中華民國第55屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組　物理科

080119

『石』在厲害!

道碴（Ballast）對於鐵軌穩定性與排水性之探討

學校名稱：新北市林口區麗林國民小學

作者：	指導老師：
小六 林旻佑	許銪麟
小六 游鎮宇	黃紫屏

關鍵詞：道碴、枕木、鐵道

摘要

實驗結果顯示，經過夯實步驟的道碴，彼此靠近愈形緊密，道碴間所產生的摩擦力，巧妙地達成固定枕木之效果，但是在雨天的時候，受水份的影響，而造成道碴間的摩擦力變小，尤其以泡水時的影響最大，此時枕木被道碴固定力量也變小最多;由於道碴間有縫隙，讓鐵軌在雨天的時候可迅速將路基上雨水迅速排開，路基因而不易積水，所以影響固定枕木的力量與道碴的形狀、大小、外觀圓滑與否及枕木形狀有關係外，氣候因素之於道碴濕潤程度亦不容小覷。此外，道碴還有分散火車重量防止鐵軌下陷的功能，可讓火車行駛在鐵軌上穩定性較高也較安全。

壹、 研究動機

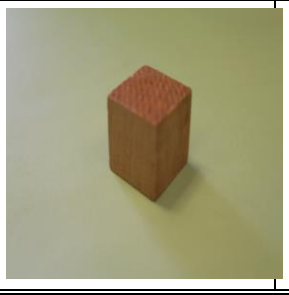
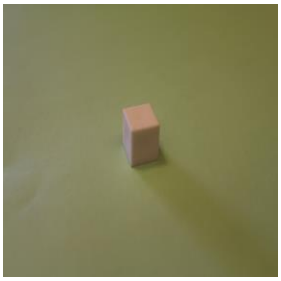
當自然老師透過『岩石與礦物』這個單元解說石頭種類時，因為我是鐵道迷，所以在這個課程進行的當時讓我聯想到：鐵軌上的枕木旁鋪滿許多的石頭，難道石頭的存在與固定枕木有關係嗎？而且鋪上石頭的鐵道經過風吹日曬雨淋後，難道不會影響行車安全嗎？石頭真的那麼厲害嗎？這個問題在我心中起了個大問號，為了想要了解道碴在鐵道工程扮演的角色，因此我就以道碴來做為這次科展的實驗主題，期盼能透過此次的研究，探究出道碴的功能。

貳、 研究目的

一、認識鐵道。
二、探究道碴對於鐵軌的穩定性。
三、探究道碴對於鐵軌的排水性。

參、 實驗設備及器材

一、石子種類(用來模擬道碴)

表一：實驗用道碴				
道碴種類	大理石	大理石(銳)	大理石(圓)	大理石(銳)
大小(mm)	**20.84**	**12.39**	**12.38**	**3.33**
實物圖片				
道碴種類	白砂	紅土	方型松木塊(2cm)	方型塑膠塊(1cm)
實物圖片				

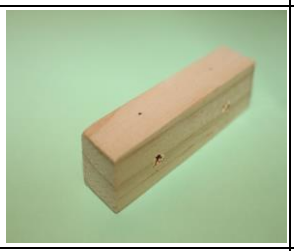
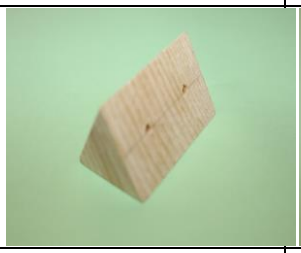
二、砝碼的種類

表二：實驗用砝碼種類						
砝碼重量	1 公克	2 公克	5 公克	20 公克	500 公克	1000 公克
實物圖片						

三、實驗用滑輪與滾筒

表三：滑輪種類與滾筒重量				
器材名稱	定滑輪	定滑輪	滾筒(580 公克)	滾筒(1790 公克)
實物圖片				

四、實驗用枕木

表四：枕木形狀、重量與規格				
器材名稱	長方形枕木	三角形枕木	梯形枕木	半圓形枕木
實物圖片				
枕木重量	10 公克	12 公克	15 公克	12 公克
枕木規格	長：1.8cm 寬：1.7cm 高：7.9cm	邊長 3cm 的 正三角形 長：4.46cm	上底：2cm 下底：3cm 高：2.6 cm 長：4cm	直徑：3cm 長：5.83 cm

五、夯碴模擬器與拉力量測器、重力分散器與模擬排水器及側向拉力器之設計原理與製作
我們運用如下的物理原理設計了實驗器材來進行我們的實驗：

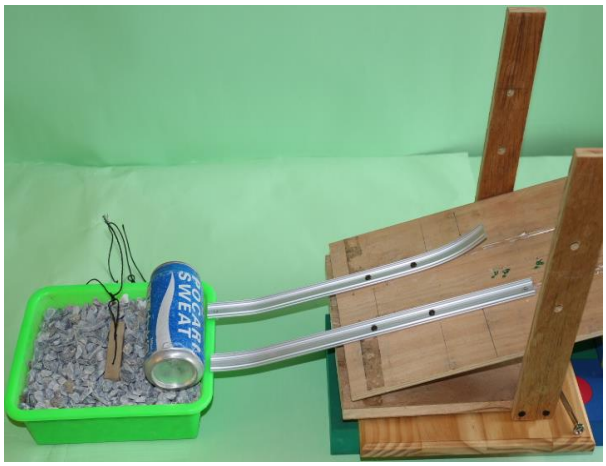
(一)夯碴模擬器與拉力量測器

1、目的：以木片組合出斜面，藉由斜面來產生下滑力，把枕木置於道碴裡來模擬鐵道，將滾筒由斜面往下滾壓碎石與枕木，來模擬夯碴的過程。

2、設計原理：重力;具有質量的物體受地心引力的作用，是物體重量的來源。在這次的研究裡，是以滾筒的重力當作道碴的受力來源。

3、製作步驟：將兩片(A：長46 公分、寬22 公分、B：長23公分、寬22公分)桐木片用鉸練連接，如此可使木片與木片間是一組活動且可調整任意夾角的組合。

4、器材介紹與使用說明：將滾筒置於斜坡軌道上，藉由重力在斜面產生的下滑力，讓滾筒往下滾，如圖一所示，是滾筒滾壓碎石與枕木的示意圖。如圖二所示，以滑輪組與砝碼來測試枕木被拉起的平均拉力。



圖一：夯碴模擬器

圖二：拉力量測器

(二)重力分散模擬器

1、目的：觀察道碴是否可以分散火車的重量。

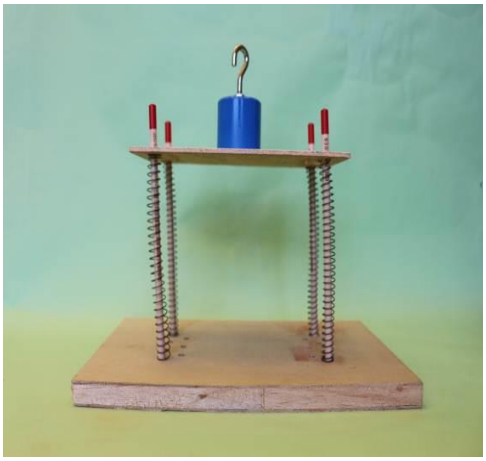
2、設計原理：壓力原理

3、製作步驟：

在長30公分寬18公分的木板上鑽出直徑9mm的12個圓孔，並裁出12個長12公分彈簧。

4、器材介紹與使用說明：

如圖三所示，先把四支鉛筆立在較厚的木片圓孔上，並套上彈簧，再蓋上較薄的木片，此木片是用來承載砝碼，量測壓縮後的彈簧長並記錄之，接下來以每次為 2 的數量來增加支撐柱，並以對稱方式擺放。



圖三：重力分散模擬器

(三)模擬排水器

1、目的：觀察不同條件的砂石之排水效率。

2、製作步驟：在市售的鋁箔包開孔，並鋪上砂網。

3、器材介紹與使用說明：如圖四所示，將不同大小與形狀的砂石置於容器(上半部不透明)裡面，並注入水，並以透明量筒，記錄水流經各種不同材質道碴的排水時間。

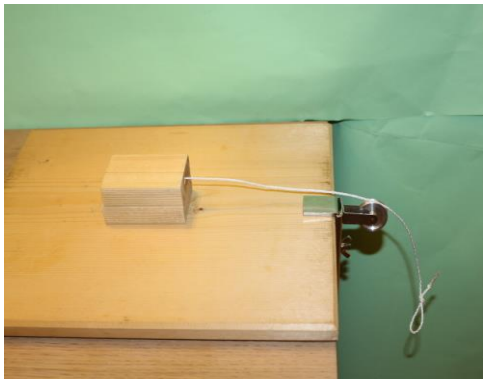
圖四：模擬排水器

(四)側向拉力器

1、目的：想了解路肩寬與路肩高是否會增加道碴對枕木的固定力量。

2、器材介紹與使用說明：

如右圖五所示，先把定滑輪固定在一個水平面，把側向拉力器的棉線套在定滑輪上，棉線另一端掛砝碼，每次增加方型松木塊的同時並以對稱方式擺放，當松木塊被推動時記錄砝碼重量。



圖五：側向拉力器

肆、 研究過程、方法與結果

一 、認識鐵道

(一)文獻閱讀：

我們閱讀相關書籍[1-2]與網路文獻[3]，也利用假期到已停駛的臺鐵舊山線勝興車站，去了解鐵道的構造，經過文獻閱讀與實體觀察，鐵道包含了枕木、鋼軌、道碴、扣件...等，透過扣件，讓鋼軌緊緊扣住枕木，而枕木則完全被道碴包住，道碴經過夯碴的程序後，可以讓道碴更緊密的靠在一起，把枕木緊緊的卡住，減小列車行駛的震動，並提高行車安全。

