

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(三)科

083007

就是砂得住—公路緩速道影響因素探究

學校名稱：澎湖縣馬公市馬公國民小學

作者： 小六 莊詠煊 小六 郭昱彤 小五 張妍晴 小六 鮑品蒨 小六 林侑霆	指導老師： 陳河開 林鈺坤
---	-------------------------

關鍵詞：緩速車道、非牛頓流體、海底淤泥

就是砂得住—公路緩速道影響因素探究

摘要

本研究發想自國外公路減速車道，以降低剎車失靈之大貨車災害，思考能否應用於我國下坡易肇事路段之可行性。研究小組選定砂土顆粒、鋪設厚度、平整程度、車體重量和速度作為變因，並透過模擬實驗來研究這些變因對減速效果的影響。實驗發現，以篩網選定鋪面粗細與鋪設厚度會影響減速效果，不同顆粒大小和鋪設厚度的砂土會影響減速效果，其中細砂與 5 公分厚度的鋪設最有效。此外，海底淤泥和牡蠣殼粉的減速效果較差。實驗還發現，顆粒和鋪設厚度的關係並非線性，且不平整的表面和流動砂床狀態可以增加阻力，提升減速效果。車體重量和初速度也會影響減速效果。根據這些結果，研究小組提出了在台灣下坡路段設置環保型流動砂床減速車道的設計建議。

壹、引起動機

在自然課談到液體傳送動力時，查詢資料時曾獲得「下坡路段容易出交通意外，長時間踩煞車容易因為頻繁地煞車而導致煞車系統的油溫提高，此時若煞車油沸點較低或是已經衰退，便很容易沸騰而產生氣泡，造成煞車失靈」的知識。因此，國際上面積較廣闊的國家，例如美國、巴西、中國大陸…，在某些容易肇事的下坡路段設有車輛緩速道，提供大噸位的貨車在失控時，能夠有效將車子停止，避免重大傷害（示意圖如右圖，截圖自 youtube 影片：透過在道路上建造逃生坡道，避免了近 1,500 起事故，詳見參考文獻）。



經過資料蒐集，發現國外減速道的材質是以圓球狀的砂土，透過貨車重量使輪胎陷入沙質緩衝道增加摩擦力的方式，來達到降速。由於國內也曾發生國道下坡路段，大貨車剎車失靈，駕駛靠著擦撞路肩護欄減速，才沒有釀成大禍的驚險事件。因此，我們想要探究砂土鋪面對於行進間車輛的減速效果，而設計這個實驗，來模擬砂土鋪面做為減速車道路基的減速效果與探討各種影響的因素，進而能提出一個方案，結合海底淤泥、牡蠣殼粉等廢棄物來製作符合我國公路的減速車道。

貳、研究目的

本研究目的有以下五點：

- 一、以模擬方式探討不同粗細的砂土對於緩速車道的效果
- 二、設計實驗探討不同鋪設深度的砂石對於緩速車道的效果
- 三、探討緩速車道的表面非平整與否對於緩速車道的效果
- 四、探討車體重量對於緩速效果的影響
- 五、試圖提出一個我國易肇事路段的剎車失靈防災解決方案

參、研究設計

一、本實驗裝置設計，以遙控車模擬貨車，並設計斜坡道以增加貨車的行進速度，斜坡道連接減速車道，觀察不同狀況下的減速距離。貨車上放置手機，以 phyphox 測量行進時的加速度變化。實驗過程中，遙控車前進的按鈕自車輛開始前進後，至完全停止前，皆按住保持前進，確保動力是因為減速車道而無法繼續往向。實驗裝置如下圖 1。



圖 1 本實驗裝置圖
(註：研究者自行拍攝)

二、本研究操縱之各項實驗說明



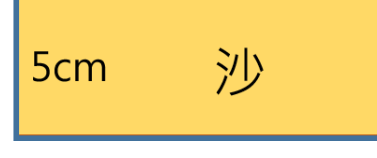
(一)活動 1：不同粗細的砂土緩速效果

說明：蒐集建築用砂土，利用濾網過濾成 3 種不同顆粒大小的砂土（以篩孔尺寸 1.40mm，14 目之規格過濾出大顆粒「粗砂」；以篩孔尺寸 0.425mm。40 目之規格過濾出中等顆粒「中砂」；通過 40 目篩孔的則為小顆粒「細砂」），鋪設於緩速實驗裝置上，觀察車輛在緩速道的減速效果。

<p>粗砂（長寬約 3~4mm） (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>中砂（長寬約 0.8~1mm） (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>細砂(長寬約 0.2~0.3mm) (圖片：研究者自行拍攝)</p>
<p>至堆棄地點挖掘 (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>顆粒敲碎均勻 (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>鋪設量測 (圖片：研究者自行拍攝)</p>
<p>海底淤泥處理應用</p>		




(二)活動 2：不同深度的砂土緩速效果

說明：將活動 1 的 3 種砂土，分別鋪設在緩速實驗置裝上為 1 公分、3 公分及 5 公分厚的鋪面，觀察車輛在緩速道的減速效果。

 <p>1cm 沙 4cm 紙板填充</p>	 <p>3cm 沙 2cm 紙板填充</p>	 <p>5cm 沙</p>
1cm 厚砂土	3cm 厚砂土	5cm 厚砂土




(三)活動 3：表面非平整鋪面對於緩速效果

說明：利用人工氣動的方式，在砂土底部設置管路並鑽出氣口，在車輛到達減速道前，將減速道上的砂土以氣體沖擊方式形成流動的砂床，類似非牛頓流體的行為特性。觀察車輛在流動砂床緩速道的減速效果。

		
<p>平整鋪面 (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>非平整鋪面 (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>沙池鋪面 (圖片：研究者自行拍攝)</p>

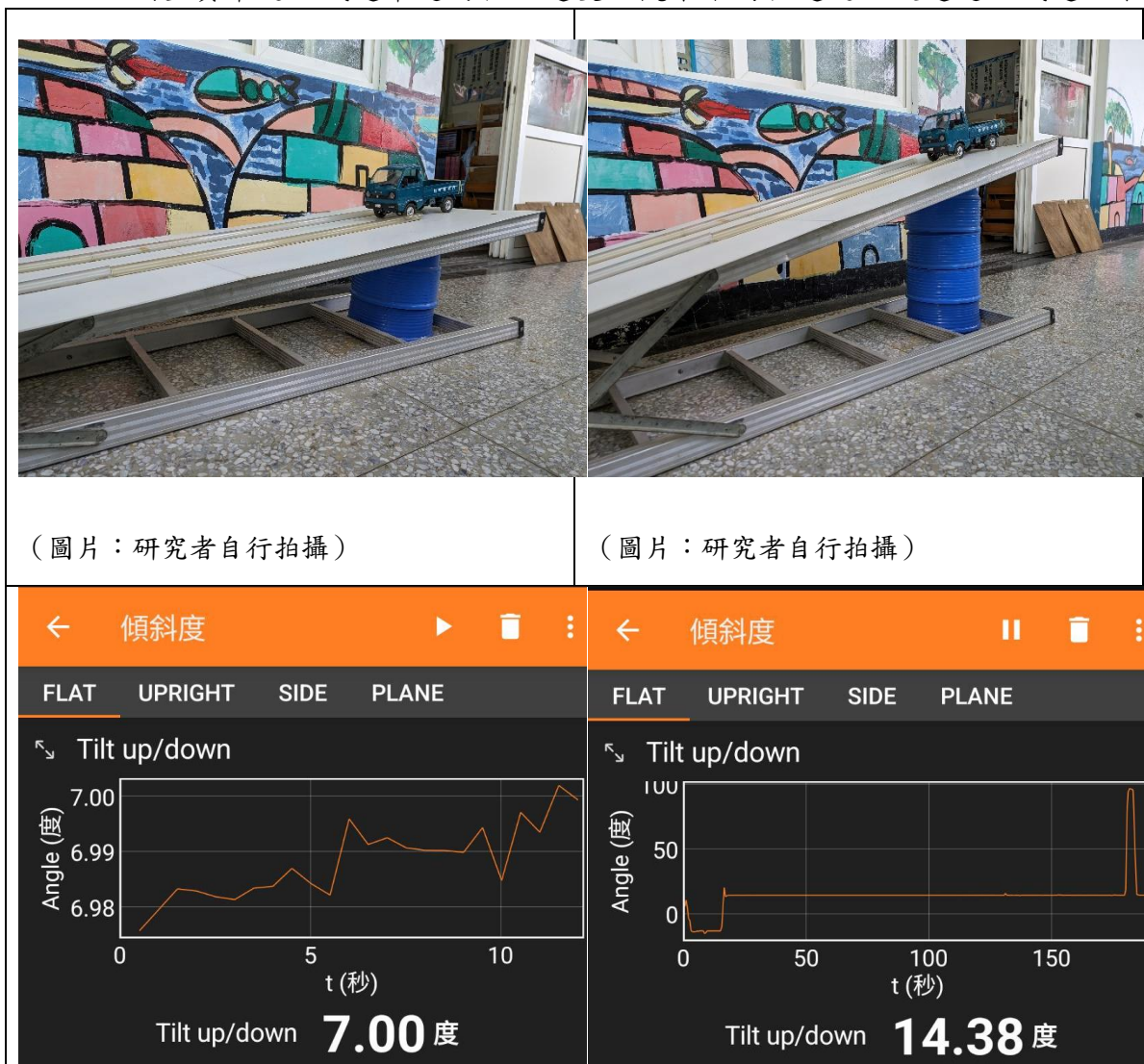
(四)活動 4：探討車體重量對於緩速效果

說明：小組以礦泉水橫放於貨車載貨臺上，觀察模擬貨車載流體貨物時，在緩速道的減速影響。

		
<p>空車 (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>載重 1 (圖片：研究者自行拍攝)</p>	<p>載重 2 (圖片：研究者自行拍攝)</p>


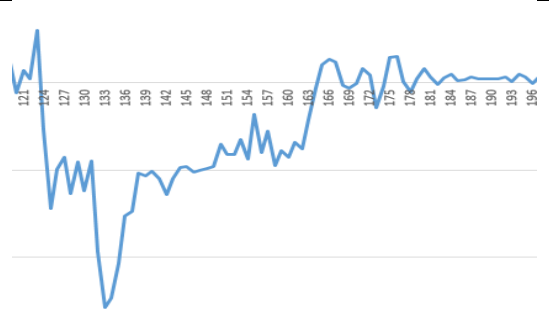

(五)活動 5：不同貨車速度在緩速道之緩速效果

說明：更改貨車移動時的斜坡角度（phyphox 測得傾斜角度為 14.38° 以及 7° ），以調整貨車進入減速車道的初始速度，觀察不同初速進入緩速道之減速效果。



三、實驗結果之記錄與解讀

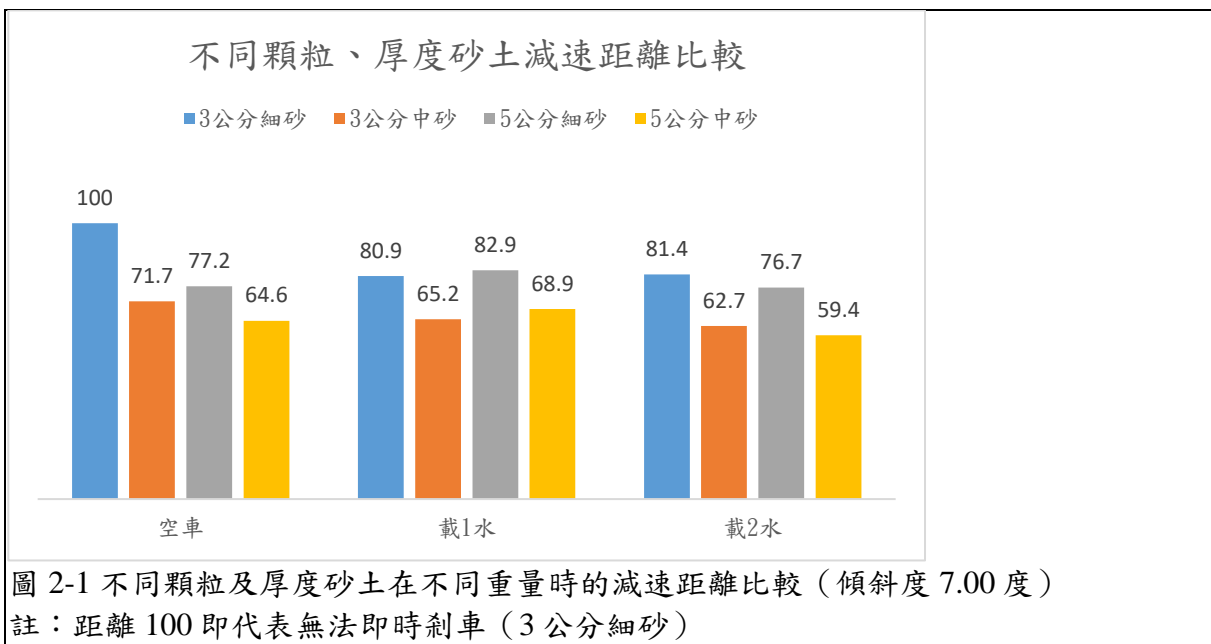
- (一)減速距離：測量車輪進入減速車道後，一直到靜止時的移動距離。
- (二)最大負加速度：利用手機 app「phyphox」線性加速度感測器功能，分析貨車的 y 軸加速度變化情形，找出最大負加速度，用以描述不同砂土的減速變化情形。
- (三)減速時間：觀察加速度變化情形，加速度由正開始驟降至負值，代表進入減速車道，研究小組一直觀察到加速度趨近於 0 的這段時間，用於描述整體減速道的減速時間。
- (四)輪胎陷入深度：計算車輪陷入砂土後的深度，用來描述車輪進入減速道時受到的阻力。

 <p>(圖片：研究者自行拍攝)</p>		 <p>(圖片：研究者自行拍攝)</p>
減速距離 (cm)	最大負加速度(m/t^2)及減速時間 (sec)	輪胎陷入深度(cm)

肆、研究結果

一、不同顆粒大小與不同鋪設厚度砂土形成的減速道之效果

為了方便辨認，本研究利用篩網過濾出三種不同顆粒的砂土，簡稱為細砂、中砂與粗砂，研究小組根據實驗數據，每項實驗都取得 10 次數據，取平均值後，製成圖表來呈現三種砂土的減速效果，如圖 2-1、2-2、3-1、3-2、4-1、4-2、5-1、5-2。



