

# 工字型的魅力

初小組物理科第二名

台北市東門國民小學

作者：黃予賢

指導教師：李麗華、楊振岳

## 一、研究動機

為什麼在建造一座二、三十層高的大樓時，它的樑柱鋼筋都是用工字鐵呢？是為了省材料，或者是偷工減料？為什麼不用實心鋼鐵來建造比較堅固，比較牢靠呢？到底工字型這個結構的主作用在哪裡呢？我心中充滿著許多疑問和好奇，為了解開心中的疑惑，我決定用實物來作實驗，研究研究這中間是不是暗藏了許多玄機，相信你也跟我一樣，迫不急待的想知道這個謎底，讓我們一起來揭曉吧！

## 二、研究問題

(一) 觀察工字型承受抗壓強度的變化：

1. 工字型與非工字型的結構物體，若柱數相同，所承受的抗壓強度，是否不同？
2. 工字型結構物體，垂直中柱高度相同，但是中柱數量不同時，所承受的抗壓強度，是否不同？
3. 工字型結構物體，垂直中柱只有一柱，但是高度不同時，所承受的抗壓強度，是否不同？

(二) 觀察工字型承受抗彎強度的變化：

1. 縱深比原來抗壓試體加長的工字型樑，如果中柱數量不同，所承受的抗彎強度，是否不同？
2. 縱深比原來抗壓試體加長的工字型樑，中柱只有一柱，但是高度不同時，所承受的抗彎強度，是否不同？
3. 縱深比原來抗壓試體加長的工字型樑與非工字型樑，在相等材料下，所承受的抗彎強度，是否不同？

## 三、實驗器材

(一) 油壓式壓力機一台，壓力表（壓力範圍0-350kg/cm<sup>2</sup>）、變形器（變形範圍0.01-20mm）各一個，以及手動油壓施力棒一支。(二) 小型裁割機、

吸塵器各1台。(三) 0.9公分和0.7公分厚的三夾板數片。(四) 白膠、牙刷。(五) 鐵釘、鐵錘。(六) 熱熔膠數條、熱熔槍1支。(七) 抗彎試驗兩點支撐鋼架1座。

#### 四、實驗過程及記錄

(一) 實驗設計：本實驗研究的主題為物體抗壓和抗彎強度的比較，要作這些比較，首先必須進行試體的破壞，問題是要用什麼材料來作試體？如何進行破壞？在試體材料方面、我首先想到用保麗龍做，但是爸爸說保麗龍的材質結構密度不好，建議我用珍珠板來做，另外在試體的施壓破壞，第一個讓我想到的是學校上數學課用的砝碼，但是砝碼太小了重量不夠，改用空汽水瓶裝水或裝砂，或用鐵塊或瓷磚加壓破壞試試看，首先找了1.5公升的汽水瓶裝水進行試體破壞，但是在破壞時我發現了幾個問題：1.水瓶無法平穩放上面。2.水量必須很多試體才可能被破壞。3.無法掌控實驗穩定性。改用瓷磚、鐵塊施壓，這些問題仍然存在，最後是台大醫工研究室裡的一台油壓式壓力機解決了我的困擾，但是我那用珍珠板好不容易製作的試體，在油壓式壓力機稍一施壓就不堪一擊，根本無法觀察及記錄它被破壞的情形。請教師長他們建議我以裁切及黏接較容易，而且抗壓較強的三夾板做試體，我先做了14個抗壓試體在油壓式壓力機裡做實驗，真棒！除了試體可以擺在同一位置施壓，施壓重心相同，可以做相同條件的比較外，油壓式壓力機上面的壓力表和變形器，都可以清楚的記錄施壓重量及變形情形，我終於可以借助這台油壓式壓力機來進行所有的實驗。

(二) 試體模型的製作：

##### 1. 製作抗壓試體：

步驟一：用0.9公分厚的三夾板作材料，以裁割機裁剪長寬各4.5公分的正方形板59塊，長9公分寬4.5公分、長6.75公分寬4.5公分及長2.25公分寬4.5公分的長方形板各1塊。裁割時爸爸告訴我一定要利用裁割機上的固定角度設備，注意切割面的垂直，以利工字型試體垂直角度的黏接和製作。

