

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

第二名

082813

舊桌第二春-力學探討學生舊桌結構補強與置物
空間優化設計

學校名稱： 新北市淡水區竹圍國民小學

| | |
|--------|-------|
| 作者： | 指導老師： |
| 小六 游雨晴 | 林芝伊 |
| 小四 黃柏榮 | 陳建興 |
| 小六 黃璿安 | |

關鍵詞： 榫接、剪力、力距

舊桌第二春-力學探討學生舊桌結構補強與置物空間優化設計

摘要

利用自然課程力學原理，進行廢棄舊桌進行結構補強，增加桌子放置物品空間，自製剪力實驗台檢測桌子補強後結構強度，自製振動模擬器檢測桌子搖動程度，實驗結果如下：

- (一) 現在使用新式桌子有結構上的問題：樁接太小、前櫃板未與前柱樁接，形成前側結構強度弱點，因此桌子容易搖動，大約 80% 要補強。
- (二) 將新式桌子設計瑕疵部分進行結構補後，左右方向傾角降低 88.5%，前後向降低 67.5%。補強後新式桌子桌比新式新桌搖動位移小，桌子結構補強後強度更高。
- (三) 置物空間增加 2.14 倍，快速安裝高度調整器降低，將 12 型桌子簡化到 4 型。
- (四) 製作一副桌椅碳足跡為 21.69 公斤 CO₂。延長使用年限，降低木材使用量，對於氣候變遷與環境有正面價值。

壹、研究動機

我們在上課時老師教到力學的相關知識，力的三要素包括：力的大小、力的方向、力的作用點，接著就用桌子來舉例。在學校有學到與槓桿原理， $\text{抗力} \times \text{抗力臂} = \text{施力} \times \text{施力臂}$ ，兩側的力量就可以達到平衡。我們正好發現學校有些使用較久的桌子會有搖動的情形，就算請學校的志工修繕後，還是會有明顯的搖動。學生一天約有 8 小時在上課，若我們在上課時都一直使用會搖動的桌子，不僅會缺乏安全感，也無法專注在課堂上，這樣會影響學生的學習效能。所以我們打算運用所學的力學知識來對桌子進行修繕，希望能提升桌子的結構強度、降低桌子的搖動程度。像是我們可以利用槓桿原理，施力臂越長時就越省力；抗力臂越長時就越費力。也可以利用剪力以及當力量越大時，物體的變形量會越大等力學相關知識將桌子進行修善。此外，若要做一張全新的桌子，碳足跡會特別高，我們希望以修善桌子的取代購買新桌，減少新制桌子的碳足跡，這樣的環保行動能減少二氧化碳的排放，避免氣候變遷和地球暖化。我們也發現現在使用的桌子型號很多，已高達 12 種，代表學校要預留不少空間存放這些桌子，可能就導致某些型號的桌子會因存放空間不足而減少備存，導致很多人不得不用不適合他身高的桌子。所以我們打算要做高度調整器，把桌子的型號縮成只剩 3 種，這樣不僅可以讓學校不用再需要空出很大的空間存放桌子，也可以購買更多的桌子，使許多學生能用到適合自己的桌子。學生的桌子是用非常珍貴的木材製成，我們希望能讓木材的使用時間延長，這樣就會減少許多木材的砍伐，資源回收再利用，不僅降低垃圾量和木材使用量，對於地球環境也會有正面的影響。

貳、研究目的

- 一、利用問卷調查了解新式舊桌搖動情況與對學生學習影響
- 二、應用力學原理探新式舊桌搖動大小與搖動原因
- 三、研究側向拉力檢測樁接補強方式、位置、數量對新式舊桌結構強度提升效果
- 四、利用側向拉力探討結構補強方法、位置對新式舊桌結構強度與空間優化的提升效果
- 五、推廣活動舊桌再利用降低木材資源使用

參、文獻探討

一、小學生桌椅相關研究

(一) 黃傳益 (2024)，國民小學課桌椅創意再設計

1. 尺寸過多共達 15 種：目前小學所使用的木製桌椅在多方面存在不足，其中木製課桌椅，雖然提供了多達 15 種尺寸規格，但因學校預算限制無法購置全部款式，導致許多學童不得不使用與其身型不匹配的課桌椅。
2. 增加收納空間：在課桌椅設計中遵循減法設計原則，提供有限收納空間。
3. 可調整高度桌椅：採用預埋螺絲技術，使課桌椅腳架可以調整至三種不同高度，分別為 50mm、80mm、110mm，從而增強其可調整性。
4. 桌椅設計上的缺陷：課桌椅在耐久性能上未能完全符合 CNS14430(8.3)標準，其原因於腳架結構設計上的缺陷，導致接合處出現脫膠和斷裂的問題。

(二) 小學生課桌椅設計之研究，邱從甲 (2007)

1. 影響課桌椅設計因子的權重順序分析發現，「眼睛至桌面應有適當的視距」、「桌面應有適當的高度」、「桌底下要有足夠的大腿活動空間」與「學用品放置空間」等都佔有很重的權重比例。
2. 課桌的規格也從原先適用於國小的 13 種縮成 6 種，課桌椅設計公式與課桌 6 型與課椅 3 型之建議。

二、學生桌椅的要件

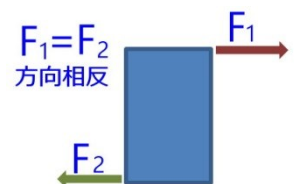
林靜宜(1994)，學童認為最重要三項要素為安全性、堅固耐用和能保持良好坐姿，而老師認為最重要為安全性、學童之間不會互相妨礙和能保持良好坐姿，由研究發現學生桌椅安全為首要，但我們發現現在學生的桌椅長期使用後，容易搖動會影響學生上課，搖動的桌椅也會使學生缺乏安全感。

三、木樺與接合力

楊淑惠 (1989)、李佳韋 (2007)，研究發現，樺長增長會使受力面積增大，其中又以穿樺最大，而一般構件設計防止水平拔出的踏步大頭樺，也比同樺長的單向直樺抵抗彎矩大，引拔強度以橢圓樺強度最大，次為方樺，木釘接合最小，構件材料以紅櫟木最佳，次為橡膠木，柳杉最差。經由我們的研究發現學校的學生桌椅所有的樺接點都是使用密封式樺接點，因此在結構強度與抗剪力較差，是形成桌椅搖動的主要原因。另外在左右方向的樺接較小，且呈現水平的樺接，形成結構的弱點，造成桌椅搖動的原因。

四、剪力：剪力 (Shear Force)，作用於同一物體上的兩個距離

不為零、大小相等、方向相反的平行力。**剪力**是一組未對正的力，將物體一部份推往一個方向，另一部份推往相反方向。若兩個力有對正，是指向彼此的方向，此為壓縮力，不是剪力。



五、力距 $\tau = F d$ ，抗力 \times 抗力臂 = 施力 \times 施力臂。

*圖片由作者及指導老師繪製

六、常用學生桌結構補強法

表 3-1 學校使用結構補強方式（本表由作者製表）

| 補強方法 | 補強工法要件 | 優點 | 缺點 |
|--------------|------------|----------|------------|
| 1. L 型鐵片接點下方 | 鐵片加強接點結構強度 | 施工容易，速度快 | 結構強度較差不美觀 |
| 2. T 型鐵片接點下方 | 鐵片加強接點結構強度 | 施工容易，速度快 | 結構強度較強但不美觀 |
| 3. 加強螺絲後方 | 螺絲鎖在接點後方 | 施工容易，速度快 | 結構強度較差 |

表 3-2 本研究結構補強方式（本表由作者製表）

| | | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------|
| 1. 斜撐下方 | 斜撐增加結構強度 | 結構強度較佳 外觀不佳 | 施工較複雜 施工時間較長 |
| 3. 釘木＋白膠 | 在接點挖一個小洞，灌入白膠，再打入木釘 | 結構強度較佳，施工完後 外觀與原來幾乎相同 | 施工較複雜 施工時間較長 |
| 3. 釘木＋白膠＋木工釘側向 | 在接點挖一個小洞，灌入白膠，再打入木釘，最後側向釘上木工釘。 | 結構強度較佳，施工完後 外觀與原來幾乎相同 | 施工較複雜 施工時間較長 |

七、名詞解釋

側向角度：利用本研究自製的側向拉力研究器，以牽引線綁在桌子標示桿左右兩側，另在牽引線下方吊重 14 公斤鐵塊，觀察吊重前後，桌子的側向角度大小。主要目的是檢測桌子的結構強度。

八、文獻探討總結分析與研究方向

（一）文獻探討總結分析

1. 對於小學生桌椅的結構強度相關研究，中小學科展並無相關研究報告，查閱碩博士論文有 7 篇與本研究相關性較高，我們發現現在的課桌椅，在結構強度上明顯不足，其主要原因與桌椅的樁接大小和桌椅的結構問題有設計上的缺陷。
2. 相關研究發現現在的桌椅的型號太多，學校要備用的型號不足，備用桌椅也需要更大的空間儲存，形成學校空間使用的困擾。
3. 桌子的儲放學用品空間明顯不足，造成學習上的困擾。學生的書本大部分放置在儲物櫃中，造成取書的不便。我們到班級教室觀察學生桌子櫃體放置物品的情況，發現大部分的學生習慣將上課要用的書本放置在桌子櫃中，桌子櫃塞滿學生的學習用品，除此之外桌子櫃向內縮減，使儲物空間更加不足。

（二）研究方向

1. 由相關研究發現，現在國小桌椅，結構上有明顯的缺失，在樁接大小位置，結構設計上有問題，我們要找出結構上的缺失進行補強，製作高結構強度的桌椅，降低桌椅的搖動程度，讓學生能安全使用，避免影響學生上課學習成效。
2. 學生桌子儲物空間太小，使學生無法將要使用的學生物品放置在座位區，形成上課使用學用品不便。因此我們加大學生的桌椅的置物空間，讓學生能放置更多的學習用品，強化學生的學習效能。

3. 現在的小學桌椅共計有 15 型，型號過多導致製作、購置與存放成本增加。因此我們要減少桌椅的型號來降低製作與購置成本，並減少儲存空間。
4. 我們也發現學校要淘汰許多桌椅。木材是地球珍貴的資源，一棵樹木可以砍伐，要數十年、數百年甚至數千年，就這樣丟棄太可惜了！我們想探討是否可以經過簡易改造後，做為其他教學用途上的使用。

肆、研究器材與設備

- 一、設備：自製剪力實驗台（圖 4-1）、自製振動模擬器（圖 4-2）、手機震動加速度 APP、數位相機、電動螺絲起子、木工鑽頭(8~15mm)、木工鋸、木工小鑽台、鑽孔定位器、木工台鋸。
- 二、器材：舊桌 140~155 型共計 140 張，報廢桌椅 10 張，L 型角片 10 片（長度 60mm、寬度 18mm），木釘（10mm、12mm）各 200 支、木工白膠 3760 型 2 包（1 公斤裝），太棒膠 2、3 各 2 罐（473ml）、L 型寬 30mm、長 50mm、螺絲 2 吋（100 支）。
- 三、分析測量工具：手機 APP 軟體記錄震動加速度，每秒記錄 100 次。最大加速度，加速度監測最大記錄值：20m/sec²、平均加速度 10m/sec²。



圖 4-1 自製剪力實驗台(本圖由作者拍攝)

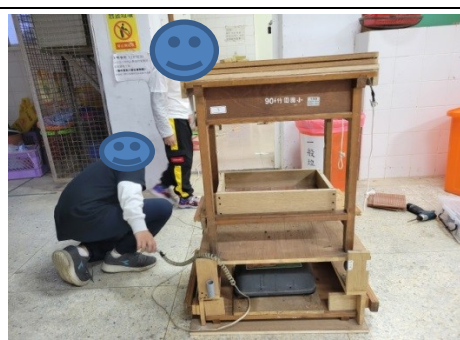


圖 4-2 自製振動模擬器(本圖由作者拍攝)

(二) 自製剪力實驗台（圖 4-1）

學校桌子經常推來推去，受到側向的力量最多，桌子側向（左右方向）搖動也最大，因此我們想利用側向拉力來了解桌子的搖動情況操作說明如下：

1. 桌面下方前後柱位置裝 T 型補強貼片（圖 4-3），T 型鐵片前端綁牽引繩（圖 4-4）。
2. 將桌子桌腳放置在凸起的螺絲釘上方用力下壓固定桌子，上方配重 6 公斤，重壓避免桌子因為受側向拉力傾倒、移動。牽引繩穿過標示桿兩側，再將牽引線穿過定滑輪。
3. 觀察吊重前，利用角度計測量前柱的傾斜角度（圖 4-5）。
4. 測量前側柱子側向角度：在前柱牽引線下方吊重 7 公斤鐵塊 2 個（圖 4-6），桌子因受力產生變形，吊重後標記線往前移動的距離，就是前側柱子側向角度量。
5. 測量中央位置側向角度：將下方的配重取下，輕搖桌子搖動使桌子歸位後，在前後柱位置方各吊重 7 公斤鐵塊 1 個（圖 4-7）。桌子因受力產生變形，吊重後標記線往前移動的距離，就是中央位置側向角度量。
6. 測量後柱測量側向角度：將下方的配重取下，輕搖桌子搖動使桌子歸位後，在後柱位置下方各吊重 7 公斤鐵塊 2 個（圖 4-8）。桌子因受力產生變形，吊重後標記線往前移動的距離，就是後側柱子側向角度量。



*以上圖片皆由作者拍攝、後製

伍、實驗設計與過程

一、利用問卷調查了解新式舊桌搖動情況與對學生學習影響

首先我們想了解學生在使用桌子時遇到哪些經過學校處理後無法改善的問題。我們針對 5 年級學生進行問卷調查。

(一) 實驗設計

1. 我們先自行設計問卷題目，4 位學生與老師一起討論題目內容，問卷選項。
2. 在問卷題目依據不同的類型題目整合、排列，經多次討論後定稿。
3. 學校學生人數為 932 人，我們選擇 5 年級全部學生 156 人進行問卷調查。
4. 發下的問卷 160 份，回收整理有效問卷為 146 份，進行統計分析，製作圖表。

二、應用力學原理探新式舊桌搖動大小與搖動原因

(一) 利用側向拉力檢測桌子的結構強度與搖動的大小

學生都不喜歡使用會搖動的桌子，搖動的桌子會影響學生的學習成效，利用自製剪力實驗台，檢測桌子受到剪力時，桌子的側向角度，用側向角度量來檢測桌子的結構強度，側向角度量越小表示桌子的結構強度越高。當側向角度越大時，表示桌子的結構強度越差。

1. 實驗設計

- (1) 利用自製剪力實驗台（圖 1）檢測桌子的側向角度。
- (2) 不同型號的桌子 140 型、145 型、150 型、155、160 型共 5 型 140 張。

(二) 分析新式舊桌接點樺接大小與樣式與新式舊桌結構強度關連性

李佳韋(2007)研究發現樺長增長會使受力面積增大，其中又以穿樺最大，而一般構件設計防止水平拔出的踏步大頭樺，也比同樺長的單向直樺抵抗彎矩大。樺的長度、大小、結構會影響結構物的抗力的效果。

1. 實驗設計

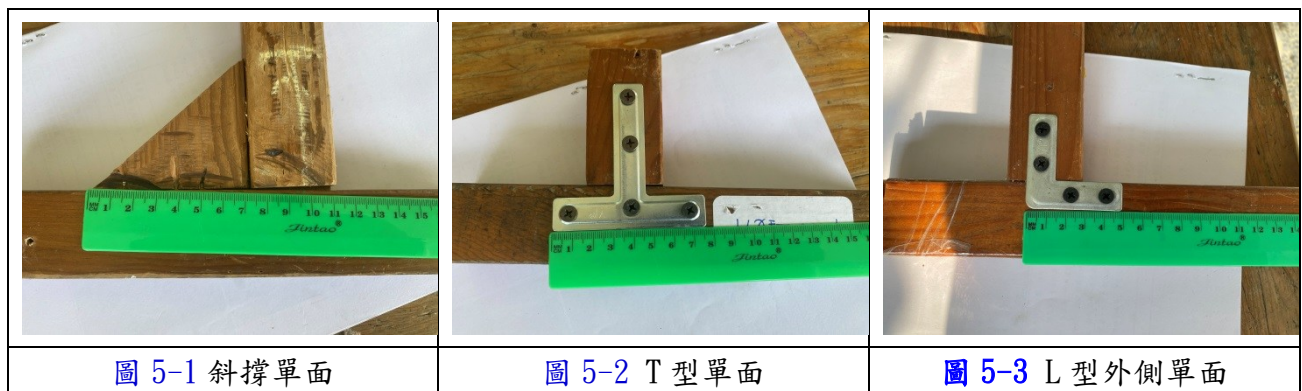
- (1) 新式桌子 150 型，倉庫找到 30 年前的舊式桌子、最近購置的新式桌子，共計三張不同年代與的桌子，進行比對分析。
- (2) 新式桌子 150 型與 30 年前的舊式桌子完全拆解後，測量樺接，利用電子游標尺，測量樺頭、樺洞大小，測量 3 次求平均值。
- (3) 新式桌子 150 型，倉庫找到 30 年前的舊式桌子、最近購置的新式桌子，進行側向拉力實驗，檢測桌子的結構強度。

二、研究側向拉力檢測樺接補強方式、位置、數量對新式舊桌結構強度提升效果

(一) 研究側向拉力檢測不同樺接補強對結構強度的影響

1. 實驗設計

- (1) 製作不同補強結構：斜撐單面、T 型單面、L 型外側單面、L 型內側單面、後方螺絲補強，白膠＋木釘補強後方，共 6 種，每一種補強結構製作 1 支，進行抗力距測試。
- (2) 斜撐單面 (圖 5-1)：木板厚度：2.0cm、等邊直角三角形，邊長 6.0cm。
- (3) T 型單面 (圖 5-2)：長度 7.0cm，邊長 6.0cm，寬度 1.8cm、厚度 0.3cm。
- (4) L 型外側單面 (圖 5-3)：邊長 5.0cm，寬度 1.8cm、厚度 0.3cm。
- (5) L 型單面內側 (圖 5-4)：邊長 5.0cm，寬度 1.8cm、厚度 0.3cm。
- (6) 螺絲釘後方 (圖 5-5)：在樺接位置後方鎖入 2 支直徑 0.5cm 長度 5.0cm 木工螺絲。
- (7) 木釘補強＋白膠 (圖 5-6)：白膠連結樺接位置，並在後方打入直徑 1.0cm，長度 8.0cm 木釘 2 支。
- (8) 將結構補強利用 5.0 公分螺絲釘，固定在教室的木門框上 (圖 5-7)。
- (9) 利用力距的原理設計，結構補強抗剪力測試，木桿長度 120cm，分別在 20cm～110cm 位置做標記。
- (10) 補強結構強度：在不同距離下掛重 4.2 公斤的鐵塊，調整不同距離 (力臂長度)，利用角度計，檢測木桿傾斜的角度，當角度傾斜越小時，表示補強的結構越佳。
- (11) 補強最大受力：在不同距離下掛重 7.0 公斤的鐵塊 (圖 5-8)，當掛重距離 (力臂越長時)，表示補強的結構越佳。



*以上圖片皆由作者拍攝



圖 5-4 L 型單面內側



圖 5-5 螺絲釘後方

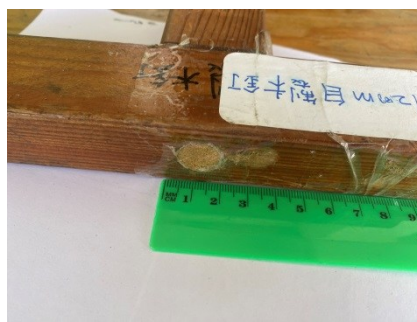


圖 5-6 木釘補強 + 白膠

*以上圖片皆由作者拍攝



圖 5-7 結構強度測試器操作吊重 4.2 公斤



圖 5-8 破壞強度實驗設備吊重 7.0 公斤

*以上圖片皆由作者拍攝、後製

2. 實驗操控

(1) 操作變因：不同的結構補強方式，共計 6 種。

(2) 控制變因：補強樁接位置，吊重重量（4.2 公斤、7.0 公斤）、吊重距離（20cm~110cm）

(二) 利用側向拉力檢測不同樁接補強位置對新式舊桌結構強度提升效果

由研究發現桌子樁接結構相當複雜，共計有 22 個樁接點。我們發現桌子左右搖動比較嚴重，前後搖動比較輕微，如果做桌子的樁接補強在哪一個位置最佳呢？

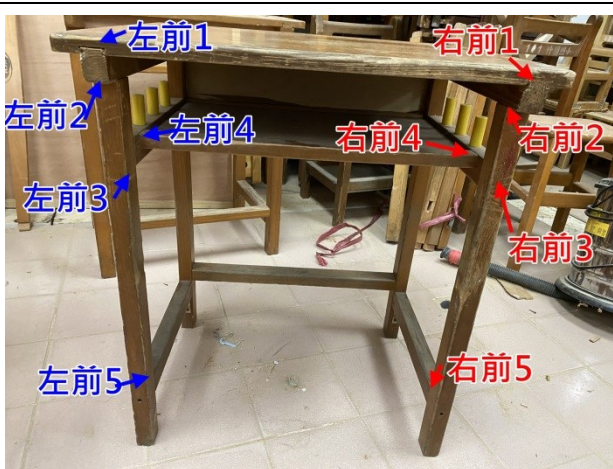


圖 5-9 桌子前柱編碼圖

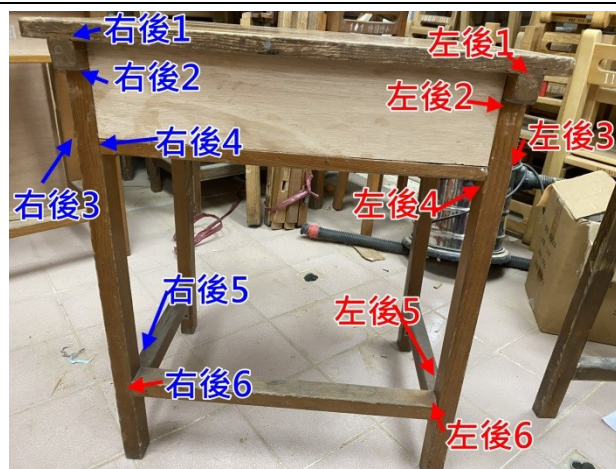


圖 5-10 桌子後柱編碼圖

*以上圖片皆由作者拍攝、後製

1. 實驗設計

- (1) 利用 3 張 150 型的新式桌子進行補強。
- (2) 利用長度 5 公分螺絲釘進行桌子樁接點補強，螺絲釘傾斜 15 度鎖入樁接點，每一樁接點 2 支，共 4 支。
- (3) 補強依序為後柱左右 6（腳踏橫桿）、後柱左右 4（後櫃板）、前柱左右 4（前櫃板）。
- (4) 先補強後柱左右 6（腳踏橫桿），實驗完成後將螺絲拆除，再補強後柱左右 4（後櫃板），實驗完成後將螺拆除，最後進行前柱左右 4（前櫃板）補強。
- (5) 檢測方法：利用側向拉力實驗器，檢測在 14 公斤重量下，前側柱子、中間位置，後側柱子的桌腳的側向角度。

