新北市目前人行道鋪面之節能減碳策略及其施工案例與成效

吳宇恆[1]廖學志[2]葉容君[3]

摘要

新北市政府長年戮力於打造以人為本之公共通行空間，最近五年內計畫性地推動市區道路人行環境改善即已累計超過 30 條道路。於陸續執行之過程中，均思考如何能將節能減碳之策略實行於拓建的人行道面積中，且期能符合工程實務之可行性、期程性。逐案改善時實際上有嘗試不同之工法，各種方法均有其優、劣之處，於個案之施工中參酌施工廠商回饋意見，予以檢討淘汰了部份工法。

經歷了此前的各個施工案例，目前新北市推行的人行鋪面節能減碳策略主要為「透水磚紙模管式透水工法」，現地空間足夠則配合「長型複層綠帶」、「雨水花園井」加強綠化及雨水下滲；文中將陳述就實作上、功效性、成本考量等檢討相關工法，決策目前優先採用工法之過程。並說明目前使用之節能減碳策略如何運用於不同個案，同時介紹數個於新北市實際執行案例之設計、施工過程，以及其完成情形與成效性。

關鍵詞：人行道鋪面、節能減碳、透水

1 杜風工程顧問股份有限公司吳宇恆技師(通訊作者，聯絡地址：251 新北市淡水區中正東路二段 27 號，電話：02-88098001#153，E-mail: rain@dofind.com.tw)

2 新北市政府養護工程處道路養護二科廖學志科長 (通訊作者，聯絡地址：23547 新北市中和區員山路 471 號，電話：02-2253406#721，E-mail: AF7509@ntpc.gov.tw)

3 新北市政府養護工程處道路養護二科葉容君科員(通訊作者，聯絡地址：23547 新北市中和區員山路 471 號，電話：02-2253406#725，E-mail: AM2192@ntpc.gov.tw)

目錄

目錄 i

圖目錄 iii

表目錄 iii

一、新北市人行道鋪面使用型式之基本原則 1

1.1 基本原則訂立 1

1.2 新北市規定之磚面型式色調及排列方式 1

1.3 面磚與緣石間排列規則 2

1.4 立桿等公共設施基座嵌入式裸桿工法 3

二、於訂定之鋪面使用型式制定下，考量如何納入節能減碳概念 4

2.1 原則 1:「透水鋪面」為主要節能減碳工法考量 4

2.2 原則 2:「長綠帶下方雨水花園集水下滲」加強節能減碳 4

三、檢討比較新北市最適宜採用之「透水鋪面」工法 5

3.1「養工處目前使用透水鋪面工法」理念說明 5

3.2 透水混凝土大底鋪面工法 6

3.3 新北市建議人行道透水鋪面工法 1-「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法 7

3.4 新北市建議人行道透水鋪面工法 2-「紙模管式透水大底+表面透水磚」 8

3.5 JW 工法 8

3.6 各種透水鋪面工法優缺點比較 9

四、較適合新北市人行道兩種「透水鋪面」工法之功能檢算 10

4.1 設計透水工法「單位面積透水率」計算 10

4.2 管式透水大底工法經費 14

五、新北市常使用之「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法實例及功能優缺 16

5.1「PVC 管式透水大底+表面透水磚」施工程序 16

5.2 示範基地『管式透水鋪面+表面透水磚』保水說明 17

六、新北市常使用之「PVC 紙模管式透水大底+表面透水磚」工法實例及功能優缺 19

6.1「紙模管式透水大底+表面透水磚」工法施工程序 19

6.2 示範基地「紙模管式透水大底+表面透水磚」保水說明 19

6.3「紙模管式透水大底+表面透水磚」透水性現地測試 21

6.4 雨水花園匯水下滲現地測試 21

6.5 長時間降雨現地情形 22

七、綜合討論 23

7.1 各種透水鋪面採用檢討.....23
7.2 新北市目前人行道節能減碳工法原則.....23

圖目錄

圖 1　過去新北市採用 30x60cm 磚型及不同配色案例.....1
圖 2　過去新北市採用 30x30cm 磚型及不同配色案例.....2
圖 3　今後新北市新作人行道建議配色原則.....2
圖 5　配合模組化緣石鋪磚全面對縫工法圖.....3
圖 6　路燈、號誌燈基座減量下地或與水溝共構新工法圖.....4
圖 7　碎石軟底工法失敗案例.....4
圖 8　雨水花園加強下滲工法參考.....5
圖 9　『透水混凝土大底』+『表面透水磚』工法.....6
圖 10　「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法.....7
圖 11　「紙模管式透水大底+表面透水磚」工法.....8
圖 12　「JW 工法」.....8
圖 13　養工處人行道 PVC 管式透水鋪面單位面積透水率計算圖.....11
圖 14　養工處人行道紙模管式透水鋪面單位面積透水率計算圖.....13
圖 15　「PVC 管式透水大底+表面透水磚」施工程序圖.....16
圖 16　「紙模管式透水大底+表面透水磚」施工程序圖.....19
圖 17　「紙模管式透水大底+表面透水磚」現地簡易測試示意.....21
圖 18　「紙模管式透水大底+表面透水磚」現地計時測試示意.....21
圖 19　雨水花園匯水下滲現地測試示意.....22
圖 20　107 年 8 月 23~25 日大雨後現地成效.....22
圖 21　新北市建議之人行道鋪面節能減碳策略.....24

表目錄

表 1　各種透水鋪面工法比較表.....9
表 1　各種透水鋪面工法比較表(續).....10
表 2　『PVC 管式透水大底』+『表面透水磚』經費估算表(每 M^2).....15
表 3　『紙模管式透水大底』+『表面透水磚』經費估算表(每 M^2).....15
表 4　公共設施用地開發透水保水評估表(『管式透水鋪面+表面透水磚』).....18
表 5　公共設施用地開發透水保水評估表(「紙模管式透水大底+表面透水磚」)
.....20

日期: 107 年 9 月 30 日

一、新北市人行道鋪面使用型式之基本原則

1.1 基本原則訂立

因人行道鋪面為民眾每日均頻繁使用之公共設施，除了建置達完善之使用性外、更需考量其耐久性及日後的維護(修)管理。新北市陸續嘗試、經歷各種不同型式之鋪面，除磚面外，如全混凝土鋪面、平面紙模壓花等；最終檢討係以高壓磚或透水磚面面層最為恰當，原因有三：

1.鋪面磚型統一美觀：因高壓磚為常見之預製品，且易要求尺寸、顏色，其特性最宜訂定統一之型式、尺寸、色調等標準。(相關規定詳後說明)

2.施工品質易掌握：亦因表層採用預製品，相對於表層為場鑄之方式、僅基底為場鑄，可有效規定作法及掌握施工品質。

3.日後維護管理容易：若為場鑄鋪面，損害後修補勢必呈現補丁之情況。採用制式磚面，日後管理單位僅需更換破損磚面、相對容易且美觀。

1.2 新北市規定之磚面型式色調及排列方式

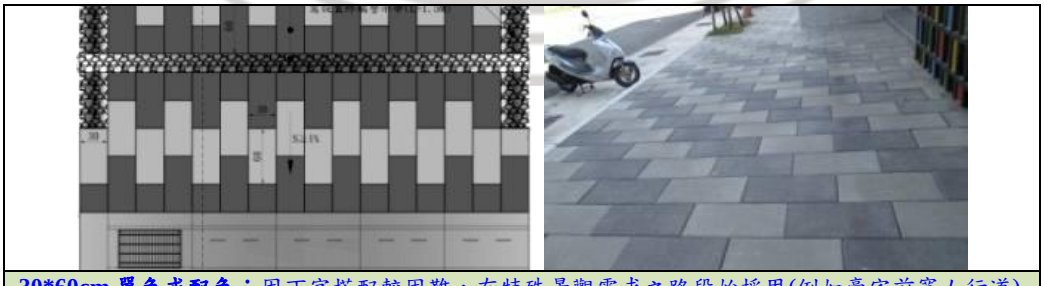
依據前述新北是決議之人行道鋪面採用「鋪磚」之基本原則，再詳細訂定磚面型式、配色及排列方式如下說明。

1.制定磚型

檢討建議使用 30x30cm 為主，色調以紅、灰或配色為原則！較不建議採 30x60 磚型，詳圖 1、圖 2 說明如下：

(1)30x30cm 尺寸最為美觀適用：新北市最常見人行道寬度平均約 1.5~4M，30x30cm 尺寸排列上視覺最為恰當，20x20cm 型式顯得過於細碎、30x60cm 用於 2M 寬以下人行道又明顯過巨。

(2)30x30cm 尺寸為最適強度：30x60cm 尺寸為常遇磚面容易碎裂之情況，30x30cm 則幾乎少見裂損。



30*60cm 單色或配色：因丁字搭配較困難，有特殊景觀需求之路段始採用(例如豪宅前寬人行道)

