

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：沈泰霖、杜茂笙

黃競儀、婁育瑋

指導教師：陸耀光、張美英

一、研究動機

前年科展，學長們曾在支柱的變形變因及平穩度中做過深入的探討，今年我們仍在架構上求探討——“樑的點點滴滴”，期望由平時的觀察試驗中，有更大的發現，使我們在架構學上得到更多的啓示，於是科研小組仍在老師、父母的共同指導下，作了以下一連串的研習活動。

二、研究目的

- (一)重量對樑的變形有何影響？
- (二)施力點的不同對樑的變形有何影響？
- (三)樑的改變對承載力有何影響？
- (四)加強筋對樑有何影響？

三、研究器材

自製測微器、鐵架、白木條、天平、膠泥、鋁皮、竹條、石膏、石粉、細砂、硬度測試計、自製壓器。

四、事前準備

- (一)利用相似三角形之原理，用鋁皮、白木條、彈簧、原子筆、長尺、壓克力，設計一個可將變形量放大到目測刻度的測微計（圖略）。

(二)訂製兩個鐵架做為支架，並用膠泥做成 100 克、50 克、10 克之代用砝碼。

(三)發現本測微計之放大倍率約為 54 倍，由肉眼可讀到 0.1 公分，其測出的精密度對變形的測量應已足夠。

五、研究過程

問題一：樑上加載重量的改變對變形有影響嗎？

實驗一：

方法：

(1)取白木條鋸成長 55 公分若干條，並在天平上秤出重量。

(2)取 5 根重量相近的木條，分別編號為甲、乙、丙、丁、戊。

(3)畫出每根木條的中心點，並在距中心點 25 公分處的兩端點上，架在鐵架上做為支點。

(4)於各木條中心點掛上 50 克、100 克、200 克的代用砝碼，測出各木條中心點的變形量，測 5 次求平均值（單位：公分）。

結果一：(1) 50 克

編號 變形量 次數	甲	乙	丙	丁	戊	平均
一	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9	1.84
二	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9	
三	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	
四	1.9	1.8	1.8	1.8	1.9	
五	1.9	1.8	1.9	1.8	1.8	
平均	1.88	1.8	1.86	1.82	1.86	

