

應用平坦度評估對簡易衝擊平台與半正弦波產生器之設計與研究

王栢村¹, 李沛緯², 李昆達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 金頓科技股份有限公司研究發展處處長

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

國科會計劃編號: NSC-96-2622-E-020-003-CC3

摘要

本研究目的在於發展一套半正弦波產生器之幾何理論預測程式，並同時考慮平坦度與衝擊座數量之影響，以期得到最佳之預測結果。首先以單自由度系統模擬衝擊平台與膠塊，與振動學等力學相關理論，發展衝擊力與膠塊幾何形狀預測模式，並建立 MATLAB 軟體之半正弦波預測程式，設定規範所要求半正弦波之加速度峰值、時間間隔等參數與衝擊平台質量、測試高度等，以得到膠塊幾何大小。進一步可擴充設計膠塊的放置位置與膠塊數量，使其撞擊後在平台上所產生之瞬間衝擊應力能最均勻分布，且符合規範中半正弦波之標準響應區間外型。或導入電腦輔助工程分析(CAE)技術，模擬撞擊過程，並結合實驗模態分析(EMA)技術驗證模型等效性，以得知平台上所產生之波形變化，並可更進一步了解其膠塊各項參數對衝擊時間與加速度之關係，並套入平坦度評估模式，利用分析所得之加速度結果對衝擊平台進行平坦度評估分析，用以選定各種尺寸、大小及位置之衝擊座，達到較佳之平坦度，以符合於各種試驗條件及規格之衝擊試驗規範。

關鍵詞：半正弦波產生器、LS-DYNA、撓性平台理論、平坦度評估

1. 前言

由於衝擊試驗有著不同需求之衝擊時間與加速度值，而基座的半弦波產生器更是產生目標波形的重要零件，目前業界針對不同的衝擊波形採用試誤的方式，浪費金錢與時間成本，本文主針對半弦波產生器之膠塊進行一套理論預測分析，用以預測衝擊平台落下高度與膠塊種類、擺放位置。由於目前業界針對衝擊規範進行試驗是採用試誤方式，耗時且耗人力。本文將開發一套結合平坦度與半正弦波產生器位置及幾何之預測流程，以加快衝擊試驗之前置作業速度。

隨 IC 產業蓬勃發展，電子產品銷量日益居多，品質要求也愈來愈高。產品出廠前須經過環境試驗以確保其可靠度。相關產品環境試驗研究方面林 [1]指出振動及衝擊測試是電子連接器與線纜組之環境試驗項目中的一環。楊 [2]也由電機產品製造商的品質觀點探討：振動測試(vibration test)、衝擊測試(shock test)、落下測試(drop test)，以考驗產品品質。由於產品在使用、

搬運及運輸過程中皆會遭遇衝擊環境所累積之損害，因此衝擊測試為環境試驗中重要的一環。

在衝擊環境測試中，ASTM D3332 [3]設計規範指出衝擊試驗平台(以下簡稱平台)即必須有足夠之勁度與剛性以保持水平之平整度(flatness)，同時自由落下時不能有平移或翻轉。而美國軍方 MIL-STD-883E (1996) [4]規範指出衝擊試驗設備必須提供 500-3000g(peak)之半正弦衝擊脈波(half sine pulse)，衝擊時間在 0.1-1ms 之間，此半正弦波僅允許 20% 以內之誤差，每個軸向必須承受 5 次衝擊波，包括正負方向。

王[5]提出結合撓性簡化衝擊平台理論與有限元素分析，對半正弦波產生器之位置與數量進行研究評估，其中理論分析結果與有限元素分析結果有一致性，顯示撓性簡化平台理論有其參考價值。王[6]提出平坦度評估模式，定義平坦度性能指標，利用衝擊平台頂面加速度輸出，瞭解平台之平坦程度。

由於文獻[5]與[6]分別針對符合衝擊規範之平台落下高度、半正弦波產生器幾何尺寸與位置及衝擊平台平坦度進行研究探討，故本文將結合平坦度及半正弦波產生器之設計進行綜合性的研究，探討由撓性理論結果套用於衝擊分析後，進行平坦度評估，瞭解相同衝擊目標下，膠塊數量與位置所產生之影響。

2. 撓性平台理論與理論預測之平坦度評估解析

衝擊試驗依據不同材料或幾何形狀之衝擊座，可產生不同種類之波型，如半弦波、方波、鋸齒波等，本研究主要利用半弦波來作為平台設計研究所使用之目標波型，而定義半正弦波之波型有兩大要素：加速度(G)與衝擊時間(T_d)，本文針對之半正弦波之加速度為 100 g，衝擊時間為 4 ms。

圖 1(a)為撓性簡化平台與理論預測之平坦度分析理念流程圖，平坦度評估主要分兩部分，首先套用撓性平台理論求得平台之落下高度 \hat{H} 與半正弦波產生器高度 \hat{L} ，將此結果代入 LS-DYNA 進行衝擊分析，得到 LS-DYNA 之平坦度評估結；另一方面，結合有限元素法進行分析，求取撓性理論之平台平坦度。圖 1(b)為撓性簡化平台與理論預測之平坦度分析理念流程圖，其中包含理論預測之平坦度評估解析與結合撓性平台理論及 LS-DYNA 之平坦度評估解析，其解析如下：



2-1 理論預測之平坦度評估

步驟 1: 應用有限元素法對衝擊平台進行簡諧響應分析

首先對平台進行簡諧響應分析,並考慮平台頂面所有點之響應。由於時域衝擊外力是未知的,因此假設衝擊外力為單位外力輸入,即在頻率域下以白噪音(white noise)外力輸入,依上述之假設衝擊外力於頻率域下為白噪音的理念,便可運用有限元素分析軟體 ANSYS 進行簡諧響應分析,可分別求得平台底面各點所受衝擊外力輸入 $F_j(f)$ 與對應平台頂面所有點之加速度輸出 $A_i(f)$ 之頻率響應函數 $H_{i,j}(f)$ 。而有限元素模型建構方面,平台採用三維線性立體元素 SOLID45,平台中心點採用三維線性質量元素 MASS21 模擬測試物質。

