臺東縣環境保護局

河川裸露地與疏浚工程揚塵防制
-- 管理暨防制技術

蔡俊鴻 教授

國立成功大學環境工程學系

中華民國107年3月月23日

壹、河川揚塵事件之影響

臺灣河川揚塵衍發空氣污染事件

- 河川揚塵影響因素
  - 乾燥河床面積
  - 河川地型
  - 河川灘地表層植覆
  - 河床淤泥
  - 河床淤泥含水率
  - 風速

- 河川揚塵之衝擊
  - 懸浮微粒物污染
  - 落塵 (舒適度)干擾
  - 能見度
  - 植栽收成
  - 水域生態

河川揚塵衍發空氣品質不良事件頻率

- 濁水溪河川揚塵事件日數： 102年(58日) - 105年 (20日)，下降65% ；106年度發生59次河川揚塵應變，主要發生於東北季風期間 (1~3月、10月)。
- 高屏溪河川揚塵事件日數： 106年衍發7次，高於105年衍發日數；應與106年幾次天災事件造成河川裸露地面積增加，衍發揚塵影響嚴重。

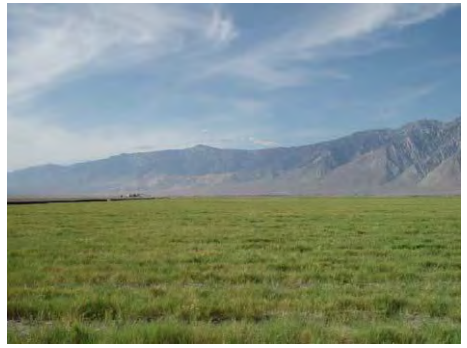
河川	縣市、測站	101	102	103	104	105	106
卑南溪	臺東測站	7	7	3	3	7	6
高屏溪	高雄市、屏東縣	5	7	4	1	4	7
濁水溪	崙背、麥寮	23	58	57	23	20	59
大安、大甲溪	沙鹿、泰安	7	10	-	-	-	-
烏溪	線西	1	2	1	1	-	-
秀姑巒溪	玉里	-	3	10	2	1	1
花蓮溪	壽豐	9	2	12	5	7	2
立霧溪	新城	-	1	3	5	6	1

貳、河川揚塵防制對策與技術

美國乾燥湖床揚塵改善案例

◆美國加州 Owens Lake ：

- 美國 Owens Lake 位於加州東邊，18世紀時面積為 110 平方哩，當其成為加州水源後剩 40 平方哩，湖東半邊有 25 至 40 平方哩之乾燥湖床，易造成揚塵。乾燥湖床主要採取水覆蓋、綠覆蓋及石礫覆蓋等方法減少揚塵，並且營造生態棲地。
- 2006年法院命令LADWP(Los Angeles Department of Water & Power) 恢復Owens Lake水量；加州政府與企業合作，採取多項措施，Owens Lake水量逐年增加，逐步恢復以往湖邊景色；在Owens Lake 建立生態公園，營造生態棲息地及生態廊道，於2016年4月開幕。



中國大陸沙漠化(砂塵暴)治理

◆中國大陸沙漠化治理措施：

- 1978年，中國大陸政府針對沙漠化問題採取積極政策，推動國家級生態工程「三北防護林工程」，計畫沿著大陸北部沙漠邊界種植數億棵樹，預計建立森林帶(東西長4,480公里，南北寬560~1,460公里)，阻止沙漠擴張； 為地球增加10%森林覆蓋率。這項工程又稱「綠色長城」，執行到2050年；目前已經種下超過660億棵樹。
- 2000年代初期，中國大陸政府針對沙漠化問題頒布系列法令，內容包括：將部分農地與放牧地復原成為更自然森林或草原。主要措施說明如下：
  - **設置沙障**：以削弱風力的侵蝕，同時有截留降雨的作用，能提高沙層的含水量，有利於沙生植物的生長。在沙面上覆蓋緻密物：有效防止水散失，但塑料薄膜易被風刮起，使其喪失固沙和保水功能，同時造成二次污染。
  - **利用廢塑料治理沙漠**：可有效固沙和保水，且固沙層重量較大，大風也很難將其刮起。
  - **植栽治理**：在沙漠地區播種沙生植物，以阻止沙漠擴張及改善沙漠土地。
  - **植物水資源利用**：沙漠地下水較穩定，沙層厚，具有隔熱性，得以保存地下水含量；執行重點在於選擇適當樹種、建立穩定林帶結構，確保地下水層。此種穩定對策之效果受降水現象制約。

河川揚塵防制工法成本與防制效率

工法類別	優點	缺點	單位成本(萬元/公頃)	抑制效果%
水覆蓋	1.減少裸露地 2.增加沙含水量 3.增加生物棲地 4.抑制效果佳	成本高	5~6	>90
半自動灑水系統	1.增加沙含水量 2.抑制效果佳	1.價格昂貴 2.施作區段受限	22	80
防塵網	1.施工快、簡便 2.緊急防風效果佳	1.價格昂貴 2.施作區段受限	6	50
綠覆蓋(植草)	1.成本低 2.自然生態	1.選擇適地性及定砂良好原生在地植物 2.易遭殺草劑破壞 3.強風下，防制效果有限	6.5	77
鋪設稻草蓆	1.稻草腐爛可做綠肥 2.具保溼性 3.減碳、淨化空氣	若遭大水沖毀，造成二次污染	4	77
噴灑三仙膠	1.價格低 2.施作快	1.有效期短，約3周至1個月 2.易溶於水及被生物分解 3.破壞環境生態之疑	1	77

