

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第二名

080119

水箱滿隔形-探討運水車翻覆因素

學校名稱：臺中市私立華盛頓國民小學

作者：	指導老師：
小五 石宇恩	蕭宇青
小五 金承佑	李天佑
小五 張庭維	
小四 李芝嫻	
小四 張良琛	
小四 陳芃安	

關鍵詞：車速變化、水箱隔間、質心

摘要

運水車翻覆的新聞，讓我們膽戰心驚，為什麼運水車會翻覆成四輪朝天?消防車的水又為何低於半滿水位時，需要漏光比較安全?在五年級自然【力與運動】中，得知物體受力時，運動狀態可能會改變。本研究探討水箱的水重，水箱有無隔間及水箱形狀對運水車行駛時的車速變化影響。透過自製傾斜穩定度檢測器，發現不同水量下，半滿水位的八角柱水箱，所能承受的翻覆角度最小，因為水往低處流，水又比空氣重，造成重心偏移而翻覆；相同水量下，重心最低的三角柱水箱能夠承受最大的翻覆角度。

根據實驗結果發現，裝滿水、有隔間、都可以降低水的搖晃程度，減少水的質心因慣性流動而不斷偏移中心的機會，可以降低車子翻覆的機率。

壹、前言

一、研究動機

停水期間，新聞常出現運水車翻覆的訊息，甚至出現救災的消防車邊開邊漏水也被民眾檢舉上新聞。台中市政府消防局災害搶救科表示，水箱要裝滿水，可以避免轉彎時，水體單壓在一側而造成車輛翻覆。我們很好奇運水車裝滿水比較安全嗎?裝滿水的水車不就是代表超重嗎?水裝的越滿，重心越高，應該會更容易翻覆。而重心又會受到形狀的影響，到底什麼樣的水箱形狀會讓車子行駛較為穩定。還有要如何減少水體單壓在一側的翻車風險?

二、研究目的

為了分析水體晃動影響車速變化的狀況，我們改變水重、路面坡度、水箱隔間數、水箱形狀及水面與箱壁角度對車速變化的影響。

(一)探討水體晃動對車速變化的影響。

(二)探討水箱設計對車速變化的影響。

(三)研究三、探討水體質心偏移情形。

三、文獻回顧

(1) 造成車子翻覆的因素

1.在民國 64 年台北市士林國小的科展作品【貨車顛覆】中，提到貨車不能把貨載太多，因為重心過高容易翻覆；貨車轉彎時速度太快容易翻覆，太快左轉時左輪容易浮離路面；如果是右轉彎則右輪容易浮離地面，重心的垂直線會超出基底外，就容易翻覆。會滑動的物品必須用繩子捆住，避免轉彎時或經過路面不平時。貨品滑動一邊，重心發生變化，貨車就容易顛覆。(我們發現【貨車顛覆】作品說明書原本敘述是太快左轉時右

輪容易浮離路面，如果是右轉彎則左輪容易浮離地面。和我們觀察到的情形不符合，在此修正。)

2. 高公局統計自 2020 年 1 月至 2021 年 3 月間，國道翻覆事故達 496 件，肇因多為未注意前車狀況、未保持安全距離、不當變換車道等，綜合以上三點都容易讓駕駛出現緊急煞車的行為，重心發生變化而使一邊輪胎脫離地面造成翻覆事件。

3. 整理近幾年運水車翻覆事故情形: 1. 上下坡時失速 2. 側邊擦撞 3. 撞向邊坡 4. 轉彎失控。綜合上方的描述得知翻車四要點: 1. 車體重心過高(超載) 2. 過彎速度太快 3. 輪胎側向碰觸障礙物的面積造成不穩 4. 爆胎。應該避免超載、急轉彎、急煞、急加速等駕駛方式。

(2) 消防車的水量會影響行車穩定

缺水期間，民眾發現消防車邊開邊漏水，而台中市政府消防局災害搶救科表示，該水箱消防車是救災後返隊途中，且消防車救完災，水箱內儲水所剩無幾，會將水放掉，倘若儲水仍有半箱，則會將水箱裝滿，以防車輛過彎時，讓剩下的水重量壓在單側而導致車輛翻覆，反而相當危險。

(3) 運水車的罐體形狀會影響行車穩定

灑水車改裝老闆認為八角形的罐體比橢圓罐體優良，可以讓運水車行駛時較為穩定。

(4) 印度半開口的水罐車會一邊行駛一邊溢水

當水罐車四處移動時，它必須多次加速和減速，當這種情況發生時，水罐車中的水勢必會四處晃動，這可能導致水罐車不穩定並可能摔倒。為了防止這種情況，他們會打開頂部的蓋子，因此當車輛減速或加速時，車內的水會濺出車外，這有助於保持水罐車的穩定。

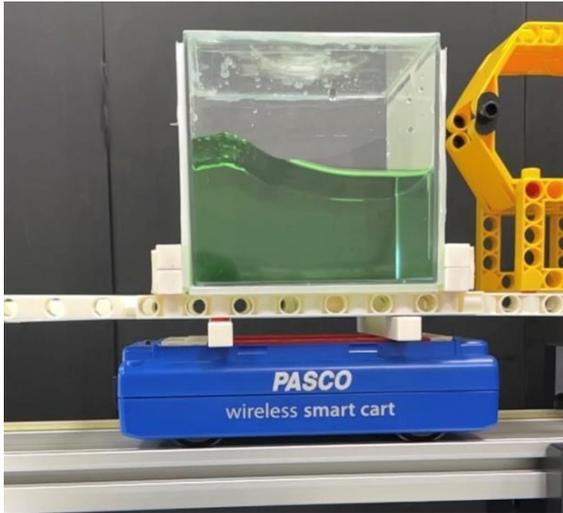
(5) 什麼是重心？所有具體積的質量體，必定有一重心（質心），該質量體置於水平面時呈現穩定狀態，就是重心達到一個平衡的狀態，即便看起來斜斜的也沒關係，就是達到一個平衡的狀態；而當給予質量體翻轉角度，使重心位置超過質量體的支撐點，其便失去穩定性而翻覆。

(6) 什麼是轉動慣量？是決定物體容不容易轉動的物理量。轉動慣量會隨轉動物體的質量分布及形狀而異。轉動慣量(I)的大小與質量(m)和轉軸之間距離(r)有關， $I=mr^2$ 。

貳、研究設備及器材

1. 實驗數位量測儀器:

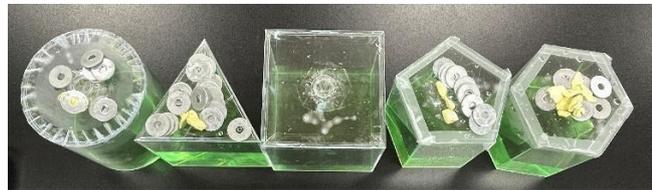
PASCO 無線智慧滑車(一維運動物理量測量工具 力量感測範圍： $\pm 100\text{ N}$ 位置誤差： $\pm 0.2\text{ mm}$ 速度最大量測值： $\pm 3\text{ m/s}$ 採樣率： 200 Hz)



PASCO 滑車軌道 ME-9493 1.2 公尺軌道
使滑車行進時近無摩擦力 (軌道長度： 120 cm)



不同形狀的壓克力水箱、鐵圈墊片、砝碼與黏土(用來配重)