圖 2 為簡易平台底面輸入與頂面輸出之點數規劃示意圖,進行簡諧響應分析時,假設平台底面承受不同位置的單一外力輸入 $F_j(f)$ ($j=1,2,\dots,19$),即可得頂面所有點 $A_i(f)$ ($i=1,2,\dots,49$)之對應頻率響應函數。

步驟 2: 考慮衝擊座數量與位置之效應,求得輸出之加速度 $A_i(f)$

圖 3 為平台衝擊外力示意圖,由於進行簡諧響應分析時僅考慮單點之外力輸入,而平台進行衝擊時,需考慮單個至多個外力輸入,再由簡諧響應分析之頻率響應函數定義,求取底面多點輸入所對應之頂面所有點之加速度輸出。

由簡諧響應分析之頻率響應函數定義

$$[H_{i,j}(f)]\{F_j(f)\} = \{A_i(f)\} \quad (1)$$

根據上式,多自由度系統可表示為:

$$\begin{bmatrix} H_{1,1} & H_{1,2} & \dots & H_{1,N_p} \\ H_{2,1} & H_{2,2} & \dots & H_{2,N_p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N_s,1} & H_{N_s,2} & \dots & H_{N_s,N_p} \end{bmatrix}_{49 \times 19} \begin{bmatrix} F_1(f) \\ F_2(f) \\ \vdots \\ F_{N_p}(f) \end{bmatrix}_{19 \times 1} = \begin{bmatrix} A_1(f) \\ A_2(f) \\ \vdots \\ A_{N_s}(f) \end{bmatrix}_{49 \times 1} \quad (2)$$

其中, N_p 為半弦波產生器之位置; N_s 為平台頂面加速度輸出點, $N_s = 1, 2, \dots, 49$; A_{N_s} 為平台頂面中心加速度輸出參考點。故由式(2)可得:

$$\begin{aligned} A_1(f) &= H_{1,1}(f)F_1(f) + H_{1,2}(f)F_2(f) + \dots + H_{1,N_p}(f)F_{N_p}(f) \\ A_2(f) &= H_{2,1}(f)F_1(f) + H_{2,2}(f)F_2(f) + \dots + H_{2,N_p}(f)F_{N_p}(f) \\ &\vdots \\ A_{N_s}(f) &= H_{N_s,1}(f)F_1(f) + H_{N_s,2}(f)F_2(f) + \dots + H_{N_s,N_p}(f)F_{N_p}(f) \end{aligned} \quad (3)$$

整理後可得

$$A_{is}(f) = \sum_{j=1}^{N_p} H_{is,j}(f)F_j(f) \quad (4)$$

假設所有衝擊力皆相等,可表示為:

$$F_1(f) = F_2(f) = \dots = F_{N_p}(f) = F(f) \quad (5)$$

根據上式,可將式(5)改寫為

$$A_{is}(f) = F(f) \sum_{j=1}^{N_p} H_{is,j}(f) \quad (6)$$

將已得之頻率域下之 $A_{is}(f)$ 經由逆傅利葉轉換,轉為時間域之 $a_i(t)$

步驟 3: 進行平坦度評估

套入由文獻[6]所發展的平坦度評估模式,以定義平台的性能指標 PI_{avg} 與 PI_{diff} ,藉此判斷平台品質的優劣。由步驟 2 可得平台頂面各點之時間域加速度響應,並代入平坦度性能指標中,以評估平台之平坦度。

由於本文針對之目標波型為半正弦波其中, A 為半正弦波之 Peak 值, T_d 為半正弦波持續時間長度。

$$a(t) = \begin{cases} A \sin \frac{2\pi}{2T_d} t, & \text{when } 0 \leq t \leq T_d \\ 0, & \text{when otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

理想情況下,產生之衝擊波波型會與目標波型相符,但在實際時會有誤差,因此以目標波型為基準,定義其誤差表示方式,其中, $a_i(t_k)$ 為測試面第 i 個量測點在 k 個時間點下所量得的時域加速度波型,在此 i 為 1~49 個量測點,而 $a_s(t_k)$ 為時域下之加速度目標波型。

$$e_{ik} = \frac{a_i(t_k) - a_s(t_k)}{A} \times 100\% \quad (8)$$

平台上共有 N_s 個量測位置,時間域下所需的時間點數有 N_t 個時間點,即 $s=1,2,\dots,N_s$, $t=1,2,\dots,N_t$,則 $e_{k,rms}$ 為第 k 個時間點的所有 N_s 個量測位置加速度振幅誤差百分比的均方根值,如下:

$$e_{k,rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_s} |e_{ik}|^2}{N_s}} = \sqrt{\frac{e_k}{N_s}} \quad (9)$$

而所有時間點下的 $e_{k,rms}$ 平均或是 $e_{i,rms}$ 平均則可定義出第一個性能指標 PI_{avg} ,如式(10)所示。

$$PI_{avg} = \frac{\sum_{k=1}^{N_t} e_{k,rms}}{N_t} = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} e_{i,rms}}{N_s} \quad (10)$$