臺灣河川揚塵防制策略

- 空氣品質監測
- 調查掌握河川揚塵潛勢區位
- 河川揚塵防制工程
- 河川灘地管理
- 預警通報、應變

調查掌握河川揚塵潛勢區位_河川灘地圖資判釋

影像衛星

影像正規化

影像基本處理

輻射校正影像

非汛期

汛期

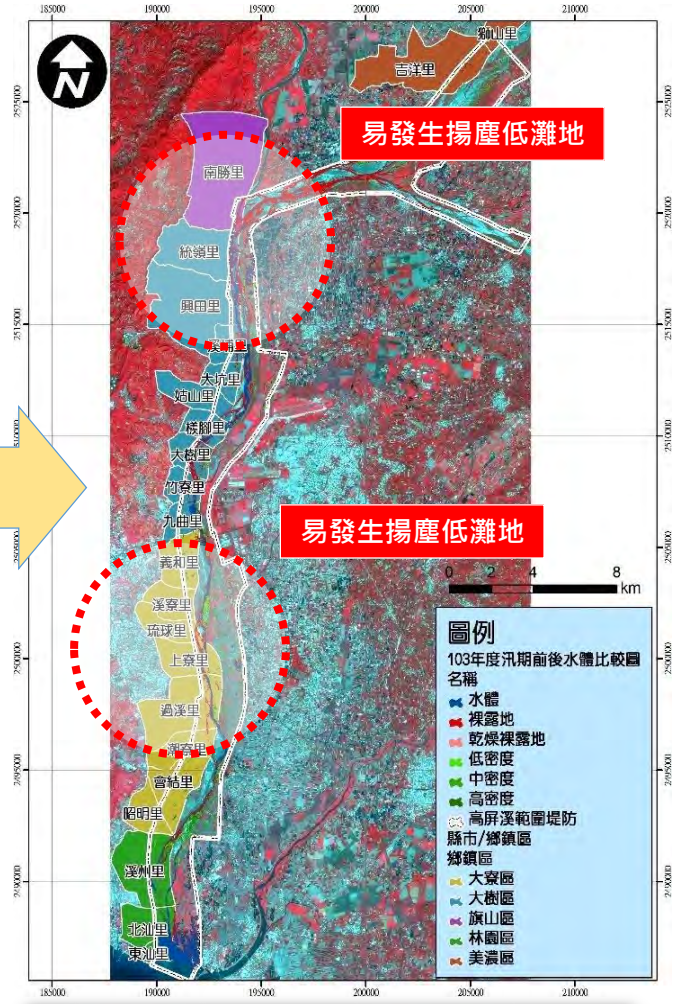
NDVI分析

裸露地

水體

- 溪床低灘地區域不易掌握
- 可有效掌握溪床非汛期低灘地區域。

透過水體大量吸收衛星影像近紅外光特性



前後期套匯掌握低灘地區位

調查掌握河川揚塵潛勢區位_高影響區帶評析

- 104及105年度裸露地區域以大寮區、大樹區為主。
- 105年度揚塵好發區段為高屏大橋及萬大橋河段。

分級及劃定	高度影響區	中度影響區	低度影響區	未影響區
	高屏大橋下游 萬大橋下游	斜張橋上下游 舊鐵橋上游	林園油管下游	出海口

分析流程：

劃分影響區域

套疊分析裸露區域與PM_{10}濃度圖

現地調查

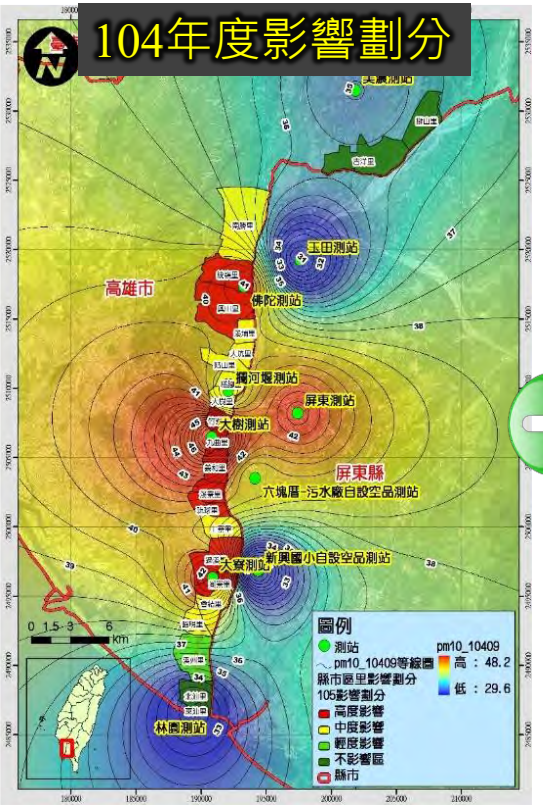
好發揚塵時間點調查

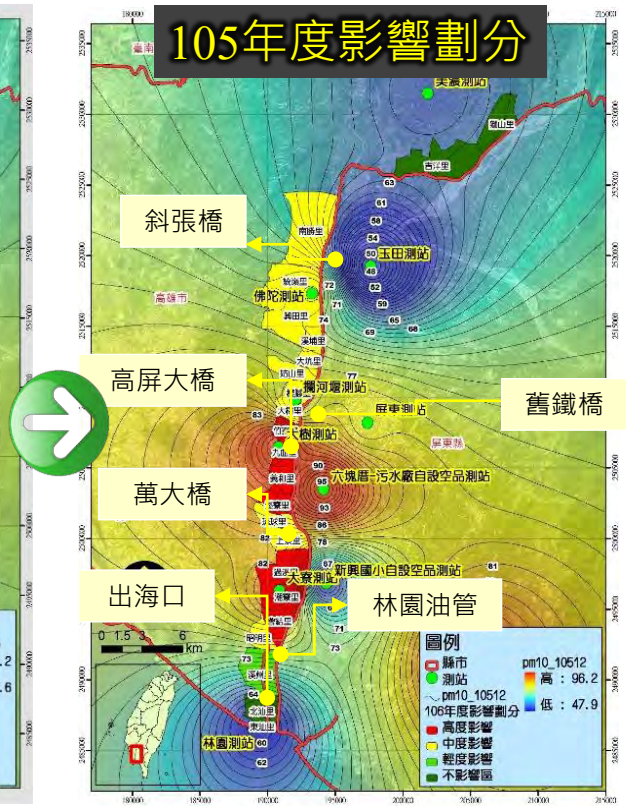
105~106年裸露地

採集105~106年萃取裸露地分布圖區

當年度1~12月份PM_{10}

套匯105~106年每月PM_{10}濃度圖分布資訊

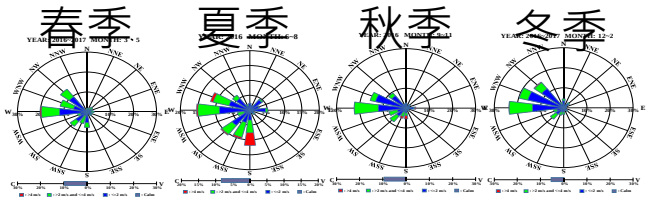




調查掌握河川揚塵潛勢區位_高影響區帶巡查

年度巡查- 高屏溪裸露地主要集中於大樹及大寮區河段，在盛行南風月份(6至8月)及颱風侵襲時節，風速增強，易造成河川揚塵事件發生，以大樹、大寮區影響最為嚴重

夏季南風系列風速強



上游

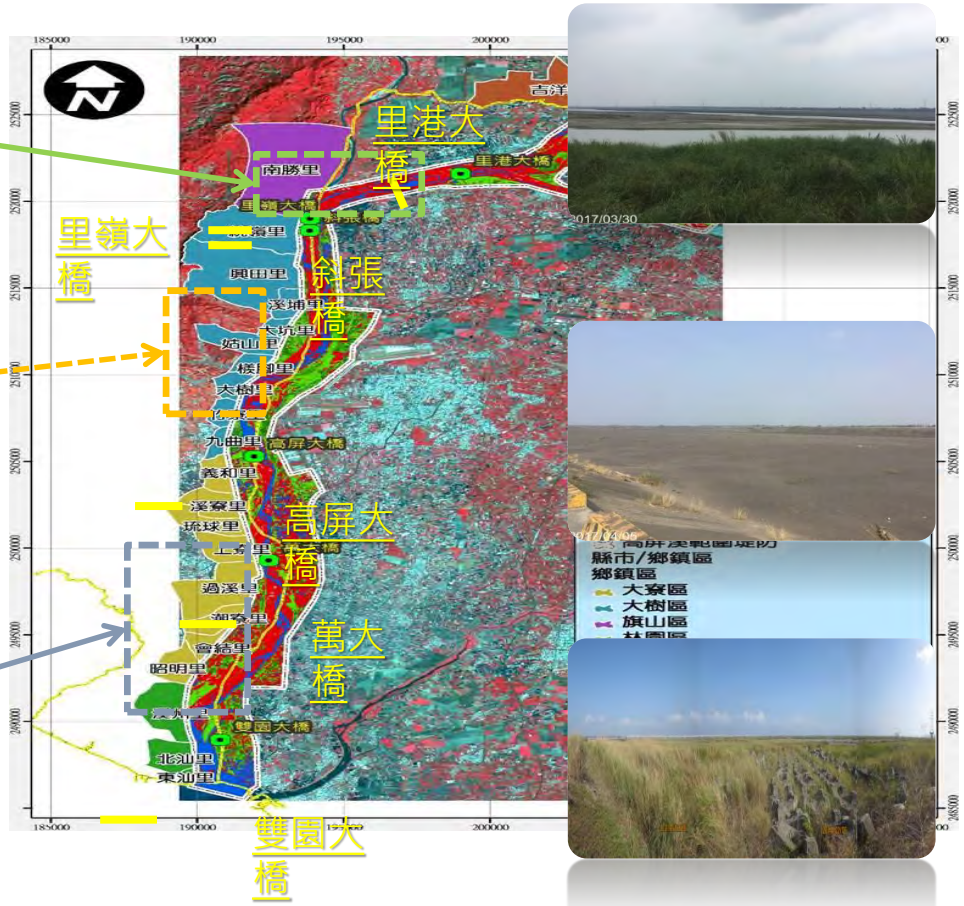
1. 本年度枯水期裸露地明顯增加
2. 為河川管理單位重點疏濬及揚塵改善區域