步驟二：將準備作為上下面板部分的木板，用尺和筆畫成5等分。

步驟三：依設計好的結構樣式，將木板用白膠黏接，再用熱熔膠加強上下面板與垂直中柱的接觸點，作成14種工字型與非工字型試體。

##### 2. 製作抗彎試驗：

步驟一：用0.7公分厚的三夾板作材料以裁割機裁剪長40公分寬3.5公分

的長方形板14塊，長40公分寬1.75公分長方型板6塊，長40公分寬5.25公分的長方型板1塊。

步驟二：將準備作為上下面板部份的木板用尺筆畫成5等份。

步驟三：依設計好的結構樣式，將木板用白膠黏接後，接合處以鐵釘釘牢，再用熱熔膠加強上下面板與垂直中柱的接觸點，作成6種不同的試體。

### (三) 試體破壞試驗：

#### 1. 抗壓試驗：

步驟一：把抗壓試體放入油壓式壓力機的壓力測試區。

步驟二：變形器的指針與壓力測試區底座的空間，用適當高度的東西做墊撐並使兩點接觸。

步驟三：用手操作油壓施力棒，每施壓10公斤，觀察及做一次施壓力量及變形量記錄，並繼續施壓到試體破壞，記錄破壞當時施壓強度的力量。

#### 2. 抗彎試驗：

步驟一：將抗彎試驗（跨徑30公分）兩點支撐鋼架放入壓力測試區的底座上面。

步驟二：在支撐鋼架上面放置抗彎試體。

步驟三：抗彎試體的中間受力點放置一根圓柱鐵棒，以利做中間施壓的抗彎試驗。

步驟四：用手操作油壓施力棒，施壓至試體破壞，記錄破壞當時的施壓力量。

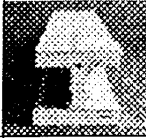
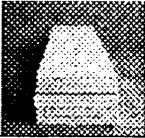

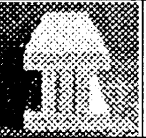

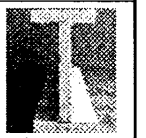




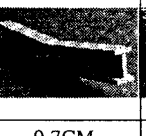
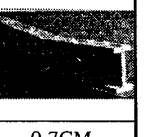
### (四) 試驗記錄：

試體編號	1	2	3	4	5	6	7
試體原樣圖							
試體破壞圖							
試體材料	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板
試體長(縱深)	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM
試體寬(橫)	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM
試體中柱高	豎一柱 4.5CM高	豎二柱 4.5CM高	豎三柱 4.5CM高	豎四柱 4.5CM高	豎五柱 4.5CM高	豎四柱 4.5CM高	豎四柱 4.5CM高

承受力量 (公斤重)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)
20	0	0	0	0	0	0	0
30	0.08	0.19	0.14	0.12	0.1	0.12	0.15
40	0.2	0.25	0.19	0.18	0.15	0.2	0.24
50	0.45	0.32	0.23	0.21	0.2	0.27	0.3
60	0.7	0.42	0.29	0.25	0.25	0.33	0.33
70	1.3	0.5	0.33	0.3	0.3	0.39	0.35
80	2.05	0.65	0.41	0.35	0.35	0.45	0.39
90	3.77	0.79	0.47	0.41	0.39	0.5	0.41
100	破壞	0.98	0.58	0.46	0.42	0.56	0.44
110		1.29	0.7	0.52	0.47	0.62	0.47
120		1.95	0.84	0.61	0.55	0.68	0.56
130		2.2	1.03	0.72	0.59	0.8	0.63
140		2.55	1.29	0.8	0.65	0.89	0.69
150		3.21	1.47	0.91	0.74	1	0.73
160		4.05	1.82	1.07	0.85	1.18	0.81
170		破壞	2.28	1.28	0.95	1.9	1
180			2.57	1.55	1.06	20.3	1.46
190			3.03	1.85	1.2	2.32	1.59
200			3.54	2.06	1.33	2.5	1.76
210			3.83	2.38	1.54	2.69	1.91
220			破壞	2.72	1.85	2.98	2.1
230				3.05	2.08	3.15	2.39
240				3.51	2.44	3.55	2.59
250				3.72	2.73	3.79	2.88
260				4.11	3.1	4.29	3.39
270				4.42	3.65	4.7	3.81
280				4.96	3.84	破壞	4.06
290				破壞	4.04		5.61
300					4.23		破壞
310					4.45		
320					4.97		
330					5.15		
340					5.34		
350					5.5		
					破壞		

