

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(二)

佳作

032918

模組化海綿千層-打造藍海智慧城市的未來之路

學校名稱：臺中市私立華盛頓高級中學(附設國中)

作者： 國一 林千筠 國一 邵于函	指導老師： 許瑞中
---------------------------------	------------------

關鍵詞：JW 生態工法、道路預鑄工法、海綿道路

摘要

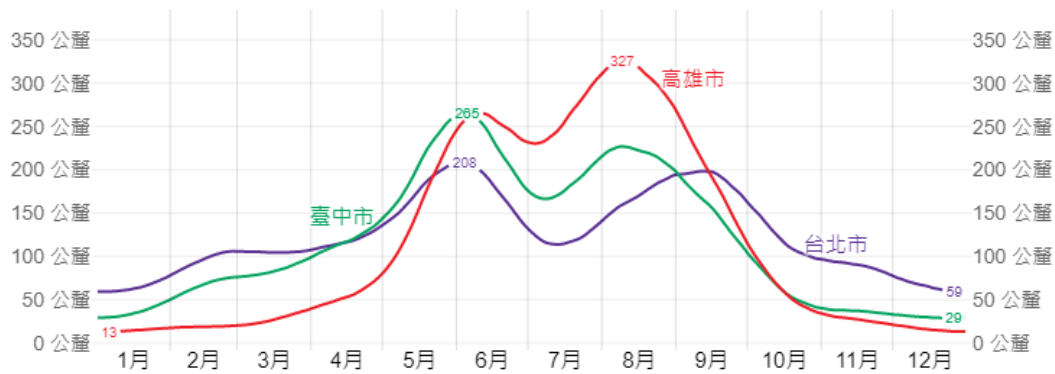
本研究為探討一種新式的工法：**模組化多層別道路預鑄法**來取代舊有生態工法的可行性評估。這項設計不但能縮短路面施工與維修的時間，減少空氣與噪音汙染，更能兼顧儲水、淨水的優點，最終目標為解決台灣各處常見的淹水與缺水兩大問題。

經由實驗發現，這項設計在儲水與透水兩大功能上的確有顯著的效果；採用麥飯石當作儲水層的話，可得到 22.2%的儲水率，也能夠兼具快速的透水與 41%的淨水效果。

透過積木模擬與 3D 建模實驗發現，這個工法可以快速建構道路，也能夠預留空間給水、電等管線使用，機構中我們加入**上掀式的鎖牙設計**，即便未來需要維修管線也不用開挖馬路，更能保有傳統生態工法的眾多優點，在未來應用上深具潛力。

壹、研究動機

我們學校由於位處山區，常常會有急降雨，每當滂沱的雨勢降下，學校周圍的路面便會積水，非常危險。這些黃色的泥水十分混濁，夾帶著泥沙與落葉弄髒我們的鞋子，使我們上、下學皆相當的不便；但在冬末春初之際，台灣卻又面臨枯水期（圖一），造成了全台所有居民的缺水問題。於是，我們查詢了許多資料，想要尋找淹水與缺水的原因，並尋求解決辦法。台灣其實有遠多於世界各國的年降水量（圖二），甚至是世界平均年降水量的 2.6 倍，可是每個人每年平均可以使用的水卻只有約 3752 立方公尺；主要原因是台灣地形南北狹長、東西陡峭，導致蓄水不易，每年都會缺水，甚至被聯合國列為全世界第十八名缺水的國家。**簡單來說，台灣這個小島上竟然同時面臨淹水與缺水的兩大問題。**了解到我們國家所處的現況之後，當然要試著尋找解決的辦法。但是身為國中生的我們，對水利工程並不熟悉，要如何發揮一己之力，替國人找到可行的辦法呢？在與隊友和老師的開會過程中，我們發現一個有趣的實驗性工程：Plastic Road，它描述利用回收塑膠來製作一條測試用的道路（*The Road of the Future? It's Made of Plastic.* (2015, September 23). LifeGate. <https://www.lifegate.com/plastic-road>）這引起我們的興趣，於是我們決定從兩大方向著手。第一，利用腦力激盪與文獻探討的方式研究解決的方案；第二，進行可行性評估實驗來驗證這些設計是否真如文獻中描述的那麼好，並由實驗結果提出改善建議。



圖一：台灣各月份雨量分布圖（Weather Spark 網站，2023）

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合計	統計期間
蘇澳	378.6	293.7	193.6	184.3	266.6	229.9	165.8	268.5	450.1	714.1	705.7	584.3	4435.2	1991~2020
宜蘭	155.2	147.0	115.2	125.5	222.5	189.6	140.2	243.4	409.6	428.1	335.8	232.2	2744.3	1991~2020
東吉島	21.8	28.9	38.4	70.8	117.3	183.9	189.9	243.3	108.2	35.6	32.9	26.1	1097.1	1991~2020
澎湖	20.9	38.1	50.7	77.9	117.8	148.0	163.2	229.4	100.3	30.1	26.0	28.1	1030.5	1991~2020
臺南	20.9	23.7	31.1	69.1	160.1	369.5	353.5	478.9	167.6	24.6	26.9	15.6	1741.5	1991~2020
高雄	19.1	17.7	32.3	68.4	202.2	416.2	377.2	512.4	224.5	53.4	25.6	19.2	1968.2	1991~2020
嘉義	27.5	44.9	53.0	86.6	170.0	318.6	387.4	443.8	212.3	30.2	21.5	25.8	1821.6	1991~2020
臺中	36.6	63.0	86.9	126.8	249.6	329.0	303.3	340.8	147.5	25.0	23.8	30.5	1762.8	1991~2020
阿里山	86.8	109.9	146.6	223.9	510.4	674.7	694.7	813.1	402.7	141.2	66.9	69.7	3940.6	1991~2020
大武	42.5	44.3	42.8	72.4	174.7	367.5	388.1	458.2	391.4	203.3	92.9	46.4	2324.5	1991~2020
玉山	83.7	67.2	94.8	201.2	423.6	459.6	434.2	516.0	297.2	145.1	98.3	81.6	2902.5	1991~2020
新竹	75.7	123.0	159.8	161.9	249.0	252.0	120.2	197.1	174.5	53.6	51.1	57.7	1675.6	1992~2020
恆春	21.8	23.2	16.0	35.2	146.6	350.7	391.3	533.4	320.3	125.3	58.3	29.0	2051.1	1991~2020
成功	67.3	70.1	70.1	88.3	159.8	170.8	245.5	342.2	329.3	283.1	153.3	87.2	2067	1991~2020

圖二：台灣各地區年平均降水量（單位：毫米）（交通部中央氣象局，2021）

貳、研究目的

一、以文獻探討的方式分析不同工法的特色、優缺點，進而找出最適合本裝置的設計。

- (一) JW 生態工法
- (二) 道路預鑄工法
- (三) 海綿道路設計

二、進行可行性實驗來檢驗現有工法的功能，確認哪些具有實質意義，以作為本裝置設計的依據。

- (一) 調節溫度實驗
- (二) 透水實驗
- (三) 儲水實驗
- (四) 麥飯石、活性碳綿的水質淨化效果實驗
- (五) 減低空氣污染的驗證實驗
- (六) 積木模擬與 3D 建模實驗

三、我們希望設計出一種模組化、多層別的道路裝置，可達到調節溫度、透水與儲水、容易裝設與降低空氣汙染等功能：

（一）調節溫度：在炎熱的夏季，我們能夠利用煙囪效應、直接灑水、毛細現象降低路面的溫度；乾燥的冬季我們則可以讓儲水層的水蒸發，增加空氣的濕度。另外，我們也希望能夠找到有效的降溫方式。

（二）透水與儲水：本裝置有類似海綿公路可透水的特性來回補地下水，並且將多餘的雨水儲存在碎石層中；另外，颱風過境時也可以減少路面上積水的問題，以解決淹水的困擾。

（三）容易裝設：本裝置能跟積木一樣容易拼裝、移動與更換，這樣就能事先在工廠生產，到了實地只需要進行組裝和管線放置即可；如果裝置內管線出現問題需要進行修繕時，也能輕鬆拆裝，降低開挖道路的頻率，同時減輕環境汙染。

（四）降低空氣汙染：空氣汙染嚴重是現在地球的一大危機，牽涉到的不只是健康的問題而已，還有氣候、水資源、能源、糧食等諸多延伸性問題，對我們的生活都有很大的影響。因此，我們希望能夠藉由本裝置來降低空氣汙染，讓原本灰色的霧霾消失，使大家都可以呼吸到新鮮的空氣。

參、研究設備及器材

一、管徑粗細、棉線的有無（探討毛細現象）對水分蒸發的影響比較實驗

（一）耗材－粗吸管、細吸管、試管、寶特瓶、棉線、Parafilm 封口膜、鋁箔紙、水

（二）工具－金屬試管架、塑膠試管架、量筒、量杯、直尺、剪刀、黑色簽字筆、電子秤、熱熔膠槍、熱熔膠條

二、煙囪效應、毛細現象、透水瀝青的水分蒸發比較實驗

（一）耗材－寶特瓶、滴管、粗吸管、棉線、珍珠板、水、透水瀝青、網子

（二）工具－剪刀、電子秤、手套、原子筆、尺、熱熔膠槍、熱熔膠條

三、砂石儲水量比較實驗

（一）耗材－天然砂、人造砂、河卵石、麥飯石、水

（二）工具－250mL 燒杯、電子秤

四、砂石透水速率比較實驗

（一）耗材－寶特瓶、天然砂、人造砂、河卵石、麥飯石、水、毛巾、口罩、橡皮筋、膠帶、乾泥砂

（二）工具－碼表、剪刀、燒杯、鐵架

五、麥飯石、活性碳綿的水質淨化效果實驗

(一) 耗材－寶特瓶、麥飯石、活性碳綿、飲水、自來水、口罩、橡皮筋、乾泥砂

(二) 工具－燒杯、剪刀、鐵架、TDS 檢測筆、鐵架

六、水的蒸發對空氣淨化效果影響實驗

(一) 耗材－線香、魔術黏土、水

(二) 工具－燒杯、PM2.5 偵測器（攀藤科技雷射型粉塵偵測器）、塑膠容器、抽風排煙櫃、打火機、尺

七、積木模型製作及負重模擬實驗

(一) 耗材－智高積木、水管、防水布

(二) 工具－槌子、手套

八、3D 列印模型製作及接縫研究

(一) 耗材－智高積木、PLA 材料

(二) 工具－3D 列印機



實驗器材總覽 1



實驗器材總覽 2

肆、研究過程

透過腦力激盪法，我們將查詢到的資料繪製成了心智圖（圖五）和魚骨圖（圖四、六與七），以便深入的探討缺水、淹水的原因和解決方法，並且找出最適合的解決方式。由文獻搜尋我們發現 JW 生態工法是一種可儲水、可透水的路面鋪設方式，不僅可以緩解熱島效應，甚至還能夠成為枯水期重要的水資源，所以我們開始進行 JW 工法的相關研究。

一、台灣 JW 工法的文獻探討：

（一）目的

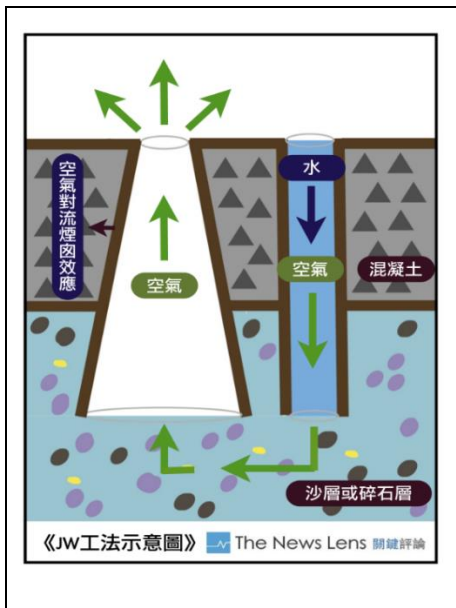
透過專利與文獻探討對 JW 工法進行分析，了解其特色、優缺點、應用與目前存在的威脅。最後對 JW 工法提出改良建議，保存其優點，修正缺點，並應用於我們模組化海綿道路的設計上。

