

# 城鎮暴雨防制行動方案：

## 宜蘭縣蘇澳鎮

柳中明、陳起鳳、崔鳳修

中華民國低碳環境學會

陳明烈

陳明烈建築師事務所

主辦單位：中華民國低碳環境學會



贊助單位：台達電子文教基金會



中華民國一〇〇年十二月十日

## 摘要

本報告乃「台達電子文教基金會」所支持之研究計畫：「暴雨新紀元下都市脆弱度界定與調適策略評估：高承載透水鋪面之治水可行性評估」之結論報告之一。已完成之報告包括：推算「都市暴雨臨界點」，其乃依人口密集地區的內水、外水負荷，推算出各城鎮會出現低、中、高暴雨臨界點的狀況。簡易的報告，可查閱 [http://lowestc.blogspot.com/2011/10/blog-post\\_29.html](http://lowestc.blogspot.com/2011/10/blog-post_29.html)。若當地的暴雨達到中臨界點，則當地會淹水一層樓高，若是達到高臨界點，則會淹水二層樓高。

此外，《高承載透水道路在「建築防洪」與「道路排水」應用之設計探討》報告，乃在該特殊道路(或鋪面)發明人的協助下完成，詳細分析高承載高透水道路的工法原理、效益與應用。

本報告乃探討如何在不斷出現破紀錄暴雨的時代，讓各城鎮變成吸水大海綿，以在政府無法全面將各地排水與排洪標準的狀況下，解除民眾對於暴雨威脅的恐慌。並以宜蘭縣蘇澳鎮為例，說明長期的「城鎮暴雨防制行動方案」。

原則上，「高承載透水鋪面」的發明，讓「建築防洪」與「道路排水」成為可以被落實的概念。如讓建築達成「暴雨儲水」、「地底排水」與「基地保水」等功能，且可以「建設環保、生態的藝術空間」，來強化整體建築的美感。同時，搭配砂石層與內設之透排水管，可以讓道路表層不積水，排水系統不阻塞，砂石層儲水與排水兼備，排水系統之所需排水量減少而形成自動抬高排水標準，道路由高往低在鋪面之下進行排水等。使得城鎮不僅變成吸水大海綿，在暴雨發生時，還是會快速漏水的大海綿，顯著提高城鎮之中、高暴雨臨界點，與減輕暴雨災情。

要讓「高承載透水鋪面」能夠有效發揮作用的關鍵就是：擴大鋪設面積，最佳是所有人工鋪面都改使用此鋪面。但這種全面鋪設的期望是不真實的，根本不可能在此全球金融危機不斷發生的年代，進行大規模鋪面與道路更換的工程。比較合理的作法是：配合各市鎮所轄管的公園、人行道、停車場、廣場及平面道路，每年都需編列固定經費進行維修與更新之際，逐年逐步進行更換。

本報告取宜蘭縣蘇澳鎮為例，說明該地區人口與商業活動最重要的火車站附近，乃是暴雨臨界點相當低與脆弱的地點。2010/10/21 已出現淹水一層樓高，若是 2011/10/3 落在附近大同鄉 1600mm 的雨量落在蘇澳火車站，則將淹水二層樓高，且將付出相當代價。同時分析說明政府的治水策略，僅在提高雨水下水道的實施率，而非在提高排水標準，所以出現中、高暴雨臨界點的降雨時，淹水一層樓或二層樓，仍將無法避免。

本研究團隊無法協助各地區，短期內，快速提升當地之中、高暴雨臨界點，以在未來出現破紀錄豪雨時，可以被驚嚇，但卻不會擔憂出現破紀錄損失而驚慌。

本報告強調長期行動，即將對暴雨防制的工作，適之為當地永續發展基礎，逐年逐步長期推動。並強調：觀念的改變才是一切行動的基石，所提出的「城鎮暴雨防制行動方案」，就是以教育宣導及建立當地施工及監測團隊為基礎，期望所有民選官員、民意代表及民眾，都能將期望短期奏效的心態，改變為長期穩定建立永續不受暴雨威脅的行動。

本報告雖以蘇澳鎮為例，但所提出的問題、觀念與行動方案，乃是對所有人口密集地區都是有效的。且也是對全球各地的市鎮暴雨治理一樣有效，期望未來能推廣到世界各地。

## 目 錄

摘要	1
第一章 基本概念	4
1.1 都市變成吸水大海綿：建築防洪	4
1.2 都市變成吸水大海綿：道路排水	9
1.3 「高承載高透水鋪面」	9
第二章 宜蘭縣蘇澳鎮	11
2.1 自然環境與氣候	11
2.2 暴雨臨界點	14
2.2.1 蘇澳鎮內在調適能力-內水排水容受力	16
2.2.2 蘇澳鎮內在調適能力-外水排水容受力	17
2.2.3 蘇澳鎮暴雨臨界點分析結果	17
2.3 暴雨防制	19
2.3.1 蘇澳鎮現有治水策略	19
2.3.2 暴雨防制分析	20
2.4 小結	23
第三章 城鎮暴雨防制行動方案	25
3.1 原則	25
3.2 運用「高承載高透水鋪面」	27
3.3 城鎮暴雨防制行動方案	30
第四章 結論	33
參考文獻	33

# 第一章 基本概念

## 1.1 都市變成吸水大海綿：建築防洪

氣候變遷趨勢中，全球各地破記錄豪雨不斷發生，堪以進入「暴雨新紀元」稱之。同時，人為治水緩不應急，傳統工法受限於經費，治水標準趕不上暴雨新記錄。「中華民國低碳環境學會」在2010年提出「建築防洪」與「道路排水」的治水策略，前者乃要求暴雨來臨時，各建築物必須儲存相當雨量，以降低都市內排水系統的承受壓力；後者乃將傳統道路改變為透水道路，讓雨水直接進入到道路之下流動，而非在道路之上流動，以免排水系統阻塞而致快速淹水。此二建議是要與傳統治水工法相輔相成，期望的是讓人口集中的都市，不會發生雨勢過大、排水不及而致淹水的現象，更是要讓整個都市變成吸水大海綿，暴雨均勻進入所有水泥鋪面與建築之下。

2011年9月29日，高雄市政府創全國之先，在市政會議上通過「高雄市綠建築自治條例」草案，制定較中央綠建築專章更高減碳標準規定。其中，要求「建築基地應實施基地保水設計」，以及「建築物應於地下筏式基礎坑或擇基地地下適當位置，設置豪暴雨水貯集設施」等，就是符合「建築防洪」的概念。目前，前者已有「建築基地保水設計技術規範」可依據，後者則仍待高雄市政府制定。

原則上，「建築防洪」是要求在建地範圍內，增建滯洪池與地下水庫，其一定會增加建築成本，導致房價提高，此在先天上就不易執行。雖然此概念不僅是在歐美國家推動多年，且也在印度、新加坡等東南亞多雨國家，推動多年，但在台灣，則因房價考量，比較難推展。

但是，建築必定環繞人行道、車道、停車場、廣場、綠地等(圖1)，若果

使用「高承載高透水鋪面」，讓雨水快速進入表層之下，儲存於砂石層內，就可成為有效的地下水庫。在美國，許多地區要求鋪面之下，至少需設50公分深的三層砂石層，與安裝透排水管。其用意是儲存與過濾雨水，再回灌綠地。暴雨過大之時，可經透排水管，於地底傳輸洪水到都市排水系統。如此可有效避免建築附近積水，且所需經費是在可控制的合理範圍之內。

當然，此處對於「高承載高透水鋪面」必須明確要求。

- 一、 透水鋪面之下，絕不允許設置石灰石、水泥等阻絕雨水進入土壤的材料。
- 二、 透水鋪面必須每年檢驗其高透水性，而非僅在完工時通過檢驗。
- 三、 透水鋪面必須至少承受搬家卡車的壓碾，不容許輕易損壞，導致建築用戶定期要浪費資源來修補更換，最佳是「鋪面與建築同壽」，若建築不需修補，鋪面就不應修補。
- 四、 應在透水鋪面之下鋪設至少50公分砂石層，加設透排水管，雨量少時可儲水，雨量高時可排水。達到「暴雨儲水」、「地底排水」的效益。

現今，國內綠建築標章僅強調「基地保水」，且提出基地保水的估算公式。其最大問題是：期望基地內的土壤，在經過二天後，緩慢滲水進入。如此就不用對表層的透水鋪面進行每年的檢定，因為不必要求其每年維持高透水率。同時，期望土壤層能夠滲水儲存，此乃對台灣各地土質，特別是都市內建地土質，予以過高的期望。設若使用「高承載高透水鋪面」，搭配下設50公分深砂石層，則不僅在暴雨時，進行「暴雨儲水」；且因為雨水先儲存在砂石層內，再進入土壤層，則可以至少經過四天到七天的時間，來進行土壤層滲水與保水，所會達到的「基地保水」量，將會是現今綠建

