

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 地球與行星科學科

第二名

051907

「阻」擋地震「尼」我都可以!

學校名稱：國立鳳山高級中學

作者： 高二 楊至誠 高二 梁智勛	指導老師： 陳翠環
-------------------------	--------------

關鍵詞：建築、阻尼、地震

摘要

本篇主要想探討的是阻尼器與建築物的關係。首先我們製作不同彈性係數、重量的阻尼器，並模擬真實建築物並且依照比例縮小，再透過 tracker 程式分析最大加速度，比較各種阻尼器的抗震程度。經過多次的討論我們除了測試單一阻尼器的避震能力，我們也決定嘗試兩個阻尼器並且透過數據觀察其抗震效果是否會更好。

壹、研究動機

台灣位於地震頻繁的環太平洋地震火山帶上，每年受到約 23000 次大大小小的地震衝擊，更不用說每隔幾年就發生一次驚天動地的地震。某次我們在台北進行天文觀測時，遇到世界上最難預測的災害—地震。然而，歷經完 5 級的地震，一眼望去卻發現台灣最高的建築物—台北 101 只有輕微的搖晃，這與我們所想「越高樓越容易倒塌」的觀念產生矛盾，因此啟發我們去探討建築物的阻尼器與耐震程度的影響，並嘗試使用種阻尼組合並觀察其抗震之差異。

中央氣象局 1994-2015 年地震規模統計
Seismicity Statistics of Taiwan Area from 1994 to 2015

地震規模 Magnitude (Depth in km)	民國 Year																				平均/年 (Average) / year	總計 Total			
	83年 1994	84年 1995	85年 1996	86年 1997	87年 1998	88年 1999	89年 2000	90年 2001	91年 2002	92年 2003	93年 2004	94年 2005	95年 2006	96年 2007	97年 2008	98年 2009	99年 2010	100年 2011	101年 2012	102年 2013			103年 2014	104年 1-8月 2015	
7≤M	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	3
6≤M<7	4	1	2	2	1	14	3	3	6	2	3	2	5	2	0	4	2	0	3	4	1	4	2.6	68	
5≤M<6	37	25	19	20	20	83	31	13	30	24	15	26	18	16	19	21	32	15	21	19	22	13	22	539	
4≤M<5	245	216	222	177	145	734	259	203	344	220	176	238	209	149	166	184	133	147	151	152	138	120	185	4628	
3≤M<4	2026	1481	1889	1290	1329	5127	1839	1450	1984	1556	1406	1487	1582	1568	1513	1583	1253	1347	1106	1183	1068	809	1470	35856	
2≤M<3	9957	8276	8749	7899	7647	26584	12803	7827	15298	11484	9196	9334	8473	8065	8461	9220	8814	8905	7115	8458	7478	5423	8830	213046	
1≤M<2	5886	4784	6022	6356	5705	17011	9314	6692	12407	11962	10789	10527	7574	8448	7870	9029	12496	11333	16782	27590	21309	15985	11144	245489	
M<1	6	20	73	105	134	374	93	56	128	202	197	479	198	175	376	318	543	448	4195	8104	6747	5539	1426	28510	
合計 Total	17961	14803	16977	15649	14981	49928	24322	16244	28097	25450	21783	22093	18059	16425	18405	20359	23273	21795	31373	45510	36763	27893	23079	528139	
有感地震 Number of Felt Events	1182	1050	675	676	742	3233	1467	992	1800	1235	781	1105	785	583	651	795	754	776	1012	1272	975	479	932	23020	
報告地震 Number of Reported	86	71	42	62	57	314	266	136	196	148	113	167	110	91	102	154	153	172	214	166	154	43	124	3017	

貳、研究目的

- 一、利用彈簧原理製作阻尼器將其放置於不同樓層，探討其抗震程度。
- 二、運用不同彈簧阻尼器載重，觀測其效果之差異。
- 三、使用不同彈性係數探討其抗震效果。
- 四、嘗試使用兩個阻尼器探討其是否能減輕搖晃。
- 五、探討同一阻尼器對不同樓層的影響。

參、研究設備及器材

一、攝影機&腳架：錄製影片

二、地震模擬（搖擺機）：

(一) 購買二手搖擺機並且加以改裝成地震震源

(二) 底部則透過木板以及螺絲固定建築物

三、自製簡易模擬建築物：

(一) 材料：塑膠棒、紙板、保麗龍

(二) 將保麗龍板、紙板穿洞，再將塑膠棒插入，使紙板置於保麗龍板底下

(三) 木板與保麗龍透過熱熔膠黏合以防分離

(四) 每棟以每層 15 公分高，製作共 4 層樓的建築物

(五) 建築物底部之木板穿四個洞以利與建築物接合並且將保麗龍與木板用熱熔膠加以黏合

(六) 每層樓加上 20 克的砝碼載重，模擬真實樓層中的重物

(七) 在建築物每層樓上的塑膠棒增加多圈的膠帶以利確保每次放置阻尼器的位置相同

四、自製彈簧阻尼器

(一) 將彈簧插入乒乓球內

(二) 在乒乓球內放入砝碼



腳架&攝影機



搖擺機



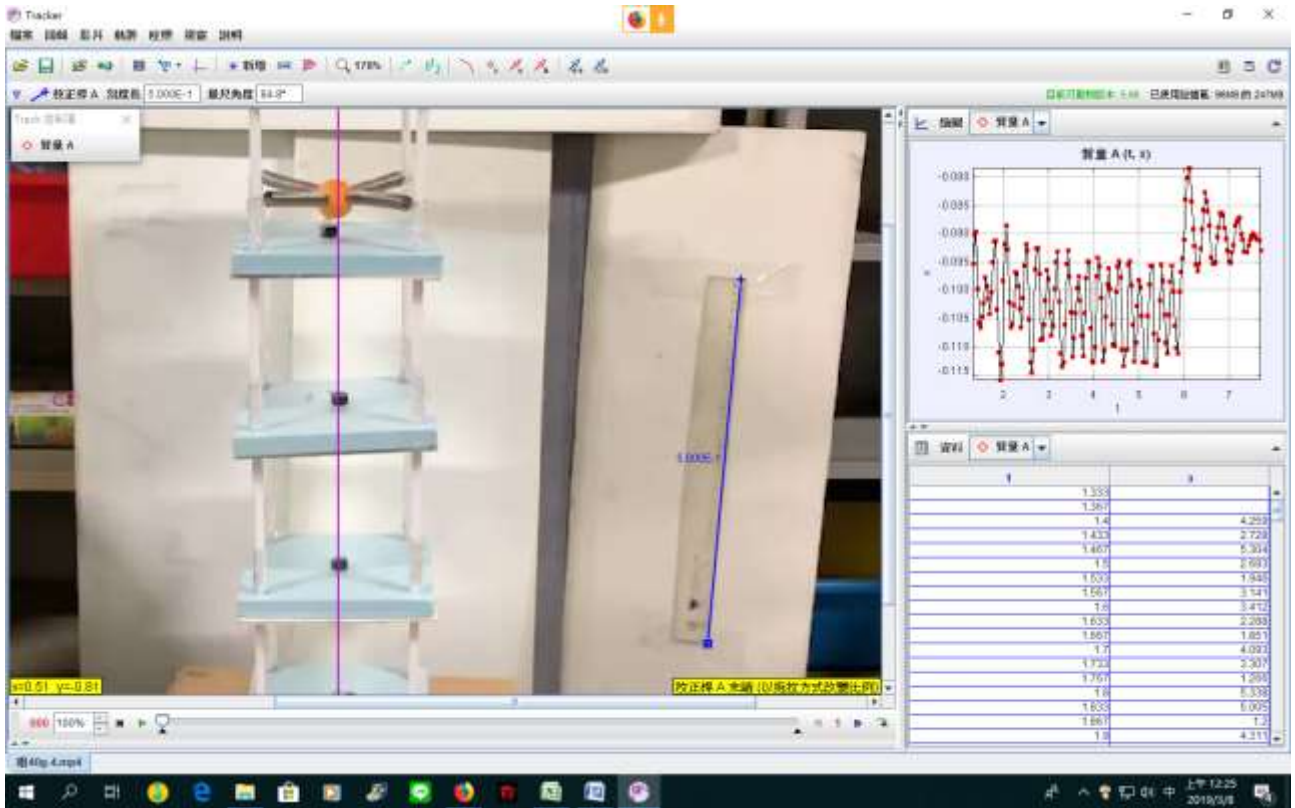
建築物



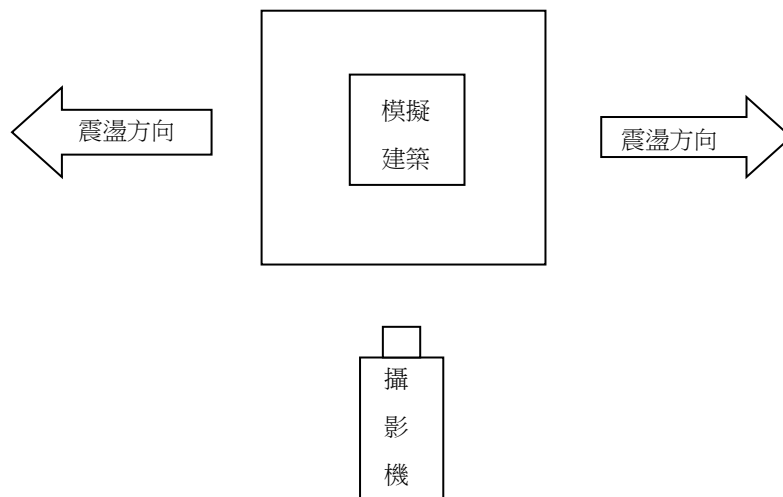
彈簧

五、Tracker 軟體

- (一) 將已錄製好的影片在 Tracker 上打開
- (二) 分析建築物各時間之加速度



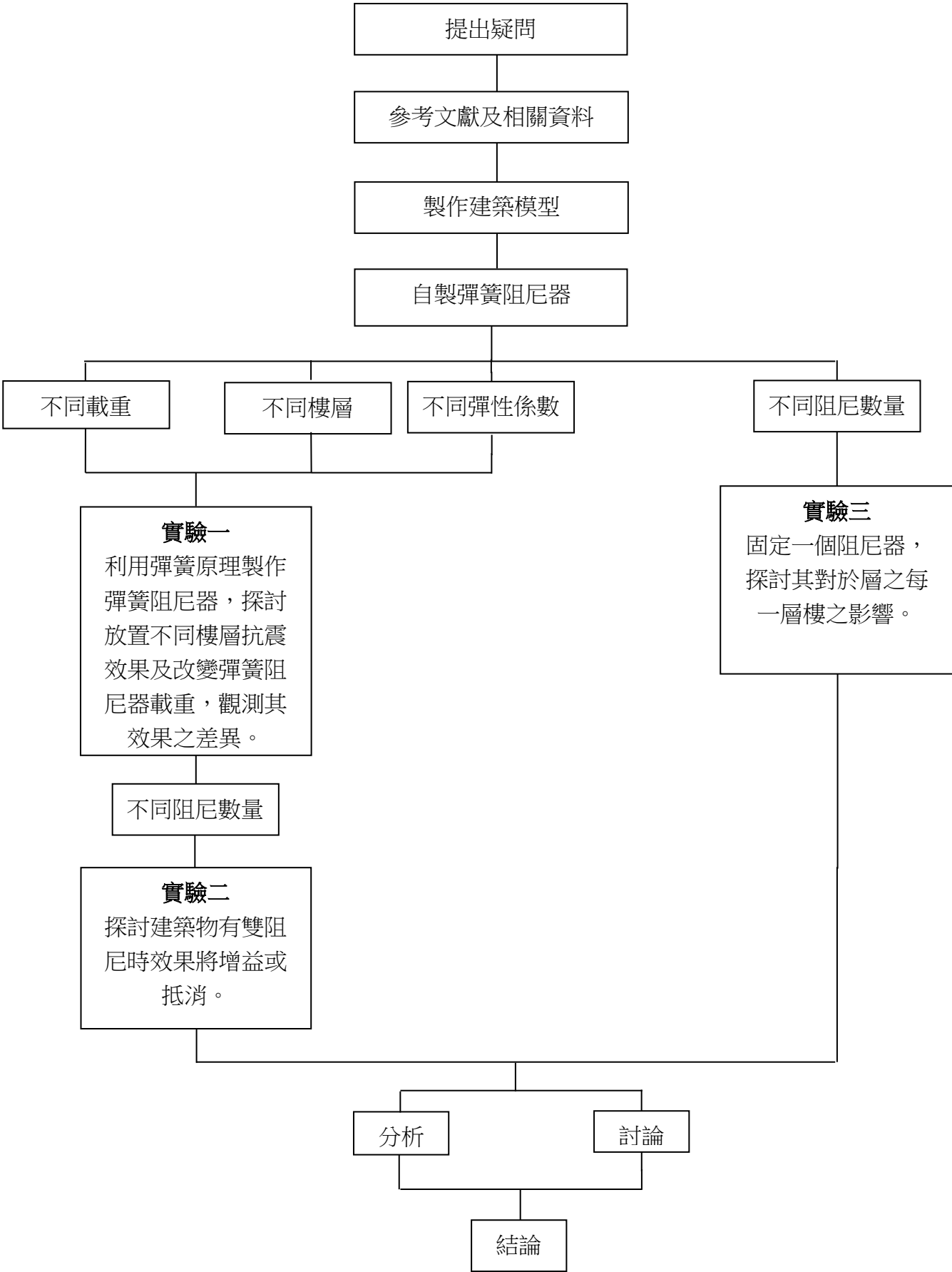
六、實驗裝置俯視圖



七、地震震度表

震度分級		地動加速度 (cm/s ² ,gal)	人的感受	屋內情形	屋外情形
0		0.8 以下	無感	無明顯變化	無明顯變化
1		0.8~2.5	極少數（少於 1%） 在戶內特別敏感的位置且靜止不動的人感到震顫	無明顯變化	無明顯變化
2		2.5~8.0	戶內少數人感覺到， 處於靜止的人感到搖擺或輕微震顫	電燈等懸掛物有小搖晃	靜止的汽車輕微搖晃
3		8~25	戶內少數人感覺到， 處於靜止的人感到輕微震顫	房屋震動，玻璃器皿、 門窗作響	靜止的汽車明顯搖動， 電線略有搖晃
4		25~80	在戶內的多數人感覺到， 戶外少數的人感覺到， 睡眠中的人幾乎都會驚醒	房屋搖動甚烈，底座不穩 物品傾倒，較重傢俱移動， 可能有輕微災害	汽車駕駛人略微有感， 電線明顯搖晃，部分步行中 的人也感到搖晃
5		80~250	室內絕大多數人和室外 少數人感覺到地震	懸掛的物體晃動很大	汽車駕駛人明顯感覺地震
6		250~400	室內絕大多數人和室外 多數人有感	部分建築物受損，穩定性 一般的小器物可能掉落， 家具可能移位	汽車駕駛人開車困難， 出現噴沙噴泥現象
7		400 以上	絕大多數人驚慌， 試圖逃出	部分建築物受損嚴重或 倒塌，幾乎所有傢俱都 大幅移位或摔落	山崩地裂，鐵軌變形 下管線破壞

肆、研究過程及方法



一、實驗一：探討阻尼器放置不同樓層、改變彈簧阻尼器載重及彈簧之抗震效果，觀測其效果之差異。

- (一) 步驟一：將做好的模擬建築物置於搖擺器上方，並用熱熔膠固定。
- (二) 步驟二：將彈簧阻尼器固定於建築物上。
- (三) 步驟三：架設攝影機於模擬器正前方。
- (四) 步驟四：改變 $K_1=41.7\text{gw/cm}$ 阻尼之重量，錄製其放置於不同樓層之影片。
- (五) 步驟五：改變 $K_2=24.2\text{gw/cm}$ 阻尼之重量，錄製其放置於不同樓層之影片。
- (六) 步驟六：將錄好的影片再透過 Tracker 程式分析平均加速度與最大加速度。
- (七) 步驟七：平均重複三次實驗之數據。

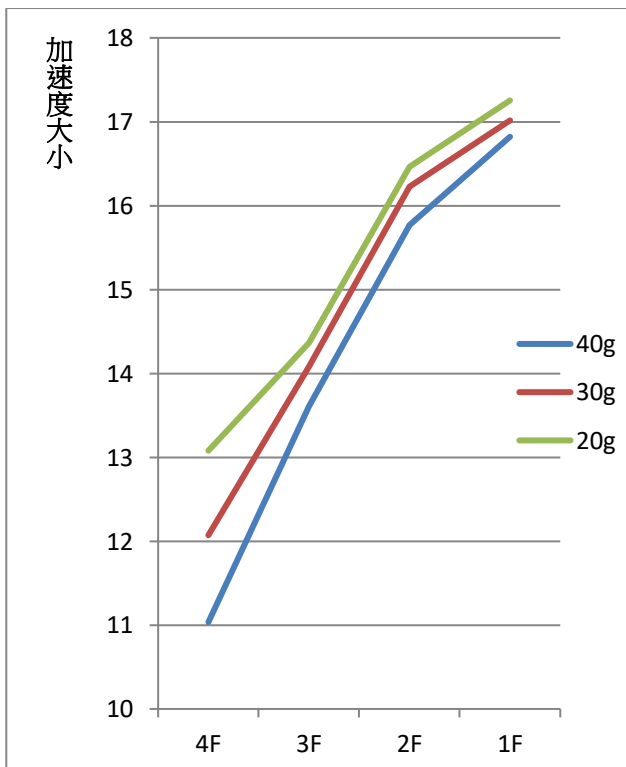
實驗結果如下表：

阻尼重量	40g	30g	20g
阻尼放置處	最大加速度(m/s^2)		
4F	11.034	12.071	13.079
3F	13.608	14.084	14.367
2F	15.771	16.226	16.462
1F	16.821	17.016	17.254

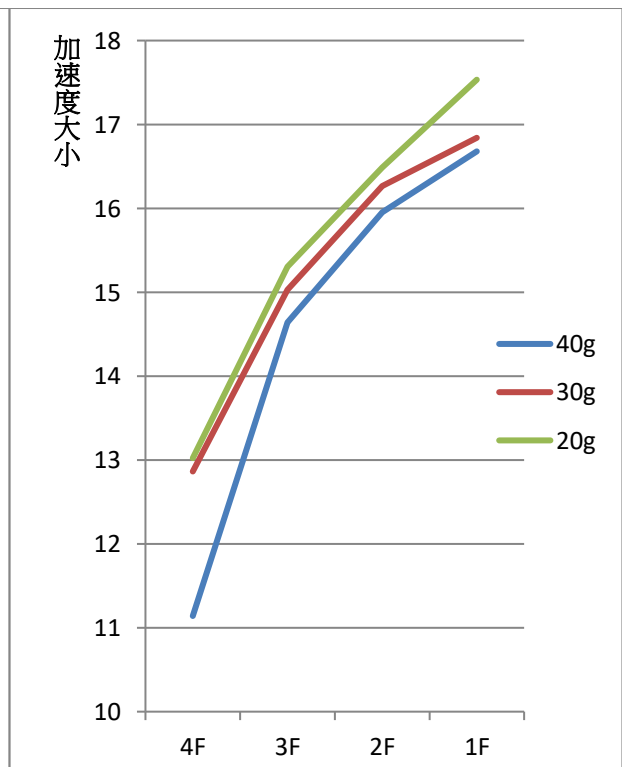
表一： $K_1=41.7\text{gw/cm}$

阻尼重量	40g	30g	20g
阻尼放置處	最大加速度(m/s^2)		
4F	11.140	12.863	13.022
3F	14.642	15.029	15.304
2F	15.952	16.264	16.489
1F	16.678	16.840	17.533

表二： $K_2=24.2\text{gw/cm}$



圖表一：固定彈性係數為 $K_1=41.7\text{gw/cm}$



圖表二：固定彈性係數為 $K_2=24.2\text{gw/cm}$

阻尼	k1	k2
阻尼放置處	最大加速度(m/s ²)	
4F	11.034	11.140
3F	13.608	14.642
2F	15.771	15.952
1F	16.821	16.678