試體編號	8	9	10	11	12	13	14
試體原樣圖							
試體破壞圖							
試體材料	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板	0.9CM 厚三夾板
試體長 (縱深)	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM
試體寬 (橫)	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM	4.5CM
試體中柱高	豎三柱 4.5CM高	豎二柱 4.5CM高	豎二柱 4.5CM高	橫一片 0.9CM高	豎一柱 2.25CM高	豎一柱 6.75CM高	豎一柱 9.0CM高
承受力量 (公斤重)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)	變形量(mm)

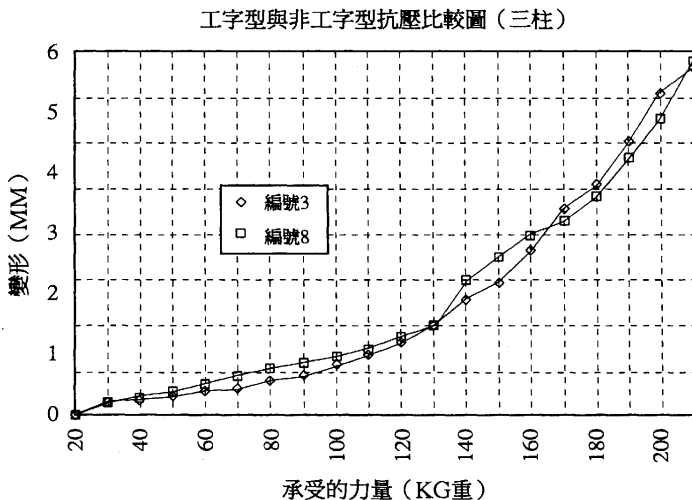
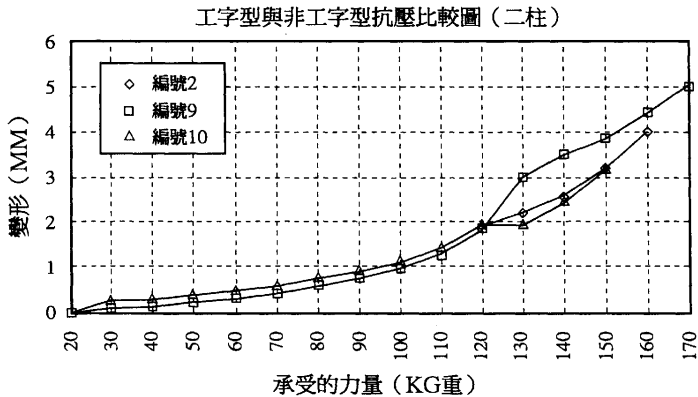
20	0	0	0	0	0	0	0
30	0.16	0.1	0.26	0.04	0.17	0.15	0.39
40	0.21	0.16	0.31	0.1	0.36	0.36	0.63
50	0.28	0.24	0.4	0.14	0.57	0.57	0.9
60	0.36	0.34	0.5	0.17	1.14	0.92	1.33
70	0.44	0.45	0.63	0.2	1.8	1.44	1.9
80	0.54	0.62	0.8	0.3	3.38	2.22	破壞
90	0.59	0.83	0.96	0.33	4.22	破壞	
100	0.66	1.02	1.16	0.42	破壞		
110	0.74	1.24	1.47	0.54			
120	0.87	1.87	1.87	0.63			
130	1.03	3.04	1.96	0.67			
140	1.49	3.53	2.46	0.73			
150	1.74	3.85	3.2	0.84			
160	1.99	4.44	破壞	1.05			
170	2.16	5.03		1.24			
180	2.41	破壞		1.54			
190	2.84			1.88			
200	3.26			2.15			
210	3.88			2.64			
220	破壞			3.09			
230				3.49			
240				4.09			
250				4.47			
260				5.04			
270				5.47			
280				5.79			
290				6.14			
300				6.54			
310				6.81			
320				7.39			
330				7.71			
340				7.91			
350				8.29			
				未破壞			