若整個 $e_{i,rms}$ 中之最大值為 e_{max} ,則 e_{min} 即為最小值,其分別定義如下:

$$e_{max} = \max[e_{i,rms}] \quad (11)$$

$$e_{min} = \min[e_{i,rms}] \quad (12)$$

由式(11)及(12)可定義第二個平坦度性能指標 PI_{diff} ,其為 e_{max} 與 e_{min} 兩者間之絕對差異量,可寫成:

$$PI_{diff} = |e_{max} - e_{min}| \quad (13)$$

2-2 撓性平台理論與 DYNA 分析之平坦度評估

以撓性簡化平台理論及有限元素衝擊模擬分析結果進行探討。探討半弦波產生器數量與位置對半平台平坦度之影響,其中包含 2 個、3 個及 4 個半弦波產生器。撓性簡化平台理論方面,主要輸入參數包含衝

擊平台、夾具及測試物總質量 $m=200\text{kg}$ ，半弦波產生器楊氏係數 $E_x=1.5\times 10^9\text{ N/m}^2$ ，半弦波產生器直徑 $=0.08\text{m}$ 。在有限元素分析方面，則代入上述參數及由撓性簡化平台理論求得之平台落下高度 H 及半弦波產生器長度 L ，將上述所有參數代入 LS-DYNA 進行分析得知其頂面各點之加速度輸出 $a_i(t)$ ，接著使用上述平坦度評估流程，進行平坦度評估。

3. 結果與討論

本節分為兩部分進行綜合探討，首先進行撓性平台理論與 DYNA 分析，求得時域下之加速度後進行平坦度評估。接著進行前一小節所提之理論預測之平坦度評估，最後進行比對及探討。

圖四為半弦波產生器擺放位置示意圖理論分析時，分為單個與多個半弦波產生器進行分析，並考慮位置效應之影響，故將 S 定義為半弦波產生器距離中心點之距離；另外四個半弦波產生器分析時將 S 分為 $S1$ 、 $S2$ ，分別定義距中心點左右與前後向之距離。

3-1 撓性平台理論

表一為撓性理論分析之不同半弦波產生器數量與位置之結果比較表，圖 4 為半弦波產生器擺放位置示意圖。表 1 利用撓性理論求得具數量與位置效應影響之半正弦波產生器之長度 (\hat{L}) 與平台落下高度 (\hat{H})。而擺放位置如圖 4 所示。結果第 1 列為文獻[4]分析之結果，第二列為本文進行分析之結果，第三列則為誤差百分比，其綜合討論如下：

1. 表 1 中畫底線之結果為有較大誤差結果產生處，本文分析結果與文獻[4]相比，其趨勢與結果幾近吻合，只有少部分 CASE 中有較大的誤差。
2. 針對較大誤差之結果進行探討，可發平台落下高度或半弦波產生器之長度差異皆在 1 公分內，而四個半弦波產生器之分析結果幾近吻合，顯示知道規範之半正弦波型後，使用撓性平台理論可以有效估算出 \hat{H} 與 \hat{L} 之趨勢結果。

3-2 理論分析之平坦度預測

表 2 為不同 pad 數量之理論預測平坦度結果表，將不同數量與位置之半弦波產生器進行理論預測分析，求取其平坦度結果，其討論如下：

1. 以表 2(a)為例，左圖為理論預測出以一個半正弦波產生器，平台衝擊 1 號輸入點之頂面加速度 G 值結果，平面座標軸分別代表時間與平台頂面之輸出點，共 49 點；垂直座標軸則為加速度 G 值。
2. 表 2(a)中圖為理論預測出之頂面各點加速度值與標準波型(100G, 4ms)之加速度誤差百分比，平面座標軸分別代表時間與平台頂面之輸出點，共 49 點；垂直座標軸則為加速度 G 值之誤差百分比。
3. 表 2(a)右圖為理論預測分析平台頂面之平坦度圖，平面座標軸分別代表 X 方向與 Y 方向之點數，各方向均分為六等分，垂直座標軸為加速度振幅誤差百分比的均方根值，而 $Plavg$ 與 $Plidiff$ 分別代表第 1

與第 2 個平坦度性能指標。

4. 表 2(d)中圖，平坦度性能指標有著不錯的表現，整體而言加速度較標準波型為不足，若在實際衝衝擊實驗進行時，微調 \hat{H} 或 \hat{L} 使其產生目標加速度值，結果可能產生接近於標準波型之加速度，此種結果歸類為可調型。
5. 表 2(e)中圖，雖然平坦度性能指標有著不錯的表現，但加速度有正負 10% 的擺盪誤差，若在實際衝衝擊實驗進行時，微調 \hat{H} 或 \hat{L} 使其產生目標加速度值，結果可能還是有著正負 10% 的加速度擺盪誤差，此種結果歸類為不可調型，其歸類結果列於表 4。

3-3 DYNA 之平坦度分析

表 3(b)為將表一之撓性平台理論分析結果 \hat{H} 與 \hat{L} 代入至 DYNA 分析後，進行平坦度評估，即可得到平坦度評估分析結果，其探討如下：

1. 以表 3(b)為例，左圖為理論預測出以兩個半正弦波產生器，平台衝擊 2、3 號輸入點之頂面加速度 G 值結果，平面座標軸分別代表時間與平台頂面之輸出點，共 49 點；垂直座標軸則為加速度 G 值。
2. 表 3(b)中圖為理論預測出之頂面各點加速度值與標準波型(100G, 4ms)之加速度誤差百分比，平面座標軸分別代表時間與平台頂面之輸出點，共 49 點；垂直座標軸則為加速度 G 值之誤差百分比。
3. 表 3(b)右圖為理論預測分析平台頂面之平坦度圖，平面座標軸分別代表 X 方向與 Y 方向之點數，各方向均分為六等分，垂直座標軸為加速度振幅誤差百分比的均方根值，而 $Plavg$ 與 $Plidiff$ 分別代表第 1 與第 2 個平坦度性能指標。
4. 表 3(d)中圖，平坦度性能指標結果不理想，但整體而言加速度較標準波型為不足，若進行模擬分析時，微調 \hat{H} 或 \hat{L} 使其產生目標加速度值，結果可能產生接近於標準波型之加速度，此種結果歸類為可調型。
5. 表 2(h)中圖，平坦度性能指標結果不佳，加速度有正負近 75% 的擺盪誤差，進行模擬分析時，微調 \hat{H} 或 \hat{L} 使其產生目標加速度值，結果可能還是有正負 75% 的加速度擺盪誤差，此種結果歸類為不可調型，其歸類結果列於表 4。