（二）JW 工法介紹

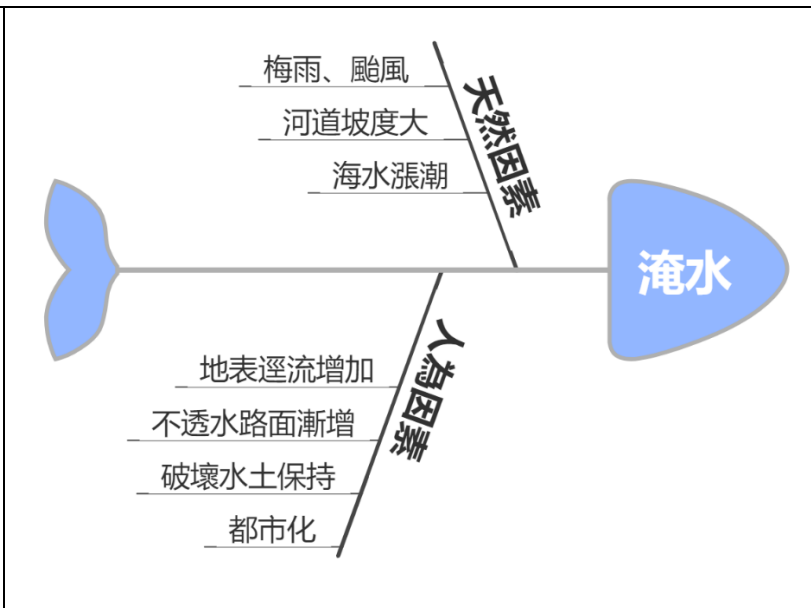
JW 工法由國人陳瑞文先生提出，「JW」為陳瑞文先生英文名字的縮寫，其最大的特色為可排水（降溫）和儲水，甚至能夠淨化空氣、緩解淹水以及熱島效應，協助降低環境溫度並加強路面透水能力。其主要材料為回收塑膠，屬於可重複再利用的資源，提倡環境及生態保護，是相對環保的一種鋪面。目前已應用於台北科技大學、台北市中山北路前段、汐止禮門社區等地，也擴展至全球各地。JW 工法的內部由保水層、導水管、碎石層、生態球組成（圖三），保水層以及導水管將水導入，由碎石層進行過濾、生態球進行蓄水，以便缺水時使用。經過碎石層過濾的水資源可由導水管蒸發，降低路面上的溫度以緩解熱島效應。

（三）優點分析

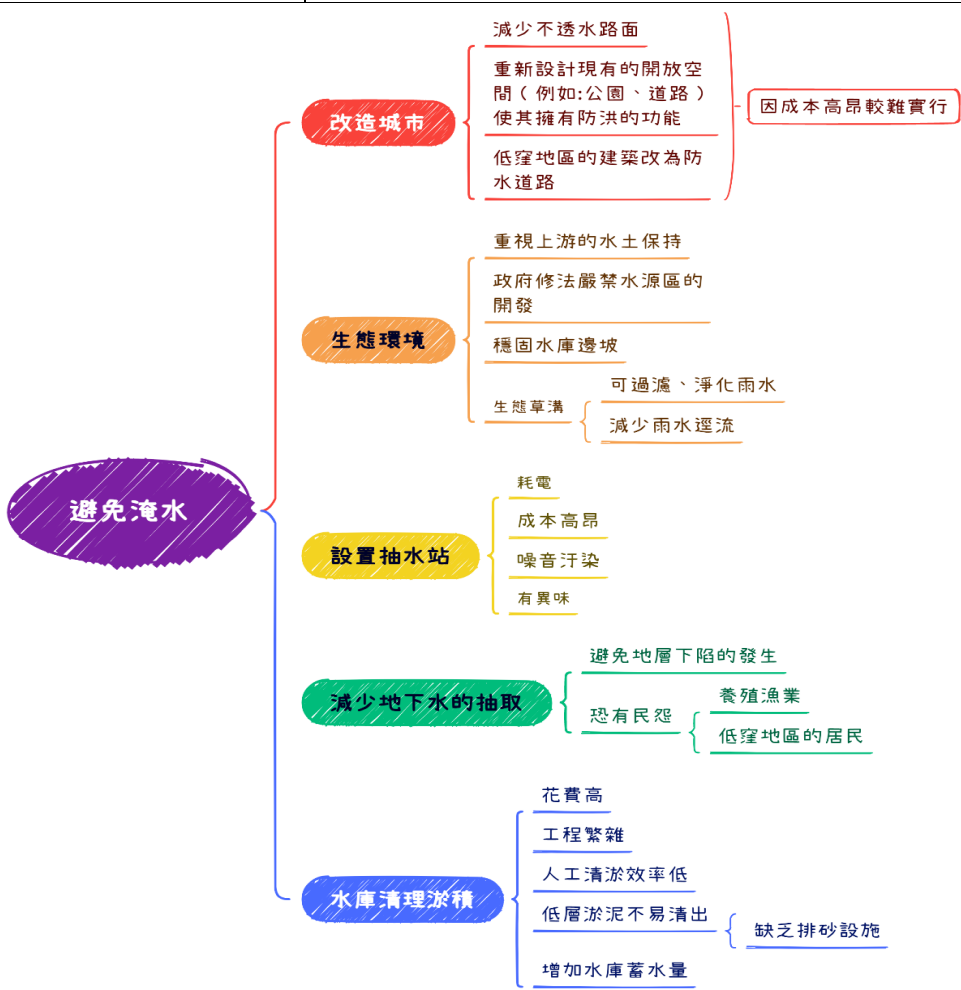
1. 淨化空氣：JW 工法可以將對人體有害的廢棄吸入地底，藉由其循環系統清淨空氣，就如同空氣淨化機。在 20 分鐘內，JW 工法可以吸收 50%以上車輛所排出的汙染物還有 70%至 90%的二氧化碳（賴麗如，2019）。
2. 可以透水、儲水：目前的平原地形並沒有足夠的滯洪區域，所以我們應該要廣設可以儲存雨水的空間（The News Lens 關鍵評論網，2013），一般的柏油路面因為幾乎沒有透水的功能，所以每當颱風來襲，總是可以看到路面上流著黃色的泥沙水，但是，JW 工法能夠透過導水管把水導至鋪面下方，碎石層以及保水球可以將水保存在地下，增加蓄水空間，更有數據顯示，可透水的鋪面每一小時就可以透入一萬兩千毫米的水；而保水度能夠達到 83%，可以確實解決台灣枯水時期缺乏水資源的問題。



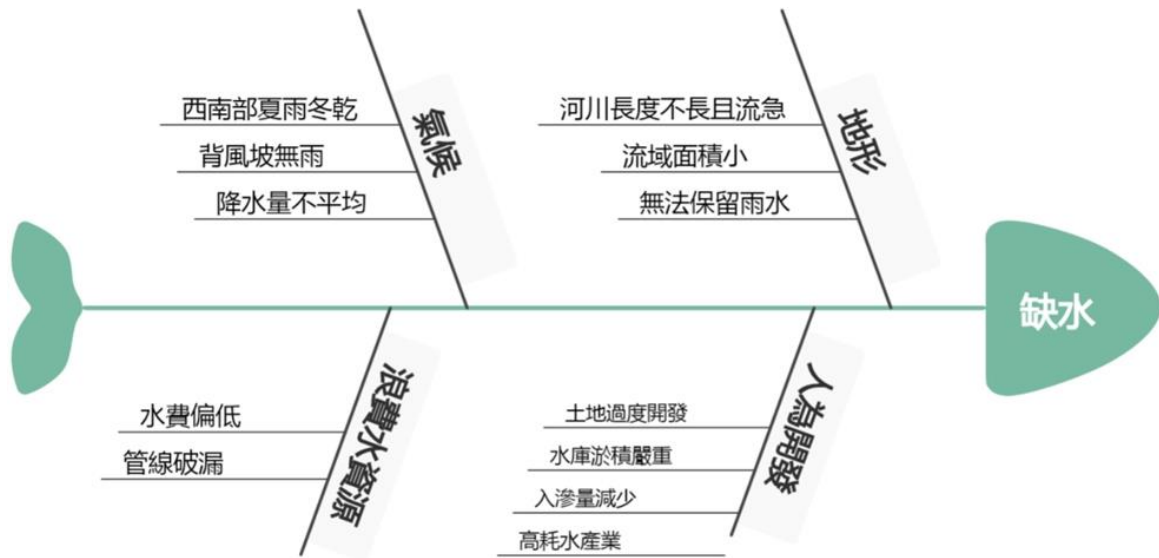
圖三：JW 工法示意圖
 (The News Lens 關鍵評論網，
 2013)



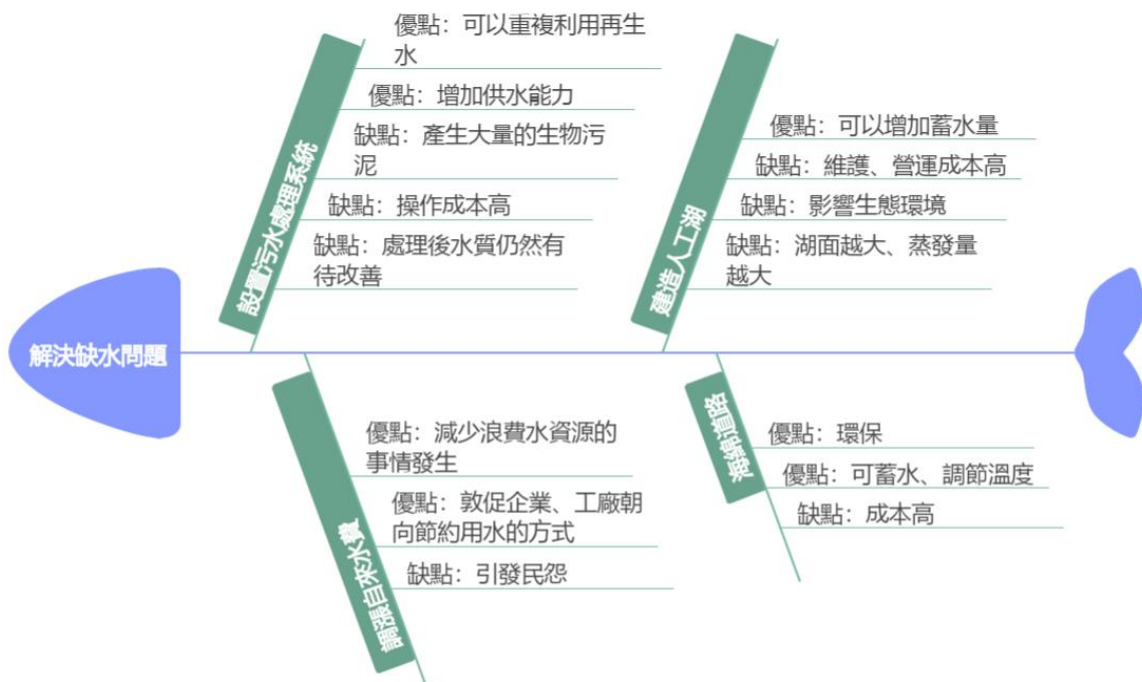
圖四：魚骨圖向右 (探討淹水原因)



圖五：心智圖 (探討淹水的解決辦法)



