

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(二)科

探究精神獎

052411

應用非對稱縮尺建物進行斜撐補強效益之初步
評估

學校名稱：新北市立瑞芳高級工業職業學校

作者： 職二 林韋杉 職二 李至佳 職一 陳宇其	指導老師： 李銘哲 趙雅靜
---	-----------------------------

關鍵詞：縮尺模型、斜撐補強、減震效應

摘要

臺灣屬地震頻繁地區，隨著臺灣民眾對建物造型特殊性與結構安全性的意識提升，為能達住宅居住安全與舒適功能，國震中心投入相當大的成本進行耐震試驗，因此實驗模組想透過縮尺建物進行非對稱建築物結構斜撐補強探討其消能效益。

本研究係利用相同柱子數量、建物面積、樓層高度，但型式不同的建物進行耐震試驗，並透過不同變因的實驗組，模擬不同地震波與不同補強位置的對照組，於位移、軸力與加速度進行比較，分析在實驗後各方面的特性差異。

藉由實驗結果以「平面型式」、「桿件總長度」、「補強位置」探究建物消能效益，顯示出對稱系統之斜撐補強於「軸力」、「位移」、「加速度」皆有明顯消能效益，若非對稱系統則有尺寸效應，仍會產生消能差異。

壹、研究動機

臺灣屬多地震帶國家，傳統老舊建築物經時間的洗禮，有些建築物本體已殘破不堪，雖有些老舊建築物外表無礙（如圖 1-1），實質結構可能已經存在我們肉眼看不見的安全疑慮。除了老舊建築物的結構安全問題；就連新一代建築師天馬行空的創意發想特殊建築構造（如圖 1-2），造就了各式各樣不同型的特殊建築。然在這些老舊建築物及特殊建築物裡存在一些潛在的危險因子（如圖 1-3），那麼在現實生活中我們該如何針對這些建築物做補強，才能使它住起來安全又舒適呢？又該如何補強才能讓建築物在結構安全性上沒有疑慮？因此我們想透過縮尺模型研究相關建築物安全性的議題並加以探討。



圖 1-1 老舊建築物

資料來源：<https://goo.gl/ivGD7B>



圖 1-2 陶朱隱園特殊建築

資料來源：<http://www.tao-zhu.com.tw/>



圖 1-3 老舊建築物的潛在危險

資料來源：<https://reurl.cc/WRqye>

貳、研究目的

本研究目的就是找出各種建築物型式差異，並利用縮尺模型取代消耗性較大的大型實體建築物來做結構安全實驗，因此我們將這些建築物型式做一系列整理、進行實驗模擬，並探討在一致的控制變因下即平面型式、桿件總長度與補強位置，進行探討建築物軸力、位移、加速度之應變變因。

此外我們將建築物模型分成兩類，第一類以對稱性建築物—O字型為對照組，第二類以非對稱性建築物—L字型、U字型、T字型為實驗組，加以斜撐作為補強，從中探討經過斜撐補強的建築物是否真的對地震波有減震的效果。其中主要探討目的如下：

- 一、瞭解不同結構平面型式之消能效益關係。
- 二、分析在不同的桿件總長度上其消能效果。
- 三、探討斜撐補強系統於建築物結構應用之位置選定原則。

參、研究設備及器材

一、使用材料與工具

項次	名稱	數量
1	泡棉膠	3捲
2	螺絲	16個
3	鐵絲	3捲
4	美工刀	1把
5	PASCO 桿件	4組
6	電鑽	1組
7	膠帶	3捲
8	一字起子	2支
9	固定器	8個
10	質量塊	60塊
11	鐵鎚	1把
12	繩子	1捆

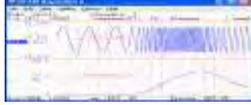


The photograph shows a collection of tools and materials laid out on a white surface. The items are labeled with Chinese text: 鐵鎚 (Hammer), 美工刀 (Utility knife), 螺絲 (Screws), 質量塊 (Mass blocks), 鐵絲 (Wire), 泡棉膠 (Foam glue), 膠帶 (Tape), 電鑽 (Power drill), 一字起子 (Screwdriver), 固定器 (Fasteners), 繩子 (Rope), 電動螺絲起子 (Electric screwdriver), and PASCO 桿件 (PASCO rods).

二、使用儀器

項次	名稱	數量	
1	六軸式震動平台	1 台	 <p>六軸式震動平台</p>  <p>集線器</p>  <p>負載感測器</p>  <p>雷射切割機</p>  <p>無線運動感測器</p>  <p>無線加速度感測器</p>  <p>加速規監測設備</p>  <p>電子磅秤</p>  <p>攝影機</p>
2	SPARKlink Air 主機	2 台	
3	負載放大器	2 台	
4	負載感測器 100N	8 台	
6	雷射切割機	1 台	
7	加速規監測設備	1 組	
8	電子磅秤	1 台	
9	攝影機	1 台	
10	集線器	1 台	
11	無線加速度感測器	1 台	
12	無線運動感測器	1 台	

三、使用程式

項次	名稱	數量	
1	多功能分析軟體 Capstone	1 套	 
2	儀器軟體管理器 DATAQ	1 套	 

肆、研究過程或方法

本研究之研究架構流程圖，如圖 4-1 所示。

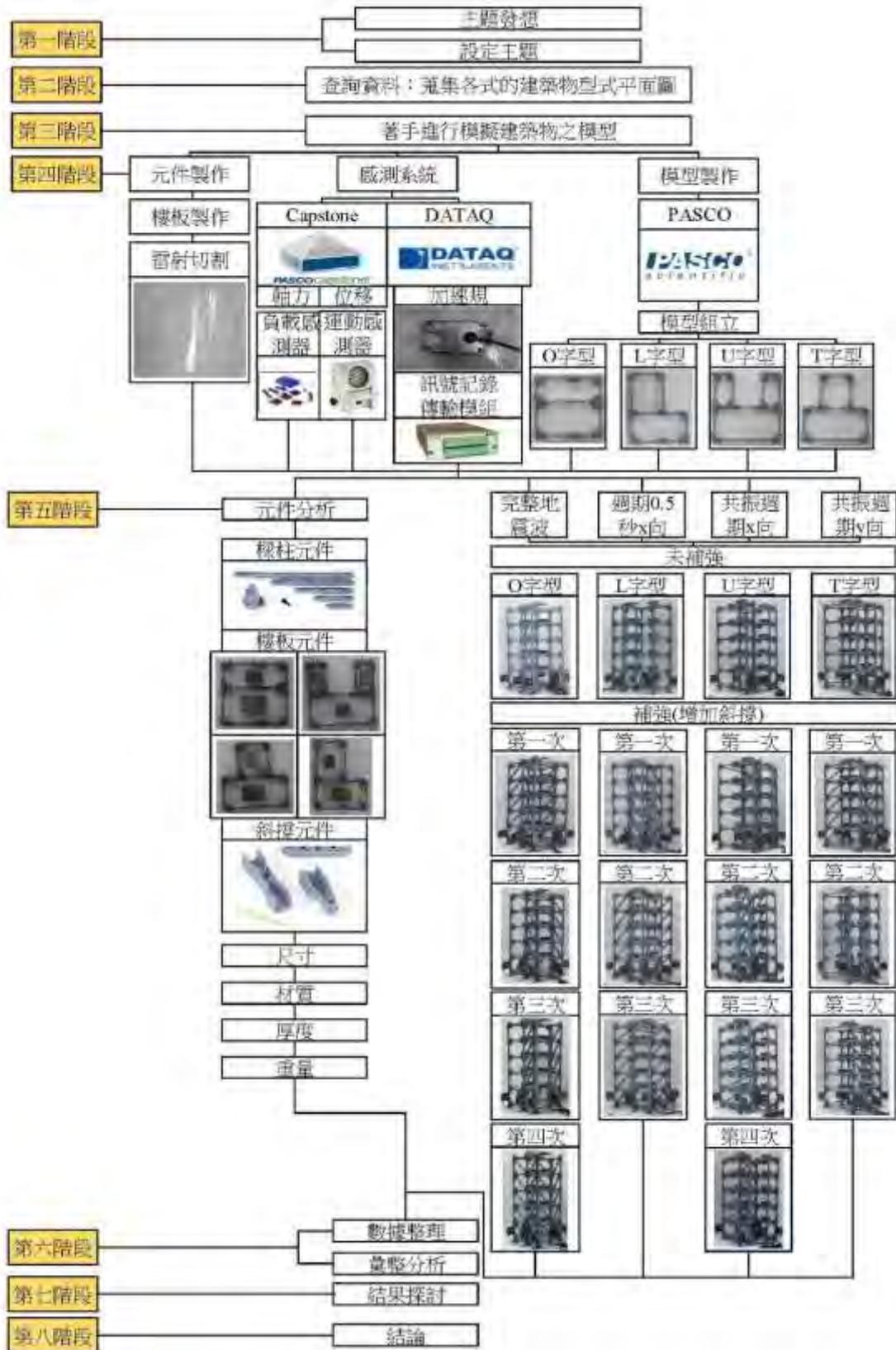


圖 4-1 研究架構流程圖

一、蒐集建物資料與分析

蒐集相關建物資料：本研究透過網路搜尋，臺灣建築物結構型式可大略分成兩類，一類是對稱性建築物，一類是非對稱性建築物。我們大膽假設對稱性建築物比非對稱性建築物在結構安全性上較為堅固。

■文獻探討蒐集：探討在一致的控制變因之下，對稱性建築物是否比非對稱性建築物更為堅固。

■研究步驟：相關研究步驟圖如圖 4-2 所示。

- 1、蒐集不同俯視型式的建築物。
- 2、統整資料並分類常見建築物型式，有：O 字型、L 字型、U 字型與 T 字型。
- 3、利用 PASCO 桿件模擬組合不同型式建築物模型。

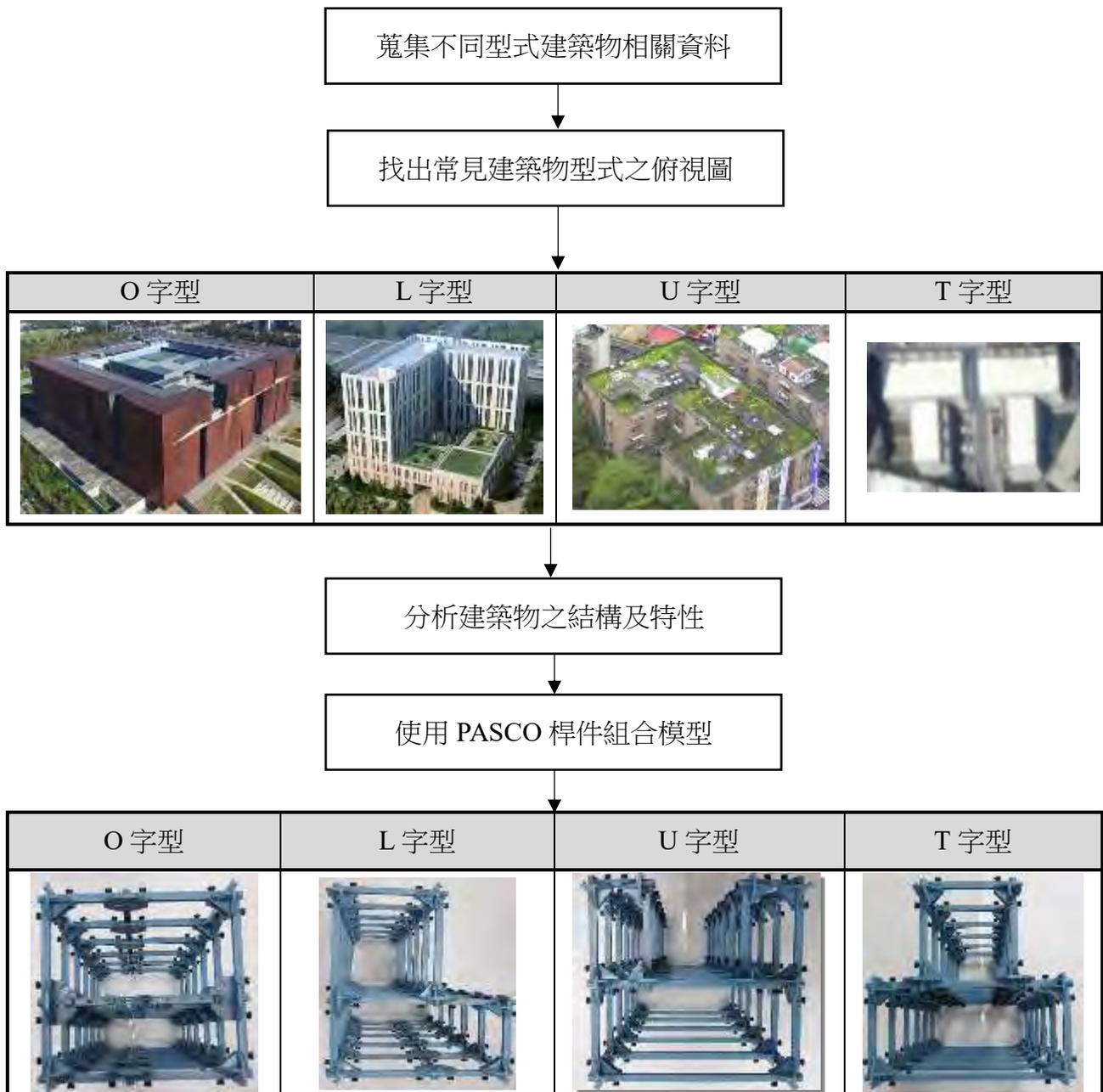


圖 4-2 研究步驟圖

二、實驗模擬耐震試驗

■試驗目的：利用六軸式震動平台輸入週期 0.5 秒、共振週期與完整地震波的數據來進行地震模擬，再利用負載感測器、無線加速度感測器與無線運動感測器接收測試數據，從中可得知每一根柱體的軸力、位移和加速度資料，因此可探討出哪一根柱體所承受的力是最大的，並利用位移值探討模型之堅固性。

■試驗步驟：1、組合 O 字型、L 字型、U 字型、T 字型的模型。
2、將模型安裝至六軸式震動平台。
3、在模型的一樓柱體安裝負載感測器。
4、進行不同週期的地震模擬實驗。

相關實驗模擬之耐震試驗操作程序流程說明表，如表 4-1；實驗模擬之耐震試驗操作程序說明表，如表 4-2；實驗模擬之耐震試驗模組下現場操作現況圖，如圖 4-3。

表 4-1 實驗模擬之耐震試驗操作程序流程說明表

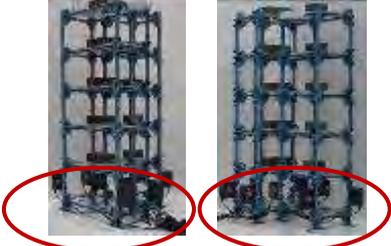
項目 順序	主旨	說明	圖片
Step 1	製作模型	利用 PASCO 桿件組合模擬建築物模型	
Step 2	量取樓板尺寸	利用游標卡尺量測樓板尺寸大小，並繪製設計圖	
Step 3	製作樓板	利用 CAD 完成樓板設計圖，利用雷射切割機切割樓板	
Step 4	安裝負載感測器	在每一個模型的第一層柱體安裝負載感測器，蒐集軸力數據	
Step 5	進行模擬試驗	利用六軸式震動平台進行完整地震波、週期 0.5 秒與共振週期的地震模擬	
Step 6	轉換 EXCEL 進行分析討論	1、比較對照組與實驗組之頂層軸力、位移、加速度關係 2、比對對照組與實驗組頂層之減震效益	

表 4-2 實驗模擬之耐震試驗操作程序說明表

步驟	操作內容	說明
Step 1	進行200gal地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)
Step 2	進行自然振動頻率	給予建物一垂直與單方向微震動 的方法來量測自然振動頻率
Step 3	進行週期0.5秒地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)
Step 4	進行共振X向地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)
Step 5	進行共振Y向地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)



圖 4-3 實驗模擬之耐震試驗模組下現場操作現況說明圖

三、重心、形心與慣性矩計算依據

■試驗目的：透過重心、形心與慣性矩計算，能瞭解建築物在地震來臨時建物本身是否會因為重心、形心與慣性矩的關係造成扭轉的情況。

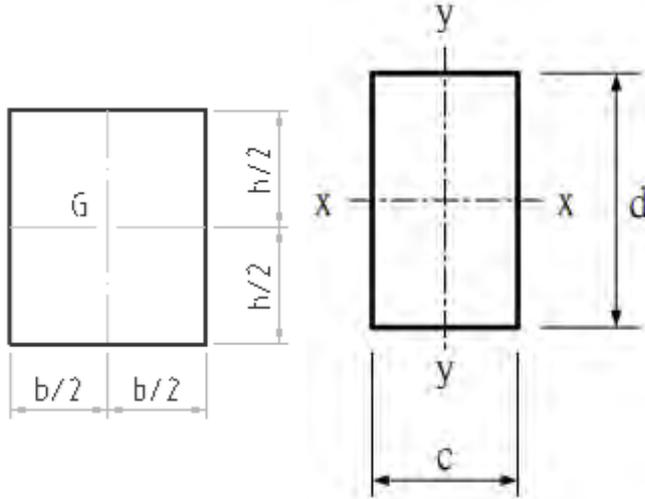


圖 4-4 矩形重心圖形 圖 4-5 矩形形心圖形

視物體由無數個質點所組成，把物體的重量集中於一點，此點稱為物體重心（如圖 4-4）。

形心（如圖 4-5）是指形狀的幾何中心，若物體為均質材料，則形心位置會與質心位置重合。

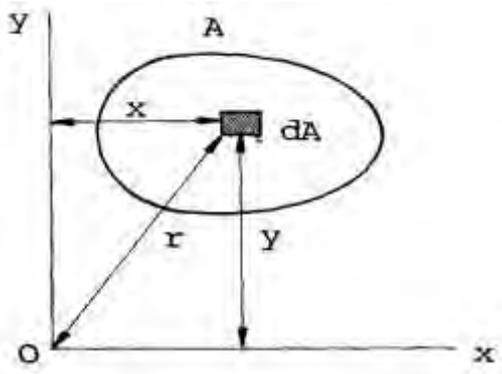


圖 4-6 面積慣性矩

一個特定平面可以考慮成由許多微小的平面所組成，而這些微小平面的面積乘以其形心至參考軸距離的平方和，稱為一特定平面對此一參考軸之慣性矩（如圖 4-6）。

重心的 \bar{x} 公式：

$$\bar{x} = \frac{\sum W_i X_i}{\sum W_i} \text{-----式 1-1}$$

重心的 \bar{y} 公式：

$$\bar{y} = \frac{\sum W_i Y_i}{\sum W_i} \text{-----式 1-2}$$

形心的 \bar{x} 公式：

$$\bar{x} = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i} \text{-----式 1-3}$$