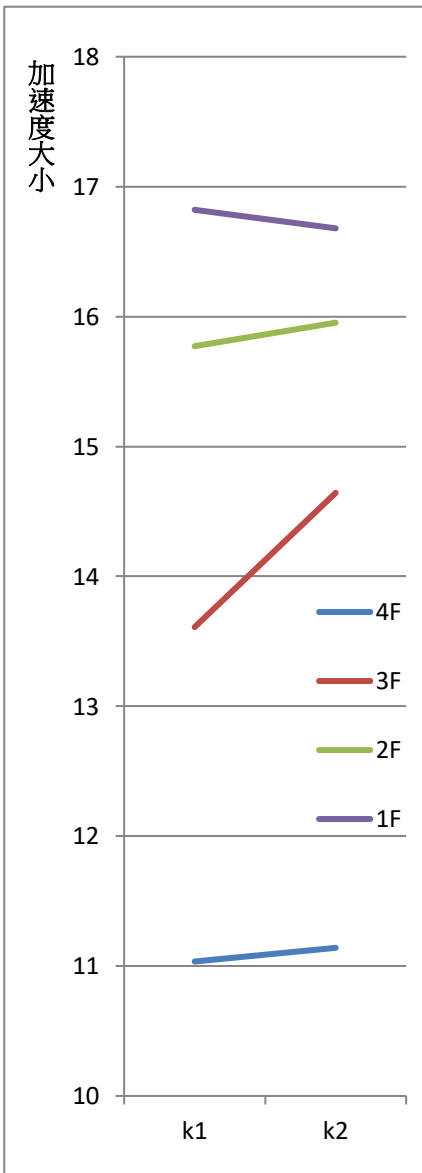
表三：M=40g

阻尼	k1	k2
阻尼放置處	最大加速度(m/s ²)	
4F	12.071	12.863
3F	14.084	15.029
2F	16.226	16.264
1F	16.654	16.840

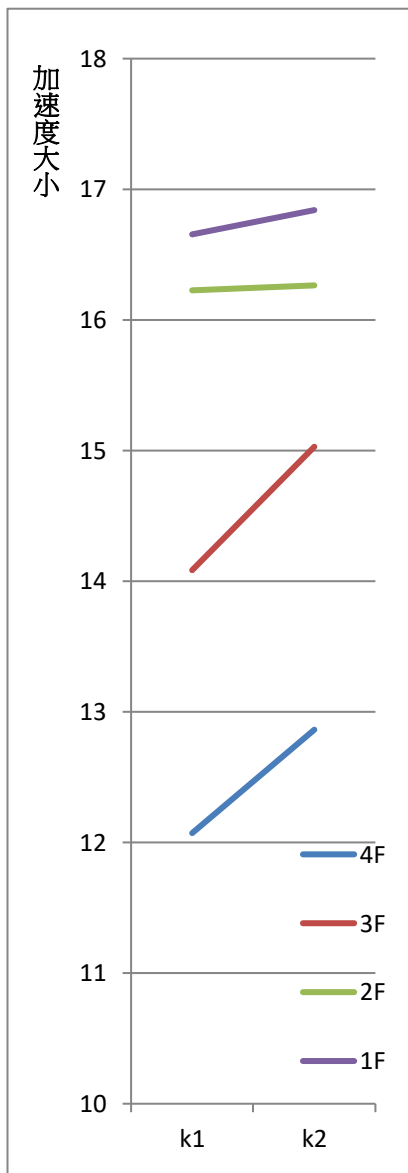
表四：M=30g

阻尼	k1	k2
阻尼放置處	最大加速度(m/s ²)	
4F	13.079	13.022
3F	14.367	15.304
2F	16.462	16.489
1F	17.254	17.533

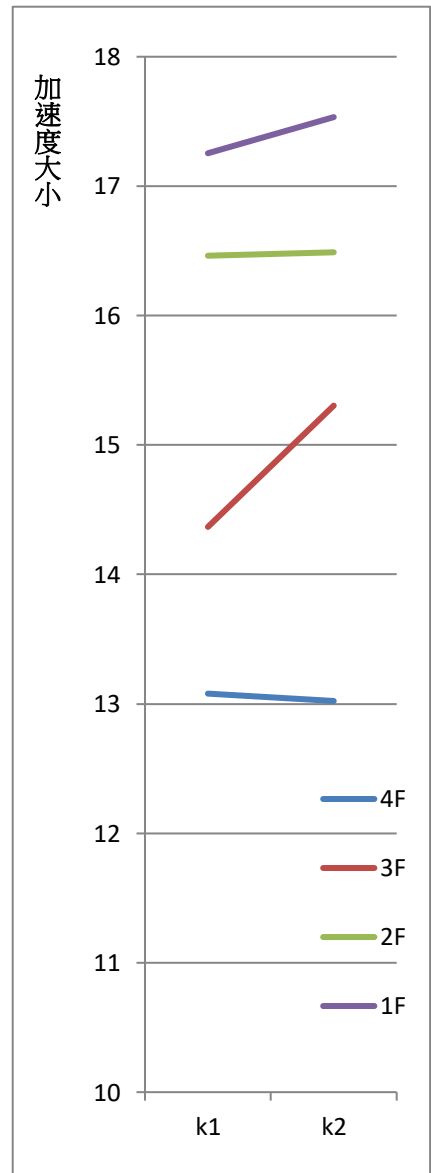
表五：M=20g



圖表三：固定 M=40g



圖表四：固定 M=30g



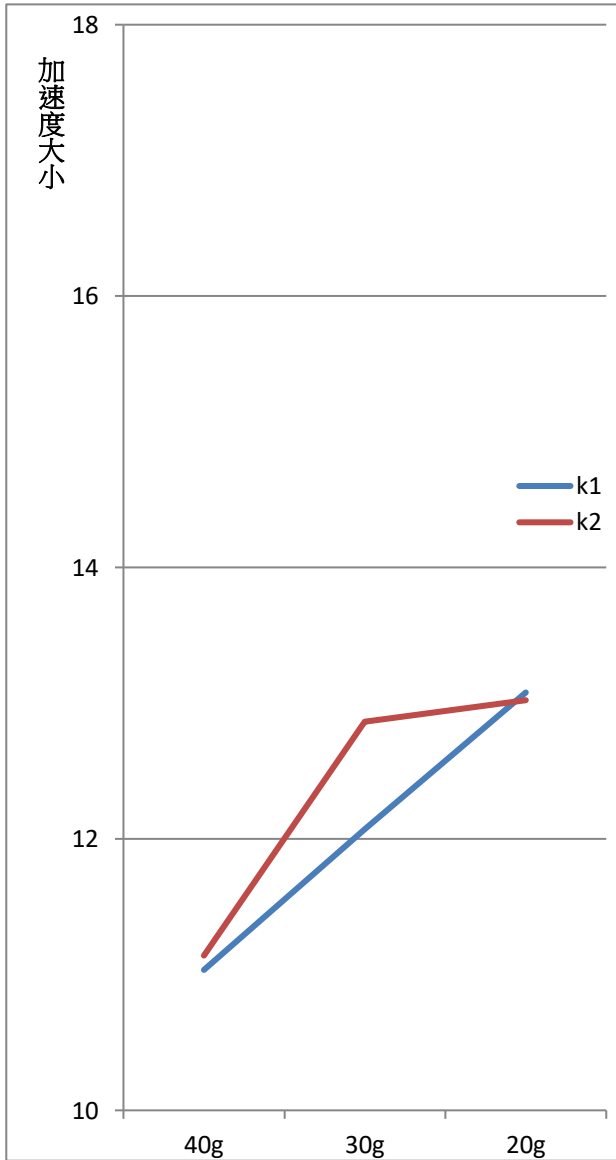
圖表五：固定 M=20g

阻尼	k1	k2
阻尼重量	最大加速度(m/s ²)	
40g	11.034	11.140
30g	12.071	12.863
20g	13.079	13.022

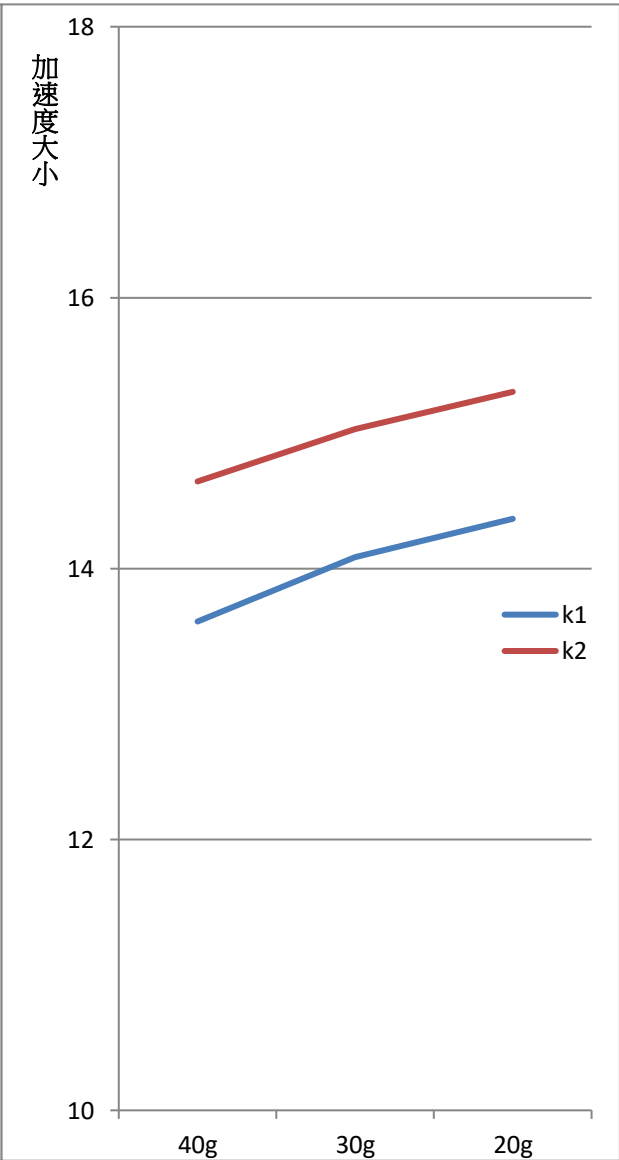
表六：阻尼放置於 4F

阻尼	k1	k2
阻尼重量	最大加速度(m/s ²)	
40g	13.608	14.642
30g	14.084	15.029
20g	14.367	15.304

表七：阻尼放置於 3F



圖表六：阻尼放置於 4F



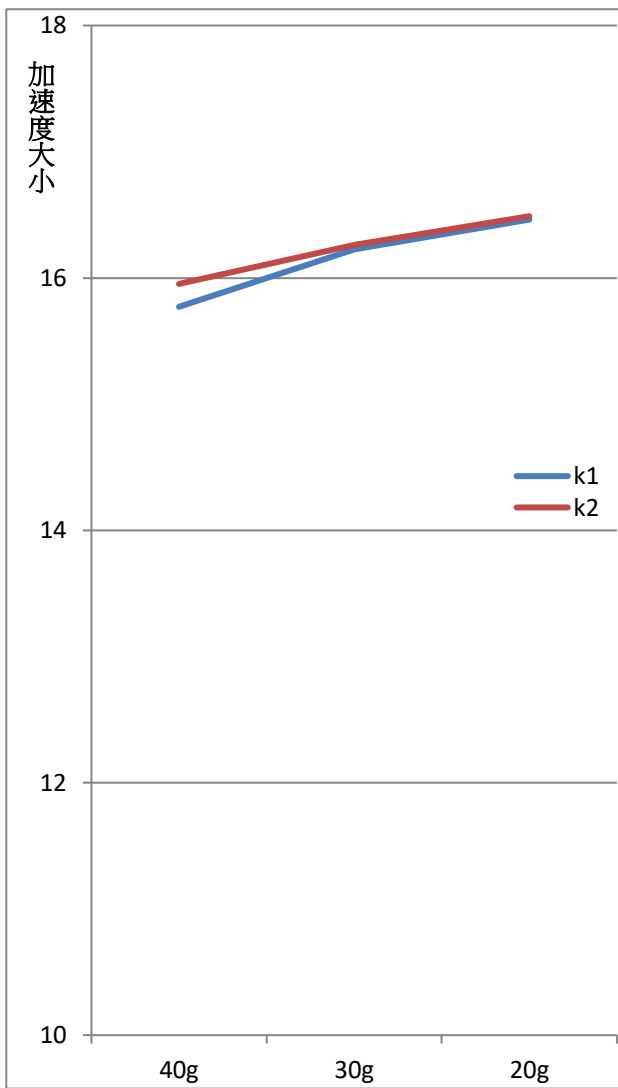
圖表七：阻尼放置於 3F

阻尼	k1	k2
阻尼重量	最大加速度(m/s ²)	
40g	15.771	15.952
30g	16.226	16.264
20g	16.462	16.489

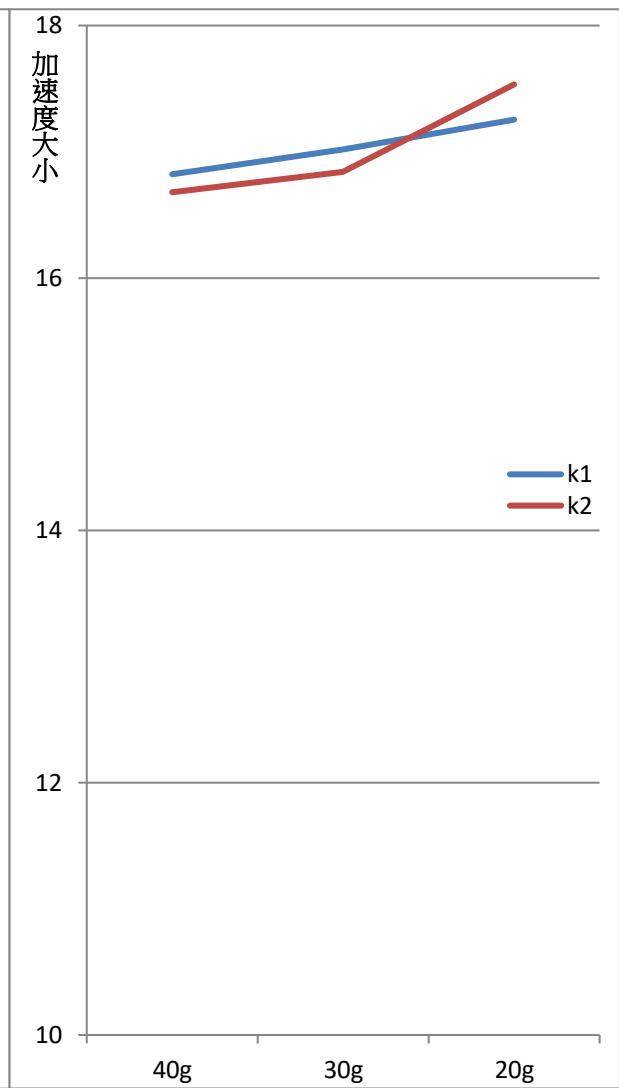
表八：阻尼放置於 2F

阻尼	k1	k2
阻尼重量	最大加速度(m/s ²)	
40g	16.821	16.678
30g	17.016	16.840
20g	17.254	17.533

表九：阻尼放置於 1F

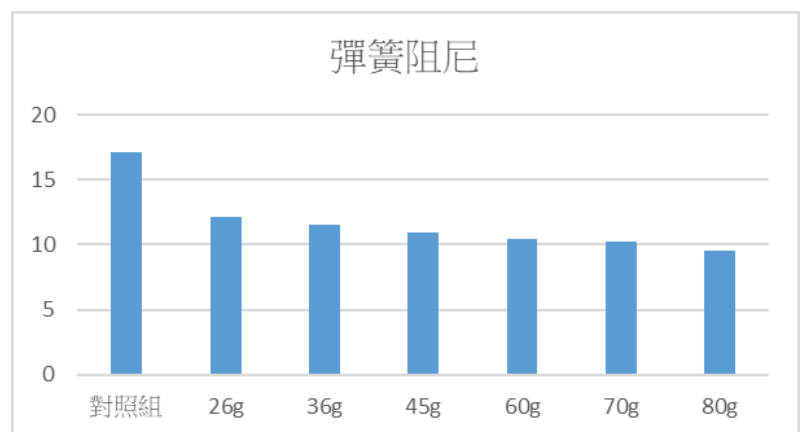


圖表八：阻尼放置於 2F



圖表九：阻尼放置於 1F

	最大加速度(m/s ²)
對照組	17.09
26g	12.108
36g	11.579
45g	10.945
60g	10.422
70g	10.279
80g	9.587



圖表十、十一：固定彈性係數為 K1=41.7gw/cm、阻尼放置於 4F

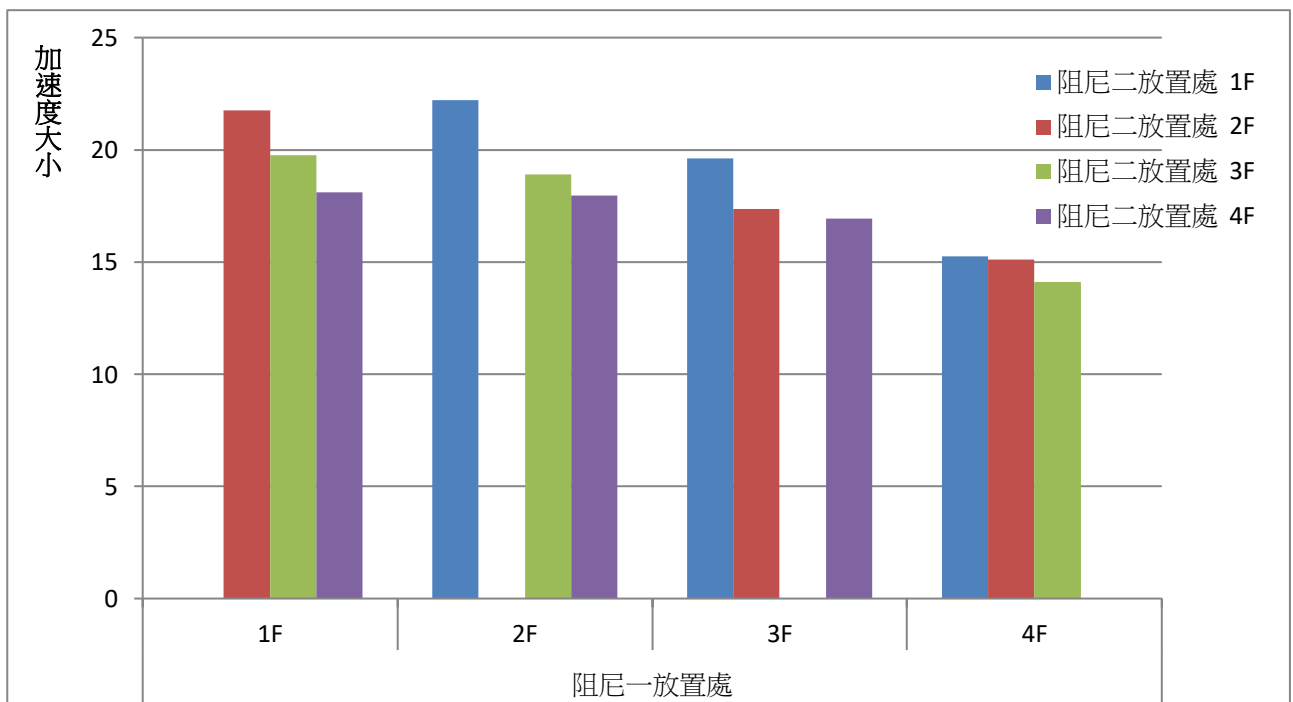
二、實驗二：探討建築物有雙阻尼時效果將增益或抵消。

- (一) 步驟一：經由實驗一的結論，選出一效果最佳（阻尼一：載重 40g、 $k=41.7\text{gw/cm}$ ）以及一效果最差（阻尼二：載重 20g、 $k=24.2\text{gw/cm}$ ）的彈簧阻尼器。
- (二) 步驟二：架設攝影機於模擬器正前方。
- (三) 步驟三：將雙阻尼放置於不同樓層後錄製。
- (四) 步驟四：將錄好的影片再透過 Tracker 程式分析最大加速度。
- (五) 步驟五：平均重複三次實驗之數據。