圖六：魚骨圖向右（探討缺水的原因）



圖七：魚骨圖向左（探討如何解決缺水問題）

3. 調節溫度：由於現在地球暖化非常嚴重，導致平均溫度升高了許多，也讓用電量大增，造成惡性循環（圖八）；都市的熱島效應問題也是現存的危機之一，從 1991 年到 2020 年之間台灣平均每十年就上升了 0.29°C，非常嚴重（交通部中央氣象局），而 JW 工法能夠藉由煙囪效應—鋪面下的排水管將儲水層的水蒸發至路面上來降低溫度，可以減緩熱島效應，並且減少碳排放量，有數據顯示，JW 工法的鋪面可以比一般的柏油路面低 21°C（今周刊，2015）；而且如果全臺北市區的路面皆採用 JW 工法，氣溫就能夠降低 3°C 效果顯著。



圖八：2021 年創下、追平高溫紀錄的國家（許芷榕，2022）

4. 減少髒亂：在目前柏油道路的兩側，皆設有排水溝，以便將雨水導至地下，可是我們常常在經過排水溝旁時，聞到一股異味，而排水溝內也常有老鼠、蟑螂等容易引發傳染病的生物，不過 JW 工法因為鋪面上有孔洞，所以不需要設置排水溝，因此可以減少城市髒亂以及改善衛生的情況，讓我們居住的環境變得更好。

（四）缺點分析

1. 凹凸不平的鋪面：雖然 JW 工法具備能夠淨化空氣的強大功能，但是由於需要讓空氣對流的孔洞（圖九），因此鋪面上會有許多小孔，凹凸不平的，讓汽、機車難以行駛，導致 JW 工法只能夠使用於人行道、公園或只供人行走的區域上，無法廣泛的應用。
2. 材料、工程費昂貴：JW 生態工法每平方公尺的鋪設成本是 3600 元，大於柏油路面的價格 848 元，價格更為高昂（INSIDE，2017），因此 JW 生態工法較難

應用於市面上。

3. 長期使用導水管容易堵塞：使用 JW 生態工法的路面，內部的導水管會隨著時間的增加而被泥沙、樹葉堵塞，導致無法正常地進行排水、對流等功能，以至於需要進行清理或更換。若 JW 生態工法取代了目前的柏油路面，未來可能會需要定期清理、更換。
4. 鋪面的摩擦力較差。
5. 結構複雜，維修不易。



圖九：JW 工法路面上的孔洞（自由時報，2019）

（五）應用及現存危機分析

1. 應用

- （1）人行道：因為 JW 生態工法路面上有許多孔洞與凹槽，所以較不適合讓汽、機車或自行車通行，無法應用於一般馬路上，主要是應用在公園或是人行道上。
- （2）枯水時期水的重要來源之一：此工法內儲水層可以在台灣梅雨季或是颱風來時，儲存多餘的水，並且在枯水期時作為供水來源，避免缺水的情況發生。
- （3）改善柏油路面的凹凸不平：現在台灣的路面常常有高低起伏，凹凸不平的路面造成大家生活的不便，JW 生態工法可以取代部分的柏油路，藉此提高用路的安全性。

2. 目前存在的威脅

- （1）若全數更換將費時費力，且費用高昂：如果台灣把目前所有的柏油路全數換成 JW 生態工法路面，將會面臨到許多問題；由於鋪設成本高而且施工過程繁瑣，所以考量到金額以及時間的問題將難以實行。

(2) 施工複雜（需要培育專業鋪設人員、鋪設時間久）：鋪設方式與柏油路面有著極大的差異，鋪設人員須經過培育；鋪設的時間與難度也比柏油路還要更長、更複雜。

(六) 實例—台南市麻豆區私立天主教黎明中學

位於台南市的黎明中學於 2014 年 12 月，在整修舊校園時引進了 JW 態工法，是台灣第一座沒有水溝的校園，也是亞洲第一個採用此生態工法鋪設地面的建築物（莊曜聰，2016）。

(七) SWOT 分析圖

最後我們利用 SWOT 分析圖（圖十）來分析 JW 工法的優點、缺點、應用、和威脅，來幫助我們更清楚的了解 JW 工法。

(八) 總結

我們結束 JW 工法的文獻探討後，發現它雖然可以透水、儲水，但是仍然有許多的問題等待解決，因此，我們希望在分析 JW 工法的優劣後，能夠對其進行改良，保留優點、減少缺點並應用於我們的設計當中。



圖十：JW 生態工法 SWOT 分析圖

二、道路預鑄文獻探討：

(一) 道路預鑄工法是指先在工廠內用系統化的方式生產出結構構件，再運送至施工現場吊裝，最後澆築混凝土接合的一種施工方式（戴雲發，2020）。可以把工地的工作分散至工廠，降低人力的需求，而且由於在工地施工時，常需要考量到當天的天氣，預鑄

工法則因為施工地點大部分是在工廠內，因此不太需要進行考量，可以減少施工時間（劉青峰，2022），不過因為預鑄工法的成本仍較傳統工法高於大約百分之 10 到 15（何昔珊，2022），所以也是現在無法普及的主要原因。

（二）SWOT 分析圖：（圖十一）



圖十一：道路預鑄工法 SWOT 分析圖

三、各國海綿道路的文獻探討：

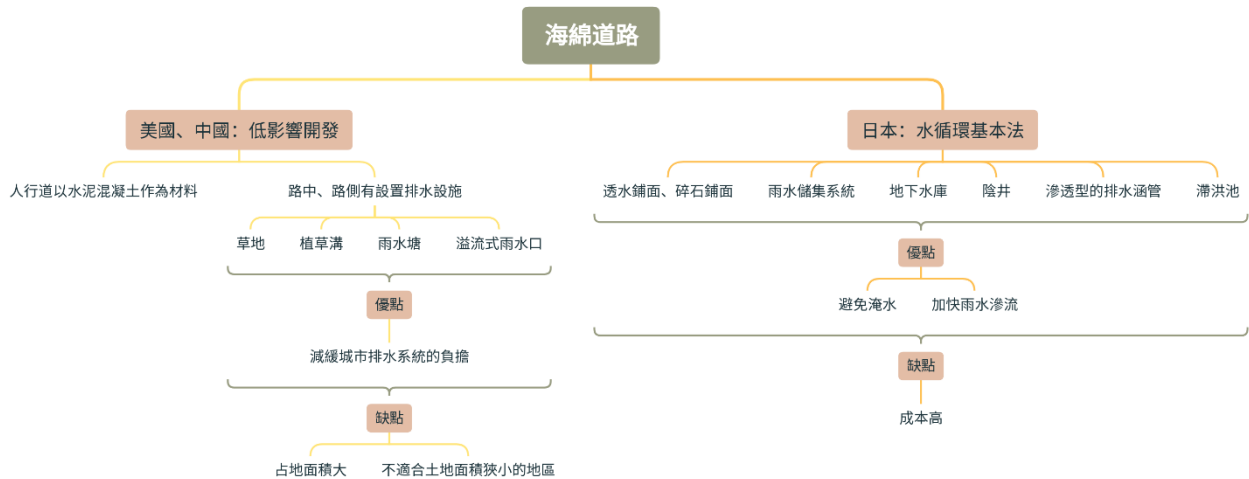
（一）美國為了避免因為暴雨而造成的災害和影響，開始設置低影響開發的設施，在馬路的中間及兩側設置草地、植草溝、雨水塘、植生滯留槽、自然排水系統、透水性鋪面等，並設置綠色屋頂在建築物上（台中市政府水利局，2022），從而減輕城市排水系統的負擔；但是若要維護各項設施，將需要投入大量的金錢，且各設施的生產需要技術水平較高的人才，縱使能夠解決上述問題，海綿道路的設置也需要考量地形、氣候等條件，像是有些地區就會因為土地面積狹小而無法設置，所以要也要思考到該地區的適用範圍，才能夠設置。總之，美國的海綿道路雖然能夠藉由蓄水設施讓雨水積存、滲透，卻有許多限制和阻礙。

（二）常常受到颱風輕擾的日本制定了水循環基本法，並且應用了海綿道路的六大策略：滲、滯、蓄、淨、用、排，廣泛設置排水設施，像是雨水儲集系統、地下水庫、陰井、滲透型的排水涵管、滯洪池，藉此來加快雨水逕流，但是成本高昂，且如同美國的海綿道路，需要技術水準較高的人才來生產各種設施（黃恩浩，2019）。

(三) 總結

美國、日本的海綿公路雖然確實是能夠減緩暴雨所帶來的災害，降低排水系統的壓力，但是在人力、適用地區、生產（維護）成本等各方面都是一大問題，需要慎重的考量與規劃，才可以進行設置。

(四) 各國的海綿道路心智圖（圖十二）



圖十二：各國海綿道路心智圖

伍、研究結果與討論

一、管徑粗細、棉線的有無（探討毛細現象）對水分蒸發的影響比較實驗

(一) 實驗目的

比較管徑粗細和毛細現象對於降低溫度的效果是否有影響

(二) 實驗過程（分為試管組與寶特瓶組）

1. 用鋁箔紙將試管包起來，並在每個試管中裝等量的水
2. 將三支試管以 Parafilm 封口
3. 將粗、細棉線放入吸管
4. 將吸管放入試管中，並在吸管下方留 2cm 的棉線，剪掉多餘的部分（用黑色簽字筆畫記剪裁處），再以熱熔膠固定棉線
5. 以膠帶和 Parafilm 將吸管固定於試管上
6. 測量各試管的重量
7. 將試管全部放置於試管架上
8. 將實驗裝置放置於陽光充足處

9. 每九個小時以電子秤測量一次每支試管的重量並記錄

10. 將試管改為寶特瓶重複上述步驟

(三) 實驗組、對照組

	名稱	吸管		棉線	
		粗	細	粗	細
實驗組	細吸粗棉	-	✓	✓	-
	細吸細棉			-	✓
	細吸無棉			-	-
	粗吸粗棉	✓	-	✓	-
	粗吸細棉			-	✓
	粗吸無棉			-	-
對照組	無吸無棉	-	-	-	-