2. 實驗操控

(1) 操作變因：不同的補強位置，抗側向拉力的側向角度變形量

(2) 控制變因：相同的桌子，側向拉力 14 公斤。

(三) 應用側向拉力檢測不同樁接補強對新式舊桌結構強度提升效果

由研究二-（一）發現，桌子結構補強以斜撐、木釘+白膠與 T 型單面最佳，我們想以這 3 種補強方式進行下一步實驗。由研究一-（二）結果發現，桌子左右向共 6 個樁接點，總體積僅 35.12cm^3 ；前後向共 8 個樁接點，總體積 70.24cm^3 ，體積是左右向的 2 倍。左右向樁接體積太小，是造成桌子的結構較差的原因，桌子左右向搖動較大。需要優先補強位置依序是（左後 6 右後 6）、（左後 4 右後 4）、（左前 4 右前 4），因此我們想將補強位置列為（左後 6 右後 6）。

1. 實驗設計

- (1) 由研究一-（二）實驗找出最佳補強方法：木釘+白膠、斜撐、T 型單面共 3 種不同補強方式，進行桌子實際結構補強。
- (2) 將 3 種不同的結構補強，利用自製剪力研究台，檢測桌子在 14 公斤的側向拉力下，桌子側向角度的情形。



*以上圖片皆由作者拍攝、後製

(3) 找 3 張搖動嚴重學生桌 145 型，進行結構補強。同一張桌子進行 3 種不同結構補強

- ①先檢測 T 型單面鐵片補強（圖 5-9），②實驗後，將鐵片拆除，進行斜撐補強（圖 5-10），實驗後拆除斜撐補強，③最後進行木釘+白膠補強（圖 5-11）。

2. 實驗操控

- (1) 操作變因：結構補強 3 種斜撐、木釘+白膠，T 型單面，比對組（沒有補強）。
- (2) 控制變因：相同的桌子，側向拉力 14 公斤。

(四) 震度模擬器檢測不同樺接補強對新式舊桌耐用度差異

經過補強後的桌子如果經過長時間使用後，木樺位置容易鬆拖。將不同的結構補強進行 8 小時搖動實驗，檢測不同結構補強耐用度。

1. 實驗設計

- (1) 斜撐、T 型單面、白膠＋木釘補強共 3 種補強方法。
- (2) 實驗前 3 種不同結構補強，利用自製剪力研究台，檢測桌子在 14 公斤側向拉力下，側向傾角大小，傾角越小表示桌子的樺接強度越強。
- (3) 將不同的結構補強，放置在自製震動模擬器進行振動實驗。
- (4) 找搖動嚴重學生桌 145 型，進行結構補強。同一張桌子進行 3 種不同結構補強①先檢測 T 型鐵片補強（圖 5-12）實驗後將鐵片拆除，②進行斜撐補強（圖 5-13），實驗後拆除斜撐補強，③最後進行木釘＋白膠補強（圖 5-14）。
- (5) 每一種結構補強在自製震動模擬器震動 8 小時，進行側向拉力實驗。比較實驗前後側向傾角的變化。



圖 5-12 T 型鐵片補強



圖 5-13 斜撐補強



圖 5-14 木釘＋白膠補強

*以上圖片皆由作者拍攝、後製

2. 實驗操控

- (1) 操作變因：白膠＋木釘補強、T 型鐵片補強、斜撐補強，共計 3 種，比對實驗前後，側向拉力角的變化
- (2) 控制變因：桌子型號（145 型 1 張）、補強位置（左後 6 右後 6）。搖擺機加速度，X 軸 4.06 m/sec^2 、Y 軸 2.05 m/sec^2 、Z 軸 1.02 m/sec^2 ，頻率 1.6Hz，搖動位移量 3.8cm。

(五)、研究側向拉力檢測不同數量木釘補強對新式舊桌結構強度提升效果

由研究二-(四)結果發現，利用木釘補強法，因為補強孔小，且利用木釘補強與桌子木材顏色相近，不仔細看，外觀差異度不大較為美觀。我們想進一步了解，如果木釘數量增加時，補強效果會更好嗎？桌子會更不容易搖動嗎？

由研究二-(一)結果發現，最需要優先補強的位置依序是①（後左 6 後右 6）2 支木釘，再增②（後左 4 後右 4）2 支木釘，再增③（前左 4 前右 4）2 支木釘，再增④（左前 5 右前 5）2 支木釘最後再增⑤（右前 5 右前 5）2 支木釘，共計 10 支木釘。研究流程（圖 5-15）

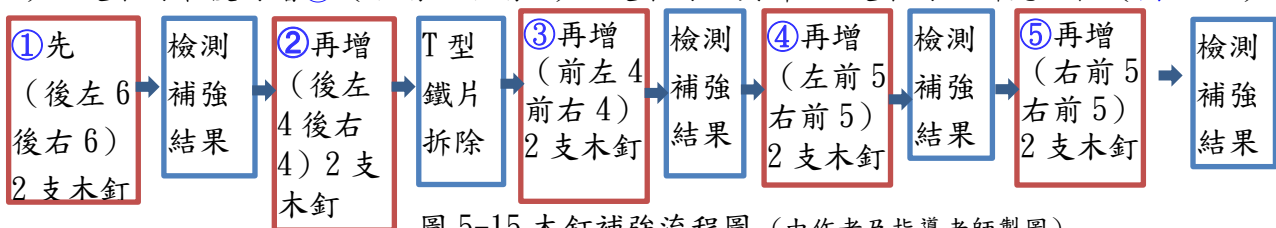


圖 5-15 木釘補強流程圖（由作者及指導老師製圖）

1. 實驗設計

- (1) 找 3 張搖動比較嚴重的桌子 (150 型)，相同的桌子進行研究減少研究誤差。
- (2) 由研究二-(三)的結果，進行不同支數木釘補強。將結構最差的位置桌子下方左右後橫桿 (後左 6 後右 6)，櫃板左右後橫桿 (後左 4 後右 4)，前方櫃板左右前橫桿 (前左 4 前右 4)，前後桌腳 (前左 5 後左 5)，前後桌腳 (前右 5 後右 5)，依序進行結構補強 (圖 6-2)。



圖 5-15 木釘補強位置順序圖

(上圖由作者拍攝、後製)

- (3) 在接榫位置先用直徑 0.95cm 鑽頭，鑽孔直徑 0.95cm，深度 8.5cm (圖 5-16)，加入 10 滴瞬間膠在孔洞中，並在木釘釘頭滴 3 滴瞬間膠，再將直徑 1.0cm、長度 8cm 木工釘，利用榔頭用力打入孔洞中 (圖 5-17)，最後用氣動釘槍 F30 釘側向加強防止木榫脫離 (圖 5-18)。



圖 5-16 鑽孔鑽孔直徑 0.95cm，深度 8.5cm



圖 5-17 長度 8cm 木工釘，用榔頭用力打入孔洞中



圖 5-18 最後用氣動釘槍 F30 側向加強防止木榫脫離

*以上圖片皆由作者拍攝

- (4) 等待 5 分鐘瞬間膠凝固後，將桌子放在自製剪力研究台進行側向拉力傾斜角度檢測。

2. 實驗操控

- (1) 操作變因：木釘數量 (2、4、6、8、10 支木釘) 對結構補強的影響。
- (2) 控制變因：桌子的型號 (150 型 3 張)，木釘直徑 1.0cm，長度 8.0cm，木工膠滴數 13 滴。測量拉力研究重量 14 公斤，檢測側向拉力傾斜角度檢測，

三、利用側向拉力探討結構補強方法、位置對新式舊桌結構強度與空間優化的提升效果

(一) 側向拉力探討不同前柱結構補強對新式舊桌結構強度提升的效果

由研究二發現，我們進行桌子的結構補強後，發現桌子前柱傾斜角度約 2.01 度、中間 1.26、後柱 0.74，發現補強後桌子的結構強度，並未達到原有強度標準 (前柱 0.64、中間 0.43、後柱 0.32 度) 有很大的落差。

經過我們仔細的觀察發現，新式直式桌子嚴重結構上的問題是桌子左前柱 4、右前柱 4 結構不符合力學原理，把原本應該在 (左前 4 右前 4) 的接點，往後接在櫃板柱上 (形成左右力量無法支撐的情況 (圖 5-19)。與 30 年前桌子的設計有明顯的差異 (圖 5-20)，又因為接榫較小且呈水平狀，加上沒有支撐力的背板 (圖 5-21)。細小橫桿 (左後 4、右後 4)，無論如何

補強，只要在桌子前側（左前柱4、右前柱4）位置用力左右用力搖動，桌子還是會搖動。

我們到地下室找到以前舊學生桌與現在的學生桌（圖 5-19、圖 5-21）做比對，發現以前的舊桌用了 30 年後搖動情況仍不嚴重（圖 5-20、圖 5-22），我們仔細的比對結構上的差異發現結果如下：

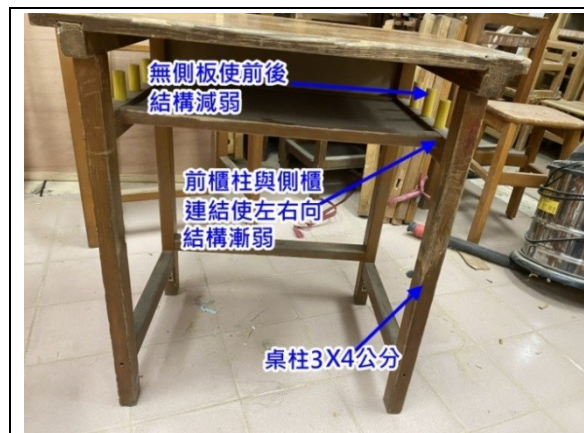


圖 5-19 現在的桌子正面圖



圖 5-20 30 年前的桌子正面圖



圖 5-21 現在的桌子背面



圖 5-22 與 30 年前桌子比對



圖 5-23 現在的桌子背面



圖 5-24 30 年前桌子背面

*以上圖片皆由作者拍攝、後製

表 5-2 老舊桌子與現在桌子的比較分析表（本表由作者製表）

| 式 木桿位置 | 30 年前舊桌子 | 新式桌子 |
|--|--|--|
| 桌腳的尺寸 | 寬度 4cm 厚度 4cm | 寬度 4cm 厚度 3cm |
| 櫃子左右向橫桿 後左 6 後右 6 | 寬度 4cm 厚度 3cm 樺接寬度 4cm 厚度 1.3cm 3.0cm | 寬度 4cm 厚度 3cm 樺接寬度 3cm 厚度 0.9cm 長度 2.5cm |
| 櫃子前後向橫桿 前左 3 後左 3、前左 5 後左 5、前右 3 後 右 3 前右 5 後右 5 | 寬度 4.0cm 厚度 4.0cm 樺接寬度 3.0cm 厚度 1.3cm 長度 3.0cm | 寬度 4cm 厚度 3cm 樺接寬度 3cm 厚度 0.9cm 長度 2.5cm |
| 櫃子橫桿 前右 4 前左 4 | 橫桿寬度 4.0cm 厚度 3.0cm 樺接 寬度 4.0cm 厚度 1.3cm 長度 3cm | 橫桿寬度 2cm 厚度 3cm 樺接寬 度 2cm 厚度 0.9cm 長度 2.2cm |
| 櫃子前桿 後右 4 後左 4 | 橫桿寬度 4cm 厚度 3cm 樺接寬度 4cm 厚度 1.3cm 長度 3.0cm | 橫桿寬度 2.0cm 厚度 3cm 樺接 寬度 2cm 厚度 0.9cm 長度 2.2cm |

1. 實驗設計

- (1) 我們將拆解舊有的 150 型桌子，加強結構的方法，製作結構強度高的桌子。
- (2) 首先利用廢棄的桌子桌板，切割為長度 48cm、寬度 2cm、厚度 2cm 木條。
- (3) 將木條上白膠後，用氣動釘槍釘在原本的前櫃子橫桿，釘為後剛好與左右前柱切齊。
- (4) 利用現有的桌子的桌腳，切割長度 48cm、寬度 4cm、厚度 3cm 的木條，最為左前柱、右後柱的連接點，並在接點位置打入 2 支 1.0cm、長度 10cm 的木釘最為接樺。

2. 研究方法

- (1) 將研究六利用木釘補強完成的桌子 150 型 3 張（圖 5-25），進行桌子前側補強。
- (2) 先進行木釘補強 6 支，在後右 6 後左 6、後右 4 後左 4、前右 4 前左 4。
- (3) A1 補強法（圖 5-26）：前櫃橫桿利用舊桌子的木條寬度 2cm 厚度 2cm 長度 48cm，補強到左前柱右前柱前方。
- (4) A2 補強法（圖 5-27）：利用舊桌子桌腳寬 4cm 厚度 3cm 長度 48cm，補強左前 3 柱右前 3 柱，將強左前柱右前柱連結，並在接點打入直徑 1.0cm 長度 8cm 的木釘，作為樺接點，增加結構強度（圖 5-28）。
- (5) A3 補強法（圖 5-29）：後櫃板補強，將後櫃板與後左右柱、後櫃桿利用 155 型瞬間膠固定增加桌子後方的強度，較大的間隙再利用白膠填滿間隙，加強後背板的結構強度。
- (6) 研究流程圖如下。

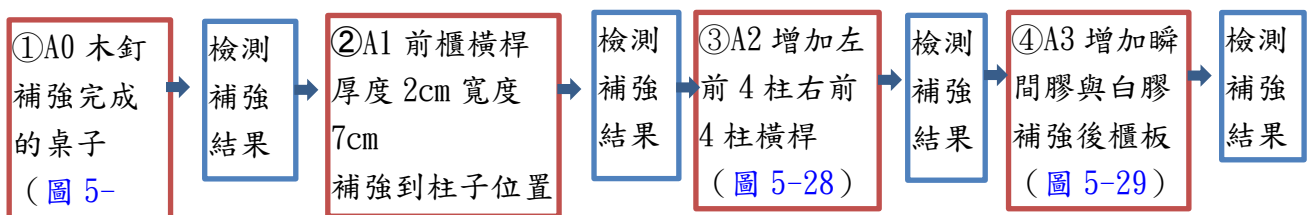
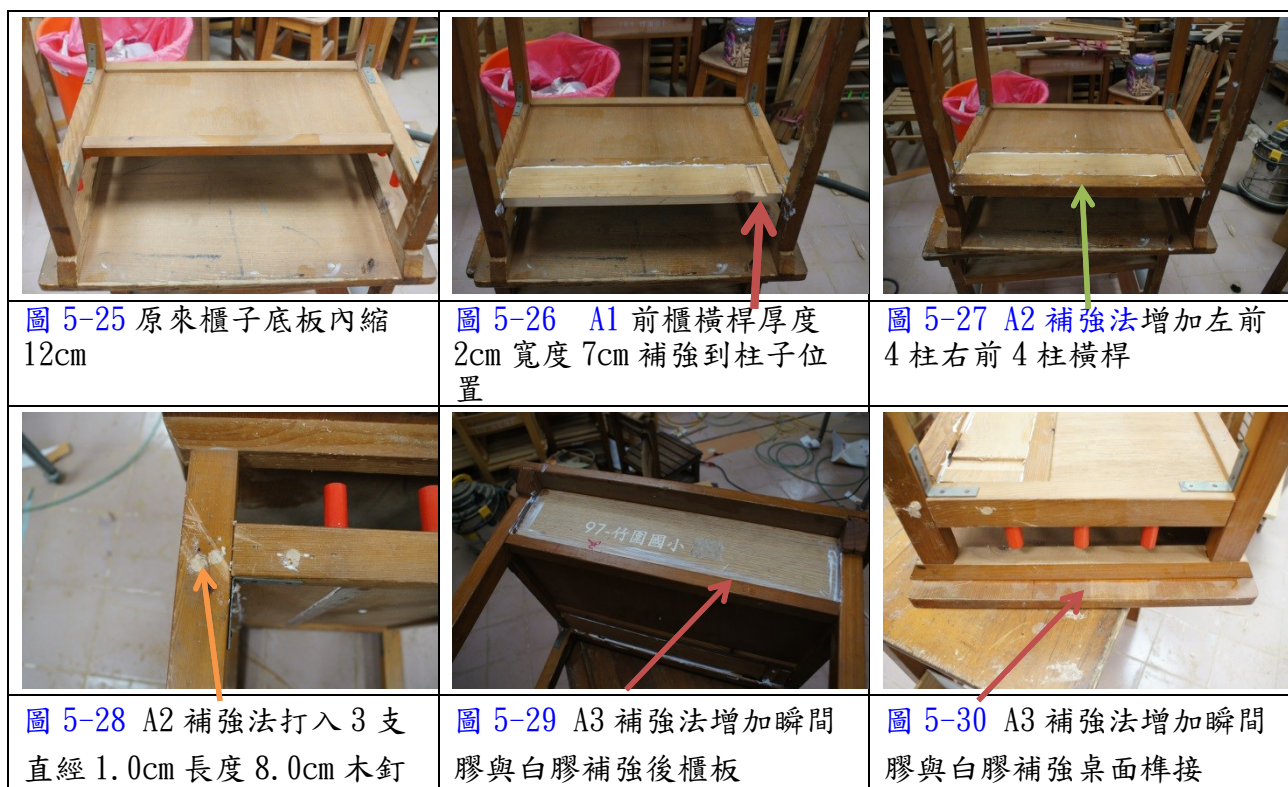


圖 5-24 前柱補強研究流程圖（由作者及指導老師製圖）



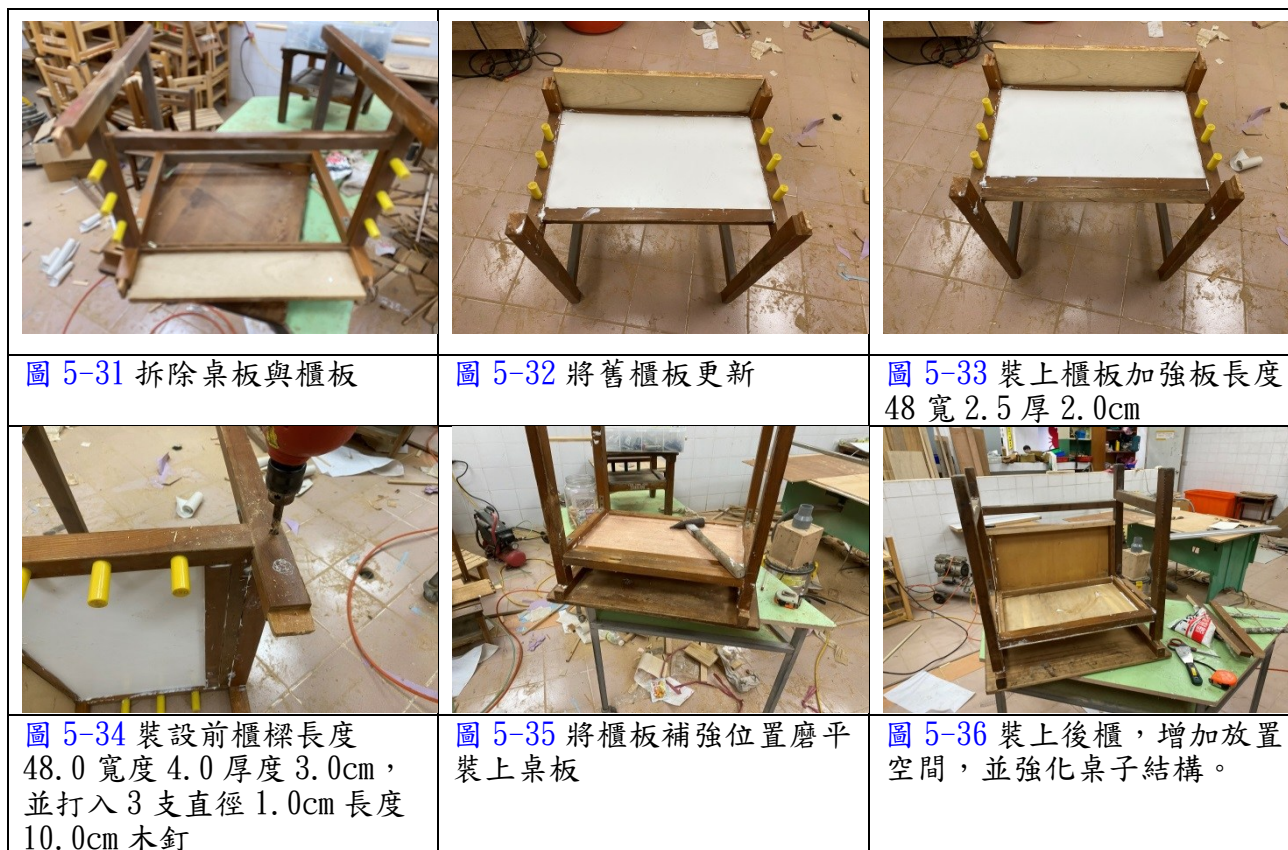
*以上圖片皆由作者拍攝、後製

3. 實驗操控

- (1) 操作變因：前側補強方式，無補強（比對組）、木釘補強完成、A1 前櫃橫桿厚度 2cm 寬度 7cm 補強長度 48cm、A2 增加左前 4 柱右前 4 柱橫桿（厚度 3cm 寬度 4cm 長度 48 公分）補強、A3 增加瞬間膠與白膠補強後櫃板與增加桌面銜接樺位補強。
- (2) 控制變因：桌子的型號（150 型 3 張）木釘直徑 1.0cm，長度 8.0cm，木工膠滴數 13 滴。測量拉力重量 14 公斤，檢測側向拉力傾斜角度。

（二）探討新式舊桌置物空間優化設計的可行性

邱從甲（2007），影響課桌椅設計因子的權重順序分析發現，眼睛至桌面應有適當的視距、桌面應有適當的高度、桌底下要有足夠的大腿活動空間、學用品放置空間，由研究發現學用品放置空間是學生桌子重要的一個項度。黃傳益（2024）增加收納空間：在課桌椅設計中遵循減法設計原則，提供有限收納空間。可調整高度桌椅：採用預埋螺絲技術，使課桌椅腳架可以調整至三種不同高度。依據本研究發現，學生桌子現有的設計抽屜過於狹小，不足以放置學生學習用品，利用現有的學生桌子經過設計改良後，增加學生的放置物品的空間。



*以上圖片皆由作者拍攝

1. 實驗設計

- (1) 在不影響現有學生桌子結構強度下進行設計。
- (2) 擴充的置物空間也可以使用在現有的桌子，只需要簡易的安裝。
- (3) 不用時可以輕易拆除，移動至其他地方。
- (4) 經過我們討論發現，桌子的左右兩側柱子中間、與後方桌櫃下方空間可以使用（圖 5-37）。