形心的 \bar{y} 公式：

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} \text{-----式 1-4}$$

慣性矩的 I_x 公式：

$$I_x = \frac{bh^3}{12} \text{-----式 1-5}$$

慣性矩的 I_y 公式：

$$I_y = \frac{hb^3}{12} \text{-----式 1-6}$$

伍、研究結果

本研究是透過縮尺模型、斜撐元件、負載感測器、無線運動感測器、無線加速度感測器、六軸式震動平台與微震動感測設備進行一系列的實驗（如表 5-1），以下就實驗結果分為建物受地震波後之位移、軸力、加速度之量測結果，依序分項說明如下。由於結構模型型式不同，為更有效區分補強位置，我們將每根柱位編號（補強 1~補強 4），以利分析實驗模擬數據。

表 5-1 各建物結構補強斜撐平面型式配置表

	O 型未補強	L 型未補強	T 型未補強	U 型未補強
B-O-C-X				
B-O-C-X				
B-O-C-X				
E-L-R-X				
E-L-R-X				
B-O-C-X-1				
B-O-C-X-1				
B-O-C-X-1				
E-L-R-X-1				
B-O-C-X-1				
E-L-R-X-1				
B-O-C-X-2				
B-O-C-X-2				
B-O-C-X-2				
E-L-R-X-2				
B-O-C-X-2				
E-L-R-X-2				
B-O-C-X-3				
B-O-C-X-3				
B-O-C-X-3				
E-L-R-X-3				
B-O-C-X-3				
E-L-R-X-3				
B-O-C-X-4				
B-O-C-X-4				
B-O-C-X-4				
E-L-R-X-4				
B-O-C-X-4				
E-L-R-X-4				

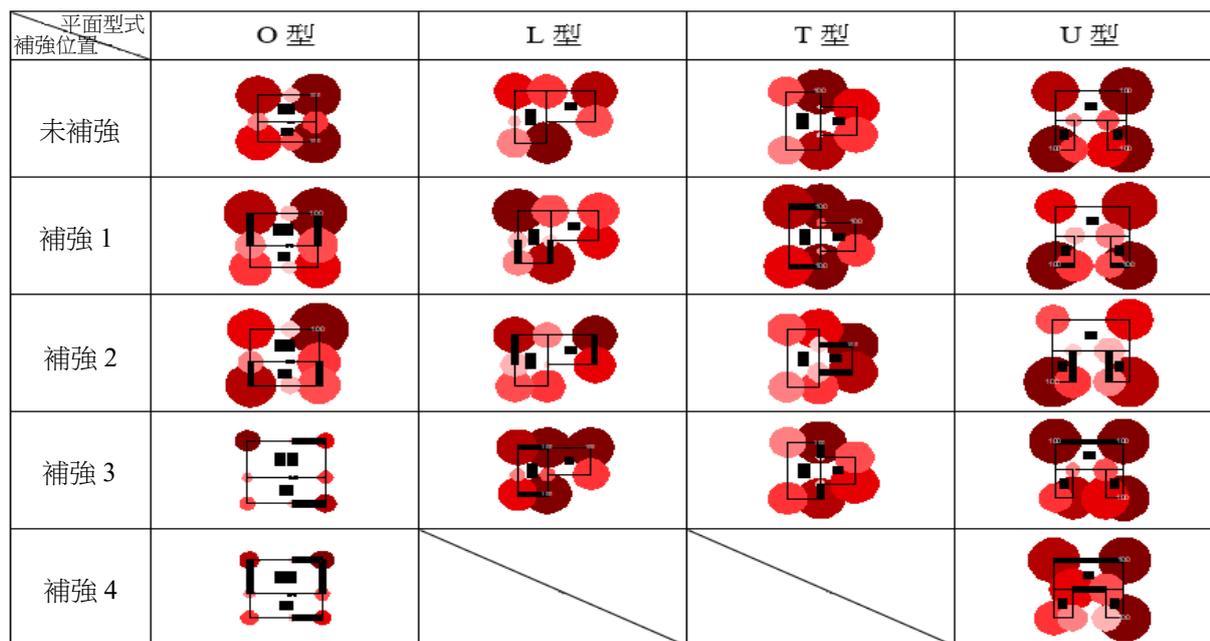
圖例說明

H，柱子斷面方向

—，斜撐補強位置

■，質量塊

一、軸力



圖例說明 ● 軸力大小 (註:圓越大軸力越大) — 斜撐補強位置 ■ 質量塊

圖 5-1 各模型型式於 EQ5 完整地震波週期軸力圖

表 5-2 各模型型式於 EQ5 完整地震波週期軸力數據表

型式	補強位置	柱位 1	柱位 2	柱位 3	柱位 4	柱位 5	柱位 6	柱位 7	柱位 8
O 型	未補強	88.19	39.45	89.75	31.12	100	49.84	100	41.46
	補強 1	71.35	51.77	88.96	27.71	100	68.18	79.51	24.69
	補強 2	83.87	41.95	76.83	29.48	100	72.16	71.65	31.83
	補強 3	21.33	14.77	35.08	10.21	25.59	21.78	30.54	12.91
	補強 4	25.68	17.39	29.81	10.02	34.24	23.35	26.36	11.99
L 型	未補強	64.04	23.37	78.60	74.20	87.42	69.37	7.51	92.47
	補強 1	57.31	37.64	95.20	69.70	77.74	78.78	26.39	92.57
	補強 2	71.06	53.48	80.56	54.74	86.17	80.17	11.91	71.11
	補強 3	81.47	29.42	87.77	100	100	76.71	31.35	100
T 型	未補強	63.53	64.43	100	6.52	82.82	79.36	10.27	88.61
	補強 1	92.80	96.09	100	17.38	100	69.64	15.33	100
	補強 2	69.08	73.56	92.60	33.88	100	95.22	43.28	76.16
	補強 3	75.20	69.88	100	14.85	73.31	92.48	15.93	95.19
U 型	未補強	100	81.07	100	100	75.56	42.35	27.90	53.08
	補強 1	100	71.91	99.41	100	52.81	51.30	35.03	65.23
	補強 2	100	57.47	81.57	99.47	54.58	51.27	26.58	62.44
	補強 3	62.68	100	100	100	67.17	47.65	28.93	92.43
	補強 4	74.08	97.55	100	100	54.63	66.18	87.67	55.93

(註：紅色為最大值，藍色為最小值) (單位：牛頓 N)

質化分析：由上圖與上表可知 O 型軸力於 EQ5 完整地震波獲取良好的消能效益。

量化分析：由上圖與上表可觀察出，O 型的未補強與補強 3 在 EQ5 完整地震波有明顯的數據差距，所以補強 3 為最良好的補強位置，能有效發揮消能效果。而 L 型的未補強與補強 3 在 EQ5 完整地震波也有明顯的差距，未能發揮消能效果。

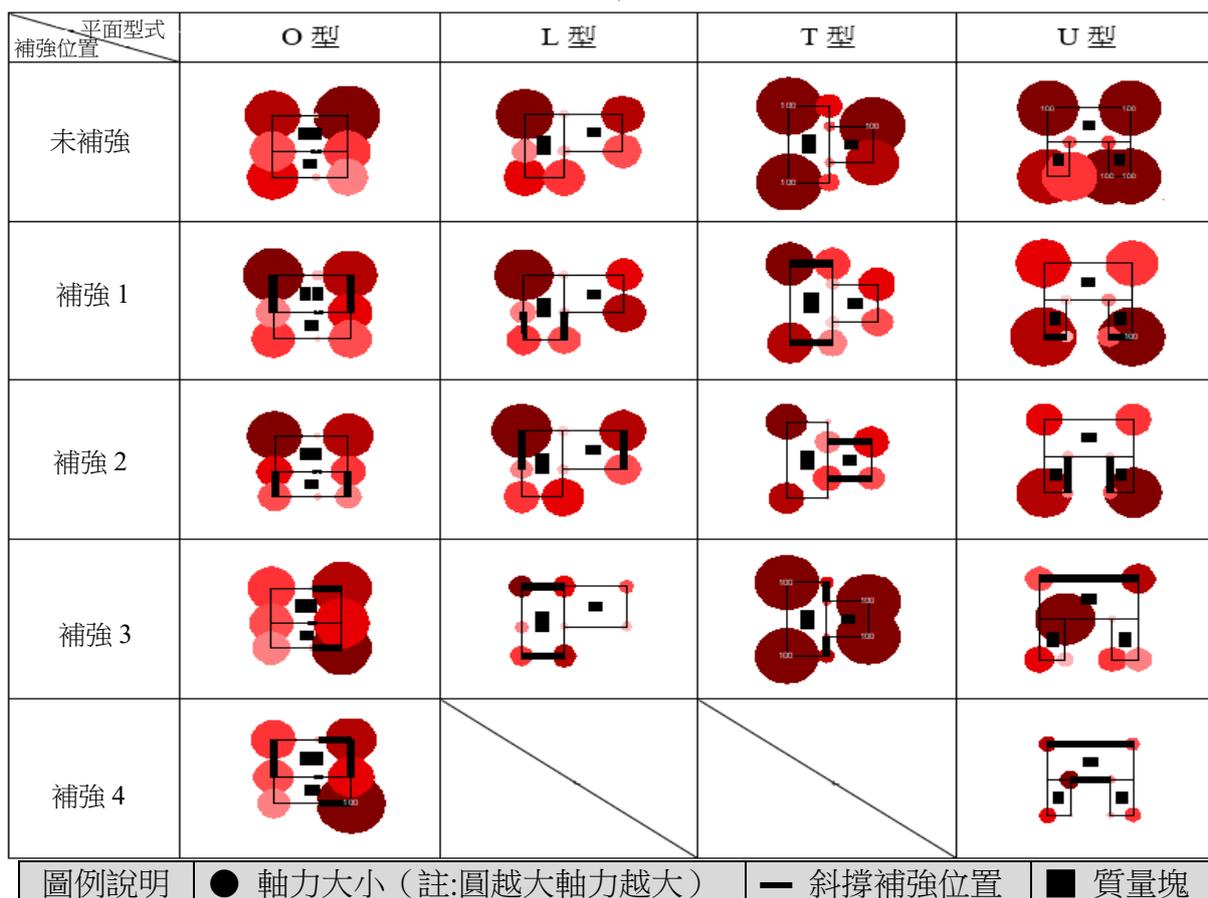


圖 5-2 各模型型式於共振週期 X 向地震波週期軸力圖

表 5-3 各模型型式於共振週期 X 向地震波週期軸力數據表

型式	補強位置	柱位 1	柱位 2	柱位 3	柱位 4	柱位 5	柱位 6	柱位 7	柱位 8
O 型	未補強	77.81	68.80	84.18	5.80	100	70.41	62.12	11.79
	補強 1	63.36	50.72	88.54	15.49	79.85	64.36	62.43	8.52
	補強 2	49.57	54.34	84.39	9.38	76.30	52.90	40.75	12.32
	補強 3	59.35	69.39	75.74	7.72	95.54	89.82	96.39	11.23
	補強 4	47.93	58.46	65.32	9.80	73.92	66.59	100	6.33
L 型	未補強	67.46	40.80	90.77	16.36	67.63	60.61	19.09	63.74
	補強 1	51.33	38.87	89.15	14.00	55.48	64.71	15.45	49.54
	補強 2	53.70	32.97	92.45	16.59	70.31	53.58	16.77	64.21
	補強 3	32.63	19.31	35.00	34.06	21.62	15.19	11.09	34.81
T 型	未補強	100	100	39.91	15.92	100	79.94	14.10	29.63
	補強 1	66.67	70.72	52.30	17.74	55.04	45.47	19.94	43.23
	補強 2	52.45	61.91	8.07	37.08	51.83	39.31	42.76	6.31
	補強 3	100	100	19.88	12.04	100	100	9.78	23.62
U 型	未補強	99.50	100	100	100	100	22.89	20.21	89.22
	補強 1	99.50	82.19	77.10	100	33.42	20.62	15.89	17.52
	補強 2	83.65	53.80	53.12	84.88	20.00	12.08	15.59	15.94
	補強 3	39.62	37.11	45.06	35.26	37.22	10.72	79.76	21.23
	補強 4	25.77	26.17	21.51	23.73	10.37	13.66	30.50	7.69

(註: 紅色為最大值, 藍色為最小值) (單位: 牛頓 N)

質化分析: 由上圖與上表可知 T 型補強 2 具有較佳的消能效益。

量化分析: 由上圖與上表可觀察出, L 型在共振週期 X 向的搖晃下, 可觀察出 L 型的補強 3 為三個補強位置裡最能有效的達到消能效益。

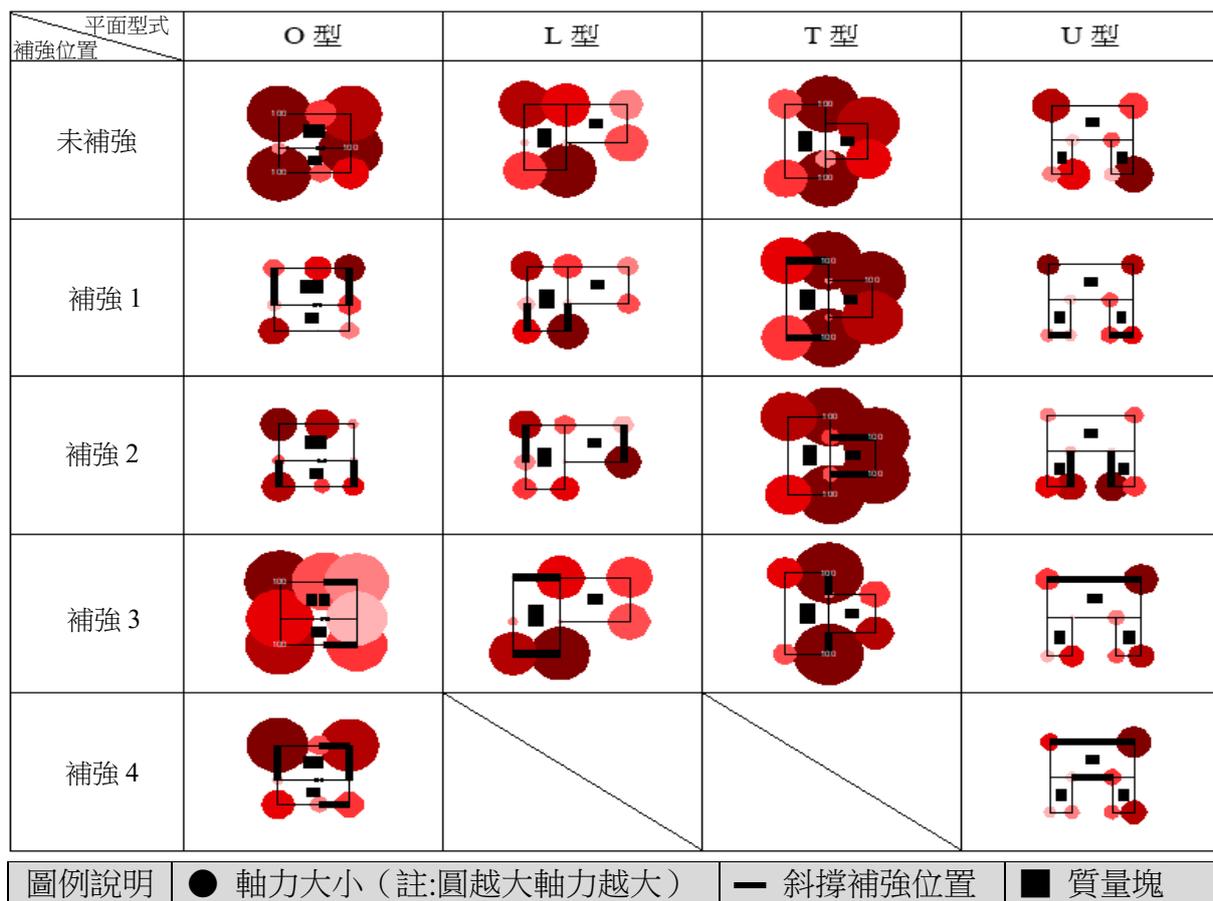


圖 5-3 各模型型式於共振週期 Y 向地震波週期軸力圖

表 5-4 各模型型式於共振週期 Y 向地震波週期軸力數據表

型式	補強位置	柱位 1	柱位 2	柱位 3	柱位 4	柱位 5	柱位 6	柱位 7	柱位 8
O 型	未補強	100	20.50	100	47.97	98.97	100	55.69	32.38
	補強 1	44.72	20.03	29.61	39.51	45.05	32.99	28.48	2.22
	補強 2	50.42	16.89	55.53	50.42	15.59	11.16	31.55	23.57
	補強 3	100	98.68	100	96.16	95.04	89.82	96.39	11.23
	補強 4	51.43	15.24	97.72	34.01	93.77	9.16	45.52	28.17
L 型	未補強	64.03	12.66	79.22	73.77	50.73	62.76	11.04	93.04
	補強 1	42.93	26.01	49.01	42.70	31.60	34.42	14.27	61.16
	補強 2	35.92	30.66	49.51	32.41	30.32	56.52	4.91	43.35
	補強 3	65.03	12.40	4.25	64.03	60.60	54.85	6.01	79.15
T 型	未補強	66.16	50.31	100	3.12	94.78	69.77	29.99	100
	補強 1	75.46	79.80	100	9.01	100	91.89	9.65	100
	補強 2	67.02	82.36	100	25.07	100	100	23.04	100
	補強 3	32.74	49.90	100	11.58	42.67	52.51	2.62	100
U 型	未補強	27.10	59.79	45.94	64.49	23.09	27.23	20.13	54.95
	補強 1	22.05	35.51	35.07	31.70	28.27	25.14	17.15	19.42
	補強 2	37.74	23.45	29.25	34.62	49.56	10.30	15.47	46.61
	補強 3	19.04	33.58	48.33	36.90	23.42	23.29	8.60	33.66
	補強 4	18.30	29.53	54.14	41.50	24.62	27.75	18.15	23.25

