

中華民國第 60 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

佳作

051908

水塔與水撲滿—雙液體阻尼器之防震研究

學校名稱：國立彰化師範大學附屬高級工業職業學校

作者： 職一 王子誥	指導老師： 黃常育 陳怡誠
---------------	---------------------

關鍵詞：地震、液體阻尼、大樓共振

摘要

本研究在探討 11 層大樓建築物頂樓水塔配合陽台天花板設置水撲滿，是否能有效達到減震阻尼的效果。過程中利用 3D 列印機自製固定水撲滿設備以及不同形式網狀隔間液體阻尼零件，並以電流調整器控制怠速馬達，自製地震模擬器來模擬不同震度之地震來實驗。

實驗中發現不同液體消能元件加裝網狀隔間，水波擾動震盪越明顯阻尼效果越佳。當地震來臨時樓層越高震盪越大，11 層大樓可藉由設置在最高樓處，三組平均排法網狀隔間水撲滿，並配合水位設定六分滿，平行器壁網狀隔間正方形水塔，這種形式雙液體阻尼元件與大樓產生最大共振會發生在模擬震度 4 級，可以破壞模擬震度 5 至 7 級震波對大樓產生的，順向波大樓共振與大樓結構本身扭轉共振，液體阻尼效果最佳。

壹、研究動機

台灣位於環太平洋地震帶，同時也是世界排名第 18 名的缺水國家，近年來政府想鼓勵民眾節水，除研擬調整水價外還立法強制販售具省水標章之馬桶、洗衣機、水龍頭以及設置水撲滿等辦法。在學校工程概論這門課的建築工程單元裡提到，基礎與樑柱結構對抗震有其重要性，而 921 大地震倒塌大樓，人員傷亡較大的樓層大約是 10 至 14 樓，於是我想在樓高 11 層的大樓建築物，利用其設置在頂樓上的水塔，配合樓層陽台天花板設置安裝水撲滿的方法，做為地震來臨時建築物的阻尼器，這樣的設置不但可以防止大樓倒塌避免人員傷亡，還可以引用水撲滿內的雨水來澆花以及當消防用水，達到防震又節水的雙重效果。

貳、研究目的

- 一、 探討大樓陽台設置水撲滿，不同震度對建築物震盪之影響。
- 二、 探討大樓水塔，不同震度對建築物震盪之影響。
- 三、 探討大樓水塔配合三組水撲滿設置，不同震度對建築物震盪之影響。
- 四、 探討不同液體阻尼元件，有無加裝網狀隔間對建築物震盪之阻尼差異。

參、設備器材

一、研究器材





















				
(1)3D 列印機	(2)電流調整器	(3)包紙鋼條	(4)木板	(5)0.5 公分膠網
				
(6)怠速馬達	(7)透明軟膠水管	(8)正方體容器	(9)圓柱體容器	(10)游標卡尺
				
(11)老虎鉗	(12)螺絲起子	(13)剪刀	(14)鑽孔機	(15)熱熔膠槍
				
(16)釘子	(17)銅線	(18)橡皮圈	(19)收束帶	(20)碼表

圖 1 設備器材圖

二、自製地震模擬器



圖 2 自製模擬振動平台流程圖

三、實驗裝置

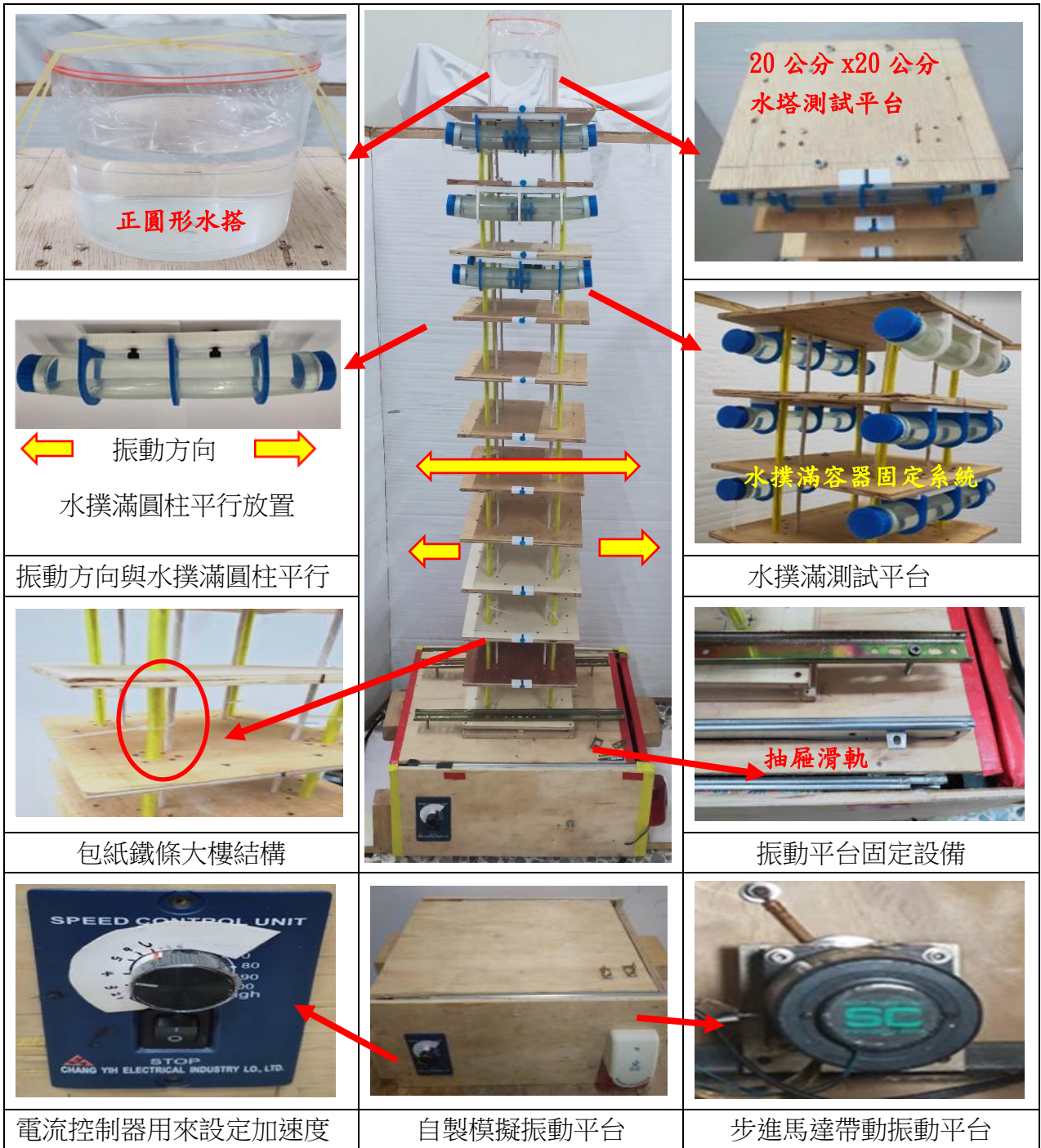


圖 3 阻尼測試實驗裝置說明圖

肆、研究過程與方法

一、實驗流程

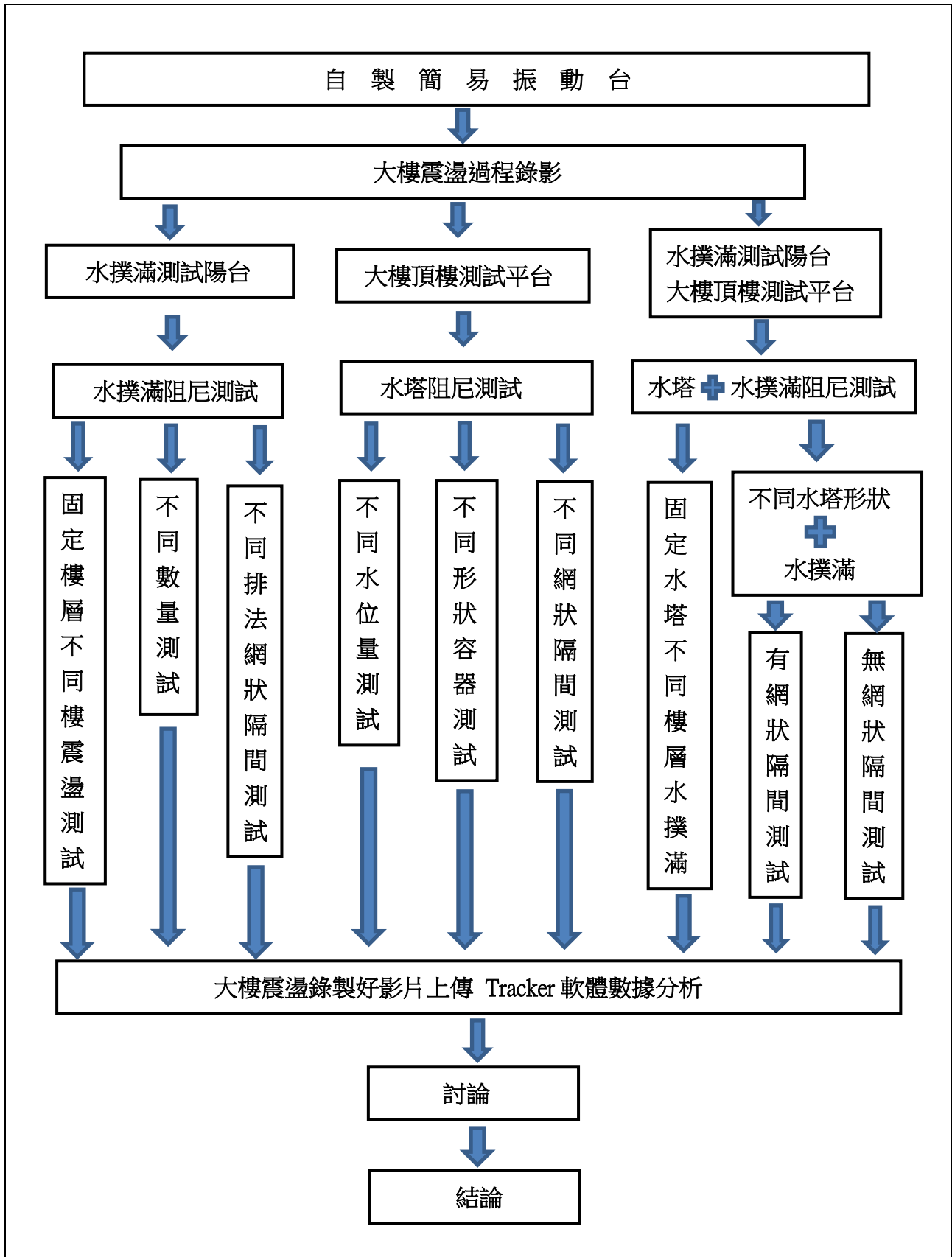


圖 4 實驗流程

二、研究方法

(一)自製簡易振動台，振動台加速度計算公式，對應震度分級數

1. 本組使用的簡易振動台並無加速度設定功能，只有無段轉速控制器，為確認振動台的加速度，於是藉由振動台的運動方式去推算。其中振動台是以等速率圓周運動方式進行，而振動台面可依據等速率圓周運動〈如圖 5 所示〉，推算出振動台面的運動加速度為振動台加速度計算公式：

振動檯面的最大運動加速度 a_M 為

$$a_M = R * \omega^2 = 4 * \pi^2 * R * f^2$$

$$\chi = R \cos(\omega t + \theta)$$

$$v = \frac{d\chi}{dt} = R\omega \sin(\omega t + \theta)$$

$$\alpha = \frac{dv}{dt} = -R\omega^2 \cos(\omega t + \theta)$$

ω =角速度

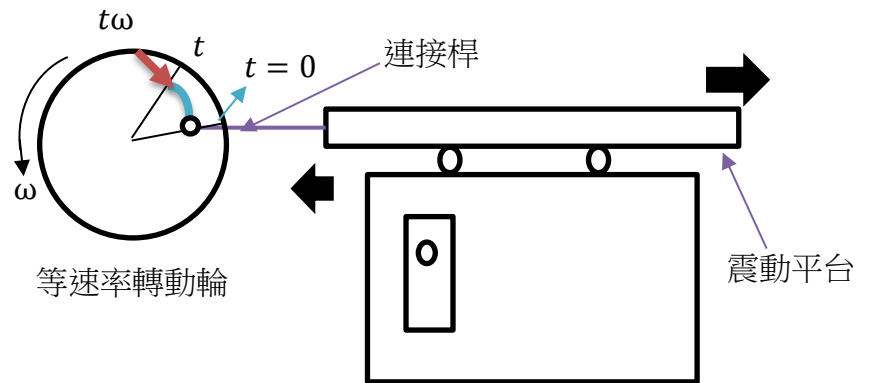


圖 5 振動台等速率圓周運動方式示意圖

2. 依振動台震動頻率分別模擬 10 種不同之地震頻率

- (1) 第 1 階段：水平移動來回 9 次/ 1 分鐘， $9/60=0.15$ 次/sec
- (2) 第 2 階段：水平移動來回 17 次/ 1 分鐘， $17/60=0.28$ 次/sec
- (3) 第 3 階段：水平移動來回 24 次/ 1 分鐘， $24/60=0.4$ 次/sec
- (4) 第 4 階段：水平移動來回 51 次/ 1 分鐘， $51/60=0.85$ 次/sec
- (5) 第 5 階段：水平移動來回 90 次/ 1 分鐘， $90/60=1.5$ 次/sec
- (6) 第 6 階段：水平移動來回 104 次/ 1 分鐘， $104/60=1.73$ 次/sec
- (7) 第 7 階段：水平移動來回 127 次/ 1 分鐘， $127/60=2.11$ 次/sec

表 1 振動台加速度對應震度分級換算表請參考圖 6 中央氣象局公告之地震震度分級表圖

階段	振幅距離(cm)	頻率	推算加速度(cm/sec ²)	推算對應震度分級	
1	2.5	0.15	2.2	1	微震
2	2.5	0.28	7.7	2	輕震
3	2.5	0.4	15.7	3	弱震
4	2.5	0.85	71.3	4	中震
5	2.5	1.5	222.	5	強震
6	2.5	1.73	295.3	6	烈震
7	2.5	2.11	439.4	7	劇震

註：推算加速度(cm/sec²) 對應圖 6 中央氣象局地震震度分級表圖內的**地動加速度**。

震度分級	地動加速度範圍	人的感受	物內情形	屋外情形
0. 無感	0.8 Gal 以下	人無感覺。		
1. 微震	0.8 ~ 2.5 Gal	人靜止時可感覺微小搖晃。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
2. 輕震	2.5 ~ 8.0 Gal	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來。	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺。	靜止的汽車明顯搖晃，電線略有搖晃。
3. 弱震	8 ~ 25 Gal	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	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，步行中的人也感到搖晃。
4. 中震	25 ~ 80 Gal	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。	部分牆壁產生裂痕，重家具可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒。
5. 強震	80 ~ 250 Gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分建築物受損，重家具翻倒，門窗扭曲變形。	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象。
6. 烈震	250 ~ 400 Gal	搖晃劇烈以致站立困難。	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地面。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞。
7. 劇震	400 Gal 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。		

備註: 1Gal = 1cm/s²

圖 6 交通部中央氣象局公告之地震震度分級表圖

(二) 測量大樓平均加速度實驗方式

1. 本實驗測量大樓平均加速度是利用 Tracker 軟體
2. 將已錄製好的 30 秒影片在 Tracker 上打開
3. 分析建築物各時間之加速度

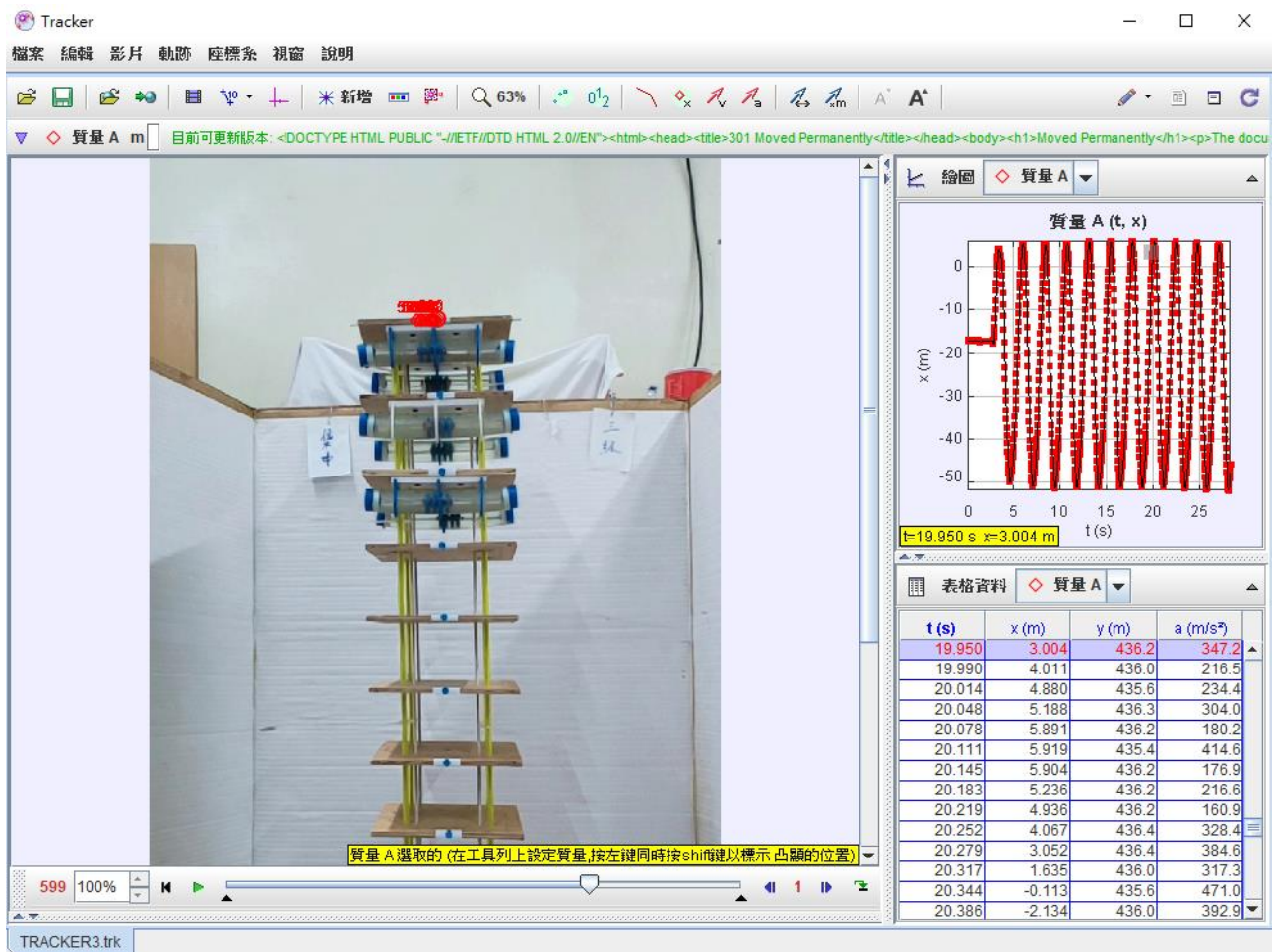


圖 7 測量大樓平均加速度實驗方式解說圖

(三) 水撲滿受不同震度對大樓建築物震盪變化情形實驗方法

1. 不同數量水撲滿實驗方法

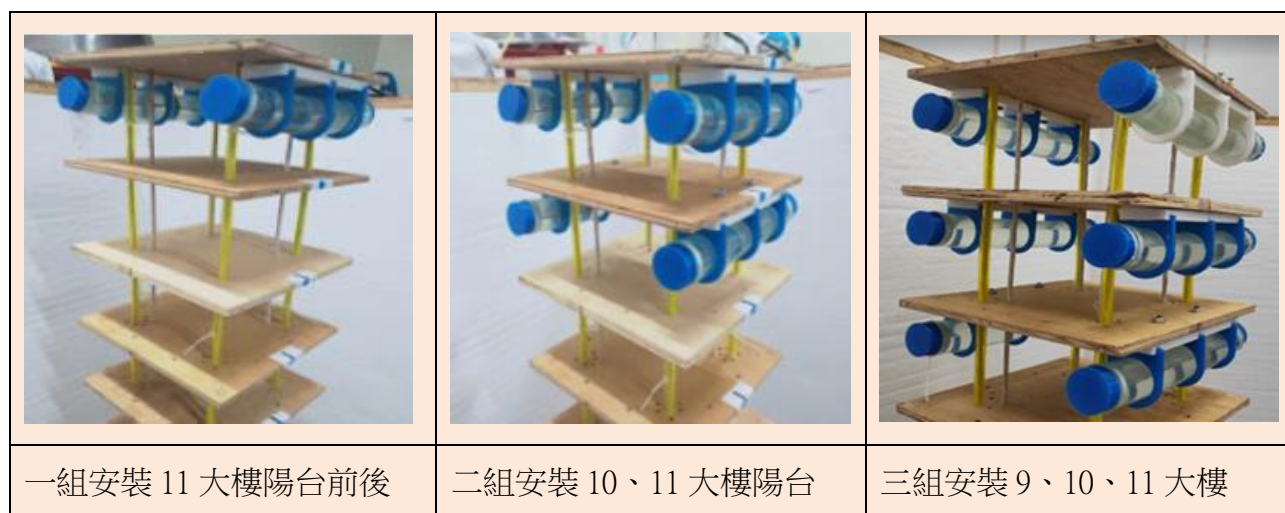


圖 8 不同數量水撲滿實驗方法解說圖

- (1) 將直徑 3.2 公分×長 18 公分圓柱體水撲滿內注入 40cc 水，安裝大樓陽台測試平台，分別以不同數量水撲滿進行實驗，第一組安裝 11 大樓陽台前後、第二組安裝 11、10 樓陽台前後、第三組安裝 11、10、9 樓陽台前後。
- (2) 手機開啟錄影模式，開啟震動台電源進行 30 秒錄影，再將影片上傳 Tracker 軟體，進行振動大樓 30 秒內，第 11 層樓平均加速度分析。
- (3) 以上步驟重複 5 次，再以 5 次平均值做為總平均速度。

2. 固體與液體水撲滿實驗方法

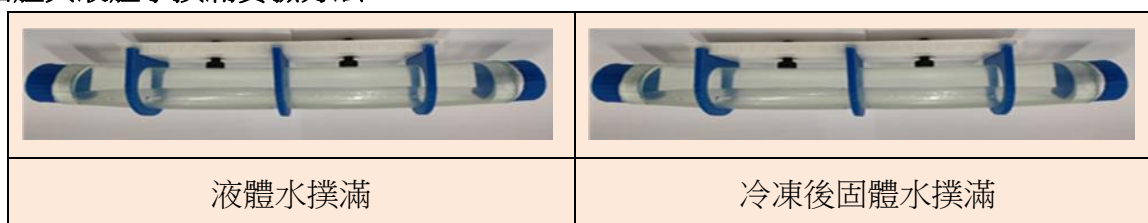


圖 9 固體與液體水撲滿實驗方法解說圖

- (1) 將直徑 3.2 公分×長 18 公分圓柱體水撲滿內注入 40cc 水，水撲滿放置冰箱冷凍做為固體水撲滿，安裝 11、10、9 樓陽台前後測試平台。
- (2) 手機開啟錄影模式，開啟震動台電源進行 30 秒錄影，在將影片上傳 Tracker 軟體，進行振動大樓 30 秒內，第 11 層樓平均加速度分析。
- (3) 以上步驟重複 5 次，再以 5 次平均值做為總平均速度。

(四) 水塔受不同震度對大樓建築物震盪變化情形實驗方法

1.水塔不同水量實驗方法

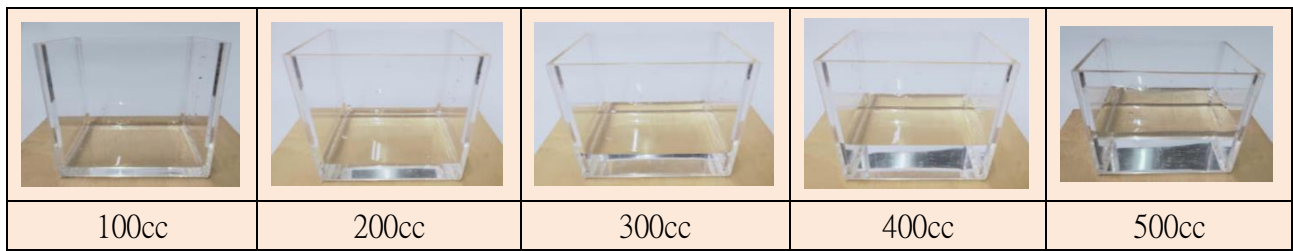


圖 10 水塔容器內不同水量實驗方法解說圖

- (1) 利用橡皮圈將水塔固定 11 樓振動平台，分別放置直徑 10 公分×高 12 公分圓柱體與 10 公分×10 公分×高 12 公分正方體，水塔內注入 100cc、200cc、300cc、400cc、500cc 水。
- (2) 手機開啟錄影模式，開啟震動台電源進行 30 秒錄影，在將影片上傳 Tracker 軟體，進行振動大樓 30 秒內第 11 層樓平均加速度分析。
- (3) 以上步驟重複 5 次，再以 5 次平均值做為總平均速度。

2.水塔與不同高度水撲滿實驗方法

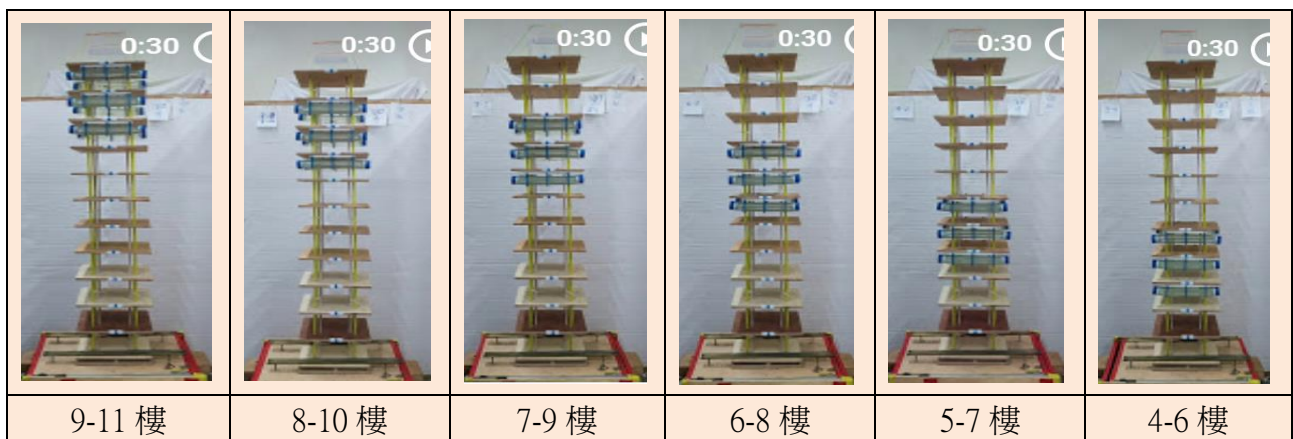


圖 11 水塔與不同高度水撲滿解說圖

- (1) 利用橡皮圈將水塔固定 11 樓振動平台，分別放置直徑 10 公分×高 12 公分圓柱體與 10 公分×10 公分×高 12 公分正方體，水撲滿放置 9-11 樓、8-10 樓、7-9 樓、6-8 樓、5-7 樓、4-6 樓。
- (2) 手機開啟錄影模式，開啟震動台電源進行 30 秒錄影，在將影片上傳 Tracker 軟體，進行振動大樓 30 秒內第 11 層樓平均加速度分析。
- (3) 以上步驟重複 5 次，再以 5 次平均值做為總平均速度。

(五) 水塔與水撲滿不同網狀隔間對建築物震盪變化情形實驗方法

1. 水塔容器內不同網狀隔間實驗方法

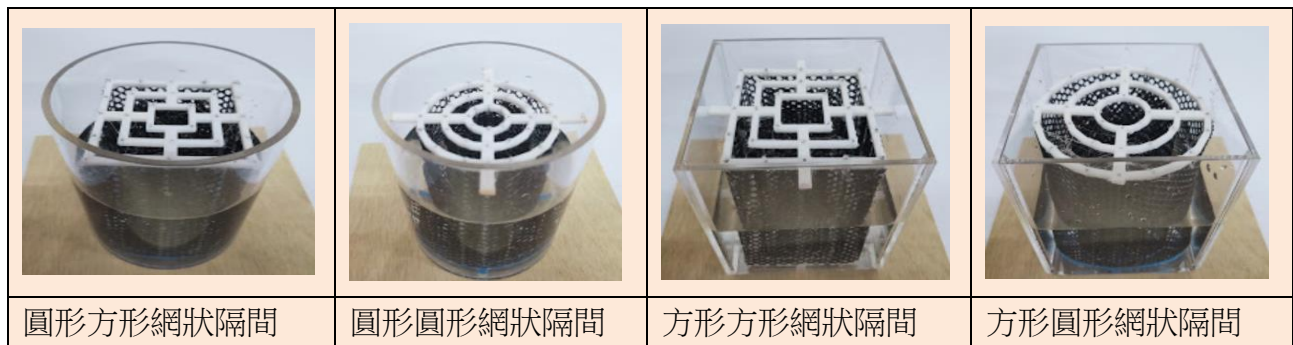


圖 12 水塔容器內不同網狀隔間實驗方法解說圖

- (1) 利用橡皮圈將水塔固定 11 樓振動平台，分別放置直徑 10 公分×高 12 公分圓柱體與 10 公分×10 公分×高 12 公分正方體，以不同網狀隔間水塔進行實驗，第一組圓形水塔方形網狀隔間、第二組圓形水塔圓形網狀隔間、第三組方形水塔方形網狀隔間、第四組方形水塔圓形網狀隔間。
- (2) 手機開啟錄影模式，開啟震動台電源進行 30 秒錄影，在將影片上傳 Tracker 軟體，進行振動大樓 30 秒內第 11 層樓平均加速度分析。
- (3) 以上步驟重複 5 次，再以 5 次平均值做為總平均速度。

2. 水撲滿容器內不同排法網狀隔間實驗方法

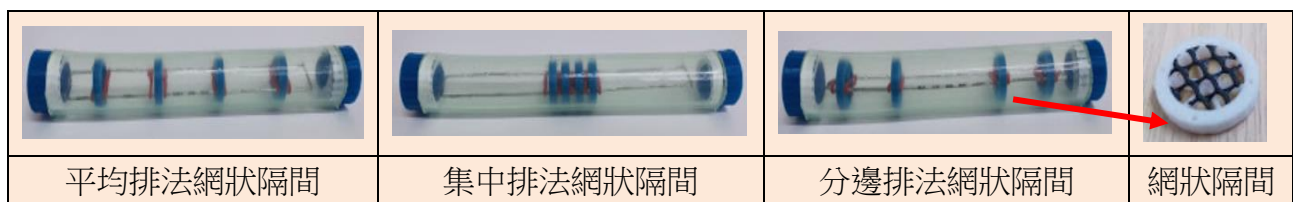


圖 13 水撲滿容器內不同排法網狀隔間實驗方法解說圖

- (1) 將直徑 3.2 公分×長 18 公分圓柱體水撲滿內注入 40cc 水，以不同網狀隔間水撲滿進行實驗，第一組平均排法網狀隔間水撲滿、第二組集中排法網狀隔間水撲滿、第三組分邊排法網狀隔間水撲滿，安裝 11、10、9 樓陽台前後測試平台。
- (2) 手機開啟錄影模式，開啟震動台電源進行 30 秒錄影，在將影片上傳 Tracker 軟體，進行振動大樓 30 秒內第 11 層樓平均加速度分析。
- (3) 以上步驟重複 5 次，再以 5 次平均值做為總平均速度。