2. 製作方法

- (1) 製作高度 25.0cm、寬度 30.5cm、厚度 5.0cm 木製盒子，2 個插在左右兩側前後橫桿上。
- (2) 製作高度 31.0cm、寬度 48cm、厚度 7.0cm 木製盒子，裝置在後方桌櫃下方空間。

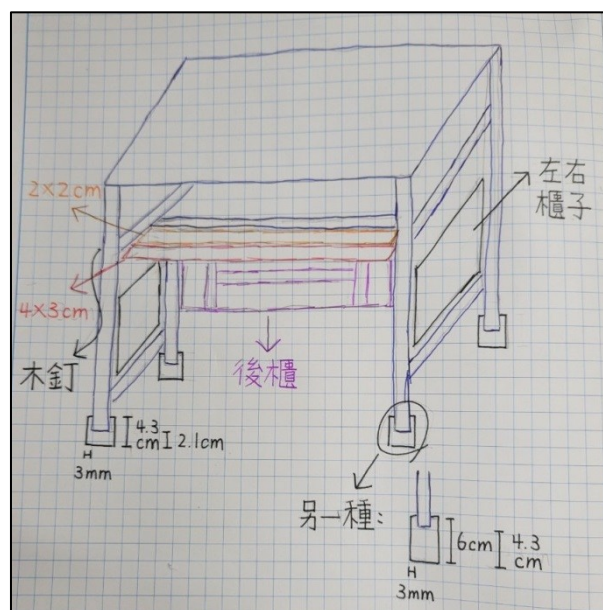


圖 5-37 增加置物空間位置設計圖

（由作者繪製）

（三）應用側向拉力檢測新式舊桌補強後桌子結構強度提升的效果

桌子補強完成後，結構強度有比新的桌子好嗎？我們找到相同的型號桌子 145 型，未補強的桌子，補強完成的桌子，新的桌子進行，桌子搖動位移的比較。

1. 實驗設計

- (1) 新式舊桌 1 張（未補強），新式舊桌 1 張（補強），新式桌 1 張（去年購置未使用），進行搖動位移測試。
- (2) 將桌子放置於搖動平台上進行搖動測試，模擬學生上課時的使用情況。檢測桌子搖動時，左右搖動位移大小。位移越大，表示桌子搖動越大，桌子的結構強度越低。
- (3) 分別在桌子抽屜配重 4 公斤、8 公斤、12 公斤、16 公斤的重量，檢測桌子在不同的重量壓力下搖動位移大小。
- (4) 在桌子側面利用貼紙貼上紅點做記號標示（圖 5-38），開啟搖擺機左右搖動，利用 iPad 錄影 10 秒鐘，（圖 5-39）再利用 iPad 影片檢視紅點標示記號左右移動的最大距離，就是桌子的搖動位移。

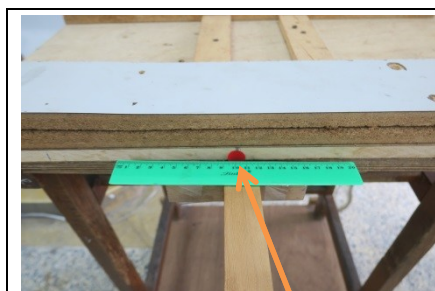


圖 5-38 紅點標示記號



圖 5-39 利用 iPad 錄影



5-40 配重在抽屜模擬書本

*以上圖片皆由作者拍攝、後製

2. 實驗操控

- (1) 操作變因：桌子未補強、桌子補強、新的桌子，搖動位移的差異。
- (2) 控制變因：桌子型號 145 型，搖擺機加速度，X 軸 4.06 m/sec^2 、Y 軸 2.05 m/sec^2 、Z 軸 1.02 m/sec^2 ，頻率 1.6Hz ，搖動位移量 3.8cm 。

（四）設計快速安裝高度調整器降低桌子製作成本提升使用率

小學的桌子高度從 110 型～160 型，共計有 12 型桌子，我們發現桌子的型號太多，學校要準備各種型號的桌子做預備，地下室大量的有桌子，可是經常性發現部分的型號的桌子不足。我們想如果將現有的桌子型號 12 種，設計為 4 種再利用高度調整器調整桌子的高度。

1. 實驗設計

- (1) 將現有 12 型桌子，改為 110-120 型、125 -135 型、140-150 型、155-165 型共 4 型。
- (2) 研究發現每一型號前後高度差異 $2.1\text{--}2.2\text{cm}$ ，其中 120 到 125 差異 4.3cm 較特殊。
- (3) 我們搭配現有的椅子設計，將 12 型桌子，設計為 110、125、140、155 縮減為 4 型。
- (4) 利用現有的舊桌子的桌腳製作高度為 2.1cm 、 4.3cm ，桌子增高器。
- (5) 桌子裝上 2.1cm 增高器為增加一個高度的桌子，桌子裝上 4.3cm 增高器增加二個高度的桌子。
- (6) 我們製作的增高器也可以適用現在學校使用的桌子。

五、推廣活動舊桌再利用降低木材資源使用

（一）新式舊桌結構補強與空間優化後進行實際測試

經過結構補強與置物空間增加的桌子真的可以用嗎？將經過結構補強的桌子 28 張，進行實驗測試。

1. 實驗設計

(1) 選擇 5 年級 1 個班，共 28 為學生作為實驗對象。將原有的舊桌子，結構補強與空間提升設計後，學生使用 4 週後進行問卷調查，了解學生的使用情況。



圖 5-41 桌子經改造後的結構與造型



圖 5-42 學生使用現況*以上圖片皆由作者拍攝

(二) 舊桌再利用的環境價值

桌椅拆解依據不同尺寸大小木材分類，減少存放的空間，也比較方便使用。



圖 5-43 要回收的桌椅



圖 5-44 將桌椅拆解後分類



圖 5-45 拆解後的桌板

*以上圖片皆由作者拍攝

陸、實驗結果與討論

一、利用問卷調查了解新式舊桌搖動情況與對學生學習影響

(一) 實驗結果

| | | |
|---|---|--|
| | | |
| <p>圖 6-1 桌椅型號符合身高</p> <p>桌椅型號符合身高：72.6% 符合學生身高的型號，有 17.4%，未符合身高配置桌椅，有可是學生在小學階段，長的很快，學生桌椅來不及更換。</p> | <p>圖 6-2 桌椅使用滿意度</p> <p>桌椅使用滿意度：有 50.7% 對於現有的桌椅不滿意，滿意的 18.5%，顯示現有的桌椅不符合學生上課需求。</p> | <p>圖 6-3 櫃子放滿程度</p> <p>櫃子中都放滿學習用品情況：有 55.5% 學生的桌櫃，放滿學習用品，顯示現有的桌櫃置物空間嚴重不足。</p> |

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| <p>圖 6-4 桌椅有搖動的現象</p> | <p>圖 6-5 搖動桌椅的感覺</p> | <p>圖 6-6 解決桌椅搖動問題</p> |
| <p>桌椅有搖動的現象：搖動的桌子有 76%，現有的桌椅搖動情況嚴重。</p> | <p>搖動桌椅的感覺：學生不安心 58.9%，桌椅的搖動對於學生心理上有影響</p> | <p>解決桌椅搖動問題：52.1%學生繼續使用搖動的桌椅，且沒有修繕。</p> |
| | | |
| <p>圖 6-7 學校修繕桌椅成效</p> | <p>圖 6-8 腿部到櫃子的距離</p> | <p>圖 6-9 桌子的壓迫感</p> |
| <p>學校修繕桌椅成效：學校桌椅修繕好的 23.2%，修繕完成率低，是技術問題？還是桌子結構問題？</p> | <p>腿部到櫃子的距離：67.1%學生 4-6cm，表示學生桌櫃到腿部空間足夠。</p> | <p>桌子的壓迫感：76.1%學生對於現在的桌椅壓力很小。</p> |
| | | |
| <p>圖 6-10 經置物櫃拿東西</p> | <p>圖 6-11 空間足夠你放學習用品</p> | <p>圖 6-12 桌櫃變大的幫助</p> |
| <p>經常到教室置物櫃拿東西：70.6%學生會偶爾或經常到置拿學用品。</p> | <p>空間足夠你放學習用品：63.3%桌櫃的置物空間不足會嚴重不足，有需要提升學生的置物空間。</p> | <p>桌櫃變大的幫助：82.7%學生將置物空間變大有利於上課學習。</p> |

*以上圖表皆由作者及指導老師繪製

(二) 討論

1. 桌子高度：部分學生桌椅高度未符合身高，可能學生在小學階段長的很快學生桌椅來不及更換，應該要有簡易調整高度方法解決桌子高度的問題。

- 桌椅使用滿意度：有 50.7% 不滿意現在的桌椅，顯示現在的桌椅不符合學生上課需求。搖動的桌子有 76% 桌椅搖動情況嚴重，學生不安心 58.9%，桌櫃子中都放滿學習用品桌，櫃置物空間嚴重不足，學生對於現在的桌椅不滿意度高。
- 有 52.1% 學生繼續使用搖動的桌椅，經過沒有修繕後的桌椅還是無法解決桌椅的搖動問題，應該是修繕方法或桌椅有結構上的問題。
- 腿部到櫃子的距離：67.1% 學生 4-6cm，學生桌櫃到腿部空間足夠。76.1% 學生對於現在的桌椅壓力感較小，是現在桌子的優點。
- 桌子的缺失：置物空間太小、桌面不良是學生改善最需要部分。

二、應用力學原理探新式舊桌搖動大小與搖動原因

(一) 利用側向拉力檢測桌子的結構強度與搖動的大小

1. 實驗結果

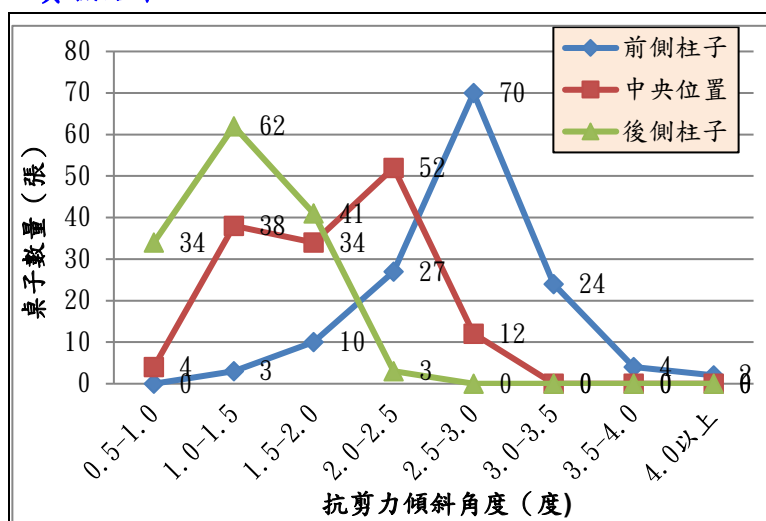


圖 6-13 桌子受力側向角度(由作者及指導老師繪製)

表 6-1 不同受力位置相關性分析

| 位置 | 前側柱子 | 中央位置 | 後側柱子 |
|------|------|------|------|
| 前側柱子 | | 0.89 | 0.88 |
| 中央位置 | 0.89 | | 0.86 |
| 後側柱子 | 0.88 | 0.86 | |

(本表由作者製表)







由相關性分析發現，桌子前柱、與中央位置、後側柱子相關性高達 0.86 以上，表示桌子會搖動是全面性樁接鬆拖現象，不是局部的鬆拖。

2. 討論

- 由圖 6-13 發現，當桌子受到 14 公斤的側向拉力時，在桌子的前側柱子側向角度最大，以側向角度 2.5-3.5 最多。桌子的中央位置側向角度量以 2.0-3.0 最多，大部分集中在 1.5-3.0 之間。桌子後側柱子桌子的後側柱子側向角度以 1.0-2.0 最多，由側向拉力研究發現前側柱子側向角度大於 2.0 都需要修繕，大約佔比 80%。
- 由表 6-1 發現，桌子不同位置的側向角度有高度的相關性，前側柱子角度越大時，中位置與後側柱子，側向角度也越大。
- 桌子的前側柱子側向角度最大，後側柱子側向角度量大約是前側柱子的一半，我們仔細觀察發現後側柱子下方多了一支橫樑，加上後側有後櫃板的支撐，整體結構強度較佳，抗剪力效果較佳，因此側向角度少。
- 前側柱子角度越大時，中央位置與後側柱子，側向角度量也越大，表示整張桌子的樁接結構與桌柱有相互牽連關係。
- 學生桌椅經 10~20 年長期使用後，樁接點容易鬆拖，加上在製作時樁接點沒有做好，樁接白膠黏性消失產生脫膠現象，造成樁接點鬆拖，樁接鬆拖後桌子就會搖動。

(二) 分析新式舊桌接點榫接大小與樣式與新式舊桌結構強度關連性

1. 實驗結果 (1) 舊桌與新桌榫接大小與樣式差異比對 (以下圖片皆由作者拍攝)

| | | |
|--|---|--|
|  |  |  |
| <p>圖 6-14 前後向 8 個接榫接桿粗大，接榫大，長度 31 公分。 長 4.0cm、寬 1.0cm、深 2.5cm。</p> | <p>圖 6-15 左右向 6 個接榫接桿細小，接榫小且橫向，長 2.5cm、寬 0.9cm、深 2.5cm</p> | <p>圖 6-16 桌板 4 個接榫 長 4.0cm、寬 1.0cm、深度為 3.0m</p> |
|  |  |  |
| <p>圖 6-17 30 年舊桌前後向榫接長 4.0cm、寬 1.3cm、深度為 2.0 與 3.5cm</p> | <p>圖 6-18 30 年舊桌前後向榫接長 4.0cm、寬 1.3cm、深度 3.5cm</p> | <p>圖 6-19 30 年舊桌桌面榫接長 4.0cm、寬 1.3cm、深度為 3.0cm</p> |

(2) 30 年舊桌與新式桌子榫接大小的差異

表 6-2 桌子榫接尺寸與功能分析表 (本表由作者製表)

| 尺寸 位置 | 現在桌子 | | | | 榫頭 總體 積 cm ³ | 30 年前桌子 | | | | 榫頭總 體積 cm ³ | 榫接功能 |
|----------|------|------|-----|-----|----------------------------------|---------|------|-----|-----|------------------------------|---------------|
| | 形式 | 長 | 寬 | 厚 | | 形式 | 長 | 寬 | 高 | | |
| 前左 1 | 燕尾 | 35.2 | 2.8 | 0.7 | 68.99 | 燕尾 | 35.2 | 2.8 | 0.8 | 78.85 | 桌板變形、 連接桌面 |
| 前右 1 | | | | | | 燕尾 | 35.2 | 2.8 | 0.8 | 78.85 | 桌板變形、 連接桌面 |
| 前左 2 | 直榫 | 2.5 | 3.9 | 0.9 | 8.78 | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌面、前後 向剪力 |
| 前右 2 | | | | | | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌面、前後 向剪力 |
| 前左 3 | 直榫 | 2.5 | 3.9 | 0.9 | 8.78 | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 櫃板、前後 向剪力 |
| 前右 3 | | | | | | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 櫃板、前後 向剪力 |
| 前左 4 | 直榫 | 2.5 | 2.9 | 0.9 | 6.53 | 直榫 | 2.5 | 4.0 | 1.3 | 13.00 | 櫃板、左右 向剪力 |
| 前右 4 | | | | | | 直榫 | 2.5 | 4.0 | 1.3 | 13.00 | 櫃板、左右 向剪力 |
| 前左 5 | 直榫 | 2.5 | 3.9 | 0.9 | 8.78 | 直榫 | 2.5 | 3.9 | 1.3 | 10.53 | 桌腳、前後 向剪力 |
| 前右 5 | | | | | | 直榫 | 2.5 | 3.9 | 1.3 | 10.53 | 桌腳、前後 向剪力 |
| 後左 1 | 燕尾 | 35.2 | 2.8 | 0.7 | 68.99 | 燕尾 | 35.2 | 2.8 | 0.8 | 68.99 | 桌板變形、 連接桌面 |
| 後右 1 | | | | | | 燕尾 | 35.2 | 2.8 | 0.8 | 68.99 | 桌板變形、 連接桌面 |
| 後左 2 | 直榫 | 2.5 | 3.9 | 0.9 | 8.78 | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌面、前後 向剪力 |
| 後右 2 | | | | | | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌面、前後 向剪力 |
| 後左 3 | 直榫 | 2.5 | 3.9 | 0.9 | 8.78 | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌面、前後 向剪力 |
| 後右 3 | | | | | | 直榫 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌面、前後 向剪力 |
| 後左 4 | 直榫 | 2.5 | 2.0 | 0.9 | 4.50 | 直榫 | 2.5 | 4.0 | 1.3 | 13.00 | 櫃板、左右 向剪力 |
| 後右 4 | | | | | | 直榫 | 2.5 | 4.0 | 1.3 | 13.00 | 櫃板、左右 向剪力 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|----|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|-------|----------|
| 後左 5 | 直樺 | 2.5 | 3.9 | 0.9 | 8.78 | 直樺 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌腳、前後向剪力 |
| 後右 5 | | | | | | | | | | | |
| 後左 6 | 直樺 | 2.5 | 2.9 | 0.9 | 6.53 | 直樺 | 3.0 | 4.0 | 1.3 | 15.60 | 桌腳、左右向剪力 |
| 後右 6 | | | | | | | | | | | |

3. 討論






- (1) 由表 6-2 發現，與舊的桌子比較結構與接樺大小的差異扣除不影響結構的桌面燕尾樺，現在的桌子樺接總體積 70.2 cm^3 ，30 前的舊桌子 132.8 cm^3 ，30 年前的桌子比現在的桌子樺接大 1.88 倍，樺接體積越大結構強度越大，所以不易搖動。
- (2) 由圖 6-20 發現，支撐左右向剪力為前左 4 連接前右 4、後左 4 連接後右 4、後左 6 連接後右 6 共 6 個樺接，總體積為 35.12 cm^3 ，左右向木桿長 48cm。
- (3) 支撐前後方向剪力為前左 3 連接後左 3、前左 5 連接後左 5、前右 3 連接後右 3、前右 5 連接後右 5 共 8 個樺接，總體積為 70.24 cm^3 ，前後向木桿長 31cm。
- (4) 桌子支撐左右向共 6 個樺接（圖 6-21），總體積為 35.12 cm^3 ；前後向共 8 個樺接，總體積為 70.24 cm^3 。因為左右向樺接體積太小、結構較差，所以桌子左右向容易搖動。
- (5) 因為連接木桿前後向為 31cm，左右向為 48cm，當木桿越長時抗力距越大，施同樣力量時抗力距越大時，抗剪力的效果越差，加上樺接點較小所有左右樣容易搖動。

三、研究側向拉力檢測樺接補強方式、位置、數量對新式舊桌結構強度提升效果

（一）研究側向拉力檢測不同樺接補強對結構強度的差異

1. 實驗結果

（1）結構破壞實驗結果

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 圖 6-20 斜撐破壞情況 | 圖 6-21 T 型破壞情況 | 圖 6-22 L 型單面外側 |
|  |  |  |
| 圖 6-23 L 型單面下側 | 圖 6-24 後向螺絲 | 圖 6-25 木釘+白膠破壞 |

*以上圖片皆由作者拍攝、後製

(2) 結構補強抗力距與破壞力實驗結果 表 6-3 結構補強抗力距與破壞力實驗結果

| 力距大小 Kg-m | 8.4 | 12.6 | 16.8 | 21.0 | 25.2 | 29.4 | 33.6 | 37.8 | 42.0 | 46.2 |
|--------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 補強方式 | | | | | | | | | | |
| 比對組 (度) | 1.2 | 1.7 | 1.9 | 2.5 | 3.2 | 4.9 | 破壞 | | | |
| T 型鐵片 (度) | 0.2 | 0.5 | 0.9 | 1.4 | 2.1 | 2.2 | 3.9 | 6.0 | 破壞 | |
| L 型下方 (度) | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.8 | 2.6 | 3.7 | 破壞 |
| 後向螺絲 (度) | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.4 | 1.9 | 2.3 | 2.9 | 3.9 | 6.3 |
| L 型外側 (度) | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.5 |
| 斜撐 (度) | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| 白膠+木釘 (度) | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |

(本表由作者製表)

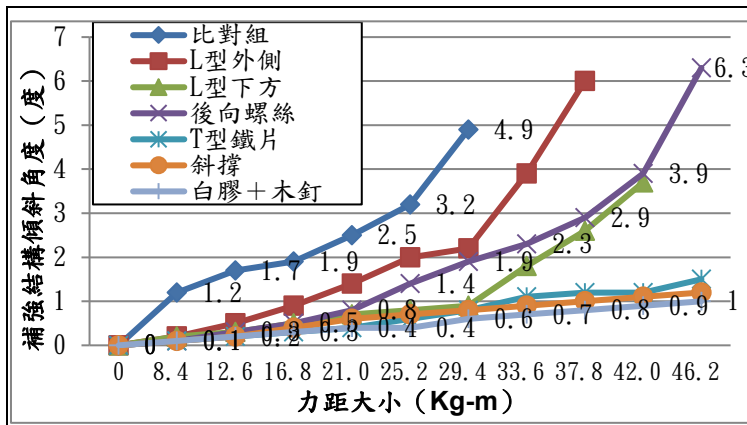


圖 6-26 力距大小與傾斜角度分析圖

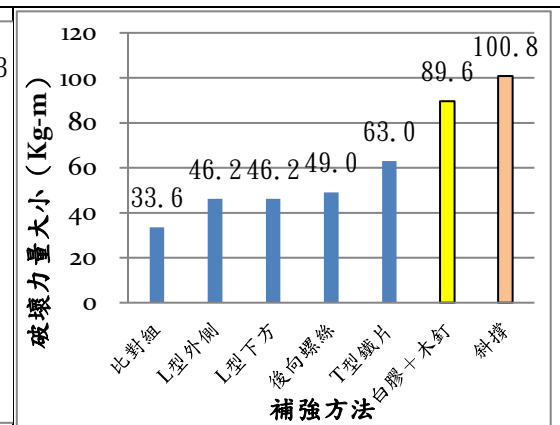


圖 6-27 補強方法與破壞力距強度

*以上圖表皆由作者及指導老師繪製

3. 實驗結果分析

- (1) 由圖 6-26、6-27 發現，傾斜角度最前名依序為：木釘加白膠、斜撐、L 型側面。
- (2) 研究發現學校常用的 L 型補強內側單面，結構強度不佳。
- (3) 木釘+白膠補強，不是結構最佳，桌子經過補強後，外觀原來的桌子無明顯差異，斜撐結構強度最佳，外觀上很不協調。