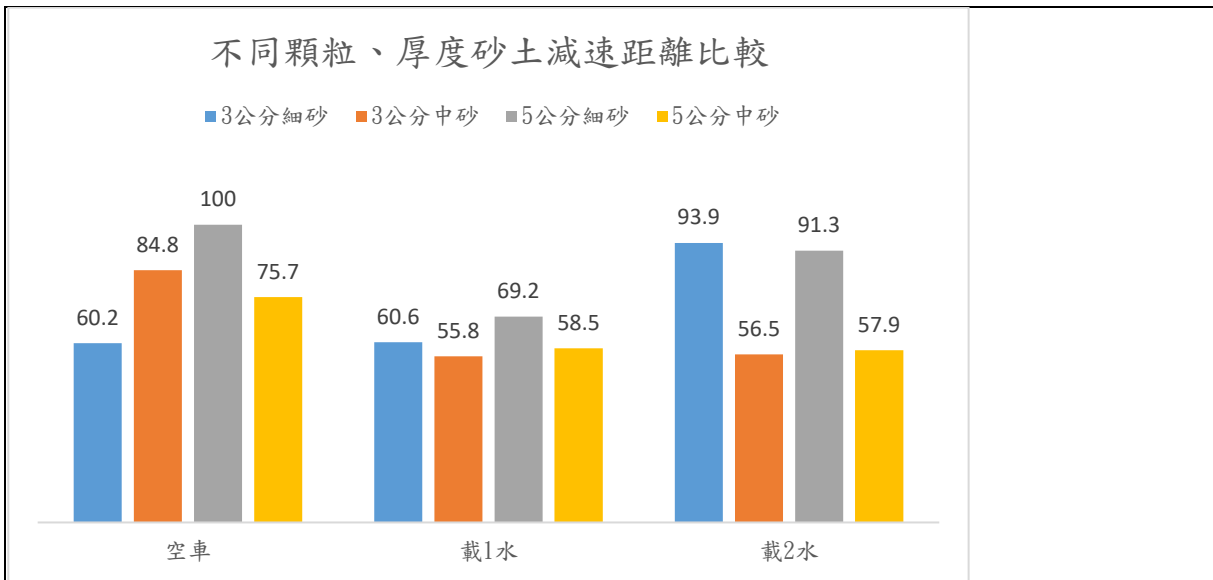


圖 2-2 不同顆粒及厚度砂土在不同重量時的減速距離比較（傾斜度 14.38 度）
 註：距離 100 即代表無法即時剎車（5 公分細砂）

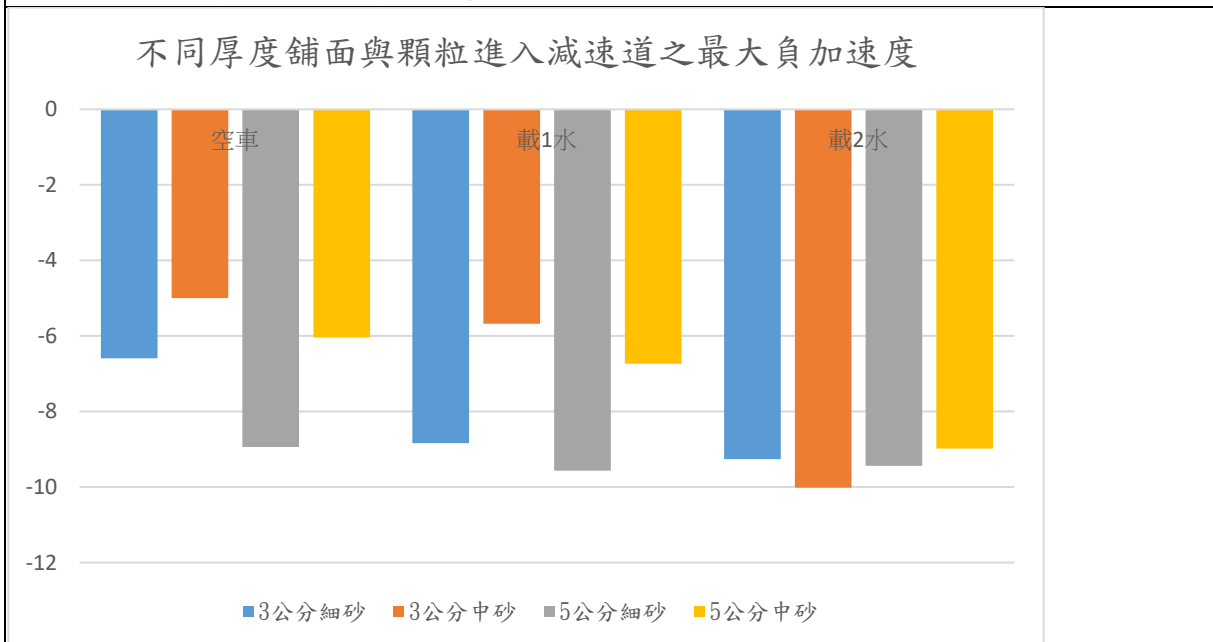


圖 3-1 車輛進入不同厚度鋪面與顆粒減速道產生之最大負加速度（傾斜 7.00 度）

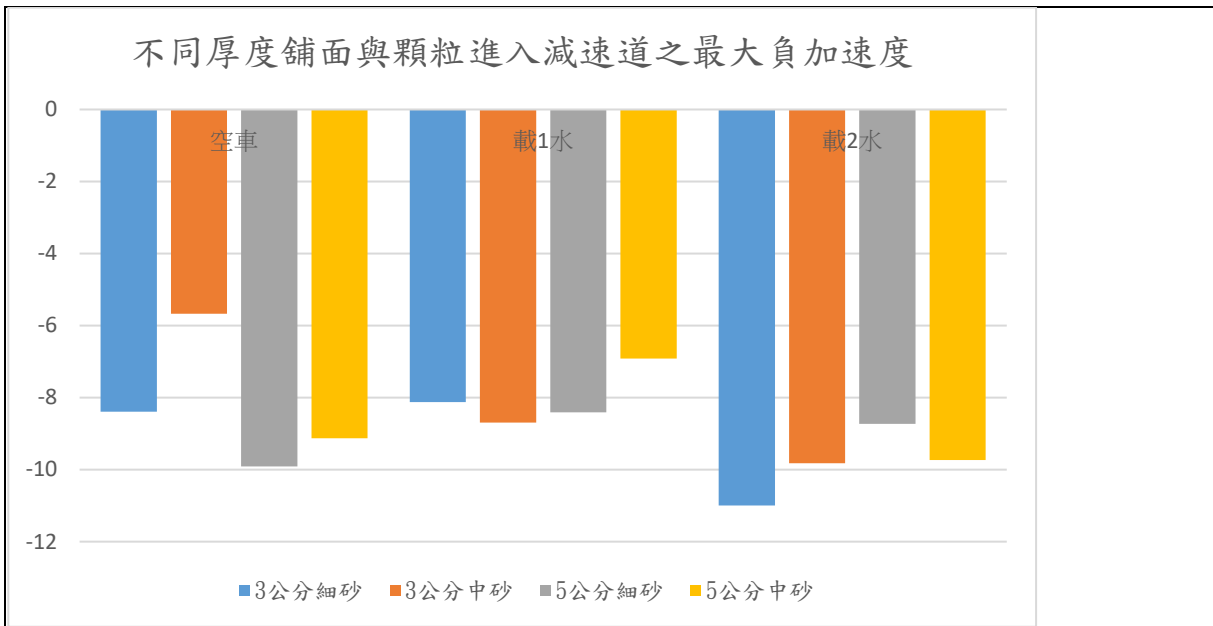


圖 3-2 車輛進入不同厚度鋪面與顆粒減速道產生之最大負加速度 (傾斜 14.38 度)

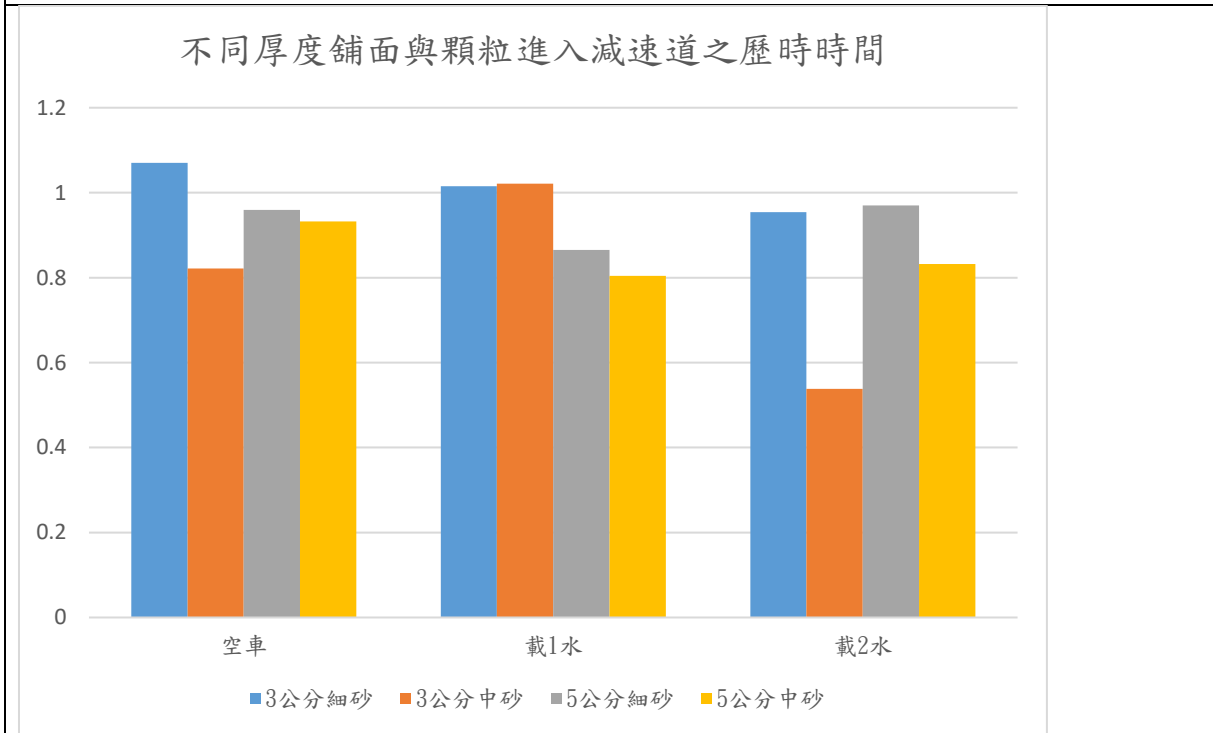


圖 4-1 車輛進入不同厚度鋪面與顆粒減速道之歷時時間 (傾斜度 7.00 度)

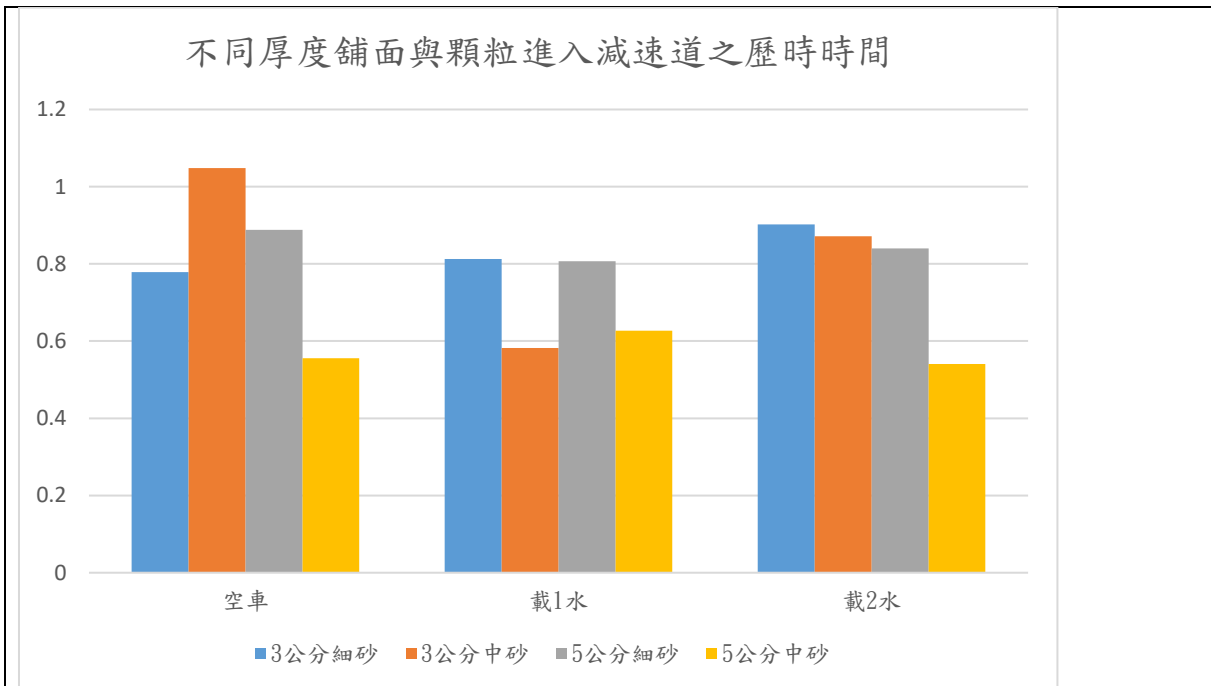


圖 4-2 車輛進入不同厚度鋪面與顆粒減速道之歷時時間 (傾斜度 14.38 度)

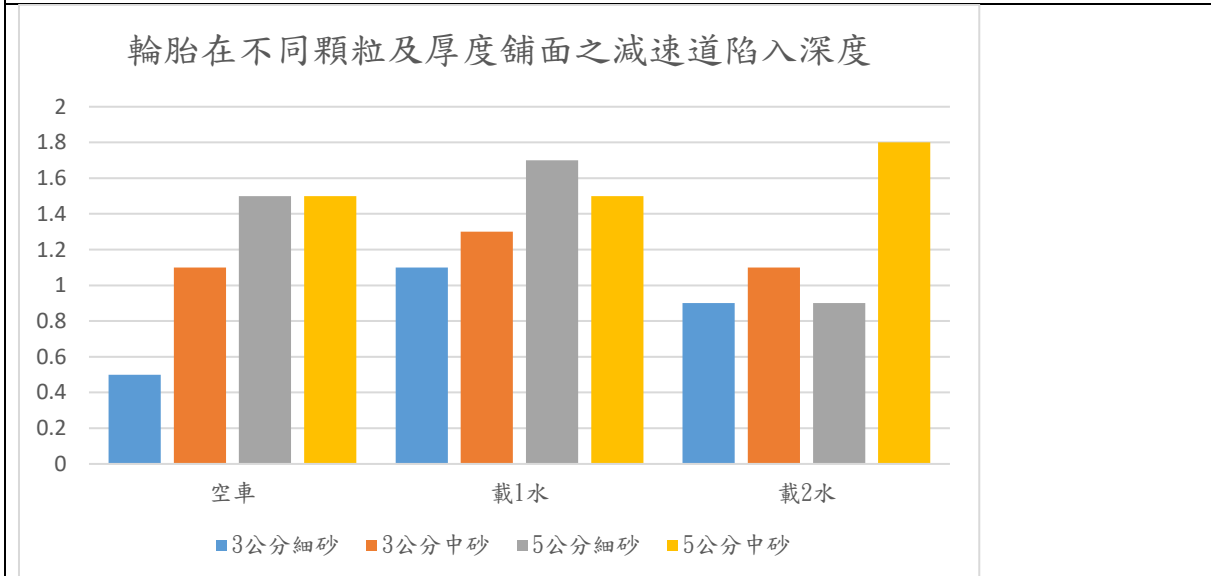
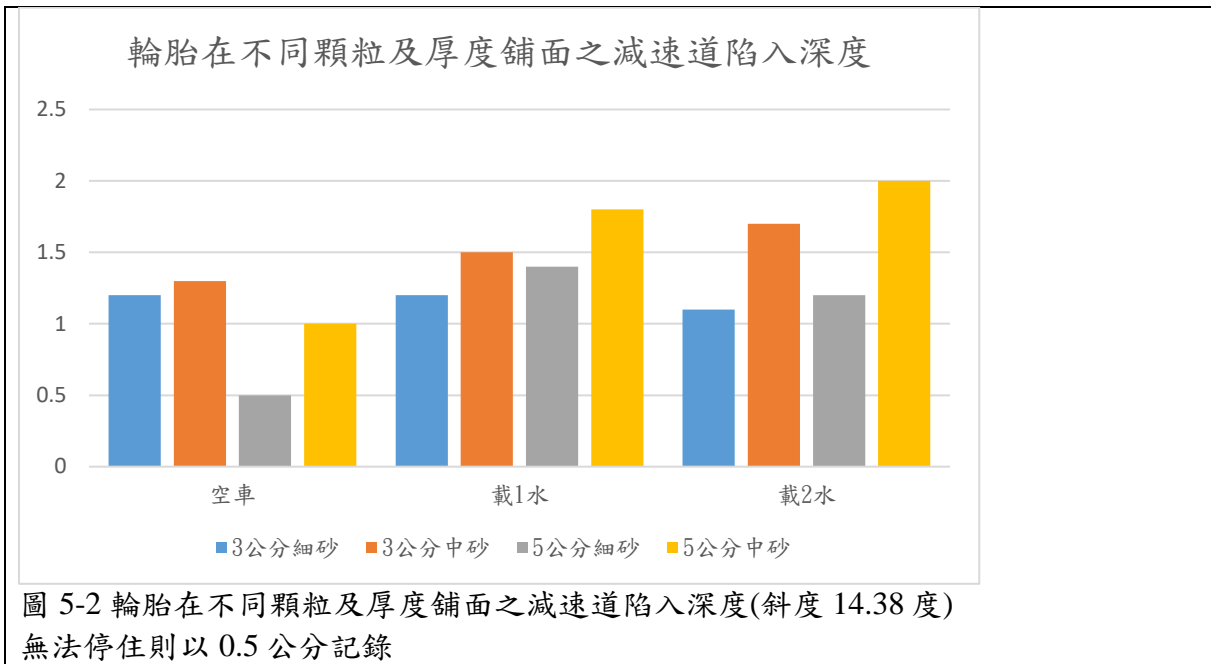


圖 5-1 輪胎在不同顆粒及厚度鋪面之減速道陷入深度 (斜度 7.00 度)
無法停住則以 0.5 公分記錄

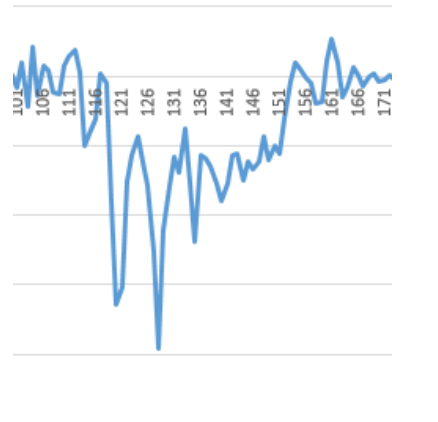
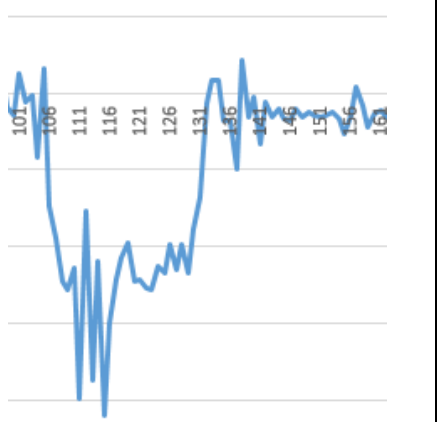
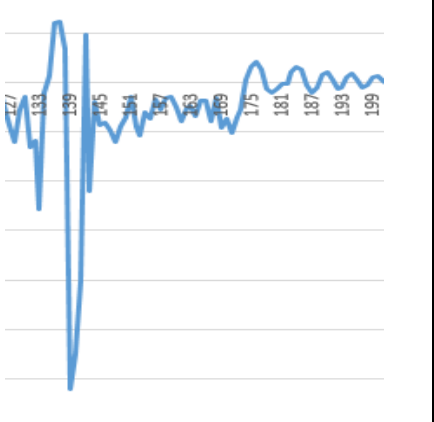
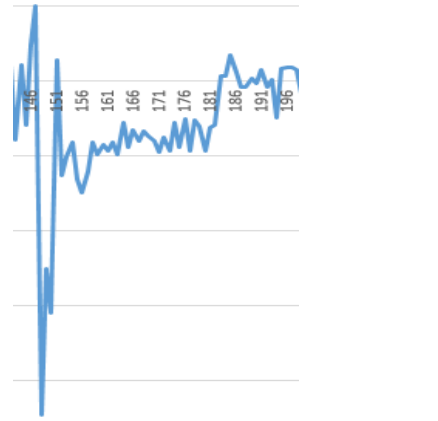
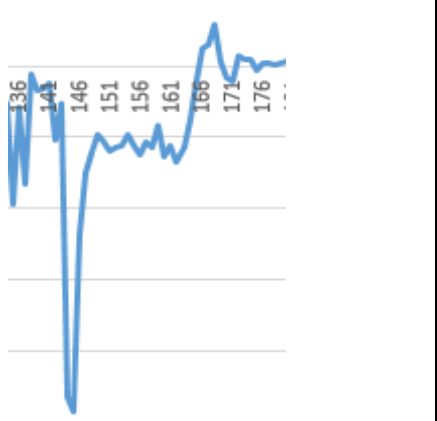



