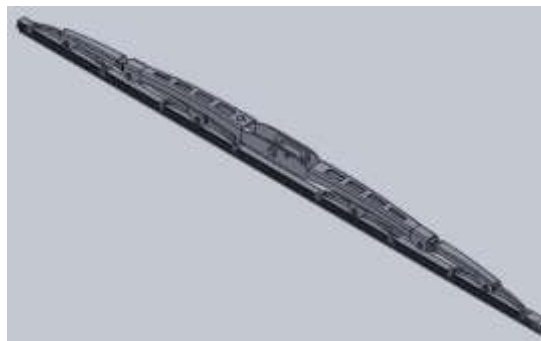


圖 1 傳統型雨刷結構

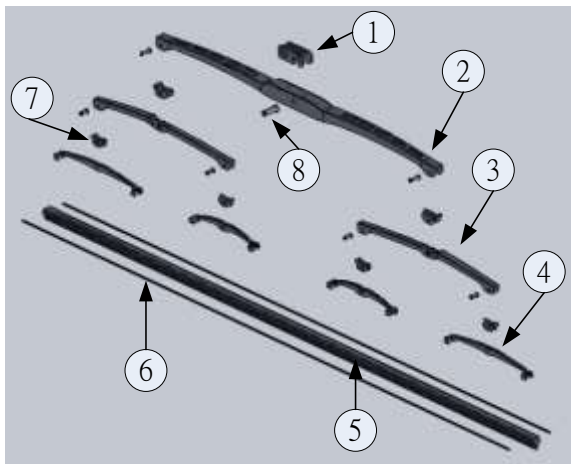


圖 2 傳統型雨刷各部位零示意图

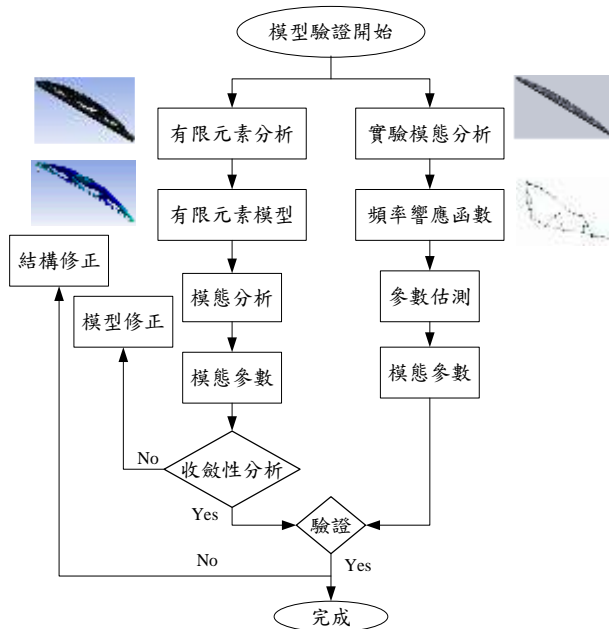


圖 3 模型驗證流程图

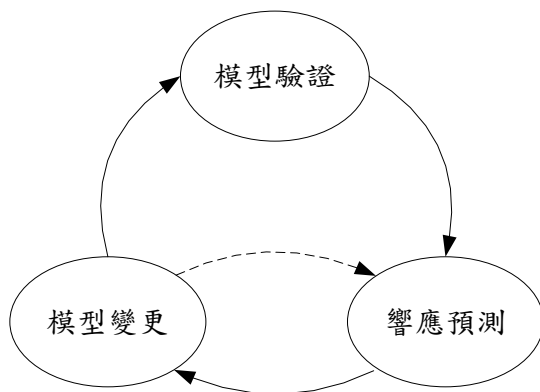


圖 4 模型變更流程图

2.2 模型驗證理念

本節說明傳統雨刷模型驗證之理念流程，圖 3 為模型驗證流程，主要可分為有限元素分析與實驗模態分析，透過兩者分析所得到的模態參數進行模型比對驗證，模型驗證目的為確認有限元素分析模型等效於實際結構。首先在 ANSYS 有限元素分析軟體中設定雨刷之幾何參數並建立有限元素模型後進行模態分析，得到理論的模態參數；實驗量測部分針對實際結構進行實驗模態分析量取頻率響應函數，接著利用模態參數擷取軟體得到雨刷的模態參數，其中包含自然頻率、模態振型及阻尼比(實驗取得)，最後將理論與實驗進行比較驗證，若不符合可進行結構與模型修正後重新比對，使得理論與實驗模態參數相符合，即雨刷理論有限元素模型等效於實際結構，完成傳統雨刷的模型驗證。