伍、研究結果與討論

一、 探討大樓陽台設置水撲滿，不同震度對建築物震盪之影響。

(一) 11 層樓陽台前後安裝一組水撲滿，大樓高低與不同震度對建築物震盪之影響。

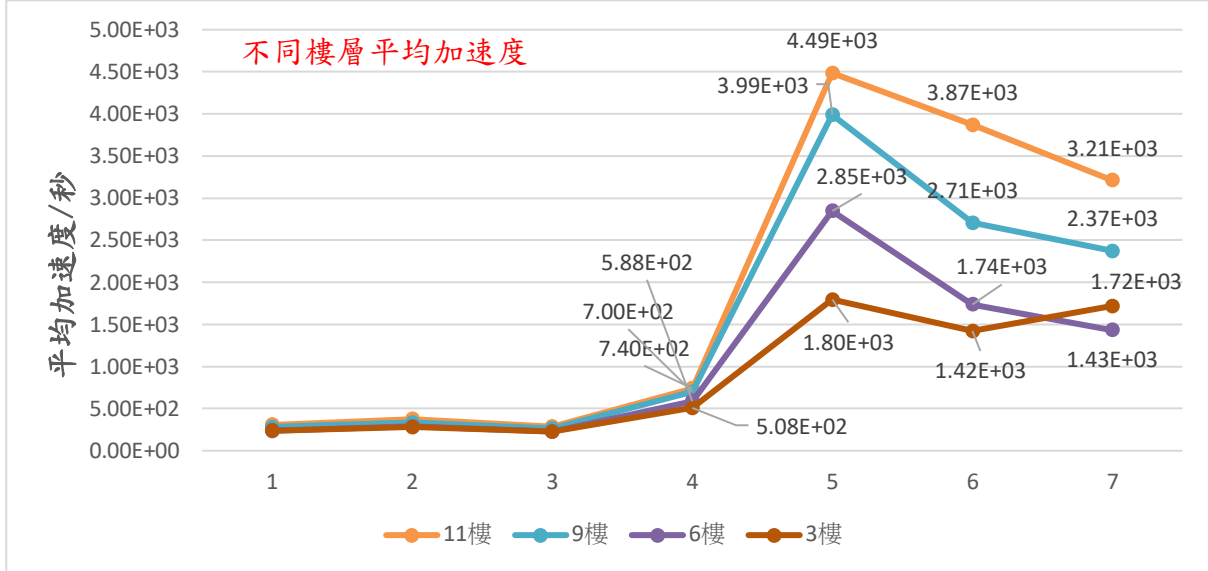


圖 14 固定一組水撲滿，平均加速度與大樓高低關係圖

1. 從圖 14，模擬震度 1-3 級大樓震盪不明顯，模擬震度 4-6 級第 11 層大樓平均加速最快，第 3 層大樓平均加速最慢，模擬震度 7 級第 6 樓層平均加速度最低大樓建築物震盪最小。

(二) 大樓陽台前後設置不同數量水撲滿，對建築物震盪之影響差異。

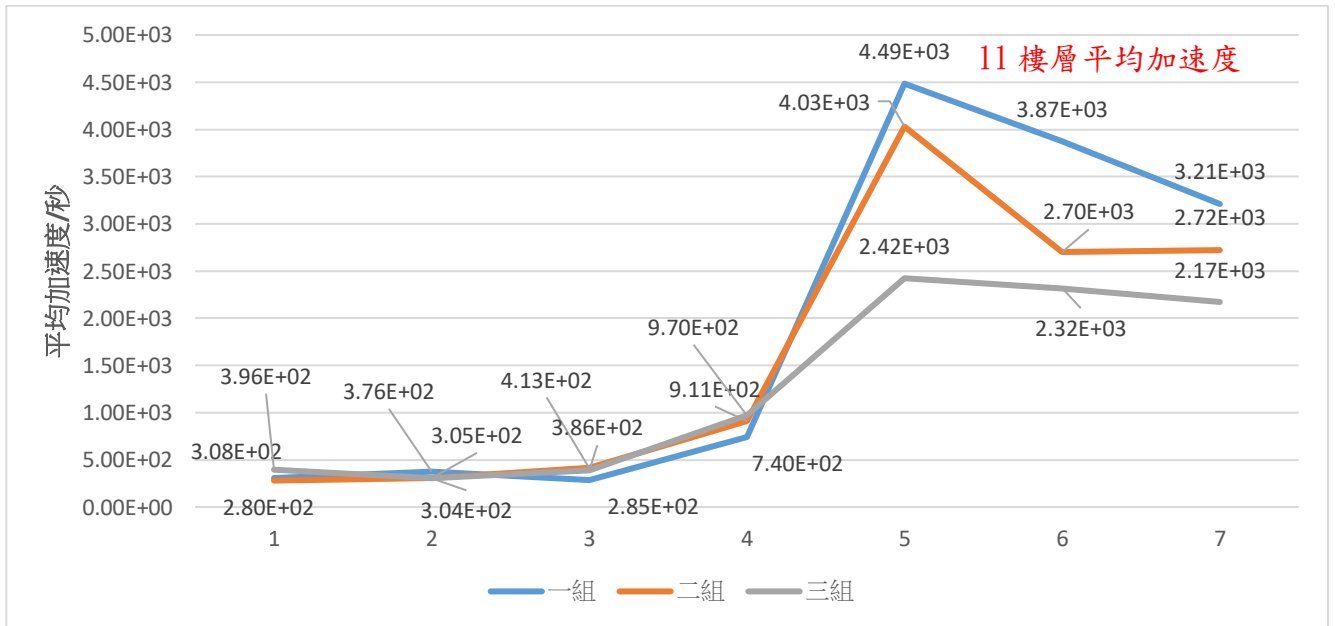


圖 15 不同震度，平均加速度與不同數量水撲滿關係圖

1. 從圖 15，大樓設置三組水撲滿，模擬震度 1 至 4 級建築物震盪最大，模擬震度 5 至 7 級建築物震盪最小；大樓安裝一支水撲滿，模擬震度 3、4 級建築物震盪最小，模擬震度 5 至 7

級建築物震盪最大。

(三) 三組水撲滿容器內不同排法網狀隔間，不同震度對建築物震盪之影響。

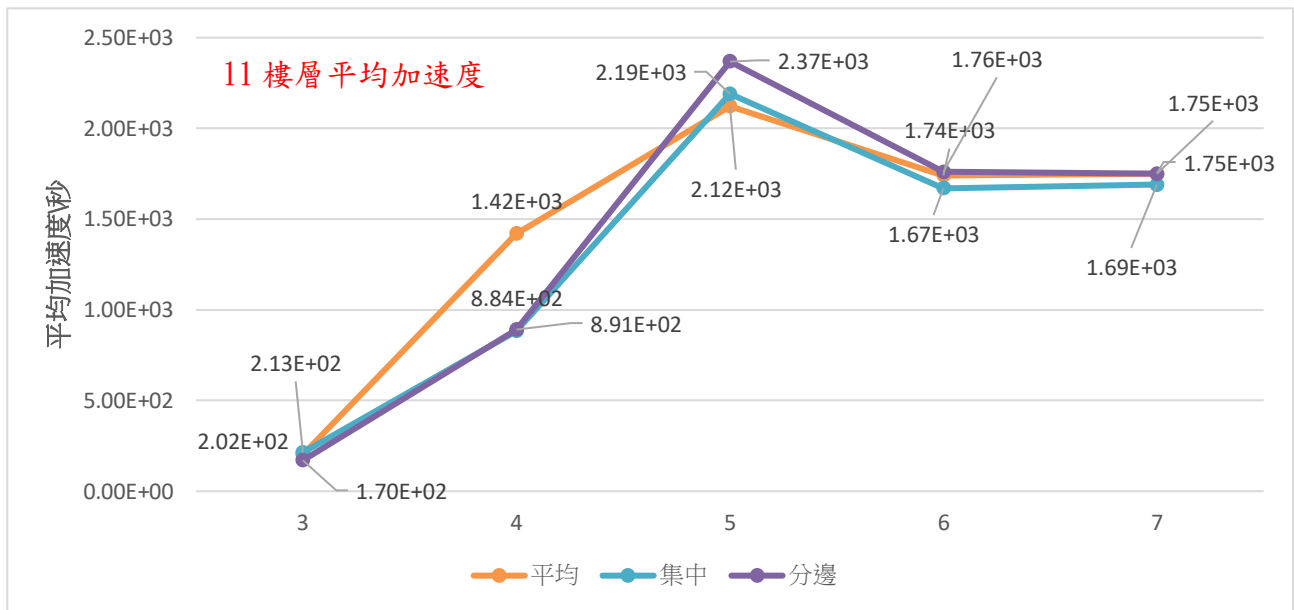


圖 16 固定三組水撲滿，平均加速度與不同排法網狀隔間水撲滿關係圖

- 從圖 16，大樓安裝三組水撲滿不同排法網狀隔間，平均排法網狀隔間模擬在震度 4 級建築物震盪最大，模擬震度 5 級時建築物震盪最小。集中、分邊排法網狀隔間對建築物震盪影響差異不大。

(三) 三組水撲滿，固體、液體、網狀隔間水撲滿對建築物震盪之差異。

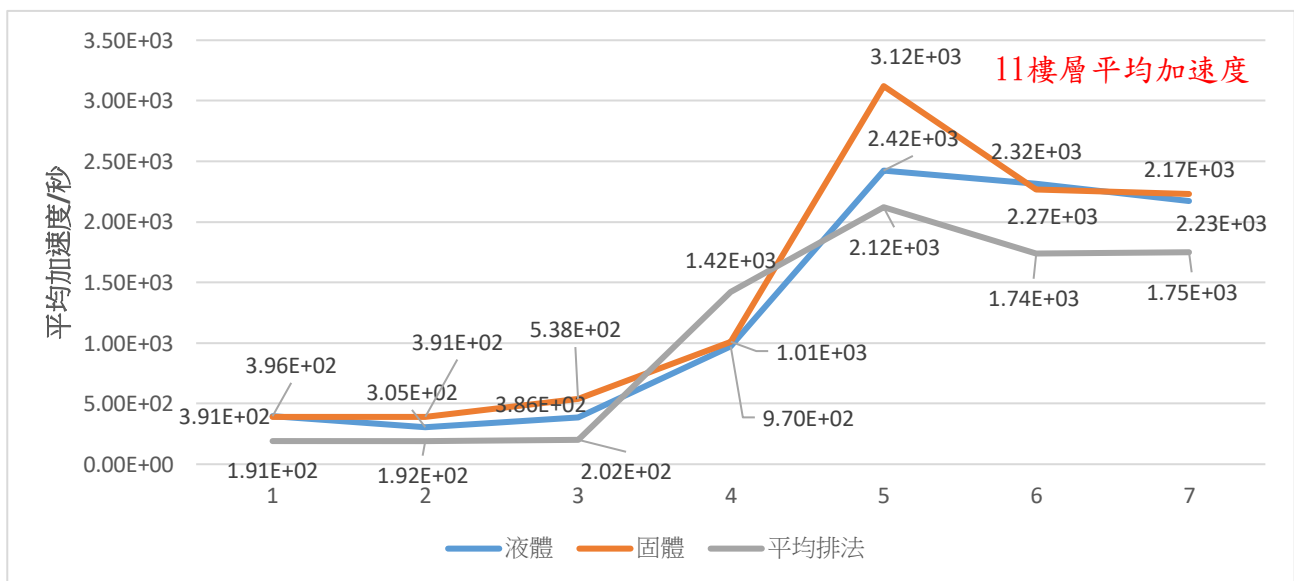


圖 17 固定三組水撲滿，平均加速度與固體、液體水撲滿關係圖

- 從圖 17，大樓安裝三組水撲滿，固體水撲滿在模擬震度 1-7 級時建築物震盪較大，固

體、液體、平均排法網狀隔間水撲滿模在擬震度 5 級建築物震盪相差最大；固體與液體水撲滿於模擬震度 6 級時建築物震盪差不多。平均排法網狀隔間水撲滿建築物震盪較小。

(四) 觀察與討論：

1. 大樓設置一組水撲滿，模擬震度 1-3 級大樓震盪不明顯，模擬震度 4-6 級時樓層越高震盪越大，模擬震度 7 級時第 6 樓層大樓震盪最小。**推論：**當大樓震盪在模擬震度七級時，第 6 層樓剛好是大樓震盪建物的中心點。因此才會產生第 6 層樓加速度最慢的現象。
2. 大樓設置三組水撲滿重量較重，模擬震度 1-4 級建築物震盪明顯較大，模擬震度 5-7 級建築物震盪較小；反觀設置一組水撲滿模重量較輕，模擬震度 3、4 級建築物震盪較小，模擬震度 5-7 級建築物震盪最大。**推論：**是因為三組液體水撲滿發揮阻尼效果。
3. 平均排法與集中、分邊排法網狀隔間水撲滿比較，模擬震度 4 級建築物震盪最大，但是模擬震度 5 級建築物震盪最小。為何平均排法網狀隔間水撲滿，在模擬震度 5 級阻尼效果較佳？**推論：**因為平均排法網狀隔間，網狀隔間的距離短，模擬震度 5 級振幅，水波運動長度在較短網狀隔間相互紊流產生消能，進而增加大樓阻尼效果。**圖 18**
4. 集中排法網狀隔間位於水撲滿中間，網狀隔間的距離較長，當模擬震度 6、7 級振幅，水波運動長度在長距離網狀隔間相互紊流產生消能，進而增加大樓阻尼效果。**圖 18**

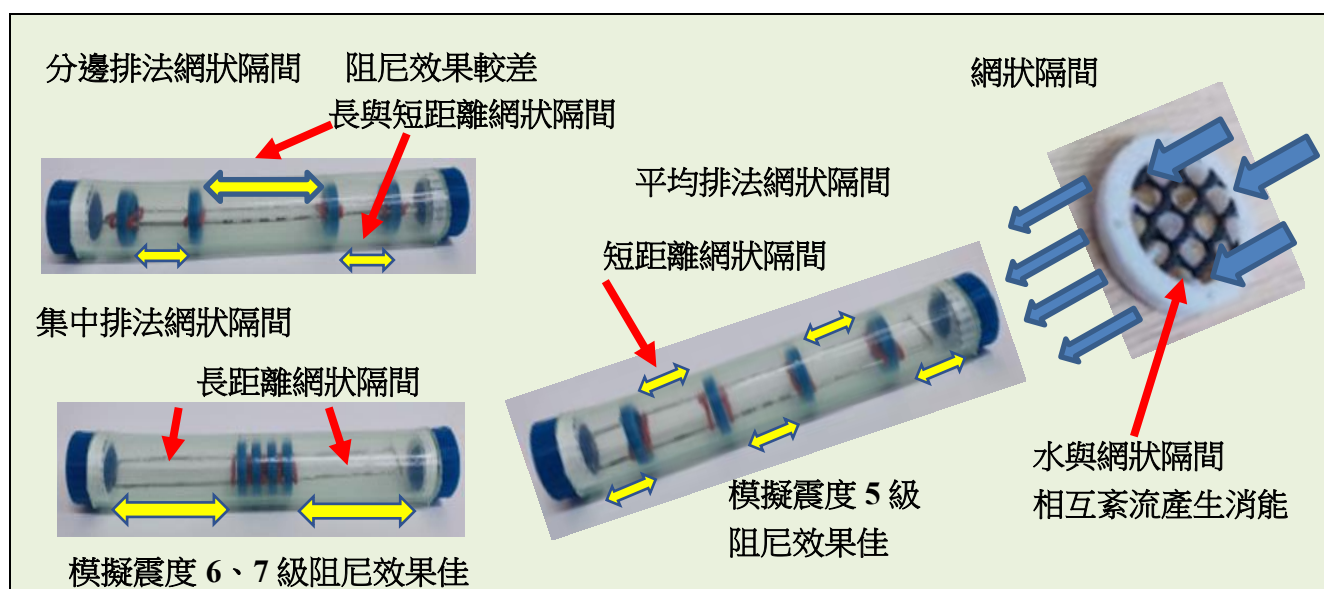


圖 18 不同排法網狀隔間水撲滿阻尼效果概況圖

- 分邊排法網狀隔間消能阻尼效果較差。
- 不同裝置固體、液體無網狀隔間、液體網狀隔間水撲滿比較，模擬震度 1-7 級時固體水撲滿無阻尼效果，網狀隔間水撲滿擬在震度 4 級其阻尼效果較差，擬震度 5、6、7 級阻尼效果較佳。液體無網狀隔間水撲滿阻尼效果其次。如表 2
- 大樓建築物受不同震度影響，樓層越高震盪越大，當 11 層大樓在模擬震度 7 級時，第 6 樓層為大樓建築物中心點震盪最小。
- 三組液體水撲滿震度小建築物搖晃大，震度大建築物搖晃小；顯示可以破壞震度 5、6 級與大樓建築物共振；固體水撲滿無法破壞震度 5、6 級與大樓建築物共振。

表 2 三組不同消能元件水撲滿差異比較表

水撲滿形式	固體水撲滿	液體水撲滿	網狀隔間液體水撲滿
容器內形式	冰塊	無網狀隔間	集中、平均排法
阻尼效果差異	無阻尼效果	有阻尼效果	阻尼效果提升

二、 探討大樓水塔，不同震度對建築物震盪之影響。

(一) 大樓安裝正圓形水塔，不同水位量對建築物震盪之影響。

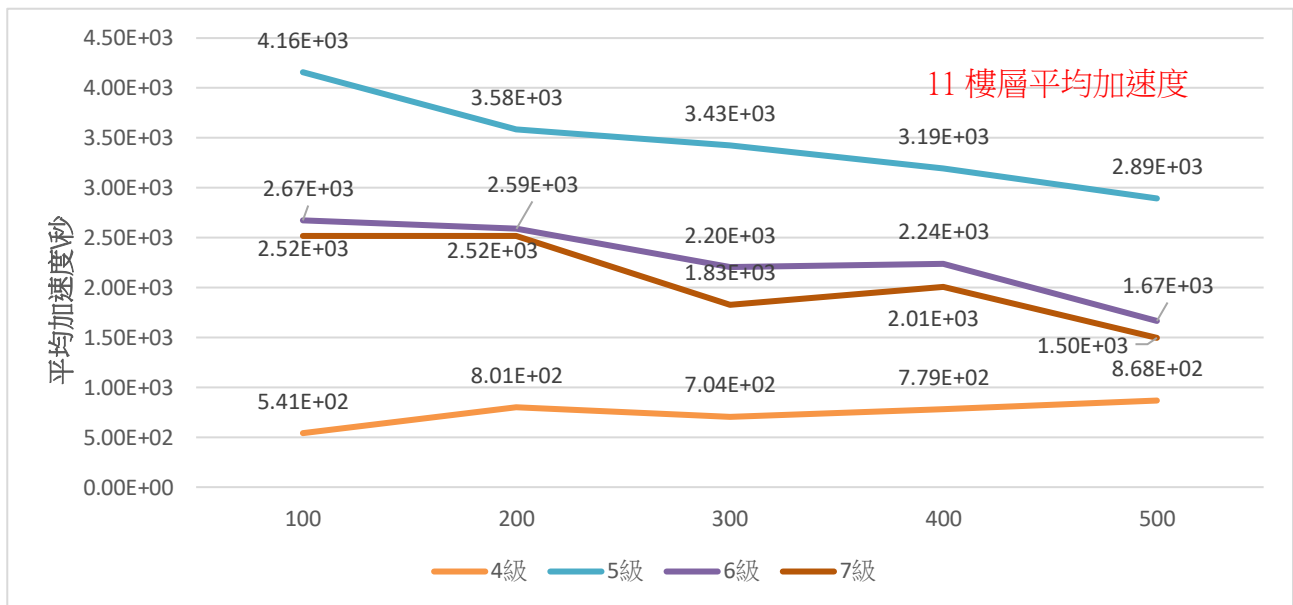


圖 19 正圓形水塔，平均加速度與不同水位量關係圖

- 從圖 19，大樓水塔在模擬震度 4 級水位量 100cc 建築物震盪最小；水位量 500cc 建築物震盪最大，模擬震度 5、6、7 級水位量 100cc 建築物震盪最大；水位量 500cc 建築物震盪最小，模擬震度 6、7 級水位量 300cc 比 400cc 建築物震盪小。

(二) 大樓安裝正方形水塔，不同水位量對建築物震盪之影響。

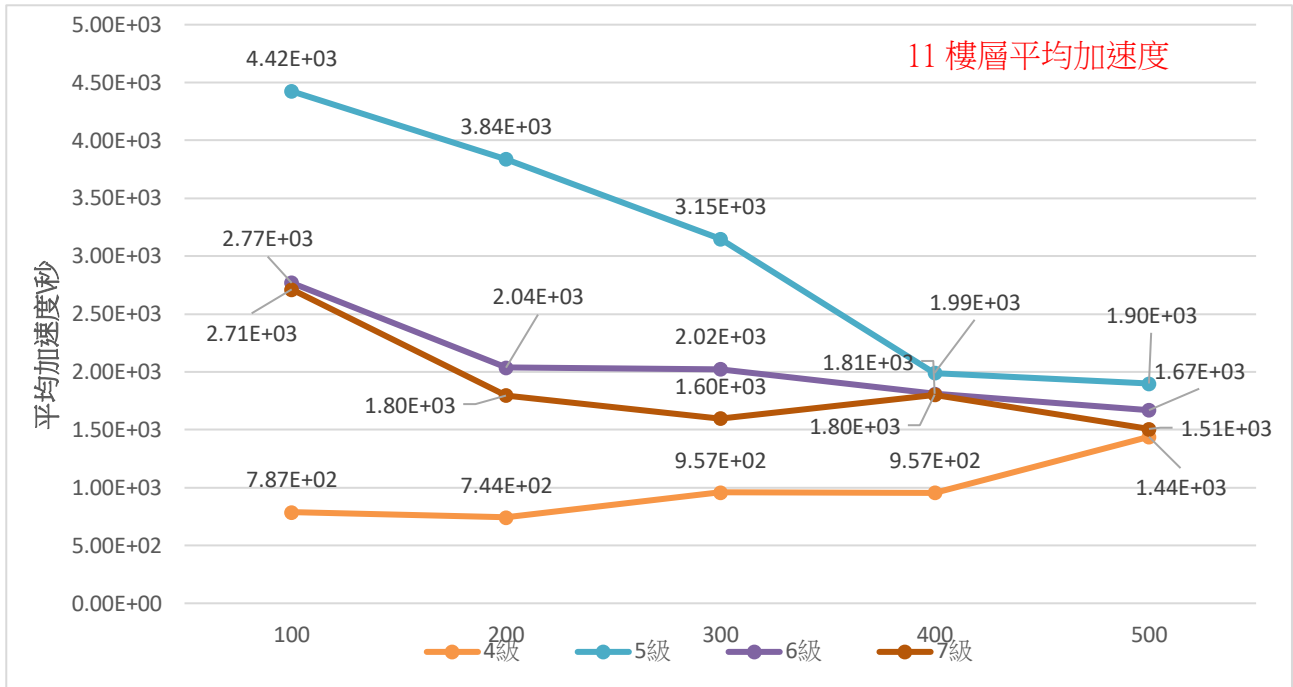


圖 20 正方形水塔，平均加速度與不同水位量關係圖

- 從圖 20，大樓水塔在模擬震度 4 級水位量 100cc 建築物震盪最小；水位量 500cc 建築物震盪最大，模擬震度 5、6、7 級水位量 100cc 建築物震盪最大；水位量 500cc 建築物震盪最小，模擬震度 7 級水位量 300cc 比 400cc 建築物震盪小。

(三) 固定 500cc 水位量，正方形與正圓形水塔，震度對建築物震盪之影響。

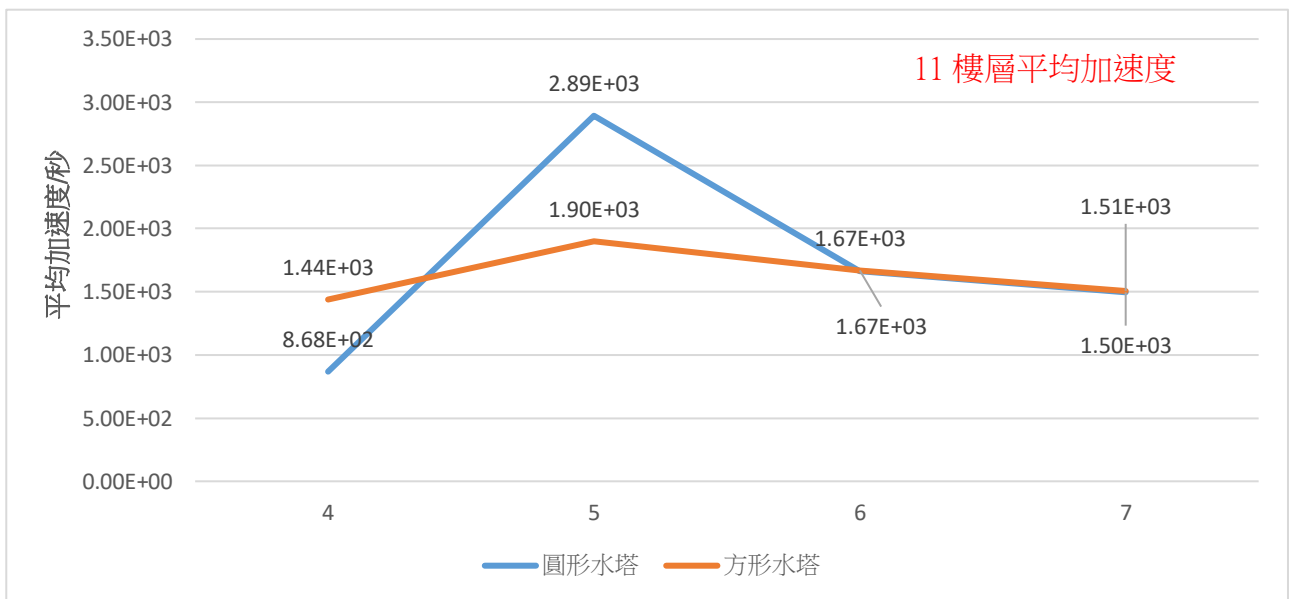


圖 21 固定 500cc 平均加速度與正方形、正圓形水塔關係圖

- 從圖 21，大樓設置正圓形水塔在模擬震度 4 級建築物震盪較小，模擬震度 5 級建築物震盪較大，模擬震度 6、7 級建築物震盪狀況差不多。

(四) 固定 500cc 水位量，正圓形水塔容器內加裝網狀隔間，震度對建築物震盪之影響。

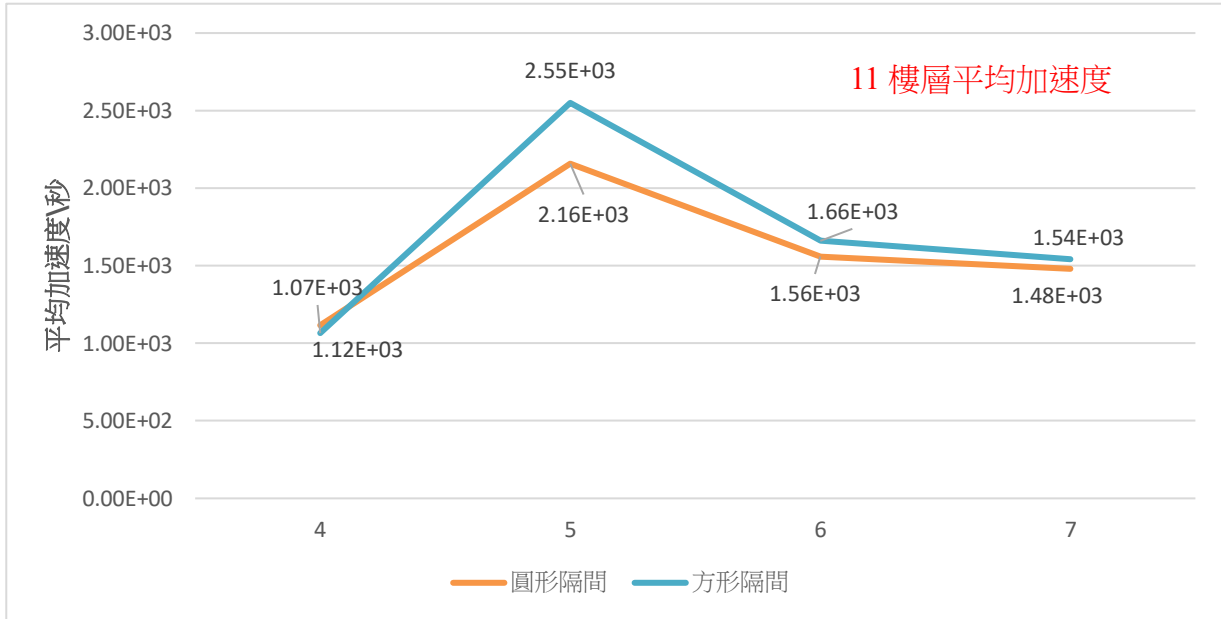


圖 22 正圓形水塔，平均加速度與不同形狀網狀隔間關係圖

1. 從圖 22，正圓形水塔內以正圓形網狀隔間對建築物震盪較小。
2. 正圓形水塔內以正方形網狀隔間對建築物震盪較大。

(五) 固定 500cc 水位量，正方形水塔容器內加裝網狀隔間，震度對建築物震盪之影響。

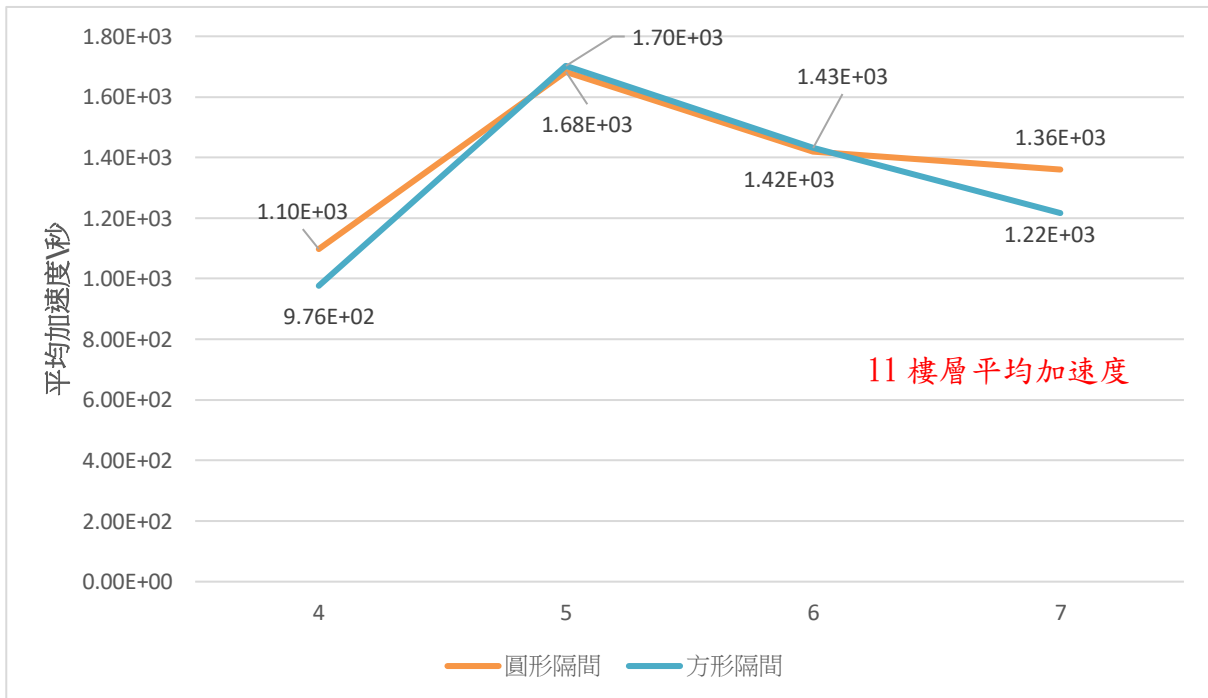


圖 23 正方形水塔，平均加速度與不同形狀網狀隔間關係圖

1. 從圖 23，正方形水塔內以正方形網狀隔間對建築物震盪較小。
2. 正方形水塔內以正圓形網狀隔間對建築物震盪較大。

(六) 固定 500cc 水位量，正圓形水塔容器內有無網狀隔間，震度對建築物震盪之差異。

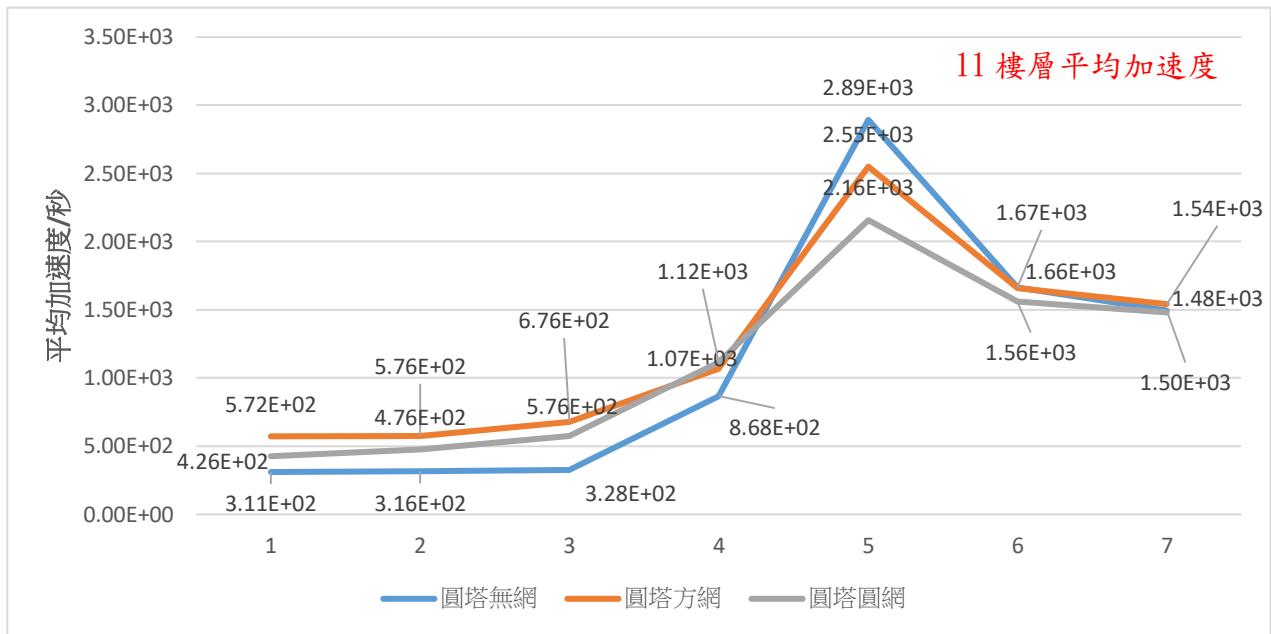


圖 24 正圓形水塔，平均加速度與有無網狀隔間水撲滿關係圖

1. 由圖 24 模擬震度 5 級正圓形水塔內以正圓形網狀隔間對建築物震盪較小。
2. 正圓形無網狀隔間水塔模擬震度 1 至 4 級對建築物震盪較小，模擬震度 5 級建築物震盪較大。