圖 1　過去新北市採用 30x60cm 磚型及不同配色案例

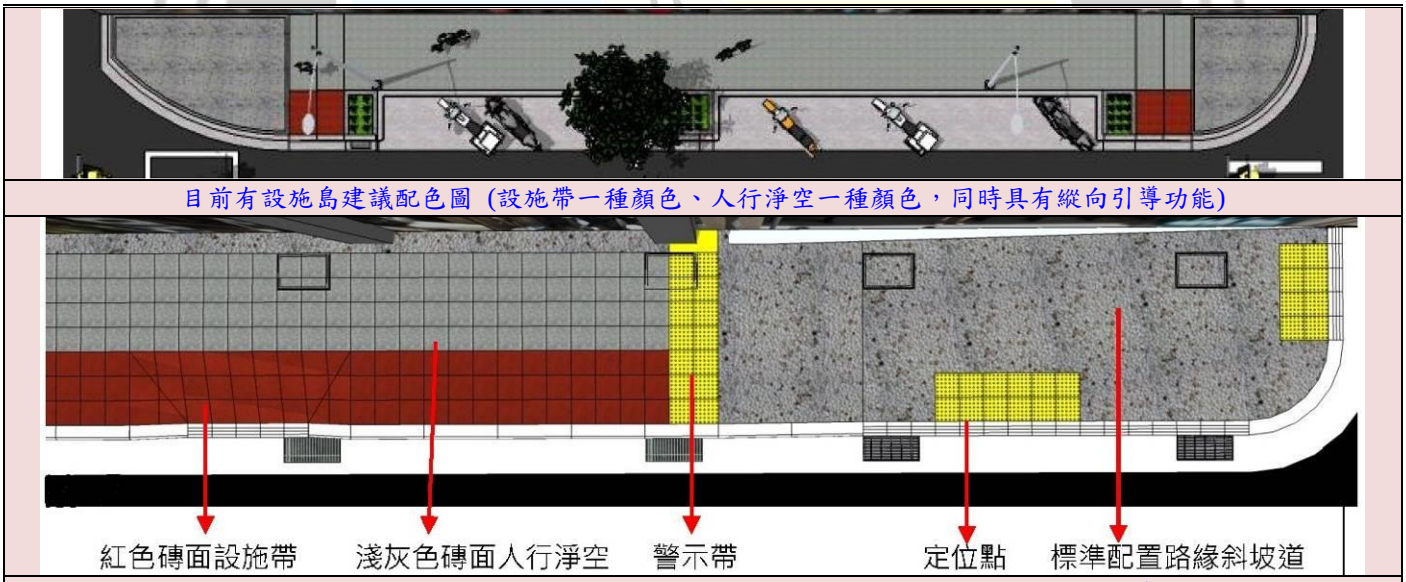
30*30cm 紅灰配色	30*30cm 深淺灰配色	30*30cm 單色(紅或灰)	30*30cm 跳色

過去新北市常用磚面配色(明顯有銜接性仍應使用)

圖 2　過去新北市採用 30x30cm 磚型及不同配色案例

2.配色原則

由上述圖 1 及圖 2 中，顯見過去新北市若使用磚面顏色交錯之配置時，其視覺上明顯極為眩目、尤對弱視人士造成辨識困擾。故目前配合人行道靠近路邊之設施帶、其使用一種顏色，內側人行淨空則採另一種顏色(均以紅、灰色調為空)。此種方式清晰明辨通行路徑，分界帶之色差亦有導盲用途。



目前有設施島建議配色圖 (設施帶一種顏色、人行淨空一種顏色，同時具有縱向引導功能)

目前無設施島建議配色圖(設施帶一種顏色、人行淨空一種顏色，同時具有縱向引導功能)

圖 3　今後新北市新作人行道建議配色原則

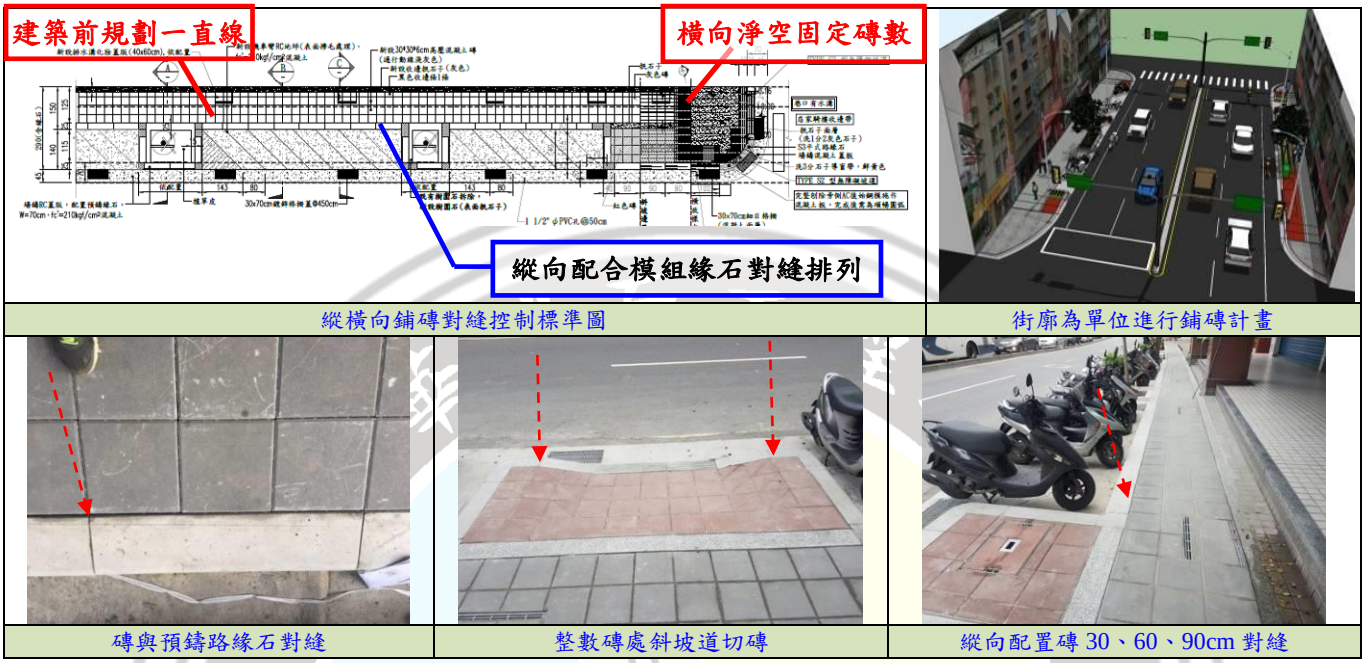
1.3 面磚與緣石間排列規則

為求磚面排列美觀且各街廓一致，新北市自 106 年起試作「面磚與預鑄緣石對縫」之工法，成效果好，目前已訂立為制式規定。

1.經驗：一般人行道之鋪磚工程，實務上難以要求精準之鋪磚計畫，最終完成面成效美

觀性不如預期。

2.工法：除制定嚴格之人行道縱、橫向鋪磚計畫，並配合前述預鑄緣石 30、60、90cm 模組化，要求施作者對縫，減少自由度而精準度提高，美觀性大幅提升。詳**圖 5**。



縱橫向鋪磚對縫控制標準圖	街廓為單位進行鋪磚計畫

磚與預鑄路緣石對縫	整數磚處斜坡道切磚	縱向配置磚 30、60、90cm 對縫

圖 5　配合模組化緣石鋪磚全面對縫工法圖

1.4 立桿等公共設施基座嵌入式裸桿工法

因應新北市部份老舊市區路段，人行道窄小、公共立桿基座過巨影響通行之常見情況，亦於 107 年起試辦立桿裸桿化、基座下地，安全且可增加通行空間！

1.經驗：台灣一直以來路燈、號誌桿等基座習慣外露，雖可拆卸螺栓更換，基座卻嚴重阻礙通行，且時有行人絆倒撞擊等受傷之情況。

2.工法：(1)配合養工處日本實務考察，已於淡海輕軌沿線試辦「嵌入式」基座，除可大幅減低阻礙人行空間、提升美觀性，亦有考量日後換桿性，齊日後推廣於全市內。均詳**圖 6**。

