

## 拇指琴音箱孔對琴片聲音之影響

王栢村<sup>1</sup>、黃柏翔<sup>1</sup>、楊昶昱<sup>1</sup>、吳盈輝<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立屏東科技大學 機械工程系

<sup>2</sup> 國立內埔高級農工職業學校 機械科

wangbt@mail.npust.edu.tw

### 摘要

拇指琴是由椰殼曬乾後加工製作為音箱，配合適當之長短鐵琴片便能以拇指撥動琴片彈出簡單的音階，而音箱結構會使聲音有放大之效果，因此本文針對拇指琴樂器進行聲音量測分析與有限元素分析，進而探討拇指琴音箱對琴片聲音特性之影響。首先，量測拇指琴演奏之聲音，量測每一琴片之時間域響應，以獲得聲音頻譜，同時利用有限元素分析進行單一琴片結構之模態分析，以及音箱結構與內外部空氣之聲振耦合分析，可得到拇指琴之模態參數，包含琴片及音箱結構與空氣耦合模態特性，由音箱結構與空氣耦合模態特性，可解構拇指琴音箱有腔體內部空氣模態以及音箱結構與外部空氣耦合模態兩種型式，其中以腔體模態對整體聲音有明顯的影響，而腔體結構與外部空氣耦合模態僅些微影響。另外，透過變更音箱孔結構探討腔體模態是否因音箱孔大小而影響空氣結構耦合系統之模態參數，結果顯示腔體模態之自然頻率由 328.3 Hz 降低至 178.69 Hz，確認音孔大小是影響腔體模態的重要因素之一。本文分別由實驗及分析方法解析拇指琴之聲音產生機制，並透過分析的手法預測音箱結構改變之影響，同時透過實驗進行驗證，驗證結果成功，所建立之方法也能應用於其他樂器之研究。

**關鍵字：** 拇指琴、有限元素分析、聲振耦合分析、空氣腔體模態

### 1. 前言

拇指琴是非洲某些部落在演奏的樂器，透過重複的彈奏，與搭配當地的民俗旋律使聲音和諧與動聽。拇指琴是由椰殼曬乾後加工製作為音箱，配合適當之長短鐵琴片便能以拇指撥動琴片彈出簡單的音階，而音箱結構會使聲音有放大之效果，因此本文針對拇指琴樂器進行聲音量測分析與有限元素分析，進而探討拇指琴音箱對琴片聲音特性之影響。

為了了解樂器的聲音特性與結構振動特性的關聯性，透過實際量測與分析進行探討，王等人[1]針對拇指琴進行聲音量測分析與有限元素分析，探討拇指琴之發聲機制，結果顯示腔體模態對整體聲音有明顯之影響。Boullosa [2]對多把古典吉他進行聲音量測及實驗模態分析，並透過主觀評價評估不同音板材質其聲音特性。王與蘇[3]利用加速度計對吉他弦之振動進行量測，並透過理論分析與實驗模態參數進行驗證，得知弦之聲音主頻率與振動之第一模態頻率吻合，但第二模態頻率之後，因架設加速度規而產生質量效應，造成振動頻率較聲音頻率偏高之情形。

拇指琴樂器本身結構是由空心共振體與鐵琴片所組成，與吉他之結構有些許相似，French and Hosler [4]在樂器架構和空氣之間產生共振稱之赫姆霍爾茲共振，容易使聲音有放大之效果，因此是影響實驗結果的重要因素之一。Bork [5]對木琴進行聲音量測得知單一共鳴器之效果，是主要造成調音效果的因素，而當同時加裝二支共鳴器時，其造成效果為延遲時間的延長。Moral and Jasson [6]利用實驗找出小提琴振動模態頻率範圍在 150Hz 到 2000Hz 間，並找出施力輸入點的位置對於小提琴振動模態的影響，結果發現在低頻時，施力輸入點位於琴橋 G 弦的位置時，小提琴模態會有較明顯的特性，且小提琴結構複雜，一般來說琴體的振動主要來自於於面板、背板及內部空氣的共振行為。

本文針對拇指琴進行聲音量測分析與有限元素分析，確認拇指琴之發聲機制，並透過變更有限元素模型，確認變更後音箱之腔體模態是否對聲音有所影響，且對變更幾何之拇指琴進行聲音量測，驗證其腔體模態之正確性。