3. 揚塵好發時影響區域以旗山區、美濃區為主

中游

1. 具大範圍河床裸露地，且無植生生長，為高屏溪河川揚塵好發河段
2. 屬南水局管轄範圍，本年度有倒排水路、防洪牆及伏流水工程施作
3. 揚塵好發時影響區域以大樹區為主

下游

1. 102年起裸露地植生情形良好，揚塵好發頻率及影響範圍有改善之趨勢
2. 本年度因降雨量少及颱風造成砂石堆積，該區裸露地有增加之情形
3. 揚塵好發時影響區域以大寮區為主



河川揚塵監測、預警通報、應變

自設懸浮微粒監測系統

設立目的：

- 於好發時期監測污染量
- 確實掌握污染動向

選擇測點

(高屏溪攔河堰管理中心及佛陀紀念館)

- 選點原則
  - 易有揚塵好發
  - 民眾陳情頻率較高之處
  - 迎風面無障礙物

監測原則

- 符合環保署NIEA A206.10C公告方法
- 配合揚塵預警通報資訊平台，可自動上傳監測數據
- 可即時提供監測數據(每小時)

監測期程

101年監測迄今~

河川揚塵監測、預警通報、應變

- 105年第1季(105年8月)、第3季(105年10月)及第4季(106年2月)落塵量皆低於5g/m²/月，屬無污染等級。
- 105年第2季(10月份)採樣期間適逢10/21日因颱風外圍環流而導致高屏溪河川揚塵事件的發生，大寮區潮寮國中及大樹區大樹國小測點測得之落塵量大幅提高。
- 由落塵量調查結果，高屏溪沿岸大樹區及大寮區為受河川揚塵影響較嚴重區域。

事件日落塵量較高區域：大寮、大樹區

	汕尾國小	潮寮國中	溪寮國小	大樹國小	溪埔國小	溪洲國小	中壇國小
	林園區	大寮區		大樹區		旗山區	美濃區
105年8月	3.3	1.7	2	1	2	1.6	2.3
105年10月	1.9	5.4	1.9	16.2	1	0.9	1
105年12月	2.3	2.4	2.1	2	0.9	0.9	4.4
105年2月	3.2	3.6	2.1	3.2	1.6	1.8	1.3