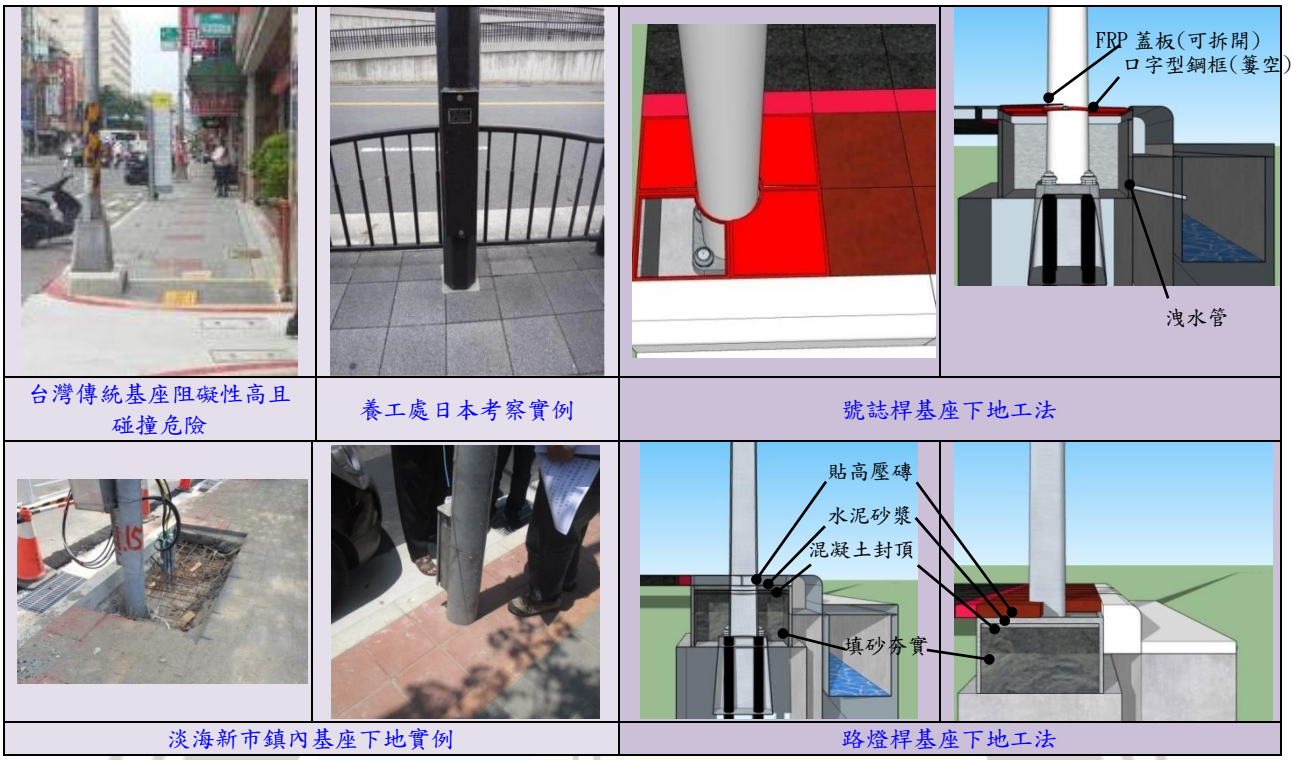


圖 6　路燈、號誌燈基座減量下地或與水溝共構新工法圖

二、於訂定之鋪面使用型式制定下，考量如何納入節能減碳概念

2.1 原則 1:「透水鋪面」為主要節能減碳工法考量

依多年養工處人行道施作經驗，建議應採三種工法：(1)全硬底鋪面+高壓混凝土磚、(2)管式透水+人行道透水鋪面不宜採用全碎石軟底表面透水磚、(3)JW 工法，詳**圖 7**，主要考量如下：

1. 台灣市區人行道偶兼有機車停放及供臨時汽車上下卸貨功能，採用「碎石軟底工法+表面透水磚」必定沉陷失敗！
2. 透水考量時建議採「管式透水大底+表面透水磚」，硬底中留設孔隙，惟仍有硬底效果、不致失敗！
3. 因應生態環保及降低淹積水疑義，有使用透水鋪面條件建議均採用透水鋪面，惟人行道下為水溝、有地下室或管線過密時，透水效益低，則不採用！

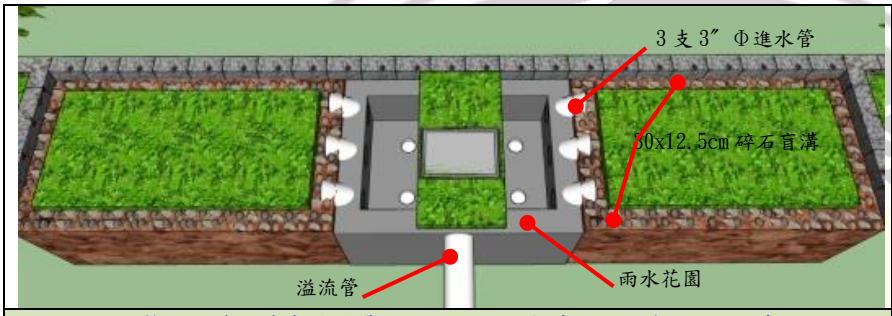
圖 7　碎石軟底工法失敗案例

2.2 原則 2:「長綠帶下方雨水花園集水下滲」加強節能減碳

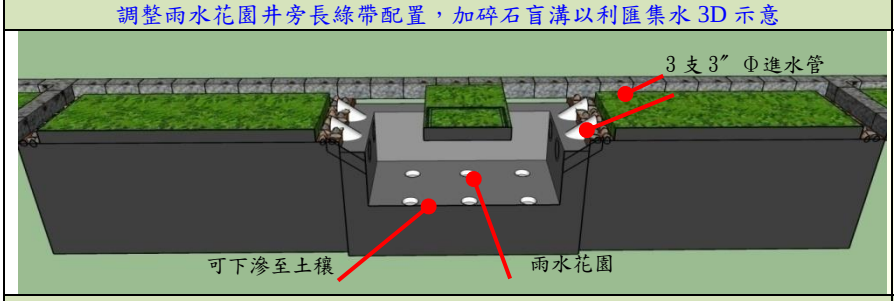
除了採用透水鋪面達到節能減碳目的外，另外新北市配合營建署之政策，利用原有靠路邊設施帶間之植栽加長複層綠帶，並納入雨水花園(撲滿)之概念，再予加強節能減碳。

1.經驗：人行道上設置長型面積大綠帶，除綠化外主要亦可匯集人行道表面排水後由沃土下滲至土壤層；然若暴雨來襲，將出現流量頗大之雨水不及下滲、形成逕流。

2.工法：於長型範圍草皮兩側圍束之緣石邊，於填沃土植草皮灌木表層的下方，各施作一條「30cm 寬 x12.5cm 深之碎石盲溝、碎石周圍以不織布包覆形成通水溝路」，此碎石盲溝延伸至雨水花園旁側之3支PVC進水管處、使水流暫存後陸續排入雨水花園井中，於井中儲水可長期緩慢滲至下方土層中。詳**圖 8**。



調整雨水花園井旁長綠帶配置，加碎石盲溝以利匯集水 3D 示意



調整雨水花園井旁長綠帶配置，加碎石盲溝以利匯集水 3D 示意

長綠帶盲溝施作情形

圖 8　雨水花園加強下滲工法參考

三、檢討比較新北市最適宜採用之「透水鋪面」工法

3.1「養工處目前使用透水鋪面工法」理念說明

前述說明新北市透水鋪面原則上考量「管式透水大底+表面透水磚」及「JW 工法」，惟實際施作於人行道則為前者，述明於下。

1.新北市人行道使用透水工法之理念

養工處目前透水工法之理念，為「鋪面留設孔隙、使水滲至地下」。實際工法採行「管式透水基底(仍為硬底)」+「表層透水磚」；主要期望市區人行道有統一表面透水磚面規格，使其整齊美觀易維護，另底部採管式透水，係因人行道偶有重車上下、其半硬底之特性不致出現鋪面凹凸沉陷。

2.公共工程委員會管式透水工法之定義

公共工程委員會施工規範第 02794 章「透水性鋪面之一般要求」陳述，扼要彙整於下：

'1.5.1' 透水性鋪面：使雨水通過人工鋪築之多孔隙鋪面直接滲入路基，而具有使水還原於地下者。

(4)管式透水鋪面：以鑽孔或導管架構與混凝土或其他材料結合，而形成有導水孔洞之鋪面結構體，鋪面上之雨水可經導水孔洞流至路基，而藉此提供透水功能。

'2.1' 設計概要

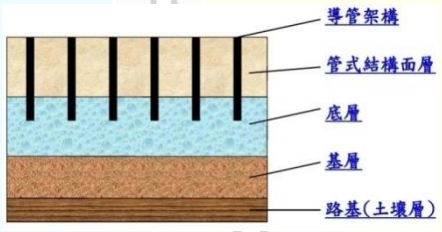
'2.1.4' 管式透水鋪面

(4)管式結構面層：以鑽孔或導管架構與混凝土或其他材料結合，厚度視使用需求而定，一般約為 10cm 厚。

'3.1' 一般之設計及施工之一般要求

'3.1.5' 管式透水鋪面

管式透水鋪面主要是由路基、基層、底層及管式結構面層等所構成，施工方式依第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」及第 03360 章「混凝土表面處理」之規定辦理，其結構如圖: 」



管式透水鋪面結構示意圖

3.綜合檢討

「管式透水」，為一般公共工程界認同之透水鋪面概念，施工規範亦如此規定、原則上新北市係使用施工規範中該等理念，搭配市內要求人行道鋪面統一鋪磚之政策，決議使用「管式透水大底+透水磚面層」工法。

3.2 透水混凝土大底鋪面工法

因部份其他縣市有採用透水混凝土工法之經驗，新北市政府亦將其列為可考慮的工法，詳**圖 9**。惟因其造價每平方公尺相對其他工法價高約 1,000 元，目前暫不採行，惟仍列入比較。

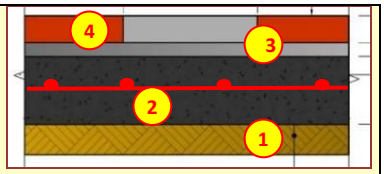
④6cm 厚 30*30cm 透水磚(強度 280kg/cm^2 以上) ③3cm 厚透水砂漿控制高程、黏結磚面 ②15cm 厚 175kg/cm^2 透水混凝土大底(含鍍鋅點焊鋼絲網抗彎及握裹) ①碎石層及人行道下既有底土整理	