試管組與寶特瓶組實驗裝置圖一

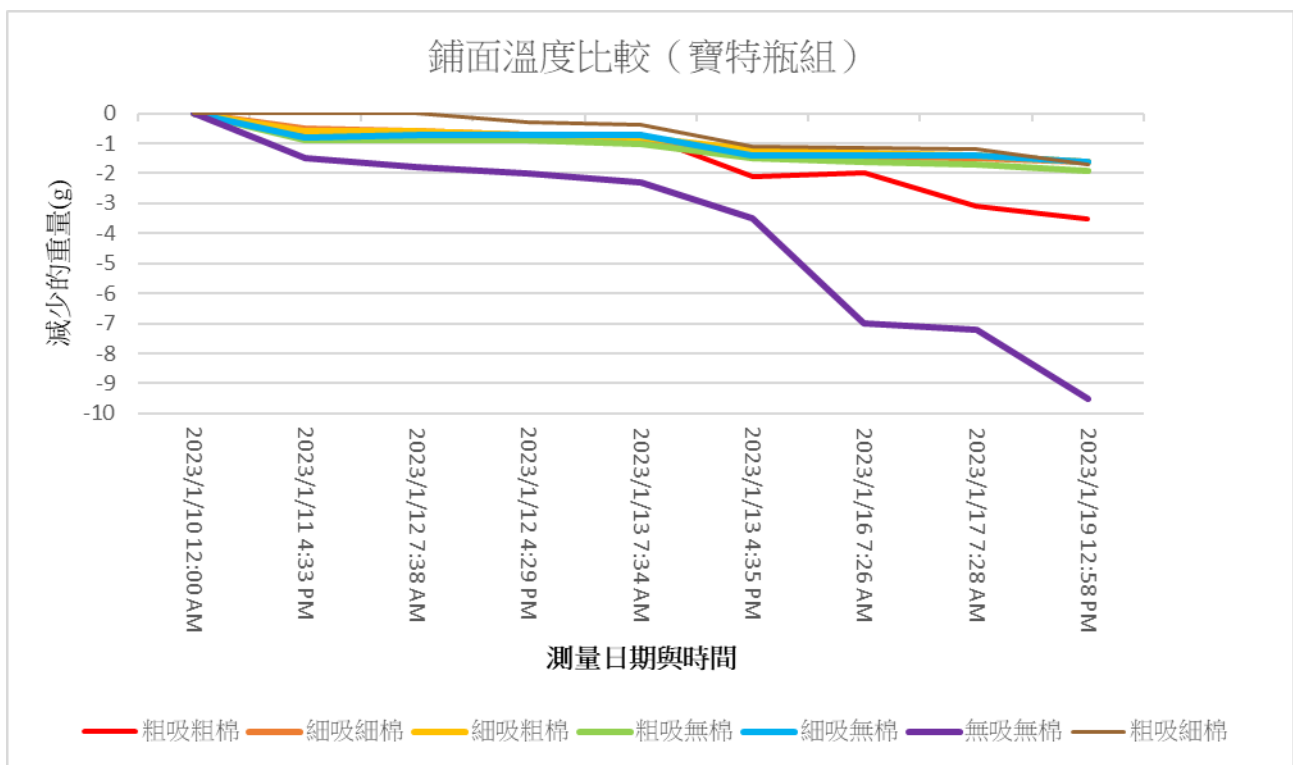
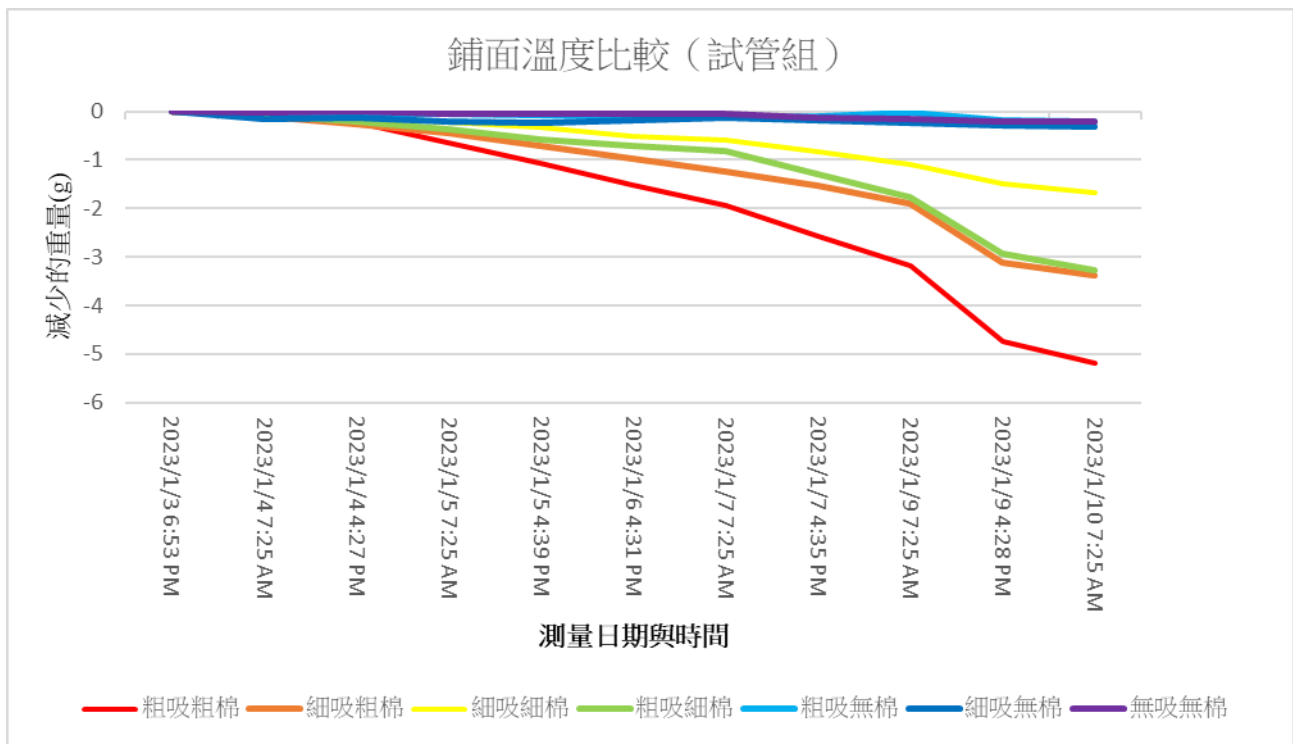


試管組與寶特瓶組實驗裝置圖二

(四) 實驗結果

1. 由下圖（以實驗裝置較大的寶特瓶組為準）可知，水分蒸發效果排序由明顯至較差如下所列：

- (1) 粗吸管、粗棉線
- (2) 細吸管、粗棉線
- (3) 粗吸管、細棉線
- (4) 細吸管、細棉線
- (5) 其餘差異不顯著



(五) 討論

1. 配置粗吸管和粗棉線的試管及寶特瓶的水分蒸發效果最明顯，我們認為原因是粗吸管的管徑較細吸管大，粗棉線的毛細現象效果也較細棉線顯著
2. 配置粗棉線的試管及寶特瓶的水分蒸發效果都較好，配置細棉線者次之，無棉線者較差。由於粗棉線的毛細現象效果應最佳，我們由本實驗發現毛細現象的水分蒸發效果比單純的空管要來得好

二、煙囪效應、毛細現象、透水瀝青的水分蒸發比較實驗

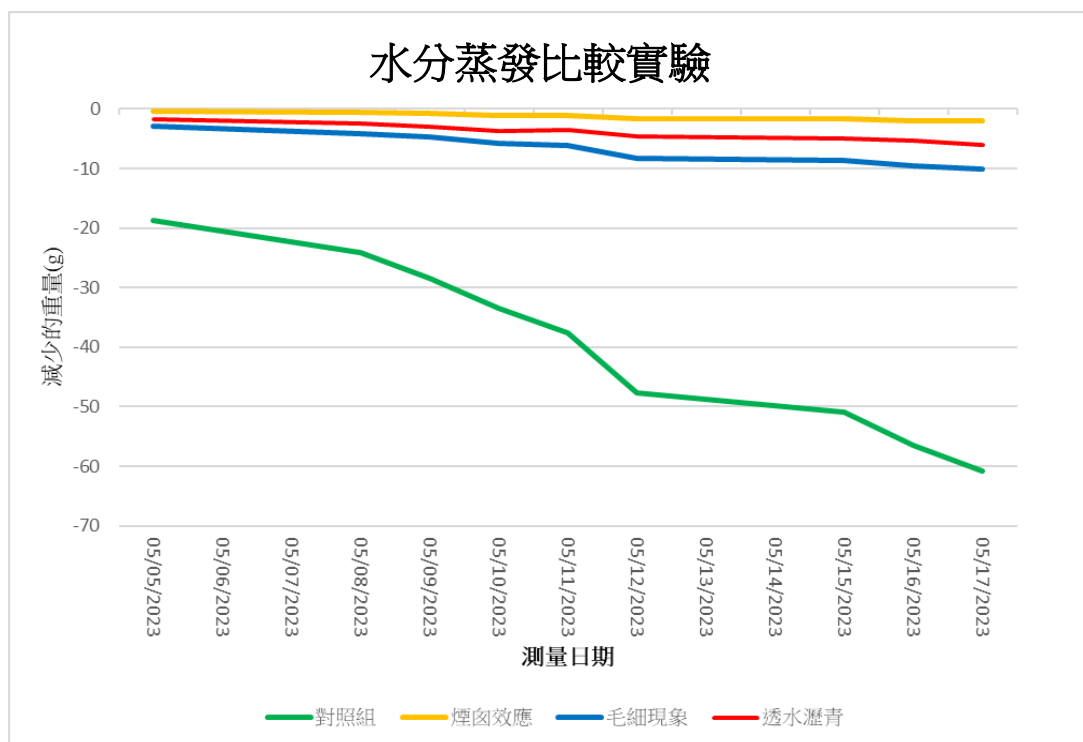
(一) 實驗目的

比較煙囪效應、毛細現象、透水瀝青對於路面調節溫度的效果比較

(二) 實驗過程

1. 以寶特瓶及熱熔膠製作三個高圓筒、一個矮圓筒及一個圓柱，並在每個圓筒中裝入等量的水
2. 將滴管切割並以熱熔膠黏上一根粗吸管
3. 以珍珠板切出兩塊的圓形，一塊插上兩根塞有棉線的粗吸管，另一塊插上一根空的粗吸管及加工過的滴管，並使用熱熔膠分別黏到兩個高圓筒上
4. 將網子套在圓柱的底部，再將圓柱塞滿瀝青並壓緊
5. 將圓柱以膠帶固定於矮圓筒上
6. 測量各組的重量
7. 將實驗裝置放置於陽光充足處
8. 每天以電子秤測量一次每個裝置的重量並記錄

(三) 實驗結果



由上圖可知，水分蒸發效果（排序由明顯至較差）為：

毛細現象 > 透水瀝青 > 煙囪效應

(四) 討論

1. 雖然毛細現象的水分蒸發效果最明顯，但是若採用毛細現象就要在路面下架設導水管系統，多一道複雜的工序會增加成本，並且也影響路面平整度
2. 若要降低成本可以採用透水效果僅次於毛細現象的透水瀝青作為鋪面

三、砂石儲水量比較實驗

(一) 實驗目的

比較不同砂石的儲水量何者較多

(二) 實驗過程

1. 將每種實驗中會使用的砂石分別倒入燒杯中，直到砂石達到燒杯的 200mL 刻度
2. 以電子秤測量裝有砂石的燒杯重量
3. 將水分別倒入裝有砂石的燒杯中，直到水面達到燒杯 200mL 刻度
4. 以電子秤測量裝有砂石和水的燒杯的重量
5. 計算兩個數據之間的差距（差距越大者，儲水量越大）

(三) 實驗結果

	原重量	加水後	水的重量 (加水後－原重量)	水的比例 〔(加水後－原重量) ÷加水後〕
麥飯石	360.8g	463.9g	103.1g	22.22%
河卵石	396.3g	482.4g	86.1g	17.84%
天然砂	380.9g	471.5g	90.6g	19.21%
人造砂	510.9g	604.4g	93.5g	15.57%

(百分比四捨五入至小數點後第二位)

(四) 討論

由實驗結果推論，儲水量的多寡與砂石的粒徑大小和形狀有關，能創造出較多縫隙的砂石便能產生較多的儲水量

四、砂石透水速率比較實驗

(一) 實驗目的

比較不同砂石的透水速率是否有顯著差異

(二) 實驗過程

1. 第一次（失敗）

- (1) 將已清洗的寶特瓶切割成無底也無蓋的圓柱
- (2) 將毛巾沾水，以避免毛巾吸取大量的水而影響實驗結果
- (3) 組裝實驗裝置（砂石的厚度為 10cm）
- (4) 將過量水從實驗裝置上方倒入，並使用碼表開始計時
- (5) 當實驗裝置下方燒杯中的水位達到 200mL 的刻度時，停止計時
- (6) 在倒水時，水沿著濕毛巾流至實驗桌上（水沒有流進燒杯內），導致實驗失敗

2. 第二次（改良）

- (1) 將一片口罩內層套在寶特瓶割成的圓柱下方（將濕毛巾以口罩內層代替），以橡皮筋及膠帶固定
- (2) 組裝實驗裝置（砂石的厚度為 10cm）
- (3) 將過量水從實驗裝置上方倒入，並使用碼表開始計時
- (4) 當實驗裝置下方燒杯中的水位達到 200mL 的刻度時，停止計時
- (5) 紀錄碼表上的時間
- (6) 重複上述步驟做 3 重複，然後將清水改為泥水後（1g 砂土：25mL 水）一樣做 3 重複，每次重複之間要清洗砂石。