0 ~ 5 屬無污染
5 ~ 10 屬輕度污染
10~15 屬中度污染
15~20 屬嚴重污染

河川揚塵監測、預警通報、應變

預警通報啟動條件

- 前一日通報
  - 環保署發佈揚塵訊息
  - 中央氣象局預報隔日達4級風以上
  - 高屏溪河川揚塵預報隔日有揚塵
- 當日確認通報
  - 現地巡查是否有河川揚塵事件發生
  - 空品資料分析：$PM_{10-2.5}/PM_{10}>0.7$
- 河川揚塵通報
  - 如前一日並無發佈預報，當日有河川揚塵事件發生時，亦進行通報作業。

通報層級	河川揚塵事件	通報標準
初級	是	$PM_{10}>150\mu g/m^3$
中級	是	$PM_{10}>350\mu g/m^3$
緊急	是	$PM_{10}>1,000\mu g/m^3$

河川揚塵預警通報、應變及監測

揚塵事件日應變

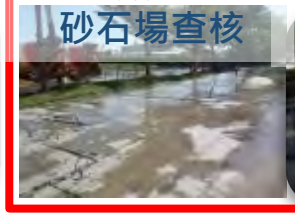
105/10/21高屏溪揚塵事件日應變

10：00	10：10	10：39	11：30	13：08	16：18	17：12	19：00
接獲里長通報有揚塵	巡查員至現地巡查	發送揚塵簡訊通知	各相關單位進行勘查	巡查員回報現地情形	巡查員回報現地揚塵已減輕	解除	沿岸環境清理

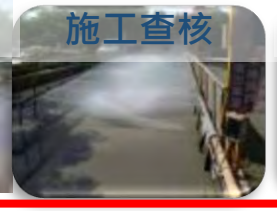
里長通報
有揚塵

巡查員
現地巡查

逸散計畫
砂石場查核



營建計畫
施工查核

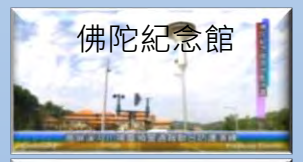


七河局
派遣灑水車

洗掃計畫
派遣灑水車

南水局
派遣灑水車

掌握監測數據

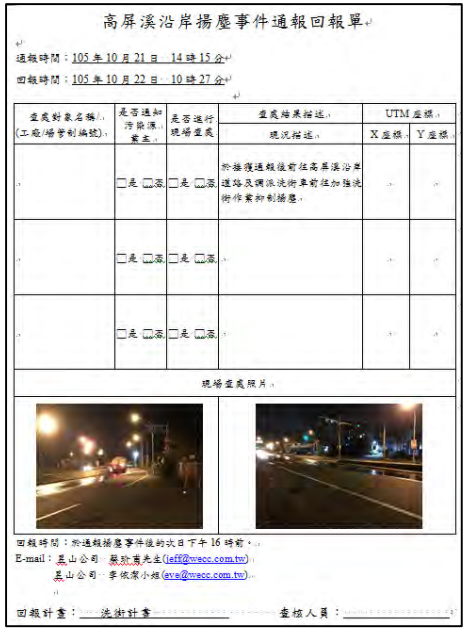


環保署：
- ✓ 美濃、大寮及林園測站

自設測站：
- ✓ 佛陀及攔河堰測站

線上進行通回報

通報名單建置：
- ✓ 高雄與屏東環保局及相關委辦計畫
- ✓ 七河局及南水局
- ✓ 沿岸區里學校
- ✓ 沿岸疏濬工程及砂石業者



高屏溪沿岸揚塵事件通報回報單

通報時間：105 年 10 月 21 日 14 時 15 分

回報時間：105 年 10 月 22 日 10 時 27 分

查處對象名稱（工廠/場家制編號）	是否通知污染源業主	是否進行現場查處	查處結果描述	UTM 座標	
			現況描述	X 座標	Y 座標
	□是 □否	□是 □否	於接獲通報後前往高屏溪沿岸道路及調派洗街車前往加強洗街作業抑制揚塵。		
	□是 □否	□是 □否			
	□是 □否	□是 □否			

現場查處照片

回報時間：於通報揚塵事件後的次日下午 16 時前。

E-mail：基山公司：蔡欣甫先生(jeff@wecc.com.tw)

基山公司：李依潔小姐(eve@wecc.com.tw)

回報計畫：洗街計畫　　查核人員：

參、臺灣河川揚塵防制經驗

臺灣河川揚塵防制工法

河川	防制工法類別
濁水溪	**蓄水池塘**、**葉脈式引水渠道**、綠覆蓋工法、稻草蓆鋪設、架設管線與灑水設施、防風林補植撫育、防塵網、灑水車、河道整理(10萬立方米)
卑南溪	**梯田式與魚塭式水覆蓋工法**、水線佈設、高壓水槍、鋪灑草籽、防風林補植撫育綠覆蓋工法、灑水工法
高屏溪	**稻草蓆鋪設**、綠覆蓋工法（現地植生）
大安溪	**截砂石籬**、**架設管線與灑水設施**、直立式防塵網、防塵網鋪設、西瓜布鋪設、半固定灑水工法等
大甲溪	**截砂石籬**、**水線**、**水帶佈設**、直立式防塵網、防塵網鋪設、、西瓜布鋪設、灑水車、半固定灑水工法等
烏溪	**綠覆蓋工法**、防風林補植撫育、防塵網、架設管線與灑水設施、灑水車
花蓮及秀姑巒溪	**綠覆蓋工法**、架設管線與灑水設施

- **暗紅色字體_河川主要工法**

臺灣揚塵防制工法成效與成本效益分析 (1/2)