圖 9 『透水混凝土大底』＋『表面透水磚』工法

3.3 新北市建議人行道透水鋪面工法 1-「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法

新北市建議可採行之第一種人行道透水鋪面工法為「PVC 管式透水大底+表面透水磚」，詳**圖 10**。除配合磚面易維養之政策外，其大底允許使用 PVC 管於混凝土層中留設管孔；此種工法於施工中困難度稍高，主要設置之 PVC 管於灌注混凝土時、若未確實插入下方碎石層則容易翻覆。惟仍建議於部份路段可使用此種工法，主要考量較小面積之街廓，採行這種工法較有彈性、且 PVC 管為市面上極常見材料，即使開口合約亦容易立即施作。其相關材料規範列於下。

1.「混凝土透水磚」材料規範

透水率：$1*10^{-2}$ cm/sec 以上、強度：280kgf/cm^2 以上

2.「透水管」(硬底中使水下滲用)材料規範

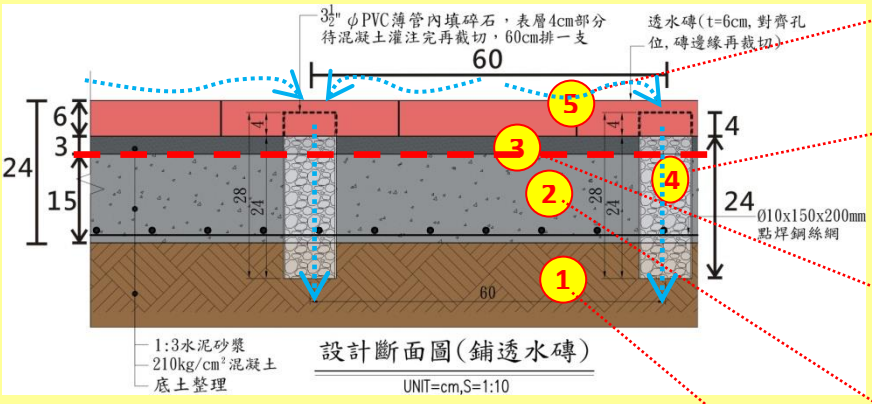
管徑：4”(約 9cm)、管厚:3.5mm(薄管)(屬透水孔、非排水用，無需用厚管)

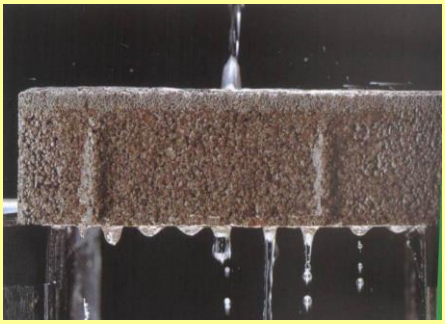
3.不織布(防止透水管阻塞)材料規範

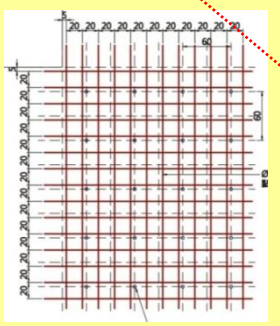
抗拉強度：>2,800 kgf/m、透水率: $>10^{-1}$ cm/sec 以上

4.粗碎石(填充於透水管中)材料規範

粒徑：4.75mm 以上粗粒料







『管式透水鋪面┼表面透水磚』平面圖

⑤ 6cm 厚 30*30cm 透水磚面(強度 280kgf/cm^2 以上、透水係數：$1*10^{-2}$ cm/sec 以上)

④ 上述②、③層留設 5”Ø(13cm 孔) PVC 洩水管孔、塞粗碎石@60cm 通至底土層，使水下滲

③鋪不織布後、3cm 厚襯墊砂控制高程

②15cm 厚 210kgf/cm^2 混凝土大底(含點焊鋼絲網增加抗彎及握裹性)

①人行道下碎石級配透保水層既有底土

圖中目前養工處人行道透水工法，扣除基底層為 24cm 厚，PVC 透水管直徑大至 9cm，係為補足表面透水磚減低之透水效率!

圖 10 「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法

3.4 新北市建議人行道透水鋪面工法 2-「紙模管式透水大底+表面透水磚」

新北市建議可採行之第二種人行道透水鋪面工法「紙模管式透水大底+表面透水磚」，詳圖 11。此種工法係以管孔狀之紙模模具取代前述 PVC 管，因其屬一體成型，不會發生如 PVC 管於施工中翻倒之情況、僅需打破紙製孔頂即可達管式透水之功效；另此種紙模具於台灣發展多年、製造商頗多，無獨佔之情況。故若現地條件適合，一般均優先使用此工法。此工法除以紙模具取代 PVC 管以外，其他材料均與 3.3 節工法相同，可參酌之。

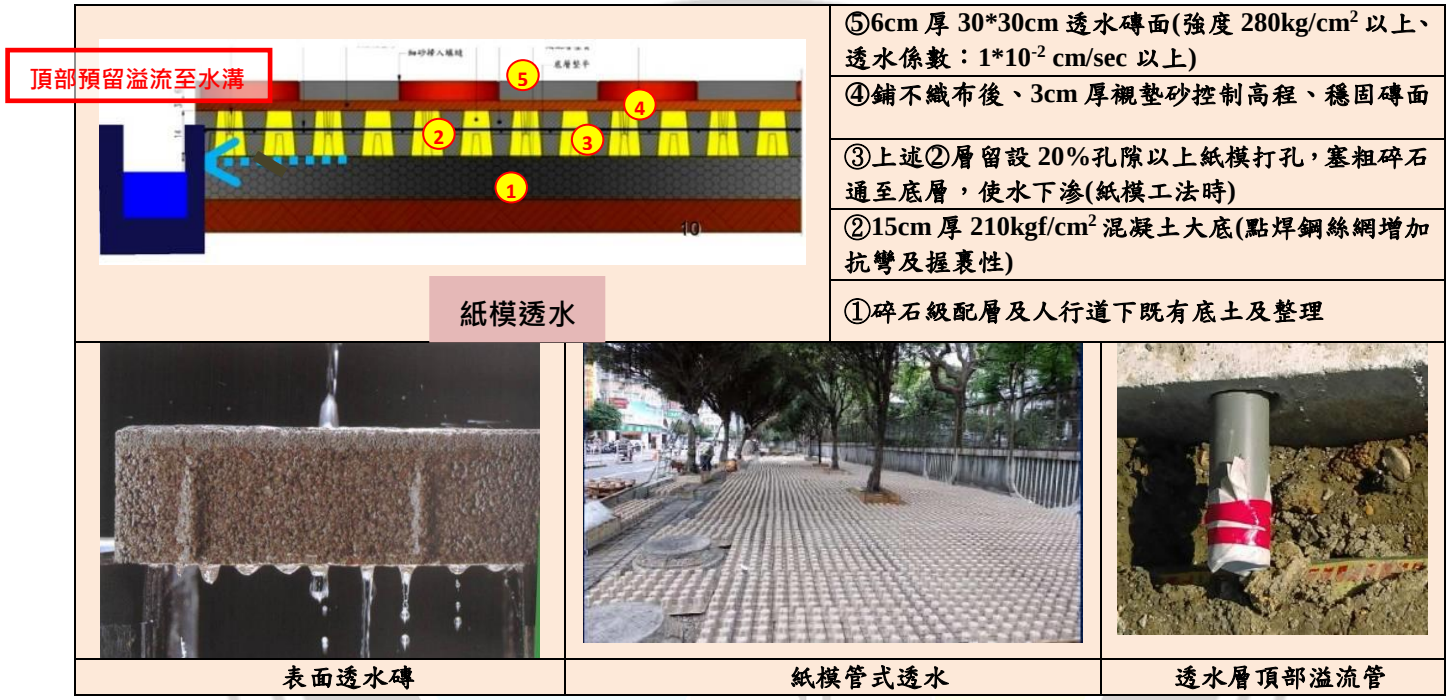


圖 11 「紙模管式透水大底+表面透水磚」工法

3.5 JW 工法

JW 工法為專案製造商以特殊設計管架、間隙灌注混凝土及表面壓花之方式，可達至管式透水直達鋪面表層之工法，詳圖 12。因為此管孔通頂之特性，雨水係直接流入孔洞，且該孔洞亦有透氣功效。惟新北市考量鋪面統一性及維修性，人行道表面以鋪磚為原則，致較少使用此工法；然若於特殊大面積的廣場、學校、公園等，仍鼓勵採「JW 工法」。