### 2. 拇指琴的聲音頻譜特性探討

#### 2.1 拇指琴之聲音量測分析

本小章節主要說明拇指琴之聲音量測方法，以求得拇指琴之聲音頻譜，圖 1 為拇指琴之實際外型圖，拇指琴是由七片金屬琴片所組成，其直徑大小約 140 mm、音箱高度約 75 mm、音箱厚度約 5 mm，音箱上共七片金屬琴片依序由左至右，編號 01 為始，編號 07 為末，音箱本體有一直徑大小 25 mm 的音孔；圖 2 為拇指琴彈奏實際照片，演奏時雙手持握拇指琴本體，以雙手拇指同時或輪流彈奏。圖 3 為拇指琴之聲音量測實驗儀器架設圖，本實驗以麥克風為感測器，透過筆電之聲音量測軟體進行聲音量測，以獲得時間域之聲音響應，將時間域之聲音響應訊號進行快速傅立葉轉換，求得聲音頻譜圖，量測時以雙手持握拇指琴的方式量測，分別以拇指對琴片進行彈奏，並將麥克風架設於離拇指琴 15 公分水平處，需特別注意拇指琴量測時，所測得的聲音頻譜峰值需大於背景噪音 10 dB 以上，就表示不考慮背景噪音之影響，所量得的聲音值才算有效。

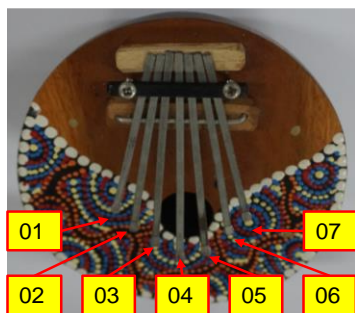


圖 1 拇指琴之實際外型圖

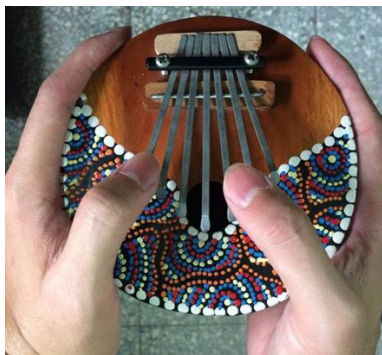


圖 2 拇指琴彈奏實際照片

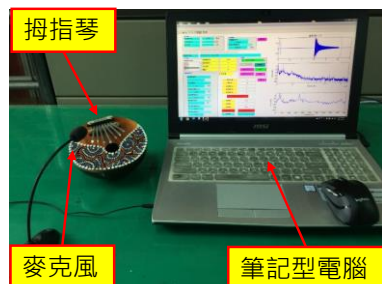


圖 3 拇指琴之聲音量測實驗儀器架設圖

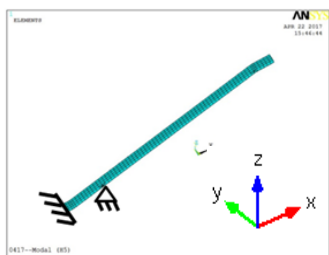
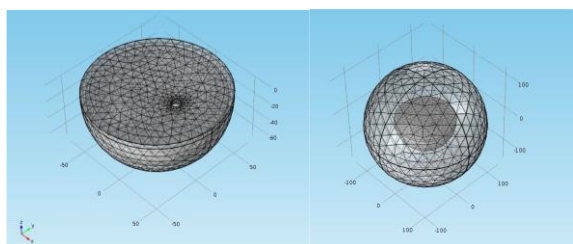


圖 4 拇指琴琴片之有限元素模型



(a) 音箱結構系統 (b) 音箱空氣結構耦合系統

圖 5 拇指琴有限元素模型

## 2.2 拇指琴片之有限元素分析

本小節主要應用 ANSYS 軟體對拇指琴琴片進行有限元素分析，因琴片受壓板固定於琴枕上，故假設琴片之數學模型為壓板端設為固定邊界，琴枕相交處設為支點，將其假設之數學模型再經由繪圖軟體繪製琴片實體模型，圖 4 為拇指琴琴片之有限元素模型，利用有限元素分析軟體建構有限元素模型，假設材料具有等向性且為均質，並符合虎克定律之假設。以單一材料進行分析，其材料之楊氏係數為 215 GPa，浦松比為 0.3，密度為 7850 kg/m<sup>3</sup>。元素分割總共有 270 個元素與 2171 個節點。邊界設定為模擬琴片之實際邊界下，則將琴片與琴枕之相交處設定固定邊界，透過模態分析求得理論模態參數，包含自然頻率與模態振型。