實驗結果如下表：（以下加速度單位全為 m/s^2 ）

最大加速度		阻尼一放置處			
		1F	2F	3F	4F
阻尼二放置處	1F		22.206	19.613	15.252
	2F	21.756		17.362	15.104
	3F	19.752	18.891		14.114
	4F	18.089	17.972	16.936	

表十二



圖表十三

三、實驗三：固定一個阻尼器，探討其對於每一樓層之影響。(以下加速度單位全為 m/s^2)

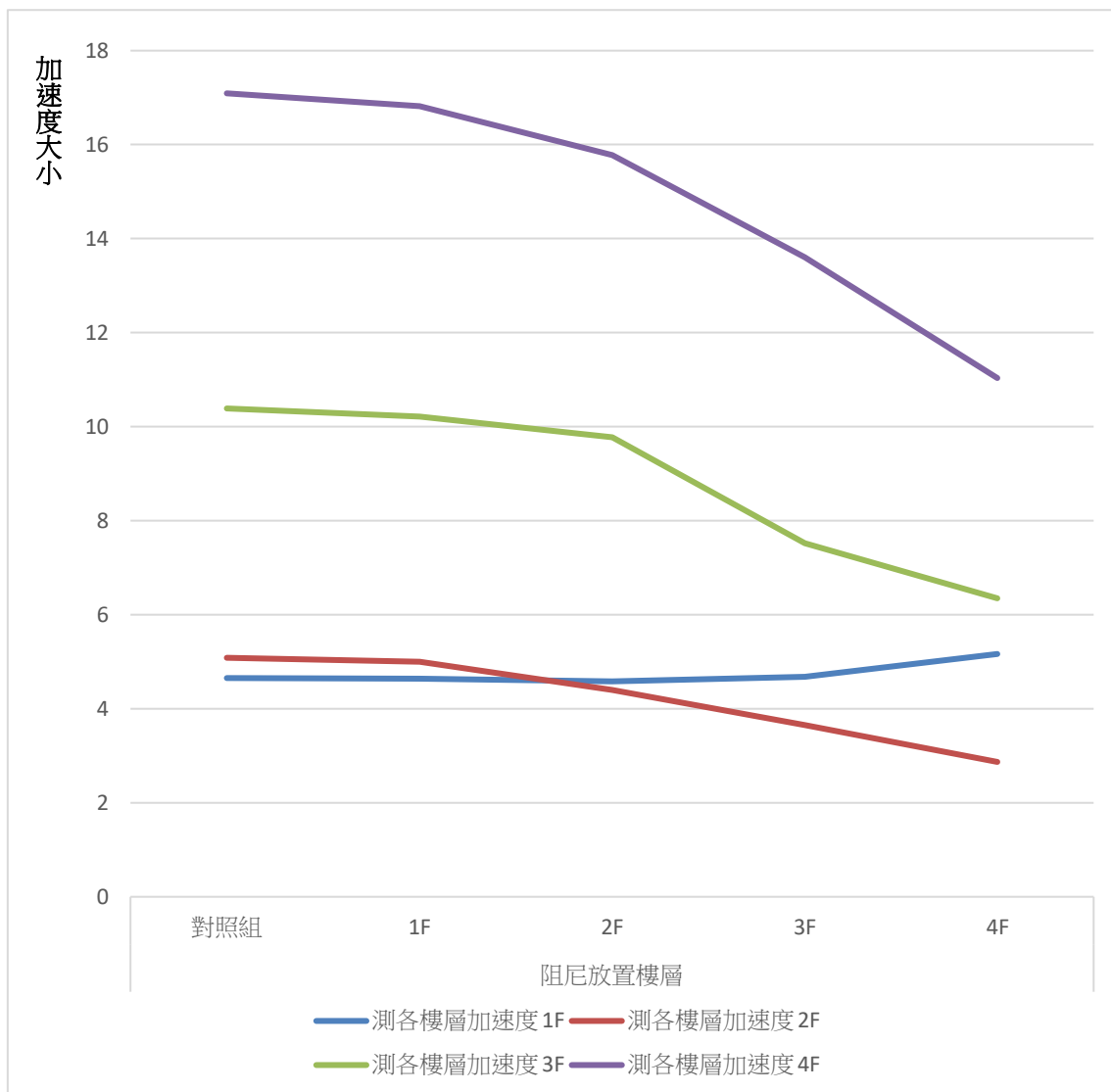
(一) 步驟一：固定一個阻尼器（阻尼：載重 40g、 $k=41.7gw/cm$ ），錄製其放置於不同層樓之影片。（對照組：不放阻尼器）

(二) 步驟二：將錄好的影片再透過 Tracker 程式分析最大加速度。

(三) 步驟三：平均重複三次實驗之數據。實驗結果如下表：

最大加速度		阻尼放置樓層				
		對照組	1F	2F	3F	4F
測各樓層加速度	1F	4.657	4.637	4.582	4.685	5.165
	2F	5.084	4.999	4.403	3.650	2.869
	3F	10.388	10.220	9.781	7.526	6.349
	4F	17.091	16.821	15.771	13.608	11.034

表十四

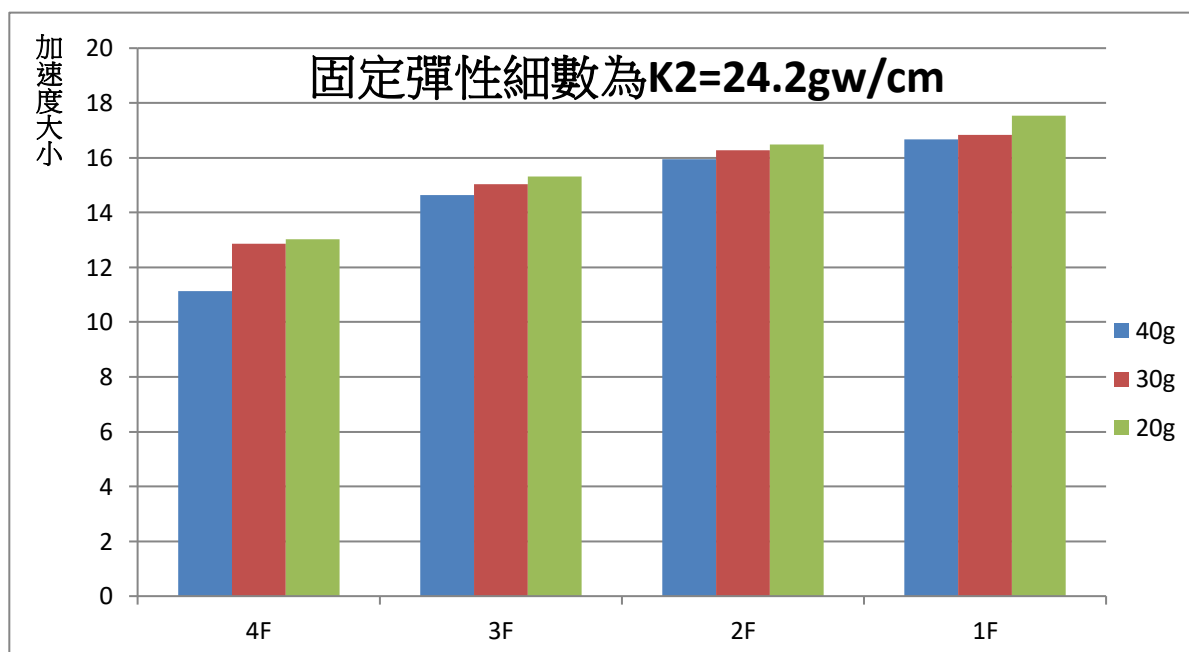
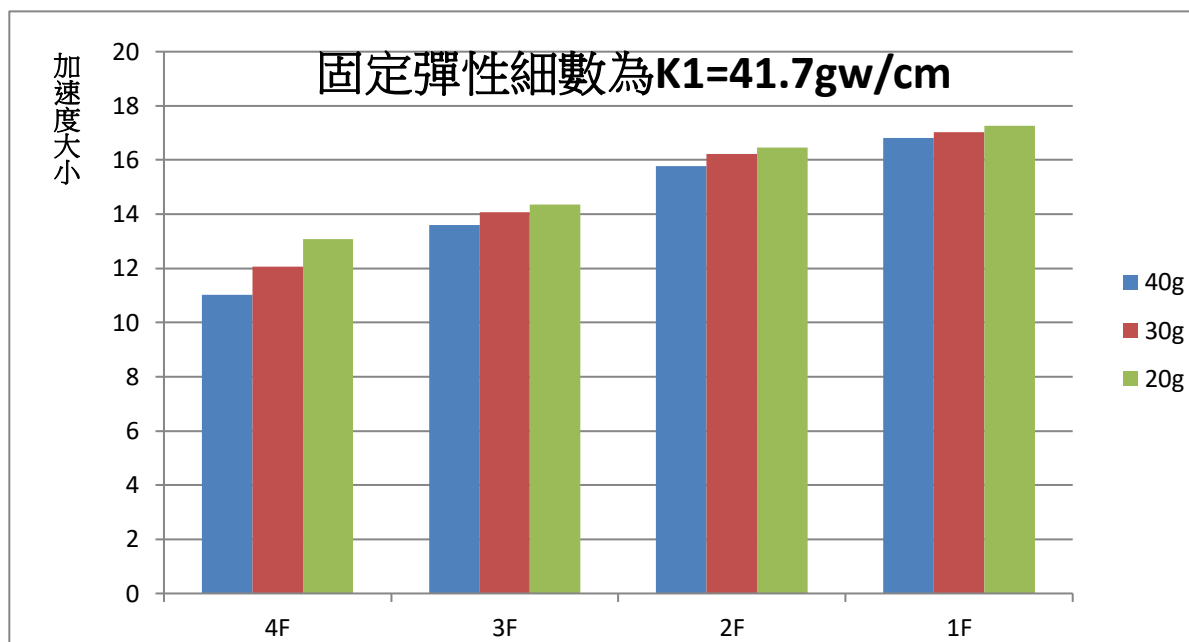


圖表十五

伍、研究結果

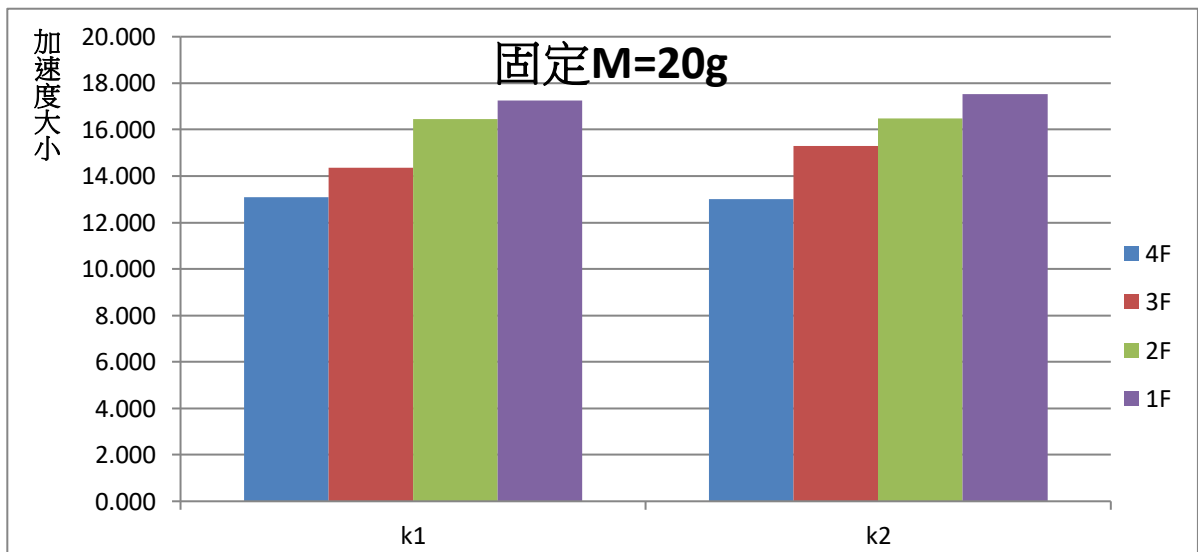
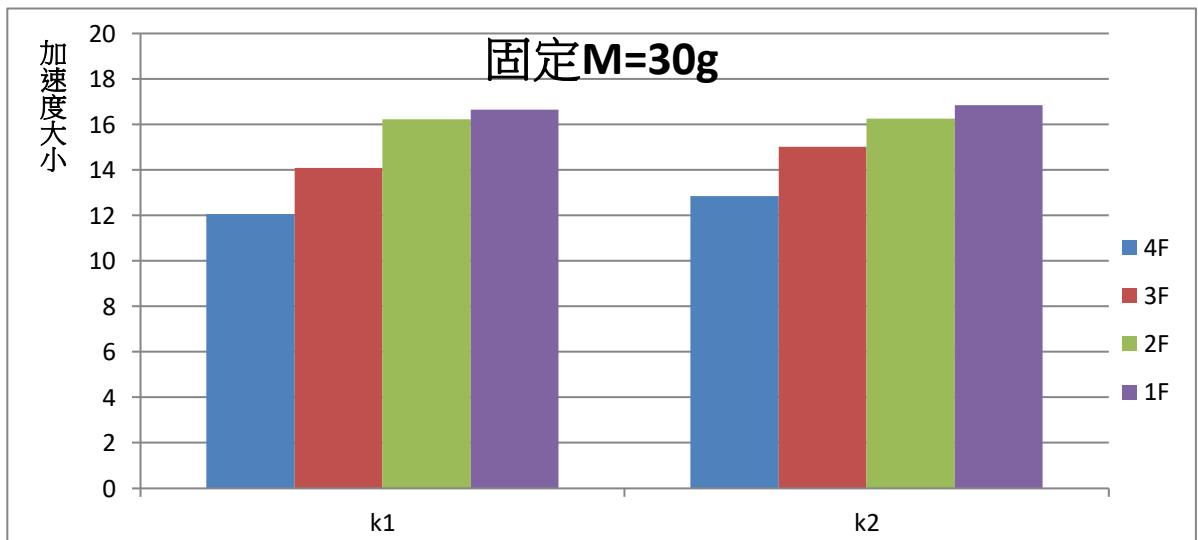
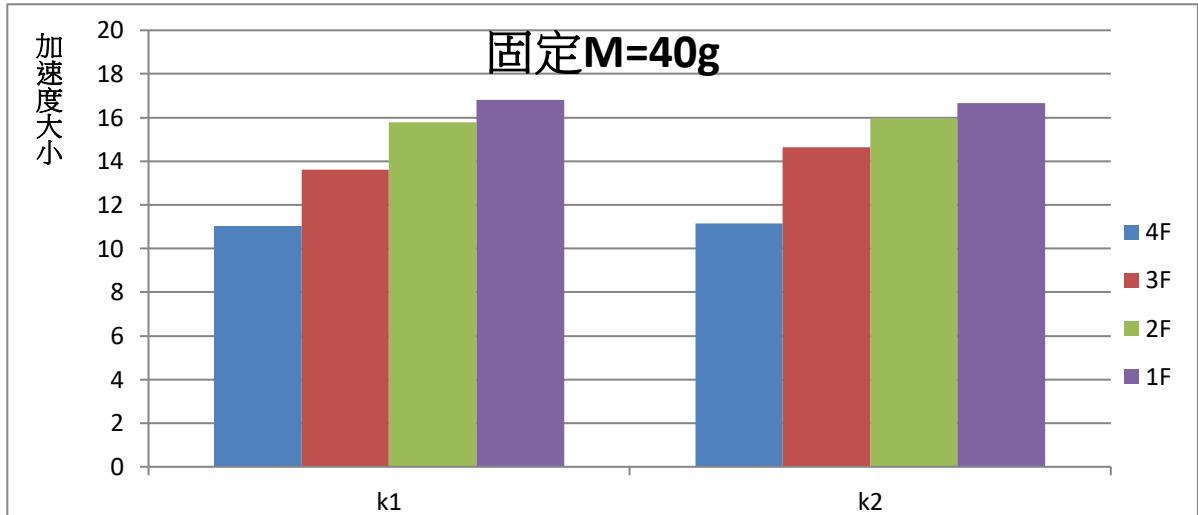
一、實驗一：探討阻尼器放置不同樓層、改變彈簧阻尼器載重及彈簧之抗震效果，觀測其效果之差異。(以下加速度單位全為 m/s^2)

(一)

