

半弦波產生器固定於衝擊平台之衝擊試驗模擬分析

王栢村¹, 陳郁伶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

國科會計劃編號: NSC-96-2622-E-020-003-CC3

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

摘要

本文探討應用有限元素分析軟體,對半弦波產生器固定於衝擊平台底面之自由落下衝擊試驗方式,進行衝擊模擬分析,可以求得衝擊平台之響應,包括半弦波產生器加速度之峰值,及衝擊時間。首先分別建立衝擊平台以及半弦波產生器有限元素分析模型,以執行衝擊模擬分析,並對半弦波產生器於不同直徑及長度對衝擊平台響應之影響。本文也對另一種衝擊試驗形式,衝擊平台自由落下衝擊固定於基座之半弦波產生器,衝擊固定於基座之半弦波產生器進行比較模擬分析,結果顯示,相同之平台與半弦波產生器組合,對於平台響應有顯著差異。本文所發展之衝擊模擬方法可明確區別兩種測試方法之差異,也有助於實際應用之參考。未來將進行實驗驗證此分析結果,並可作為衝擊平台設計與半弦波產生器幾何形狀選擇之依據。

關鍵詞: 半弦波產生器、衝擊試驗、衝擊平台

1. 前言

由於現今社會的科技高速發展,技術不斷的創新,各種產品的結構組成日趨精細複雜,一個系統需要無數個零件所組成,但是如果系統在運作的過程中發生了零件的損毀,可能會導致系統的功能發揮不完全,或是造成整個系統的功能癱瘓而造成無法預測的結果,因此必須在產品研發階段將可靠度設計列入考慮,可靠度測試手法有振動、衝擊、落下、溫濕度、冷熱衝擊、鹽霧等試驗,本文是針對衝擊測試設備半弦波產生器及衝擊平台進行相關的研究。

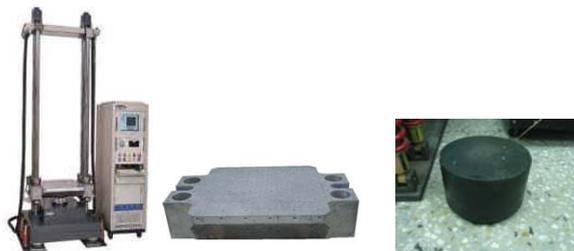
楊等人[1]使用衝擊測試對PCB板進行衝擊表現的評估,發現封裝體位於PCB板中心位置最易發生失效,其因為中心位置為彎曲變形發生最劇烈的位置。馮等人[2]將動態分析方法結合有限元素法和疲勞壽命評估分析結合可以得到車架上使用壽命較低的部位,可以對此進行補強及改善。MIL-STD-810F[3]美國軍方規範第516.5節之衝擊試驗方法中是評估軍用品在運送及不佳的使用環境裡遭受衝擊效應,用以評估設備系統的安全性。王等人[4]使用有限元素分析結合實驗模擬分析方式,對衝擊試驗平台進行模型驗證,確認所建構的有限元素模型可以足夠代表實際結構。許等人[5]將JEDEC規範中之衝擊條件和掉落衝擊測試實驗以及數值軟體模擬於不同衝擊速度下,加速度和衝擊波長所得的結果進行比較,以驗證實際實驗和數值軟體模擬可否滿足JEDEC規範要求。美國軍方MIL-STD-883E(1996)[6]內容規範為測試電子設備在搬運、運送及使用過程中虛

有可以遭受衝擊時之抵抗力,衝擊試驗時所需之衝擊試驗設備必須提供500-3000g(peak)之半正弦衝擊脈波(half sine pulse),衝擊時間為0.1-1ms之間,所產生的半正弦波容許誤差值為20%以內,衝擊平台需有足夠剛性及適當邊界拘束,電子設備必須承受6個軸向5次衝擊。Jayson *et al.* [7]有限元素分析和實驗模擬結構結合來模擬落下衝擊,再由實驗與模擬的結果進行驗證,確認模擬分析的可行性,在有限元素分析驗證成功後,直接進行有限元素的模擬分析設計,以達到虛擬測試之目標。