(二)鐵路是如何鋪設的呢？

從參考文獻[1]提到共有六個步驟來完成鐵道的鋪設，它們分別是：

1.填方：又稱為填實土方，在鋪設鐵路前要先鋪上路基後，才能鋪上枕木。

2.鋪軌：在枕木上初步鋪上鐵軌，但不能直接固定鐵軌。

3.量水平：測量完確定後才可將鐵軌與枕木固定。

4.填碴：在鐵軌和枕木間填補碎石頭，並用機器壓實它們，稱為『夯碴』。

5.試車：未通車前要反覆試行火車，確保行車安全。

6.通車：上述程序完成，就可順利通車。

圖六：臺鐵勝興車站鐵道　圖七：高鐵新左營站鐵道　圖八：捷運淡水線鐵道

(三) 道碴規格：

圖九：道碴外觀

說明：圖九中的原子筆長度大約是 14cm，經過量測後，道碴是長約 6.5cm ~7.2cm，寬約 4.2cm ~4.8cm，表面粗糙，外觀為不規則形狀的石子。

二、枕木穩定性實驗：

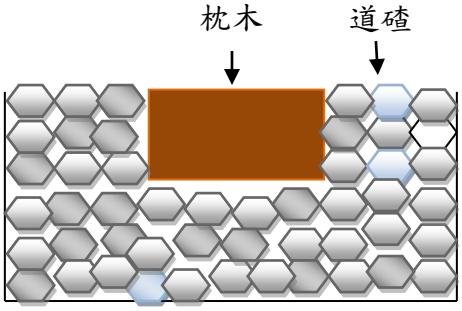
(一)：道碴有力量固定枕木嗎？

1、實驗方法：比較枕木重量與壓實前後的拉力大小，來探討道碴有力量固定枕木;

(1)以拉力量測器(圖二)測量枕木未埋入道碴前所需的拉力，即枕木重量。

(2)道碴未壓實：

將銳角型石子(12.39mm)翻鬆後，如左圖十把枕木埋入道碴裡，並與之齊平，以拉力量測器測量拉力大小，每次增加 1 公克，直到枕木被拉起。

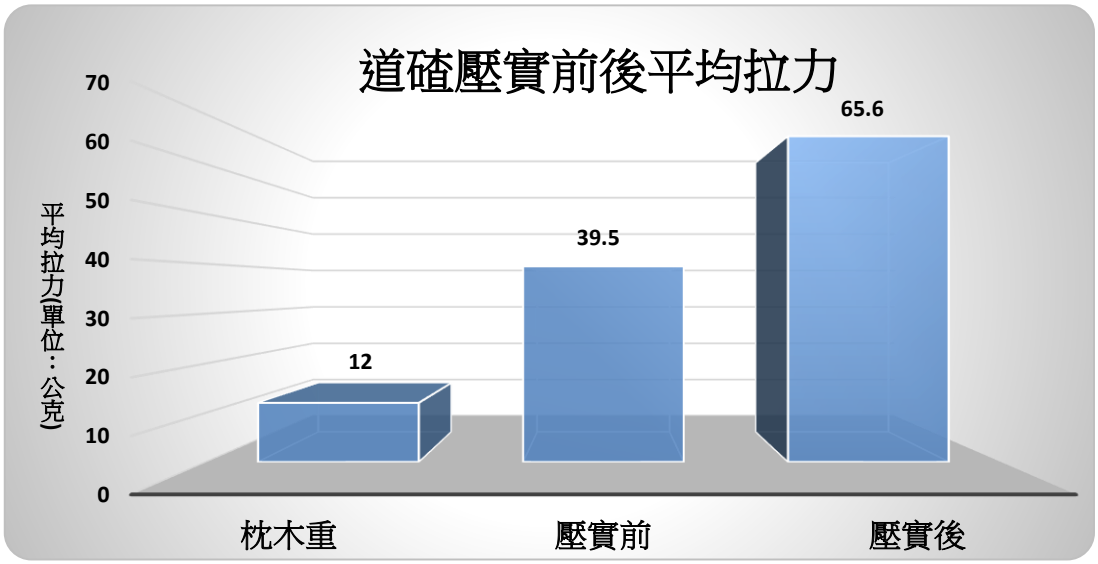


圖十：枕木埋入道碴示意圖

(3)道碴經過壓實：

把枕木埋入銳角型石子(12.39mm)道碴裡，如圖一的組合，將滾筒(580 公克)由斜坡上往下滾，並壓過道碴與枕木，連續壓實 6 次數後，以拉力量測器測量拉力大小。

2、結果：



說明：枕木重量 12 公克，但比較枕木在埋入道碴後壓實前後的平均拉力(未壓實 39.5 公克，壓實後 65.6 公克)，發現道碴不但有固定枕木的力量，而且經過壓實後，可以固定枕木的力量變大了。

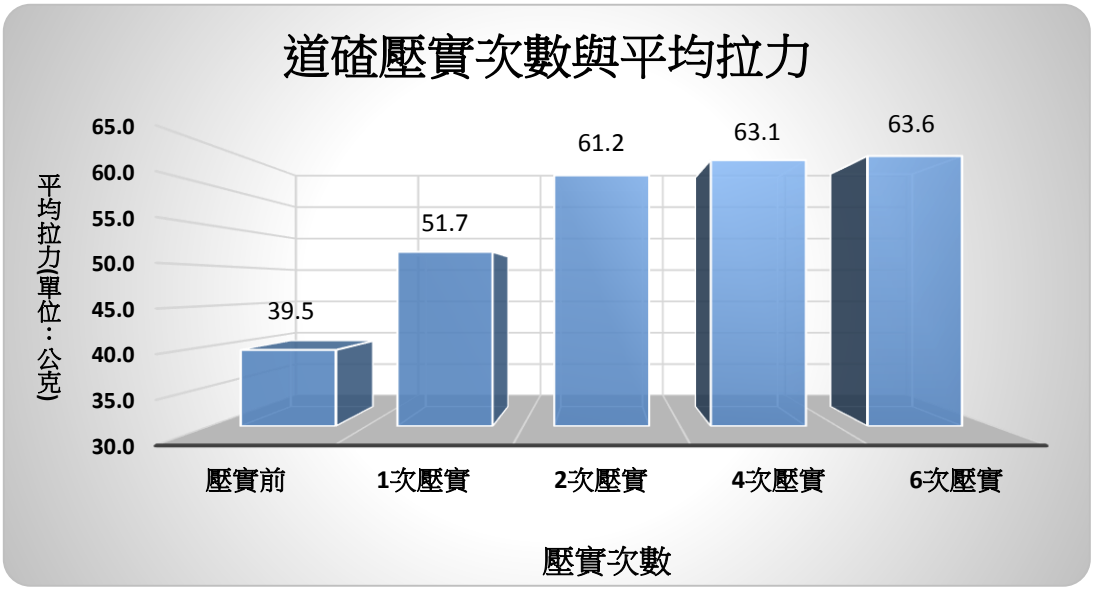
(二)：道碴經過多次壓實後，固定枕木的力量會越來越大嗎？

1、實驗方法：

(1)道碴規格銳角型(12.39mm)，滾筒重量：580 公克。

(2)把枕木埋入道碴裡，如圖一的組合，將滾筒(580 公克)由斜坡上往下滾，並壓過道碴與枕木，實驗分五個程序，分別為不壓實、壓實 1 次、壓實 2 次、壓實 4 次、壓實 6 次，完成每個程序所需的壓實次數後，就需以拉力量測器測量拉力大小，每次增加 1 公克，直到枕木被拉起。