(七) 固定 500cc 水位量，正方形水塔容器內有無網狀隔間，震度對建築物震盪之差異。

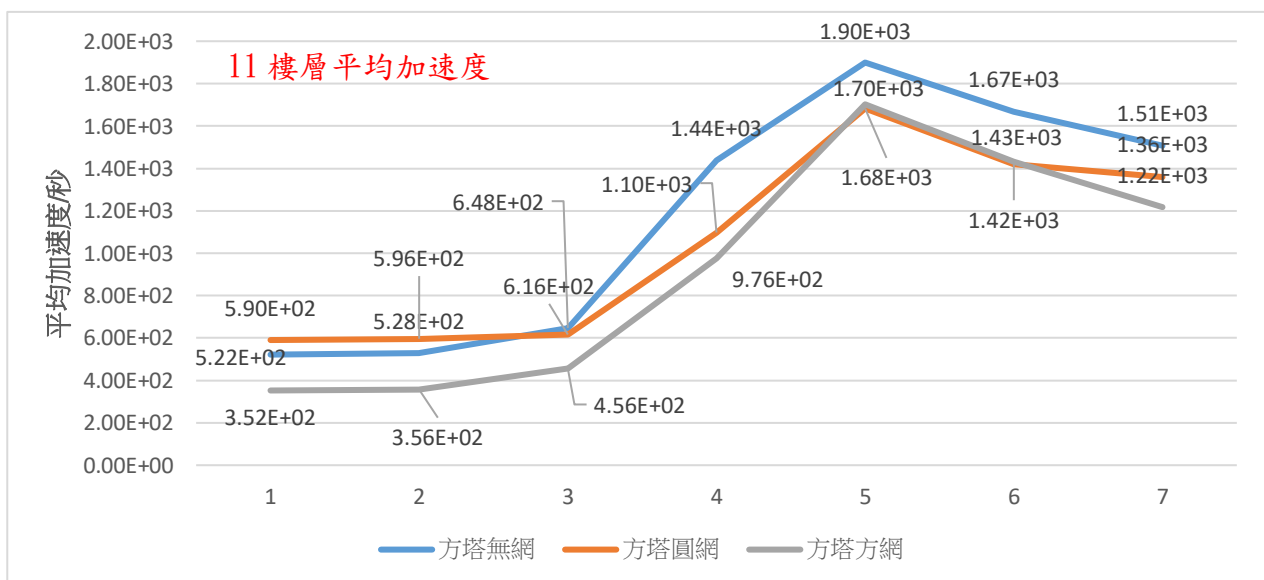


圖 25 正方形水塔，平均加速度與有無網狀隔間水撲滿關係圖

1. 由圖 25 模擬震度 4 至 7 級正方形水塔內無網狀隔間對建築物震盪較大。
2. 正方形水塔內正方形網狀隔間模擬震度 1 至 7 級對建築物震盪較小。

(四) 觀察與討論：

1. 正圓形、正方形水塔模擬震度 4 級水位量 100cc 建築物震盪較小，水位量提升 500cc 建築物震盪變大；模擬震度 5、6、7 級水位量 100cc 建築物震盪較大，水位量提升 500cc 建築物震盪變小。因此小振幅底水位量建築物震盪較小，大震幅高水位量建築物震盪較小。
2. 無網狀隔間水塔阻尼效果比較，正圓形水塔阻尼效果較佳；正圓形水塔阻尼效果較差。
3. 有無網狀隔間阻尼效果比較，正圓形水塔內加裝正圓形網狀隔間阻尼效果可以提升，正方形水塔內加裝正方形網狀隔間阻尼效果可以提升。表 3

表 3 水塔形狀與網狀隔間阻尼效果差異表

水塔形狀	網狀隔間形狀	水塔形狀與網狀隔間關係	阻尼效果
正方形水塔	正圓形網狀隔間	網狀隔間與水塔非平行	差
正方形水塔	正方形網狀隔間	網狀隔間與水塔平行	佳
正圓形水塔	正圓形網狀隔間	網狀隔間與水塔平行	佳
正圓形水塔	正方形網狀隔間	網狀隔間與水塔非平行	差

4. 為何平行水塔器壁網狀隔間阻尼效果較佳？ 推論：當水塔受地震振幅影響，容器內第一次波的水會往器壁撞，此時產生回彈的第二次波，平行容器內的網狀隔間，能有較好的水波運動長度液體阻尼效果。反觀未平行容器內的網狀隔間，未有效的與器壁紊流空間，液體阻尼效果較差。圖 26

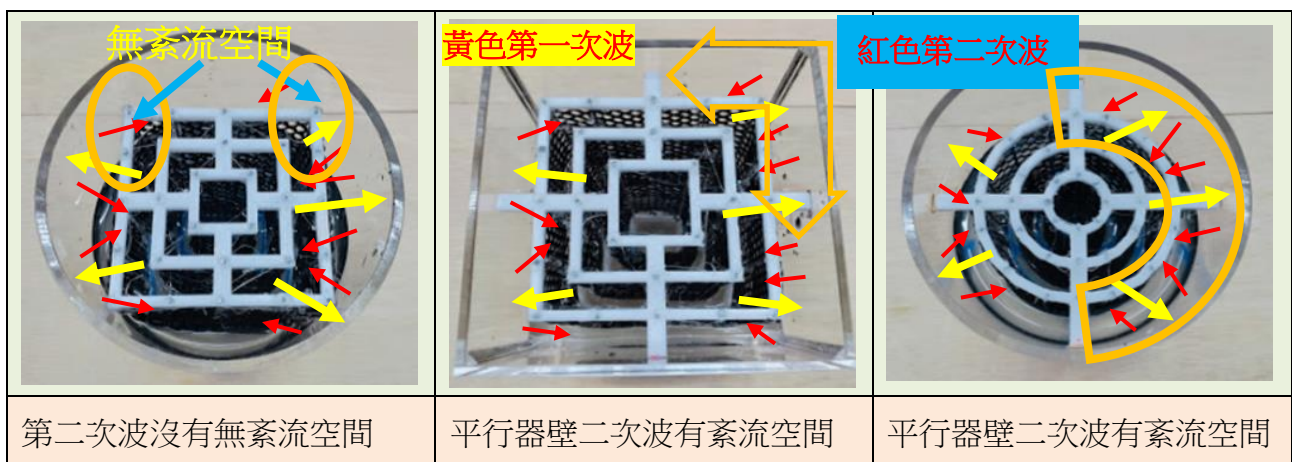


圖 26 水塔形狀與網狀隔間阻尼效果解說圖

三、 探討大樓水塔配合三組水撲滿設置，不同震度對建築物震盪之影響。

(一) 固定震度 4 級正方形與正圓形水塔，水撲滿設置不同樓層對建築物震盪之影響。

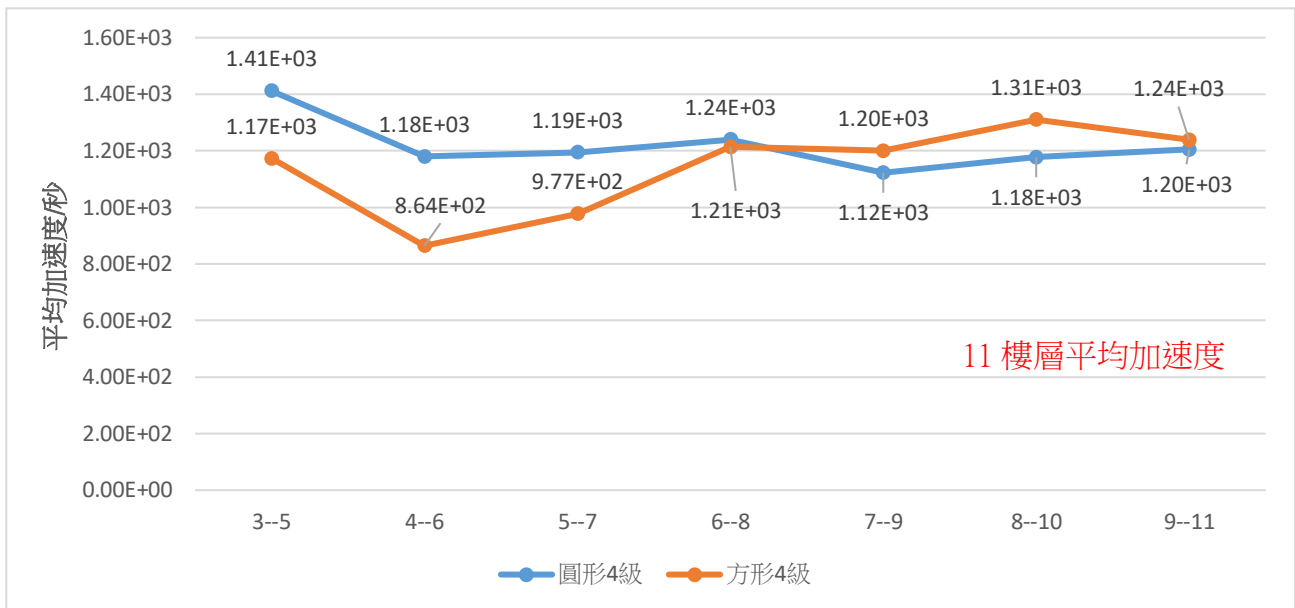


圖 27 固定震度 4 級，平均加速度與設置不同樓層水撲滿關係圖

- 從圖 27，正方形水塔配合設置 4-6 樓三組水撲滿建築物震盪較小，設置 8-10 樓三組水撲滿建築物震盪較大。正圓形水塔配合設置 3-5 樓三組水撲滿建築物震盪較大，設置其他樓層建築物震盪差異不大。

(二) 固定震度 5 級正方形與正圓形水塔，水撲滿設置不同樓層對建築物震盪之影響。

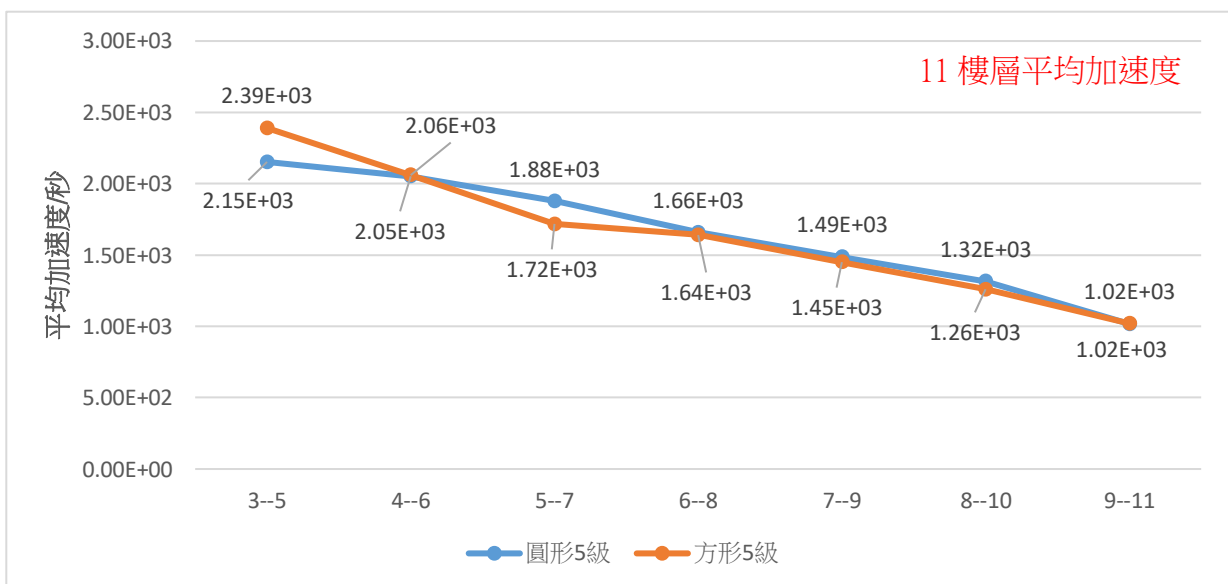


圖 28 固定震度 5 級，平均加速度與設置不同樓層水撲滿關係圖

- 從圖 28，正圓形與正方形水塔配合設置 3-5 樓三組水撲滿建築物震盪最大，設置 9-11 樓三組水撲滿建築物震盪最小。

(三) 固定震度 4、5 級正方形與正圓形水塔，水撲滿設置不同樓層對建築物震盪之影響。

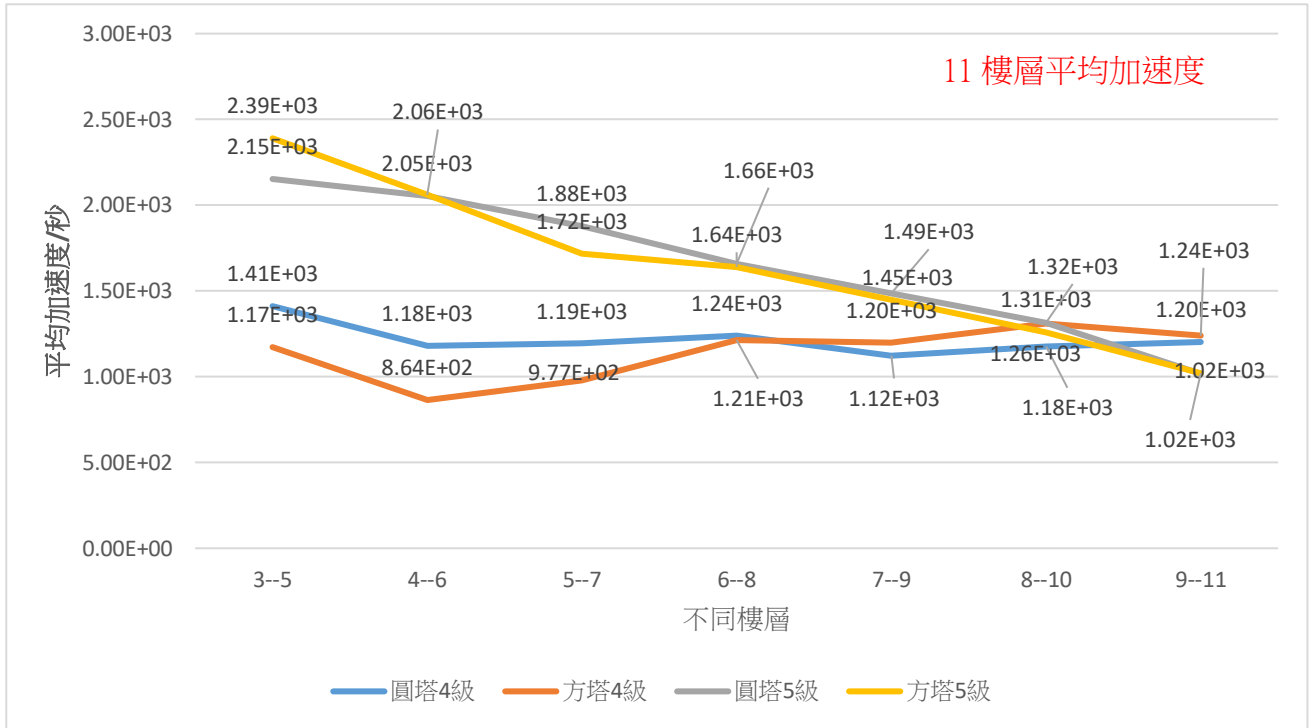


圖 29 固定震度 4、5 級，平均加速度與設置不同樓層水撲滿之差異圖

1. 從圖 29，模擬震度 5 級，設置高樓層三組水撲滿建築物震盪較小；設置底樓層三組水撲滿建築物震盪差異較大。
2. 模擬震度 4 級，設置低樓層三組水撲滿建築物震盪較小。

(四) 無網狀隔間正方形與正圓形水塔，配合設置 9、10、11 樓層水撲滿對建築物震盪影響。

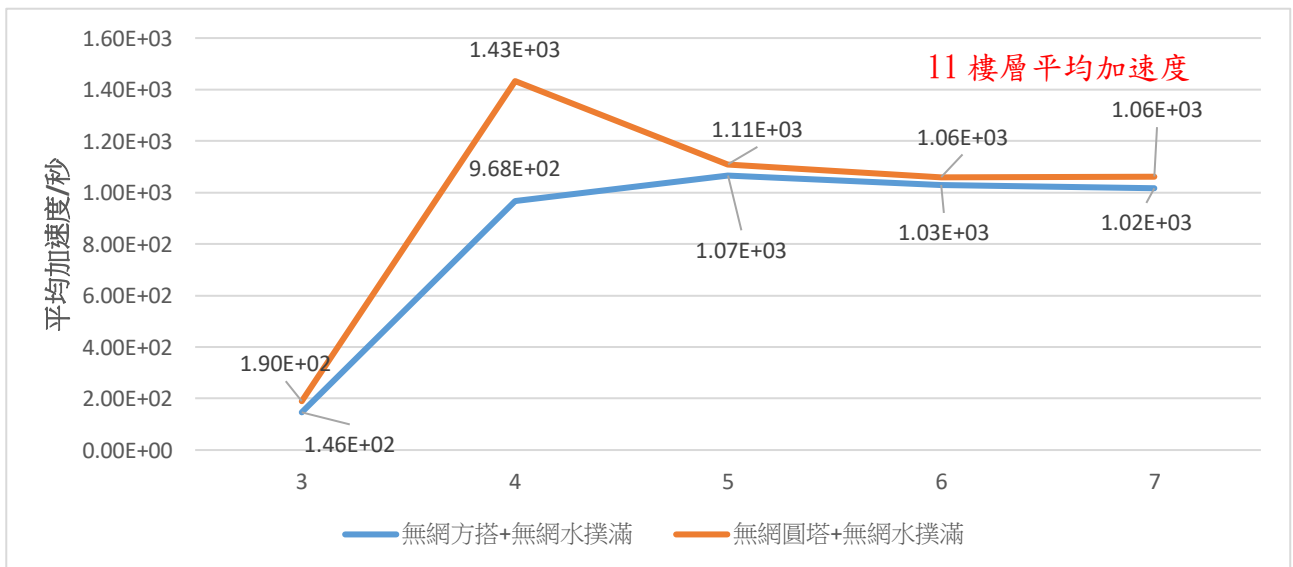


圖 30 固定震度 4、5 級，平均加速度與不同樓層水撲滿之差異圖

1. 從圖 30，設置高樓層三組水撲滿，搭配正方形水塔對建築物震盪影響較小。

(五) 有無網狀隔間正圓形水塔，配合水撲滿對建築物震盪影響之差異。

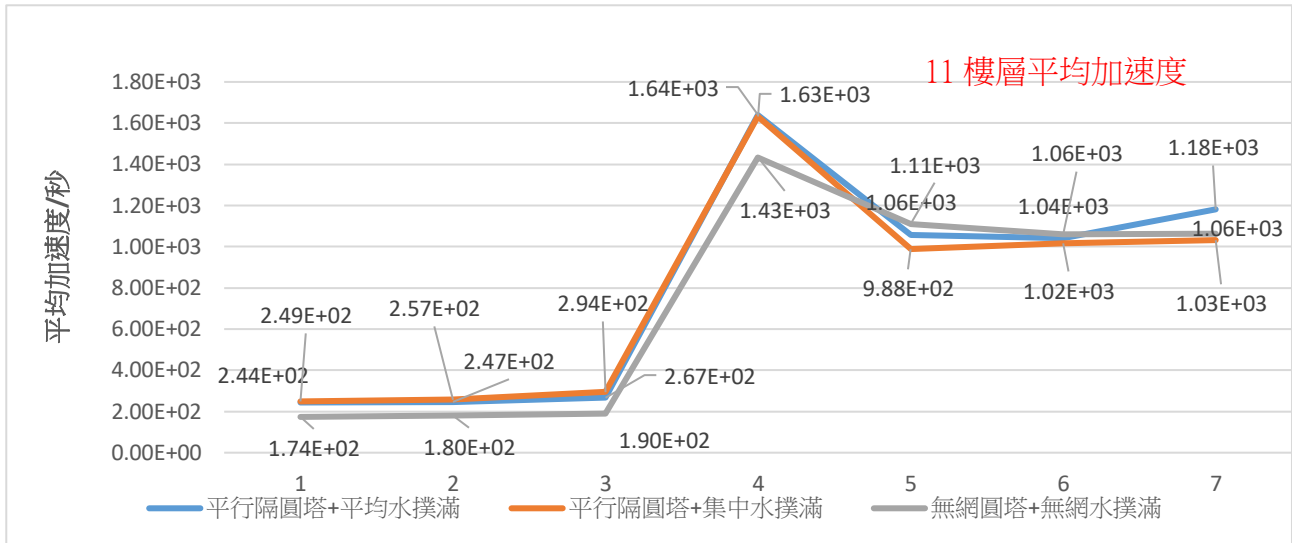


圖 31 有無網狀隔間，平均加速度與正圓形水塔配合水撲滿對建築物震盪影響差異圖

1. 從圖 31，無網狀隔間正圓形水塔搭配水撲滿模擬震度 1 至 4 級建築物震盪影較小，模擬震度 5 級建築物震盪影較大。
2. 平行器壁網狀隔間正圓形水塔，搭配集中排法網狀隔間水撲滿，模擬震度 4 級建築物震盪影較大，擬震度 5、6、7 級建築物震盪影較小。

(六) 有無網狀隔間正方形水塔，配合水撲滿對建築物震盪影響之差異。

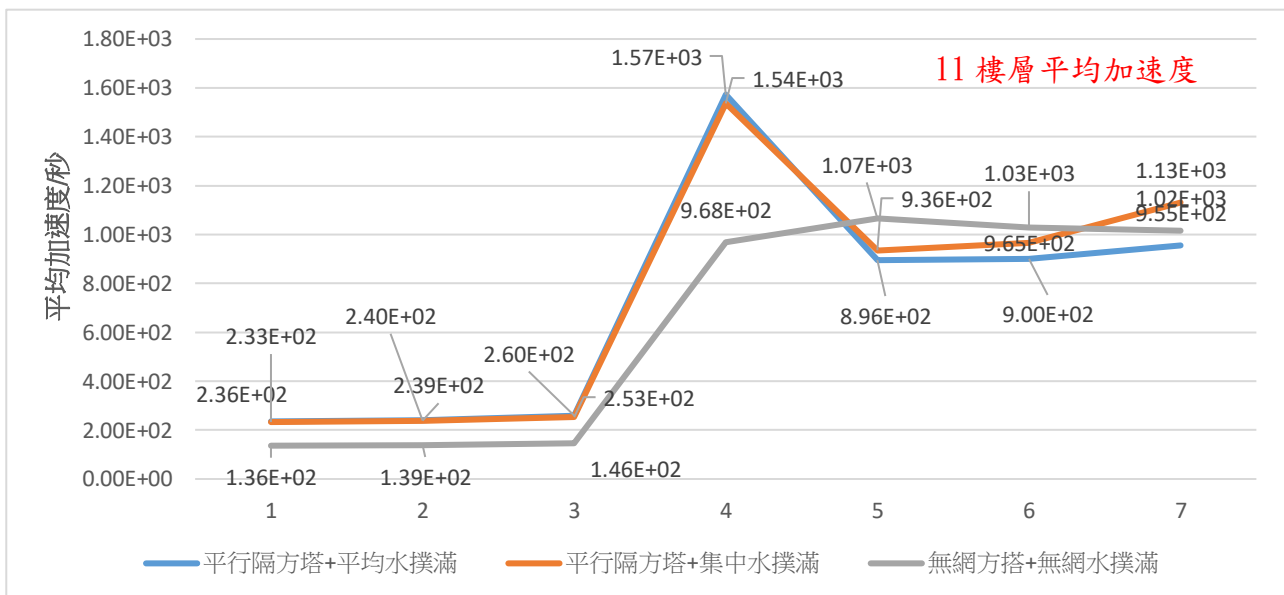


圖 32 有無網狀隔間，平均加速度與正方形水塔配合水撲滿對建築物震盪影響差異圖

1. 從圖 32，無網狀隔間正方形水塔搭配水撲滿模擬震度 4 級建築物震盪影較小，模擬震度 5 級建築物震盪影較大。
2. 平行器壁網狀隔間正方形水塔，搭配集中排法網狀隔間水撲滿，模擬震度 4 級建築物震盪影較大，擬震度 5、6、7 級建築物震盪影較小。

物震盪影較大，擬震度 5、6、7 級建築物震盪影較小。

(四) 觀察與討論：

1. 模擬震度 5 級正方形、正圓形水塔配合設置高樓層處三組水撲滿建築物震盪較小，設置底樓層處三組水撲滿建築物震盪較大。
2. 模擬震度 4 級正圓、正方形水塔配合三組水撲滿，設置 3-6、9-11 樓阻尼效果較接近。
3. 模擬震度 5 級水塔配合設置高樓層處三組水撲滿阻尼效果較佳；模擬震度 4 級水塔配合設置底樓層處三組水撲滿阻尼效果較佳。
4. 有無網狀隔間水塔配合水撲滿阻尼差異比較，加裝網狀隔間阻尼效果有提升。
5. 平行器壁網狀隔間正圓形水塔，配合集中排法網狀隔間水撲滿對建築物阻尼效果較佳。
為何會有如此現象？**推論**：平行器壁正圓形水塔配合集中排法水撲滿，最上層水撲滿水波靠右邊，中間層二邊水波分佈差不多，最底層水波靠右邊，這三層水波分佈差異較大，水波擾動現象較明顯；反觀平行器壁正方形水塔配合集中排法水撲滿，這三層水波分佈差異較小，水波擾動現象不明顯。圖 33

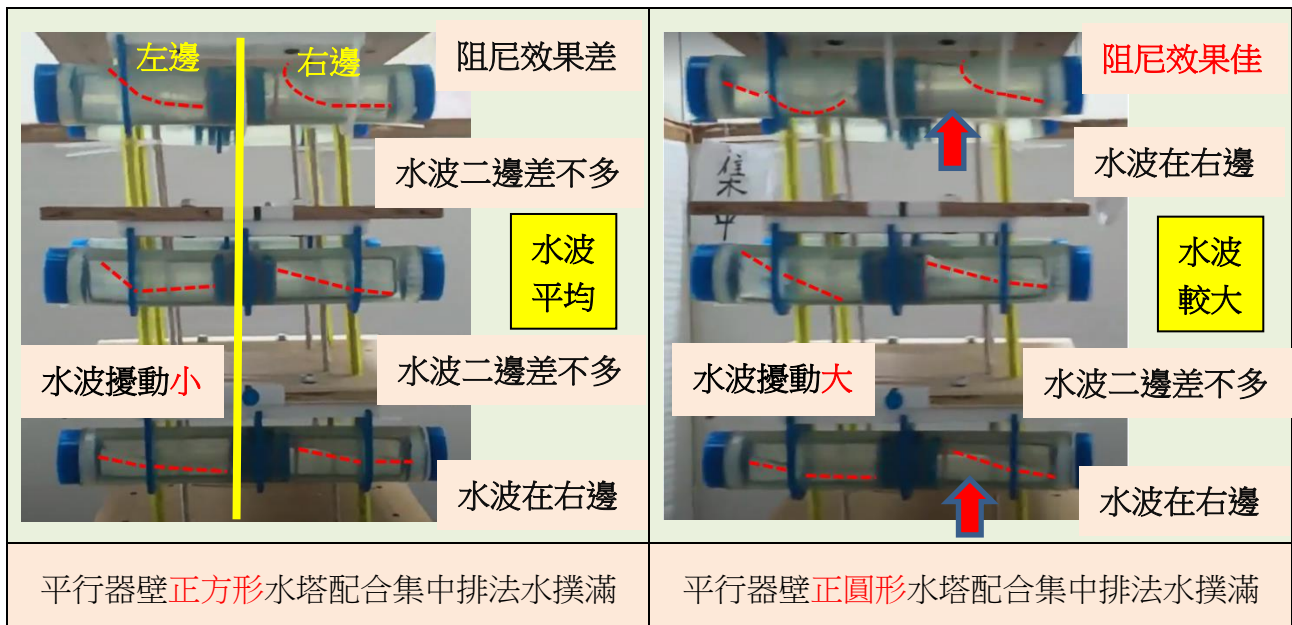


圖 33 平行器壁隔間正方形、正圓形水塔集中排法網狀隔間水撲滿阻尼差異比較圖

6. 平行器壁網狀隔間正方形水塔，配合平均排法網狀隔間水撲滿對建築物阻尼效果較佳。
為何會有如此現象？**推論**：平行器壁正方形水塔配合平均排法水撲滿，最上層水撲滿水波靠右邊，中間層水波靠左邊，最底層水波分二邊，這三層水波分佈差異較大，水波擾動現象較明顯；反觀平行器壁正圓形水塔配合平均排法水撲滿，這三層水波靠右邊分佈