## 2.3 拇指琴音箱之音場模態分析

本小節主要說明透過 COMSOL 有限元素分析軟體進行聲振耦合分析，求得理論分析之結構系統與結構空氣耦合系統之模態參數，包含自然頻率與音場模態振型，進而探討音箱結構系統與空氣結構耦合系統之振動特性。圖 5 分別為(a)音箱結構系統(b)音箱空氣結構耦合系統之拇指琴有限元素模型，在結構系統中主要針對音箱結構進行模態分析，運用 COMSOL 軟體將匯入音箱幾何模型，並設定材料參數，楊氏係數為 2 GPa、浦松比為 0.3 與結構密度為 700 kg/m<sup>3</sup>，位移限制在模態分析中為自由邊界，進行模態分析求得結構系統之模態參數；結構空氣耦合系統在分析設定上，透過匯入音箱之幾何模型，且加入球體半徑為 140 mm 之空氣元素幾何模型，材料參數部分除了結構系統上的楊氏係數、浦松比與結構密度外需加入空氣元素，其元素設定為聲速 343 m/s，邊界部分設定結構模型與空氣模型之耦合邊界，表面空氣設定為自由音場表面即為無限音場，進行空氣結構模態分析，求得理論空氣結構耦合系統之模態參數。

## 2.4 拇指琴音箱之聲音特性結果與討論

本章節主要針對拇指琴之琴片結構及音箱結構耦合空氣之理論分析結果與拇指琴之聲音頻譜進行關聯性的探討，主要以第 01 號琴片與第 04 號琴片為例，圖 6 為第 01 號琴片之聲音頻譜與模態振型對照圖，圖 7 為第 04 號琴片之聲音頻譜與模態振型對照圖，由音箱結構與空氣耦合模態特性，可解構拇指琴音箱有腔體內部空氣模態以及音箱結構與外部空氣耦合模態兩種型式，其中以腔體模態對整體聲音有明顯的影響，而腔體結構與外部空氣耦合模態僅些微影響，若琴片振動模態頻率與兩種空氣模態頻率相近時，琴片的模態頻率會有放大之效果。



