

“續”——正確應用，讓它更強

高小組應用科學科第三名

台北縣秀朗國民小學

作者：顏維震、沈泰霖

蔣典融、杜茂笙

指導教師：陸耀光、張美英

一、研究動機

去年科展我們以有關“樑”的研究——“正確應用，讓它更強”在國展中，榮獲國展教授們的肯定，我們返校後，繼續對這個問題再做探討，期望能在此方面有更多發現，有更多心得，使我們在結構學上能得到更多的啟示。

二、研究目的

了解柱的斷面形狀與長度，對柱的強度之影響

三、研究材料

①石膏②石粉③細砂④鋁皮⑤瓦楞紙⑥蠟燭⑦西卡紙⑧尺⑨體重機⑩塑膠電焊器⑪剪刀⑫塑膠手套⑬裁斷機⑭內胎⑮硬度測試計⑯自製油壓器⑰塑膠管⑱玻璃杯⑲書面紙⑳白報紙㉑厚紙板㉒雙面卡紙㉓三夾板㉔廣口瓶㉕塑膠水筒㉖紅墨水㉗綠色廣告顏料

四、事前準備

- (一)本次實驗重點在“如何使柱更強”，我們回顧去年的研究，已獲得“正確應用使樑更強”的方法。
- (二)本次探討的對象—“柱”，是建築結構中之另一種重要建材，它所承受之力量作用，除地承受地震力時之外，受力情形和樑之情況相同，仍可應用上次研究結論加強外，柱在平常受很大的建築物的垂直重量，如何使這方面的性能加強，是值得探討的。根據初步研究發現：柱的垂直荷重強度，可能主要受柱的斷面形狀與長度（和斷面寬度的比）的影響，因此本研究針對這兩大變因安排試驗探討。
- (三)為了試驗須要一台油壓器，使試體壓碎時的數據更具說服力，我們和老師共同試驗討論，並勾畫出所需要的油壓器，再經由黃叔叔（家長）機械上的專才，設計出一架“自製油壓器”。
- ①油壓缸內直徑：4cm，面積： $4 \times 4 \times 0.785 = 12.56$ （ cm^2 ）
- ②此油壓機最高油壓：150kg/cm²，其出力最大極限： $150 \times 12.56 = 1884$

五、研究過程

問題一：油壓器是應用什麼原理呢？

實驗(一)：

方法(一)：(1)分別剪下邊長10公分不同紙質的紙張：①書面紙②白報紙③厚紙板④雙面卡紙⑤瓦楞紙

(2)玻璃杯內裝50c.c.的水，依次蓋上各紙張，迅速將杯子倒過來，觀察有何現象發生。

結果(一)：(1)各紙張並沒有掉下來。

實驗(二)：

方法(二)：(1)如方法(一)之紙張各剪下5張，一樣操作，唯杯中的水每次以10c.c.增加，觀察結果。

結果(二)：所有紙張加水至100c.c.，仍然緊貼杯口，沒有掉下來。

實驗(三)：

方法(三)：(1)取一無底之塑膠杯，一端用紙板緊壓，平放水槽（有水）

(2)將調好之綠色水溶液由上慢慢倒入杯中，觀察變化。

結果(三)：當綠色水溶液注入的高度和水槽之水面相同時，厚紙板會脫離杯口，而綠色水溶液流出。

實驗(四)：

方法(四)：(1)廣口瓶內裝半瓶綠色水溶液，剪一張邊長10公分的厚紙板，挖兩個洞，分別插入甲、乙吸管，緊蓋杯口。

(2)甲管插入水中，乙管不接觸水，從乙吹氣觀察變化。

結果(四)：水會從甲吸管噴出，越用力，水噴得越高。

實驗(五)

方法(五)：(1)取一塑膠水筒，筒內裝滿水，將水管的一端插入水中，另一端固定在較低位置。

(2)調整水筒的高度，觀察水噴出的情形。

結果(五)：水筒提的越高，水噴的越遠；越低則噴得越近。

實驗(六)：

方法(六)：(1)內胎內灌滿紅色水溶液，注意邊灌邊壓氣，使胎內空氣溢出，灌至九分滿後塞住。

(2)在內胎一面塗滿廣告顏料，反過來平放在四開圖畫紙上，並在內胎上放一木板。

(3)在木板上依次放10kg、20kg、30kg、40kg、50kg的書

(4)將印出的內胎痕跡，分別求出其接觸面積比較。

結果(六)：(1)各不同重量之內胎痕跡變化如下：

| 結果項目 | | kg | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-------|----|----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 大圓 | 半徑 | | 16.8 | 17.3 | 17.7 | 18 | 18.2 | 18.4 |
| | 面積 | | 886.2 | 939.8 | 983.7 | 1017.4 | 1040.1 | 1063.1 |
| 小圓 | 半徑 | | 14.2 | 13.9 | 13.6 | 13.1 | 12.3 | 11.6 |
| | 面積 | | 633.1 | 606.7 | 580.8 | 538.9 | 475.1 | 422.5 |
| 內胎痕跡 | | | 253.1 | 331.1 | 402.9 | 478.5 | 565 | 608.6 |
| 增加痕跡量 | | | 0 | 80 | 149.8 | 225.4 | 311.9 | 355.5 |