2、結果：



說明：道碴隨著壓實的次數增加，可以固定枕木的力量雖然變大，但經過二次以上的壓實後，固定枕木的力量增加幅度趨緩而漸趨穩定，並不會越來越大。

(三)：壓實力量大小會影響道碴固定枕木的力量嗎？

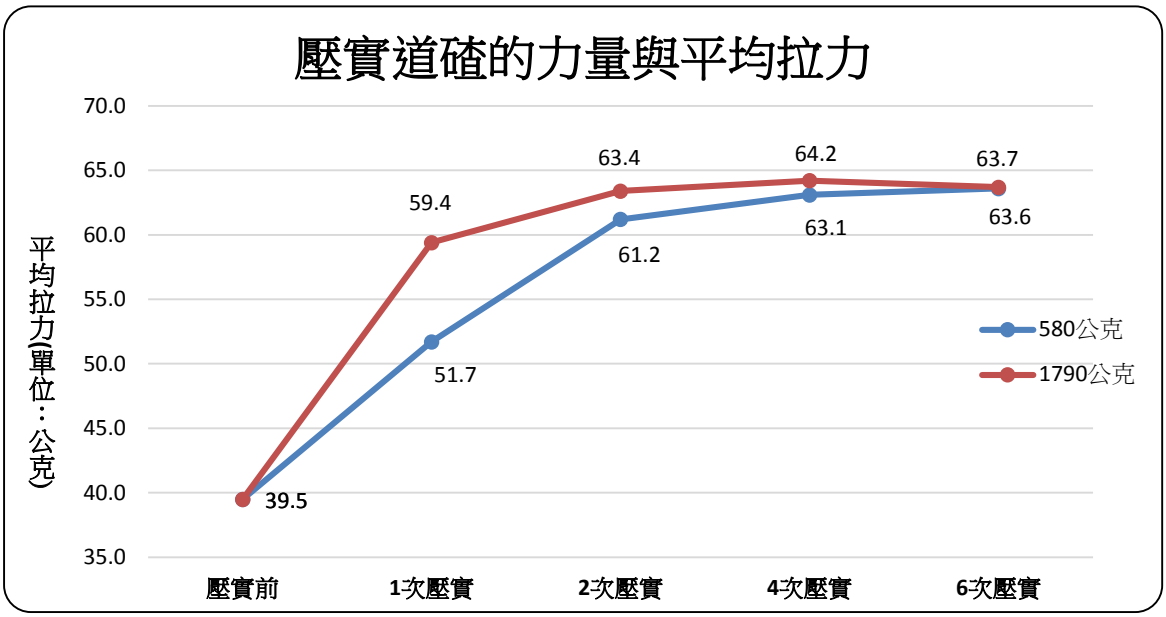
1、實驗方法：

(1) 使用道碴規格是:銳角型(12.39mm),滾筒規格分二種重量:580 公克/1790 公克。

(2) 把枕木埋入道碴裡，如圖一的組合，將滾筒(580 公克)由斜坡上往下滾，並壓過道碴與枕木，實驗分五個程序，分別為不壓實、壓實 1 次、壓實 2 次、壓實 4 次、壓實 6 次，完成每個程序所需的壓實次數後，就需以拉力量測器測量拉力大小，每次增加 1 公克，直到枕木被拉起。

(3) 每種滾筒都需完成上述步驟，以比較經過不同重量滾筒壓實後的拉力是否不同。

2、結果：



說明：施以二種不同壓實力量於道碴上並比較拉力大小結果，結果顯示，壓實力量越大,道碴固定枕木的力量越大,但兩者間的差距隨壓實次數增加慢慢變小。

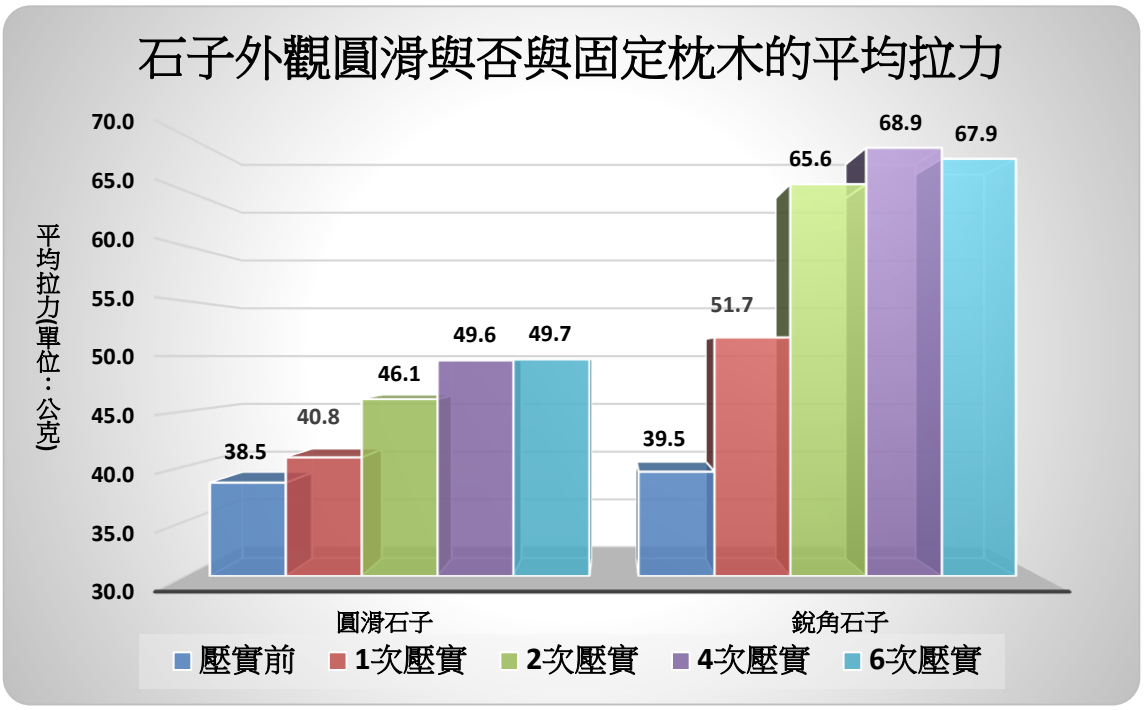
(四)道碴外觀圓滑與否會影響固定枕木的力量嗎？

1、實驗方法：

(1)把枕木埋入道碴裡，如圖一的組合，將滾筒(580 公克)由斜坡上往下滾，並壓過道碴與枕木，實驗分四個程序，分別為壓實 1 次、壓實 2 次、壓實 4 次、壓實 6 次，完成每個程序所需的壓實次數後，就需以拉力量測器測量拉力大小，每次增加 1 公克，直到枕木被拉起。

(2)本次實驗共有兩種不同道碴，規格有：銳角型(12.39mm)與圓滑型(12.38mm)。

2、結果：



說明：不論有無經過壓實的動作，外觀圓滑的石子其固定枕木的力量比銳角形狀的石子還要小，同樣的，也發現不論外觀圓滑與否，任何一種碎石經過多次壓實後，固定枕木的力量也會漸漸的趨緩。