(2) 100 克

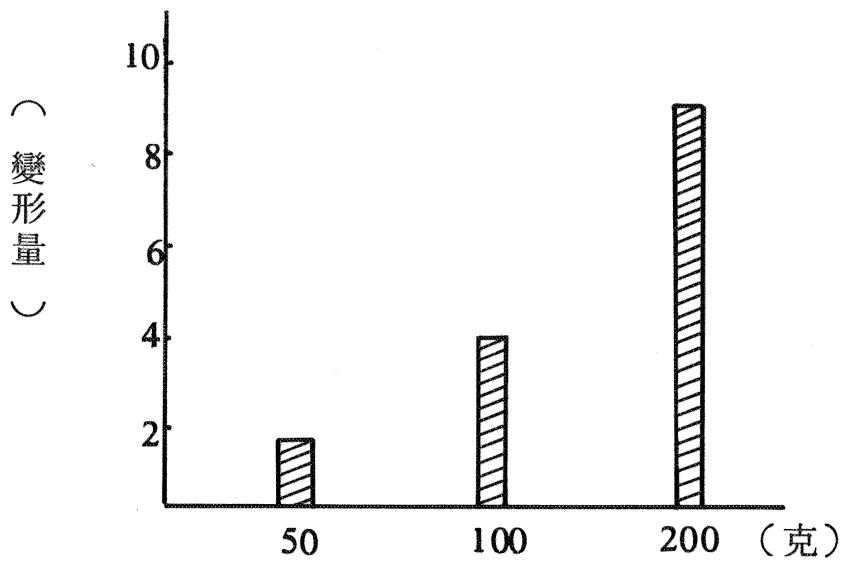
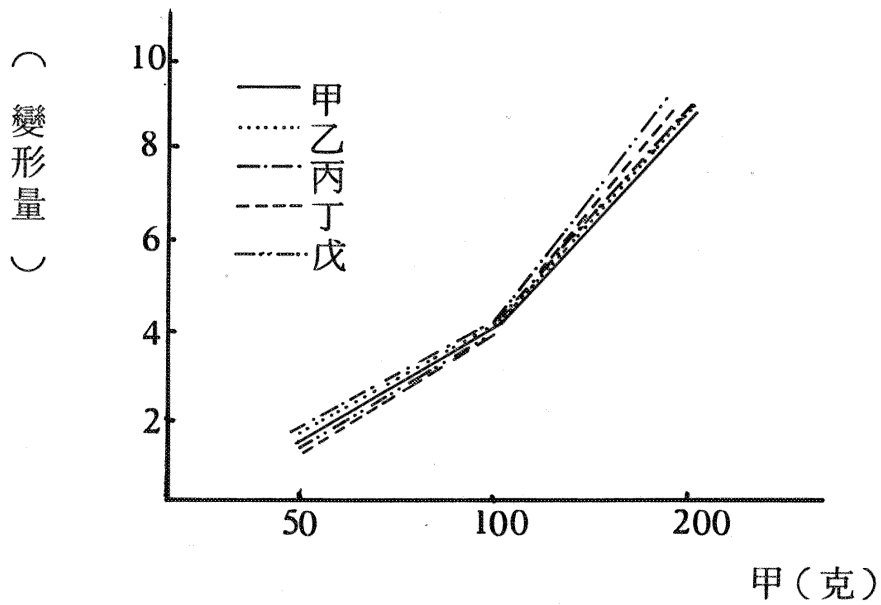
變形次數 \ 編號量	甲	乙	丙	丁	戊	平均
一	4.	4.1	4	4.1	4	4.1
二	4.1	4.1	4	4.2	4.1	
三	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	
四	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	
五	4.	4.1	4.1	4.2	4.1	
平均	4.06	4.12	4.06	4.14	4.1	

(3) 200 克

變形次數 \ 編號量	甲	乙	丙	丁	戊	平均
一	8.5	8.8	9	8.8	9	8.8
二	8.6	8.8	8.9	8.8	9.1	
三	8.6	8.7	8.9	8.7	9.1	
四	8.6	8.7	8.9	8.7	9	
五	8.6	8.7	8.9	8.7	9	
平均	8.58	8.74	8.92	8.74	9.04	

(4) 樑的載重量增加一倍，它的變形數值約增加 2 倍左右。

(5) 下列甲曲線圖表：五根樑中心點不同重量的變形曲線圖。



問題二：樑上加載重量的位置改變，對變形有何影響？

實驗二：

方法：

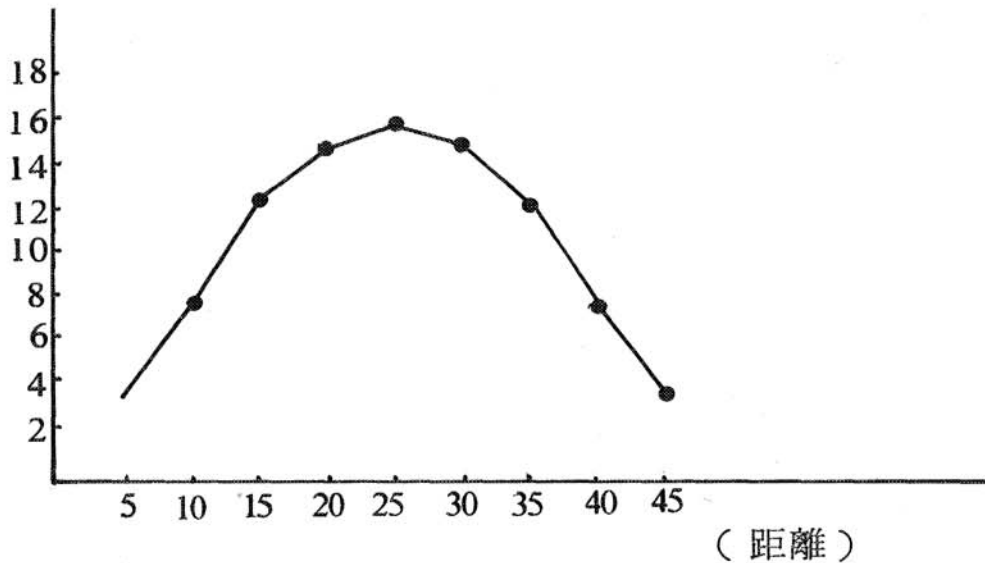
- (1) 與實驗一同樣規格的白木條 5 根，編號為甲、乙、丙、丁、戊。
- (2) 在木條中心點兩側，每隔 5 公分以刀片劃一凹槽，兩支點間隔 50 公分。
- (3) 由左而右在每一凹槽掛 200 克的代用砝碼，測出各點的變形量。(單位：公分)