- (一) 本實驗原本規劃鋪面為 1 公分之實驗，然而所有 1 公分鋪面在車輛進入車道時，車輛進入減速車道後，車輪就將砂土推開且大部份無法在 100 公分內完成停止，因此接下來的實驗就不再針對 1 公分鋪面進行實驗。
- (二) 減速的距離部份，根據結果，得到以下 2 個結論：
1. 在相同鋪面厚度下，顆粒大小會影響剎車效果。以中砂鋪面的減速距離最短，細砂較長，其中粗砂在 3 公分跟 5 公分的鋪面，除了車體重量加重外，幾乎無法完成 100 公分內剎車。
 2. 根據圖 2-1，在傾斜角為 7.00 度時，5 公分厚的中砂鋪面停止距離最短。根據圖 2-2，在傾斜角為 14.38 度時，5 公分厚的中砂鋪面停止距離最短。
 3. 同一顆粒大小，在不同厚度鋪面，根據圖 2-1，在 100 公分以內完成剎車的情況，在空車及載重 2 瓶水的情形下，鋪面厚度 5 公分的停止距離比 3 公分短。
 4. 根據圖 2-2，隨著斜度增加，車輛進入減速道的速度增加後，空車與載重的減速距離就沒有明顯的規律。只能大約看出中砂的減速距離較細砂短。
- (三) 根據圖 3-1、3-2，在加速度的部分，只觀察有在 100 公分內停止的情形，當斜度為 7 度時，分析 3 公分與 5 公分的細砂與中砂在加速度驟降到最小的平均數值。發現在空車與載重 1 瓶水時，細砂鋪面與行進貨車產生的最大負向速度平均數值較中砂大。且 5 公分鋪面皆比同顆粒大小的 3 公分鋪面最大負加速度大。負加速度數值愈大，代表貨車在一進入減速道時，產生的阻力就愈大。其中，車輛的重量愈重，產生的負加速度就愈大。
- (四) 在減速道的歷時部份，圖 4-1、4-2 顯示，在相同鋪面厚度時，中砂產生的減速歷時皆較細砂短；而車體重量僅有 3 公分中砂在貨車載 2 瓶水時歷時最短，其餘則沒有明顯差異。然而，減速效果並非只發生在車輛與減速道接觸的瞬間，車輛殘餘動量產生的滑行運動，與砂土結構、厚度以及車體重量陷入砂土的深度有關。細砂歷時長，可能代表在瞬間減速後，對於車輛產生較小但可能較均勻的阻力。

為了進一步分析不同顆粒大小的減速情形，研究小組將 phyphox 的數值輸出，表 1 列出不同顆粒之砂土在 3 公分與 5 公分的加速度變化折線圖。從表 1 的同一列可以發現，不同顆粒鋪設的減速道，形成的加速度變化不相同。從波形外觀可以看出，3 公分厚度的砂土，不同顆粒之間的加速度變化非常不同；而 5 公分厚度的砂土，在不同的顆粒之間的差

異較小。代表厚度增加，所有顆粒的砂石會立即減少加速度，其中細砂形成的減速道在加速度的變化上，較中砂與粗砂來得劇烈。

表 1 不同顆粒大小砂石之加速度變化

		
3 公分細砂鋪面 (載 2 水、斜度 1)	3 公分中砂鋪面 (載 2 水、斜度 1)	3 公分粗砂鋪面 (載 2 水、斜度 1)
		
5 公分細砂鋪面 (載 2 水、斜度 1)	5 公分中砂鋪面 (載 2 水、斜度 1)	5 公分粗砂鋪面 (載 2 水、斜度 1)

二、車輛速度與重量對於減速道的影響

以斜坡角度控制車輛速度，搭配不同重量來代表車輛進入減速道的動量。

- (一) 比較圖 2-1、圖 2-2，傾斜度愈大、載重愈重時（動量大），在中砂減速道的剎車距離就愈短。細砂減速道則未見此規律。
- (二) 在負加速度部份，普遍在車輛動量大時，進入減速道產生的負加速度較動量小的來得大。（5 公分細砂且空車時除外）
- (三) 在減速道歷時部份，車輛的動量愈大，在 5 公分中砂歷時時間就愈短。細砂無明顯差別。而 3 公分中砂並沒有出現一致性的規律。
- (四) 測量在 100 公分內完成剎車的實驗結果，將前輪停止時陷入砂土的深度進行分析，中砂在輪胎陷入的深度皆較大部份實驗的相同厚度細砂大。另外，當車輛動量較大時，陷入的深度也較大。
- (五) 綜合以上結果，研究小組推測本實驗採用的中砂顆粒大小適中，排列間仍有空隙，車輛以較大動量進入時，較容易改變排列結構，增加阻力，很快就能停住。而細

砂排列緊密，結構上不容易受到改變，可能因為每一次實驗在接觸減速道而有較大的變異。

三、非平整鋪面的減速道效果

根據在沙灘行走的經驗，非平整的砂石表面會增加物體移動的阻力，以下比較平整鋪面與非平整鋪面的減速效果。另外，研究小組在減速道底部設計空氣擾動裝置，將空氣打入底部水管內，使得緩速道形成一座沙床，利用沙成為流體的特性來減速，實驗結果彙整如圖 6-1、6-2、6-3

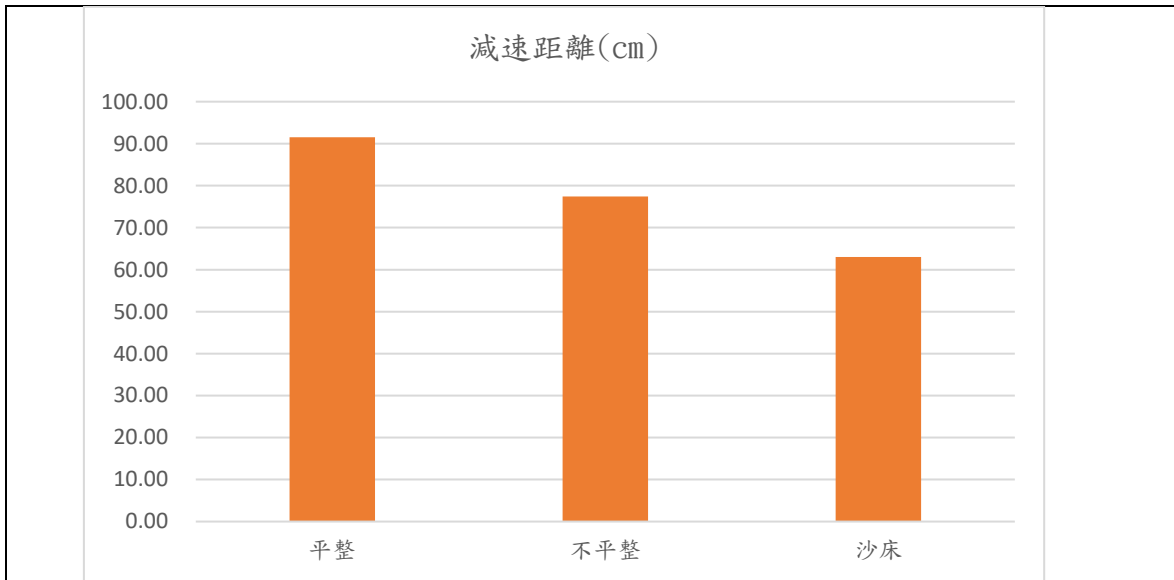


圖 6-1 非平整鋪面與沙床形成之減速距離

註：5 公分細砂鋪面、坡度 14.38°

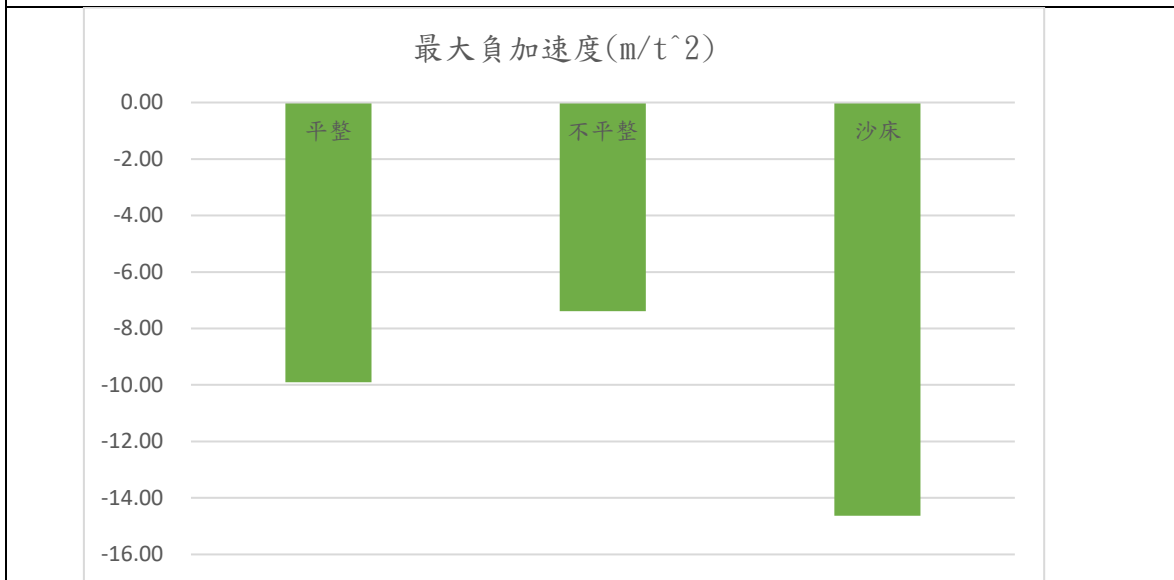
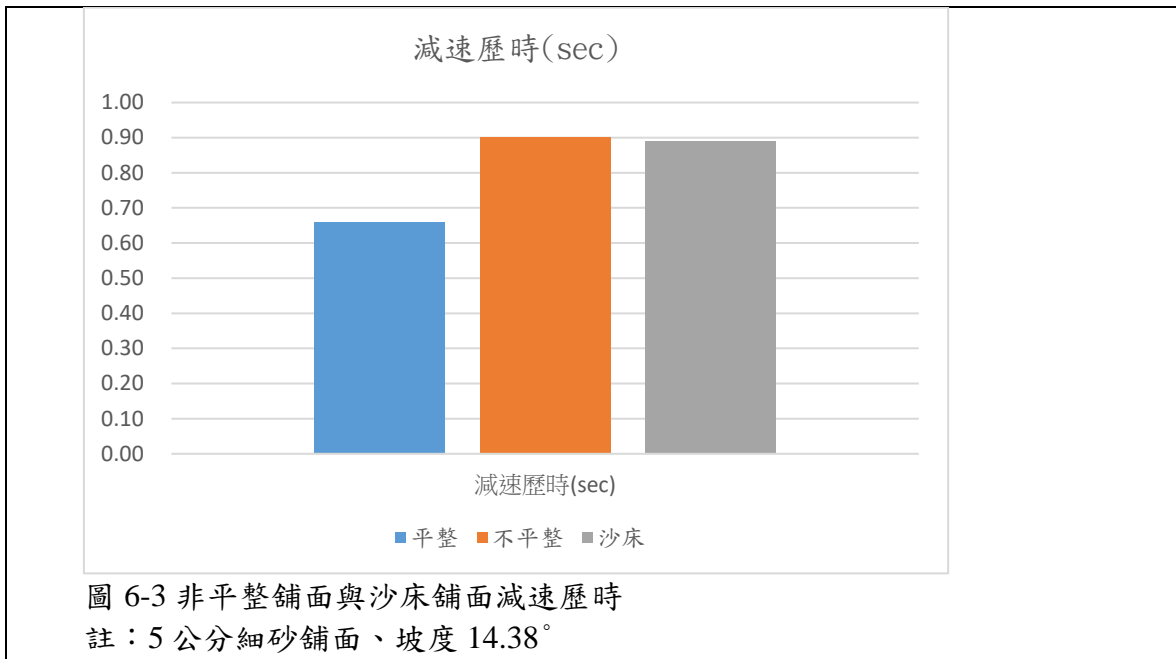


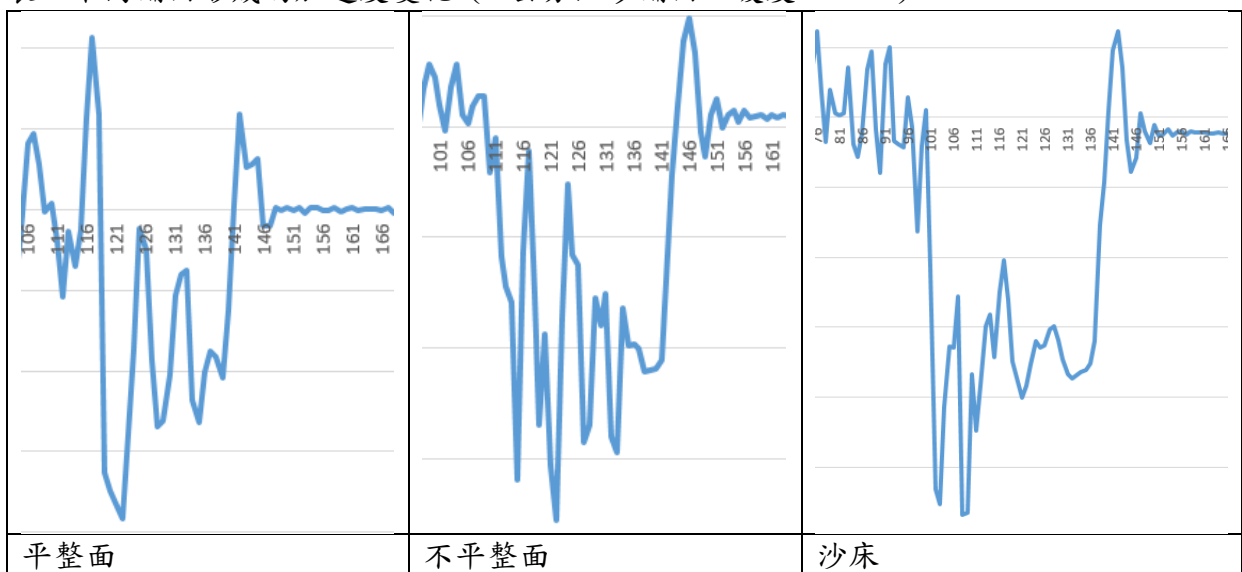
圖 6-2 非平整鋪面與沙床鋪面減速產生之最大負加速度

註：5 公分細砂鋪面、坡度 14.38°



- (一) 由圖 6-1 可發現，平整的 5 公分鋪面，以動態的沙床使貨車在最短的距離停下，其次是不平整的鋪面，減速效果都較平整的鋪面好。
- (二) 圖 6-2 所提供的訊息則是沙床鋪面提供貨車最大的負加速度，在瞬間接觸減速車道時，速度變化最大；而不平整的鋪面則依每次實驗的鋪面改變情形而有差異，平均起來反而小於平整鋪面。
- (三) 圖 6-3 顯示，平整的鋪面在加速度驟變到穩定的時間最短，不平整鋪面與沙床鋪面時間相似，推測原因可能來自於車體的加速度因為突然大幅降低，雖然很快就減速停住，但車體的振動而使擾動的情形延長。
- (四) 研究小組進一步分析三者的加速度變化圖，如下表 2，可以發現尾端的振動情形，在平整面是較快達到穩定的，因而研究小組判定其達減速停止。
- (五) 綜合上述結果，減速道的不平整，增加車體輪胎與砂土的接觸面積，產生更多的阻力來讓車輛更快停下。但是由於不平整的程度難以量化，且砂土的結構不容易操弄到均勻，因此本研究並未針對不平整的紋路進行設計。

表 2 不同鋪面形成的加速度變化 (5 公分細砂鋪面、坡度 14.38°)



四、廢棄物做為鋪面之減速道效果

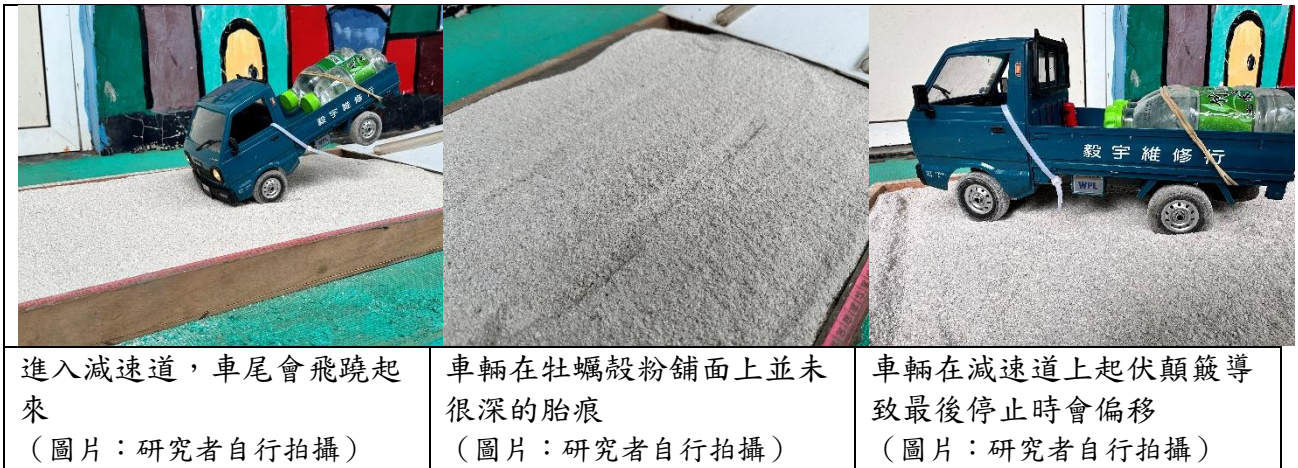
研究小組所在的地區有漁港及牡蠣養殖產業，每年港口底部清淤之淤泥堆置於港邊空地，以及成堆的牡蠣殼，因此取材隨手可得的廢棄物進行實驗，所得結果如表 3。

表 3 本實驗採用之海底淤泥減速效果

減速道材質	煞車距離	最大負加速度	減速歷時	初始胎痕深度
粗淤泥／空車／斜度 1	86.4	-7.43	1.33	0.2
粗淤泥／載 1 水／斜度 1	90.5	-7.94	1.34	0.5
粗淤泥／載 2 水／斜度 1	煞不住			0.7
粗淤泥／空車／斜度 2	煞不住			0.2
粗淤泥／載 1 水／斜度 2	煞不住			0.3
粗淤泥／載 2 水／斜度 2	煞不住			0.7
細淤泥／空車／斜度 1	煞不住			0.5
細淤泥／載 1 水／斜度 1	煞不住			0.7
細淤泥／載 2 水／斜度 1	煞不住			0.9
細淤泥／空車／斜度 2	煞不住			0.5
細淤泥／載 1 水／斜度 2	煞不住			0.5
細淤泥／載 2 水／斜度 2	煞不住			1.3
牡蠣殼粉／空車／斜度 1	煞不住			0.5
牡蠣殼粉／載 1 水／斜度 1	煞不住			0.5
牡蠣殼粉／載 2 水／斜度 1	82.2	-9.45	1.28	0.5
牡蠣殼粉／載 1 水／斜度 2	煞不住			
牡蠣殼粉／載 2 水／斜度 2	煞不住			

