

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：地震中的桁架結構探討

一、摘要：

本研究以竹籤模擬大樓設計，分為無桁架、雙面桁架與四面桁架設計置放於模擬地震平台上，分別以 100rpm、200rpm、300rpm、400rpm、500rpm、600rpm、700 rpm、800 rpm、900 rpm、1000 rpm、1100 rpm、1200 rpm、1300 rpm、1400 rpm、1500 rpm、1600 rpm 等不同模擬地震強度進行搖晃，發現不同的桁架設計的大樓變形層會發生在不同的位置。無桁架大樓在 600rpm 時變形發生在 3 樓頂、雙面桁架大樓在 1200rpm 時變形發生在 5 樓頂，四面桁架大樓在 1600rpm 時變形發生在 7 樓頂。研究結果顯示桁架對於大樓於地震時的抗震能力較高，可做為未來大樓抗震設計的參考。

二、探究題目與動機

由於台灣位於太平洋地震帶上，所以常常有地震發生。而強震過後，就有可能會有房屋的倒塌。這讓我們聯想到台北 101 之所以不會倒塌有一部份是因為有阻尼器去抵銷地震，然而有些大樓卻沒有加裝阻尼器。當我們思考這些問題的時候，想到國一的時候生活科技老師帶我們做過桁架橋，其中桁架的設計可以增加橋梁的耐重能力，於是我們想要探究桁架結構是否也能能使大樓即使不用阻尼器也可以有效抗震，於是我們開始了以下的實驗。

三、探究目的與假設

本研究的主要目的在於探討桁架結構對於大樓設計的抗震能力，就我們所參考的文獻和國一生活科技課程所上過的桁架橋，我們使用三角桁架進行設計，其主要研究問題如下：

- 一、探究有無桁架設計對於大樓能夠抵抗的搖晃程度有何差異？
- 二、探究有無桁架設計對大樓在特定搖晃程度時變形處有何差異？
- 三、探究有無桁架設計對大樓在特定搖晃程度的產生變形的平面三軸加速度為何？
- 四、探究有無桁架設計為大樓在特定搖晃程度時變形處的三軸加速度為何？

四、探究方法與驗證步驟

(一)地震模擬平台

我們使用國一上課的時候老師在做抗震塔的地震平台，可做平面式的往返動作，並且可控制每分鐘的轉速，我們測驗的結果預計以 100rpm(每分鐘 100 轉)的速率，每次增加 100rpm 測量，至高到 1600rpm。