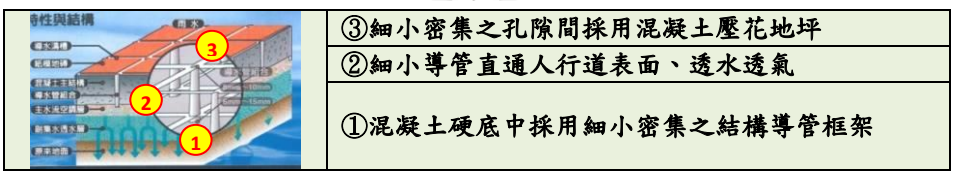


圖 12 「JW 工法」

3.6 各種透水鋪面工法優缺點比較

前述四種透水鋪面工法之優缺點比較詳**表 1**。目前新北市針對人行道工程原則上採行工法 2 及工法 3。若有較大廣場或學校校園則考量使用工法 4。

表1　各種透水鋪面工法比較表

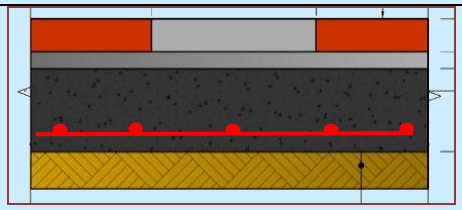
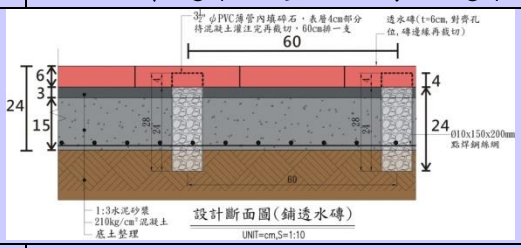
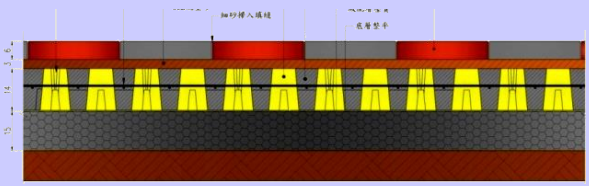
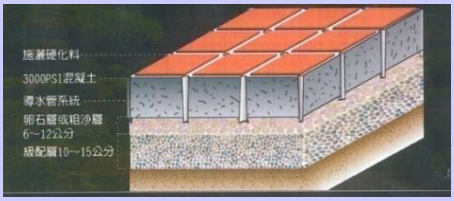
工法	工法 1 『透水混凝土大底』+『表面透水磚』			工法 2 『PVC 管透水大底』+『表面透水磚』
				
項目	**比較**	**說明**	**比較**	**說明**
1.工法理念	佳	兼具透水性及硬底功能，表面透水磚可全市統一	佳	兼具透水性及(半)硬底功能，表面透水磚可全市統一規格
2.材料規格	佳	透水混凝土可直接鋪面、亦可鋪透水磚，惟可供料廠商少	最佳	使用 PVC 管材料為最常見之土木建築用料，無爭議性
3.透保水性	最佳	理論上屬全表面均透水，若品質達標透水性確實極高	稍差	插設 PVC 管間距無法過密(孔隙約 5~10%)，滲透孔隙率較低。然底層保水性相同。
4.鋪面重壓抵抗性	可	屬硬底且有鋼絲網，然因透水需求、混凝土一般僅 175kgf/cm^2，不宜重車輾壓	稍佳	屬管式透水，210kgf/cm^2 混凝土及鋼絲網非全面積佈滿，可保證不發生局部高差，且因孔隙稍疏，鋼網混凝土大底佔比較多，較能抵抗偶有重車上下
5.「整體」施工性	可	雖僅設混凝土大底，然為保證透水孔隙，需專門廠商施工灌注	稍差	大底中插設 PVC 洩水管之施工程序較繁複，需一支支放樣插設、且需留意灌注混凝土需避免 PVC 管翻覆
6.施工「彈性」	最佳	因屬灌注混凝土、幾乎不受管障影響、彈性高	佳	大底中插設 PVC 洩水管方式，可以微調高程，且遇地下管線較多之人行道時，閃避調整性高
7.經費	極高	3,460 元/M^2	較佳	2,200 元/M^2 較便宜
8.施工工期	普通	因灌注混凝土孔隙要求高，每次灌注面積有限，每街廓仍較傳統硬底多 1 天施作	稍差	大底中插設 PVC 洩水管之施工放樣需較長期程，每個街廓約比全硬底多約 1.5 天
9.維修性	可	透水磚表面統一美觀，損害磚維修更換容易，然底層透水混凝土若塞孔幾乎無法改善	相同	30*30cm 透水磚表面統一美觀，損害磚維修更換容易，底部紙模孔可局部清塞

表1　各種透水鋪面工法比較表(續)

工法	工法 3 『紙模透水大底』+『表面透水磚』			工法 4 『JW 結構性空調導水鋪面』
				
項目	比較	說明	比較	說明
1.工法理念	佳	兼具透水性及(半)硬底功能，表面透水磚可全市統一規格	最佳	兼具透水、透氣及硬底功能，環保性佳惟難配合全市磚統一規格
2.材料規格	佳	透水紙模發展成熟有多家產品，屬於「管式透水理念」，惟表面必須鋪透水磚	佳	創新工法且屬唯一可達表層透氣，惟目前有專利限制，僅一家廠商
3.透保水性	佳	紙模透水孔隙率(約 30~35%)控制滲透率，屬半硬底不宜再提高孔隙率	佳	細小透水孔雖孔隙率僅 10%，惟因孔直達表面可加強排水效率
4.鋪面重壓抵抗性	可	因屬管式透水，210kgf/cm^2 混凝土及鋼絲網非全面積佈滿，可保證不發生局部高差，然仍不宜重車輾壓	可	細管式透水，混凝土比仍有 90%，然強度取決於透水結構管架
5.「整體」施工性	佳	整片之透水紙模擺放後再打設洩水孔較容易，平面丈量程序單純	佳	廠商已有 SOP 施工流程，且不用鋪磚，可節省部份時間
6.施工「彈性」	稍差	因紙模屬整片性，若遇較多地下管障時，該街廓局部無法施作紙模	稍差	因透水管架屬整片性，若遇較多地下管障時，該街廓局部無法施作
7.經費	中等	2,350 元/M^2	中等	2,725 元/M^2
8.施工工期	普通	整片之透水紙模擺放後再打設洩水孔，工法已成熟，每街廓僅比全硬底多一天	最佳	廠商有 SOP 流程，且不需鋪磚進度可較一般硬底鋪磚快 1 天
9.維修性	佳	透水磚表面統一美觀，損害磚維修更換容易，底部紙模孔可局部清塞	佳	表面透水孔可以洗孔，惟鋪面破損需採水泥修補，無法換預鑄品磚面

四、較適合新北市人行道兩種「透水鋪面」工法之功能檢算

如前述，目前新北市於人行道工程主要建議採用「PVC 管式透水大底+表面透水磚」及「紙模管式透水大底+表面透水磚」兩種工法，其相關功能檢算說明如下。

4.1 設計透水工法「單位面積透水率」計算

1.「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法

如下圖 13，養工處人行道 PVC 管式透水鋪面單位面積透水率計算圖，其中除儘可能提高透水性外，並同時考慮鋼絲網間距、施工可行性等，故設計於混凝土大底中留設 4”ØPVC 透水管、間距採 60*60cm 最佳，襯墊砂上方最終再覆以 6cm 厚 30*30cm 透水磚。此透水鋪面工法單位面積透水率估算如下：