(註：紅色為最大值，藍色為最小值) (單位：牛頓 N)

質化分析：由上圖與上表可知 U 型軸力於共振週期 Y 向的震動下有良好的消能效益。

量化分析：由上圖與上表 T 型軸力於共振週期 Y 向的震動之下，可觀察出 T 型無良好的消能效益。

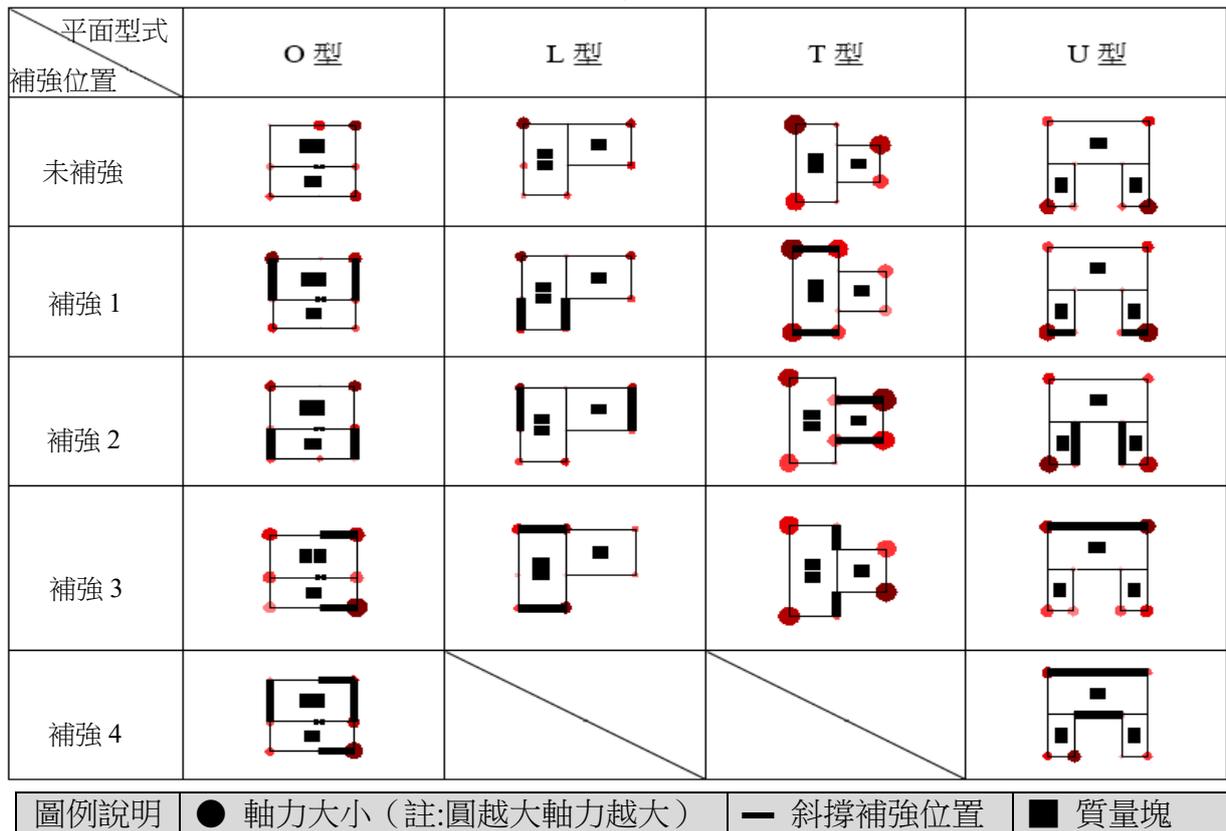


圖 5-4 各模型型式於週期 0.5 秒震動波軸力圖

表 5-5 各模型型式於週期 0.5 秒震動波軸力數據表

型式	補強位置	柱位 1	柱位 2	柱位 3	柱位 4	柱位 5	柱位 6	柱位 7	柱位 8
O 型	未補強	11.31	9.70	3.06	14.22	14.75	10.68	14.45	1.73
	補強 1	12.37	8.34	16.50	4.13	17.92	11.38	11.06	2.75
	補強 2	11.49	8.67	14.22	2.32	16.17	11.59	8.22	8.68
	補強 3	14.10	17.21	18.19	5.18	20.76	16.55	26.78	5.80
	補強 4	11.88	10.29	7.95	2.78	13.03	15.12	24.34	4.08
L 型	未補強	7.5	9.97	18.60	0.54	13.64	10.96	1.51	10.56
	補強 1	12.02	6.61	14.61	5.96	12.91	10.34	1.78	7.47
	補強 2	10.25	8.51	13.98	3.59	11.96	9.66	1.50	11.08
	補強 3	10.28	5.78	13.74	13.83	7.56	6.05	5.38	16.53
T 型	未補強	28.98	31.71	6.60	2.77	30.56	22.87	1.31	6.15
	補強 1	27.88	30.31	27.55	4.01	19.51	15.15	7.18	21.79
	補強 2	26.10	26.90	3.36	18.31	33.09	29.14	18.79	6.52
	補強 3	26.22	25.88	6.17	2.67	24.40	26.91	1.46	8.30
U 型	未補強	20.87	14.01	14.67	21.80	11.25	5.70	6.08	10.43
	補強 1	24.24	14.33	14.98	26.86	10.07	2.89	6.50	9.29
	補強 2	24.56	15.25	14.20	22.06	7.49	5.25	1.43	7.76
	補強 3	16.56	18.13	22.02	16.77	15.01	6.58	5.91	13.13
	補強 4	11.73	14.92	10.45	11.33	5.33	8.57	4.86	16.99

(註：紅色為最大值，藍色為最小值) (單位：牛頓 N)

質化分析：由上圖與上表可知四種模型型式於週期 0.5 秒的震動下並不會產生強烈的軸力。

量化分析：由上圖與上表 T 型軸力於週期 0.5 秒的震動之下，可觀察出 T 型的補強 2 沒有達到良好的消能效益。

二、位移

(一)各建物結構針對「不同平面型式」之位移關係

1. 對照組與實驗組-未補強斜撐：共振週期（X 與 Y 向）-位移

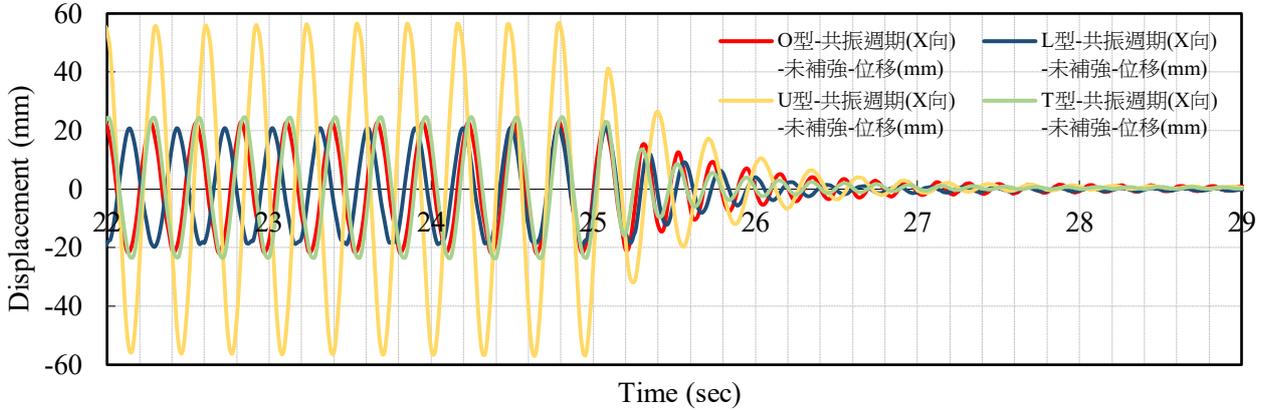


圖 5-6 不同平面型式在未補強斜撐之下，進行共振週期（X 向）之位移歷時關係圖

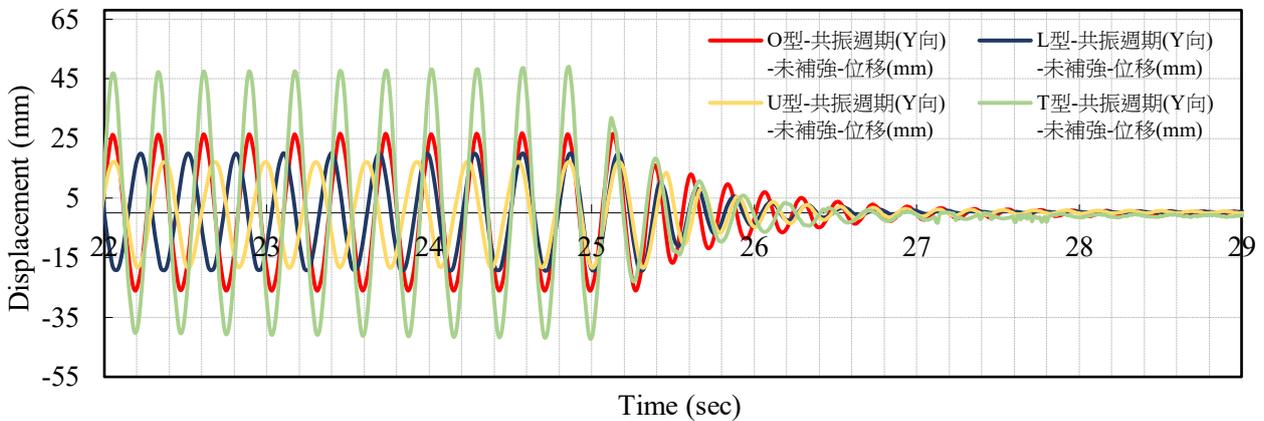


圖 5-7 不同平面型式在未補強斜撐之下，進行共振週期（Y 向）之位移歷時關係圖

質化分析：係因 U 型平面型式於 X 向屬非對稱性平面結構，而 T 型平面型式於 Y 向屬非對稱性平面結構，故易造成建物扭轉情況，頂層位移增加。

量化分析：由上圖 5-6、5-7 可知，U 型在共振 X 向較其他建物頂層的位移增加 155%，T 型在共振 Y 向增加 180%。

2. 對照組與實驗組-X 向斜撐補強：共振週期（X 與 Y 向）-位移

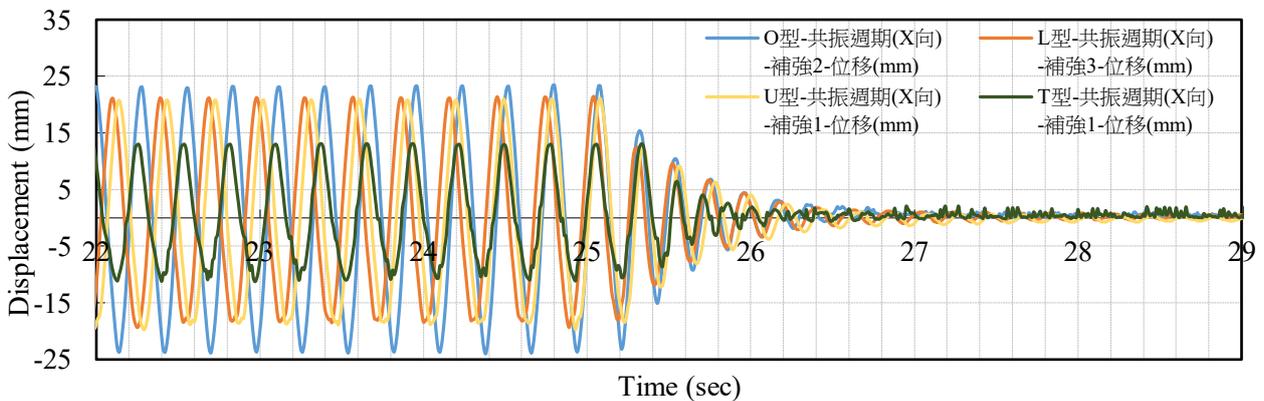


圖 5-8 不同平面型式在 X 向斜撐補強之下，進行共振週期（X 向）之位移歷時關係圖

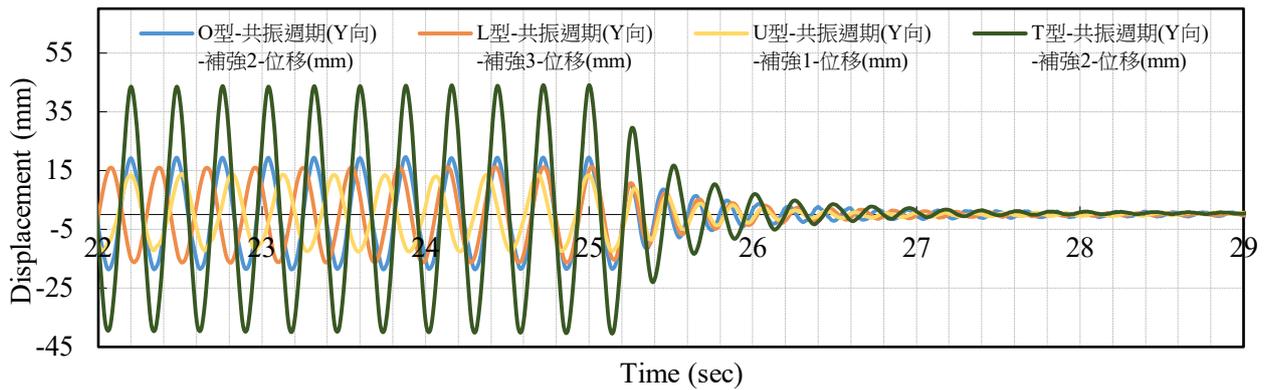


圖 5-9 不同平面型式在 X 向斜撐補強之下，進行共振週期（Y 向）之位移歷時關係圖
 質化分析：係因 T 型平面型式於共振 X 向屬對稱性平面結構，故有減少扭力破壞提升耐震效果。