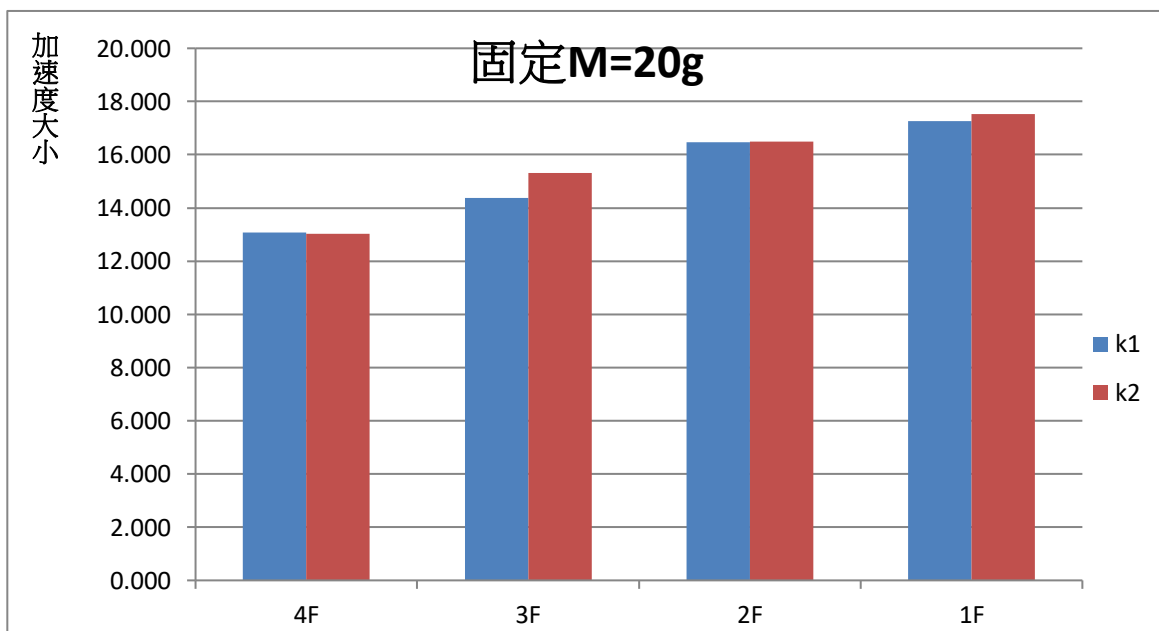
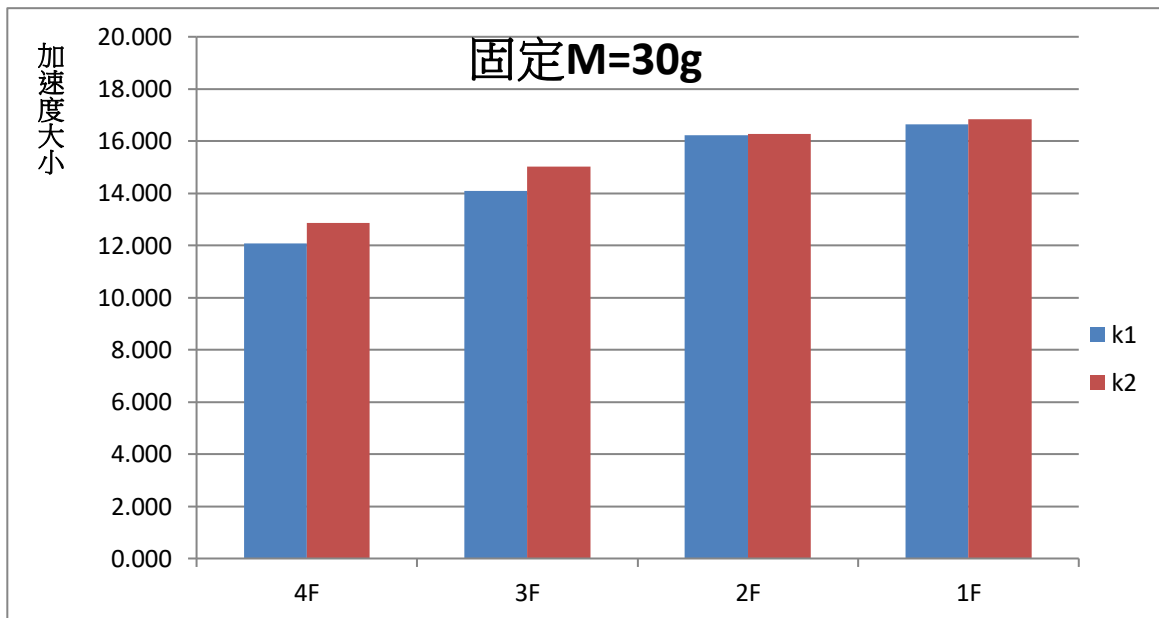
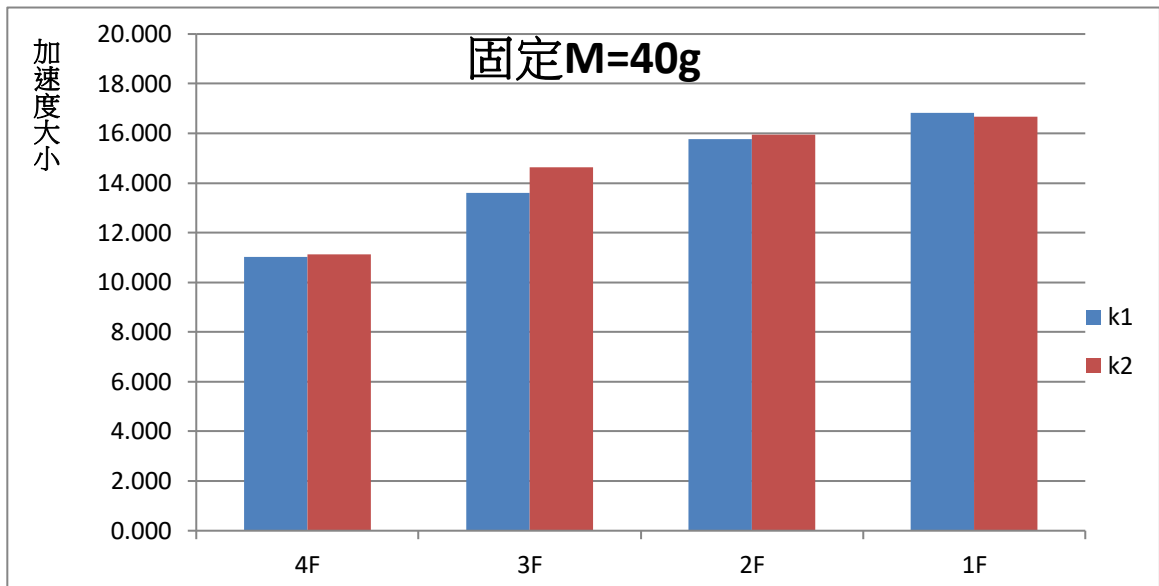


40 公克的彈簧的減震效果相較於其他組阻尼效果最佳，依重量遞減減震能力也變差。其中令我們感到驚訝的是若將 $K1$ 或 $K2$ 彈簧配上質量 20g 的阻尼時，反而增強了建築物的最大加速度。

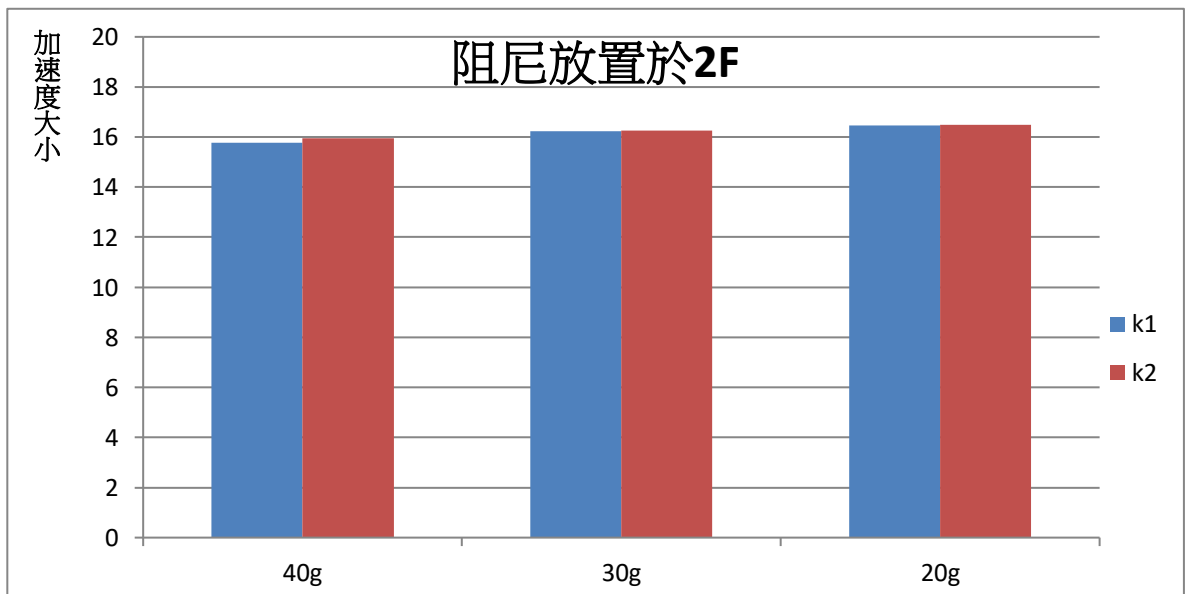
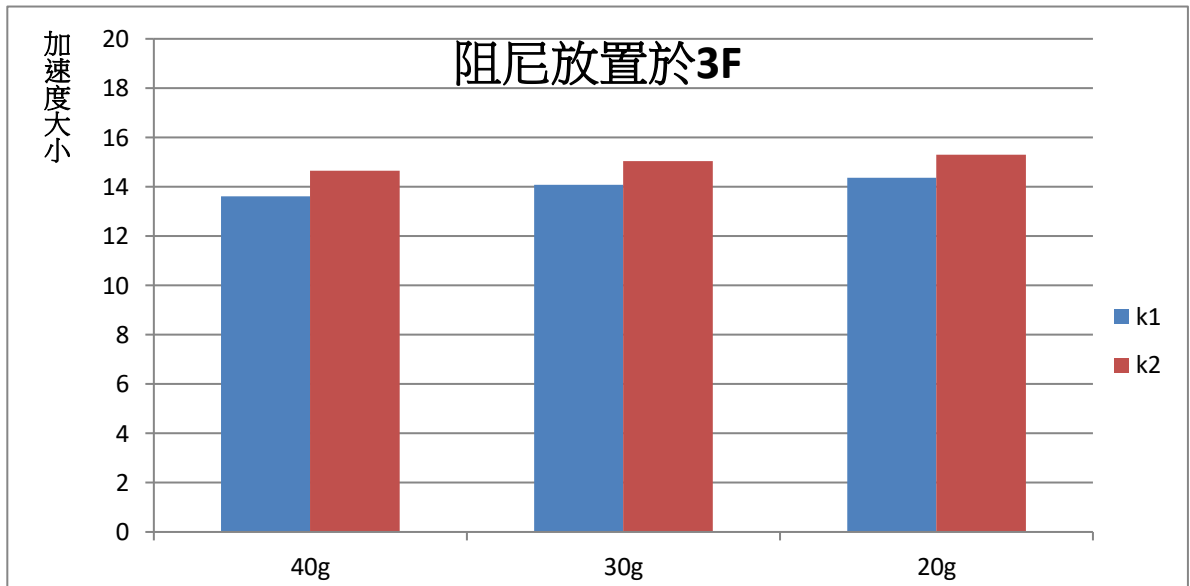
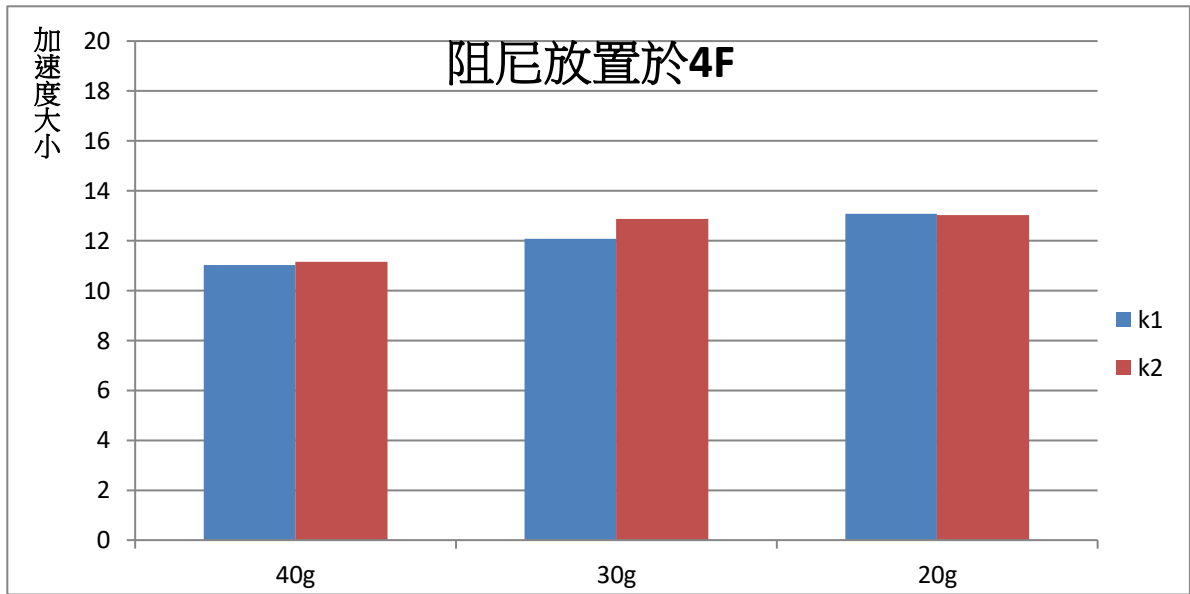
(二)

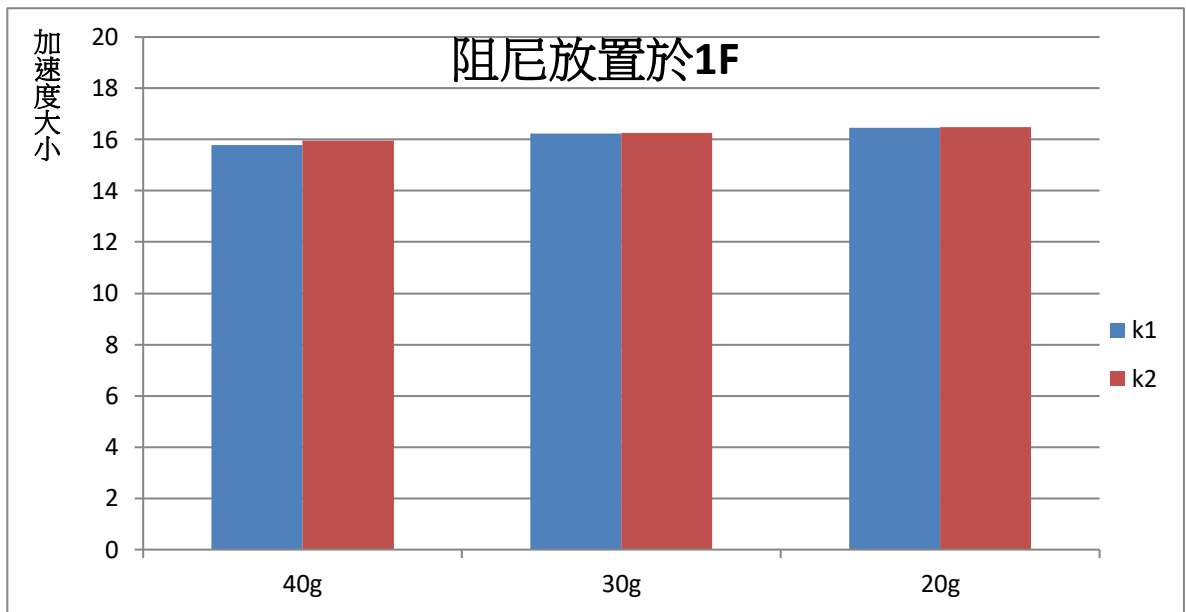


將阻尼器放置於 4 樓時，減震效果最佳。依樓層遞減，減震效果也逐漸變差。其中將阻尼擺放在 3 樓時，K1 或 K2 彈簧的減震差異最明顯。以下為示意圖：



(三)

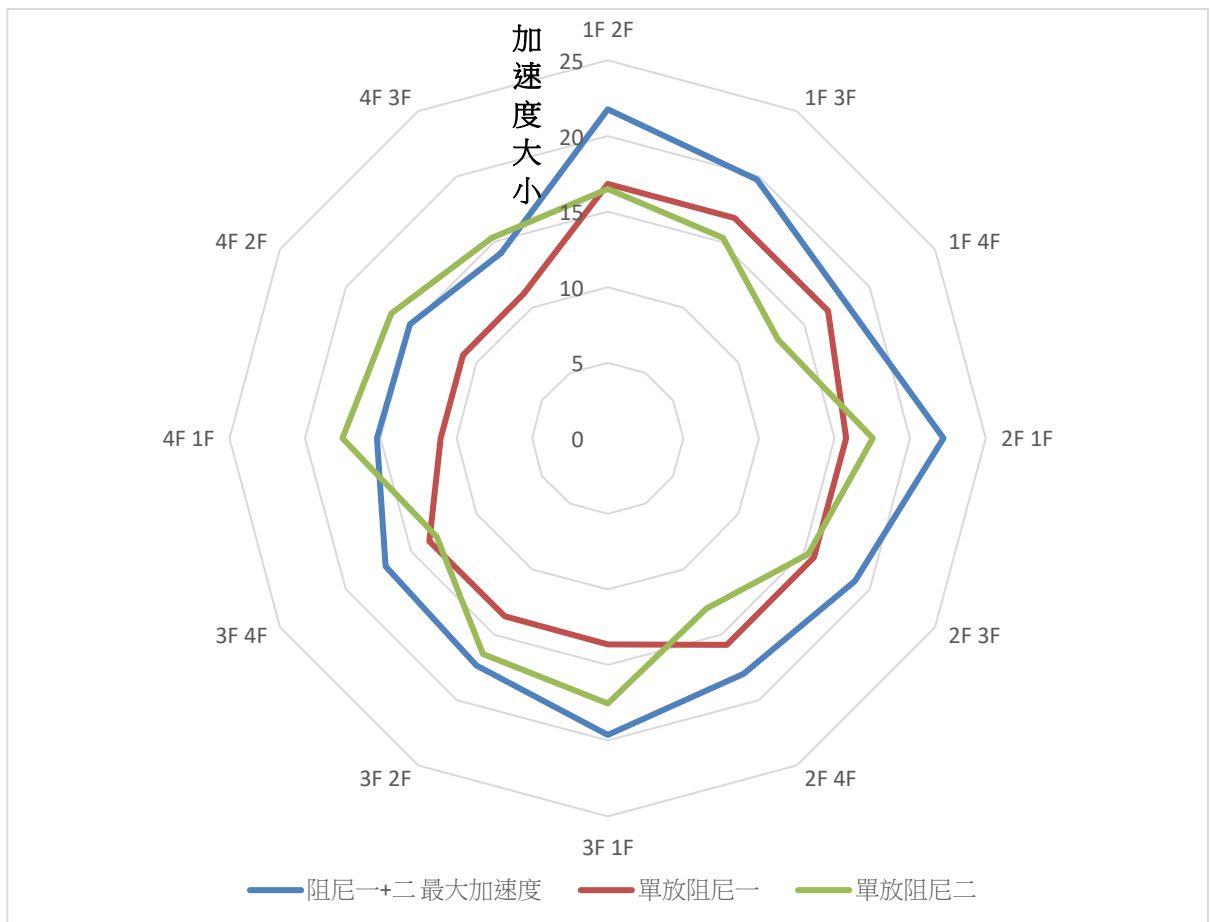




由圖可知，當使用不同彈性係數的彈簧時，差異並不明顯。然而當我們把不同彈性係數的彈簧放置於3樓時，相較其他樓層較能看出不同彈性係數對建築物的影響。

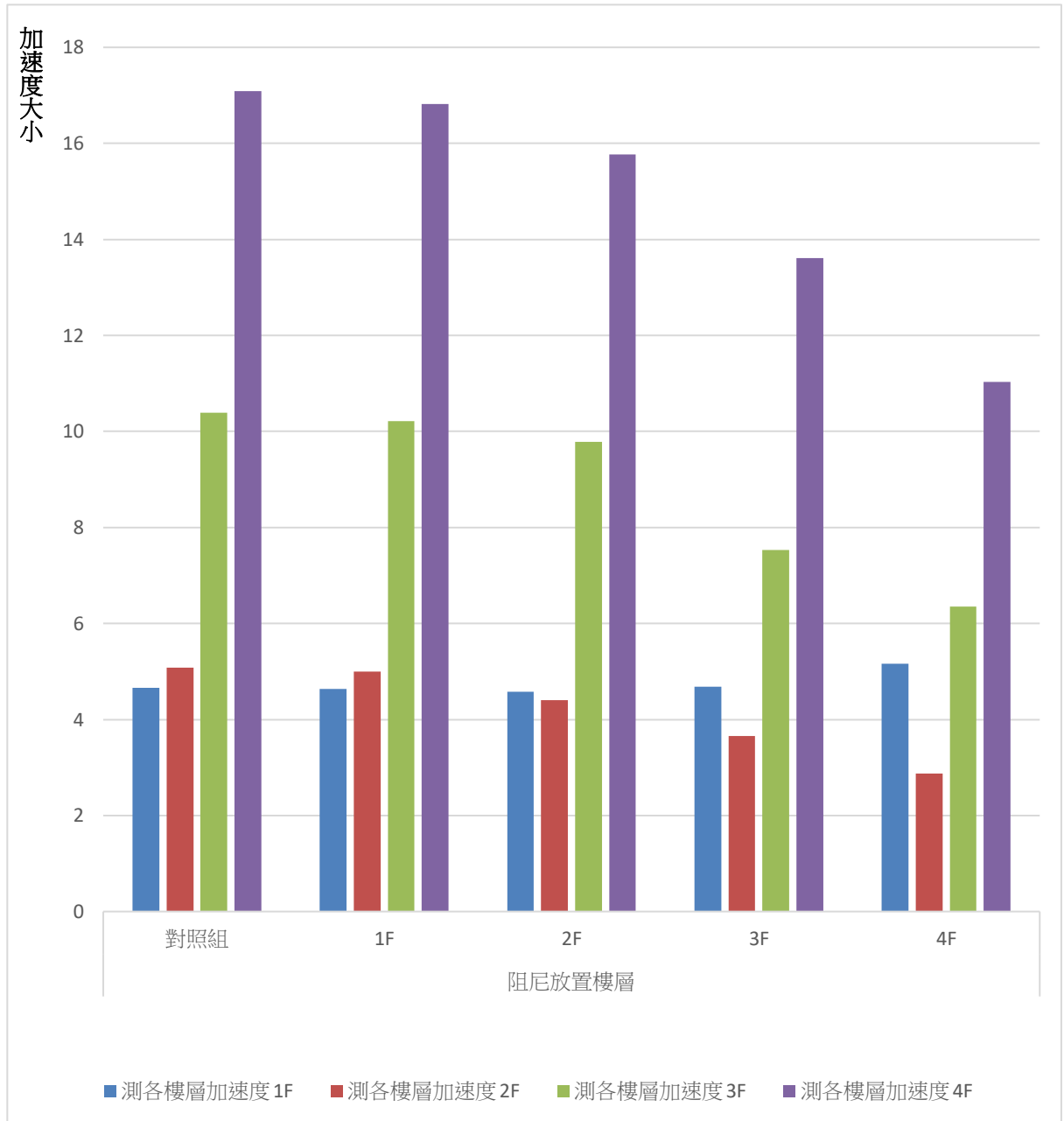
二、實驗二：探討建築物有雙阻尼時效果將增益或抵消。(以下加速度單位全為 m/s^2)