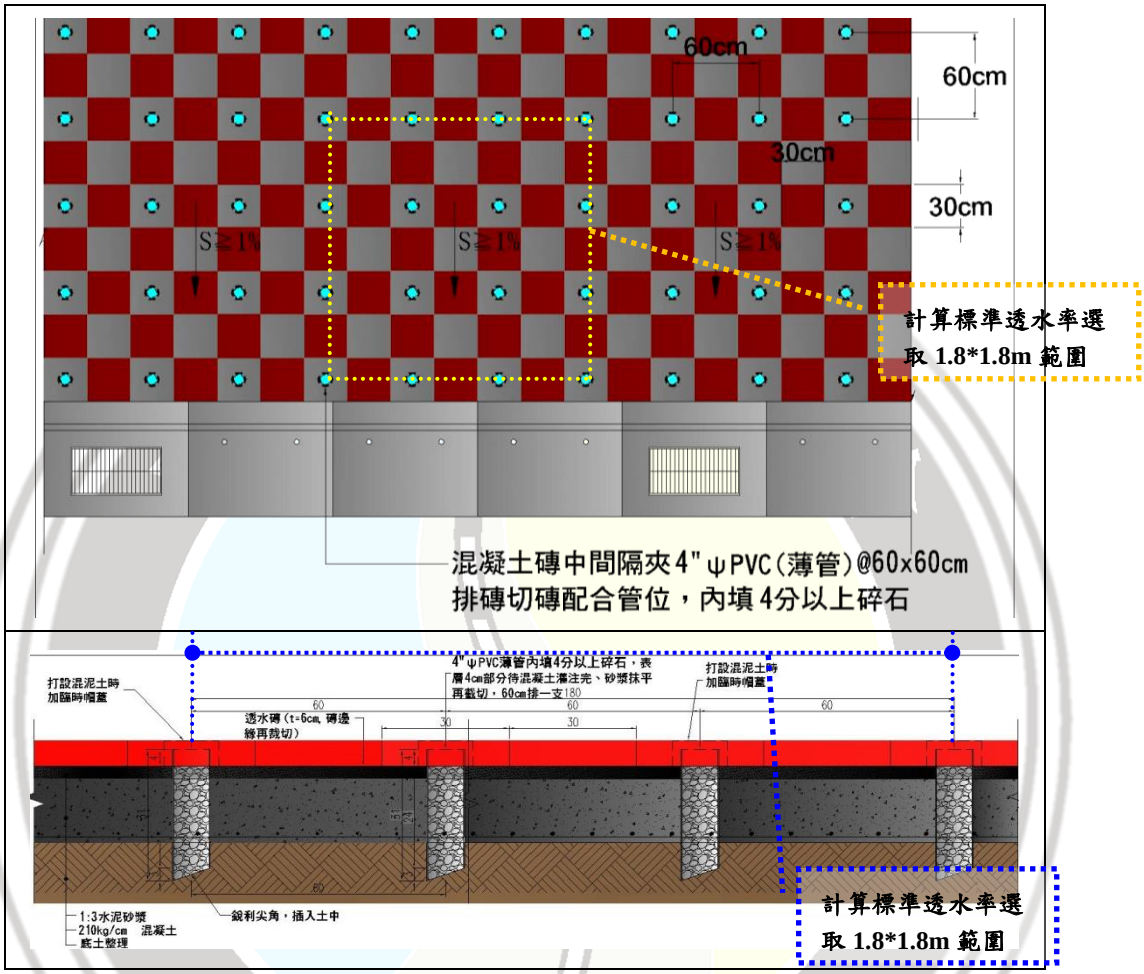


圖 13　養工處人行道 PVC 管式透水鋪面單位面積透水率計算圖

(1)計算面積選取以 6 整磚平方為基準，即取 1.8*1.8m=3.24m^2 範圍作為計算基準。

(2)透水孔洞率如圖 13，於 1.8*1.8m 範圍內平均有 11 孔、每孔直徑 4”(10.2cm)，孔洞面積=11*(π*0.102^2/4)=0.09m^2

(3)降雨強度選用依據經濟部水利署建議設計雨量強度公式

$I^5t=1119.5 / (t+15)^{\wedge 0.65236}$

(其中 I^5t: t 分鐘降雨延時情況下，5 年重現期降雨強度 mm/hr)

市區採 10min 降雨延時為設計基準

$I^5t=1119.5 / (10+15)^{\wedge 0.65236}=137.1$mm/hr

(4)透水磚面透水率磚面透水率=$1*10^{-2}$ cm/sec=360 mm/hr＞137.1mm/hr

代表 5 年重現期之降雨理論上均可直接滲入透水磚面!

(5)下方碎石級配層滲透率(夯實 90%)

a,級配孔隙大滲透率

初始狀態 k=1*10^{-3}m/sec=1*10^{-1}cm/see=3600 mm/hr＞**137.1mm/hr**，代表 5 年重現期之降雨理論上均直接滲入透水磚面後，以此較高滲透速率再往下滲入土壤!

最終狀態 f=1*10^{-5}m/sec=1*10^{-3}cm/sec=36mm/hr<137.1mm/hr，代表 5 年重現期降雨滲入透水磚後，往下滲的速度較慢、已無法全部下滲。

b.級配孔隙小滲透率

初始狀態 k=1*10^{-4}m/sec=1*10^{-2}cm/see=360 mm/hr＞**137.1mm/hr**，代表 5 年重現期之降雨理論上均直接滲入透水磚面後，以此較高滲透速率再往下滲入土壤!

最終狀態 f=1*10^{-5}m/sec=1*10-^{3}cm/sec=36mm/hr<137.1mm/hr，代表 5 年重現期降雨滲入透水磚後，往下滲的速度較慢、已無法全部下滲。

(6)降於磚面水量估計以新北市 5 年重現期降雨約 137.1mm/hr 降雨、10 分鐘降雨延時估算，即 10 分鐘於 2.4*2.4m 範圍內降水量=(10/60hr)*(137/1,000m/hr)*(1.8m*1.8m)=0.0739m3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

(7)藉由磚面及透水孔洞傳輸滲入地下之水量計算 5 分鐘內、1.8*1.8m 磚面範圍，其下方大底之透水孔洞面積如第 2 點計算為 0.09m^2，故此時間內藉磚面、孔洞滲入土中水量如下:

a,級配孔隙大之情況

初始狀態(1*10^{-3}m/sec)*(10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.09m^2)=0.054m^3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

最終狀態(1*10^{-5}m/sec)*(10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.09m^2)=0.00054m^3(每 10 分鐘、每 3.24m^2 範圍)

b.級配孔隙小之情況

初始狀態(1*10^{-4}m/sec)*(10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.09m^2)=0.0054m^3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

最終狀態(1*10^{-5}m/sec)*(10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.09m^2)=0.00054m^3(每 10 分鐘、每 3.24m^2 範圍)

由上述 1~7 點說明，於標準之 5 年重現期、10 分鐘延時降雨來襲，降於 1.8*1.8m 磚面範圍雨水量為 0.0739m3，於此時間內可藉由「下方透水孔大底+透水磚面」滲入其下土壤之水量為 0.054m3~0.0054m3(級配孔隙大)、0.0054m^3~0.00054m^3(級配孔隙小)，即代表:

採用「PVC 管式透水大底+表面透水磚」之單位面積透水率

(級配孔隙大時)(初始狀態)=0.054m^3/0.0739m^3 ≒73%!→(最終狀態)=0.00054m^3/0.0739m^3 ≒0.073%

(級配孔隙小時) (理想狀態)=0.0054m^3/0.0739m^3 ≒0. 73%!→(最終狀態)=0.00054m^3/0.0739m^3 ≒0.073%

2.「紙模管式透水大底+表面透水磚」工法

如下圖 14，其中除儘可能提高透水性外，並同時考慮鋼絲網間距、施工可行性等，故設計於混凝土大底中留設透水紙模、一般要求透水管孔占比 25%~35%最宜，可兼顧

透水性及承載強度，襯墊砂上方最終再覆以 6cm 厚 30*30cm 透水磚。此透水鋪面工法單位面積透水率估算如下:

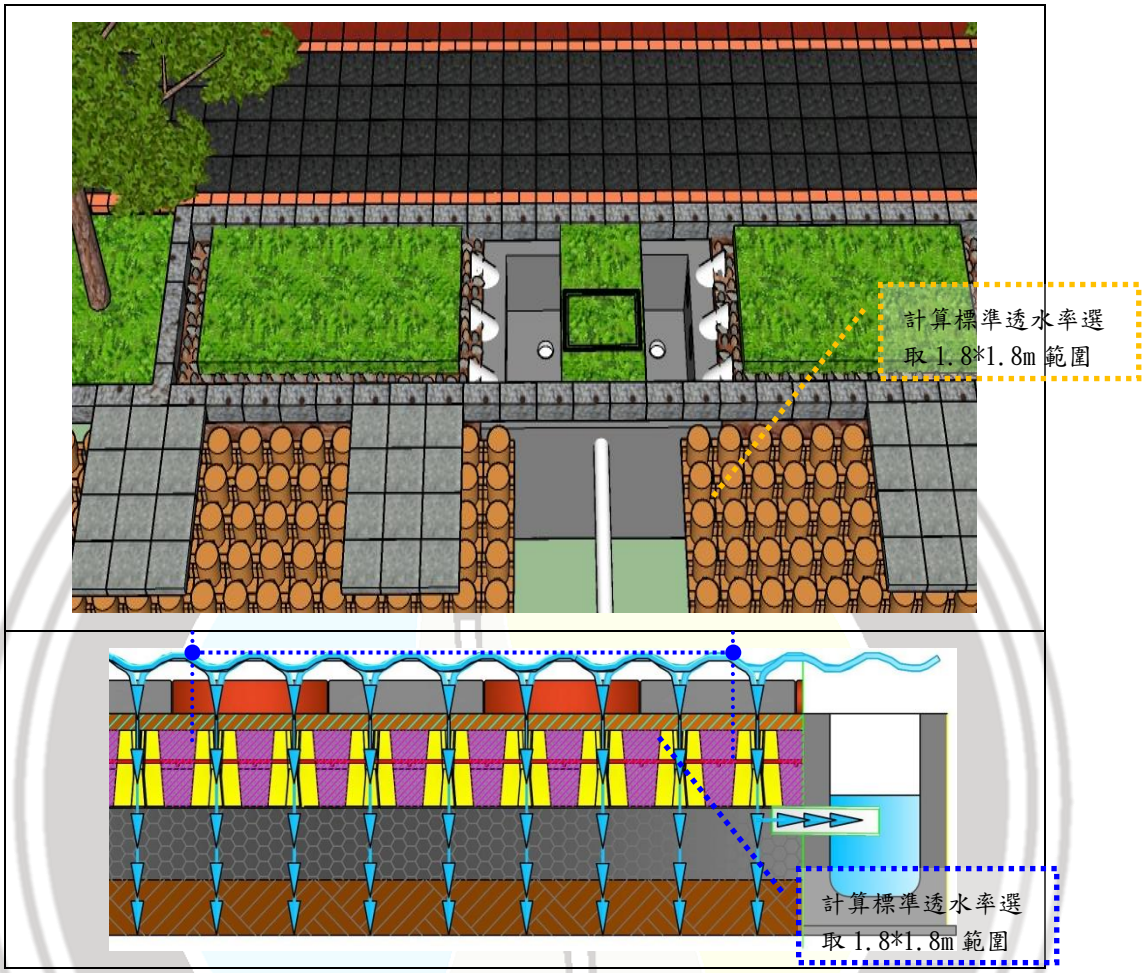


圖 14　養工處人行道紙模管式透水鋪面單位面積透水率計算圖

(1)計算面積選取以 6 整磚平方為基準，即取 1.8*1.8m=3.24m^2 範圍作為計算基準。

(2)透水孔洞率如圖 14，於 1.8*1.8m 範圍內平均 30%孔洞面積=1.8*1.8*30%=0.972m^2

(3)降雨強度選用依據經濟部水利署建議設計雨量強度公式

$I^5t=1119.5 / (t+15)^{\wedge 0.65236}$

(其中 I5t: t 分鐘降雨延時情況下，5 年重現期降雨強度 mm/hr)

市區採 10min 降雨延時為設計基準

$I^5t=1119.5 / (10+15)^{\wedge 0.65236}=137.1mm/hr$

(4)透水磚面透水率磚面透水率=$1*10^{-2}$ cm/sec=360 mm/hr＞137.1mm/hr

代表 5 年重現期之降雨理論上均可直接滲入透水磚面!