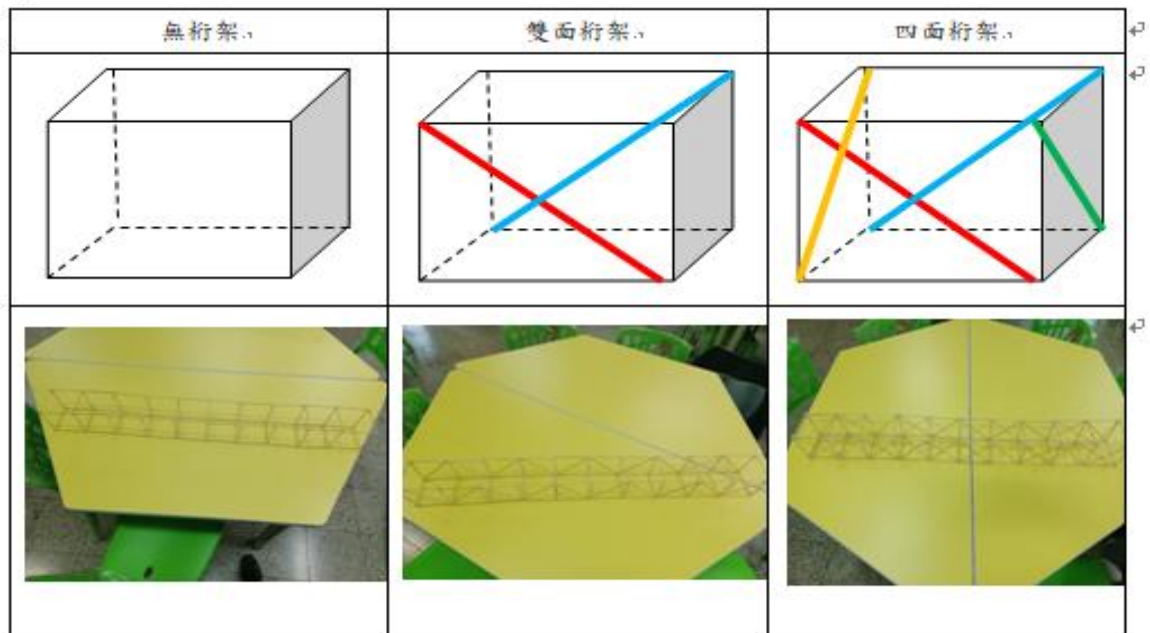
(二)塔樓連結

塔樓的結構我們花了很多的時間在設計，大約可分為兩次的結構接點的過程，首先為以保麗龍球作為接點，可是在搖晃過大的時候會產生脫落，於是我們後來改以熱熔膠作為接點的處理。

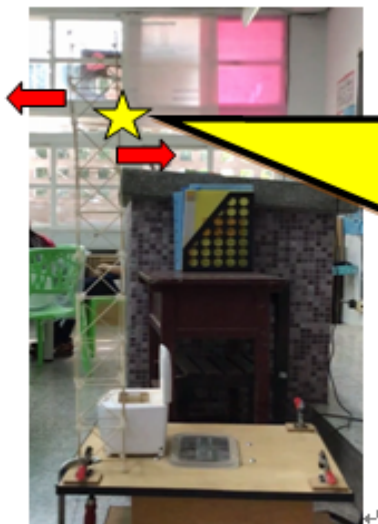


(三)塔樓桁架設計

在我們測試的方法中，我們後來以竹籤進行高樓的設計，每 10 公分高模擬一樓層，並在側面做出無桁架、雙面桁架、四面桁架的結構，總高度為 100 公分(10 個樓層)。



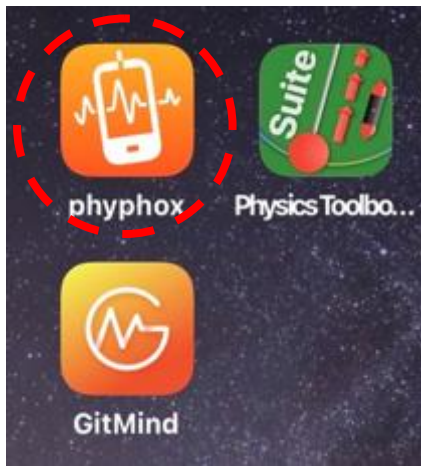
(四) 變形處判別方法



- 以四面桁架為例，我們將 100 公分的塔樓使用 F 夾固定於地震模擬平台上，以 100rpm 開始每次往上加 100rpm，發現在 1600rpm 的時候於星圖中星處（七樓頂）產生變形交界，八九十樓還在往左移動，以下的樓層已經往右移動，於是我們判定該處為變形處。
- 以上全程皆使用 iPad 慢速錄影，然後在撥放軟體中播放找出變形處。

(五) 三軸加速度測量

1. 此部分使用手機 APP，phyphox。



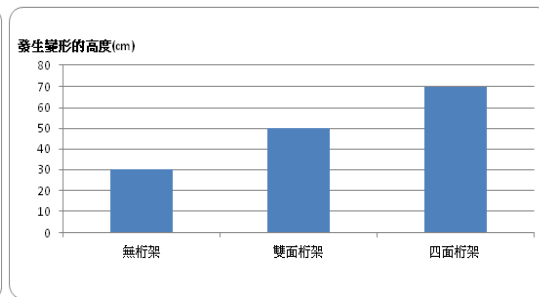
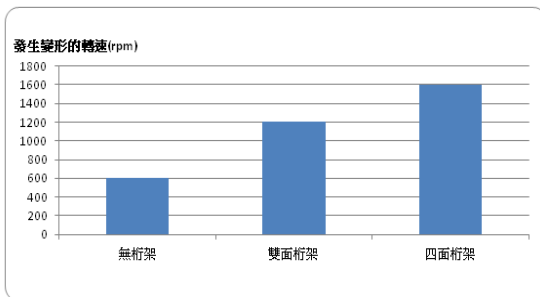
2. 打開 phyphox，選擇有重力加速度條件下的 XYZ 軸三軸加速度測量。
3. 輸出數據進行分析。因為我們測量約 30 秒的數據，但是考量到前面地震模擬器正在平衡與後面要按掉測量器開關的時間，於是在數據分析的時候使採用 5~10 秒的穩定數據。

