

台東卑南溪出海口河段沙塵災害探討

曾俊傑¹、王文清¹、劉清煌²、李榮著³、梁剛璋³、周元春³

¹國立台東大學防災科技資訊中心、²文化大學大氣科學系、³經濟部水利署第八河川局

摘要

在適當的地表情況及氣象條件配合下，台東卑南溪出海口河段的吹沙，常使台東市區籠罩在漫天沙塵中。這不單造成空氣品質惡化，影響人體健康，風沙的低能度甚至曾肇致死亡車禍，更可使台東空軍志航基地停止飛航。多年來台東縣政府與中央單位（經濟部水利署第八河川局）雖然多方努力，投入相當的人力與物力，進行卑南溪沙塵災害研究與防治，但成效似乎有限。本文嘗試統計分析空軍志航基地天氣中心自民國 88 年至民國 96 年近 9 年天氣資料，探討此地區吹沙現象之氣象要素；並就歷年風沙防治方法與現地調查的結果進行分析，以了解影響卑南溪出海河口段風沙的原因，並嘗試提出對策以爲相關防制之參考。

氣象資料顯示：以西南風、東北風風向最易引發風沙；而影響之天氣系統：東北風可由東北季風及颱風或熱帶低壓引發；西南風則可來自鋒面及颱風或熱帶低壓；而西風、西北風、東風主要來自颱風環流氣流的影響。風沙發生時間以中午時段爲多，似是溫度對此地區吹沙的形成有相關性，但增溫的蒸發效應及相對濕度變化，對吹沙的形成有何影響仍待後續探討。而風力及降水的影響則須配合河道地質、水文等因素同時分析探討，方能掌握風力及降水與吹沙的關聯，此方面亦有待進一步研究。

由於出海口河段易受大雨充沛的水流冲刷影響，河道變遷相當頻繁，影響風沙防治成效至鉅。但從歷年防治方法進行成效追蹤及現地調查結果可發現：若能針對河道土壤、河道不同地形特性（高低灘地、植被情形）及揚塵特徵，依不同季節採行整合各式防治工法，應可達到較佳的成效。

關鍵字：沙塵暴、風吹沙、焚風、空氣品質

一、前言

台灣地區的空氣品質除了受到來自大陸地區污染源，包括人爲及自然環境，也受本地固定污染源（工廠、工業區）及移動污染源（汽機車）的影響，這是國人在對於台灣地區空氣品質污染來源最普遍的認知。然而，近年來頭前溪、濁水溪、大甲溪、曾文溪、高屏溪、卑南溪、花蓮溪、立霧溪等河川的沙塵，對河川附近居民及工業廠區的干擾，已漸爲地方與中央政府所重視，並投入相當的人力與經費進行河川整治與沙塵災害防治。其中素來有「砂城」之稱的台東縣，在水利署、環保署及縣政府共同協力下幾乎年年編列預算用以防治沙塵的災害。

台東最大的沙塵災害發生在卑南溪的中下游，源於中央山脈卑南主峰（標高3293公尺）的卑南溪流，在流經台東縣海端、池上、關山、鹿野、延平、卑南等鄉鎮後，於台東市區北郊注入太平洋，整個集水區域約有70%的山坡地形，因支流河川短促與地質及斷層活動等因素，往往易於降雨，尤其是豪大雨過後，在中下游地區及出海口河床沉積泥沙及礫石，形成台東市區吹沙的沙塵潛在來源（圖1）。每當氣象條件配合時，往往引起風飛沙，當風飛沙發生時，微塵與大小沙粒隨風揚起，四處飄散，使得台東的關