差異較小，水波擾動現象不明顯。圖 34

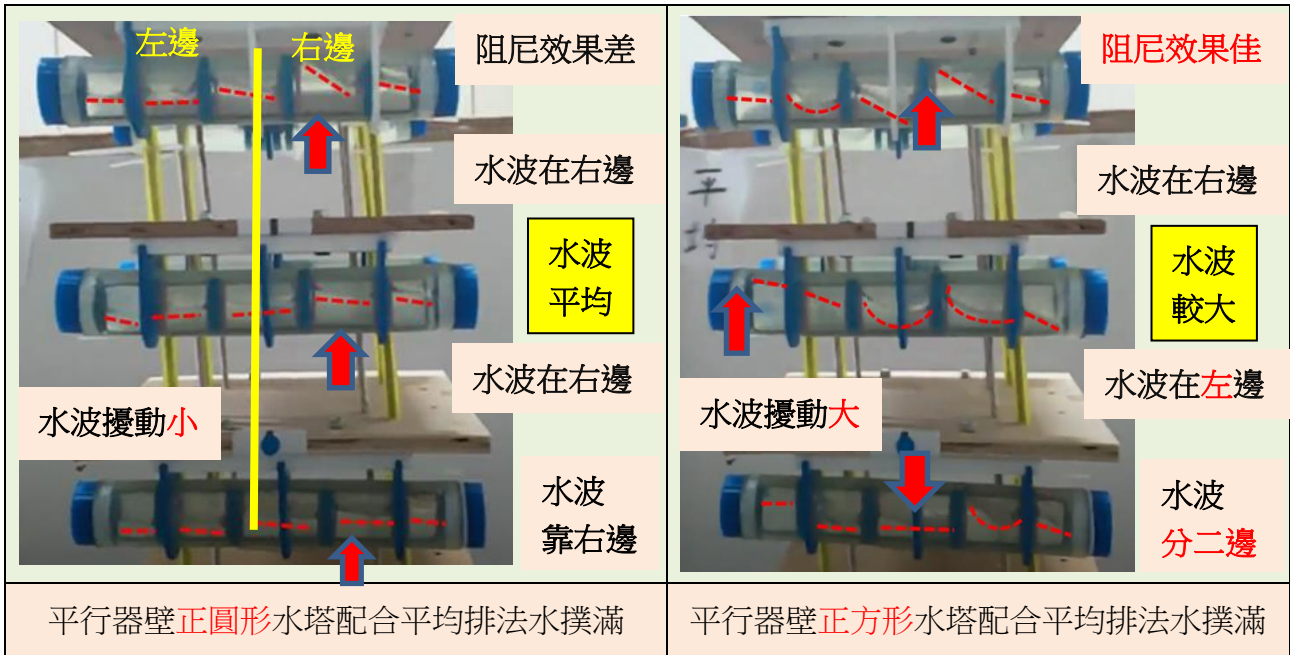


圖 34 平行器壁隔間正方形、正圓形水塔平均排法網狀隔間水撲滿阻尼差異比較圖

7. 由以上圖 33、34 整理平行器壁隔間正方形、正圓形水塔，不同排法網狀隔間水撲滿阻尼差異比較表，如下表 4 觀察發現三組水撲滿容器內，水波運動形態一致平均擾動小阻尼效果較差；反之水波運動形態不一致擾動大阻尼效果較佳。推論：水撲滿網狀隔間阻尼效果與水波擾動現象成正相關。

表 4 平行器壁隔間正方形、正圓形水塔不同排法網狀隔間水撲滿阻尼差異比較表

平行器壁隔間正方形、正圓形水塔不同排法網狀隔間水撲滿阻尼差異比較表				
水撲滿排法	集中排法網狀隔間		平均排法網狀隔間	
平行器壁隔間	正方形水塔	正圓形水塔	正圓形水塔	正方形水塔
水撲滿最上層	水波二邊差不多	水波在右邊	水波在右邊	水波在右邊
水撲滿中間層	水波二邊差不多	水波二邊差不多	水波在右邊	水波在左邊
水撲滿最下層	水波在右邊	水波在右邊	水波在右邊	水波分二邊
水波形態	水波平均擾動小	水波明顯擾動大	水波平均擾動小	水波明顯擾動大
阻尼效果	差	佳	差	佳

四、探討不同液體阻尼元件，有無加裝網狀隔間對建築物震盪之阻尼差異

(一) 無網狀隔間正圓形水塔，不同液體阻尼消能元件對建築物震盪影響之差異。

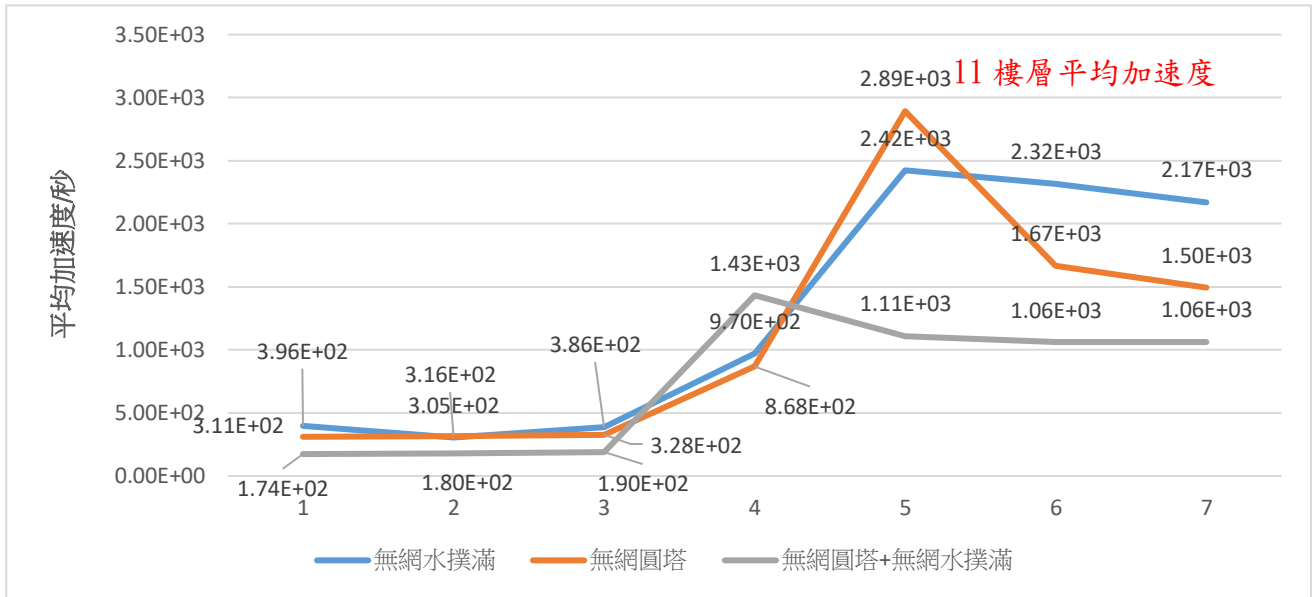


圖 35 無網狀隔間正圓形水塔，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

- 從圖 35，無網狀隔間正圓形水塔與水撲滿模擬震度 5 級建築物震盪影響較大；無網狀隔間正圓形水塔配合水撲滿模擬震度 4 級建築物震盪影響較大。

(二) 無網狀隔間正方形水塔，不同液體阻尼消能元件對建築物震盪之影響。

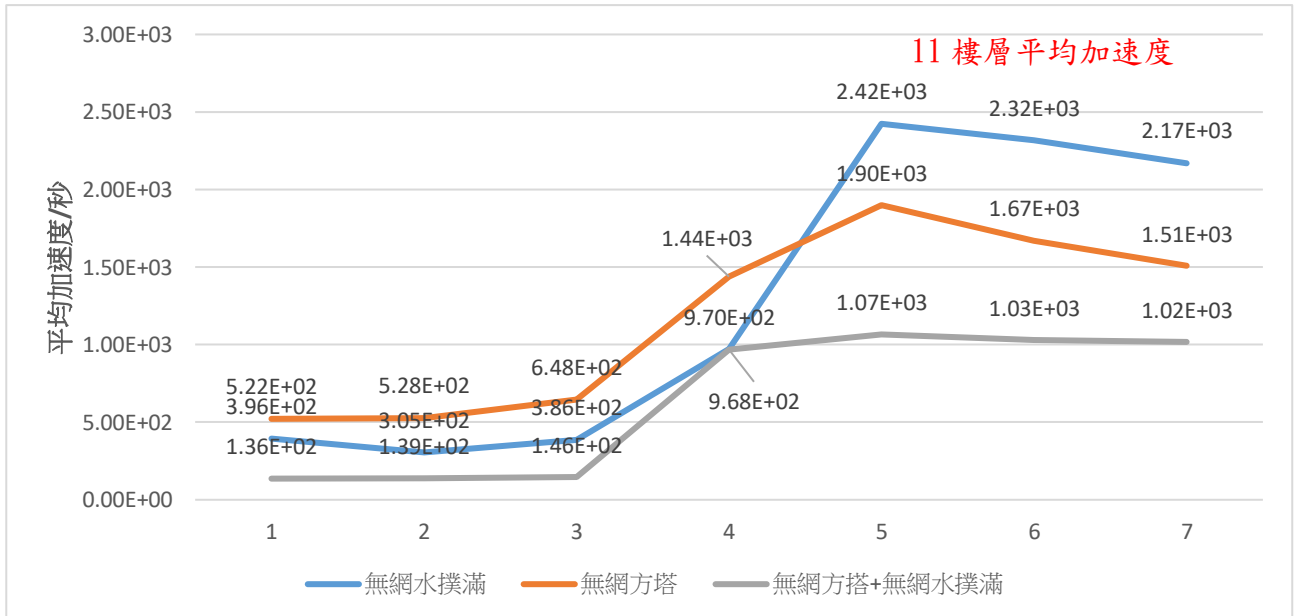


圖 36 無網狀隔間正方形水塔，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

- 從圖 36，不同液體阻尼消能元件擬震度 5 級建築物震盪影響較大；無網狀隔間正方形水塔配合水撲滿模擬震度 1 至 7 級建築物震盪影響較小。

(三) 有網狀隔間正圓形水塔，不同液體阻尼消能元件對建築物震盪之影響。

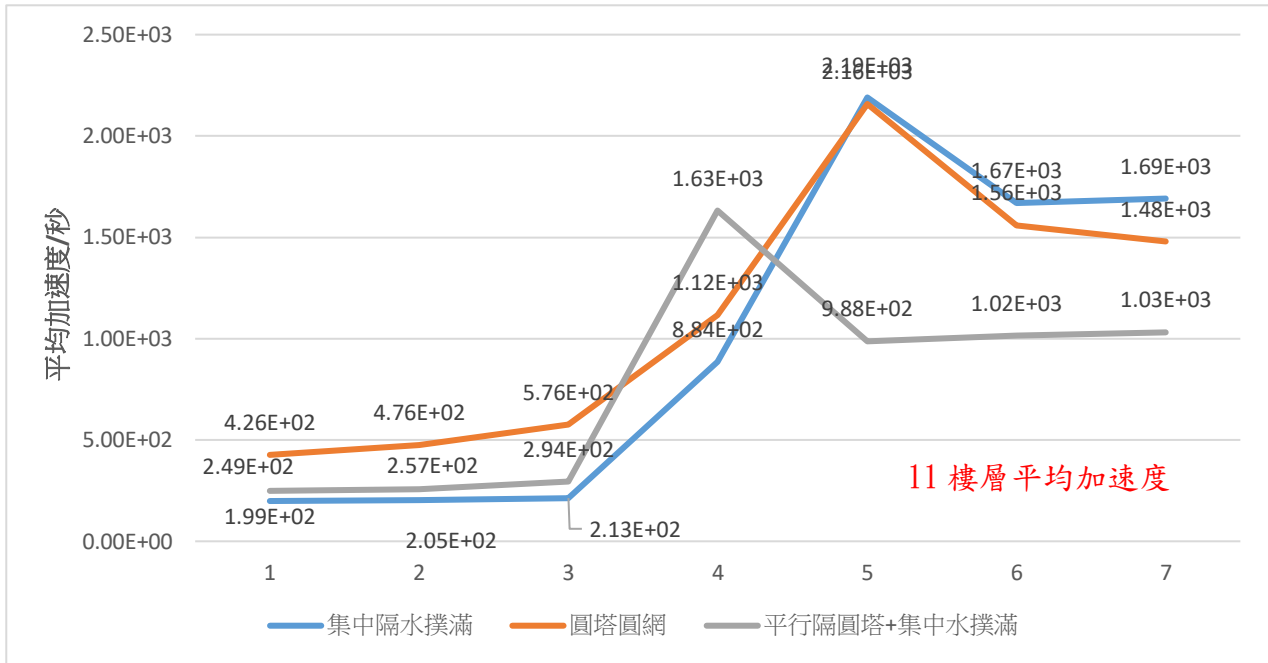


圖 37 有網狀隔間正圓形水塔，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

1. 從圖 37，平行器壁正圓形水塔與集中排水撲滿網狀隔間模擬震度 5 級建築物震盪影響較大；平行器壁正圓形水塔配合集中排水撲滿網狀隔間模擬震度 4 級建築物震盪影響較大。

(四) 有網狀隔間正方形水塔，不同液體阻尼消能元件對建築物震盪之影響。

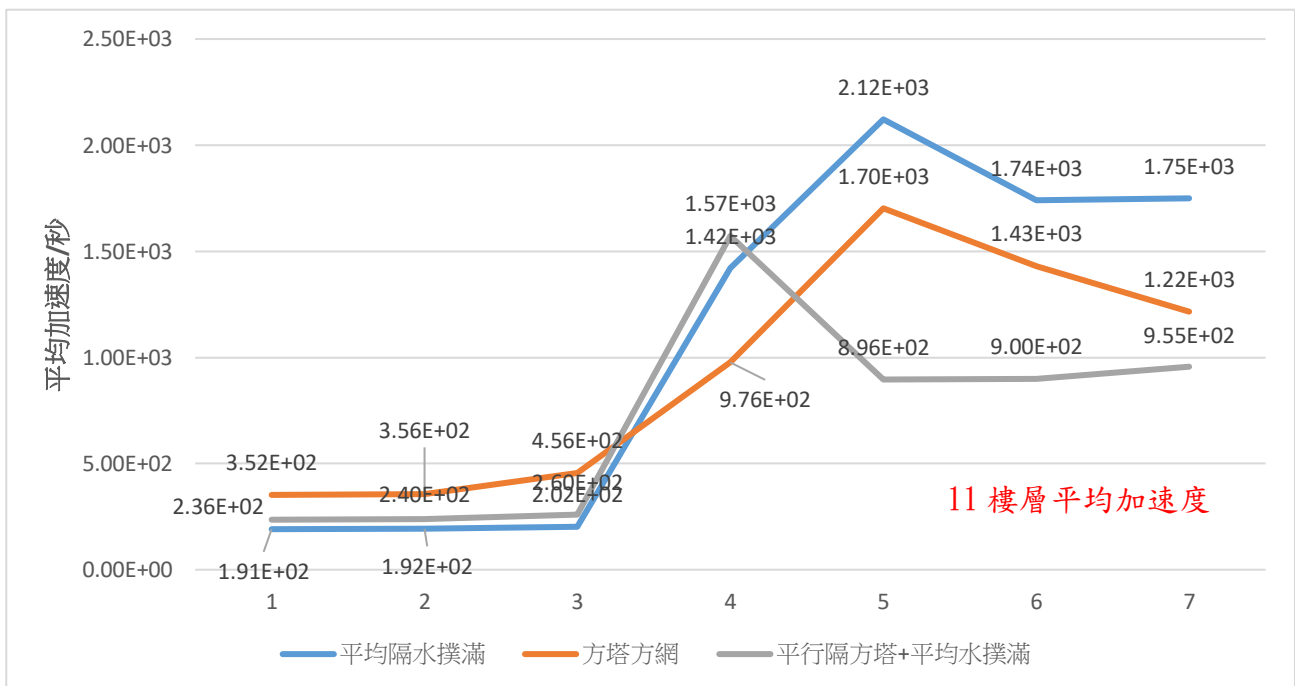


圖 38 有網狀隔間正方形水塔，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

1. 從圖 38，平行器壁正方形水塔與平均排法水撲滿網狀隔間模擬震度 5 級建築物震盪影響較大；平行器壁正方形水塔配合平均排法水撲滿網狀隔間模擬震度 4 級建築物震盪影響較大。

(五) 有無網狀隔間正圓形、正方形水塔，配合水撲滿對建築物震盪之影響。

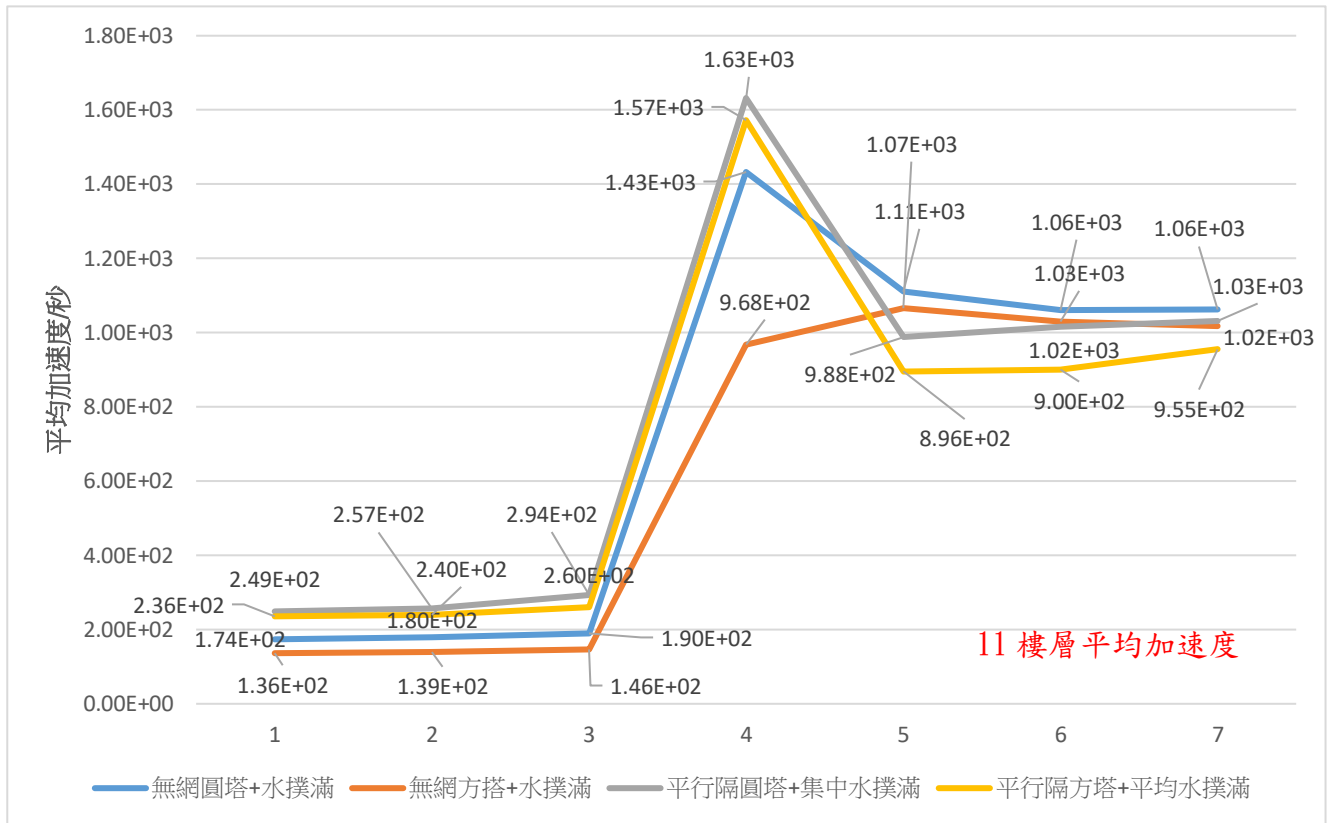


圖 39 有無網狀隔間正方形、正圓形水塔，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

1. 從圖 39，正方形水塔對建築物震盪影響較小；正圓形水塔對建築物震盪影響較大。

(四) 觀察與討論：

1. 以不同消能元件液體阻尼效果差異比較，有無網狀隔間水撲滿與大樓產生最大共振，會在模擬震度 5 級液體阻尼效果較差；有無網狀隔間水塔與大樓產生最大共振會在模擬震度 5 級，其中以正方形水塔液體阻尼效果較佳；無論是否有無網狀隔間，水撲滿消能元件配合水塔消能元件雙液體阻尼組合，這樣種形式組合阻尼效果有明顯提升。

2. 綜合以上不同消能元件液體阻尼效果差異比較

表 5 不同消能元件液體阻尼效果差異比較表

不同消能元件液體阻尼效果差異表			
消能元件	最大共振震度	平均加速度	液體阻尼效果
無網狀隔間水撲滿	模擬震度 5 級	2.42E+03	差
平均排法網狀隔間水撲滿	模擬震度 5 級	2.12E+03	差
集中排法網狀隔間水撲滿	模擬震度 5 級	2.19E+03	差
無網狀隔間正圓形水塔	模擬震度 5 級	2.89E+03	差
無網狀隔間正方形水塔	模擬震度 5 級	1.90E+03	佳
平行器壁網狀隔間正圓形水塔	模擬震度 5 級	2.16E+03	差
平行器壁網狀隔間正方形水塔	模擬震度 5 級	1.70E+03	佳
無網水撲滿+無網正圓形水塔	模擬震度 4 級	1.43E+03	佳
無網水撲滿+無網正方形水塔	模擬震度 5 級	1.07E+03	佳
集中排法水撲滿+平行器壁圓形水塔	模擬震度 4 級	1.63E+03	佳
平均排法水撲滿+平行器壁方形水塔	模擬震度 4 級	1.57E+03	佳

由以上表 5 水塔容器有無加裝網狀隔間對建築物阻尼效果差異關係表，觀察發現有無加裝網狀隔間都是正方形水塔阻尼效果較好。為何會有如此現象？推論：當大樓建築物受模擬震度五級震波時，建築物本身會產生自主螺旋迴轉大樓共振，此時正圓形水塔容器內會產生螺旋波動現象，反觀正方形水塔容器有直角器壁沒有螺旋波動現象，直角器壁能有效破壞地震波引起大樓自主扭轉共振，因此正方形水塔的阻尼效果較佳。圖 40

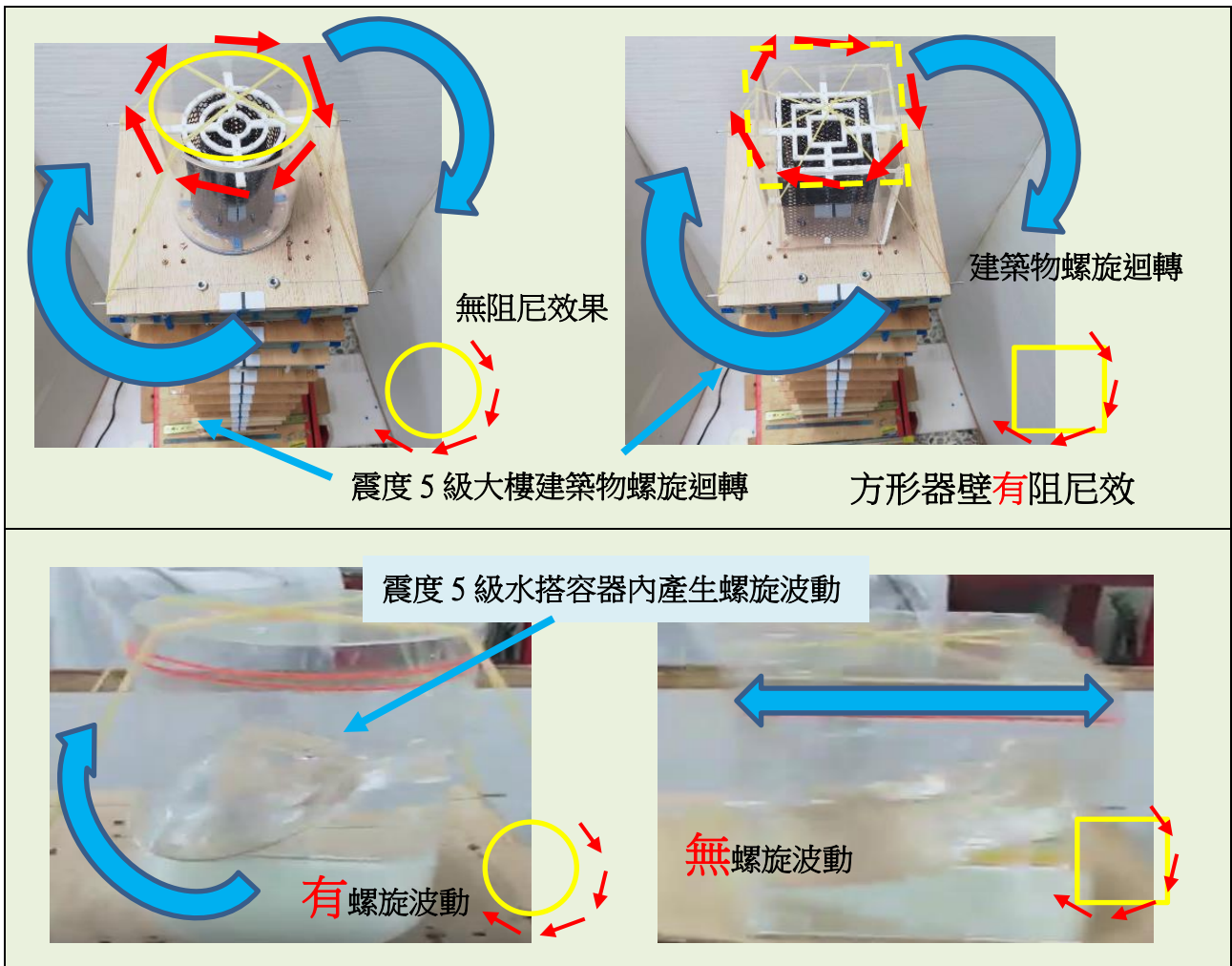


圖 40 正方形水塔正方形網狀隔間阻尼效果解說圖

3. 綜合以上水撲滿配合水塔消能元件液體阻尼效果差異比較

表 6 水撲滿配合水塔消能元件液體阻尼效果差異比較表

水撲滿配合水塔消能元件液體阻尼效果差異比較					
消能元件	震度 4 級	震度 5 級	震度 6 級	震度 7 級	阻尼效果
無網水撲滿 + 無網正圓形水塔	平均加速度 1.43E+03 最大共振	平均加速度 1.11E+03	平均加速度 1.06E+03	平均加速度 1.06E+03	較差
無網水撲滿 + 無網正方形水塔	平均加速度 9.68E+02	平均加速度 1.07E+03 最大共振	平均加速度 1.03E+03	平均加速度 1.02E+03	第二名
集中排法水撲滿 + 平行器壁圓形水塔	平均加速度 1.63E+03 最大共振	平均加速度 9.88E+02	平均加速度 1.02E+03	平均加速度 1.03E+03	第三名
平均排法水撲滿 + 平行器壁方形水塔	平均加速度 1.57E+03 最大共振	平均加速度 8.96E+02	平均加速度 9.00E+02	平均加速度 9.55E+02	第一名

4. 由表 6 觀察發現平行器壁正方形水塔配合平均排法水撲滿，以及平行器壁正圓形水塔配合集中排法水撲滿阻尼效果較好。為何會有如此現象？**推論**：正方形水塔容器有直角器壁與網狀隔間，能有效破壞大樓扭轉共振，此時大樓**扭轉共振較小**，配合**較短水波運動長度**網狀隔間水撲滿，液體消能阻尼效果才能提升；正圓形水塔容器沒有直角器壁與網狀隔間，無法有效破壞大樓扭轉共振，此時大樓**扭轉共振較大**，配合**較長水波運動長度**網狀隔間水撲滿，液體消能阻尼效果才能提升。圖 41