(5)下方碎石級配層滲透率(夯實 90%)

a,級配孔隙大之情況

初始狀態 k=$1*10^{-3}$m/sec=$1*10^{-1}$cm/see=3600 mm/hr＞**137.1mm/hr**，代表 5 年重現期之降雨理論上均直接滲入透水磚面後，以此較高滲透速率再往下滲入土壤!

最終狀態 f=1*10^{-5}m/sec=1*10^{-3}cm/sec=36mm/hr<137.1mm/hr，代表 5 年重現期降雨滲入透水磚後，往下滲的速度較慢、已無法全部下滲。

b.級配孔隙小滲透率

初始狀態 k=1*10^{-4}m/sec=1*10^{-2}cm/see=360 mm/hr＞**137.1mm/hr**，代表 5 年重現期之降雨理論上均直接滲入透水磚面後，以此較高滲透速率再往下滲入土壤!

最終狀態 f=1*10^{-5}m/sec=1*10-^{3}cm/sec=36mm/hr<137.1mm/hr，代表 5 年重現期降雨滲入透水磚後，往下滲的速度較慢、已無法全部下滲。

(6)降於磚面水量估計以新北市 5 年重現期降雨約 137.1mm/hr 降雨、10 分鐘降雨延時估算，即 10 分鐘於 1.8*1.8m 範圍內降水量=(10/60hr)*(137/1,000m/hr)*(1.8m*1.8m)=0.0739m^3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

(7)藉由磚面及透水孔洞傳輸滲入地下之水量計算 5 分鐘內、1.8*1.8m 磚面範圍，其下方大底之透水孔洞面積如第 2 點計算為 0.972m^2，故此時間內藉磚面、孔洞滲入土中水量如下:

a,級配孔隙大之情況

初始狀態(1*10^{-3}m/sec)*(10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.972m^2)=0.5832m^3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

最終狀態(1x10^{-5}m/sec)* (10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.972m^2)=0.005832m^3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

b,級配孔隙小之情況

初始狀態(1*10^{-4}m/sec)*(10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.972m^2)=0.05832m^3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

最終狀態(1x10^{-5}m/sec)* (10 分鐘)*(60 秒/分鐘)*(0.972m^2)=0.005832m^3(每 10 分鐘、每 3.24 m^2 範圍)

由上述 1~7 點說明，於標準之 5 年重現期、10 分鐘延時降雨來襲，降於 1.8*1.8m 磚面範圍雨水量為 0.0739m^3，於此時間內可藉由「下方透水孔大底+透水磚面」滲入其下土壤之水量為 0.5832m^3~0.005832m^3(級配孔隙大)、0.05832m^3~0.005832m^3(級配孔隙小)，即代表:

採用「PVC 管式透水大底+表面透水磚」之單位面積透水率

(級配孔隙大時)(初始狀態)=0.5832m^3/0.0739m^3 ≒100%!→(最終狀態)=0.005832m^3/0.0739m^3 ≒0.079%

(級配孔隙小時) (初始狀態)=0.05832m^3/0.0739m^3 ≒78. 9%!→(最終狀態)= 0.005832m^3/0.0739m^3 ≒0.079%

4.2 管式透水大底工法經費

1. 「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法經費

「鋪透水磚(PVC 管式透水半硬底工法」單位面積經費詳為**表 2**。

表2 『PVC管式透水大底』+『表面透水磚』經費估算表(每M^2)

鋪透水磚(PVC 管式透水半硬底工法)		單位：M2			
工料名稱	單位	數量	單價	複價	備註
透水磚	M2	1.000	460.00	460.00	
210kg/cm^2 預拌混凝土及澆置	M3	0.150	2,200.00	330.00	
碎石級配底層	M3	0.150	600.00	90.00	
襯墊砂	M3	0.030	700.00	21.00	
不織布	M2	1.050	180.00	189.00	
點銲鋼絲網(9x200x200)	M2	1.100	260.00	286.00	
4"PVC 洩水薄管(L=28cm)	支	2.200	30.00	66.00	
技工	工	0.100	2,300.00	230.00	含打底、埋管
小工	工	0.100	1,800.00	180.00	含打底、埋管
工具損耗	式	1.000	10.00	10.00	
利潤、管理、保險、稅捐 5%	式	1.000	258.00	258.00	合計約各項和之 15%
合計	M2	1.000		2,120.00	
		每 M2 單價計		2,120.00	

2.「紙模管式透水大底+表面透水磚」工法經費

「紙模透水工法」單位面積經費詳為**表 3**。

表3 『紙模管式透水大底』+『表面透水磚』經費估算表(每M^2)

鋪透水磚(紙模透水半硬底工法)		單位：M2			
工料名稱	單位	數量	單價	複價	備註
透水磚	M2	1.000	460.00	460.00	
210kg/cm^2 預拌混凝土及澆置	M3	0.130	2,200.00	286.00	
碎石級配底層	M3	0.150	600.00	90.00	
襯墊砂	M3	0.030	700.00	21.00	
不織布	M2	1.050	180.00	189.00	
點銲鋼絲網(9x150x150)	M2	1.100	290.00	319.00	
透水紙模具	M2	1.050	300.00	315.00	
技工	工	0.100	2,300.00	230.00	含打底、埋管
小工	工	0.050	1,800.00	90.00	含打底、埋管
工具損耗(含溢流管)	式	1.000	40.00	40.00	
利潤、管理、保險、稅捐 5%	式	1.000	300.00	300.00	合計約各項和之 15%
合計	M2	1.000		2,340.00	
		每 M2 單價計		2,340.00	

五、新北市常使用之「PVC 管式透水大底+表面透水磚」工法實例及功能優缺

於此舉例新北市政府於新店區寶橋路使用 PVC 管式透水大底工法之實例供參，說明如下。

5.1「PVC 管式透水大底+表面透水磚」施工程序

採用上述『PVC 管式透水大底』+『表面透水磚』工法，詳下圖 15。

STEP 1:現有底土含碎石層壓實後排鋼絲網

STEP 2：5’ PVC 洩水管插入底土中，內置粗碎石

STEP 3:灌注 15cm 厚 210kg/cm^2 混凝土硬底

STEP 4：混凝土大底養護完成

STEP 5:裁切凸出洩水管至下一步驟預計墊砂高

STEP 6：洩水管內先填充物避免塞管後續墊砂

STEP 7：依水線調整高程

STEP 8：邊取出 PVC 洩水管填充物邊鋪磚

STEP 9 ：鋪透水磚完成!

圖 15 「PVC 管式透水大底+表面透水磚」施工程序圖

5.2 示範基地『管式透水鋪面+表面透水磚』保水說明

依「公共設施用地開發透水保水評估」演算方式，計算新店區寶橋路透保水性如**表4**。其中管型透水鋪面(表面透水磚)保水量 Q2=0.3*A2*f*t+0.3*h*A2(m^3)=**16.989m^3**，若假設現地完全為未開發裸地相比較，保水比 λ 值可達 10.54%之功效。惟因其原始為非透水鋪面之人行道，以此概念則大幅提升了基地保水性!

中華鋪面工程學會 CSPE 2000

日期: 107 年 9 月 30 日

表4　公共設施用地開發透水保水評估表(『管式透水鋪面+表面透水磚』)

項次	工程名稱	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(4)*(1)*(2)	(6)	(7)	(8)=0.5*(6)*(1)*(2)+0.05*(7)*(6)	**(9)=0.5*(6)*(1)*(2)+0.3*(7)*(6)**	(10)=(5)+(9)	(11)=(3)*(1)*(2)	(13)=(10)/(11)
		基地最終滲透係數 f(m/s)	1 日秒數 t(s)	用地面積 A0(m^2)	綠地、被覆地、草溝面積 A1(m^2)	綠地、被覆地、草溝保水量 Q1=A1*f*t (m^3)	透水鋪面面積 A2(m^2)	透水鋪面基層厚度 h(m)	連鎖磚型透水鋪面保水量 Q2=0.5*A2*f*t+0.05*h*A2 (m^3)	**管型透水鋪面保水量 Q2=0.5*A2*f*t+0.3*h*A2(m^3)**	各類保水設計保水量 Q'=Q1+Q2 (m^3)	原土保水量 Q0=A0*f*t (m^3)	用地保水設計值 λ=Q'/Q0
1	新北市養工處人行道	1.0E-05	86,400	400	23	19.44	378	0.15		**16.98939**	36.4294	345.6000	0.105409

六、新北市常使用之「PVC 紙模管式透水大底+表面透水磚」工法實例及功能優缺

於此舉例新北市於淡水區濱海路(淡海輕軌人行環境改善第三標)使用紙模管式透水大底工法之實際供參，說明如下：

6.1「紙模管式透水大底+表面透水磚」工法施工程序

「紙模管式透水大底+表面透水磚」工法施工程序詳圖 16。

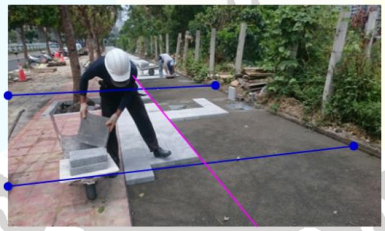
STEP 1: 透水紙模鋪設	STEP 2:焊接鋼線網鋪設查驗	STEP 3：澆置前高程控制
STEP 4：透水地坪澆置	STEP 5:透水孔隙碎石搗實	STEP 6：不織布鋪設
STEP 7:透水磚鋪設前將砂震實	 STEP 8：坡度 5m 一間距測量	STEP 9 ：鋪透水磚完成!