本文使用有限元素分析軟體LS-DYNA模擬衝擊測試,希望求得衝擊試驗時一個半弦波產生器連結於衝擊平台底部自由落體落下撞擊鋼板所產生的加速度以及衝擊時間,後續可和衝擊平台撞擊半弦波產生器作進一步的比較。

2. 問題定義與分析目標

衝擊試驗機、衝擊平台、半弦波產生器實體圖如圖1所示,執行衝擊試驗會將半弦波產生器固定於平台底部正中心,自由落體方式撞擊底板簡化示意圖如圖2(a),以達到所需之半正弦波波形和衝擊時間如圖3所示,圖4則為MILD-STD-202G規範中之理想波形。衝擊平台、半弦波產生器、底板之幾何尺寸,材料參數如表1~3所示,衝擊平台以簡易平台進行模擬,將其幾何尺寸,材料參數帶入LS-DYNA中進行衝擊模擬分析,可得知平台頂面在衝擊的過程中所得之衝擊波形,其中包括加速度值和衝擊時間的變化。以及固定於平台底部之半弦波產生器變形量。



(a)衝擊試驗機 (b)衝擊試驗平台 (c)半正弦波產生器
圖1 衝擊試驗設備及其外觀

本文使用有限元素分析軟體LS-DYNA模擬半弦波產生器固定於衝擊平台底部以自由落體的方式撞擊鋼板所產生之加速度的峰值和衝擊時間,探討不同半弦波產生器的直徑和相同半弦波產生器長度以及相同半弦波產生器的直徑和不同半弦波產生器長度所生之加速

度和衝擊時間，並加以探討半弦波產生器幾何尺寸改變候其中之差異，以及半弦波產生器固定於平台底面和基座上所產生的現象。

規範之半弦波衝擊時間為 4ms 加速度為 100g，半弦波產生器直徑、半弦波產生器長度、落下高度均參考黃[8]以圖 2(b)所示之運用單自由度剛性平台理論所分析出之假設的數值，設定參數分別為：

- 1 半弦波產生器長度為 0.0611m 搭配不同半弦波產生器的直徑
 - (1) 半弦波產生器直徑：0.08m、0.12m、0.16m
 - (2) 半弦波產生器長度：0.0611m
 - (3) 平台落下高度：0.0795m
- 2 半弦波產生器直徑為 0.08m 搭配不同半弦波產生器長度
 - (1) 半弦波產生器直徑：0.08m
 - (2) 半弦波產生器長度：0.0611m、0.138m、0.244m
 - (3) 平台落下高度：0.0795m
- 3 運用黃[8]圖 2(b)所示模擬單自由度剛性平台預測加速度峰值為 100g 衝擊時間為 4ms 所得之平台落下高度 0.795m 以及半弦波產生器直徑和長度進行分析
 - (1) 半弦波產生器直徑 $D=0.08m$ ，長度 0.611m。
 - (2) 半弦波產生器直徑 $D=0.12m$ ，長度 0.138m。
 - (3) 半弦波產生器直徑 $D=0.16m$ ，長度 0.244m。