註：在煞不住的情形下，測得的最大負加速度值即為車輛衝出減速道進入塑膠盒內被迫停止之數值，故本實驗不記錄。

- (一) 由於小組採集的海底淤泥經曬乾處理，多半成塊狀，經過手動敲碎及研磨，初分為粗淤泥及細淤泥二種，但是除了粗淤泥在貨車動量較小的情形下，可以完成 100 公分內減速。其餘皆無法在減速道內停止。
- (二) 觀察在減速道所遺留的輪胎痕跡發現，車輛動能愈大，胎痕深度愈深。
- (三) 由於淤泥材質偏黏土，可以重新塑造成不同大小的顆粒。然而本實驗因人力所限，僅嘗試手搓成粉圓狀後再實驗，得到的結果仍不盡理想。
- (四) 綜合上述結果，海底淤泥研磨後的顆粒更小，且很容易塑型。直接拿來做為減速車道的材料，並不恰當。研究小組推測，貨車在進入淤泥車道時，因排列結構緊密，反而無法增加與輪胎的接觸面積，而使效果受限。未來應再朝向淤泥顆粒的重新塑形，或者進行更大型的實驗裝置來測試。
- (五) 本實驗研磨所得之牡蠣殼，因顆粒大小較活動一所用之中砂顆粒粗，在鋪面的減速效果，除了在斜度 1 且貨車載 2 水較重的狀態可以減速停止外，其餘的實驗結果同樣未能夠在 100 公分內使貨車剎停，在模擬實驗的車體動量下，牡蠣殼粉在有限的車體重量下，阻力效果不如篩網過濾之中砂與細砂。
- (六) 牡蠣殼粉鋪面有一點與其他鋪面不同的是，當車體載 2 水時，進入減速道的瞬間，可能因為阻力太大，使得車尾會蹺起來(如下圖)，然後車輛在減速道呈現上下波動的情形。



五、二段式厚度鋪面之減速道效果

研究小組考量到貨車高速進入減速道，如果接觸的一瞬間阻力太大，造成車頭瞬間減速，如果載有重物的話，那車架在慣性作用下，可能對車頭造成擠壓，影響司機安全。因此，根據鋪面厚度的結果，發想二段式厚度鋪面，將前 40 公分的減速道鋪設 3 公分厚的中砂，後 60 公分則鋪設 5 公分厚的中砂。結果如圖 7-1、7-2。

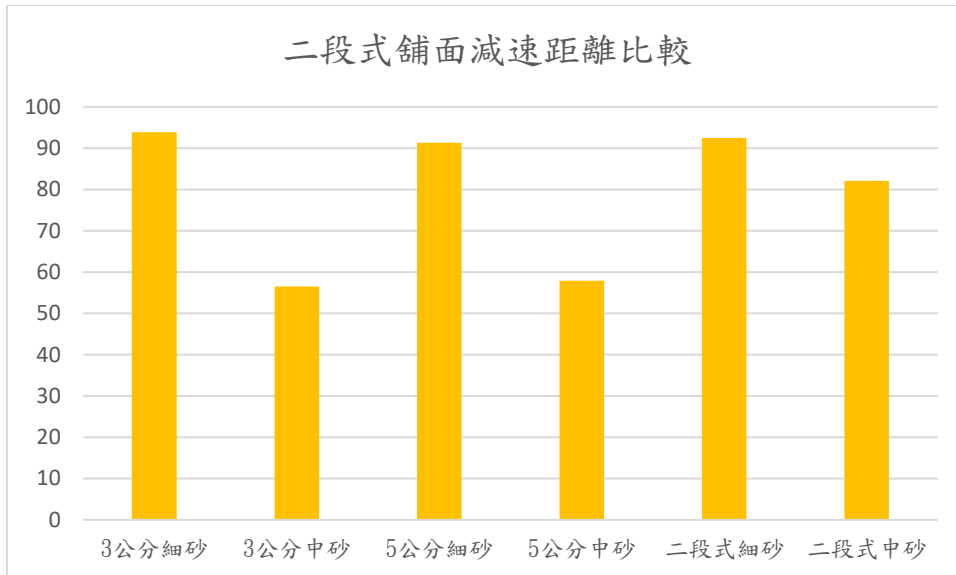


圖 7-1 二段式鋪面與單一鋪面之減速距離

註：坡度 14.38°、貨車載 2 水

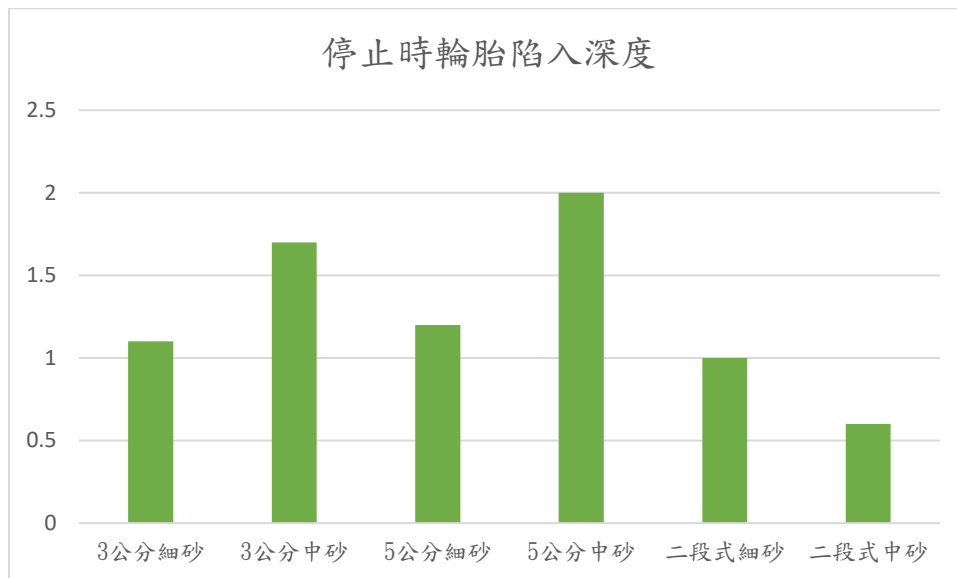


圖 7-2 二段式鋪面與單一鋪面之輪胎陷入深度

註：坡度 14.38°、貨車載 2 水

- (一) 由圖 7-1 可得知，二段式鋪面在細砂材質並沒有明顯的差別，但在中砂材質時，二段式鋪面減速距離變長。
- (二) 圖 7-2 可知，二段式鋪面使得最終的輪胎陷入深度變小。
- (三) 綜合以上 2 點，從減速距離及輪胎陷入深度可知，二段式鋪面提供的阻力是由小變大，而可以成功讓貨車在 100 公分內減速停止。根據此結果，讓貨車減速可以透過不同的鋪面深度來達到阻力的調控，避免載有重物的高速車體因慣性而擠壓前端的危險。

六、模擬潮溼鋪面之減速道效果

為了探究減速道是否會因為下雨天而影響其阻停效果，研究小組利用中砂及細砂鋪面，將 1500 毫升的水以噴霧器搭配澆水器平均灑在減速道中央，測量其減速距離，研究結果發現，100 公分厚度 5 公分的中砂及細砂鋪面，在接觸 1500 毫升的水之後，皆無法在 100 公分內使貨車剎停（坡度 14.38°、貨車載 2 水），且輪胎在減速道留下的深度，皆小於乾燥時胎深。代表減速車道的砂土，在含有水分之後，顆粒結構改變的程度變小，阻力變小。

伍、討論

一、砂土顆粒與鋪設厚度交互影響

貨車在砂土中逐漸減速的現象，無法以單純的摩擦力大小來表示減速效果。以下就貨車在減速坡道上的減速距離與加速度變化進行討論：

- (一) 減速距離：顆粒適中的砂土能使形成較短的減速距離，本實驗以中砂最適合。過小的顆粒，排列間隙小，結構也愈穩固。而本實驗使用的粗砂，則因為重量較重，也不易因為貨車的駛入而影響結構。
- (二) 貨車動量愈大，會形成較長的減速距離，停止時輪胎陷入砂土的深度也愈深。鋪設厚度愈厚，一般而言能使減速距離愈短。
- (三) 最大負加速度與停止距離交叉分析：根據實驗結果，砂土的顆粒與鋪設厚度會交互影響，使得貨車在不同的組合中會產生不同的減速效果。

1. 鋪面對車輛產生的最大負加速度與剎停距離之關係，則繪製如圖 8。觀察圖 8 發現各種組合產生的相近資料點，細砂在車輛動量較大的情況下，會產生最大的負加速度與較長的剎停距離。中砂則會因為車輛動量增加而減少剎停距離。

也代表砂土顆粒、厚度與車體重量，是以複雜的連動關係在影響著剎停距離與產生負加速度，研究小組推測車輛進入減速道的瞬間，強大的撞擊動能受到減速道緩衝而減少許多，然而殘餘動量在減速道上，會受到砂土結構（陷入深度）與車體重量（鋪面厚度）連動影響，才出現瞬間負加速度大、但剎停距離長的情形。

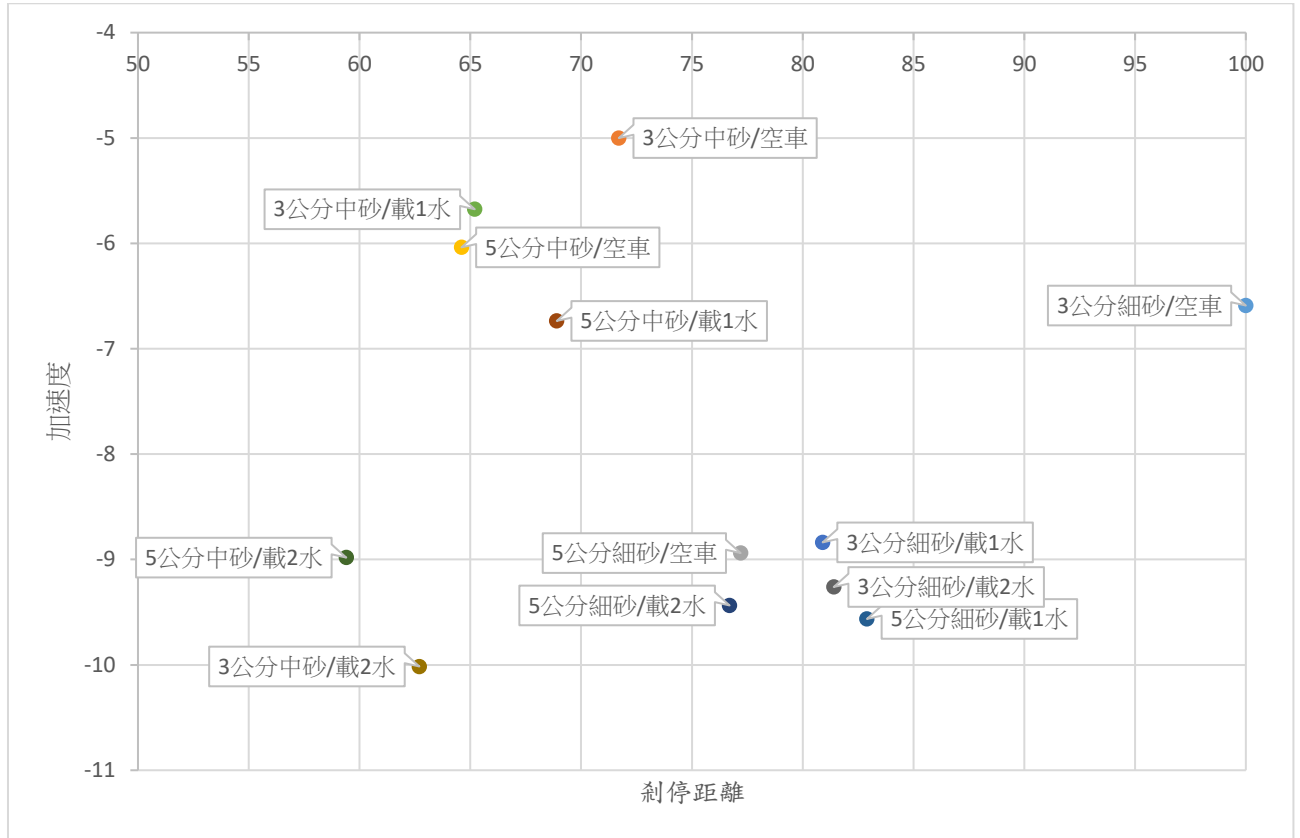


圖 8 最大負加速度與剎停距離關係（傾斜度 7.00 度）

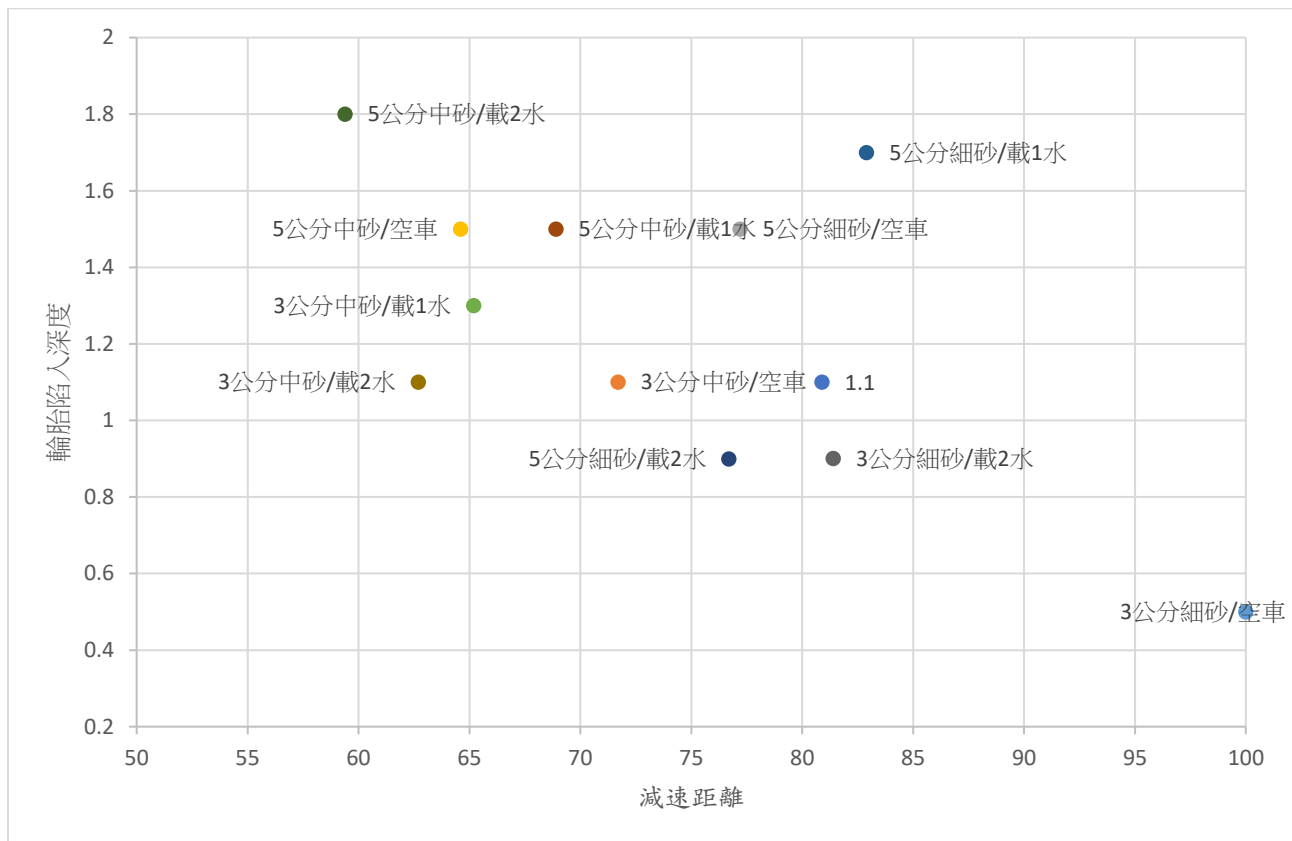


圖 9 輪胎最終陷入深度與減速距離關係 (傾斜度 7.00 度)

- 圖 9 左上方皆是中砂，顯示中砂因為輪胎陷入較深，使得剎停距離較短。細砂從資料點的集中情形大約可以看出，剎停距離都偏長，研究小組推測，細砂鋪面使車體在滑行的過程中，產生的阻力較小，可讓貨車在停止的歷程保持穩定性。