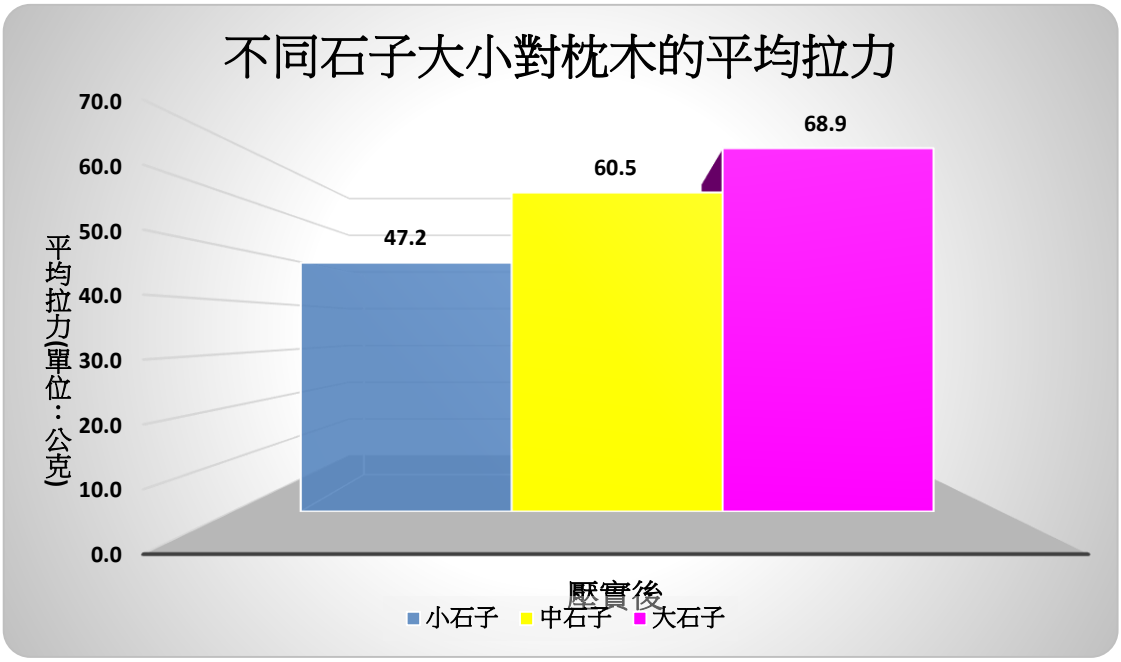
(五)道碴大小會影響固定枕木的力量嗎？

1、實驗方法：

(1) 把枕木埋入道碴裡，如圖一的組合，將滾筒置於斜坡上，讓滾筒由斜坡往下滾，連續壓實道碴與枕木 6 次後，以拉力量測器測量拉力大小。

(2) 本次實驗共有三種不同規格道碴：大石子(20.84mm)/中石子(12.39mm) /小石子(3.33mm)。

2、結果：



說明：道碴大小會影響固定枕木的力量，體積越大的石頭，有較大的固定枕木的力量。

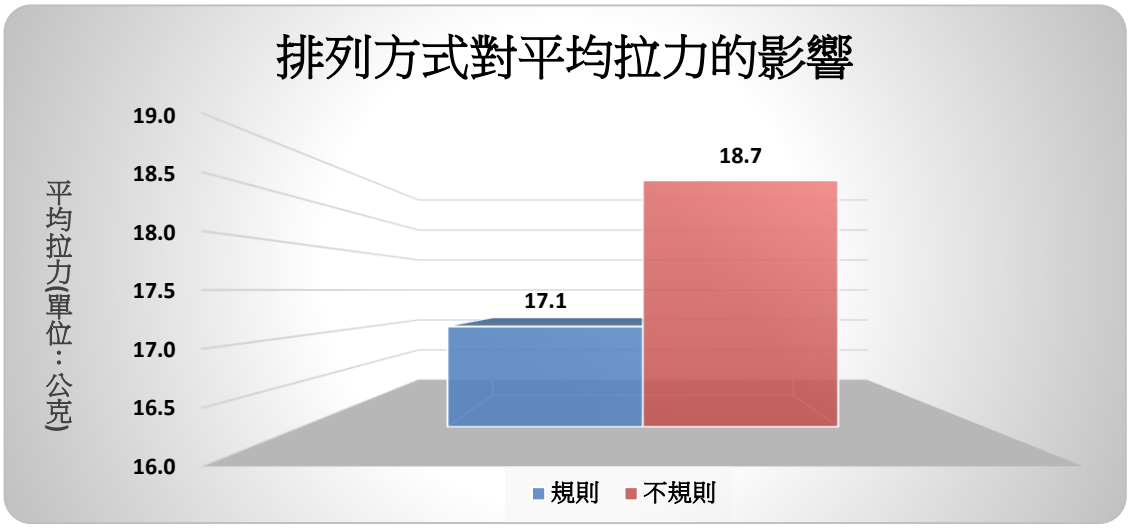
(六)：道碴的排列，是否影響固定枕木的力量嗎？

1、實驗方法：

(1) 把枕木埋入道碴裡，如圖一的組合，將滾筒置於斜坡上，讓滾筒由斜坡往下滾，連續壓實道碴與枕木 6 次後，以拉力量測器測量拉力大小。

(2) 實驗道碴規格：塑膠材質正立方體(1cm)。

2、結果：



說明：當道碴是規則排列時，枕木較容易被拉起。相反的，不規則排列的道不容易被拉起。所以不規則排列的道碴才可以提升火車行駛時的穩定性。

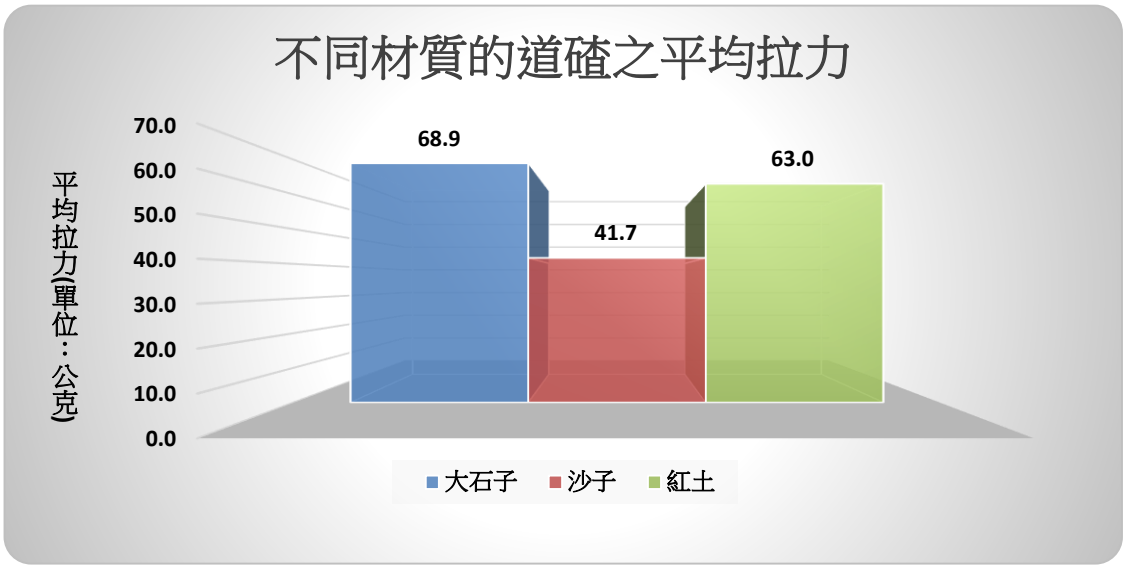
(七)：道碴的材質會影響固定枕木的力量嗎？

1、實驗方法：

(1)把枕木埋入道碴裡，如圖一的組合，將滾筒置於斜坡上，讓滾筒由斜坡往下滾，連續壓實道碴與枕木 6 次後，以拉力量測器測量拉力大小。

(2)本次實驗共有三種不同規格道碴：石子/沙子(跳遠場) /紅土。

2、結果：



說明：材質對固定枕木的力量都不盡相同，整體而言，石子與紅土的表現比沙子較佳。

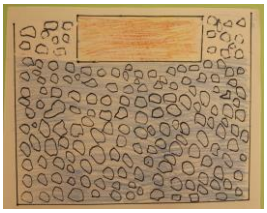
(八)：道碴潮濕與否會影響固定枕木的力量嗎？

1、實驗方法：

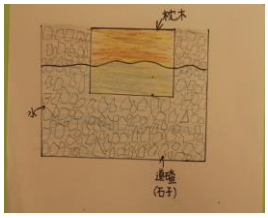
(1) 把枕木埋入道碴裡，如圖一的組合，將滾筒置於斜坡上，讓滾筒由斜坡上滾過道碴與枕木，實驗分五種狀態，分別為道碴乾燥、道碴潮濕、水位升至與枕木下底面齊平、水位升至 1/2 枕木高度、淹沒枕木，每種狀態壓實 6 次後，就需以拉力量測器測量拉力大小，每次增加 1 公克，直到枕木被拉起。這五種狀態有不同的模擬情況，其說明如下：

圖十一：道碴乾燥

圖十二：道碴潮濕



圖十三：水淹至枕木下底面



圖十四：水淹至 1/2 枕木高

圖十五：淹沒枕木

圖十一『道碴乾燥』：用來模擬石子沒有水分。

圖十二『道碴潮濕』：模擬石子在雨天時的情況。

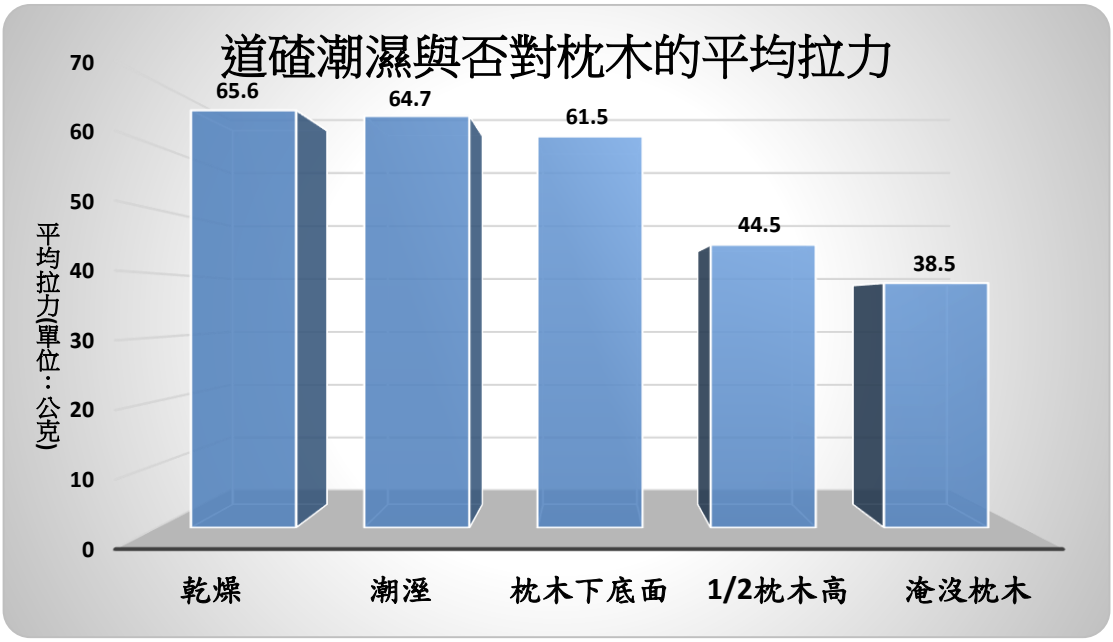
圖十三『水位升至與枕木下底面齊平』：是指水淹道床至枕木下底面。

圖十四『水位升至 1/2 枕木高度』：是指水淹道床至 1/2 枕木高位置。

圖十五『淹沒枕木』：來模擬水災時的情況。

道碴規格：銳角型(12.39mm)。

2、結果：

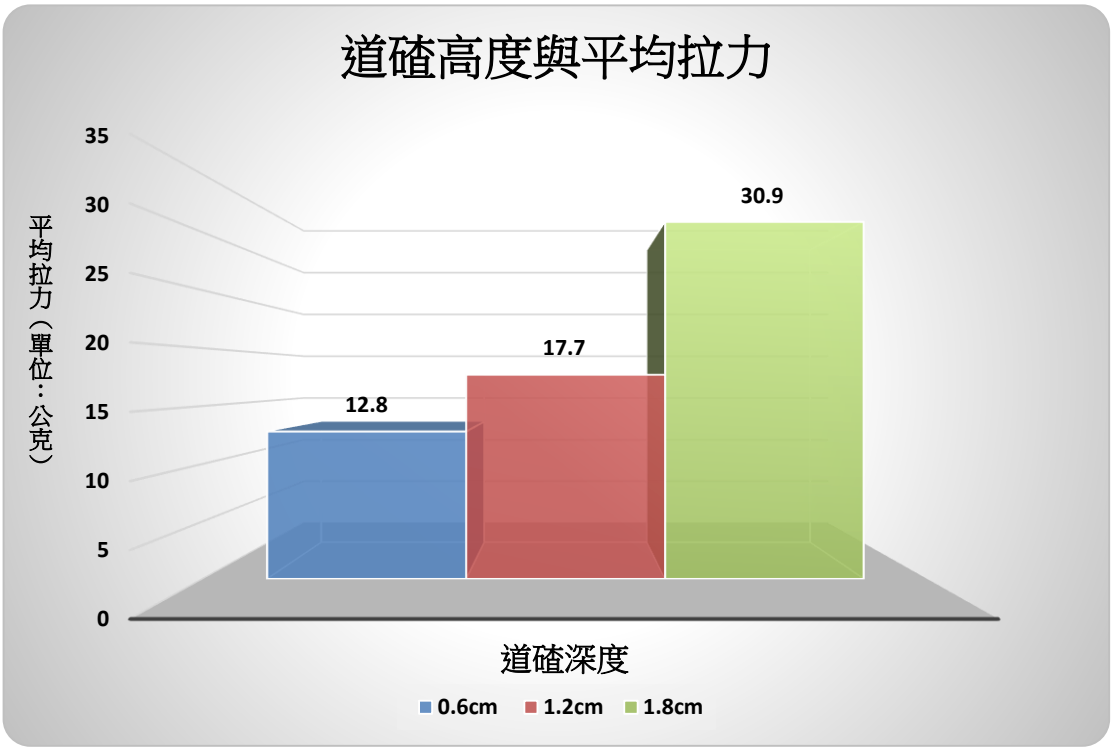


說明：道碴在乾燥與潮濕的狀態時，其固定枕木的平均拉力差異不明顯，但隨水量高度逐漸增加，平均拉力也會變小，尤其以水淹至枕木下底面到水淹 1/2 枕木高的拉力變化最劇烈，直到枕木與道碴都泡在水裡時，固定枕木的平均拉力已降低許多，約少了 1/3 的平均拉力。

