

摘要

作品名稱：使用3D列印技術設計輕量化高強度低噪音之隔間結構

台灣處於環太平洋火山地震帶，在板塊的運動下地震頻繁，因此建築物的隔間牆設計中，強度便為重要，但只強調強度而忽略成本問題也是無法為建築界所接受，所以在不計用料材質的狀況下，輕量化也是重要的課題之一。除此之外，現在都市人口密集，無法控制環境所發出的各種噪音，對於夜晚需要休息或是早上需要休息上夜班的族群，在吵雜環境中便無法獲得良好的睡眠品質，進而影響其工作期間的精神狀況。本專題故針對高樓的降噪以及結構強度問題深入探討，經由探討不同編織圖形的吸音性及結構強度，了解不同隔間牆的編織結構其吸音性與強度的相關性，經探討後期望設計出兼具高吸音性，以及提供高抗壓強度的編織結構間隔牆，亦可降低成本之輕量化設計。

專題內容

一、前言

台灣位於高地震帶，高強度的隔間牆的設計是非常重要的[1]，但只強調強度而忽略成本問題也是無法為建築界所接受，所以輕量化也是重要的課題之一。除此之外，現在都市人口密集與繁華的夜生活，而又無法控制他人所發出的各種噪音，對於夜晚需要休息的族群是無法獲得良好的睡眠品質，進而導致影響其工作效率。本專題故針對高樓的降噪、抗震以及結構強度問題深入探討，經探討後除找出兼具吸音、抗震、強度的隔間牆外，亦可降低成本之輕量化設計。

二、研究方法(過程)

1 設計圖形 & 重量量測

將日常生活中常見之幾何形狀如圓形、三角形、菱形、平行四邊形、蜂巢六角形等進行實驗分析，找每個圖形的特性。除此之外，也以中空腔體與實心腔體來分析其特性。設計時以等大小的編織來設計。表1本專題設計出10種編織圖形。先用Inventor設計出10樣不同編織法的輕形樓板或隔間結構結構，再用3D列印印出模型，尺寸設定為寬85mm長160mm厚30mm，而肋的厚度為2mm。輕量化是本專題所要探討的了解各編織後結構體之重量(重量與成本息息相關)，為了節省成本，重量因素也是本專題的重點之一

表1 設計隔間牆之編織結構之實體圖

編號	編織方法	重量 (g)	編號	編織方法	重量 (g)
1		139	2		123
3		159	4		114
5		152	6		185
7		193	8		197
9		143	10		144

其他領域特優

2 抗壓實驗

使用 30 噸混凝土抗壓機壓這 10 個不同編織隔間牆模型，直到破壞且記錄其破壞時施加的力，實驗用設備 30 噸抗壓試驗機。圖 1 顯示隔間牆模型放置試驗機中，緩慢施加壓力直到破壞並依顯示螢幕力量直記錄。實驗後將模型破壞後保存紀錄。



圖 1 隔間牆結構抗壓實驗



圖 2 隔間牆結構之噪音實驗配置圖

3 噪音量測實驗

本實驗利用壓克力板製作封閉且透明中間挖空(放模型)的棚子，將實驗主體放入其中間，分貝機放入一邊，另一頭放入喇叭如圖 2，為降低環境噪音的干擾，本專題特在無響箱內量測噪音如圖 3 所示。音量固定，分貝機及喇叭固定，30 秒內的最高及最低分貝，取平均，10 個結構模型各做 5 次比較，將最高與最低噪音直接去除，取中間 3 次噪音值再平均，此值即是本實驗的噪音值。此實驗必須在無環境噪音情況下測試。