圖 4 為模型變更流程图，經由模型驗證確認有限元素模型等效於實際結構後，可以進行響應預測與模型變更，響應預測主要目的是減少結構的實驗量測，當預測的結果不理想或是有破壞可能性時，可透過模型變更修改結構後再重新進行響應預測，直到符合所需的設計需求，其設計完成後的結構須要再次經過模型驗證程序，以確認模型變更後的可行性。

2.3 有限元素分析

本節主要針對雨刷進行有限元素分析，在 ANSYS 有限元素分析軟體的設定參數，引用王等人 [6] 雨刷的幾何參數設定，雨刷的接觸型式以一體成形的方式假設，各零件材料皆以等向性(isotropic)材料設定。

在元素選擇方面，彈片使用線性立方體元素 SOLID186，其餘皆使用線性角錐體元素 SOLID187，各原件接觸，在上者為主動接觸元素 CONTAC174，下者為被動接觸元素 TARGAT170，元素分割以 free mesh 方式，分割結果共有 158029 個節點和 80597 個元素，如圖 5 有限元素模型圖所示。位移限制及負荷條之設定，由於模擬自由邊界下進行模態分析，因此無須進行設定。

2.4 實驗模態分析

圖 6、7 為傳統型雨刷結構模擬示意图與實驗架設圖，圖中顯示量測敲擊點皆透過有限元素分析之模態振型結果進行佈點規劃，包含 Y 方向 14 點及 Z 方向 32 點，共 46 點，其中雨刷之膠條屬於軟性材質，敲擊後不易激發結構之響應，故不考慮規劃膠條的量測點數。實驗所用之驅動器為衝擊錘(PCB 084A17)、感測器為磁吸式單軸向加速規(PCB 352C65)，以客製化振動噪音量測系統(SVM)作為訊號量測儀器，量測方式採固定衝擊錘，移動加速規方式進行實驗量測，量測頻寬為 2000Hz，頻率解析度為 1.25Hz，主要依據理論模態分析結果中，在低頻率時較能看出雨刷之振動特性。

