

新竹市第四十二屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：地球科學

組 別：國小

作品名稱：天坑地陷-路面塌陷的模擬觀察與研究

關 鍵 詞：路面塌陷、偽喀斯特地陷、土壤流失

編 號：113PB-E003

摘要

本研究以透過實地走訪、文獻探討、模型操作，以觀察及分析了解路面塌陷的產生原因，並希望透過各式實驗讓人們可以更了解這樣的地質現象，並可以了解哪些地點容易發生這樣的現象以小心安全。

在完成文獻探討及實驗後發現路面塌陷的產生原因主要來自於水的流動而在道路結構、道路基層比例及成分我們觀察到了這些變項會去影響道路模型的排水效率，也會影響路面基層的下陷情形，而在不同外來環境供水及連續壁有無的部分，我們發現了地下的漏水或水體的移動對於路面塌陷情形有著很重要的影響，而連續壁則是可以保護基層下陷的情形。

壹、研究動機

家對我而言是一個遮風擋雨的地方，他應該溫馨、溫暖並且可以讓我們可以開心遊玩，還記得在爸爸工作的地方附近，有一個很大的天坑。

有一次，我跟著家人一起來到爸爸上班的地方(竹北)，爸爸工作完後，媽媽提議帶我們去休息、散散步，我們走著走著，發現有一家旅店附近的一個區域被三角錐圍起來了，我和弟弟好奇地問說:這是什麼啊?媽媽看了看，告訴我:這應該是最近新聞上大家都熱烈討論的天坑，不知道現在處理得怎樣了?

第二次聽見天坑這個議題是在資優班上課時，那時候老師給我們看了一則新聞，內容是關於天坑在1個月內，竟然坍塌了無數次!但是大多數的人都不知道天坑形成的原因，所以導致沒辦法知道大概什麼時候會發生，也會引起出現天坑的地點附近的居民恐慌。回家我又看到了一則新聞:有一個人把他的車停在路邊，只是離開一陣子，愛車就無緣無故地掉進有如巨獸正在吞噬的巨大天坑中。

我覺得天坑實在很恐怖，所以我找了我的好朋友一起討論，我們都認為天坑對全世界來說是一個很嚴重的危機，而且還沒有人有辦法找出如何預防天坑，而在老師帶我們進行文獻討論之後，我們才發現我們一直用錯名詞，其實只有道路塌陷，是記者亂用字詞，但不管如何我們幾個還是希望可以透過這次的模擬實驗，探究出道路塌陷發生的主要成因，並嘗試避免道路塌陷帶來的危害，減少大家的恐懼與負擔。

貳、研究目的與待答問題

研究目的

- 一、了解路面塌陷形成的原理。
- 二、實際探訪生活及新聞當中發生路面塌陷的地區並觀察與討論。
- 三、路面塌陷的模擬與探討。

待答問題

- 一、了解路面塌陷的原理為何?
- 二、實際探勘觀察並研究不同地區的路面塌陷的影響為何?
- 三、製作模型並探討不同道路結構對於路面塌陷的影響為何?
- 四、製作模型並探討不同道路基層比例對於路面塌陷的影響為何?
- 五、製作模型並探討不同外來環境變項對於路面塌陷的影響為何?
- 六、製作模型並探討人造物變項有無對於路面塌陷的影響為何?
- 七、討論並分析如何避免路面塌陷的產生?

參、研究設備及器材

表 3.1 研究器材表

工程用砂土	工程用碎石	工程用瀝美土	鏟子
PP 塑膠盆	電鑽	2mm 鑽頭	槌子
23cm 塑膠盒	沉水馬達	1000ml 量筒	三層推車
電子秤	相機	紀錄板	地圖



圖 3.1 工程用瀝美土示意圖



圖 3.2 電子秤示意圖



圖 3.3 電鑽與 2mm 鑽頭示意圖



圖 3.4 工程用砂土示意圖

肆、製作過程及方法

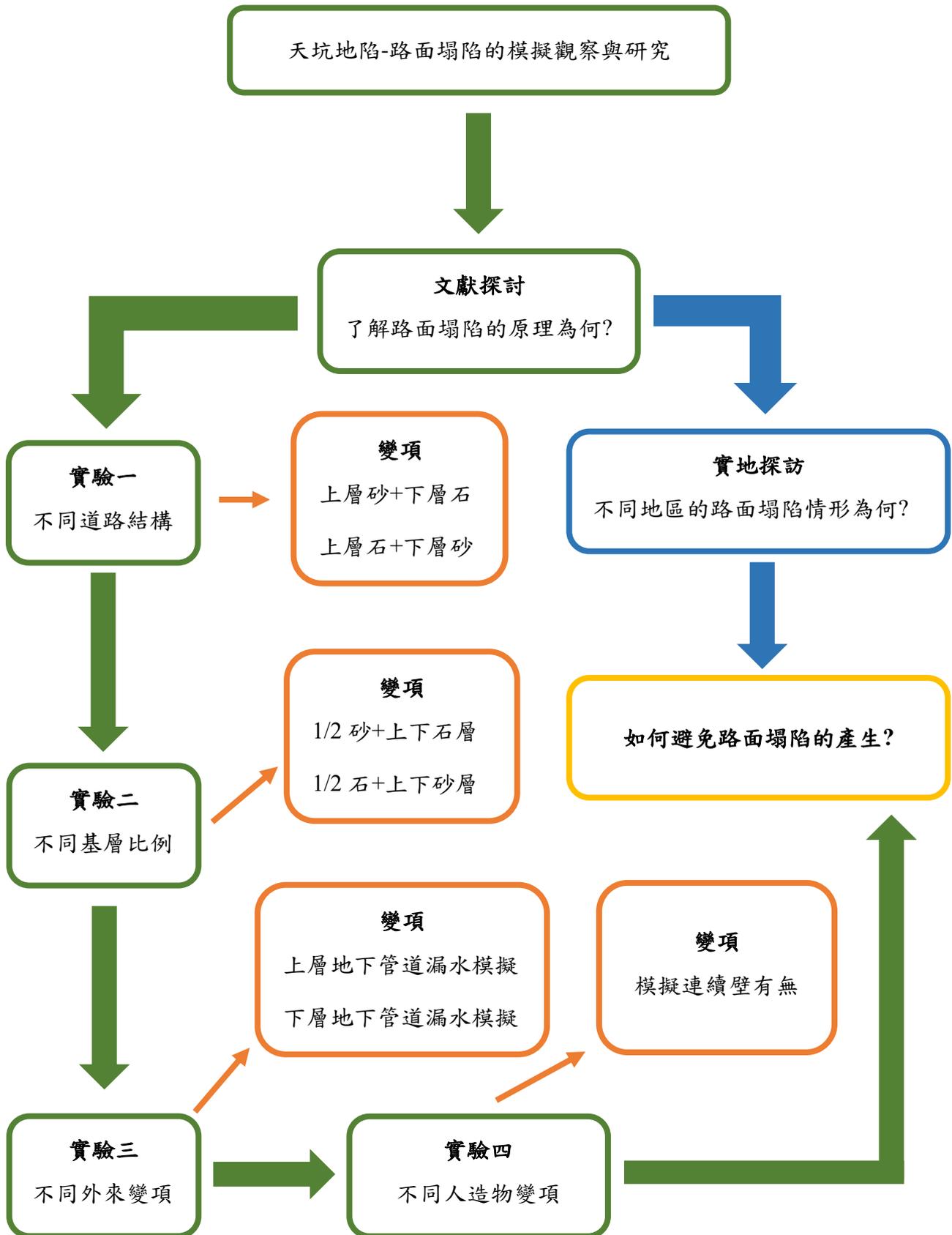


圖 4.1 研究流程示意圖

一、文獻探討

(一)了解路面塌陷的原理為何?

在了解路面塌陷之前，我們必須了解的是路面塌陷在我們的報章雜誌上面常常為了聳動，會將其寫成「天坑」，但實際上他們兩者的定義卻有著差距極大的定義，俗成的「天坑」通常在地質學上又被稱為「地陷」，地陷通常是具有陡峭的環壁和井狀或桶狀輪廓的深坑，也叫沉洞，地陷通常出現在可溶性岩層中，例如像是石灰岩岩層中，當因融入其他的化學物質而變酸的流體通過時，會慢慢的在該岩層中溶出小洞，當小洞日漸擴大，可能會令地表突然塌陷，這類地陷屬於喀斯特地形，在地質學上稱為滲穴、岩溶塌陷，即真正的沉洞，而在其中平均深度和直徑超過 100 米的沉洞則被稱為天坑，如圖 4.2 則是真正定義上的天坑。



圖 4.2 廣西樂業天坑



圖 4.3 瓜地馬拉市偽喀斯特地陷

而我們平常所說的城市中的「天坑」-道路塌陷，如圖 4.3 則是被歸類為偽喀斯特地陷，偽喀斯特地陷的形成原因眾多，但都與岩石及岩層的溶解侵蝕無關，而是透過其他原因產生類似的結果反應，主要可以分成:熔岩偽喀斯特地陷、冰川偽喀斯特地陷、劣地與管道偽喀斯特地陷、海岸與裂隙偽喀斯特地陷、岩堆與花崗岩偽喀斯特地陷、永久凍土偽喀斯特地陷、礦坑偽喀斯特地陷，以上不管是哪一種類型都並不是因為岩層的特性，且用酸性水流侵蝕所產生的喀斯特地陷，在學術上我們應該與一般報章雜誌帶給他人的誤導不同，避免使用落水洞、滲穴、天坑等專指喀斯特地陷的地質學術語稱呼，而在生活中，我們則應該用路面塌陷或路面坑洞來代表，又或者是用管道偽喀斯特地陷，或直接稱呼偽喀斯特地陷或假喀斯特地陷（pseudokarst sinkhole）皆可。

從上方的文獻探討中我們可以將我們所查詢到的資料進行整理可以歸納為下表

表 4.1 定義分析比較表

名稱	喀斯特地陷	偽喀斯特地陷
正確俗名	落水洞、滲穴、天坑	不能使用喀斯特地陷的俗名，依形成原因可變化，以本研究來說應為路面塌陷、道路坑洞
形成原因	酸性流水通過石灰岩岩層，溶解岩層級岩時所產生的現象。	專指非因酸性流水溶解岩層的反應，而產生的坑洞
規模	深度與直徑超過 100 公尺	沒有特別定義大小

而本研究中所研究的是偽喀斯特地陷中的劣地與管道偽喀斯特地陷，其特色在於因為地質分部或是其中的管道的流水帶走砂石或是層積物所產生的現象，也就是我們俗稱的道路塌陷，根據行政院公共工程委員會的道路坑洞及塌陷之成因檢討及預防措施報告中有提出其產生原因主要為地下雨、污水管線損壞產生水路挾帶基底層土砂流失，當向上淘空至面層結構不足支撐荷重時，即會突然塌陷；若地下大型箱涵老舊或施工不良情形造成頂版及側牆裂縫時，亦會造成大規模塌陷。



圖 4.4 竹北市路面塌陷



圖 4.5 大直區路面塌陷

且根據道路塌陷及鄰房基礎掏空之防範指引中也有明確指出其道路塌陷甚至掏空鄰房的成因主要為地下管線破洞長期造成土砂流入，或地下水流將土砂帶走，孔洞持續擴大，造成

地面塌陷。實務的狀況亦包括地下最深層的污水管線或箱涵先破損，因形成洶空，後又導致上方水管失去支撐而破裂，最終造成道路不堪荷重而塌陷。

從上面敘述我們可以討論得出本研究所想定的路面塌陷，皆是與水流帶走路面下方支撐物有關，所以在此文獻探討後，我們將以此作為主要的研究方向進行實驗與探討。

二、實驗設計

以下本研究將以實驗目的及待答問題進行實驗設計及實驗操作說明

實驗一:不同道路結構對於路面塌陷的影響為何

(一)實驗說明:

為了解不同道路結構組成對於路面塌陷的影響所以設計此實驗

(二)實驗目的及步驟:

實驗目的:

了解表層流動水體對於不同道路結構的模型，在輸送流水、流量及地層高度變化上面的差別

實驗步驟:

本實驗為找出最適合的實驗方式及模型，會依照實驗的順序及改進討論實驗

(1) 實驗一之一:初期模型建置

1. 拿出寬 23 公分，高 11 公分的塑膠盒子。
2. 去掉蓋子後，在盒子四面每 3 公分畫一條直線，每 3.5 公分畫一條橫線作為鑽洞基準線，如圖 4.4 所呈現。



圖 4.4 實驗操作示意圖



圖 4.5 實驗操作示意圖

3. 盒子底部每格用電鑽鑽兩個洞，四面每格鑽一個洞，用於作為排水孔，如圖 4.5 所呈現，另外需要操作者是否有配戴護目鏡、手套及口罩以保護自身。
4. 以剛才鑽洞基準線的橫線線作為一層，每一層裝上不同的物質(砂土、碎石、瀝青)，而以下我們在這邊訂下我們想做的不同道路結構的變因，由上而下分別為瀝青、碎石、砂土以及瀝青、砂土、碎石這兩種不同模型，在此以之前所畫的三等份線來進行安裝容量分層依據，如圖 4.6 及圖 4.7 所呈現。



圖 4.6 實驗操作示意圖



圖 4.7 實驗操作示意圖

5. 將模型移至戶外空曠處如圖 4.8 並拿出容量為 1000ml 的量筒裝 1000 毫升的水倒入一樣依上面步驟所完成的模型盒中模擬降雨如圖 4.9 所呈現。



圖 4.8 實驗操作示意圖



圖 4.9 實驗操作示意圖

6. 測量水流的時間及流出的水量。

實驗觀察與改進:

1. 要增加實驗的模型量已讓模型能夠在完全排水後再測量，結果較會準確。
2. 裝道路結構的盒子需要維持平衡，否則會影響實驗數據。
3. 建議要有支架支撐，否則每次實驗會有變項差異。
4. 在本實驗中到水需要均勻潑灑，否則容易造成實驗誤差。
5. 模型中的瀝青、砂土、碎石比例應加強管理，這是需要控制的重要變因。
6. 除了觀察水流的時間與水流量外，由於在此模型實驗階段有關查到基層高度會有變化，所以在之後實驗，建議加入基層高度變化。

(2) 實驗一之二:改良模型建置:

1. 拿出寬 23 公分，高 11 公分的塑膠盒子，並去掉上蓋以準備進行模型製作。
2. 以從底部開始每 3 公分畫一條直線，每 1 公分畫一條橫線作為鑽洞基準線，如圖 4.10 所呈現，且在塑膠盒上方編號，以便形成多模型觀測系統。