圖 3 噪音實驗設備之無響箱及箱內量測圖



圖 4 結構吸振性實驗圖

4 吸振性量測實驗

藉由一鋼珠在固定位置與固定高度落下，已攝影記錄落下後反彈的高度來計算出結構吸振性的好壞，如圖 4 所示。同樣的，10 個結構模型各做 5 次比較，將最高與最低反彈高度直接去除，取中間 3 次反彈高度再平均。為了了解吸振性結構之阻尼比[5-7]

$$\zeta = \frac{c}{c_m}, \quad \zeta \text{ 阻尼比； } C \text{ 結構阻尼； } C_m \text{ 結構臨界阻尼} \quad (1)$$

$$\zeta = \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{x_n}{x_{n+1}}; \quad \text{其中 } x_n \text{ 與 } x_{n+1} \text{ 是系統結構之振動幅度。} \quad (2)$$

其他領域特優

其中， C 是結構內部阻尼，能抑制及結構體振動。 C_m 結構臨界阻尼是結構無法振動之最低阻尼。使用阻尼比 ζ 可以來評估結構的吸振能力，阻尼比越高越能吸收振動能量。表2所示為各編織結構體的振動量測5次之記錄與其阻尼比。

表2 振動量測與阻尼比計算（單位為mm，阻尼比為無單位）

編號	量測	1	2	3	4	5	平均值	阻尼比
1		72	62	59	54	62	61.00	0.247
2		48	64	63	64	64	63.75	0.225
3		55	56	67	67	59.8	56.93	0.281
4		47	53.7	46.8	45.7	56.9	46.50	0.383
5		54	57.9	57	57	61.9	57.30	0.278
6		70.1	65.7	70.1	67	66	66.23	0.206
7		49	58.3	57.7	62	48	59.33	0.261
8		38.8	36	39.9	34.9	33	38.23	0.481
9		45	45.2	55	47	50	45.73	0.391
10		29	26.5	31	31.8	31.2	31.33	0.58