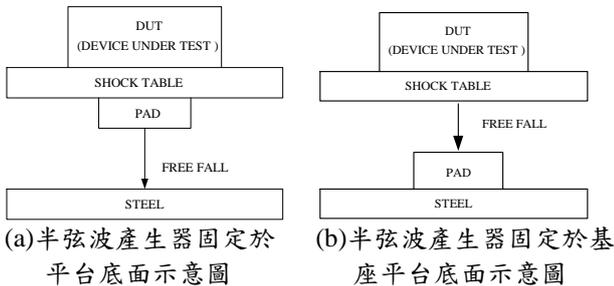


圖 2 衝擊測試示意圖

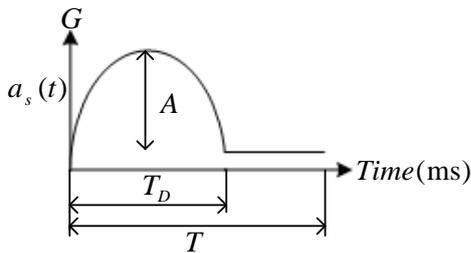


圖 3 半正弦波波形示意圖

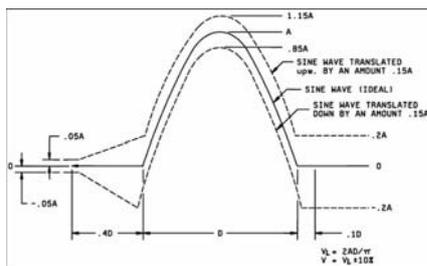


圖 4 MIL-STD-202G 規範衝擊半弦波形

表 1 衝擊試驗平台幾何參數與材料性質[8]

平台面長	0.6(m)
平台面寬	0.6(m)
總寬	0.88(m)
總高	0.2(m)
鋁鎂合金楊氏係數	38.5(GPa)
密度 ρ	1900(kg/m^3)
浦松比 ν	0.35

表 2 半弦波產生器幾何參數與材料性質[8]

楊氏係數	1.5(GPa)
半弦波產生器直徑	0.04(m)
浦松比 ν	0.3479
抗拉強度	46(MPa)
降伏強度	38(MPa)
密度 ρ	9878(kg/m^3)

表 3 底板幾何參數與材料性質

平台面長	0.6(m)
平台面寬	0.6(m)
總高	0.15(m)
Steel 楊氏係數	209(GPa)
密度 ρ	7850(kg/m^3)
浦松比 ν	0.35

3 有限元素分析

本文使用有限元素分析軟體 LS-DYNA 對半弦波產生器固定於衝擊平台底部並以自由落下的方式撞擊鋼板，其衝擊平台、半弦波產生器、底板之有限元素模型全部共有 6800 個元素如下所示，不同分析之有限元素模型圖形如表 4 說明如下：

衝擊平台：

- (1) 元素選用：使用三維線性立方體 Solid164
- (2) 元素分割：mapped mesh 漁網分割，共 3500 個元素。
- (3) 位移限制：FREE-FREE，無設定。
- (4) 負荷條件：重力加速度 $g = 9.807m/s^2$ ，初始速度 $V = 0m/s$ 。

半弦波產生器：

- (1) 元素選用：使用三維線性立方體 Solid164
- (2) 元素分割：mapped mesh 漁網分割，共 1200 個元素。
- (3) 位移限制：FREE-FREE，無設定。
- (4) 負荷條件：重力加速度 $g = 9.807m/s^2$ ，初始速度 $V = 0m/s$

底板：

- (1) 元素選用：使用三維線性立方體 Solid164
- (2) 元素分割：mapped mesh 漁網分割，共 2100 個元素。
- (3) 位移限制：底板底面固定 $UY=0$
- (4) 負荷條件：無設定。

4 結果與討論

本文利用有限元素分析軟體LS-DYNA 模擬進行衝擊試驗分析，並改變半弦波產生器之幾何尺寸中的直徑及長度進行分析所得之結果如下討論。

表 5、表 6 為模擬不同半弦波產生器的直徑和相同半弦波產生器長度(0.0611m)之討論如下：

1. 由表 5 可知直徑為 D=0.16m 所得平台頂面之衝擊波形較 D=0.08m, D=0.12m 之平滑，因此可知直徑較大之半弦波產生器所得之衝擊波形會較直徑小之波形佳。
2. 由表 5 可知 D=0.08m 所得的衝擊時間會較 D=0.16m, D=0.12m 的大，因此可知，直徑越小之半弦波產生器所得之衝擊時間會越大。
3. 由表 6 可知半弦波產生器之直徑對加速度的影響，直徑越大的半弦波產生器所產生的加速度越大。
4. 由表 6 發現半弦波產生器之直徑大小對衝擊試驗時所產生的衝擊時間有相當之影響，半弦波產生器於 D=0.08m 時，則衝擊時間 4.032ms，相較於 D=0.12m, D=0.16m 的大。
5. 由表 6 可知半弦波產生器的直徑對衝擊平台 Y 方向中心點的變形量無明顯的影響，其變形量值約在 -3.230mm~-3.683mm。
6. 由 $k_{eq} = \frac{\pi D^2 E}{L}$ 等效公式探討表 6 若半弦波產生器直徑(D)越大則半弦波產生器之剛性(k_{eq})會增加，加速度值(A)會增加，導致衝擊時間會減少，半弦波產生器變形量會減少。