築標章所期望的2~3.5倍，更不用擔心土壤滲水率是否偏低。

(a) 人行道



(b) 車道



(c) 停車場



(d) 廣場兼車道



圖1：「建築防洪」：人行道、車道、停車場、廣場等使用「高承載高透水鋪面」，搭配下設50公分深砂石層與透排水管，達成「暴雨儲水」、「地底排水」與「基地保水」等功能。

許多建築師、建商等，都會想：內政部又沒要求，何必如此費心思？其實，所有建築四周都必定環繞人行道、停車場、廣場、綠地等，現在只不過將目前這些鋪面的標準略為提高，其對整體建案的資金，不可能提高許多。特別是：許多建案都是重視內部豪華與舒適，所以將外部鋪面的經費壓到最低，且是在工程最末，經費都被壓擠到最差狀況時，才鋪設外部鋪面。事實上，「高承載高透水鋪面」加上50公分砂石保水層，是可以讓建築四周保水、降溫，且可讓生態系統存活於砂石層之下的土壤層，而達到分解雨水及空氣污染物，改善建地四周空氣品質，提升建地四周綠地植被生長狀況。再加上「高承載高透水鋪面」的表層可以依據建築師設計，進行任何類型的藝術圖案設計，以吸引人們目光。簡言之，建築物本身不僅會達到綠建築標章的要求，還可以「建設環保、生態的藝術空間」，來強化整體建築的美感，其取代傳統鋪面而增加付出的額外經費，即不可能太多，且絕對是值得的。

近年來，國內許多老舊社區進行更新，有些是拆除重建，有些是外觀拉皮，有些是強調綠美化。其中，改造與美化後巷，深受重視。台北某鄰里就是使用「高承載高透水鋪面」，將後巷的排水溝完全遮蔽(圖2)，阻絕老鼠、蟑螂棲息，也避免雨水累積，滋養蚊蟲。設若南部各鄰里也使用「高承載高透水鋪面」來遮蔽排水溝，每年秋季的登革熱患者，應會顯著減少。

至於許多建築用戶都特別感興趣的綠屋頂及雨水回收再利用，更是可與目前所推薦的工法相搭配。重點是：「高承載高透水鋪面」與其所使用的建材，應是會讓建築師與建商，在不增加過多經費的原則下，有更大的想像發揮空間。當然，也就能實現低碳環境學會所期望之「將都市變成吸水大海綿」。

本節介紹「建築防洪」概念，與推薦「高承載高透水鋪面」的應用。但

是，這是牽涉到建商、建築師、建築用戶、大眾觀感等眾人意識，政府若未得到建築界的普遍支持，很難強制要求建築需具備「基地保水」與「暴雨儲水」功能。期望政府在訂出相關條例後，能夠積極落實。



圖2：(a)骯髒的後巷，注意左側的排水溝是老鼠、蟑螂、蚊蟲的溫床。(b) 使用「高承載高透水鋪面」，將後巷的排水溝完全遮蔽，也將防止髒亂與傳染疾病。

## 1.2 都市變成吸水大海綿：道路排水

要將都市變成吸水大海綿的第二個策略，就是「道路排水」。其可行性非常高，因為各市鎮所轄管的公園、人行道、停車場、廣場及平面道路，每年都需編列固定經費進行維修與更新。在不需要特別訂定專案計畫，以爭取額外預算的原則下，各市鎮主管單位，只要選定「高承載高透水鋪面」逐年逐步更換所有人工鋪面(圖3)，就可讓雨水均勻地進入市鎮所有鋪面與道路之下，砂石層負責儲存，透排水管負責輸導，與現有排水防洪系統、雨水回收系統相輔相成。如此，一方面沒有表面徑流，不需擔憂暴雨沖刷路面沙塵與落葉，導致排水孔蓋阻塞與部份地區淹水；另一方面雨水分散儲存，減輕排水系統所需處理的排水量，加速洪水排除；平日還可使用儲存的雨水，再利用之。

本計畫在「台達電子文教基金會」支持下，已完成台北市、原高雄市、原台中市、以及宜蘭縣蘇澳鎮的暴雨臨界點分析。根據國家現有的水利設施標準，蘇澳鎮的排水與防洪設施的強度都是最低的，所以比起其他被分析的城市，蘇澳鎮的暴雨容受力最差，臨界點的降雨條件最容易發生。更且，蘇澳鎮與宜蘭地區，近年來一再出現破紀錄豪雨災情。本報告乃針對蘇澳鎮蘇澳溪排水現況，探討高臨界點暴雨狀態之防制策略。重點在分析傳統圍堵與疏導工法的需求，以及採用「高承載高透水鋪面」輔助的效益與可行方案。

## 1.3 「高承載高透水鋪面」

相關的資訊不再於本報告中重述，想深入了解者，請閱讀《高承載透水道路在「建築防洪」與「道路排水」應用之設計探討》(陳等，2011)，該報告可自「中華民國低碳環境學會」的網頁下載。

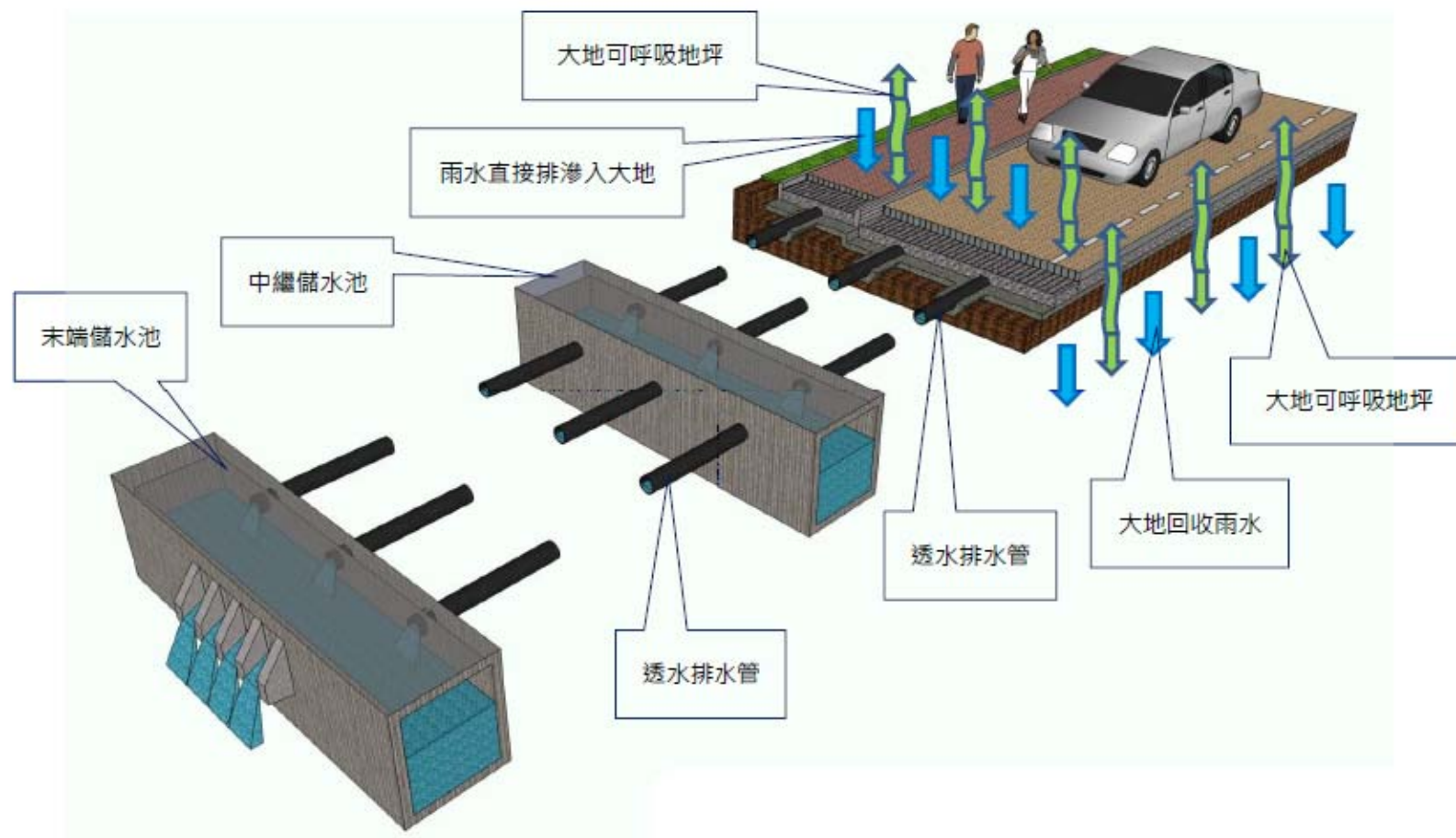


圖 3：「道路防水」：逐年逐步更換所有人工鋪面為「高承載高透水鋪面」，就可讓雨水均勻地進入市鎮所有鋪面與道路之下，砂石層負責儲存，透排水管負責輸導，與現有排水防洪系統、雨水回收系統相輔相成。