2. 實驗數據分析軟體

PASCO 儀器行動裝置 sparkvue APP 可於手機或平板上採集實驗數據

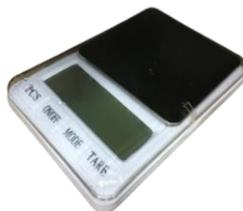


3. 實驗器材

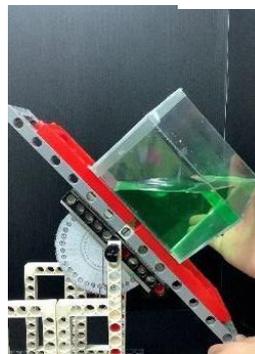
電動抽水設備



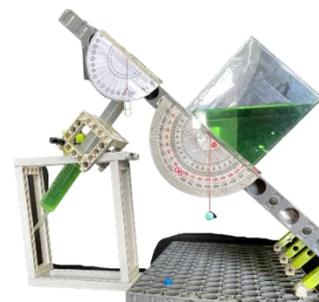
電子秤



自製角度檢測器



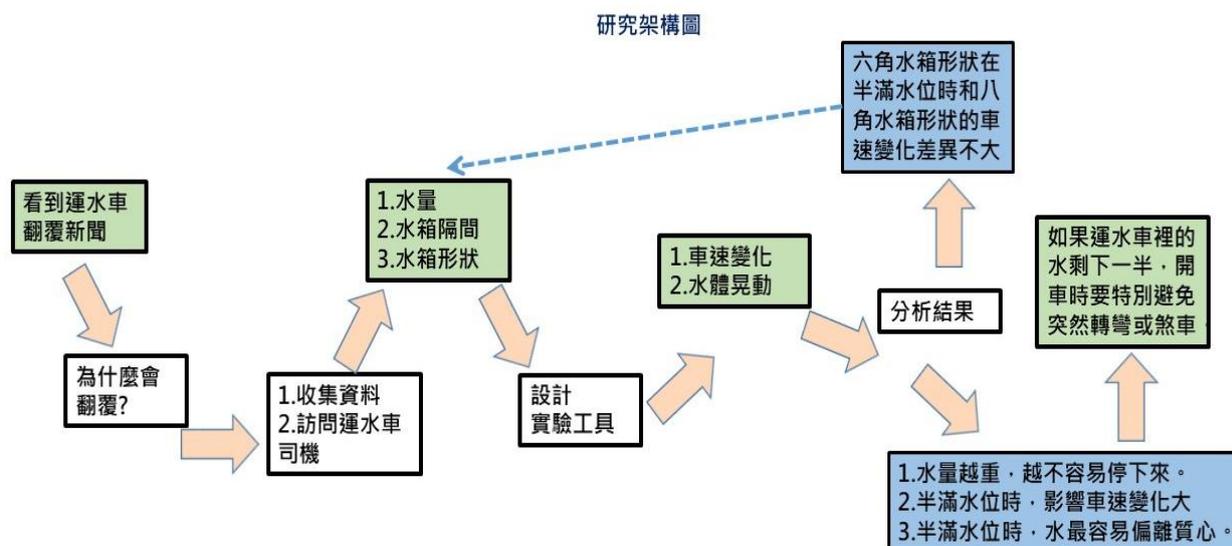
第一代翹翹板式角度檢測器



第二代液壓式角度檢測器

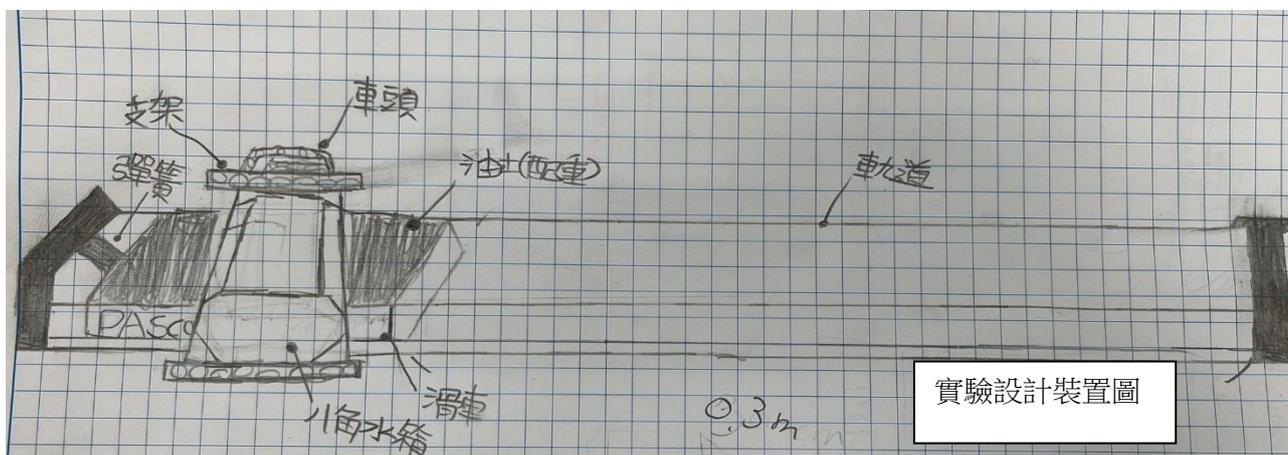
參、研究過程或方法

一、研究架構



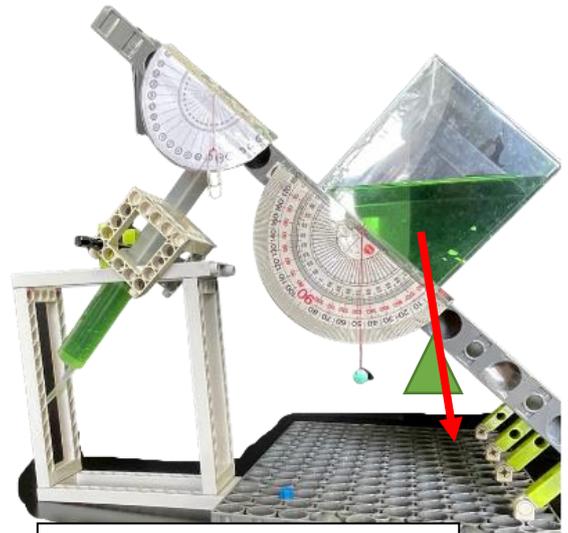
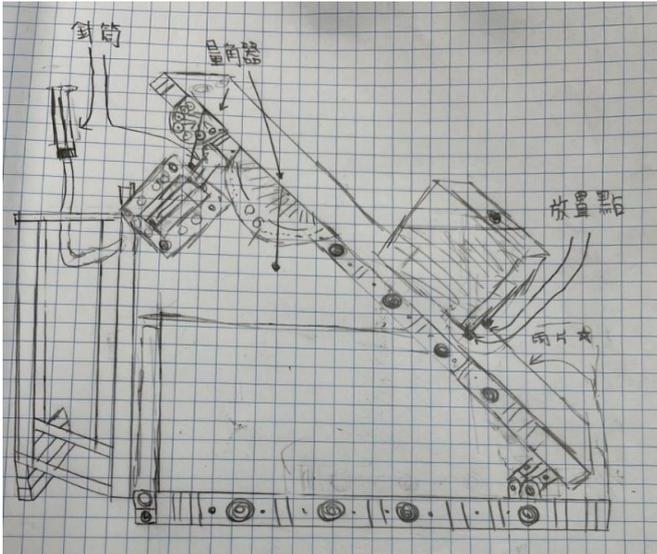
二、實驗器材安裝位置圖

本實驗使用 PASCO 智慧滑車於軌道上進行實驗。為模擬運水車撞擊到物體時短時間狀況，改變水量及水箱形狀，觀察各項物理量變化。借助 iPad 上的 SPARKvue APP 軟體分析，可以更精確觀察智慧滑車的車速變化與水的搖晃情形。(位移解析度 $\pm 0.2\text{mm}$)



- 1、調整擋板位置，每次實驗移動距離皆相同(0.3m)
- 2、開啟 PASCO 無線智慧滑車電源，並連接實驗數據 iPad，實驗前進行儀器歸零。(力量感測範圍： $\pm 100\text{ N}$ 位置誤差： $\pm 0.2\text{ mm}$ 速度最大量測值： $\pm 3\text{ m/s}$ 採樣率： 200 Hz)
- 3、以 iPad 開啟慢動作攝影實驗水箱中水的晃動過程，以利後續運動過程分析。

三、傾斜穩定角度檢測裝置圖



傾斜穩定角度檢測器裝置圖

重心，是在重力場中，物體處於任何方位時所有各組成支點的重力的合力都通過的那一點。規則而密度均勻物體的重心就是它的幾何中心。

四、準備工作

1.用電子秤量水體的重量，電動抽水設備快速換水。

2.按壓柱塞彈簧 1 格(4.1N)使運水車移動，利用 IPAD 慢動作攝影，另一台 IPAD 感應滑車位移情形。

3.設計製作傾斜穩定檢測器。



五、前期觀察試探研究

(一)力學原理分析

我們推測水箱中的水量會影響車速變化，利用 PASCO 滑車內建的位置傳感器、加速度傳感器及力傳感器，獲取車速、X 方向加速度及受力變化。

同時以 IPAD 進行慢動作攝影，觀察水體在 0.3m 的距離下，水體來回晃動次數和車速方向轉變次數是否吻合。

我們推測車子受到 4.1N 的側向力時，會產生一個加速度，此瞬間向右的加速度使水箱中的水體向左擺動，推擠水面上升形成慣性波 1，之後因瞬間加速度消失，水面逐漸下降而形成一個重力回復波 1，但是水體的動能還在，所以往右推擠形成第 2 個慣性波 2。

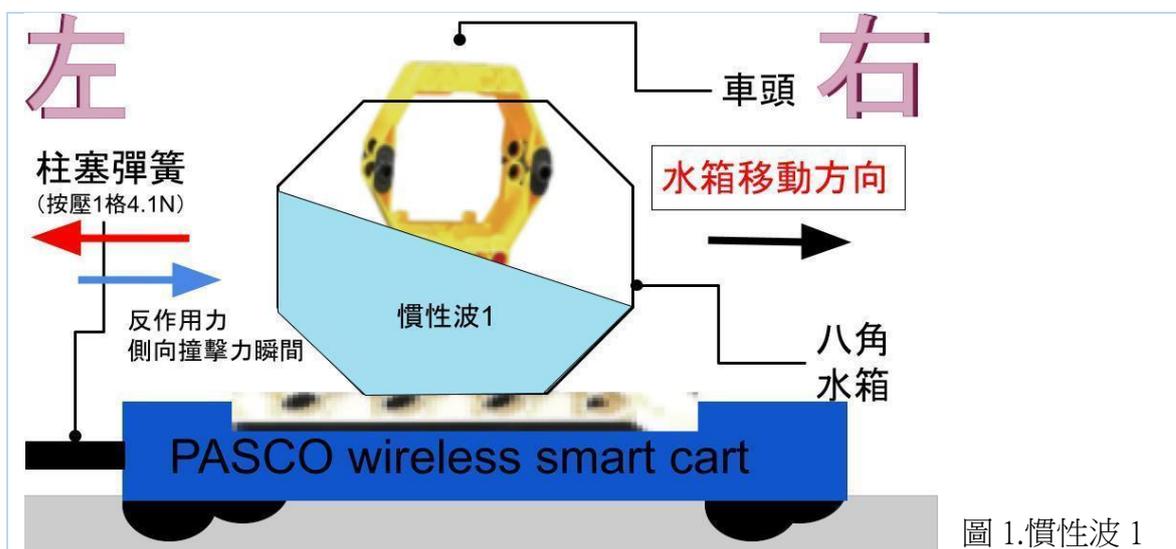


圖 1.慣性波 1

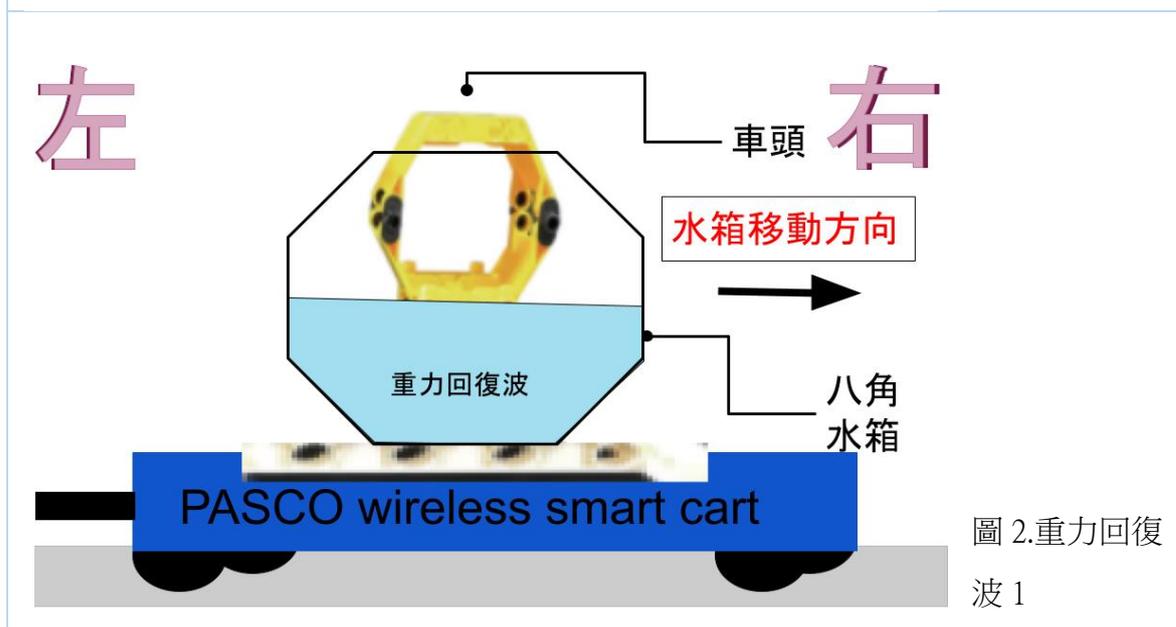


圖 2.重力回復波 1

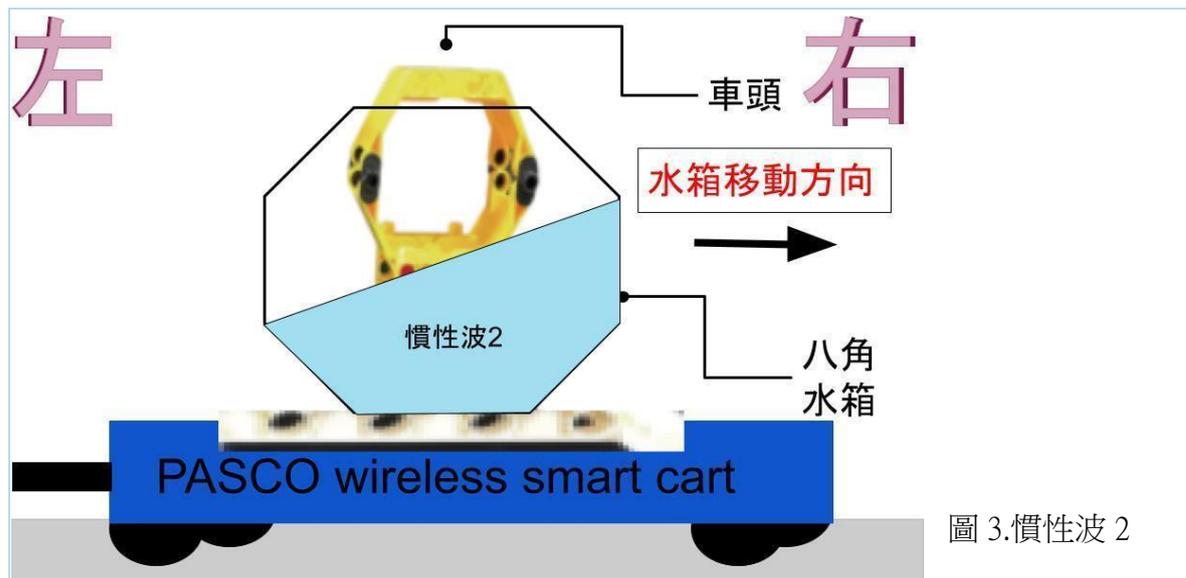


圖 3.慣性波 2

(二)模擬運水車受到側向力撞擊時的平台

1、 建立一穩定之推力源及紀錄平台

- (1) 利用 PASCO 無線智慧滑車內建的彈簧柱塞，按壓一格為 4.1N，彈簧伸縮量 1cm 作為發射力量。(按壓 2 格，瞬間最大受力為 6.3N；按壓 3 格為 9.5N。)
- (2) 將滑車放在軌道上，固定移動距離為 0.3m，當滑車碰到磁力檔板時，會回彈。
- (3) 利用 IPAD 上的 SPARKvue APP，開啟藍芽接收器，獲得 PASCO 滑車內建的位置傳感器，紀錄滑車的 V-T 圖。
- (4) 再架設一台 IPAD 開啟慢動作攝影，紀錄水箱中水體擺盪情形。

2、 設計水箱:因為訪問到台中改裝灑水車的老闆，他們將水箱改裝成八角桶的形狀，我們十分好奇，八角水箱形狀真的會比較穩定嗎?為什麼不使用六角住水箱?訪問的過程中，我們才知道，水箱裡面是有隔間的，因此也設計水箱隔間。

3、 因為水體會隨著水箱型狀而改變，因此設計一個傾斜穩定角度檢測裝置，測試哪一種形狀的水箱，水比較容易偏離質心。也可以檢測八角水箱在哪一種水量下，水體容易偏離質心。

肆、研究結果

研究一、探討水量對車速變化的影響。

實驗 1-1.觀察比較空車與半滿水位時的速度變化

因為消防員認為將半滿水位的水漏光，行駛較為安全，因此，我們要比較空車時和半滿水位時的車速變化。

一、實驗方式:利用柱塞彈簧 1 格瞬間受力 4.1N，觀察八角水箱空車與裝半滿水（0.6kgw）的車速變化。並將觀察到的水體晃動做成分解圖。

二、實驗結果:

表 1、IPAD 慢動作攝影截圖

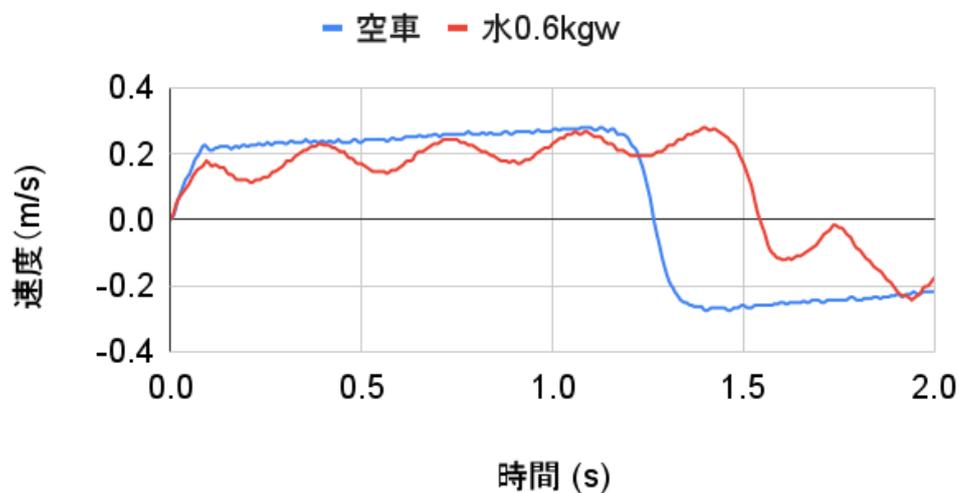


圖 1-1 空車和水量(0.6kgw)的速度時間關係圖

三、實驗發現:未裝水的八角水箱，受到 4.1N 側向力撞擊，因為軌道摩擦力小，幾乎維持等速前進，但是遇到障礙物後，車速急速下降，而裝半滿水量(0.6kgw)的八角水箱，會跟著水的左右擺盪，速度呈現方向上的轉變。

實驗 1-2.觀察比較空車與油土(0.6kgw)時的速度變化

一、實驗方式:利用柱塞彈簧 1 格瞬間受力 4.1N，觀察八角水箱空車與裝油土（0.6kgw）的車速變化。

二、實驗結果

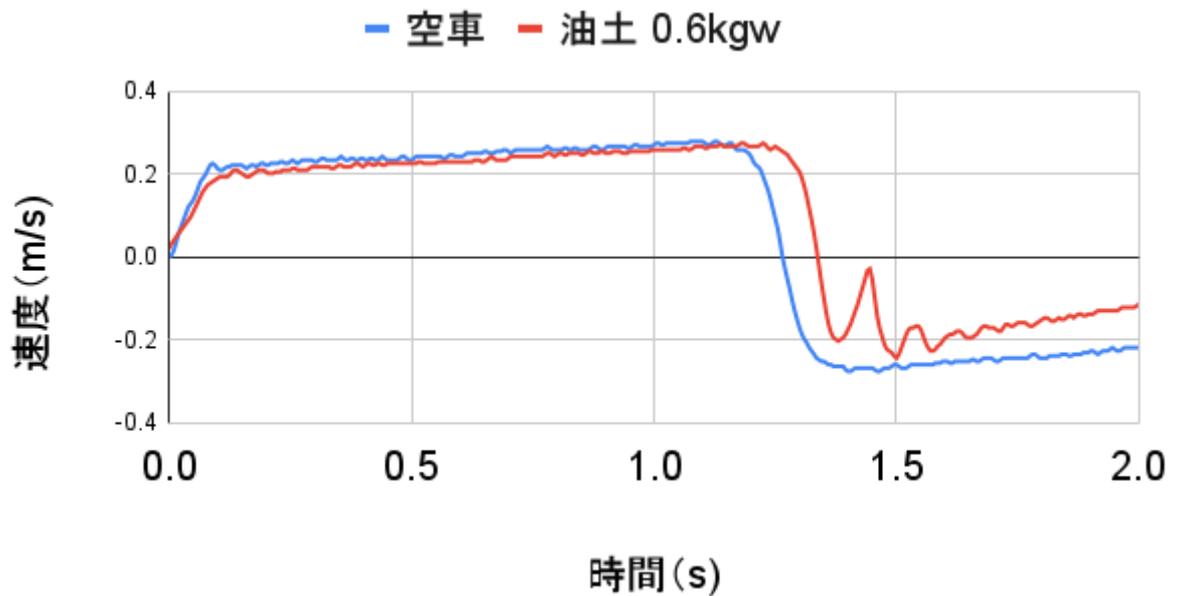


圖 1-2 空車和油土(0.6kgw)的速度時間關係

三、實驗發現：

1. 裝油土(0.6kgw)的八角水箱，受到 4.1N 側向力撞擊，因為軌道摩擦力小，幾乎維持等速前進，遇到障礙物後，車速急速下降。
2. 增加 0.6 公斤重的油土重量，需要長一點時間才會慢下來。

實驗 1-3 八角水箱不同水量下速度和時間關係

一、實驗方式:利用柱塞彈簧 1 格瞬間受力 4.1N，觀察車速變化。

操縱變因：水重(0.0kgw，0.3kgw，0.6kgw，0.9kgw，1.2kgw)

控制變因：八角水箱(八角形面積 78.75cm² 長 17cm)，PASCO 滑車，車架，空車重 (0.7kgw)，柱塞彈簧 1 格(4.1N)。

應變變因：車速變化。

二、實驗結果

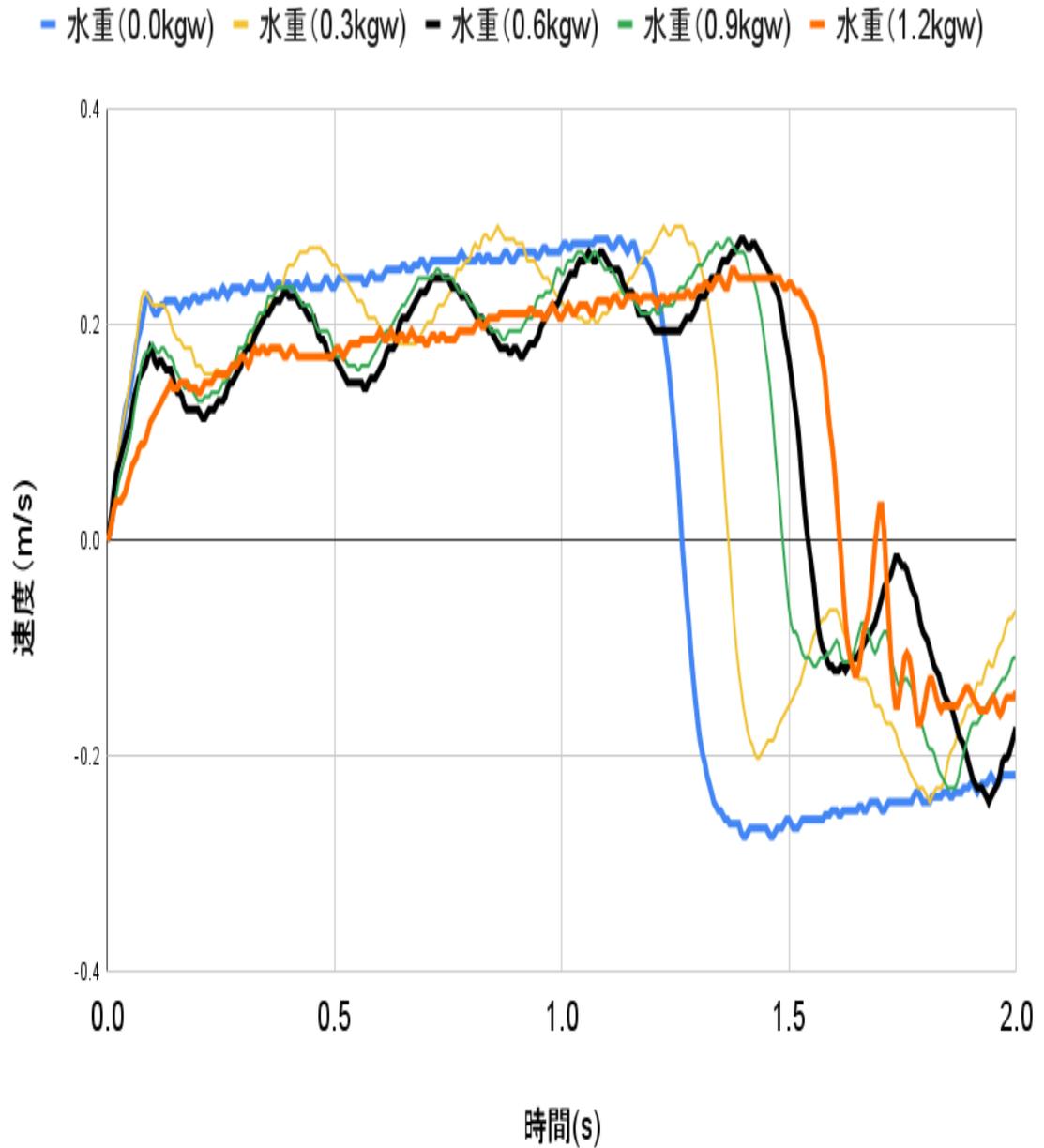


圖 1-3 不同水量下的速度時間關係圖

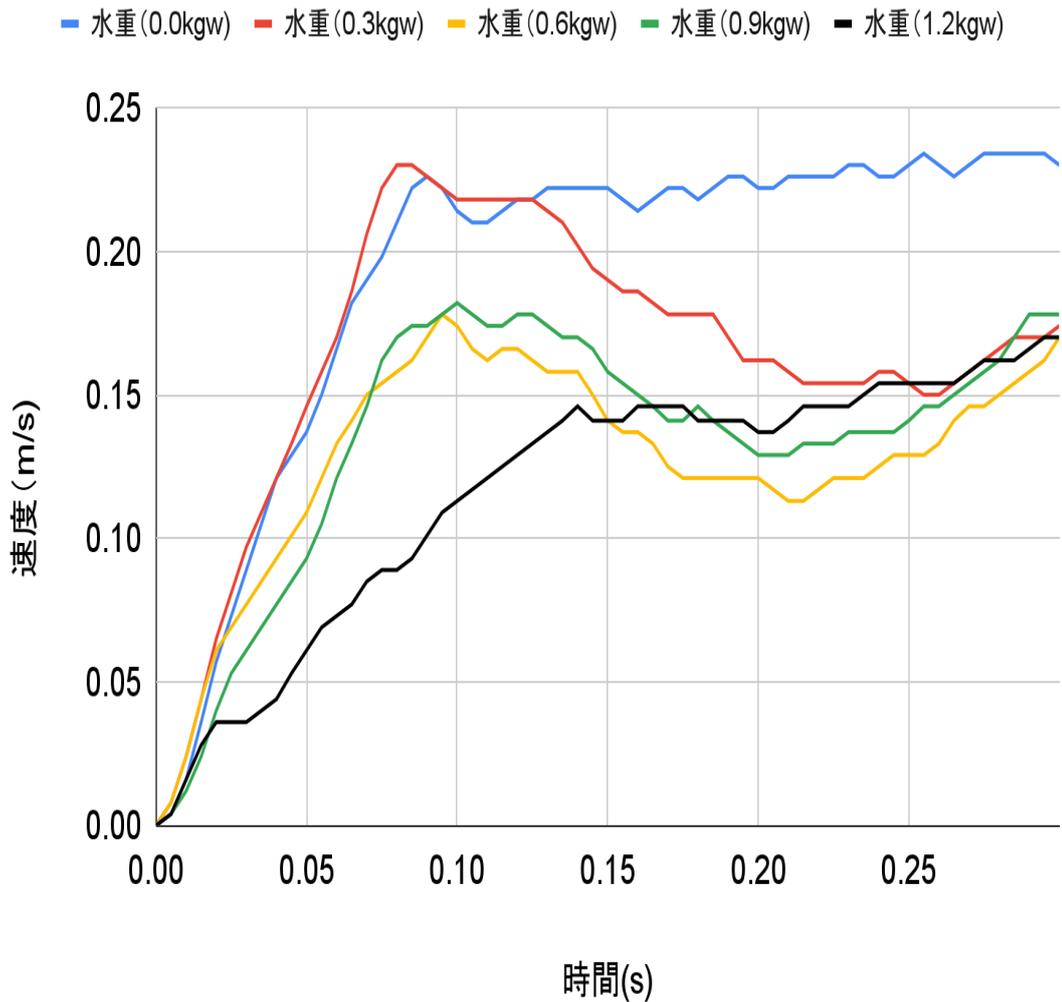


圖 1-3-1 初始撞擊時不同水量下的速度時間關係放大圖

水位比例	0	1/4	2/4	3/4	4/4
速度變化方向數(波峰數)	1	4	5	5	1
0.1 秒瞬時速度 (m/s)	0.214	0.218	0.174	0.182	0.113
0.2 秒瞬時位置 (m)	0.222	0.162	0.121	0.129	0.137
0.1 秒的加速度(m/s ²)	0.08	-0.56	-0.53	-0.53	0.24