（三）實驗結果（平均值四捨五入至小數點後第一位）

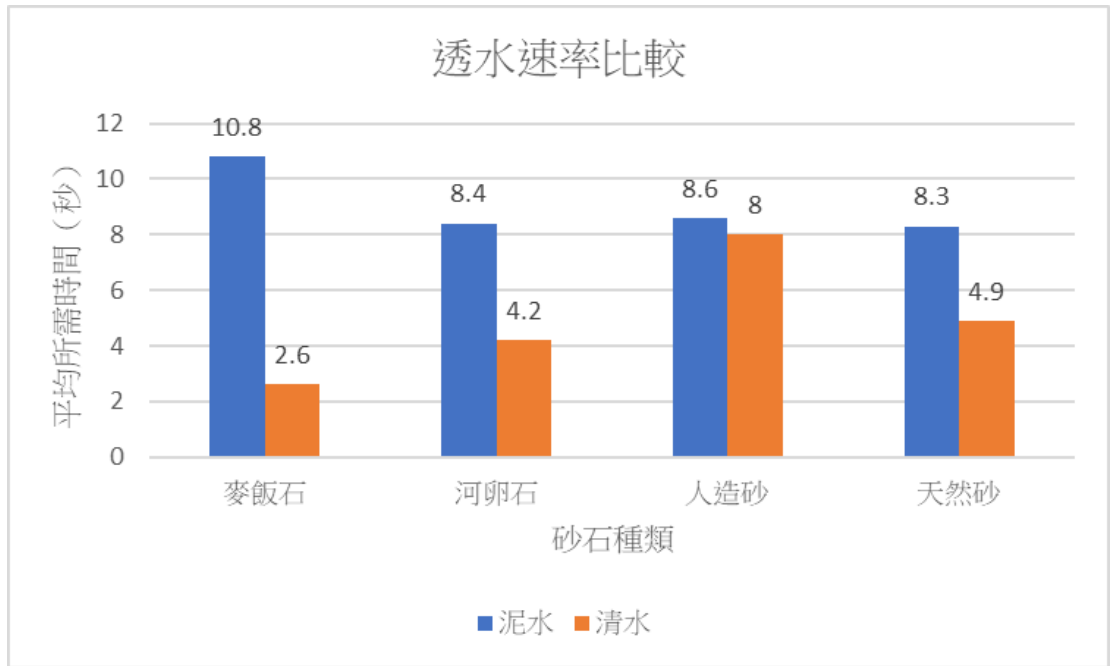
1. 清水組

	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)
麥飯石	2.8	2.4	2.5	2.6
河卵石	4.3	4.2	4.0	4.2
人造砂	8.0	7.9	8.2	8.0
天然砂	4.7	5.0	4.9	4.9

2. 泥水組

	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)
麥飯石	11.1	11.0	10.4	10.8
河卵石	8.9	7.2	9.0	8.4
人造砂	9.3	9.3	7.3	8.6
天然砂	8.4	7.6	9.0	8.3

3. 圖表如下所示



(四) 討論

1. 清水組

粒徑大的石頭（麥飯石和河卵石），其透水速率較粒徑小的砂（天然砂和人造砂）快

2. 泥水組

(1) 此實驗模擬完全混濁的泥水，水中的泥砂應比正常路面情況還多

(2) 麥飯石的透水所需時間較長，推測原因是孔隙較多，有較多的泥砂卡在孔隙之中，但也間接證明其具有過濾泥砂的效果

五、麥飯石、活性碳的水質淨化效果實驗

(一) 實驗目的

實驗麥飯石和活性碳綿是否具有淨化水質的效果

(二) 實驗過程

1. 以 TDS 檢測筆測量飲用水、自來水及泥水（1g 砂土：25mL 水）的水質數據並記錄
2. 將已清洗的寶特瓶切割成無底也無蓋的圓柱體以及漏斗形
3. 將一片口罩內層套在寶特瓶割成的圓柱下方，以橡皮筋及膠帶固定
4. 將透水海綿放入寶特瓶割成的漏斗
5. 組裝實驗裝置（圖十三）

6. 將泥水從實驗裝置上方倒入
7. 以 TDS 檢測筆測量燒杯中各種水的水質數據並記錄
8. 重複上述步驟，每種組合都做 3 重複

(三) 實驗結果

1. 實驗數據

	過濾方式	第一次	第二次	第三次	平均
飲用水	無	3	3	2	2.6
自來水	無	131	129	128	129.3
泥水	無	167	164	165	165.3
泥水	麥飯石	152	150	150	150.6
泥水	活性碳綿+麥飯石	172	173	170	171.6

(單位：mg/L) (平均值四捨五入至小數點後第一位)

(四) 討論

1. 根據檢測值可知，泥水經麥飯石過濾後溶解在水中的總固體量下降了，代表水質有經過初步的淨化；但經麥飯石和活性碳綿雙重過濾後，TDS 值卻增加了，推測是活性碳綿中有一些可溶解於水中的溶質造成數據升高
2. 經過麥飯石過濾的泥水減少了大約 41%由溶入砂土所產生的 TDS 數值 (算式：
$$\left[(\text{泥水} - \text{自來水}) - (\text{經麥飯石過濾的泥水} - \text{自來水}) \right] \div (\text{泥水} - \text{自來水})$$
)



圖十三：麥飯石、活性碳綿的水質淨化效果實驗裝置圖





六、水的蒸發對空氣淨化效果影響實驗

(一) 實驗目的

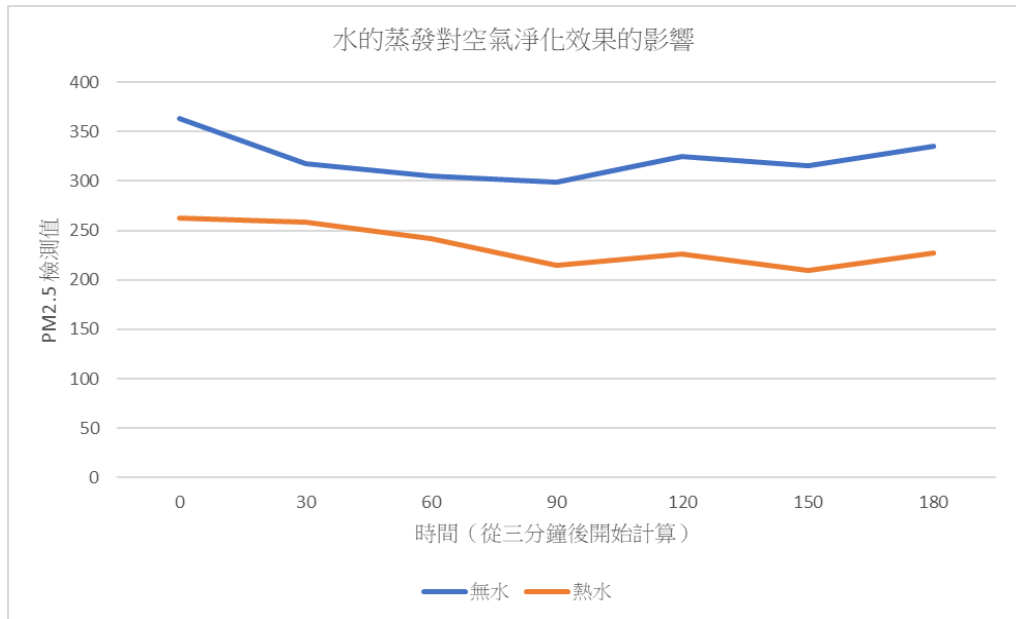
模擬路面高溫時，水的蒸發對空氣淨化的影響

(二) 實驗過程

1. 第一次（失敗）
 - (3) 測量當日的細懸浮微粒的濃度：34ppm
 - (4) 將 300mL、60°C 的熱水、PM2.5 偵測器、線香（以魔術黏土固定）置於 11880cm³的密閉容器中，並靜置 3 分鐘
 - (5) 測量經過 3 分鐘容器內的細懸浮微粒濃度之後，發現其濃度一直跳動，從 151 至 872ppm 都有
 - (6) 推測是因為空間過小，導致檢測結果一直跳動，因此實驗失敗
2. 第二次（改良）—對照組（無水狀態）
 - (1) 將線香（以魔術黏土固定）、PM2.5 偵測器置於抽風排煙櫃的密閉容器當中，並靜置 3 分鐘
 - (2) 測量 3 分鐘後容器內的細懸浮微粒濃度並記錄（每 30 秒測一次）
3. 第二次（改良）—實驗組
 - (1) 將線香（以魔術黏土固定）、PM2.5 偵測器，以及 300mL、60°C 的熱水置於抽風排煙櫃的密閉容器當中，並靜置 3 分鐘
 - (2) 測量 3 分鐘後容器內的細懸浮微粒濃度並記錄（每 30 秒測一次）

	
<p>抽風排煙櫃（體積 840000cm³）</p>	<p>11880cm³的實驗裝置</p>
	
<p>抽風排煙櫃內的實驗裝置（實驗組）</p>	<p>抽風排煙櫃內的實驗裝置（對照組）</p>

(三) 實驗結果



(四) 討論

1. 由實驗結果可知，實驗組的 PM2.5 檢測值均低於對照組
2. 由本實驗可推測，高溫的路面上若有水的蒸發能夠淨化空氣

七、積木模型製作及負重模擬實驗

(一) 模型製作目的

1. 模擬模組化海綿千層的結構
2. 測試其負重強度

(二) 各層簡介



模組化多層別道路預鑄法各層功能介紹圖

(三) 模型組裝流程

1. 組裝底板

(1) 將 4 塊大底板用 2x2 的排列方式以連結件連接在一起，重複做出四塊底板

(2) 組裝各層

2. 儲水層

(1) 將 15 孔超長條和 11 孔長條以連結件組裝成桁架

(2) 將桁架組裝至一塊底板的四個邊上

3. 碎石層

(1) 將 5x5 孔正方框沿著底板的邊緣組裝至一塊底板上

(2) 在每塊正方框的上方裝上連結件

4. 管道間

(1) 將 5x5 孔正方框沿著底板的邊緣組裝至一塊底板上

(2) 在每塊正方框上裝上連結件

(3) 將水管包上防水布

(4) 將水管放入管道間

5. 透水路面

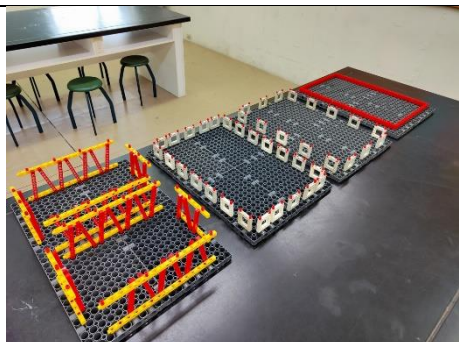
(1) 將 11 孔長條沿著底板的邊緣組裝至一塊底板上

(2) 在每塊 11 孔長條上再裝上一塊 11 孔長條（以連結件結合）

(3) 倒入瀝青並大力壓平

6. 將各層組裝在一起

(1) 將各層疊在一起（由下至上為儲水層、碎石層、管道間、透水路面）並上下對齊，然後壓緊



模組化多層別道路預鑄法完成圖一



模組化多層別道路預鑄法完成圖二

(四) 負重測試

1. 理論計算

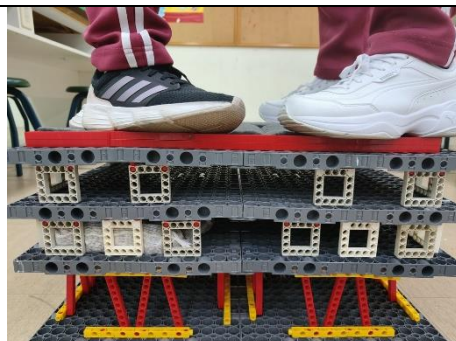
- (1) 一般而言，小型車的車重為 1.0 到 1.5 公噸以下；中型車為 1.5 到 2.0 公噸；大型車為超過 2.0 公噸
- (2) 車輛的車長與車寬因車種、車款而略有不同，而我們以一些常見車種的車長與車寬範圍作為標準。小型車的車長通常介於 3.5m 到 4.5m 之間，車寬介於 1.5m 到 1.8m 之間；中型車的車長通常介於 4.5m 到 5.5m 之間，車寬介於 1.7m 到 1.9m 之間；大型車的車長通常介於 5.5m 到 6.5m 之間，車寬介於 1.9m 到 2.2m 之間
- (3) 為了計算各種車輛的最大壓力值，我們採用最大的車重（大型車以常見的 3.5 公噸貨車為標準），搭配最小的車長與車寬，以算出最大的壓力值，以小型車 $1500/52500=0.0286 \text{ kgw/cm}^2$ ；中型車 $2000/76500=0.0261 \text{ kgw/cm}^2$ ；大型車 $3500/104500=0.0335 \text{ kgw/cm}^2$ 為標準
- (4) 由以上結果可知，大型車的單位面積負重量是最大的，達到每平方公分受力 0.0335kgw
- (5) 以我們完成的模型來做負重測試，模型的底面積為 $60\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，若要達到符合大型車的壓力標準值，則模型上必須承載約 80.4kgw
- (6) 本實驗僅能表示在一台車輛覆蓋面積下的平均負重，並沒有包括一台車子的重量集中在四個輪子時，輪子對地面造成的壓力值