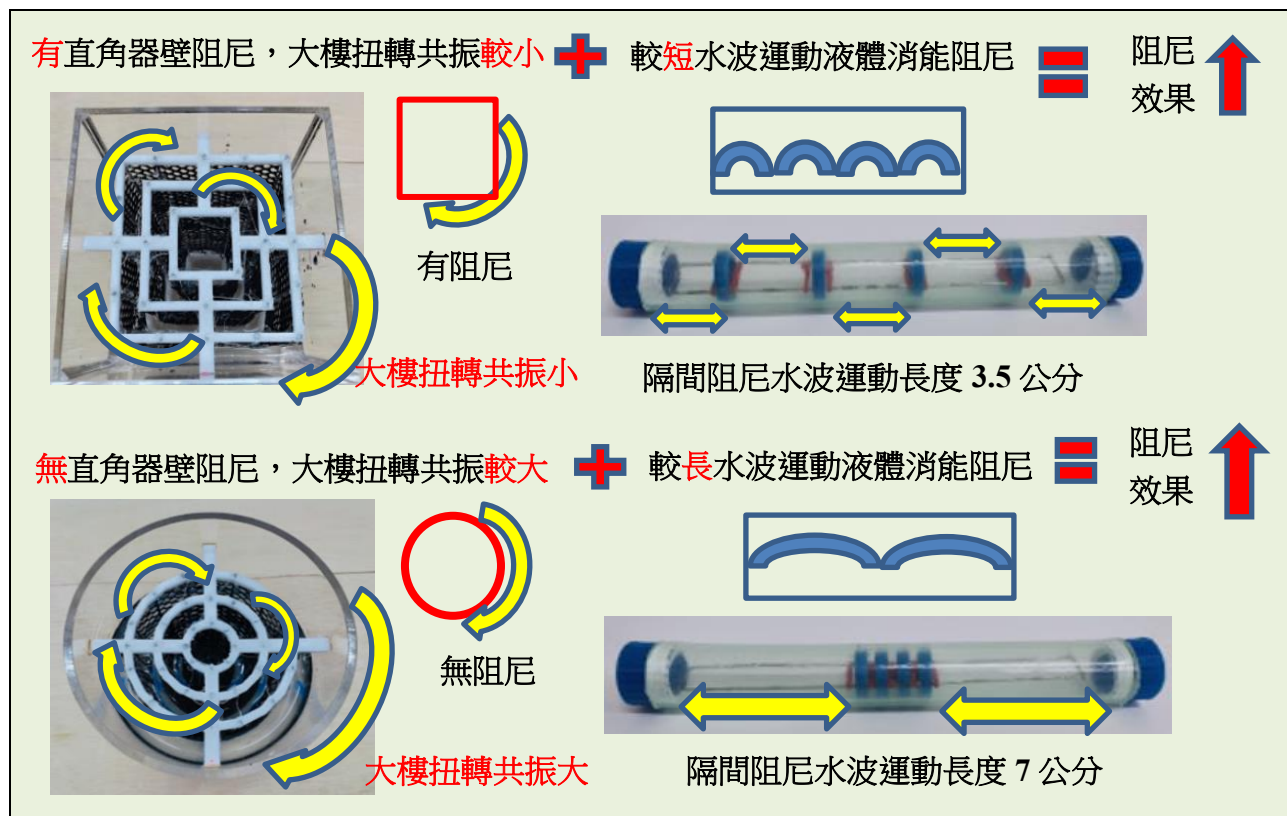


圖 41 不同形狀水塔配合不同排法網狀隔間水撲滿阻尼效果差異解說

陸、結論

綜合以上實驗，我們可以得到以下之結論：

- 一、**不同層樓震盪實驗**：同一級震度不同層樓高度，樓層越高震盪越大。11 層大樓建築物當模擬震度 7 級，第六層樓為建築物中心點震盪最小。
- 二、**水撲滿實驗**：11 層大樓設置水撲滿可安裝最高樓層處，震度小安裝單一組水撲滿，震度大安裝三組水撲滿阻尼效果較佳。**水撲滿容器內加裝網狀隔間可以提升阻尼效果。**

- 三、**水塔實驗**：11 層大樓在小震度，水塔容器內設定低水位量大樓震盪較小；對震度較大地震，**容器內水位量設定六分滿以上並加裝平行器壁網狀隔間**阻尼效果較佳。
- 四、**網狀隔間實驗**：水撲滿加裝網狀隔間以**平均、集中排法**阻尼效果較佳；水塔加裝網狀隔間以**平行水塔器壁**設置阻尼效果較佳。
- 五、**大樓共振實驗**：11 層大樓與地震波產生最大共振時，大樓結構會有**螺旋迴轉**的現象，正方形水塔因有**直角器壁**，可以破壞大樓結構**扭轉共振**，液體阻尼效果較佳。
- 六、**不同消能元件實驗**：11 層大樓單獨設置水撲滿或水塔會在模擬震度 5 級，與大樓產生共振阻尼效果較差；水撲滿配合水塔在模擬震度 4 級大樓共振，液體阻尼效果較佳。
- 七、**水撲滿配合水塔實驗**：當地震波與 11 層大樓產生最大共振時，正方形水塔有直角器壁與網狀隔間，大樓結構扭轉共振較小，配合距離較短平均排法網狀隔間水撲滿，**容器內水波擾動越明顯**阻尼效果越佳，並可以破壞模擬震度 5 至 7 級震波對大樓產生的，**順向震波大樓共振與大樓結構本身扭轉共振**，液體阻尼效果最佳。
- 八、若要以水塔配合水撲滿來當 11 層大樓阻尼器，**三組平均排法網狀隔間水撲滿設置安裝建物最頂樓陽台天花板**，並配合**正方形網狀隔間**阻尼效果最好；若要以**平行正圓形網狀隔間水塔**來當阻尼器，可以配合**集中排法網狀隔間水撲滿**阻尼效果較佳。

柒、參考資料

- 一、中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 高職組 土木科 不動如山-滑缸型抗震設備
- 二、中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 國中組 地球科學科 "城市殺手"直下型地震
- 三、地震震度分級表取自 中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw>
- 四、科技大觀園 水波物語 2002/12/18 盛博納 | 自由撰稿人 <https://scitechvista.nat.gov.tw>
- 五、中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 國小組 物理學科 水塔超人震得住-液體阻尼器的防震研究。
- 六、中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 國中組 地球科學科 震震有聲水峰鳴--探討利用水波當成地震警報器之可行性。
- 七、中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 高中組 地球與行星科學科 「阻」擋地震「尼」我都可以

【評語】 051908

主題有趣，成果可能具應用價值。本作品設計實驗，模擬阻尼之設置對建築物減震之效應。內容對實驗設計、設置過程及實驗結果之觀察與推論皆有系統性之詳細說明，構想很好，同時蓄水並防震。建議簡述阻尼減震原理，如此或可將實驗結果以阻尼減震原理深入討論。另外阻尼與建築物之比例也可能影響減震程度，建議納入討論。應考量實驗誤差。

壹、研究動機

台灣位於環太平洋地震帶，同時也是世界排名第18名的缺水國家。近年來政府想鼓勵民眾節水，除研擬調整水價外還立法強制販售具省水器材及設置水撲滿等辦法。921大地震倒塌大樓，人員傷亡較大的樓層大約是10至14樓，於是我想在樓高11層的大樓建築物，利用其設置在頂樓上的水塔，配合樓層陽台天花板設置安裝水撲滿的方法，做為地震來臨時建築物的阻尼器，這樣的設置不但可以防止大樓倒塌避免人員傷亡，還可以引用水撲滿內的雨水來澆花以及當消防用水，達到防震又節水的雙重效果。

參、研究器材

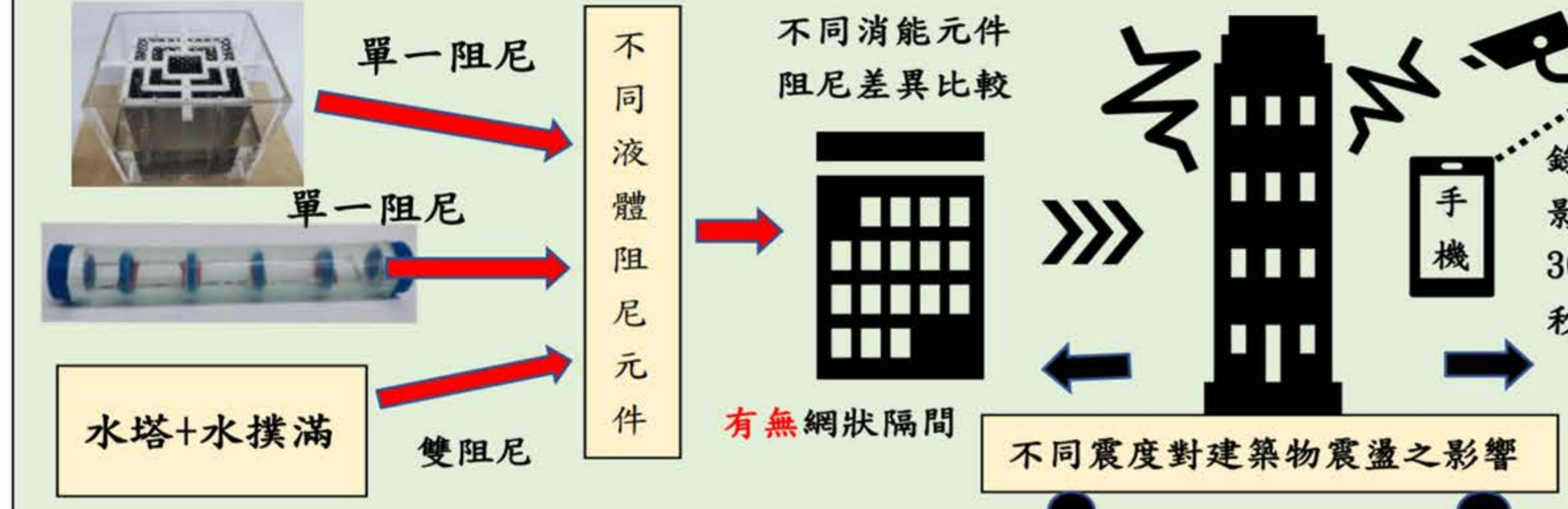
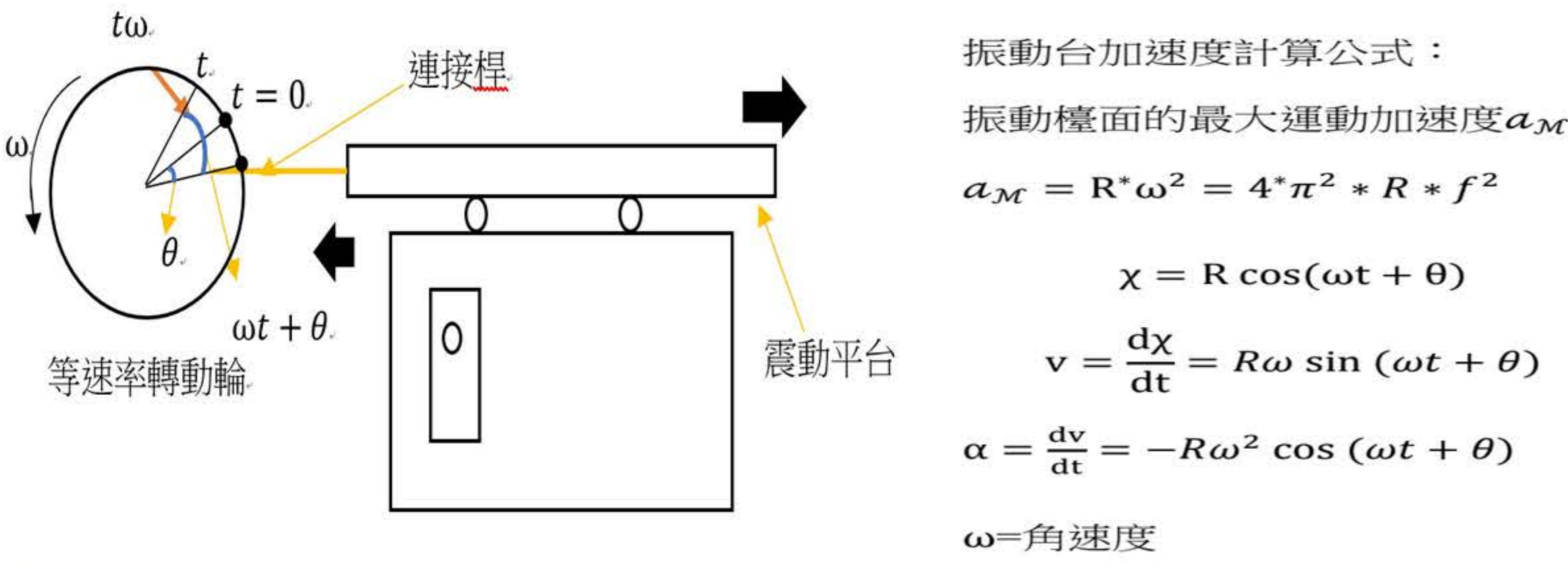
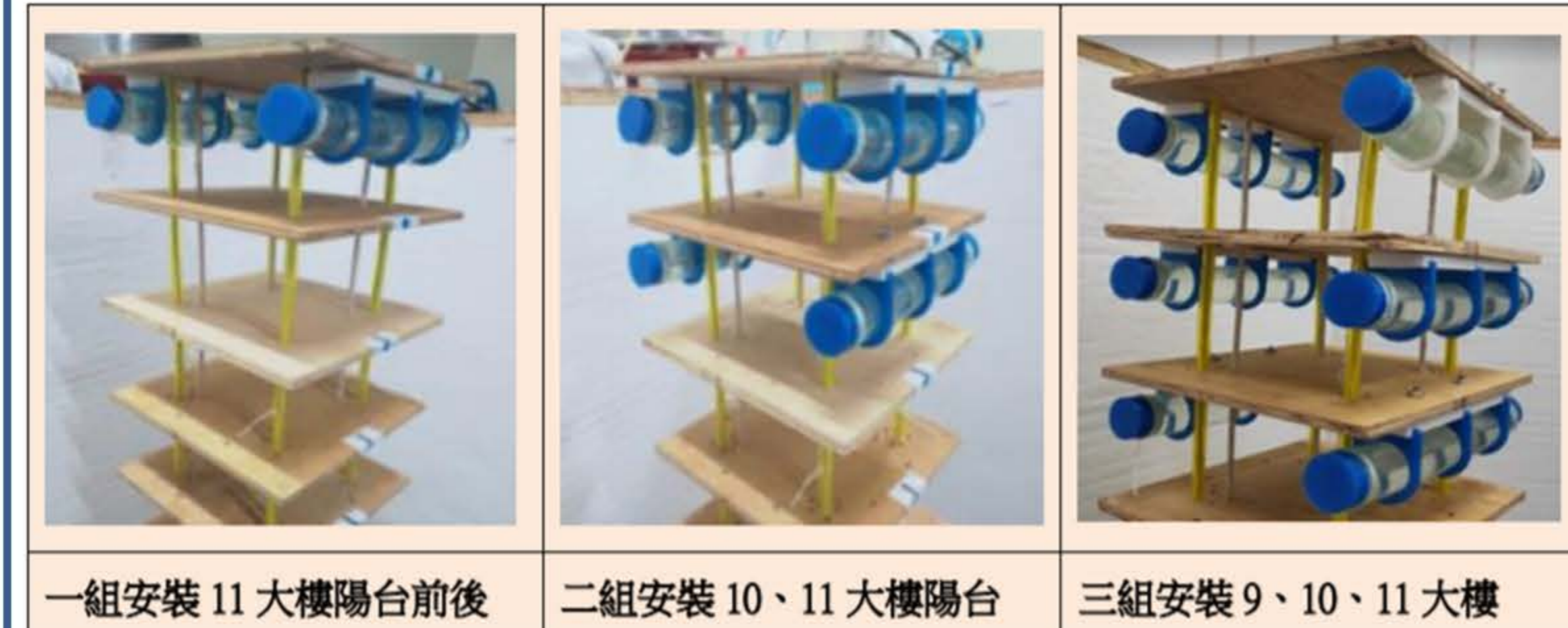


圖1 研究器材與實驗過程方法解說圖

伍、研究結果與討論

一、探討大樓陽台設置水撲滿，不同震度對建築物震盪之影響。



(一) 11層樓陽台前後安裝一組水撲滿，大樓高低與不同震度對建築物震盪之影響。

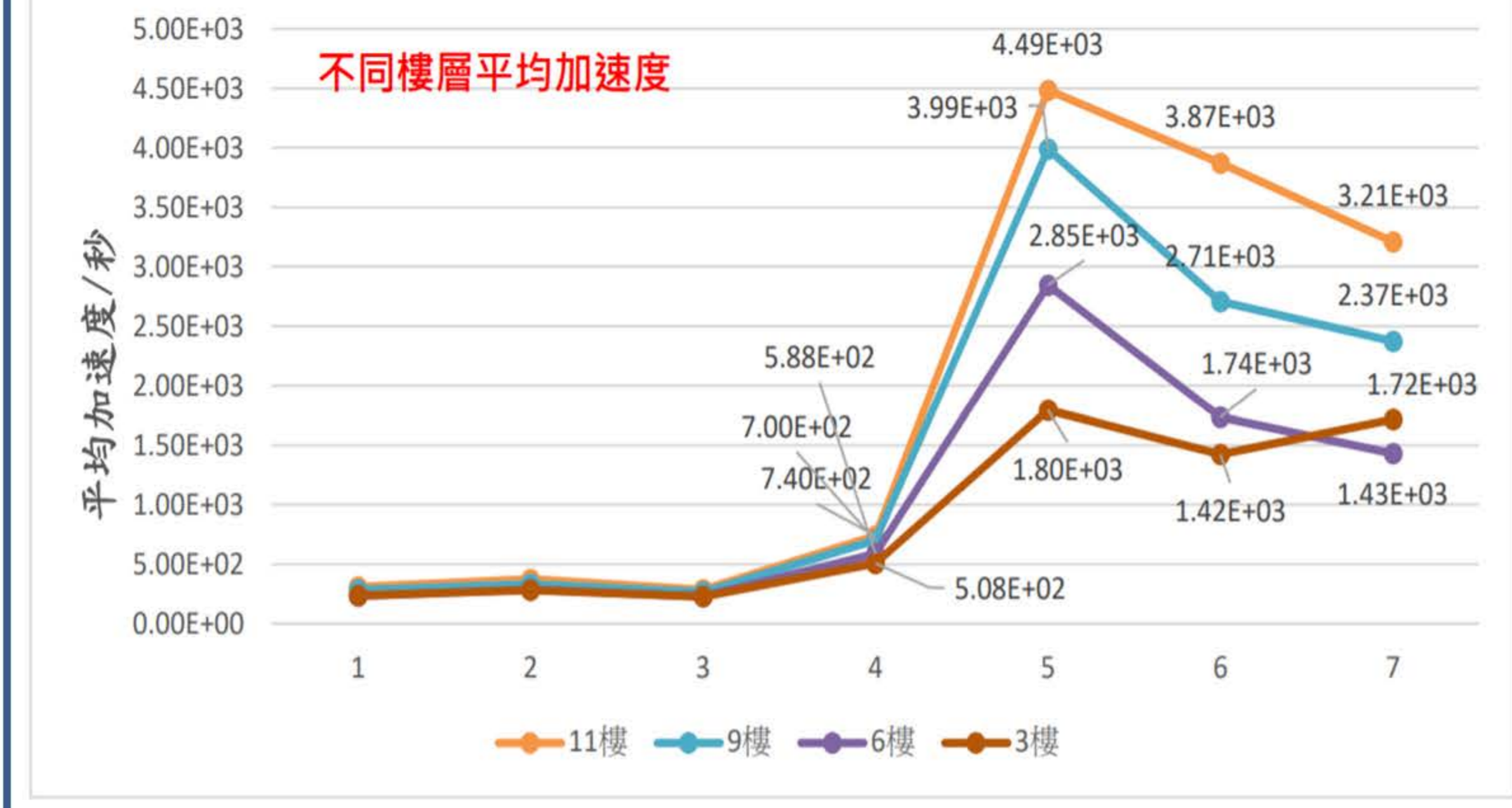


圖2 固定一組水撲滿，平均加速度與大樓高低關係圖

貳、研究目的

- 一、探討大樓陽台設置水撲滿，不同震度對建築物震盪之影響。
- 二、探討大樓水塔，不同震度對建築物震盪之影響。
- 三、探討大樓水塔配合三組水撲滿設置，不同震度對建築物震盪之影響。
- 四、探討不同液體阻尼元件，有無加裝網狀隔間對建築物震盪之阻尼差異。

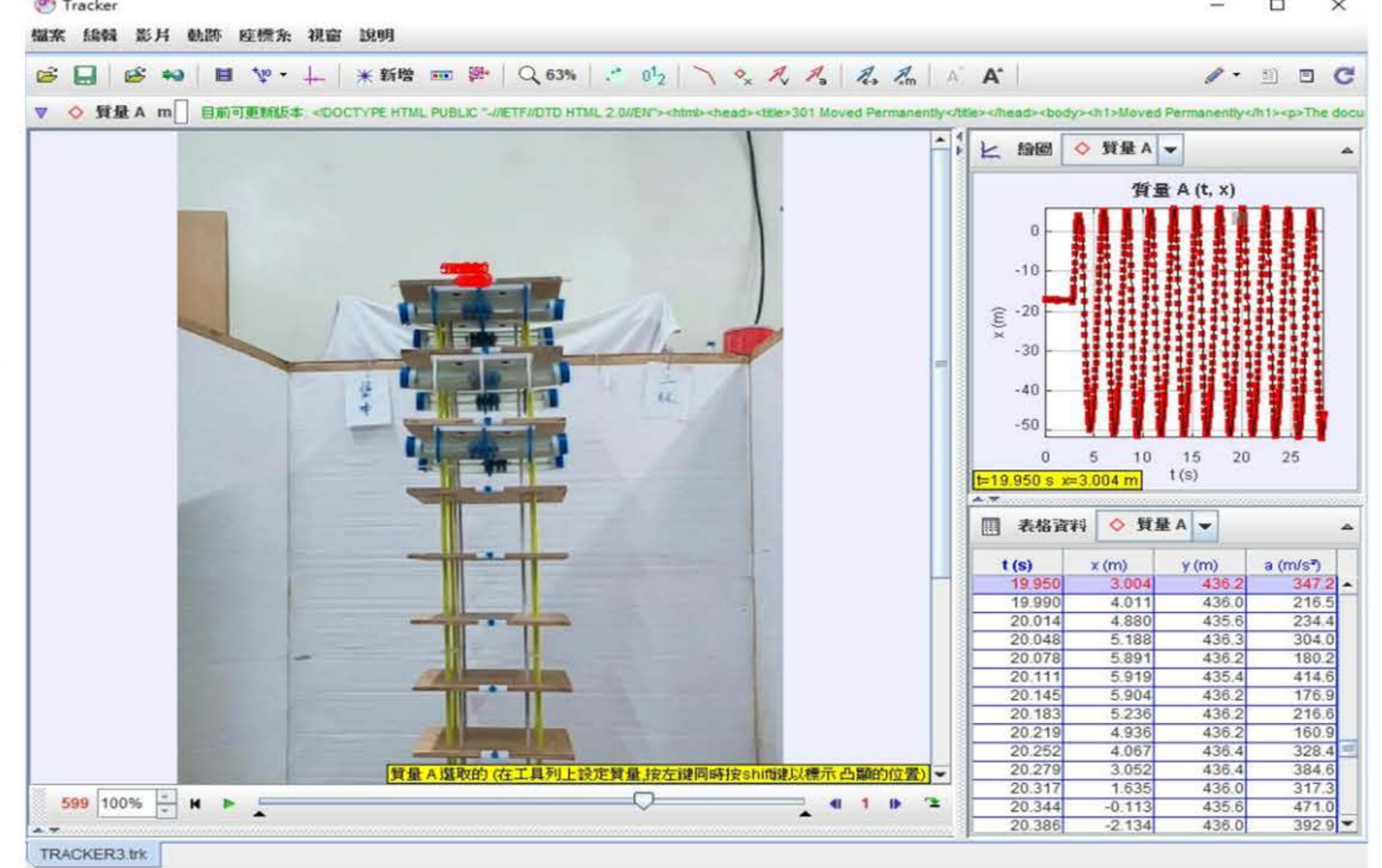
肆、研究過程與方法

震度分級	地動加速度範圍	人的感受	物內情形	屋外情形
0. 無感	0.8 Gal 以下	人無感覺。		
1. 微震	0.8 ~ 2.5 Gal	人靜止時可感覺微小搖晃。		
2. 輕震	2.5 ~ 8.0 Gal	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部份會醒來。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
3. 弱震	8 ~ 25 Gal	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	房屋震動，碗盤、門窗發出聲音，懸掛物搖擺。	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。
4. 中震	25 ~ 80 Gal	有相當程度的恐懼感。部分的人會尋求躲避的地方，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，重家具可能移動，可能有輕微災害。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃。
5. 強震	80 ~ 250 Gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分牆壁產生裂痕，重家具可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊燈柱傾倒。
6. 烈震	250 ~ 400 Gal	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損，重家具翻倒，門窗扭曲變形。	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象。
7. 劇震	400 Gal 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	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地面。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破裂。

備註: 1Gal = 1cm/s²

階段	振幅距離(cm)	頻率	推算加速度 (cm/sec ²)	推算對應震度分級
1	2.5	0.15	2.2	1 微震
2	2.5	0.28	7.7	2 輕震
3	2.5	0.4	15.7	3 弱震
4	2.5	0.85	71.3	4 中震
5	2.5	1.5	222	5 強震
6	2.5	1.73	295.3	6 烈震
7	2.5	2.11	439.4	7 劇震

- 第1階段：水平移動來回 9 次 / 1 分鐘，9/60 = 0.15 次/sec
- 第2階段：水平移動來回 17 次 / 1 分鐘，17/60 = 0.28 次/sec
- 第3階段：水平移動來回 24 次 / 1 分鐘，24/60 = 0.4 次/sec
- 第4階段：水平移動來回 51 次 / 1 分鐘，51/60 = 0.85 次/sec
- 第5階段：水平移動來回 90 次 / 1 分鐘，90/60 = 1.5 次/sec
- 第6階段：水平移動來回 104 次 / 1 分鐘，104/60 = 1.73 次/sec
- 第7階段：水平移動來回 127 次 / 1 分鐘，127/60 = 2.11 次/sec



(二) 大樓陽台安裝不同數量水撲滿，對建築物震盪之影響差異。

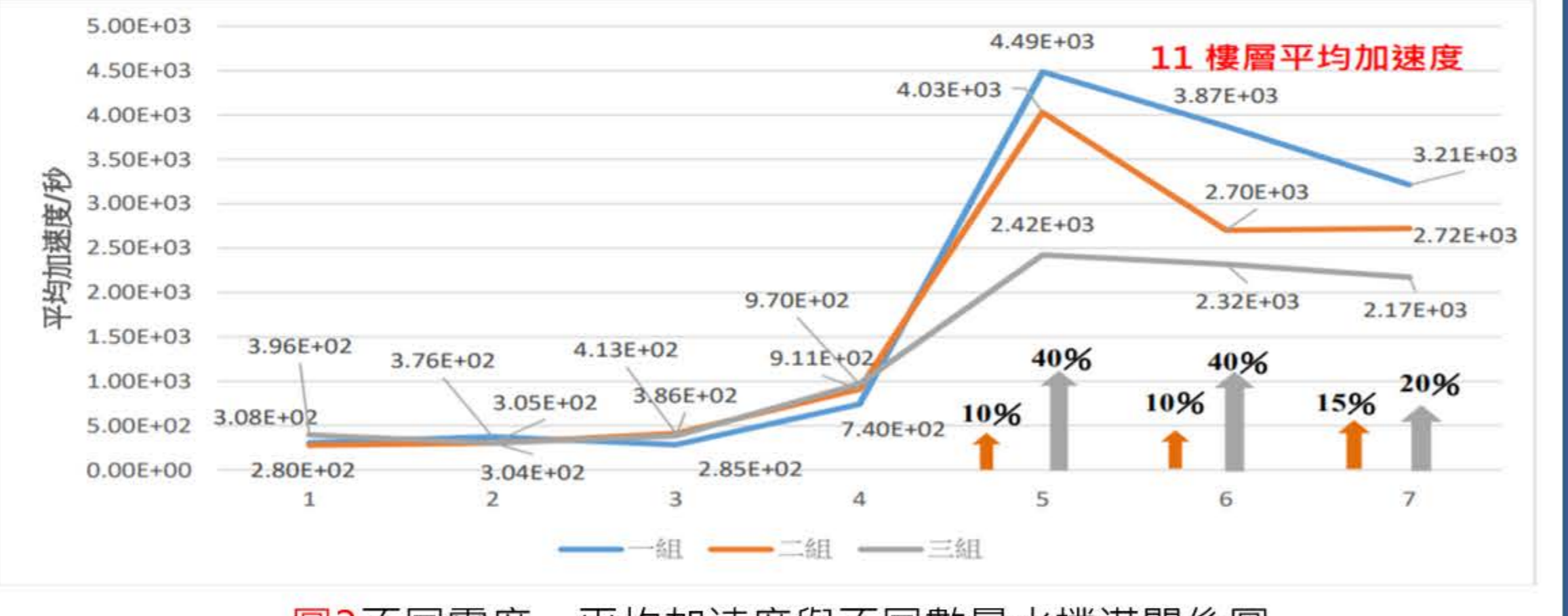
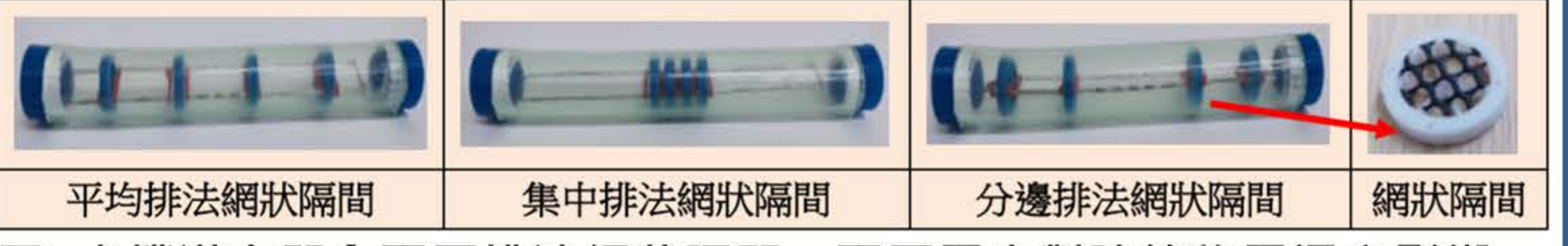