- (一) 以下為(阻尼一，阻尼二)排列，阻尼一 ($k_1=41.7gw/cm$ 、 $40g$)、阻尼二 ($k_2=24.2gw/cm$ 、 $20g$)



將兩個阻尼器放置在建築物上，大多將會造成減震效果變差。然而當我們將阻尼一放置於 4 樓時，雙阻尼造成的減震效果會比單獨放阻尼二更佳。

三、實驗三：固定一個阻尼器，探討其對於每一樓層之影響。(以下加速度單位全為 m/s^2)



(一) 將阻尼至於 1F 時，各樓層的加速度與對照組相近（表示阻尼器置於 1F 對於減震無效）

(二) 不論阻尼放置於任何樓層，對 1F 皆無影響。

(三) 阻尼置於 2、3、4F 時，減震效果皆為 4F>3F>2F。

(四) 將阻尼置於 4F 的減震效果優於 1、2、3F。

陸、討論

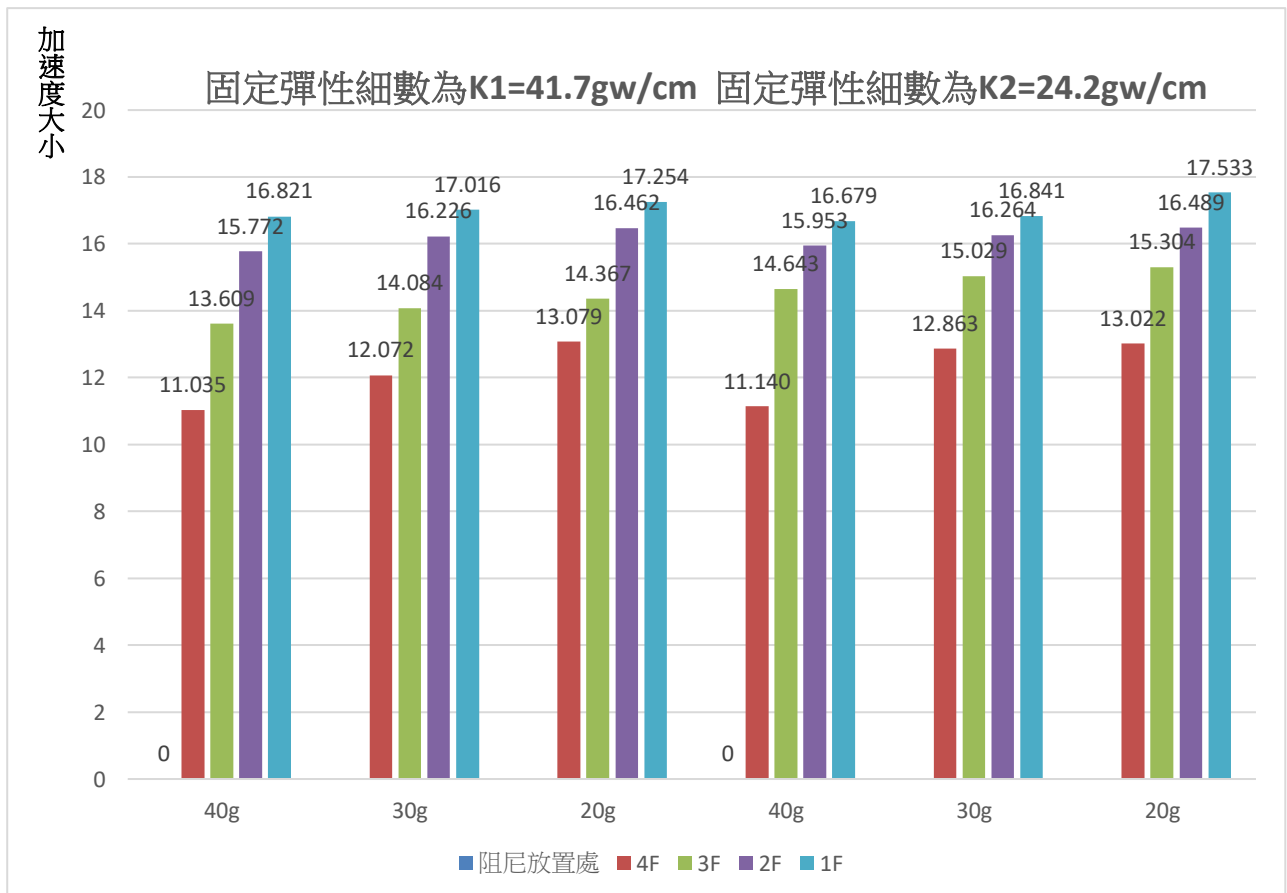
一、實驗一：探討阻尼器放置不同樓層、改變彈簧阻尼器載重及彈簧之抗震效果，觀測其效果之差異。

(一) 由實驗一得知，當彈性係數增大、阻尼變重、放置的樓層越高時，減震效果均會增強。但是，若是將效果最差之阻尼器 ($K_2=24.2\text{gw/cm}$ 、 $M=20\text{g}$) 放置於 1 樓反而會增強建築物的搖晃程度。我們推想當阻尼器放置於 1 樓時，它為建築物增加之重量的影響大於減震，因此建築物搖晃得更劇烈了。

(二) 其中效果最佳的阻尼組合為 $K_1=41.7\text{gw/cm}$ 、 $M=40\text{g}$ 、放置於 4F，而效果最差之阻尼為 $K_2=24.2\text{gw/cm}$ 、 $M=20\text{g}$ 、放置於 1F，此組合和對照組 ($17.533 > 17.090$) 相比震度稍強，得證此阻尼置於 1F 並無減震效果，同於 $K_1=41.7\text{gw/cm}$ 、 $M=20\text{g}$ 、置於 1F。

對照組 (不放任何阻尼器)

最大加速度(m/s^2)	
對照組	17.090



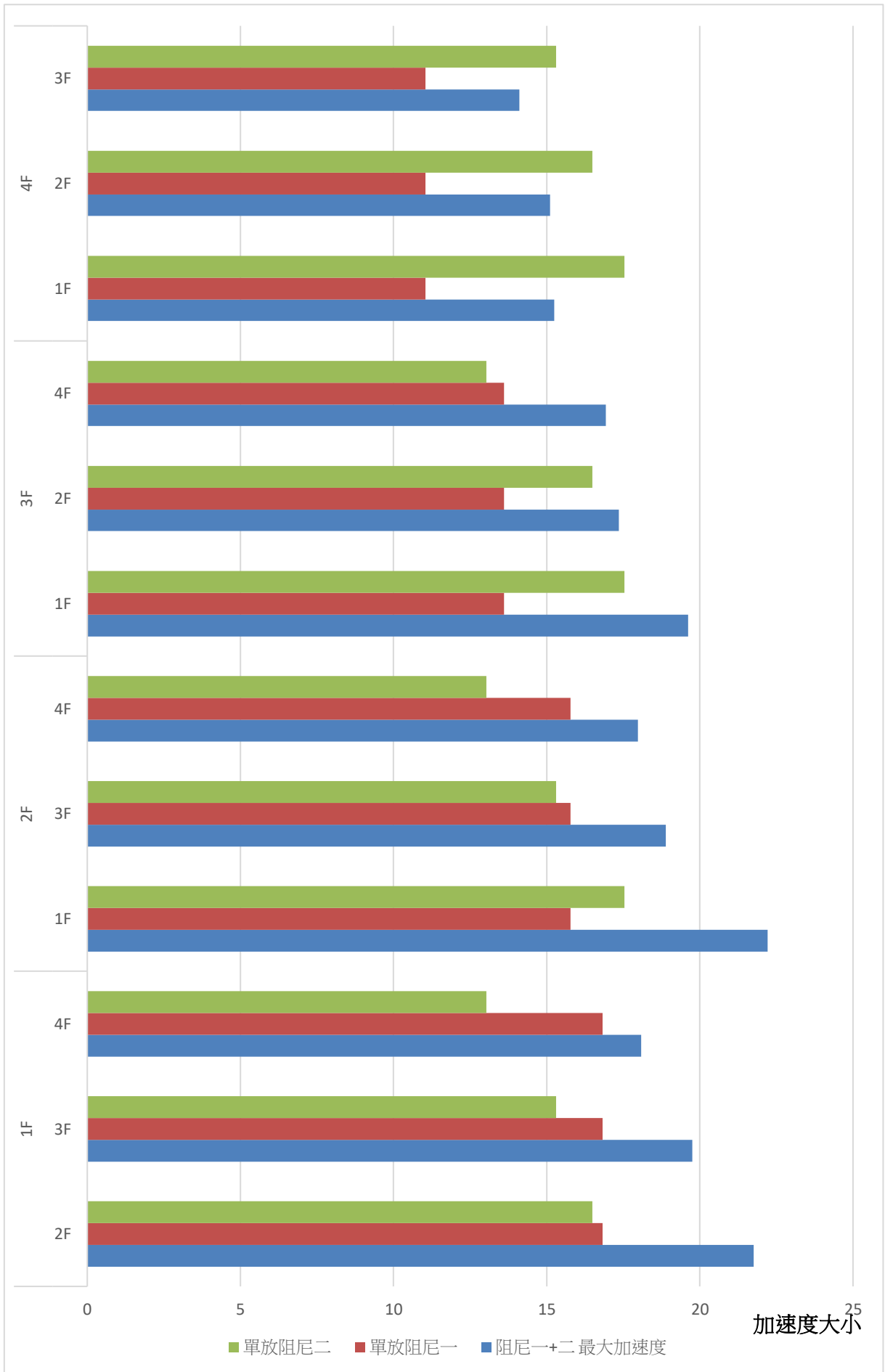
二、實驗二：探討建築物有雙阻尼時效果將增益或抵消。(以下加速度單位全為 m/s^2)

(一) 將實驗二之結果與實驗一比較後發現，建築物放兩個阻尼比單放一個阻尼效果更差，且其對照組（不放阻尼）之最大加速度為 17.09，雙阻尼除了較佳之阻尼置於 4F 以外，皆相較於不放阻尼之震度更大。由此數據可知放置雙阻尼可能使得建築物之加速度變大，則震度更強。

最大加速度(m/s^2)	
對照組	17.090

下表為實驗二之結果：

阻尼一	阻尼二	阻尼一+二	單放阻尼一	單放阻尼二
		最大加速度(m/s^2)		
1F	2F	21.757	16.821	16.489
	3F	19.753	16.821	15.304
	4F	18.089	16.821	13.022
2F	1F	22.206	15.772	17.533
	3F	18.891	15.772	15.304
	4F	17.973	15.772	13.022
3F	1F	19.613	13.609	17.533
	2F	17.362	13.609	16.489
	4F	16.937	13.609	13.022
4F	1F	15.252	11.035	17.533
	2F	15.105	11.035	16.489
	3F	14.115	11.035	15.304

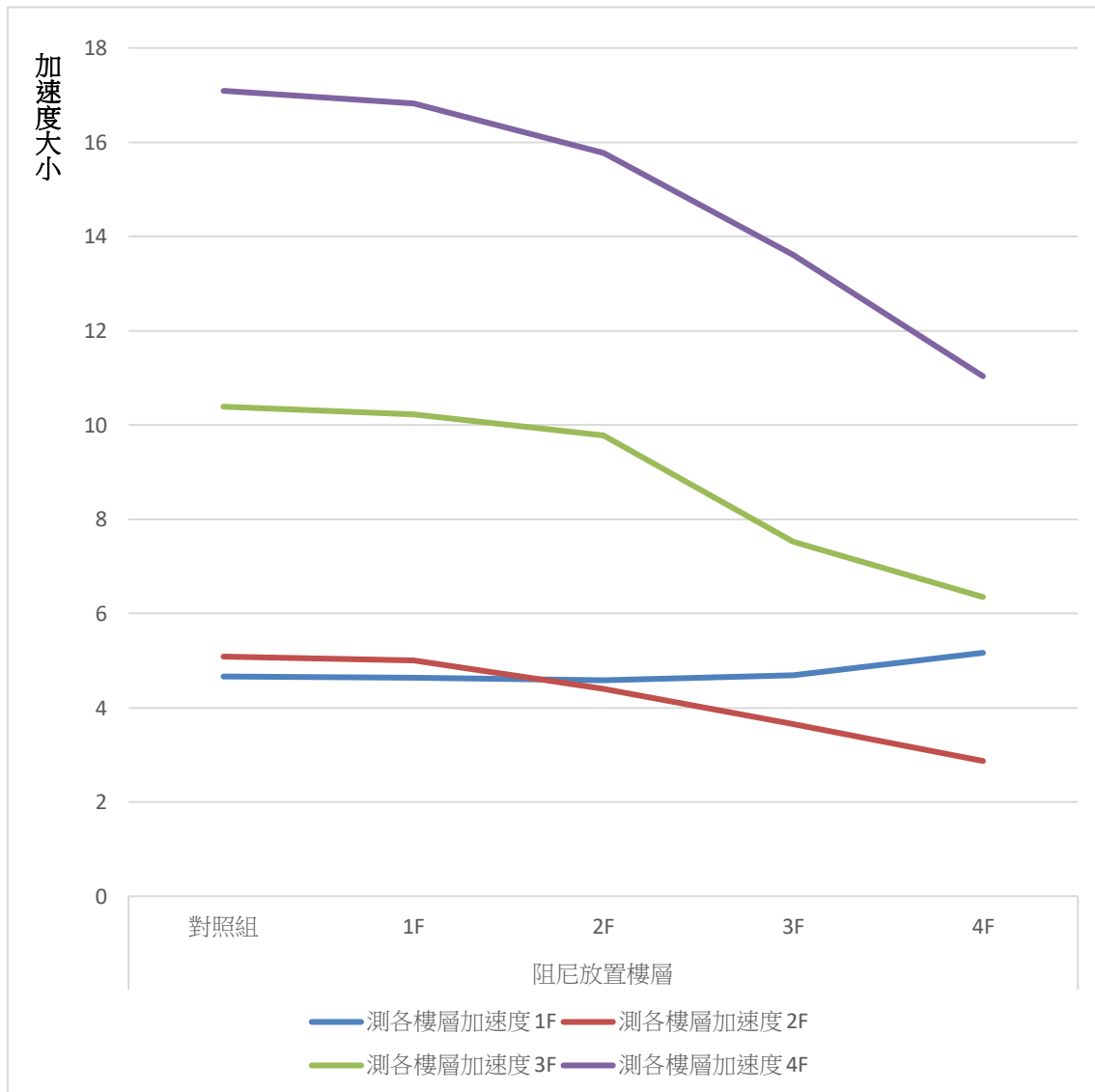


三、實驗三：固定一個阻尼器，探討其對於每一樓層之影響。(以下加速度單位全為 m/s^2)

(一) 由實驗數據可知，建築物各層樓搖晃程度隨著層樓遞減也逐漸變小。若阻尼放置 4F、3F、2F，二樓之搖晃程度最小(加速度最小)。我們原本認為其加速度應為 $4F > 3F > 2F > 1F$ ，但其結果為 $4F > 3F > 1F > 2F$ 。

(二) 由下圖實驗三之結果可知，測量 4F、3F 及 2F 之數據，不論其阻尼器置於哪一層樓或不放置阻尼器，其線條皆呈現向下的趨勢，而測量 1F 之數據，其線條並無太大起伏。

(三) 根據下圖，我們發現 4F、3F、2F 的減震幅度為 $4F > 3F > 2F$ ，且阻尼放置越高減震效果越好，由此可知當阻尼效果越好時，對於高樓層影響較大，減震程度也較大。



柒、結論

一、實驗一

經由多次實驗後，我們得知：

1. 使用彈性係數大的彈簧
2. 增加彈簧阻尼器之載重
3. 並將之放置於較高的樓層

會達到最好的減震效果。

二、實驗二

在完成實驗後，我們得知當一棟建築物擺放兩個以上的阻尼器時會造成反效果，造成建築物相較於裝置一個阻尼器搖晃程度更大。參考其他文獻後，我們知道水塔亦具有阻尼效果。因此，我們推論當建築物包含兩個水塔或阻尼器時反而會令建築物搖晃得更劇烈。

三、實驗三

根據實驗數據，我們發現建築物在二樓的搖晃程度最小，且將阻尼器放置樓層愈高，對高樓層減震效果愈好。

捌、參考資料

一、歐洲地震震度表

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AC%A7%E6%B4%B2%E5%9C%B0%E9%9C%87%E7%83%88%E5%BA%A6%E8%A1%A8>

二、林育丞(2003)·*阻尼作用對搖擺系統的影響*

三、王子誥(2016)·*水塔超人震得住液體阻尼器的防震研究*

四、交通部中央氣象局地震震度分級

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%A4%E9%80%9A%E9%83%A8%E4%B8%AD%E5%A4%AE%E6%B0%A3%E8%B1%A1%E5%B1%80%E5%9C%B0%E9%9C%87%E9%9C%87%E5%BA%A6%E5%88%86%E7%B4%9A>

五、Kaushik (2014)· The 728-Ton Tuned Mass Damper of Taipei 101

https://www.amusingplanet.com/2014/08/the-728-ton-tuned-mass-damper-of-taipei.html?m=1&fbclid=IwAR3D9TjvRHHbNoWIGK_Ry5Lu8pdXGz4vQkpLCuraK51kzbg-ILDCi4L7p0k

六、Michael Gaspar (2017)· THE MECHANISM AND APPLICATIONS OF A TUNED MASS DAMPER (TMD)

<https://bsbgroup.com/blog/the-mechanism-and-applications-of-tuned-mass-damper-tmd/?fbclid=IwAR3gDb7UuHeMWowPnrTJCoSfrv2oVkyArujeCDu43uYmW3ItiZd2eaprK4>

七、菲謝蒂 (Mark Fischetti) (2004)· 科學人雜誌：建築的吸震裝置

<http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=columns&id=581>

八、採用地震隔離架構

https://www.jssi.or.jp/menshin/m_kenchiku.html?fbclid=IwAR3rOYdweT5QvxDqo7Kblb0L_tBJHATQYFCVpmKjee_cAtGMoFCw5iy4xmY

九、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心。

http://www.ncree.org/safehome/ncr05/pc2_4.htm?fbclid=IwAR3LTCnAVVPB2LtfiRg0V7DEdHKBSm6IbnLj9R9PimYCiSScpkfwQwTDQMQ