結果二：(1)

變 形 量	位 置								
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	45 cm
甲	3.64	7.82	12.32	14.62	15.64	14.59	12.28	7.83	3.65
乙	3.6	7.82	12.26	14.66	15.62	14.62	12.27	7.79	3.69
丙	3.64	7.72	12.4	14.61	15.5	14.6	12.24	7.85	3.61
丁	3.62	7.83	12.34	14.62	15.64	14.63	12.25	7.78	3.63
戊	3.6	7.78	12.2	14.	15.66	14.6	12.25	7.77	3.62
平 均	3.62	7.79	12.34	14.4	15.61	14.61	12.26	7.8	3.64

(2) 加載位置越近中心點，其變形量越大。

(2) 各位置變形量關係圖



問題三：支點距離改變，對樑的變形有影響嗎？

實驗三：

方法：

(1) 取 90 公分長白木條，編號為甲、乙、丙、丁、戊，並畫出中心點。

(2) 兩支點分別於左、右兩側各距中心點 5、10、20、40 公分

處，使兩支點相距：10、20、40、80公分。

(3)木條中心點均加載50克的代用砝碼，並各測其變形量。

結果三：(1)距離80公分時

次 數	編 號 變 形 數	甲	乙	丙	丁	戊	平 均
		一	50.9	50.8	50.9	50.9	
二	51	50.7	51	50.8	50.6		
三	50.8	50.8	51.1	50.9	50.5		
四	50.7	50.9	51	51	50.7		
五	50.9	50.7	50.8	51.1	50.6		
平 均	50.7	50.8	51	50.9	50.6		

(2)距離40公分時

次 數	編 號 變 形 量	甲	乙	丙	丁	戊	平 均
		一	6.8	6.8	6.9	6.9	
二	6.9	6.7	6.8	6.9	6.9		
三	6.8	6.8	6.7	6.8	6.8		
四	6.9	6.9	6.8	6.9	6.9		
五	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8		
平 均	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8		

(3)距離 20 公分時

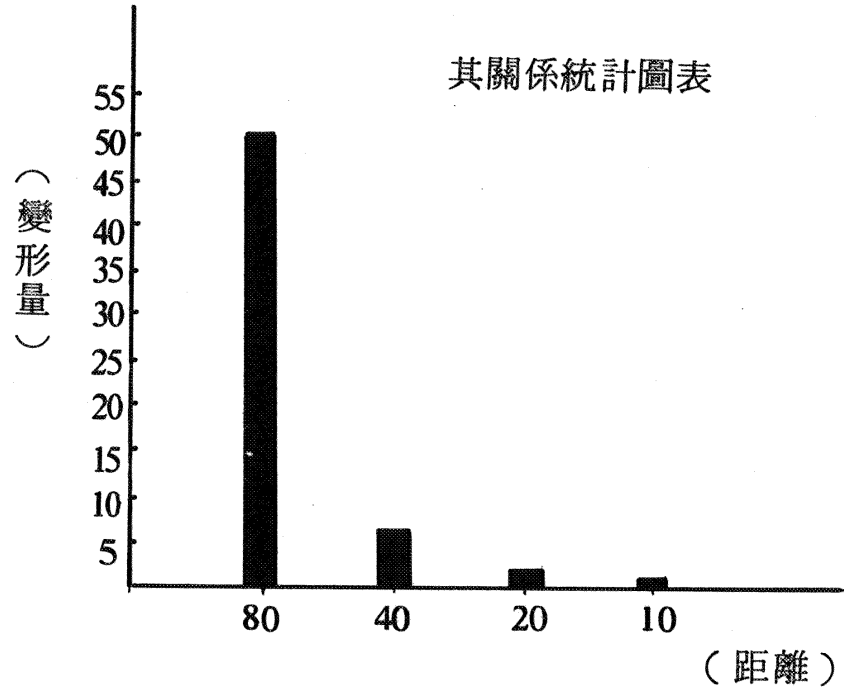
變 形 量 次 數	編 號	甲	乙	丙	丁	戊	平 均
一		0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8
二		0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	
三		0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	
四		0.9	0.7	0.7	0.8	0.7	
五		0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	
平 均		0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	