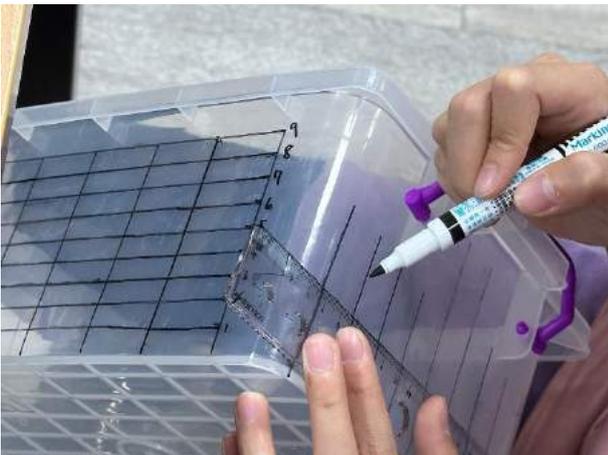


圖 4.10 實驗操作示意圖



圖 4.11 實驗操作示意圖

3. 且依塑膠盒比例在塑膠盒六個位置編上數字，作為基層高度觀測位置。
4. 而後依盒子底部原本分格，每格用電鑽鑽兩個洞；四面每格鑽一個洞，用於排水。
5. 以之前實驗中原本(每 3 公分畫一條直線，每 3.5 公分畫一條橫線)鑽洞基準線的橫線線作為一層，每一層裝上不同的物質(砂土、碎石、瀝青)且在裝入時測出每次每種物質的質量，是否為砂土 1600 克，碎石 2000 克，瀝青 1300 克，如圖 4.11 所呈現，且需注意每個模型就算結構順序不同，但是其質量還是必須固定。

6. 在加入各層基層時須注意，都需要用鏟子或槌子用力壓平，以減少實驗誤差性，並於完成基層製作後，依據之前所編後的地方以眼睛平視測量其原本基層高度。



圖 4.12 實驗操作示意圖



圖 4.13 實驗操作示意圖

7. 放置於市面上購買的三層推車最上層，並於第二層放入流水收集盆，以觀測其流水變化，如圖 4.12 所呈現。
8. 準備 1000 毫升的水，從上方約 15 公分處均勻倒入模擬降雨。
9. 在倒水後，立刻按下碼表，並且在下方無流水滴落後停下時間，並且將模型搬至旁邊，並與測量者眼睛平視後記下變化後的基層高度，並於流水收集盆中倒出收集的流水至量筒中以測量流水多寡，如圖 4.13 所呈現，並將使用過的模型放置旁邊靜置 15 分鐘後再度進行測量，以以上標準進行測量與紀錄 15 次，輸入至電腦中去除極端數值後進行統計分析。

實驗觀察與改進:

- 一、需非常注意所進行測量的動作，如像把測到的流水倒出量筒和未將眼睛平視測量高度皆會影響誤差，需要特別注意。

實驗二:不同道路基層比例對於路面塌陷的影響為何?

(一)實驗說明:

為了解不同道路基層比例對於路面塌陷的影響所以設計此實驗

(二)實驗目的及步驟:

實驗目的:

了解表層流動水體對於不同道路基層比例模型，在輸送流水、流量及地層高度變化的差異

實驗步驟:

1. 使用上述實驗一之二的模型及器材進行變項改變實驗。
2. 使用變項為不同基層比例的模型進行實驗，如圖 4.14 所呈現，本實驗中所使用的變項模型詳細規格分別為下列表格中所呈現:

表 4.2 不同道路基層比例實驗模型設計表

代號名稱	1/2 上砂	1/2 上石	1/2 下砂	1/2 下石
上層	原本份量瀝青	原本份量瀝青	原本份量瀝青	原本份量瀝青
中層	1/2 份量砂土	1/2 份量碎石	原本份量碎石	原本份量砂土
	1600g→800g	2000g→1000g		
下層	原本份量碎石	原本份量砂土	1/2 份量砂土	1/2 份量碎石
			1600g→800g	2000g→1000g

3. 準備 1000 毫升的水，從上方約 15 公分處均勻倒入模擬降雨，在倒水後，立刻按下碼表，並且在下方無流水滴落後停下時間如圖 4.15 所呈現，並且將模型搬至旁邊，並與測量者眼睛平視後記下變化後的基層高度，並於流水收集盆中倒出收集的流水至量筒中以測量流水多寡，並將使用過的模型放置旁邊靜置 15 分鐘後再度進行測量，以以上標準進行測量與紀錄 15 次，輸入至電腦中去除極端數值後進行統計分析。



圖 4.14 實驗操作示意圖



圖 4.15 實驗操作示意圖

實驗三:不同外來環境變項對於路面塌陷的影響為何?

(一)實驗說明:

為了解不同外來環境變項對於路面塌陷的影響所以設計此實驗

(二)實驗目的及步驟:

實驗目的:

了解不同外來環境變項對於道路模型，在輸送流水、流量及地層高度變化的差異

實驗步驟:

1. 使用上述實驗一之二的模型及器材進行實驗。
2. 使用變項為不同外來環境的模型進行實驗，本實驗中所使用的變項模型分別為下列表格中所呈現:

表 4.3 不同外來環境變項實驗模型設計表

代號名稱	上石下砂下水管	上砂下石下水管	上石下砂上水管	上砂下石上水管
水管位置	下層砂土	下層碎石	上層碎石	上層砂土
輸水方式	地下水管滲出	地下水管滲出	地下水管滲出	地下水管滲出



圖 4.16 實驗操作示意圖



圖 4.17 實驗操作示意圖

3. 此實驗變項中需特別注意在輸水方式為地下水管滲水的，需要在模型製作過程中優先在地層中埋入已經刺好洞的沉水馬達輸送管，另外也在此說明，在進行管道輸水前，我們有去測量抽水馬達的抽水效率，在我們所購買的沉水抽水馬達的輸水效率為每秒鐘 80.5

毫升，所以決定與之前實驗一樣維持輸水 1000 毫升(約 12.5 秒)以進行實驗。

- 在上述實驗完成準備後，會準備大水桶放入乾淨的水並放入沉水抽水馬達，並接上模型水管，然後按動電源，在觀察到水管中的水進入模型後，立刻按下碼表一倒數計時 12.5 秒，並在下方開始進行排水時按下碼表二，並在下方無流水滴落後停下時間以量測排水時間，隨後立刻將模型搬至旁邊，確定與測量者眼睛平視後記下變化後的基層高度，並於流水收集盆中倒出收集的流水至量筒中以測量流水多寡，並將使用過的模型放置旁邊靜置 15 分鐘後再度進行測量，以以上標準進行測量與紀錄 15 次，輸入至電腦中去除極端數值後進行統計分析。

實驗四:人造物變項有無對於路面塌陷的影響為何?

(一)實驗說明:

為了解不同路旁建築物變項對於路面塌陷的影響所以設計此實驗

(二)實驗目的及步驟:

實驗目的:

了解不同路旁建築物變項對於道路模型，在輸送流水、流量及地層高度變化的差異

實驗步驟:

- 使用上述實驗一之二的模型及器材進行實驗。
- 使用變項為不同路旁建築物的模型進行實驗，本實驗中所使用的變項模型分別為下列表格中所呈現，其中從實驗三採取上水管作為變項的原因，是由於其在地層變化方面是所有模型中最明顯的，我們希望可以透過更為明顯的變化來了解人造物變項有無對於此實驗是否有巨大的影響

表 4.4 不同外來環境變項實驗模型設計表

代號名稱	上石下砂上水管	上砂下石上水管	純砂無連續壁	純砂連續壁
	連續壁	連續壁		
輸水方式	地下水管滲出	地下水管滲出	地下水管滲出	地下水管滲出
連續壁	有	有	無	有

3. 須注意在本實驗中連續壁的模擬會以 pp 板作為代替深深埋入模型 1/3 的部分，須注意需要隔開兩邊底層基質，且以塑膠板做為模擬連續壁，是以避免現實連續壁中的包漿現象(水泥混入砂土使結構脆弱)出現，且在進行管道輸水前，我們有去測量抽水馬達的抽水效率，在我們所購買的沉水抽水馬達的輸水效率為每秒鐘 80.5 毫升，所以決定與之前實驗一樣維持輸水 1000 毫升(約 12.5 秒)以進行實驗。



圖 4.18 實驗操作示意圖



圖 4.19 實驗操作示意圖

4. 在上述實驗完成準備後，會準備大水桶放入乾淨的水並放入沉水抽水馬達，並接上模型水管，然後按動電源，在觀察到水管中的水進入模型後，立刻按下碼表一倒數計時 12.5 秒，並在下方開始進行排水時按下碼表二，並在下方無流水滴落後停下時間以量測排水時間，隨後立刻將模型搬至旁邊，確定與測量者眼睛平視後記下變化後的基層高度，並於流水收集盆中倒出收集的流水至量筒中以測量流水多寡，並將使用過的模型放置旁邊靜置 15 分鐘後再度進行測量，以以上標準進行測量與紀錄 15 次，輸入至電腦中去除極端數值後進行統計分析。
5. 本實驗所的數據會與之前所研究的模型互相比較討論以推論本實驗的結論。

伍、研究結果及討論

以下研究結果部分，將以回答待答問題的方式來進行討論本研究的結果

一、 實際探勘觀察並研究不同地區的路面塌陷的影響為何?

為了觀察不同地區的路面塌陷情形及旁邊環境的影響是否一樣，我們在報導、新聞、平面媒體中尋找，最後我們最後決定的地點為新竹縣竹北市及台北市大直次分區的路面塌陷，

所選擇的原因為：

1. 兩者距離較遠較能觀察分析不同的原因。
2. 兩者皆有發生重大的工安意外或間接導致建案停工。
3. 兩者皆在人口密集的都市，較能訪問到居民以還原過去狀況。



圖 5.1 新竹縣竹北市路面塌陷地區參訪圖(紅色箭頭為觀察路線)



圖 5.2 路面塌陷參訪記錄圖



圖 5.3 路面塌陷參訪記錄圖

新竹縣竹北市觀察與討論：

1. 我們參訪的路線是依媒體上產生路面塌陷的地方去進行參訪如圖 5.1，但是從一開始來看與一般社區大樓旁的路面並沒有太大的差異

2. 在老師的提醒下，我們發現依建築案繞一圈有重鋪的狀況如圖 5.2，在我們採訪當地住家，發現此地之前有封過數月重新整地鋪路施工，並且是沿著新建案外圍去進行口字型施工
3. 我們在之前新聞上路面塌陷最嚴重的社區大樓前發現了當地居民抗爭及當時的紀錄照片如圖 5.3，可以想像當時的不安及嚴重性。



圖 5.4 台北市大直次分區路面塌陷地區參訪圖(綠色箭頭為參訪路線)



圖 5.5 路面塌陷參訪記錄圖



圖 5.6 路面塌陷參訪記錄圖



圖 5.7 路面塌陷參訪記錄圖



圖 5.8 路面塌陷參訪記錄圖

台北市大直次分區觀察與討論:

1. 我們參訪的路線是依媒體上產生路面塌陷的地方去進行參訪如圖 5.4,但是與竹北市完全不同的的是這邊原本旁邊是熱鬧的大學學區,一進到這邊瞬間人潮迅速減少,可以感受到這邊嚴重許多,且我們發現在路旁包圍住當初發生路面塌陷地方的鐵皮圍欄,過幾公尺就有一個隨時可以利用手機監看房子傾斜程度的二維條碼如圖 5.5,可以想像這邊的住戶原本感受到的震撼及悲傷。
2. 我們在參訪過程中有把握住機會詢問到這邊住戶,這邊之前發生事故時,這邊的變化包含道路裂開如圖 5.6 及牆體裂開如圖 5.7,並且向我們說明之前事故發生的原因及變動過程。
3. 我們在走到最接近之前事故發生地點時,發現之前因為路面塌陷影響而倒塌的房舍已經被清運走了如圖 5.8 所呈現,且根據之前與住戶的對話,可以發現主要發生的地點與住戶所說的一致,且旁邊的兩處建案都已經先行停工。

綜合比較與討論:

在根據我們所走訪的兩處地點,我們在整理參訪及討論後可以整理成下面表格

表 5.1 路面塌陷觀察整理分析表

	新竹縣竹北市路面塌陷	台北市大直次分區
成因	疑似建案施工出現施工問題 連日豪雨造成土石掏空下陷	疑似建案施工出現施工問題 連續壁無法阻擋較多水分的黏基層
主要地質	沖積土 主要為砂質、坩土、壤質砂土等	沖積土 高潛勢土壤液化區
周邊情形	建案停工(1 處) 旁邊仍有眾多人居住	建案停工(2 處) 旁邊明顯人潮減少許多

1. 由上述的實地參訪我們可以發現,跟我們的文獻探討中一樣,路面塌陷的主要成因與水的流動極為相關,這是在之後研究中討論的。
2. 在地質方面兩者都是屬於沖積土,但大直因為較為鄰近大型河川,所以為高潛勢土壤液

化區，我們在討論過後，這有可能是大直地區路面塌陷更為嚴重的原因。

3. 兩者在發生事故後，都立刻勒令旁邊建案停建，且都有發生過居民抗爭，且因為大直地區較為嚴重，造成其明明在大學鬧區但人潮明顯較少。

二、 製作模型並探討不同道路結構對於路面塌陷的影響為何？

本問題將藉由實驗一的研究成果來進行回答，實驗一主要是透過自製道路結構模型來進行，並以砂土 1600 克，碎石 2000 克，瀝青 1300 克作為基準設計不同變項，在實驗一中一共有兩種不同變項模型分別是由上至下為瀝青、碎石、砂土以及由上至下為瀝青、砂土、碎石，以上兩者在下方分別簡稱為上砂下石以及上石下砂，且在本實驗中的應變變因為流水量(本研究所指的是從下方排水的容量)、水流量(本研究所指的是排水速度)以及地層高度變化，我們在此實驗中進行實驗觀察與記錄並刪去極端值，留下中間數值平均進行分析與討論。

5.8 不同道路結構數據平均分析表

	上石下砂	上砂下石
流水平均容量(單位:毫升)	763	875
流水平均時間(單位:秒)	97.2	68.7
流水平均流量(單位:毫升/秒)	7.85	12.74
平均下沉高度(公分)	0.562	0.38

觀察與討論

1. 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中排序後刪去極端值，並將流水量變項的數據處理是將其數據整理成表 5.2，且將水流時間的數據整理成表 5.3，而因為在地層高度方面因為每個模型的每個地點的起始高度並不同所以我們將其數據分別彙整成了表 5.4、表 5.5、表 5.6 及表 5.7(以上數據表因版面內容限制，詳情請見附件)。
2. 而後我們將進一步利用表 5.3 及表 5.2 的數據計算出流水平均流量紀錄於上方表 5.8，且將上述數據的平均值一併彙整於表 5.8 中以進行繪製成下方圖 5.9、圖 5.10 以及圖 5.11，以方便進行數據說明與分析。