圖3 不同震度，平均加速度與不同數量水撲滿關係圖



(三) 水撲滿容器內不同排法網狀隔間，不同震度對建築物震盪之影響。

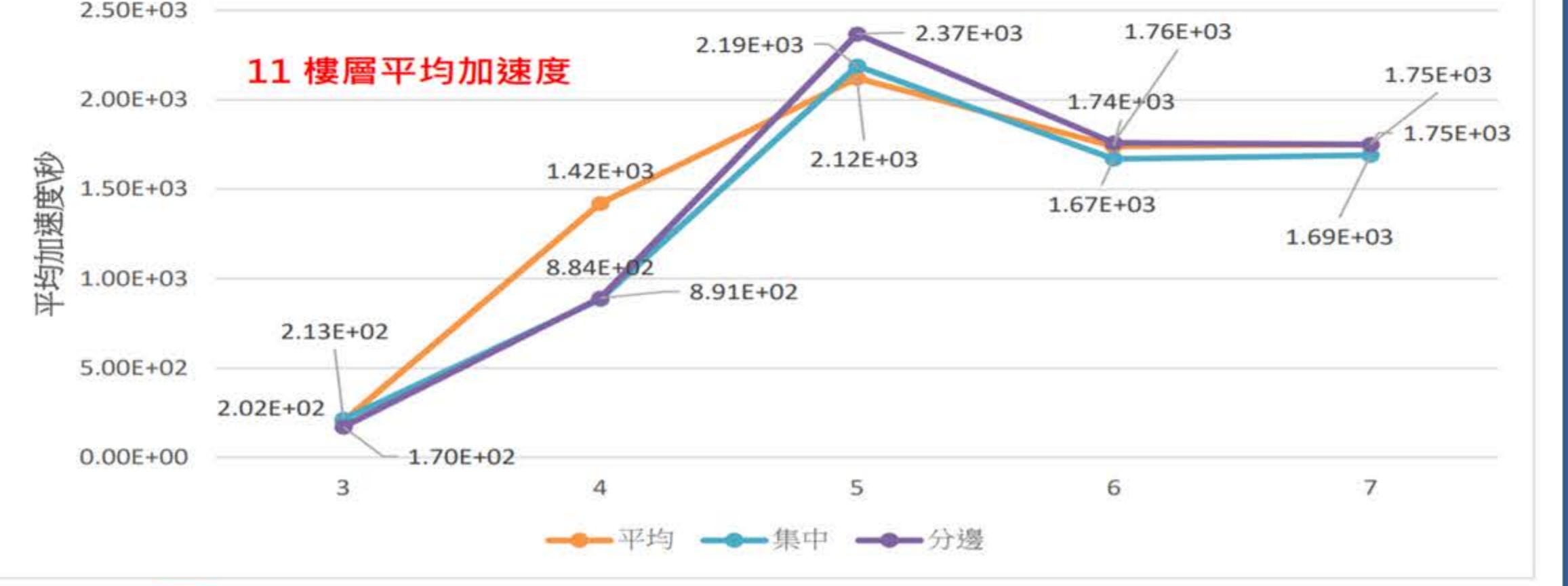


圖4 固定三組水撲滿，平均加速度與不同排法網狀隔間水撲滿關係圖

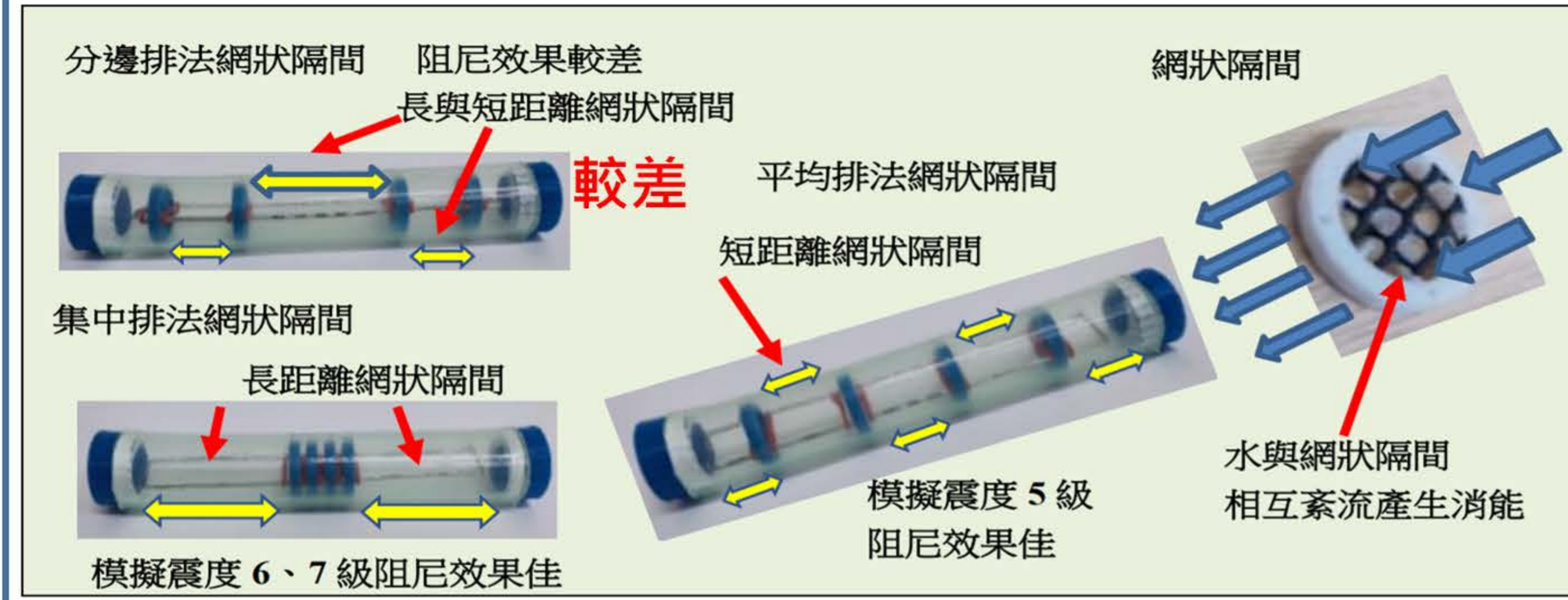
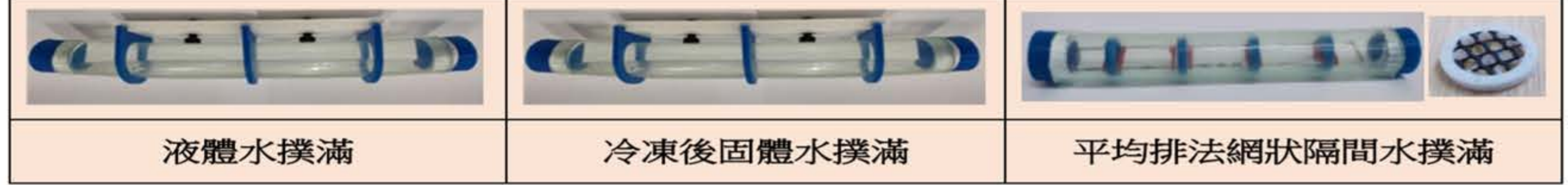


圖5不同排法網狀隔間水撲滿阻尼效果概況圖

表1震度5級 三組不同消能元件水撲滿差

水撲滿形式	固體水撲滿	液體水撲滿	
容器內形式	冰塊	無網狀隔間	有網狀隔間平均排法
阻尼效果	效能不佳	效能提升 23%	效能提升 32%



(四)三組水撲滿，固體、液體、網狀隔間水撲滿對建築物震盪之差異。

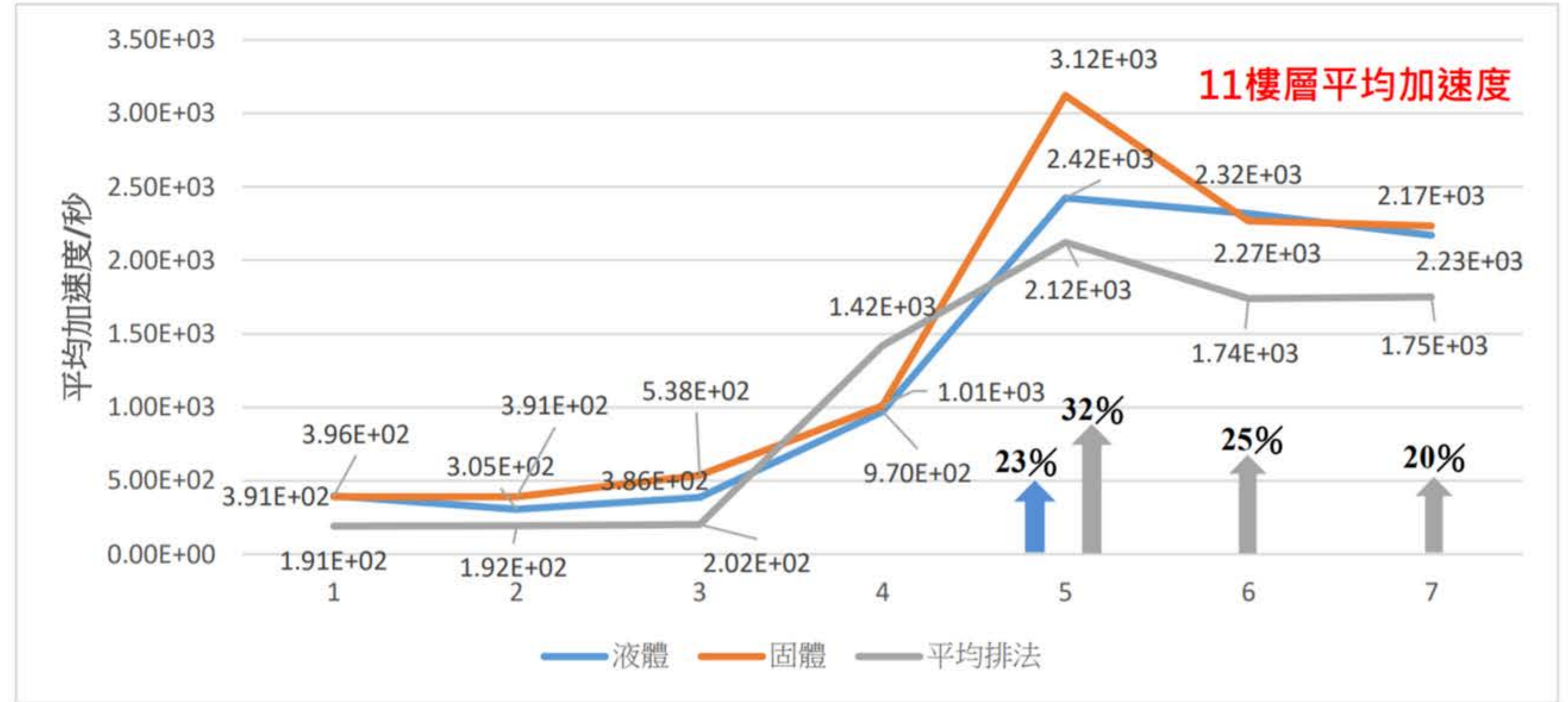
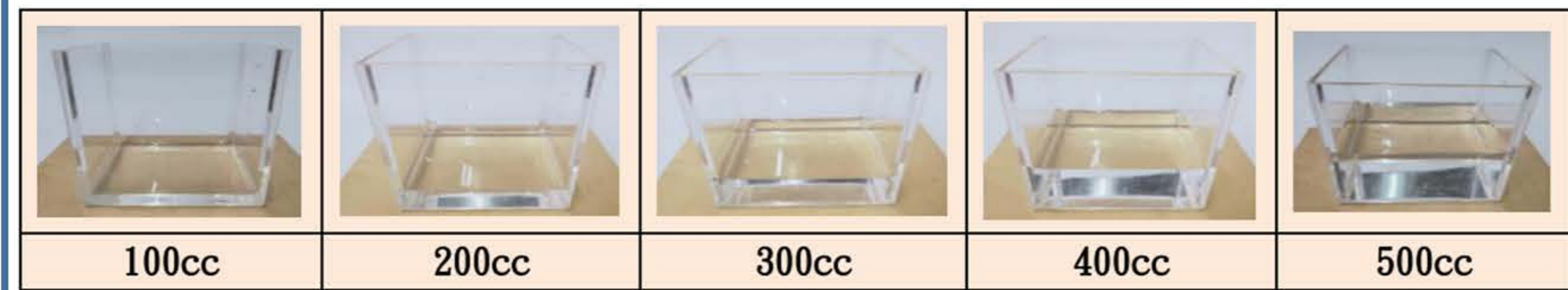


圖6固定三組水撲滿，平均加速度與不同排法網狀隔間水撲滿關係圖

二、探討大樓水塔對不同震度建築物震盪之影響。



(一)大樓設置水塔，不同水位量對建築物震盪之影響。

正圓形水塔實驗：

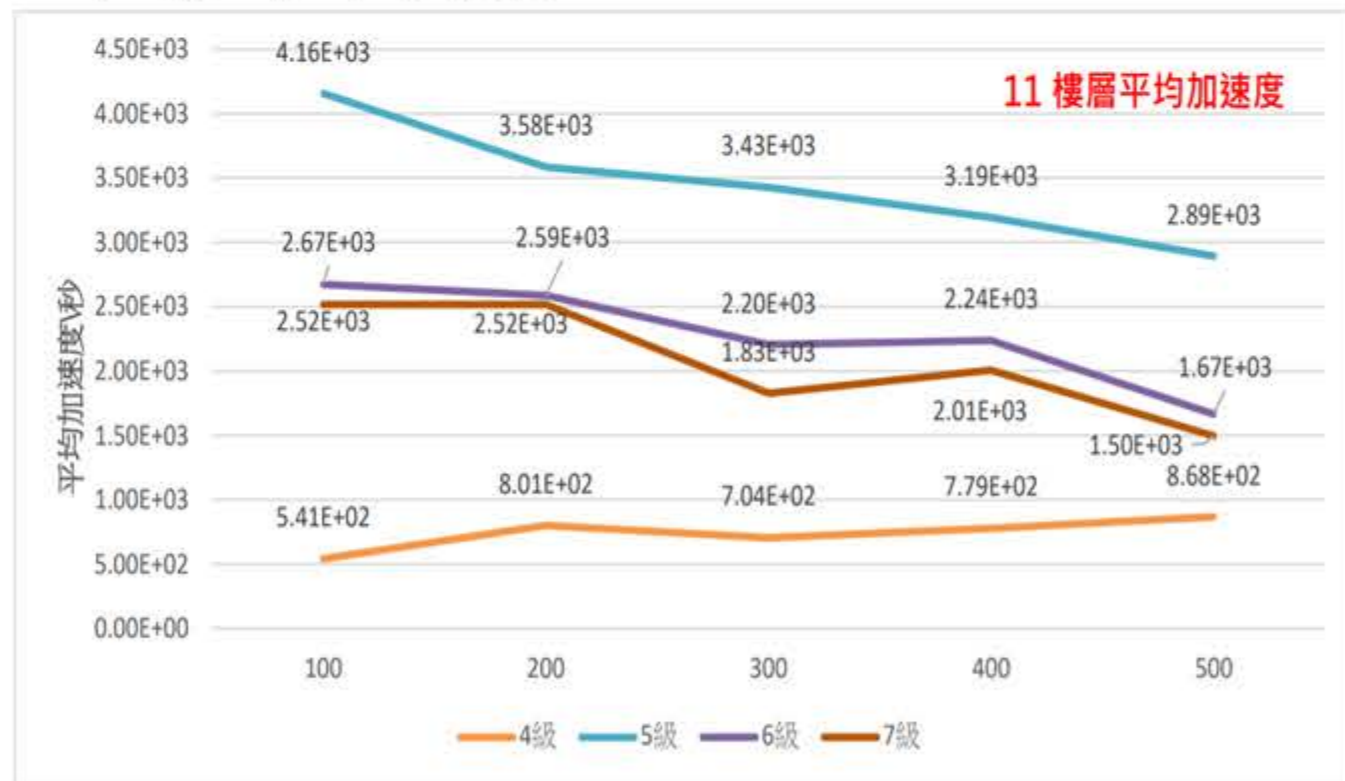
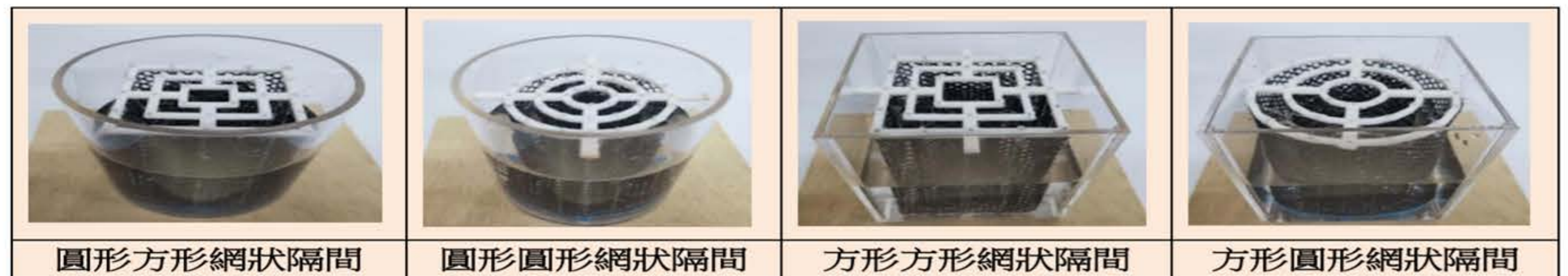
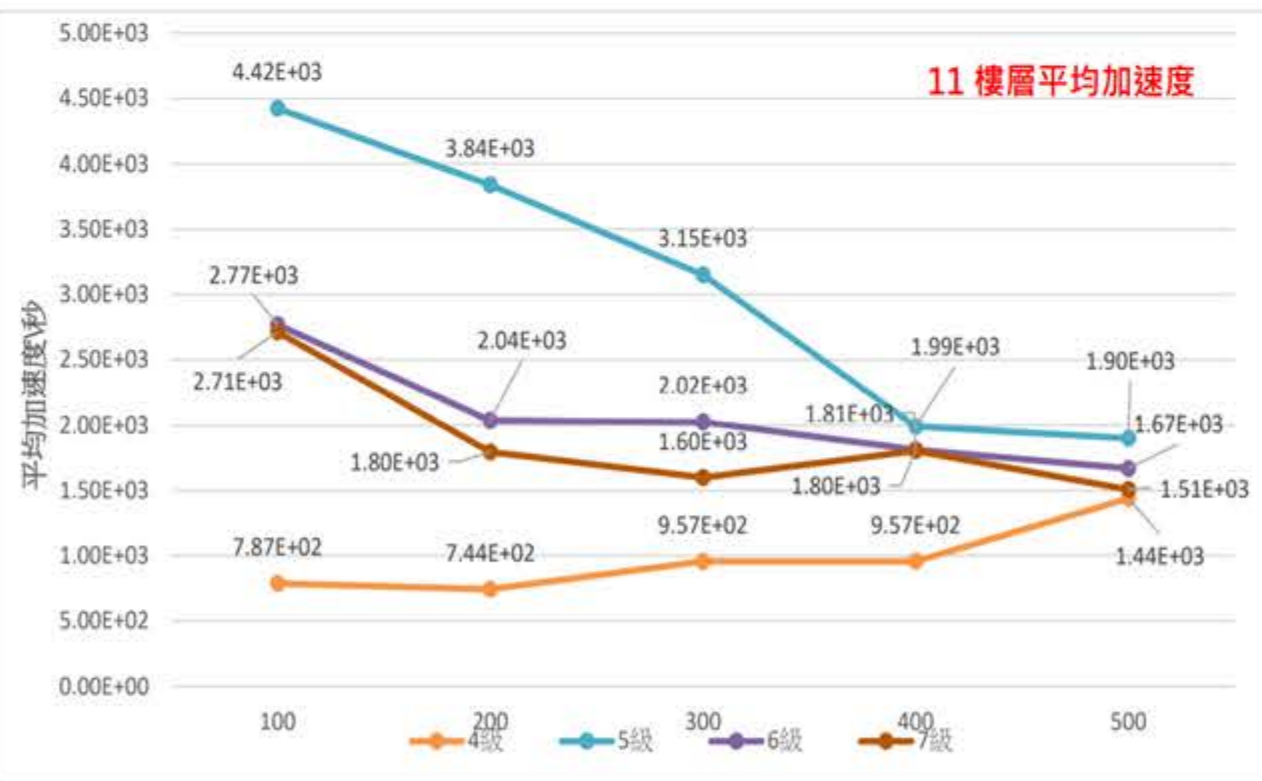


圖7正圓形、正方形水塔，平均加速度與不同水位量關係圖

正方形水塔實驗：



(二)固定500cc水量，水塔容器內有無網狀隔間，震度對建築物震盪之差異。

正圓形水塔實驗：



正方形水塔實驗：

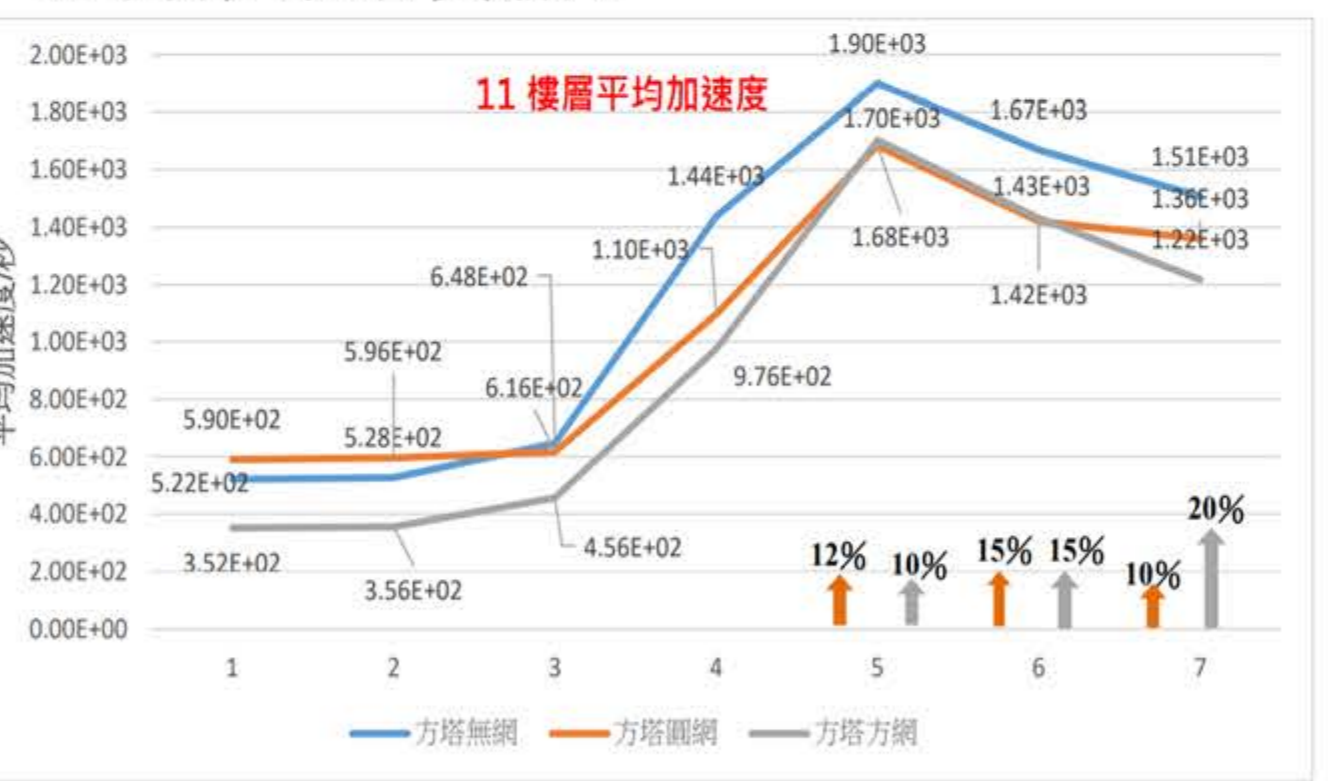
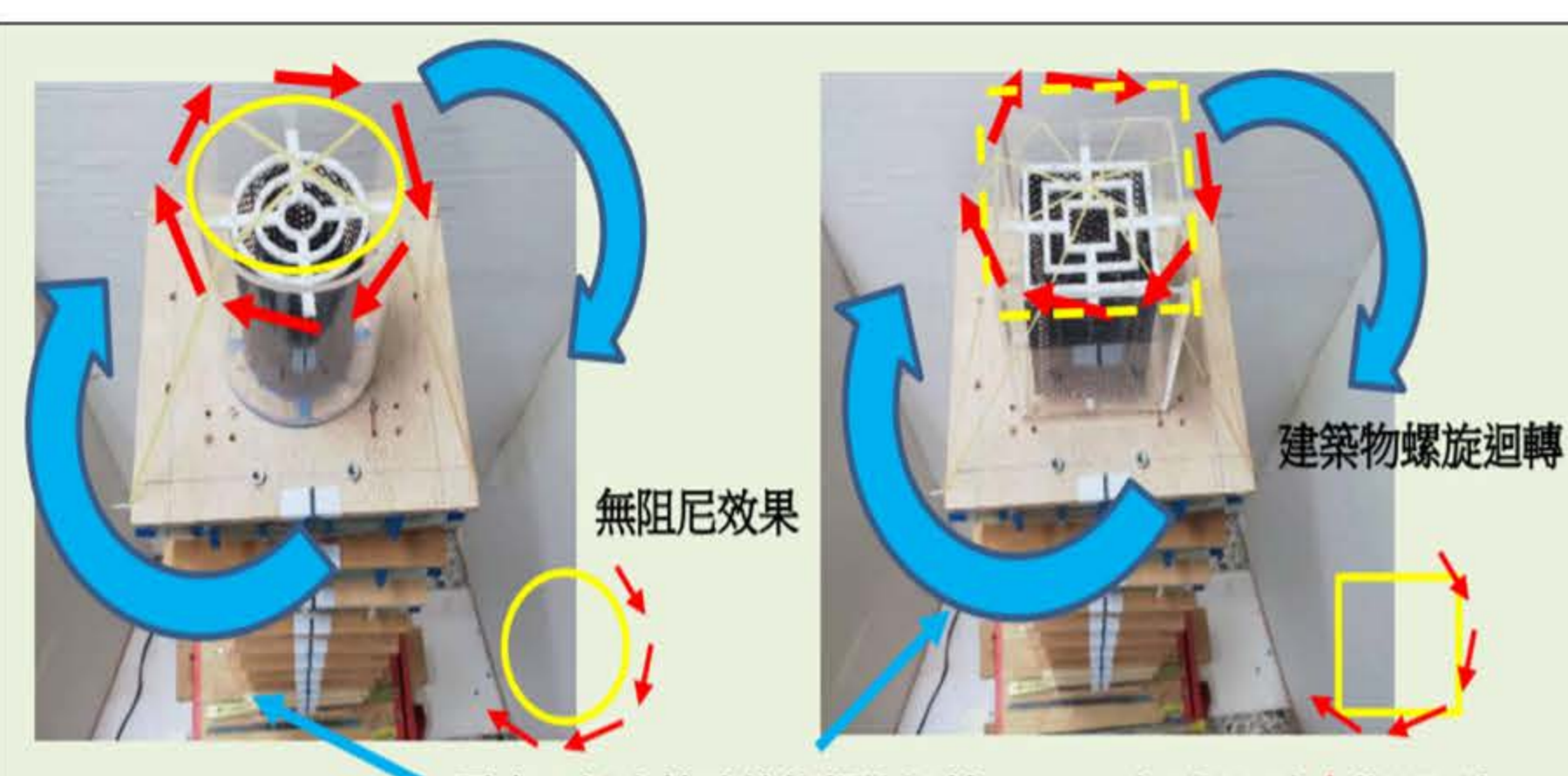
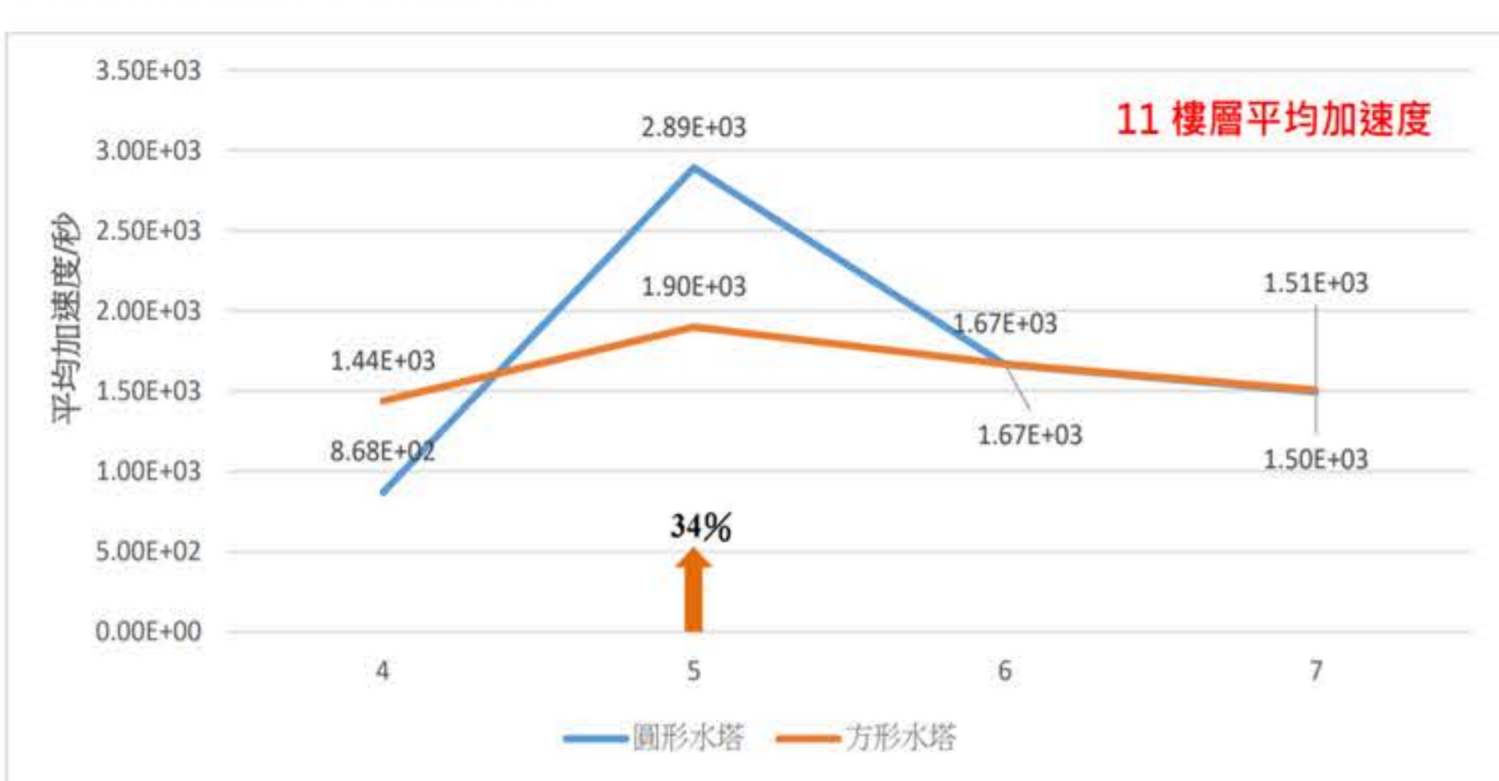