(4)距離 10 公分時

變 形 量 次 數	編 號	甲	乙	丙	丁	戊	平 均
一		0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.13
二		0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	
三		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
四		0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	
五		0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	
平 均		0.1	0.12	0.14	0.14	0.14	

(5)支點相距 10 公分的樑變形量最小，而相距 80 公分的樑最大，支點的距離每增加一倍它的變形量就大約增加 8 倍，也就是承載能力降低約 8 倍。

(6)



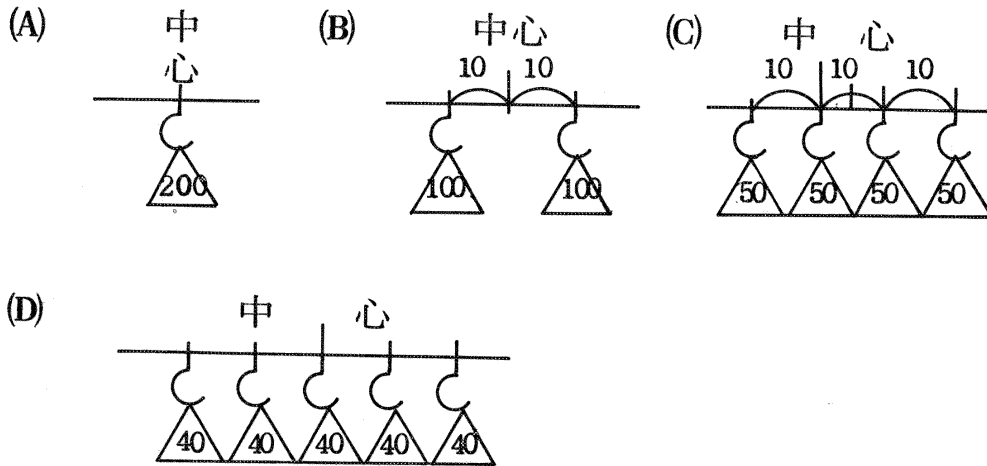
問題四：加載重量分散對樑的變形有影響嗎？

實驗四：

方法：

(1)取 3 根長 55 公分的白木條，編號為甲、乙、丙。

(2)木條每根的載重都是 200 克，測其中心的變形量，施力點分散的位置圖：



結果四：(1)施力於中心時（A圖）：

次數 變形 編號	一	二	三	四	五	平 均
甲	14.9	15	15.1	15.1	15.1	15.04
乙	15.2	15	15.1	14.9	15	15.04
丙	15	14.9	15.1	15	14.9	14.98

(2)施力於2點時（B圖）

次數 變形 編號	一	二	三	四	五	平 均
甲	13.1	12.9	13	13.1	13.1	13.04
乙	12.9	13	13.1	12.9	13	12.98
丙	13	13.1	12.9	13	13.1	13.02

(3)施力於4點時（C圖）

次數 變形 編號	一	二	三	四	五	平 均
甲	12.1	12.2	12.1	12.3	12	12.14
乙	12.2	12.1	12.1	12	12.2	12.12
丙	12.2	12.1	12	11.9	12	12.04