(2)由內胎增加的痕跡可知，重量越重，所受壓力越大。

問題二：斷面形狀會不會影響架構中柱體的抗壓強度呢？

實驗(七)：

方法(七)：(1)以12組不同比例之石膏、砂、石粉混合後，加3倍的水攪拌成試體材料，並作成小正方體，各不同比例。

(2)一週後，放在莫氏硬度計上測出其硬度。

結果(七)：(1)

| 編號 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ |
|----|-----|------|------|-----|-----|---|---|----------|----------|----------|----|-----|
| 硬度 | 0.2 | 12.5 | 10.9 | 4.5 | 4.6 | 2 | 7 | 超過 20 | 超過 20 | 超過 20 | 20 | 8.6 |

(2)以第⑧⑨⑩組的硬度最強，其中第⑧組的石膏量最多，較容易乾，因此，此次實驗的柱試體材料，我們採取第8組，即沙：石膏：石粉：水=1：7：3：3

實驗(八)：

方法(八)：(1)剪下(12cm×10cm)、(18cm×10cm)、(24cm×10cm)、(30cm×10cm)規格的鋁片各3片。

(2)將各鋁片折成四等分，焊接成斷面形狀為正方形模型

(3)模型內擦一層煤油，將第⑧組混合土攪拌均勻後，快速灌進模型內，邊灌邊搗，使柱體實心而能緊密。

(4)所有試體經24小時陰乾後，放在相同環境下，再經一星期後，置放自製油壓機下壓碎，測出抗壓強度。

結果(八)：(1)斷面為正方形之柱體抗壓強度

| | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 斷面規格 | 3cm×3cm | 4.5cm×4.5cm | 6cm×6cm | 7.5cm×7.5cm |
| 面積 (cm ²) | 9 | 20.25 | 36 | 56.25 |
| 壓碎力量 (kg) | 11×12.56 =138.16 | 16×12.56 =200.96 | 24×12.56 =301.44 | 36×12.56 =452.16 |
| 強度 (kg/cm ²) | 15.351 | 9.924 | 8.373 | 8.038 |

(2)分析：試體斷面越小，強度越高；斷面越大強度越低，原因可從試驗中發現，試體斷面越大，表面的平整度相差越大，易產生受壓的不均勻，較快破壞而強度降低，如能免除此變因，則可能不會有此現象。

(為了能正確求出正三角形及正六邊形的面積，先做實驗(九)印證)

實驗(九)：

方法(九)：(1)以邊長1公分的方格紙，分別畫出10組直角三角形，內角各為30°、60°、90°。

(2)10組直角三角形的其中一股固定，分別是：①1cm②2cm③3cm④4cm⑤5cm⑥6cm⑦7cm⑧8cm⑨9cm⑩10cm，用尺量出各組三角形的斜邊長及另一股長。

結果(九)：(1)

| | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 編號 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | 平 |
| 另一股 | 1.75 | 3.45 | 5.2 | 6.9 | 8.7 | 10.4 | 11.95 | 13.9 | 15.5 | 17.3 | 均 |
| 斜邊長 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | |
| 另一股/斜邊 | 0.875 | 0.867 | 0.863 | 0.863 | 0.87 | 0.867 | 0.863 | 0.869 | 0.861 | 0.865 | 0.866 |

(2)直角三角形內角60度所對的直角邊→斜邊×0.866

實驗(十)

方法(十)：(1)剪如方法(八)之鋁片，分別折黏成斷面是正三角形、正六角形及圓形之模型，也如方法(八)一樣時間，灌模方法、操作、算出各試體抗壓強度。

結果(十)：(1)各柱體抗壓強度如下：(各柱體換算強度之明細表略)

| 強度分類 \ 周長 | 12 | 18 | 24 | 30 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 三角柱 | 9.065 | 8.863 | 8.158 | 7.542 |
| 六角柱 | 15.712 | 10.743 | 9.367 | 8.895 |
| 圓柱 | 17.525 | 13.148 | 10.956 | 10.692 |