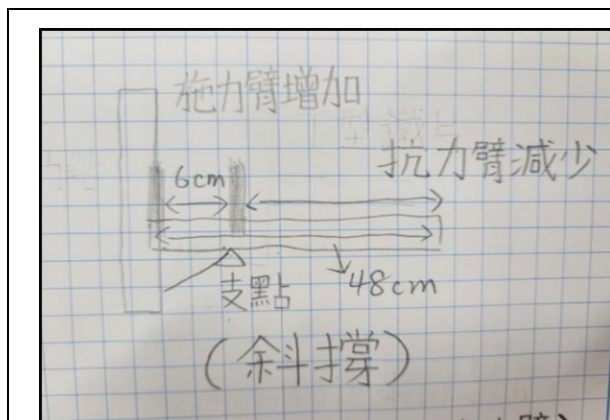


圖 6-28 斜撐工法力距圖

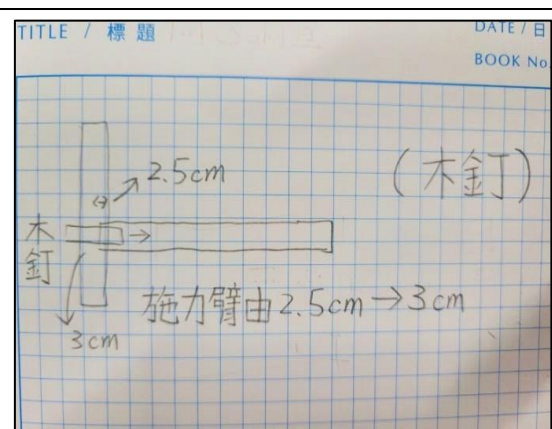


圖 6-29 木釘工法力距圖

*以上圖片皆由作者繪製

- (4) 斜撐補強施力臂由原來 2.5cm，增長 7cm (圖 6-28)，因此結構強度增加。
- (5) 木釘補強+白膠與 2 吋螺絲釘後側補強方法，將木樺長度往後延長 0.5cm，施力臂由 2.5cm 增加至 3.0cm(圖 6-29)。木樺長度增加有限，白膠固定後結構強度增強。

(二) 利用側向拉力檢測不同樺接補強位置對新式舊桌結構強度提升效果

1. 實驗結果 傾斜角度減少 (%) = (無補強-補強後) / 無補強 × 100%

表 6-4 補強位置不同

| 補強位置 | 前側柱 傾斜角 度 | 中間位 置傾斜 角度 | 後側柱 傾斜角 度 |
|------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 無補強 | 4.02 | 3.67 | 2.79 |
| 補強 後柱 6 | 2.54 | 1.71 | 1.34 |
| 補強 後櫃桿 | 2.63 | 1.82 | 1.45 |
| 補強 前櫃桿 | 2.36 | 1.85 | 1.80 |

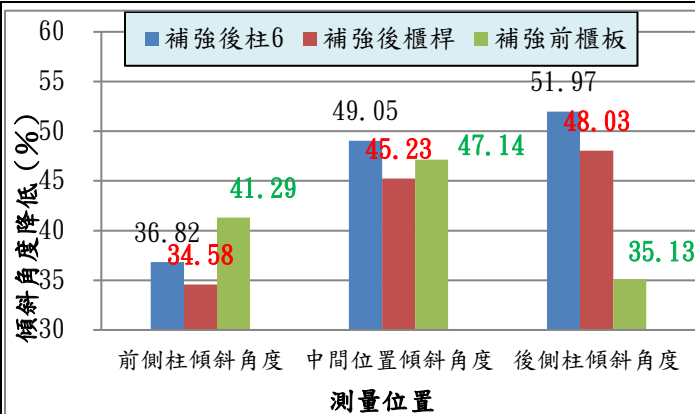


圖 6-30 不同補強位置降低傾斜角度百分比

*圖表由作者及指導老師繪製

2. 討論

- (1) 由圖 6-30 發現：補強後柱 6 補強完後，對於桌子後方補強，結構有加強的情況，因此對於後柱、中間位置的傾角減少較多。
- (2) 補強前櫃桿對於桌子前方方補強，結構有加強的情況，因此對於前柱、中間位置的傾角減少較多。

(三) 應用側向拉力檢測不同樺接補強對新式舊桌結構強度提升效果

1. 實驗結果 傾斜角度減少 (%) = (無補強-補強後) / 無補強 × 100%

表 5-1 不同補強方法側向角度

| 補強方法 | 無補 強 | T 補強 | 斜撐 補強 | 木釘 + 白 膠補 強 |
|--------------|---------|------|----------|----------------------|
| 前柱傾斜 角度 | 4.12 | 2.63 | 2.56 | 2.67 |
| 中間位置 傾斜角度 | 2.98 | 1.9 | 1.75 | 1.78 |
| 後側柱傾 斜角度 | 2.36 | 1.42 | 1.34 | 1.32 |

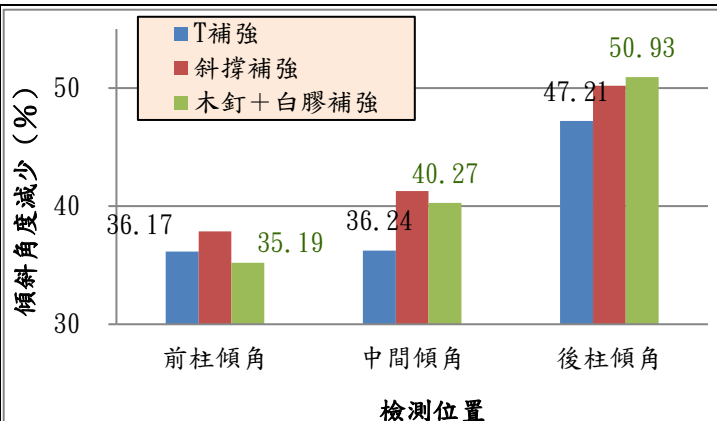


圖 6-31 不同補強方法傾斜角度減少

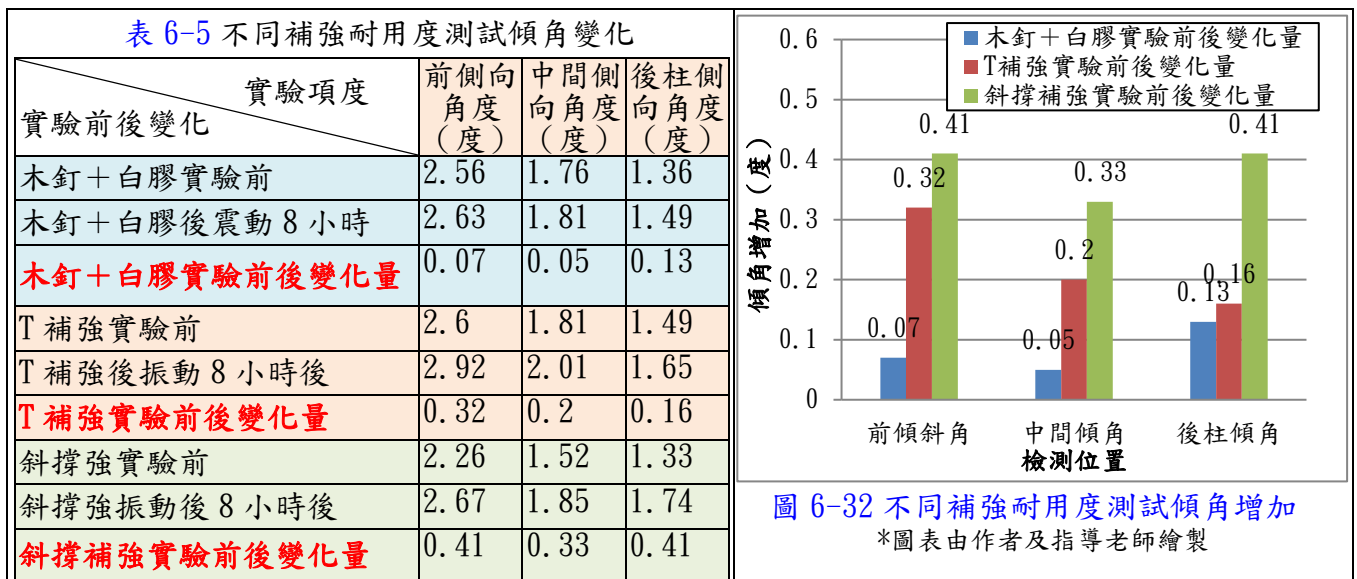
*圖表由作者及指導老師繪製

2. 討論

- (1) 由圖 6-31 發現，不同補強方法側向角度減少，木釘+白膠，在後柱傾角減少較多，木釘將樺接長度由原來的 2.5cm，增加到 3.0cm，白膠將木材緊密連結，使結構強度加。
- (2) 斜撐補強在，柱、中間位置，傾角減少較多。斜撐補強因施力臂長度增加，在相同的力下，力距增加結構強度也增加。

(四) 震動模擬器檢測不同樺接補強對新式舊桌耐用度差異

1. 實驗結果

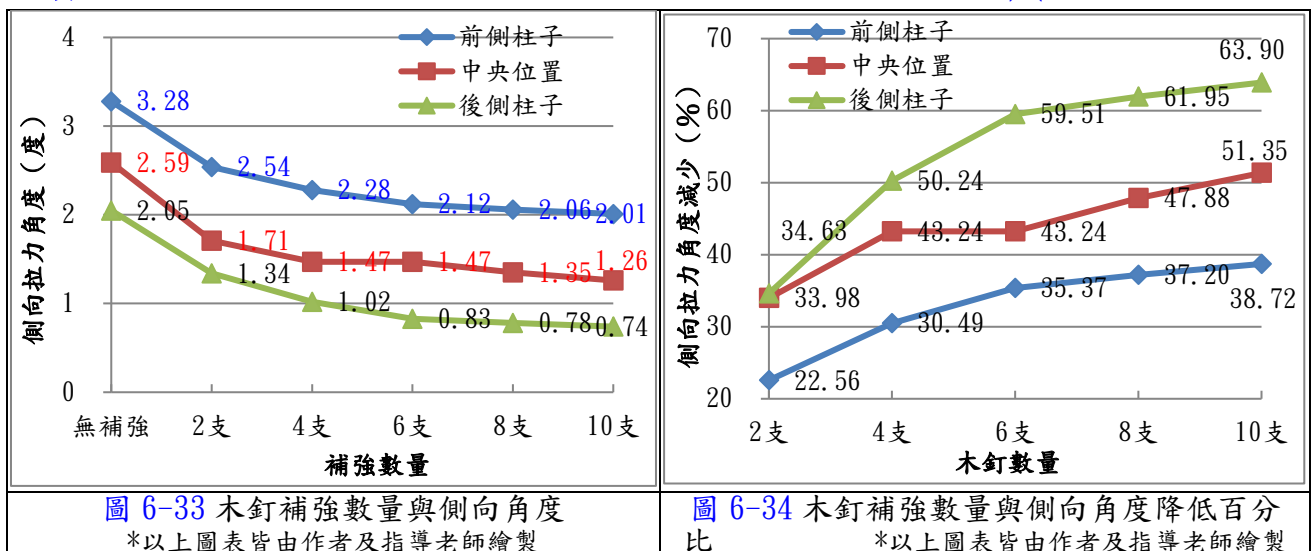


2. 討論：由圖耐用度測試，木釘+白膠搖動實驗後，側向角度的增加量最小，T 型鐵片與斜撐側向角度增加較多。由於木釘+白膠補強方式，經樺接點上膠幾乎可以回覆復原本強度，加上木釘由後方加大、加長樺接點，所以結構上比較耐震。T 型鐵片與斜撐只在已經鬆拖的樺接位置外側補強，樺接位置容易鬆拖，造成傾角變大。

(五)、研究側向拉力檢測不同數量木釘補強對新式舊桌結構強度提升效果

1. 實驗結果

$$\text{側向角度減少}(\%) = (\text{無補強}-\text{補強後}) / \text{無補強} \times 100\%$$



2. 討論

- (1) 補強（左後 6 右後 6）樺接最佳：由圖 6-33、6-34，發現，這個樺接點是承受桌子震動力量最大的位置，這個樺接位置搖動越大，桌子就搖動越大，首先要將桌子（左後 6 右後 6）樺接結構加強，補後發現側向角度、前側柱子側向角度降低 22.56%，中央位置側向角度降低 33.8%，後側柱子側向角度降低 34.63%。
- (2) 不同補強位置效果有差異：當木釘補強位置所呈現的結構強化效果會有差異，補強數量越多時降低側向角度效果越佳，但不是呈現等比率增加。

- (3) 後側柱子大於前側柱子：木釘結構補強效果以總計補強 10 支木釘，前側柱子側向角度降低 38.72%，中央位側向角度降低 51.35%，後側柱子側向角度降低 63.90%，後側柱子的補強效果優於前側柱子，其原因是木釘補強位置大部分在後側樁接點上的原因。

四、利用側向拉力探討結構補強方法、位置對新式舊桌結構強度與空間優化的提升效果

(一) 側向拉力探討不同前柱結構補強對新式舊桌結構強度提升的效果

1. 實驗結果

$$\text{傾斜角度減少 (\%)} = (\text{無補強} - \text{補強後}) / \text{無補強} \times 100\%$$

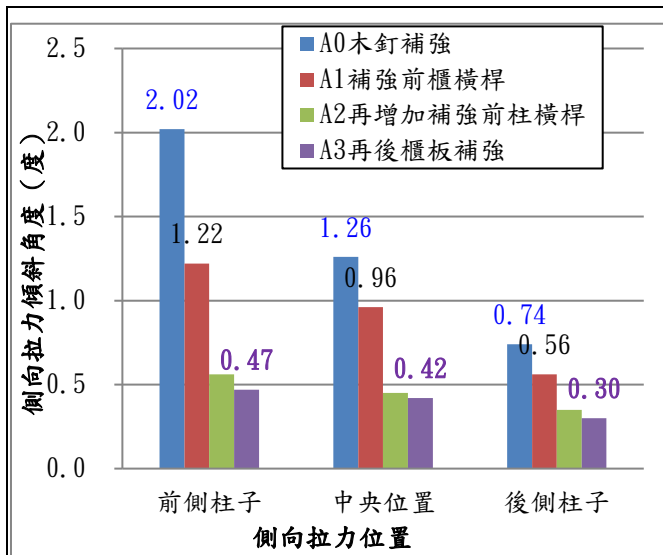


圖 6-35 增加補強方法對側向角度量變化
(上圖由作者及指導老師繪製)

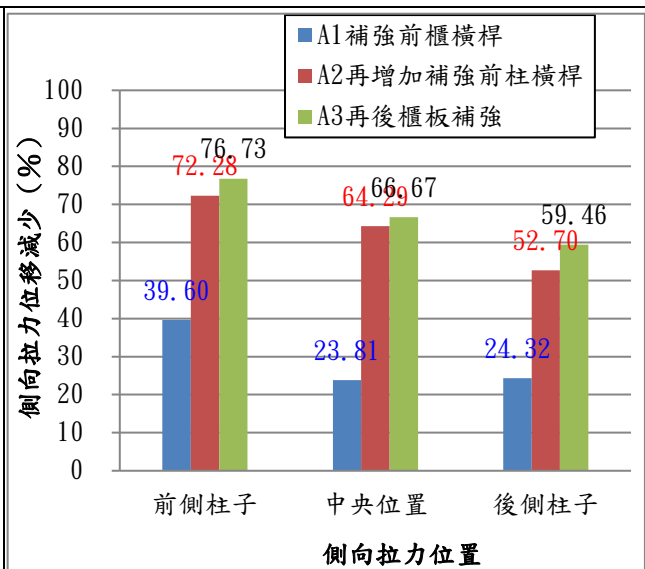


圖 6-36 增加補強方法對側向角度量減少
(上圖由作者及指導老師繪製)

2. 討論

- (1) 在前櫃柱補強效果較佳：由圖 6-35、6-36 發現，增加 A1 前櫃橫桿厚度 2cm 寬度 7cm 補強長度 48cm 橫桿可將前側柱子側向角度減少 39.60%，A2 增加（左前 4 柱右前 4）柱橫桿（厚度 3cm 寬度 4cm 長度 48cm）補強在桌前左右柱子，可將前側柱子側向角減少 72.28%，前側柱子側向角度減少 76.73%。
- (2) 不同補強方法效果有差異：A1 前櫃橫桿厚度 2cm 寬度 7cm 補強長度 48cm，補強桌櫃與 A2 增加左前 4 柱右前 4 柱橫桿（厚度 3cm 寬度 4cm 長度 48cm）補強，因為補強在桌子結構比較弱，樁接點較小的位置，提升桌子結構強度較佳，因此桌子側向角度量降低。補強越多時降低側向角度效果越佳，但不是呈現等比率增加。
- (3) 補強效果前柱子大於後側柱子：木釘結構補強效果，總計補強 3 處，前側柱子側向位移降低 76.73%，中央位置側向角度降低 67.67%，後側柱子側向角度降低 59.46%，前側柱子的補強效果優於後側柱子。
- (4) 用補強完成新式桌子與用 20 年新式桌子、去年購買新式桌子、30 年前舊桌，進行測量拉力實驗，檢測桌子結構強度的差異。

表 6-6 不同桌子的抗側向拉力強度（由作者及指導老師製表）

| 用 20 年新式舊桌子 | | | | 30 年前舊桌 | | | |
|-------------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 測量拉力方向 | 前側柱側向角度 | 中間位置側向角度 | 後側柱側向角度 | 測量拉力方向 | 前側柱側向角度 | 中間位置側向角度 | 後側柱側向角度 |
| 桌子左側 | 4.02 | 3.67 | 2.79 | 桌子左側 | 0.82 | 0.73 | 0.62 |
| 桌子右側 | 4.03 | 2.71 | 2.82 | 桌子右側 | 0.84 | 0.75 | 0.65 |
| 桌子前側 | 0.92 | 0.89 | 0.94 | 桌子前側 | 0.42 | 0.40 | 0 |
| 桌子後側 | 0.87 | 0.85 | 0.87 | 桌子後側 | 0.40 | 0.42 | 0.40 |

| 補強完成新式舊桌子 | | | | 去年購買新式桌子 | | | |
|-----------|--------|--------|--------|----------|---------|----------|---------|
| 測量拉力方向 | 前側側向角度 | 中間側向角度 | 後側側向角度 | 測量拉力方向 | 前側柱側向角度 | 中間位置側向角度 | 後側柱側向角度 |
| 桌子左側 | 0.48 | 0.42 | 0.30 | 桌子左側 | 0.62 | 0.43 | 0.30 |
| 桌子右側 | 0.50 | 0.44 | 0.33 | 桌子右側 | 0.65 | 0.40 | 0.30 |
| 桌子前側 | 0.30 | 0.30 | 0.29 | 桌子前側 | 0.30 | 0.32 | 0.29 |
| 桌子後側 | 0.32 | 0.32 | 0.33 | 桌子後側 | 0.30 | 0.32 | 0.30 |

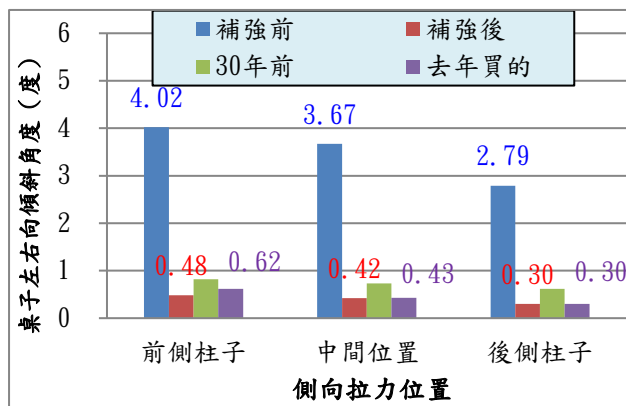


圖 6-37 不同桌子左右向側向角度比較

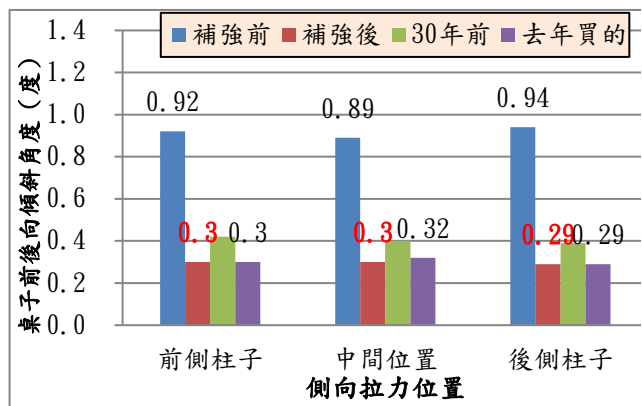


圖 6-38 不同桌子前後向側向角度比較

1. 由圖 6-37 發現，桌子結構補強後，左右向前柱的側向角度小於去年買的，中間與後柱與去年買的側向角度相近。
2. 由圖 6-38 發現桌子結構補強後，前後向前柱、中間、後柱與去年買的側向角度相近。
3. 由圖 6-39 發現桌子結構補強後，前左右向可以降低側向角度約 88.5%，前後向降低約 67.5%。新式桌子必須進行結構補強，有效的提升桌子結構強度。

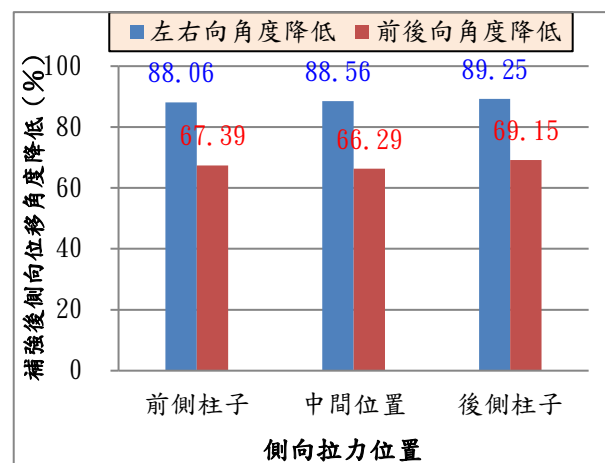


圖 6-39 補強完後桌子的傾角降低

*以上圖表皆由作者及指導老師繪製

(二) 探討新式舊桌置物空間優化設計的可行性

1. 實驗結果



2. 討論

- (1) 眼睛至桌面應有適當的視距、桌面應有適當的高度維持原來設計，桌底下大腿活動空間會下降 1cm，經實際請學生測試，大腿活動空間幾乎沒有差異。
- (2) 空間增加
 - ① 桌櫃部分由深度 29cm 增加到 35cm，體積由 15312cm^3 增加到 18480cm^3 。
 - ② 左右側櫃增加，長 30.5cm、深 20cm、寬度 5.0cm 置物櫃 2 個，放置學用品，增加 6405cm^3 。
 - ③ 後櫃增加，長 45cm、深高 25cm、寬度 7cm，放置防災帽或其他物品增加 7875cm^3 。
 - ④ 經過擴大置物空間設計後，置物空間的體積由 15312cm^3 增加到 32760cm^3 ，為原來置物空間的倍 2.14 倍。
 - ⑤ 左右側櫃使用抽去式，不要時把櫃子抽出，可以放置在學校的置物櫃中。