試體編號	15	16	17	18	19	20
試體原樣圖						
試體破壞圖						
試體材料	0.7CM 厚三夾板	0.7CM 厚三夾板	0.7CM 厚三夾板	0.7CM 厚三夾板	0.7CM 厚三夾板	0.7CM 厚三夾板
試體長(縱深)	40CM	40CM	40CM	40CM	40CM	40CM
試體寬(橫)	3.5CM	3.5CM	3.5CM	3.5CM	3.5CM	3.5CM
試體中柱高	豎一柱 1.75CM高	橫一片 0.7CM高	豎二柱 1.75CM高	豎三柱 1.75CM高	豎一柱 3.5CM高	豎一柱 5.25CM高
承受力量(公斤重)	23	21	25	27	30	33

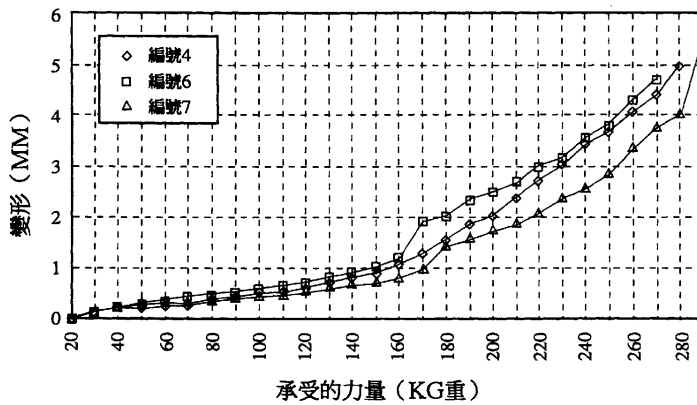
## 五、結果與討論

討論（一）：工字型與非工字型的結構物體，如果柱數相同，所承受抗壓強度的比較：將垂直二柱（編號2、9、10號試體）、三柱（編號3、8號試體）、四柱（編號4、6、7號試體）試體的實驗數據作比較，發現他們的抗壓受力與變形折線圖大致相似，只要柱數量相同時，它的抗壓強度大致相同。（如二柱、三柱、四柱抗壓比較圖）。

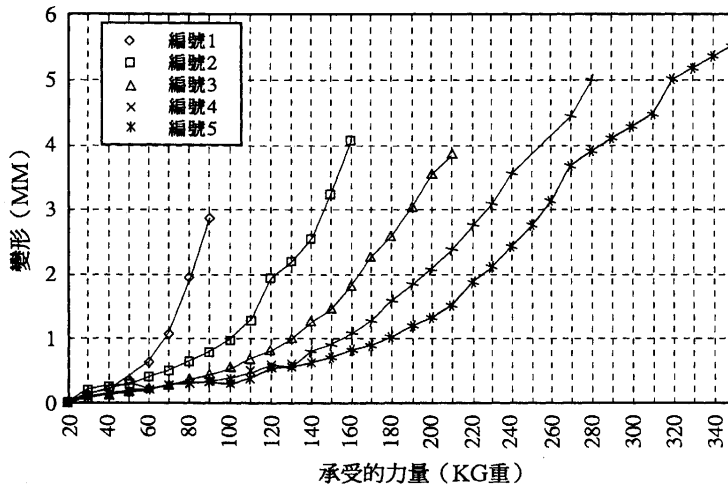
討論（二）：工字型結構物體，垂直中柱高度相同，但是中柱數量不同時，所承受抗壓強度的比較：將編號1、2、3、4、5試體的實驗數據作比較，發現支撐中柱數量愈多的試體，它的抗壓效果愈強。（如寬度變化抗壓比較圖）。