(2)各試體的抗壓強度以圓形斷面>正六角形斷面>正方形斷面>正三角形斷面。

(3)斷面形狀越近圓形，強度越強。

問題三：柱的斷面積及形狀一樣，長度改變會影響抗壓強度嗎？

實驗(十一)：

方法：(1)剪鋁片寬均是30公分，長：5、10、15、20、25、30公分，折成正方柱模型，其規格分別為：

- ①(7.5×7.5×5) ②(7.5×7.5×10) ③(7.5×7.5×15) ④(7.5×7.5×20) ⑤(7.5×7.5×25) ⑥(7.5×7.5×30)，其斷面形狀均是正方形

(2)如方法(八)灌模操作，記下各試體的抗壓強度。

結果(十一)：(1)

| 結果 規格 | 類別 | 邊長 cm | 面積 cm ² | 高 cm | 壓碎力量 kg | 強度 kg/cm ² |
|----------------|----|----------|-----------------------|---------|------------------------|--------------------------|
| 7.5 × 7.5 × 5 | | 7.5 | 56.25 | 5 | 44 × 12.56 = 552.64 | 9.82 |
| 7.5 × 7.5 × 10 | | 7.5 | 56.25 | 10 | 35 × 12.56 = 439.6 | 7.82 |
| 7.5 × 7.5 × 15 | | 7.5 | 56.25 | 15 | 22 × 12.56 = 276.32 | 4.91 |
| 7.5 × 7.5 × 20 | | 7.5 | 56.25 | 20 | 17 × 12.56 = 213.52 | 3.8 |
| 7.5 × 7.5 × 25 | | 7.5 | 56.25 | 25 | 15 × 12.56 = 188.4 | 3.35 |
| 7.5 × 7.5 × 30 | | 7.5 | 56.25 | 30 | 6 × 12.56 = 75.36 | 1.34 |

(2)分析：斷面積一樣的正方體試體中，其抗壓強度隨著長度的增加而降低了，以(7.5×7.5×5)最強，而(7.5×7.5×30)的抗壓強度最弱。

實驗(十二)：

方法：(1)鋁片的長、寬均如方法(十一)，分別折黏成斷面形狀是正三角形、正六角形、圓形之柱體模型。

(2)如方法：(八)灌模操作，方法(十一)之換算法，算出各試體的抗壓強度，分別比較。

結果(十二)：

(1)歸納各柱體之抗壓強度：

| 強度 分類 \ 高度 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|---------------|-------|-------|------|------|------|------|
| 三角柱 | 9.57 | 7.54 | 5.51 | 3.77 | 2.9 | 1.45 |
| 六角柱 | 18.56 | 8.9 | 6.96 | 4.64 | 3.09 | 2.32 |
| 圓柱 | 21.93 | 11.05 | 8.60 | 6.67 | 4.39 | 3.68 |

(2)斷面積一樣的各柱體，其抗壓強度都隨著高度（長度）的增加而降底，以高5公分最好。

問題四：柱的斷面形狀一樣，而斷面積不一樣時，長度改變是否會影響抗壓強度呢？

實驗（十三）：

方法：(1)取鐵製模型，其規格分別為：①（ $4 \times 4 \times 16$ ）②（ $5 \times 5 \times 5$ ）其斷面形狀均為正形。

(2)依實驗(八)之方法灌模操作，記下各試體的抗壓強度。

結果（十三）：(1)

| 結果 規格 \ 類別 | 邊長 cm | 面積 cm ² | 高 cm | 壓碎力量 kg | 強度 kg/cm ² |
|------------------------|----------|-----------------------|---------|---------------------------------|--------------------------|
| $4 \times 4 \times 16$ | 4 | 16 | 16 | 20×12.56 $= 251.2$ | 15.7 |
| $5 \times 5 \times 5$ | 5 | 25 | 5 | 76×12.56 $= 954.56$ | 38.182 |

(2)分析：同樣形狀的斷面積，長度越長，抗壓強度降底了，規格 $5 \times 5 \times 5 >$ 規格 $4 \times 4 \times 16$ 。