山、鹿野、卑南及台東市等地區，籠罩在漫天沙塵中，在一片灰濛的沙塵中，能見度低（圖2），空氣品質亦甚爲惡劣，長期以來，對於台東地區居民交通安全與生活品質造成極大影響，其中以位於卑南溪出海口南岸之台東市區受害最爲嚴重。根據當地居民的說法，台東地區的吹沙主要發生在冬季，係伴隨東北季風的強風而來，然而依據陳等（2006）的分析發現，近十年來的吹沙季節已有所改變，其中的改變原因，據推測有二：一是自民國87年後能見度的編報依據由盛行能見度改爲最低能見度，使得編報次數增多。另一是可能與卑南溪出海口環境與管理政策改變有關：（1）卑南溪左右兩岸河堤分別於民國87年及89年延長至出海口；（2）河床地自民國87年後禁止農民種植蔬果；（3）同年，於出海口右岸砍伐木麻黃林，開挖人工湖。至此以後，此地區防風林逐漸被開發爲休閒地區；（4）碧利斯及敏督利颱風造成卑南溪上游新武呂溪及支流鹿野溪流流域的多處坡地坍塌。

近年來在沙塵的防治上，台東縣政府及經濟部水利署第八河川局（以下簡稱八河局）曾嘗試利用防風樹種植、機械引水噴灑、河道築高土堤、河堤坡面加強植生、加寬水域等之水覆蓋及綠覆蓋方法，以進行飛沙防治，然而其防治成效仍相當有限，最長者也僅能維持一年左右。如2004年於卑南溪出海口沿岸

護坡前後栽植大量喬灌木，並在河川裸露地種植甜根仔草、馬鞍藤，進行飛沙防治；但於2005年受海棠、馬莎與泰利等颱風的侵襲，卑南溪流的洪水幾乎將植被全數沖失。又如2005年在台東市中華大橋下，以稻草覆蓋方式進行風飛沙防治試驗，雖可發揮局部抑制飛沙揚塵效果，但遇豪雨河水暴漲時，披覆於河床之部分稻草也常為溪水所沖走，影響後續防治效果。簡等（2008）認為本地區風沙防治成效不彰之原因主要係（1）無監測資料以分析風沙來源及探討風沙揚塵發生機制；（2）缺乏治理工法之效益評估及有計畫整合之治理方法。

然而，更重要的因素在於，雖年年治理，但每年僅採行一種工法進行風沙防治，似乎未能有效針對河道特性、風沙揚塵機制，進行整合性防治。因此，本文嘗試先就氣象統計與現地勘查結果，提出卑南溪出海河口河段風沙防治方法，以為後續規劃監測與整治工法運用之參考。

二、氣象資料統計及分析

在氣象測報上依揚塵高度：將塵、沙被風吹揚高度小於2公尺，且不足以蔽障視線高度之能見度者，稱為「低吹塵或低吹沙」；沙、塵揚起高度超過2公尺而造成視障，導致水平能見度不足10公里時，為「高吹塵或高吹沙」。若使水平能見度不足1公里者，則稱之為「塵暴或沙暴」。以上述的揚塵為標準，在台東地區所發生的沙塵情況，某些程度已可稱為「沙塵暴」（圖3）。本文延續陳等（2006）的統計，分析民國88年至民國96年近9年的天氣資料，以增進對此地區與吹沙現象相關的氣象要素之瞭解。表1是民國88年至民國96年歷年吹沙次數統計表，由東北風及西南風風場引發風沙者分佔58.9%、23.3%為最高，其中東風、西風及西北風合計有8次，此皆與颱風環流有關；而引發吹沙之天氣系統方面，東北風可來自東北季風及颱風或熱帶低壓；西南風、西北風東方則可來自鋒面及颱風或熱帶低壓；年度次數方面，依序為96年24次、94年21、95年18次最高，近3年的次數明顯增多，值得注意，其原因尚待研究。表2是民國88年至民國96年歷年吹沙各月份次數統計表，資料顯示全年各月份都會出現吹沙現象，此與陳等（2006）所統計的1至3月及5月份沒有出現吹沙情形已有所不同；主要月份集中在6月至11月，各月份以10月20次最多，8月的11次次之。吹沙發生的時間以中午時段（1000至1500LST）為多。而吹沙持續時間並不長久，一般在4小時以內，超過4小時以上的天氣系統，大都與颱風有關。由風場分析可知（表略），最大平均風速或最大陣風出現，或於出現後2小時內易發生吹沙。但單從風速的強弱並不能決定吹沙的形成及其影響能見度的程度，如民國88年11月1日的個案，陣風最大達44KTS，能見度最低也僅6000公尺，但民國93年8月13日的個案，平均風速在05至18KTS間，確曾出