量化分析：由上圖 5-8 可知，T 型較其他建物頂層的位移減少 57%。

3. 對照組與實驗組-Y 向斜撐補強：共振週期（X 與 Y 向）-位移

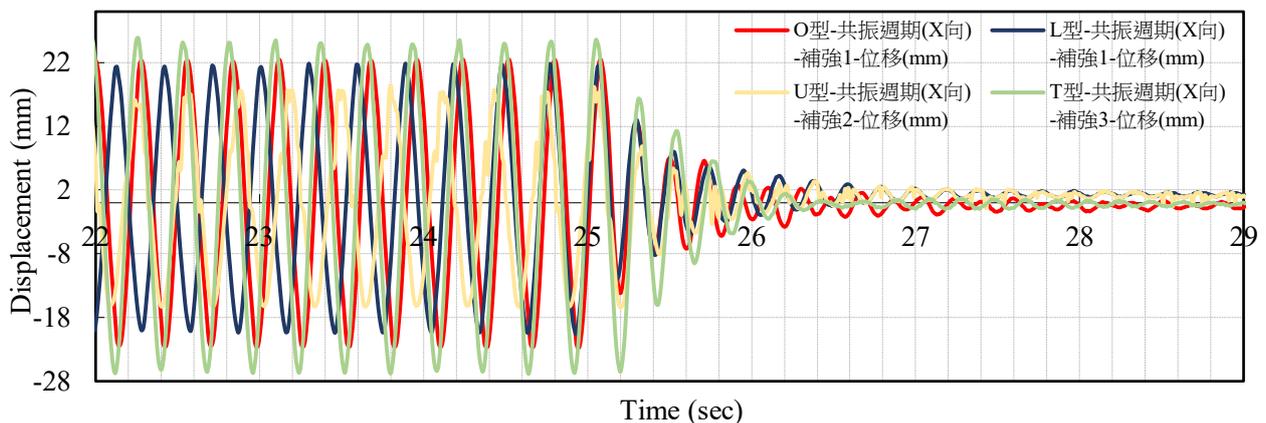


圖 5-10 不同平面形狀在 Y 向斜撐補強之下，進行共振週期（X 向）之位移歷時關係圖

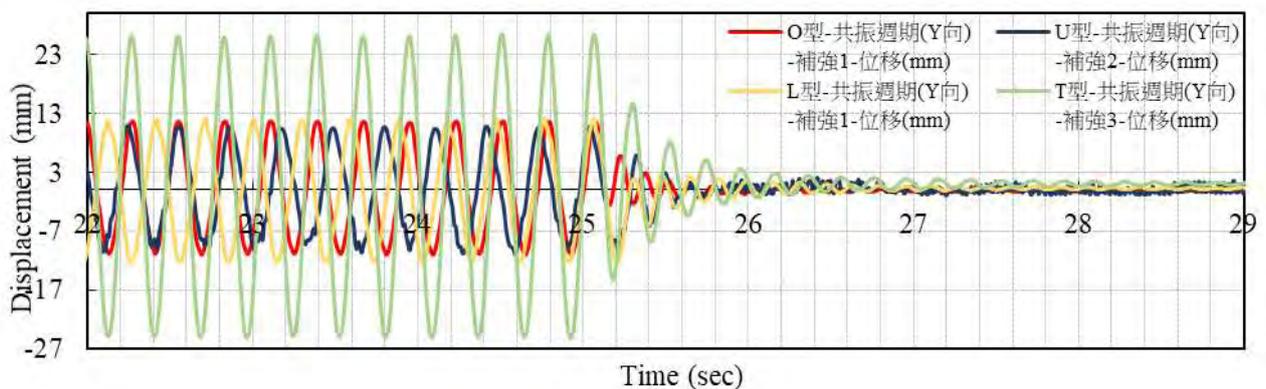


圖 5-11 不同平面型式在 Y 向斜撐補強之下，進行共振週期（Y 向）之位移歷時關係圖
 質化分析：由圖 5-11 可知，T 型平面型式於斜撐補強屬 Y 向，故造成頂層位移增加。其餘平面型式屬 Y 向補強皆有良好的消能效益。

量化分析：由圖 5-10 可知，T 型較其他建物之頂層的位移增加 18%。

(二) 各建物結構針對「不同補強位置」之位移關係

1. 對照組與實驗組-不同斜撐補強：共振週期 (X 向)-位移

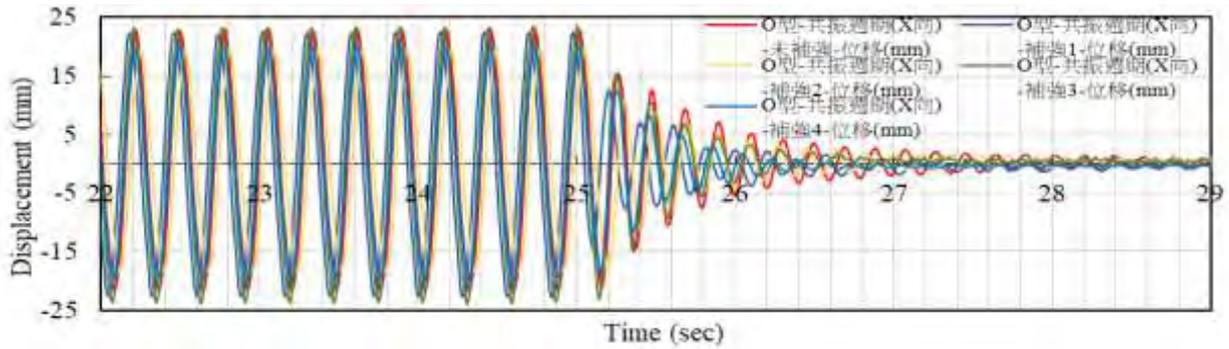


圖 5-12 O 型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X 向) 之位移歷時關係圖

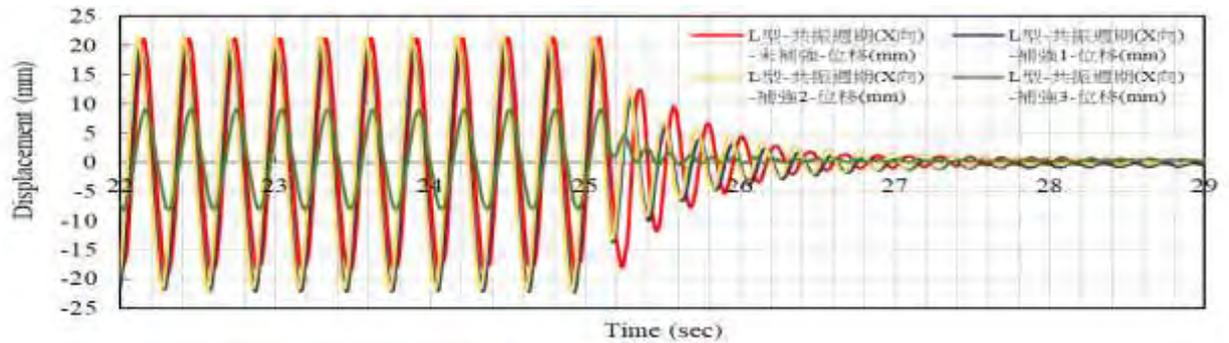


圖 5-13 L 型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X 向) 之位移歷時關係圖

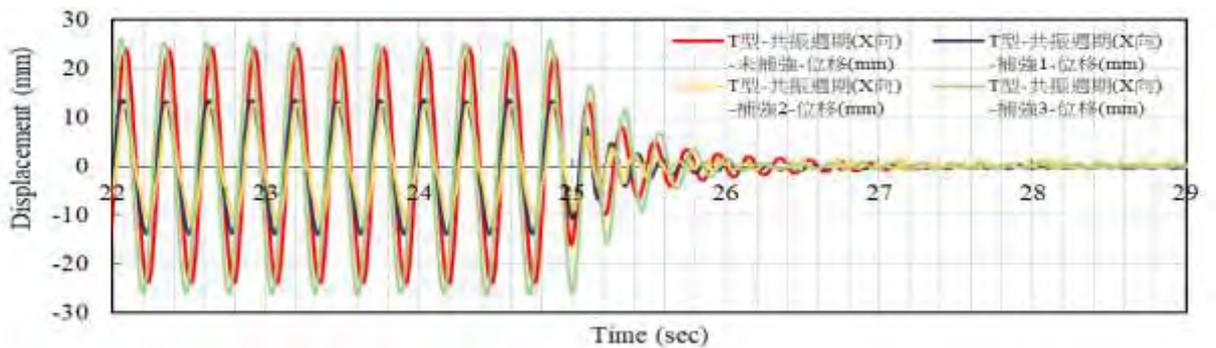


圖 5-14 T 型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X 向) 之位移歷時關係圖

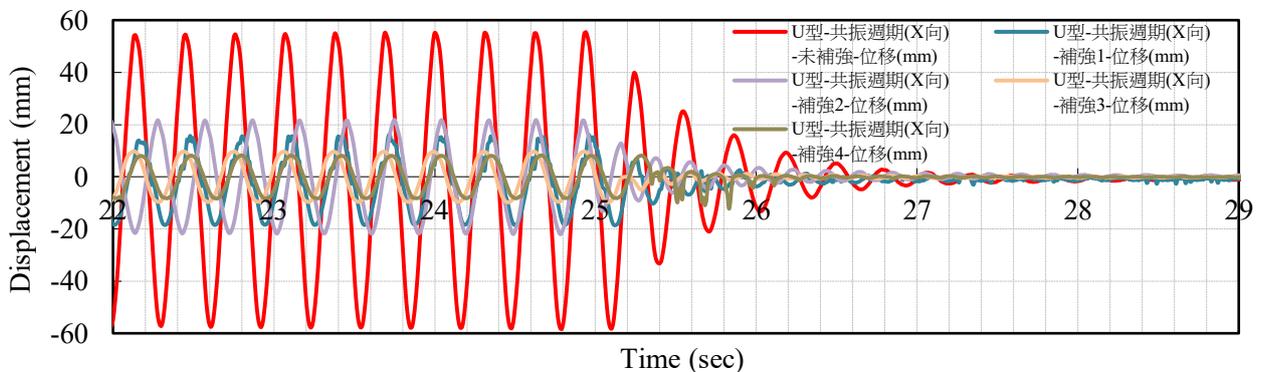


圖 5-15 U 型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X 向) 之位移歷時關係圖

質化分析：係因 U 型平面型式於 X 向屬非對稱性平面結構，故造成頂層位移增加。

量化分析：由 5-15 可知 U 型補強 4 較其他建物頂層的位移減少 602%，但 U 型未補強則造成位移大幅增加。

2. 對照組與實驗組-不同斜撐補強：共振週期（Y 向）-位移

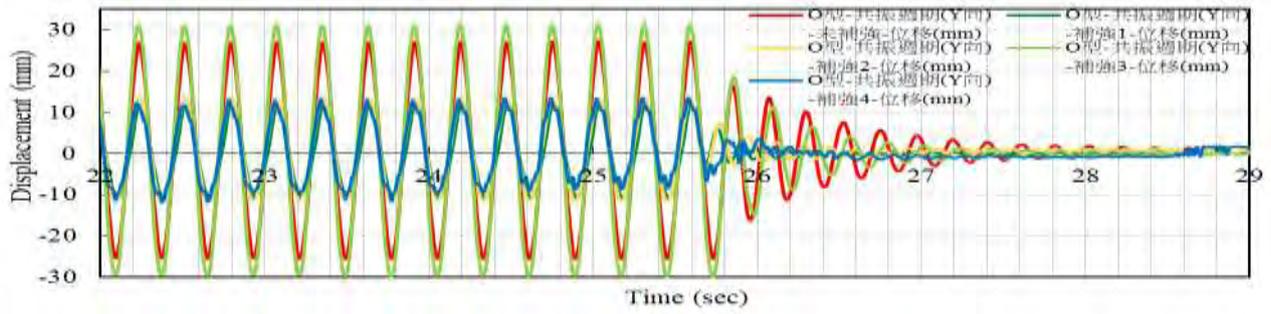


圖 5-16 O 型建物在不同補強位置下，進行共振週期（Y 向）之位移歷時關係圖

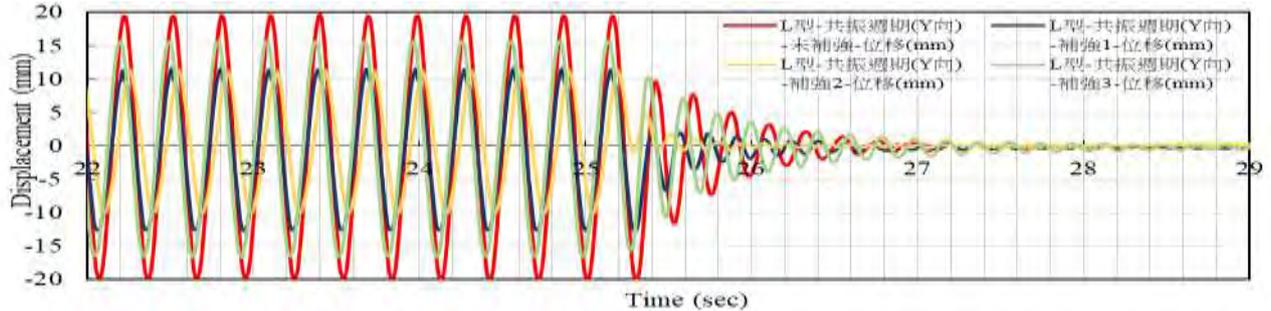


圖 5-17 L 型建物在不同補強位置下，進行共振週期（Y 向）之位移歷時關係圖

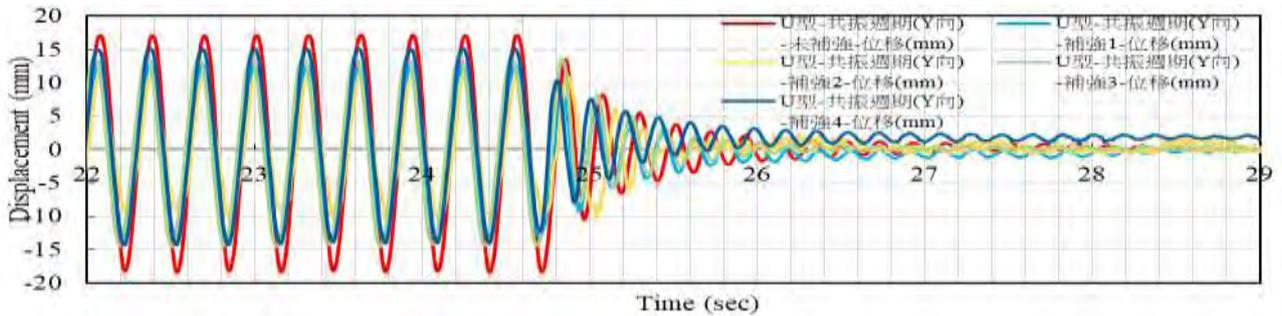


圖 5-18 U 型建物在不同補強位置下，進行共振週期（Y 向）之位移歷時關係圖

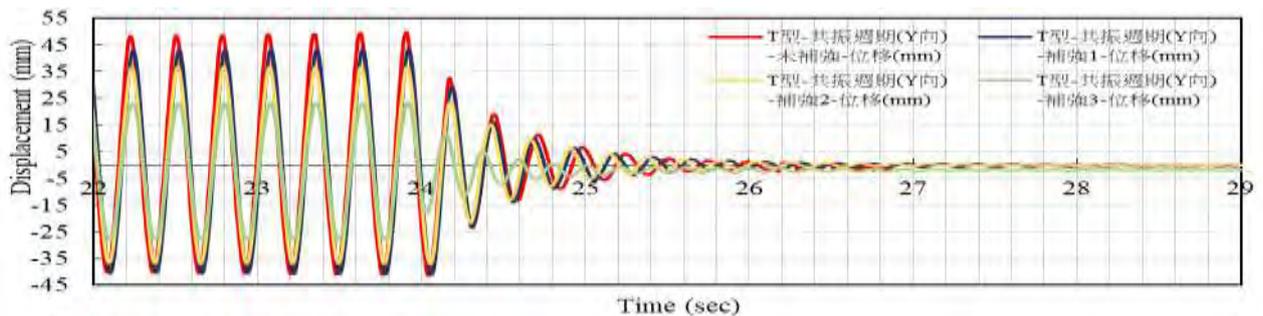


圖 5-19 T 型建物在不同補強位置下，進行共振週期（Y 向）之位移歷時關係圖

質化分析：如圖 5-19 所示，若補強位置與震動方向產生垂直方向，則未達實質減震效益。

量化分析：由圖 5-16-5-19 可知，各建物斜撐補強皆較未補強建物頂層的位移有減少趨勢，其中圖 5-16，O 型建物在補強 1 與補強 2 皆屬 Y 向，故具消能效益。

三、加速度

(一)對照組與各實驗組「不同平面型式」之加速度關係

1. 對照組與實驗組-未補強斜撐：共振週期-加速度

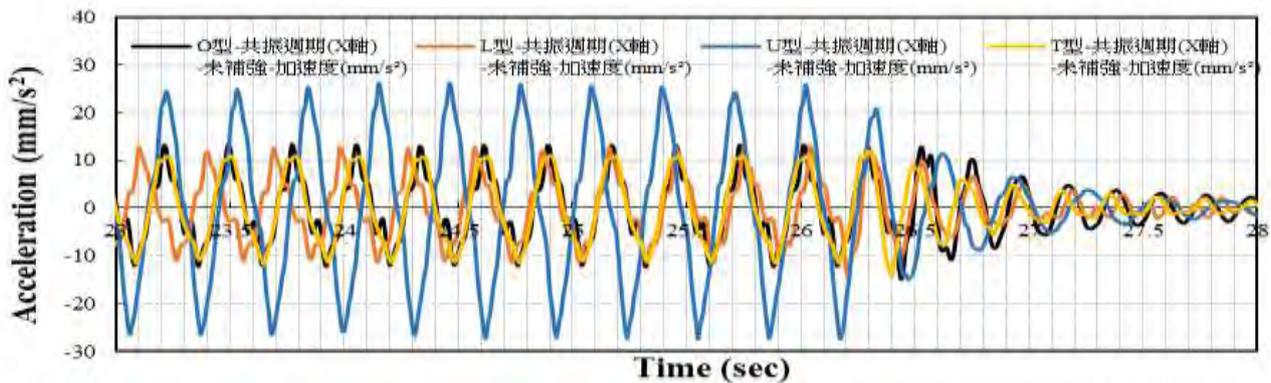


圖 5-20 不同平面型式在未補強斜撐之下，進行共振週期（X 向）之加速度歷時關係圖

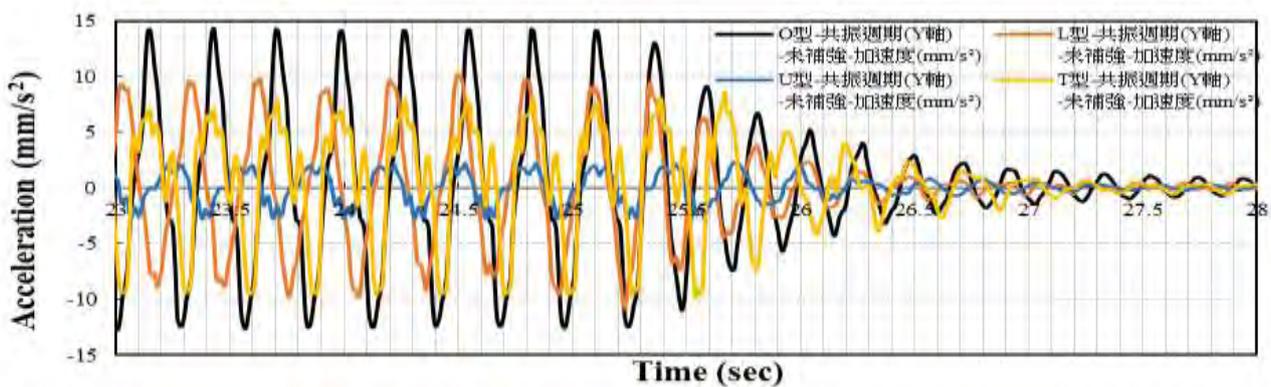


圖 5-21 不同平面型式在未補強斜撐之下，進行共振週期（Y 向）之加速度歷時關係圖

質化分析：係因 U 型平面型式於 Y 向屬非對稱性平面結構，故造成進行 X 向振動時建築物扭轉現象，頂層加速度增加。而進行 Y 向振動則發揮結構強軸效應達到減震效益。