2. 實測結果

我們請兩位同學站上本模型，兩位學生的重量合計已達 90kgw ，模型卻並未因此變形或受損



模型負重測試圖一



模型負重測試圖二

(五) 討論

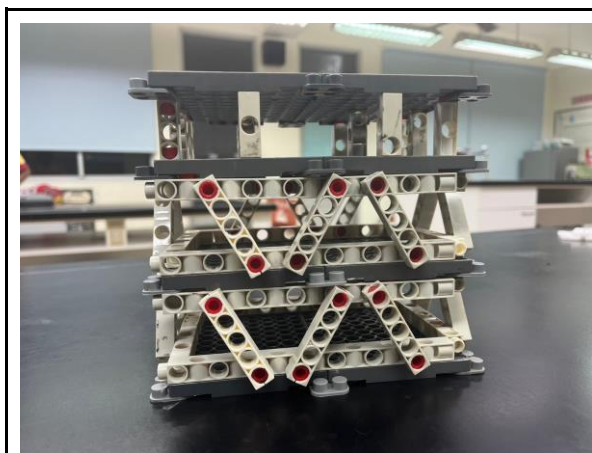
從實驗結果可知本模型的載重已達 90kgw 以上，符合大型車輛可承受的壓力值。但由於結構工程牽涉到許多複雜的問題，故負重實驗僅是最初步的耐重測試。

八、3D 列印模型製作及接縫研究

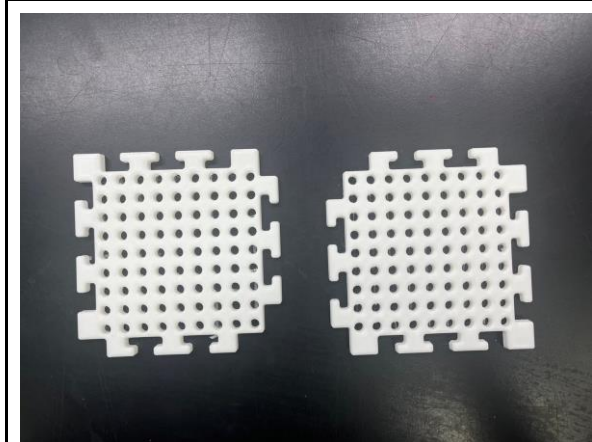
(一) 模型製作目的

1. 協助我們了解模組化多層別道路預鑄法的鋪設流程
2. 模組與模組間相接的結構（即接縫處）研究

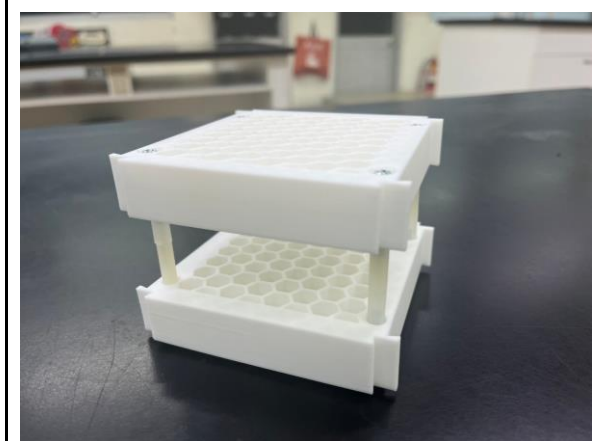
(二) 模型介紹



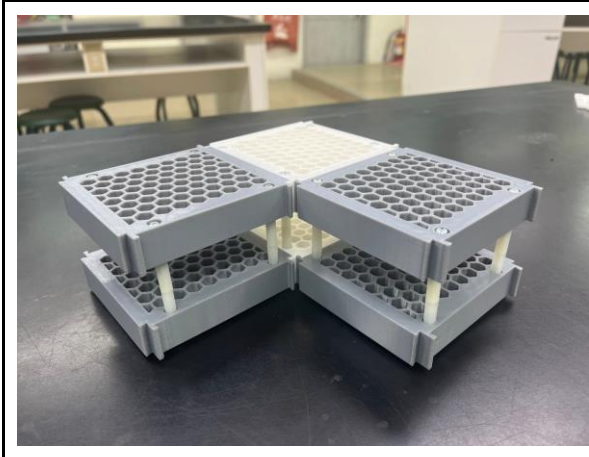
為了研究模組化海綿千層接合的結構，我們首先利用智高積木製作小模型。但受限於積木零件的特性，無法有效呈現接縫處的細節。



我們改採 3D 列印方式繼續研究。原先採用了類似巧拼的設計來連接不同模組，但是這樣的設計連單層都不易組裝，更何況是多層。



接著我們減少接縫處的複雜度，列印出新的模型。上下兩層分別代表第一層（透水鋪面）與第二層（管道間）。這個新式設計在接縫處接合上非常滑順。

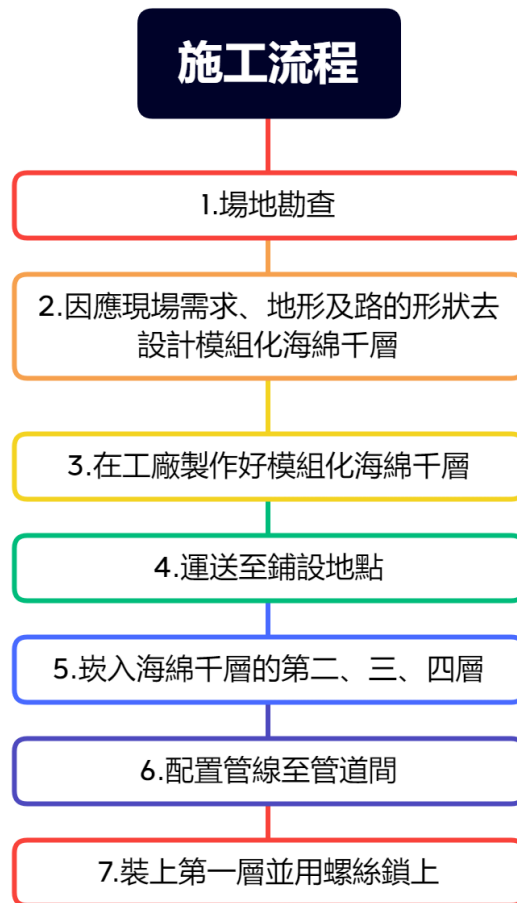


最後我們製作了數個模組來確認是否能方便進行組裝，其結果是令人滿意的。另外我們也採用了**上掀式的鎖牙設計**，讓第一層能夠單獨的與其他層分離，當管道間的管線需要進行維修或是更換時，只需要轉開透水鋪面上的螺絲，第一層就能直接折起，相當的方便。

（三）接縫處設計理念

1. 接縫處相當於橋梁或是道路的伸縮縫，當天氣冷熱轉變時能提供一定的空間讓機構熱漲冷縮。
2. 每一塊模組化海綿千層的接縫處可以填充具彈性的橡膠材質，能提升道路的平整度與保護伸縮縫。

（四）模組化多層別道路預鑄法的施工流程



陸、結論

- 一、以導水孔方式結合煙囪效應來調節溫度的效果並不明顯；如果真要使用導水管設計，不如改成在管內塞入粗棉線以增加水分蒸散效果，而且還能改善砂石阻塞導水管的問題。若是要降低施工複雜度，也可直接改以透水性鋪面設計，一樣具有調節溫度的效果。
- 二、儲水層的儲水量可達到 22.2%，這數據是我們在碎石層中測得的數據，與文獻中的效果比較下有一定的差異。且根據我們的實驗，顆粒越大的石頭，儲水的效果越好。如果我們以 10cm 的碎石層來計算的話，一條長 100m，寬 8m 的道路可以儲存約 17.76 公噸的雨水。
- 三、單獨以麥飯石材質當作碎石層，不但擁有好的透水速率，也能達到約 41% 淨化水質的效果，是一種很好的材料。但麥飯石由於孔隙較多，會讓泥水的透水速率下降。
- 四、在降低空氣污染的實驗中，我們發現水氣的對流現象能降低由線香產生的細懸浮微粒的污染，但前提是須要有足夠的水氣對流，以及足夠的對流面積。我們認為，與其單純以導水孔設計對流效應，倒不如讓整個鋪面都以透水材質（例如：透水瀝青）來達到水分蒸發，效果應該更顯著。
- 五、透過 3D 列印我們打造出最佳的模組化多層別道路預鑄法，也特別研究接縫處的設計讓真正施工時能有更多的細節被呈現。這項工法同時具有上述四項優點外，還具有像積木般可快速裝設、快速維修以及管線替換容易等好處。我們也透過負重測試，初步檢驗這項工法的結構安全。

柒、未來展望

本研究是對於一項新式道路施作工法的可行性探討，如果能採用這項工法施作道路，就能解決台灣兩大問題：淹水與缺水。模組化多層別道路預鑄法仍有許多進步的空間，以及一些潛在問題待解決，主要像是：需要製作真實路面以探討結構工程的問題，還有成本的精算與評估。若是能完成上述問題的探討，我們希望可以朝著專利研究的方向繼續前進。

捌、參考資料及其他

- 一、 陳瑞文（2022年9月1日）。**中華民國專利號 M631328**。高支撐強度地下水撲滿儲水積磚構造。經濟部智慧財產局。
<https://twpat3.tipo.gov.tw/twpatc/twpatkm?.9c9a001C1B010000010000010000^0500000000023000000A00C8704398>
- 二、 陳瑞文（2018年4月16日）。**中華民國專利號 201814107**。改善缺水環境造水系統。經濟部智慧財產局。
<https://twpat3.tipo.gov.tw/twpatc/twpatkm?.95f60718CC010100000000000000010000^50000000023200009600040b9>
- 三、 陳瑞文（2022年5月21日）。**中華民國專利號 M627151**。快速施工透水鋪面構造。經濟部智慧財產局。
<https://twpat3.tipo.gov.tw/twpatc/twpatkm?.0f53001C001200000001000000000^0500001000023000001080C80742ad>
- 四、 陳瑞文（2022年3月1日）。**中華民國專利號 M623851**。鞏固型地下水撲滿儲水設備構造。經濟部智慧財產局。
<https://twpat3.tipo.gov.tw/twpatc/twpatkm?.6ff30018CC000F7000000000001320000010000000^050000000100741dc>
- 五、 陳瑞文（2021年12月21日）。**中華民國專利號 M621567**。因應氣候變遷水資源調適系統之高強度道路。經濟部智慧財產局。
<https://twpat3.tipo.gov.tw/twpatc/twpatkm?.131a0010000000000000000^0500000010000023100000106C0CC87042f1>
- 六、 陳瑞文（2014年11月1日）。**中華民國專利號 M488854**。改善空氣汙染生態環保盆栽兼魚缸構造。經濟部智慧財產局。
<https://twpat3.tipo.gov.tw/twpatc/twpatkm?.23ac708C0050000003000100050^00000000000203000010090C10042cc>
- 七、 翰林出版社（2022年）。國民中學社會課本第一冊一年級上學期。翰林出版社。
- 八、 Weather Spark（2023年2月17日）。台灣的氣候和全年平均天氣。
<https://tw.weatherspark.com/countries/TW>
- 九、 交通部中央氣象局（2021年1月）。氣候月平均。
<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlymean.html>