三、研究結果

1 未考慮質量效應

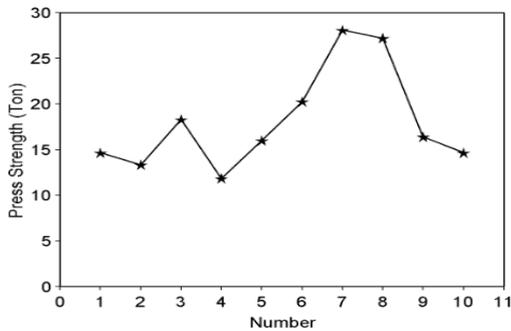


圖5 各種編織法之抗壓強度圖

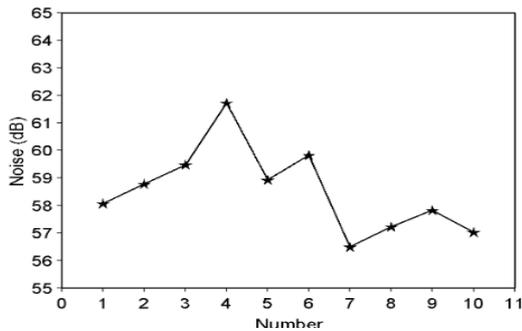


圖6 各種編織結構之噪音分析圖

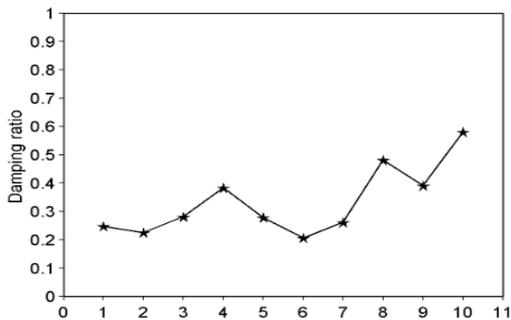


圖7 各種編織結構之吸振性圖

針對不同編織結構之隔間牆的抗壓強度、隔音性、吸振性與質量加以探討。圖5顯示各

表3 抗壓性排名之幾何編織體編號與圖形

編號	隔音性	圖形
7	第1名	
8	第2名	
4	第10名	

表4 隔音性排名之幾何編織體編號與圖形

編號	隔音性	圖形
7	第1名	
4	第10名	

表5 吸振性排名之幾何編織體編號與圖形

編號	隔音性	圖形
10	第1名	
6	第10名	

其他領域特優

種編織結構之抗壓強度，圖中得知，抗壓強度最好的編織為第 7 號，其次為第 8 號編織，而抗壓最差為第 4 號編織結構，如表 3 所示，其主因在於加強肋太少。各種編織結構之隔音性顯示在圖 6，圖中得知，隔音性最好的編織為第 7 號，其次為第 8 號編織，其主因在於第 7 與 8 編號之結構為實體編織，如表 4 所示，而第 4 號編織結構其隔音性也是最差。各種編織結構之吸振性顯示在圖 7，圖中得知，吸振性最好(阻尼比最高值)的編織為第 10 號，而最差是編號 6，如表 5 所示。

2 考慮質量效應

不同編織方法其使用之材料亦不同，故質量效應也是本專題所探討的重點。圖 8 顯示各種編織結構之質量圖，圖中得知，質量最高為實體編織的第 8 號，其次為第 7 號編織，而質量最低為第 4 號編織結構，如表 6 所示。