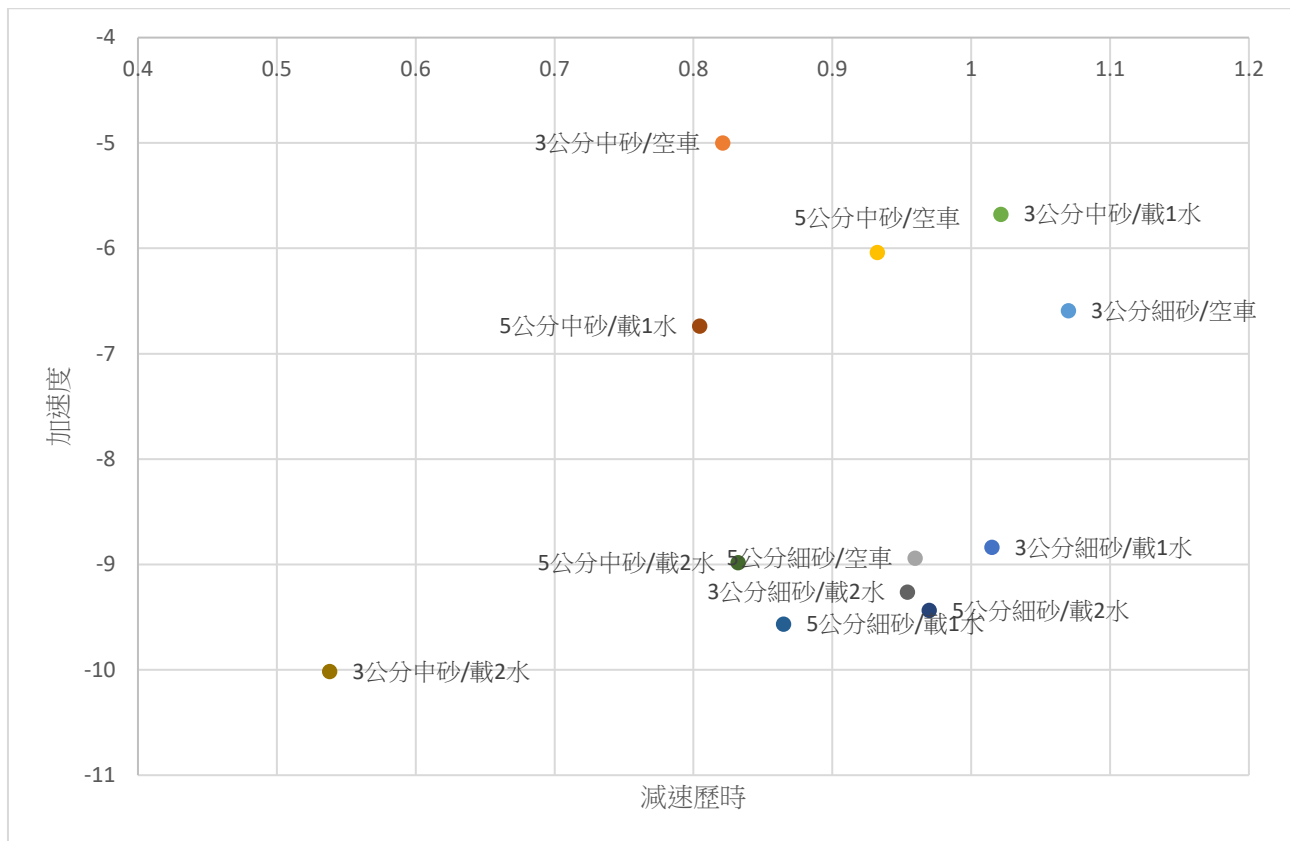


圖 10 最大負加速度與減速歷時關係（傾斜度 7.00 度）

- 根據圖 6 右下角集中之標記，皆為細砂，具有較大的負加速度、但較長的減速歷時。反觀中砂，則有較小的負加速度且較短的減速歷時。研究小組歸納，細砂鋪面可以使車體慢慢停止，在減速的歷程中，保存貨物的完整性（尤其是液態的化學藥劑），例如高速公路。中砂鋪面則可以減少滑行距離，有利於設置在較無法增加車道長度的情形，例如山路。
- 較重的貨車，產生較大的負加速度，但是減速歷時並沒有明顯減少，仍與砂土顆粒有較大關聯。

二、非平整鋪面的影響

由於減速車道在戶外，容易因為氣候變化如雨天、日曬等因素讓砂土鋪面膠結岩化，且會呈現平整鋪面，時間一久就會失去減速功能。其中又以顆粒愈小的砂土，愈不容易維護。根據查詢的資料，巴西的公路減速道以特製的圓形黏土球來鋪設，朝向以特殊材質來因應。

本研究小組提出另一種可行性方案—每天定時以氣體鬆動減速道砂土。實驗顯示，利用減速道下裝設出氣孔，可以鬆動砂土層，使得砂土層表面形成不平整狀態，有助於增加減速效果。其主要原因為砂土本為固體，當氣體在砂土底層四處流動時，會連帶著使砂土形成流體砂床，產生類似非牛頓流體的性質，當車體進入沙床時，砂土與輪胎接觸面積增加，深化輪胎下陷的程度，增加阻力，強化減速效果。

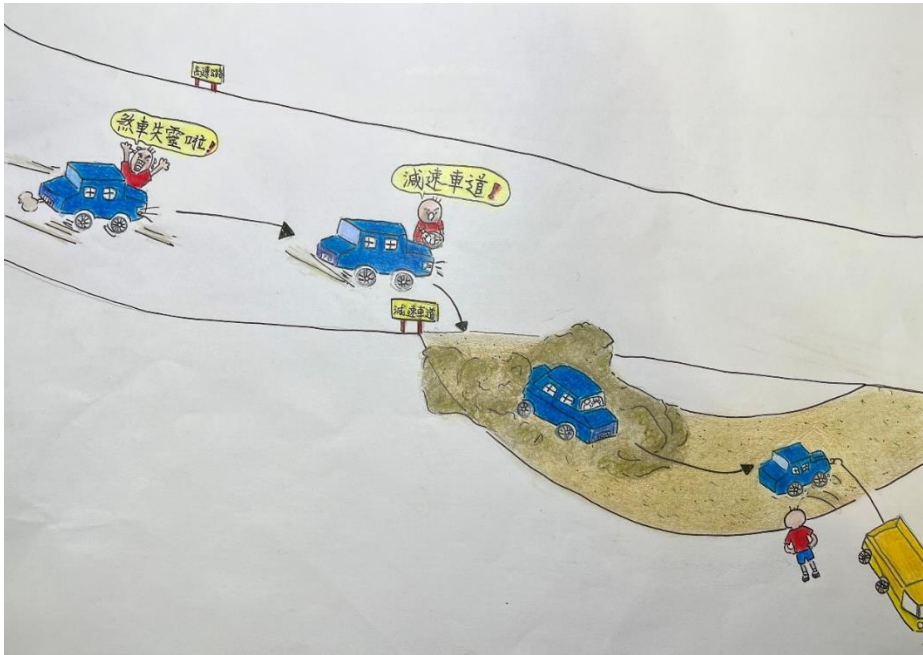
另外，研究小組也提出發想，未來可以在下坡易肇事路段設計機電整合系統，當車子剎車故障時即發送訊息給最近設置緩衝道的基地台，即啟動減速車道的排氣系統，將減速車道形成一道氣體浮動砂床，增加減速效果。而排氣系統的定期排氣擾動砂土，也可以維護減速車道，不致於因為下雨或岩化作用而使砂土結構產生改變。

三、排水系統及砂土材質的改良

根據本研究模擬結果，一般未經過處理的砂土，在接觸水份之後，顆粒之間的結構變得更緊密，對於車體重量造成的砂土形變程度變小，使得輪胎與砂土間不容易增加接觸面積，阻力變小。因此，現有國外減速道之設置，必須著重在排水系統的設計，以及砂土本身的材質，本研究建議減速道砂土結構，應增加顆粒與顆粒之空隙，避免因水份積留而增加其結構的穩定度。

四、臺灣地區高速公路及下坡山路減速車道設計規劃

(一)臺灣地區高速公路範圍不大，且為高架設計，建構減速車道將會面臨龐大成本的挑戰，研究小組提出在下坡路段（尤其是易發生交通事故）後段，以興建支道方式提出規劃，以下是設計示意圖。



註：

- 1.建議使用細砂或二階段中砂，設置長匣道以均勻減緩車速，維持貨物完整
- 2.可搭配智慧排氣系統，在失控車進入車道前啟動，增加減速效果

（圖片：研究者自行繪製）

(二)臺灣山路較為狹窄且彎曲，為此，本研究亦提出一個小型山路減速車道的設計，如下示意圖。減速道的設置，可以讓失控的車體就算無法立即剎停，也可有效減速，減少傷害。



註：

1. 建議可以使用顆粒適中的中砂，達到短程減速
2. 減速道朝向山壁部份向上傾斜設計，以避免車子減速未完成時撞上山壁
(圖片：研究者自行繪製)

(三)在鋪面材質方面，本研究採用的廢棄物，雖然二種廢棄物在模擬實驗中，無法在短距離內使模型貨車停止。但是仍可使貨車慢慢減速。未來應再進一步設計大型實驗驗證其效果。研究小組在實驗的過程中，發現二種廢棄物各有其特質：

1. 對於海底淤泥的使用，可採用沿岸出海口或者港區之海底淤泥，將其曬乾後研磨成合適的大小來進行鋪設，達到環保以及資源再利用的目的。雖然本研究所測試的海底淤泥無法在 100 公分內讓車輛剎停，但也發現淤泥顆粒小、類似黏土的可塑性，可以比照巴西境內的高速公路減速車道材質，重新塑形成大顆粒的球狀固體。
2. 牡蠣殼粉，其不規則的顆粒雖然使得結構排列上更穩固，不利對於輪胎的摩擦力，然而其排水性佳，如果將其研磨成更細小的圓微粒，或許更適合多雨的地區。

陸、結論

根據本研究所設計的實驗結果，模擬公路減速車道的效果上，可以得出以下結論：

- 一、減速車道上的砂土顆粒大小及鋪設厚度，會影響減速距離。顆粒適中的鋪面，形成較大阻力，減速距離較短；厚度 5 公分的鋪面較 3 公分的減速距離短。
- 二、減速車道的減速效果，可由貨車加速度的變化來衡量，加速度的變化是由砂土的顆粒大小與鋪設厚度交互作用而來。
- 三、本研究的減速效果，其減速距離、產生的最大負加速度與減速歷經時間會與砂土的顆粒及厚度產生複雜的連動關係。
- 四、減速車道的鋪面平整度影響減速效果，本研究製作之砂床設計，減速效果較平整的鋪面好。研究小組據此提出一臺灣地區可行的高速公路下坡路段減速車道設計圖。
- 五、本研究採用之 5 公分厚中砂鋪面，對於車體重量愈重者、速度愈快，形成的動量大的

貨車，剎停距離愈短、輪胎陷入砂土的深度較深、瞬間產生的負加速度大，為適合設置於短車道的減速道參數。

六、本研究採用之 5 公分厚細砂鋪面，可讓車體在 100 公分內緩慢降速，雖然剎停距離增加，但較長的減速歷時可以讓車體保持平穩，保持貨物完整性。

柒、參考文獻

一、書籍

齊爾斯基, 海倫 (2023)。《茶杯裡的風暴：日常生活中的物理學》(藍仕豪, 譯)。台北市：時報出版。

布魯爾, 瓊. (2021)。《神奇校車：物理特攻隊》(鄭明俐, 譯)。遠流出版社。

謎客 (2022)。《科學偵探：破解物理之謎》。小魯出版社。

許文龍, X., & 鄭明俐, M. (2023). 觀念物理 (13th ed.). 遠流出版社. (Translation of Conceptual Physics by P. G. Hewitt, 2023)

二、網路資源

Youtube 影片：Quase 1.500 acidentes foram evitados com a construção de rampas de escape em estradas. 取自

<https://www.youtube.com/watch?v=Mb-TDhieYpw&list=PLY8ERcA7PquIP4ceuwGt632I-IDgyVVpo&index=1>

Non-Newtonian fluids. 取自

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1502-non-newtonian-fluids>

Youtube 影片：How Truck Escape Ramps Stop Out-Of-Control Big Wheelers. 取自

<https://www.youtube.com/watch?v=jp7N9NgSTlQ&list=PLY8ERcA7PquIP4ceuwGt632I-IDgyVVpo&index=7>

Youtube 影片：大貨車剎車失靈 國道警一路鳴笛開道。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=j4EXZ38sM8Y&list=PLY8ERcA7PquIP4ceuwGt632I-IDgyVVpo&index=6>

Youtube 影片：PIORES MOMENTOS REGISTRADOS DE CAMINHÕES USANDO ÁREA DE ESCAPE. 取自

<https://www.youtube.com/watch?v=D7c2pWN5ExY&list=PLY8ERcA7PquIP4ceuwGt632I-IDgyVVpo&index=8>

Youtube 影片：SEM FREIO - CAMINHONEIROS SENDO SALVOS PELAS ÁREAS DE ESCAPE! #02. 取自

<https://www.youtube.com/watch?v=7Uv7OjadjZs&list=PLY8ERcA7PquIP4ceuwGt632I-IDgyVVpo&index=10>

Youtube 影片：自製流沙池，讓沙子變得如同水一般。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=LIQsyloPiSE&list=PLY8ERcA7PquIP4ceuwGt632I-IDgyVVpo&index=4>

【評語】 083007

1. 本研究使用砂土顆粒、鋪設厚度、平整程度、車體重量和速度為變因，探討其對車輛減速效果的影響。
2. 使用海底淤泥及牡蠣殼粉等廢棄物做為鋪面之減速道之研究。
3. 提出高速公路及下坡山路減速車道設計規劃。
4. 結果與討論詳細。

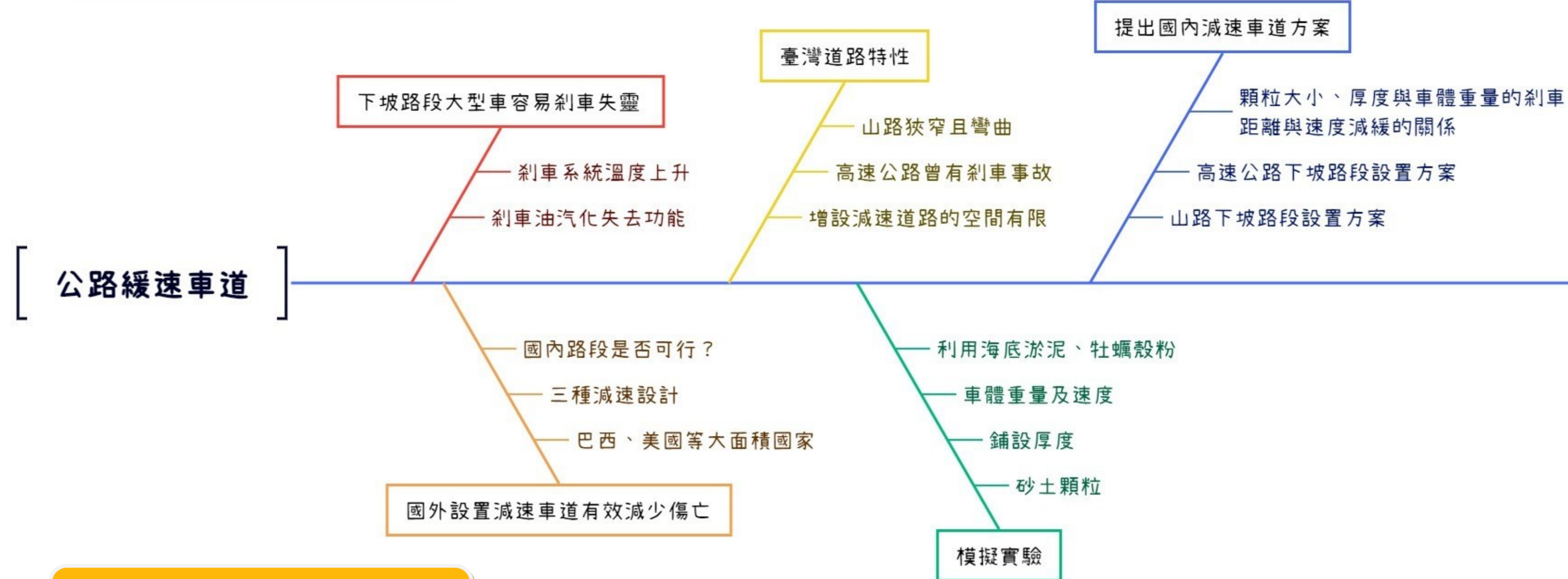
作品簡報

減速
是
必
得
住

公路緩速道影響因素探究

壹、研究動機

貳、研究目的



- 一、以模擬方式探討不同粗細的砂土對於緩速車道的效果
- 二、設計實驗探討不同鋪設深度的砂土對於緩速車道的效果
- 三、探討緩速車道的表面非平整與否對於緩速車道的效果
- 四、探討車體重量與速度對於緩速效果的影响
- 五、探討海底淤泥及牡蠣殼粉等廢棄物做為緩速鋪面的可行性
- 六、試圖提出一個我國易肇事路段的剎車失靈防災解決方案