## 第二章 宜蘭縣蘇澳鎮

### 2.1 自然環境與氣候

蘇澳鎮為宜蘭縣東南部城鎮，地勢狹長且由西南向東北傾斜，全長四十餘公里，東臨太平洋，西北與冬山、五結兩鄉接壤，西南與南澳鄉相連接，南方則有中央山脈阻隔，形成三面環山，一面臨海的封閉區域。屬東亞熱帶氣候，夏季炎熱，冬季多雨，由於受到季風影響，雨量充沛。鎮內主要河川有新城溪、蘇澳溪及南澳溪，由東向西分別沖積出新馬平原(新城溪)、蘇澳平原(蘇澳溪)、南澳平原(南澳南、北溪)，除以上沖積平原外，蘇澳鎮其餘地區均為陡峻的山嶺與斷崖，海拔超過 100 公尺的山地超過全鎮面積 50%。

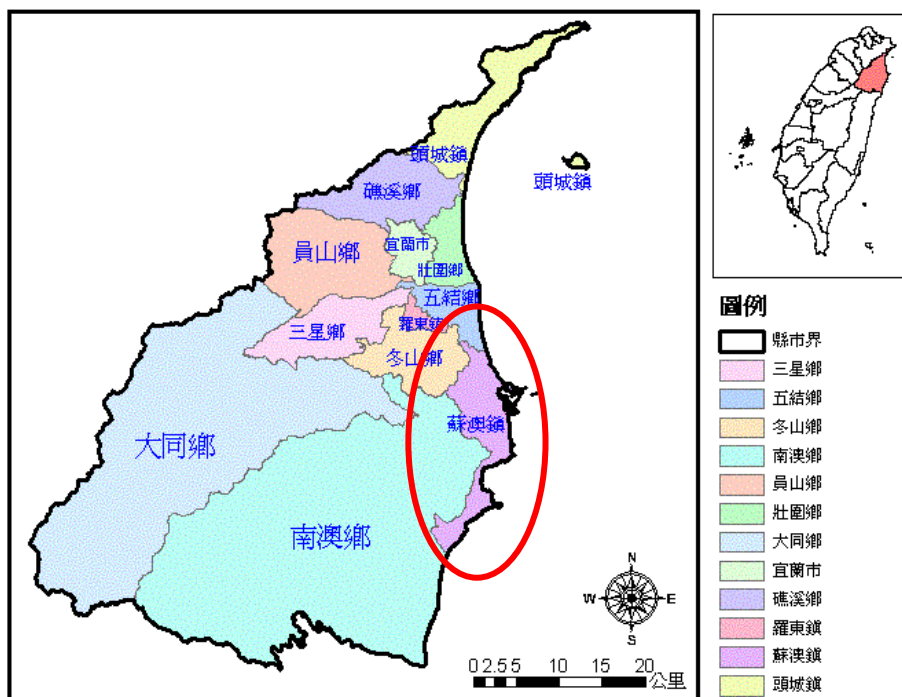


圖 4：蘇澳鎮地理位置(資料來源:行政院環保署/地方環境資料庫)

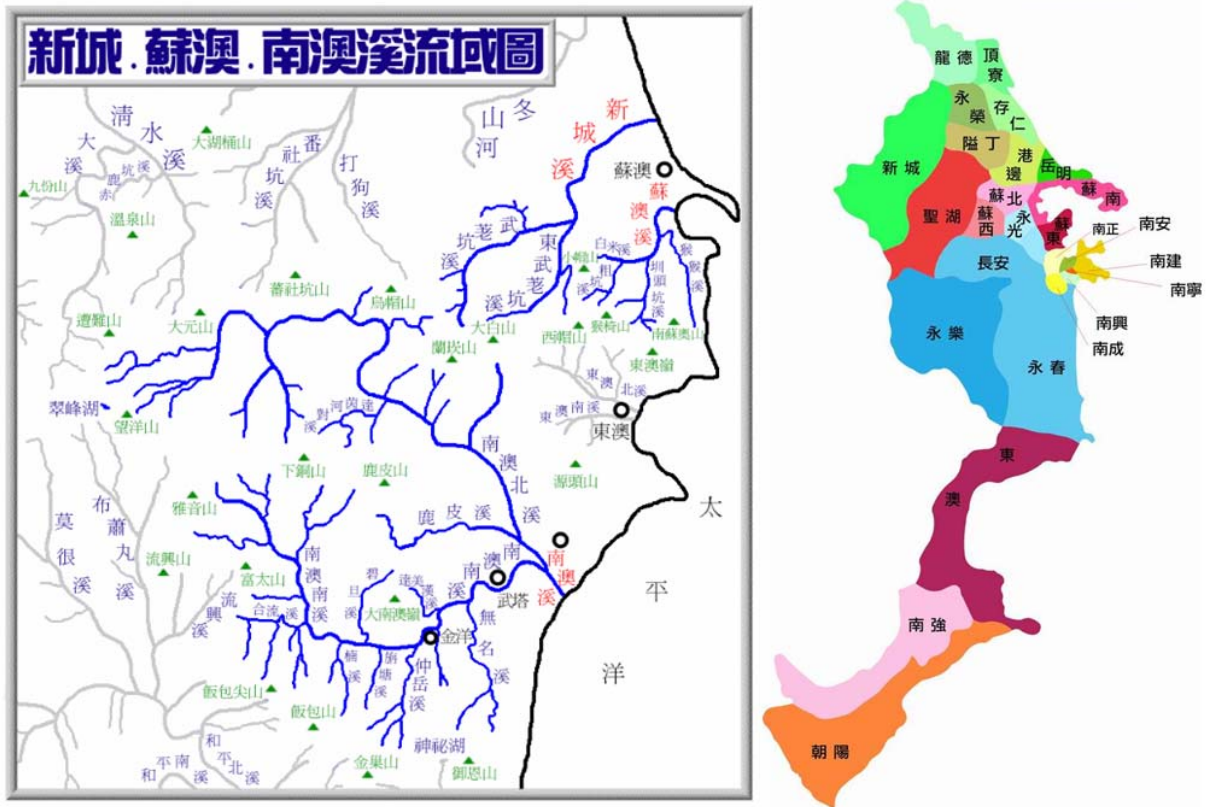


圖 5：蘇澳鎮內河川與行政區域圖

新城溪位於台灣東北部，為一縣市管河川，發源於標高 1,477 公尺之蘭炭山北側，幹流長度 18.13 公里，流域面積 50.46 平方公里，計畫洪水量 895 立方公尺/秒，平均坡度 1:30。蘇澳溪位於台灣東北部，為一縣市管河川，發源於標高 966 公尺之西帽山東北側，幹流長度 8.83 公里，流域面積 29.65 平方公里，計畫洪水量 680 立方公尺/秒，平均坡度:1:30。南澳溪位於宜蘭南部，流發源於三星山，幹線長度 48.40 公里，流域面積 311.73 平方公里，計畫洪水量 3580 立方公尺/秒，平均坡度:1:43。

蘇澳地區的降水多集中在 10 月~隔年 2 月東北季風來襲時，另外 7~9 月為颱風侵襲最盛時期，蘇澳常為颱風登陸地點，所以非常容易發生豪大雨。根據統計，蘇澳鎮一年之中降雨的日數大概在 210 天左右，一年超過一半的時間都在下雨，且時常有淹水災情傳出。

蘇澳被夾在雪山山脈跟中央山脈之間，地勢低窪，像一個大畚箕，把水

掃進來，若再加上山區的雨水不斷灌進的情況下，內水無法宣洩而外水又不斷進入，就會導致蘇澳發生極嚴重的淹水事件。

2010 年 10 月 21 日梅姬颱風外圍環流造成蘇澳氣象站單日累積雨量達 939mm，連續四小時出現超過 100 毫米的雨量，其中最高時雨量 181 毫米發生在 21 日 14~15 時之間，累積雨量則高達 1195 毫米。這場大雨在 22 日造成蘇花公路發生 70 年來最嚴重的坍方。而蘇澳溪下游，蘇澳火車站附近主要道路，淹水一層樓高。