表 4 為理論預測與 LS-DYNA 分析之平坦度結果表，將上述表 2 與表 3 歸類之結果統整於此表， X 表不可調型， \bigcirc 表可調型。

本文結合撓性平台理論，有限元素法之簡諧響應分析，發展出一套衝擊平台平坦度之理論預測方法，而此方法也納入半正弦波產生器之數量與位置效應之影響。並將此發展之方法與已開發出之撓性平台理論結合 DYNA 分析之結果進行平坦度評估比較，其綜合討論如下：

1. 由表 2 與表 3 之結果無法判斷利用理論預測或 LS-DYNA 進行平坦度評估何者為準。
2. 加速度之誤差量高並不代表其結果不好，需再利用



來回擺盪誤差判斷其結果之好壞，擺盪誤差越大，越不可進行後續調整。

- 預測之分析結果差，有可能為不成功之預測，後續仍須衝擊實驗進行驗證。
- 整體而言，四個半正弦波產生器進行之理論分析結果較佳。
- 由於目前採用簡易平台進行理論預測分析，後續將更新為實際平台模型進行分析。
- 理論預測目前使用點力進行輸入，後續將改為均佈力。

4. 結論與建議

本文引用文獻[4]之撓性理論進行半正弦波產生器之幾何尺寸平台落下高度之預測，並加入平坦度評估模式以期得到具半正弦波產生器數量、位置效應之平台平坦度結果，其結論與建議如下：

- 本文以撓性平台理論進行半正弦波高度與平台落下高度之預測，其結果與文獻[4]相當有相當的一致性。
- 從理論預測之平坦度結果可發現 4 個半正弦波產生器分析之結果較佳。
- 理論預測分析與模擬衝擊分析之結果有相互衝突的現象發生，後續將進行實驗，以確定何者之結果為正確。
- 由於理論預測時，輸入力為點力，後續將以均佈力進行模擬。

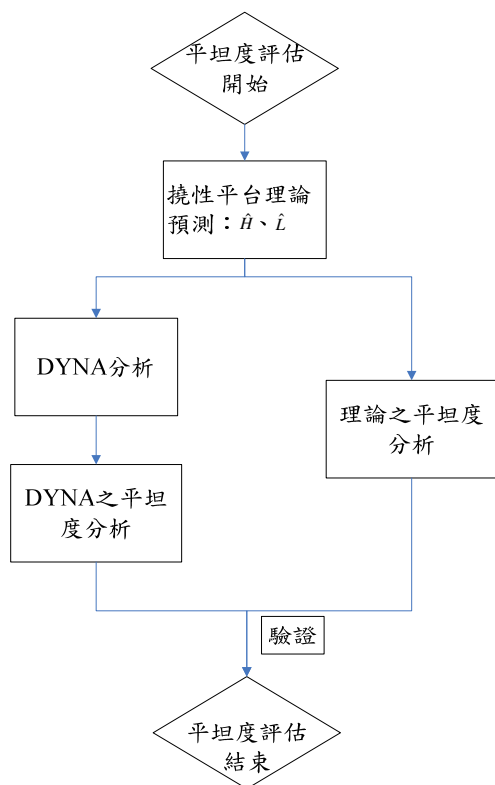
- 模擬衝擊分析時之材料參數尚未確認，後續將進行材料參數確認以求更加模擬分析結果。
- 模擬衝擊分析之平台採用簡易平台，後續將改用實體模型進行分析。

5. 致謝

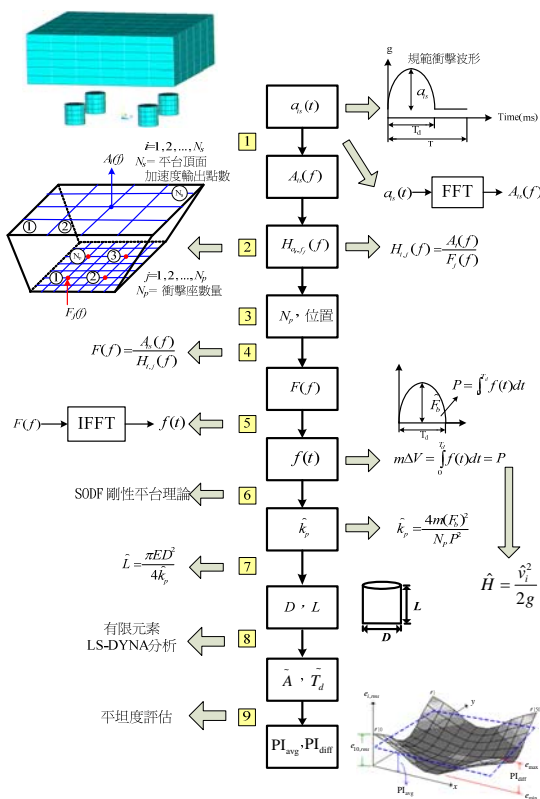
本研究承蒙國科會計畫與金頓科技股份有限公司經費支助，特以誌謝，國科會小產學計畫編號 NSC-96-2622-E-020-003-CC3。