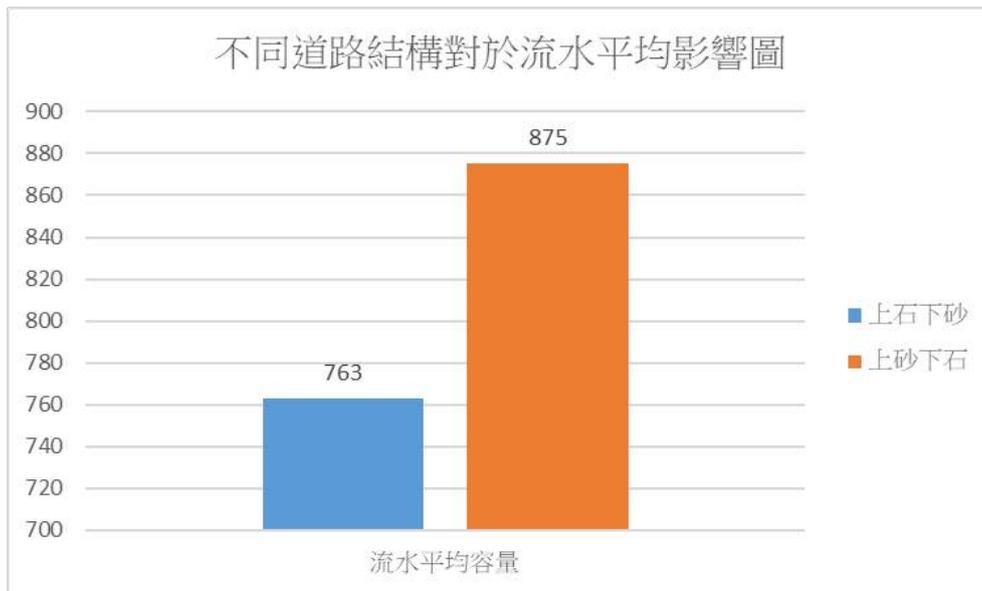


圖 5.9 不同道路結構對於流水平均影響圖

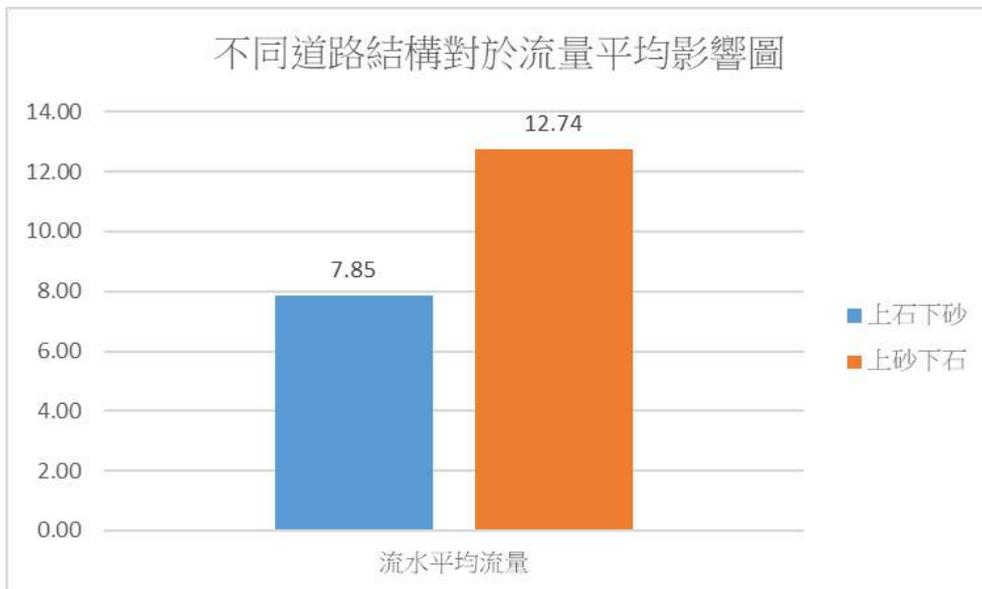


圖 5.10 不同道路結構對於流量平均影響圖

- 我們從表 5.2 及所彙整而畫出的圖 5.9 中，我們可以很明確地看到在模型上砂下石及模型上石下砂之間，很明顯得在讓水流過的能力方面，模型上砂下石的能力要比模型上石下砂的能力要來的好，且我們組員在實驗討論時也有發現模型上石下砂較容易淤積水在模型路面。
- 在進行討論時，有組員提出了疑問，因為在課本上我們所學到的是需要對環境作好水土保持，而這樣子的話，是不是會以模型上石下砂較為優秀，但在我們的文獻探討中發現路面塌陷幾乎都與水的溶解有關，且結合之前實驗的經驗，與水接觸越久溶解的量和機會會越多，在經過文獻探討及討論後，我們發現不同地區的排水及固水需求及定義是不

同的，需要作好水土保持的是指山坡地等容易有基層滑落的地方，需要注意固水及水土保持，而道路應該要跟棒球場的地板較為類似，它需要較快的將水排到地下水層，以不讓流水在這之中增加對基層的掏空或者是人造建物的損壞。

5. 而在利用表 5.2 及表 5.3 所整理計算繪製出來的圖 5.10 中我們可以看到模型上砂下石與模型上石下砂在流量表現上有非常大的落差，而這也跟我們所繪製出來的圖 5.9 有相同的結論，模型上砂下石的排水能力表現要好於模型上石下砂的排水能力表現。

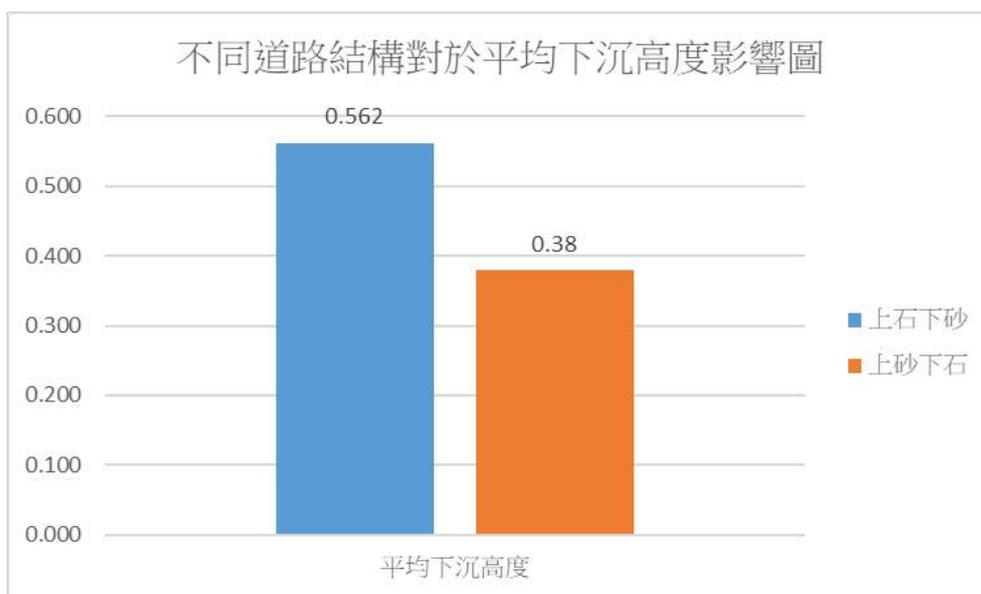


圖 5.11 不同道路結構對於平均下沉高度影響圖

6. 在利用表 5.4、表 5.5、表 5.6 及表 5.7 及所匯出的圖 5.11 中我們可以發現在模型上砂下石及模型上石下砂中，我們可以很清楚得發現在不同道路結構對於平均下沉高度實驗中，模型上石下砂的下沉高度要多於模型上砂下石，在我們討論過後並去查詢我們的原始數據庫發現，模型上砂下石原本在未注入水之前其高度(平均 7.85 公分)要比模型上石下砂原始高度(平均 8.475 公分)要來的低許多，在我們查詢我們所做的模型，我們發現在模型上石下砂在固定比例的製作時與模型上砂下石不同的是，他的道路結構不會有像上砂下石一樣，有部分的砂土跑到與碎石的縫隙中做為填充，而是碎石群留有較大的縫隙，而我們也推論基層間的下沉高度會受到不同道路結構極大的影響。
7. 從本實驗的觀察發現及圖 5.11 中我們可以推論在兩者模型注水後，模型上石下砂因為原本的縫隙受到注水影響而滑動造成模擬路面的塌陷情形較為嚴重，另外我們也能延伸從

此思考，如果路面原本就如同模型上石下砂一樣，其結構較不穩定，那當大量注水時，也容易造成路面有些地方塌陷較多，有些地方較少而造成坑洞甚至塌陷。

8. 從本實驗中，我們可以清楚發現不同道路結構會影響路面塌陷的狀況，經由結合文獻探討結合圖 5.9、圖 5.10、圖 5.11 的實驗結果，我們發現模型的排水量、排水流量以及道路基層下沉高度都與道路結構有一定程度以上的關係，甚至推論可能有最佳的建制結構存在。

三、 製作模型並探討不同道路基層比例對於路面塌陷的影響為何？

本問題將藉由實驗二的研究成果來進行回答，實驗二主要是透過自製道路結構模型來進行，並以砂土 1600 克，碎石 2000 克，瀝青 1300 克作為基準設計不同變項，在實驗二中一共有四種不同變項模型分別是由上至下為瀝青、碎石、1/2 砂土、由上至下為瀝青、1/2 砂土、碎石、由上至下為瀝青、1/2 碎石、砂土以及上至下為瀝青、砂土、1/2 碎石，以上四者在下方分別簡稱為上石下砂(1/2 砂)、上砂下石(1/2 砂)、上石下砂(1/2 石)以及上砂下石(1/2 石)，且在本實驗中的應變變因為流水量(本研究所指的是從下方排水的容量)、水流量(本研究所指的是排水速度)以及地層高度變化，我們在此實驗中進行實驗觀察與記錄並刪去極端值，留下中間數值平均進行分析與討論。

(一) 不同基層比例以 1/2 砂作為變項

觀察與討論

1. 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中排序後刪去極端值，並將流水量變項的數據處理是將其數據整理成表 5.9，且將水流時間的數據整理成表 5.10，而因為在地層高度方面因為每個模型的每個地點的起始高度並不同所以我們將其數據分別彙整成了表 5.11 及表 5.12(以上數據表因版面內容限制，詳情請見附件)。
2. 而後我們將進一步利用表 5.9 及表 5.10 的數據計算出流水平均流量紀錄於表 5.13(詳情請見附件)，且將上述數據的平均值一併彙整於表 5.13 中以進行繪製成上方圖 5.12 及下方圖 5.13 以及圖 5.14，以方便進行數據說明與分析。
3. 我們從表 5.9 及用其所繪製整理的圖 5.12 中，我們可以觀察到就算改變基層比例，流水量還是依然以模型結構中上砂下石的結構為較適合的排水結構。

5.13 不同基層比例數據平均分析表

	上石下砂(1/2 砂)	上砂下石(1/2 砂)
流水平均容量(單位:毫升)	812	914
流水平均時間(單位:秒)	39.5	31.5
流水平均流量(單位:毫升/秒)	20.56	29.02
平均下沉高度(公分)	0.33	0.37