量化分析：由圖 5-20 可知，U 型平面型式較 O 型平面型式頂層的加速度增加 99%。圖 5-21 得知 U 型平面型式頂層加速度達到最小值，較 O 型未補強相差 724%。

2. 對照組與實驗組-斜撐補強：共振週期-加速度

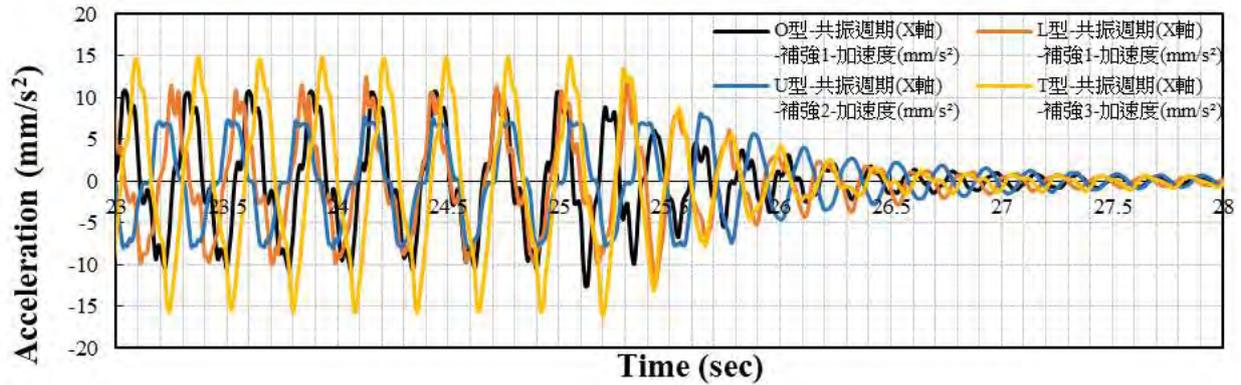


圖 5-22 不同平面型式在 Y 向補強斜撐之下，進行共振週期（X 向）之加速度歷時關係圖

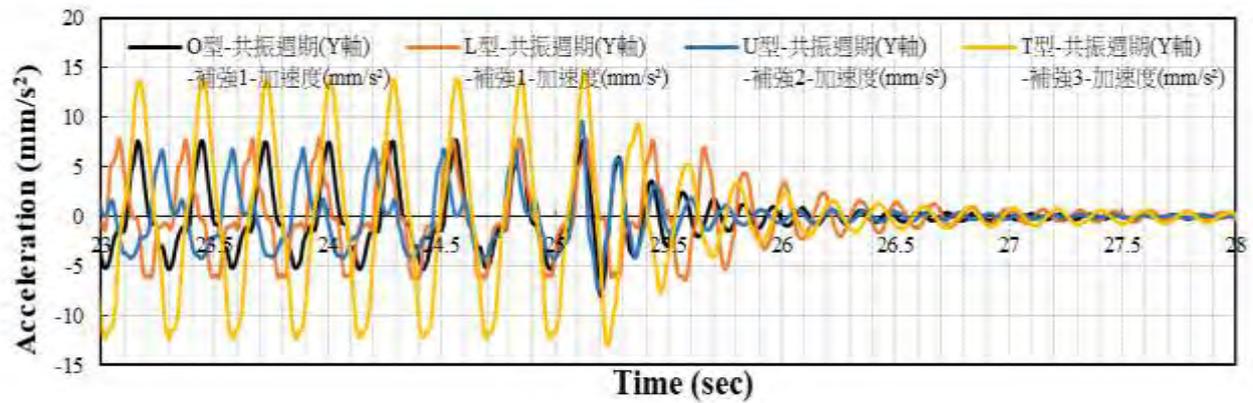


圖 5-23 不同平面型式在 Y 向補強斜撐之下，進行共振週期（Y 向）之加速度歷時關係圖

質化分析：係因 U 型補強位置採 Y 向同一直線屬 X 向對稱性平面結構，故造成頂層加速度增加。

量化分析：由上圖 5-22 與 5-23 可知，T 型較 U 型建物頂層加速度增加 120%與 154%。

(二)對照組與各實驗組「不同補強位置」之加速度關係

1. 對照組與實驗組-不同斜撐補強：共振週期-加速度

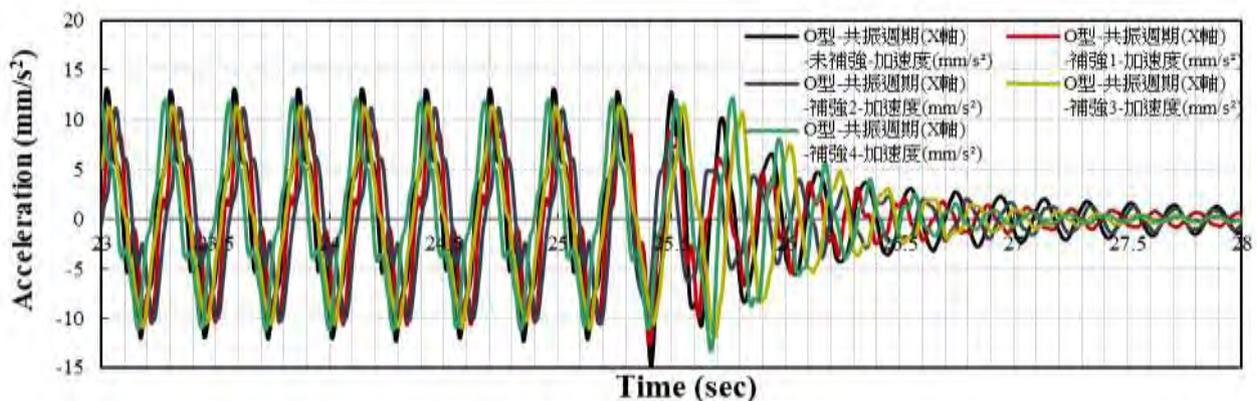


圖 5-24 O 型建物各種補強位置下，進行共振週期（X 向）之加速度歷時關係圖

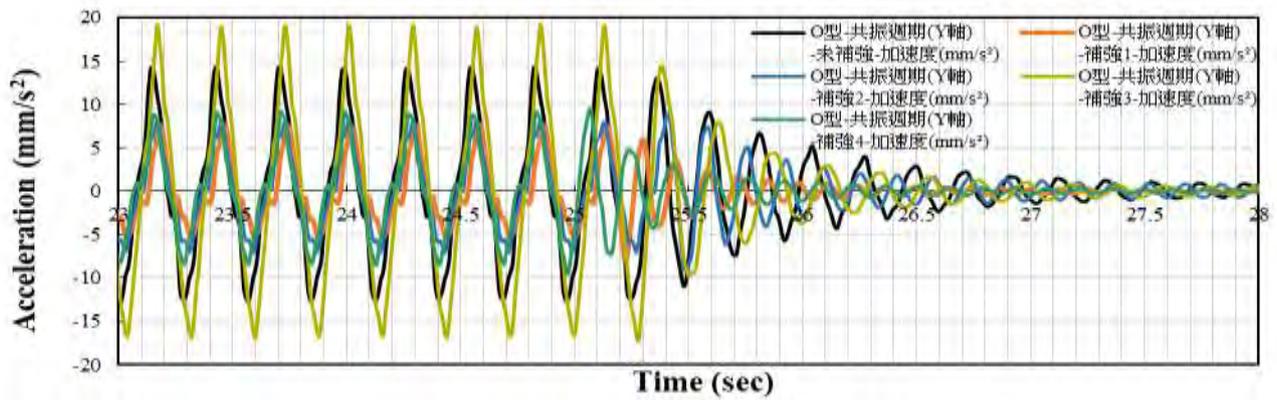


圖 5-25 O 型建物各種補強位置下，進行共振週期（Y 向）之加速度歷時關係圖

質化分析：係因 O 型補強 2 於 Y 向屬對稱性平面結構，故造成消能效益。

量化分析：由上圖 5-24 與 5-25 可知，O 型補強 2 頂層加速度達到最小值，較未補強於 X 與 Y 向皆有減少趨勢。

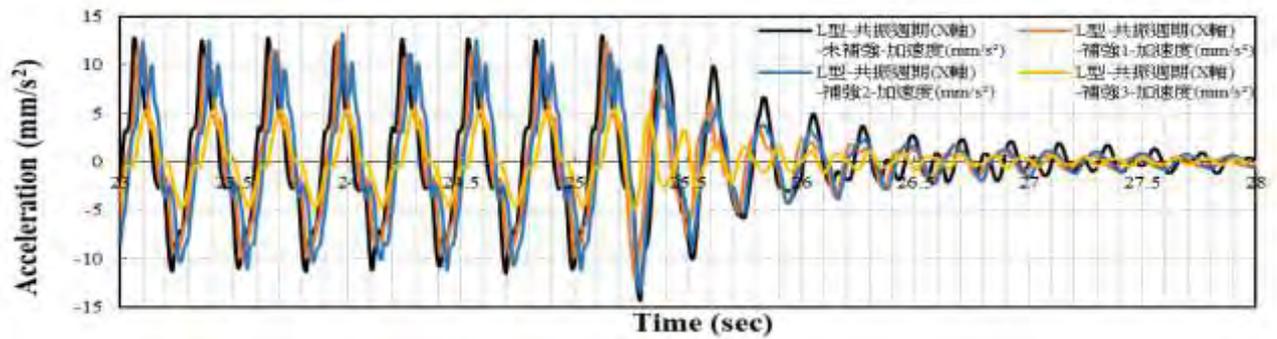


圖 5-26 L 型建物各種補強位置下，進行共振週期（X 向）之加速度歷時關係圖

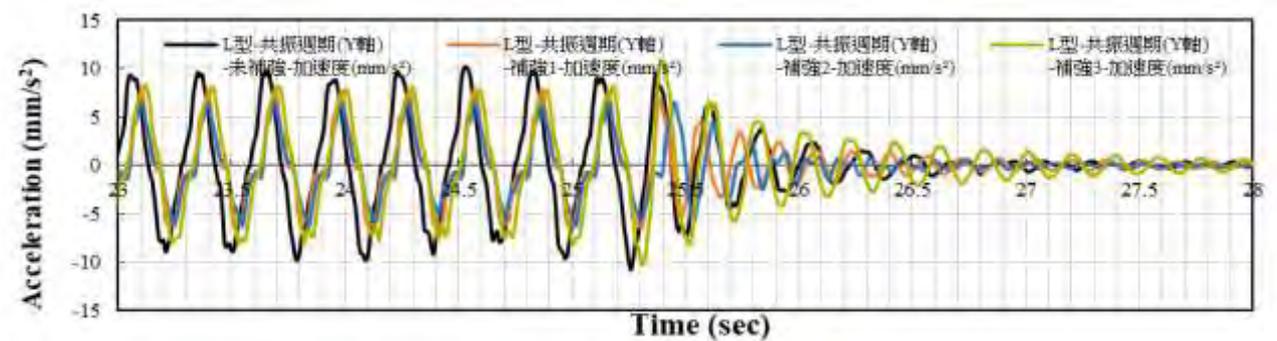


圖 5-27 L 型建物各種補強位置下，進行共振週期（Y 向）之加速度歷時關係圖

質化分析：係因結構斜撐補強方向與振動方向平行，兩者方向平行與否則決定減震效益。

量化分析：由圖 5-26 可知 L 型補強 3 加速度最小，圖 5-27 中 L 型補強 2 加速度最小，皆較未補強降低。

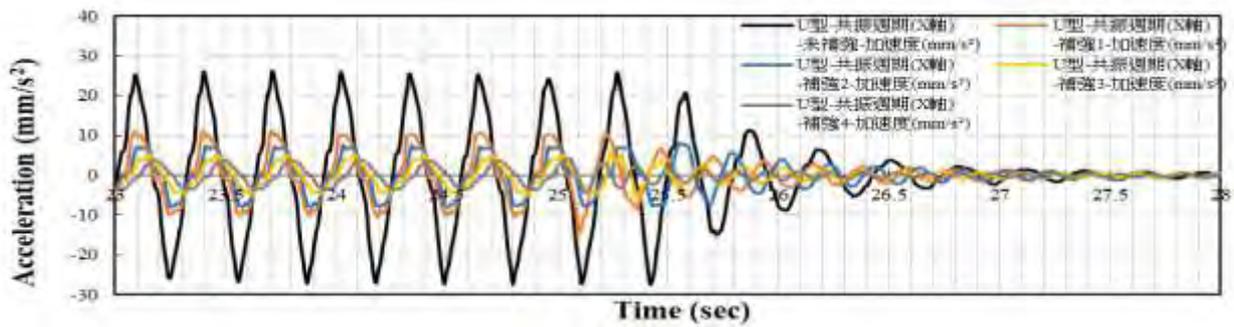


圖 5-28 U 型建物各種補強位置下，進行共振週期（X 向）之加速度歷時關係圖

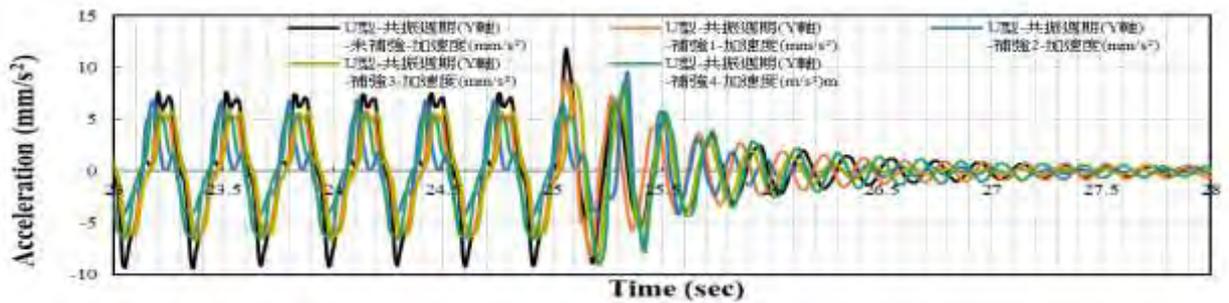


圖 5-29 U 型建物各種補強位置下，進行共振週期（Y 向）之加速度歷時關係圖

質化分析：係因 U 型平面型式於 Y 向屬對稱性平面結構，故造成頂層加速度減少。

量化分析：由圖 5-28 可知，U 型各補強位置皆有明顯消能效益，其中補強 4 頂層加速度有最佳效果。由圖 5-29 中，U 型未補強也發揮制震能力。

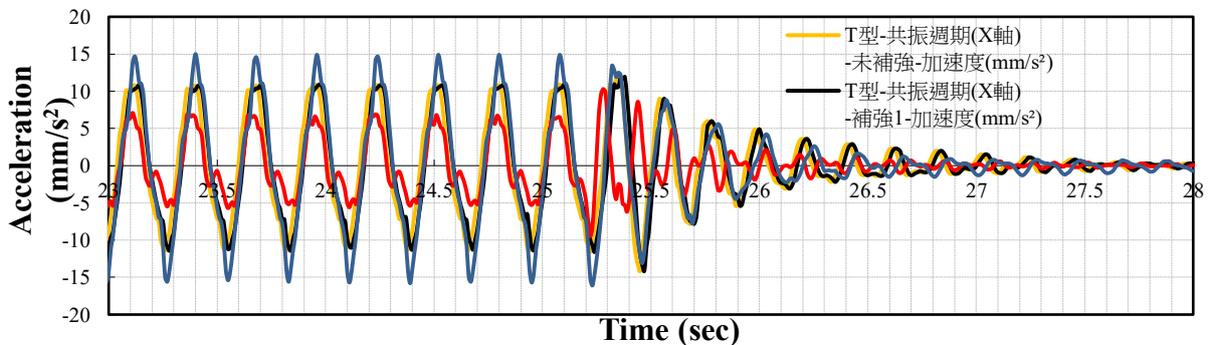


圖 5-30 T 型建物各種補強位置下，進行共振週期（X 向）之加速度歷時關係圖

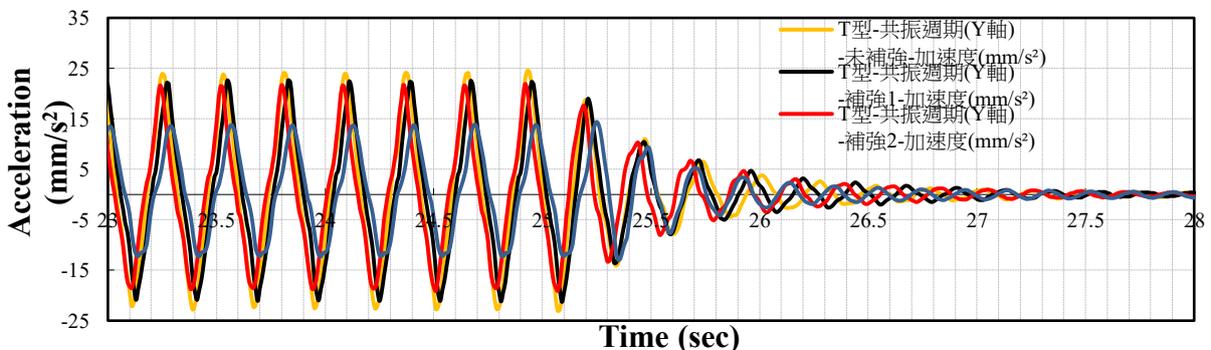


圖 5-31 T 型建物各種補強位置下，進行共振週期（Y 向）之加速度歷時關係圖

質化分析：係因 T 型平面型式於 X 向屬對稱性平面結構，亦有減震效益。

量化分析：由圖 5-30 可知，T 型補強 2 較未補強建物加速度達到 88% 降幅。

陸、討論

一、平面型式

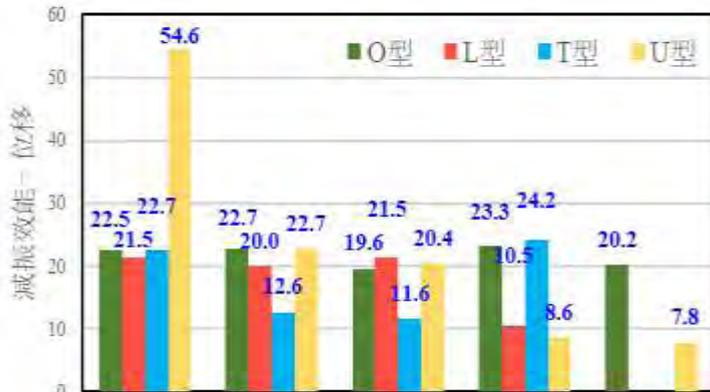


圖 6-1 共振週期 X 向補強方式-位移比較圖

由左圖 6-1 可得知，U 型建築物在未補強方式，進行共振週期 X 向時，是屬於最不堅固的模型，反之在補強 4 為最有效的補強位置。

(註：單位 mm)



圖 6-2 共振週期 Y 向補強方式-位移比較圖

由左圖 6-2 可得知，在共振週期 Y 向振動，T 型建築物在補強 2，位移數據顯示未達補強效益；由補強 1 與補強 3，看出位移數據與未補強僅產生些許差距，未達到良好的消能效益。

(註：單位 mm)



圖 6-3 共振週期 X 向補強方式-加速度比較圖

由左圖 6-3 可得知，在共振週期 X 向振動，O、L、U 型式建築物在四種補強位置均達有效消能效益，其中 T 型建築物均未能達到有效消能效益。

(註：單位 mm/sec²)



圖 6-4 共振週期 Y 向補強方式-加速度比較圖

由左圖 6-4 可得知，在未補強情況下，U 型建築物消能效益最差，經過補強後，在共振週期 Y 向振動下可看出，U 型建築物消能效益最佳。

(註：單位 mm/sec²)

二、桿件總長度

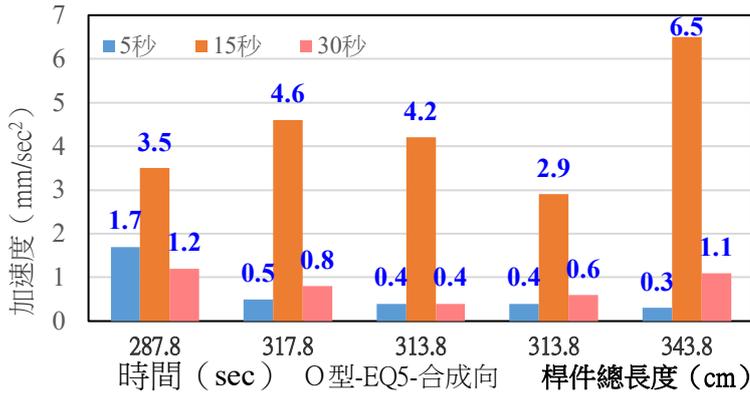


圖 6-5 O 型不同桿件總長度-加速度比較圖

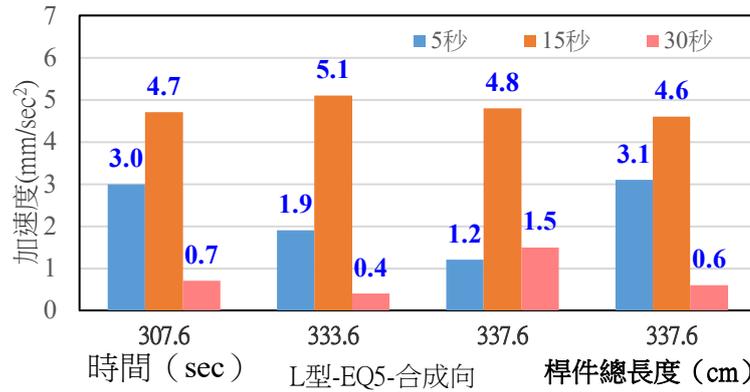


圖 6-6 L 型不同桿件總長度-加速度比較圖

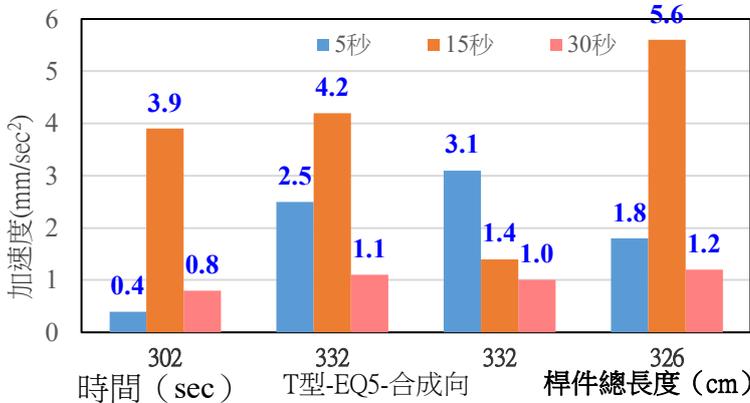


圖 6-7 T 型不同桿件總長度-加速度比較圖

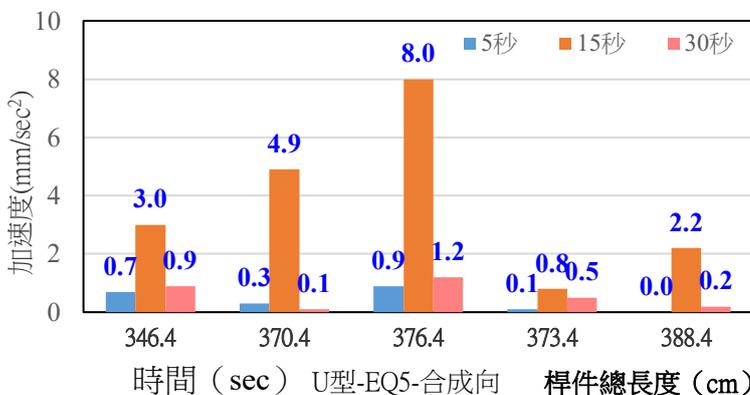


圖 6-8 U 型不同桿件總長度-加速度比較圖

由左圖 6-5 得知，O 型建築物桿件長度愈長，於 EQ5 完整地震波的振動下，在振動 15 秒的時間，加速度值均增加，其中補強 1、2 與補強 4 比未補強的加速度差，而補強 3 是最具消能效益的補強位置。且可由補強 4 得知，桿件愈長其補強效益未必愈佳。

由左圖 6-6 得知，L 型建築物桿件愈長，在 EQ5 完整地震波的振動下，在振動 5 秒的時間，補強 1 與補強 2 的加速度比未補強的加速度小，所以兩者是最能發揮消能效益，但是補強 3 的加速度不僅沒有比未補強來得小，反之更大，是故補強 3 增加桿件長度未達實質消能效益。

由左圖 6-7 得知，T 型建築物桿件愈長，在 EQ5 完整地震波的振動下，在振動 15 秒的時間，補強 2 的加速度比未補強來的小，所以補強 2 為最有效的補強位置，而補強 1 與補強 3 的加速度沒有明顯改善，所以這兩種補強位置為無效的補強方式。