6. 參考文獻

- 林明儀，2002，「電子連接器與線纜組測試分析概要」，電子檢測與品管，第 49 期，第 39~41 頁。
- 楊長江，2001，「以使用者的品質觀點談振動測試」，電子檢測與品管季刊，第四十五期，第 58~59 頁。
- D3332, "Standard Test Method for Tensile Properties of thin Plastic Sheeting," American Society for Testing and Materials, 2002.
- MIL-STD-833E, Test Method Standard Microcircuits, US Department of Defense, 1996.
- 王栢村，黃宗淇，2007，「衝擊試驗機半正弦波產生器之力學分析與設計研究」，國立屏東科技大學機械工程系碩士論文，第 32~58 頁。
- 王栢村，陳克強，2006，「衝擊試驗機滑動平台之設計驗證與評估」，國立屏東科技大學機械工程系碩士論文，第 58~62 頁。

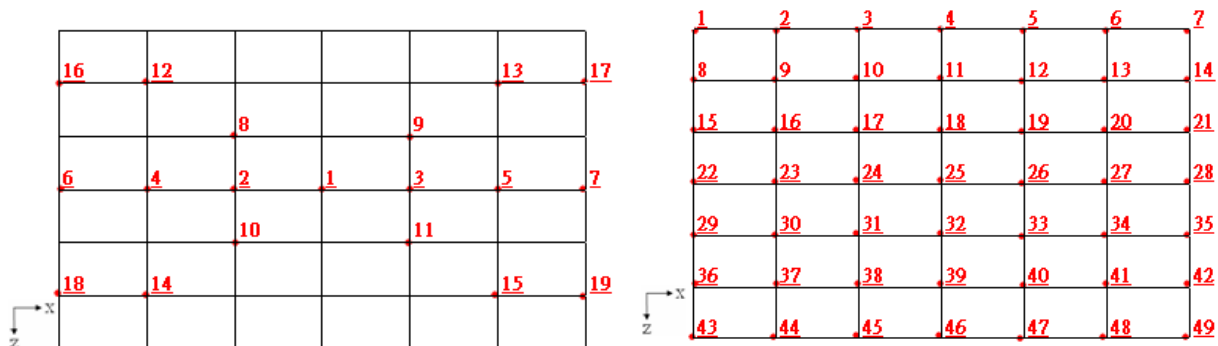


(a) 理念流程圖



(b) 步驟流程圖 [5],[6]