(三) 應用側向拉力檢測新式舊桌補強後桌子結構強度提升的效果

1. 新式舊桌沒有補強，會因為配重增加導致搖動位移有增加的現象。顯示新式舊桌在結構強度較低，當配重增加時，搖動的位移量增加。新式新桌子與補強後的新式桌子，樁接沒有鬆拖，當配重越重時，搖動位移只略微上升。
2. 新式舊桌子進行結構補強後，在前柱左右向受力的傾角小於新式新桌子，進行模擬上課時搖動情況，發現補強後的新式舊桌，比新的桌子搖動位移小，顯示舊桌結構補強後，比新式新桌子結構強度更佳。

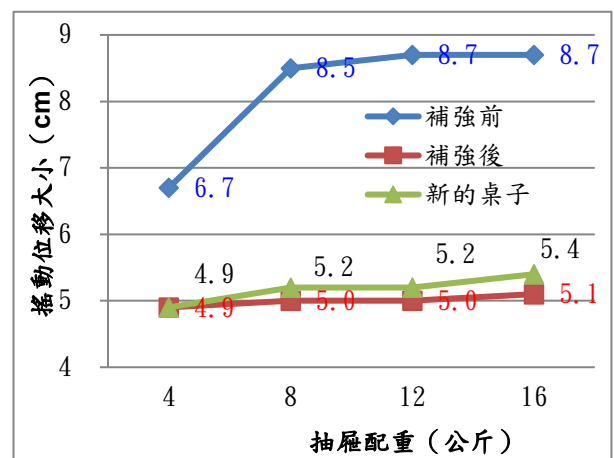
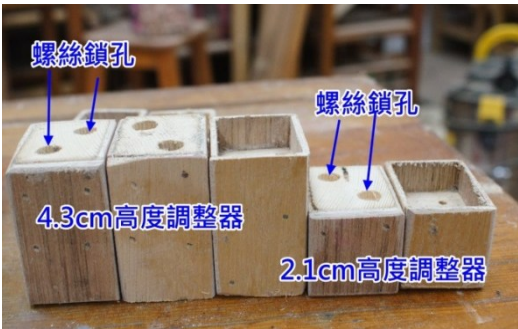



圖 6-42 不同配重大小桌子的搖動位移

圖表由作者及指導老師繪製

(四) 設計快速安裝高度調整器降低桌子製作成本提升使用率

1 實驗結果

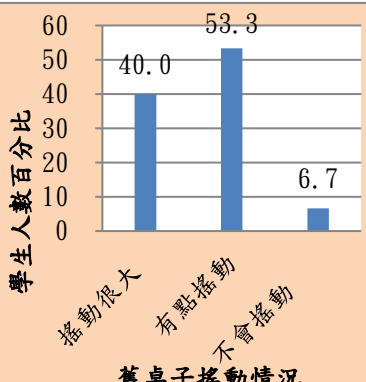
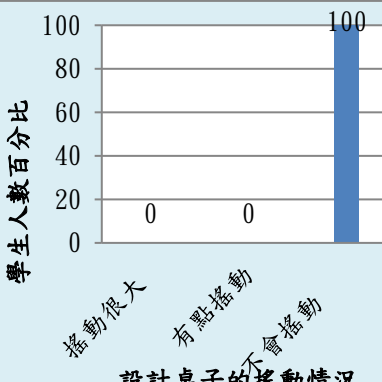
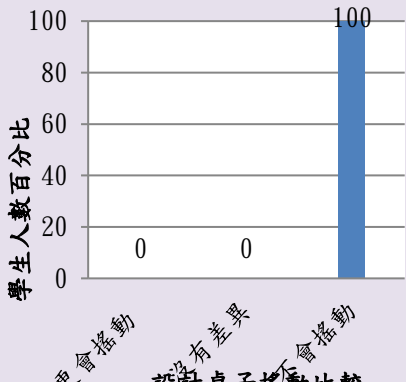
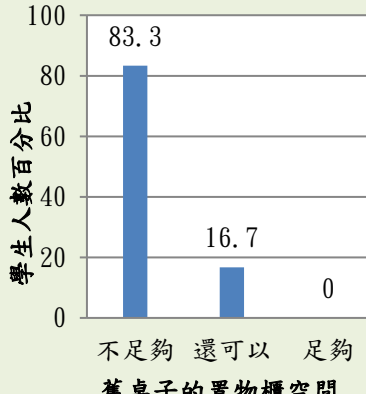
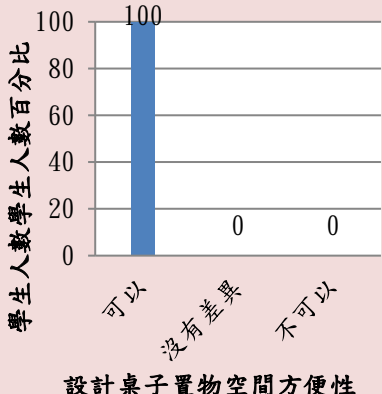
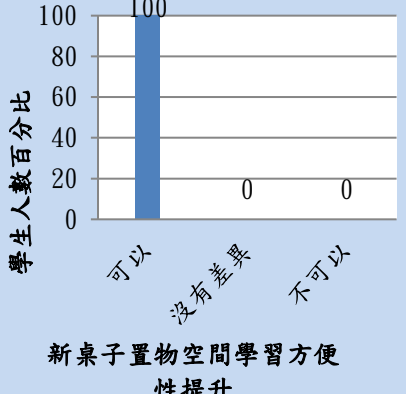
| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>圖 6-43 高度調整器 (上圖由作者拍攝、後製)</p> | <p>圖 6-44 高度調整器裝設在桌腳 (上圖由作者拍攝、後製)</p> |

我們設計的快速安裝調整器只要在桌腳套上即可使用，不需要時可將快速安裝調整器取下，適合現在學生桌椅各種型號，可以降低桌椅的備用量減少庫存空間，增加桌椅的使用率，與學生使用的即時性。

五、推廣活動舊桌再利用降低木材資源使用

(一) 新式舊桌結構補強與空間優化後進行實際測試

1 實驗結果

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <p>圖 6-45 舊桌子的搖動情況</p> | <p>圖 6-46 設計桌子的搖動情況</p> | <p>圖 6-47 設計桌與舊桌比較</p> |
|  |  |  |
| <p>圖 6-48 舊桌子的置物櫃空間</p> | <p>圖 6-49 設計桌子置物空間</p> | <p>圖 6-50 設計桌子置物空間學習方便性提升</p> |

*以上圖表皆由作者及指導老師繪製

2. 學生使用心得

- (1) 學生 1：現在這張桌子我大概使用了 3 個月左右。我發現桌子的搖晃程度很小，這就代表這張桌子的結構强度高，而且用過這張桌子後，我覺得對我影響最大的地方是增加桌子置物空間這部分。因為可以不用一直跑回教室後方的櫃子拿東西，這樣能節省很多時間。我現在用的桌子是 150cm 型號的，對我來說有點矮，所以我就加了 4.3cm 的自製增高器，加完增高器後桌子馬上就變成我要的型號。整體來說，我還是會喜歡補強後的這張桌子。對我而言會比較方便。雖然補強前後各有優缺點，但是我對補強後的這張桌子的滿意度還是很高。
- (2) 學生 2：經過桌子結構補強與空間優化設計後，桌子本身幾乎不會產生搖晃，提升上課專注度跟影響寫作業的效率，並改善寫作業時擦橡皮擦、寫字等引起搖晃不悅感，真是太好了！補強後的桌子卻不會很重，只多了 1~2 公斤。空間也變大很多，可以放進許多物品，例如：美勞用品、直笛、隔板、防災帽以及書本等等，各種平常放在櫃子的用具，我用了 3 個月，櫃子不再像以前塞很多物品，讓使用上方便很多，不必再去櫃子拿用品了。另外，補強後，腳放的空間反而沒有比以前小，抽屜卻能放和補強前多一倍以上的書本，坐起來也比原本感覺更舒適。

(二) 舊桌再利用的環境價值

2. 依據學校教師與學生需要設計與製作各種教學用品

| | | | |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| 圖 6-51 用牙杯架 | 圖 6-52 電腦螢幕架 | 圖 6-53 學生座椅 | 圖 6-55 推車 |

*以上圖片皆由作者拍攝

據 2014 王松永實驗結果：木工家具類原料生產 27.3、運輸 39.6、製材 246.2、人工乾燥 131、流通 11.0，總計為 455.3 公斤 CO₂。產品排碳量為 825.8 公斤 CO₂，兩項合使用 1000 公斤木材要產生 1281.1 公斤 CO₂。以 145 型桌椅計算，製作一張桌子需要 16.93 公斤木材 /1000×1281.1=21.69 公斤，製作一張桌子的碳足跡為 21.69 公斤，比桌子的重量還重。如果上樹木對於 CO₂ 的吸收效果，製作一張桌子所產生的 CO₂ 的量更高。依我們學校大約有 1200 張桌子如果全部更新，會產生 26036.71 公斤 CO₂。全國中小學生人數約 230 萬，大約需要 300 萬桌椅，以 160 型桌椅計算會產生 49903.68 公噸的 CO₂。

柒、結論

一、了解桌子的搖動情況與對學生學習影響。

- (一) 桌子有 76% 桌椅搖動情況嚴重：學生在小學階段長的很快，學生桌椅常常來不及更換，需要簡易調整高度方法解決桌子高度的問題。50.7% 的學生不滿意現在的桌椅，有 76% 桌椅搖動情況嚴重，對於桌子感到不安心 58.9%，桌櫃置物空間嚴重不足，置物空間太小、桌面不良是最需要改善部分。
- (二) 80% 桌子都要補強：使用 10 年以上桌子經側向拉力實驗後，前側柱子側向角度大於

2.5 都需要修繕，大約佔比 80%需要補強。

(三) 桌子接點樁接大小與樣式與桌子左右搖原因

1. 桌子左右向樁接太小造成左右搖動：30 年前的桌子比現在的桌子樁接大 1.88 倍，樁接越大結構強度越大，所以不易搖動。
2. 左右向桌子支撐不足：左右向樁接體積太小、結構較差，因此桌子左右向容易搖動。
3. 前櫃桿設計嚴重的瑕疵：原本前櫃柱要與前柱接樁，往後移到櫃柱前後桿，造成力量支撐不足。

二、樁接補強方式、位置、數量對新式舊桌結構強度提升效果

- (一) 加長施力臂與白膠回復樁接強度：木釘+白膠的補強方法，白膠將鬆拖的樁接點回復的結構強度，再利用木釘由後方補強，加大樁體積，加長樁接長度。
- (二) 結構補強位置抗剪力效果：依序為後柱 6 補強、後櫃桿、前櫃桿，這 3 個位置受力最大，要優先補強。
- (三) 木釘+白膠對樁接補強抗剪力最佳：木釘+白膠在後柱側向角度減少較多，木釘將樁接長度由原來 2.5cm 增加到 3.0cm，白膠將木材緊密連結，使樁接結構強度增加。
- (四) 樁接結構補強，木釘+白膠對樁接補強抗最耐震：由於木釘+白膠補強方式，經樁接點上膠幾乎可以回覆原本強度，加上木釘由後方加大、加長樁接點，所以結構上比較耐震。
- (五) 木釘數量越多補強效果越佳：補強順序後柱 6 補強、後櫃桿、前櫃桿。其他樁接位置提升效果有限。

三、研究結構補強方法、位置對新式舊桌結構強度與空間優化的提升效果。

- (一) 前柱補強結構補強提升桌子結構強度最佳：將原有桌子設計瑕疵部分，進行結構補強桌子結構補強後，左右方向可以降低傾角 88.5%，前後向降低 67.5%。
- (二) 置物空間倍 2.14 倍：左右側櫃使用抽去式，不要用時把櫃子抽出，可以放置在學校的置物櫃。
- (三) 結構補強舊桌優於新桌：桌子進行結構補強後，結構強度增加，前柱左右向受力的傾角小於新的桌子進行模擬上課時搖動情況，補強後的舊桌，比新的桌子搖動位移小，顯示舊桌結構補強後，比新桌子結構強度更佳。
- (四) 快速安裝高度調整器降低桌子製作成本提升使用率：將 12 型桌子，利用高度調整器，簡化到 4 型。

四、推廣活動舊桌再利用降低木材資源使用

舊桌子的問卷調查，發現舊桌子明顯會搖動，且置物空間明顯不足的現象，重新補強設計後的桌子，不會搖動，對於置物空間，可以提供更大放置學用品，使學習效果與方便性更佳，結構補強後，可以在使用 20 年。製作一張桌子的碳足跡為 21.69 公斤，比桌子的重量還重。如果加上樹木對於 CO₂ 的吸收效果，製作一張桌子所產生的 CO₂ 的量更高。

五、建議

- (一) 現在學生使用的新式課桌椅，為了加強桌子下方腿部空間，將前櫃柱後縮 5-12cm，形成結構樁接位置的弱點，結構強度嚴重不足，樁接點長度、寬度、深度嚴重不

足，加上現在的桌椅都是東南亞國家施工，榫接的技術不佳，經過數年的榫接鬆拖，桌子就會左右搖動，即使進行補強效果不佳。

(二) 我們期待的桌子建議如下

1. 把前櫃柱與前柱榫接：增加前柱的結構強度、耐用度較佳（圖 7-1 位置 1）。
2. 前後櫃柱榫接要大：至少長度 3cm、寬度 1.2cm、深度 3.0cm。
3. 增加學用品放置空間：要設計活動式左右側櫃，與固定式後櫃（圖 7-1 位置 2）。
4. 增加腿部活動寬間：桌子的櫃子可以減少 2cm 高度，由現在的 11cm 降低到 9cm（圖 7-1 位置 3）。
5. 桌面使用美耐板：耐刮、耐酸鹼（圖 7-1 位置 4）。
6. 簡易調整高度調整器（圖 7-1 位置 5）

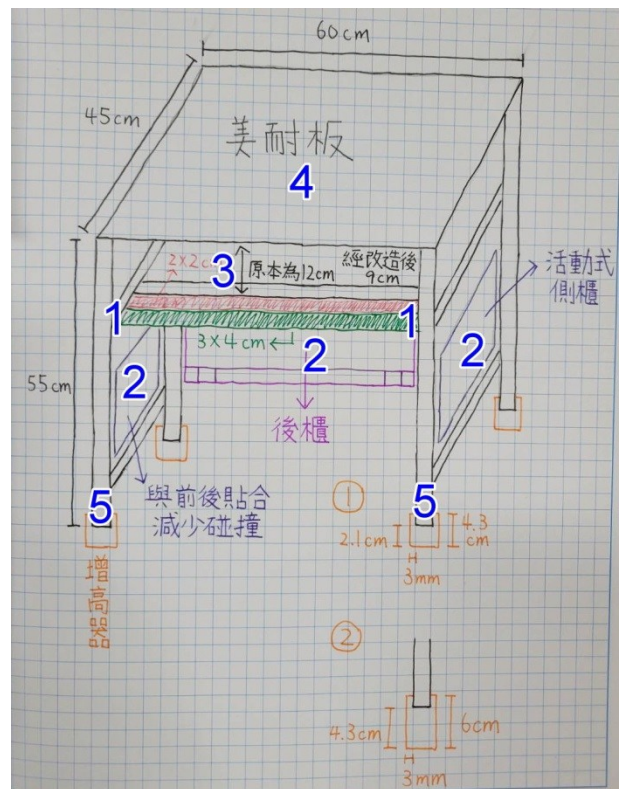


圖 7-1 我們期待的桌子(圖片由作者繪製)

捌、參考文獻

- 一、木材硬度表及常見木材特徵表。取自 <https://read01.com/zh-tw/M2Bmm4B.html>。
- 二、木材硬度表。<https://woodmall.com.tw/>
- 三、木材膠合時如何利用膠合結構的破壞形式來調整膠合操作條件，(國家林產技術平台)。取自 <https://www.cwcb-wqac.org.tw/>
- 四、太棒膠 II 與太棒膠 III 差異 (木百貨)。取自 <https://woodmall.com.tw/shop/>。
- 十一、邱從甲 (2007)。小學生課桌椅設計之研究。中原大學，碩士學位論文。
- 九、李佳韋 (2007)。中國傳統建築直榫木接頭力學行為研究。碩士學術論文，國立臺灣大學。
- 十、黃傳益 (2024)。國民小學課桌椅創意再設計。國立屏東科技大學，碩士學位論文。
- 五、陳立中 (2016)。膠合劑應用在木材膠合剪力之探討。碩士樹德科技大學。
- 六、強力接著劑 NP-3761、NP3760、300。取自 <https://www.nanpao.com.tw/>。
- 八、楊淑惠 (1989)。木釘、方榫、橢圓榫接合之強度性質。碩士學術論文，國立臺灣大學。
- 七、剪力 (Shear Force)。中文百科。取自 <https://www.jendow.com.tw/>。

【評語】 082813

此作品研究優化學校教室課桌椅的結構，包含課桌補強方式、擴充置物櫃、可調整高度的書桌、回收，強調動手加工與實用性探討，主題生活化，兼具環保與實用價值，具科學精神。作品結合物理力學，從學生需求出發，分析桌椅結構缺陷並提出可行改善方案，直得肯定。建議更全面考量桌子設計的安全性、方便性，可更提升實用價值。

作品海報

舊桌第二春

力學探討學生舊桌結構補強與置物空間優化設計



摘要

利用自然課程力學原理，進行廢棄舊桌進行結構補強，增加桌子放置物品空間，自製剪力實驗台檢測桌子補強後結構強度，自製振動模擬器檢測桌子搖動程度，實驗結果如下：（一）現在使用新式桌子有結構上的問題：樁接太小、前櫃板未與前柱樁接，形成前側結構強度弱點，因此桌子容易搖動，大約80%要補強。（二）將新式桌子設計瑕疵部分進行結構補後，左右方向傾角降低88.5%，前後向降低67.5%。補強後新式桌子桌比新式新桌搖動位移小，桌子結構補強後強度更高。三）置物空間增加2.14倍，快速安裝高度調整器降低，將12型桌子簡化到4型。（四）製作一副桌椅碳足跡為21.69公斤CO2。延長使用年限，降低木材使用量，對於氣候變遷與環境有正面價值。

壹、研究動機

現在課桌椅大部分使用20年就丟棄，實在可惜，希望經過結構補強與置物空間優化設計，讓課桌椅再使用20年，這樣可以降低樹木的砍伐，對於地球的環境有正面的影響。我們討論學校丟棄的桌椅是否還可以改造成為學校教學物品或教具，資源回收再利用，降低垃圾量，降低木材使用量。

貳、研究目的

- 一、利用問卷調查，了解新式舊桌搖動情況與對學生學習影響
- 二、應用力學原理探討新式舊桌搖動大小與搖動原因
- 三、研究側向拉力檢測樁接補強方式、位置、數量對新式舊桌結構強度提升效果
- 四、利用側向拉力探討結構補強方法、位置對新式舊桌結構強度與空間優化的提升效果
- 五、推廣活動舊桌再利用降低木材資源使用

參、研究設備、器材

（一）第二代自製振動器研究設備

操作說明：

- 1.將桌腳放置在凸起的螺絲釘上方用力下壓，將桌子固定（圖2）。桌腳配重4公斤、桌面配重4公斤。
- 2.放置監測手機在上方，打開手機振動APP，開始搖晃3分鐘後，紀錄最大加速度與平均加速度。

（二）側向拉力研究設備



圖3-1 自製振動研究設備



圖3-2 螺絲釘凸出約0.5cm



圖3-3 手機振動APP



圖3-4 桌面下方前後柱位置裝上T型補強



圖3-5 型鐵片前端綁上牽引繩



圖3-6 利用角度計測量角度線



圖3-7 在前柱牽引線下方吊重7公斤鐵塊2個

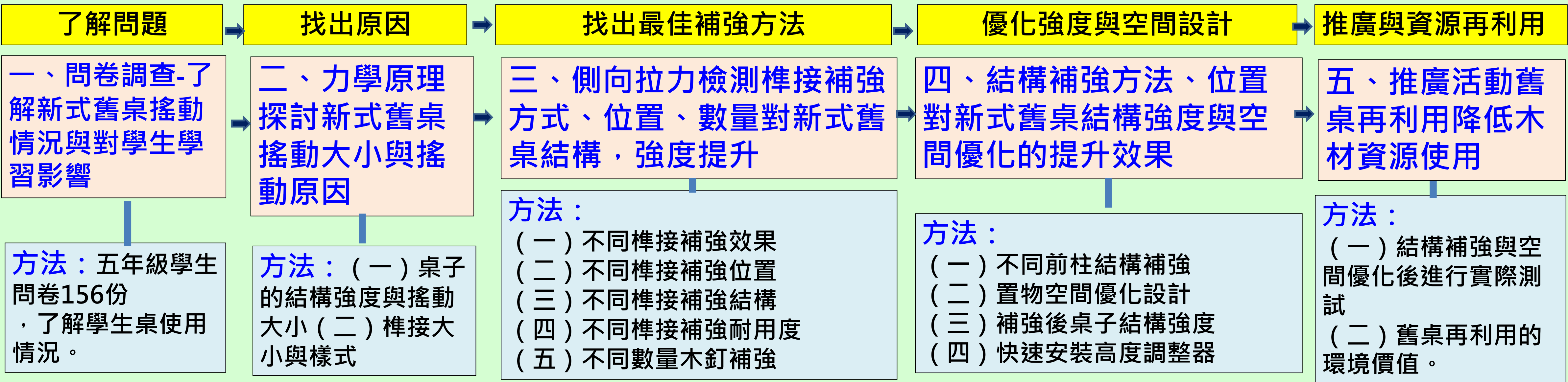


圖3-8 在前後柱位置下方各吊重7公斤鐵塊1個



圖3-9 在後柱位置下方各吊重7公斤鐵塊2個

肆、研究架構與內容



伍、研究方法與結果

一、瞭解學生對於現在課桌椅的使用情形

（一）研究結果

- 1.桌椅使用滿意度：有50.7%對於桌椅不滿意。
- 2.櫃子中都放滿情況：55.5%放滿，置物空間不足。
- 3.桌椅有搖晃：有76%桌椅搖晃情況嚴重。
- 4.搖晃桌椅的感覺：學生不安心58.9%，學生心理有響
- 5.解決桌椅搖晃問題：52.1%學生繼續使用搖晃的桌子。