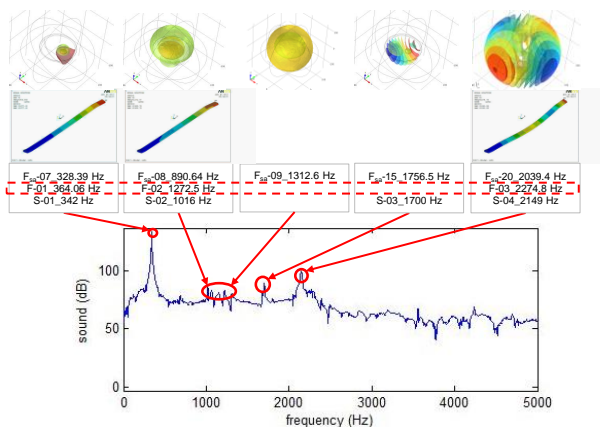


圖 6 第 01 號琴片之聲音頻譜與模態振型對照圖

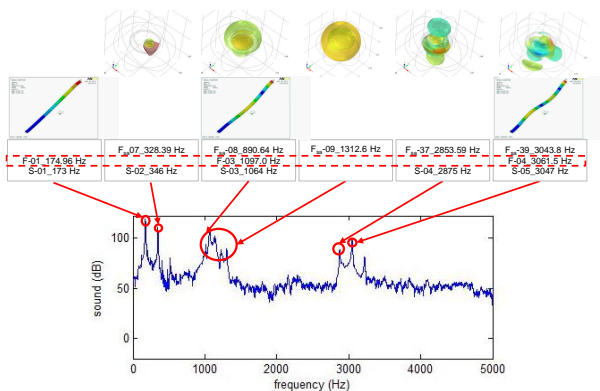


圖 7 第 04 號琴片之聲音頻譜與模態振型對照圖



圖 8 變更拇指琴之孔徑實際外型圖

表 1 變更音箱孔徑之拇指琴自然頻率總表

原始孔徑(25mm)		變更孔徑(10mm)		自然頻率誤差 (Hz)	自然頻率誤差 (%)
模態數	自然頻率 (Hz)	模態數	自然頻率 (Hz)		
F <sub>sa</sub> -07	328.39	F <sub>sa</sub> -08	178.69	-149.69	-45.58
F <sub>sa</sub> -08	890.64	F <sub>sa</sub> -09	900.78	10.14	1.14
F <sub>sa</sub> -13	1614.6	F <sub>sa</sub> -14	1615.84	1.26	0.08
F <sub>sa</sub> -14	1660.57	F <sub>sa</sub> -15	1620	-40.57	-2.44
F <sub>sa</sub> -22	2281.96	F <sub>sa</sub> -23	2313	31.03	1.36
F <sub>sa</sub> -23	2305.19	F <sub>sa</sub> -24	2315.53	10.38	0.45
F <sub>sa</sub> -37	2853.59	F <sub>sa</sub> -38	2875.3	21.7	0.76

### 3. 拇指琴音箱之模態分析

本節以應用聲振耦合分析與音箱結構設計進行模型變更，並探討音箱結構之腔體模態對拇指琴聲音的影響。

### 3.1 不同音箱孔徑之影響探討

本小節主要透過變更拇指琴之音箱孔大小，驗證與探討是否影響空氣結構耦合系統之腔體模態之因素。首先將音箱結構之有限元素模型進行音孔大小之設計變更，設計變更內容為音箱結構之音孔由 25 mm 縮小為 10 mm，其材料參數不變，進而透過聲振耦合分析求得理論空氣結構耦合系統之模態參數，表 1 為變更音箱孔徑之自然頻率總表，表 2 為不同音箱孔徑之拇指琴空氣耦合結構系統對應模態振型總表，可以看出音箱之腔體模態之自然頻率由 328.3 Hz 降低至 178.69 Hz，其頻率誤差高達-45.58%，可確認音箱孔徑大小是影響空氣腔體模態的重要因素，而其餘空氣模態振型相似，其頻率誤差最大值-2.44%、最小值 0.08%，僅有些微影響。

### 3.2 不同音箱材料之影響探討

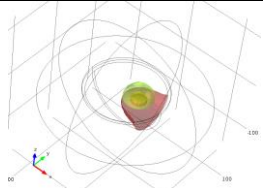
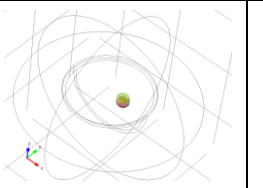
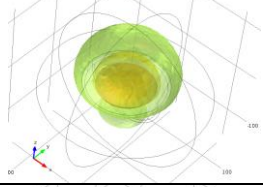
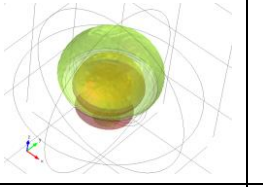
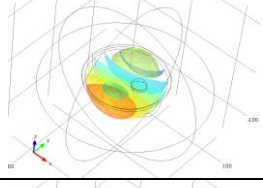
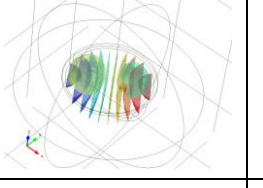
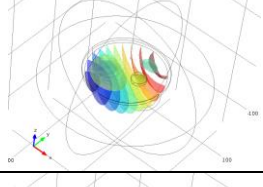
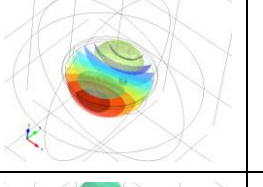
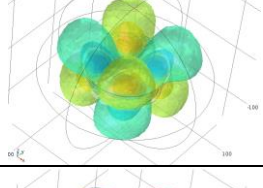
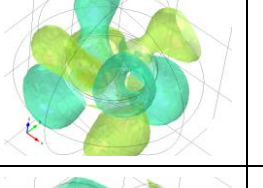
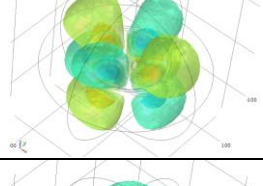
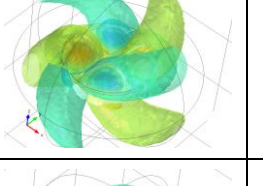
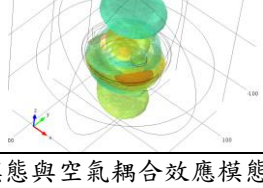
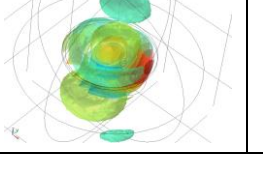
利用原始音箱結構(音孔 25 mm)之有限元素模型進行材料參數調整之驗證，調整材料參數分別以楊氏係數 20 GPa 與 200 GPa 進行探討。其目的主要透過提升音箱之材料參數，使結構模態之自然頻率改變進而確認腔體模態的影響，表 3 為變更音箱結構材料參數之自然頻率與音場模態振型總表，可以發現在楊氏係數為 20 GPa 之結果顯示，音箱結構之第 1 結構模態頻為 2792.33 Hz，已不在 0 至 2043.26Hz 頻率範圍內，並透過楊氏係數為 200 GPa 之拇指琴結果驗證音場模態仍維持 11 個，故 0 至 2043.26 Hz 頻率範圍內無新增腔體模態。