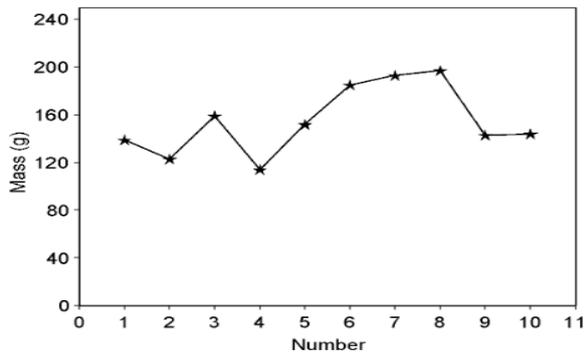


圖 8 各種編織結構之質量圖

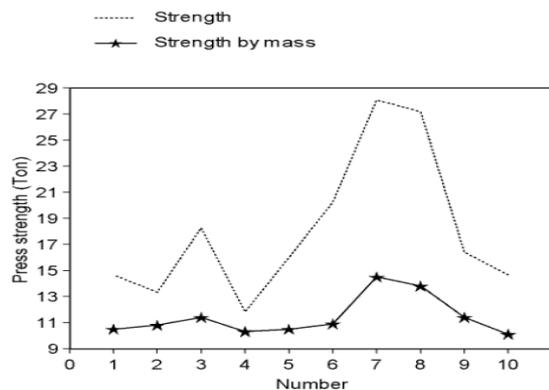


圖 9 單位質量各種編織結構之抗壓強度圖

表 6 質量排名之幾何編織體編號與圖形

編號	質量	圖形
8	第 1 名	
4	第 10 名	

表 7 單位質量之抗壓性排名之幾何編織體編號與圖形

編號	質量	圖形
7	第 1 名	
8	第 2 名	

其他領域特優

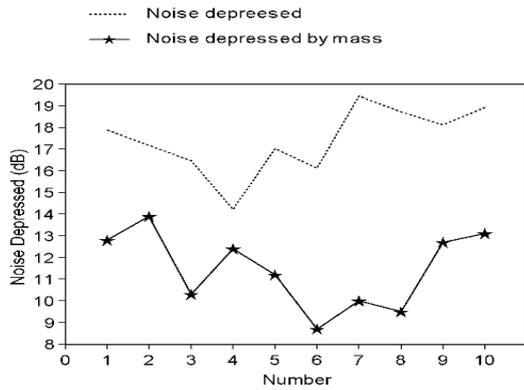


圖 10 單位質量各種編織結構之隔音性圖

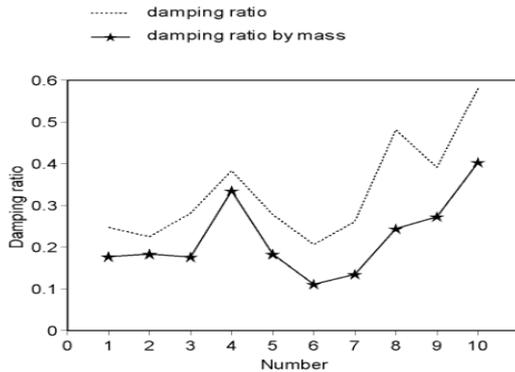


圖 11 單位質量各種編織結構之吸振性分析圖

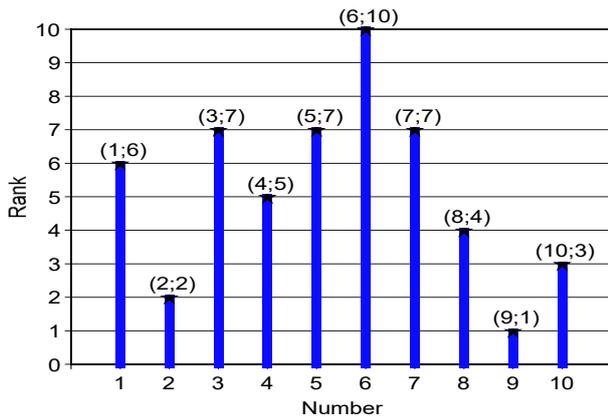


圖 12 各種編織結構綜合評估之排序圖

考慮不同編織結構的單位質量對於隔間牆的抗壓強度、隔音性、吸振性探討。圖 9 顯示各種編織結構之單位質量之抗壓強度，圖中得知，抗壓強最好的編織為第 7 號，其次為第 8 號編織，如表 7 所示。各種編織結構之單位質量隔音性顯示在圖 10，圖中得知，隔音性最好的編織為第 2 號編織結構，其次為第 10 號編織，如表 8 所示。各種編織結構單位質量之隔振性顯示在圖 11，圖中得知，隔振性最好(阻尼比最高值)的編織為第 10 號，次之為第 4 號編織，如表 9 所示。

四、討論

針對上數的實驗數據探討，不同編質結構之隔間牆其抗壓強度、隔音性、吸振性且考

表 8 單位質量之隔音性排名之幾何編織體編號與圖形

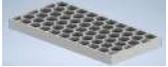
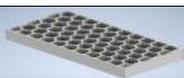
編號	質量	圖形
2	第 1 名	
10	第 2 名	

表 9 單位質量之吸振性排名之幾何編織體編號與圖形

編號	質量	圖形
10	第 1 名	
4	第 2 名	

表 10 綜合評比排名之幾何編織體編號與圖形

編號	質量	圖形
9	第 1 名	
2	第 2 名	

其他領域特優

慮質量效果(使用單位質量效應)。並且依不同編織結構分別在抗壓強度、隔音性與吸振性排序名次，在同時考慮將三者特性兼顧之加權後排序為圖 12 所示，經以單位質量(100g 為單位)效應考量後的綜合評比，最好的編織結構為第 9 號編織(三角形編織)，綜合評比第二好的為第 2 號編織結構為蜂窩性結構，如表 10 所示。

五、 結論

本專題主要探討著不同編織隔間牆的各種特性的比較，因質量效果影響會甚巨，專題亦將質量效應考慮入研究中，並將本專題做成結論，以下結論可提供不同工程考量之應用，提供客製化之應用如下。