現1000公尺的低能見度（未編報紀錄）。降雨對吹沙的影響方面（表略），以民國90年9月21日至23日的吹沙為例，資料顯示：吹沙期間同時伴有降雨，且吹沙發生前四日（9月18、19、20日及21日）均有降雨，甚至於9月19日出現53.7mm的雨量，因此降雨似乎無法增加泥沙的黏性，以減低風場的揚沙作用。

若決定吹沙形成的要素為風力、氣溫、降水等氣象因子與土壤表層植被、沙粒粗細等地質情況及相關區域的水文因素。則從上述氣象資料的分析僅知，發生時間以中午時段為多，似是溫度對此地區吹沙的形成較有相關性（中午的高溫及焚風的高溫），但增溫的蒸發效應及相對濕度變化，有待後續分析。風力及降水的影響則須與地質、水文等因素同時分析，方能掌握風力及降水與吹沙的關聯。而這方面資料有待於河床及其周遭進行儀器架設已獲得更精確的相關資料。

三、風沙防治探討與回顧

風飛沙現象是一相當複雜多變，且運動尺度範圍涵蓋極廣的現象，其運動型態受沙粒粒徑大小的影響，可分為滾動（surface creep）、跳躍（saltation）、懸浮（suspension）三型態（圖4）。一般而言，風速特性及沙粒移動臨界條件是影響飛沙發生之主要機制，其中飛沙量與高度之關係，一般多以修正後之乘幂指數表示（Chang, 1968），如式（1）所示。

$$Q_s(z) = a(z+1)^b \dots\dots\dots (1)$$

有關飛沙沙粒之物理性質探討，除沙粒粒徑與成分與形狀係數分析外，沙粒含水率與飛沙量關係與沙粒起動風速，均係影響飛沙相當重要的物理機制。有關沙粒移動之臨界條件，不論係依動量理論、剪力理論或揚力理論，起動風速（ U_x ）均可簡化成（蕭，2006）：

$$U_x = A \sqrt{\frac{(\rho_p - \rho_a) \times g \times d}{\rho_a}} \dots\dots (2) \text{式中 } \rho_p$$

為沙粒密度， ρ_a 為空氣密度， g 為重力加速度， d 為粒徑， A 為常數。

然而，由於沙粒運動物理現象差異大且觀察掌握不易，因此理論描述有其侷限，故往往需要大量調查研究區域之完整地貌、水文氣候情況與現地風飛沙監測資料，以分析風吹沙粒徑分佈與成分性質，及配合監測之水文資料，以歸納研判出風沙來源與發生機制，再應用飛沙輸移量潛勢分析與適當之風飛沙運動推估模式，方能評估研究區域之風飛沙運動尺度與活動趨勢，進而研擬合適之飛沙、揚塵之防治策略。基本上，風沙的防治分為兩大方向：一是防風，另一則是定沙。防風的目的在於減低風速，削弱風蝕力，防止土沙飛揚。定沙係安定積沙地之沙粒，不使其移動。在防風方面可利用防風林、攔砂柵等設施來降低

風速，以減少風砂搬運作用的啓動力；在定沙方面則可透過植物生長的自然覆蓋、稻草席的覆蓋等，以減少砂、塵被風捲揚的機會。吳（2003）根據長期的研究經驗提出沙塵災害治理措施的分類體系圖（圖5）。國內於風飛砂防治較常使用之工法計有：防風牆或擋砂牆、截砂溝、防風柵欄、防風網、草方格砂障與植生防砂工法。