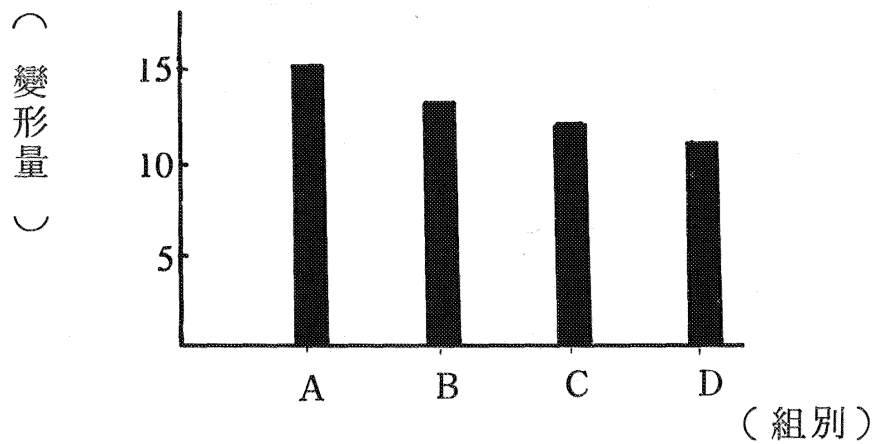
(4)施力於5點時（D圖）

次數 變形 編號	一	二	三	四	五	平 均
甲	11.4	11.3	11.5	11.3	11.3	11.36
乙	11.4	11.3	11.4	11.3	11.5	11.38
丙	10.4	10.5	10.4	10.5	10.5	10.46

(5)集中載重及均佈載重的比較

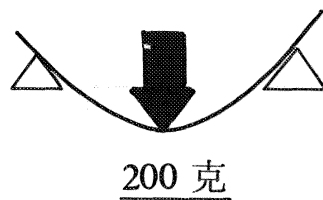
次數 變形量 編號	甲	乙	丙	平均	比較
A	15.04	15.04	14.98	15.02	1
B	13.04	12.98	13.02	13.01	2
C	12.14	12.12	12.04	12.1	3
D	11.36	11.38	10.46	11.07	4

(6)各組載重直條圖

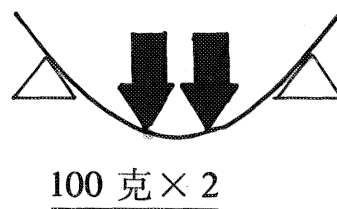


(7) 3 根木條當載重集中於中心時變形量最，其圖示如下：

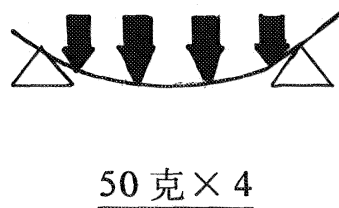
(A)



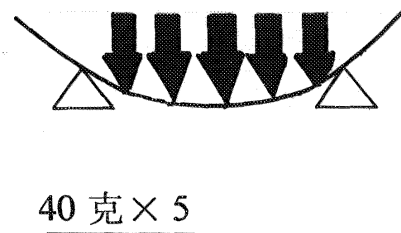
(B)



(C)



(D)



問題五：樑的寬度改變，對它的變形有什麼影響？

實驗五：

方法：

(1)取相同木材，厚度均為0.5公分，寬度分別為0.9，1.8，1.1，2.2公分四種。

(2)兩支點相距50公分，載重100克。

結果五：(1)寬度1.1公分時

編號	變形量	次數					平均
		一	二	三	四	五	
甲		6.7	6.8	6.8	6.7	6.8	6.76
乙		6.9	6.8	6.8	6.7	6.7	6.78
丙		6.6	6.7	6.7	6.7	6.6	6.66
平均		6.73					

(2)寬度2.2公分時

編號	變形量	次數					平均
		一	二	三	四	五	
甲		3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.32
乙		3.4	3.2	3.3	3.3	3.4	3.32
丙		3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.38
平均		3.34					