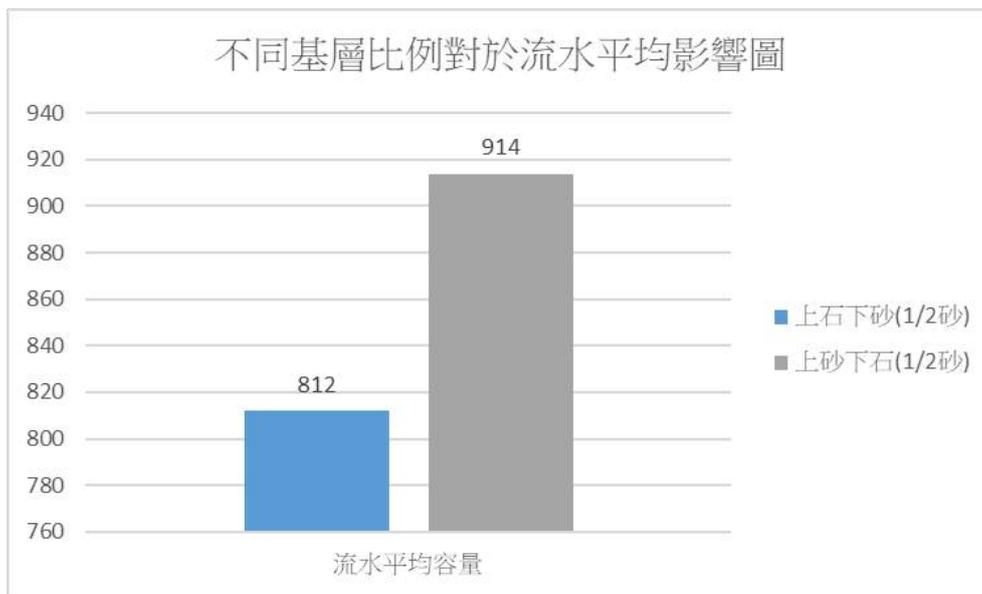


圖 5.12 不同基層比例對於流水平均影響圖

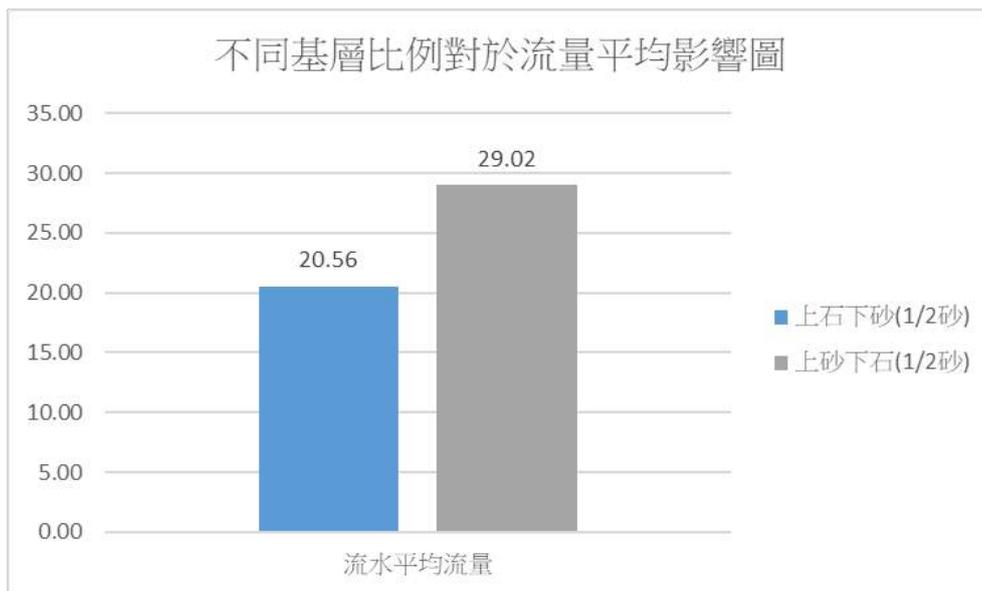


圖 5.13 不同基層比例對於流量平均影響圖

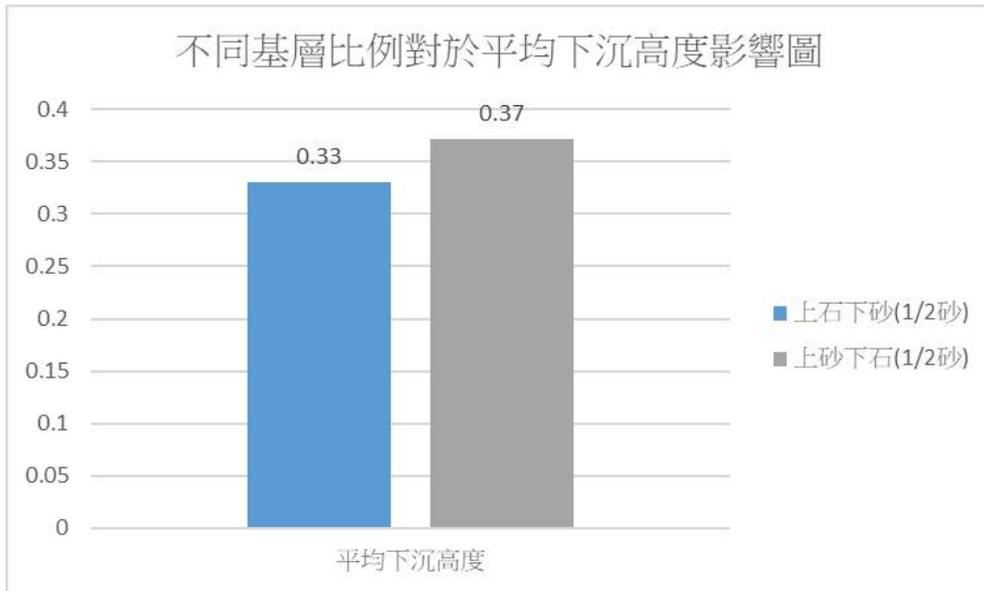


圖 5.14 不同基層比例對於平均下沉高度影響圖

- 而在利用表 5.9 及表 5.10 所繪製出來的表 5.13 及圖 5.13 可以很明確地看到，就算改變基層比例，很明顯的道路結構依舊影響水流量較多，而其中依然是上砂下石的模型結構表現最好。
- 利用表 5.11 及表 5.12 所彙整出來的表 5.13 及圖 5.14 分析時，卻出乎我們原本所設想的，在本項應變變因中並沒有明顯的數據差異，也就是說在 1/2 砂的變項影響下，對於基層的下沉並沒有明確的影響，在我們討論後，認為必須要於整個實驗二完成才能進行討論。

(二) 不同基層比例以 1/2 石作為變項

5.18 不同基層比例數據平均分析表

	上石下砂(1/2 石)	上砂下石(1/2 石)
流水平均容量(單位:毫升)	758	794.5
流水平均時間(單位:秒)	38.5	30.4
流水平均流量(單位:毫升/秒)	19.69	26.13
平均下沉高度(公分)	0.405	0.408

觀察與討論

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中排序後刪去極端值，並將流水量變項的數據處理是將其數據整理成表 5.14，且將水流時間的數據整理成表 5.15，而因為在地層高度方面

因為每個模型的每個地點的起始高度並不同所以我們將其數據分別彙整成了表 5.16 及表 5.17(以上數據表因版面內容限制，詳情請見附件)。

2. 而後我們將進一步利用表 5.14 及表 5.15 的數據計算出流水平均流量紀錄於表 5.18，且將上述數據的平均值一併彙整於表 5.18 中以進行繪製成下方圖 5.15、圖 5.16 以及圖 5.17，以方便進行數據說明與分析。

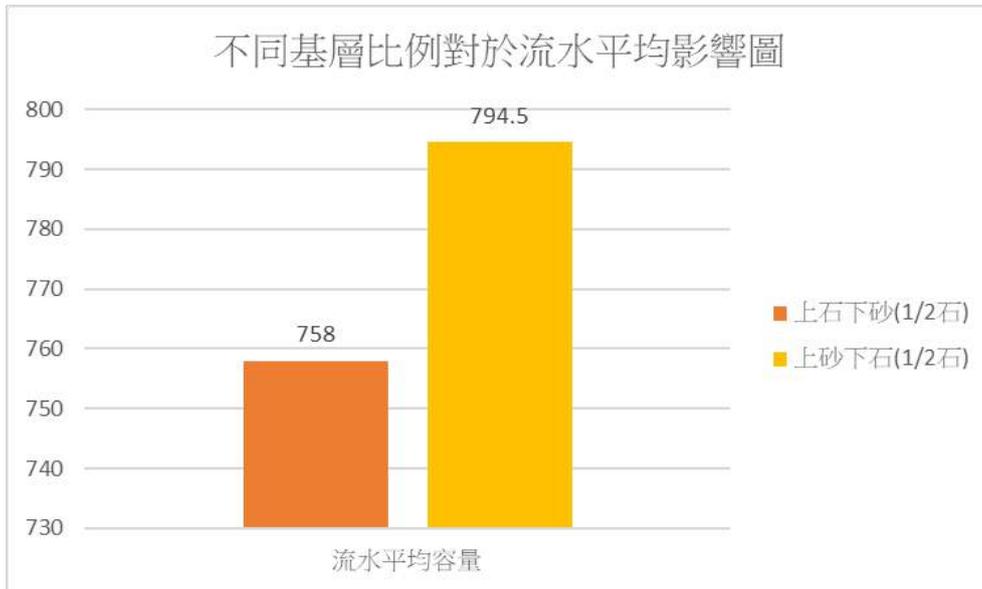


圖 5.15 不同基層比例對於流水平均影響圖

3. 我們從表 5.14 及用其所繪製整理的圖 5.15 中，我們可以觀察到就算改變基層比例為 1/2 石，流水量還是依然以模型結構中上砂下石的結構為較適合的排水結構。

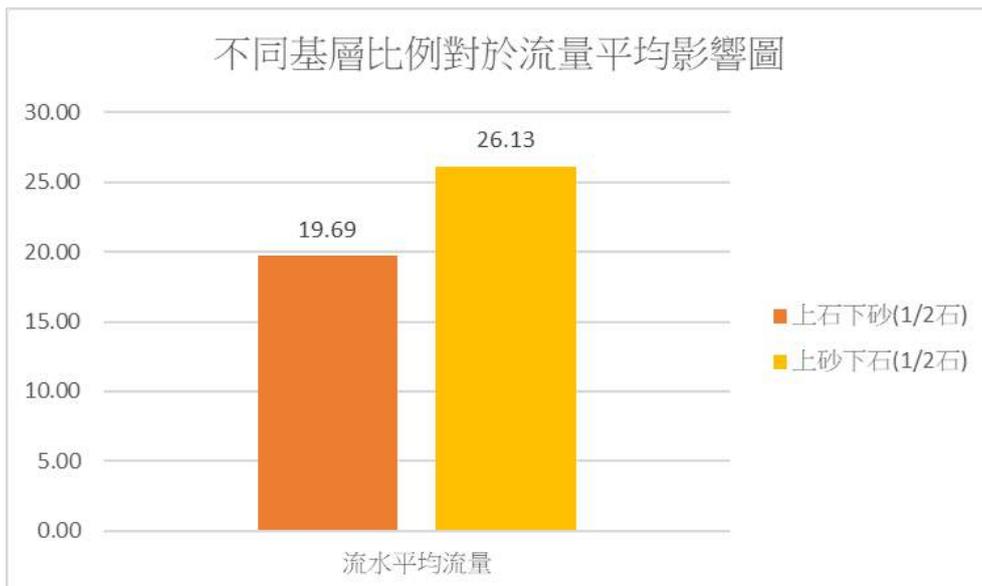


圖 5.16 不同基層比例對於流量平均影響圖

4. 而在利用表 5.14 及表 5.15 所繪製出來的表 5.18 及圖 5.16 可以很明確地看到，就算改變基層比例為 1/2 石，很明顯的道路結構依舊影響水流量較多，而其中依然是上砂下石的模型結構表現最好。
5. 利用表 5.16 及表 5.17 所彙整出來的表 5.18 及圖 5.17 分析時，卻跟上述 1/2 砂土變項時一樣，在本項應變變因中並沒有明顯的數據差異，也就是說在 1/2 石的變項影響下，對於基層的下沉並沒有明確的影響，在我們討論後，認為必須要於整個實驗二完成才能進行討論。

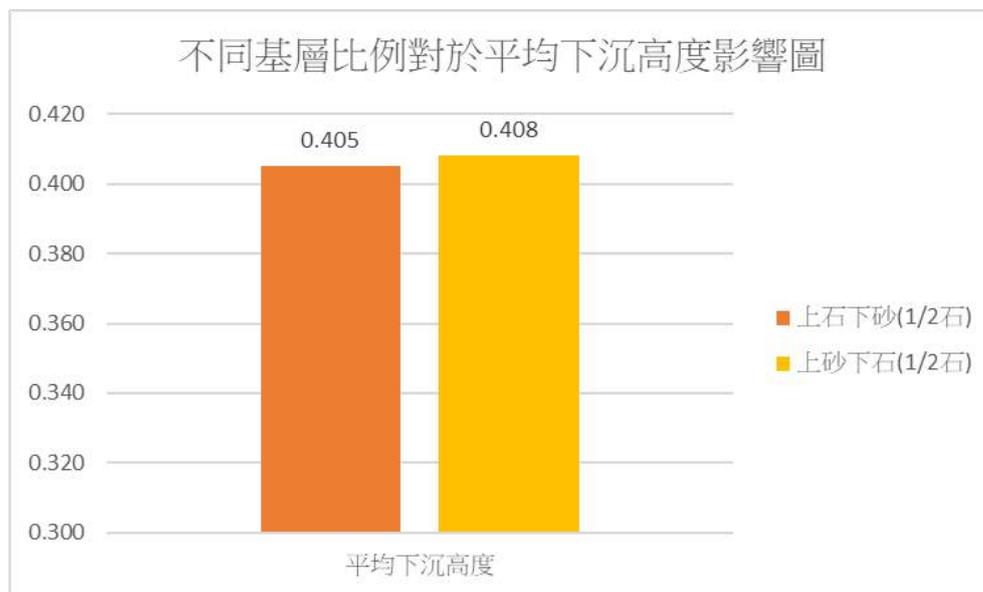


圖 5.17 不同基層比例對於平均下沉高度影響圖

(三) 綜合討論

此部份我們將結合實驗一及實驗二數據進行呈現如下，並加以討論印證文獻及我們的預想是否有所不同。

觀察討論:

1. 我們根據之前實驗的整理數據表 5.8、表 5.13 及表 5.18 整理成上述表 5.19、表 5.20 及表 5.21(以上數據表因版面內容限制，詳情請見附件)分別對應我們討論的應變變因流量、水流量及基層下沉量，且為了能夠較好討論與觀察我們將其會成了下方圖 5.19、圖 5.20 及圖 5.21。
2. 從圖 5.19 中我們可以從中觀察到非常明顯，在相同變項時，道路結構會決定流水的容量，

且依本研究的結果，我們所發現的是模型上砂下石的流水表現要優於模型上石下砂；而在變項之間的互相比較，我們可以觀察到當砂土比例減少時，較無法留住水份，而當碎石比例減少時，要分成兩種模型來比較，當模型為上石下砂時影響較不明顯，但在模型上砂下石時，則有非常明顯的影響，我們在討論後推論在上砂下石模型中，如果當石塊減少時，原本砂土基層與碎石層交界會更交融，砂土會與碎石層結合變得更容易將水流在其中的狀態，所以產會產生上面圖表中的變化，值得令我們思考的是上石下砂模型減少 1/2 石，並沒有如此明顯的狀況，我們推論是上石下砂的模型，碎石層較難以完全融入砂土基層。