參、研究設計

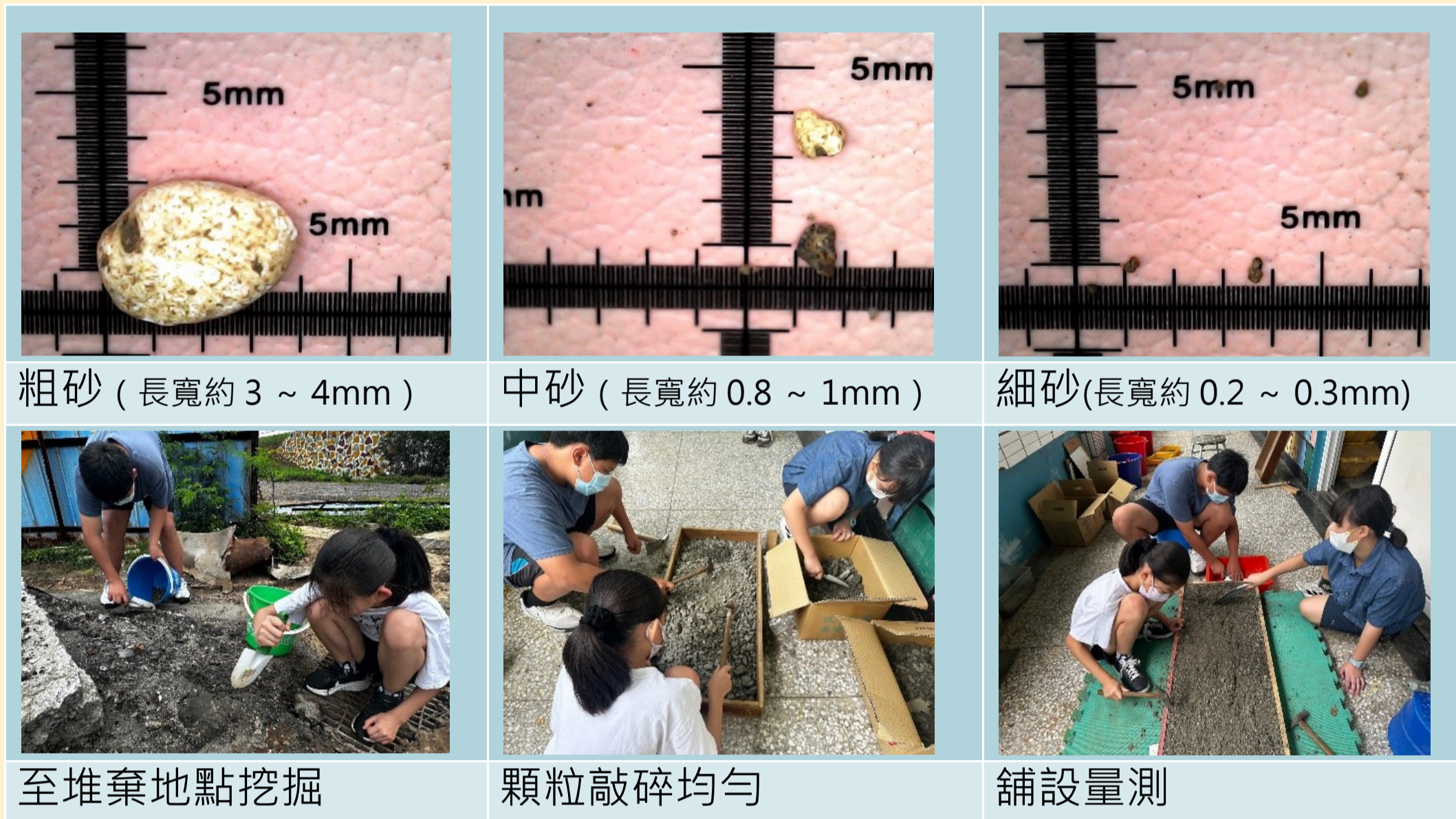
一、實驗裝置圖



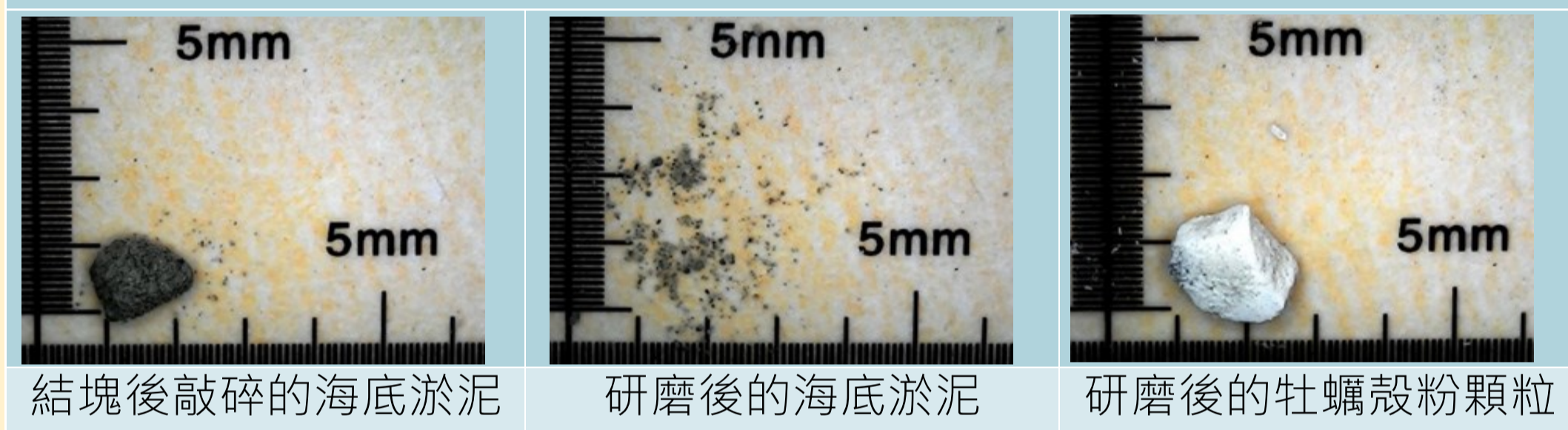
圖 1 本實驗裝置圖 (註：研究者自行拍攝)

二、各種操縱變因說明

(一)活動 1：不同粗細的砂土緩速效果



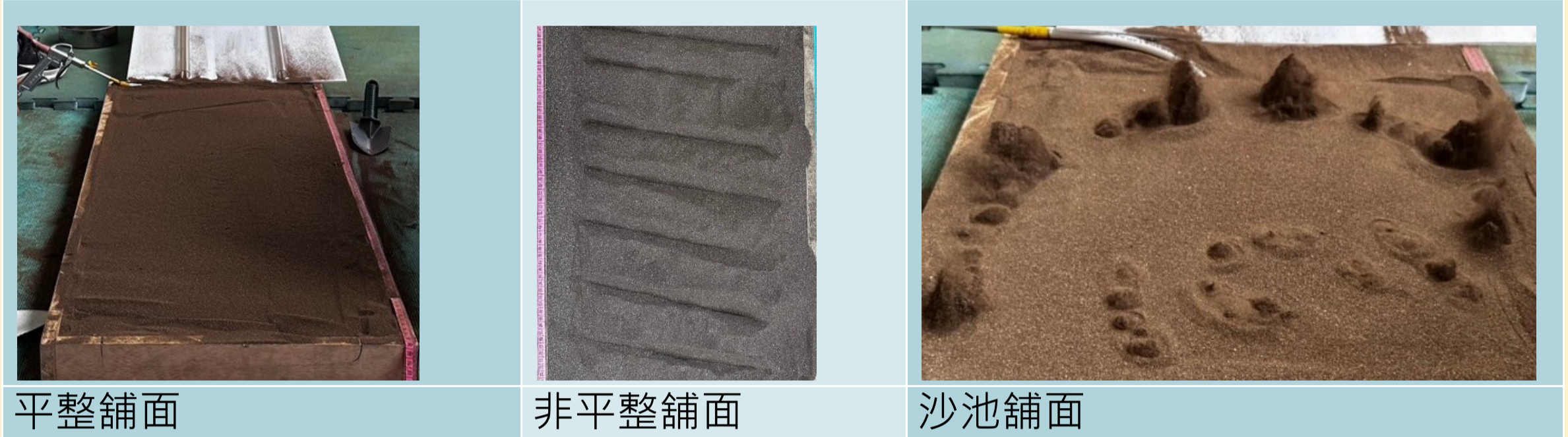
海底淤泥處理應用



(二)活動 2：不同深度的砂土緩速效果

1cm 沙	3cm 沙	5cm 沙
4cm 紙板填充	2cm 紙板填充	
1cm 厚砂土	3cm 厚砂土	5cm 厚砂土

(三)活動 3：表面非平整鋪面對於緩速效果



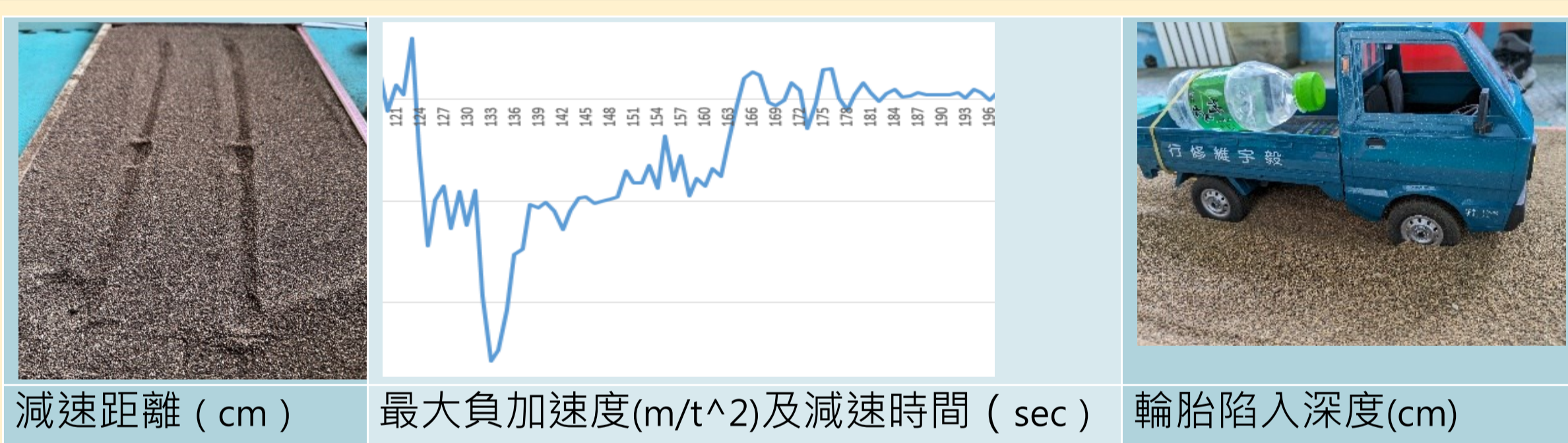
(四)活動 4：探討車體重量對於緩速效果



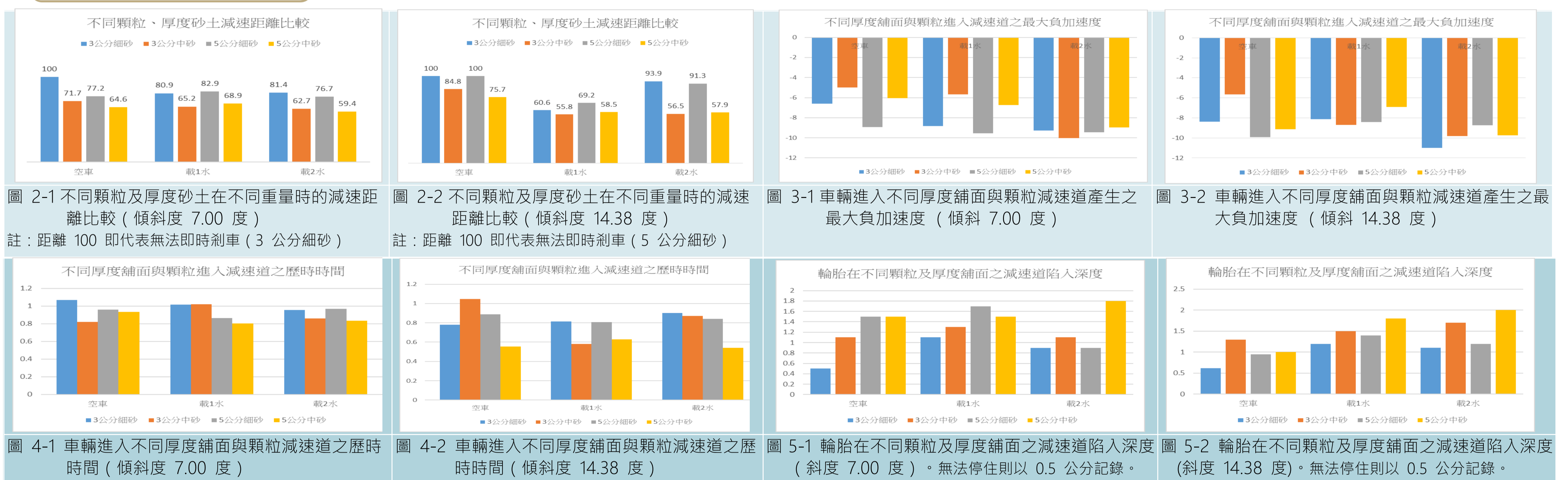
(五)活動 5：不同貨車速度在緩速道之緩速效果



三、實驗結果之記錄與解讀



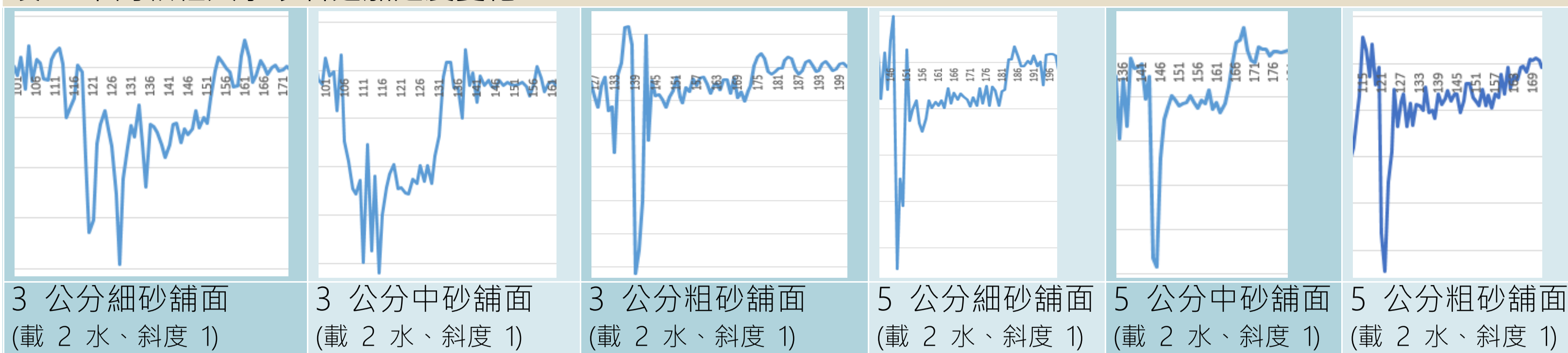
肆、研究結果



一、不同顆粒大小與不同鋪設厚度砂土形成的減速道之效果

1. 所有 1 公分鋪面在車輛進入車道時，車輛進入減速車道後，車輪就將砂土推開且大部份無法在 100 公分內完成停止，因此不再針對 1 公分鋪面進行實驗。
2. 減速的距離，從結果得到以下結論：
 - 1) 相同的鋪面厚度，顆粒大小會影響剎車效果。以中砂鋪面的減速距離最短，細砂較長，其中粗砂在 3 公分跟 5 公分的鋪面，只有車體重量加重至 1474 克時，才能在 100 公分內剎停。
 - 2) 根據圖 2-1，在傾斜角為 7.00 度時，5 公分厚的中砂鋪面停止距離最短。根據圖 2-2，在傾斜角為 14.38 度時，5 公分厚的中砂鋪面停止距離最短。
 - 3) 同一顆粒大小，在不同厚度鋪面，根據圖 2-1，在 100 公分以內完成剎車的情況，在空車及載重 2 瓶水的情形下，鋪面厚度 5 公分的停止距離比 3 公分短。
 - 4) 根據圖 2-2，隨著斜度增加，車輛進入減速道的速度增加後，空車與載重的減速距離就沒有明顯的規律。只能大約看出中砂的減速距離較細砂短。
3. 根據圖 3-1、3-2，最大負加速度只觀察 100 公分內停止的結果，當斜度為 7 度時，在空車與載重 1 瓶水時，細砂鋪面與貨車行進產生的最大負加速度平均數值較中砂大。且 5 公分鋪面皆比同顆粒大小的 3 公分鋪面最大負加速度大。負加速度數值愈大，代表貨車在一進入減速道時，產生的阻力就愈大。其中，車輛的重量愈重，產生的負加速度就愈大。
4. 減速道的歷時，在相同鋪面厚度時，中砂產生的減速歷時皆較細砂短；而車體重量僅有 3 公分中砂在貨車載 2 瓶水時歷時最短，其餘則沒有明顯差異。然而，減速效果包含車輛進入砂土層之整段時間。摩擦阻力與砂土結構、厚度以及車體重量陷入砂土的深度有關。細砂歷時長，可能代表在瞬間減速後，對於車輛產生較小但可能較均勻的阻力。

表 1 不同顆粒大小砂石之加速度變化



phyphox 數值輸出以分析不同顆粒的減速情形。表 1 不同顆粒鋪設的減速道，形成的加速度變化不相同。從波形外觀可以看出，3 公分厚的砂土，不同顆粒間的加速度變化非常不同；而 5 公分厚的砂土，不同的顆粒之間的差異較小。代表厚度增加，所有顆粒的砂石會立即減少加速度，其中細砂形成的減速道在加速度的變化上，較中砂與粗砂來得劇烈。

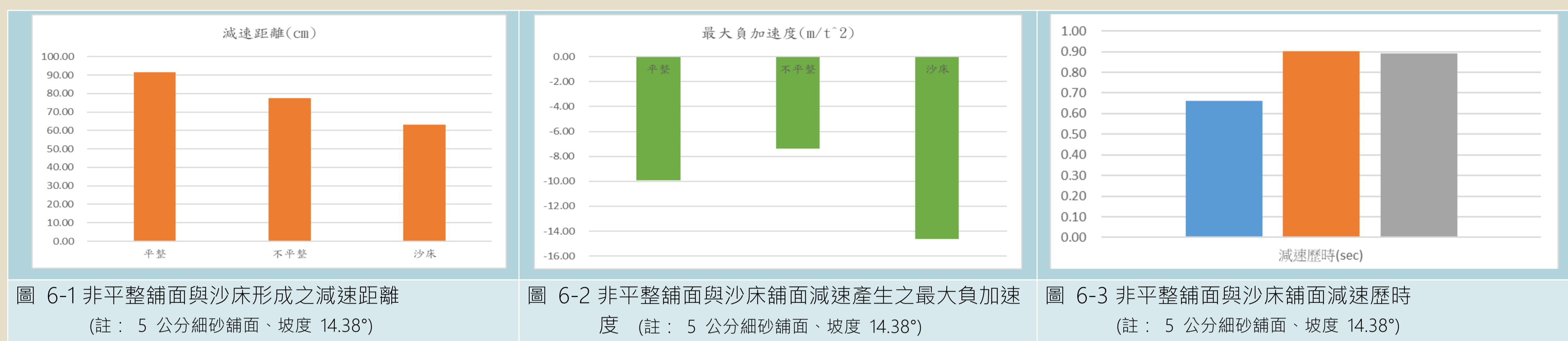
二、車輛速度與重量對於減速道的影響

以斜坡角度控制車輛速度，搭配不同重量來代表車輛進入減速道的動量。

1. 比較圖 2-1、圖 2-2，傾斜度愈大、載重愈重時（動量大），在中砂減速道的剎車距離就愈短。細砂減速道則未見規律。
2. 最大負加速度：車輛動量大時，進入減速道產生的負加速度較動量小的來得大。（5 公分細砂且空車時除外）
3. 緩速道歷時：車輛的動量愈大，在 5 公分中砂歷時時間就愈短。細砂無明顯差別。而 3 公分中砂並沒有出現一致性的規律。
4. 停止時前輪陷入砂土的深度：中砂在輪胎陷入的深度大致上>相同厚度細砂。另外，當車輛動量較大時，陷入的深度也較大。
5. 綜合以上結果，研究小組推測本實驗採用的中砂顆粒摩擦係數較小，排列間仍有空隙，車輛以較大動量進入時，較容易改變排列結構，使輪胎陷入增加阻力，很快就能停住。而細砂排列緊密，摩擦係數大，結構上不容易受到改變，可能因為每一次實驗在接觸減速道而有較大的變異。