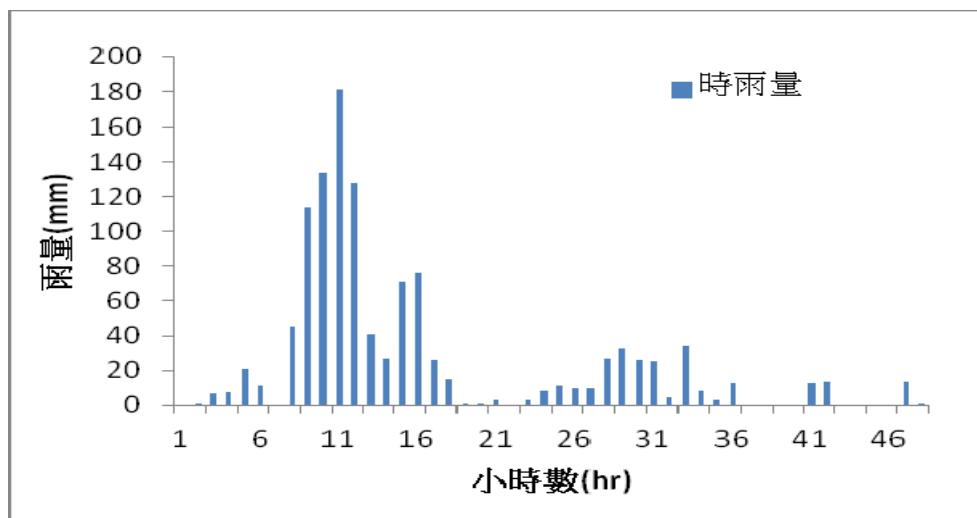


圖 6：梅姬颱風時雨量分布圖(蘇澳氣象站)

2011 年 10 月 3 日奈格颱風和東北季風的共伴效應，讓宜蘭縣大同鄉累積雨量超過 1600mm，萬幸的是蘇澳氣象站僅累積 410mm。緊鄰的冬山鄉淹水；南方澳通往蘇澳的移山路與蘇南公路(二戊)暫時封閉；華山五巷附近，積水約 30~50 公分高度；另外南興路、中原路、聖賢路、中山路三段與蘇澳海事的操場也有多處淹水。若果 1600mm 是落在蘇澳氣象站，當地的淹水狀況會是如何？

## 2.2 暴雨臨界點

將氣候條件壓力，轉換成可量化的外在負荷壓力；同時，將人類社會的因應能力，亦量化成內在調適能力。如此，就可定義臨界點為：外在壓力與內在能力間的平衡點，一旦前者大於後者，就會發生超出負荷的後果。而隨著外在壓力與內在能力間差異的增加，就會產生愈來愈嚴重的災情。

本研究將外在負荷壓力與內在調適能力分別定義為：

1. 外在負荷壓力：每次事件的小時降雨量與累積總雨量。
2. 內在調適能力：分為內水排水能力與外水防洪能力。內水乃指降落至該區域內的雨水，外水則為由上游河川流入。當小時雨量超過排水能力，就會因為排水不及而造成積水現象；若當累積總雨量超過堤防防洪能力，則會產生外水溢堤現象。

### Capacity(水的容受能力)

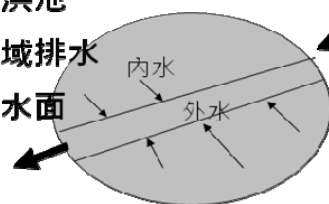
內水容受能力：

雨水下水道

滯洪池

區域排水

透水面



外水容受能力：

河道寬度

堤防高度

圖 7：調適能力(capacity)示意圖

淹水情境可分為短時間積水，或大規模淹水等，這與外加壓力與調適能力的差距有關。若淹水面積範圍小，還沒出現災情就退水，屬於輕微的臨界點。但一旦有大規模淹水、或在低窪地區出現高淹水深度、或淹水在調適能力弱的族群上，則淹水災情將相對嚴重，也不容易回復。尤其當水利工程體遭受破壞、淹水持久不退影響維生系統等，而需要長時間才能回復時，則屬於較嚴重的淹水情況。甚至，若發生破過去紀錄的豪大雨，即使淹水退去，仍無法回復原本地區樣貌，則屬於不可逆的災害，這種臨界點屬於最極端的臨界情況。考量不同淹水的可能性，本研究將臨界點分為三級，定義如下：

1. 低：開始積水，一日內可回復。

當發生瞬間大雨，超過排水能力，發生排水不良而積水與小規模淹水情況，但因累積雨量小，在一日內將逐漸退水，而無任何災情發生。

2. 中：積水 300 公分，數日後可回復。

當淹水 300 公分(一層樓)，屬於中度淹水災情，部分地區可能因此停水停電、維生系統受到影響，但因僅發生於部分地區，鄰近區域可支援，在數日至一星期內可恢復該地區樣貌。

3. 高：積水 600 公分，數星期後部分回復，部分不可回復。

當淹水在 600 公分以上(即兩層樓高)，定義為高臨界點等級，人民生命財產受到嚴重損害，甚至某些地區已經無法回復，必須放棄並遷離該地區，部分地區在數星期後可回復，但部分地區已屬不可逆災情，無法回復。

表 1：臨界點分級表

臨界點	狀況	可能外在壓力 (loading)	可能災情	(capacity)回復時間
低	開始積水	降雨超過雨水下水道標準(重現期 2~5 年)	排水不良、道路積水	一日內可回復
中	積水 300 公分 (淹水一層樓)	重現期 50-100 年降雨	部分地區淹水災情、部分地區停水停電	一星期內可回復
高	積水 600 公分 (淹水二層樓)	降雨超過重現期 200 年設計降雨	水利工程體破壞、大規模淹水災情、維生系統中斷	數星期後部分回復，部分不可回復。

根據上述定義，找出蘇澳鎮的內水、外水調適能力，即可推算出蘇澳鎮的暴雨臨界點事件強度。

### 2.2.1 蘇澳鎮內在調適能力-內水排水容受力

內水排水容受力可分為雨水下水道、滯洪池以及區域排水，由於區域排水屬於複合功能，且排水能力比雨水下水道低，因此目前暫不納入區域排水能力，僅計算雨水下水道排水與滯洪池存水的內水容受力。

宜蘭縣市區的雨水下水道，至 2010 年止建設幹線長度達 117 公里，下水道實施率從 2003 年 32.79%，增加至 2010 年 57.50%。但部分未開發之都市地區，如礁溪鄉四城地區及蘇澳鎮新馬地區都市計畫開發強度較低，其雨水下水道實施率，僅分別為 15.94% 及 26.92%。(資料來源：宜蘭縣政府下水道科 2009 年/宜蘭縣雨水下水道建設現況說明)

目前的雨水下水道設計標準為：(i)鄉級地區：採用 1~2 年一次再現期；(ii)縣轄市及鎮地區：採用 2~3 年一次再現期；(iii)省轄市級地區：採用 5 年一次再現期。蘇澳屬於鎮地區，採用的雨水下水道設計標準為兩年一次

再現期，因此以 62 mm/hr 降雨強度作為工程設計標準。

此外，蘇澳鎮原本有三座天然滯洪池，因為開發土地而被填平導致蘇澳目前沒有滯洪池。

### 2.2.2 蘇澳鎮內在調適能力- 外水排水容受力

根據經濟部水利署的規定，中央管河川防洪標準為 100 年，縣管為 50 年，區域排水為 25 年，都市雨水下水道則為 1 至 5 年，其中台北市淡水河因位處人口稠密的都會區因此防洪標準依 200 年洪水頻率設計。蘇澳鎮內三條河川，皆屬於縣管河川，理論的防洪設計標準為 50 年再現期。

根據水利署資料，流經蘇澳鎮的三條溪，其排洪量分別為新城溪 895 立方公尺/秒、蘇澳溪 680 立方公尺/秒、南澳溪 3580 立方公尺/秒。詳細資料如表 2。

表 2：蘇澳鎮內河川基本資料

河川	幹流長度(公里)	流域面積(平方公里)	平均坡度	計畫排洪量(立方公尺/秒)
新城溪	18.13	50.46	1:30	895
蘇澳溪	8.83	29.65	1:30	680
南澳溪	48.40	311.73	1:43	3580

資料來源：水利署

### 2.2.3 蘇澳鎮暴雨臨界點分析結果

以新城溪為例，新城溪流域中，沒有滯洪池可存留雨水，流域面積 50.46 km<sup>2</sup>，最大排洪量 895 cms，以合理化公式推估河川防護能力的降雨事件：