五、結論與生活應用

一、不同桁架設架發生變形處的地震平台轉速比較

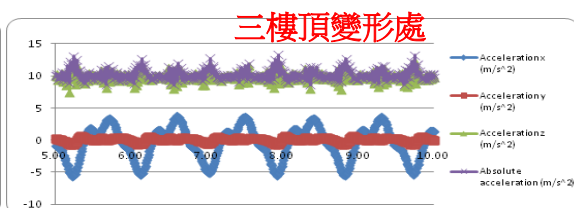
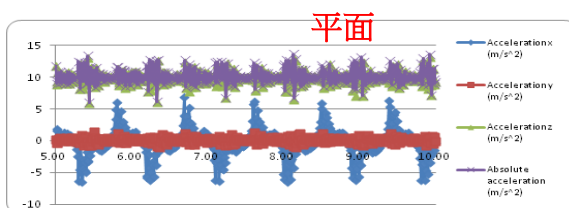
不同桁架塔樓發生變形的轉速與高度表

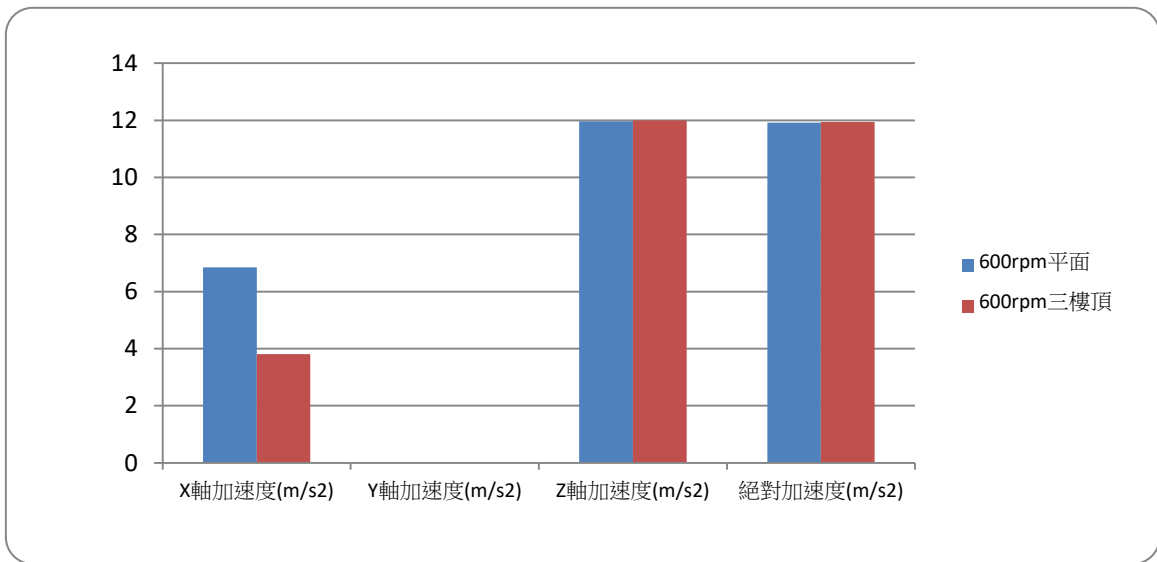
	無桁架	雙面桁架	四面桁架
發生變形的轉速(rpm)	600	1200	1600
發生變形的高度(cm)	30	50	70



此段結果發現無桁架的塔樓發生變形處約在 600rpm，三樓頂(30 公分高)；雙面桁架的塔樓發生變形處約在 1200rpm，五樓頂(50 公分高)；四面桁架的塔樓發生變形處約在 1600rpm，七樓頂(70 公分高)。**研究結果發現桁架設計越緊密的塔樓發生可抵抗較強的搖晃程度，且發生變形的高度越高。**