三、實驗發現：當速度呈現負值時，觀察到滑車位置轉向，速度改變方向時，也是水體晃動最高點。我們將觀察第一段速度改變方向的次數與 ipad 慢速攝影產生的水體波峰數。

研究二、探討水箱設計對車速變化的影響。

實驗 2-1 全隔間水箱在不同水量下的車速變化

一、 實驗方式:

1. 將八角水箱運水車(PASCO 滑車)放在軌道上，使用按**柱塞彈簧 1 格**(4.1N)使車子向右移動 0.3m。
2. 分別觀察有隔間的水箱不同水量下，**撞擊後液面的晃動情形**。
3. 使用 PASCO 滑車上的速度感測器紀錄車速變化。
4. 使用 ipad 慢動作攝影，紀錄水體搖晃情形。
5. 計算車速變化圖的波峰數量。

二、 實驗結果:

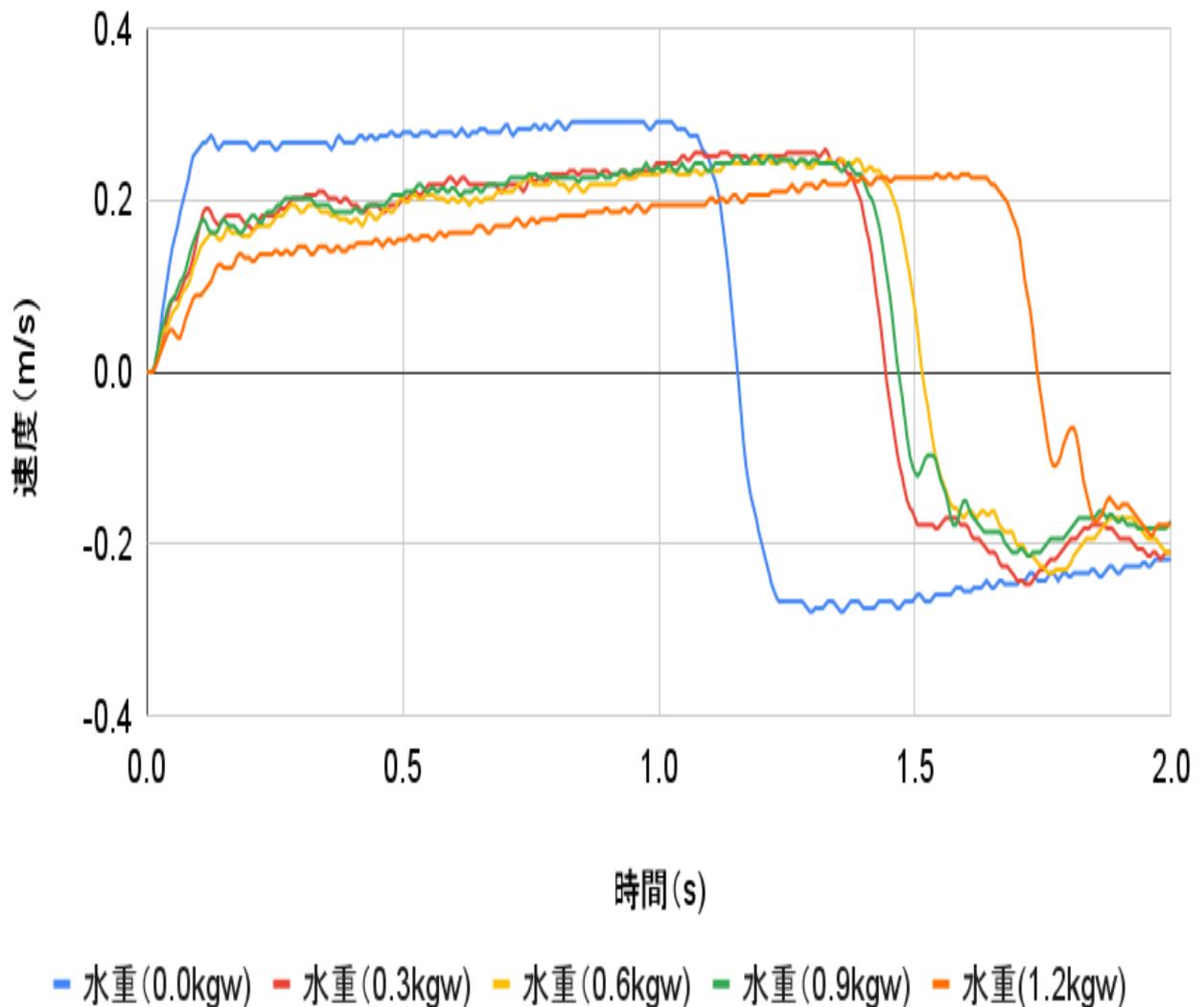


圖 2-1 全隔間水箱在不同水量下的速度時間關係圖

水位比例	0	1/4	2/4	3/4	4/4
速度變化方向(波峰數)	1	1	1	1	1
1 秒瞬時速度 (m/s)	0.29	0.24	0.23	0.24	0.17
1 秒瞬時位置 (m)	0.26	0.16	0.18	0.19	0.10

三、 實驗發現:

在 3/4 水位時 1 秒的瞬時速度最大，位移最大，因為水重，又具有足夠的空間搖晃，造成水體晃動能量大，對車速產生顯著的影響。發現: 半滿水位比 3/4 水位的水體搖晃劇烈，但因為滿水位最重，所以還是最慢停止的。

實驗 2-2 半滿水位下，有隔間與沒有隔間的車速變化

一、 實驗方式:

1. 將八角水箱運水車(PASCO 滑車)放在軌道上，使用按**柱塞彈簧 1 格**(4.1N)使車子向右移動 0.3m。
2. 分別觀察有隔間的水箱和沒有隔間的水箱，撞擊後液面的晃動情形。
3. 使用 PASCO 滑車上的速度感測器紀錄車速變化。
4. 使用 ipad 慢動作攝影，紀錄水體搖晃情形。
5. 計算車速變化圖的波峰數量。

二、 實驗結果:

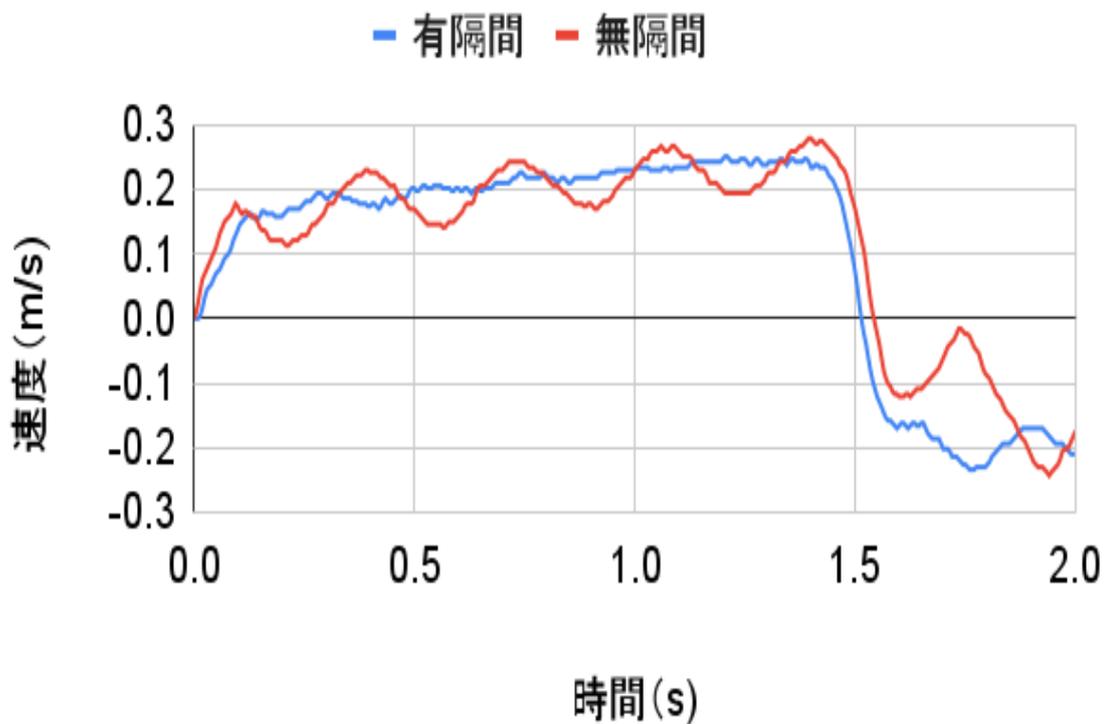


圖 2-2 八角水箱有隔間和無隔間在半水量下的速度時間關係圖

三、 實驗發現:

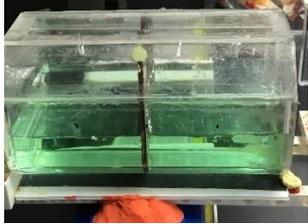
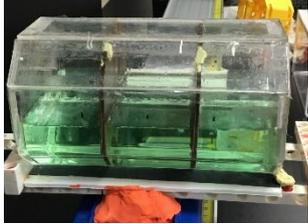
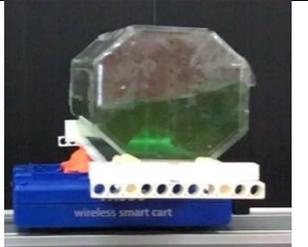
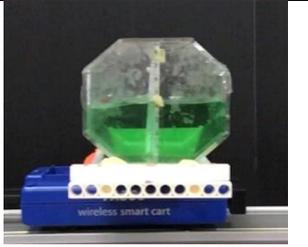
1. 有隔間的水箱在半滿的水量下，也可以維持速度穩定性。
2. 沒有隔間的水箱，搖晃劇烈，車速變化大。
3. 根據圖 2-2 沒有隔間的水箱，車速變化波峰數是 5。
4. 有隔間的水箱，車速幾乎維持穩定沒有變化。

實驗 2-3 半滿水位下，橫格與縱隔的的車速變化

一、 實驗方式:

1. 將八角水箱運水車(PASCO 滑車)放在軌道上，使用按柱塞彈簧 1 格(4.1N)使車子向右移動 0.3m。
2. 分別觀察橫分 2 格水箱、橫分 3 格水箱和縱分 2 格的水箱，側面撞擊後液面的晃動情形。
3. 使用 PASCO 滑車上的速度感測器紀錄車速變化。
4. 使用 ipad 慢動作攝影，紀錄水體搖晃情形。
5. 計算車速變化圖的波峰數量。

二、 實驗結果:

水箱隔間數量	橫分 2 格	橫分 3 格	縱分 2 格
水箱隔間設計			
水體晃動情形			
液面上升高度(m)	0.05	0.048	0.005

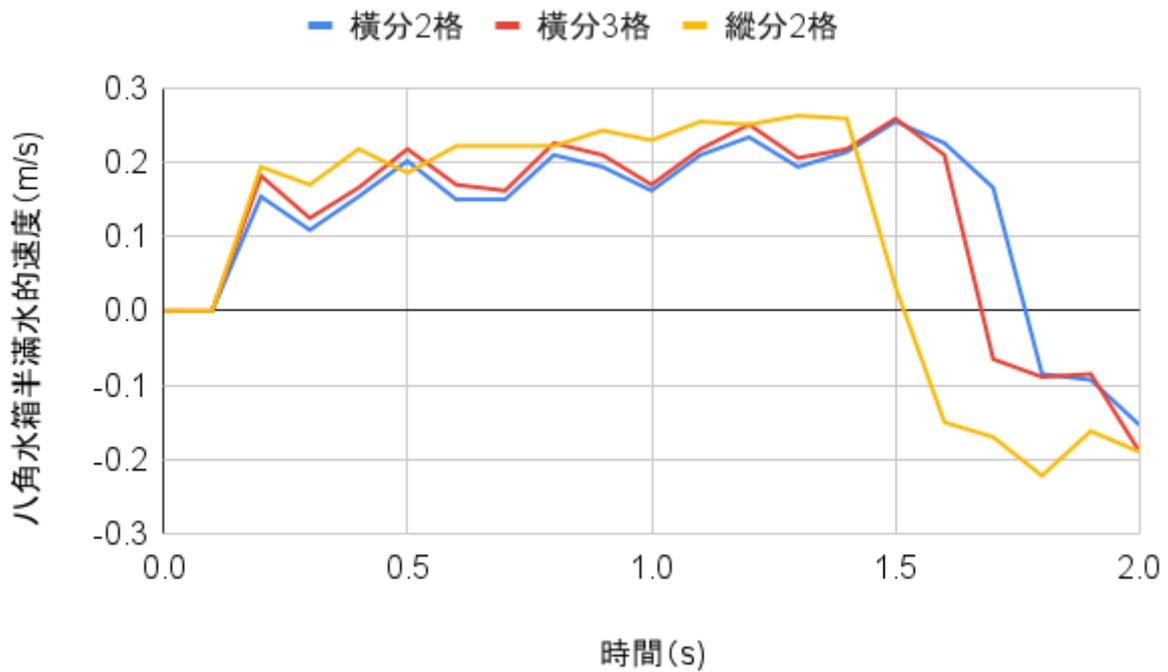


圖 2-3 八角水箱有隔間和無隔間在半水量下的速度時間關係圖

三、實驗發現:

1. 從表 2-3 可以發現縱分 2 格的水箱設計，可以使液面維持穩定，液面上升只有 0.005m。
2. 側向撞擊時，從圖 2-3 看到縱分 2 格的水箱在半滿的水量下，可以維持速度穩定性。
3. 橫分 2 格和橫分 3 格的水箱，在側向撞擊時，沒有顯著差異。
4. 撞擊後停下來速度由快而慢，一次為縱分 2 格、橫分 3 格、橫分 2 格。

實驗 2-4 半滿水位下(0.6kgw)，六角形水箱與八角形水箱的的車速變化

一、 實驗方式:

1. 將六角水車和八角水車皆用油土配重為 0.7kgw，在分別倒入 0.6kgw 的水量，用按柱塞彈簧 1 格(4.1N)使車子向右移動 0.3m。
2. 分別觀察六角形水箱和八角形水箱，撞擊後液面的晃動情形。
3. 使用 PASCO 滑車上的速度感測器紀錄車速變化。
4. 使用 ipad 慢動作攝影，紀錄水體搖晃情形。
5. 計算車速變化圖的波峰數量。

二、 實驗結果:

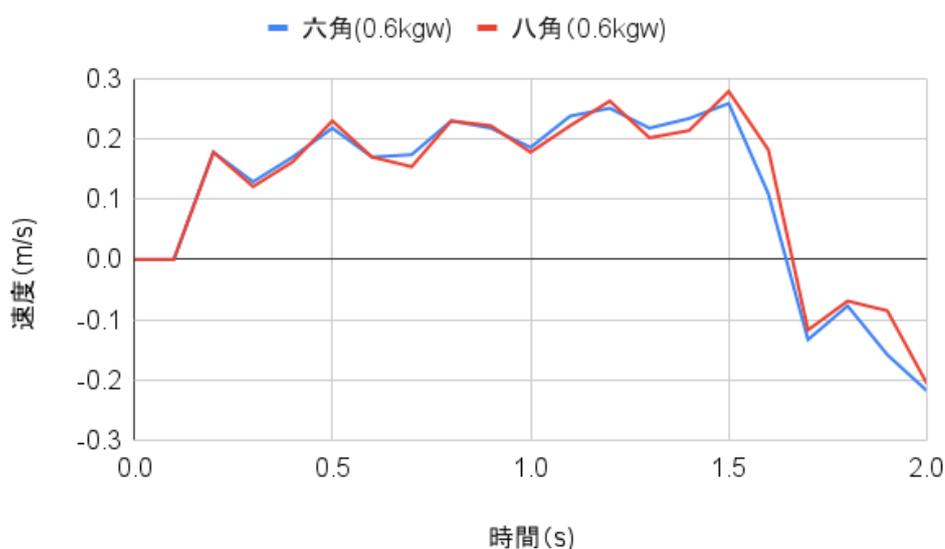


圖 2-4 六角水箱案八角水箱在半水量下的速度時間關係圖

水箱形狀	六角形水箱	八角形水箱
速度變化方向(波峰數)	5	5
1 秒瞬時速度 (m/s)	0.23	0.23

三、 實驗發現:

在相同車重下，半滿水位(0.6kgw)的六角水箱與八角水箱，車速變化沒有顯著差異。

實驗 2-5 超過滿水位下(0.9kgw)，六角形水箱與八角形水箱的的車速變化

一、 實驗方式:

1. 將六角水車和八角水車皆用油土配重為 0.7kgw，在分別倒入 0.9kgw 的水量，用按柱塞彈簧 1 格(4.1N)使車子向右移動 0.3m。
2. 分別觀察六角形水箱和八角形水箱，撞擊後液面的晃動情形。
3. 使用 PASCO 滑車上的速度感測器紀錄車速變化。

二、 實驗結果:

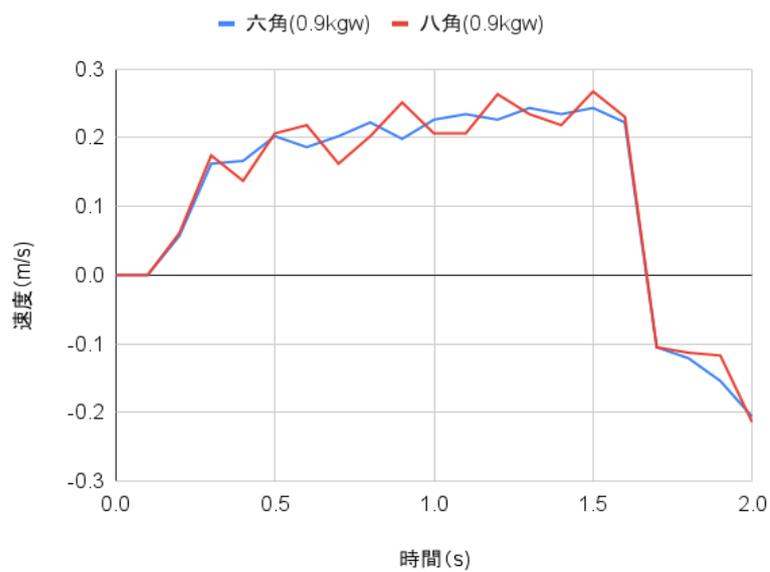


圖 2-5 六角水箱案八角水箱在水量(0.9kgw)下的速度時間關

表 2-5 六角水箱與八角水箱在水量(0.9kgw)下的液面晃動分析		
水箱形狀	六角形水箱 	八角形水箱 
速度變化方向(波峰數)	5	6

三、 實驗發現:

在相同車重下，超過半滿水位(0.9kgw)的六角水箱與八角水箱，六角水箱車速變化明顯趨緩。八角柱的車速變化波峰數較多，因為液面與箱壁接觸面夾角 90 度，水體搖晃較大。六角柱的車速變化波峰數較少，因為液面與箱壁接觸面夾角 120 度，水體搖晃較小。

研究三、探討水體質心偏移情形。

水體形狀會受到水箱形狀影響，透過傾斜測試，哪一種形狀的水箱比較不容易翻覆？

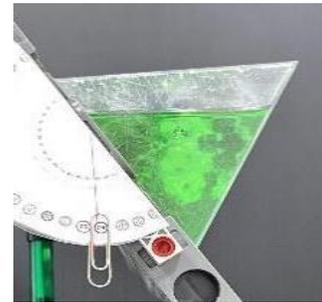
實驗 3-1 水箱形狀與可以承受的最大翻覆角度。(側向)

假設:重心越低，可以承受的最大翻覆角度越大。

操縱變因：水箱形狀

控制變因：0.25kgw 水量、擺放相同位置。

應變變因：可以承受的最大翻覆角度



一、 研究方法:

1. 將運水車放在擋板的地方，調整角度檢測器。
2. 分別使用圓柱體、三角柱體、四角柱體、五角柱體、六角柱體的水箱。
3. 調整自製角度檢測器的角度，記錄水箱脫離自製角度檢測器的角度。

二、 研究結果

表 3-1 不同形狀的水箱可承受的最大翻覆角度

水箱形狀	3 角柱	4 角柱	5 角柱	6 角柱	圓柱體
側向撞擊時 水體形狀					
水位高度 (cm)	3.4	2.7	3.9	3.9	3.7
最大翻覆角 度	59°	48°	40°	35°	30°

三、 研究發現:

1. 在 0.25gw 水量下，三角柱可以承受 59 度的傾斜角而不會翻覆，圓柱體傾斜超過 30 度就會翻覆。
2. 可以承受最大翻覆角度依次為:三角柱>四角柱>五角柱>六角柱>圓柱體。

因為改裝運水車社老闆提到八角形水箱行駛起來較穩，裡面的水體晃動較不明顯。因此，訂製八角形壓克力水箱，測試不同水量下，八角形水箱可以承受的最大翻覆角度。

實驗 3-2 八角形水箱水重與可以承受的最大翻覆角度的關係。(側向力)

操縱變因：水重(0kgw、3kgw、0.6kgw、0.9kgw、1.2kgw)

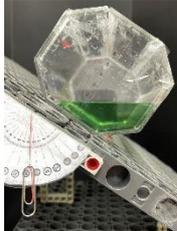
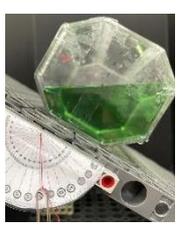
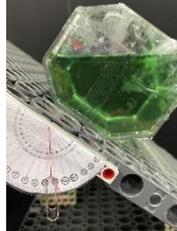
控制變因：水箱、擺放相同位置

應變變因：最大可以承受的翻覆角度

一、 實驗方式:

1. 將八角形水箱放在擋板的地方，調整自製角度檢測器。
2. 分別將水箱裝水到 0kgw、0.3kgw、0.6kgw、0.9kgw、1.2kgw。
3. 調整自製角度檢測器的角度，記錄水箱可以承受脫離自製角度檢測器的最大角度。

二、 實驗結果

水位比例	0	1/4	2/4	3/4	4/4
水重量(kgw)	0	0.3	0.6	0.9	1.2
平面側向撞擊時翻覆的水體形狀					
最大翻覆角度	39°	36°	35°	36°	37°

三、 實驗發現:

1. 0.6kgw 的水加八角形水箱重量，只可以承受 35 度，超過 35 度就會有側翻的可能。
2. 0.3kgw 和 0.9kgw 都能承受 36 度的傾斜角而不會翻車。
3. 空箱時，可以承受 39 度的傾斜角而不會翻發生側翻。
4. 八角形水箱側向撞擊時，可以承受最大翻覆角度依次為:
空箱(0kgw>1.2kgw>0.3kgw(0.9kgw)>0.6kgw)
5. 2/4 水位因為有一半是水，容易翻倒，3/4 也可以想成一個 1/4 和一個 2/4，1/4 可以支撐另外一半，所以 1/4 和 3/4 得承受角度才會一樣。

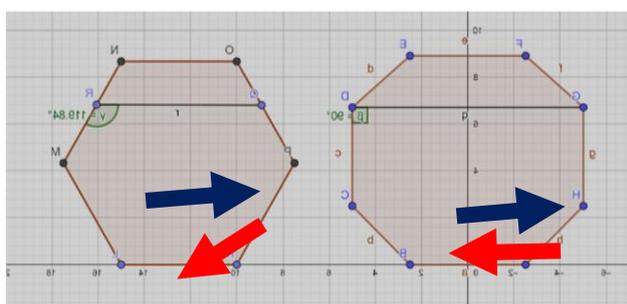
伍、討論

- 一、研究一，空車及滿水位時，液面始終平穩，水體越重，越不容易減速。滿水位時，車體比較不會搖晃。觀察車子的速度逐漸增加，而水箱中的液面是平穩的，直到運水車遇到擋板後，液面開始前後搖擺造成車速跟著產生變化。**鋸齒狀的斜直線，代表水的晃動影響車速變化。**撞擊到擋板時，水體向前傾，就像海嘯一樣，此時的滑車會向後方移動。車速減弱，形成鋸齒狀震盪。
- 二、牛頓第二運動定律 $F=Ma$ ，其中 M 為物體質量， a 為物體加速度， F 為物體所受的力。運水車撞擊障礙物後，水體會前後搖晃，就像公車剎車時，車上的人因為慣性而向前傾，在車上的人看來像是有一股力量將他們向前推，即為慣性力。**車速越大，愈不容易停下來，越容易翻車。**
- 三、研究二，有隔間的水箱，越不容易搖晃，分析撞擊後的波峰速變化。如下表:

水位比例	0	1/4	2/4	3/4	4/4
無隔間 速度變化方向數(波峰數)	1	4	5	5	1
有隔間 速度變化方向(波峰數)	1	1	1	1	1

有隔間的水箱，水的晃動較不明顯，撞擊後的波峰數也較少；而沒有隔間的水箱，水明顯劇烈搖晃，撞擊後的波峰數較多。水箱隔間可以減緩水體搖晃的衝擊力。因為分隔後的水體重量減少，撞擊力也減弱。