防塵工法	工法說明	應用案例	單位成本（萬元/公頃）	防制效率（%）
稻草蓆鋪設	裸露地鋪設稻草蓆，以覆蓋方式減少砂源裸露於裸露地	高屏溪、卑南溪	4	64
直立式稻草	直立式插立稻草，降低地表風速，達成揚塵抑制效果	濁水溪	2	50
水覆蓋工法	利用土堤或圍堰抬高水位，使水漫淹於裸露地	大安溪、大甲溪、烏溪濁水溪、高屏溪、卑南溪	5~6	>90
防塵網鋪設	直接於裸露地上設防塵網	烏溪、高屏溪	6	82
半自動灑水系統	將灑水設備裝載至移動載台，或於現地施設管線	大安溪、大甲溪、烏溪	22	>80
自動化監視灑水系統	經監視系統隨石得知飛砂狀況，即時噴灑水幕攔截飛砂降低揚塵	卑南溪	80	--
防風網－跳島式工法施設	以跳島方式施設防風網	高屏溪	3	30

資料來源：102年經濟部水利署「河川揚塵防治工法探討與策略評估 (1/2)」

臺灣揚塵防制工法成效與成本效益分析 (2/2)

防塵工法	工法說明	使用單位	單位成本（萬元/公頃）	防制效率 (%)
噴灑土壤穩定劑－三仙膠	於裸露地噴灑土壤穩定劑	高屏溪	1	77
現地植生	於裸露地施種易生長、耐旱抗風植物	蘭陽溪、大安溪、烏溪濁水溪高屏溪、卑南溪花蓮溪、秀姑巒溪	6.5	25
保育林	南北兩側高灘地設保育林	大甲溪	6.25~10	81
河川護甲化	將粒徑較大石礫，平舖於河川裸露地，掩蓋細粒徑砂石，防止揚塵產生	大安溪、大甲溪	15	70
截砂石籬法	改變風速、流場、紊流結構及動能，減少風速及氣流特性，避免後方砂塵揚起	大安溪、大甲溪	9（萬元/公里）	43.5

資料來源：102年經濟部水利署「河川揚塵防治工法探討與策略評估 (1/2)」

河川揚塵防制成果案例

河川	施作防制工法類別及106年完成整治面積		照片
高屏溪	稻草蓆鋪設綠覆蓋工法（現地植生）	高屏溪105年度完成改善73公頃裸露地。	稻草席覆蓋 綠覆蓋工法 稻草席覆蓋 綠覆蓋工法

河川揚塵防制工法成果分析

塵防工法	梯田式	魚塭式
位　置	利吉大橋、臺東大橋	中華大橋、利吉山里
蓄水深度	淺 (約50公分以下)	深 (約100~150公分)
水流情形	慢	快且大
構築面積	小面積(約0.2~1公頃)	大面積(約2~4公頃)
水量需求	少	多
施作期程	長	短
維持時間	長	短
工法差異	需先施作導水路	由下游處先施作後引水
適合區域	窄行水區、中高灘地	寬行水區、低及中低灘地
工法優點	易形成自然藻類(地衣)	災後搶修快速
工法缺點	人力需求較高、需重複性施作	水量需充足、需重複性施作

資料來源：臺東縣環保局。

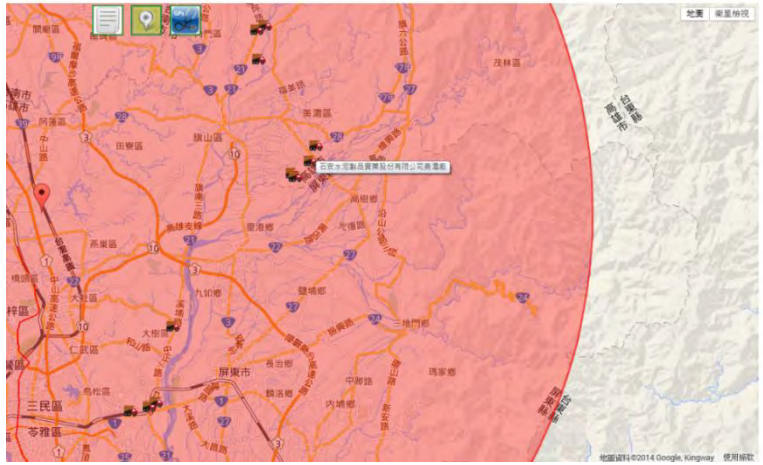
肆、高屏溪揚塵防制經驗

高屏溪揚塵背景資訊

高屏溪揚塵污染來源

- ✓ 高雄市疏濬工程多位於美濃、旗山區，每年於汛期後開始施作。
- ✓ 高雄市境內砂石場共計有10處。
- ✓ 高屏溪沿岸於粒狀污染物的管制上，除河川揚塵的問題，仍有砂石場及疏濬工程管制作業。