(九)卡住枕木的力量與埋入枕木的深度有關嗎？

1、實驗方法：把枕木埋入大小為 3.33mm 道碴，在深度 0.6cm、1.2cm 及 1.8cm 時分別以拉力量測器來測量拉力大小，每種深度各量測十次。

2、結果：

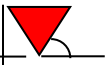
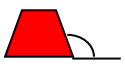
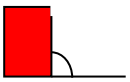


說明：卡住枕木的力量隨著枕木被埋入的深度增加而增加，深度越深，道碴與枕木側面接觸面積越大，因此平均拉力也增大。

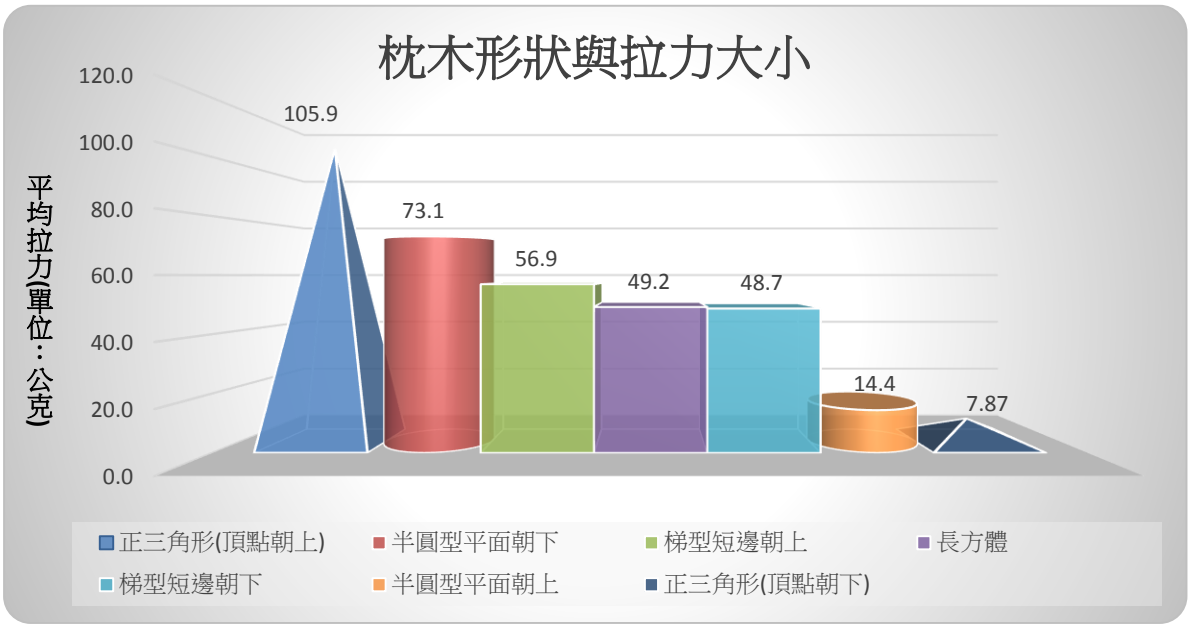
(十)枕木的形狀會影響道碴固定枕木的力量嗎？

1、實驗方法：我們將底面是不同形狀的柱體(三角形、梯形、半圓形、長方形) 的枕木埋入道碴裡，方式如下表五，將滾筒(580 公克)由斜坡上往下滾，並壓過道碴與枕木，連續壓實 2 次數後，以拉力量測器測量拉力大小。

2、從實驗九的結果已知，拉力大小與道碴和枕木接觸的側面積有關，所以控制道碴和枕木接觸的側面積相等，忽略上下面的面積大小。

表五：枕木埋入道碴裡的方式							
柱體底面形狀	三角形		梯形		半圓形		長方形
埋入道碴裡的方式	頂點朝上	頂點朝下	短邊朝上	短邊朝下	平面朝上	平面朝下	短面朝上
與水平面的夾角	120 度	60 度 	100 度 	80 度	X	X	90 度 

3：結果



說明：我們觀察到，枕木形狀與道碴固定枕木的力量有關係，當枕木側面與水平夾角大於 90 度時，整個枕木幾乎被埋入道碴裡(此一現象以底面為三角形頂點朝上和底面為半圓形平面朝下的枕木最明顯)，因為多了道碴的重量，所以拉力變大；當兩者夾角小於 90 度時，枕木則無法完全沒入道碴裡，枕木上少了道碴的重量，因此拉力變小。

三、側向拉力實驗：

目的：我們到台鐵舊山線觀察道碴鋪設方式，發現道碴不僅要鋪在枕木四周，同時還以略微隆起類似小山丘形狀，如圖十六藍色曲線所示的方式在鋪設，所以我們以路肩寬與路肩高的這兩個方向，來探討道碴對固定枕木力量的影響。

圖十六：紅色線表是鐵道上的路肩**寬**與路肩**高**(攝於廢棄的台鐵舊山線)

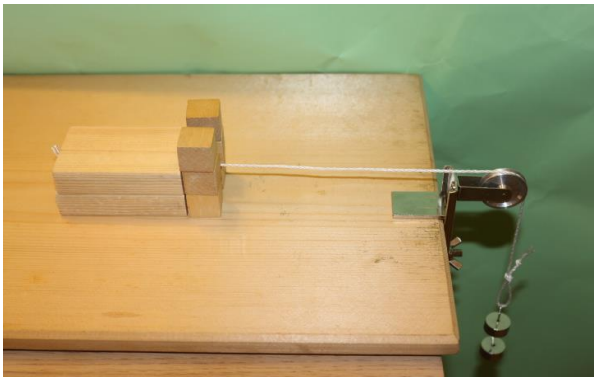
(一) 路肩的寬度與高度可以增加道碴的側向阻力嗎？

1、實驗方法：

(1)我們以正方體(邊長 2cm)松木方塊當作道碴，把道碴擺在枕木較短的一邊，每次水平方向增加二個松木塊並藉由砝碼的重力來測量所需要拉動枕木的力量是多少。(如圖十七所示，模擬路肩寬度增加)

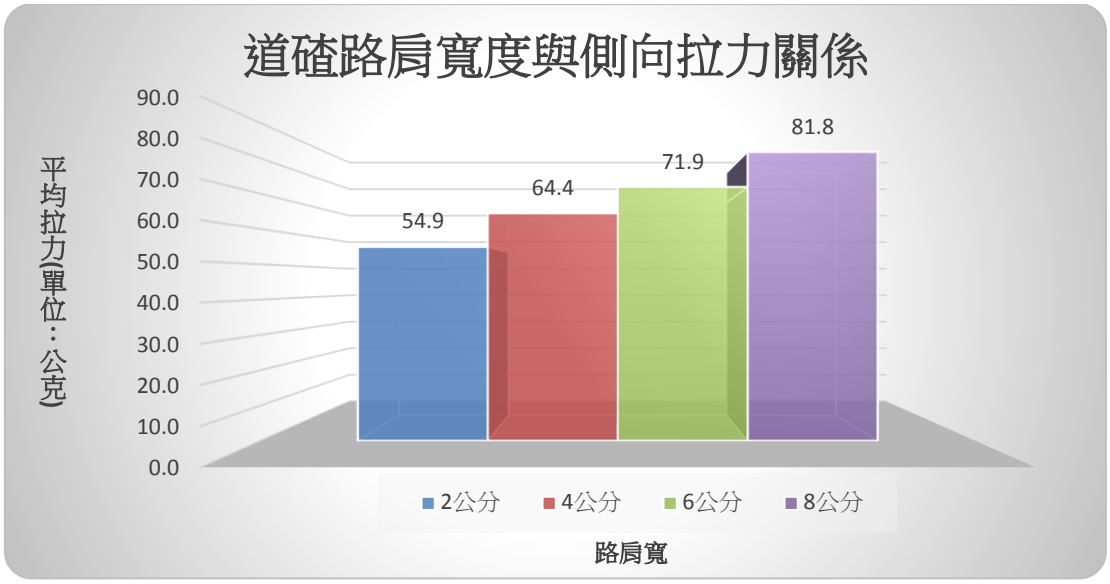
(2)以正方體(邊長 2cm)松木方塊當作道碴，把道碴擺在枕木較短的一邊，每次向上增加二個松木塊並藉由砝碼的重力來測量所需要拉動枕木的力量是多少。(如圖十八所示，模擬路肩高度增加)