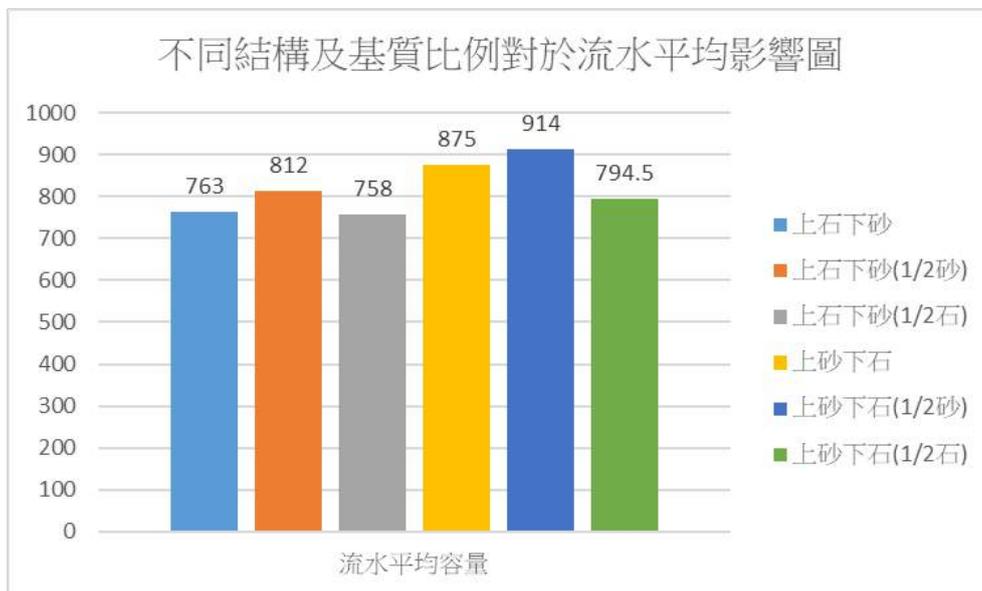


圖 5.19 不同結構及基質比例對於流水平均影響圖

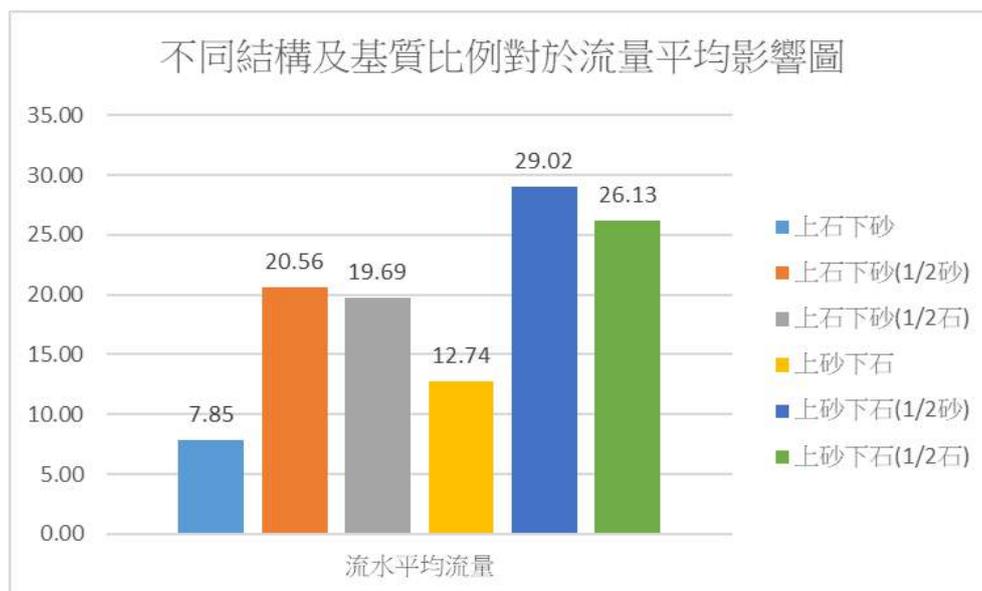


圖 5.20 不同結構及基質比例對於流量平均影響圖

- 從圖 5.20 中我們可以從中觀察到非常明顯，在相同變項時，道路結構會決定排水的速度，且依本研究的結果，我們所發現的是模型上砂下石的排水表現要優於模型上石下砂；而在變項之間的互相比較，我們可以觀察到當砂土比例減少時會比當碎石比例減少時相對更快，我們可以從中推論道路結構會影響道路得水份排水能力。
- 從上述的討論中我們可以發現影響其影響排水能力最大的是道路結構的組成，在本研究中發現排水能力最好的是上砂下石的模型結構，且在基層比例方面我們發現減少砂土時的排水能力會增加，減少碎石時也會有效果但沒有減少砂土時效果來的好。

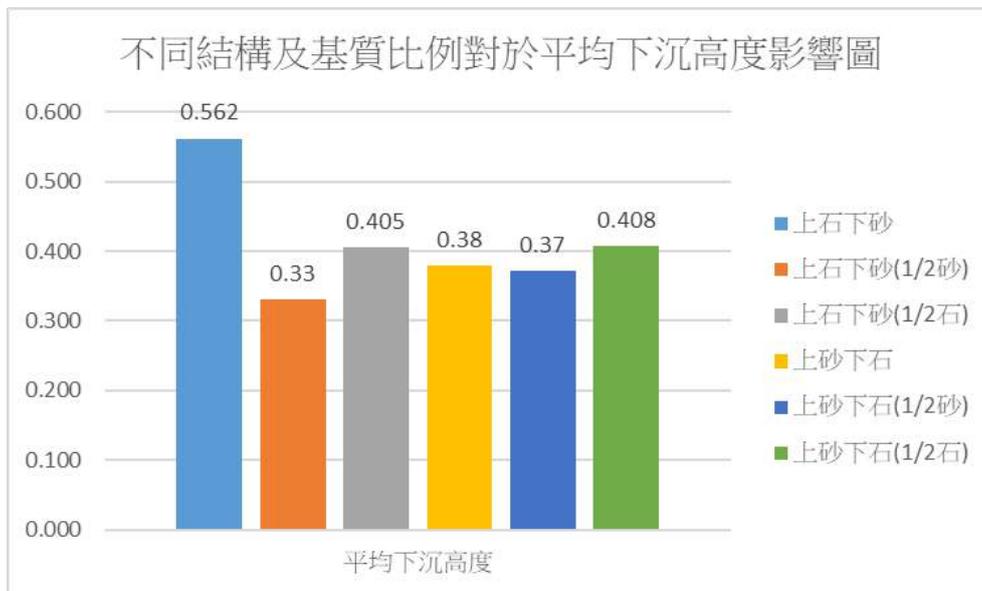


圖 5.21 不同結構及基質比例對於平均下沉高度影響圖

- 從圖 5.21 中我們可以發現在平均下沉高度的部分，同結構不同基質比例來看，兩種結構模型平均下沉高度的變化差異極大，在模型上石下砂中平均下沉高度的變化最大的為標準版的模型，最穩定的是 1/2 砂模型，其次是 1/2 石的模型，我們可以由此推論在注水後變化最大的為砂土，在上石下砂的模型中，砂土的多寡影響基層變化極大；而在上砂下石結構模型中，我們卻較難以看出基層比例變動帶來的影響，我們從中推論，以上砂下石為結構的模型中，砂土會填入碎石縫隙中，因而造成其基層變化較少，而我們可以從基層比例變化及結構變化中推論，道路應有其最穩定的路面結構。
- 而在單論基層比例方面，我們在目前可以從中觀察到減少砂土基層會讓整體的基層下陷高度減少，但是在文獻查閱時我們曾有查到基層的每一層都有其特殊重要性，從目前的實驗來說，我們可以知道砂土影響整體模型的變化最大，可能也與他的物理特性有關，

但是否會影響更多，需等之後實驗才能證明。

四、 製作模型並探討不同外來環境變項對於路面塌陷的影響為何？

本問題將藉由實驗三的研究成果來進行回答，實驗三主要是透過自製道路結構模型來進行，並以漏水水管分布位置作為基準設計不同變項，在實驗三中一共有四種不同變項模型分別是由上至下為瀝青、碎石、砂土，水管在下層砂土中、由上至下為瀝青、砂土、碎石，水管在下層碎石中、由上至下為瀝青、碎石、砂土，水管在上層碎石中以及上至下為瀝青、砂土、碎石，水管在上層砂土中，以上四者在下方分別簡稱為上石下砂下水管、上砂下石下水管、上石下砂上水管以及上砂下石上水管，且在本實驗中的應變變因為流水量(本研究所指的是從下方排水的容量)、水流量(本研究所指的是排水速度)以及地層高度變化，我們在此實驗中進行實驗觀察與記錄並刪去極端值，留下中間數值平均進行分析與討論。

表 5.27 不同外來環境變項數據平均分析表

	上石下砂 降雨模擬	上砂下石 降雨模擬	上石下砂 下水管	上砂下石 下水管	上石下砂 上水管	上砂下石 上水管
流水平均 容量	763	875	536	877.5	665	744.4
流水平均 流量	7.85	12.74	39.91	61.11	39.59	43.39
平均下沉 高度	0.56	0.38	0.90	0.21	1.53	1.06

觀察與討論：

1. 我們根據之前實驗的整理數據表 5.22、表 5.23、表 5.24、表 5.25 及表 5.26(以上數據表因版面內容限制，詳情請見附件)計算並與之前的表 5.8 整理成上述表 5.27、分別對應我們討論的應變變因流水量、水流量及基層下沉量，且為了能夠較好討論與觀察我們將其會成了下方圖 5.22、圖 5.23 及圖 5.24。

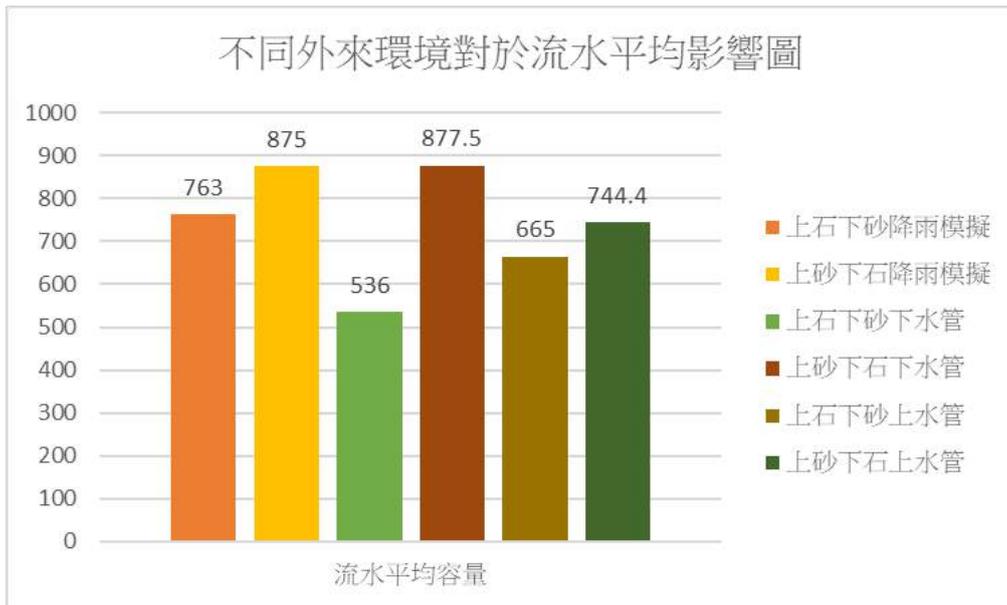


圖 5.22 不同外來環境對於流水平均影響圖

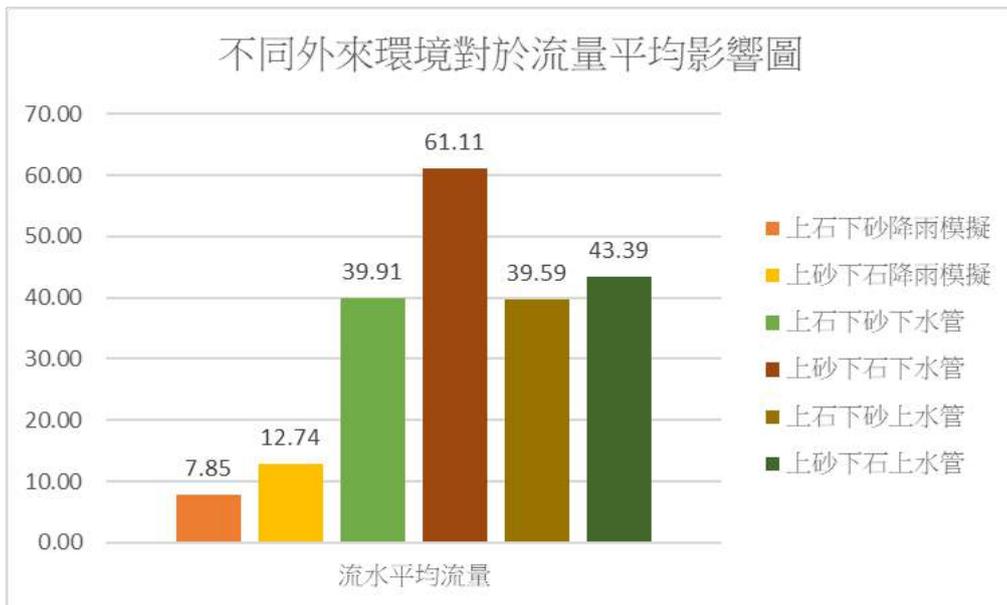


圖 5.23 不同外來環境對於流量平均影響圖

- 從圖 5.24 我們從這個實驗中發現，對比上砂下石下水管的模型來說上石下砂下水管的模型中的基層平均下降較多，在經過我們觀察討論後，我們發現是在實驗過程中上石下砂下水管模型中下層的砂比起上砂下石下水管模型中的砂更容易隨著水流流出，因而導致模型的下降量受影響。
- 我們在圖 5.22 及圖 5.23 及實驗觀察中，發現上石下砂下水管模型的水只要漫延到一定高度後，便會從旁邊的排水孔洞排出，但上砂下石下水管的模型，在水漫延到一定高度後，

卻會從下方排水孔洞排出，我們從此現象可以推論，上石下砂下水管的模型中的砂石在水流到一定程度後，便會飽和，不在輕易讓水由此層通過，造成上方石頭層中的水只能由旁邊排出，但上砂下石下水管的模型卻因排水在石頭層，而沒有這樣的現象，我們由上述現象可推論，排水層和道路結構的差異，會影響到排水效率，進而影響到其他變項。

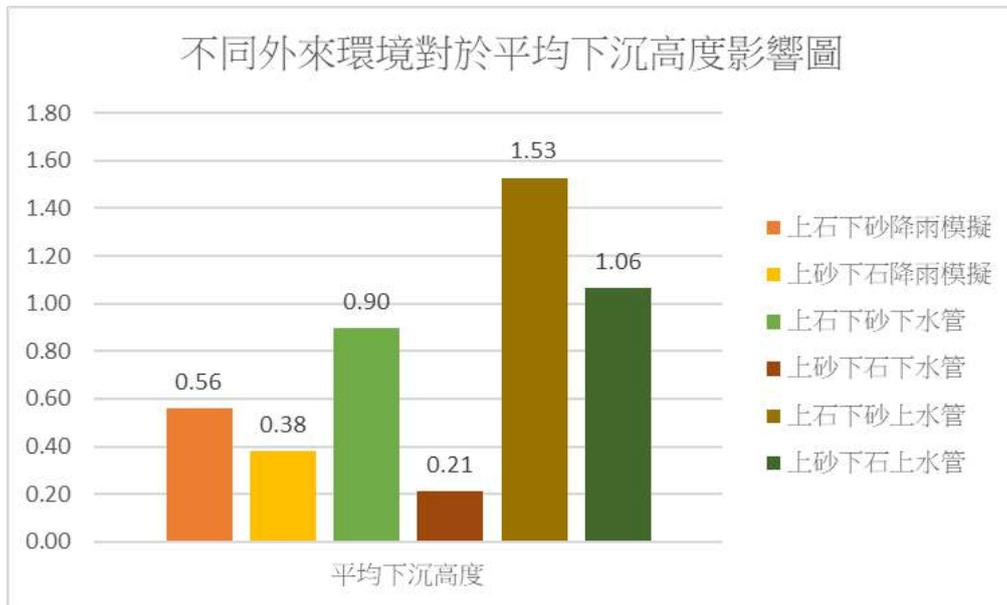


圖 5.24 不同外來環境對於平均下沉高度影響圖

- 在圖 5.22 及圖 5.23 中我們發現上砂下石下水管的模型是流水量較多。我們推論這是因為石頭之間的空隙較多且排水出口在碎石層中，較不容易保留水分，讓水輕易的從下方洞流出也因此呈現出了上砂下石下水管的流水量及水流量都較高的原因。
- 在圖 5.22 及圖 5.23 中，我們發現模型上砂下石上水管比起模型上石下砂上水管往下排水較多、流水較快。我們推論因為水管在上層的砂土裡，水只要通過砂土，就能通過空隙較大的石頭層，因而快速排水，且模型上砂下石上水管和模型上石下砂上水管流水平均時間相差不到一秒，但模型上砂下石上水管平均流水容量較模型上石下砂上水管多 79.4 毫升。因上述原因，我們推論模型上砂下石上水管的排水較好。
- 在本實驗中我們發現模型上砂下石上水管會在瀝青層積水，造成裂縫，我們推論因為砂土吸水後會膨脹，往石頭層和瀝青層擠壓，因石頭縫細較大，沙子會陷進去;瀝青縫隙較小，容易被填滿，導致瀝青層被撐破，造成裂縫，而且從圖 5.24 中我們發現模型上砂下石上水管平均下沉高度較少。我們推論因為石頭在砂土下面所以不會壓到砂土,使模型高