(3)寬度0.9公分時：

編號	變形量	次數					平均
		一	二	三	四	五	
甲		9.3	9.2	9.2	9.3	9.3	9.26
乙		9.4	9.5	9.4	9.4	9.4	9.42
丙		9.3	9.4	9.3	9.4	9.3	9.34
平均		9.34					

(4)寬度 1.8 公分時

編號 \ 變形量	一	二	三	四	五	平均
甲	4.8	4.9	4.7	4.8	4.8	4.8
乙	4.6	4.6	4.6	4.5	4.5	4.56
丙	4.5	4.6	4.6	4.4	4.5	4.52
平均	4.63					

(5)樑的寬度增加，其變形隨著減少，每增加一倍，則變形

減為 $\frac{1}{2}$ ，即寬度增加二倍，其加載重量可提高二倍。

問題六：樑的厚度改變，對它的承載能力有什麼影響？

實驗六：

方法：

(1)木條寬度均為 1.1 公分，厚度以白膠黏成 1，1.5，2，0.5 公分。

(2)加載位置在中心點，重量均為 200 克，兩支點相距 50 公分。

結果六：(1)厚度 0.5 公分時

編號 \ 變形量	一	二	三	四	五	平均
甲	20.7	20.8	20.7	20.7	20.7	20.72
乙	20.7	20.7	20.8	20.7	20.8	20.74
丙	20.2	20.3	20.4	20.2	20.2	20.22
平均	20.56					

(2)厚度 1 公分時

編號 \ 變形量	一	二	三	四	五	平均
甲	2.7	2.6	2.6	2.7	2.6	2.64
乙	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.78
丙	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.72
平均	2.71					

(3)厚度 1.5 公分時

編號 \ 次數 變形量	一	二	三	四	五	平均
甲	1.2	1.1	1.2	1	1.2	1.14
乙	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.14
丙	1.1	1.1	1.1	1	1.1	1.08
平均	1.12					

(4)厚度 2 公分時

編號 \ 次數 變形量	一	二	三	四	五	平均
甲	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.38
乙	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.36
丙	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.34
平均	0.36					

(5)樑的厚度增加，變形減少許多，承載能力增加，當厚度增加一倍時，變形約減為 $\frac{1}{8}$ ，承載能力增強 8 倍左右。

歸納一：1.樑的寬度增加二倍時，斷面積為：

$$(0.5 \times 1.1) \times 2 = 1.1 \text{ (cm}^2 \text{)}$$

2.樑的厚度增加二倍時，斷面積為：

$$(0.5 + 0.5) \times 1.1 = 1.1 \text{ (cm}^2 \text{)}$$

3.材料相同，增加樑的寬度時，承載能力只能增加二倍左右；若增加厚度時，則可增加八倍左右，因此要節省，增加樑的厚度，比增加樑的寬度好。

問題七：斷面積相同，而結構形狀不同，對變形有何影響？

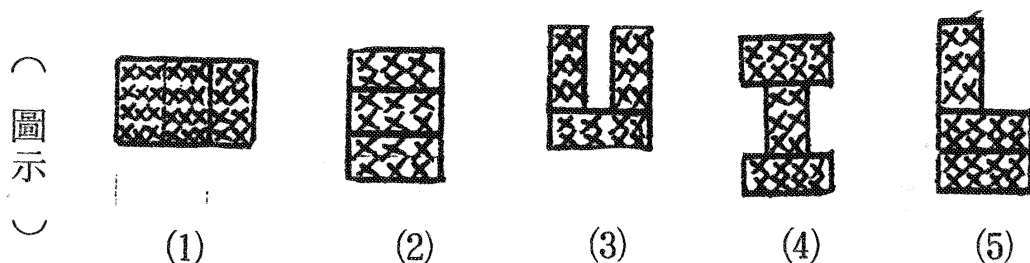
實驗七：

方法：(1)取寬 1.1 公分，厚 0.5 公分，長 55 公分的白木條 15

根。

(2)各以 3 根木條做成斷面積相同，而結構不同的造形。

(3)中心點加載 400 克，兩支點相距 50 公分，測其變形量平均值。



結果七：(1)四字形

編號 \ 次數 變形量	一	二	三	四	五	平均
甲	3	3	3	3.1	3	3.04
乙	3.1	3.1	3.1	3	3	3.04
丙	3.1	3	3	3.1	3.1	3.08
平均	3.05					