表 7 為模擬相同半弦波產生器的直徑(D=0.08m)和不同半弦波產生器長度之中心點之平台、半弦波產生器加速度位移及變形量之探討，表 8 為經整理後之數據，詳細探討如下：

1. 表 7 可知長度 L=0.244m 所得平台頂面之衝擊波形較 L=0.138m, L=0.061m 之平滑，因此可知半弦波產生器長度越長衝擊波波形則會越平滑穩定。
2. 由表 7 發現半弦波產生器之長度對所產生的衝擊時間有相當之影響，半弦波產生器越長，則半弦波產生器和底板之接觸時間也會跟著拉長。由此可知長度越長的半弦波產生器會增加衝擊測試的衝擊時間。
3. 由表 7 得知半弦波產生器之長度為 L=0.138m 和 L=0.244m，在衝擊測試時會產生一反峰值，目前對反峰值之產生需加以探討，因此可知需要建構不同有限元素模型探討半弦波長度之必要。
4. 由表 8 可知不同長度的半弦波產生器在半弦波產生器 Y 方向中心點的變形量差異並不大其值約在 -2.571mm~-2.585mm 之間，所以半弦波的長度對半弦波產生器中心點變形

無太大影響。

5. 由表 8 可知半弦波產生器之長度對加速度的影響，長度越長的半弦波產生器所產生的加速度越小。
6. 由 $k_{eq} = \frac{AE}{L}$ 等效公式探討表 8 可得知，若半弦波產生器長度(L)越長，則半弦波產生器之剛性(k_{eq})會下降，加速度值(A)會減少，導致衝擊時間會增加，半弦波產生器變形量會增加。

本文運用黃[8] 單自由度剛性平台理論分析出加速度峰值為 100g 衝擊時間為 4ms 之平台落下高度、半弦波產生器直徑和長度的數值，模擬半弦波產生器固定於衝擊平台底部之衝擊試驗如圖 2(a)所示和經由有限元素分析模擬半弦波產生器固定於衝擊座上圖 2(b)所示之結果加以比較如表 9 探討發現：

- 1 以理論分析之加速度峰值為 100g 為目標可發現，半弦波產生器固定於平台底面所得之誤差為 3~18% 相較於固定基座上之誤差 -5~27% 差異性較小。
- 2 由表 9 可得知，半弦波產生器固定在平台底面所得的衝擊時間的差異在不同的分析狀況下誤差為 -5~8% 小於半弦波產生器固定在基座上之誤差 8~15%。
- 3 若以單自由度剛性平台理論分析出之半弦波產生器變形量為 1.59mm，分析發現半弦波產生器固定衝擊平台底面所產生之變形量誤差為 61~62% 會大於固定基座上之 -1~13%。其因為半弦波產生器固定於平台底面時慣性力含衝擊平台之衝力，造成半弦波產生器有較大之變形結果。

5 結論

本文利用有限元素分析軟體LS-DYNA 對半弦波產生器固定於衝擊平台底部的幾何尺寸進行分析，其分析內容為固定半弦波產生器直徑改變半弦波產生器長度和固定半弦波產生器長度改變半弦波產生器直徑進行探討，所得的結論為：

1. 半弦波產生器長度較短改變半弦波產生器之直徑則對衝擊波形的平滑度影想不大。
2. 半弦波產生器長度需適當的選擇，較長之半弦波產生器所產生之衝擊波形會較平滑，故不建議使用較短之半弦波產生器。
3. 由於單自由度剛性平台理論分析是針對半弦波產生器固定於基座上所發展出的理論解析，對於和半弦波產生器固定於平台底面之模擬分析結果比較差，因此對於半弦波產生器固定於平台底面之理論分析需再進驗證。
4. 本文使用簡易平台模擬半弦波產生器固定於衝擊平台底衝擊時所產生之衝擊效應對衝擊平台和半弦波產生器之影響希望在後續可以使用真實平台尺寸之有限元素模型進行分析以比較其差異性。