- 6.學校修繕桌椅：學校桌椅修繕好的23.2%，修繕率不高
- 7.教室置物櫃拿東西：70.6%學生偶爾或經常到置學用品櫃。
- 8.空間足夠放學習用品：63.3%桌櫃置物空間不足，
- 9.桌櫃變大幫助：82.7%置物空間變大有利上課學習

二、應用力學原理討新式舊桌搖動大小與搖動原因

（一）檢測桌子的結構強度與搖動的大小

（一）研究結果

- 1.由圖5-1側向拉力研究發現前側柱子側向角度大於2.0度都需要修繕。
- 2.桌子的前側柱子側向角度最大，後側柱子側向角度量大約是前2倍，顯示前側桌柱結構較差。
- 3.桌椅經10~20年長期使用後，樁接點容易鬆脫，加上在製作時樁接點沒有做好。

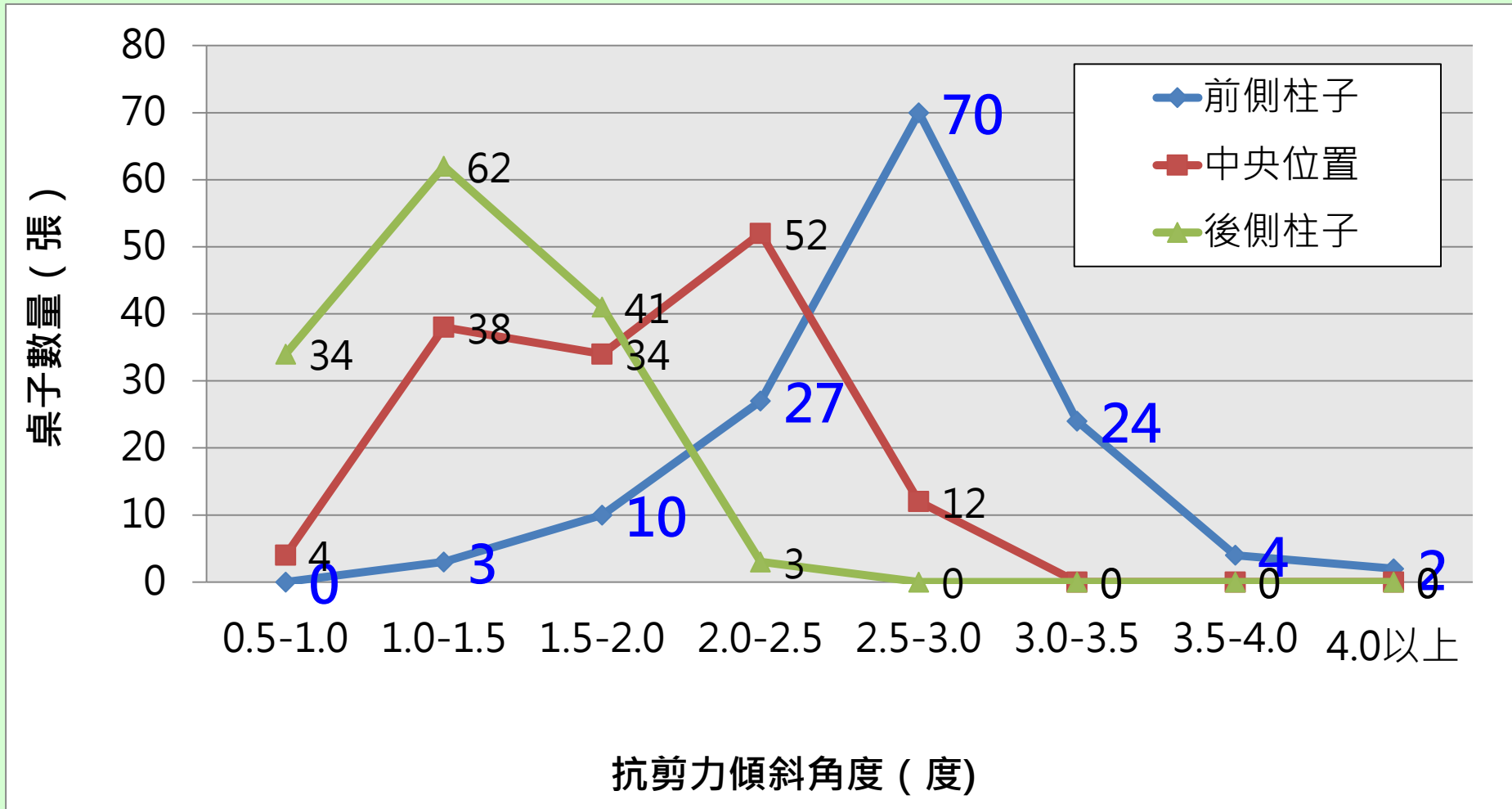


圖5-1 桌子受側向拉力傾角

（二）分析新式舊桌接點樁接大小與樣式與新式舊桌結構強度關聯性



圖5-2 前後向8個接樁接樁粗大，接樁大，長度31cm。長4.0cm、寬1.0cm、深2.5cm。



圖5-3 左右向6個接樁接樁細小，接樁小且橫向，長2.5cm、寬0.9cm、深2.5cm



圖5-4 桌板4個接樁長4.0cm、寬1.0cm、深度為3.0m



圖5-5 30年舊桌前後向樁接長4.0cm、寬1.3cm、深度為2.0cm與3.5cm。



圖5-6 30年舊桌前後向樁接長4.0cm、寬1.3cm、深度為3.5cm



圖5-7 30年舊桌桌面樁接長4.0cm、寬1.3cm、深度為3.0cm

（一）研究結果

- 1.木樁太小：桌子支撐左右向共6個樁接，總體積為35.12cm³；前後向共8個樁接，總體積為70.24cm³。因為左右向樁接體積太小結構較差，所以桌子左右向容易搖晃。
- 2.抗力臂較長：因為連接木桿前後向為31cm，左右向為48cm，當木桿越長時抗力距越大，施同樣力量時力抗力距越大時，抗剪力的效果越差，加上樁接點較小,所有左右向容易搖晃。

三、研究側向拉力檢測樁接補強方式、位置、數量對新式舊桌結構強度提升效果

(一) 不同樁接補強對結構強度差異

1.研究結果

- (1) 由圖5-8、5-9發現，傾斜角度最前3名依序為：斜撐、木釘加白膠、T型側面。
- (2) 木釘 + 白膠補強不是結構最佳，桌子經補強後，外觀與原來的桌子無明顯差異，斜撐結構強度最佳，外觀不協調。

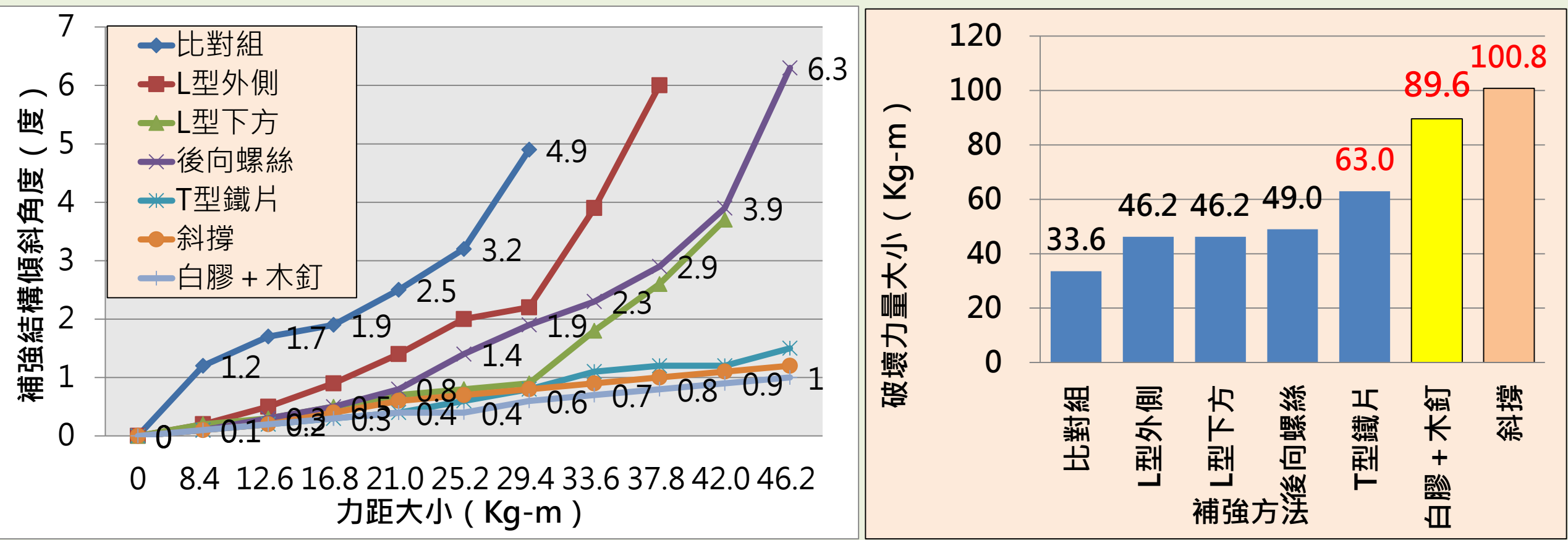


圖5-8力距大小與傾角分析

圖5-9補強方法與破壞力距強度

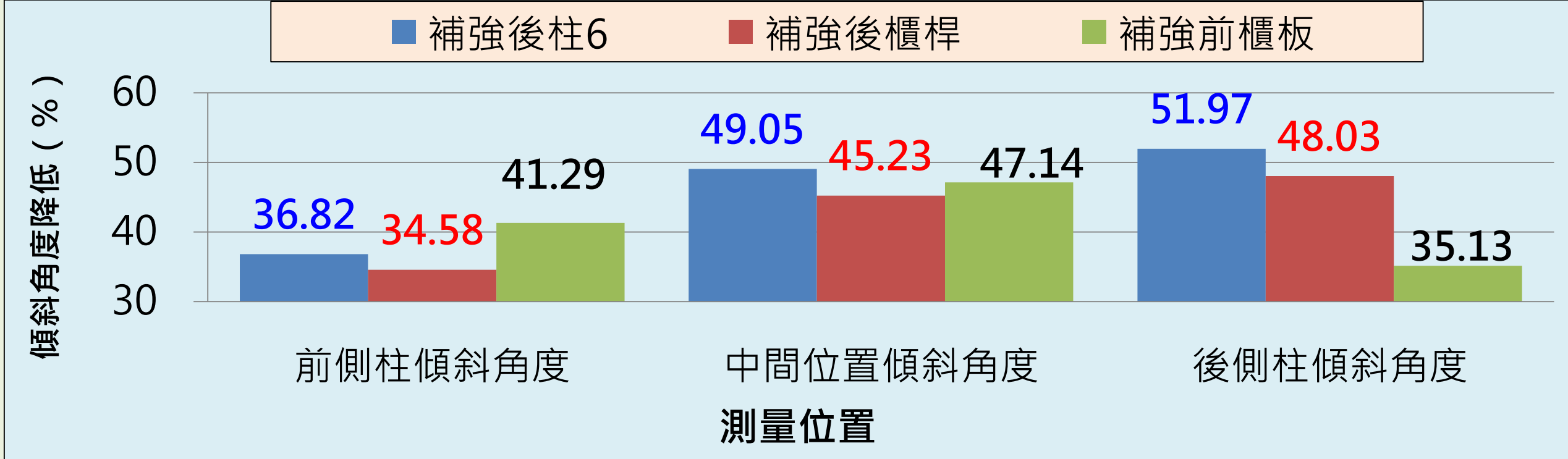


圖5-10不同補強位置降低傾角度百分比

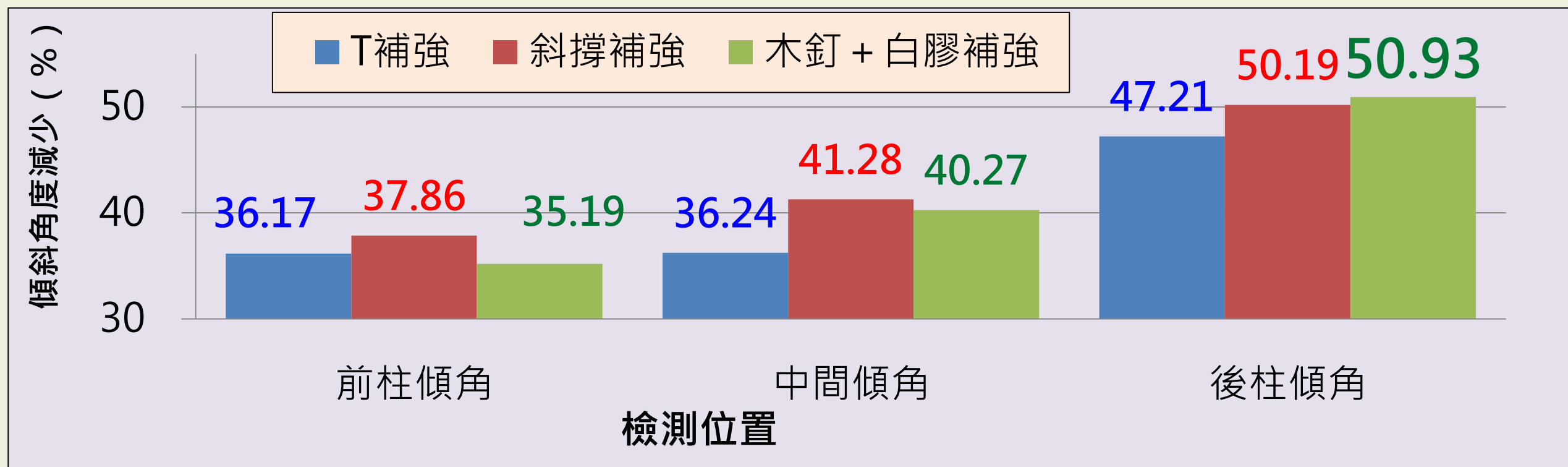


圖5-11不同補強方法傾角度減少百分比

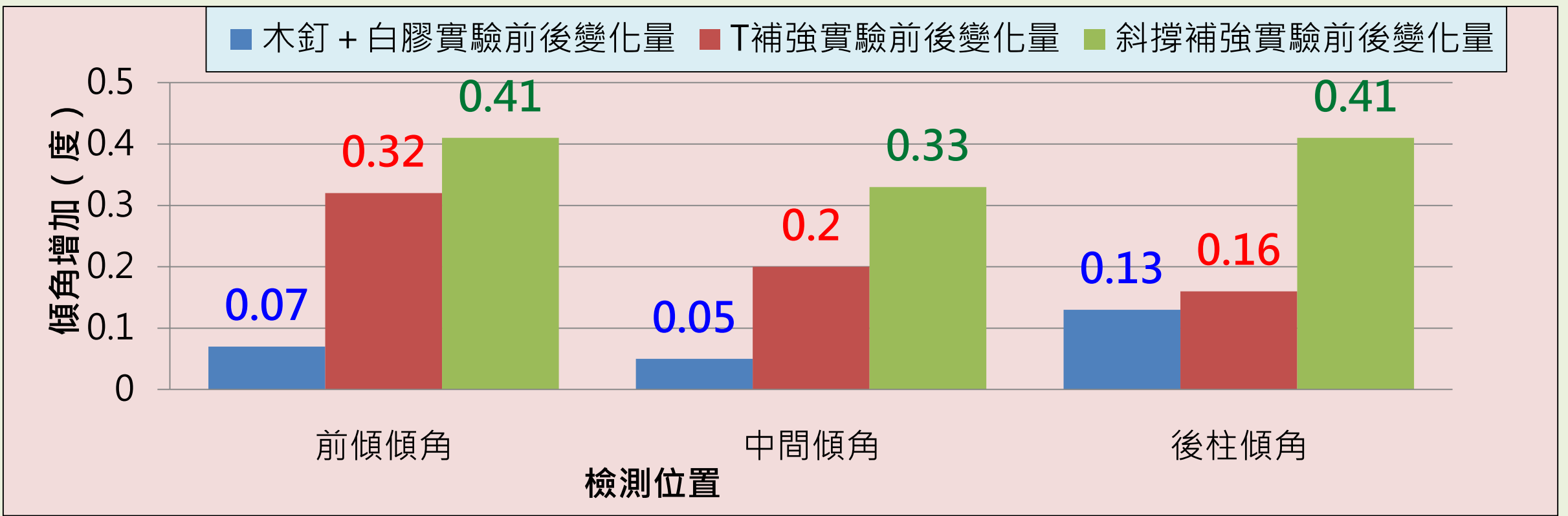


圖5-12不同補強耐用度測試傾角增加

(三) 不同樁接補強對新式舊桌結構強度

1.研究結果

- (1) 由圖5-11，木釘 + 白膠在後柱傾角減少50.93%，木釘將樁接長度由原來的2.5cm，增加到3.0cm，白膠將木材緊密連結使結構強度加。
- (2) 斜撐補強因施力臂長度增加，結構強度增加，在前柱、中間位置傾角減少較多。

(四) 不同樁接補強對新式舊桌耐用度

1.研究結果

- (1) 圖5-13，木釘 + 白膠搖動實驗後，側向角度的增加量最小，T型鐵片與斜撐側向角度增加較多。由於木釘 + 白膠補強方式，上膠幾乎可以回覆復原本強度，加上木釘由後方加大、加長樁接點，所以結構上比較耐震。
- (2) T型鐵片與斜撐只在已經鬆拖的樁接位置外側補強，樁接位置容易鬆拖，造成傾角變大。

(五) 不同數量木釘補強對舊桌結構強度

1.研究結果

- (1) 由圖5-14，補強10支木釘，前側柱子側向傾角降低38.72%，中央位側向角度降低51.35%，後側柱子側向傾角降低63.90%。
- (2) 由圖5-15，木釘補強完後發現，桌子的受側向拉力時，傾斜角度未能達到新桌的標準前柱0.66度、中間0.44度、後柱0.32度標準。必須進行結構性補強，才能達到原有的結構強度。