$Q=CIA$ 。式中，假設逕流係數  $C=0.6$  (表示有效降雨僅六成)，則

$895 \text{ cms}=0.6*I*50.46 \text{ km}^2$ ，所以， $I=106.4 \text{ mm/hr}$ 。

考慮合理化公式僅適用於降雨延時大於集流時間時，所產生的尖峰流

量，目前並無官方集流時間資料，由新城溪長度 18.1 公里，推估集流時間約 8 hr。若連續降雨 8 hr，總累積雨量為 851 mm，即達河川最大防洪量 895 cms。換句話說，當事件累積降雨超過 851mm，多餘的降雨將溢出河川，流入內水地區。推算若在內水區域(新城里、永榮里、存仁里，面積共 12.158 平方公里)淹水高度 300 公分，則降雨達 1574 公厘，若淹水 600 公分高，則降雨達 2297 公厘。

同理可推估蘇澳溪、南澳溪的內水區域暴雨臨界點，整理如表 3。其中，蘇澳溪在累積雨量超過 890 mm 時，就會淹水一層樓高，乃符合 2010/10/21 發生的情況。而若 2011 年 10 月 3 日在大同鄉降下的 1600mm 是落在蘇澳氣象站，則預期會造成鎮中心淹水二層樓高，部份地區將需付出相當代價，才能回復到原本狀況。

表 3：蘇澳鎮之內水區域暴雨臨界點分析結果

流域	臨界點	低： 內水開始積水	中： 內水區域淹水一層樓高	高： 內水區域淹水二層樓高
新城溪 (新城里、永榮里、 存仁里)		時降雨>62 mm/hr	事件累積雨量 1574 mm	事件累積雨量 2297mm
蘇澳溪 (長安里、永光里、 蘇南里)		時降雨>62 mm/hr	事件累積雨量 890 mm	事件累積雨量 1540 mm
南澳溪 (南強里、朝陽里)		時降雨>62 mm/hr	事件累積雨量 1820 mm	事件累積雨量 1985 mm

## 2.3 暴雨防制

### 2.3.1 蘇澳鎮現有治水策略

全台的治水策略，近年來主要以「易淹水地區水患治理計畫」為上位計畫，政府並編列特別預算加以執行。全台易淹水低窪地區總面積約1,150 平方公里，民國95 年1 月13 日立法院三讀通過「水患治理特別條例」，並通過特別預算之經費上限為1,160 億元，期限為8年。「易淹水地區水患治理計畫」為上位綱要計畫，分3 階段研擬實施計畫。

在第1 階段(95-96 年度)中，蘇澳鎮蘇澳溪被列為水系整治對象，但鎮內沒有獲得區域排水計畫。在第2 階段(97-99 年度)中，蘇澳鎮南澳溪水系亦加入被整治對象。為改善蘇澳鎮新馬地區易淹水之情形，營建署於第2階段籌撥經費著手辦理「宜蘭縣蘇澳鎮港口大排雨水下水道工程」。工程內容包括：港口大排護岸整建1,624公尺、新設管涵766公尺、新城溪舊河道疏浚380公尺及大成橋之改建。工程效益包括：改善港口大排台2線至六連水門間通水斷面不足問題，降低新馬都市計畫區淹水機會，保障都市計畫區內13,000名居民生命財產安全，減少50公頃以上農地損害。此工程經費為7500萬元。第3 階段(100~102 年)中，增列辦理之流域內都市計畫區雨水下水道，蘇澳鎮新城溪流域內各都市計畫區被納入計畫內。

根據宜蘭縣工務局施政計畫，民國99年蘇澳鎮的雨水下水道工程建設，包括蘇澳鎮馬賽大排雨水下水道工程(經費1,102萬8,000元)、蘇澳鎮堤邊排水雨水下水道工程(經費500萬元)，蘇澳鎮港隘大排雨水下水道工程(用地費2771萬2534元)。同時，99年6月，「易淹水地區水患治理計畫」「宜蘭縣蘇澳鎮蘇港路雨水下水道工程」，編列3,820萬經費進行改善工程。

### 2.3.2 暴雨防制分析

顯然，政府已在規劃整治蘇澳鎮，期以降低當地淹水機率。但是，是否足夠因應前述的中、高暴雨極限狀況，以保當地不再淹水一層樓，或甚至淹水二層樓？

以蘇港路雨水下水道工程為例，該工程採用 2 年重現期之箱涵斷面設計。其斷面流量計算，2 年重現期之設計降雨強度為 66.6mm/hr，設計流量約 38.4cms，箱涵設計斷面為 3.5 公尺寬 x 3.0 公尺高，約 380 公尺長的距離(參考圖 8)，需編列箱涵本體工程費約 1,748 萬(含施工)，相當於一公尺造價為 4.6 萬元。

顯然，整個宜蘭縣的雨水下水道實施率在 2010 年僅達 57.5%，蘇澳鎮應該也偏低(參考圖 8)，未來到 102 年底，也很難將實施率提高到 70%。而且，目前的雨水下水道工程，不過是要達到 2 年重現期的標準(62~67mm/hr)。按表 3 所述，低臨界點發生就會淹水，而當中、高臨界點發生，應該更會淹大水。而且，就算是達到 100%鋪設，仍然會因為排水標準太低，無法因應 2010/10/21 小時雨量達到 181mm 的狀況。再者，下水道每一公尺造價 4.6 萬元，若蘇澳鎮所有街道都鋪設，還需多少經費？

據估計，按梅姬颱風時降雨量(181.5mm)產生之逕流量(約達 200 年重現期)，若是期望要能順利排除，則其所需之排水箱涵斷面為 7.5 公尺寬 x 2.8 公尺高，約 380 公尺長的距離，需經費約 3,800 萬(含施工)，相當於一公尺造價為 10 萬元，此乃是 4.6 萬元的 2 倍多，顯然是更加難以取得如此龐大的經費。以圖 8 中，由西向東的主幹道蘇港路及中正路為例，前者為 3047 公尺長，後者為 2026 公尺長，假設要全部將雨水下水道提高到 200 年重現期的標準，約需五億。