## 4. 拇指琴不同音箱孔徑的琴片聲音比較

本章節透過聲音量測分析與音箱之有限元素模型變更之結果探討其聲音特性，並確認模型之合理性。圖 8 為變更拇指琴之孔徑實際外型圖，利用黏土將音孔大小進行填補至 10 mm，進行聲音量測分析求得聲音頻譜，結合音場模態分析之結果進行拇指琴之音箱孔(10 mm)之聲音特性探討，圖 9 為變更孔徑之第 01 號琴片聲音頻譜與模態振型對照圖，圖 10 為變更孔徑之第 04 號琴片聲音頻譜與模態振型對照圖，表 4 為不同孔徑拇指琴之發聲頻率總表，觀察結果後可得以下幾點結論：

- 由圖 9 可得知拇指琴孔徑 10 mm 之 01 琴片聲音頻譜的第一峰值頻率經變更模型後為 171 Hz，與音孔 10 mm 之理論自然頻率 178.69 Hz 接近。
- 由表 4 可發現 01 琴片聲音頻譜之第二峰值頻率為 343 Hz，其頻率為琴片結構模態所貢獻，且聲音壓力位準由 133.4 dB 降低至 116.6 dB，其主要因為原始孔徑 25 mm 之琴片結構主要發聲頻率為 343 Hz，與有限元素分析所得之理論自然頻率 328.3 Hz 相近，在相互影響下使其頻率之聲音壓力位準有放大之現象。
- 由圖 10 可得知拇指琴孔徑 10 mm 之 04 琴片聲音頻譜已量測不到 332 至 346 Hz 範圍之發聲頻率，驗證孔徑 25 mm 拇指琴音箱結構之腔體模態頻率範圍為 332 至 346 Hz。
- 由表 4 可發現 04 琴片結構之主要發聲頻率為 174 Hz，其聲音壓力位準由 120.2 dB 上升至 124.8 dB，因此當音箱孔徑縮小時對於 04 琴片主要發聲頻率之音色是有幫助的。

表 2 不同孔徑之拇指琴空氣耦合結構系統對應模態振型總表

原始孔徑(25mm)		變更孔徑(10mm)		物理意義
自然頻率(Hz)	音場模態振型	自然頻率(Hz)	音場模態振型	
F <sub>sa</sub> -07_ 328.39		Fsa-08 178.69		II
F <sub>sa</sub> -08_ 890.64		Fsa-09 900.78		I
F <sub>sa</sub> -13_ 1614.6		Fsa-14 1615.84		I (1,1)
F <sub>sa</sub> -14_ 1660.57		Fsa-15 1620		I (1,1)
F <sub>sa</sub> -22_ 2281.96		Fsa-23 2313		I (1,2)
F <sub>sa</sub> -23_ 2305.19		Fsa-24 2315.53		I (1,2)
F <sub>sa</sub> -37_ 2853.59		Fsa-38 2875.3		I