度變低。

7. 在本實驗中，我們發現模型上石下砂上水管幾乎都是從旁邊排水孔排水，我們推論因為底層砂土吸飽水之後就不會讓水進入砂土，所以水就會卡在石頭層，最後從旁邊排出，所以我們再度確信道路結構應有其最適合的比例能夠幫助土壤快速排水。
8. 在本實驗中，我們發現如果漏水排水管與碎石在同一層時，該模型的流水量就會較多，但當水管在砂土基層，模型的流水平均容量會較少，我們推論這是因為石頭間的縫隙並不會阻礙水通過，但砂土會保留水分，讓水無法流出。
9. 在本實驗中，我們發現上水管模型的平均下沉高度比下水管模型的平均下沉高度還多，經過我們觀察討論後推論這是因為水從沉水抽水馬達中灌到水管中，水從水管上的孔洞流出，在流到石頭層之前會先經過下方的砂土基層，所以會將一些砂土帶入石頭的縫隙中，砂土跟隨水流出模型，進而導致下降較多。
10. 從本實驗中，我們可以很清楚地看到，當外來環境水源從降雨變成水管漏水模擬時，模型的水流量及基層下陷程度都有極為明顯的影響，而且做為外來環境模擬水管漏水，我們可以從觀察了解到比起降雨模擬，模擬水管漏水的水流量更大能帶走更多的土壤及造成更多的路面下陷甚至塌陷情形；而下陷程度則跟模擬水管漏水的排水管線在哪一層有較為密切的關係，因為在之前的實驗中我們也可以從中發現，不同基層遇到水時有不同的性質，也因為如此在不同道路結構及不同漏水管線的分布會極大影響路面塌陷的發生。

五、 製作模型並探討人造物變項有無對於路面塌陷的影響為何？

本問題將藉由實驗四的研究成果來進行回答，實驗四主要是透過自製道路結構模型來進行，並以漏水水管分布位置作為基準設計不同變項，在實驗四中一共有四種不同變項模型分別是由上至下為瀝青、碎石、砂土，水管在上層碎石中加上連續壁以及上至下為瀝青、砂土、碎石，水管在上層砂土中加上連續壁、純砂土無連續壁以及純砂土加上連續壁，以上四者在下方分別簡稱為上石下砂上水管連續壁、上砂下石上水管連續壁、純砂上水管無連續壁以及純砂上水管有連續壁，且在本實驗中的應變變因為流水量(本研究所指的是從下方排水的容量)、水流量(本研究所指的是排水速度)以及地層高度變化，我們在此實驗中進行實驗觀察與

記錄並刪去極端值，留下中間數值平均進行分析與討論。

表 5.33 不同外來環境變項數據平均分析表

	上石下砂 上水管	上砂下石 上水管	上石下砂上 水管連續壁	上砂下石上 水管連續壁	純砂土上水 管無連續壁	純砂土上水 管有連續壁
流水平 均容量	665	744.4	487.5	638.5	556	349.5
流水平 均時間	16.80	17.16	15.51	16.66	21.16	18.96
平均下 沉高度	1.53	1.06	0.38	0.36	1.17	1.03

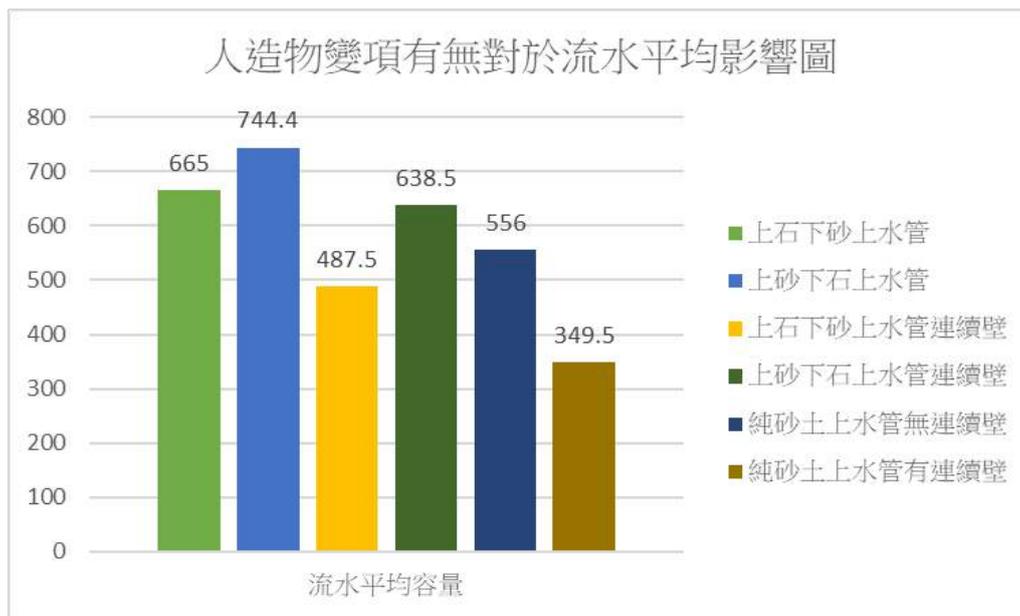


圖 5.25 人造物變項有無對於流水平均影響圖

觀察與討論：

1. 我們根據之前實驗的整理數據表 5.28、表 5.29、表 5.30、表 5.31 及表 5.32(以上數據表因版面內容限制，詳情請見附件)透過計算並與之前的表 5.27 進行比較整理成上述表 5.33、分別對應我們討論的應變變因流量、水流量及基層下沉量，且為了能夠較好討論與觀察我們將其會成了上方圖 5.25 及下方圖 5.28 及圖 5.29。
2. 在本實驗中，我們發現全砂上水管無連續壁模型的瀝青層會沿著水管裂縫裂開，而且裂

縫會越裂越深且水管附近的土幾乎被掏空(如圖 5.26)而非像有連續壁模型一樣維持完整(如圖 5.27)。我們推論因為水管旁的土接觸水的機率最高，最容易因為受到水管的漏水流動帶走而造成裂縫。



圖 5.26 模型上方示意圖(無連續壁)



圖 5.27 模型上方示意圖(有連續壁)

- 我們發現不管是上石下砂上水管連續壁模型、上砂下石上水管連續壁模型以及純砂上水管連續壁都是水管正上方的砂石最軟，有連續壁的另一邊最硬。在我們討論觀察及思考後推論排水管漏水的漫延是以水管為中心，以同心圓方式擴散，但是因為受到重力影響，下方漫延較快，但有趣的是在接觸到連續壁後會往下方漫延而不會越過，要一直到整個模型都充滿水分才會透過邊緣漫延進入連續壁保護的範圍內，也因此我們在實地接觸後水管上方的瀝青及土質最為鬆軟。

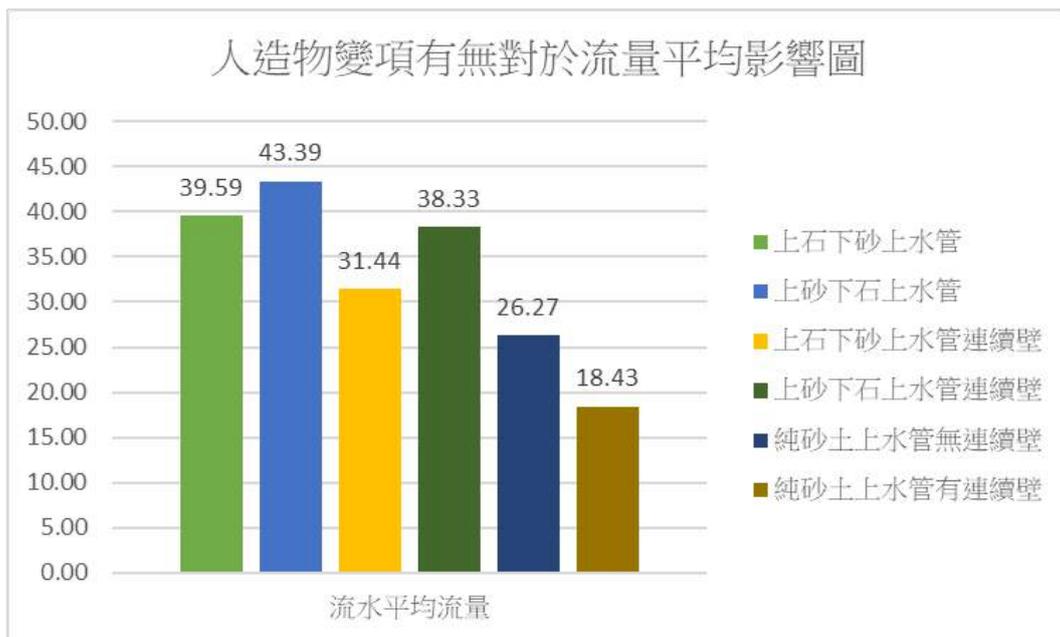


圖 5.28 人造物變項有無對於流量平均影響圖

4. 在本實驗所導出的圖 5.25 及圖 5.28 中，我們可以發現到在同樣道路結構(比較上石下砂上水管、上砂下石上水管、上石下砂上水管連續壁、上砂下石上水管連續壁)但是有無連續壁的比較中，我們發現連續壁的確會影響到模型的排水能力，我們發現有連續壁的模式排水速度較慢，且在我們進行討論及觀察後發現，有連續壁的模式雖然往下排水較慢，但是在實驗時會往旁邊排水孔排出，所以我們從此推論，由於我們的模型在立上連續壁後，土壤可以漫延的範圍變小，造成他可能往下方漫延的排水能力變差。