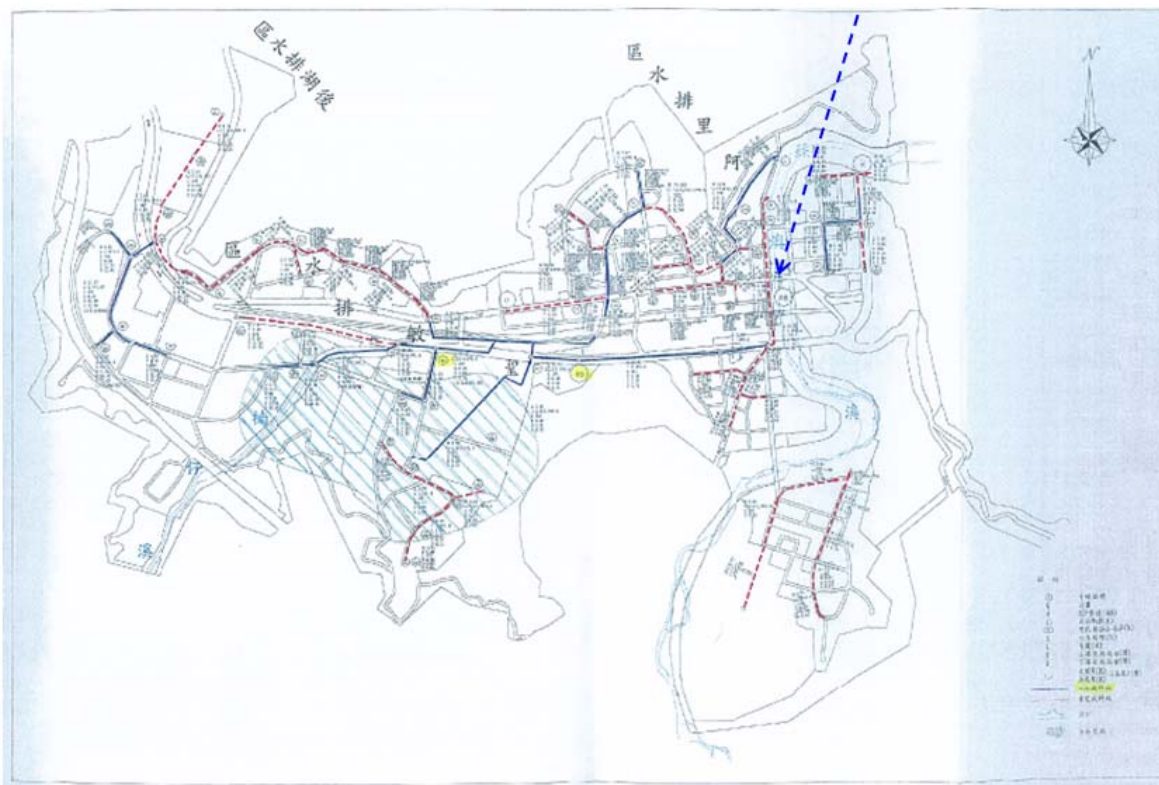


圖 8：蘇澳鎮雨水下水道示意圖。圖中實藍線為已完成部份，虛紅線為未完成部份，虛藍線箭頭為將花費 1,780 萬元興建雨水下水道的地點。

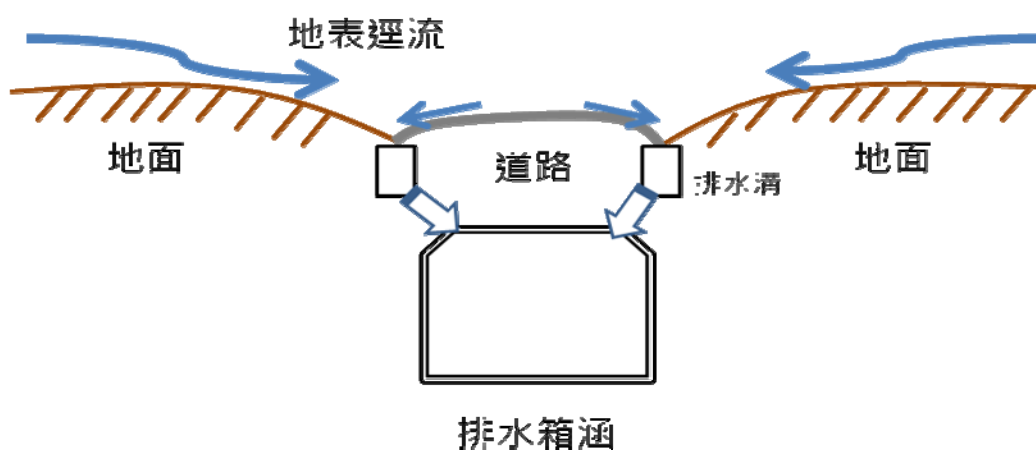


圖 9：傳統工法：地下排水箱涵工程。

傳統都市排水是將雨水集中至地下箱涵或排水管線，再排入河川或海洋。地下箱涵（圖 9）工程浩大，需有足夠的水平與垂直使用空間，必要時還需徵收土地。再者，施作箱涵或排水道後，地底下其他管線無法貫穿，需繞道而行。當然，地底下生態系統也被完全滅絕。

傳統箱涵排水是需要的，但不能忽略其缺點如下：

- 一、施工工程大，需要重型機具，容易破壞當地環境生態，施工亦容易產生噪音、振動等問題。
- 二、地下需求空間大，地底下的管線或設施需要重新配置。
- 三、雨水直接經由箱涵排出，水質極易受汙染且雜質多，水資源如需回收利用，其處理相關設備需再付出相當代價。
- 四、屬單一功能設施，若無下雨則無其他作用，益本比低。且又易蘊生蚊蟲鼠類，成為傳染病源場所。
- 五、可能碰到地下水位，如有擋水牆，可能改變原地下水水流。
- 六、一旦施作後，調整的彈性小，若排水量增加，通水斷面不足，無法直接拓寬或加大箱涵，排水功能削減。但實際排水量若比設計量要低，則浪費相關資源。
- 七、經費需求大，並非每一個都市、城鎮都可以達到 100% 實施率。
- 八、氣候暖化趨勢中，破紀錄豪雨不斷發生，無法持續提高排水標準，以因應長期趨勢。
- 九、與傳統道路相配合，滅絕地表生態系統。

此外，蘇澳鎮若希望再次出現累積雨量達 1000mm 或 1500mm 時，不會淹水一層樓或二層樓高，單靠提高雨水下水道排水標準，仍是不夠的。按前節對暴雨臨界點的推估，除了內水累積的壓力需舒解外，尚有外水入侵

的壓力需排除。以蘇澳溪為例，其目前的最大排洪量設計為 680cms，此設計容納整個流域面積 29.65 平方公里內，集流時間內(1.74 小時)240mm 的累積雨量，換句話說，若流域內的單一降雨事件降雨超過此值，就會超出排洪量設計造成下游淹水。現在假設累積雨量達 1000mm 或 1500mm，而不出現溢流，以合理化公式計算，假設流域逕流係數 0.6，流域集流時間 1.74 小時，即代表平均降雨強度約為 574.7mm/hr 或 862.1mm/hr，所以最大排洪量必須分別提高到：

$$Q=0.6 * 574.7\text{mm/hr} * 29.65\text{km}^2(\text{流域面積})=2840\text{cms} (\text{降雨 } 1000\text{mm})$$

$$Q=0.6 * 862.1\text{mm/hr} * 29.65\text{km}^2(\text{流域面積})=4260\text{cms} (\text{降雨 } 1500\text{mm})$$

設若蘇澳溪的排洪量要提高到 2850cms 或 4260cms，即是現在設計的 4.2 倍或 6.3 倍，表示河道必須拓寬 4.2 倍/6.3 倍或堤防高度增加 4.2 倍/6.3 倍。以 4.2 倍而言，若蘇澳溪平均河寬為 150 公尺，堤防高度不變的話，需再拓寬至 630 公尺，即蘇澳溪 8.8 公里長，左右岸 240 公尺以內都要徵地並淹沒以拓寬河道。或者現有堤防若為 5 公尺高，則需再增高至 21 公尺高，才有辦法容納這麼多的排水量。至於若是要增加到 6.3 倍，則需徵收與淹沒左右岸 397 公尺或堤防增高至 31.5 公尺。無論是那一種方式，都應是不可能實現的。其中，擴大河道對生態系統的影響，也是不可忽略。

## 2.4 小結

本章選擇偏遠但人口達四萬五千人的蘇澳鎮，進行探討。估算出當地的低、中、高暴雨臨界點，了解未來再出現驚人雨勢時，當地可能出現的淹水規模。其次分析政府執行之易淹水計畫，是否可能讓當地在出現中、高暴雨臨界點時，不會淹水，或是淹水災情會顯著減輕。結果發現：政府的主要作為是在提高當地的雨水下水道實施率，並非是在提高排水系統的排水標準，以因應如 2010/10/21 已出現之暴雨災情。所以，到 102 年後，若

果當地再次出現小時雨量 181mm 或日累積雨量 1000mm，仍將淹水近一層樓高。若是 2011/10/3 落在宜蘭縣大同鄉 1600mm 的雨，是落在蘇澳鎮氣象站，則最繁華熱鬧的蘇澳火車站附近，很可能將淹水達二層樓高。當地若要回復原來風貌，勢必須付出相當代價。

本章進一步分析採用傳統治水策略，以因應未來非常可能出現的中、高暴雨臨界點。若是擴大地下箱涵大小，則每一公尺的興建經費至少是十萬元；若沿著主幹道蘇港路及中正路，擴大箱涵大小，則至少需五億經費，此尚未包括全鎮興建所需。同時，還需擴大河川的排洪量，則需至少擴大河道或增高堤防為現在的 4.2 倍，其困難度更是非常高。

此外，本章也進一步指出擴大地下箱涵的缺點，及擴大河道對環境生態無可回復的危害。顯然，考量經費籌措的困難、徵收土地的困難、施工的困難、無法持續提高標準以因應新暴雨紀錄的困難等，蘇澳鎮鎮民實難脫離破紀錄暴雨威脅的惡夢。

## 第三章 城鎮暴雨防制行動方案

### 3.1 原則

前章取蘇澳鎮為例，說明當前政府的治水工程是非常需要，但無法因應中、高暴雨臨界點的出現。類似情況是一樣出現在全台灣各地，因為本研究所估算出之各地中、高暴雨臨界點(另文說明)，就是採用當地的內水與外水負荷壓力資料，所估算得。只有當各地的排水與排洪標準顯著提高時，中、高暴雨臨界點才會跟著提高，使得出現嚴重災情的機率顯著下降。

目前政府在蘇澳鎮的主要作為是在提高當地的雨水下水道實施率，並非是在提高排水與排洪系統的標準，其可讓當地出現低暴雨臨界點災情的機率下降，但無法顯著降低中、高暴雨臨界點出現時的災情。而蘇澳鎮才在2010/10/21出現破紀錄降雨，臨近的大同鄉又於2011/10/3出現1600mm豪大雨，當此氣候暖化趨勢持續的暴雨新世紀，很難讓人相信破紀錄豪雨不會再出現。

雖然，全台各地面臨的前景是類似的。但是，蘇澳鎮因為中、高暴雨臨界點偏低，且是人口達四萬五千的密集區，2010/10/21發生嚴重淹水的地區又是在人口與商業活動集中的蘇澳火車站附近，最是令人憂心。

前章也指出：各地都希望政府能增加治水預算，以顯著提高各地的排水與排洪標準，但所需籌措的經費高，相關工作的困難度也高，實難期望落實。如此，各地市鎮為降低民眾憂慮，提高各地中、高暴雨臨界點，所當採取的有效暴雨防制策略為何？