I. 音箱結構模態與空氣耦合效應模態~音箱結構模態  
II. 音箱內部空氣模態  
III. 音箱外部空氣模態

表 3 變更音箱材料參數之拇指琴自然頻率總表

材料參數 E=2 GPa		材料參數 E=20 GPa			材料參數 E=200 GPa			物理意義
模態數	自然頻率 (Hz)	模態數	自然頻率 (Hz)	自然頻率 誤差 (%)	模態數	自然頻率 (Hz)	自然頻率 誤差 (%)	
F <sub>sa</sub> -07	328.38	F <sub>sa</sub> -08	331.51	0.95	F <sub>sa</sub> -08	331.78	1.04	II
F <sub>sa</sub> -08	890.64	--	--	--	--	--	--	I
F <sub>sa</sub> -09	1312.68	F <sub>sa</sub> -09	1314.07	0.11	F <sub>sa</sub> -09	1313.79	0.08	III.
F <sub>sa</sub> -10	1384.38	F <sub>sa</sub> -10	1382.95	-0.10	F <sub>sa</sub> -10	1382.9	-0.11	III.
F <sub>sa</sub> -11	1464.58	F <sub>sa</sub> -11	1463.35	-0.08	F <sub>sa</sub> -11	1463.33	-0.09	III.
F <sub>sa</sub> -12	1466.2	F <sub>sa</sub> -12	1464.98	-0.08	F <sub>sa</sub> -12	1464.97	-0.08	III.
F <sub>sa</sub> -13	1614.58	--	--	--	--	--	--	I (1, 1)
F <sub>sa</sub> -14	1660.57	--	--	--	--	--	--	I (1, 1)
F <sub>sa</sub> -15	1756.54	F <sub>sa</sub> -13	1757.95	0.08	F <sub>sa</sub> -13	1758.47	0.11	II (1, 1)
F <sub>sa</sub> -16	1827.95	F <sub>sa</sub> -14	1792.98	-1.91	F <sub>sa</sub> -14	1793.44	-1.89	II (1, 1)
F <sub>sa</sub> -17	2009.29	F <sub>sa</sub> -15	2014.25	0.25	F <sub>sa</sub> -15	2014.62	0.27	III
F <sub>sa</sub> -18	2033.44	F <sub>sa</sub> -16	2034.6	0.06	F <sub>sa</sub> -16	2034.6	0.06	III
F <sub>sa</sub> -19	2038.61	F <sub>sa</sub> -17	2037.15	-0.07	F <sub>sa</sub> -17	2037.22	-0.07	III
F <sub>sa</sub> -20	2039.44	F <sub>sa</sub> -18	2042.16	0.13	F <sub>sa</sub> -18	2042.17	0.13	III
F <sub>sa</sub> -21	2043.261	F <sub>sa</sub> -19	2042.38	-0.04	F <sub>sa</sub> -19	2042.38	-0.04	III
F <sub>sa</sub> -22	2281.96	--	--	--	--	--	--	I (1, 2)
F <sub>sa</sub> -23	2305.15	--	--	--	--	--	--	I (1, 2)
F <sub>sa</sub> -24	2358	F <sub>sa</sub> -20	2357.41	-0.03	F <sub>sa</sub> -20	2357.41	-0.03	III
F <sub>sa</sub> -25	2387.27	F <sub>sa</sub> -21	2387.43	0.01	F <sub>sa</sub> -21	2387.43	0.01	III
F <sub>sa</sub> -26	2531.5	F <sub>sa</sub> -22	2525.99	-0.22	F <sub>sa</sub> -22	2524.81	-0.26	III
F <sub>sa</sub> -27	2573.09	F <sub>sa</sub> -23	2572.42	-0.03	F <sub>sa</sub> -23	2572.43	-0.03	III
F <sub>sa</sub> -28	2574.38	F <sub>sa</sub> -24	2572.46	-0.07	F <sub>sa</sub> -24	2572.47	-0.07	III
F <sub>sa</sub> -29	2587.24	F <sub>sa</sub> -25	2587.13	0.00	F <sub>sa</sub> -25	2587.17	0.00	III
F <sub>sa</sub> -30	2587.64	F <sub>sa</sub> -26	2588.94	0.05	F <sub>sa</sub> -26	2588.94	0.05	III
F <sub>sa</sub> -31	2589.42	F <sub>sa</sub> -27	2589.32	0.00	F <sub>sa</sub> -27	2589.33	0.00	III
F <sub>sa</sub> -32	2596.01	F <sub>sa</sub> -28	2590.72	-0.20	F <sub>sa</sub> -28	2590.79	-0.20	III
F <sub>sa</sub> -33	2600.04	F <sub>sa</sub> -29	2602.81	0.11	F <sub>sa</sub> -29	2602.51	0.09	III
--	--	F <sub>sa</sub> -30	2792.33	--	--	--	--	I
F <sub>sa</sub> -34	2753.79	F <sub>sa</sub> -31	2813.33	2.16	F <sub>sa</sub> -30	2811.07	2.08	II (1, 1)
F <sub>sa</sub> -35	2785.1	F <sub>sa</sub> -32	2814.11	1.04	F <sub>sa</sub> -31	2814.81	1.07	II