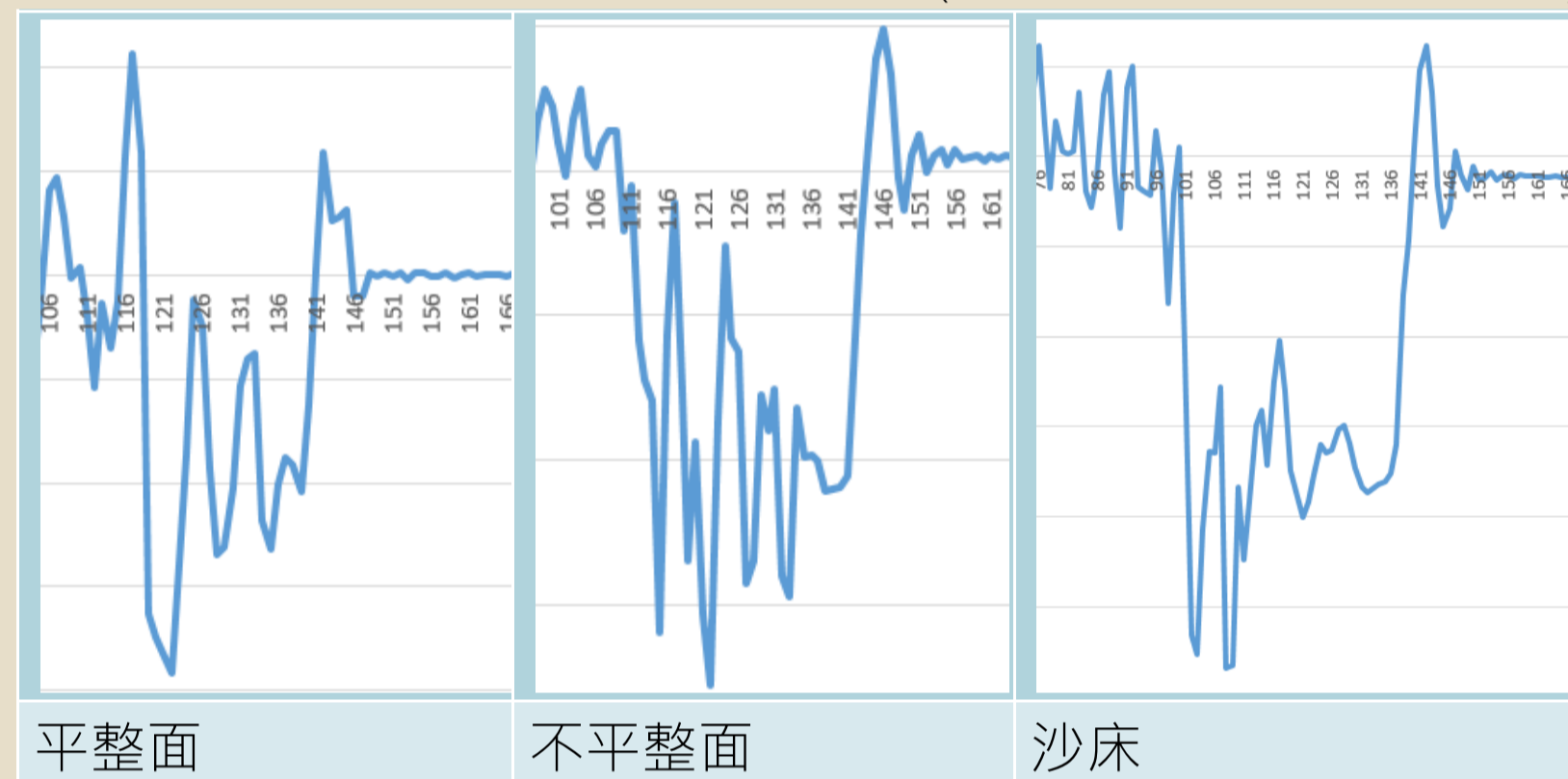
三、非平整鋪面的減速道效果

研究假設非平整的砂石表面會增加物體移動的阻力，小組在減速道底部設計空氣擾動裝置，將空氣打入底部水管內，使得緩速道形成一座沙床，利用沙成為流體的特性來減速，實驗結果彙整如圖 6-1、6-2、6-3。



1. 觀察圖 6-1，以動態的沙床使貨車在最短的距離停下，其次是不平整鋪面，減速效果較平整的鋪面好。
2. 圖 6-2 顯示沙床鋪面產生最大的負加速度，在瞬間接觸減速車道時，速度變化最大；不平整的鋪面則依每次實驗而有差異，平均起來小於平整鋪面。
3. 圖 6-3 顯示，平整的鋪面在加速度驟變到穩定的時間最短，推測可能因車體加速度驟降，雖然很快就減速停住，但氣床及車體的振動而使擾動的情形延長。進一步分析加速度變化（表 2），可以發現尾端的振動情形，在平整面是較快達到穩定的，因而使研究小組判定其達減速停止，造成減速歷時最短。
4. 小結：減速道的不平整，增加車體輪胎與砂土的接觸面積，產生更多的阻力來讓車輛更快停下。但由於不平整程度難以量化，且砂土的結構不容易設置均勻，因此本研究未針對不平整的紋路進行設計。

表 2 不同鋪面形成的加速度變化 (5 公分細砂鋪面、坡度 14.38 度)



四、海底淤泥的減速道效果

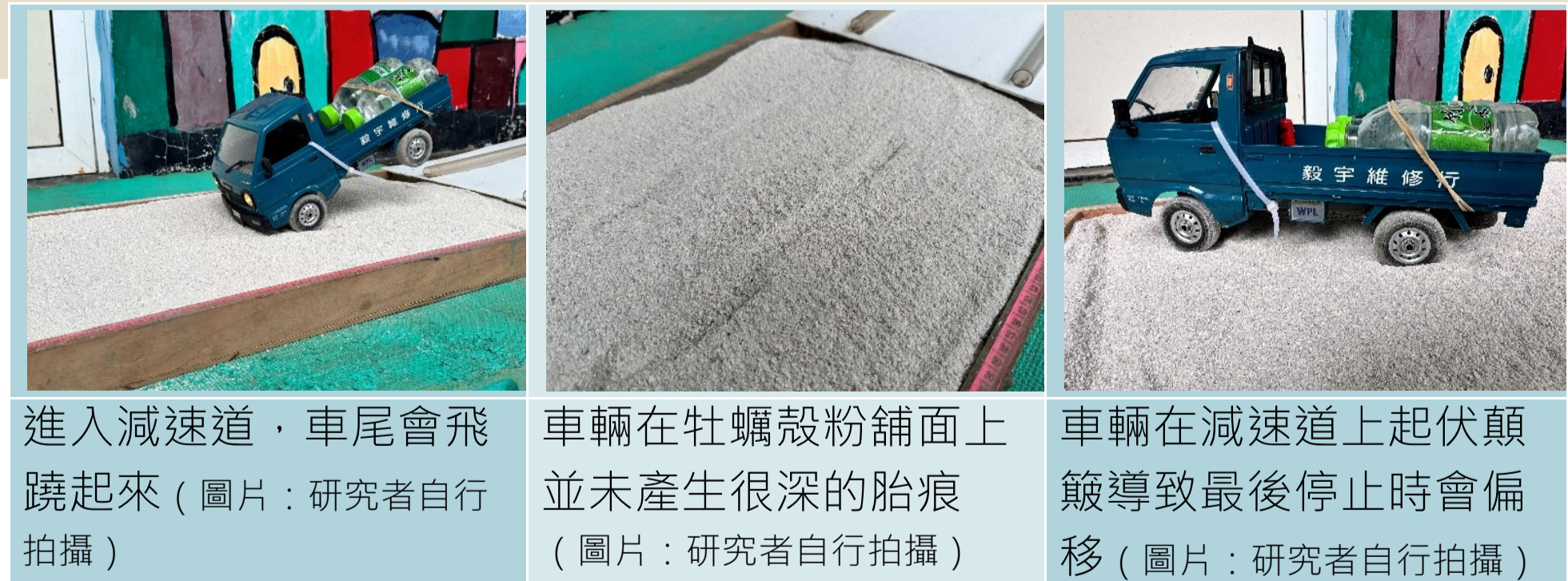
表 3 本實驗採用之海底淤泥減速效果

減速道材質	煞車距離 (cm)	最大負加速度 (m/s ²)	減速歷時 (sec)	初始胎痕深度 (cm)
粗淤泥 / 空車 / 斜度 1	86.4	-7.43	1.33	0.2
粗淤泥 / 載 1 水 / 斜度 1	90.5	-7.94	1.34	0.5
粗淤泥 / 載 2 水 / 斜度 1	煞不住			0.7
粗淤泥 / 空車 / 斜度 2	煞不住			0.2
粗淤泥 / 載 1 水 / 斜度 2	煞不住			0.3
粗淤泥 / 載 2 水 / 斜度 2	煞不住			0.7
細淤泥 / 空車 / 斜度 1	煞不住			0.5
細淤泥 / 載 1 水 / 斜度 1	煞不住			0.7
細淤泥 / 載 2 水 / 斜度 1	煞不住			0.9
細淤泥 / 空車 / 斜度 2	煞不住			0.5
細淤泥 / 載 1 水 / 斜度 2	煞不住			0.5
細淤泥 / 載 2 水 / 斜度 2	煞不住			1.3
牡蠣殼粉 / 空車 / 斜度 1	煞不住			0.5
牡蠣殼粉 / 載 1 水 / 斜度 1	煞不住			0.5
牡蠣殼粉 / 載 2 水 / 斜度 1	82.2	-9.45	1.28	0.5
牡蠣殼粉 / 載 1 水 / 斜度 2	煞不住			
牡蠣殼粉 / 載 2 水 / 斜度 2	煞不住			

註：在煞不住的情形下，測得的最大負加速度值即為車輛衝出減速道進入塑膠盒內被迫停止之數值，故本實驗不記錄。

研究所在地區有漁港及牡蠣養殖產業，港口底部清淤之淤泥堆置於港邊空地，以及成堆的牡蠣殼，因此取材隨手可得的廢棄物進行實驗，所得結果如表 3。

1. 海底淤泥經曬乾處理，多半成塊狀，經過手動敲碎及研磨，初分為粗淤泥及細淤泥，除了粗淤泥在貨車動量較小時，可以在 100 公分內減速。大部份皆無法在緩速道內停止。
2. 海底淤泥研磨後顆粒更小，且容易塑型。直接拿來做為減速車道的材料，並不恰當。小組推測，貨車進入淤泥車道時，因結構緊密，摩擦係數大，無法使輪胎陷入，以增加與輪胎的接觸面積。
3. 本實驗因時間限制，並未再進一步實驗，僅設計少部份鋪面拍攝影片，並未取得任何數據。未來應朝向淤泥顆粒重新塑形，或者進行更大型的實驗裝置來測試。
4. 本實驗研磨之牡蠣殼顆粒較中砂大，在鋪面的減速效果，除了斜度 1、載 2 水的狀態可以減速停止外，其餘的皆未能在 100 公分內使貨車剎停。模擬實驗的條件下，阻力效果不如篩網過濾之中砂與細砂。
5. 牡蠣殼粉鋪面較特殊處為：當車體載 2 水時，進入減速道的瞬間，可能因為阻力太大，使得車尾會蹺起來(如下圖)，然後車輛在減速道呈現上下波動的情形。



進入減速道，車尾會飛蹺起來 (圖片：研究者自行拍攝) 車輛在牡蠣殼粉鋪面上並未產生很深的胎痕 (圖片：研究者自行拍攝) 車輛在減速道上起伏顛簸導致最後停止時會偏移 (圖片：研究者自行拍攝)

五、二段式厚度鋪面之減速道效果

為避免車輛高速進入緩速道，因瞬間阻力太大，影響安全。小組發想二段式厚度鋪面（前 40 公分鋪設 3 公分厚中砂，後 60 公分鋪設 5 公分厚中砂）。結果如圖 7-1、7-2。

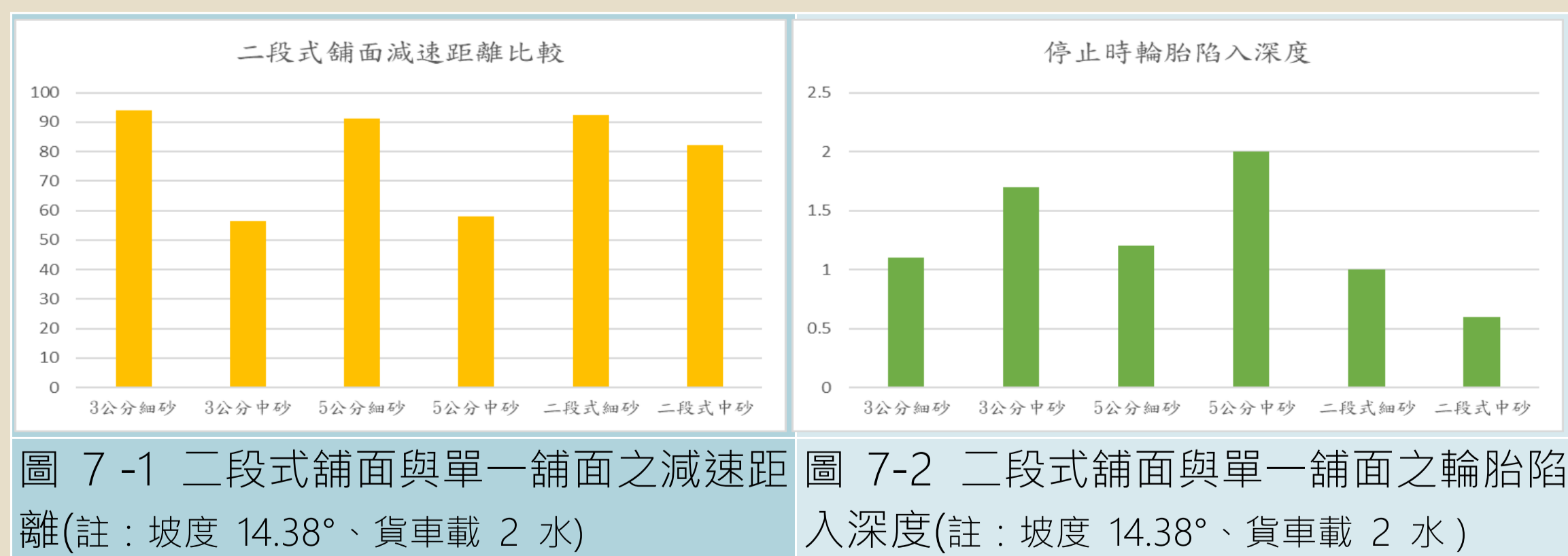


圖 7-1 二段式鋪面與單一鋪面之減速距離 (註：坡度 14.38°、貨車載 2 水) 圖 7-2 二段式鋪面與單一鋪面之輪胎陷入深度 (註：坡度 14.38°、貨車載 2 水)

1. 根據圖 7-1，二段式鋪面在中砂材質時，減速距離變長，但細砂材質並沒有明顯差別。
2. 根據圖 7-2，二段式鋪面使得最終的輪胎陷入深度變小。
3. 從減速距離及輪胎陷入深度可知，二段式鋪面的阻力由小變大，可以成功讓貨車在 100 公分內減速停止。根據結果顯示，讓貨車減速可以透過不同的鋪面深度來達到阻力的調控，避免載有重物的高速車體因慣性而擠壓前端的危險。

六、模擬潮溼鋪面之減速道效果

為探究緩速道是否會受雨天而影響阻停效果，研究小組利用中砂及細砂鋪面，將 1500 毫升的水以噴霧器平均灑在減速道中央，測量其減速距離。結果發現，厚度 5 公分的中砂及細砂鋪面淋水後，皆無法在 100 公分內使貨車剎停（坡度 14.38°、貨車載 2 水），且輪胎在減速道留下的深度，皆小於乾燥時。代表減速車道的砂土，在含有水分之後，顆粒結構改變的程度變小，阻力變小。

五、討論

一、砂土顆粒與鋪設厚度交互影響

貨車減速的現象，無法以單純的摩擦力來表示效果。以下就貨車在減速坡道上的減速距離與加速度變化進行討論：

- (一)減速距離：顆粒適中的砂土能形成較短的減速距離，本實驗以中砂最適合。過小的顆粒，排列間隙小，摩擦係數大，結構也愈穩固。而本實驗使用的粗砂，重量較重，也不易因遙控小貨車的駛入而影響結構。
- (二)貨車動量愈大，會形成較長的減速距離，停止時輪胎陷入砂土的深度也愈深。鋪設厚度愈厚，一般而言能使減速距離愈短。
- (三)最大負加速度與停止距離交叉分析：根據實驗結果，砂土的顆粒與鋪設厚度會交互影響，使得貨車產生不同的減速效果。

1.圖 4 顯示最大負加速度與剎停距離之關係。觀察各種組合產生的相鄰資料點：

- (1)細砂在車輛動量較大的情況下，會產生最大的負加速度與較長的剎停距離。
- (2)中砂則會因為車輛動量增加而減少剎停距離。
- (3)砂土顆粒、厚度與車體重量，是以複雜的連動關係在影響著剎停距離與產生負加速度。
- (4)推測進入減速道的瞬間，車輛動量受到緩衝減少許多，殘餘動量持續受到砂土結構（陷入深度）與車體重量（鋪面厚度）連動影響，因此出現瞬間負加速度大、但剎停距離長的情形。