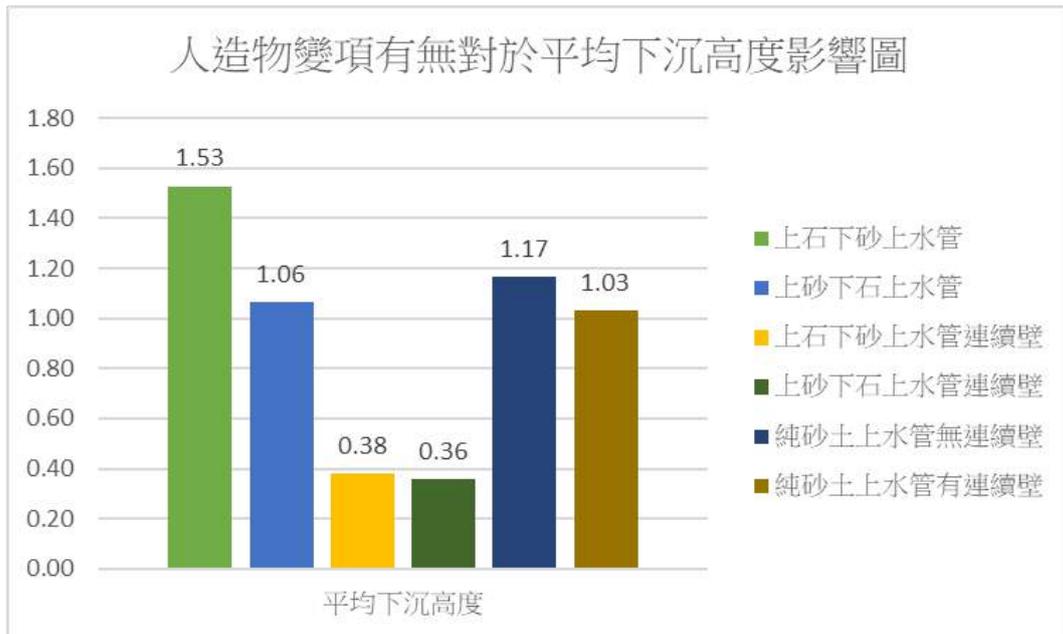


圖 5.29 人造物變項有無對於平均下沉高度影響圖

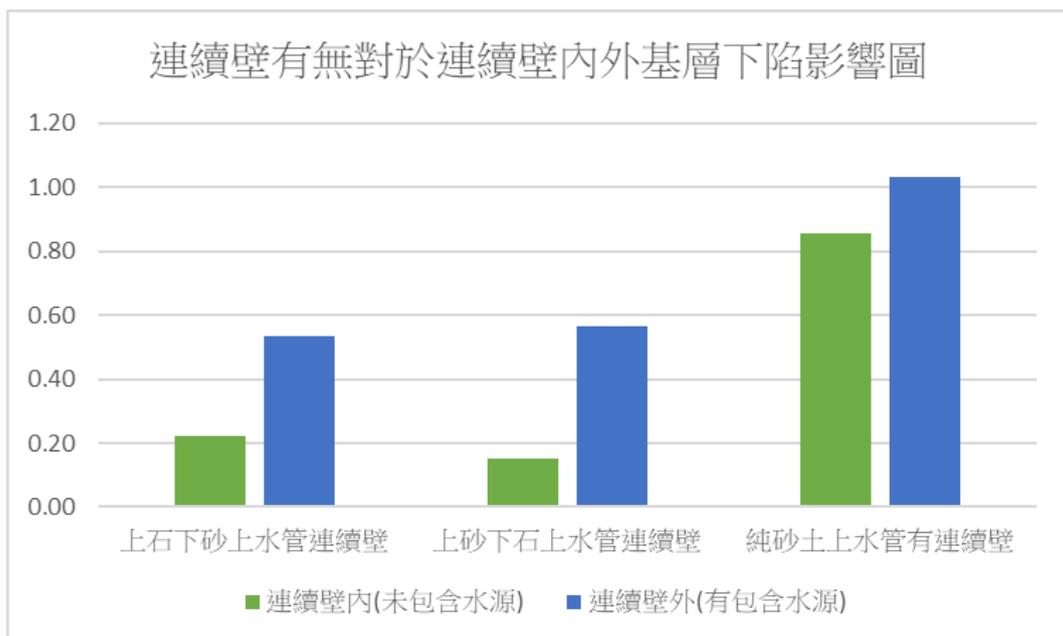


圖 5.30 連續壁有無對於連續壁內外基層下陷影響圖

5. 在本實驗的圖 5.29 中，我們可以發現在同樣道路結構(比較上石下砂上水管、上砂下石上水管、上石下砂上水管連續壁、上砂下石上水管連續壁)但是有無連續壁的比較中，我們發現連續壁是的确會影響到整體路面塌陷的基層下降情形，上石下砂上水管模型的下沉高度比起上石下砂上水管連續壁模型平均下沉高度多了 1.15 公分，模型上砂下石上水管的下沉高度比起模型上砂下石上水管連續壁平均下沉高度多了 0.7 公分，我們推論是因連續壁除了可以幫助阻絕水分進入外，由於連續壁在模型中約 2/3 的位置，他可以支撐起因為水分進入而變的鬆散的基層結構，而讓基層下陷的情形不那麼嚴重。
6. 而在單一模型內(上石下砂上水管連續壁、上砂下石上水管連續壁、全砂上水管有連續壁)的比較中，我們將附件中表 5.29、表 5.30 以及表 5.32 的紅字(連續壁內)及黑字(連續壁外)的資料彙整成表 5.34 並繪製成圖 5.30，我們可以清楚的觀察到，連續壁對於基層下陷的作用起到了極大的幫助，但是我們也可以從中觀察到道路的結構也會影響連續壁的效果。
7. 我們在實驗中發現模型全砂上水管無連續壁及全砂上水管有連續壁水幾乎都是從旁邊排水，且旁邊排出的水比往下排出的水多，我們推論砂子因吸飽水後無法再讓水進入只好從旁排水。
8. 我們發現有連續壁的模型下沉高度、平均流量、平均時間和平均容量都較少，根據我們所整理的資料，我們發現連續壁擁有減少基層下沉的功用。我們推論因為連續壁具有阻擋水分的能力，所以被連續壁所保護的地方比較不會被水侵蝕而導致下降。

六、 討論並分析如何避免路面塌陷的產生?

以下將針對以上實驗結果，討論並分析如何避免路面塌陷的情形產生

- (1) 道路應有一定最佳的道路結構，可以最快將水排走，且同時不讓泥沙被大量帶走。
- (2) 道路結構中的基層比例應有適合各地形最好的配置，能夠幫助不同地形、氣候、溫度的路面不會受到水的影響而產生路面基層掏空。
- (3) 比起雨水，地下管線的漏水及地下流動的水體更容易產生路面基層掏空，需要建立相關的監察機制以避免不幸的發生。
- (4) 不管任何地質結構，正確穩定的連續壁都可以幫助路面基層不會受到水份嚴重的影響。

陸、結論

- 一、實地參訪我們可以發現，跟我們的文獻探討中一樣，路面塌陷的主要成因與水的流動極為相關，且在地質方面兩者都是屬於沖積土，但大直因為較為鄰近大型河川，所以為高潛勢土壤液化區，我們在討論過後，這有可能是大直地區路面塌陷更為嚴重的原因。
- 二、在課本上我們所學到的是需要對環境作好水土保持，但在我們的文獻探討中發現路面塌陷幾乎都與水的溶解有關，且結合之前實驗的經驗，與水接觸越久溶解的量和機會會越多，在經過文獻探討及討論後，我們發現不同地區的排水及固水需求及定義是不同的，需要作好水土保持的是指山坡地等容易有基層滑落的地方，需要注意固水及水土保持，而道路應該要跟棒球場的地板較為類似，他需要較快的將水排到地下水層，以不讓流水在這之中增加對基層的掏空或者是人造建物的損壞。
- 三、模型上石下砂因為原本的縫隙會受到注水影響而滑動造成模擬路面的塌陷情形較為嚴重，另外我們也能延伸從此思考，如果路面原本就如同模型上石下砂一樣，其結構較不穩定，那當大量注水時，也容易造成路面有些地方塌陷較多，有些地方較少而造成坑洞甚至塌陷。
- 四、從本研究中，我們可以清楚發現不同道路結構會影響路面塌陷的狀況，經由結合文獻探討，我們發現模型的排水量、排水流量以及道路基層下沉高度都與道路結構有一定程度以上的關係，甚至推論可能有最佳的建制結構存在。
- 五、影響排水能力最大的是道路結構的組成，在本研究中發現排水能力最好的是上砂下石的模型結構，且在基層比例方面我們發現減少砂土時的排水能力會增加，減少碎石時也會有效果但沒有減少砂土時效果來的好。
- 六、在注水後變化最大的為砂土，在上石下砂的模型中，砂土的多寡影響基層變化極大；而在上砂下石結構模型中，我們卻較難以看出基層比例變動帶來的影響，我們從中推論，以上砂下石為結構的模型中，砂土會填入碎石縫隙中，因而造成其基層變化較少，而我們可以從基層比例變化及結構變化中推論，道路應有其最穩定的路面結構。
- 七、在上石下砂的模型中，砂土的多寡影響基層變化極大；而在上砂下石結構模型中，我們卻較難以看出基層比例變動帶來的影響，我們從中推論，以上砂下石為結構的模型中，

砂土會填入碎石縫隙中，因而造成其基層變化較少，而我們可以從基層比例變化及結構變化中推論，道路應有其最穩定的路面結構。

八、我們可以從本實驗可以觀察了解到比起降雨模擬，模擬水管漏水的水流量更大能帶走更多的土壤及造成更多的路面下陷甚至塌陷情形；而下陷程度則跟模擬水管漏水的排水管線在哪一層有較為密切的關係，因為在之前的實驗中我們也可以從中發現，不同基層遇到水時有不同的性質，也因為如此在不同道路結構及不同漏水管線的分布會極大影響路面塌陷的發生。

九、從本研究中我們發現連續壁除了可以幫助阻絕水分進入外，由於連續壁在模型中約 2/3 的位置，他可以支撐起因為水分進入而變的鬆散的基層結構，而讓基層下陷的情形不那麼嚴重，所以我們推論連續壁對於基層下陷的作用起到了極大的幫助，但是我們也可以從本實驗中觀察到道路的結構也會影響連續壁的效果。

柒、未來研究

本實驗因測量及製作困難在完成後，經過小組討論，發現還有許多不足之處，將在下方紀錄並提醒我們小組

而需注意可以增加部分，詳列如下

- 一、可以至參訪地區取該地用土回製作實驗。
- 二、可以加入溼度計的測量能更客觀。
- 三、可以加入更多的人造物來充當變項。
- 四、能製作更接近現實的道路結構模型及自然環境變項來操作實驗。

捌、參考文獻

地陷. (n.d.). 維基百科. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%9C%B0%E9%99%B7>

道路坑洞及塌陷之成因檢討及預防措施. (2019, October 16). 中華民國行政院公共工程委員會. <https://www.pcc.gov.tw/cp.aspx?n=893AAA1CBFE149DE>

道路坑洞及塌陷之成因與預防改善措施. (2019, July 25). 中華民國行政院公共工程委員會工程管理處.

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.arch.org.tw/Content/Files/Laws/2c798ed3dadd4e4ab2ab701327439433.pdf

道路塌陷及鄰房基礎淘空之防範指引. (2023, November 14). 行政院工程公共委員會.

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ga.ntnu.edu.tw/news_file/2023-11-14%E9%81%93%E8%B7%AF%E5%A1%8C%E9%99%B7%E5%8F%8A%E9%84%B0%E6%88%BF%E5%9F%BA%E7%A4%8E%E6%B7%98%E7%A9%BA%E4%B9%8B%E9%98%B2%E7%AF%84%E6%8C%87%E5%BC%95.pdf

附件

表 5.2 不同道路結構對於流水量實驗數據表

	上石下砂	上砂下石
1	870	900
2	870	900
3	800	890
4	800	890
5	770	870
6	770	860
7	750	860
8	690	860
9	660	860
10	650	860
平均	763	875

單位:毫升

表 5.3 不同道路結構對於水流量實驗時間數據表

	上石下砂	上砂下石
1	122	75
2	121	71
3	120	70
4	113	70
5	110	68
6	86	67
7	82	67

8	79	67
9	75	66
10	64	66
平均	97.2	68.7

單位:秒

表 5.4 不同道路結構對於地層高度變化實驗數據表

	上石下砂-1	上石下砂-2	上石下砂-3	上石下砂-4	上石下砂-5	上石下砂-6
原始	8.1	8.6	8.2	8.9	9	8.5
1	7.9	7.6	7.8	8.8	8.1	8.4
2	7.9	7.4	7.6	8.8	8.2	8.2
3	7.5	8.1	7.6	8.6	8.6	8.6
4	7.8	7.6	7.7	8.4	8	8
5	7.8	7.1	7.8	8.5	8.3	8.6
6	7.7	8	7.8	8.5	8.5	9.5
7	7.5	7.7	7.9	8.6	8.3	8.2
8	7.8	7.8	7.5	8.7	8.1	8
9	7.9	7.5	7.6	8.7	8.1	8
10	7.8	7.8	7.9	8.5	8.4	8.2
平均	7.76	7.66	7.72	8.61	8.26	8.37
高度差	0.34	0.94	0.48	0.29	0.74	0.13

單位:公分

表 5.5 不同道路結構對於地層高度變化實驗數據表

上石下砂-1 上石下砂-2 上石下砂-3 上石下砂-4 上石下砂-5 上石下砂-6

原始	9.1	8.5	8.1	8	8	8.7
1	7.6	7.6	7.9	7.8	7.8	8.2
2	7.5	8.2	8.1	7.7	7.8	8
3	7.6	7.5	8	7.8	7.9	7.2
4	7.8	7.9	7.8	7.5	7.3	7.9
5	7.3	7.1	7.8	7.8	7.9	8
6	7.5	7.5	8	7.7	7.8	8.2
7	7.9	7.8	8.2	7.7	7.9	8.5
8	7.6	7.5	8	7.6	7.9	8
9	7.6	7.5	7.7	7.2	7.8	8.2
10	7.7	7.7	7.9	7.8	7.8	7.3
平均	7.61	7.63	7.94	7.66	7.79	7.95
高度差	1.49	0.87	0.16	0.34	0.21	0.75

單位:公分

表 5.6 不同道路結構對於地層高度變化實驗數據表

	上砂下石-1	上砂下石-2	上砂下石-3	上砂下石-4	上砂下石-5	上砂下石-6
原始	7.5	7.8	7.6	8.5	8.7	7.9
1	7.3	7.9	7.4	7.2	7.8	7.9
2	7.4	7.6	7.4	7.5	8	7.7
3	7.3	7.5	7.3	7.5	8.1	7.8
4	7.2	7.6	7.5	7.1	7.8	7.5
5	7.2	7.7	7.3	7.6	7.2	7.5
6	7.1	7.5	7.3	7.2	7.4	7.5
7	7.4	7.6	7.2	7.4	8.2	7.6

8	7.3	7.6	7.2	7.9	7.3	7.7
9	7.4	7.3	7.4	7.3	7.5	7.6
10	7.4	7.7	7.2	7.2	8.2	7.5
平均	7.3	7.6	7.32	7.39	7.75	7.63
高度差	0.2	0.2	0.28	1.11	0.95	0.27

單位:公分

表 5.7 不同道路結構對於地層高度變化實驗數據表

	上砂下石-1	上砂下石-2	上砂下石-3	上砂下石-4	上砂下石-5	上砂下石-6
原始	7.1	7.3	7.4	8.3	8	8.1
1	7	7.1	6.8	7.8	7.4	8
2	7.2	7.4	7.3	8.4	8	8
3	6.8	7.2	7.2	8	7.6	8
4	6.8	7.4	6.8	7.8	7.6	7.5
5	6.9	7.3	6.8	7.9	7.5	7.6
6	7	7.3	7	8	7.6	7.8
7	7.2	7.1	7.2	8.2	7.9	8
8	7	7.1	6.9	7.8	7.6	7.6
9	6.5	7.2	7	7.2	7.6	7.6
10	7	7.5	7.2	8.1	8.1	8.1
平均	6.94	7.26	7.02	7.92	7.69	7.82
高度差	0.16	0.04	0.38	0.38	0.31	0.28

單位:公分

表 5.9 不同基層比例對於流水量實驗數據表

上石下砂(1/2 砂)

上砂下石(1/2 砂)

1	670	620
2	765	955
3	850	915
4	885	960
5	890	975
6	860	995
7	730	950
8	830	920
9	800	940
10	840	910
平均	812	914

單位:毫升

表 5.10 不同基層比例對於水流量實驗時間數據表

	上石下砂(1/2 砂)	上砂下石(1/2 砂)
1	51	48
2	46	40
3	45	37
4	44	32
5	41	31
6	41	30
7	37	27
8	35	27
9	29	22
10	26	21

平均

39.5

31.5

單位:秒

表 5.11 不同基層比例對於地層高度變化實驗數據表

	上砂下石 (1/2 砂)-1	上砂下石 (1/2 砂)-2	上砂下石 (1/2 砂)-3	上砂下石 (1/2 砂)-4	上砂下石 (1/2 砂)-5	上砂下石 (1/2 砂)-6
原始	6.3	6.3	6.4	6	6	6.1
1	6	5.8	6	5.5	5.7	5.8
2	6	6	6	5.6	5.8	5.7
3	6	5.7	6.1	5.4	5.5	5.5
4	6	6	6	5.7	5.9	6
5	5.8	5.8	5.7	6.3	5.5	5.7
6	5.7	5.9	5.7	6.1	5.7	5.8
7	6.2	5.8	6.5	5.8	5.7	5.8
8	6.3	6	5.7	5.7	5.7	5.8
9	5.9	6	5.7	5.4	5.2	5.7
10	6	5.9	6	5.3	5.6	5.6
平均	5.99	5.89	5.94	5.68	5.63	5.74
高度差	0.31	0.41	0.46	0.32	0.37	0.36

單位:公分

表 5.12 不同基層比例對於地層高度變化實驗數據表

	上石下砂 (1/2 砂)-1	上石下砂 (1/2 砂)-2	上石下砂 (1/2 砂)-3	上石下砂 (1/2 砂)-4	上石下砂 (1/2 砂)-5	上石下砂 (1/2 砂)-6
原始	6.6	6.9	6.8	6	6.8	5.9