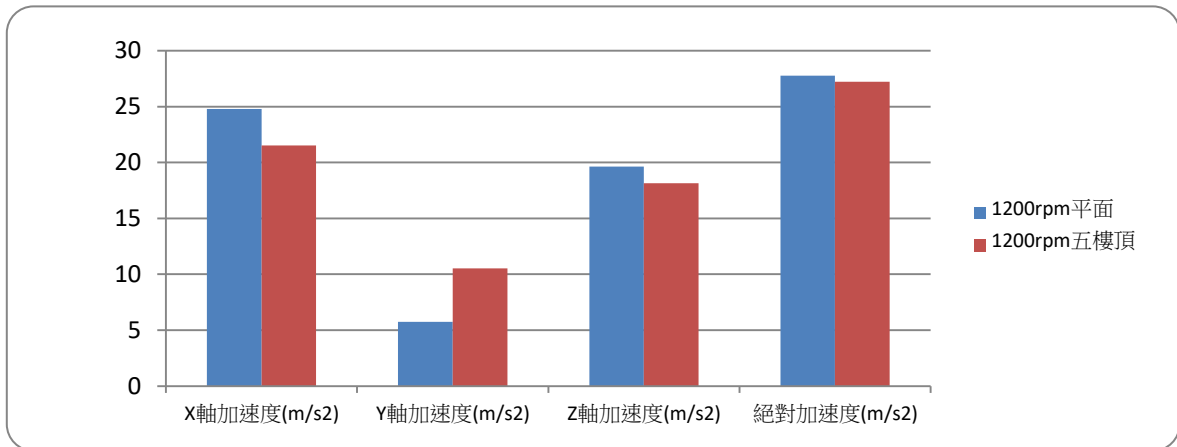
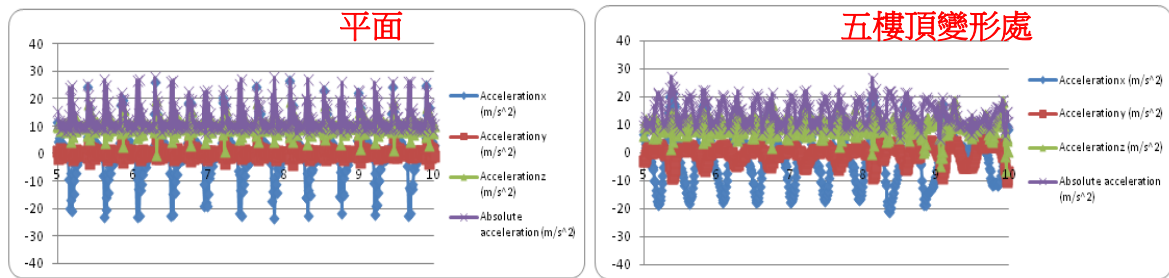
二、無桁架塔樓發生變形之平面與變形處之加速度比較