1、 無考慮質量效果

抗壓強度與隔音性最好的編織為第 7 號;吸振性最好(阻尼比最高值)的編織為第 10 號。

2、 有考慮質量效果

單位質量之抗壓強度最好的編織為第 7 號;隔音性最好的編織為第 2 號編織結構;吸振性最好(阻尼比最高值)的編織為第 10 號。

3、 考慮質量效果並綜合三項特性排序

最好的編織結構為第 9 號編織(三角形編織)，綜合評比第二好的為第 2 號編織結構(蜂窩性結構)。

六、 參考資料及其他

[1] 中華民國內政部營建署，2004，建築技術規則。

[2] 黃聖銀，2016，考慮土壤結構互制效應及 TMD 之高樓結構物風振行為研究，中原大學土木工程研究所碩士論文

[3] 劉德源，江中田，2012，輕鋼架隔間牆構件對隔音性能之研究，中華民國振動與噪音工程學會論文集，P239 - 246

[4] 楊樹標，馬裕超，李旭光，孫豐光，2010，複合隔震結構模型振動臺試驗研究，地震工程與工程振動，30 卷 1 期，P142 - 146

[5] 王栢村，2008，振動學，全華出版社，台北

[6] 楊凱鈞，李蘊純，岳煦珊，2019，以兩種不同方法測量次阻尼震盪之阻尼比的探討與比較 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2019/03/2019032912461478.pdf>

[7] 王建軍/李潤方/林建德，2009，振動學，滄海出版社，台北

使用3D列印技術設計輕量化高強度低噪音之隔間結構

台灣處於常發生地震的歐亞板塊以及菲律賓海板塊交界處導致地震頻繁，因此高強度的隔間牆的設計是非常重要的，但在工程上，我們不能僅僅只有考慮到強度，減少成本更是重要的項目，所以輕量化也是重要的課題之一。除此之外，現今的都市人口密集，加上繁華的夜生活，往往會造成各種噪音影響他人，因此本科展針對高樓的降噪以及結構強度問題深入探討，經由探討不同圖形的吸音性及結構強度，了解不同隔間結構其吸音性與強度的相關性，經探討後除了能夠設計出兼具吸音以及提供強度的隔間牆外，亦可降低成本之輕量化設計。

研究方法-3D列印編織結構

先用Inventor設計出不同編織法的輕形樓板或隔間結構結構，如圖1，再用3D列印印出模型，如圖2，尺寸設定為寬8.5cm長16cm厚3cm，而肋的厚度為0.2公分。隔間牆以防火材料製做最好，但為了能快速了解不同編織對各項特性的影響，所以先以樹脂3D列印來試驗。

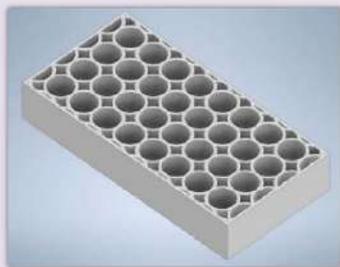


圖 1 編織法之立體圖



圖 2 3D列印模型

研究方法-實驗分析

(1)抗壓強度實驗

使用30噸混凝土抗壓機，測試模型能承受的最大壓力，如圖3、4，亦即模型破壞的瞬間。



圖 3 抗壓實驗放大圖



圖 4 30噸混凝土抗壓機

(2)噪音量測實驗

本專題特在無響箱內量測噪音，在30秒內的最高及最低分貝，取平均，10個結構模型各做5次比較，將最高與最低噪音直接去除，取中間3次噪音值再平均，此值即是本實驗的噪音值。



圖 5 無響箱



圖 6 噪音實驗

(3)吸振性量測實驗

將模型各做5次比較，將最高與最低反彈高度直接去除，取中間3次反彈高度再平均。為了解吸振性結構之阻尼比。

$$\zeta = \frac{C}{C_m}, \zeta \text{ 阻尼比； } C \text{ 結構阻尼； } C_m \text{ 結構臨界阻尼}$$

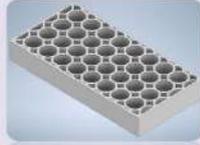
$$\zeta = \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{x_n}{x_{n+1}} \quad \text{其中 } x_n \text{ 與 } x_{n+1} \text{ 是系統結構之振動幅度。}$$