圖8固定500cc平均加速度與正圓形、正方形水塔關係圖

(三)固定500cc水量，水塔容器內有無網狀隔間，震度對建築物震盪之差異。

無網狀隔間實驗：



有網狀隔間實驗：

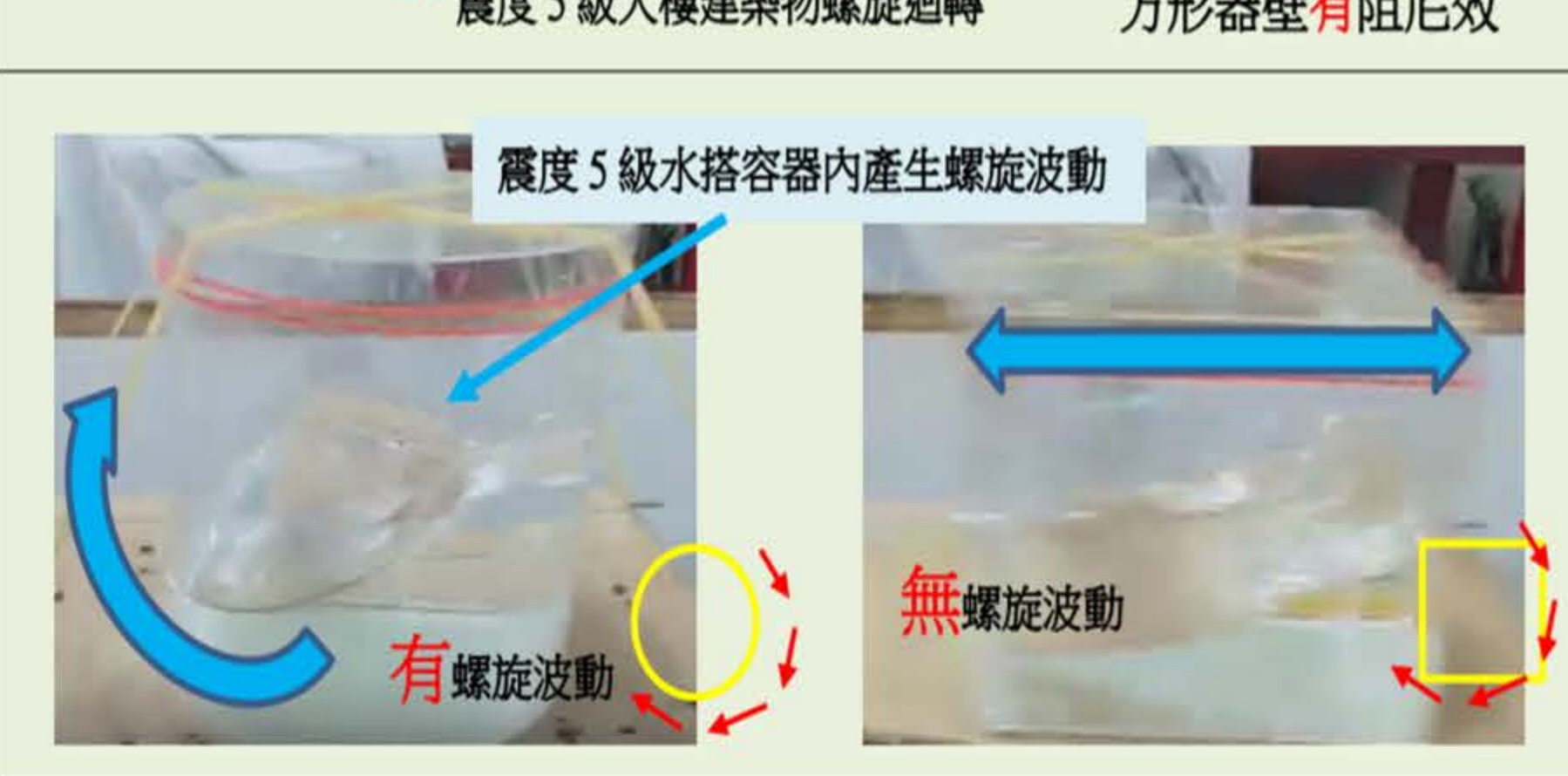
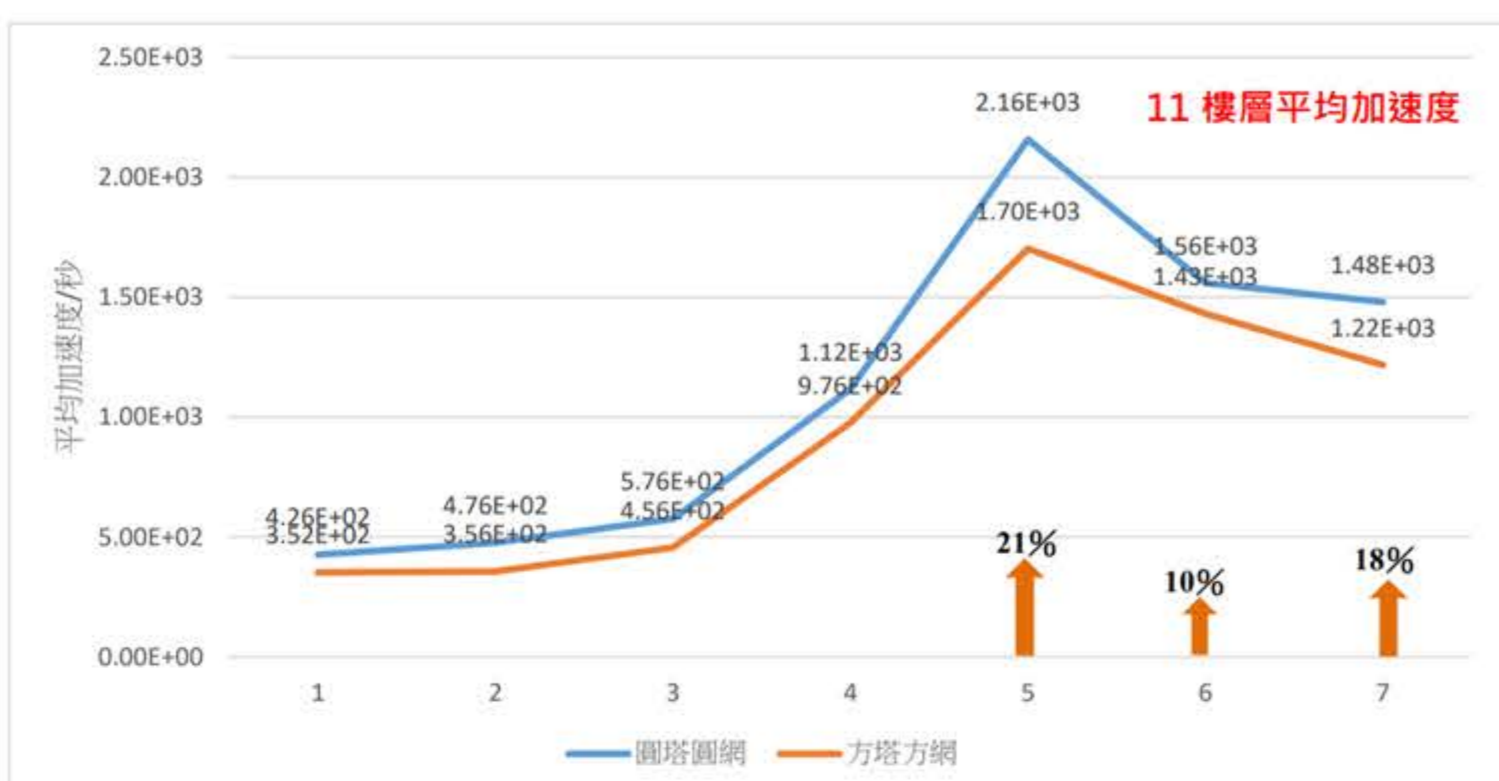


表2水塔容器內不同網狀隔間差異表

水塔形狀	網狀隔間形狀	水塔形狀與網狀隔間關係	阻尼效果
正方形水塔	正圓形網狀隔間	網狀隔間與水塔非平行	差
正方形水塔	正方形網狀隔間	網狀隔間與水塔平行	佳
正圓形水塔	正圓形網狀隔間	網狀隔間與水塔平行	佳
正圓形水塔	正方形網狀隔間	網狀隔間與水塔非平行	差

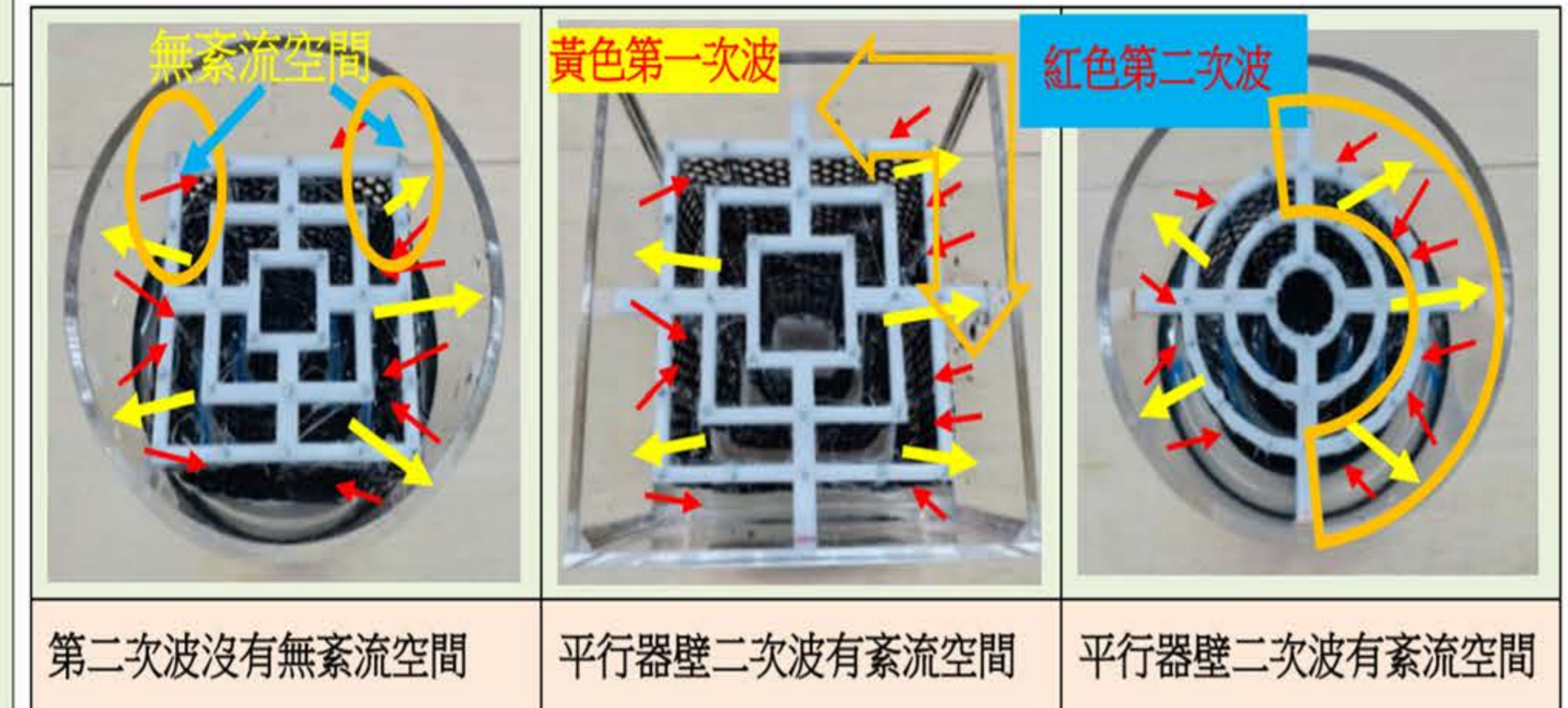


圖10水塔形狀與網狀隔間阻尼效果解說圖

三、探討大樓水塔與三組水撲滿設置不同樓層對建築物震盪之影響。

(一)固定震度4、5級正方形與正圓形水塔，水撲滿設置不同樓層對建築物震盪之影響。

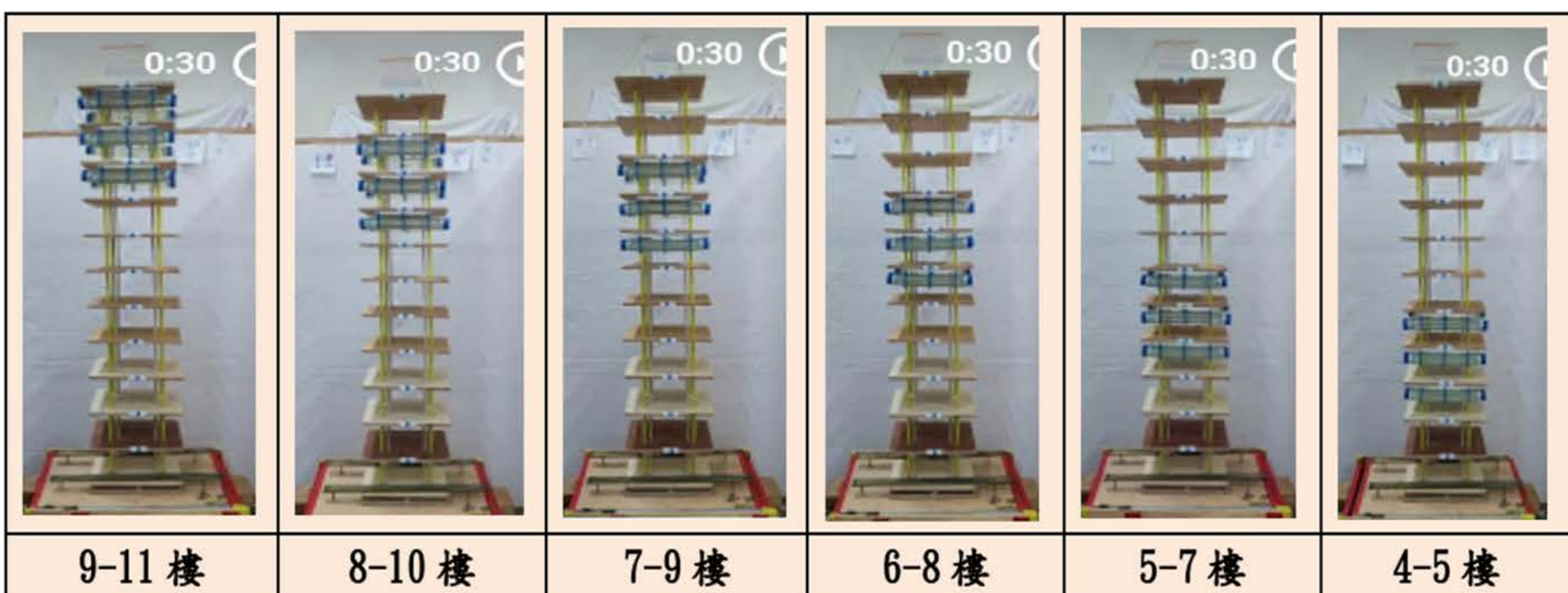


圖11水塔與不同高度水撲滿解說圖

固定震度4級實驗：

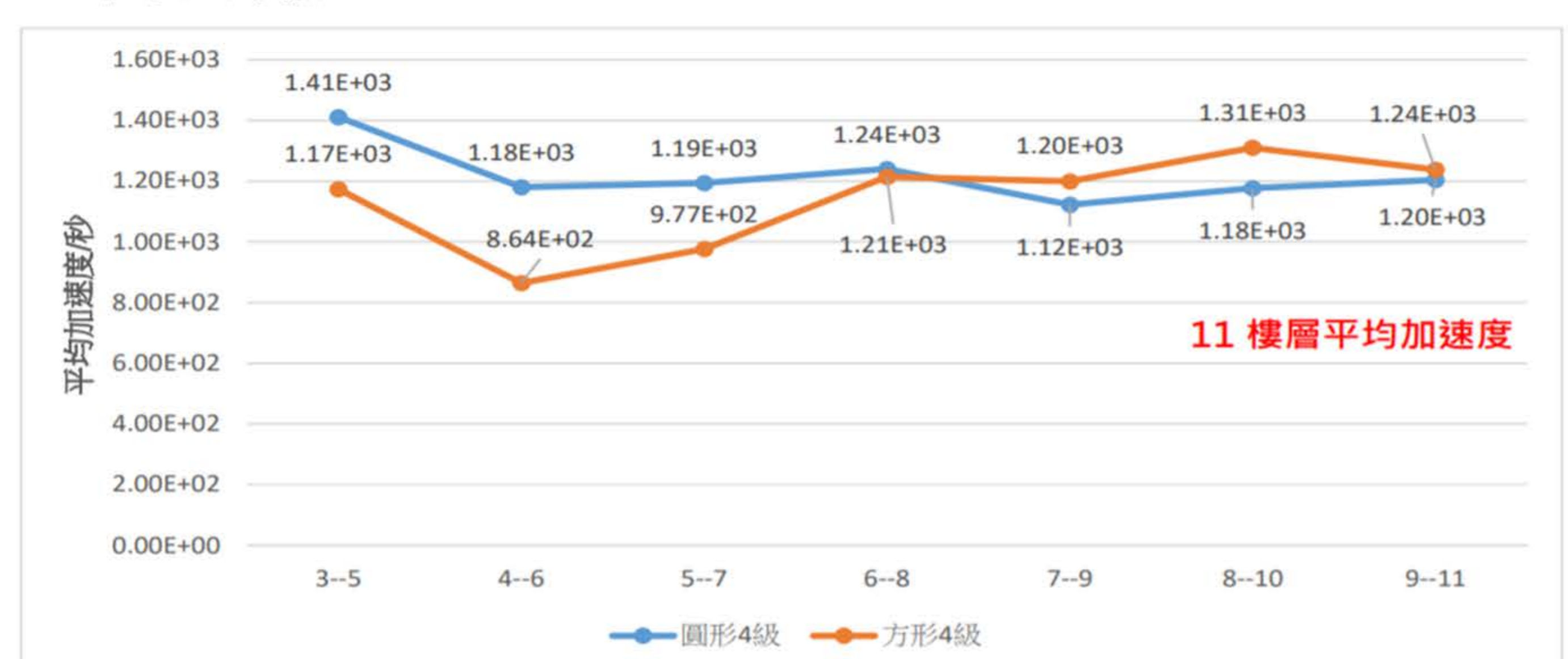


圖12正方形、正圓形水塔，平均加速度與不同水位量關係圖

固定震度5級實驗：

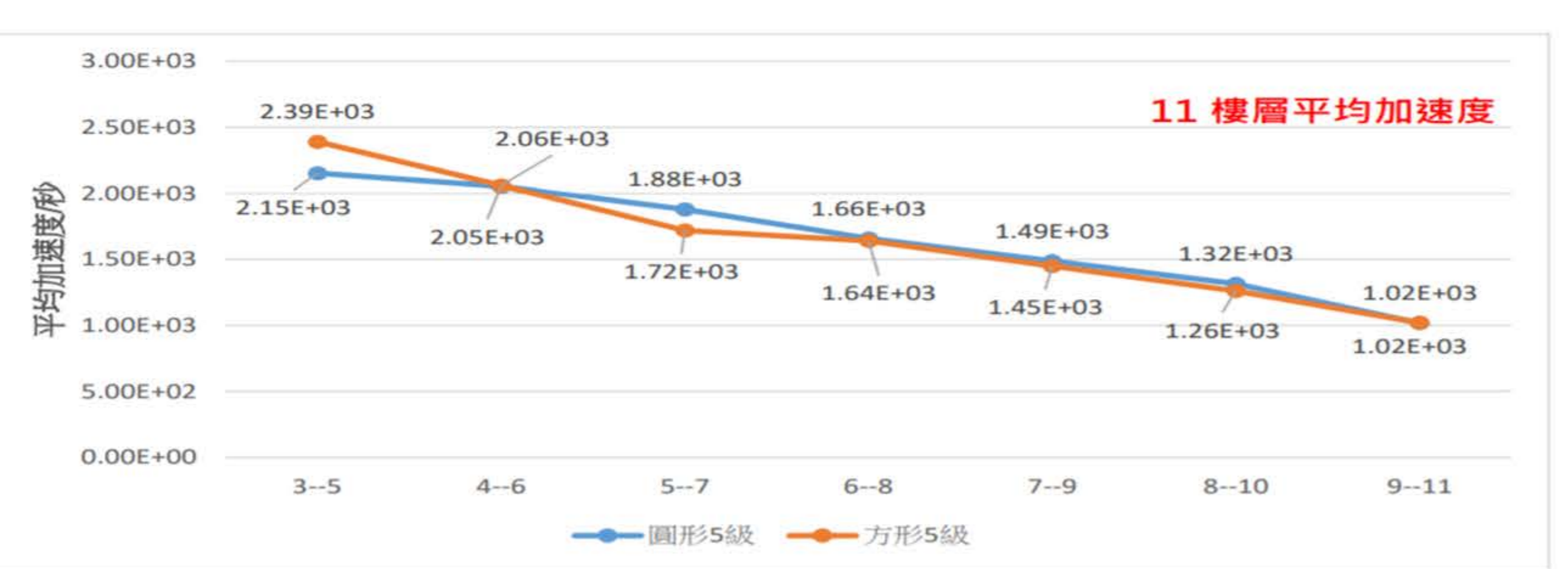


圖13正方形、正圓形水塔，平均加速度與不同水位量關係圖

固定震度4、5級實驗：

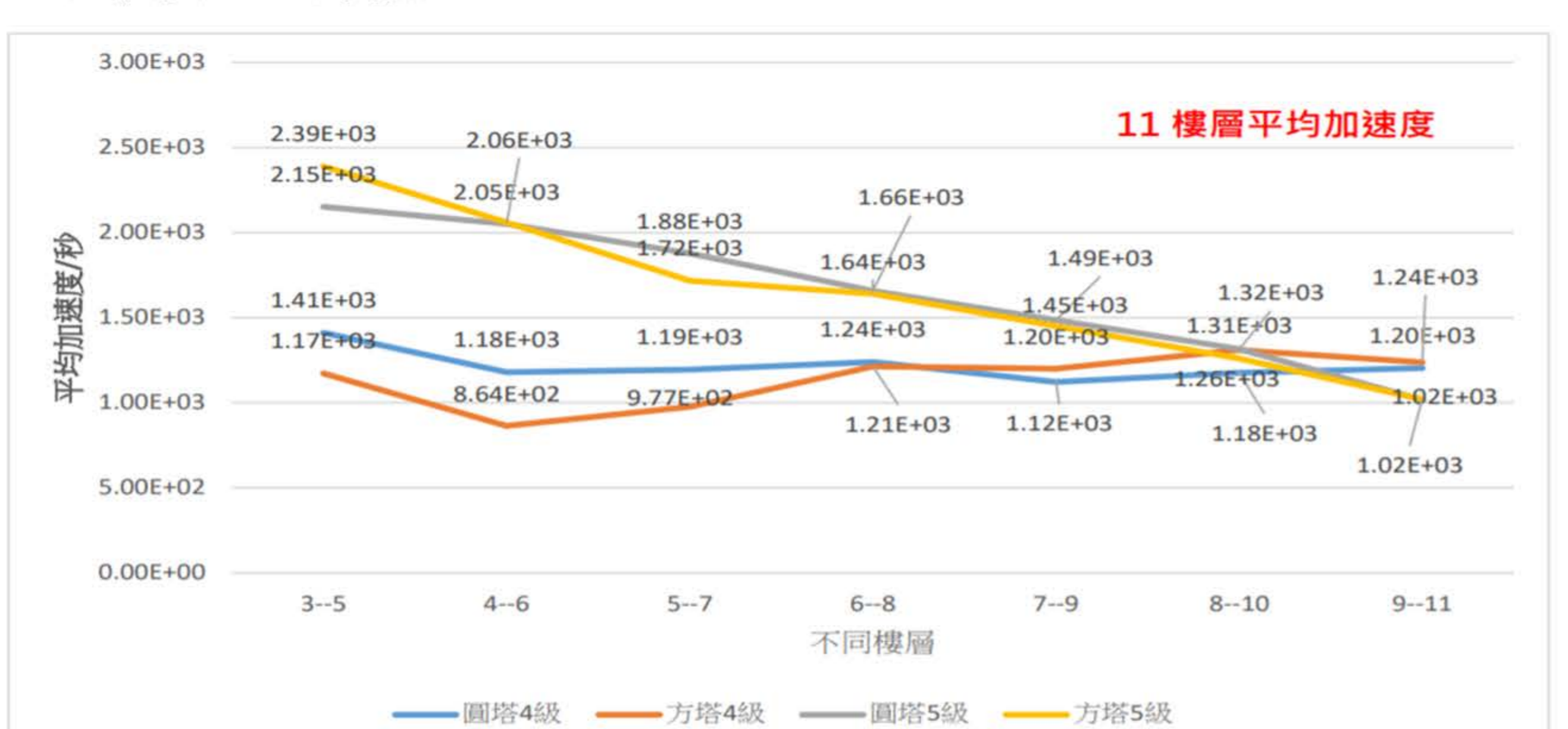
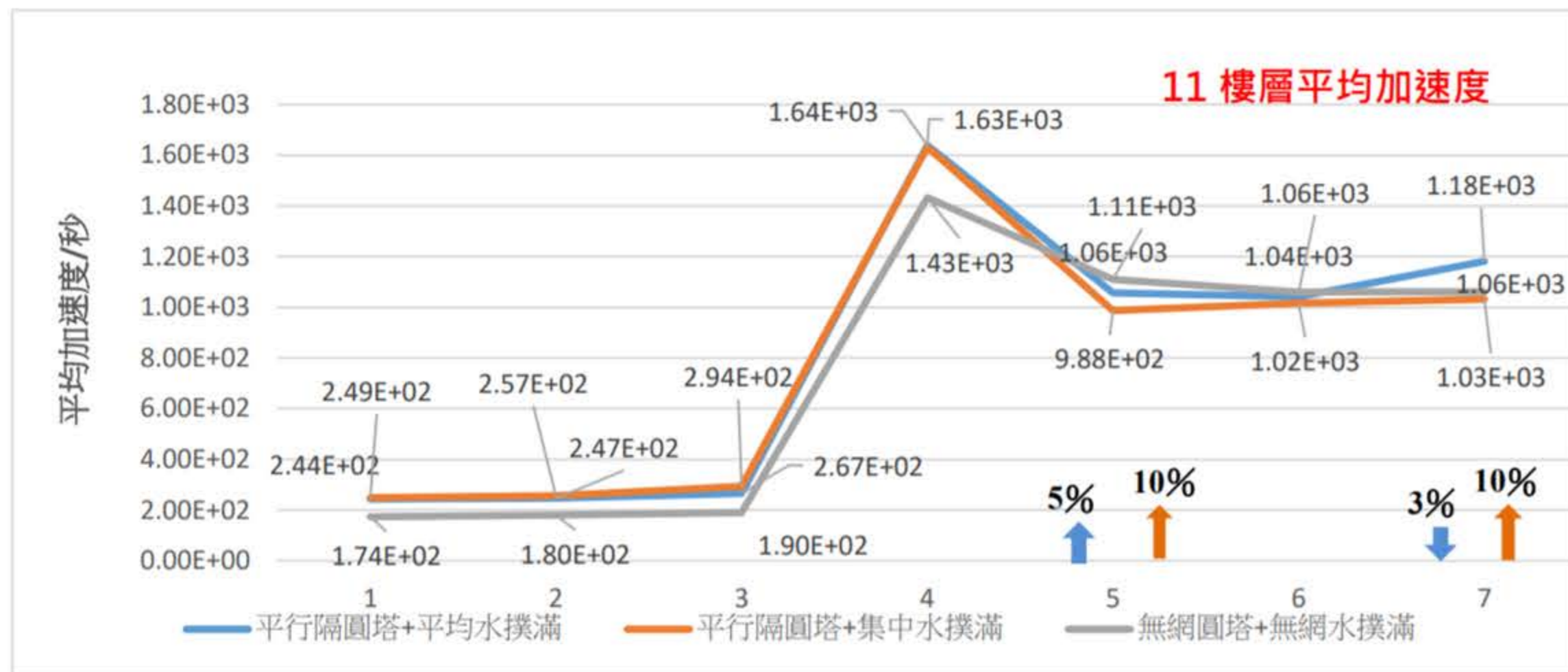


圖14正方形、正圓形水塔，平均加速度與不同水位量關係圖

(二)有無網狀隔間，水塔配合水撲滿對建築物震盪影響之差異。

正圓形水塔實驗：



正方形水塔實驗：

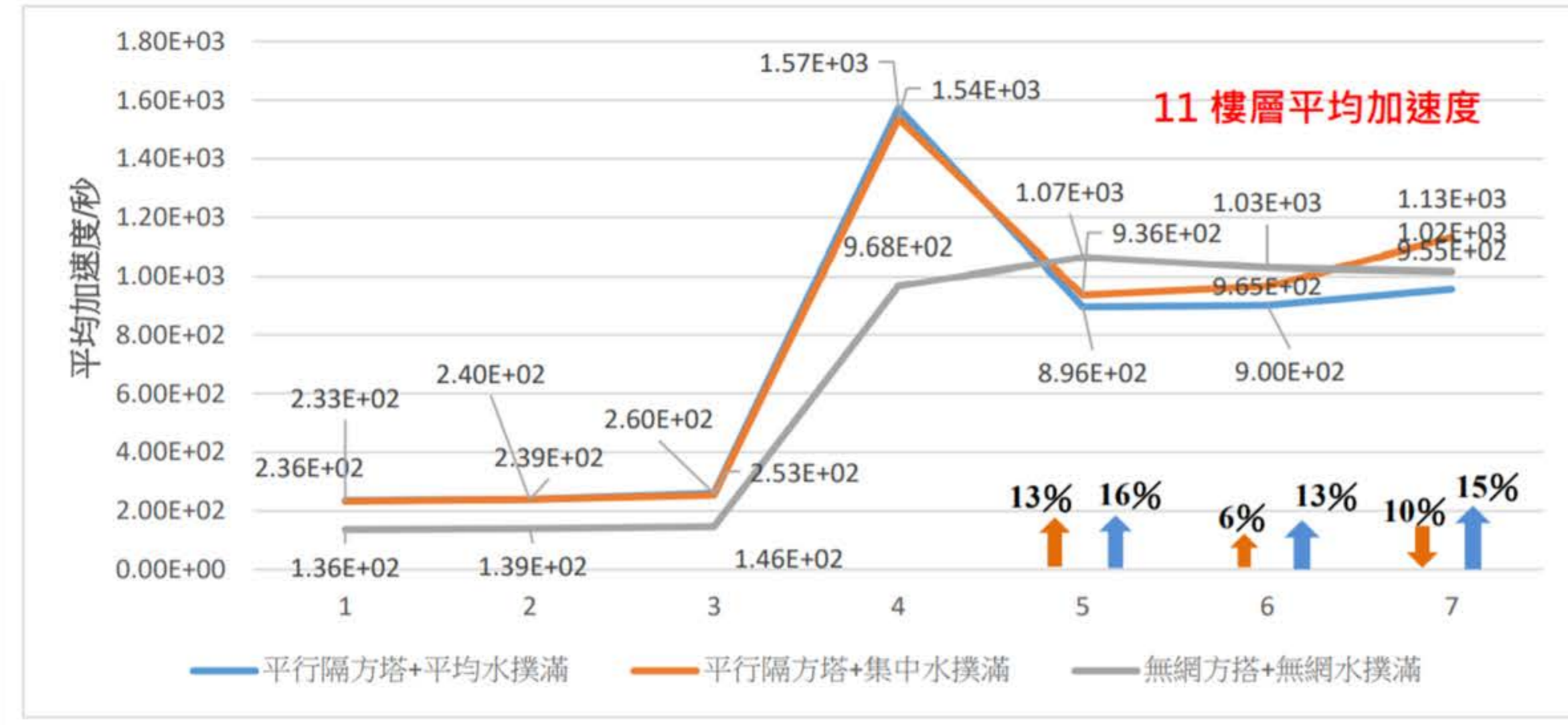
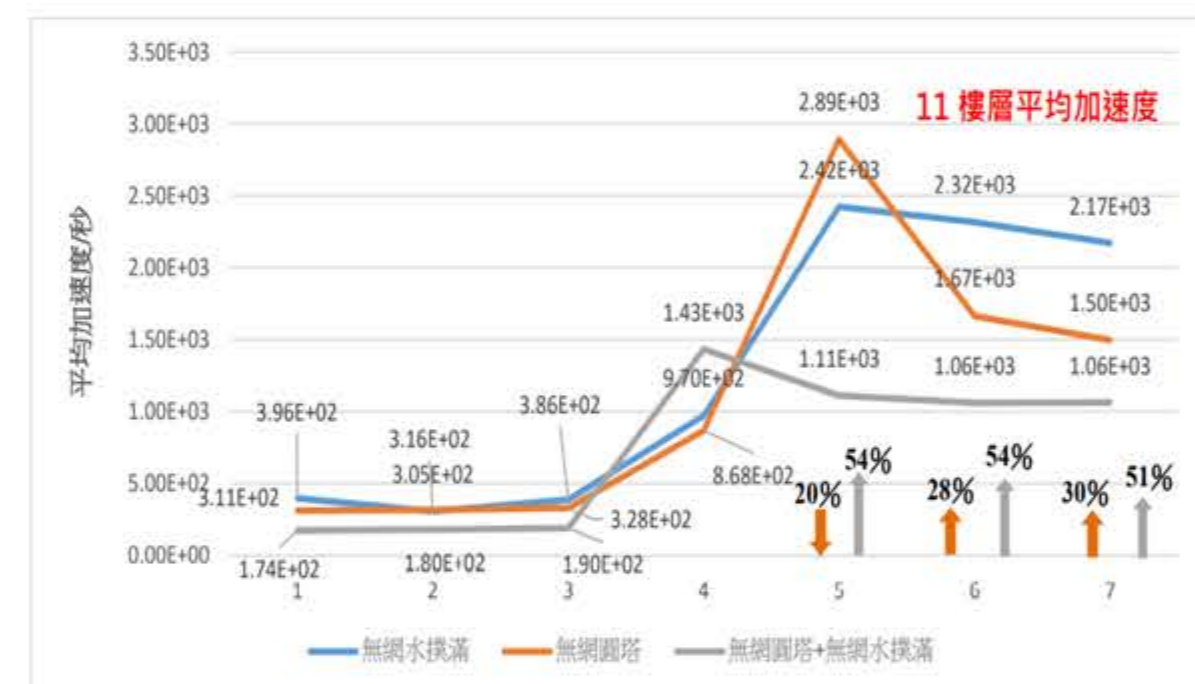