圖十七：側向拉力實驗(量測路肩寬)



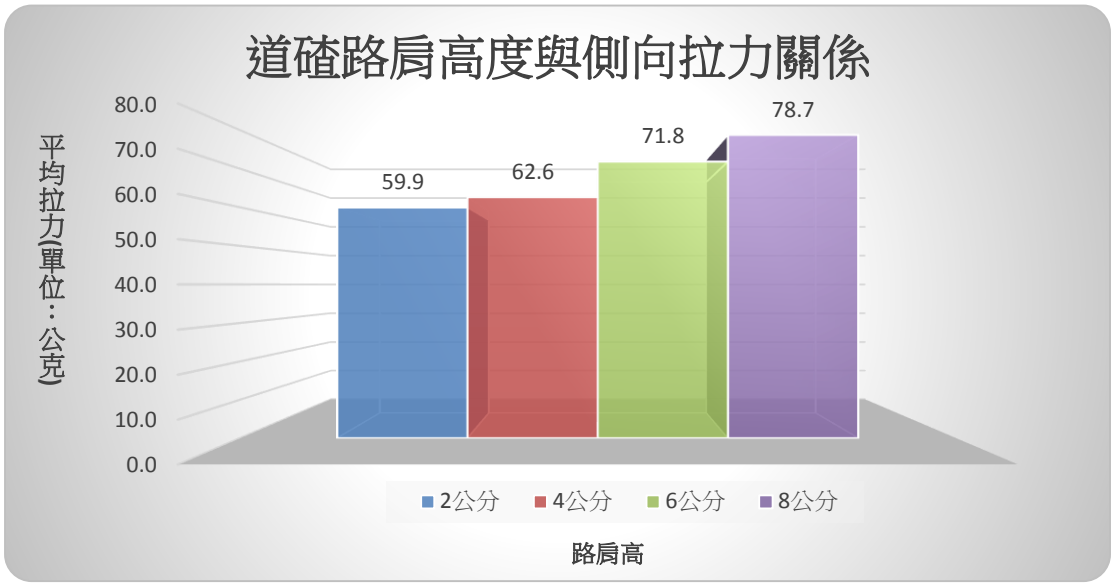
圖十八：側向拉力實驗(量測路肩高)

2、結果 1：



說明：隨著路肩寬度增加，所需移動枕木的平均拉力就會變大，所以路肩越寬，產生防止枕木側移的力量也越大。

結果 2：



說明：隨著路肩高度增加，所需移動枕木的平均拉力就會變大，所以路肩越高，產生防止枕木側移的力量就越大。

四、重量分散實驗：

火車經過鐵橋時，支撐鐵軌的是鋼樑，所以鐵軌不會下陷，那麼使用石子當道床時也會也同樣的效果嗎？

圖十九：枕木直接鋪在鋼樑上(攝於台鐵舊山線)

圖二十：枕木直接鋪在道碴上(攝於台鐵舊山線)

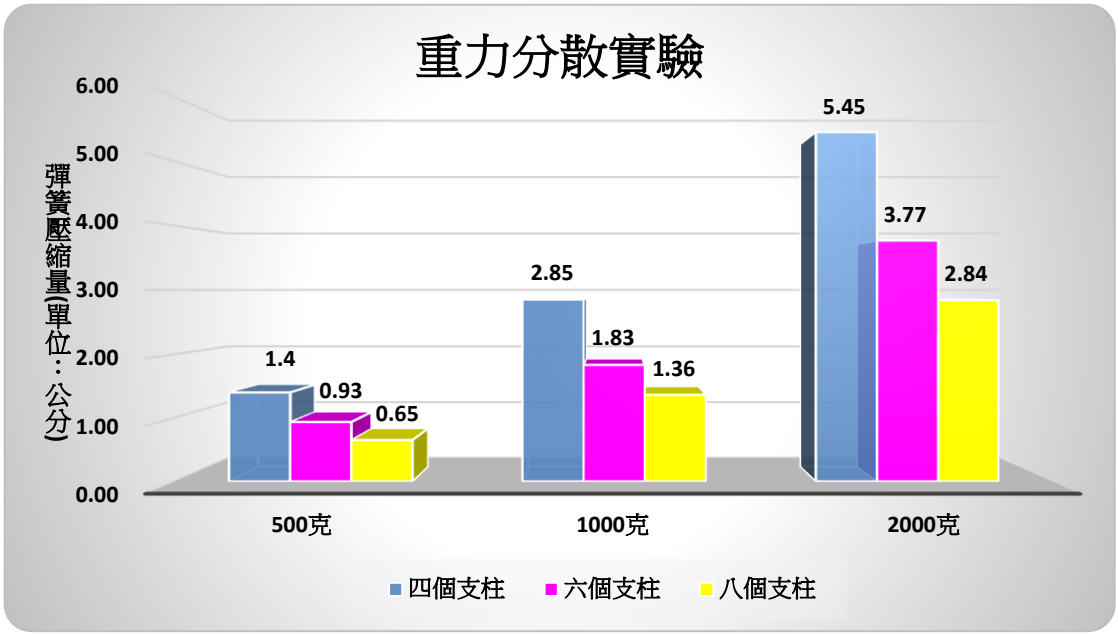
(一)：道碴可分散鐵軌與火車的重量嗎？

1、實驗方法：

(1)如圖三，把砝碼放在重力分散器的平臺上，並將四根木條分別穿進彈簧用來支撐平臺，以尺量測每個彈簧的高度，取平均值，再將支撐平臺的木條以每次增加 2 條的數量增加，直到木條數等於 8 則停止。