八角柱水箱在 0.9kgw 時，水體搖晃較大。六角柱水體搖晃較小，推測因為液面與箱壁接觸面夾角 120 度，水體搖晃較小。



- 四、研究三，在 250gw 的水量下，實驗 3-1，可以承受最大翻覆角度依次為:三角柱>四角柱>五角柱>六角柱>圓柱。實驗 3-2，側向模擬時，長形八角柱水箱在半滿水位(0.6kgw)時，也是最容易傾倒，超過 35 度就會產生側翻。

陸、結論

- 一、流體的晃動會讓質心位置發生改變，所以當運水車在行駛的過程中，會造成水體晃動，造成質心位置短暫偏離，而造成質心偏離中心位置，使運水車翻覆。如果今天是固體或是空車，質心位置就會固定。本研究發現運水車要避免質心偏離原本位置太遠，就可以減少翻覆的機會。**裝滿水的運水車比較不會搖晃**，可以避免質心偏離中心。
- 二、當水忽左又忽右或是忽前或忽後、會造成短時間質心偏離中心位置，而產生一個轉動方向，造成翻覆；減少質心偏離中心的位置，避免運水車因為水體晃動，造成質心不穩而翻覆。
- 三、運水車遇到來自側方向的受力，容易產生一個力矩，造成運水車側向翻覆。在側向力實驗中，觀察三角柱的水箱，半滿水時**水體形狀呈現正梯形**，上方水面短，下方水面長，**液面不容易晃動，車速較為穩定，不易翻車**。
- 四、運水車的車重固定，水位高度增加，車子的重心也會跟著提高，當車身重心高，轉動力矩大，會比較容易釀成翻車意外。尤其是運水車在行駛的過程中，水會因為車子的行進速度改變而產生搖晃，水的搖晃大小，也會影響車輛行駛的穩定度。質量分佈不均勻的物體，重心的位置除跟物體的形狀有關外，還跟物體內質量的分佈有關。運水車的重心隨著裝水多少和裝載位置(坡度)而變化。如果物體有一個固定的支點，則在靜力平衡的條件下，重心必須落在支點的下方（亦即重心比較低的平衡態）才會穩定。「如果任由水體偏到重心的一側，結果它必然以等幅度擺回另一側」。可以承受最大翻覆角度依次為:**三角柱>四角柱>五角柱>六角柱>圓柱體**，也就是三角柱最不容易翻車。
- 五、綜合本實驗成果:因為水會隨著水箱形狀而改變，加上裝滿水比較不會晃動的情形下設計，正梯形水箱是重心比較低，又比三角柱水箱能裝更多水的選擇。
- 六、因為運水車或是消防車都屬於特種車，無論是停在平地或斜坡上，都應該打 P 檔和拉手煞車，且把前輪轉向，並使用硬橡膠塊等制式輪檔，防止滑動。因為我們在實驗中的小型模型運水車都會使用橡皮擦作為輪檔，發現輪檔真的很重要。
- 七、車速過快，轉彎時所需的向心力較大，此時摩擦力無法產生相對應的向心力，就會造成翻車。
- 八、為了讓運水車在行駛中不會因為水體搖晃而影響車速變化，建議在設計水箱時，就應以滿水位重心低的方向設計；依據水箱長度加上隔板，可以減少水體

大面積晃動；水箱形狀可以設計成上窄下寬的正梯形，重心低，水在晃動時，因為上窄下寬的設計，當水因搖晃而碰壁時，會產生偏下方的力，而減少晃動；如果水撞擊壁面方向是垂直 90 度，則會產生與壁面垂直反向的力。

九、目前路上看到的運水車多半是圓桶型及方橢圓型，甚少看到八角桶型，依據運水車改裝老闆的說法，八角桶型比較難製作。我們也建議了正梯形水箱給老闆參考，這又會牽扯到運水量的問題，消費者希望能減少運輸次數，就會希望增加運水量，所以路上看到的運水車又可以分成標準桶，及不是標準桶兩類。如果是標準桶的水箱，裝到滿也不會有超重的問題。我們看到翻覆的運水車多半是因為超速及超重造成的。

十、在附件一的實驗 A 中，正三角柱水箱雖然重心低，但是，運水量明顯比正四角柱少很多；而梯形水箱應該也會面臨運水量比正四角柱水量少的問題，建議可以將正梯形水箱設計使用在需要上下陡坡的路段，增加行駛的安全性。

十一、建議:具有駕駛運水車執照的司機，要能熟悉慣

性，並熟知突發狀況的因應之道，保持安全距離。車子要定期保養煞車系統，再次確認水車裝水程度，平常開車，感受慣性狀態是否異於平常，也可能水量容易晃動，因為車子重，速度快起來是很難慢下來的，

所以要保持好安全距離。加上水重心容易改變，行駛中的運水車避免輕易改變方向，否則水會有沿著切線方向的慣性，容易造成翻覆。



柒、參考文獻資料

1. 宋文熙、江禎基(1975) 全國中小學科展作品，台北市士林國小，貨車顛覆。
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=7121&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=5&sid=7164&print=1>
2. 黃俊銘（1978）屏東仁愛國民小學 碰！看誰贏（影響物體碰撞反應的變因）
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/19/pdf/19s/028.pdf>
3. 簡麗賢 2010/12/18 如何學好中學物理。天下遠見出版社。
4. 田翊辰第 56 屆全國中小學科展作品，台南市建興國中，杯中液的濺與不濺。

附件 1 斜坡實驗(未來可以深入研究斜坡行駛的車速狀態)

實驗 A、正三角柱和正四角柱水體晃動對車速變化的影響。

操縱變因：水箱形狀(正三角柱、正四角柱)

控制變因：坡度角 2 度，半滿水量，(水+水箱)重量都是 0.57kgw，距離 0.6m。

應變變因：車速變化

(1) 研究方法:

1. 在 PASCO 1.2 公尺滑車軌道上加裝擋板，每次實驗固定距離 0.6m。
2. 分別將正四角柱水箱與正三角柱水箱裝半滿水量，使用砝碼配重，讓三角柱水箱和四角柱水箱都是 0.57kgw，裝在 PASCO 滑車上放在坡度角 2 度的軌道上。
3. 移開橡皮擦擋板讓車體移動。
4. 使用軟體記錄車子從移動後再到靜止時的車速變化與水的搖晃情形。

(2) 研究結果

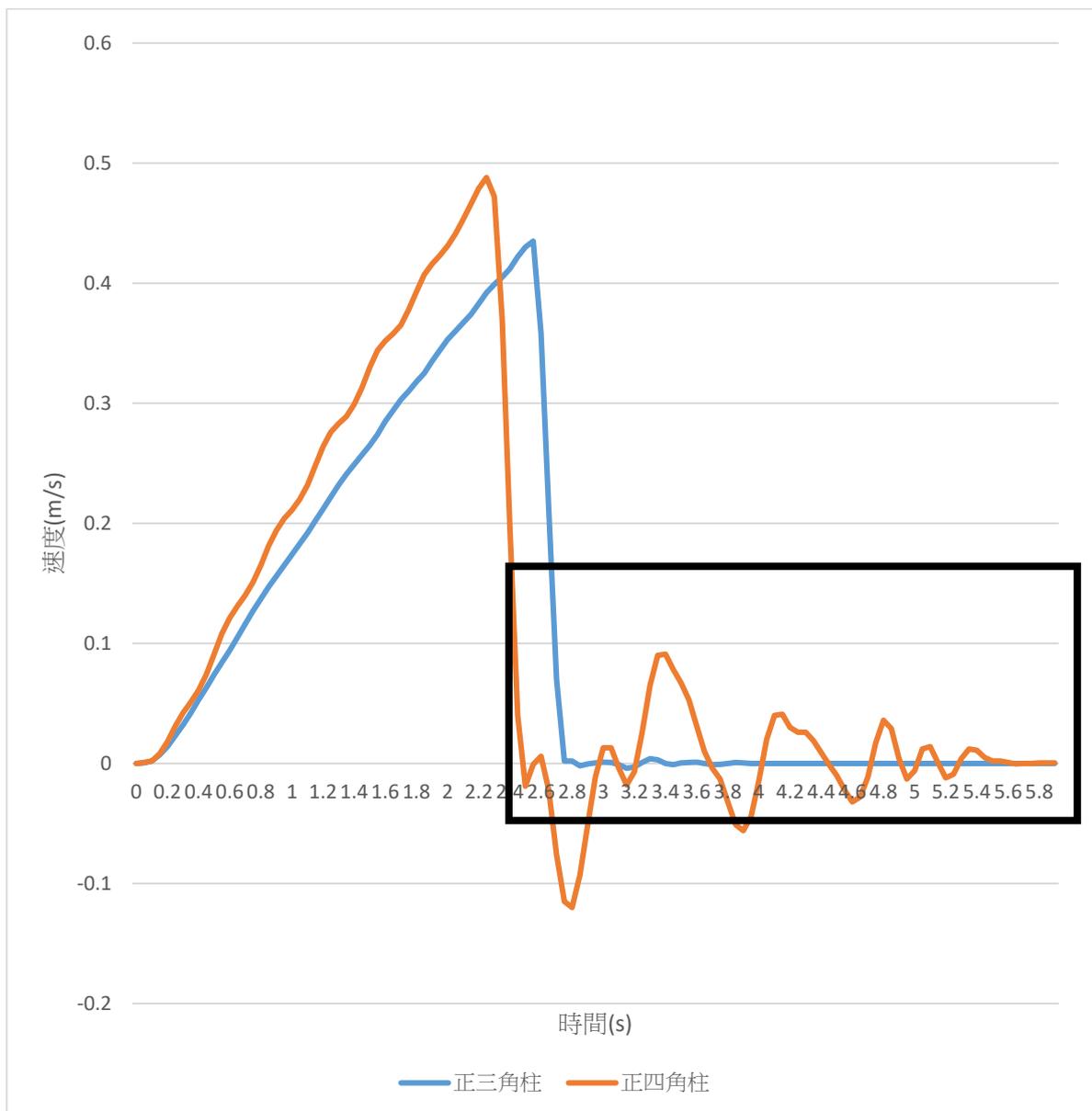


圖 A、正四角柱與正三角柱的車速變化

表 A、正四角柱與正三角柱的水體搖晃情形		
水箱形狀	正三角柱	正四角柱
撞擊前的水體形狀		
撞擊瞬間的水體形狀		
速度變化波峰數(個)	0	3

(3) 研究發現

圖 A 正四角柱搖晃時間比正三角柱久。

1. 表 A 正四角柱的速度變化有 3 波峰，比正三角柱的速度變化波峰數多。
2. 撞擊瞬間的正四角柱水體形狀是向後，三角柱的水體形狀因為遇到頂角而向下墜落。

實驗 B、梯形水箱正梯形和倒梯形，碰撞後的車速變化

操縱變因：(正梯形重心位置低，倒梯形重心位置高)

控制變因：坡度角 2 度，水量 0.75kgw，同一個梯形水箱

應變變因：車速變化

(1) 研究方法:

1. 將運水車放在距離擋板 0.6m 的地方，坡度角 2 度釋放。
2. 使用同一個梯形水箱，水量 0.75kgw。分別擺放正梯形與倒梯形。
3. 使用 SPARKvue 軟體，測量運水車從開始到靜止的車速變化。

(2) 研究結果:

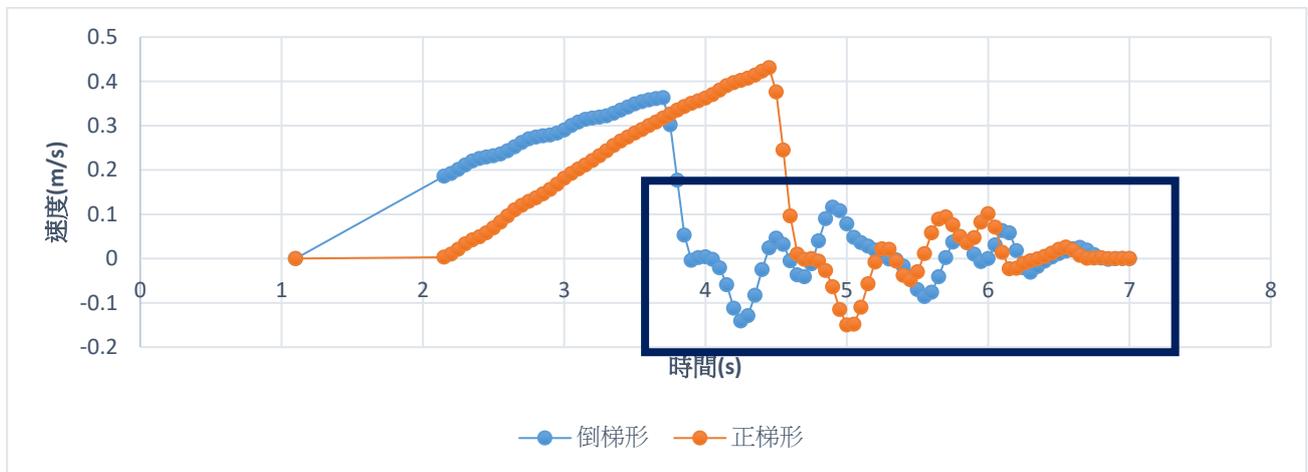


圖 B、正梯形和倒梯形水箱車速變化

表 B、在 3/4 水位下，0.75kgw，坡度角 2 度，在隔間數下對車速變化的影響

水體形狀	 倒梯形	 正梯形
平均搖晃時間(s)	7.75	6.85
速度變化波峰數(個)	5	4

(3) 研究發現:

1. 同一個梯形水箱，正梯形的水體平均搖晃時間短，最大車速較高。
2. 都是梯形水箱，正梯形水面與箱壁接觸面夾角 105 度，撞擊後的速度變化圖是 4 個波峰；倒梯形水面與箱壁接觸面夾角 75 度，撞擊後的速度變化圖是 5 個波峰。

捌、心得感想

A 組員:

這次的物理科展，我學到了運水車的目的以及它常常翻覆的原因。我發現其實水箱的形狀會影響到搖晃時間與速度。第一次接觸到 PASCO 無線藍牙智慧滑車和 SPARKvue 軟體，真的非常有趣。我希望這些結果對未來的載水車交通安全有幫助，讓運水車司機能安全的工作，安全的回家。

B 組員:

一開始認為運水車翻車的主要因素是坡度太陡，車速太快，轉彎時容易翻車，因此，利用智高積木組裝車架和斜坡檢示器時，不斷的遭遇失敗，重新設計、拆解、重組。還發現在半滿水的情況下，六角形水箱和八角形水箱，對車速變化沒有顯著差異，但是在高於半滿水位時，六角形的車速明顯比八角形穩定，感覺十分新奇。

C 組員:

看到運水車翻覆的新聞，想嘗試模擬翻車的因素，因此，帶來家中的玩具載貨車模型，並且利用智高積木組裝運水車的車架，為了符合軌道寬度與水箱大小，試了很多造型，在訂製八角形壓克力水箱的過程中，才知道原來水箱寬度不能低於 10 公分，是因為要避免水箱漏水，必須使用手工膠合，如果口徑太小，手無法伸進去，所以，我們的八角及六角水箱只能使用封合半邊的方式。

D 組員:

研究如何讓運水車行駛更穩定後，讓我開始對生活中的一些小事，產生了興趣和好奇心，發現了運水車水箱如果底面積大，重心低，隔間數多車速會比較穩。運水車司機在考駕照的時候，應該也要知道，水體晃動會對車速產生影響，所以應該盡量避免緊急轉彎，才不會因為水體流動的慣性，造成翻車意外。科展研究讓我收穫滿滿，也創造了美好的回憶。

E 組員:

我對「運水車翻覆事件」感到好奇，為什麼運水車多半翻覆在上下坡的路段中。在觀察運水車上方透明水箱內的水時發現，下坡時，水會向前傾，如果又遇到轉彎，則會造成運水車翻覆。所以，要盡量避免只裝一半的水，因為水搖晃太厲害，會很不穩定，容易翻車。

F 組員:

一開始我覺得運水車翻車原因很單純，就是車速太快，做過實驗後知道，翻車是因為行駛過程中，產生側邊擦撞，撞向邊坡，轉彎失控等因素。空車時速度很快，也很快停下來了。半滿水位時，速度比較慢，搖晃的時間久，因為我觀察到運水車撞擊之後，水晃動時，運水車會有向後走的情形。科展真的很好玩，讓人印象深刻，我也學到好多東西。

【評語】 080119

本作品探討在不同水量、水箱有無隔間、不同形狀水箱的水車速度與時間的關係，在實驗設計變因的控制也相當完整。採用軟體觀察水面動態的運動模式，來判斷水車重心偏移程度與安全性，據此提出實用參考價值，雖然真實的運水車和作者們的實驗裝置有相當大的差距，但還是給予肯定是件不錯的國小作品。