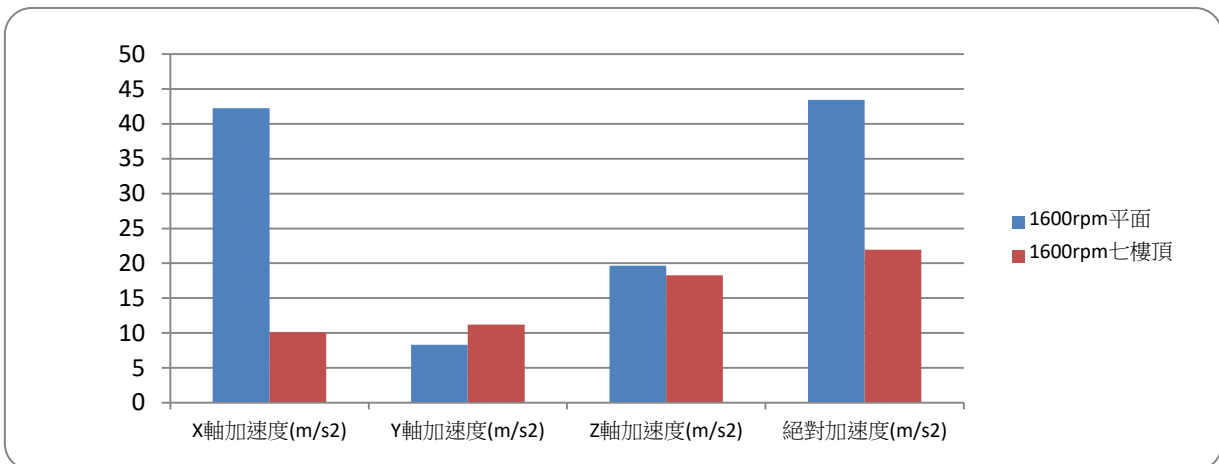
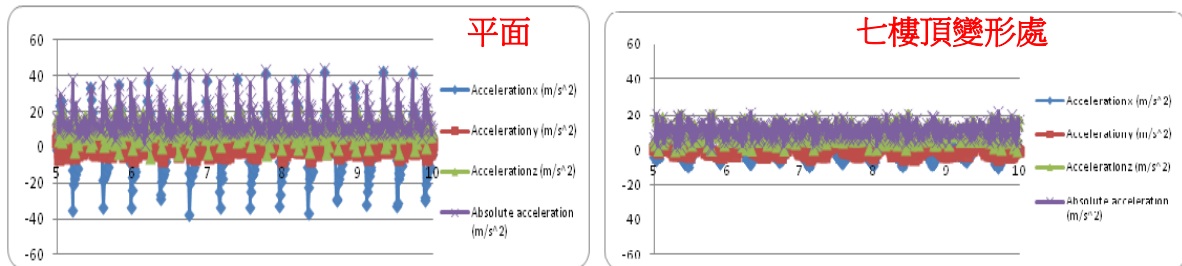
此段分析發現三樓頂在 600rpm 的搖晃程度下發生變形，其三樓頂當時的加速度與平面的加速度比較主要差異在於 X 軸加速度。X 軸加速度在三樓頂發生變形的時候，其 X 軸加速度低於地面 X 軸加速度。

三、雙桁架塔樓發生變形之平面與變形處之加速度比較



此段分析發現五樓頂在 1200rpm 的搖晃程度下發生變形，其五樓頂當時的加速度都趨向於當時平面的加速度。但是主要差別在於 Y 軸的加速度差異。五樓頂的 Y 軸加速度值最高約 11m/s^2 ，略大於當時平面的 Y 軸加速度。

四、四桁架塔樓發生變形之平面與變形處之加速度比較



此段分析發現七樓頂在 1600rpm 的搖晃程度下發生變形，除了 Z 軸和 Y 軸加速度外，其七樓頂的 X 軸加速度和絕對值加速度都遠小於當時平面的 X 軸加速度和絕對值加速度。顯示四面桁架可以減緩平面強烈搖晃產生的破壞。

五、研究結論

1. 抗震能力(抗搖晃能力)為四面桁架(1600rpm)>雙面桁架(1200rpm)>無桁架(600rpm)。
2. 無桁架塔樓發生變形處約 30 公分高；雙面桁架塔樓發生變形處約為 50 公分；四面桁架塔樓發生變形處約為 70 公分。顯示桁架設計可提高變形處的高度。
3. 600rpm 的平面 X 軸加速度為 6.85 m/s²、Y 軸加速度 0 m/s²、Z 軸加速度約為 11.96 m/s²。
4. 1200rpm 的平面 X 加速度約為 24.79 m/s²；Y 軸加速度為 5.75 m/s²；X 軸加速度 19.65 m/s²。
5. 1600rpm 的平面 X 加速度約為 42.25 m/s²；Y 軸加速度為 8.31 m/s²；Z 軸加速度為 43.45 m/s²。
6. 在 600rpm~1600rpm 的 XYZ 軸加速度成為線性正相關，都為中高度相關以上。

六、對於生活中的應用

本研究所發展的大樓桁架結構，可將抗震的樓層提高，同時也會降低總體的絕對加速度。

參考資料

- 陳雅庭、陳奕霖、黃煥城(2020)。以小博大，桁架結構初探。中華民國全國中小學科學展覽會第 60 屆生活與應用科學(二)科。
- 李奕儒、崔哲豪、林彥百(2003)。讓巨人臣服地牛。華民國全國中小學科學展覽會第 43 屆生活與應用科學科。
- 岩田衛著，邱榮政譯(1997)。空間桁架：無限自由的空間創作。詹氏書局。
- 空間桁架之設計、製做與施工(1998)。台灣建築 36 期。