5. 本文提供實際測試時對半弦波產生器選用的長度以及直徑有一初步的方向。

6 致謝

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

7 參考文獻

- [1] 楊秉豐，賴逸少，葉昶麟，蔡靜宜，「無鉛晶片封裝之掉落衝擊測試表現」，第二十一屆機械工程學會，高雄，第 113~119 頁，2005。
- [2] 馮君平，黃俊仁，蔡文偉，林根源，張榮明，「機車車架之電腦輔助耐久性設計」，第二十六屆全國力學會議，虎尾，第 123~131 頁，2002。
- [3] MIL-STD-833E, 1996, *Test Method Standard Microcircuits*, US Department of Defense.
- [4] 王栢村，陳克強，李昆達，「衝擊試驗機滑動平台

之模型驗證」，中國機械工程學會第二十二屆全國學術研討會論文集，中壢，論文編號：C3-003，2005。

- [5] 許宏旭，鄭泗滄，吳政達，葉昶麟，「含晶元封裝電路板結構承受高 G 值之衝擊環境建立的研究」，中國航空太空學會第四十六屆學術研討會，台中，論文編號：5-10，2004。
- [6] MIL-STD-833E, 1996, "Test Method Standard Microcircuits," US Department of Defense.
- [7] Jayson, E. M., Murphy, J., Smith, P. W., and Talke, F. E. (2003) Head Slap Simulation for Linear and Rotary Shock Impulses. *Tribology International*, Vol. 36, pp.311-316.
- [8] 黃宗淇，「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 9~31 頁，2007。

表 4 有限元素分析模型

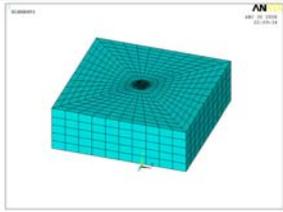
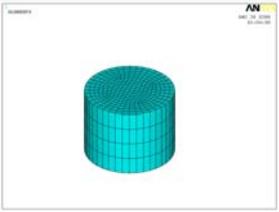
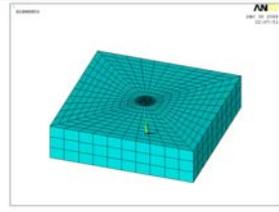
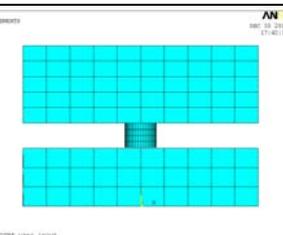
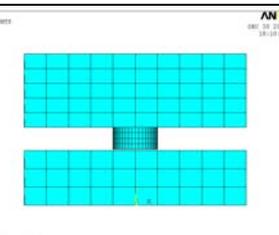
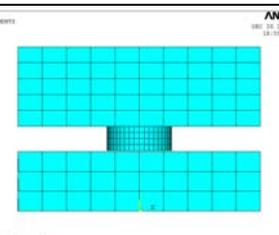
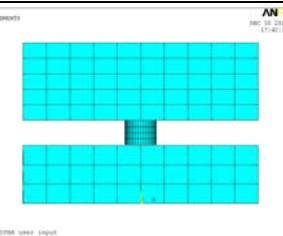
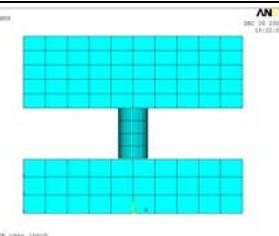
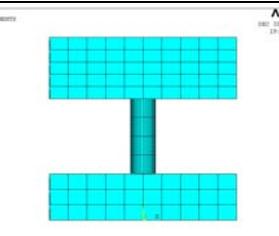
元件	衝擊平台	半弦波產生器	底板
有限元素模型			
直徑	D=0.08m	D=0.12m	D=0.16m
有限元素模型			
長度	L=0.0611m	L=0.138m	L=0.244m
有限元素模型			