作品簡報



水箱滿·隔·形

探討運水車翻覆因素

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：水箱【滿】【隔】【形】~探討運水車翻覆因素

關 鍵 詞：車速變化、水箱隔間、質心

壹、研究動機

運水車裝滿水會比較安全嗎？

要如何減少水體單壓在一側的翻車風險？

水箱形狀會影響水體的晃動嗎？

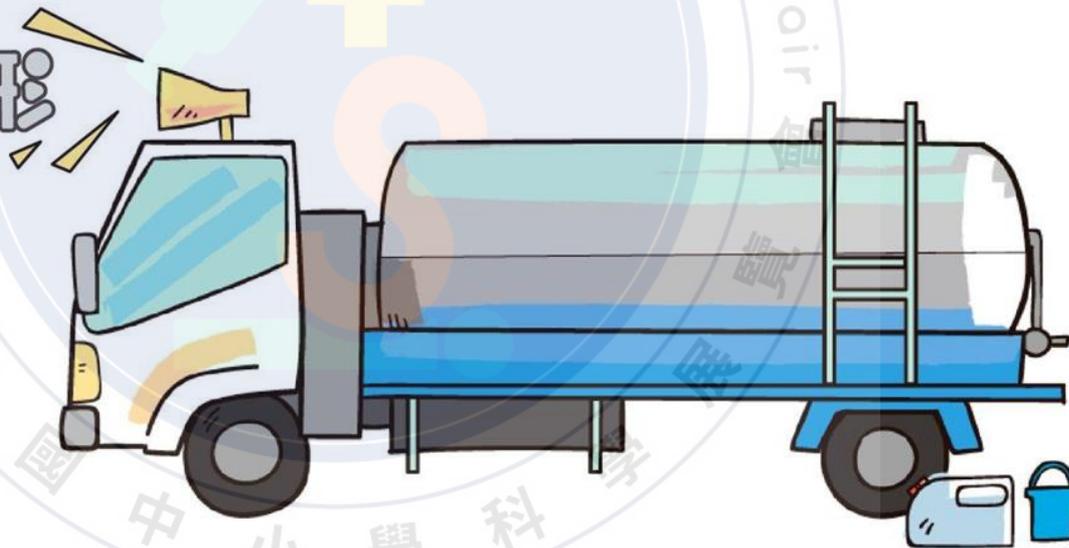
貳、研究目的

(一) 探討水體晃動對車速變化的影響。

(二) 探討水箱設計對車速變化的影響。

(三) 探討水體質心偏移情形。

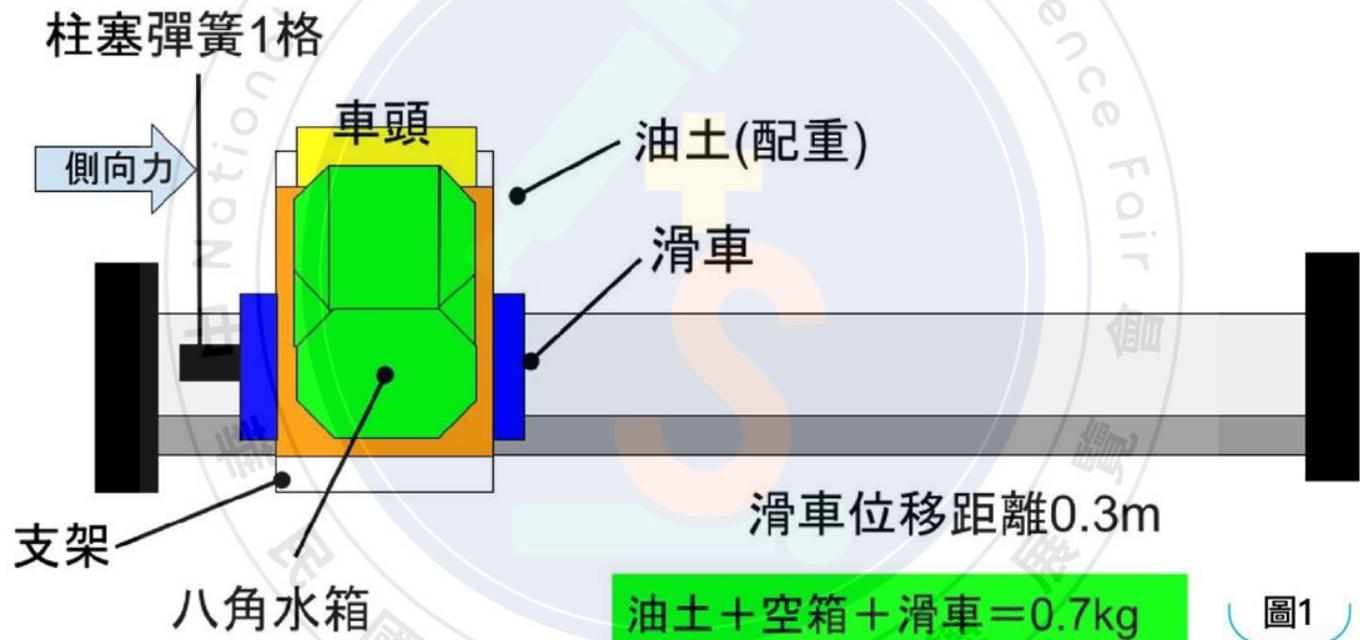
水箱滿·隔·形



參、研究架構圖

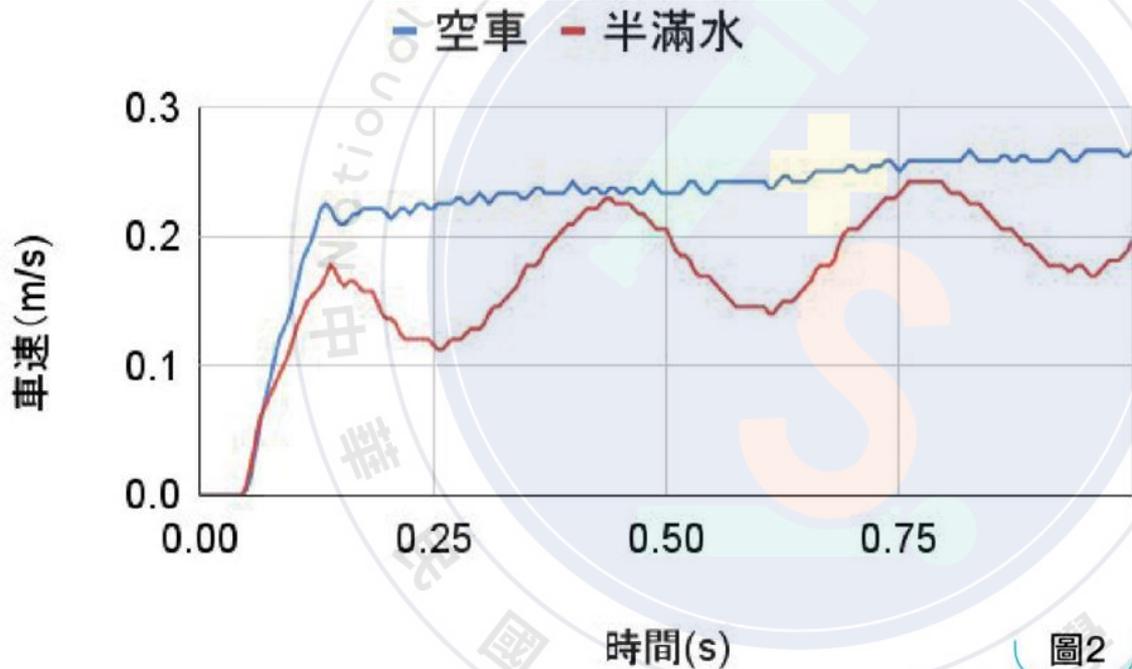


肆、研究過程與方法



伍、研究結果

研究一、探討水體晃動對車速變化影響



實驗1-3 八角水箱不同水位比例的車速變化

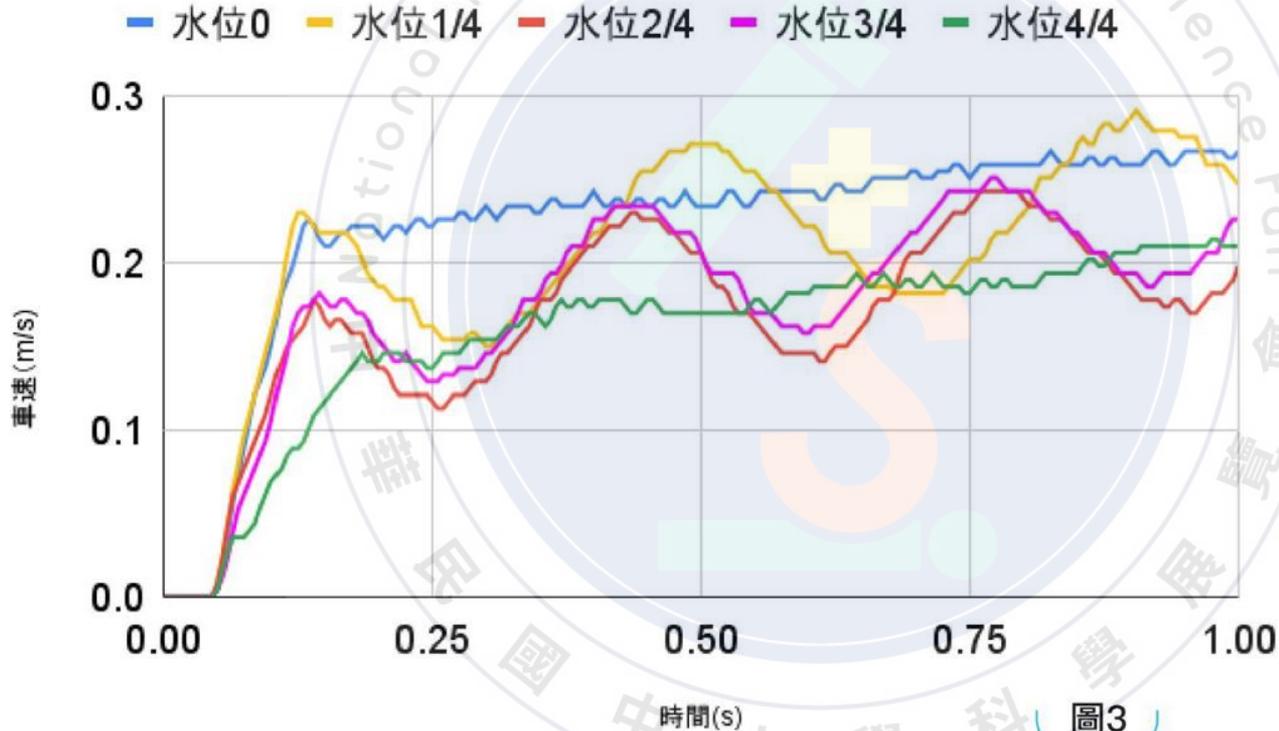
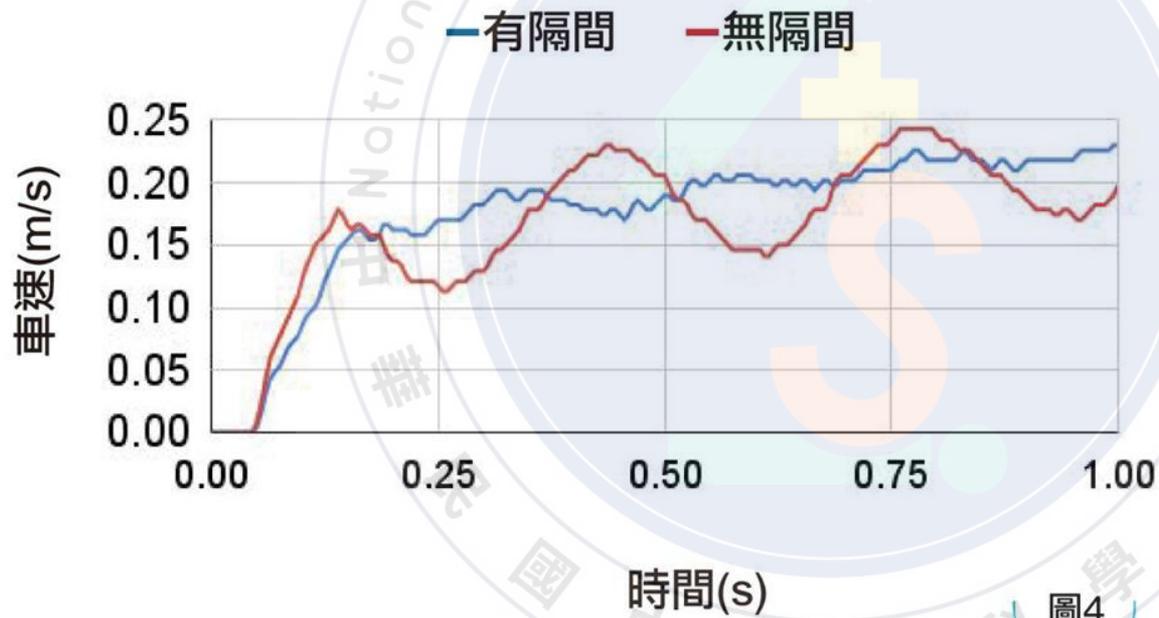


圖3



研究二、探討水箱設計對車速變化的影響

實驗2-2 有隔間與無隔間的車速變化



有隔間



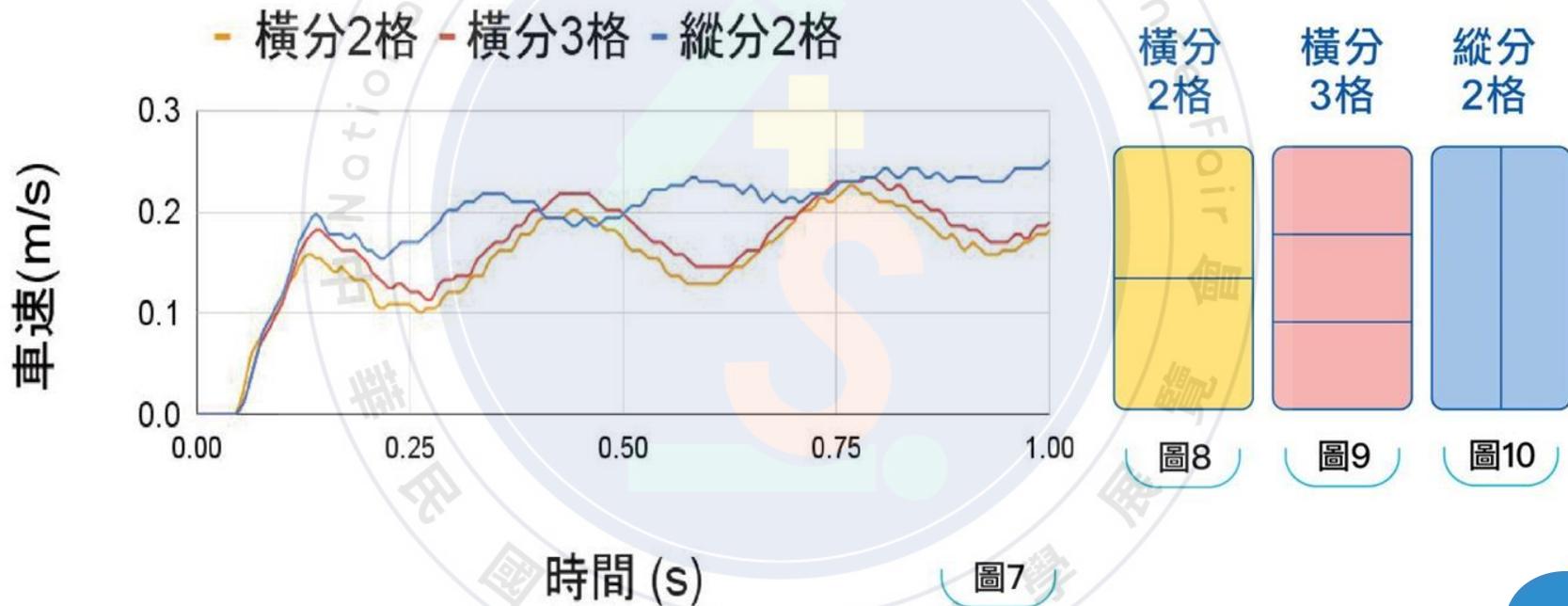
圖5

無隔間



圖6

實驗2-3 水重0.6kg，隔間設計對車速變化影響。



實驗2-4 水重(0.6kg)下，水箱形狀對車速變化影響。

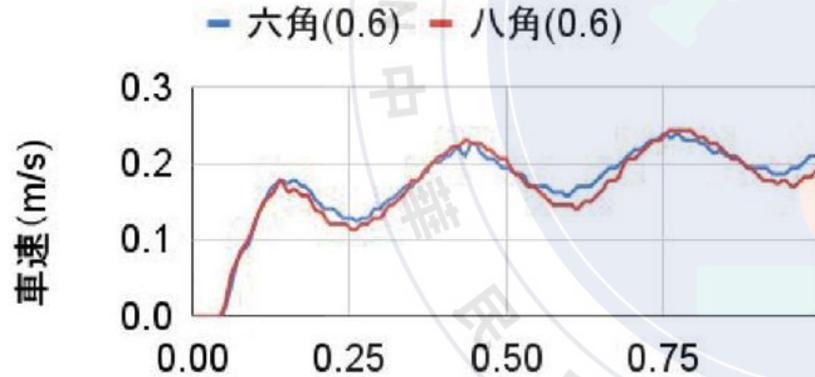


圖11

時間 (s)

實驗2-5 水重(0.9kg)下，水箱形狀對車速變化影響。

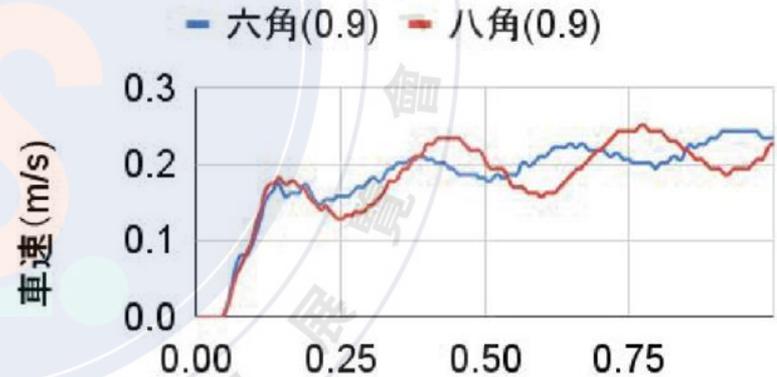
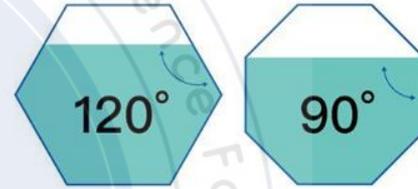


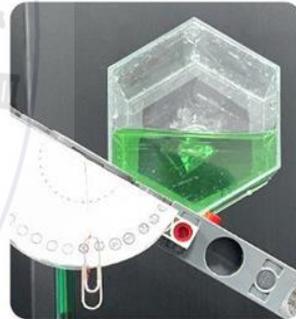
圖12

時間 (s)

研究三、探討水體質心偏移情形

實驗3-1 水箱形狀與可以承受的最大角度

表1. 不同水箱可以承受的角度

水箱形狀	3角柱	4角柱	5角柱	6角柱
傾斜時 水體形狀				
最大角度	59°	48°	40°	35°

陸、討論

- (一)滿水位時，車體比較不會搖晃。可以避免質心偏離中心位置。
- (二)六角水箱與八角水箱在半滿水位時，兩者車速變化差異不大。
超過半滿水位時，發現八角水箱車速變化明顯大於六角水箱。

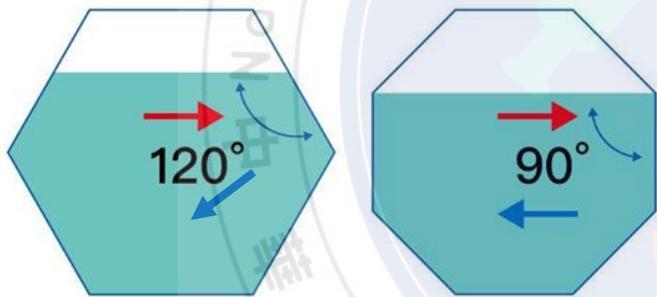


圖13

- (三)水箱隔間方向會影響水體晃動情形。



柒、結論

- (一)轉彎時，車速越快，所需的向心力較大，摩擦力無法產生相對應的向心力，就會造成翻車。
- (二)增加縱向隔間的水箱，可以減少側向力對水體晃動的影響。
- (三)水體形狀呈現正梯形，上方水面短，下方水面長，液面不容易晃動，車速較為穩定，不易翻車。



圖14

捌、參考文獻資料

1. 宋文熙、江禎基(1975) 全國中小學科展作品，台北市士林國小，貨車顛覆。
2. 黃俊銘 (1978) 屏東仁愛國民小學 碰!看誰贏(影響物體碰撞反應的變因)。
3. 簡麗賢2010/12/18如何學好中學物理。天下遠見出版社。
4. 田翊辰第56屆全國中小學科展作品，台南市建興國中，杯中液的濺與不濺。