GPS定位與AQMC之圖資比對

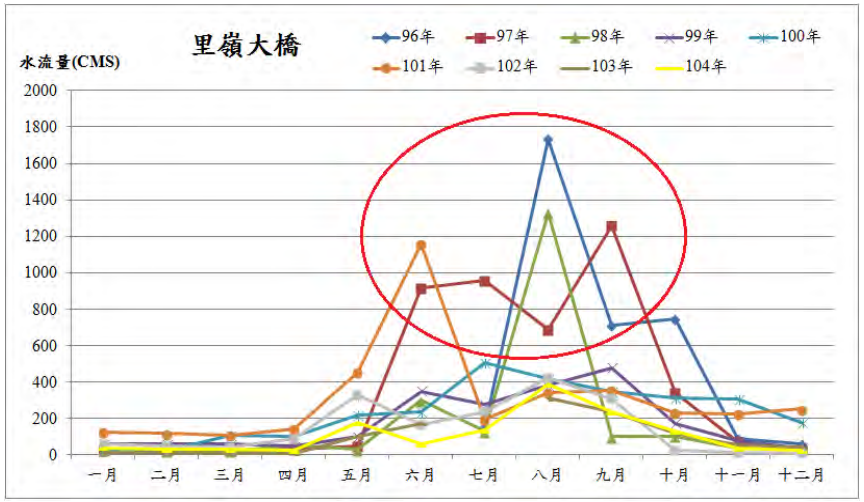


高屏溪揚塵背景資訊

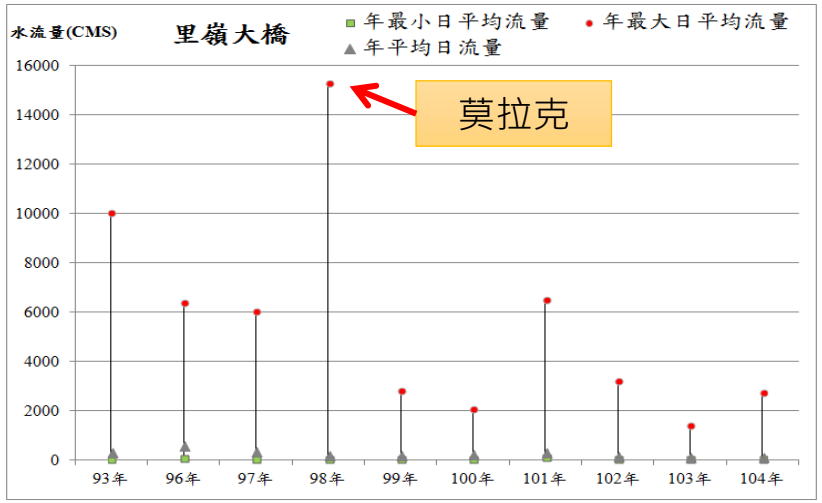
水文資料

- ✓ 統計調查93-104年里嶺大橋，河水逕流量多集中於每年6~8月，顯示高屏溪汛水及枯水期分明。
- ✓ 日最大逕流量均遠高於年平均逕流量 顯示河川逕流量差異甚巨。
- ✓ 高屏溪於暴雨後河川水位將大幅上升，可能導致沿岸低灘地受到河水沖刷，將沖毀低灘地上原有植被，於枯水期間導致大量河灘地裸露。

月均河水逕流量分析(96-104年)



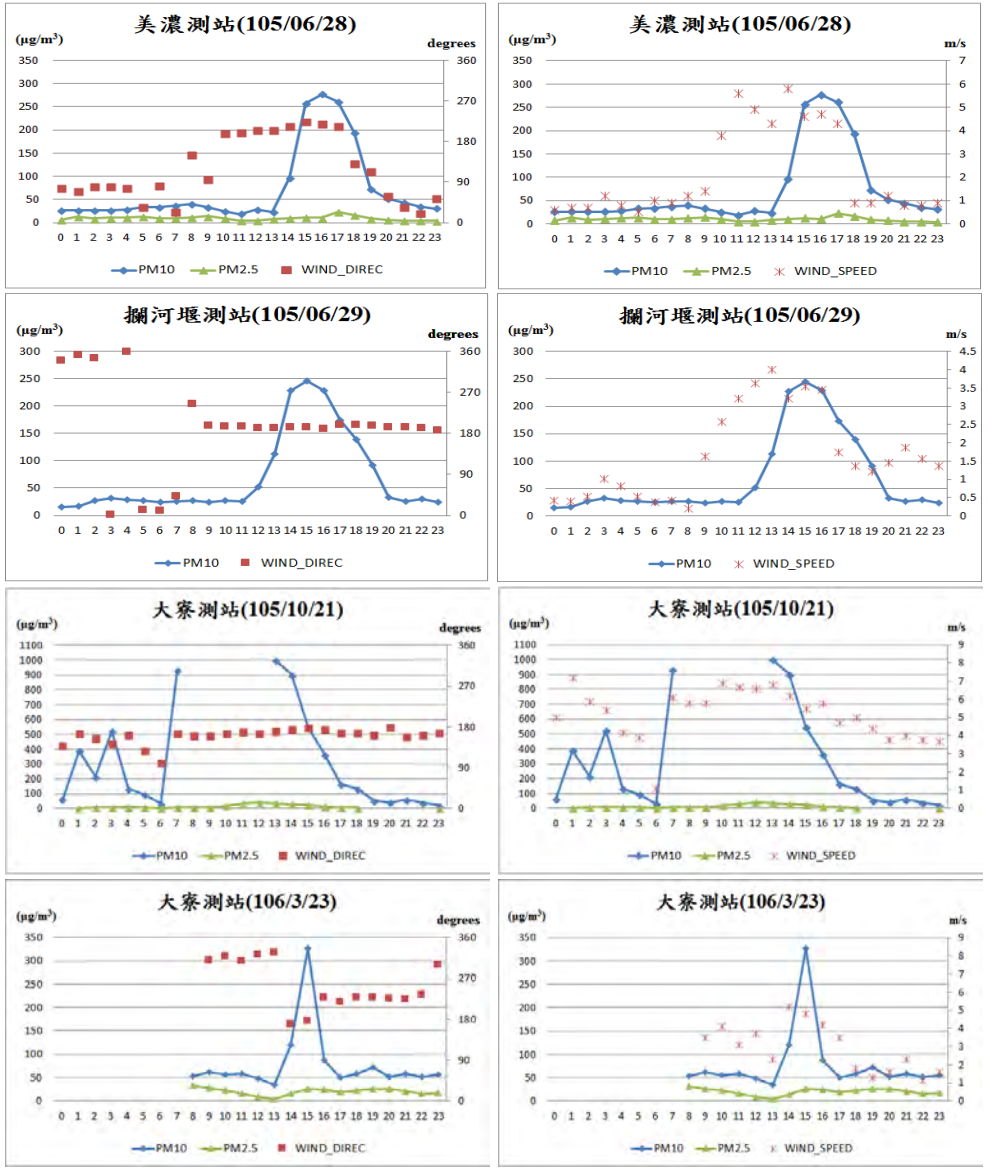
年度內日逕流量落差大



註：七河局105年尚無統計資料。

高屏溪揚塵衍發空氣污染影響分析

- 民國105年_高屏溪河川揚塵事件日，共發生4天：105/6/28、6/29、10/21及106/3/23 。
- 105/10/21事件日為海馬颱風外圍環流導致高屏溪吹拂強勁南風及東南風。
- 當風速上升至 ≧ 4m/s 且風向為南風系列，下一小時PM_{10}濃度值隨即上升至高濃度值。