I. 音箱結構模態與空氣耦合效應模態~音箱結構模態  
II. 音箱內部空氣模態  
III. 音箱外部空氣模態

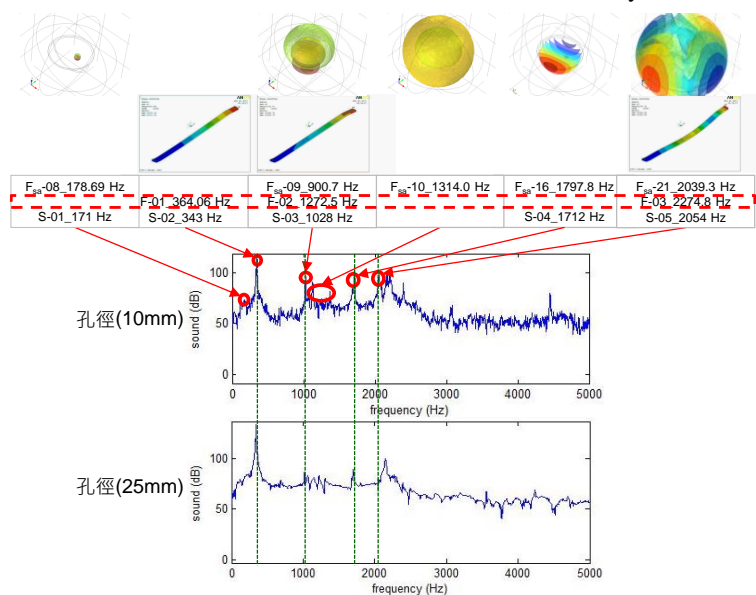


圖 9 變更孔徑之第 01 號琴片聲音頻譜與模態振型對照圖

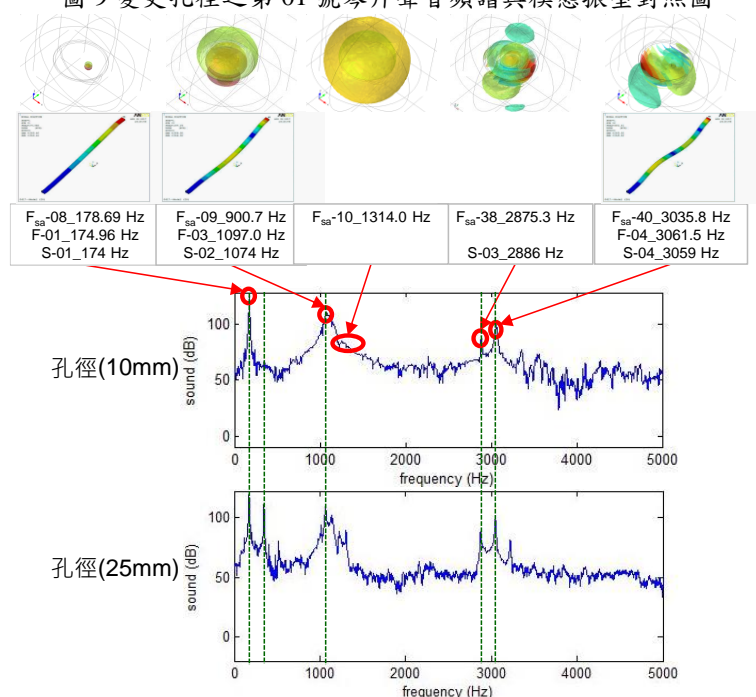


圖 10 變更孔徑之第 04 號琴片聲音頻譜與模態振型對照圖

表 4 不同孔徑拇指琴之發聲頻率總表

拇指琴之琴片		01 琴片		04 琴片	
孔徑		25 mm	10 mm	25 mm	10 mm
S-01	發聲頻率(Hz)	-	171	173	174
	聲音壓力位準(dB)	-	72.9	120.2	124.8
S-02	發聲頻率(Hz)	342	343	346	-
	聲音壓力位準(dB)	133.4	116.6	112.4	-
S-03	發聲頻率(Hz)	1016	1028	1064	1074
	聲音壓力位準(dB)	85.07	96.58	109.5	110.5
S-04	發聲頻率(Hz)	1700	1712	2875	2886
	聲音壓力位準(dB)	88.01	100.9	88.34	86.55
S-05	發聲頻率(Hz)	2149	2054	3047	3059
	聲音壓力位準(dB)	96.66	98.63	98.48	102.2