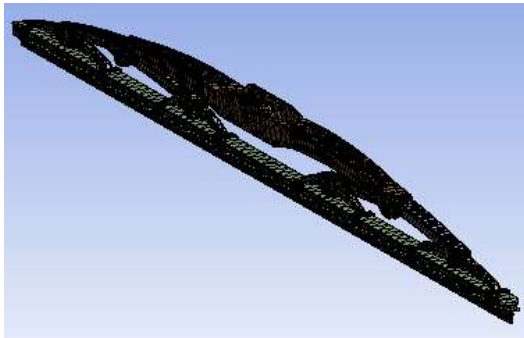


圖 5 有限元素模型圖

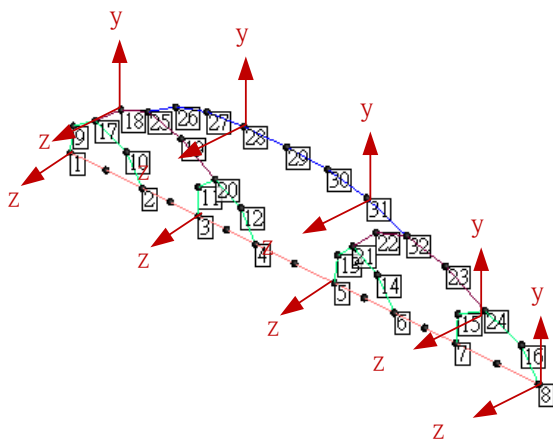


圖 6 傳統型雨刷結構模擬示意圖

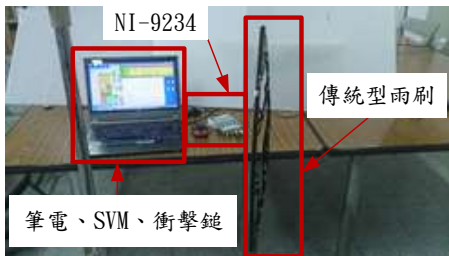


圖 7 實驗架設圖

3. 傳統型雨刷結構之模型驗證

圖 8 為 FRF 重疊圖，圖中得知自然頻率在 400Hz 內可看到明顯峰值，其代表每個峰值對應一個自然頻。圖 9(a)及圖 10(a)為 Z 方向同點與不同點之頻率響應函數圖，輸入端為衝擊錘(i=17)，輸出端為加速規 j=17(圖 8(a))與 j=20(圖 9(a))，圖中共有 2 條曲線，分別為實驗與合成曲線之頻率響應函數，除了第一個峰值皆有對應外，其餘峰值有左右偏移現象，可能受到加速規質量效應的影響。從實驗與合成曲線中，主要峰值有相吻合的趨勢，代表實驗是可靠的。圖 8(b)及圖 9(b)為 Z 方向同點與不同點之關聯性函數圖，除了反共振點不為 1 外，關聯性函數圖接近 1 時代表實驗品質是可靠的。

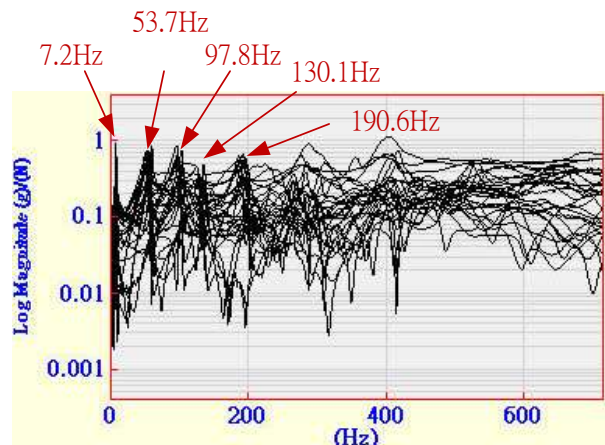
表 2、3 為傳統型雨刷自然頻率總表與模態振型表，表中為實驗模態分析(EMA)與有限元素分析(FEA)

之自然頻率比對結果。在自然頻率 200Hz 左右，兩刷之理論模態分析出現 9 個，實驗模態分析則只出現 6 個，推斷未激發的模態振型為敲擊點數不夠而未被激發出來，誤差百分比除了 E-03 在 $\pm 5\%$ 內，E-01 及 E-02 分別為 10.8% 與 -13.8%。在物理意義方面，主要的模態振型分為旋轉剛體模態與側向振動模態，其中前兩個振動模態與實際雨刷作動情形相似，呈現左右擺動與抖動，代表此模態振型為雨刷主要模態之一。

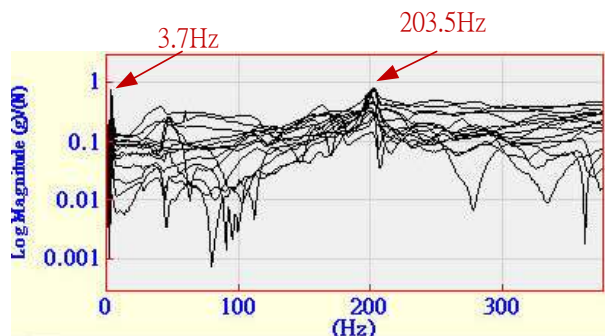
4. 結論

本文利用傳統型雨刷之有限元素分析與實驗模態分析進行結構的模型驗證，分析結果得知雨刷結構具有旋轉剛體模態、彎曲模態之特性，其中旋轉剛體模態之振型與雨刷實際作動情形相似，推斷此模態振型為雨刷的主要模態之一。

透過理論與實驗模態分析確認分析所求得之模態參數(自然頻率、模態振型)，驗證結果雨刷模態有良好的對應，確認有限元素模型等效於實際結構，未來可進行雨刷結構設計變更，應力及應變分析，改善雨刷作動產生振動的可能性。



(a) FRF 重疊圖(Z 方向)



(b) FRF 重疊圖(Y 方向)