1	6.7	6.9	6.5	5.8	6.4	6.5
2	6.5	6.4	6.8	5.7	5.6	5.7
3	6.6	6.3	7.5	5.5	6	5.8
4	6.3	7.1	7	6.1	6.1	6.3
5	7	7.1	7.1	5.3	5.9	5.5
6	6.9	7.1	7.3	6	5.7	5.5
7	6.8	7	6.6	5	6	5.5
8	5.9	6	5.3	5.4	5.5	5.7
9	6	6.2	6	5.7	5.2	5.4
10	6	6	5.5	6	6.5	6.5
平均	6.47	6.61	6.56	5.65	5.89	5.84
高度差	0.13	0.29	0.24	0.35	0.91	0.06

單位:公分

表 5.14 不同基層比例對於流水量實驗數據表

	上石下砂(1/2 石)	上砂下石(1/2 石)
1	515	400
2	785	740
3	750	800
4	820	770
5	670	945
6	870	870
7	850	870
8	860	910
9	700	840
10	760	800

平均

758

794.5

單位:毫升

表 5.15 不同基層比例對於水流量實驗時間數據表

	上石下砂(1/2 石)	上砂下石(1/2 石)
1	28	21
2	49	19
3	41	25
4	42	26
5	29	30
6	38	41
7	37	35
8	33	37
9	39	35
10	49	35
平均	38.5	30.4

單位:秒

表 5.16 不同基層比例對於地層高度變化實驗數據表

	上砂下石 (1/2 石)-1	上砂下石 (1/2 石)-2	上砂下石 (1/2 石)-3	上砂下石 (1/2 石)-4	上砂下石 (1/2 石)-5	上砂下石 (1/2 石)-6
原始	6.3	6.9	6.3	6.2	6.8	6.6
1	6.1	6.8	6	6.1	6.7	6.4
2	6	6.7	6	6.1	6.4	6.1
3	6	6.6	6	6.1	6.4	6

4	6	6.6	6	6	6.4	6
5	6	6.6	5.9	6	6.4	6.6
6	6	6.6	5.8	6	6.4	6
7	6	6.6	5.8	5.9	6.4	6
8	5.9	6.6	5.8	5.8	6.4	6
9	6	6.5	5.5	5.5	6.2	5.7
10	5.7	6.3	5.5	5.5	5.5	5.6
平均	5.97	6.59	5.83	5.9	6.32	6.04
高度差	0.33	0.31	0.47	0.3	0.48	0.56

單位:公分

表 5.17 不同基層比例對於地層高度變化實驗數據表

	上石下砂 (1/2 石)-1	上石下砂 (1/2 石)-2	上石下砂 (1/2 石)-3	上石下砂 (1/2 石)-4	上石下砂 (1/2 石)-5	上石下砂 (1/2 石)-6
原始	6.9	7.2	6.4	6.8	6.9	6.2
1	6.8	7	6.4	6.6	6.8	6
2	6.7	7	6.4	6.6	6.7	6
3	6.7	7	6.3	6.5	6.7	6
4	6.6	6.9	6.3	6.4	6.7	6
5	6.6	6.9	6	6.1	6.6	6
6	6.6	6.9	5.9	6.1	6.6	6
7	6.6	6.9	5.8	6	6.6	5.9
8	6.6	6.9	5.8	6	6.6	5.9
9	6.3	6.7	5.5	5.8	6.3	5.5
10	6	6.5	5.3	5.6	6	5.2

平均	6.55	6.87	5.97	6.17	6.56	5.85
高度差	0.35	0.33	0.43	0.63	0.34	0.35

單位:公分

表 5.19 不同道路結構及基層比例對於流水平均影響表

	上石下砂	上石下砂 (1/2)砂	上石下砂 (1/2 石)	上砂下石	上砂下石 (1/2 砂)	上砂下石 (1/2 石)
流水平均 容量	763	812	758	875	914	794.5

單位:毫升

表 5.20 不同道路結構及基層比例對於流量平均影響表

	上石下砂	上石下砂 (1/2)砂	上石下砂 (1/2 石)	上砂下石	上砂下石 (1/2 砂)	上砂下石 (1/2 石)
流水平均 流量	7.85	20.56	19.69	12.74	29.02	26.13

單位:毫升/秒

表 5.21 不同道路結構及基層比例對於流量平均影響表

	上石下砂	上石下砂 (1/2)砂	上石下砂 (1/2 石)	上砂下石	上砂下石 (1/2 砂)	上砂下石 (1/2 石)
平均下沉 高度	0.562	0.33	0.405	0.38	0.37	0.408

單位:毫升/秒

表 5.22 不同外來環境變項對於流水平均影響表

	上石下砂下水管	上砂下石下水管	上石下砂上水管	上砂下石上水管
1	600	930	730	840
2	600	910	730	780
3	570	905	690	750
4	550	900	690	750
5	550	900	680	740
6	540	900	660	730
7	510	880	650	730
8	490	850	630	700
9	480	820	600	680
10	470	780	590	744
平均	536	877.5	665	744.4

表 5.23 不同外來環境變項對於地層高度變化實驗數據表(上石下砂下水管)

	上石下砂 下水管-1	上石下砂 下水管-2	上石下砂 下水管-3	上石下砂 下水管-4	上石下砂 下水管-5	上石下砂 下水管-6
原始	8	8.4	8.2	8.3	8.4	8.1
1	7.4	7.8	7.3	7.7	7.2	7.7
2	7.3	7.8	7.1	7.6	7.2	7.7
3	7.2	7.7	7.1	7.6	7.1	7.7
4	6.9	7.7	7.1	7.6	7.1	7.7
5	6.9	7.7	7.1	7.6	7.1	7.6
6	6.7	7.7	7.1	7.6	7.1	7.6
7	6.7	7.7	7	7.5	7.1	7.6

8	6.7	7.7	7	7.5	7.1	7.6
9	6.7	7.6	7	7.5	7.1	7.6
10	6.7	7.6	7	7.5	7	7.6
平均	6.92	7.7	7.08	7.57	7.11	7.64
高度差	1.08	0.7	1.12	0.73	1.29	0.46

單位:公分

表 5.24 不同外來環境變項對於地層高度變化實驗數據表(上砂下石下水管)

	上砂下石 下水管-1	上砂下石 下水管-2	上砂下石 下水管-3	上砂下石 下水管-4	上砂下石 下水管-5	上砂下石 下水管-6
原始	7.1	7.3	7	7.3	7.1	7.3
1	7.2	7	7	6.9	7.1	7
2	7.1	7	7	6.9	7.1	7
3	7.1	7	7	6.9	7	7
4	7.1	7	7	6.9	7	7
5	7.1	7	6.9	6.9	7	7
6	7.1	7	6.9	6.9	7	7
7	7.1	7	6.8	6.9	7	7
8	7.1	6.9	6.8	6.8	7	7
9	7	6.9	6.8	6.8	7	6.9
10	6.9	6.9	6.8	6.8	7	6.9
平均	7.08	6.97	6.9	6.87	7.02	6.98
高度差	0.02	0.33	0.1	0.43	0.08	0.32

單位:公分

表 5.25 不同外來環境變項對於地層高度變化實驗數據表(上石下砂上水管)

	上石下砂 上水管-1	上石下砂 上水管-2	上石下砂 上水管-3	上石下砂 上水管-4	上石下砂 上水管-5	上石下砂 上水管-6
原始	8	8	8.3	8.5	8.4	8.4
1	6.7	7.5	7.6	7.3	7.3	7.4
2	6.7	7.3	7.5	7.3	7.2	7.4
3	6.5	7	7.1	7.2	7.2	7.2
4	6.3	7	6.6	7.2	7.1	7.2
5	6.3	6.5	6.5	6.9	7.1	7.1
6	6	6.5	6.5	6.9	7	7.1
7	6	6	6.5	6.8	7	7
8	5.9	5.9	6.4	6.7	6.8	6.6
9	5.8	5.9	6.3	6.7	6.8	6.5
10	5.8	5.8	6.2	6.5	6.7	6.5
平均	6.2	6.54	6.72	6.95	7.02	7
高度差	1.8	1.46	1.58	1.55	1.38	1.4

單位:公分

表 5.26 不同外來環境變項對於地層高度變化實驗數據表(上砂下石上水管)

	上砂下石 上水管-1	上砂下石 上水管-2	上砂下石 上水管-3	上砂下石 上水管-4	上砂下石 上水管-5	上砂下石 上水管-6
原始	7.9	7.3	7.4	7.3	7	7.5
1	7.4	6.9	7	6.5	7	6.5
2	7.3	6.9	6.8	6.5	7	6.5
3	7	6.7	6.7	6.3	6.5	6
4	7	6.7	6	6.3	6.4	5.9

5	6.9	6.6	6	6	6.2	5.9
6	6.8	6.6	5.9	5.9	6.1	5.9
7	6.8	6.5	5.9	5.8	5.9	5.9
8	6.7	6.5	5.9	5.7	5.9	5.8
9	6.7	6.5	5.8	5.7	5.8	5.8
10	6.6	6.5	5.8	5.6	5.7	5.8
平均	6.92	6.64	6.18	6.03	6.25	6
高度差	0.98	0.66	1.22	1.27	0.75	1.5

單位:公分

表 5.28 人造物變項有無對於流水平均影響表

	上石下砂	上砂下石	純砂土上水管	純砂土上水管
	上水管連續壁	上水管連續壁	無連續壁	有連續壁
1	525	680	610	410
2	510	675	580	410
3	500	660	580	380
4	500	640	570	380
5	480	640	560	350
6	480	630	560	335
7	480	630	540	330
8	480	620	530	320
9	460	610	520	290
10	460	600	510	290
平均	487.5	638.5	556	349.5

表 5.29 人造物變項有無對於地層高度變化實驗數據表(上石下砂上水管連續壁)

	上石下砂上 水管連續壁	上石下砂上 水管連續壁	上石下砂上 水管連續壁	上石下砂上 水管連續壁	上石下砂上 水管連續壁	上石下砂上 水管連續壁
	-1	-2	-3	-4	-5	-6
原始	8.5	8.1	8.2	8.5	7.9	7.7
1	8.5	8.1	8	7.9	7.6	7.5
2	8.3	8.1	7.9	7.9	7.5	7.5
3	8.3	8.1	7.8	7.8	7.5	7.5
4	8.3	8.1	7.8	7.8	7.5	7.5
5	8.3	8.1	7.8	7.8	7.5	7.4
6	8.2	8.1	7.8	7.7	7.4	7.4
7	8.2	8	7.8	7.6	7.4	7.4
8	8.2	8	7.7	7.6	7.3	7.2
9	8.2	8	7.7	7.6	7.3	7.1
10	8.2	8	7.7	7.5	7.3	7
平均	8.27	8.06	7.8	7.72	7.43	7.35
高度差	0.23	0.04	0.4	0.78	0.47	0.35

單位:公分

表 5.30 人造物變項有無對於地層高度變化實驗數據表(上砂下石上水管連續壁)

	上砂下石上 水管連續壁	上砂下石上 水管連續壁	上砂下石上 水管連續壁	上砂下石上 水管連續壁	上砂下石上 水管連續壁	上砂下石上 水管連續壁
	-1	-2	-3	-4	-5	-6
原始	8.3	8.1	7.6	8.6	8.3	7.6
1	8.2	8.1	7.5	8.1	8	7.4
2	8.2	8.1	7.4	8.1	8	7.3

3	8.2	8.1	7.4	8.1	8	7.3
4	8.2	8.1	7.4	8	8	7.2
5	8.2	8.1	7.4	8	8	7
6	8.2	8.1	7.4	8	8	6.8
7	8.1	8	7.4	8	8	6.7
8	8.1	7.9	7.3	7.9	7.8	6.6
9	8.1	7.9	7.3	7.9	7.7	6.4
10	8	7.8	7.3	7.8	7.7	6.3
平均	8.15	8.02	7.38	7.99	7.92	6.9
高度差	0.15	0.08	0.22	0.61	0.38	0.7

單位:公分

表 5.31 人造物變項有無對於地層高度變化實驗數據表(純砂上水管無連續壁)

	純砂上水管 無連續壁-1	純砂上水管 無連續壁-2	純砂上水管 無連續壁-3	純砂上水管 無連續壁-4	純砂上水管 無連續壁-5	純砂上水管 無連續壁-6
原始	8.5	8.2	8.4	8.4	8.5	8.3
1	7.3	7.3	7.7	7.6	7.8	7.8
2	7	7.3	7.7	7.4	7.7	7.8
3	7	7.2	7.4	7.3	7.6	7.8
4	6.9	7.2	7	7.3	7.6	7.6
5	6.9	7.1	7	7	7.6	7.5
6	6.9	7.1	6.8	7	7.6	7.5
7	6.8	6.9	6.9	6.9	7.4	7.4
8	6.8	6.9	6.9	7	7.4	7.4
9	6.8	6.9	6.9	6.7	7.5	7.3
10	6.8	6.8	6.9	6.6	7.4	7.3

平均	6.92	7.07	7.12	7.08	7.56	7.54
高度差	1.58	1.13	1.28	1.32	0.94	0.76

單位:公分

表 5.32 人造物變項有無對於地層高度變化實驗數據表(上砂下石上水管連續壁)

上水管	純砂上水管 有連續壁-1	純砂上水管 有連續壁-2	純砂上水管 有連續壁-3	純砂上水管 有連續壁-4	純砂上水管 有連續壁-5	純砂上水管 有連續壁-6
原始	8.4	8.7	8.7	8.2	8.1	8.1
1	8.1	8.4	8.6	7.5	7.8	7.6
2	7.7	8.4	8.4	7.2	7.3	7.5
3	7.4	8.3	8.4	7.2	7	7.5
4	7.3	8.1	8.3	7.2	7	7.5
5	7.2	8.1	7.8	7.2	7	7.5
6	7.1	8.1	7.6	7	6.9	7.4
7	7.1	8.1	7.6	6.9	6.8	6.9
8	7.1	7.8	7.4	6.9	6.8	6.9
9	7.1	7.7	7.3	6.8	6.7	6.8
10	7.1	7.6	7.2	6.8	6.7	6.8
平均	7.32	8.06	7.86	7.07	7	7.24
高度差	1.08	0.64	0.84	1.13	1.1	0.86

單位:公分

5.34 不同模型連續壁有無對於地層高度比較影響表

	連續壁內(未包含水源)	連續壁外(有包含水源)
上石下砂上水管連續壁-1	0.22	0.53
上砂下石上水管連續壁-1	0.15	0.56
純砂土上水管有連續壁-1	0.85	1.03

單位:公分