十、丁浩民 (2017)· 黏滯阻尼技術工程設計與應用。中國建築工業出版社。

十一、查國強、王能治、廖建義 (2013)· 平面磨床離散式彈簧阻尼器支撐或具阻尼彈性基礎支撐東載台切削穩定性分析。中華民國振動與噪音工程學會論文集。

【評語】 051907

本研究主要探討阻尼器與建築物的關係，題材貼近生活，實驗方法設計合宜，分析方法明確並作出確切結論，唯實驗數據整理可再加強。

壹、研究動機

台灣位於地震頻繁的環太平洋地震火山帶上，每年受到約23000次大大小小的地震衝擊，更不用說每隔幾年就發生一次驚天動地的地震。某次我們在台北進行天文觀測時，遇到世界上最難預測的災害—地震。然而，歷經完5級的地震，一眼望去卻發現台灣最高的建築物—台北101只有輕微的搖晃，這與我們所想「越高樓越容易倒塌」的觀念產生矛盾，因此啟發我們去探討建築物的阻尼器與耐震程度的影響，並嘗試使用種阻尼組合並觀察其抗震之差異。

貳、研究目的

- 一. 利用彈簧原理製作阻尼器將其放置於不同樓層，探討其抗震程度。
- 二. 運用不同彈簧阻尼器載重，觀測其效果之差異。
- 三. 使用不同彈性係數探討其抗震效果。
- 四. 嘗試使用兩個阻尼器探討其是否能減輕搖晃。
- 五. 探討同一阻尼器對不同樓層的影響。

參、研究設備及器材

- 一. 攝影機&腳架：錄製影片
- 二. 地震模擬（搖擺機）：
 - 購買二手搖擺機並且加以改裝成地震震源
 - 頂部則透過木板以及螺絲固定建築物
- 三. 自製簡易模擬建築物：
 - 材料：塑膠棒、紙板、保麗龍
 - 將保麗龍板、紙板穿洞，再將塑膠棒插入，使紙板置於保麗龍板底下
 - 每棟以每層15公分高，製作共4層樓的建築物
 - 建築物底部之木板穿四個洞以利與建築物接合並且將保麗龍與木板用熱溶膠加以黏合
- 四. 自製彈簧阻尼器
 - 將彈簧插入乒乓球內
 - 在乒乓球內放入砝碼
- 五. Tracker軟體
 - 將已錄製好的影片在Tracker上打開且分析建築物各時間之加速度



肆、研究過程及方法

- 一. 實驗一：探討阻尼器放置不同樓層抗震效果及改變彈簧阻尼器載重，觀測其效果之差異。

阻尼重量	40g	30g	20g	阻尼重量	40g	30g	20g
阻尼放置處	最大加速度			阻尼放置處	最大加速度		
4F	11.034	12.071	13.079	4F	11.140	12.863	13.022
3F	13.608	14.084	14.367	3F	14.642	15.029	15.304
2F	15.771	16.226	16.462	2F	15.952	16.264	16.489
1F	16.821	17.016	17.254	1F	16.678	16.840	17.533

表一：K1= 41.7gw/cm

表二：K2=24.2gw/cm

- 二. 實驗二：探討建築物有雙阻尼時效果將增益或抵消。

經由實驗一的結論，選出一效果最佳（阻尼一：載重40g、k=41.7gw/cm）以及一效果最差（阻尼二：載重20g、k=24.2gw/cm）的彈簧阻尼器。

最大加速度		阻尼一放置處			
		1F	2F	3F	4F
阻尼二放置處	1F		22.206	19.613	15.252
	2F	21.756		17.362	15.104
	3F	19.752	18.891		14.114
	4F	18.089	17.972	16.936	

- 三. 實驗三：固定一個阻尼器，探討其對於每一樓層之影響。

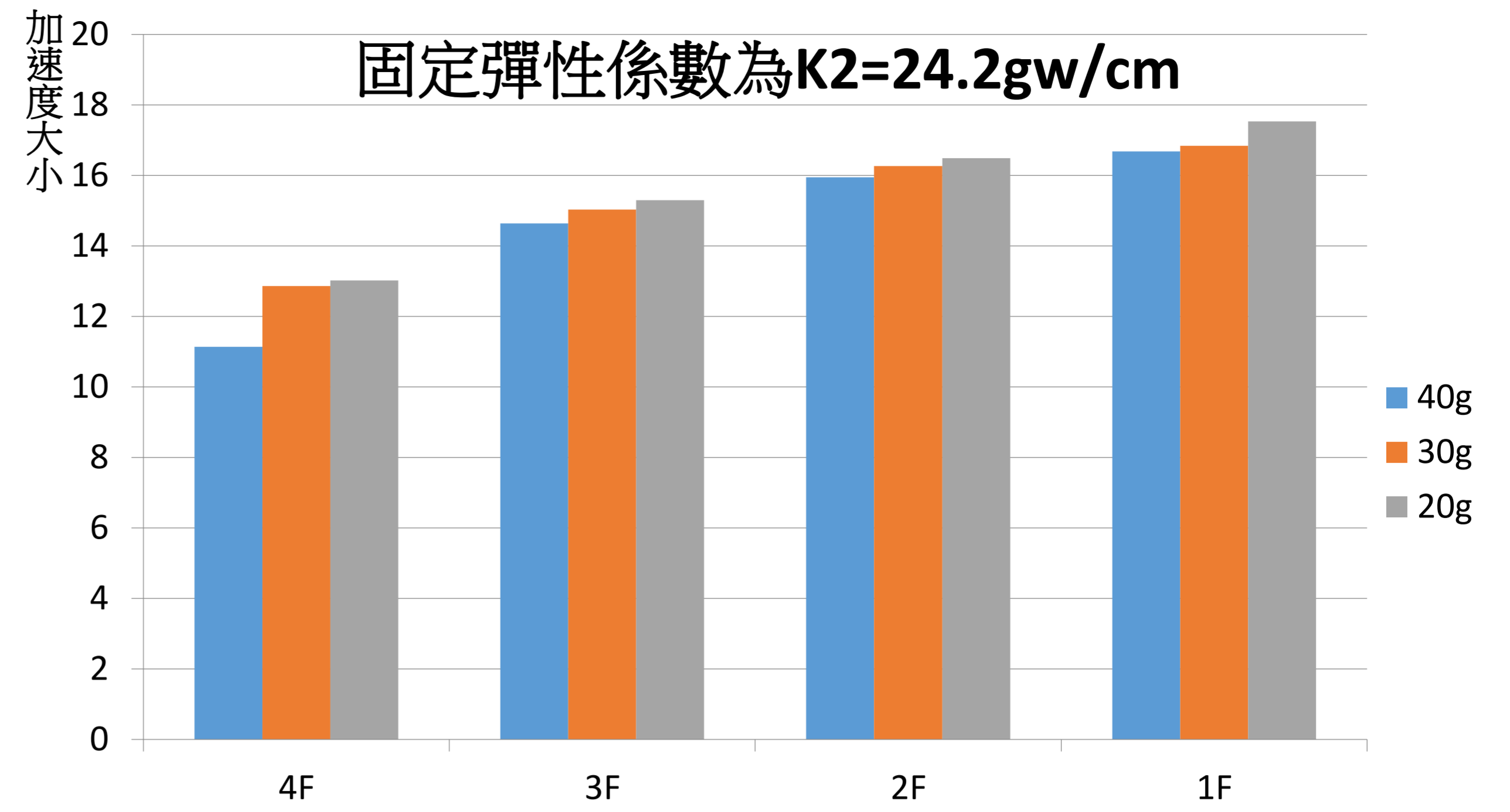
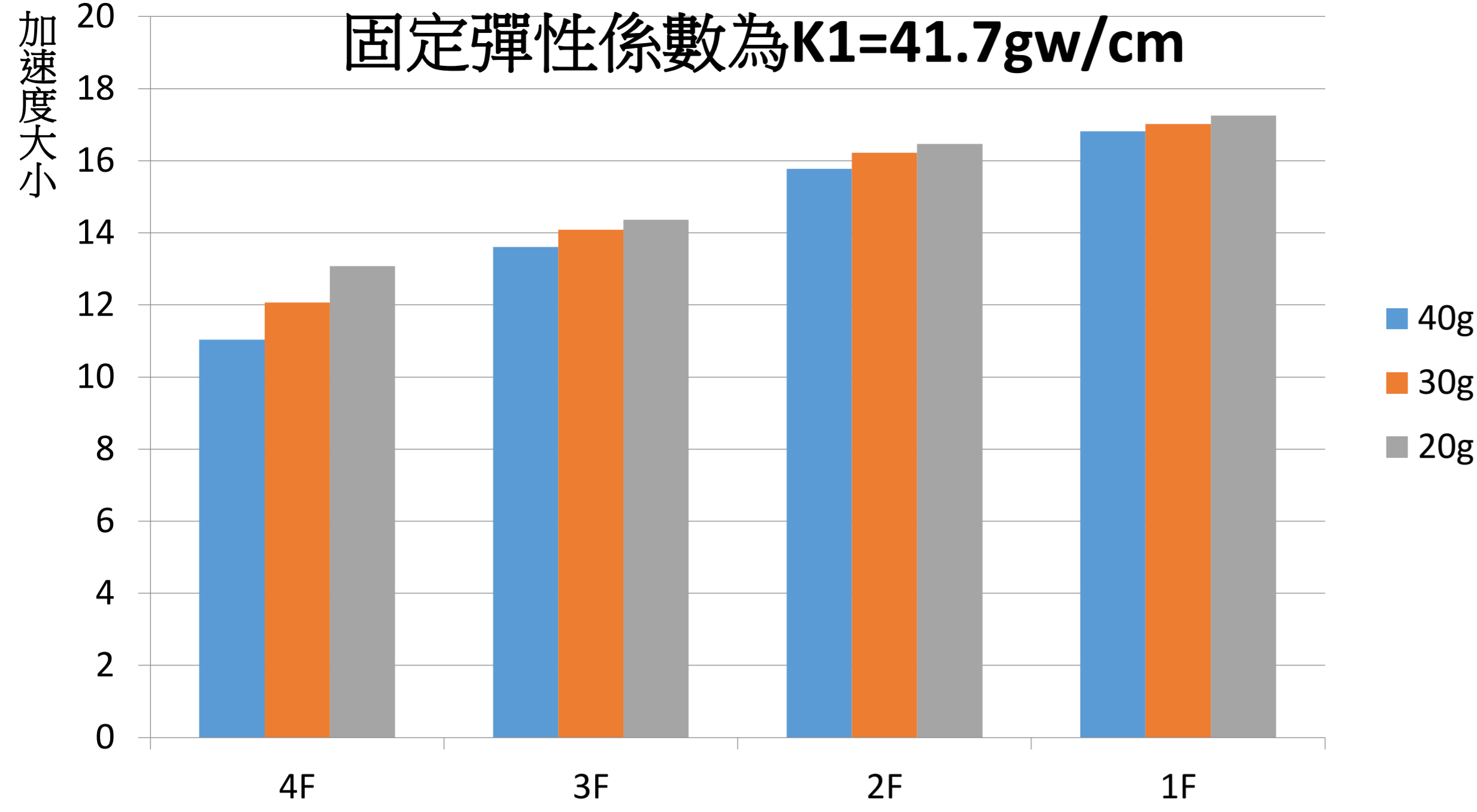
固定一阻尼器（阻尼：載重40g、k=41.7gw/cm）

最大加速度		阻尼放置樓層				
		對照組	1F	2F	3F	4F
測各樓層加速度	1F	4.657	4.637	4.582	4.685	5.165
	2F	5.084	4.999	4.403	3.650	2.869
	3F	10.388	10.220	9.781	7.526	6.349
	4F	17.091	16.821	15.771	13.608	11.034

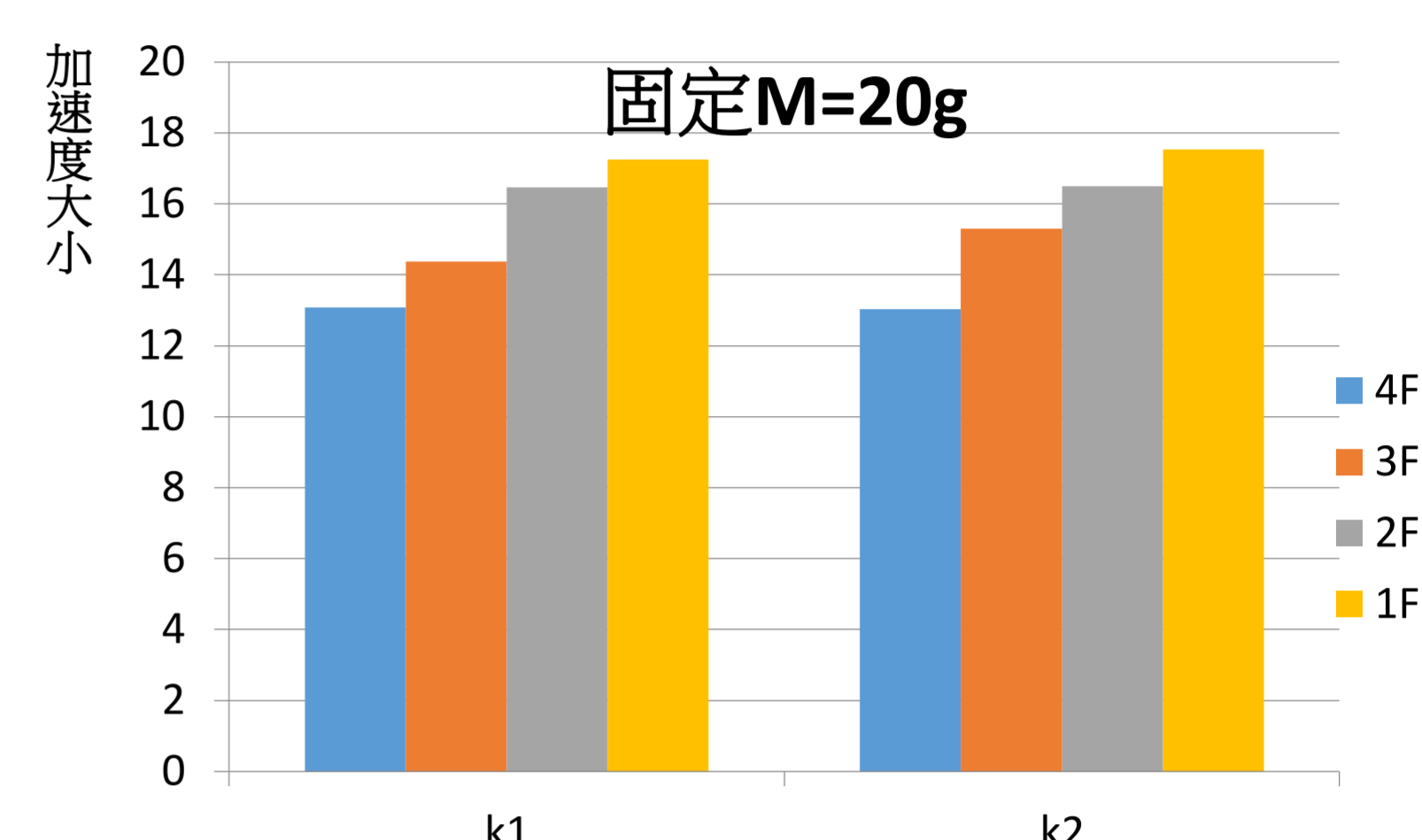
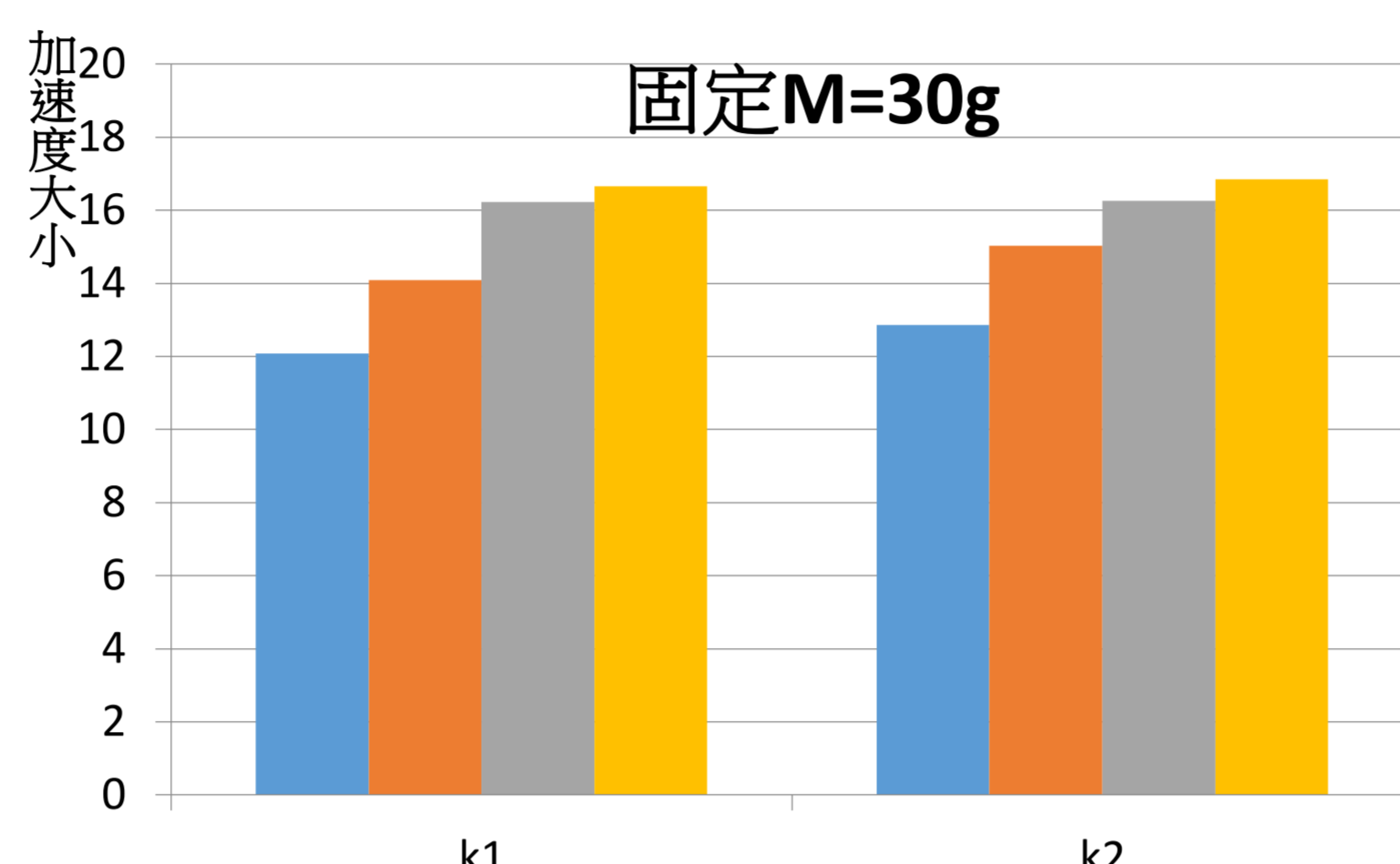
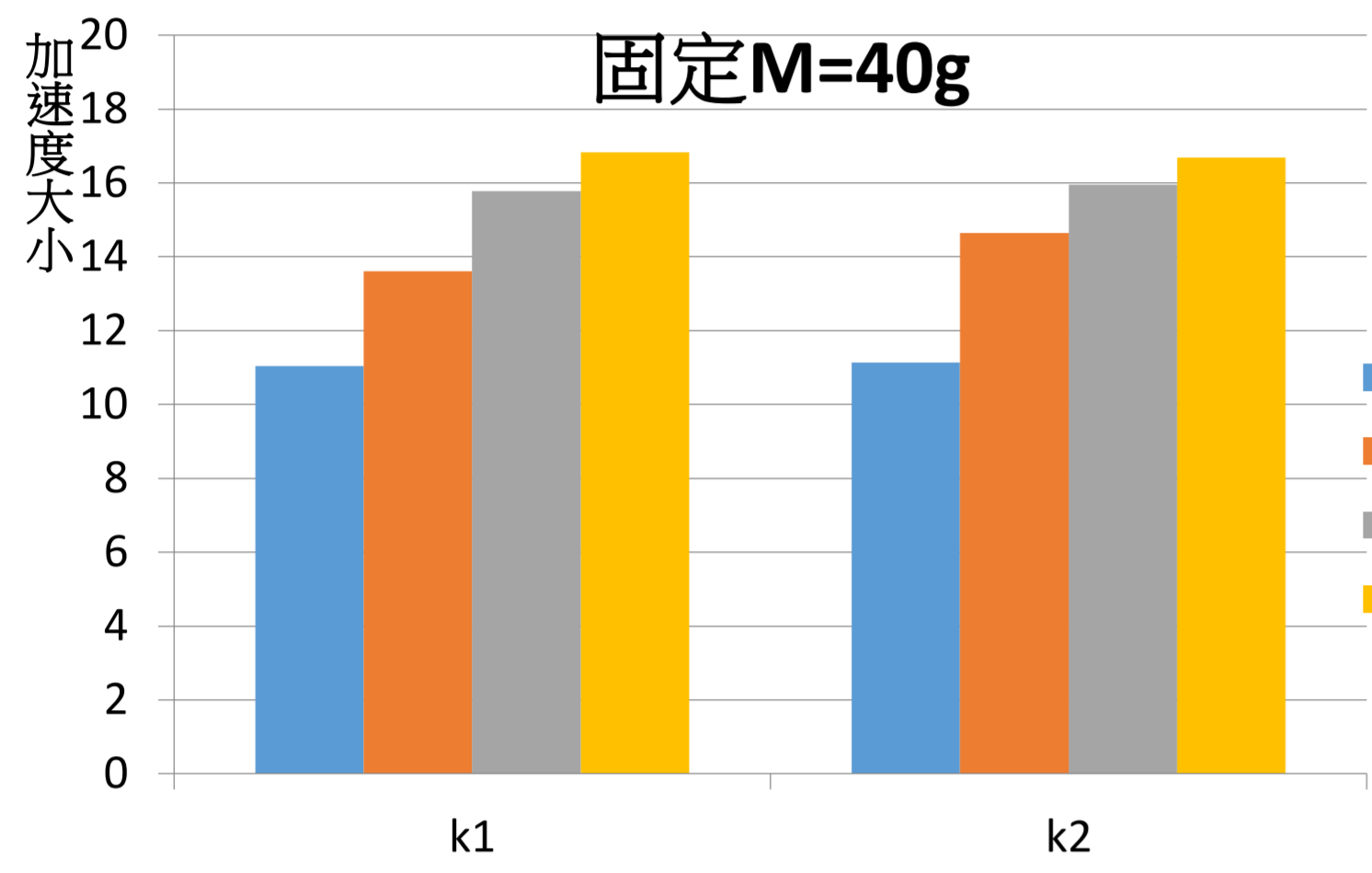
伍、實驗結果