高屏溪揚塵衍發空氣污染影響因素分析

高屏溪揚塵衍發高濃度污染因素

- **特性一：**

  風向-南風；風速> 4m/s

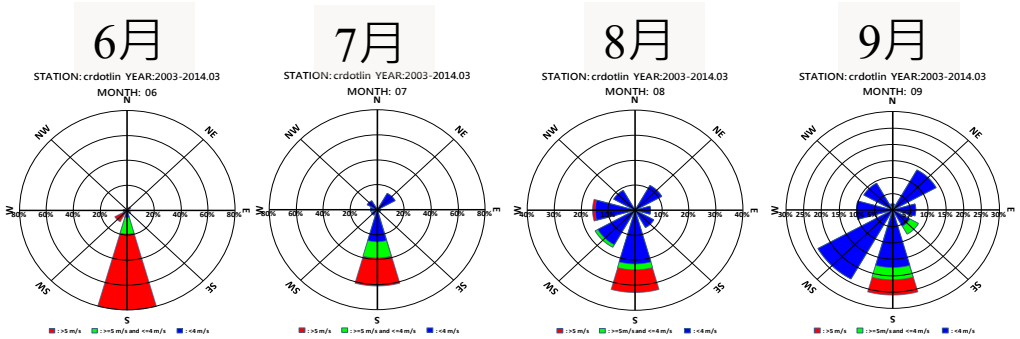
- **特性二：**

  $PM_{10-2.5}/PM_{10}$ > 0.7 (粗微比)