目前，台灣地區對於風沙災害防治工作僅有一些零星經驗，且多在寬闊海灘沙質海岸與大型河口地區，如桃園與苗栗海岸、台中港附近地區與濁水溪河口等。為解決台東市風飛沙揚塵災害，八河局於90年委案進行「卑南溪河口段自然生態工法之研究」（曾等，2001），並自91年起迄今，台東縣政府與八河局即嘗試利用防風樹種植、機械引水噴灌、土堤築高加強坡面植生、加寬水域等之水覆蓋及綠覆蓋方法，以進行飛沙防治（表3），然而成效卻相當有限。為此97年八河局再委案進行「卑南溪河口段風砂問題改善對策初步探討」，簡等（2008）認為成效不彰在於：

(1). 裸露灘地變化與水位影響：

每逢大雨或豐水期，卑南溪河口地區地形變化相當劇烈，充沛之水流沖刷河道，易造成在河口裸露河床上飛沙防治固定工法或批覆式植生工法之破壞。

(2). 風向變化影響

所進行之工法可能僅對某一風向所引發的風沙較具防治效果，其他風向則否。

(3). 河床質沙泥含量影響

裸露灘地河床質之塵泥含量越高，揚塵越容易被風揚起，隨風吹送之揚塵量也越高，但沙泥含量並不易全面監測。

四、討論與結論

目前國內、外的沙塵防治策略似乎大同小異。風砂問題的防治策略，可從風砂的發生原因來思考。一是破壞強風的風場，例如利用防風林、攔砂柵等設施來降低風速，以減少風砂搬運作用的啓動和風砂的搬運量。另一方面的作法是減少砂源的裸露，譬如以植物生長的自然覆蓋、稻草席的覆蓋等，以減少砂、塵被風捲揚的機會。但何作法方能夠有效的防治沙塵，就必須依據風沙發生地區的基本環境條件，深入探討當地風砂揚塵發生的機制後，再行擬定，如此才是針對源頭來進行治理的概念。依此，本文作者進行河道歷史照片對比，再輔以現地勘查（包括簡易氣象儀器觀測）以作為後續防治策略擬定之參考，研究流程如圖6。

以往可能因為需渡河進入河床收集土壤層、河道變遷特徵及揚沙特徵等資料較為不便或具危險性，而影響風沙機制及工法防治成效的了解。因此，在進行這幾年歷史資料比對及現地勘查後發現：

1. 沙塵災害的防治，最需了解的是土壤層垂直結構及表層膠結穩定情形。因現地量測風速得知，膠結不

良的土壤層於每秒2公尺的風速下，就出現滾動的情形。而土壤層垂直結構的了解對揚沙塵量及區域的推估有所助益。

2. 應依據高低灘地地形、土壤層沙粒或礫石分佈、河道水流量、及季節氣候特性進行防治施作，且須多種工法混合應用，方可能有較佳效益。

3. 防治工法之建議：

(1) 梅雨及颱風季節雖有大雨量，可改變河道，但據歷史資料可知，部份高灘地仍可保持原貌，故適合以綠覆進行防治。尤其覆蓋稻草成效最持久，若能配合植草，成效可更佳。

(2) 降雨過後，自中上游沖刷下來之泥沙易沉降於出海口附近河床上，成為風飛沙的沙源，可以沉降池沉沙，再進行抽砂，除可排除沙源外，尚可作為建築材料使用。

(3) 盡量保持河床上有更多河道存在，可以分流方式進行。河道可用以降溫、攔砂、濕潤土壤以增進土壤層穩定，及維持植被植物生長。

(4) 用以攔砂及降溫作用的噴水器，應考量噴水器間距、水滴大小、高度、位置（揚塵最可能出現的位置）

(5) 為維持良好土壤表層膠結，應限制不當河砂開採及人類活動。

雖然，由於河道變化劇烈，及上中游泥沙來源不斷的情形下，實無有一勞永逸的防治工法。但仍可應用各式措施以降低風飛沙的沙塵量、及減少沙塵影響天數，讓沙塵的災害降至最低之可能。