圖 8 FRF 重疊圖

5. 誌謝

本文承蒙山多力國際股份有限公司與科技部 103 年度產學合作計畫「兩刷振動品質分級之客觀評價系統開發與應用」，由公司提供傳統型兩刷實際結構與圖檔，使得本次研究能順利完成。(科技部計畫編號: MOST 103-2622-E-020-006 -CC3)

6. 參考文獻

- [1]. 王栢村, 林建敦, 吳秉修, 陳金龍, 徐維良, 謝長鴻, 迴轉式壓縮機之泵零件與泵組零件之模型驗證, 第二十二屆中華民國振動與噪音工程學術研討會, 彰化, 論文編號: B2-2, 2014
- [2]. 王栢村, 余冠德, 古鈺之模型驗證與聲音特性探討, 中國機工程學會第三十一屆全國學術研討會, 台中市, 論文編號: 03188, 2014
- [3]. 王栢村, 王文志, 黃啟順, 劉家良, 公螺旋轉子之模態特性與模型驗證, 中華民國力學學會第三十六屆全國力學會議, 桃園, 論文編號: F-007, 2012
- [4]. W. H., Kim, T. W., Park, S. P., Jung, J. H., Lee and W. S., Chung, Dynamic Analysis Program Development for a Wiper Linkage, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol. 2, pp. 1478-1480, 2010
- [5]. 黃榮文, 陳建良, 汽車單臂兩刷動態分析, 車輛工程學刊, 第10期, 第103-114頁, 2013
- [6]. I. Z., Miklos, C. I., Alic and C. C., Miklos, Windshield Wiper Mechanism Dynamic Simulation in Automotives, International Journal of Engineering, NO.4, pp. 107-110, 2013
- [7]. 王栢村, 黃凱昱, 王文志, 王裕豐, 許富翔, 劉慶豐, 兩刷之預應力分析與振動特性探討, 第二十二屆中華民國振動與噪音工程學術研討會, 彰化, 論文編號: A1-4, 2014
- [8]. 張立軍, 徐飛, 王小博, 汽車刮水器摩擦引起的噪聲特性試驗分析, 同濟大學學報, 第38卷, 第7期, 第1062-1068頁, 2010

Model Verification of Conventional Type of Wiper Structure

Bor-Tsuen Wang¹, Kai-Yu Huang¹,
Chih-Chun Huang², Ming-Jen Chang²

¹Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

Pingtung, 91201, Taiwan

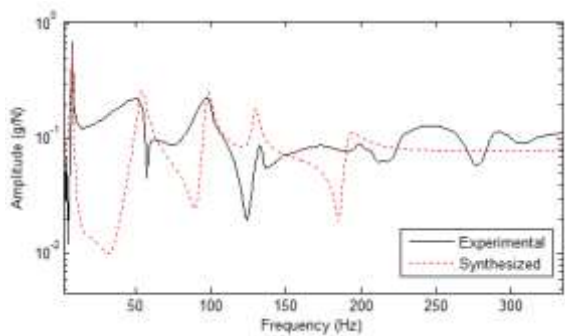
²Sandolly International Co. Ltd.

MOST Project No.: MOST 103-2622-E-020-006 -CC3

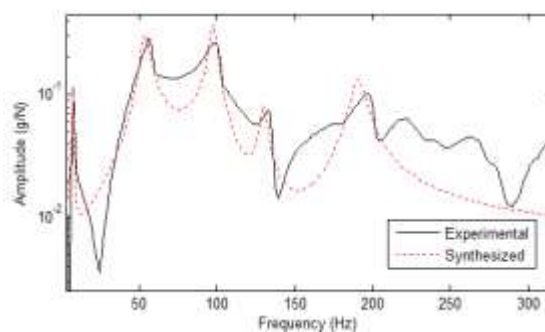
Abstract

The wiper is one of key components in auto parts and used to clean the raindrops on the windshield for driving safety. This work aims to establish the finite element model of the conventional type of wiper and discuss the structural vibration characteristics. Both finite element analysis (FEA) and experimental modal analysis (EMA) are, respectively, conducted to carry out model verification on the conventional wiper structure. The main idea of model verification is introduced to validate the analytical FE model equivalent to the practical wiper structure. The wiper's structural modal parameters can be obtained from theoretical modal analysis (TMA) and EMA, respectively. Both analytically predicted and experimentally extracted natural frequencies and mode shapes can be well interpreted and agree reasonably to each others. The theoretical FE model can then be validated and suitable for including structural damping effect by adopting experimentally obtained modal damping ratios. The analytical wiper model can be further applied to other analyses, such as wiper design modification, structural stress and deformation analysis, as well as the study to reduce the wiper's vibration.