圖 1 結合撓性簡易平台與理論預測之平坦度分析流程圖



(a) 簡易平台底面外力輸入之點數規劃示意圖

(b) 簡易平台頂面外力輸出之點數規劃示意圖

圖 2 簡易平台之頂面與底面之點數規劃示意圖

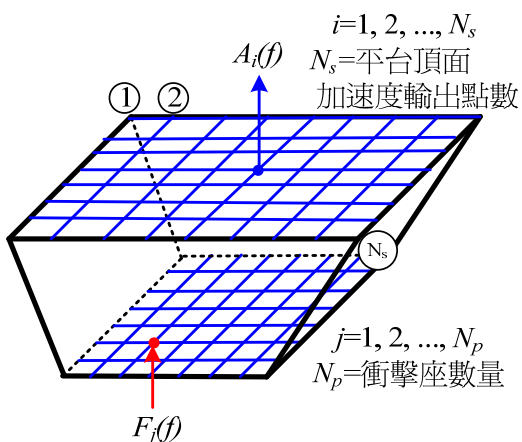


圖 3 平台衝擊外力示意圖

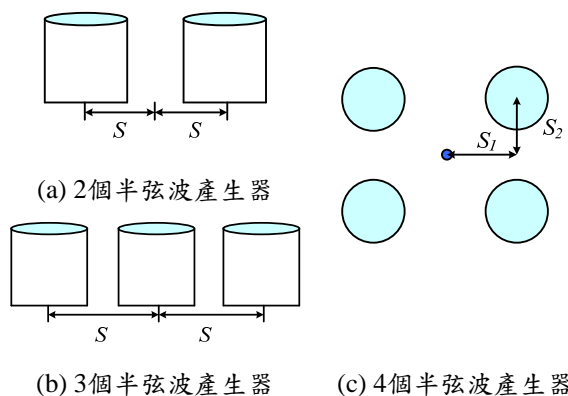


圖 4 半弦波產生器擺放位置示意圖

表 1 撓性理論分析之不同半弦波產生器數量與位置之結果比較

半弦波產生器與中心點距離 S(m)	0.3	22.158						0.1874		0.0257		-0.56		0.3		0.2		-0.1914		-0.0777	
		1個半弦波產生器		2個半弦波產生器		3個半弦波產生器		S(m)		4個半弦波產生器											
		平台 落下 高度 \hat{H} (m)	半弦波 產生器 長度 \hat{L} (m)	平台 落下 高度 \hat{H} (m)	半弦波 產生器 長度 \hat{L} (m)	平台 落下 高度 \hat{H} (m)	半弦波 產生器 長度 \hat{L} (m)	平台 落下 高度 \hat{H} (m)	半弦波 產生器 長度 \hat{L} (m)	S_1	S_2	平台 落下 高度 \hat{H} (m)	半弦波 產生器 長度 \hat{L} (m)	S_1	S_2	平台 落下 高度 \hat{H} (m)	半弦波 產生器 長度 \hat{L} (m)	S_1	S_2	平台 落下 高度 \hat{H} (m)	半弦波 產生器 長度 \hat{L} (m)
文 獻 [5]	0.1	0.0513	0.0792	0.0499	0.148	0.0510	0.228	0.1	0.1	0.0496	0.3021	0.1	0.1	0.0496	0.3021	0.1	0.1	0.0496	0.3021	0.1	0.1
	0.2			0.0493	0.1531	0.0496	0.227	0.2	0.2	0.0489	0.3085	0.2	0.2	0.0489	0.3085	0.2	0.2	0.0489	0.3085	0.2	0.2
	0.3			0.0401	0.1542	0.0493	0.23	0.3	0.2	0.0487	0.31	0.3	0.2	0.0487	0.31	0.3	0.2	0.0487	0.31	0.3	0.2
本 文	0.1	0.0580	0.0808	0.0499	0.1447	0.0566	0.2459	0.1	0.1	0.0494	0.3058	0.1	0.1	0.0494	0.3058	0.1	0.1	0.0494	0.3058	0.1	0.1
	0.2			0.0493	0.1518	0.0513	0.2268	0.2	0.2	0.0489	0.3086	0.2	0.2	0.0489	0.3086	0.2	0.2	0.0489	0.3086	0.2	0.2
	0.3			0.0489	0.1544	0.0493	0.2287	0.3	0.2	0.0488	0.3098	0.3	0.2	0.0488	0.3098	0.3	0.2	0.0488	0.3098	0.3	0.2
誤 差	0.1	13.1524	2.0761	-0.0386	-2.1804	11.0182	7.8745	0.1	0.1	-0.5061	1.2257	0.1	0.1	-0.5061	1.2257	0.1	0.1	-0.5061	1.2257	0.1	0.1
	0.2			0.0060	-0.7981	3.4535	-0.0678	0.2	0.2	-0.0014	0.0353	0.2	0.2	-0.0014	0.0353	0.2	0.2	-0.0014	0.0353	0.2	0.2

表 2 不同 pad 數量之理論預測平坦度結果表

(a) 1 pad (No.1)	PIavg = 6.6237%	PIDiff = 8.2216%
(b) 2 pads (No.2 3)	PIavg = 52.1984%	PIDiff = 165.4157%
(c) 2 pads (No.4 5)	PIavg = 5.5255 %	PIDiff = 8.9782 %
(d) 2 pads (No.6 7)	PIavg = 2.7196 %	PIDiff = 3.5022%
(e) 3 pads (No.1 2 3)	PIavg = 5.7949 %	PIDiff = 8.1674 %