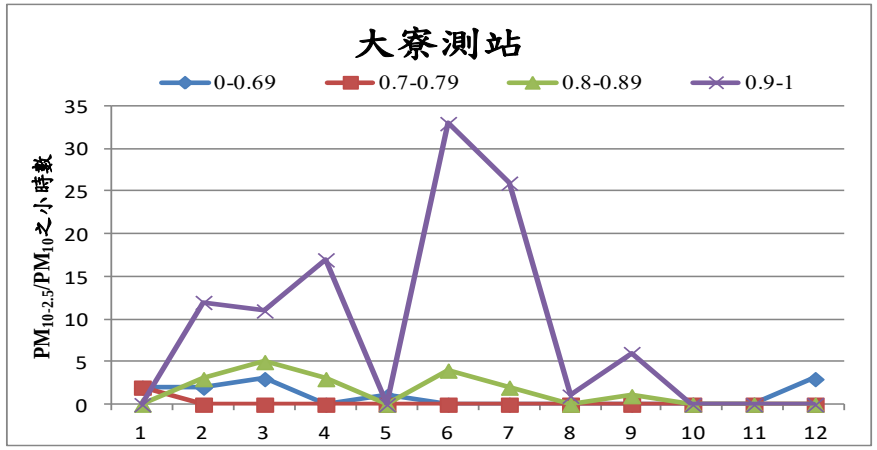
- **特性三：**

  強降雨造成灘地沖刷淤塵，後續強日照

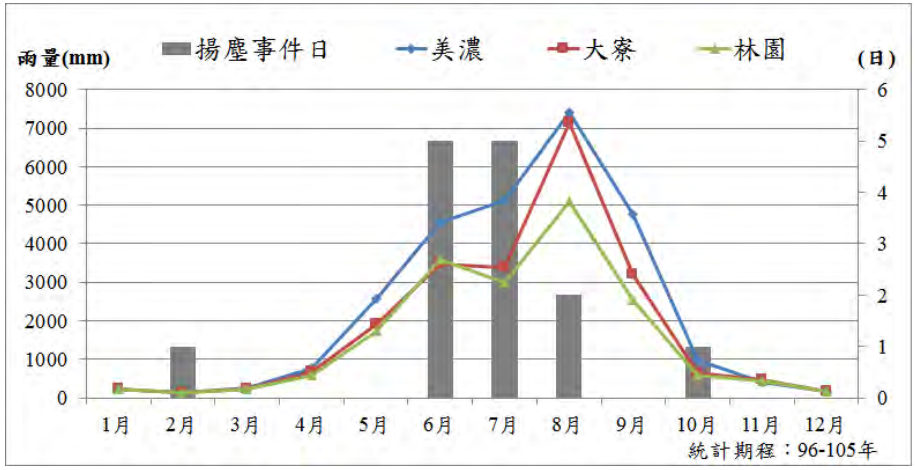
  導致灘地乾燥



大寮測站 $PM_{10-2.5}/PM_{10}$ 比值變化趨勢



高屏溪沿岸雨量逐月變化與揚塵事件日



高屏溪揚塵防制成果案例分析

- 第七河川局依據裸露地分析資料，每年於高屏溪裸露地上施作揚塵改善工法(稻草蓆鋪設及現地植生)，減少河床裸露地面積，降低高屏溪河川揚塵現象。

防制對策執行規模、範圍、強度不足，改善效果有限。

稻草蓆覆蓋

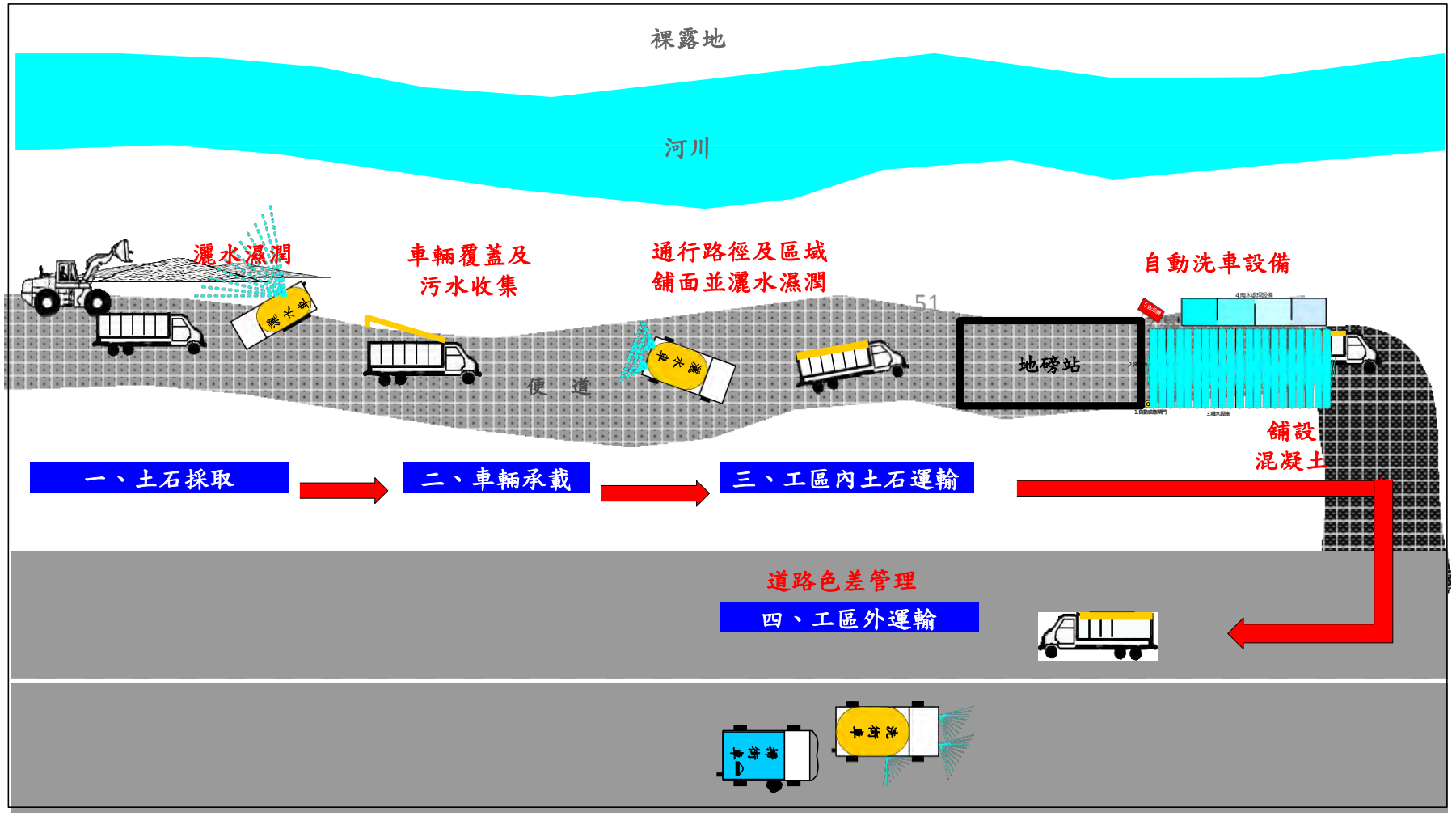
現地植生

年度	施作地點	施作工法	施作面積(公頃)
102	斜張橋上下游河段	稻草蓆覆蓋	14.4
	萬大橋上游左岸	狼尾草植栽	6.9
	高屏堰下游左岸	狼尾草植栽	3.0
103	萬大橋下游	水漫淹工法	16.0
	斜張橋上下游河段	狼尾草植栽	5.0
	萬大橋及里港大橋下游	稻草蓆覆蓋	13.2
	里港大橋至里嶺大橋左岸	狼尾草植栽	5
	里港大橋至里嶺大橋右岸	稻草蓆覆蓋	15
	里港大橋至里嶺大橋河段	狼尾草植栽	9.8
	里港大橋至里嶺大橋河段	稻草蓆覆蓋	27

肆、河川疏濬工程揚塵防制經驗

南投河川疏濬工程揚塵防制經驗

河川疏濬 作業流程圖



南投河川疏濬工程揚塵防制經驗

■ 環保署研擬「河川疏濬砂石作業空氣污染防制標準作業模式」，提供業者辦理依據，以提升管制成效。

疏濬揚塵防制重點

河川疏濬工程主要分為四項：

- 土石採取作業：有粉塵逸散之虞者、應灑水予以溼潤。
- 車輛承載：裝載之車輛應妥善覆蓋下拉捆紮牢靠，並防止污水滴落、且清洗車體及輪胎
- 工區內土石運輸：車行路徑應舖面、定期灑水並維持乾淨。
- 工區外土石運輸：與工區內防制設施同。

南投河川疏濬工程揚塵防制經驗

河川疏濬工程揚塵防制作業規範

土石採取

- 作業區之土石若為乾燥狀態，採取前應先灑水使其濕潤。

車輛承載

- 土石運輸車輛應使用密閉式貨箱，或以封蓋緊密覆蓋貨箱，封蓋採防塵布者， 應捆紮牢靠，邊緣應延伸覆蓋至貨箱上緣以下至少15公分。
- 土石運輸車輛貨箱底座應設置污水收集設施，運輸過程不得滴落污水、污泥或 掉落逸散性粒狀污染物質於地面。

工區內土石運輸

- 疏濬工程進行期間，應於河床便道舖設鋼板、混凝土、瀝青混凝土、粗級配或 其他同等功能之粒料。
- 河床便道採舖設鋼板、混凝土及瀝青混凝土者，應定期清洗保持路面乾淨。
- 河床便道採舖設粗級配或其他同等功能之粒料者，應以灑水車定期灑水，保持路面濕潤。

工區出入口

- 疏濬工程進行期間，應於運送土石之車行出入口，設置自動洗車設備。
- 自動洗車設備至主要道路之車行路徑，應舖設混凝土。

區外道路

工區外土石運輸

- 工區外道路(公路)應維護洗掃，車輛出入口，不得有路面破損或髒污，致路面色差或逸散粒狀污染物於空氣之情形。
- 道路洗掃作業應依「街道揚塵洗掃作業執行手冊」所訂操作參數及相關內 容執行。

結 語

- 河川揚塵-可能是自然現象，亦可能是人為污染。
- 防制河川揚塵 -須因應自然條件，輔以管理與工程。
- 河川揚塵防制應整合相關部門合作，才能有效減輕衝擊。
- 順應自然環境，最為上策。