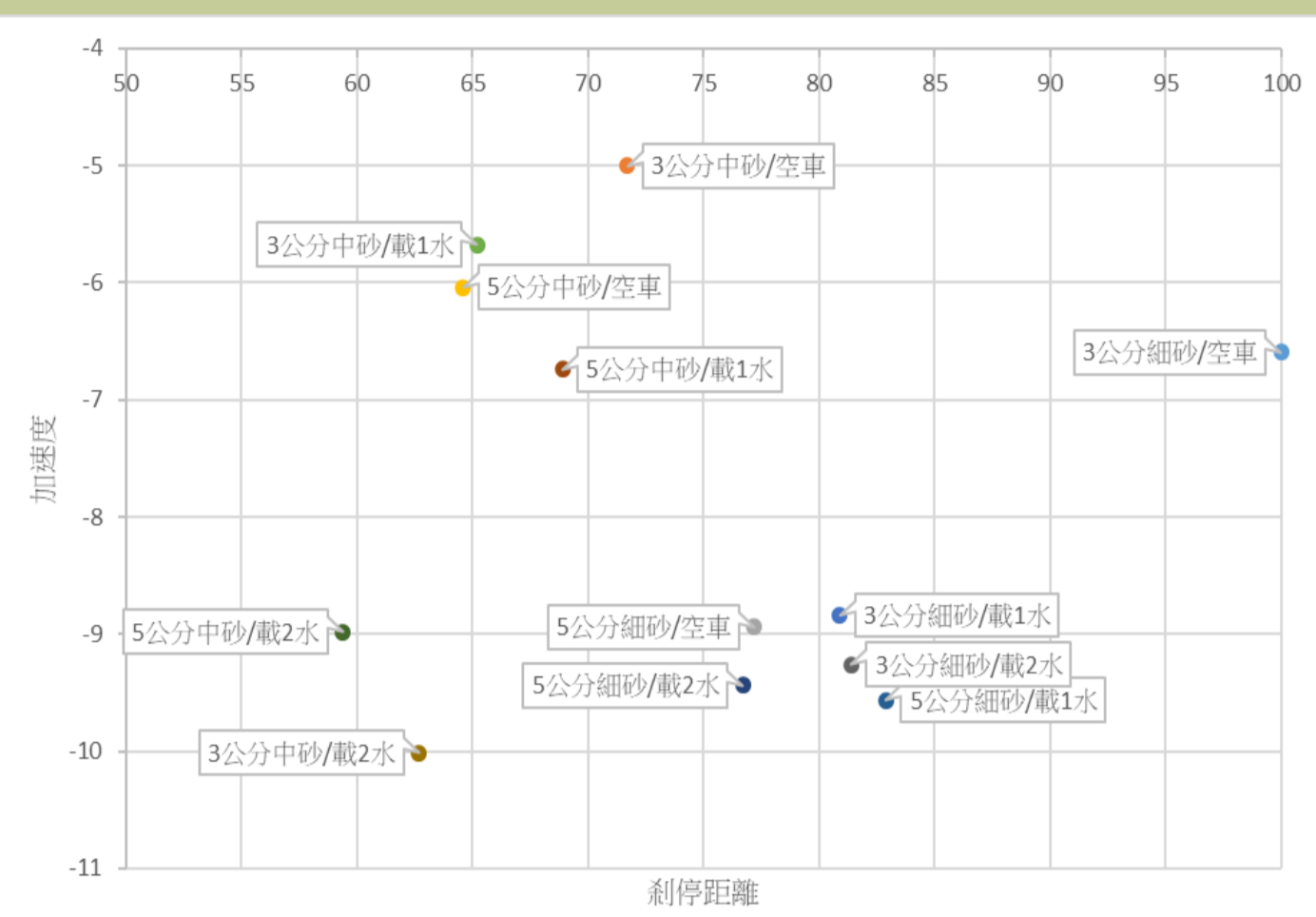


圖 4 最大負加速度與剎停距離關係 (傾斜度 7.00 度)

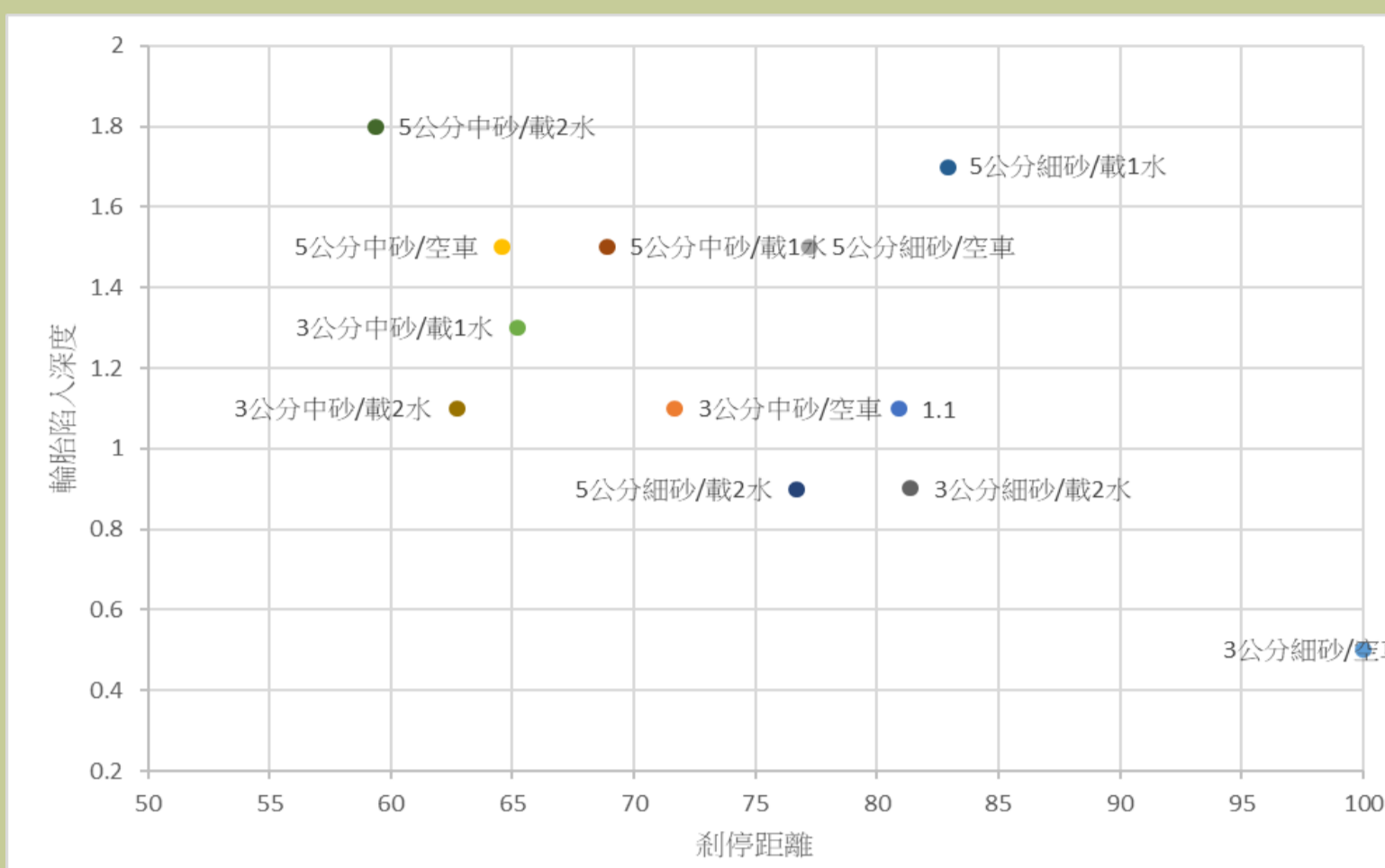


圖 5 輪胎最終陷入深度與剎停距離關係 (傾斜度 7.00 度)

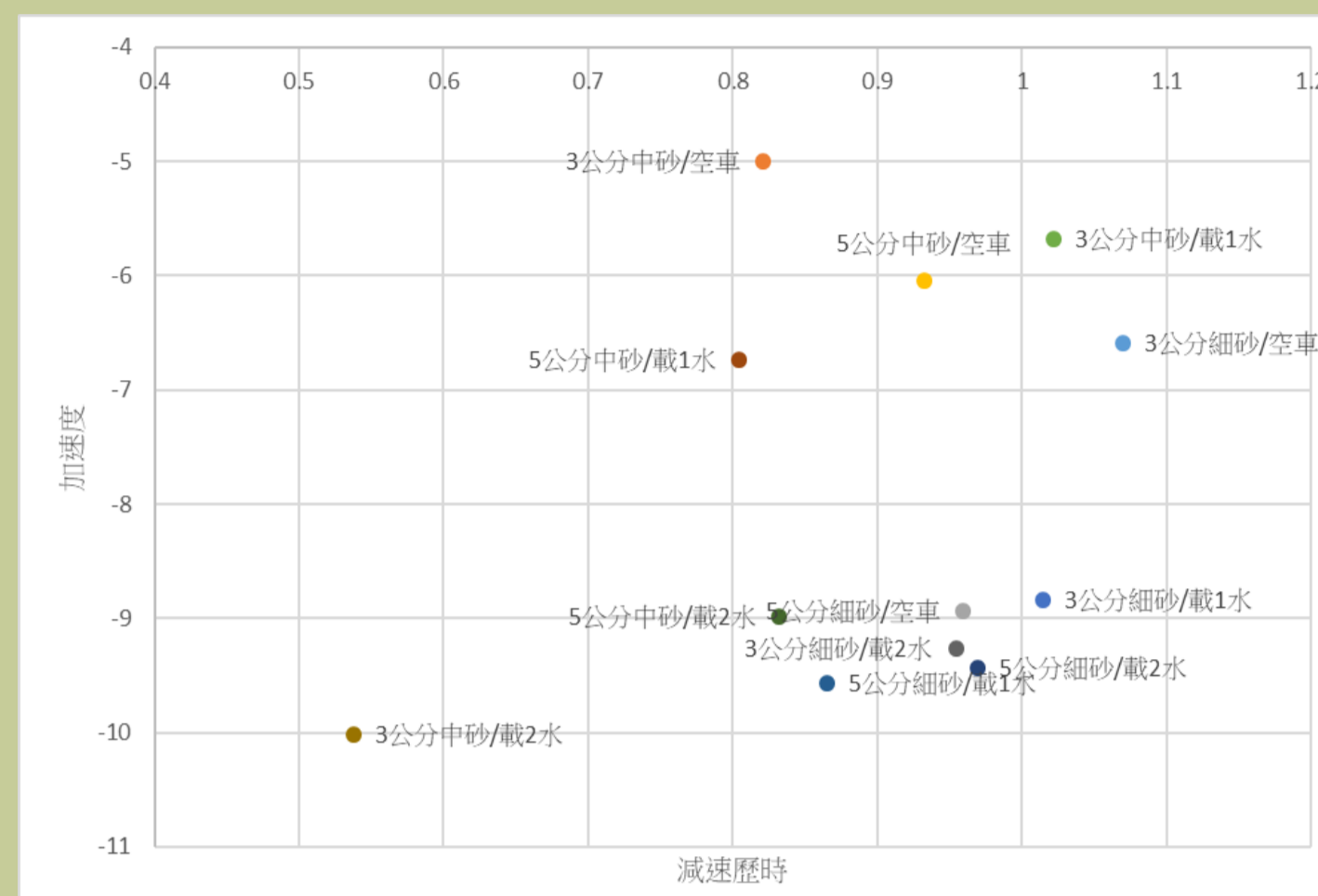


圖 6 最大負加速度與減速歷時關係 (傾斜度 7.00 度)

- 2.圖 5 左上方皆是中砂，顯示因為輪胎陷入較深，使得中砂產生的剎停距離較短。從資料點的集中情形約可看出，細砂剎停距離偏長。推測細砂鋪面使車體在滑行的過程中，產生的阻力較小，可讓貨車在停止的歷程保持穩定性。
- 3.圖 6 右下角集中之標記皆為細砂，代表較大的負加速度、但較長的減速歷時。中砂則是較小的負加速度且較短的減速歷時。
- 4.較重的貨車雖然產生較大的負加速度，但減速歷時並沒有明顯減少，緩速效果與砂土顆粒有較大關聯。

小組歸納，細砂鋪面可以使車體慢慢停止，在減速的歷程中，保存貨物的完整性（尤其是液態的化學藥劑），例如高速公路。中砂鋪面則可以減少滑行距離，有利於設置在較無法增加車道長度的情形，例如山路。

二、非平整鋪面的影響

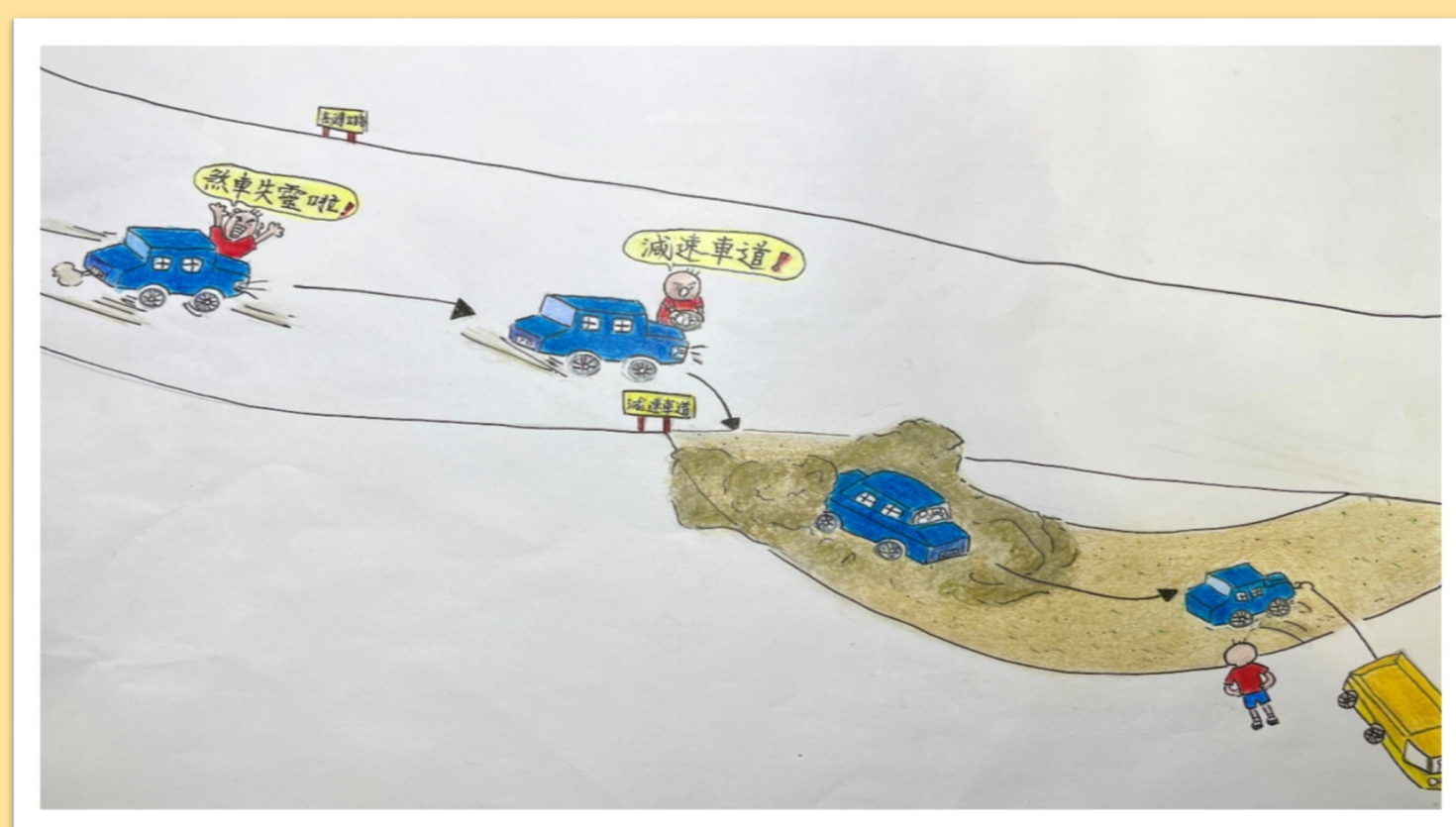
緩速車道在戶外，可能受到氣候變化如雨天、日曬等因素讓砂土鋪面膠結岩化，降低緩速功能。顆粒愈小的砂土，愈不容易維護。根據查詢的資料，巴西的公路緩速道以特製的圓形黏土球來鋪設，以保持緩速效果。

小組提出另一種方案，定時以氣體鬆動減速道砂土。實驗顯示，在減速道下方裝設出氣孔，可以鬆動砂土層，使得砂土層表面形成不平整狀態，有助於增加減速效果。利用氣體在砂土底層流動時，連帶著使砂土形成流體砂床，產生類似非牛頓流體的性質，當車體進入沙床時，砂土與輪胎接觸面積增加，深化輪胎下陷的程度，增加阻力，強化減速效果。

另外，小組也提出發想：在下坡易肇事路段設計機電整合系統，當車子剎車故障時即發送訊息給最近設置緩衝道的基地台，即啟動減速車道的排氣系統，將減速車道形成一道氣體浮動砂床，增加減速效果。而定期排氣擾動砂土系統，也可維護減速車道，不致於因下雨或岩化作用而使砂土結構產生改變。

三、臺灣地區高速公路及下坡山路減速車道設計規劃

(一)臺灣地區高速公路範圍不大，且為高架設計，設置緩速車道將面臨成本挑戰，小組提出在下坡路段（尤其是易發生交通事故）後段，以興建支道方式提出規劃，如以下示意圖。



註：

- 1.建議使用細砂或二階段中砂，設置長匣道以均勻減緩車速，維持貨物完整。
- 2.可搭配智慧排氣系統，在失控車進入車道前啟動，增加減速效果。（圖片：研究者自行繪製）

(二)臺灣山路較為狹窄且彎曲，為此，小組提出一個小型山路減速車道的設計（如示意圖）。讓失控的車輛就算無法立即剎停，也可有效緩速，減少傷害。



註：

- 1.建議可以使用顆粒適中的中砂，達到短程減速。
 - 2.減速道朝向山壁部份向上傾斜設計，以避免車子減速未完成時撞上山壁。
- （圖片：研究者自行繪製）

(三)在鋪面材質方面，小組採用沿岸出海口或者港區之海底淤泥或牡蠣殼，曬乾後研磨重塑成合適的大小來進行鋪設，達到資源再利用目的。雖然本研究測試的海底淤泥及牡蠣殼粉無法在 100 公分內讓車輛剎停，但也發現淤泥顆粒小、可塑形的特質，經小型實驗發現確實有效果。未來可以比照巴西緩速車道材質，將淤泥製成彈珠般大小的泥球。未來將會再依此想法進一步延伸探討較球狀的海底淤泥用於大型車輛的減速效果。另外，多段式複合材質與厚度的搭配，也可以創造出不同的緩速效果。

陸、結論

根據實驗結果，模擬公路緩速車道的效果上，獲得以下結論：

- 一、緩速道上的砂土顆粒大小及鋪設厚度，會影響減速距離。顆粒適中的鋪面，形成較大阻力，減速距離較短；厚度 5 公分的鋪面較 3 公分的減速距離短。
- 二、本研究的緩速效果，包含減速距離、產生的最大負加速度與減速歷經時間，會與砂土的顆粒及厚度產生複雜的連動關係。
- 三、緩速道的鋪面平整度影響效果，本研究砂床設計產生的減速效果較平整的鋪面好。研究小組據此提出一臺灣地區可行的高速公路下坡路段減速車道設計圖。
- 四、本研究以事業廢棄物做為減速道鋪面，經處理後具有緩速效果，可提供未來材料之參考。
- 五、本研究採用之中砂鋪面，對於動量大的貨車，造成剎停距離愈短、輪胎陷入砂土的深度較深、瞬間產生的負加速度大，為適合設置於短車道的緩速道參數。
- 六、本研究採用之細砂鋪面，可讓車體在 100 公分內緩慢降速，雖然剎停距離增加，但較長的減速歷時可讓車體平穩，保持貨物完整性，為適合設置於高速公路的緩速道參數。