表 5 半弦波產生器長度 $L=0.0611\text{m}$ 和不同半弦波產生器直徑之
中心點之平台、半弦波產生器加速度位移及變形量

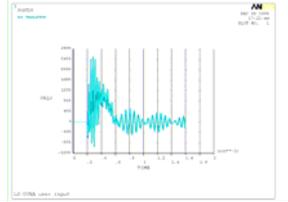
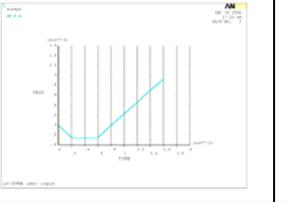
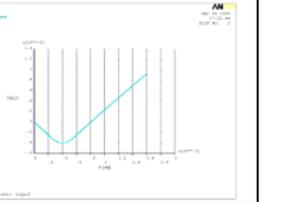
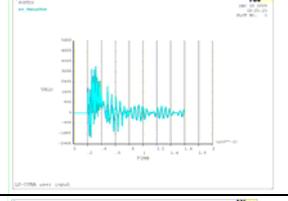
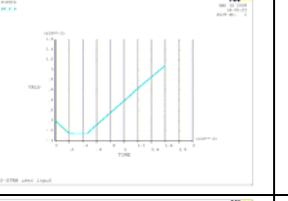
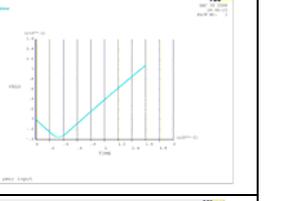
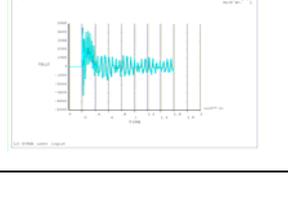
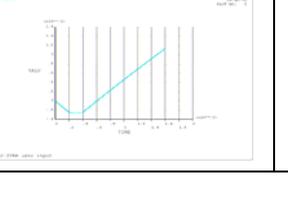
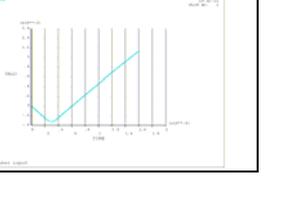
直徑	平台頂面中心點 Y 方向 加速度	半弦波產生器中心點 Y 方向變形	平台中心點 Y 方向 變形
0.08(m)			
0.12(m)			
0.16(m)			

表 6 半弦波產生器長度 $L=0.0611\text{m}$ 和不同半弦波產生器直徑之
中心點之平台、半弦波產生器加速度位移及變形量

直徑	時間(ms)	平台頂面中心點 Y 向加速度(g)	半弦波產生器中心 點 Y 方向變形(mm)	平台中心點 Y 方 向變形(mm)
0.08(m)	4.02	103	-2.61535	-3.68387
0.12(m)	3.98	159	-2.58347	-3.36334
0.16(m)	1.89	238	-2.56838	-2.60398