參考文獻

- 吳正，2003：《風沙地貌與治沙工程學》，初版，科學出版社，北京。
- 曾晴賢，2002：《卑南溪河口段近自然生態工法之研究》，經濟部水利署第八河川局，台東。
- 簡中和、林宗儀、郭晉安、蔡宗利，2008：《卑南溪河口段風砂問題改善對策初步探討》，第三章第六節，經濟部水利署第八河川局，台東，71-73。
- 蕭葆毅，2006：《風工程》，初版，第四章第一節，國立海洋大學河海工程學系，台北，3-5。
- 陳永強、曾俊傑、陳忠漢、張晏暉、王韋勝、張又予，2006：台東機場吹沙現象初探，2006年航空安全學術研討會，台北，157-170。
- Chang, D. W., (1968), "Climate and agriculture", 109-117.



圖 1 卑南溪出海口河段及台東市衛星空照圖，資料引自 google 網站。

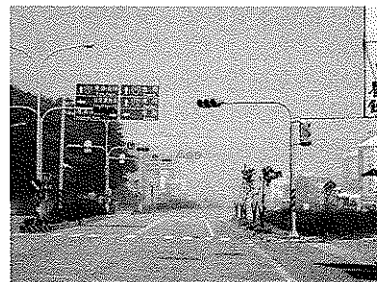


圖 2 卑南溪出海口河段揚塵，影響空氣品質及交通視線之情形。

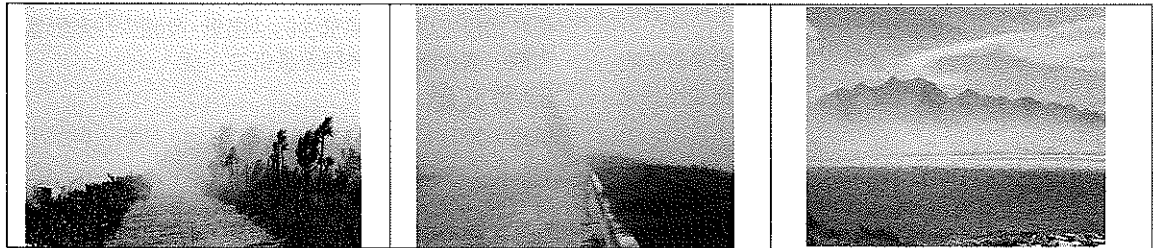


圖 3 卑南溪出海口河段吹沙揚塵之情形，沙塵濃度高時，能見度僅為數百公尺，達沙塵暴等級。

表 1、民國 88 年至民國 96 年歷年吹沙次數統計表

年度 次數	88	89	90	91	92	93	94	95	96	合計
風場										
北風 (37.5-22.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0%)
東北風 (22.5-65.5)	1	0	6	0	3	6	9	12	16	53 (58.9%)
東風 (65.5-112.5)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1 (1.0%)
東南風 (112.5-157.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0%)
南風 (157.5-202.5)	3	1	0	0	0	0	1	1	2	8 (8.9%)
西南風 (202.5-247.5)	0	0	2	0	0	3	7	5	4	21 (23.3%)
西風 (247.5-292.5)	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3 (3.3%)
西北風 (292.5-337.5)	0	0	0	0	0	1	1	0	2	4 (4.5%)
合計	4	1	8	0	3	11	21	18	24	90 (100%)

表 2、民國 88 年至民國 96 年吹沙月份統計表

風場 月份 次數	月份												合計	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
北風 337.5-22.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0%)
東北風 22.5-65.5	1	1	2	1	0	0	4	2	9	18	12	3	53 (58.9%)	
東風 65.5-112.5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1 (1.0%)	
東南風 112.5-157.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0%)	
南風 157.5-202.5	0	0	0	1	2	2	2	1	0	0	0	0	8 (8.9%)	
西南風 202.5-247.5	0	0	1	3	1	8	1	6	0	1	0	0	21 (23.3%)	
西風 247.5-292.5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	3 (3.3%)	
西北風 292.5-337.5	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	4 (4.5%)	
合計	1	1	3	5	3	10	8	13	11	20	12	3	90 (100%)	