- 十、 The News Lens 關鍵評論網（2013 年 9 月 5 日）。淹水有解！一張圖教你把地表變海綿。The News Lens 關鍵評論網。<https://www.thenewslens.com/article/376>
- 十一、 賴麗如（2019 年 1 月 9 日）。JW 工法 改善全球暖化。中時新聞網。
<https://tw.news.yahoo.com/jw%E7%94%9F%E6%85%8B%E5%B7%A5%E6%B3%95-%E6%94%B9%E5%96%84%E5%85%A8%E7%90%83%E6%9A%96%E5%8C%96-215011291--finance.html>
- 十二、 交通部中央氣象局。台灣長期氣候變化。
https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/Qa/index_all.html
- 十三、 賴若函（2015 年 4 月 9 日）。他，國中學歷 發明的海綿道路三十國搶。今周刊。
<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/154769/post/201504090010/>
- 十四、 許芷榕（2022 年 1 月 13 日）。2021 是史上最熱的一年嗎？超過 400 個氣象站破高溫紀錄 台灣也上榜。環境資訊中心。<https://e-info.org.tw/node/233206>
- 十五、 Claire（2017 年 7 月 25 日）。這套台灣來的「JW 生態工法」，立志打造一個會深呼吸的地球！INSIDE。<https://www.inside.com.tw/article/10006-green-energy>
- 十六、 何玉華（2019 年 8 月 17 日）。新北要做海綿城市 每年改善兩座校園透保水設施。自由時報。<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/2887485>
- 十七、 莊曜聰（2016 年 5 月 26 日）。黎明採 JW 工法 打造綠校園。中時新聞網。
<https://www.chinatimes.com/newspapers/20160526000569-260107?chdtvhttps://news.pts.org.tw/article/324217>
- 十八、 戴雲發（2020 年 9 月 17 日）。創新建築 4.0-預鑄工法。聯合新聞網。
<https://house.udn.com/house/story/11119/4866634>
- 十九、 劉青峰（2022 年 4 月 29 日）。張政務委員景森本所及相關單位參訪預鑄混凝土工廠。中華民國內政部建築研究所。
<https://www.abri.gov.tw/PeriodicalDetail.aspx?n=861&s=2558&key=99&isShowAll=false>
- 二十、 何昔珊（2022 年 3 月 12 日）。小島的過去或未來？預鑄工法的「趨勢」與「缺勢」解密。iBT 數位建築雜誌。
https://www.ibtmag.com.tw/new_article_result.asp?secu_id=HCP011&search_security_id=25675
- 二十一、 台中市政府水利局（2022）。低衝擊開發(Low Impact Development, LID)。
<https://www.wrs.taichung.gov.tw/379305/post>
- 二十二、 黃恩浩（2019 年 5 月 13 日）。如何把海綿城市做到韓總所說的「放眼世界，征服宇

宙」？綠學院。 <https://greenimpact.cc/zh->

[TW/article/598xq/%E5%A6%82%E4%BD%95%E6%8A%8A%E6%B5%B7%E7%B6%BF%E5%9F%8E%E5%B8%82%E5%81%9A%E5%88%B0%E9%9F%93%E7%B8%BD%E6%89%80%E8%AA%AA%E7%9A%84-%E6%94%BE%E7%9C%BC%E4%B8%96%E7%95%8C-%E5%BE%81%E6%9C%8D%E5%AE%87%E5%AE%99](https://greenimpact.cc/zh-TW/article/598xq/%E5%A6%82%E4%BD%95%E6%8A%8A%E6%B5%B7%E7%B6%BF%E5%9F%8E%E5%B8%82%E5%81%9A%E5%88%B0%E9%9F%93%E7%B8%BD%E6%89%80%E8%AA%AA%E7%9A%84-%E6%94%BE%E7%9C%BC%E4%B8%96%E7%95%8C-%E5%BE%81%E6%9C%8D%E5%AE%87%E5%AE%99)

【評語】 032918

本作品討論 JW 工法的優劣以及待解決問題，結合海綿道路的策略，設計新式道路施作工法解決水資源調適問題與改善空氣污染。本作品提供多項實驗證明透水、蓄水、淨水及去除空污的能力。建議多提供實驗測試的結果，多思考現場複雜狀況以及長期運作可能遇到的問題。

作品海報

模組化海綿千層

— 打造藍海智慧城市的未來之路

摘要

本研究為探討一種新式的工法：**模組化多層別道路預鑄法**來取代舊有生態工法的可行性評估。這項設計不但能縮短路面施工與維修的時間，減少空氣與噪音汙染，更能兼顧儲水、淨水的優點，最終目標為解決台灣各處常見的淹水與缺水兩大問題。

經由實驗發現，這項設計在儲水與透水兩大功能上的確有顯著的效果；採用麥飯石當作儲水層的話，可得到22.2%的儲水率，也能夠兼具快速的透水與41%的淨水效果。

透過積木模擬與3D建模實驗發現，此新式工法可以快速建構道路，也能夠預留空間給水、電等管線使用，機構中我們加入了**上掀式的鎖牙設計**，即便未來需要維修管線也不用開挖馬路，更能保有傳統生態工法的眾多優點，在未來應用上深具潛力。

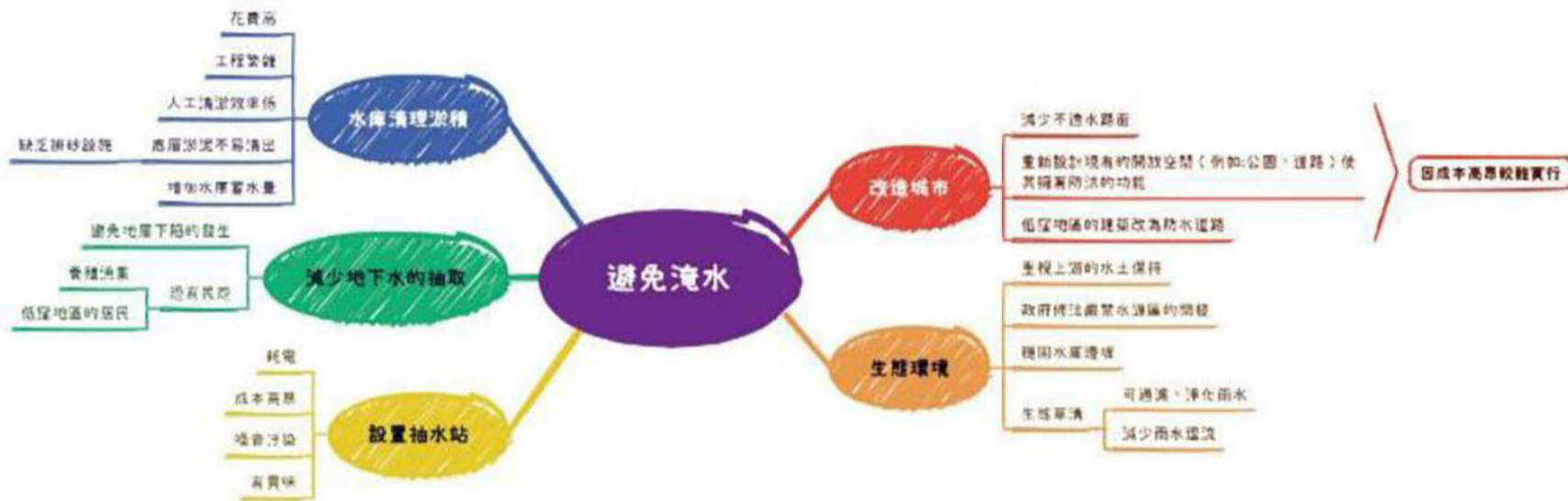
壹、研究動機

我們學校由於位處山區，常常會有急降雨，每當滂沱的雨勢降下，學校周圍的路面便會積水，非常危險，也讓我們上、下學皆相當不便，但在冬末春初之際，台灣卻又面臨枯水期，造成了全台所有居民的缺水問題。**台灣這個小島上竟然同時面臨淹水與缺水的兩大問題**。了解到我們國家所處的現況之後，當然要試著尋找解決的辦法。我們決定從兩大方向著手。第一，利用腦力激盪與文獻探討的方式研究解決的方案；第二，進行可行性評估實驗來驗證這些設計是否真如文獻中描述的那麼好，並由實驗結果提出改善建議。

貳、研究目的

- 一、以文獻探討的方式分析不同工法的特色、優缺點，進而找出最適合本裝置的設計。
- 二、進行可行性實驗來檢驗現有工法的功能，確認哪些具有實質意義，以作為本裝置設計的依據。
- 三、我們希望設計出一種模組化、多層別的道路裝置，可達到調節溫度、透水與儲水、容易裝設與降低空氣汙染等功能。

參、研究過程



一、台灣JW工法的文獻探討：



二、道路預鑄工法文獻探討：



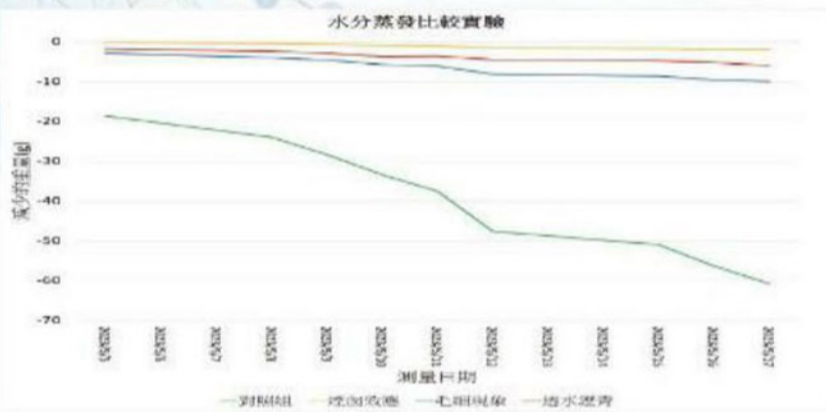
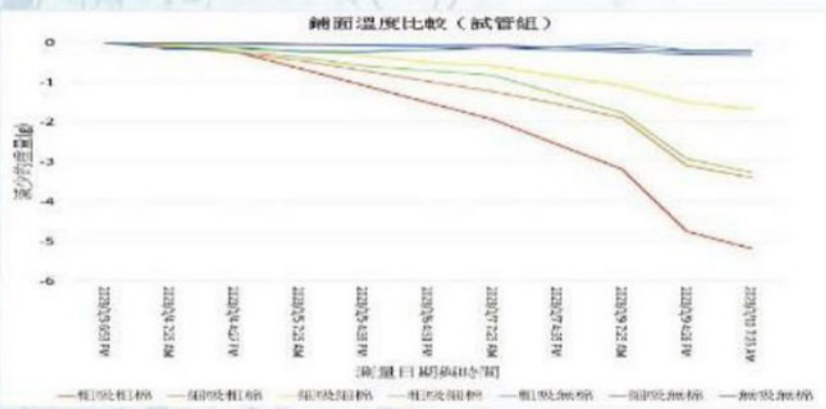
三、各國海綿道路的文獻探討：