## 5. 結論

本文針對拇指琴進行聲音量測分析求得聲音頻譜，並結合有限元素分析之琴片與音場之模態分析，探討其聲音產生機制，且透過變更拇指琴之有限元素模型，探討音箱孔對琴片聲音之影響，並與變更實際結構後之頻譜進行比對驗證，藉由聲音量測分析與有限元素聲振耦合分析，來探拇指琴聲音與結構系統耦合之效應，討論結果如下：

1. 由音箱結構與空氣耦合模態特性，可解構拇指琴音箱有腔體內部空氣模態以及音箱結構與外部空氣耦合模態兩種型式，其中以腔體模態對整體聲音有明顯的影響，而腔體結構與外部空氣耦合模態僅些微影響，若琴片振動模態頻率與兩種空氣模態頻率相近時，琴片的模態頻率會有放大之效果。
2. 透過變更音箱孔結構探討腔體模態是否因音箱孔大小而影響空氣結構耦合系統之模態參數，結果顯示腔體模態之自然頻率由 328.3 Hz 降低至 178.69 Hz，確認音孔大小是影響腔體模態的重要因素之一。
3. 透過提升音箱結構之材料參數，使結構模態之自然頻率改變進而確認腔體模態，結果顯示腔體模態與 11 個音場模態仍是存在，故 0 至 2043.26 Hz 頻率範圍內無新增腔體模態。

## 6. 參考文獻

- [1] 王栢村，黃柏翔，楊昶昱，吳盈輝，「拇指琴之聲音特性探討」，2018 精密機械與製造科技研討會，屏東，論文編號：A032，2017。
- [2] R. R. Boullosa, "Vibration Measurement in the Classical Guitar," *Applied Acoustics*, Vol.63, pp. 311-322, 2002.
- [3] 王栢村，蘇集銘，「吉他弦之振動與聲音特性探討」，中華民國音響學會第十九屆學術研討會論文集，台南，論文編號：A7，2006。
- [4] M. French and D. Hosler, "The Mechanics of Guitars," *Experimental Techniques*, Vol. 25, No. 3, pp. 45-48, 2001.
- [5] I. Bork, "Practical Tuning of Xylophone Bars and Resonators," *Applied Acoustics*, Vol. 46, pp. 103-127, 1995.
- [6] J. A. Moral and E. V. Jansson, "Eigenmodes, Input Admittance, and the Function of the Violin," *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 50, No. 5, pp. 329-337, 1982.

## Effect of Sound Box Hole on Playing Sound of Kalimba

Bor-Tsuen Wang<sup>1</sup>, Po-Hsiang Huang<sup>1</sup>,  
Chang-Yu Yang<sup>1</sup>, Ying-Hui Wu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering  
National Pingtung University of Science and  
Technology

<sup>2</sup>National Nei-Pu Senior  
Agricultural-Industrial Vocational School of  
Machinery Division

### ABSTRACT

Kalimba uses the dried coconut shell as the sound box for speaker and contains different lengths of steel sheets on the top of sound box. Playing the kalimba is to pluck the steel sheet by thumbs. This work aims to measure the playing sound of kalimba and analyze the effect of sound box on the playing sound, in particular the opened hole of sound box. First, we measure the playing sound of each steel sheet while playing kalimba to obtain its sound spectrum. Finite element analysis (FEA) is adopted to perform modal analysis on the steel sheet for determining beam-like structural vibration modes because parts of sound come from steel sheet vibration modes. The structural vibro-acoustic analysis for sound box coupling with interior and exterior air is also conducted to obtain vibration modes of kalimba. The sound box structure and air coupling modes may have two types to contribute sound radiation. The cavity modes of sound box interaction with interior air can affect the playing sound significantly, and the exterior air modes interaction with the sound box have relatively small effect on playing sound. For knowing the detail effect of sound box's opened hole, the size of opened hole is modified and analyzed. The cavity modal frequency of sound box is decreased from 328.3Hz to 178.69Hz for reducing the diameter of hole. The playing sound of kalimba also reveals different sound spectrum for the change. This work uses experimental and numerical approaches to interpret the sound generation mechanism. In particular, the sound box effect, including the material of sound box and the size of opened hole, on the playing sound of kalimba is identified through FEA and verified by experiment.

**Keywords:** Kalimba, finite element analysis (FEA), vibro-acoustic coupling analysis, air cavity mode.