表 7 半弦波產生器直徑 $D=0.08\text{m}$ 和不同半弦波產生器長度之
中心點之平台、半弦波產生器加速度位移及變形量

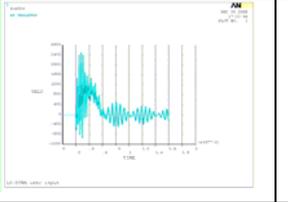
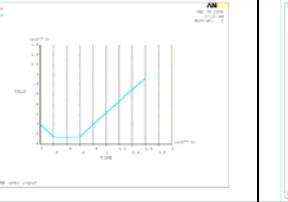
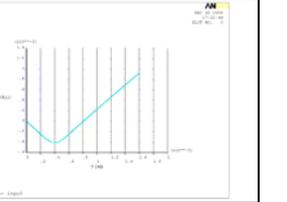
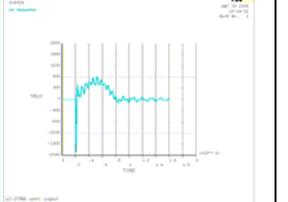
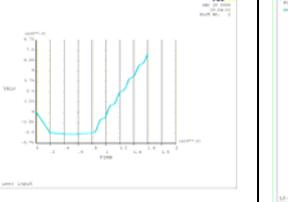
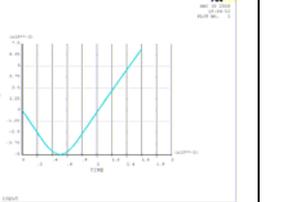
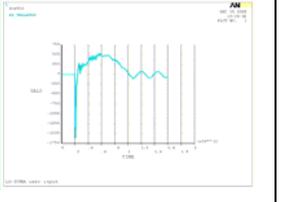
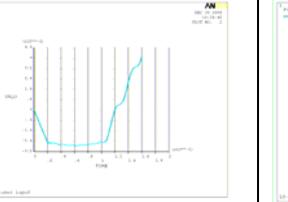
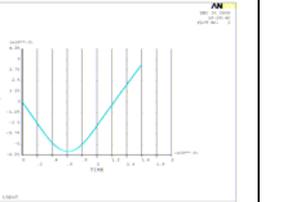
長度	平台頂面中心點 Y 方 向加速度	半弦波產生器中心點 Y 方向變形	平台中心點 Y 方向 變形
0.061(m)			
0.138(m)			
0.244(m)			

表 8 半弦波產生器直徑 D=0.08m 和不同半弦波產生器長度之
中心點之平台、半弦波產生器加速度位移及變形量

長度	時間(ms)	平台頂面中心點 Y 向加速度(g)	半弦波產生器中心 點 Y 方向變形(mm)	平台中心點 Y 方 向變形(mm)
0.061(m)	4.02	103	-2.58574	-3.68387
0.138(m)	5.19	83	-2.67729	-4.94468
0.244(m)	5.60	55	-2.69079	-5.75203

表 9 本文和黃[8]分析固定於基座上之半弦波產生器
和單自由度剛性平台理論分析預測加速度、時間、變形量之比較表

半弦波產生器直徑 D=0.08m 長度 L=0.0611 m						
	加速度(g)	誤差 (%)	衝擊時間 (ms)	誤差 (%)	變形量 (mm)	誤差 (%)
單自由度剛性平台 理論分析	100	--	4	--	1.59	--
固定基座上-文獻[8]	104	+4	4.6	+15	1.38	+13
固定衝擊平台底面	103	+3	4.0	0	2.58	+62
半弦波產生器直徑 D=0.12m 長度 L=0.138 m						
	加速度(g)	誤差 (%)	衝擊時間 (ms)	誤差 (%)	變形量 (mm)	誤差 (%)
單自由度剛性平台 理論分析	100	--	4	--	1.59	--
固定基座上-文獻[8]	95	-5	4.4	+10	1.49	-6
固定衝擊平台底面	115	+15	3.8	-5	2.60	+63
半弦波產生器直徑 D=0.16m 長度 L=0.244 m						
	加速度(g)	誤差 (%)	衝擊時間 (ms)	誤差 (%)	變形量 (mm)	誤差 (%)
單自由度剛性平台 理論分析	100	--	4	--	1.59	--
固定基座上-文獻[8]	127	+27	4.3	+8	1.57	-1
固定衝擊平台底面	118	+18	4.2	+5	2.56	+61

Shock Test Simulation for the Half-Sine Wave Programmer Attached to Shock Table

Bor-Tsuen Wang¹, Yu-Lin Chen², David Lee³

¹Professor

²Graduate student

^{1,2}Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

³King Design Company

ABSTRACT

This work presents the use of finite element (FE) software to simulate the impact analysis for the shock table attached with the half-sine wave programmer. The shock table response, including the peak acceleration and

duration time of the half-sine wave can be determined. The FE models of the shock table and the attached half-sine wave programmer are constructed and performed free fall impact simulation. Different diameters and lengths of the programmers are considered and studied their effects on the shock table response. The other shock test method for the shock table free fall impact on the half-sine wave programmer fixed on the ground is also compared. The developed simulation technique can characterize the shock table response for the two types of shock test methods and useful for practical applied. In the future, the experimental shock tests can be performed to calibrate the analysis and lead to the design of the shock table as well as the selection of the programmer geometry.

Keywords: half-sine wave programmer, shock test, shock table