一、實驗一：探討阻尼器放置不同樓層、改變彈簧阻尼器載重及彈簧之抗震效果，觀測其效果之差異。

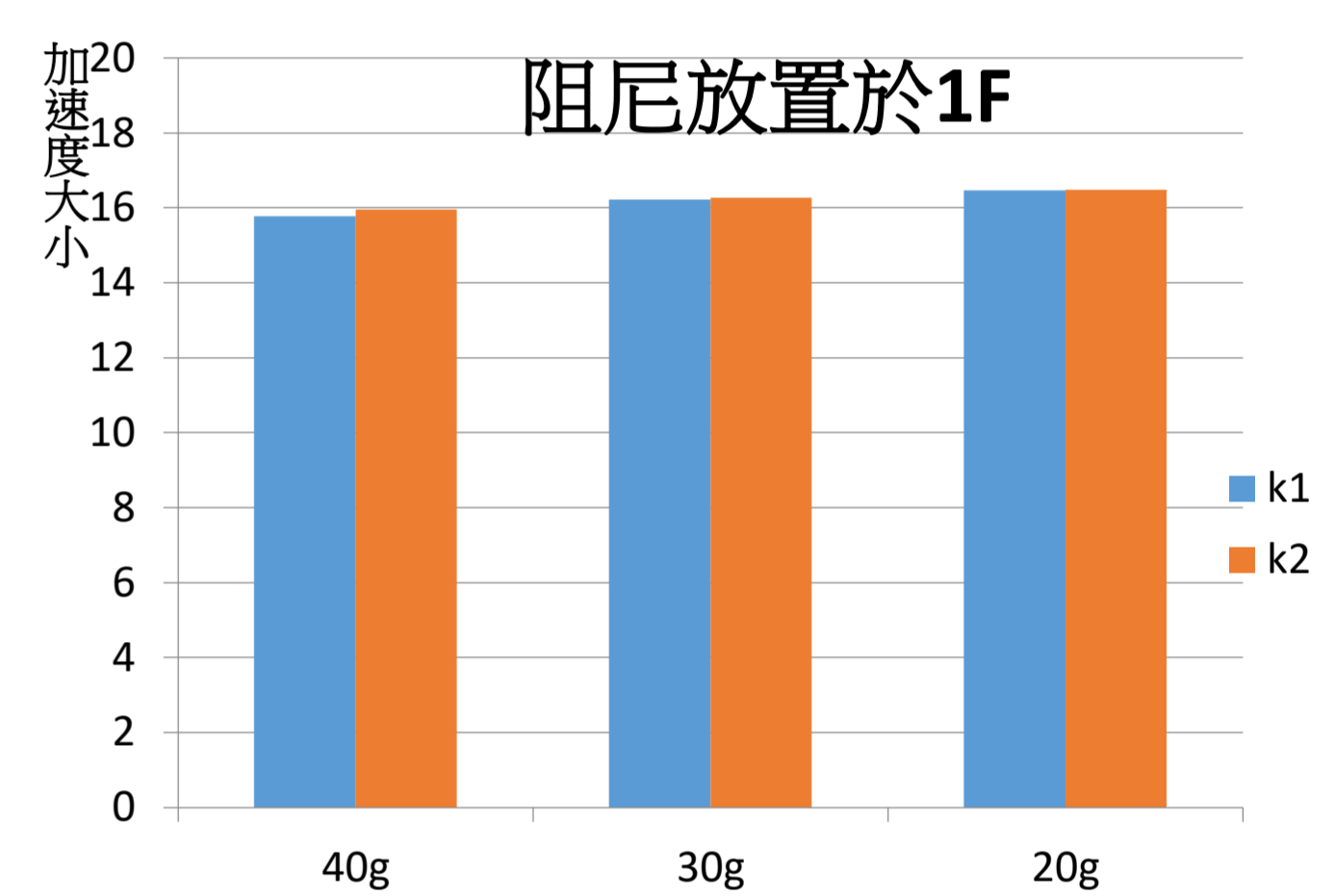
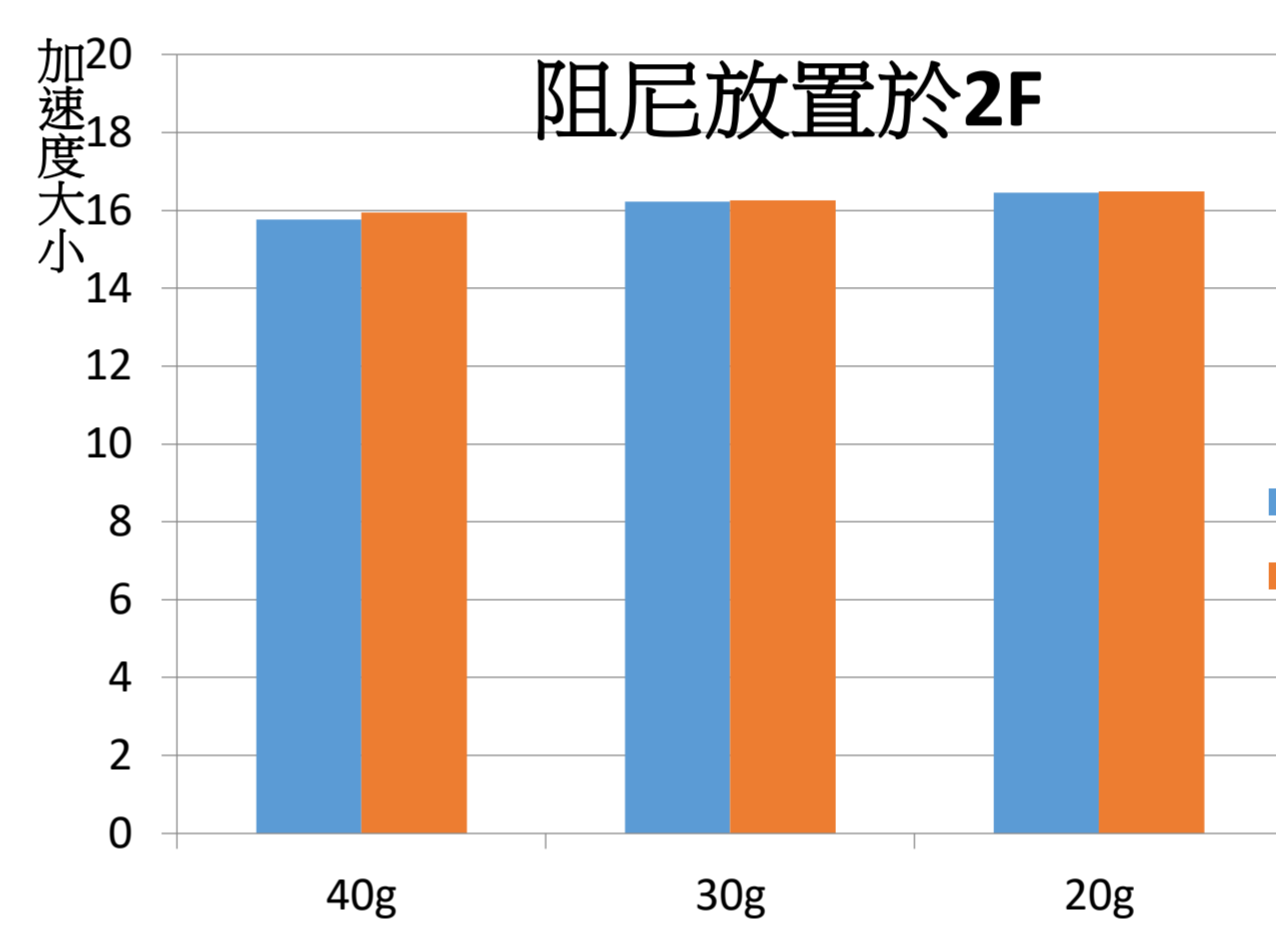
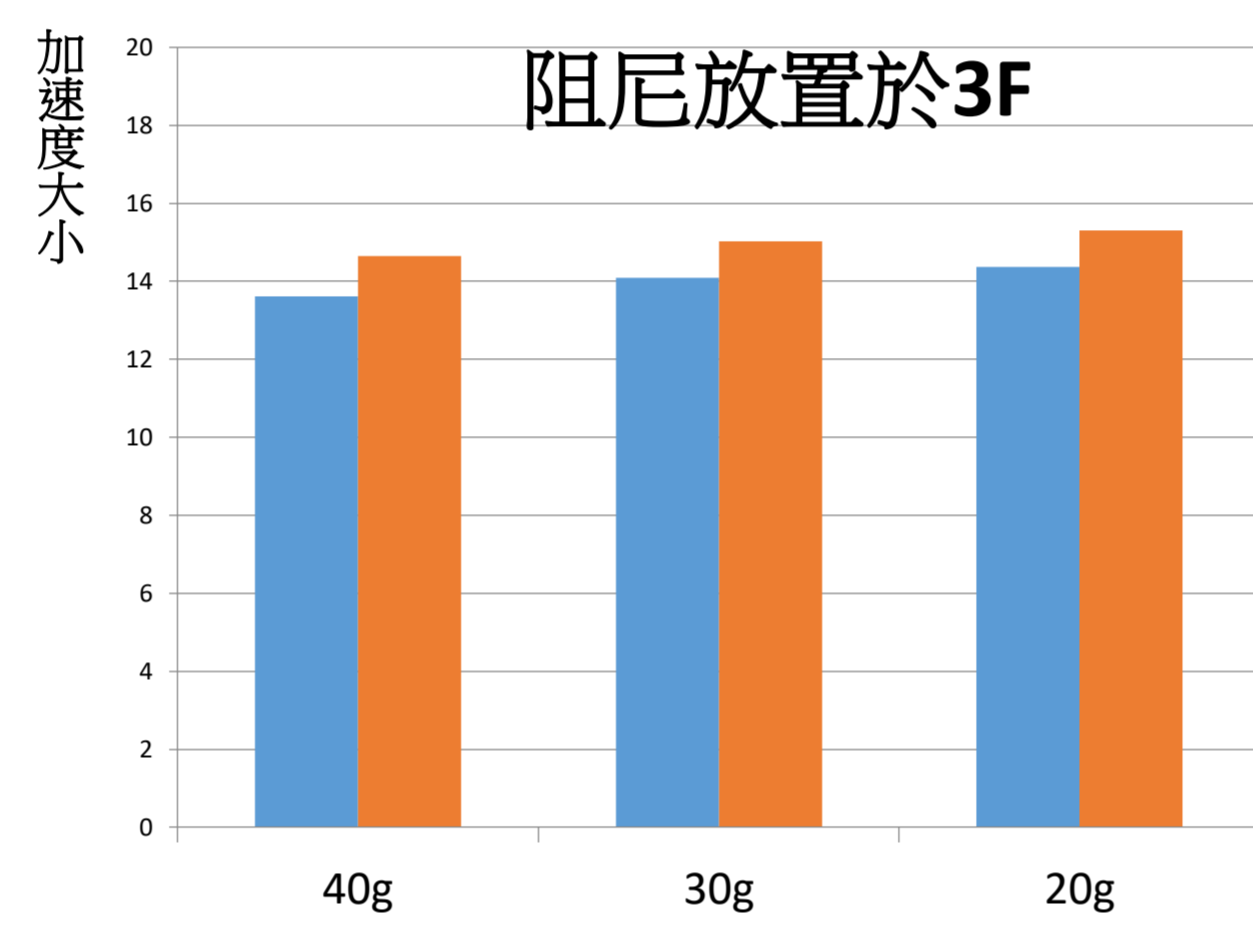
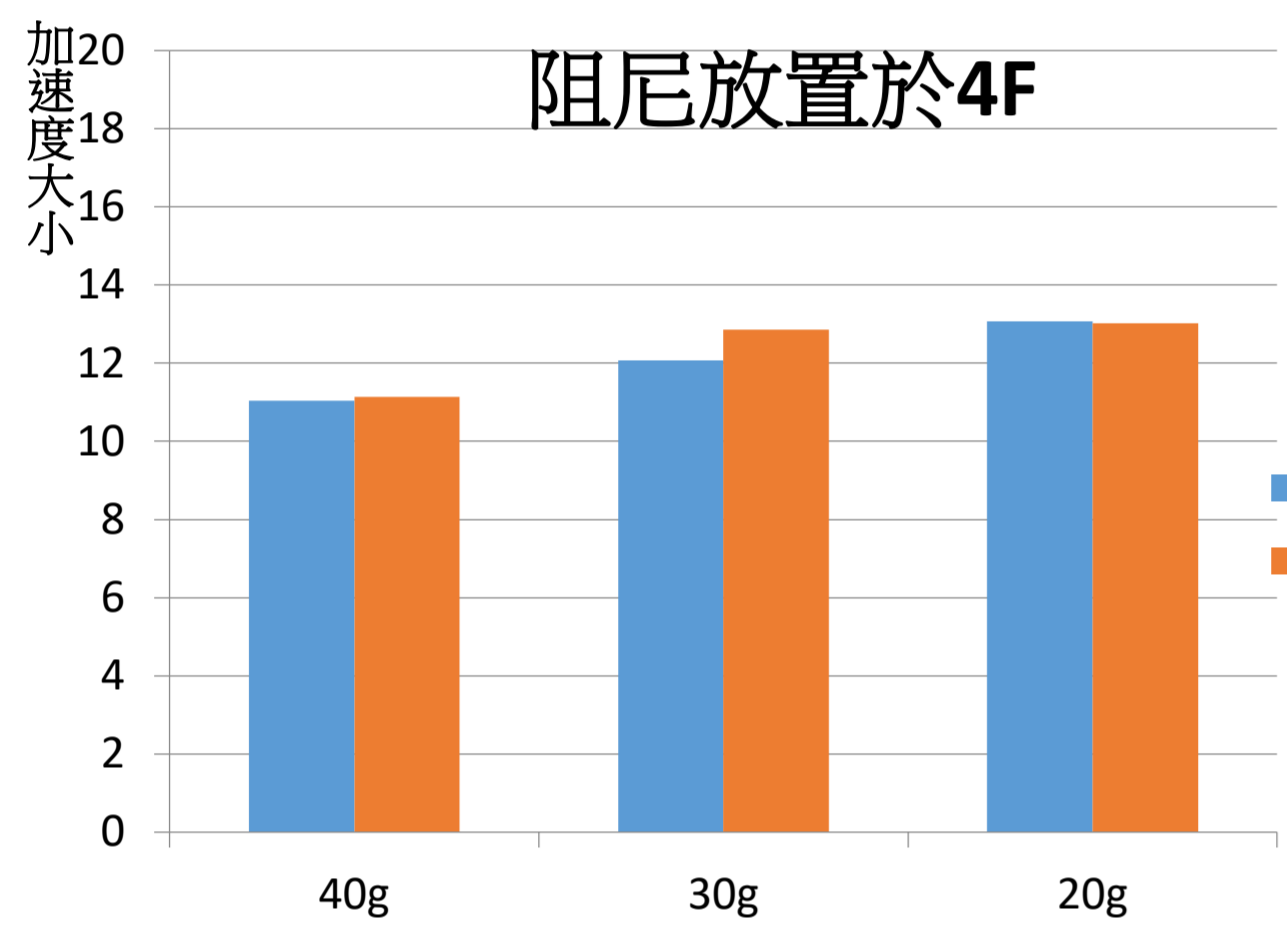
(以下加速度單位全為 m/s^2)



40公克的彈簧的減震效果相較於其他組阻尼效果最佳，依重量遞減減震能力也變差。其中令我們感到驚訝的是若將 $K1$ 或 $K2$ 彈簧配上質量20g的阻尼時，反而增強了建築物的最大加速度。