(2)目字形

編號 \ 次數 變形量	一	二	三	四	五	平均
甲	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.52
乙	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.52
丙	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.48
平均	1.51					

(3) U字形

編號	變形量	次數					平均
		一	二	三	四	五	
甲		1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.32
乙		1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.38
丙		1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.38
平均		1.36					

(4) I字形

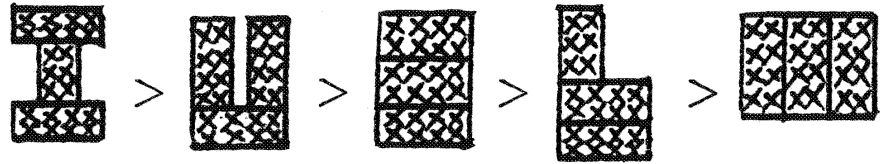
編號	變形量	次數					平均
		一	二	三	四	五	
甲		0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.76
乙		0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.72
丙		0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.74
平均		0.74					

(5) L字形

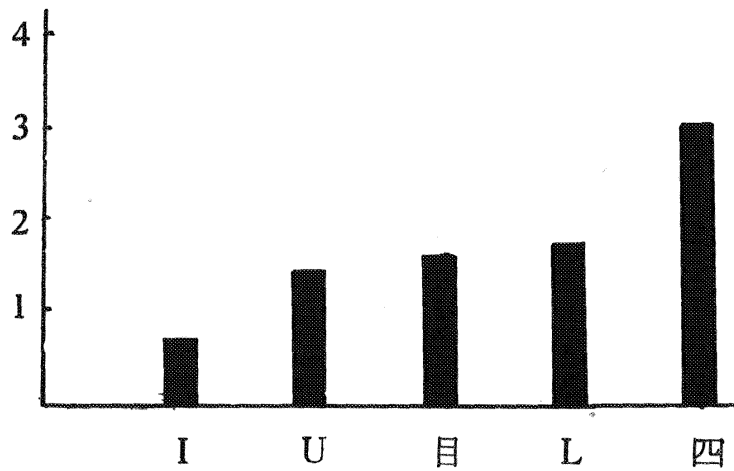
編號	變形量	次數					平均
		一	二	三	四	五	
甲		1.6	1.5	1.5	1.6	1.5	1.54
乙		1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.52
丙		1.5	1.5	1.5	1.6	1.5	1.52
平均		1.53					

(6)相同材料，相同的斷面積，在不同的組合之後，以 I 字型的組合變形最小，承載能力最強。

承載能力大小依次為：



(7)各造形變形量直條圖



問題八：樑中加筋的位置對承載能力有何影響？

實驗八：（水泥強度太強，不易測試，以石膏代替）

方法：(1)石膏、石粉、沙、水做以下的比例調配：

分類 \ 項目 比例	石膏	石粉	沙	水
①	1	3	7	2
②	2	4	6	2
③	3	5	4	2
④	4	3	5	2
⑤	5	4	3	2

（單位：克）

(2)將各比例拌成的混合物灌入模型中，形成長方體，於陽

光下曝曬 24 小時。

(3)將曬乾之各泥硬，放在硬度計上測出其硬度。

結果八：(1)各不同比例的泥塊硬度如下：

分 類 \ 項 目 比 例	石 膏	石 粉	沙	水	硬 度
①	1	3	7	2	2.5
②	2	4	6	2	11.8
③	3	5	4	2	超過 20
④	4	3	5	2	6.8
⑤	5	4	3	2	超過 20

(爲了便於實驗，不取硬度太強，以免測試時增加困擾，因此採取第①類比例)