工字型與非工字型抗壓比較圖（四柱）

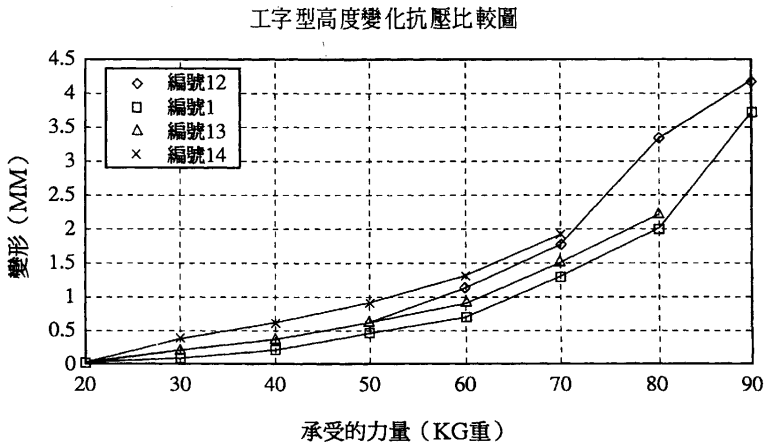


工字型寬度變化抗壓比較圖



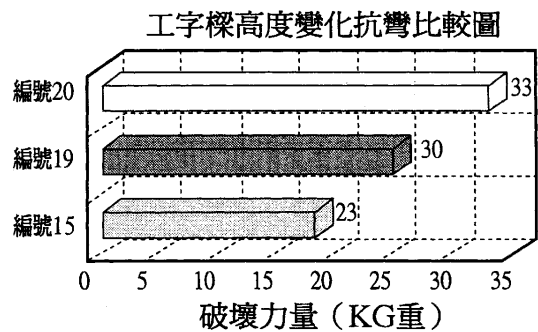
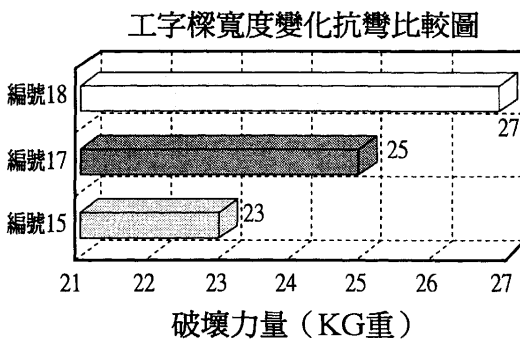
討論（三）：工字型結構物體，垂直中柱只有一柱，但是高度不同時，所承受抗壓強度的比較：將編號12、1、13、14試體（高度比0.5：1：1.5）的實驗數據作比較，發現高度愈低者抗壓效果愈好。（如高度變化抗壓比較圖）。這個試驗結果相當有意思，如果由討論一和討論二的結果推論，照理說愈多的支撐材料，應該會有較高的抗壓強度，然而本試驗卻得到相反的結果，試體愈高的抗壓強度反而愈差。為此，我們找出材料的破壞試體來看，發現一件有趣的現象，材料的抗壓破壞，並不像我們用力去壓水球或一疊衛生紙一樣均勻的變扁，而是上下交錯而折斷的，經過我與師長討論，知道這種現象，是力學上所謂的“剪力”，也就是材料在承受上下壓力時，所承受的力量並非沿著一直線變形，而是兩個 $\uparrow\downarrow$ 交錯著的力量，就好像剪刀在剪紙一般，將紙撕成兩段，這是件相當有

趣的現象。綜合上面的討論，我似乎在工字型的抗壓實驗中，沒有得到答案，工字型的魅力到底在哪裡？我還是不知道，在請教師長後，他們建議我試著從抗彎實驗裡去找答案。



討論（四）：縱深比原來抗壓試體加長的工字型樑，如果中柱數量不同，所承受抗彎強度的比較：將編號15、17、18試體的實驗數據作比較，發現它們的抗彎強度，會隨著垂直中柱數量的增加而增強。（如寬度抗彎比較圖）。

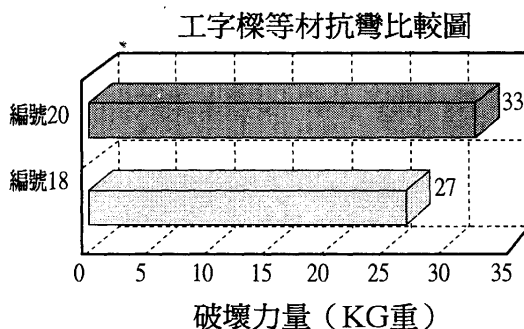
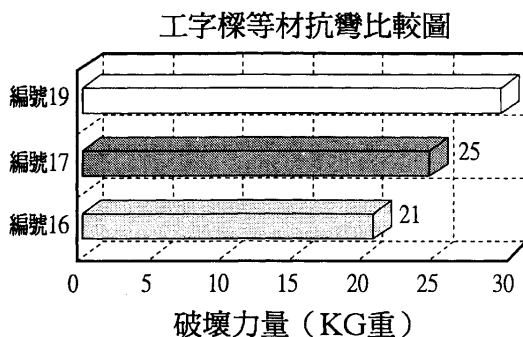
討論（五）：縱深比原來抗壓試體加長的工字型樑中柱只有一柱，但是高度不同時，所承受抗彎強度的比較：將編號15、19、20試體（高度比0.5：1：1.5）的實驗數據作比較，發現隨著垂直中柱愈高，抗彎強度愈強。（如高度抗彎比較圖）。