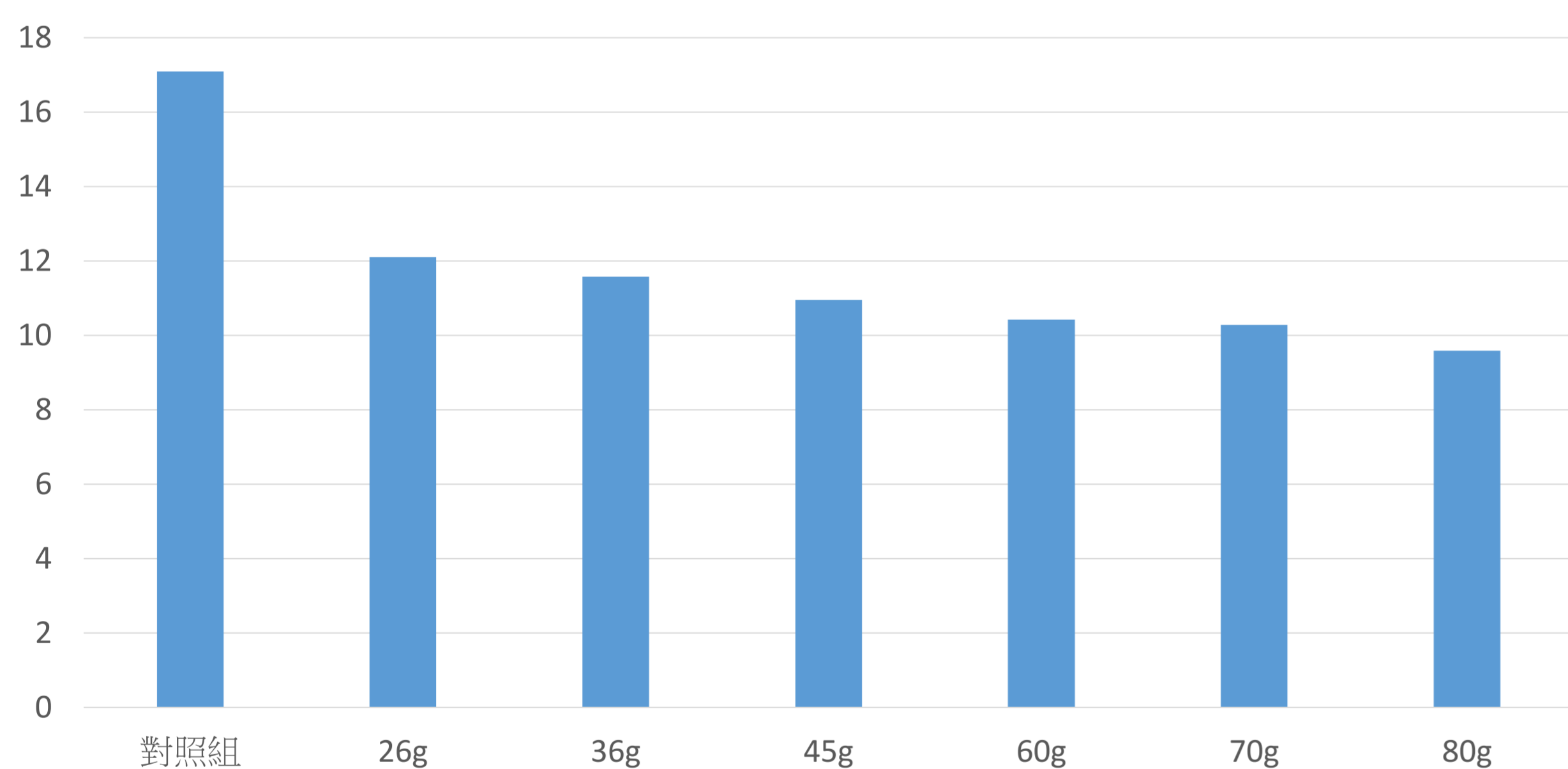


將阻尼器放置於4樓時，減震效果最佳。依樓層遞減，減震效果也逐漸變差。其中將阻尼擺放在3樓時， $K1$ 或 $K2$ 彈簧的減震差異最明顯。



由圖可知，當使用不同彈性係數的彈簧時，差異並不明顯。然而當我們把不同彈性係數的彈簧放置於3樓時，相較其他樓層較能看出不同彈性係數對建築物的影響。

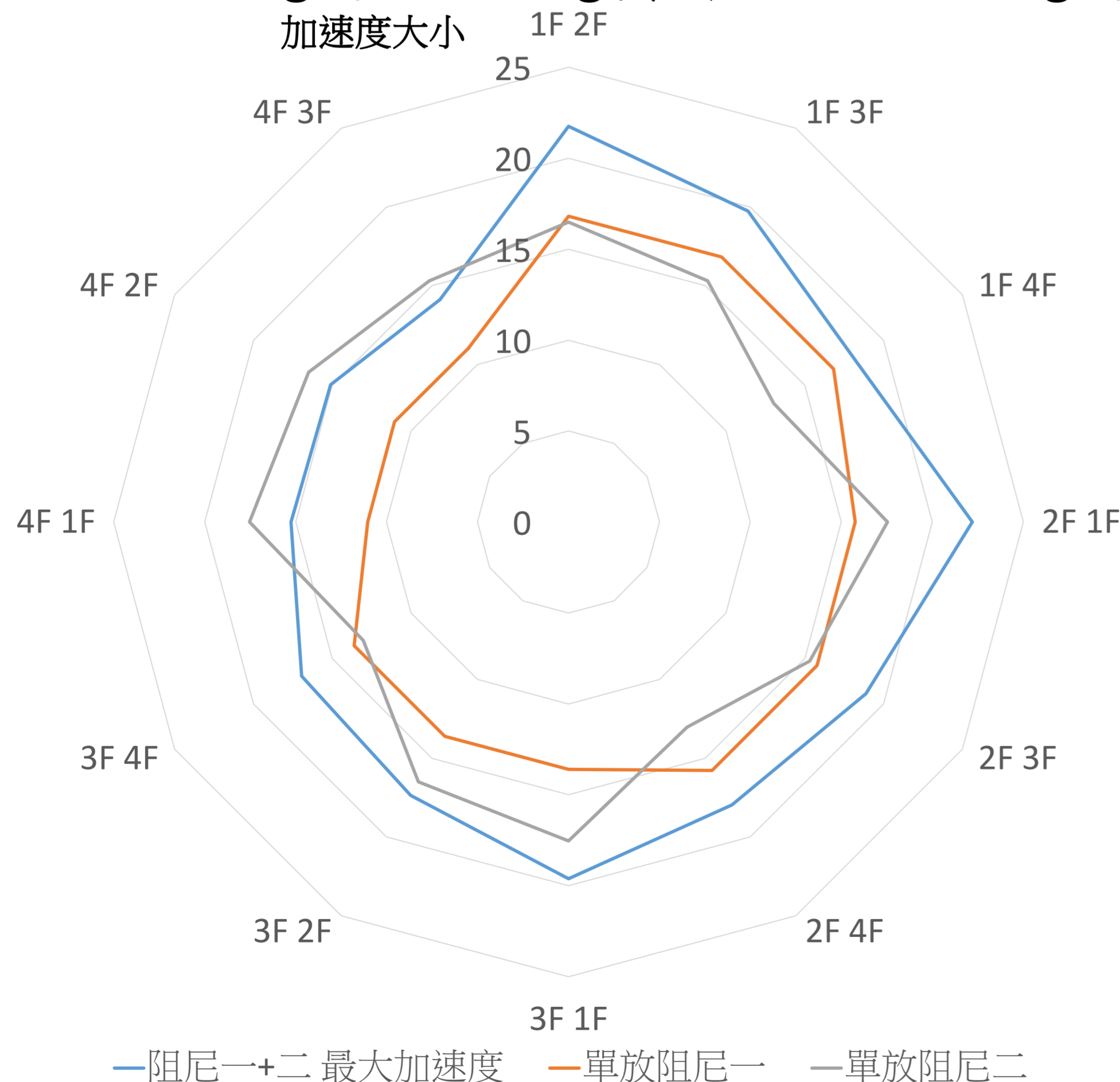
阻尼放置於4F、彈性係數為 $K1=41.7gw/cm$



在我們固定彈簧以及放置層樓的情況下，同時大幅改變阻尼的重量得到的圖表如右。依據圖表，我們可以知道隨著阻尼的重量提升，減震效果將會越來越好，但增幅卻會逐漸降低。

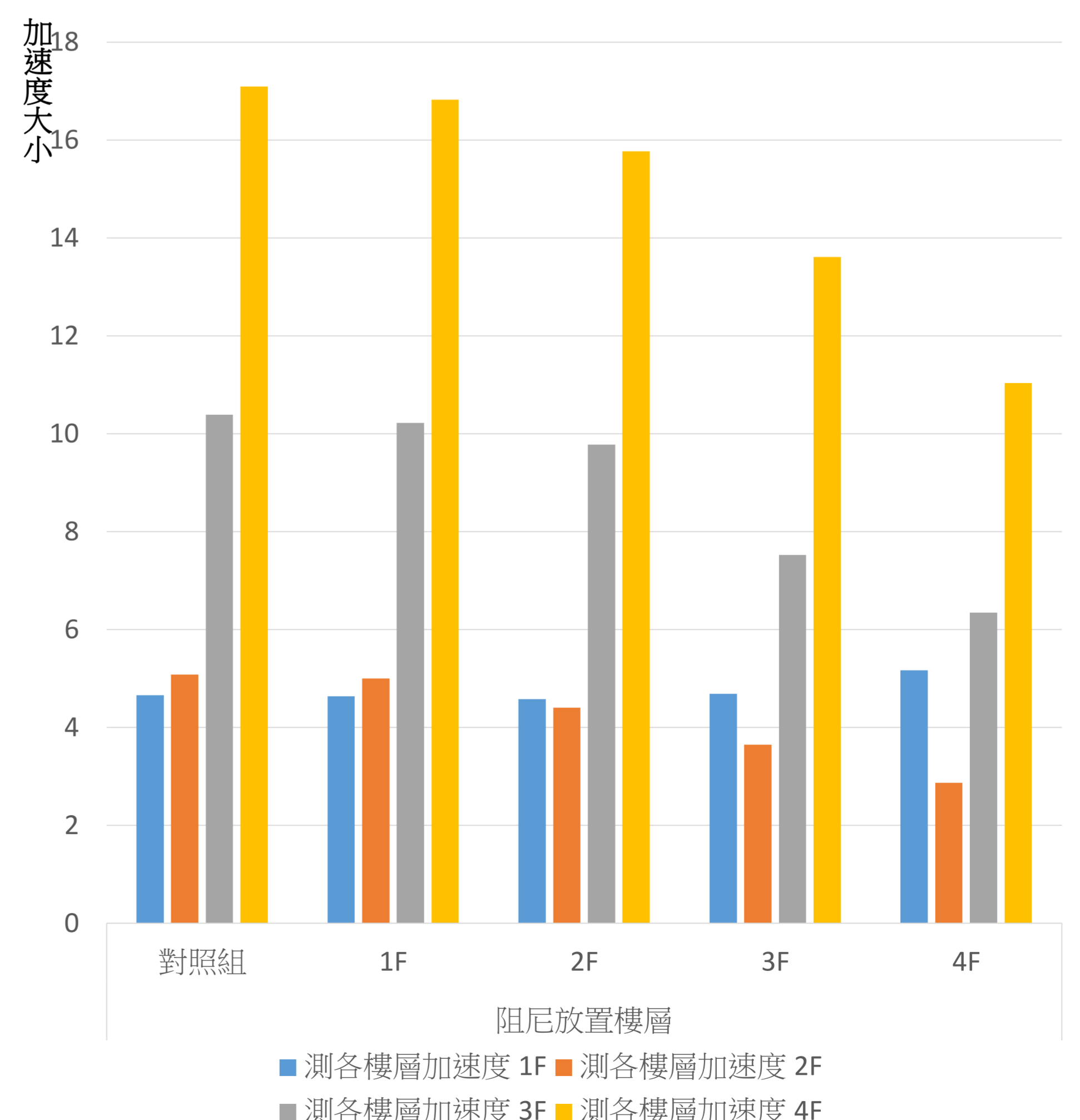
二、實驗二：探討建築物有雙阻尼時效果將增益或抵消。

以下為阻尼一、阻尼二排列(以下加速度單位全為 m/s^2)
(阻尼一 $k1=41.7gw/cm$ 、40g; 阻尼二 $k2=24.2gw/cm$ 、20g)



將兩個阻尼器放置在建築物上，大多將會造成減震效果變差。然而當我們將阻尼一放置於4樓時，雙阻尼造成的減震效果會比單獨放阻尼二更佳

三、實驗三：固定一個阻尼器，探討其對於每一樓層之影響。(以下加速度單位全為 m/s^2)



(一)將阻尼至於1F時，各樓層的加速度與對照組相近(表示阻尼器置於1F對於減震無效)

(二)不論阻尼放置於任何樓層，對1F皆無影響

(三)阻尼置於2、3、4F時，減震效果皆為 $4F > 3F > 2F$

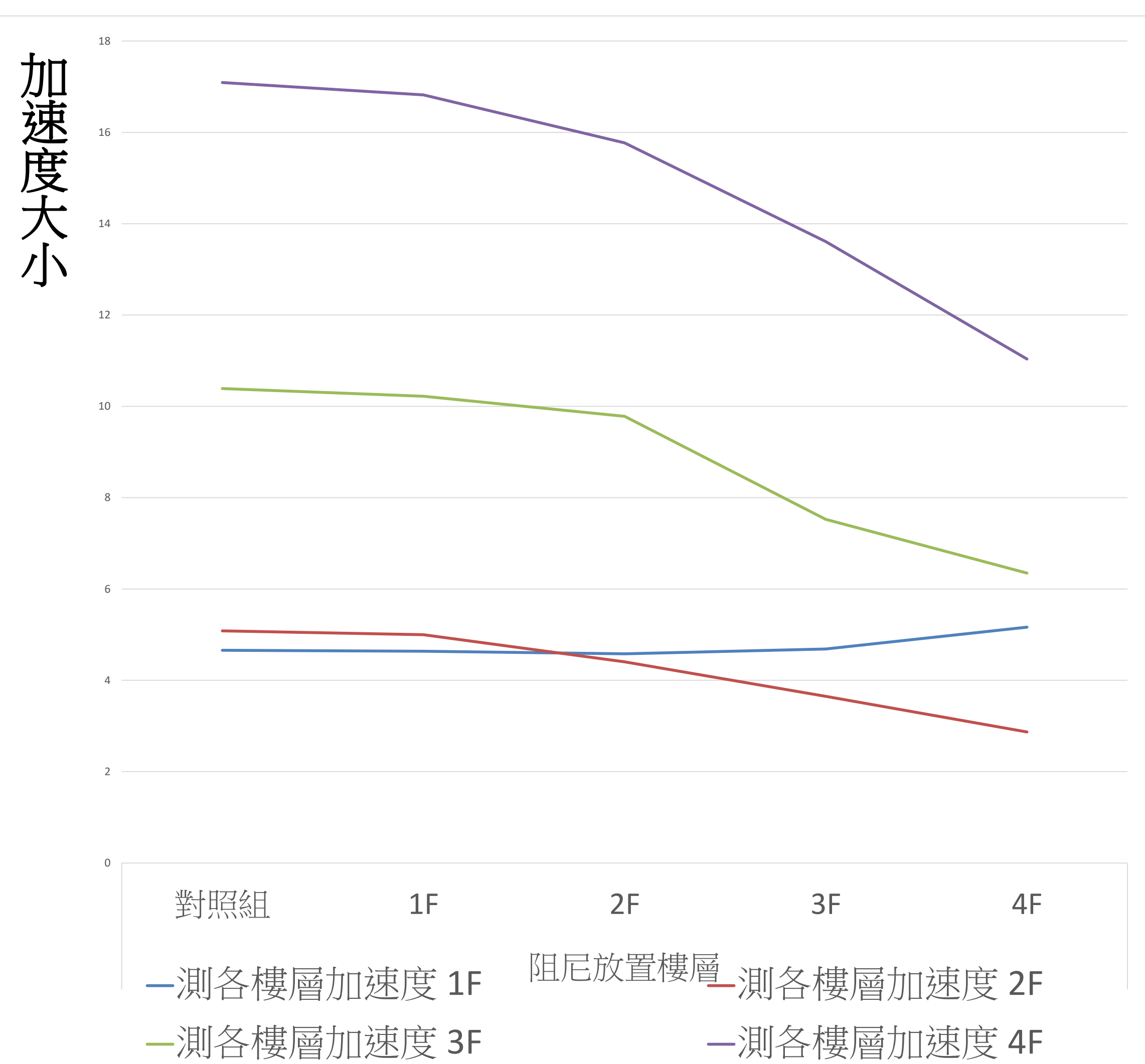
陸、討論

一. 實驗一：探討阻尼器放置不同樓層、改變彈簧阻尼器載重及彈簧之抗震效果，觀測其效果之差異。
(一)由實驗一得知，當彈性係數增大、阻尼變重、放置的樓層越高時，減震效果均會增強。但是，若是將效果最差之阻尼器（ $K_2=24.2\text{gw/cm}$ 、 $M=20\text{g}$ ）放置於1樓反而會增強建築物的搖晃程度。我們推想當阻尼器放置於1樓時，它為建築物增加之重量的影響大於減震，因此建築物搖晃得更劇烈了。
(二)其中效果最佳的阻尼組合為 $K_1=41.7\text{gw/cm}$ 、 $M=40\text{g}$ 、放置於4F，而效果最差之阻尼為 $K_2=24.2\text{gw/cm}$ 、 $M=20\text{g}$ 、放置於1F，此組合和對照組（ $17.533>17.090$ ）相比震度稍強，得證此阻尼置於1F並無減震效果，同於 $K_1=41.7\text{gw/cm}$ 、 $M=20\text{g}$ 、置於1F。

二. 實驗二：探討建築物有雙阻尼時效果將增益或抵消。（以下加速度單位全為 m/s^2 ）
將實驗二之結果與實驗一比較後發現，建築物放兩個阻尼比單放一個阻尼效果更差，且其對照組（不放阻尼）之最大加速度為17.090，雙阻尼除了較佳之阻尼置於4F以外，皆相較於不放阻尼之震度更大。由此數據可知放置雙阻尼可能使得建築物之加速度變大，則震度更強。

最大加速度	
對照組	17.090

阻尼一	阻尼二	阻尼一+二	單放阻尼一	單放阻尼二
		最大加速度		
1F	2F	21.757	16.821	16.489
	3F	19.753	16.821	15.304
	4F	18.089	16.821	13.022
2F	1F	22.206	15.772	17.533
	3F	18.891	15.772	15.304
	4F	17.973	15.772	13.022
3F	1F	19.613	13.609	17.533
	2F	17.362	13.609	16.489
	4F	16.937	13.609	13.022
4F	1F	15.252	11.035	17.533
	2F	15.105	11.035	16.489
	3F	14.115	11.035	15.304



三. 實驗三：固定一個阻尼器，探討其對於每一樓層之影響。（以下加速度單位全為 m/s^2 ）
(一)由實驗數據可知，建築物各層樓搖晃程度隨著層樓遞減也逐漸變小。若阻尼放置4F、3F、2F，二樓之搖晃程度最小（加速度最小）。我們原本認為其加速度應為 $4F>3F>2F>1F$ ，但其結果為 $4F>3F>1F>2F$ 。
(二)由右上圖實驗三之結果可知，測量4F、3F及2F之數據，不論其阻尼器置於哪一層樓或不放置阻尼器，其線條皆呈現向下的趨勢，而測量1F之數據，其線條並無太大起伏。
(三)根據右上圖，我們發現4F、3F、2F的減震幅度為 $4F>3F>2F$ ，且阻尼放置越高減震效果越好，由此可知當阻尼效果越好時，對於高樓層影響較大，減震程度也較大。

柒、結論

一. 實驗一

經由多次實驗後，我們得知：

- 1.使用彈性係數大的彈簧
 - 2.增加彈簧阻尼器之載重
 - 3.並將之放置於較高的樓層
- 會達到最好的減震效果。

二. 實驗二

在完成實驗後，我們得知當一棟建築物擺放兩個以上的阻尼器時會造成反效果，造成建築物相較於裝置一個阻尼器搖晃程度更大。參考其他文獻後，我們知道水塔亦具有阻尼效果。因此，我們推論當建築物包含兩個水塔或阻尼器時反而會令建築物搖晃得更劇烈。

三. 實驗三

根據實驗數據，我們發現建築物在二樓的搖晃程度最小，且將阻尼器放置樓層愈高，對高樓層減震效果愈好。

捌、參考資料

一. 歐洲地震震度表

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AC%A7%E6%B4%B2%E5%9C%B0%E9%9C%87%E7%83%88%E5%BA%A6%E8%A1%A8>

二. 交通部中央氣象局地震震度分級

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%A4%E9%80%9A%E9%83%A8%E4%B8%AD%E5%A4%AE%E6%B0%A3%E8%B1%A1%E5%B1%80%E5%9C%B0%E9%9C%87%E9%9C%87%E5%BA%A6%E5%88%86%E7%B4%9A>

三. 菲謝蒂 (Mark Fischetti) (2004)。科學人雜誌：建築的吸震裝置

四. 丁浩民 (2017)。黏滯阻尼技術工程設計與應用。中國建築工業出版社。

五. 查國強、王能治、廖建義 (2013)。平面磨床離散式彈簧阻尼器支撐或具阻尼彈性基礎支撐東載台切削穩定性分析。中華民國振動與噪音工程學會論文集。