$\zeta = 1$ 結構系統不會振動； 結構系統不會停止振動
其中， C 是結構內部阻尼，能抑制及結構體振動。 C_m 結構臨界阻尼是結構無法振動之最低阻尼。使用阻尼比可以來評估結構的吸振能力，阻尼比越高越能吸收振動能量。



圖 7 吸振性實驗

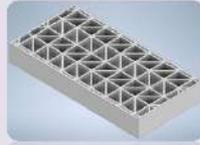
10種編織結構及其編號



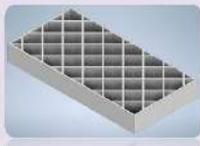
1 圓形



2 蜂巢形



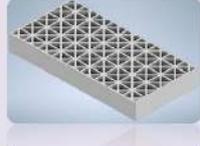
3 正方形加肋



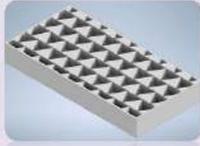
4 菱形



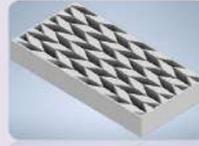
5 正方形加肋之二



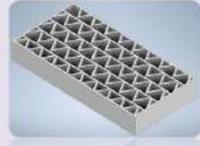
6 交叉加肋



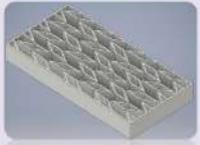
7 實心三角形



8 實心平行四邊形

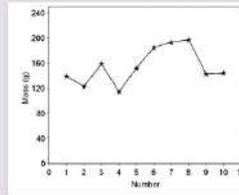


9 空心三角形

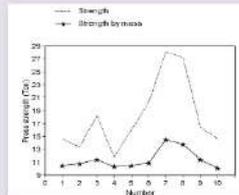


10 空心平行四邊形

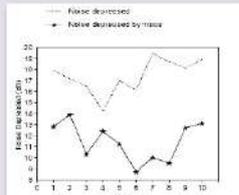
實驗分析結果



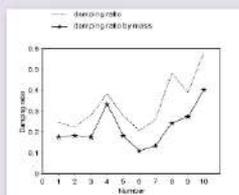
編號	質量排名	圖形
8	第1名	實心平行四邊形
7	第2名	實心三角形
4	第10名	菱形



編號	抗壓排名	圖形
7	第1名	實心三角形
8	第2名	實心平行四邊形



編號	降噪排名	圖形
2	第1名	蜂巢形
10	第2名	空心平行四邊形



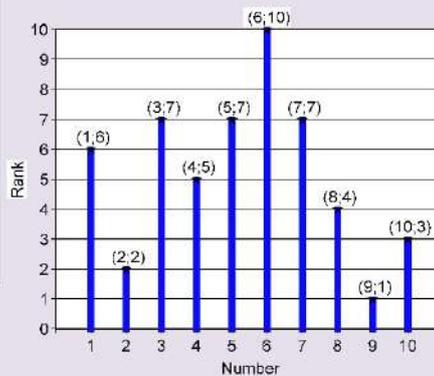
編號	吸振排名	圖形
10	第1名	空心平行四邊形
4	第2名	菱形

實驗結論

- (一) **無考慮質量效果:** 抗壓強度與隔音性最好的編織為第7號;吸振性最好(阻尼比最高值)的編織為第10號。
- (二) **有考慮質量效果:** 單位質量之抗壓強度最好的編織為第7號;隔音性最好的編織為第2號編織結構;吸振性最好(阻尼比最高值)的編織為第10號。
- (三) **考慮質量效果並綜合三項特性排序:** 最好的編織結構為第9號編織(三角形編織),綜合評比第二好的是第2號編織結構(蜂巢性結構)

- (一) 虛線: 無考慮質量效應之結果。
- (二) 實線加星: 考慮質量效應之結果。

三項實驗結果之綜合評比



編號	綜合排名	圖形
9	第1名	空心三角形
2	第2名	蜂巢形