六、討論

1. 實驗(一)(二)杯外的大氣壓力 $>$ 杯內的壓力，所以各種紙張緊貼杯口

2. 實驗(三)杯中的水溶液 = 水槽的水面時，內外壓力相等或杯內壓力漸大，厚紙板因而被推離，綠色水溶液溢出。
3. 實驗(四)(五)中，空氣對水的壓力變大，因而噴得越高、噴得遠。
4. 由內胎著色的痕跡可看出：重量越重，所受壓力越大，痕跡量遞增，而且成比例增加。
5. 由實驗(六)中，我們想如果水中的壓力來自四面八方，則施壓至水中的某一部分，此壓力也該會向四面八方傳遞，此即如參考書上所提的巴斯葛原理：「對封閉之水的一部分施加壓力，則同樣強度的壓力會傳遞到水中任何部分。」我們依此原理而組合了一台壓碎試體的油壓器。
6. 實驗(八)(十)之試體抗壓強度試驗中：
- (1) 斷面形狀會影響柱體的抗壓強度，以圓形 > 正六角形 > 正方形 > 正三角形，圓形的抗壓強度最高，越接近它強度越強。
 - (2) 由各柱體的試驗結果顯示，均有試體斷面越大，強度越降低的趨勢，此即“試體尺寸效應”，但也可能是試驗設備及過程中引入的變因。
 - (3) 由結果可知，要使柱狀構材的強度更強，應該儘量採用正多邊形，邊數越多越好，圖形斷面是屬於無限多邊形，故最佳。
7. 實驗(七)的各試體中，斷面形狀和斷面積相同，長度不同時，其長度越長，強度就越低。由“細長比 = 長度 ÷ 斷面最小尺度(高)”，可求出各柱體的細長比例：
- (1) 各柱體斷面的最小尺度(即高)：單位(公分)
 - ① 三角形 = 底 × 0.866 = 8.66
 - ② 正方面 = 7.5 (邊長)
 - ③ 六角形 = 底 × 0.866 × 2 = 17.32
 - ④ 圓形 = 9.55 (直徑)
 - (2) 各柱體之細長比：

| 細長比 柱體 \ 長度 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|----------------|-------|------|-------|------|------|-------|
| 三角柱 | 0.58 | 1.15 | 1.73 | 2.31 | 2.89 | 3.46 |
| 正方柱 | 0.67 | 1.33 | 2 | 2.67 | 3.33 | 4 |
| 六角柱 | 0.289 | 0.58 | 0.866 | 1.15 | 1.44 | 1.732 |
| 圓柱 | 0.52 | 1.05 | 1.57 | 2.09 | 2.62 | 3.14 |

(3)歸納各柱體的細長比和抗壓強度比較：

| 比較項目 \ 長度 | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-----------|-----|-------|-------|------|------|------|------|
| 三角柱 | 細長比 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 |
| | 強度 | 9.57 | 7.54 | 5.51 | 3.77 | 2.9 | 1.45 |
| 正方柱 | 細長比 | 0.67 | 1.33 | 2 | 2.67 | 3.33 | 4 |
| | 強度 | 9.82 | 7.82 | 4.91 | 3.8 | 3.35 | 1.34 |
| 六角柱 | 細長比 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 強度 | 18.56 | 8.9 | 6.96 | 4.64 | 3.09 | 2.32 |
| 圓柱 | 細長比 | 0.52 | 1.05 | 1.57 | 2.09 | 2.62 | 3.14 |
| | 強度 | 21.93 | 11.05 | 8.6 | 6.67 | 4.39 | 3.68 |

明顯地發現：

當柱體的“細長比”越大，強度越小；反之，“細長比”越小，則強度就越大。

8. 實驗(三)斷面形狀一樣，而斷面積及長度都不同時，也一樣有長度越長，強度越低的現象，其細長比如下：

- ① ($4 \times 4 \times 16$) 的細長比： $16 \div 4 = 4$ ② ($5 \times 5 \times 5$) 的細長比： $5 \div 5 = 1$ 一樣是柱體，細長比大的，強度即降低，反之，即增強。

七、結論

1. 由壓力各項實驗有了油壓器的概念，即應用巴斯葛原理而引發了我們自製油壓器的構想。
2. 由此次的研究，加上前一次的心得，我們了解樑、柱應採用：
 - (1) 正多邊形，尤其圓柱最佳，並且雙軸對稱的斷面為宜。
 - (2) 樑的加強筋位置越低越有效用，有效數目越多，強度也越高，且位置的排置，以與斷面中心軸相對稱的較強。
 - (3) 柱的細長比對抗壓強度有明顯的影響，在設計時不可忽略，越長的柱子，其最小斷面也要越大，才能維持其原來要求的強度。

八、參考資料

1. 小牛頓雜誌第10期 牛頓出版社
2. 牛頓科學研習百科（物理） 牛頓出版社
3. 第29屆全國科展資料（高小應用科學） 秀朗國小
4. CNS混凝土試體抗壓強度檢驗資料（總號：1232，類號：A3045）

評語

- (一) 以不同形狀作壓力測試，並且不同高度，考慮的變因頗為具體，也很週到。
- (二) 連續性實驗，並且改進上一年度末考慮之處，頗有參考之價值。

(三)數據之取得頗具可靠性，且理論探討其原因，具有充分科學研究精神。

(四)作者瞭解透徹，觀念清楚。