(2)砝碼規格：500 公克/1000 公克/2000 公克。

2、結果：



說明：比較彈簧在經過重物的擠壓前後的長度，我們發現支柱的數量越多，彈簧的壓縮量就越少，所以重量可分散在每個支柱上，換句話說道碴可分散鐵軌與火車的重量。

(二)：不同材質的道碴，那一種有較佳支撐重物的能力？

1、實驗方法：

(1) 在砝碼刻上刻度，便於觀察下陷量。

(2) 把砝碼置於潮濕的石子、細砂與紅土上，靜待三分鐘後，量測砝碼下陷的深度。

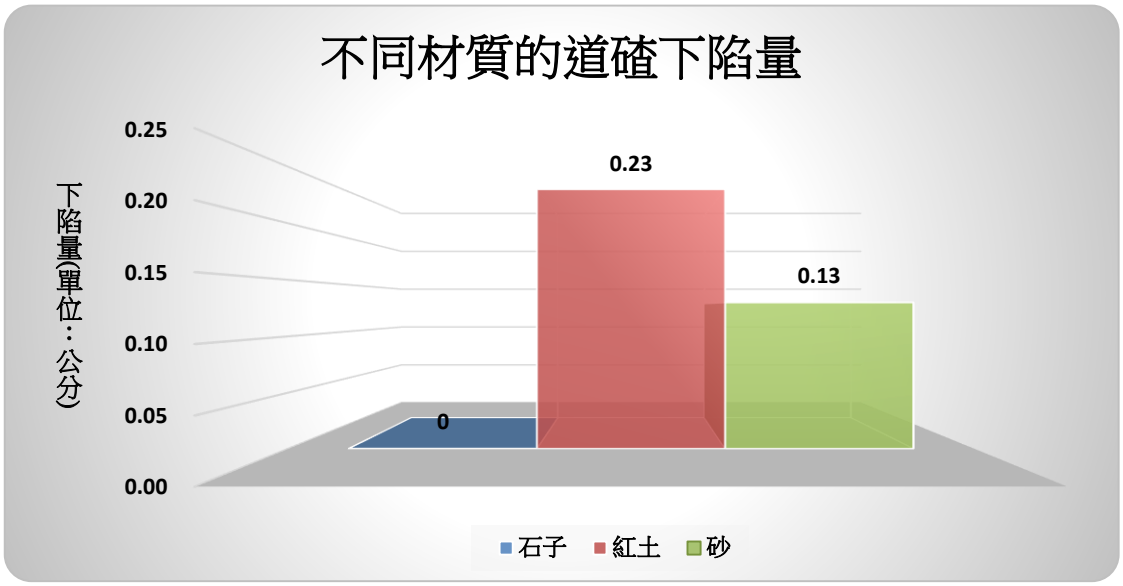
(3) 砝碼規格：1000 公克。

圖二十一：
砝碼在潮濕的石子上下陷情況
觀察結果：未下陷，不易流失。

圖二十二：
砝碼在潮濕的細砂上下陷情況
觀察結果：下陷，易流失。

圖二十三：
砝碼在潮濕的紅土上下陷情況
觀察結果：下陷，易流失。

2、結果：



說明：石子比砂與紅土有較好的支稱力，同時在實驗過程中，我們也觀察到砂與紅土在潮濕的情況下，相當容易崩塌，且極易被沖刷流失。

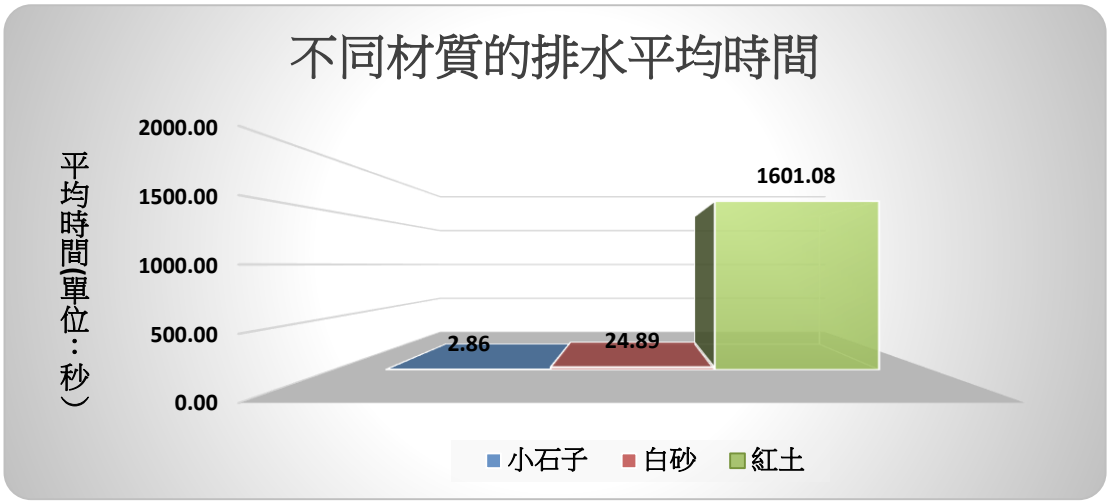
五、道碴排水性實驗：

目的：想了解影響道碴排水因素有哪些。

實驗步驟：將道碴分別放入模擬排水器內，將水注入後，以計時器計時，當量筒裡從模擬排水器流出的水量達 200ml 時，則停止計時。

(一) ：不同材質的道碴其排水效率會一樣嗎？

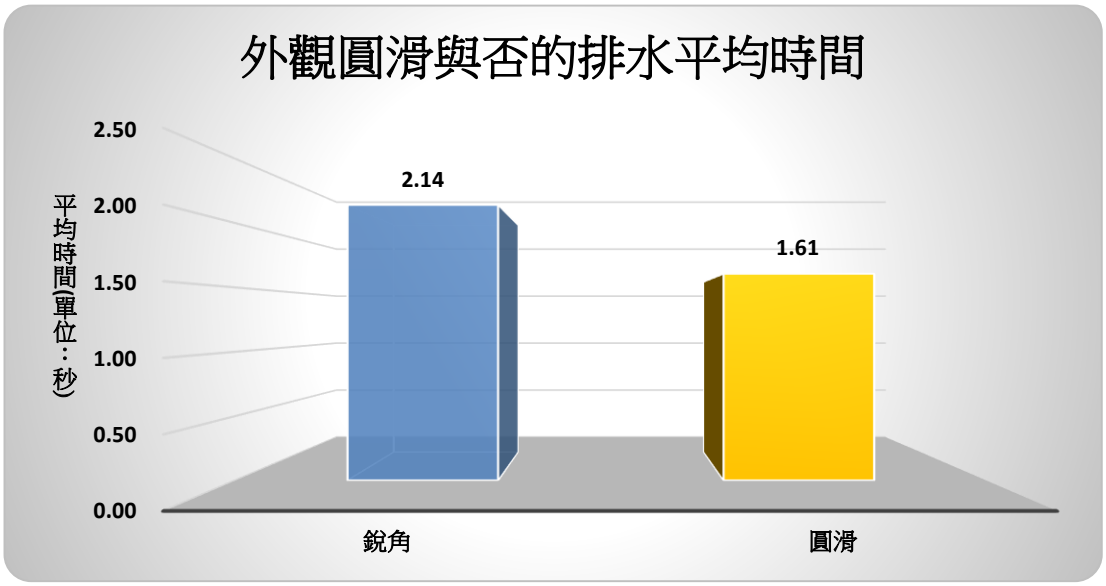
結果：



說明：道碴有排水性且每種材質的排水效率都不一樣，排水效率以石子>砂>>土。

(二)：道碴外觀圓滑與否會影響排水效率嗎？

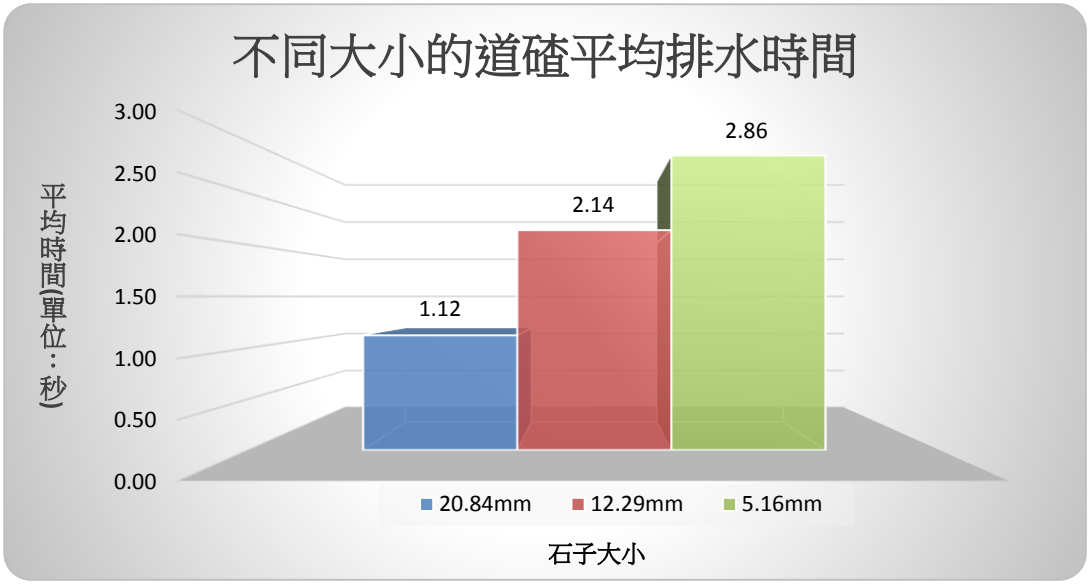
結果：



說明：排水效率是有些微差異，外觀圓滑的石子比外觀有稜角的石子有較佳的排水效率。

(三)：道碴的大小會影響排水效率嗎？

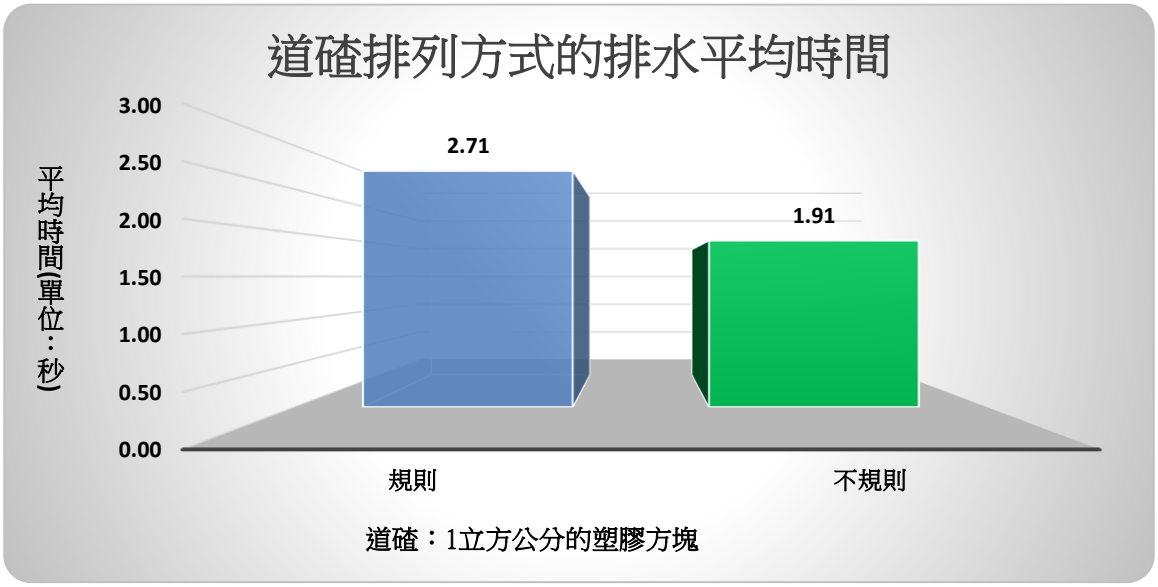
結果：



說明：從圖中發現，石子的大小會影響道碴的排水效率，而其中以大石子為最佳，再來是中石子而最後是小石子。還有，我們認為因為石子越大，彼此間的空隙就越大，所以排水效率就高，石子小，彼此間的空隙越小，排水的效率就較低。

(四)：道碴的排列會影響排水效率嗎？

結果：



說明：規則排列與不規則排列最大差異是道碴的間隙會因此而不同，所以間隙越大越容易排水，由實驗結果顯示，規則排列時排水效率比不規則排列時較差。

伍、 討論

一、道碴穩定性實驗：

(一)由實驗一與實驗二結果顯示，道碴在未經過滾壓前就有有力量固定枕木，而且每經過一次的壓實，固定枕木的力量也會增大，但並不會無止境的增大，經過多次壓實後，固定枕木的平均拉力就會有增加幅度變小的趨勢，所以經過壓實(夯碴)程序的道碴，彼此間會卡得更緊。

(二)實驗三數據顯示，不同的力量對相同道碴作壓實的過程中，我們發現壓實力量越大，平均拉力增加的也越快，但不論是以那種力道滾壓，經過數次的壓實後的道碴，最後對枕木的拉力的大小會很接近，由此結果可以推測，道碴可彼此互相壓縮的空間是固定，當道碴被壓縮到沒有間隙的時候，自然而然也就沒被再壓縮的空間了，此刻道碴對枕木的拉力大小也就到達一個極限，不會越來越大。