由左圖 6-8 得知，U 型建築物桿件愈長，EQ5 完整地震波的振動下，在 15 秒的時間，可觀察出補強 1 與補強 2 未能有效的發揮出消能效益。而補強 3 與補強 4 的加速度比未補強的加速度還來的小，所以其為有效的補強方式，是故於 U 型建築物桿件愈長，其消能效益愈佳。

三、補強位置

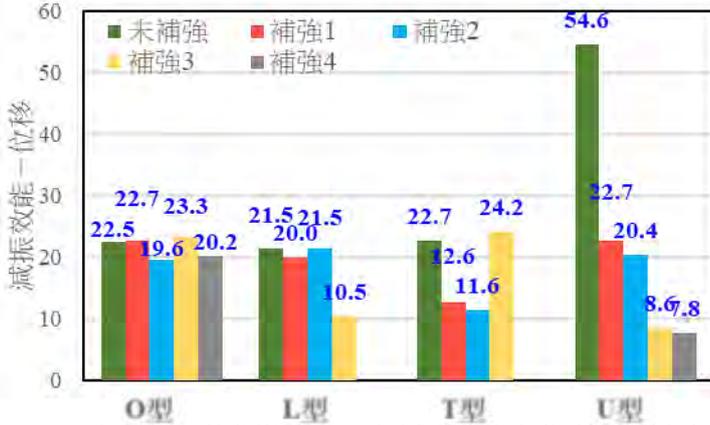


圖 6-9 共振週期 X 向補強位置-位移比較圖



圖 6-10 共振週期 Y 向補強位置-位移比較圖

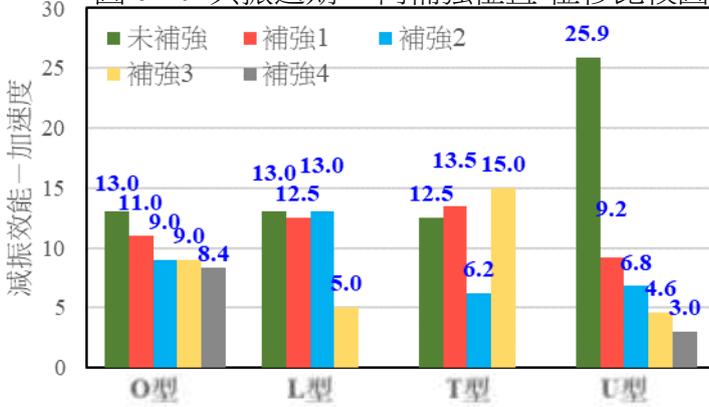


圖 6-11 共振週期 X 向補強位置-加速度比較圖



圖 6-12 共振週期 Y 向補強位置-加速度比較圖

由左圖 6-9 得知在共振週期 X 向振動，看出 L 型建築物在未補強模式下，為四種不同型式模型中為最堅固。

(註：單位 mm)

由左圖 6-10 得知出在共振週期 Y 向的振動下，可觀察出 U 型建築物為最堅固的模型，而 O 型的補強 1 為最有效能發揮出消能效益的補強位置。

(註：單位 mm)

由左圖 6-11 得知在共振週期 X 向的振動下，觀察出 U 型建築物的加速度比其他三種模型還來的大，所以 U 型在共振週期 X 向時為最不堅固。

(註：單位 mm/sec²)

由左圖 6-12 得知在共振週期 Y 向的振動下，O 型建築物為最不堅固，但是 O 型的補強 4 為最能有效的發揮出消能效益。

(註：單位 mm/sec²)

四、四種平面型式未補強之形心與重心

經由研究過程與公式 1-1~1-4 計算各平面型式重心與形心，相關數據值如表 6-1 所示。

表 6-1 各平面型式之形心與重心座標計算一覽表

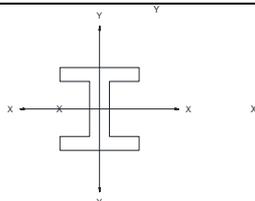
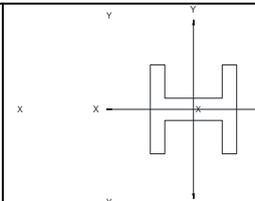
型式	圖 1	圖 2	圖 3	圖 4
重心座標	\bar{x} 11.49cm	\bar{x} 7.31cm	\bar{x} 11.01cm	\bar{x} 13.43cm
	\bar{y} 11.66cm	\bar{y} 9.89cm	\bar{y} 13.43cm	\bar{y} 10.54cm
形心座標	\bar{x} 11.49cm	\bar{x} 7.68cm	\bar{x} 10.72cm	\bar{x} 13.43cm
	\bar{y} 10.79cm	\bar{y} 9.28cm	\bar{y} 13.43cm	\bar{y} 14.63cm
兩者距離	0.87cm	0.72cm	0.29cm	4.07cm

透過一系列的實驗除了本身之結構對稱性之外，也經由國家地震研究中心相關文獻，得知建築物形心與重心若在同一點，建築物會以筆直路徑移動。若形心與重心不在同一點位上，建築物除會左右搖晃外，易容易發生扭轉情況。所以建築物形心與重心是否重疊也影響結構的減震效益，並能避免扭轉行為發生。由上表可知 T 型建物模型具有較短的距離差距，僅有 0.29 公分，也代表雖平面型式非對稱但不會影響結構抗震性。

五、慣性矩

經由研究過程與公式 1-5、1-6 計算各平面型式慣性矩，相關數據值如表 6-2 所示。

表 6-2 不同安裝方向之樑體慣性矩計算一覽表

樑體安裝方向 慣性矩		
I_x / I_y	17689 cm ⁴ /73683cm ⁴	73683 cm ⁴ /17689cm ⁴

由上表得知，橫樑安裝方向之結果，將導致強軸與弱軸之情況發生，兩者慣性矩數值達到 16% 差值，故未來也可針對每個模型安裝細節加以討論。

柒、結論

經過此研究之結果分析與探討，歸納出「平面型式」、「桿件總長度」、「補強位置」，做為應用縮尺模型評估其斜撐補強之減震效益探討結論，以下就各要項的結論說明如下：

一、平面型式

型式越規則的建築物受到地震的影響就越不明顯，但若本身形心與重心不重疊，或是兩者距離差距愈大者，將產生建築物扭轉情況，此外建築物樑體配置規則對稱性也必須考量其中，才能發揮最大消能效益。

二、桿件總長度

從本次的研究結果得知，桿件的總長度並不會直接影響建築模型的耐震效果，反而是因為補強位置的不同，而造成消能效益的差異。

三、補強位置

本研究結果得知，補強位置應採用雙軸向斜撐，避免單軸向補強產生扭力破壞，但如果建築物型式屬長方形則可採取單軸向斜撐補強。

四、未來展望

- (一) 此次的實驗模組我們只利用單一斜撐做實驗，後續的研究探討希望可以利用更多型式之斜撐做出更完善的研究架構。
- (二) 本研究目前只在桿件的長度上加以討論，後續會在桿件數量的差異上探討分析，以了解在不同桿件長度與不同桿件數量的建築模型對地震之消能效益。
- (三) 由於此次的實驗模組，柱子數量控制在相同的情況之下，所以節點數量均相同，後續將會考慮在各種不同節點數量，採用不同斜撐補強方式加以探討分析。

捌、參考資料及其他

壹、中文部分

【一本書】

- 王鑫 (2013 年)·基礎地球科學(上) (再版二刷)·台南市：南一書局 (126 頁、132 頁)
- 王鑫 (2013 年)·基礎地球科學(下) (再版二刷)·台南市：南一書局 (128 頁、130 頁)
- 呂守陞、鄭慶武、侯惠仁 (2010 年)·工程概論 I (一版)·台北縣：弘揚圖書 (34 頁、76 頁)
- 沈聰益、黃培毓、顏木生 (2010 年)·測量實習 1 (初版)·新北市：台科大圖書
- 沈聰益、黃培毓、顏木生 (2014 年)·測量實習 2 (初版)·新北市：台科大圖書
- 高源清 (1999 年)·地震大解剖 (初版)·台北市：牛頓出版
- 張國鎮 (2009 年)·安全耐震的家-認識地震工程 (初版)·台北市：國家地震工程研究中心
- 康通能 (2015 年)·工程力學 1 (初版)·新北市：台科大圖書
- 康通能 (2016 年)·工程力學 2 (初版)·新北市：台科大圖書
- 陳耀如、洪國珍、劉叔松 (2014 年)·工程材料 1 (七版一刷)·新北市：旭營文化
- 陳耀如、洪國珍、劉叔松 (2003 年)·工程材料 II (二版)·台北市：旭營文化 (32 頁)
- 陳宏州 (2003 年)·工程力學 II (二版)·台北市：矩陣 (384 頁、293 頁、446 頁、481 頁)
- 張文澤、李光華 (2012 年)·製圖實習 2 (初版)·新北市：台科大圖書