圖15有無網狀隔間，平均加速度與正圓形、正方形水塔配合水撲滿對建築物震盪影響差異圖

四、探討不同液體阻尼元件，有無加裝網狀隔間對建築物震盪之阻尼差異

(一) 無網狀隔間，不同液體阻尼消能元件對建築物震盪影響之差異。

正圓形水塔實驗：



正方形水塔實驗：

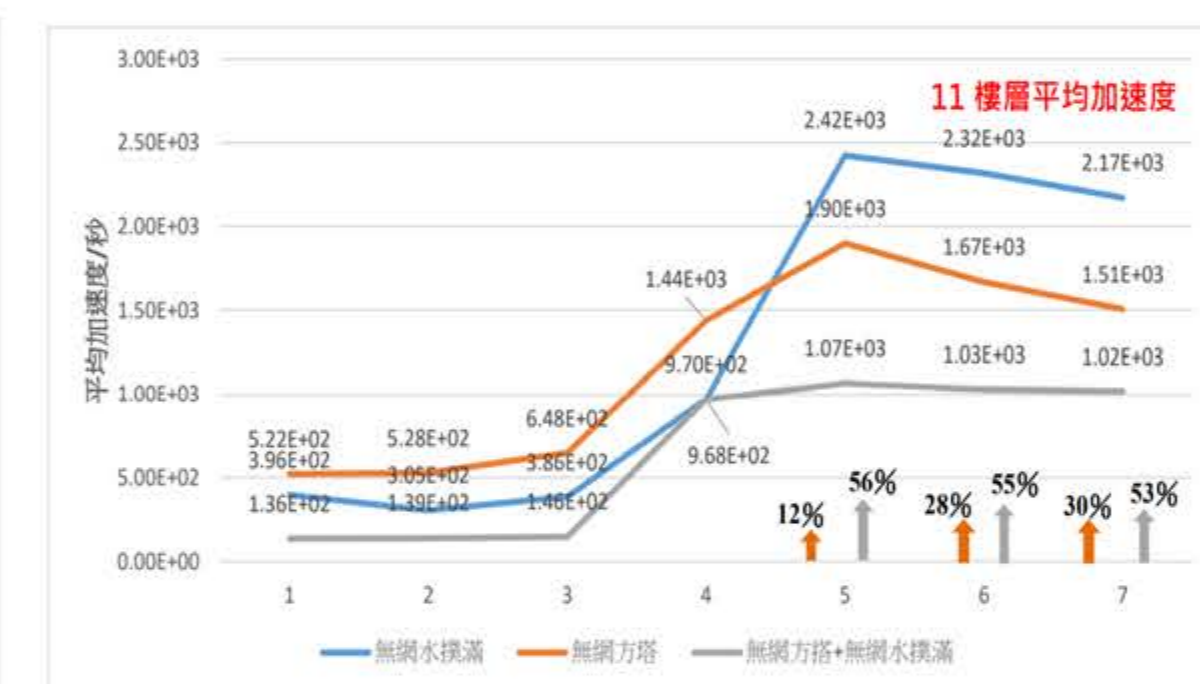
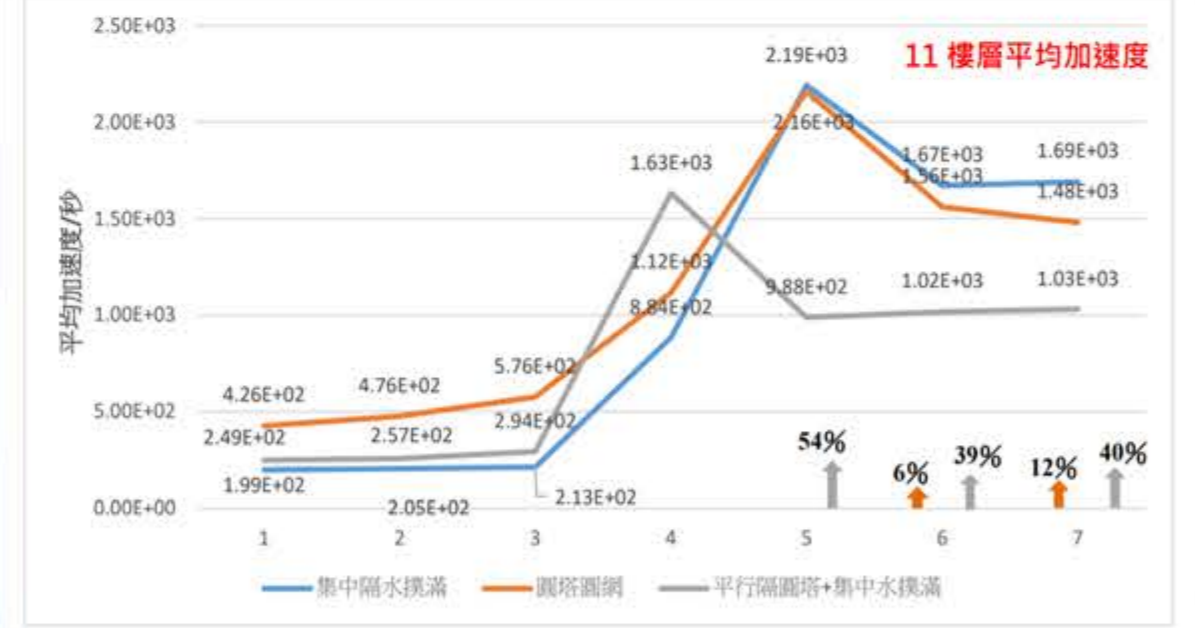


圖16無網狀隔間，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

(二) 有網狀隔間，不同液體阻尼消能元件對建築物震盪之影響。

正圓形水塔實驗：



正方形水塔實驗：



圖17有網狀隔間，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

表3 不同消能元件液體阻尼效果差異比較表

不同消能元件液體阻尼效果差異表			
消能元件	最大共振震度	平均加速度	液體阻尼效果
無網狀隔間水撲滿	模擬震度 5 級	2.42E+03	差
平均排法網狀隔間水撲滿	模擬震度 5 級	2.12E+03	差
集中排法網狀隔間水撲滿	模擬震度 5 級	2.19E+03	差
無網狀隔間正圓形水塔	模擬震度 5 級	2.89E+03	差
無網狀隔間正方形水塔	模擬震度 5 級	1.90E+03	佳
平行器壁網狀隔間正圓形水塔	模擬震度 5 級	2.16E+03	差
平行器壁網狀隔間正方形水塔	模擬震度 5 級	1.70E+03	佳
無網水撲滿+無網正圓形水塔	模擬震度 4 級	1.43E+03	佳
無網水撲滿+無網正方形水塔	模擬震度 5 級	1.07E+03	佳
集中排法水撲滿+平行器壁圓形水塔	模擬震度 4 級	1.63E+03	佳
平均排法水撲滿+平行器壁方形水塔	模擬震度 4 級	1.57E+03	佳

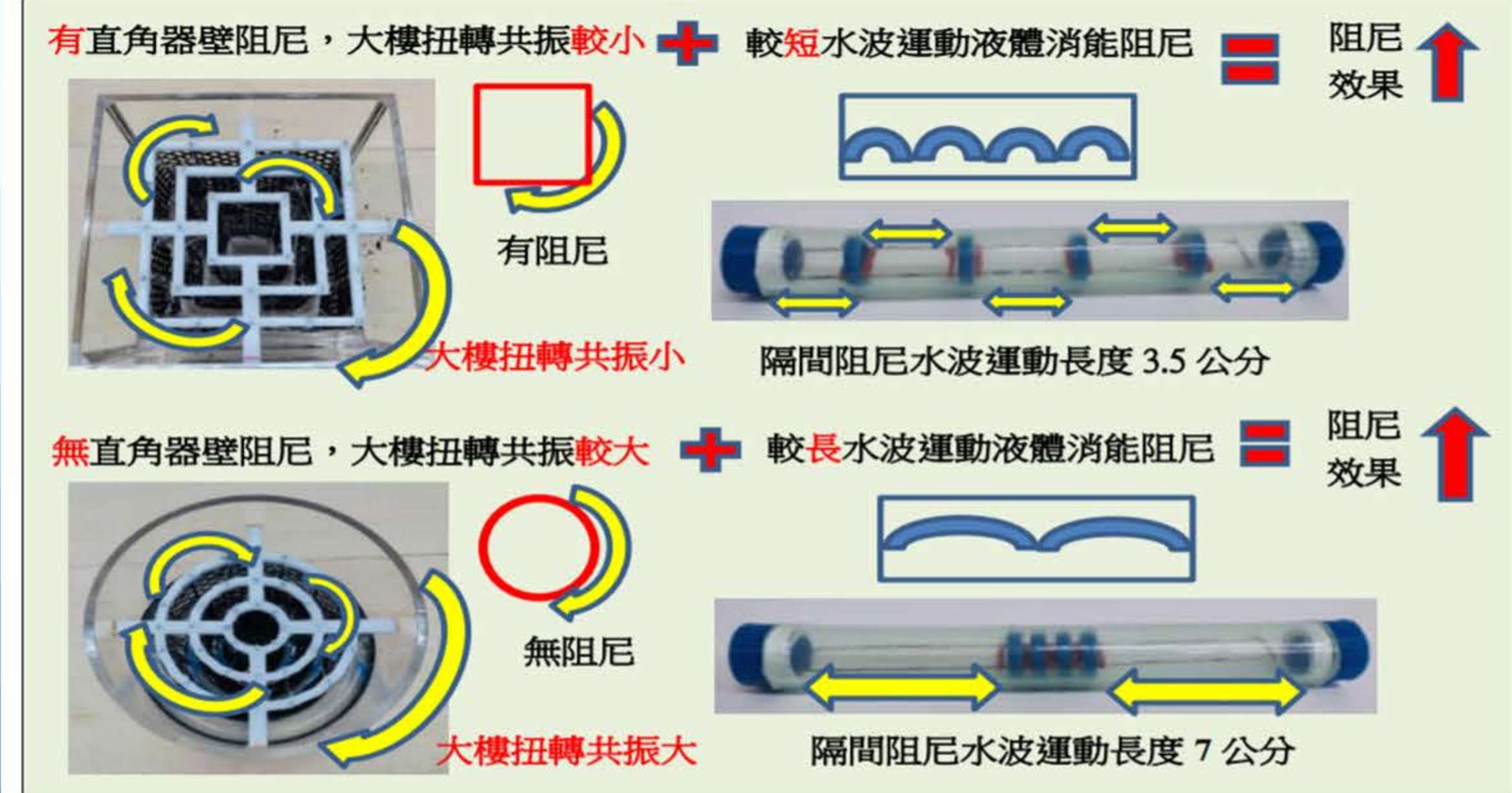


圖19不同形狀水塔配合不同排法網狀隔間水撲滿阻尼效果差異解說

陸、結論

綜合以上實驗，我們可以得到以下之結論：

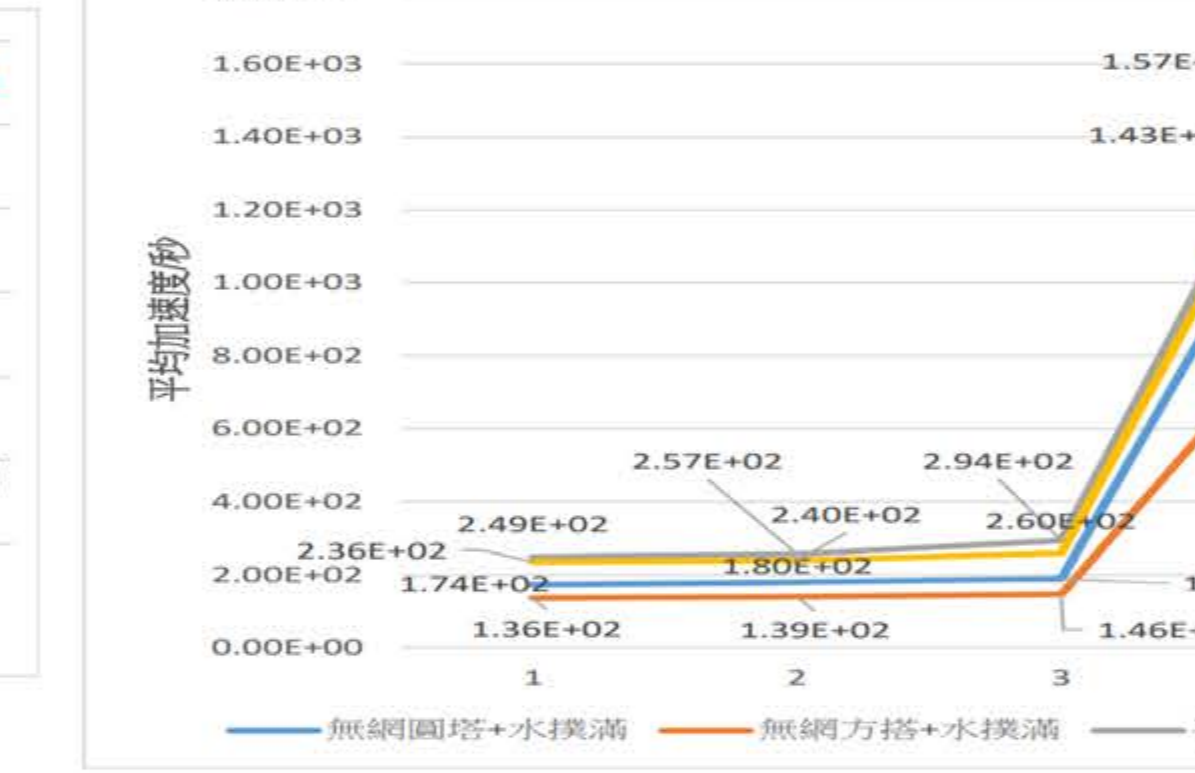
- 大樓結構實驗：同一級震度不同層樓，樓層越高震盪越大。當模擬震度7級11層大樓建築物，第六層樓震盪最小為建築物中心點。
- 水撲滿實驗：11層大樓水撲滿設置最頂樓阻尼效果較佳，震度小安裝單一組水撲滿，震度大安裝三組水撲滿阻尼效果較佳。水撲滿容器內加裝網狀隔間可以有效提升阻尼效果。
- 水塔實驗：11層大樓在震度較大時，水塔容器內水位量六分滿以上並加裝平行器壁網狀隔間阻尼效果較佳。
- 大樓共振實驗：當11層大樓與地震產生最大共振時，大樓結構會有螺旋迴轉共振的現象，正正方形水塔因有直角器壁，可以破壞大樓結構迴轉共振，液體阻尼效果較佳。
- 不同消能元件實驗：11層大樓單獨設置水撲滿或水塔，在模擬震度5級與大樓產生共振阻尼效果較差；水撲滿配合水塔在模擬震度4級大樓共振，液體阻尼效果較佳。
- 水塔配合水撲滿實驗：若要以11層大樓為例子，三組平均排法網狀隔間水撲滿安裝建物頂樓，並配合正方形水塔正方形網狀隔間阻尼效果最好；若要以平行正圓形網狀隔間水塔來當阻尼器，可以配合集中排法網狀隔間水撲滿阻尼效果較佳。

柒、參考資料

- 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 高職組 土木科 不動如山-滑缸型抗震設備
- 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 國中組 地球科學科 "城市殺手"直下型地震
- 地震震度分級表取自 中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw>
- 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 高中組 地球與行星科學科 「阻」擋地震「尼」我都可以
- 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 國小組 物理科水塔超人震得住-液體阻尼器的防震研究。

(三) 有無網狀隔間正圓形、正方形水塔，配合水撲滿對建築物震盪之影響。

正圓形水塔實驗：



正方形水塔實驗：

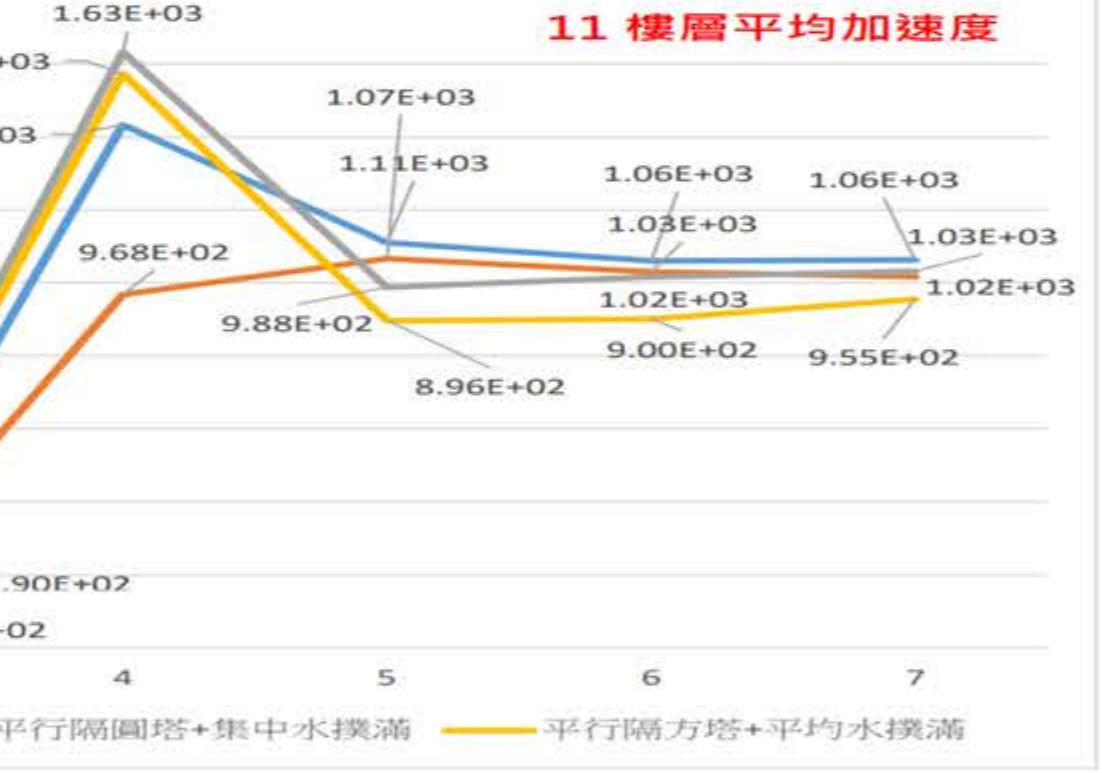


圖18有無網狀隔間，平均加速度與不同液體阻尼消能元件關係圖

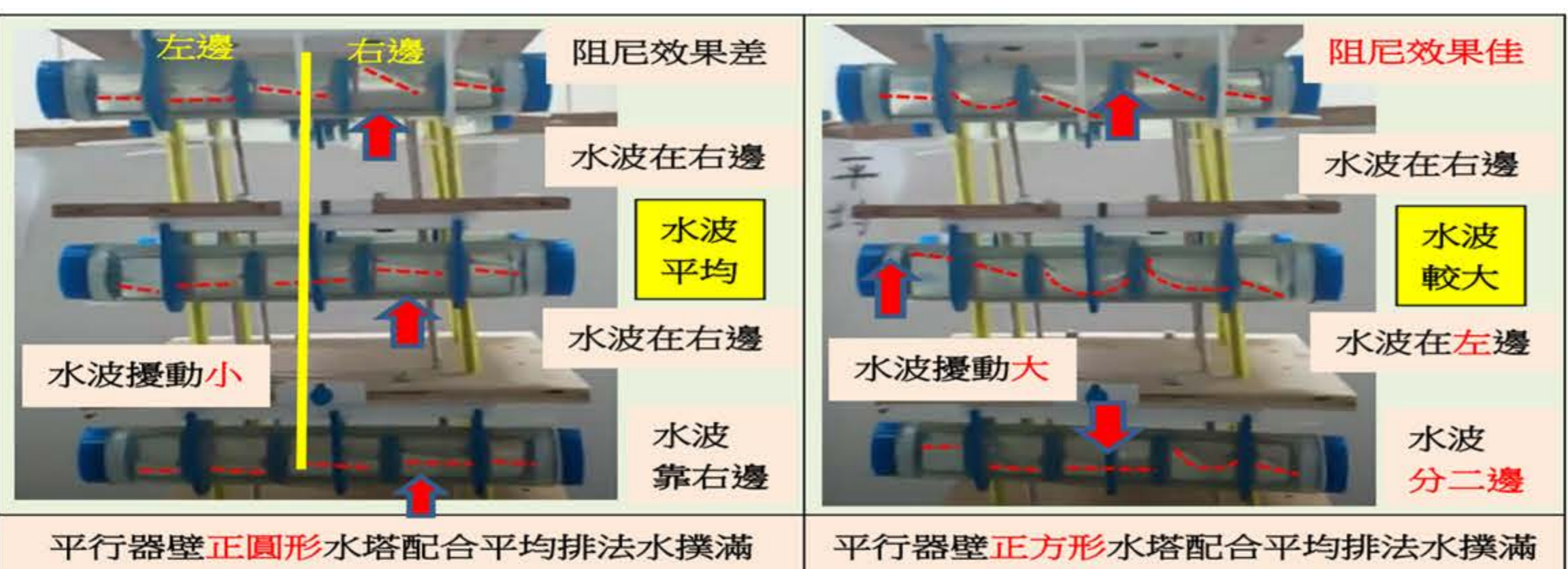
表4 水撲滿配合水塔消能元件液體阻尼效果差異比較表

消能元件	震度 4 級	震度 5 級	震度 6 級	震度 7 級	阻尼效果
無網水撲滿	平均加速度 1.43E+03 最大共振	平均加速度 1.11E+03	平均加速度 1.06E+03	平均加速度 1.06E+03	5 至 7 級 平均加速度 1.07E+03
無網正圓形水塔	平均加速度 9.68E+02	平均加速度 1.07E+03 最大共振	平均加速度 1.03E+03	平均加速度 1.02E+03	5 至 7 級 平均加速度 1.04E+03
無網正方形水塔	平均加速度 1.63E+03 最大共振	平均加速度 9.88E+02	平均加速度 1.02E+03	平均加速度 1.03E+03	5 至 7 級 平均加速度 1.01E+03
集中排法水撲滿	平均加速度 1.63E+03 最大共振	平均加速度 9.88E+02	平均加速度 1.02E+03	平均加速度 1.03E+03	5 至 7 級 平均加速度 1.01E+03
平行器壁圓形水塔	平均加速度 1.57E+03 最大共振	平均加速度 8.96E+02	平均加速度 9.00E+02	平均加速度 9.55E+02	5 至 7 級 平均加速度 9.17E+02
平均排法水撲滿	平均加速度 1.57E+03 最大共振	平均加速度 8.96E+02	平均加速度 9.00E+02	平均加速度 9.55E+02	5 至 7 級 平均加速度 9.17E+02
平行器壁方形水塔	平均加速度 1.57E+03 最大共振	平均加速度 8.96E+02	平均加速度 9.00E+02	平均加速度 9.55E+02	5 至 7 級 平均加速度 9.17E+02

表5 平行器壁隔水塔不同排法網狀隔間水撲滿阻尼差異比較表

平行器壁隔間正方形、正圓形水塔不同排法網狀隔間水撲滿阻尼差異比較表				
水撲滿排法	集中排法網狀隔間		平均排法網狀隔間	
	正方形水塔	正圓形水塔	正圓形水塔	正方形水塔
平行器壁隔間	正方形水塔	正圓形水塔	正圓形水塔	正方形水塔
水撲滿最上層	水波二邊差不多	水波在右邊	水波在右邊	水波在右邊
水撲滿中間層	水波二邊差不多	水波二邊差不多	水波在右邊	水波在左邊
水撲滿最下層	水波在右邊	水波在右邊	水波在右邊	水波分二邊
水波形態	水波平均擾動小	水波明顯擾動大	水波平均擾動小	水波明顯擾動大
阻尼效果	差	佳	差	佳

平均排法網狀隔間水撲滿實驗：



集中排法網狀隔間水撲滿實驗：

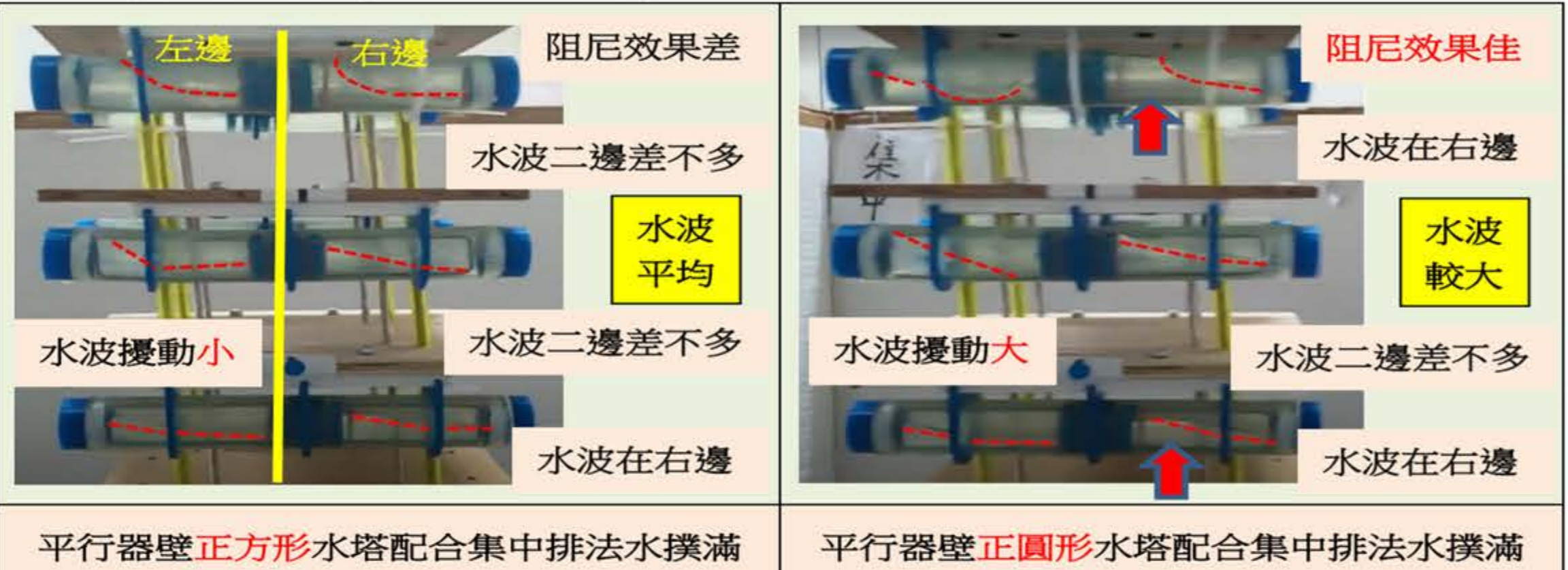


圖20網狀隔間水撲滿不同水塔形狀阻尼差異比較圖

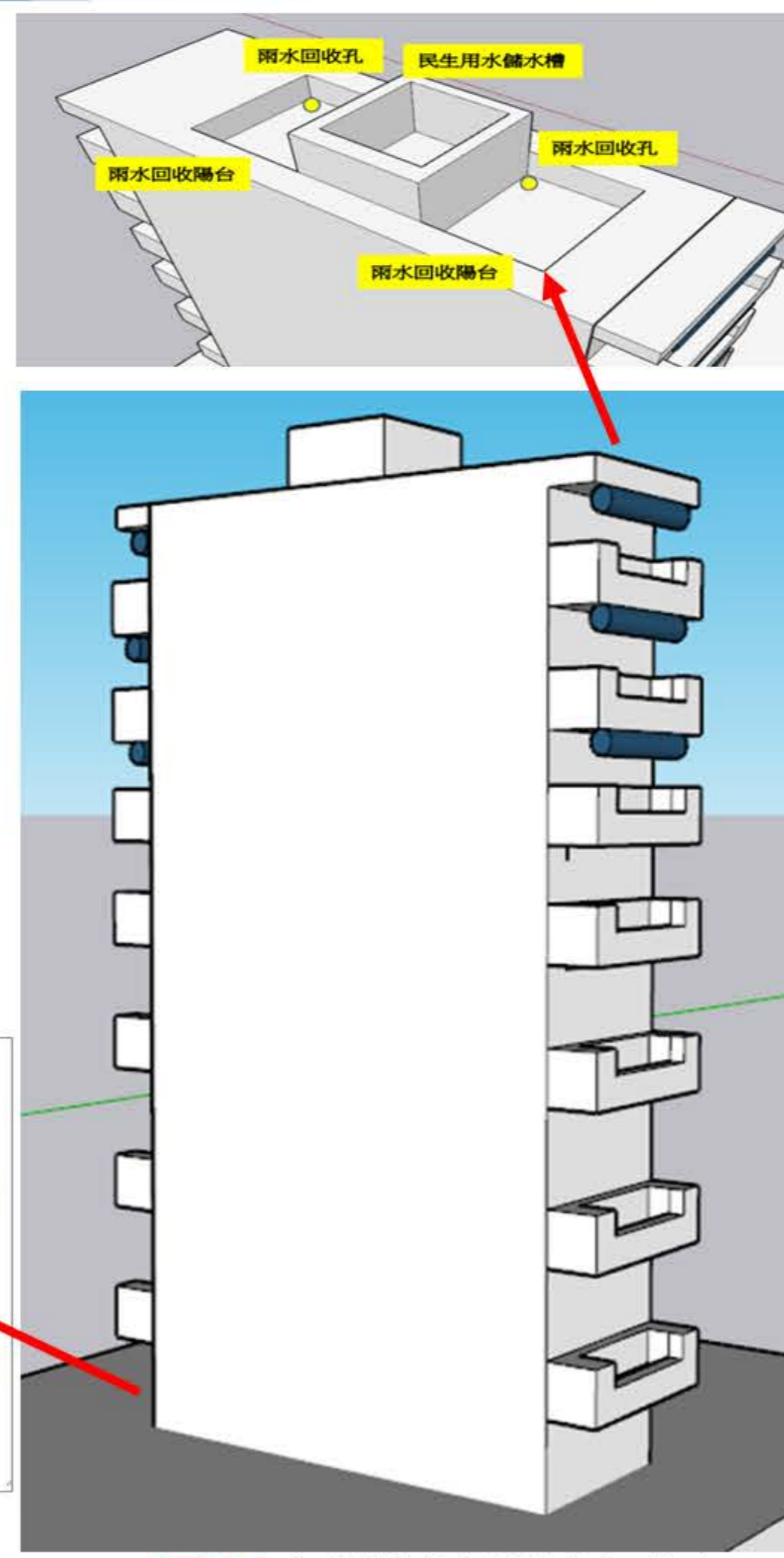


圖21水撲滿實際應用圖