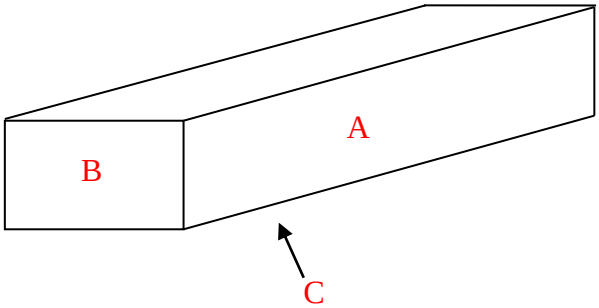
(三)從實驗四可以發現，外觀有銳角的石子(12.39mm)比圓滑石子(12.38mm)卡住枕木的力量還要大，所以使用銳角石子當道碴材料對於鐵軌的穩定性較高，換句話說火車行駛在鐵軌上也較安全。

(四)分析實驗五的數據後，我們發現道碴大小會影響固定枕木的力量，其中大石子(20.84mm)固定枕木力量是最大的，中石子(12.38mm)次之，小石子(3.33mm)固定枕木力量最小。我們推測因為枕木是木頭，所以當枕木埋在石子堆中時，木頭側面與石頭之間可能會互相卡住，因此將枕木往上拉時，也必須將旁邊的石頭往上拉，而越大的石頭越重，若是有稜有角的石頭，除了可能跟枕木卡得更緊外，石頭間彼此也會卡得較緊，所需的拉力也就越大。而小石子雖然可以排得更緊密，跟枕木的接觸面積較大，但是固定枕木的力量還是不如上述大石子的情況。

(五)由實驗六結果分析，道碴的排列，對拉力的大小也有關係，正立方體在不規則排列時可以產生較大的拉力。

(六)實驗七結果顯示、材質對固定枕木的力量都不盡相同，整體而言，石子與紅土的表現比沙子較佳。

(七)由實驗八結果分析，當淹水水量未達枕木高度時，拉力的變化量小，但是隨著水淹過枕木後，固定枕木的平均拉力變小許多，所以我們推測可固定枕木力量大部份應該來自 A、B 區的道碴，如圖二十四所示，C 區的道碴影響固定枕木力量的比率較小。



圖二十四:枕木受力假想圖

(八)我們也從實驗八結果發現，道碴濕潤的情況影響固定枕木的平均拉力，有了水份的影響，道碴間的摩擦力變小，尤其以水淹過枕木時的影響最大，此時枕木被道碴固定力量也變小最多，這也難怪每次只要遇到水淹道床的時後，火車必須要停駛，以免路基被掏空後有行車的危險。

(九)從實驗九結果發現，枕木埋進道碴的深度越深，固定枕木的平均拉力就越大，所以一般鐵路上的枕木會盡可能的埋越深越好，但是也不能完全被道碴覆蓋，避免火車行駛時車輪被碎石飛濺影響而發生意外。

(十)實驗十結果顯示，枕木形狀會影響道碴固定枕木的力量，如果枕木的側面與水平夾角大於 90 度時，枕木除了受道碴與枕木間摩擦力之外，還多了道碴重力的分力，增加了固定枕木的力量，但是當夾角小於 90 度時，因為少了道碴重力的分力，所以固定枕木的力量會較小。

(十一)既然有其他柱體形狀的枕木，被道碴固定的力量比長方體更大，那為什麼鐵路工程還要使用長方體呢？經由下表六的整理，我們推測：長方體易裁切，可充分利用空間作堆疊且搬運時不易滑動，同時與支撐鋼軌的接觸面是一平面，有不易磨耗與分散重力等優點。

表六：各類型枕木比較表

排列方式							
拉力大小排序	7	1	5	3	2	6	**4**
方便裁切與否	×	×	×	×	×	×	○
易堆疊否	×	×	×	×	×	×	○
與鋼軌接觸面	點	面	面	面	面	點	**面**
方便搬運與否	×	×	×	×	×	×	○

二、側向拉力實驗：

(一)在這個實驗裡，探討道碴路肩寬與路肩高造成側向拉力大小的關係，我們以 2 立方公分的正方體來模擬路肩，結果顯示，無論路肩越寬或是增加路肩高度時，需要拉動枕木的平均拉力就越大，所以路肩上的石子可以阻止枕木的側移；但我們推測當路肩到達一定的寬度時，就有足夠的力量來防止鐵軌側移。

(二)雖然增加路肩高的方式可以使側向阻力變大，但是道碴堆疊過高，還是容易與道碴穩定性實驗的討論九所述情況相同：容易因碎石飛濺而影響車輪在鋼軌上運轉的安全性。同時，在鐵路沿線為避免道床路基流失，也在邊坡旁築水泥擋土牆來阻擋道碴流失，這種方式與增寬路肩寬有異曲同工之妙，進而提高了側向阻力。

三、重量分散實驗：

(一)從重量分散實驗結果分析，隨著支柱數量增多，每根支柱所支撐的重量就變小，所以透過這個實驗的模擬，行駛在鐵軌上的火車，可藉由道碴來分散火車的重量，來避免因為重量集中在枕木上，而增加造成鐵軌下陷的機會。

(二)不同材質的道床在承受重力的效果會不一樣，紅土下陷最多，細砂次之，小石子則不受影響，這種現象尤其在受潮時最明顯，此外我們也發現砂子與紅土容易受水分影響而容易流失，若以此材質當路基會使鐵道十分不穩固，當然卡柱枕木的力量也隨之變小或不穩定。

四、道碴排水性實驗：

(一)不同材質道碴的排水速度並不一樣，從實驗結果顯示，大石子(20.84mm)因為彼此間空隙大所以排水快，沙子(0.41mm)間隙小所以排水慢，排水最慢的是紅土，所以道碴不但有排水性，而且藉由這個特性使得鐵軌在雨天的時候可迅速將路基上雨水迅速排開，路基因而不易積水。

(二) 道碴外觀無論圓滑與否都仍有空隙存在，對於排水效率是有些微差異，但差異不大，但排水速度仍以圓滑外觀的中石子比外觀有菱角的中石子較佳。

(三) 不同大小的道碴其排水效率也不同，經由觀察，大石子(20.84mm)間隙較中小石子大，以至於排水較快。

(四) 我們以 1 立方公分的正立方體來模擬道碴排列方式，實驗結果發現，規則排列時排水所花的排水時間較久，不規則排列時所花的時間則較短。由於規則排列的道碴間空隙甚小，而不規則排列的道碴間空隙較大，因此才會造成排水效率的落差。

五、其它：

(一) 道碴經過火車的來來回回的壓實，其實道碴也會被壓碎，所以定期對道床的保養，對於行車安全是有其必要的。

(二)『水可載舟亦可覆舟』，小小道碴團結力量大，雖然牢牢固定了枕木，維持行車安全，但我們千萬不可把它排在鐵軌上，這會造成火車出軌的意外，造成難以想像的傷亡與財物損失。

(二) 一定要用道碴當道床嗎？其實也不盡然，現在高速鐵路就有部分路段是使用鋼筋水泥來當做道床，至於為什麼會使用道碴當道床，應該與 100 多年前火車發明時，那個沒鋼筋水泥技術的年代而不得不選用小石子當道碴才是最佳選擇有關吧!

陸、 結論

道碴在鐵道設計之目的是為了讓火車能平穩安全快速的在軌道上行駛，在此次的研究結果顯示，透過夯碴的程序與火車來來回回的滾壓過程，可使道碴排列更緊密，由於道碴與枕木間的摩擦力,使得道碴有力量來固定枕木,而且影響固定枕木力量大小的因素還與道碴的形狀、大小、外觀圓滑與否、枕木形狀及天氣的濕度等因素都有關係呢！其中，我們透過枕木形狀的實驗，我們還學到了科學原理在實際生活中的應用，不能只做單一的考量，必須要考慮各項因素，從中找出最符合經濟效益又對人類最有幫助的模式才行，而道碴除了有力量來固定枕木外，也具有分散火車重量避免枕木下陷的功能，此外，利用道碴的間隙可快速的把水排開，使鐵道減少積水的機會，避免路基被沖散的風險，所以排水也是道碴另外一個不可或缺的重要功能。雖然小小石子在鐵道安全上扮演相當重要角色，但是，假若有心人把石頭排在鐵軌上，可是會造成列車出軌的意外哦!這種行為是萬萬不可取的。小石子要能立大功，不但要具備穩定枕木的力量，而且還要兼具排水效率高的條件，如此多功能的特性，不但保障火車行駛的安全性，也將旅客平安的送到目的地。

柒、 參考文獻

1：鐵路是怎麼鋪設的？載於火車快飛繞家園〈2001〉，大地地理文化科技事業股份有限公司。
2：周興儒、林孟妤、郭家宏、郭曉芮、孫于景，小石子立大功---火車鐵軌的枕木愈搖愈穩固，中華民國第45屆中小學科學展覽會，
取自http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/elementary/0808/080818.pdf。
3：鐵路e知識，取自http://www.railway.gov.tw/KIDS/Eknowledge/aboutrail-1.aspx
4：小白球的祕密？”圓”來如此!，中華民國第54屆中小學科學展覽會，
取自http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/080101.pdf。
5：國民小學六上自然與生活科技〈2014〉。翰林出版事業股份有限公司。
6：國民小學六下自然與生活科技〈2015〉。翰林出版事業股份有限公司。

【評語】080119

能設計製作各種自製的測量器材來測量，但可以增加其堅固度與精確度。