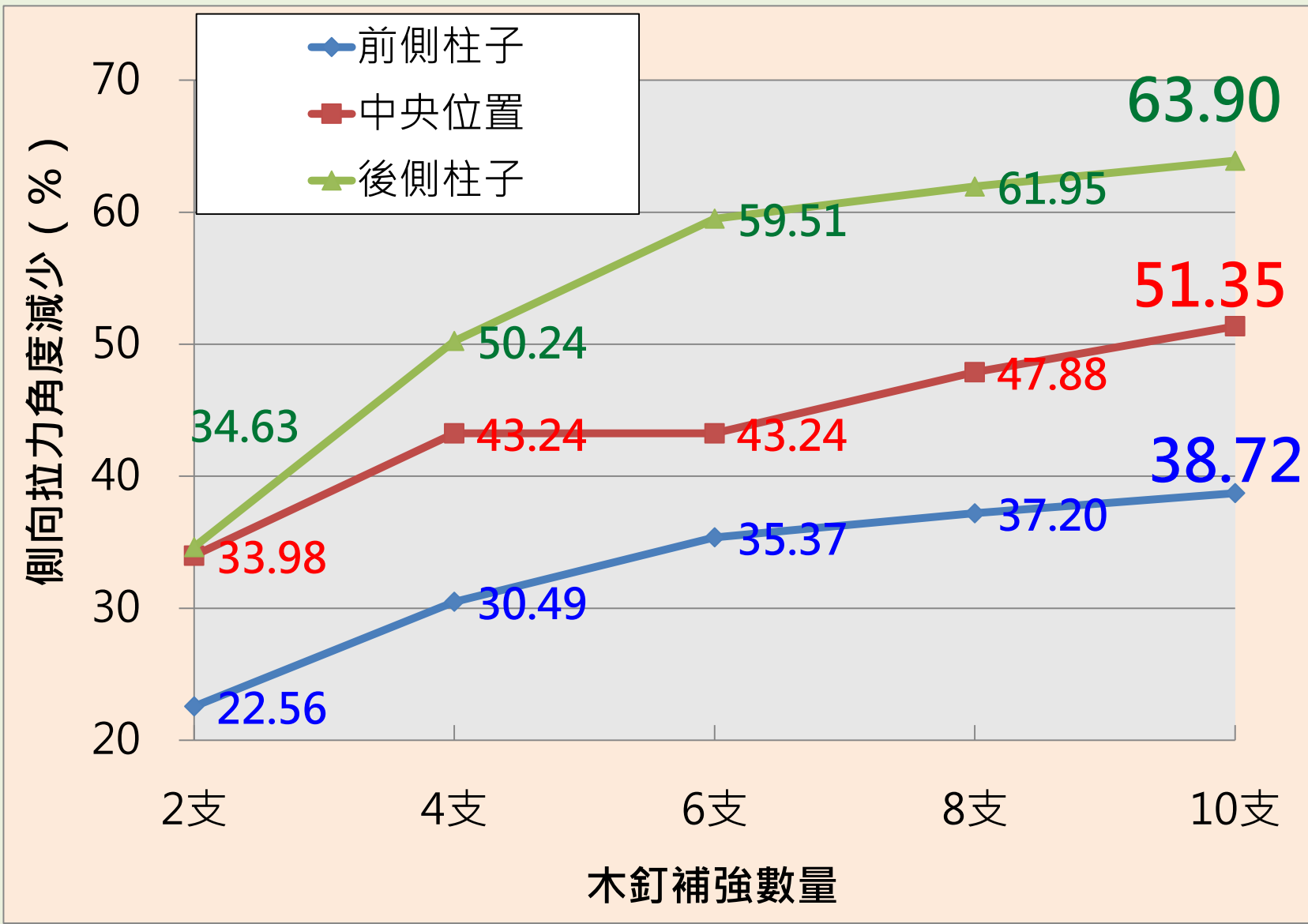


圖5-14木釘補強數量與傾角降低百分比

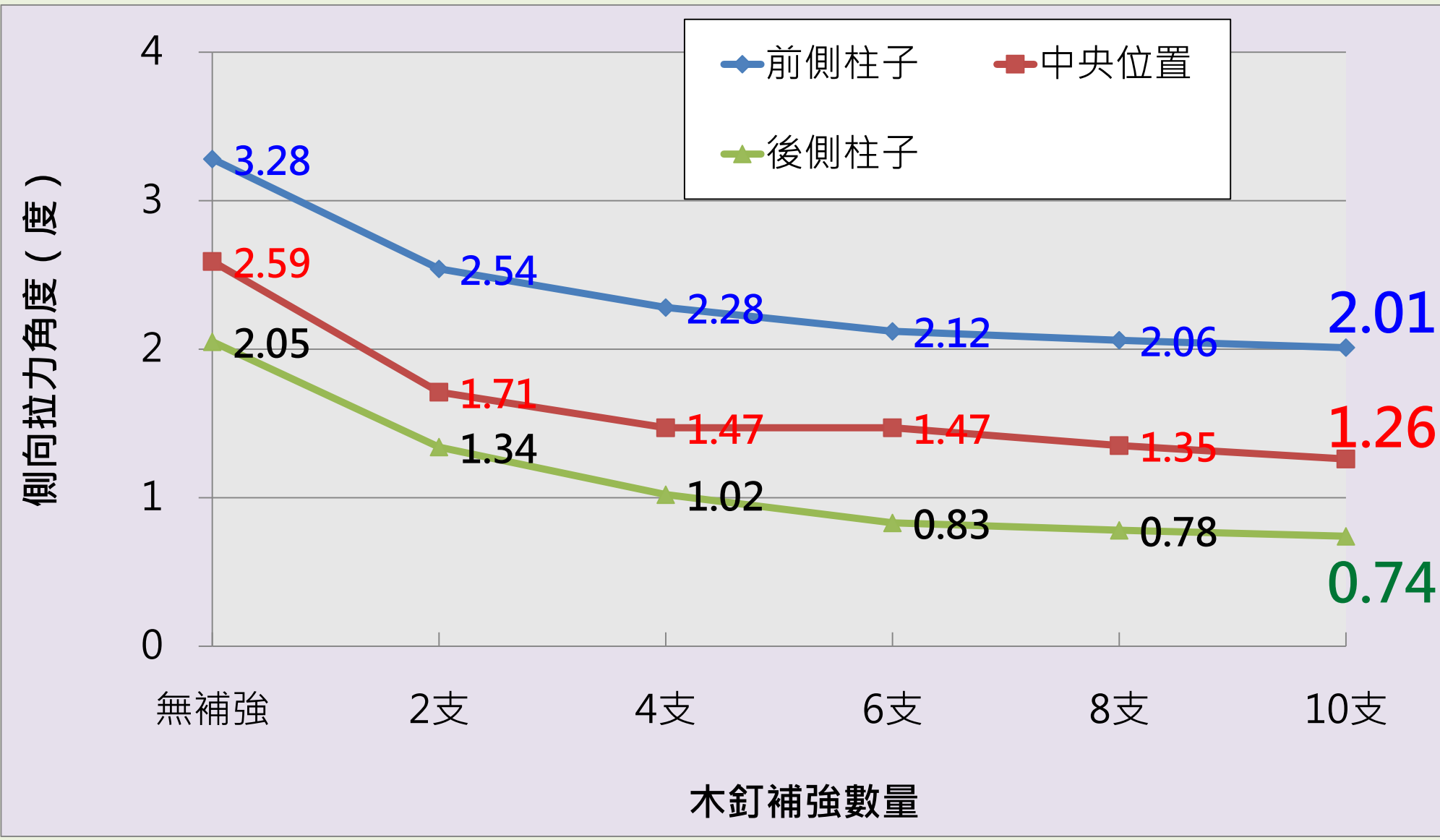


圖5-15木釘補強數量與側向傾度

四、利用側向拉力探討結構補強方法、位置對新式舊桌結構強度與空間優化的提升效果

(一) 不同前柱結構補強對新式舊桌結構強度提升



圖5-16原來櫃子底板內縮12cm



圖5-17 A1補強法前櫃橫桿厚度2cm寬度7cm補強到柱子位置



圖5-18 A2補強法增加左前4柱右前4柱橫桿



圖5-19 A2補強法打入3支直經1.0cm長度8.0cm木釘



圖5-20 A3補強法增加瞬間膠與白膠補強後櫃板



圖5-21 A3補強法增加桌面銜接燕尾樁位補強

1.研究結果：補強3處

- (1) 前側柱子側向位移降低76.73%。
- (2) 中央位置側向角度降低67.67%。
- (3) 後側柱子側向傾角降低59.46%，前側柱子的補強效果優於後側柱子。

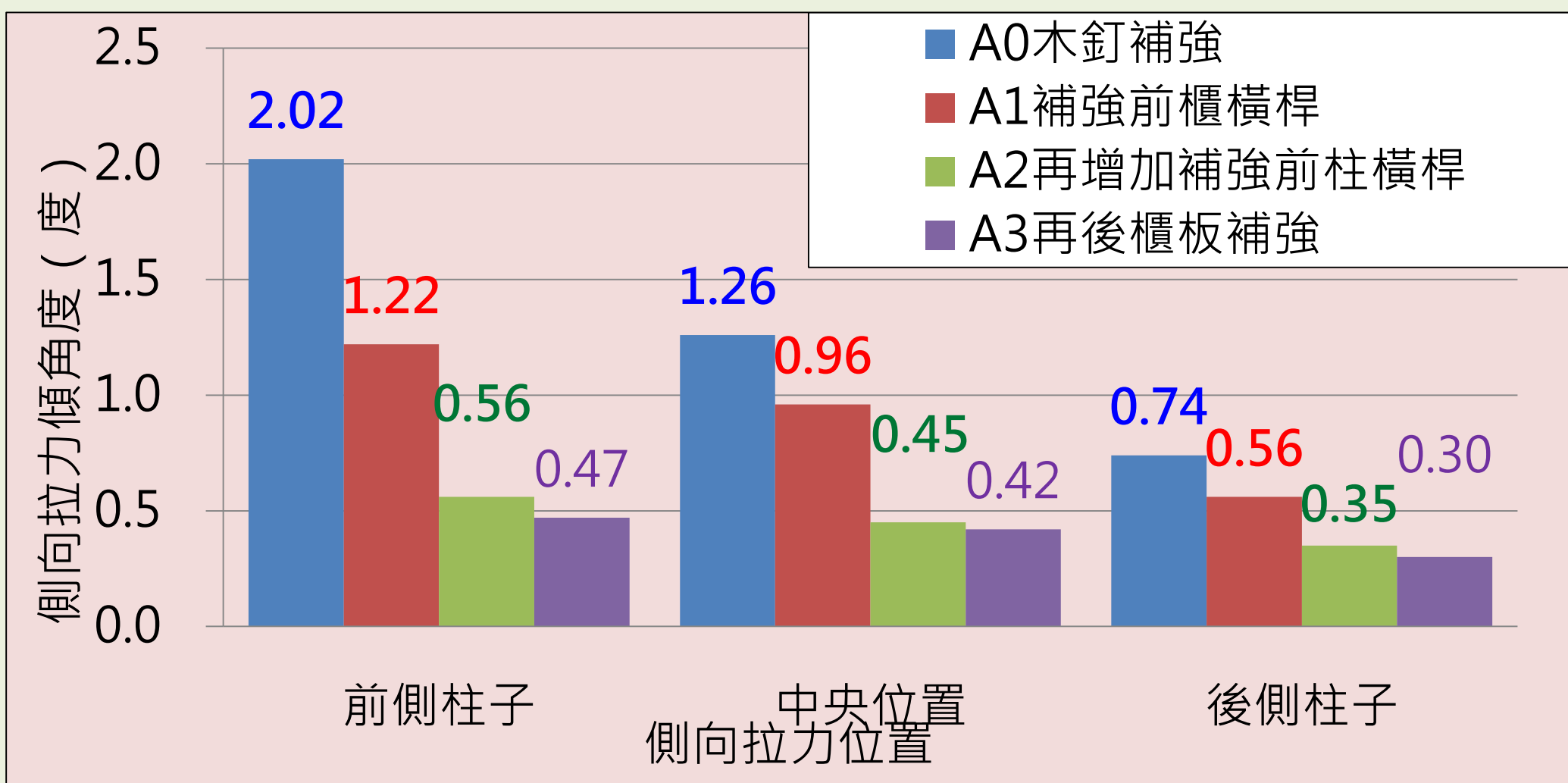


圖5-24增加補強方法對側向傾角度量變化

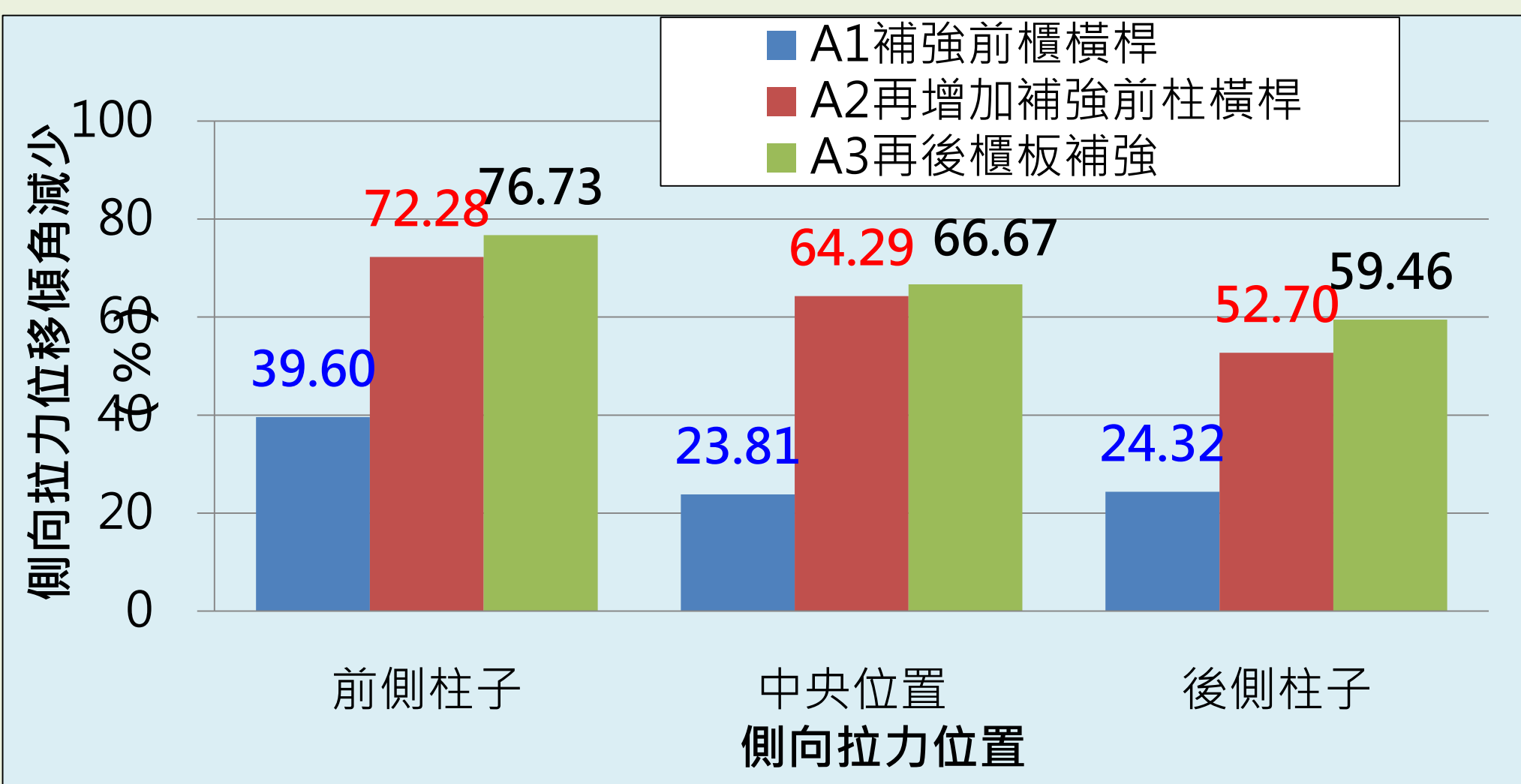


圖5-25增加補強方法對側向傾角減少

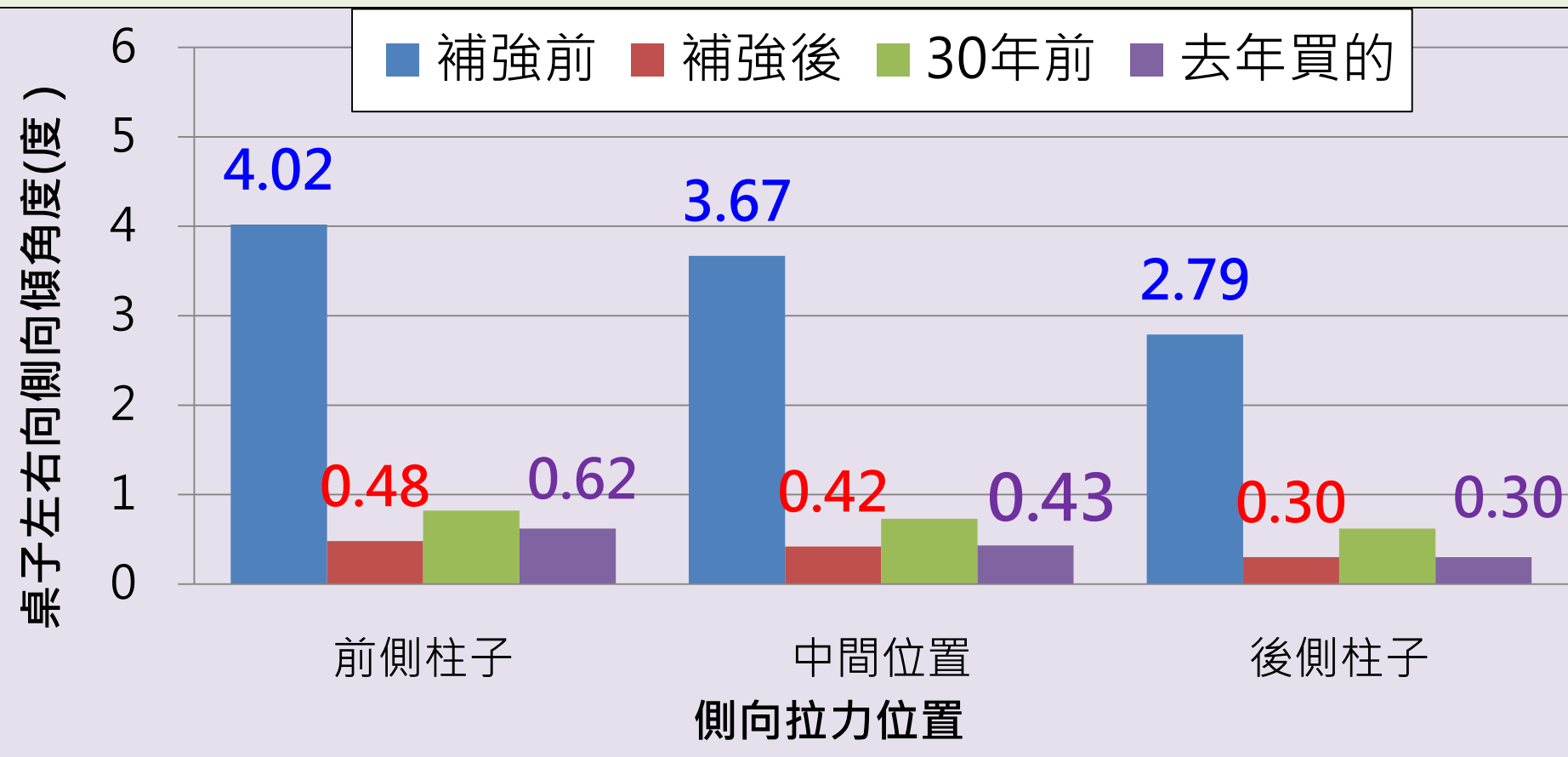


圖5-26不同桌子左右側向傾角度比較

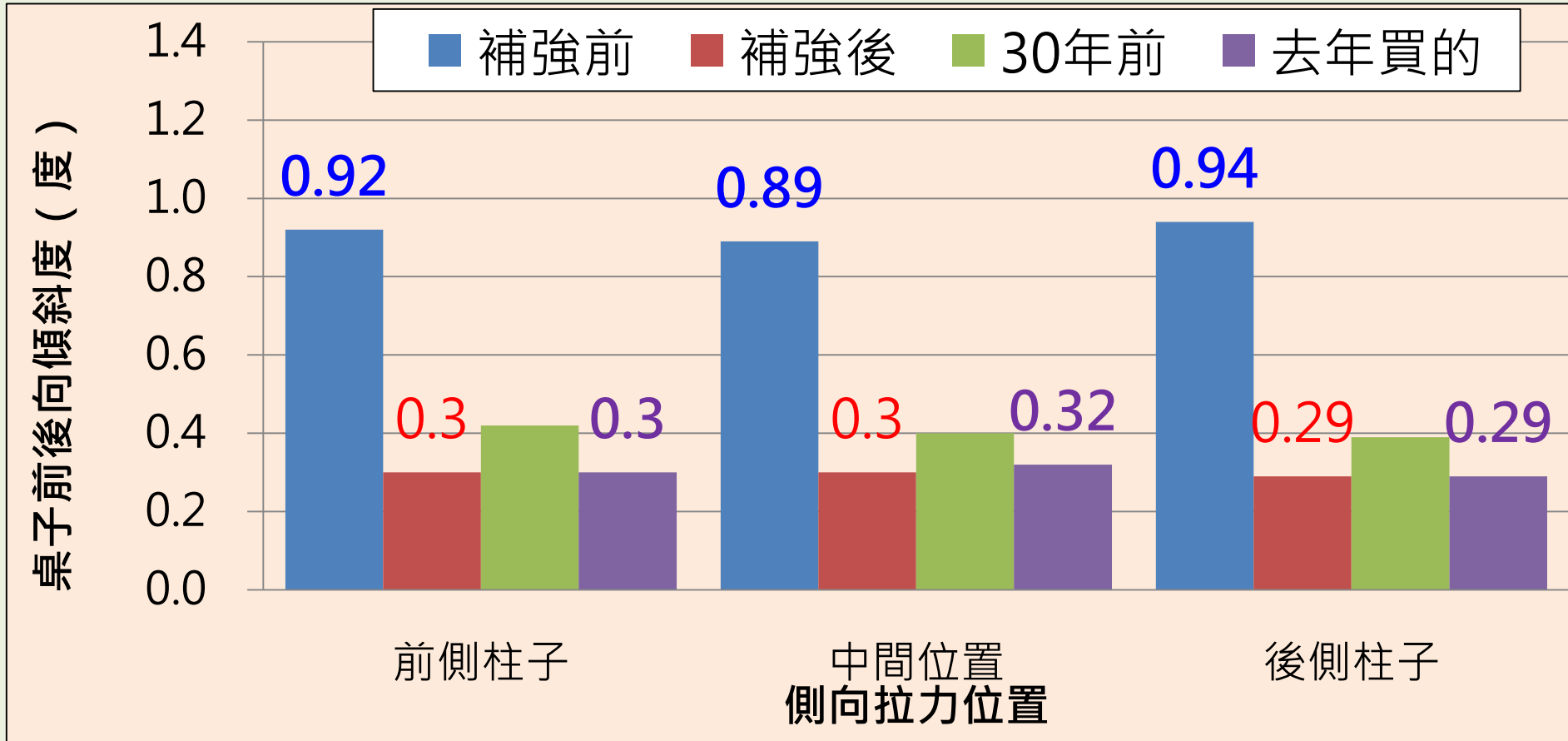


圖5-27不同桌子前後側向傾角比較

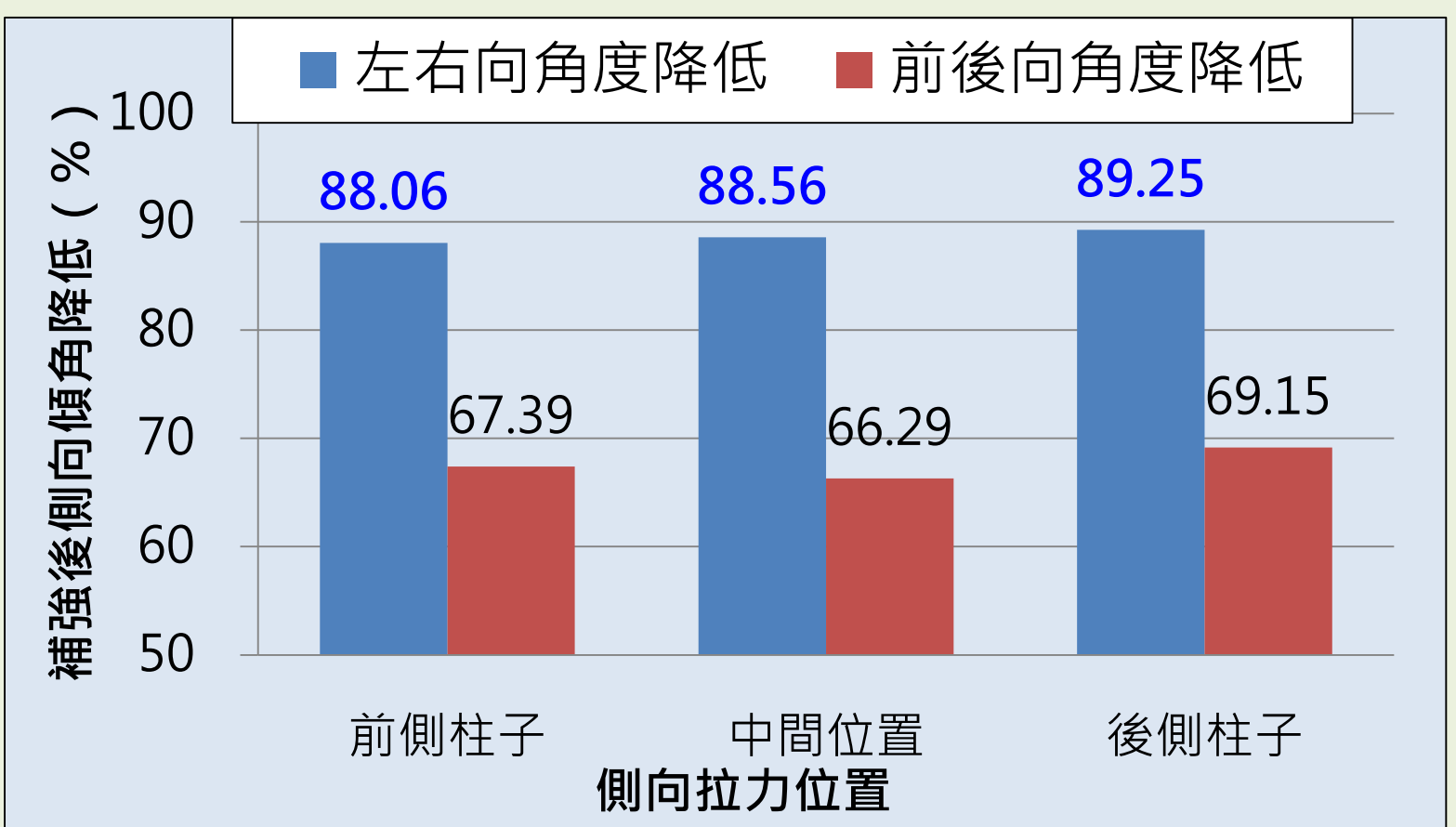


圖5-28補強完後桌子側向傾角降低

2.研究結果：不同桌子的抗側向拉力強度比較

- (1) 發現桌子結構補強後前後向的前柱側向傾角度、中間側向傾角度、後柱側向傾角與去年買的新式桌子側向傾角相近。
- (2) 結構補強後，前左右向降低側向傾角度88.5%，前後向降低側向傾角67.5%。