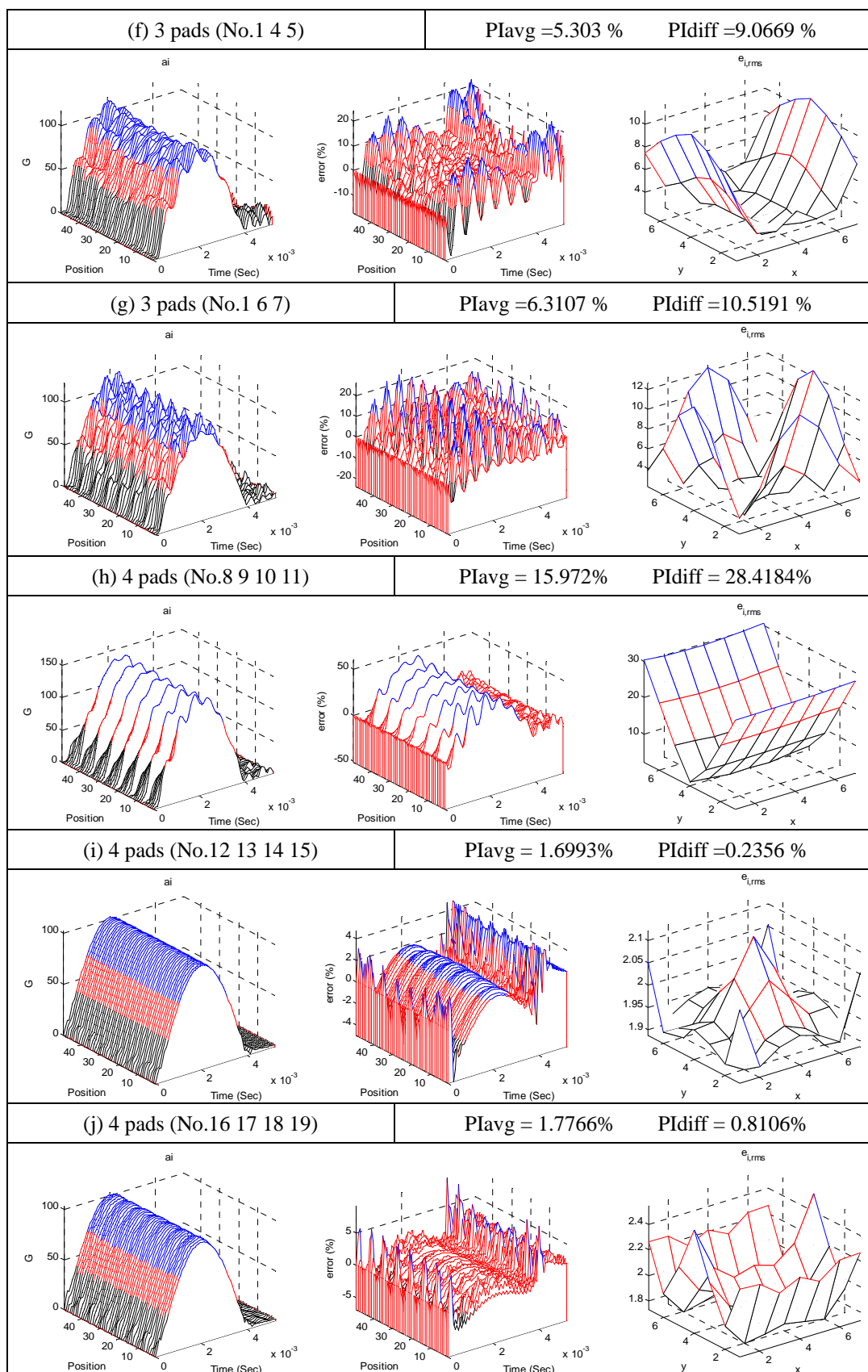
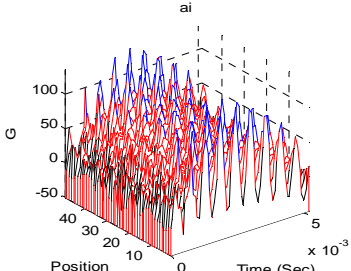
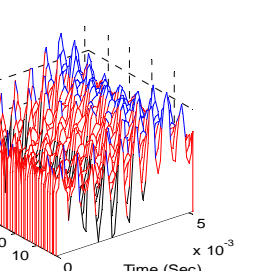
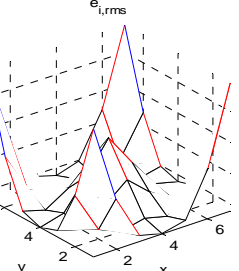
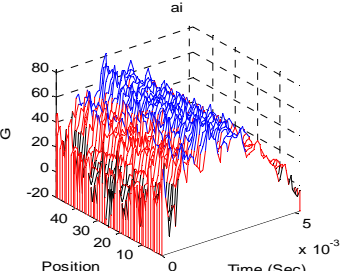
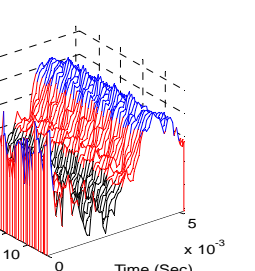
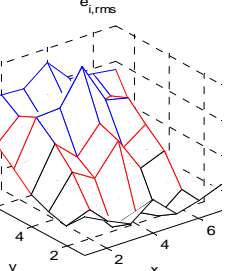
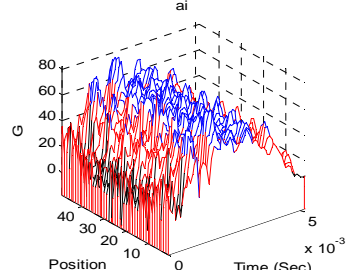
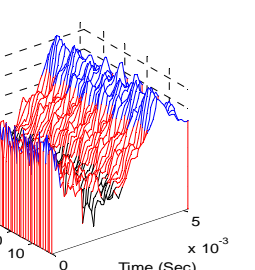
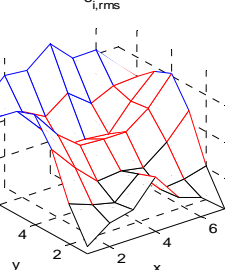
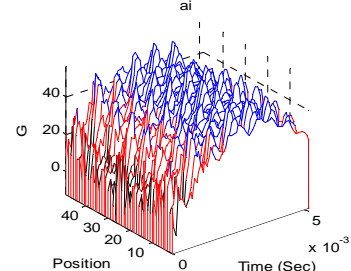
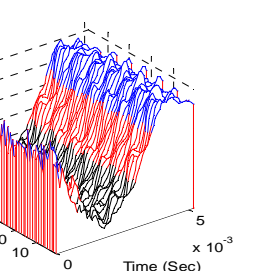
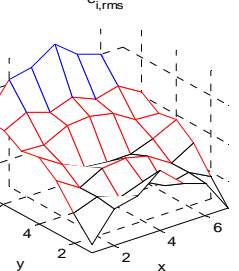
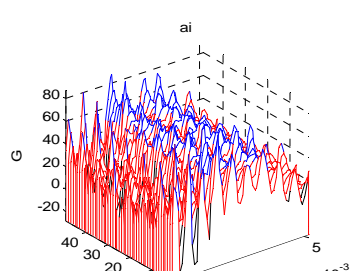
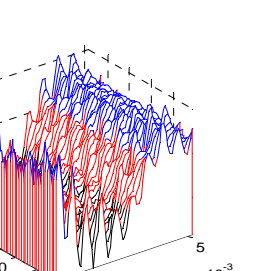
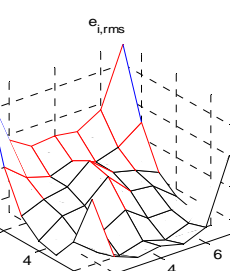