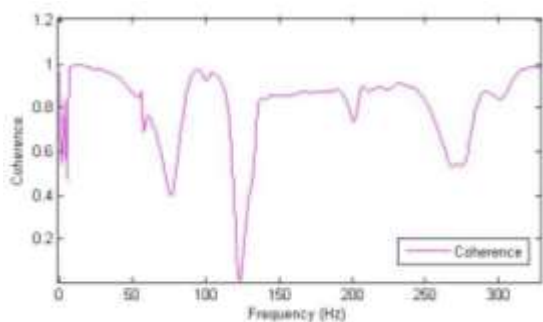
Keywords : Wiper, Finite Element Analysis (FEA), Experimental Modal Analysis (EMA), Model Verification



(a) 頻率響應函數圖

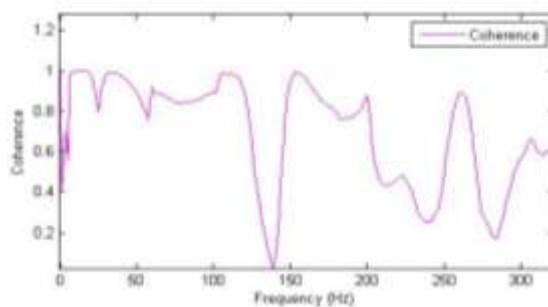


(a) 頻率響應函數圖



(b) 關聯性函數圖

圖 9 同點(i=17, j=17)(z 方向)



(b) 關聯性函數圖

圖 10 不同點(i=17, j=20)(z 方向)

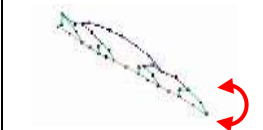
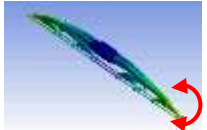

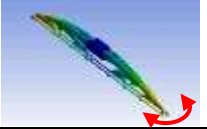






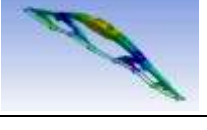
表 1 傳統兩刷零件總表

編號	名稱	數量
1	接頭	1
2	大骨架	1
3	中骨架	2
4	小翅	4
5	膠條	1
6	彈片	2
7	襯套	6
8	銷	7

表 2 自然頻率總表

Mode	EMA(Hz)	Mode	FEA(Hz)	誤差(%)	Damping	物理意義
E-01	3.7	F-01	4.1	10.8	5.0	整體模態_ z 方向旋轉剛體模態
E-02	7.2	F-02	6.2	-13.8	2.9	整體模態_ y 方向旋轉剛體模態
E-03	53.7	F-03	51.3	-4.4	5.2	整體模態_ z 方向第一側向振動模態
--	--	F-04	52.2	--	--	整體模態_ y 方向第二側向振動模態
--	--	F-05	59.8	--	--	整體模態_ 第一扭轉模態
E-04	97.8	F-07	77.6	-20.6	2.2	整體模態_ z 方向第二側向振動模態
--	--	F-08	95.1	--	--	局部模態_ 彈片模態
E-05	130.1	F-09	96.5	-25.8	1.7	整體模態_ 第二扭轉模態
E-06	203.5	F-06	62.5	-69.2	1.2	整體模態_ y 方向第一側向振動模態

表 3 模態振型表

mode	EMA	mode	FEA	物理意義
E-01		F-01		整體模態_ z 方向旋轉剛體模態
E-02		F-02		整體模態_ y 方向旋轉剛體模態
E-03		F-03		整體模態_ z 方向第一側向振動模態
E-04		F-07		整體模態_ z 方向第二側向振動模態
E-05	F-09		整體模態_ 第二扭轉模態	
E-06		F-06		整體模態_ y 方向第一側向振動模態