(二) 探討新式舊桌置物空間優化設計的可行性



圖5-29拆除桌板與櫃板



圖5-30將舊櫃板更新



圖5-31裝上櫃板加強板長度48寬2.5厚2.0cm



圖5-32裝設前櫃樑長度48.0寬度4.0厚度3.0cm，

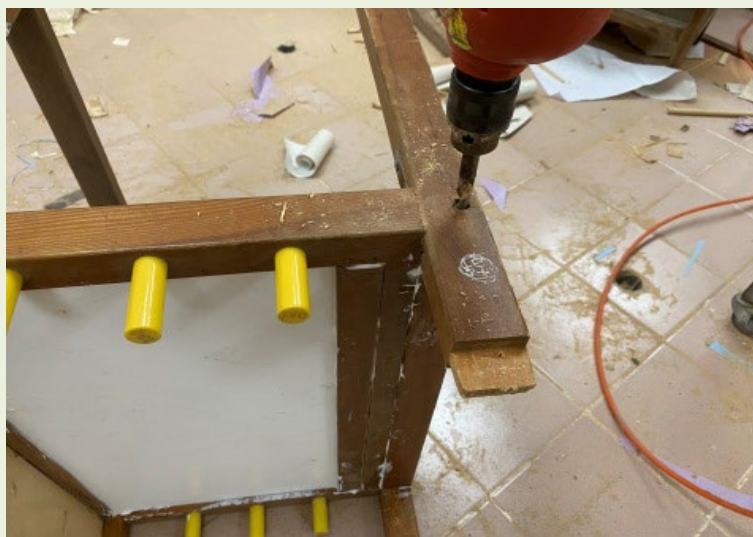


圖5-33打入3支直徑1.0cm長度10.0cm木釘



圖5-34裝上後櫃，增加放置空間強化桌子結構。

1.研究結果

- (1) 眼睛至桌面應有適當的視距、桌面應有適當的高度維持原來設計，桌底下大腿活動空間會少1cm，經實際請學生測試大腿活動空間幾乎沒有差異。
- (2) 經過擴大置物空間設計後，置物空間的體積由1531cm³增加到2760cm³為原來置物空間的2.14倍。
- (3) 左右側櫃使用抽去式，不用時將櫃子抽出，可以放置在學校的置物櫃中。



圖5-35裝上後櫃與側櫃



圖5-36桌子後側結構強化

(三) 設計快速安裝高度調整器降低桌子製作成本提升使用率

1.研究結果

我們設計的快速安裝調整器，只要在桌腳套上即可使用，不需要時將快速安裝調整器取下就可以，適合現在課桌椅各種型號，可以降低桌椅的備用量減少庫存空間，增加桌椅的使用率，與學生使用的即時性。

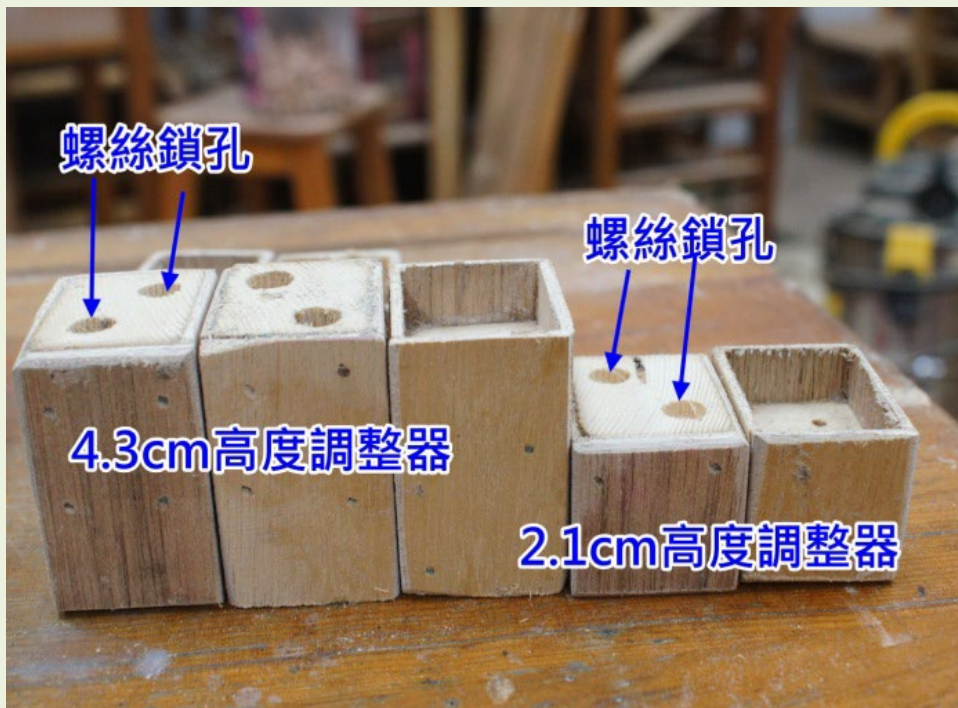


圖5-37高度調整器



圖5-38桌子裝上高度調整器

五、推廣活動舊桌再利用降低木材資源使用

(一) 新式舊桌結構補強與空間優化後進行實際測

1.研究結果

問卷調查，發現舊桌子明顯會搖動，且置物空間明顯不足的現象，經過我們的改造，重新補強設計後的桌子，不會搖動，對於置物空間，可以提供更大放置學用品，使學習效果與方便性更佳。

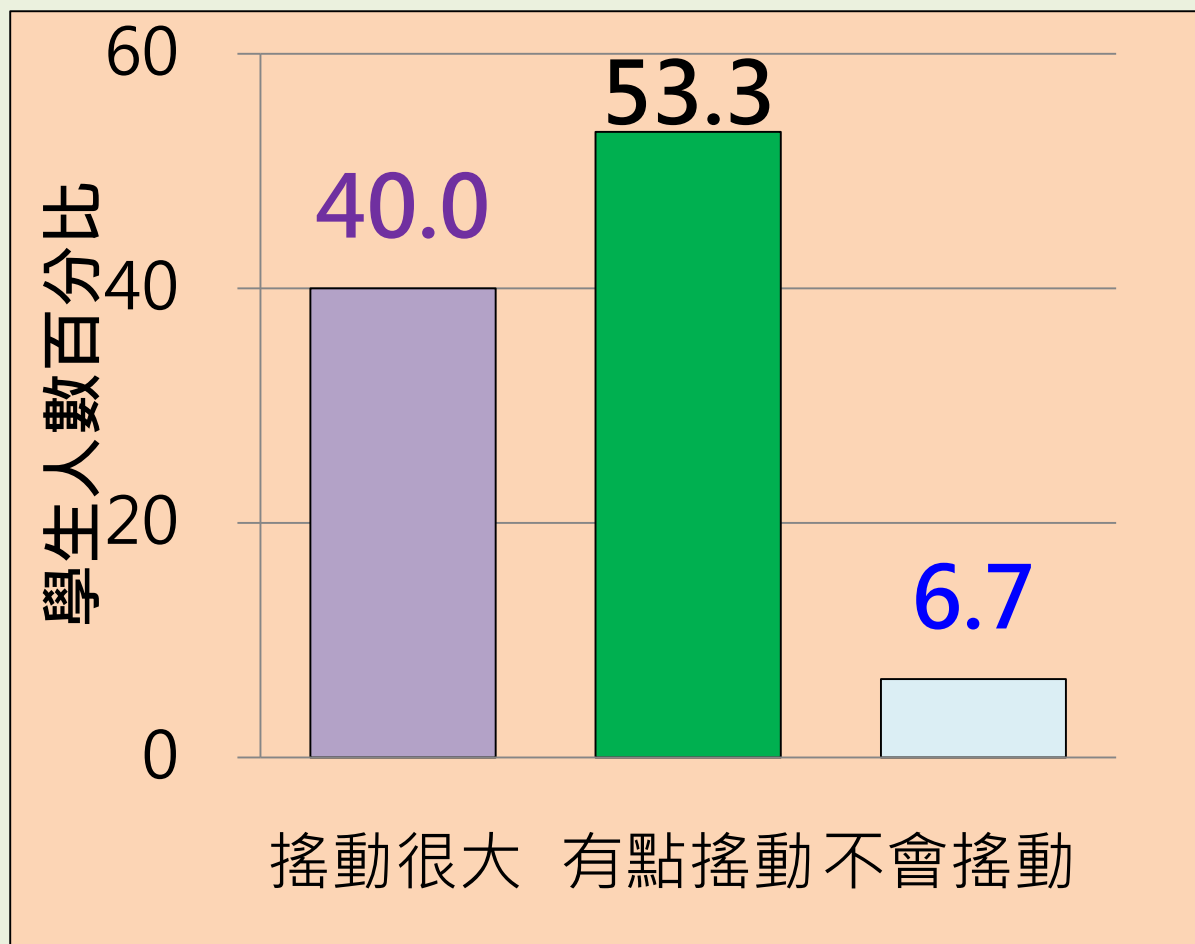


圖5-39舊桌子的搖動情況

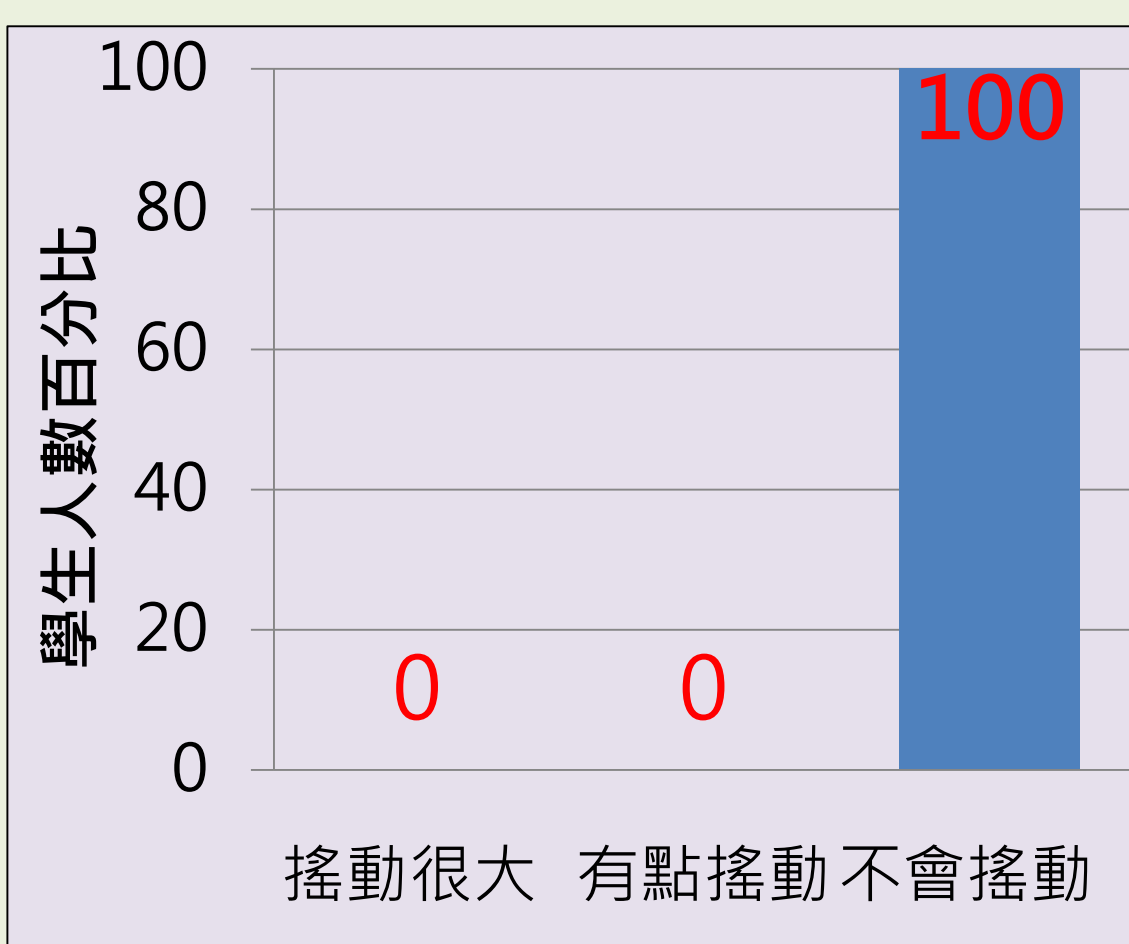


圖5-40補強後桌子搖動情況

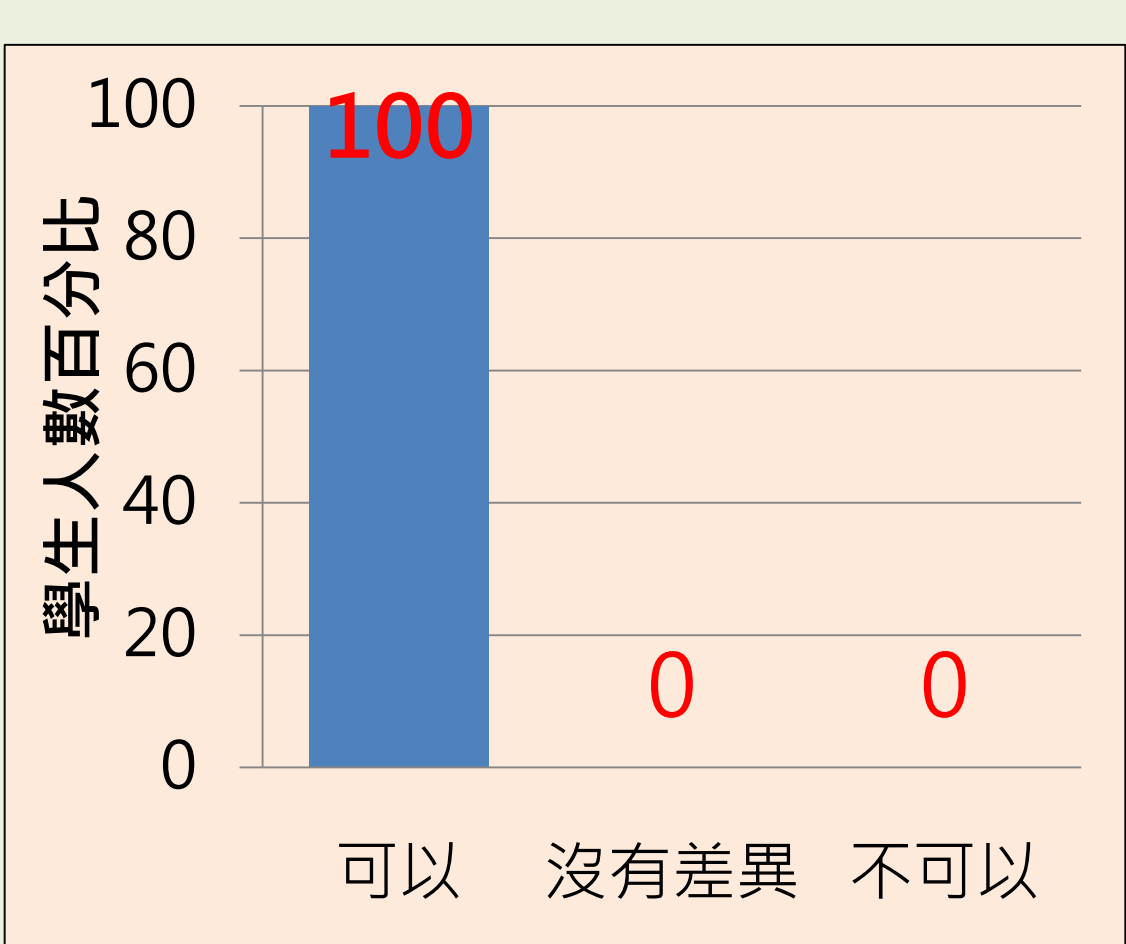


圖5-41設計桌子置物空間學習方便性提升

(二) 建議期待的桌子

1.研究結果

- (1) 將前櫃柱與前柱樁接變大，增加前柱的結構強度、耐用度較佳 (圖5-42位置1)。
- (2) 前後櫃柱樁接要大：至少長度3cm、寬度1.2cm、深度3.0cm。
- (3) 增加學用品放置空間：要設計活動式左右側櫃，與固定式後櫃 (圖5-42位置2)。
- (4) 增加腿部活動寬間：桌子的櫃子可以減少2cm高度，由現在的11cm降低到9cm (圖5-42位置3)。
- (5) 桌面使用美耐板：耐刮、耐酸鹼 (圖5-42位置4)。
- (6) 簡易高度調整器 (圖5-42位置5)。
- (7) 在前櫃柱位置加上三角形斜撐增加，桌子前柱與櫃柱的結構不強，提升桌子整體的結構強度。

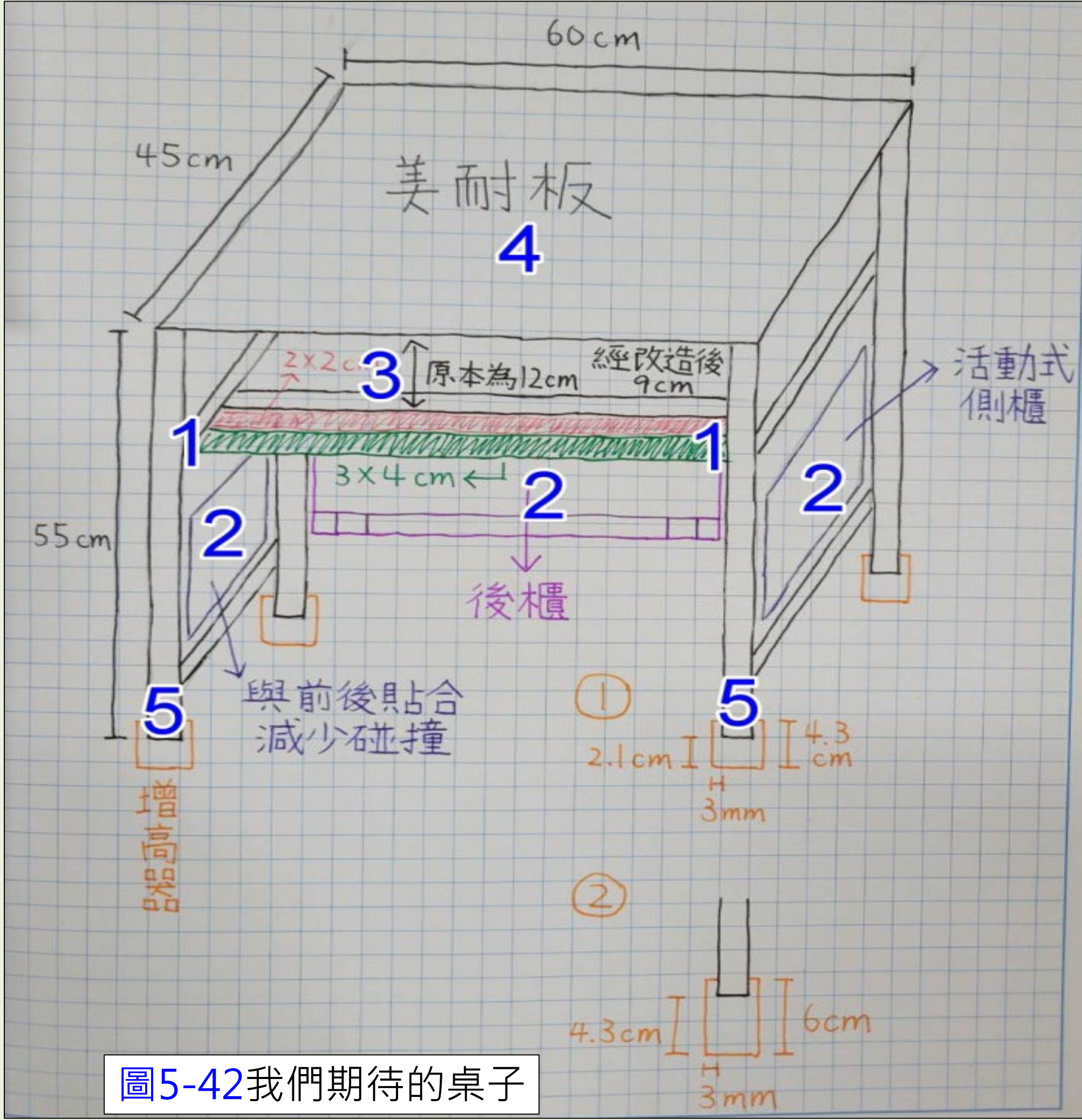


圖5-42我們期待的桌子

陸、結論

- 一、學生50.7%不滿意現在桌椅，76.0%搖晃情況嚴重，不安心58.9%，桌櫃置物空間嚴重不足。
- 二、現在舊桌椅80%都要補強。桌子前櫃柱結構設計有嚴重錯誤且接樁太小，後柱6接樁間隙最大，造成桌子容易左右搖晃。
- 三、斜撐強效果最佳，木釘補強後，外觀看起來比較接近木頭的本色。補強 (左後6右後6) 樁接最佳，這個樁接點是承受桌子重量最大的位置。
- 四、現在學生桌子有櫃子橫樑太小與樁接位置結構上的問題。必須進行結構上的補強，增強桌子的結構強度、增加學生放置物品空間2.14倍。左右側櫃使用抽去式活動櫃，不要用時把櫃子抽出，放置在學校的置物櫃中。設計安裝高度調整器降低桌子製作成本及提升使用率。
- 五、木材資源再利用：森林資源非常可貴，學校也將舊桌椅重複使用或製作成師生教學用品。

柒、參考文獻

一、木材硬度表及常見木材特徵表。取自<https://read01.com/zh-tw/M2Bmm48.html>。
二、木材硬度表。<https://woodmall.com.tw/>。
三、木材膠合時如何利用膠合結構的破壞形式來調整膠合操作條件，（國家林產技術平台）。
四、太棒膠II與太棒膠III差異（木百貨）。取自<https://woodmall.com.tw/shop/>。
五、陳立中（2016）。膠合劑應用在木材膠合剪力之探討。碩士樹德科技大學。
六、強力接著劑NP-3761、NP3760、300。取自<https://www.nanpao.com.tw/>。
七、剪力（Shear Force）。中文百科。取自<https://www.jendow.com.tw/>。

八、楊淑惠（1989）。木釘、方樁、橢圓樁接合之強度性質。碩士學術論文，國立臺灣大學。
九、李佳韋（2007）。中國傳統建築直樁木接頭力學行為研究。碩士學術論文，國立臺灣大學。
十、林靜宜（1994）。台中市國民小學新型課桌椅認知之調查研究。國立中興大學，學術論文。
十一、黃傳益（2024）。國民小學課桌椅創意再設計。國立屏東科技大學，碩士學位論文。
十二、邱從甲（2007）。小學生課桌椅設計之研究。中原大學，碩士學位論文。