在探討防制策略之前，必須先列出幾項先決條件：

一、不能期望新的策略能夠籌措新的資金，需是建立在不增加特別預算的前提下進行之。特別是：全球金融市場非常不穩定，我國國債也持續

攀升，期望取得大筆新的治水資金，機率太低。

二、要能配合政府執行中與未來可能執行的治水工程，而非是與其競爭經費或工法等。

三、必須是將非治水部門的經費運用到目前的防制策略中，如交通部門、公園景觀部門、都市規劃與建設部門、環境保護部門等，才有可能達成。

四、必須是不影響民眾生活，不破壞環境，對達成生態城市、永續城鎮有利者。

五、不能期望短期奏效，而是要持之以恆，在為城鎮民眾的福祉長期努力的前提下，進行之。

以上五點對於許多市鎮官員而言，其實是很難作到的，因為：

一、若不能由上級部門增加到新的經費，如何向民眾表明自己的努力？

二、若不是針對治水方案，如何代表自己是在治水？如此，勢必須以競爭的態勢，進行之。

三、跨部門協調是東方各國的行政部門，在管理上，最難作到的。所以，經常會為了避免跨部門合作的困難，直接成立新的部門來進行工作。其原則就是要先爭取新的經費，才能成立新的部門，執行新的工作。現在是要不增加新預算，卻要動用不同部門的經費，去為非各部門的工作努力，豈非是絕不可能！

四、工程幾乎都是在破壞環境，影響民眾生活，而且各類工程都是有年限的，如何能達到永續的標準？

五、如何能在有限的任官期內，完成對民眾長期福祉有利，且會被民

眾謹記不忘的工作？

了解以上的背景與原則，就可知道：沒有創意，是不可能提出市鎮領導會宣誓推動的「城鎮暴雨防制行動方案」。

### 3.2 運用「高承載高透水鋪面」

有關何謂「高承載高透水鋪面」，及其設計應用等，已有其他報告深入探討(陳等，2011)，此處不再說明。第 1.2 節也已說明希望各市鎮所轄管的公園、人行道、車道、停車場、廣場及平面道路，能夠逐年逐步更換使用「高承載高透水鋪面」，鋪面下搭配砂石層與透排水管，就可達成「道路排水」的期望，使得城鎮變成吸水大海綿，減輕暴雨威脅。但是，具體的效益會是如何？

1. 設定人行道、車道、停車場、廣場、平面道路使用 20 公分厚的高承載高透水鋪面，下面安置 20 公分厚的砂石層，搭配外包透水性不織布的四英吋 HDPE 透水管集排水系統，如圖 3 所示。

2. 高承載高透水鋪面能夠承受重車與具高透水率，不用擔心被壓壞，配合洗掃街車定期清理，不用擔心透水性會因沙塵與落葉阻塞而被破壞。

3. 假設 2,000 平方公尺的低窪處面積，原來會淹水 50 公分。則若該地區與上游 5,000 平方公尺的鋪面，都全部使用高承載高透水鋪面。則原來淹水的地區，將只會淹 0.335 公分。若是上游鋪面擴大為 6,000 平方公尺，則所有雨水都會儲存在鋪面之下，沒有地方會淹水。〔計算分析已述於陳等(2011)〕

4. 顯然，「高承載高透水鋪面」鋪設得愈廣，原本會淹在低窪地區的雨水，愈會被均勻儲存在大面積鋪面之下，顯著降低內水排洪的需求，以及雨水下水道的排水壓力。

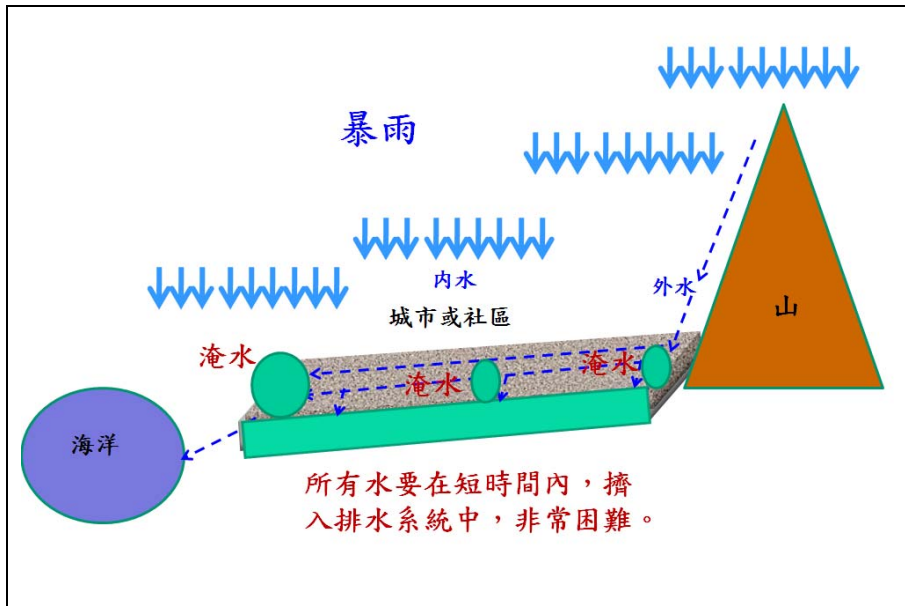
5. 以圖 8 中，由西向東的主幹道蘇港路為例，其為 3,047 公尺長，91,411 平方公尺面積，且已鋪設與將鋪設相當長度的地下排水箱涵。若全部更改為高承載高透水鋪面，則以約每 0.49 平方公尺內有 30 個透水孔估算，則約有五百六十萬個透水孔洞同時存在。依據，李與鄭(2004)的實驗推算，每 0.49 平方公尺的排水效率是每小時 1.5~12 公尺間，如此可確定的是：無論是破百年或破千年紀錄的暴雨，都可迅速進入到鋪面之下，不會出現表面逕流，也不會出現沙塵、落葉與垃圾，阻塞排水孔洞的狀況。道路表面會淹水的機率，已接近於零。

6. 鋪面下設 20 公分厚度的砂石層，假設孔隙率為 0.25，則在 91,411 平方公尺面積內，可以儲存 4,570 立方公尺的水量，大約是 4,570 噸水，是約 2,285 個市售 2 噸水塔的儲水量，也是約 1/4 蘇澳鎮民的一天用水量。同時，是 3,047 公尺長、3.5 公尺寬 x 3.0 公尺高之地下箱涵所儲存水的 14%。這樣的儲水量是不容忽視的，其在平時可以抽取再利用，在暴雨時就是讓地下箱涵減少了 14% 的需排水量，而加快排水速度。相當於提高了雨水下水道的排水標準，卻不需要直接增大地下箱涵。

7. 鋪面下砂石層內，同時鋪設透排水管，如圖 3 所示。所以雨水不是一直儲存在砂石層內，而是會經由透排水管進入排水系統內，才排出到河川或外海。換言之，所有人工鋪面都屬排水系統，這就使得城鎮不僅是吸水大海綿，還是會漏水的海綿，如此才不會因為吸飽水而溢漏。

8. 台灣雖然多雨，但因為山坡陡峭，所以雨水快速流入外海。其在平時是不利於水庫蓄水，在暴雨時則出現雨水沿著山坡道路疾走，結果是道路變成河道，下游城鎮出現快速淹水災情(圖 10a)。但是，假設由西向東、由高到低的主幹道蘇港路全面使用高承載高透水鋪面，則雨水變成在道路下面行走，如圖 10b 所示。部份雨水在砂石層內經透排水管進入排水系統，部份則經砂石層到達低海拔處而排出。重點是：沿路不會出現暴雨集水區。