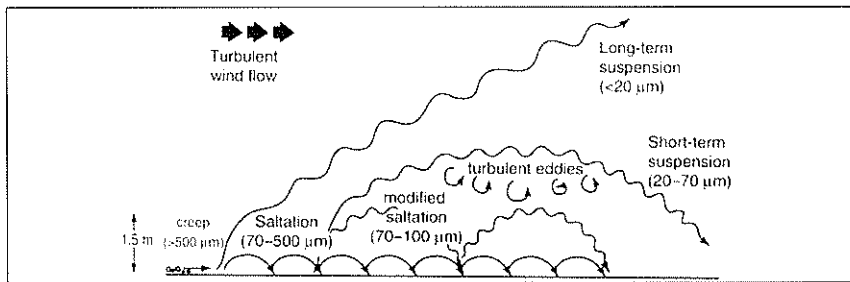


圖 4 風飛砂運動型態示意圖，引自（簡等，2008）

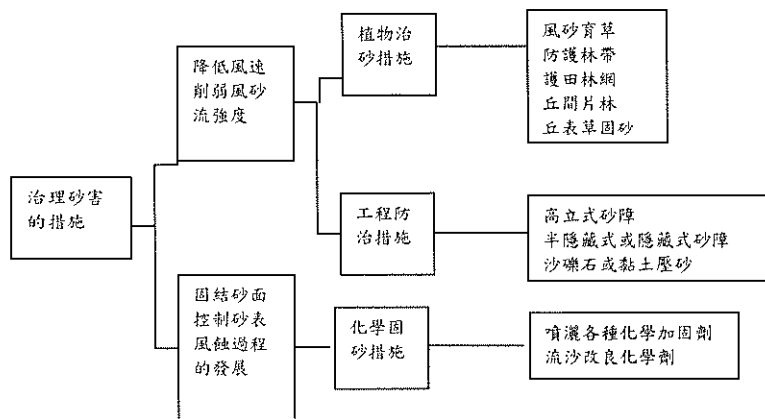


圖 5. 沙塵災害治理措施分類體系圖，引吳（2003）

表3 第八河川局近年辦理卑南溪飛砂揚塵整治工作一覽表

年度	工程名稱	工程內容
91	卑南溪台東大堤前坡及丁壩植生定砂工程	1. 台東大堤前坡植培地茅7800公尺(樁號1+300~2+600共6排)。 2. 植蔓荊4840株(2+900~4+100)。 3. 植百喜草12262平方公尺。 4. 植扶桑花2600顆(樁號1+300~2+600)。 5. 丁壩植生15座。
92	卑南溪石山段景觀改善工程 河川環境管理維護	1. 石山堤防水防道路改善1578公尺，喬木223株，灌木635株。 2. 中華橋上游，完成兩座寬16公尺，長180公尺涵水石堤，增加水覆蓋裸露河床面積約10公頃。並利用地形施作高灘引水路800公尺滯水土堤，以引水漫溢裸露河床。並於中華橋下埋設臨時噴水管，於東北季風時噴水減少部分揚塵。
93	卑南溪出口段 河川環境改善工程	1. 製作水覆蓋帶工1908公尺水覆蓋裸露河床面積約40公頃及引水路漫流河床。 2. 中華橋上游施辦稻草蓆覆蓋工法，覆蓋面積約1.5公頃。
94	卑南溪石山堤段 河川環境改善工程	1. 於中華橋下游左岸，完成蓄水土堤，增加水覆蓋裸露河床面積約40公頃。 2. 中華橋上游施辦稻草蓆覆蓋工法，覆蓋面積約1.5公頃。
95	卑南溪石山堤段 河川環境改善工程	防砂塵滯水工3處。
96	卑南溪出口段環境改善工程	1. 抽蓄水系統工程 2. 加壓輸水系統工程 3. 噴水系統工程