實驗九：

方法：(1)依比例 1 : 3 : 7 : 2，秤出石膏，石粉，沙及水混合攪拌。

(2)用二塊長 60 公分，寬 10 公分，厚 1.5 公分及二小塊長 9 公分，寬 5.5 公分，厚 1 公分的木板釘成模型槽。

(3)取直徑 0.3 公厘的竹條當做加強筋，將混合土倒入模型槽內，其斷面如下：

竹 條 \ 分 類	斷 面							
一	·	·	·	·	·	·	·	·
二	··	··	··	·	·	·	·	·
三	···	···	···	·	·	·	·	·
四	····	····	····	·	·	·	·	·
六	···	···	·	·	·	·	·	·

(4)模型晒一星期後，置於支架上，在中心點載重。

結果九：(1)

斷面		kg						
		變化	1	2	3	4	5	6
	•		0					
	•		0	0				
	•		0	0	0	0		

以□>◻>◼

(“0”→完整 →微裂 →斷)

(2)加強筋 2 支時強度以◻>◻>◻>◻。

(3)3 支時強度以◻>◻>◻>◻>◻>◻>◻。

(4)4 支時強度以◻>◻>◻>◻=◻>◻=◻>◻。

(5)6 支時強度◻>◻>◻>◻。

問題九：樑中加筋的位置也影響耐震壓的強度嗎？

實驗十： ※各速度之承受力（單位：kg）

段速	2.3	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
承受力	12.5	14	16	19.5	24.5	27	31.5	32.5

(1)自製一座有速度變化之震壓器。

(2)和方法九一樣灌模，一樣斷面。

(3)模型：長 55 公分，寬 5.5 公分，高 6 公分。

結果十：(1)1 支 2.5 段速時以◻>◻>◻。








(2)2 支 3 段速以◻>◻=◻>◻。

(3)3 支 4 段速時以◻>◻>◻>◻>◻>◻。

(4)4 支 5 段速時以◻>◻>◻>◻>◻>◻>◻。

(5)6 支 6 段速時以◻>◻>◻>◻。

六、討 論

1. 樑的中心所加載重量增為 2 倍，變形量約為 2 倍。
2. 加載重量的位置越靠近中心點，變形量大。
3. 樑的支點距離越小，承載重量越大；反之越小。支點距離每增加一倍，變形量就大約增為 8 倍，即樑的承載能力降低為 8 倍。
4. 載重集中於中心時變形最大，若分散則可承載較多的重量。
5. 樑的寬度增為二倍，其承載能力也可提高二倍左右。
6. 厚度每增加一倍，其變形大約降為 $1/8$ 倍，即承載能力可以增強約 8 倍左右，怪不得所有的建築物都有厚厚的樑。
7. 相同材料而造形不同時，以 I 字形最堅固，承載重量最多，即同樣要承受 1000 噸的重物，採工字形的設計是最經濟有效用的。
8. 由加強筋載重實驗中可發現：
 - (1) 斷面  比  強度稍差，可見上面 1 根竹條對強度的幫忙不大，底面 2 根的強度佳。
 - (2) 竹條為受拉材料，其排置越低越有效而有效數目越多，強度越高。
 - (3) 竹條之排置以對斷面中心軸相對稱者較佳，不對稱的強度不佳。
9. 由震壓實驗中可發現：
 - (1) 各斷面耐震之能力以竹條有效數目而定。
 - (2) 竹條之位置越近頂面或底面越有效，越能增強耐震能力。
 - (3) 竹條平均放於頂面與底面，比全部置於底面的耐震能力更佳，此和承壓載重不一樣，如  >  >> 。
 - (4) 竹條以對稱斷面之中心為佳，否則耐震能力降低很多；如  > 。

七、參考資料

1. 結構系統 科技圖書公司。
2. 模板工程 混凝土品質控制

沈進發

評 語

1. 研究“桿”之變形與寬度、厚度及結構間之關係，實驗數據頗完整。
2. 以石膏、砂等製「桿」並將竹條置於不同之位置以比較載重及耐衝擊之性質甚為合適。
3. 未能將「變形量」以實際數字表示，圖表宜編號。