肆、研究結果與討論

一、管徑粗細、棉線的有無（探討毛細現象）對水分蒸發的影響比較實驗

（一）實驗結果

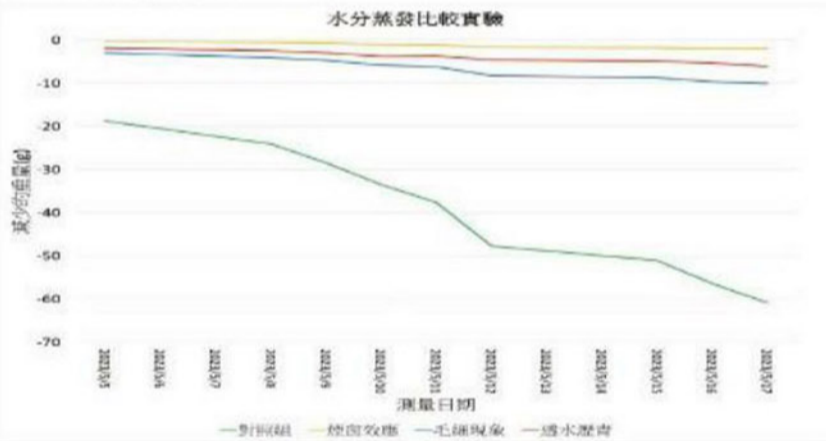


（二）討論

1. 配置粗吸管和粗棉線的試管及寶特瓶的水分蒸發效果最明顯，我們認為原因是粗吸管的管徑較細，粗棉線的毛細現象效果也較細棉線顯著。
2. 配置粗棉線的試管及寶特瓶的水分蒸發效果都較好，配置細棉線者次之，無棉線者較差。由於粗棉線的毛細現象效果應最佳，我們由本實驗發現毛細現象的水分蒸發效果比單純的空管要來得好。

二、煙囪效應、毛細現象、透水瀝青的水分蒸發比較實驗

（一）實驗結果



（二）討論

1. 雖然毛細現象的水分蒸發效果最明顯，但是若採用毛細現象就要在路面下架設導水管系統，多一道複雜工序會增加成本，並且也影響路面平整度。
2. 若要降低成本可以採用透水效果僅次於毛細現象的透水瀝青作為鋪面。

三、砂石儲水量比較實驗

（一）實驗結果

	原重量	加水後	水的重量 (加水後-原重量)	水的比例 ((加水後-原重量) ÷ 加水後)
麥飯石	360.8g	463.9g	103.1g	22.22%
河卵石	396.3g	482.4g	86.1g	17.84%
天然砂	380.9g	471.5g	90.6g	19.21%
人造砂	510.9g	604.4g	93.5g	15.57%

(百分比四捨五入至小數點後第二位)

（二）討論

顆粒較大的石頭（麥飯石和河卵石）的儲水量較顆粒小的沙子（人造砂和天然砂）大。

四、砂石透水速率比較實驗

（一）實驗結果

1. 清水組

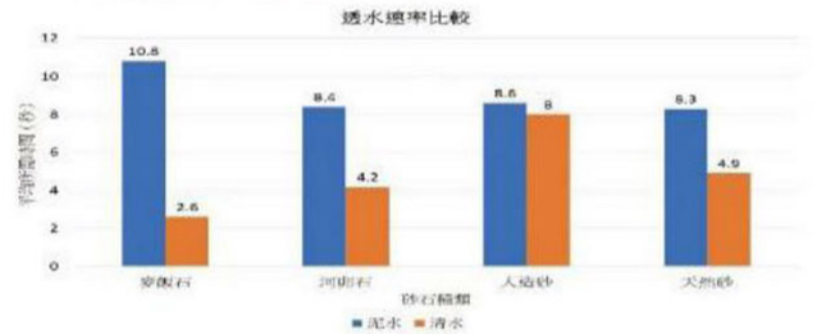
	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)
麥飯石	2.8	2.4	2.5	2.6
河卵石	4.3	4.2	4.0	4.2
人造砂	8.0	7.9	8.2	8.0
天然砂	4.7	5.0	4.9	4.9

2. 泥水組

	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)
麥飯石	11.1	11.0	10.4	10.8
河卵石	8.9	7.2	9.0	8.4
人造砂	9.3	9.3	7.3	8.6
天然砂	8.4	7.6	9.0	8.3

(平均值四捨五入至小數點後第一位)

3. 圖表如下所示



（二）討論

1. 清水組：粒徑大的石頭（麥飯石和河卵石）的透水速率較粒徑小的沙子（天然砂和人造砂）快。
2. 泥水組
 - (1) 此實驗模擬完全混濁的水，水中的泥砂應比正常路面情況還多。
 - (2) 麥飯石的透水所需時間較長，推測原因是孔隙較多，有較多的泥砂卡在孔隙之中。

五、麥飯石、活性炭的水質淨化效果實驗

（一）實驗結果

	過濾方式	第一次	第二次	第三次	平均
飲用水	無	3	3	2	2.6
自來水	無	131	129	128	129.3
泥水	無	167	164	165	165.3
泥水	麥飯石	152	150	150	150.6
泥水	活性炭綿+麥飯石	172	173	170	171.6

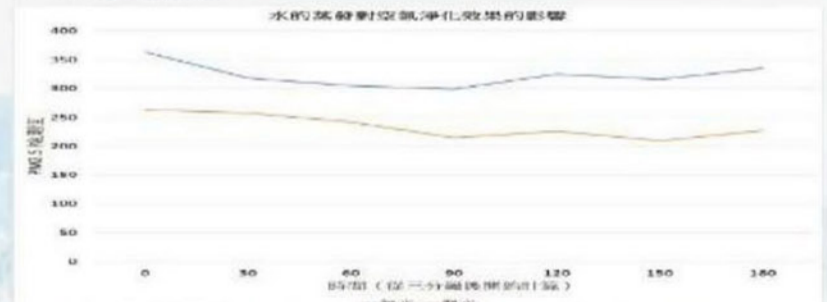
(單位: mg/L) (平均值四捨五入至小數點後第一位)

（二）討論

1. 根據檢測值可知，泥水經麥飯石過濾後溶解在其中的總固體量下降了，代表水質有經過初步的淨化；但經麥飯石和活性炭綿雙重過濾後，TDS值卻增加了，推測活性炭綿中有一些可溶解於水中的溶質造成數據升高。
2. 經過麥飯石過濾的泥水減少了大約41%由溶入沙土所產生的TDS數值（算式： $[(\text{泥水}-\text{自來水}) - (\text{經麥飯石過濾的泥水}-\text{自來水})] \div (\text{泥水}-\text{自來水})$ ）。

六、水的蒸發對空氣淨化效果影響實驗

（一）實驗結果



（二）討論

1. 由實驗結果可知，實驗組的PM2.5檢測值均低於對照組。
2. 由本實驗可推測，高溫的路面上若有水的蒸發能夠淨化空氣。

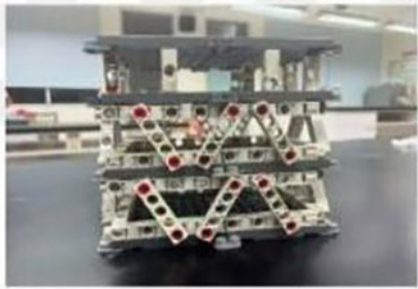
七、積木模型製作及負重模擬實驗



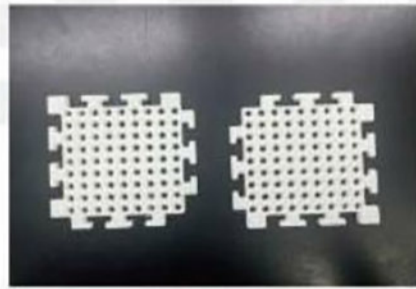
(一) 討論

從負重測試結果可知，本模型的載重已達90kgw以上，符合大型車輛可承受的壓力值。但由於結構工程牽涉到許多複雜的問題，故負重實驗僅是最初步的耐重測試。

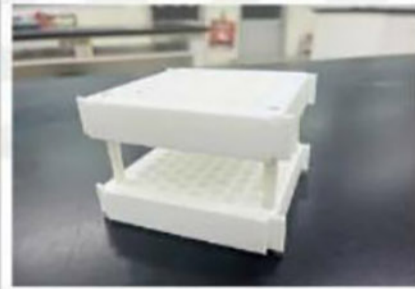
八、3D列印模型製作及接縫研究



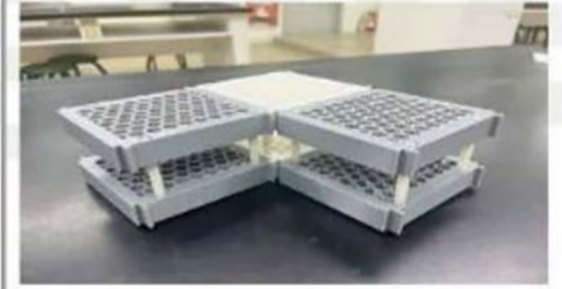
為了研究模組化海綿千層接合的結構，我們首先利用智高積木製作小模型，但受限於積木零件的特性，無法有效呈現接縫處的細節。



我們改採3D列印方式繼續研究。原先採用了類似巧拼的設計來連接不同模組，但是這樣的設計連單層都不易組裝，更何況是多層。



接著我們減少接縫處的複雜度，列印出新的模型。上下兩層分別代表第一層（透水鋪面）與第二層（管道間）。這個新式設計在接縫處接合上非常滑順。



最後我們製作了數個模組來確認是否能方便進行組裝，其結果是令人滿意的。另外我們也採用了**上掀式的鎖牙設計**，讓第一層能夠單獨的與其他層分離，當管道間的管線需要進行維修或是更換時，只需要轉開透水鋪面上的螺絲，第一層就能直接折起，相當的方便。

(一) 接縫處設計理念

1. 接縫處相當於橋梁或是道路的伸縮縫，當天氣冷熱轉變時能提供一定的空間讓機構熱脹冷縮。
2. 每一塊模組化海綿千層的接縫處可以填充具彈性的橡膠材質，提升道路的平整度與保護伸縮縫。

施工流程



伍、結論

- 一、以導水管方式結合煙囪效應來調節溫度的效果並不明顯；如果真要使用導水管設計，不如改成在管內塞入粗棉線以增加水分蒸散效果，而且還能改善砂石阻塞導水管的問題。若是要降低施工複雜度，也可直接改以透水性鋪面設計，一樣具有調節溫度的效果。
- 二、儲水層的儲水量可達到22.2%，這數據是我們在碎石層中測得的數據，與文獻中的效果比較下有一定的差異。且根據我們的實驗，顆粒越大的石頭，儲水的效果越好。如果我們以10cm的碎石層來計算的話，一條長100m，寬8m的道路可以儲存約17.76公噸的雨水。
- 三、單獨以麥飯石材質當作碎石層，不但擁有好的透水速率，也能達到淨化水質的效果，是一種很好的材料。但是麥飯石孔隙較多，會讓泥水的透水速率下降。
- 四、在降低空氣汙染的實驗中，我們發現水氣的對流現象能降低由線香產生的細懸浮微粒的汙染，但前提是需有足夠的水氣對流，以及足夠的對流面積。如果單純以導水孔設計對流效應，倒不如讓整個鋪面都以透水材質（例如：透水瀝青）來完成，效果應該更顯著。
- 五、透過3D列印我們打造出最佳的模組化多層別道路預鑄法，也特別研究接縫處的設計讓真正施工時能有更多的細節被呈現。這個設計除了具有上述四項優點，還具有像積木般可快速裝設、快速維修以及管線替換容易等好處。我們也透過負重測試，初步檢驗這項工法的結構安全。

陸、未來展望

本研究是對於一項新式道路施作工法的可行性探討，如果能採用這項工法施作道路，就能解決台灣兩大問題：淹水與缺水。模組化多層別道路預鑄法仍有許多進步的空間，以及一些潛在問題待解決，主要像是：需要製作真實路面以探討結構工程的問題，還有成本的精算與評估。若能解決上述問題，我們希望可以朝著專利研究的方向繼續前進。

柒、實驗照片