【學位論文】

- 建築結構模型地震模擬試驗在教學應用之研究 (2003 年 12 月)·中華民國建築學會第十五屆建築研究成果發表會論文集

【政府出版品】

- 既有 RC 建築物修復補強工法之性能試驗研究 內政部建築研究所委託研究報告 (2011 年 12 月)·內政部建築研究所報告

貳、網路資源

【資料庫資料】

- 國立科學工藝博物館官網 http://www3.nstm.gov.tw/earthquake/C_1_1_a.htm
- DATAQ 加速規，MapandDirections：DATAQInstruments,Inc，founded in1984，取自：
<http://www.dataq.com/>
- 國家地震研究中心 <http://www.ncree.org/ZH/EarthquakeQA.aspx>
- 靜力學網站 <http://faculty.stust.edu.tw/~ccchang/statics>
- 面的重心之求法 https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/mechanical/tp_st/chap05/htm/p6.htm

【評語】 052411

本作品目的乃透過縮尺建物，探討非對稱建築物結構經斜撐補強之消能效益，藉由模擬不同地震波與不同補強位置，對於位移、軸力與加速度進行比較分析，研究結果有關平面型式、桿件總長度與補強位置等，進而評估結構物斜撐補強後之耐震行為，具科學探索精神。本件為長期延續性研究，建物斜撐補強為常用工法，宜加強蒐集現有文獻與本實驗結果進行相互比較，以凸顯本作品之研究亮點與重要發現。

摘要

臺灣屬地震頻繁地區，隨著民眾對建物造型特殊性與結構安全性的意識提升，國震中心投入相當大的成本進行耐震試驗，因此實驗模組想透過縮尺非對稱建築物進行結構斜撐補強探討其消能效益。

本研究係利用**相同柱量**、**建物面積**、**樓層高度**，但型式不同的建物進行耐震試驗，並透過不同變因的實驗組，模擬不同地震波與不同補強位置的對照組，於位移、軸力與加速度進行比較，分析在實驗後各方面的特性差異。

藉由實驗結果以「**平面型式**」、「**桿件總長度**」、「**補強位置**」探究建物消能效益，顯示出對稱系統之斜撐補強於「**軸力**」、「**位移**」、「**加速度**」皆有明顯消能效益，若非對稱系統則有尺寸效應，仍會產生消能差異。

壹、研究動機

臺灣屬多地震國家，**傳統建築物**經時間的洗禮，雖外表無礙，實質結構可能已存在**安全疑慮**。除老舊建築物結構安全問題；就連新一代建築師的創意發想，也造就各式型式的**特殊建築**。然這些老舊及特殊建築物裡存在一些潛在的危險因子，那麼在現實生活中該如何做**補強**，才能使它住起來**安全**、**舒適**同時又能在**結構安全性**上沒有疑慮？因此我們想透過**縮尺模型**研究相關建築物安全性的議題並加以探討。



O型建築案例



L型建築案例



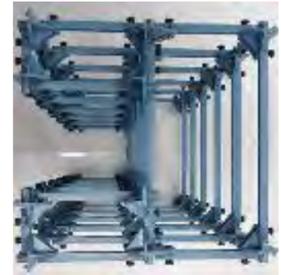
U型建築案例



O型建築模型



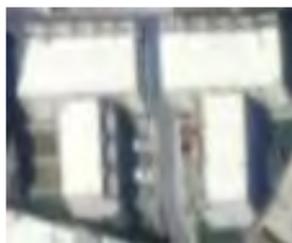
L型建築模型



U型建築模型

貳、研究目的

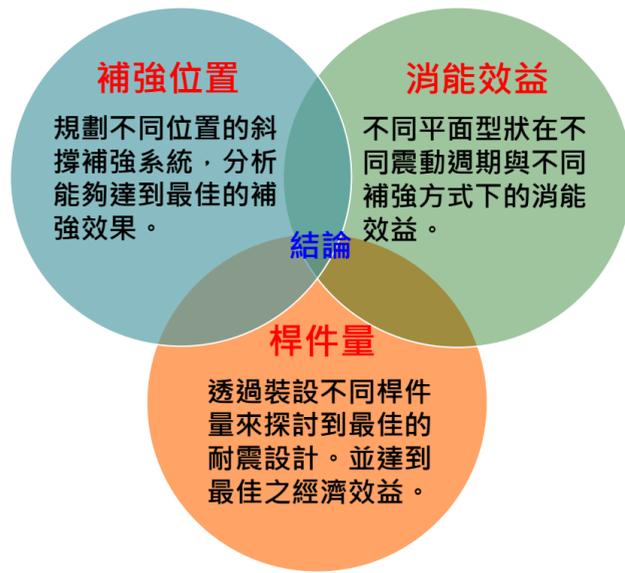
本實驗目的將模組分為兩類，分別為第一類：**O型**為**對照組**，第二類：**L型**、**T型**、**U型**為**實驗組**，並加以斜撐作為補強，以**平面型式**、**桿件總長度**、**補強位置**為**控制變因**；以**位移**、**軸力**、**加速度**為**應變變因**，並從三大面向：**消能效益**、**補強位置**、**桿件量**進行評估探討，以驗證實驗模組之可行性。



T型建築案例



T型建築模型



研究目的架構圖

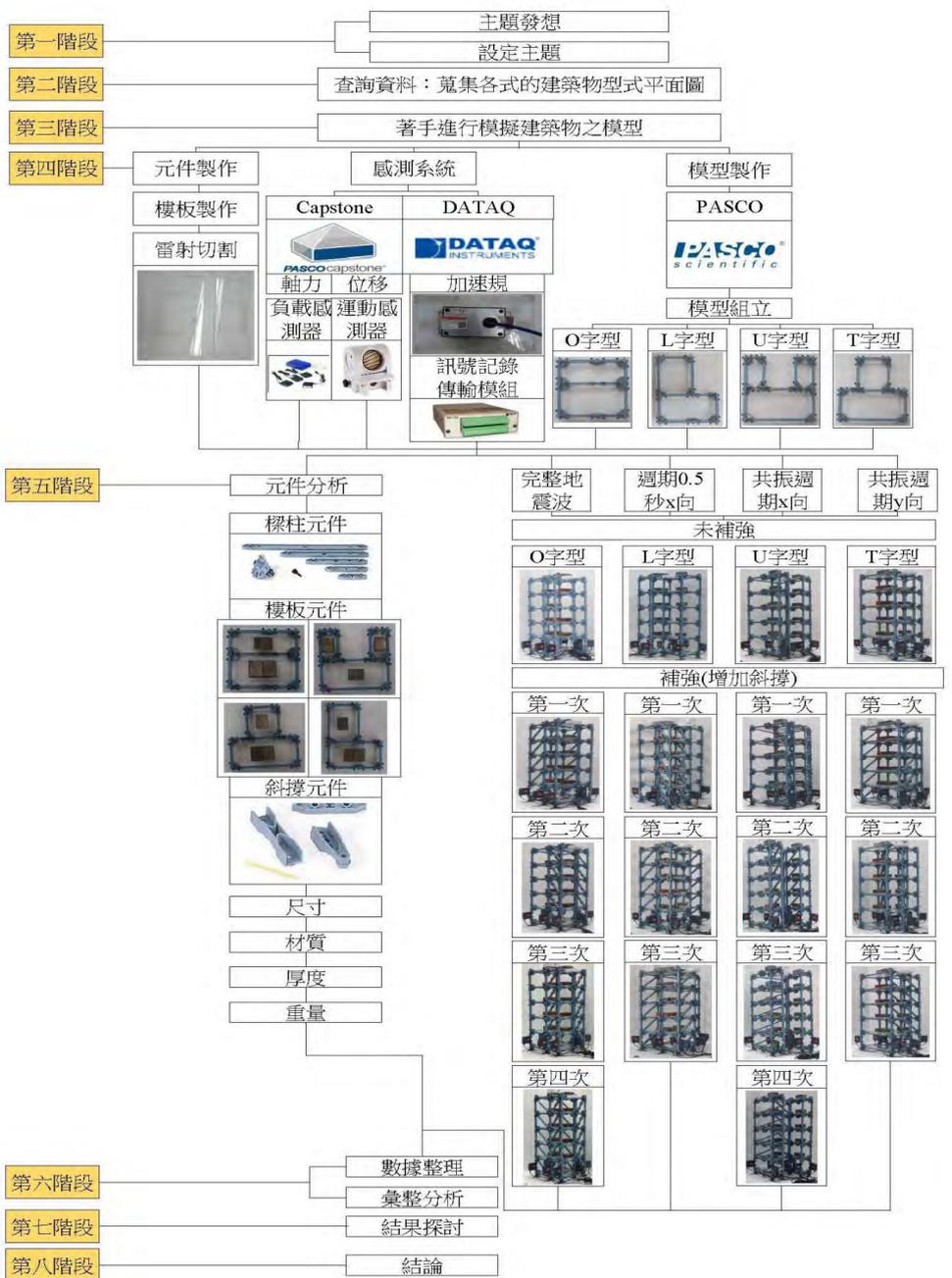
參、研究設備及器材



肆、研究試驗過程或方法

本研究之試驗主要分為二大架構：

- **蒐集建物相關資料：** 蒐集隔震相關文獻資料與建築俯視圖，利用PASCO桿件製作模型。
- **實驗模擬耐震試驗：** 探討透過制震斜撐補強系統設計，並進行實驗，用對照組與實驗組測試出建物模型在地震波下搖晃時，斜撐補強系統是否發揮減震消能效益。



四、位移結果分析：

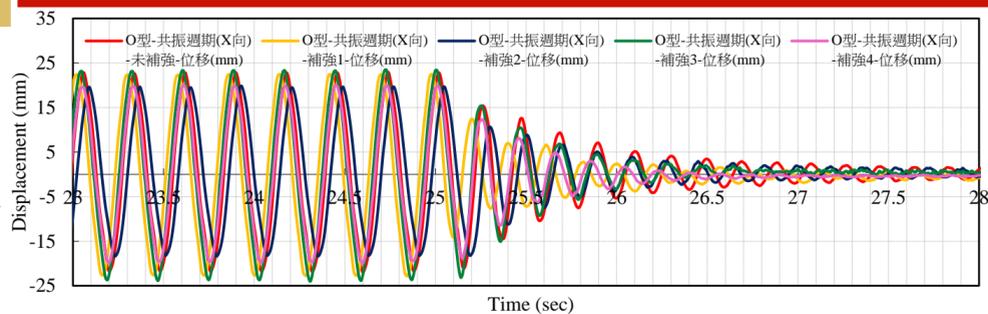


圖5-2 O型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X向) 之位移歷時關係圖。圖中顯示了未補強、補強1、補強2、補強3和補強4的位移情況。

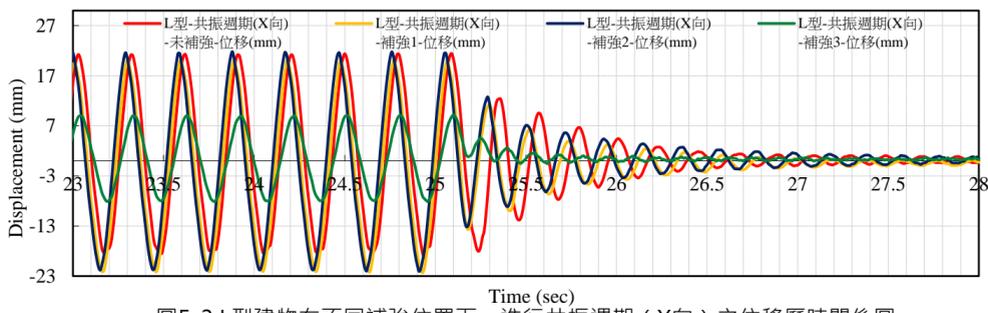


圖5-3 L型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X向) 之位移歷時關係圖。圖中顯示了未補強、補強1、補強2和補強3的位移情況。

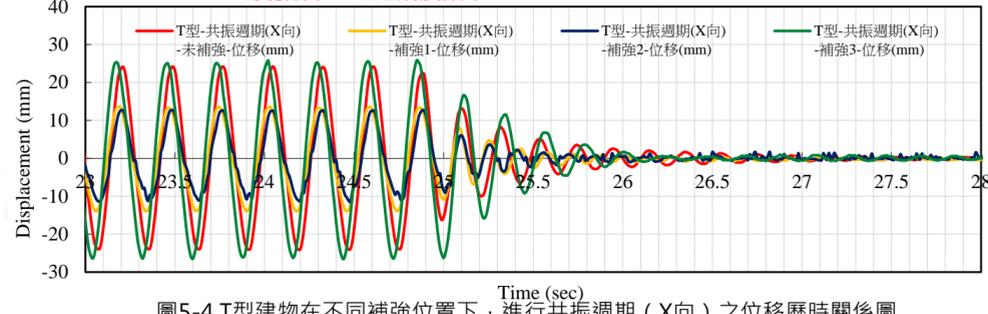


圖5-4 T型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X向) 之位移歷時關係圖。圖中顯示了未補強、補強1、補強2和補強3的位移情況。

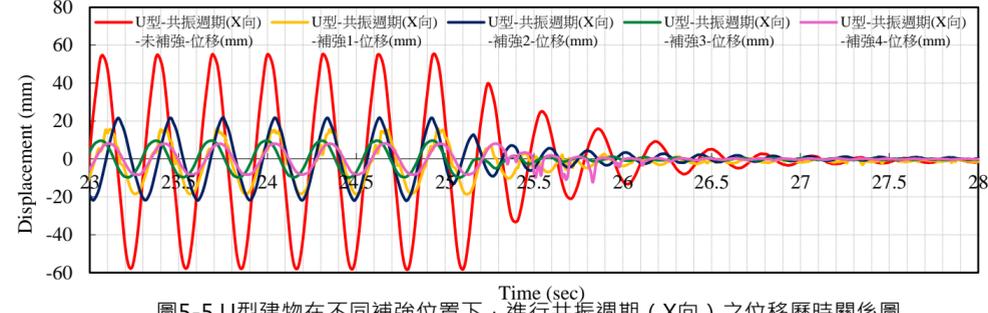


圖5-5 U型建物在不同補強位置下，進行共振週期 (X向) 之位移歷時關係圖。圖中顯示了未補強、補強1、補強2、補強3和補強4的位移情況。

伍、研究結果

一、軸力結果分析：

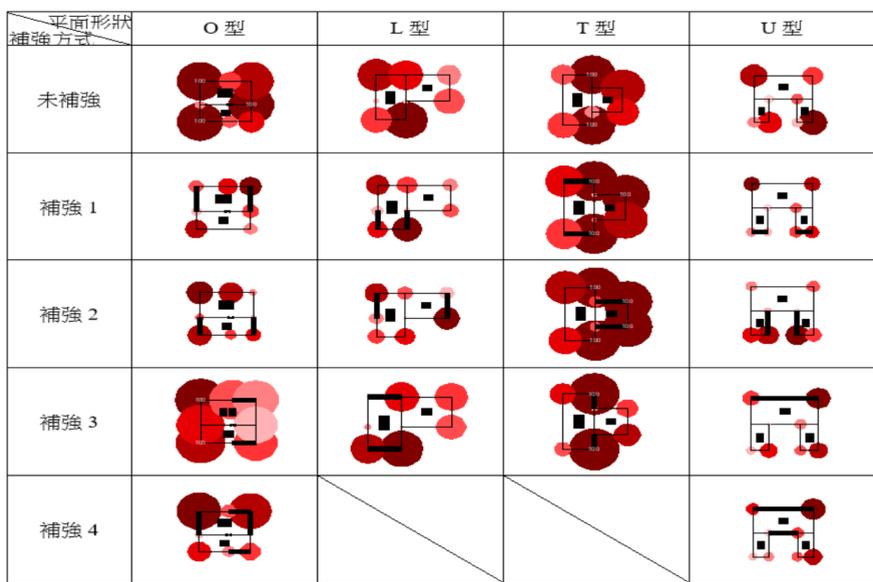
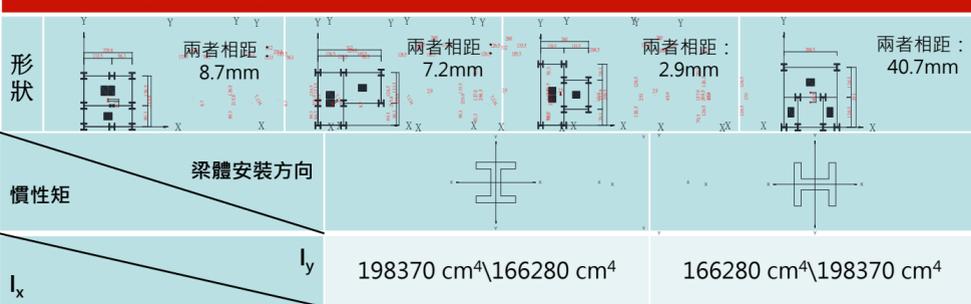