討論（六）：縱深比原抗壓試體加長的工字型樑與非工字型樑，在相等材料下，所承受的抗彎強度比較：將編號16、17、19及編號18、20等兩組試體的實



驗數據作比較，發現在相等材料下，工字型的結構體抗彎效果最強。（如等材抗彎比較圖）。由前述的一些結果，我們一直得不到，到底工字形有何優點，似乎材料愈厚愈多，它承受力量的強度就會愈高，這似乎沒什麼好說的，但是為什麼建築房屋的樑柱要用工字鐵呢？終於在這個討論得到了答案。相等數量的材料，如果將他疊成如編號16般的試體，它的抗彎強度卻明顯不如將中間一塊疊板，改成直立作為中柱，形成如編號19的工字型試體（編號16的抗彎強度為21公斤重，編號19的抗彎強度為30公斤重）。綜合上面的交互討論，我們也了解到抗壓強度的大小，和材料的面積大小有關，但是工字型的抗壓效果並不是最強的，工字型樑的抗彎效果才是最強，而且和它的高度有關。因此，我們在考慮材料承受力量的能力時，除了考慮它的抗壓強度外，抗彎強度應該是更值得重視的，這也就是工字型最具魅力的地方。



## 六、結論

很高興經過辛苦的實驗結果，終於讓我發現工字型最具魅力的地方是在它承受抗彎的壓力比其它非工字型的結構體來得強，這就如同當我們雙手緊握長尺的兩端，往扁平方向施壓時，很容易就將長尺折彎，但是如果往直豎方向施壓時，往往費上很大的力氣也不能將它折彎，是一樣的道理。其實我們生活中也經常可發現到工字型承受抗彎強度的利用，譬如台北市公車候車亭的支柱、活動鋁梯的主幹柱、水壺或杯子的把手等等都是工字型的利用。最後總結整個實驗發現的現象如下：

- (一) 工字型結構在抗壓方面並沒有顯著的效果：譬如編號11的非工字型結構試體，在承受350公斤的重量壓力下，試體還不會破壞，但以相等的材料組成編號1的工字型試體，在承受90-100公斤的重量壓力時，即發生破壞現

象。

- (二) 工字型樑結構體的中柱高度，才是工字型的魅力所在：譬如編號16的非工字型樑試體與編號19的工字型樑試體，它們所用的材料是相等的，但在抗彎強度卻有明顯的差距，分別為21與30公斤。所以工字型樑結構體中柱愈高，抗彎強度愈大。
- (三) 超過理想高度的工字型結構體，它的抗壓強度與抗彎強度將愈弱：工字型結構體的中柱高度超過理想高度時，它的抗壓與抗彎強度將愈弱。這是因為愈高的中柱，在試體被破壞時，容易受側向力量的影響，因此，工字型結構體的中柱高度應有一定的理想高度。所以，以一個建築工程師的觀點來考量，在安全的範圍，如果能找到較高的抗彎強度、適當的抗壓強度的材料來蓋房子時，當然是愈節省材料愈好，因此，樑柱用工字型就沒什麼好疑問的了！我的疑惑終於解開了，你是不是也跟我一樣呢！

## 評語

從觀察大樓樑柱鋼筋的結構，提出問題，然後設計實驗，找出為何工字型樑柱結構能承受抗彎強度的原因。本作品之實驗過程及記錄，包括實驗設計，試體模型的製作以及試驗記錄等均尚稱完整，由分析實驗結果所得到的結論亦很正確。本作品雖得助於學生家長及教師，但作者表達清晰，亦能回答若干重要問題，顯示其對本作品著力甚多，值得鼓勵。