表 3 不同 pad 數量之 LS-DYNA 衝擊分析平坦度結果表

(a) 1 pad (No.1)	PIavg = 31.1174%	PIDiff = 20.6868%
		
(b) 2 pads (No.2 3)	PIavg = 24.6303 %	PIDiff = 3.6151 %
		
(c) 2 pads (No.4 5)	PIavg = 26.7318%	PIDiff = 7.1570 %
		
(d) 2 pads (No.6 7)	PIavg = 35.9066 %	PIDiff = 6.7719 %
		
(e) 3 pads (No.1 2 3)	PIavg = 32.3565%	PIDiff = 8.3636 %
		



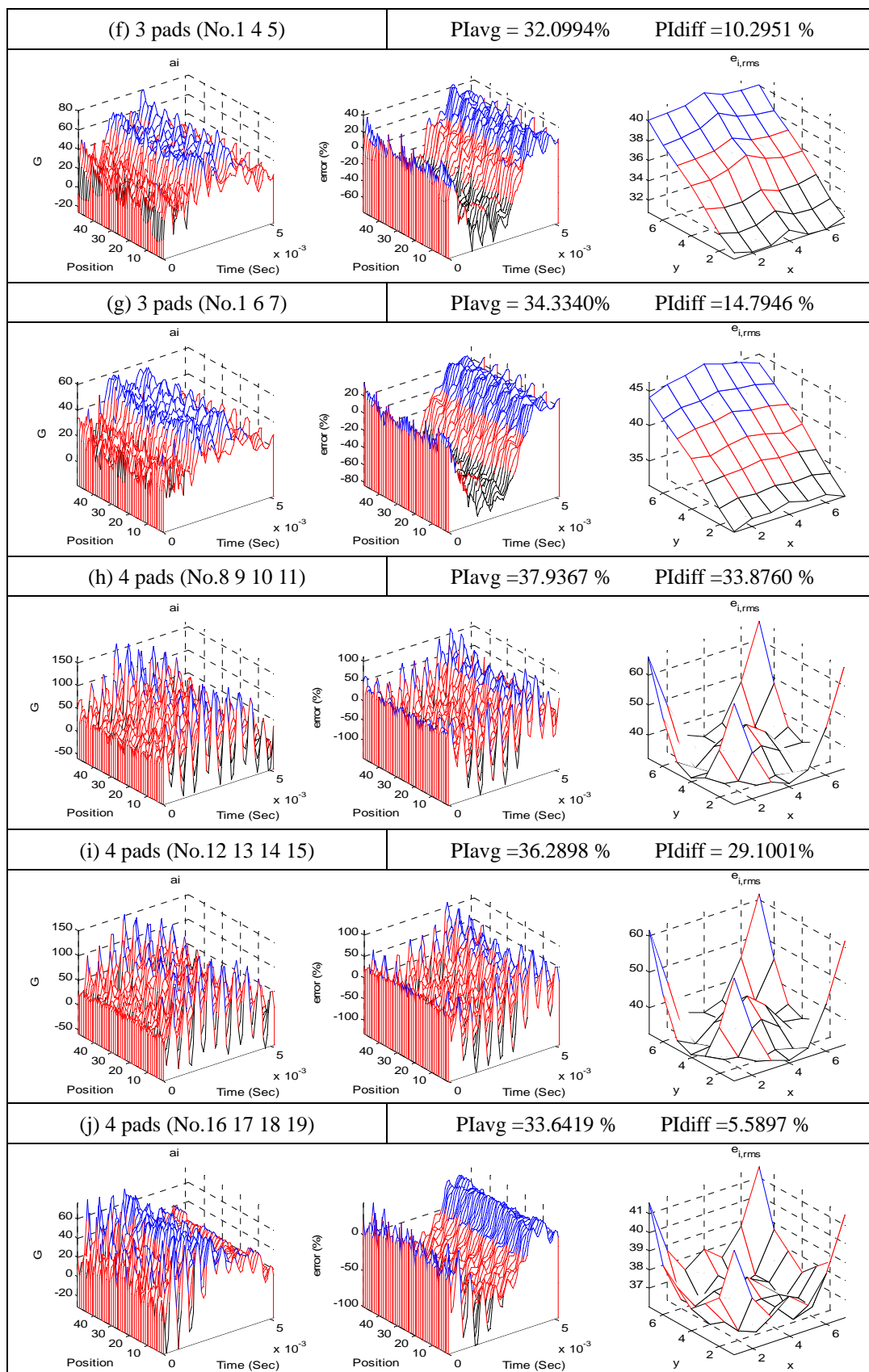


表 4 理論預測與 LS-DYNA 分析之平坦度結果表

		(a)理論預測			(b)LS-DYNA		
	Input No.		PI _{avg} (%)	PI _{diff} (%)		PI _{avg} (%)	PI _{diff} (%)
1 pad	(a)1	X	6.6237	8.2216	X	31.1174	20.6868
2 pads	(b)2 3	X	52.1984	165.4157	○	24.6303	3.6151
	(c)4 5	X	5.5255	8.9782	○	26.7318	7.1570
	(d)6 7	○	2.7196	3.5022	○	35.9066	6.7719
3 pads	(e)1 2 3	X	5.7949	8.1674	X	32.3565	8.3636
	(f)1 4 5	○	5.303	9.0669	○	32.0994	10.2951
	(g)1 6 7	X	6.3107	10.5191	○	34.3340	14.7946
4 pads	(h)8 9 10 11	○	15.972	28.4184	X	37.9367	33.8760
	(i)12 13 14 15	○	1.6993	0.2356	X	36.2898	29.1001
	(j)16 17 18 19	○	1.7766	0.8106	X	33.6419	5.5897

Application of Flatness Evaluation Method to the Design Analysis of Half-Sine Pulse Programmer for Simple Shock Testing Table

Bor-Tsuen Wang¹, Pei-Wei Lee², David Lee³

¹Professor, ²Graduate student,

Department of Mechanical Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

³Director, King Design Company

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

Abstract:

This work aims to develop the prediction method for the geometry design of half-sine programmer in considering the shock table flatness and numbers of programmers. First, the single degree-of-freedom (SDOF) model is adopted to develop the predictive model for the selection of programmer as well as the impact force. The MATLAB software is used to implement the code to obtain the geometry of the programmer and the shock table free-fall height by setting the system parameters, such as acceleration peak value, impact time duration and shock table physical properties.

The developed method can account the number and location of the programmers. Such that the shock table can maintain better surface flatness during shock impact and in accordance with the specified shock waveform. The computer aided engineering (CAE) technique is also

employed to simulate the impact process to predict the shock waveform after impact, while the experimental modal analysis (EMA) is used to validate the FE model.

Various parameters are studied to correlate the programmer geometry design with the peak acceleration and impact time. The shock table flatness is also of interest and show to calibrate the effectiveness of the programmer design so as fit the best conditions from different aspects of testing criteria.

Keywords: half-sine pulse programmer, LS-DYNA, theory of flexible table, flatness evaluation.