圖 16 「紙模管式透水大底+表面透水磚」施工程序圖

6.2 示範基地「紙模管式透水大底+表面透水磚」保水說明

依「公共設施用地開發透水保水評估」演算方式，計算新店區寶橋路透保水性如表 5。其中管型透水鋪面(表面透水磚)保水量 Q2=0.3*A2*f*t+0.3*h*A2(m^3)=**788.62m^3**，若假設現地完全為未開發裸地相比較，保水比 λ 值可達 12.84%之功效，惟此改善後人行道考量管線設施帶及自行車道之需求，設計時即未採用全鋪面透水，此保水性已達目標。且因其原始為非透水鋪面、全面 AC 鋪面之人行道，以此概念相比則大幅提升了基地保水性!

日期: 107 年 9 月 30 日

表5　公共設施用地開發透水保水評估表(「紙模管式透水大底+表面透水磚」)

項次	工程名稱	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(4)*(1)*(2)	(6)	(7)	(8)=0.5*(6)*(1)*(2)+0.05*(7)*(6)	**(9)=0.5*(6)*(1)*(2)+0.3*(7)*(6)**	(10)=(5)+(9)	(11)=(3)*(1)*(2)	(13)=(10)/(11)
		基地最終滲透係數 f(m/s)	1 日秒數 t(s)	用地面積 A0(m^2)	綠地、被覆地、草溝面積 A1(m^2)	綠地、被覆地、草溝保水量 Q1=A1*f*t (m^3)	透水鋪面面積 A2(m^2)	透水鋪面基層厚度 h(m)	雨水花園滲透井保水量 Q7=3*f*n*t+0.015*n (m^3)	**管型透水鋪面保水量 Q2=0.5*A2*f*t+0.3*h*A2(m^3)**	各類保水設計保水量 Q'=Q1+Q2+Q7 (m^3)	原土保水量 Q0=A0*f*t (m^3)	用地保水設計值 λ=Q'/Q0
1	新北市養工處人行道	1.0E-05	86,400	9,731	913	788.62	4,256	0.15	99.07	**191.54128**	1079.2233	8407.5840	0.128363

6.3「紙模管式透水大底+表面透水磚」透水性現地測試

1.簡易測試

於現場完成面直接灑水於完成之透水鋪面，顯見均佈降水幾乎於 8 秒內即全部下滲完成，詳圖 17。

灑水於透水鋪面	立即下滲情況	下滲完全情況

圖 17 「紙模管式透水大底+表面透水磚」現地簡易測試示意

2.計時測試

於現場以 30x30cm 方框之壓克力(可止漏水)容器，於現場注入 2,000cc 之清水，測試約於 38 秒內水頭即全部下滲透水鋪面，詳圖 18，透水係數計算如下：

$(2{,}000cm^3 / 900cm^2)$ (水頭高) / 38sec = 0.058 cm/sec > 0.01 cm/sec

由此顯見依據前述第五點之計算，可證明下方碎石級配層之透水率為高於 10^{-4}m/sec 之情況，若有 **137.1mm/hr** 之降水幾乎可以 100%有效滲透!

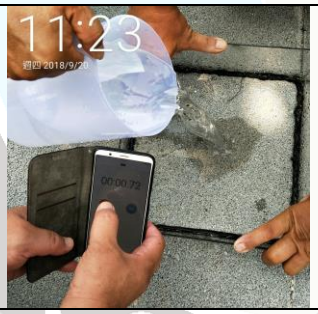
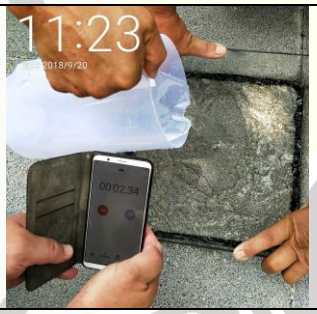
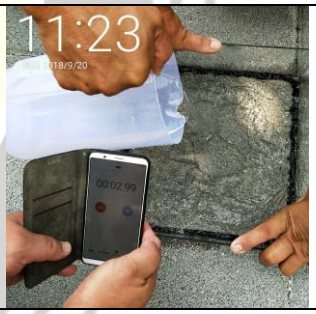
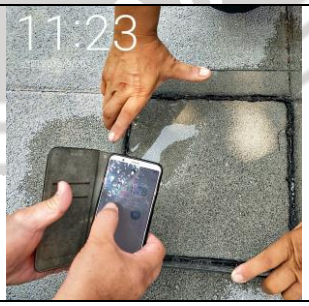
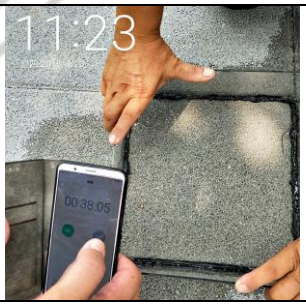
			
0 秒開始注意	0 秒 79 注水中	2 秒 34 注水中	2 秒 99 注水完畢
			
7 秒 68 水頭情況	24 秒 22 水頭情況	31 秒 78 水頭情況	38 秒 05 水頭完全入滲

圖 18 「紙模管式透水大底+表面透水磚」現地計時測試示意

6.4 雨水花園匯水下滲現地測試

另前述本案於區內人行道中央 1.5m 寬度之連續喬木間加設 1.5m 寬之長型綠帶，並於綠帶邊緣沃土下施作導水碎石盲溝，當落入沃土之降水入滲至近乎飽和時，將會飽滿進入盲溝，沿著路徑進入施作之雨水花園(撲滿)中，詳圖 19。

於花園井底部留設 6 個 3”φ 之下滲孔，進水靜置緩慢下滲至基土層。

<table>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>灑水於草地至飽和參酌</td><td>注水於花園井方式</td><td>注水滿溢</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>儲水下降</td><td>儲水下降(續)</td><td>儲水下降完全</td></tr>
</table>

圖 19　雨水花園匯水下滲現地測試示意

6.5 長時間降雨現地情形

經過上述多種測試，可證明無論「紙模管式透水大底+透水磚面」、「複層長綠帶」、「雨水花園井(撲滿)」均有預定之功效，實際於 107 年 8 月 23 日~25 日大雨期間至現場觀察，可見此等工法組合的效果，詳圖 20。

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>現地情況 1</td><td>現地情況 2</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>現地情況 3</td><td>現地情況 4</td></tr>
</table>

圖 20　107 年 8 月 23~25 日大雨後現地成效

七、綜合討論

7.1 各種透水鋪面採用檢討

如前述，新北市主要考量造價因素，目前尚未實際試行透水混凝土工法，僅就其他三種有施作經驗之工法檢討如下。

1.「PVC 管式透水大底+透水磚面層」工法

此工法因 PVC 管孔固定因素，較無法大幅提升孔洞率，致透水性亦無法有效提升，不建議優先採用；然若現場條件無法採用紙模管式大底，或屬開口合約，工項有限制時，可考慮使用，仍有一定之效果。

2.「紙模管式透水大底+透水磚面層」工法

此工法無論就理論計算，現地測試，其效果均可證明良好，且施工已有一定之 SOP 程序，不屬困難，故若現地條件許可，目前新北市均建議優先採用，為最優先之工法。

3.「JW」工法

因考量全市統一鋪磚之原則，近期較少有此工法之實例。惟先前數年曾於板橋區雙十路試作，初期效果良好，然經多年使用已出現透水孔洞塞管之情形，應另行編列洗孔經驗改善。目前以優先使用於廣場、公園、學校等寬廣空間為原則。

7.2 新北市目前人行道節能減碳工法原則

綜合上述各項討論，目前新北市針對人行道節能減碳工法原則如下：

1.透水鋪面：現地條件許可優先使用「紙模管式透水+表面透水磚」工法，效果可證明。

2.植栽綠化：現場人行道行廓設施帶寬度、長度足夠時，優先使用「複層植栽長綠帶+雨水花園(撲滿)」，除植栽之綠化功效，其儲水下滲之效果亦可證明。

圖 21　新北市建議之人行道鋪面節能減碳策略