圖5-1 各模型型式於共振週期Y向地震波週期軸力圖

表5-1 各模型型式於共振週期Y向地震波週期軸力數據表

型式	補強位置	柱位1	柱位2	柱位3	柱位4	柱位5	柱位6	柱位7	柱位8
O型	未補強	100	20.50	100	47.97	98.97	100	55.69	32.38
	補強1	44.72	20.03	29.61	39.51	45.05	32.99	28.48	2.22
	補強2	50.42	16.89	55.53	50.42	15.59	11.16	31.55	23.57
	補強3	100	98.68	100	96.16	95.04	89.82	96.39	11.23
L型	未補強	51.43	15.24	97.72	34.01	93.77	9.16	45.52	28.17
	補強1	64.03	12.66	79.22	73.77	50.73	62.76	11.04	93.04
	補強2	42.93	26.01	49.01	42.70	31.60	34.42	14.27	61.16
	補強3	35.92	30.66	49.51	32.41	30.32	56.52	4.91	43.35
T型	未補強	65.03	12.40	4.25	64.03	60.60	54.85	6.01	79.15
	補強1	66.16	50.31	100	3.12	94.78	69.77	29.99	100
	補強2	75.46	79.80	100	9.01	100	91.89	9.65	100
	補強3	67.02	82.36	100	25.07	100	100	23.04	100
U型	未補強	32.74	49.90	100	11.58	42.67	52.51	2.62	100
	補強1	27.10	59.79	45.94	64.49	23.09	27.23	20.13	54.95
	補強2	22.05	35.51	35.07	31.70	28.27	25.14	17.15	19.42
	補強3	37.74	23.45	29.25	34.62	49.56	10.30	15.47	46.61
補強4	補強4	19.04	33.58	48.33	36.90	23.42	23.29	8.60	33.66
	補強4	18.30	29.53	54.14	41.50	24.62	27.75	18.15	23.25

二、重心與形心分析：



三、加速度結果分析：

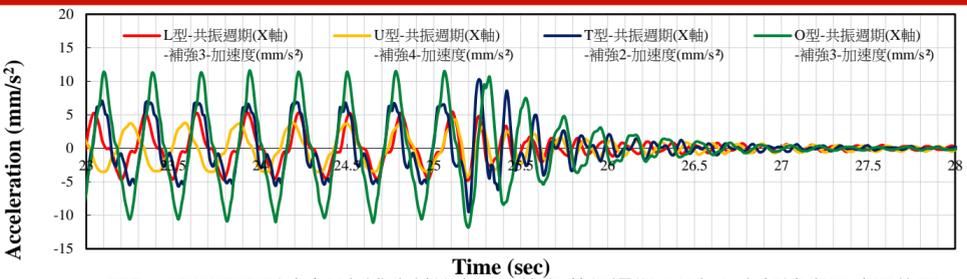


圖5-6 不同平面型式在X向補強斜撐之下，進行共振週期 (X向) 之加速度歷時關係圖。圖中顯示了L型、U型、T型和O型建築在X向補強斜撐下的加速度情況。

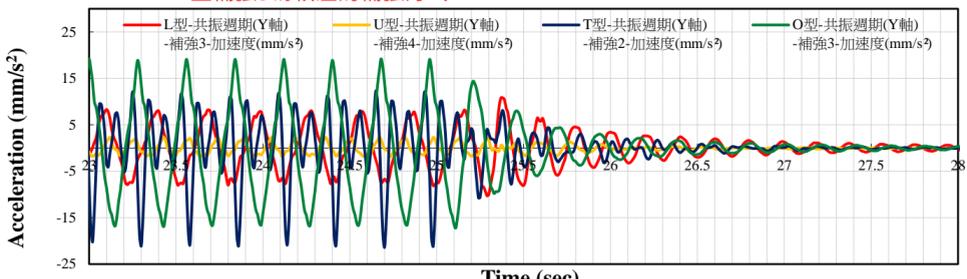


圖5-7 不同平面型式在X向補強斜撐之下，進行共振週期 (Y向) 之加速度歷時關係圖。圖中顯示了L型、U型、T型和O型建築在X向補強斜撐下的Y向加速度情況。

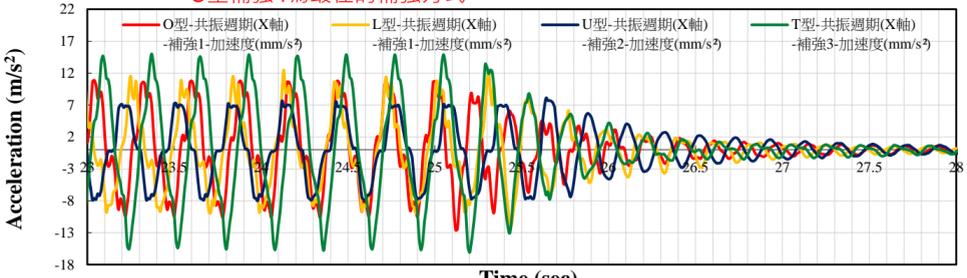


圖5-8 不同平面型式在Y向補強斜撐之下，進行共振週期 (X向) 之加速度歷時關係圖。圖中顯示了O型、L型、U型和T型建築在Y向補強斜撐下的X向加速度情況。

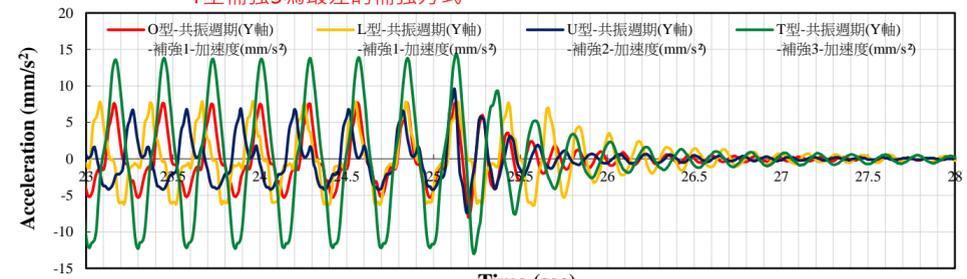
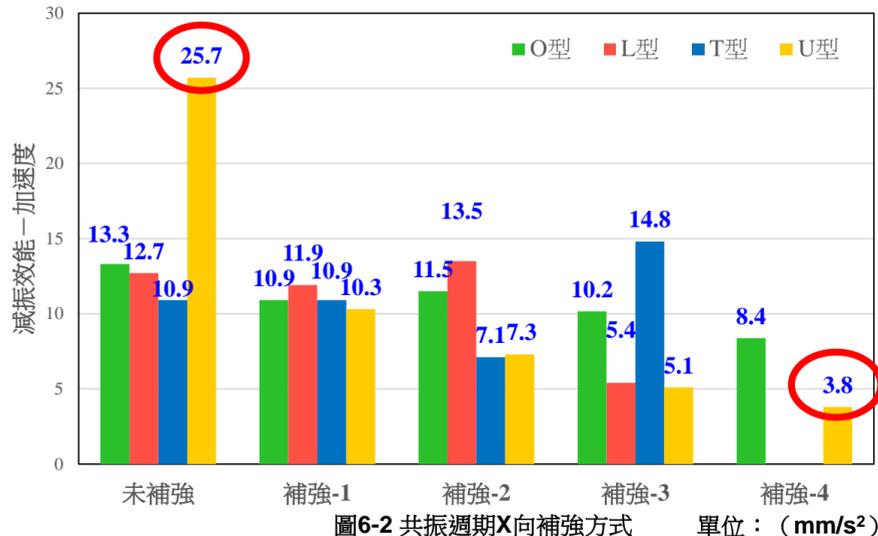
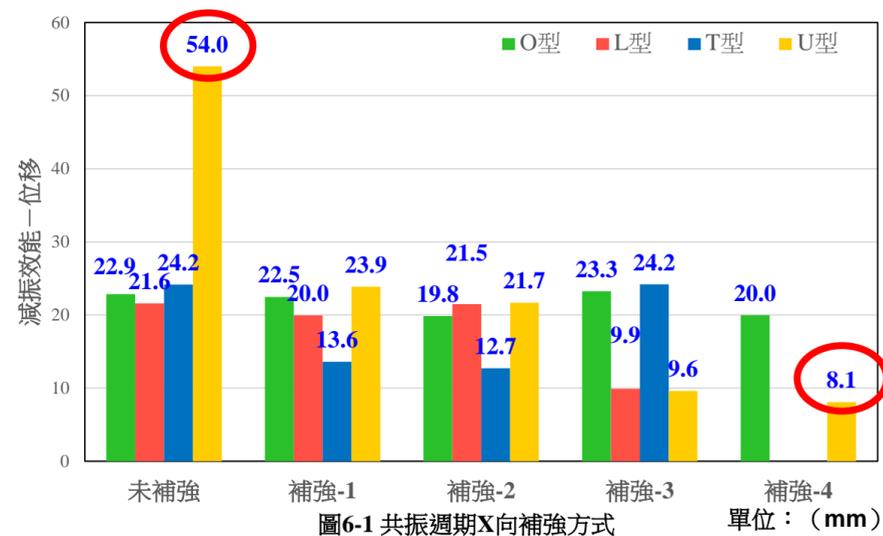


圖5-9 不同平面型式在Y向補強斜撐之下，進行共振週期 (Y向) 之加速度歷時關係圖。圖中顯示了O型、L型、U型和T型建築在Y向補強斜撐下的Y向加速度情況。

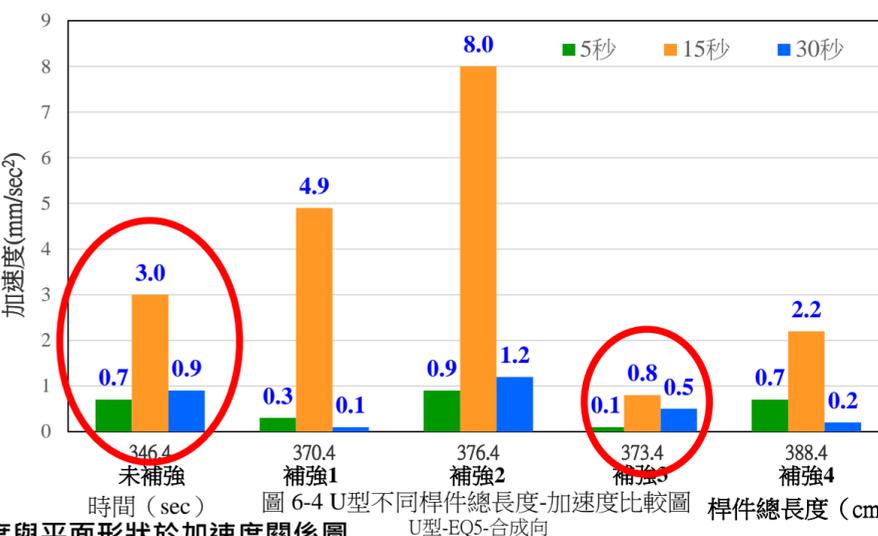
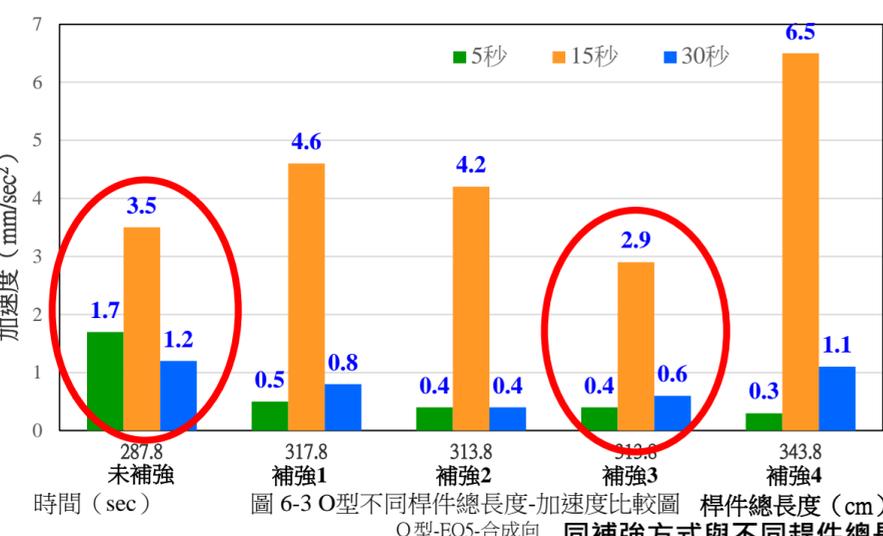
陸、討論

經過此研究之結果分析與討論，歸納出**平面形式**、**桿件總長度**、**補強位置**，做為應用縮尺模型評估其**斜撐補強**之**減震效益**探討結論，以下就各要項的結論作一說明：

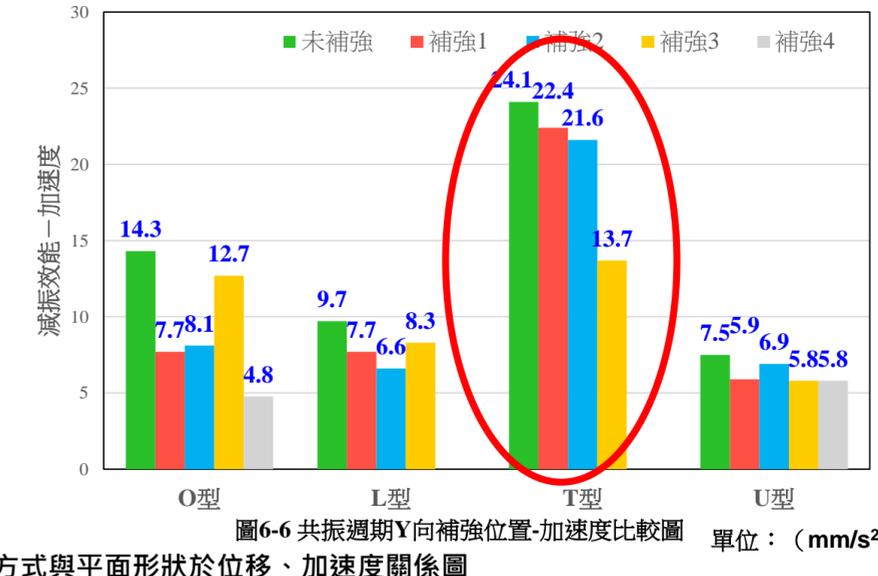
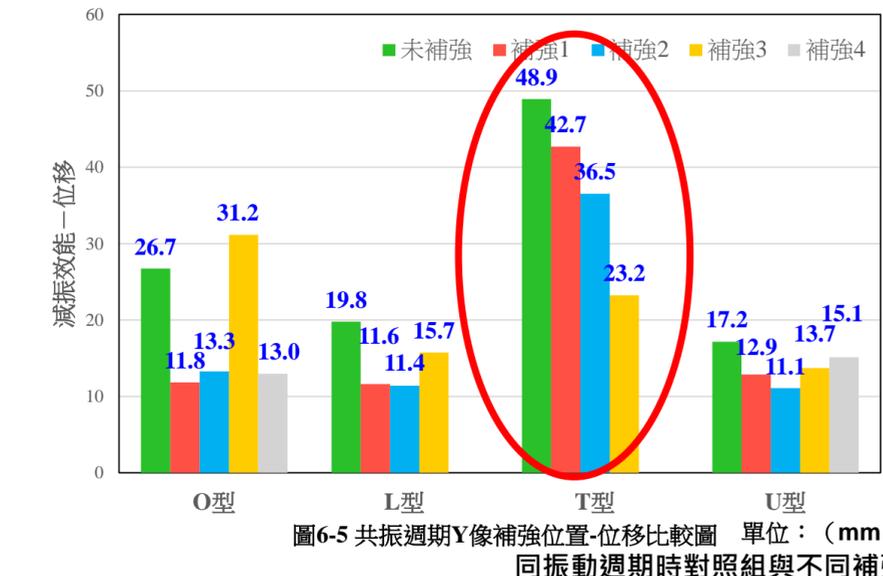
一、實驗組相較於對照組於「不同平面形式」在位移、加速度之消能效益：



二、實驗組相較於對照組於「不同桿件總長度」在加速度之消能效益：



三、實驗組相較於對照組於「不同補強位置」在位移、加速度之消能效益：



柒、結論

一、平面形式：

型式越規則的建築物受到地震的影響就越不明顯，但若本身**形心與重心不重疊**，或是兩者**距離差距愈大者**，將產生建築物**扭轉**情況，此外建築物樑體配置規則對稱性也必須考量其中，才能發揮最大消能效益。

二、桿件總長度：

從本次的研究結果得知，**桿件的總長度**並不會直接影響建築模型的耐震效果，反而是因為**補強位置**的不同，而造成消能效益的差異。

三、補強位置：

本研究結果得知，補強位置應採用**雙軸向斜撐**，避免**單軸向補強產生扭力破壞**，但如果建築物型式屬長方形則可採取單軸向斜撐補強。

四、未來展望：

(一) 此次的實驗模組我們只利用單一斜撐做實驗，後續的研究探討希望可以利用更多型式之斜撐做出更完善的研究架構。

(二) 本研究目前只在桿件的長度上加以討論，後續會在桿件數量的差異上探討分析，以了解在不同桿件長度與不同桿件數量的建築模型對地震之消能效益。

(三) 由於此次的實驗模組，柱子數量控制在相同的情況之下，所以節點數量均相同，後續將會考慮在各種不同節點數量，採用不同斜撐補強方式加以探討分析。