(a)傳統道路



(b)高承載高透水道路

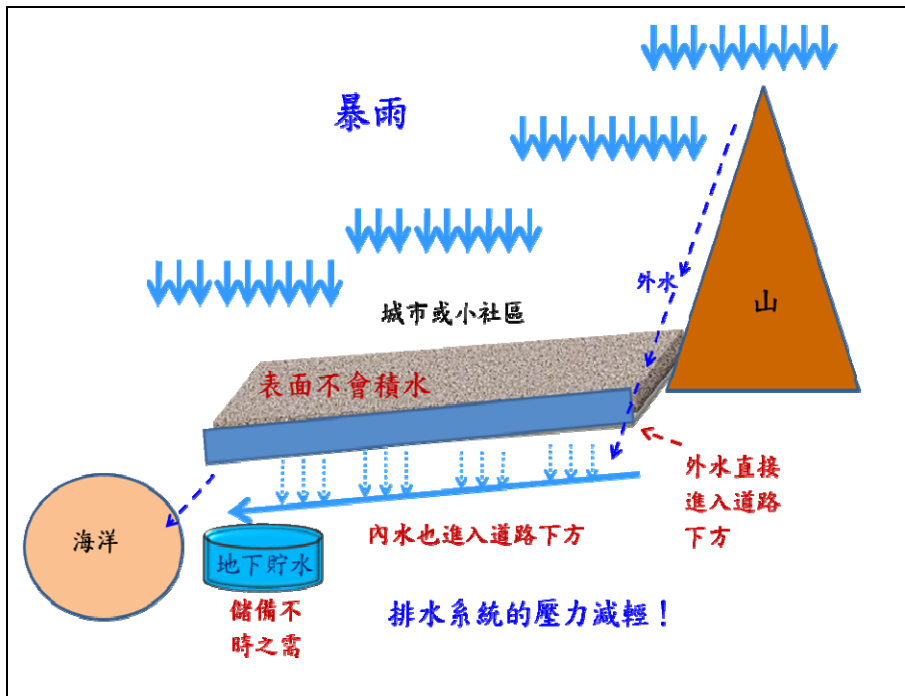


圖 10：道路(a)淹水與(b)排水示意圖。

### 3.3 城鎮暴雨防制行動方案

高承載高透水鋪面具備防洪、抗旱、降溫、吸碳、去除空氣污染、維續地表生態等多重功效，且建造成本，經多年推廣，已降到與傳統透水鋪面相當，還可保固十年不會碎裂、破損、凹凸，且經正常維護可保持穩定的透水功能，達到鋪面可與建築同壽，符合國際所認定之「永續鋪面」要求，避免經常性的翻修，節省長期資金與資源浪費。(陳等，2011)

在第 3.1 節中，已提出對城鎮暴雨防制行動方案的五點要求。推廣使用高承載高透水鋪面，符合環保、生態城市、永續城鎮、有利於民眾長期福祉等；且確實是與現有及未來的治水方案相輔相成，不會出現競爭關係；且其成效是直接與交通部門、公園景觀部門、都市規劃與建設部門、環境保護部門等相關，也即其對各部門是同時貢獻效益，而非是部份得利、部份受害。唯一最困難的問題，仍然是經費，難道為了推廣使用高承載高透水鋪面，可以爭取到特殊額外預算嗎？是否會比第 2.3.2 節，所介紹之提高排水與防洪標準，需要之經費為低？

依照第 3.1 節所定的第一個原則：不另外爭取經費，因為可能性太低。所以，各市鎮民選官員與代表所應思考的是：

(1) 運用現有經費，配合各市鎮所轄管的公園、人行道、停車場、廣場及平面道路，每年都需編列固定經費進行維修與更新時，選定「高承載高透水鋪面」逐年逐步更換所有人工鋪面。

(2) 同時，要求任何會在本地進行工程的單位，如前述中央之「易淹水地區水患治理計畫」或是「蘇花公路替代道路計畫」，必須承諾在當地市鎮區域內，興建的是高承載高透水鋪面，而非是傳統道路。

(3) 經當地民意機構長期監督，一方面確認高承載高透水鋪面的長期功效，另一方面確認全市鎮各地，逐步達成高鋪設率。此絕非短期可以完成，

但對永續住在當地的居民，這是世代永續的挑戰，需要持續監督進行。

(4) 高承載高透水鋪面在完成鋪設後，是會相當長壽且不需修補等，如此雖然每年市鎮所能運用的經費並不多，但是可以逐年逐步將所有地區都涵蓋，不會因為重覆鋪設而浪費資源。

(5) 推行「捐款贈鋪面運動」。長期以來，民眾與各慈善團體，都是待災難出現後，出於人道精神而進行捐贈、志願救難等善舉。但是，這就如同於冷冬捐款給貧困國民，助其保持溫飽，其實是不如提供釣竿，助其自立自強。換言之，若果捐贈五億經費興建高承載高透水鋪面，使得未來當破紀錄暴雨出現時，卻不會出現破紀錄災情。此捐贈是否會比破紀錄災情出現後，才去施捨援助，來得踏實。

最後，觀念的改變，才是所有行動方案的最大挑戰，特別是當地的施工單位與一般大眾，長期只會與只接受傳統工法，要如何改變其觀念與作為，才是最大挑戰。

依照以上所述，確切之「城鎮暴雨防制行動方案」如下：

1. 定期進行暴雨風險之教育宣導，就當地面臨的低、中、高暴雨臨界點，對民眾進行解說。同時，分析當地暴雨發生機率與趨勢，以及當地治水措施與進度，讓民眾了解當地出現中、高暴雨臨界點的可能性，以及發生後的可能災情。當然，不能忽略說明與演練災難發生時的自救救人之道。

2. 定期解說高承載高透水鋪面與建立當地施工及監測團隊，讓專家解說高承載高透水鋪面是如何打破傳統思維，以及提出各項科學實證，說明其所能達成的各種效益。特別是要與當地施工團隊協調，進行定期訓練與溝通，在當地團隊最能掌握當地地質與水文環境的原則下，完全由當地團隊進行施工與長期變化監測。

3. 進行全市鎮全面鋪設之施工設計，此乃就全市鎮全面鋪設高承載高

透水鋪面的需求進行全盤了解，其要求是配合當地水文、地勢、市鎮規劃、基礎建設等，提出整體施工設計。由於高承載高透水鋪面的特殊工法原理，其可以因應未來實況，分段分區分塊進行施工後，再結合為一體，不必全面同步進行施工。如此類似拼圖遊戲，可以分段分區分塊完成片面拼圖，但最後卻能整合為一完整畫面。如此，則必須先提出最終的合理拼圖設計，才能開始進行拼圖工程。由於全市鎮全面鋪施，可能需費時十年，因此全盤設計的藍圖，在當地出現重大變化時，也應進行因應調整。

4. 說服當地公民營建設工程重視「建築防洪」，即同步運用高承載高透水鋪面，達成第 1.1 節所述之建築「暴雨儲水」、「地底排水」與「基地保水」等效益。

5. 成立「高承載高透水鋪面專案小組」，注意協調市鎮內所有鋪面建設，是依前述全市鋪設之長期規劃，進行之。原則上，該小組不應以爭取政府特別預算為任務，其成功機率太低，不值得浪費力氣，而當密切注意市鎮內各部門現有經費的運用，是否與長期規劃相配合。

6. 成立「高承載高透水鋪面基金」，期望向民間長期爭取捐贈，提高高承載高透水鋪面的鋪設率，而非待災難出現後，才尋求施捨援助。

7. 民意機構也應成立專案小組定期監督與協助，其乃呼應民意，期以降低民眾對當地出現暴雨災情的恐慌。原則上，高承載高透水鋪面的鋪設率愈高，當地房地產市價應是快速提升，絕對有利於當地民眾的資產保護。民意代表們，應將長期保護民眾生命與資產，適為最重要承諾。

最後，行動方案能否落實，關鍵還是在觀念的改變。期望各地民選官員、代表與民眾，能夠改變傳統思維，而得改變當地命運。

## 第四章 結論

本報告延續長期看法，強調全球暖化持續，人類正處於暴雨新紀元。同時，強調使用高承載高透水鋪面於「建築防洪」及「道路排水」，能夠強化各市鎮現有與未來將建設之排水與排洪系統。

對於「建築防洪」，第 1.1 節已提出明確之政策建議，但其困難度高，因為需要建築界全面支持。所以，建議國內建商、建築師等，在考量「建設環保、生態的藝術空間」的心境下，開始改變鋪面設計與規格，務必朝向興建高承載高透水鋪面的方向努力，期以讓建築達到「暴雨儲水」、「地底排水」與「基地保水」等效益。

對於「道路排水」，本報告以蘇澳鎮為例，說明目前政府治水作為是在提高當地的雨水下水道實施率，而非在提高排水與排洪系統的標準，其可讓當地出現低暴雨臨界點災情的機率下降，但無法顯著降低中、高暴雨臨界點出現時的災情。此外，強調不能期望爭取到提高治水標準的額外經費，但可以運用現有經費，長期進行分段分區分塊的高承載高透水鋪面建設，而達到提高暴雨臨界點，降低災難損失的期望。

本報告第 3.3 節提出明確的「城鎮暴雨防制行動方案」，其或許是市鎮行政與民意機構的長期工作準則，但更類似於當地居民追求永續發展的基礎藍圖。只有在免於長期暴雨威脅的心境下，才可能積極追求當地的永續發展。

## 參考文獻

- 李維峰、鄭瑞濱，2004：「JW 防災空調導水鋪面工法推廣」計畫案成果報告。財團法人台灣營建研究院。62 頁。
- 陳瑞文、柳中明、陳起鳳、崔鳳修，2011：高承載透水道路在「建築防洪」與「道路排水」應用之設計探討。中華民國低碳環境學會。52 頁。