

台灣地區河川土砂收支與河道防洪疏濬關係之初步探討

謝國正

水利技師、中興工程顧問公司退休人員(水工部前技術經理)

摘要

台灣近廿年經歷九二一地震及莫拉克風災兩個增加集水區產砂量的巨型災害，集水區上游河道有淤積災害，合理推論集水區中下游河道理當淤積。但台灣河川除東部河川外都或多或少面對長期性沖刷下降課題，此課題之大尺度原因仍未被明確指出及量化。一般認為大型水庫攔阻集水區產砂量往下游動，以及河川疏濬運走河道內土砂等原因與河川長期性沖刷下降脫離不了關係。本文首先介紹日本流域土砂綜合管理觀念，再歸納往年資料及嘗試評估維護河床穩定之長期性疏濬量及土砂災害後數年內可增加疏濬量之上限。

一、台灣地區河川土砂收支的潛在問題

九二一地震後，大安溪、大甲溪、烏溪、濁水溪及八掌溪等水系上游皆出現明顯河床淤積，然而水系中游之攔河堰下游河道卻持續沖刷，此現象與河川上游淤積現象不一致。檢討發現地盤上升啟動河川回春作用及軟弱岩盤沖刷作用是造成攔河堰於大量輸砂量經過後下游仍持續沖刷的原因(蔡，99年)。但是台灣河川長期性沖刷下降之大尺度原因仍未被明確指出及量化，一般認為大型水庫攔阻流域上游產砂量(台灣所有水庫平均每年淤積總量高達 2,200 萬立方公尺)進入下游河道，以及河川疏濬運走河道內土砂等原因與河川長期性沖刷下降脫離不了關係。

一般認為大型土砂事件後，泥沙流入下游河道數量驟增、河床應該嚴重淤積，當政府展開大規模集水區土砂抑制後，泥沙流入流域中下游河道的數量驟減，若此時再對流域中下游河道加以防災性疏濬，可能進一步移走河道輸砂量，影響很難估計。另外，水庫進行水力排沙時，庫區泥沙流入下游河道，流量和水質的短時間變化引起下游河道內發生物理、化學和生物環境的變化，可能對河流生態環境產生不利影響。這些都是流域土砂綜合管理應處理之課題。

二、日本流域土砂綜合管理

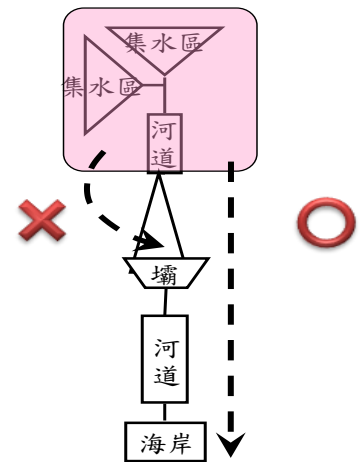
日本早期防砂工作以廣設防砂壩為主，其減輕局部河段土砂淤積災害但也造成下游河道坡降增加及河道輸砂減少，導致下游河道沖刷、上游河道淤積之河川輸砂系統

失衡問題。其他如興建水庫蓄水及土石採取、河道疏濬等也增加上述水砂災害。日本政府總結前述負面影響導致海岸線退縮之國土保安議題。

日本政府檢討往昔流域整體治理多以工程措施阻止土砂下移，或河道疏濬降低洪水位，違背土砂「離山入海」的連續性且發生二次災害。因此，開始實施流域土砂管理，強調「流砂系一貫」(參圖 1)，也就是以流域為整體，管理山地、水庫、河川及海岸等四大單元的土砂，而最終以海岸平衡為土砂控制基準點，故嚴格來講，日本的綜合土砂管理已進展到山、水庫、河、海的整體管理。

【區域】 【課題】 【個自對策】 【綜合土砂管理】 【土砂收支】

山區	土石流出	防砂壩	疏濬轉運 還原土砂
水庫	水庫淤積	挖除濬渫	異重流排砂 等還原土砂
河川	河床下降 橋基沖刷 堤基沖刷 棲地退化	固床工 橋基補強 堤防加固 營造深潭	還原土砂 造灘固堤 基流量稀釋 沉澱淤泥
海岸	海岸侵蝕	凸堤造地	還原土砂



資料來源：水利署水規所，民國 104 年 12 月，「大甲溪流域整體治理綱要計畫（101~104 年）執行檢討及改善策略研擬 總報告」

圖 1 日本流域土砂綜合管理課題及管理目標

流域土砂傳輸的基本原則為「離山入海」(from mountain to sea)，以流域土砂傳輸結果論，其最佳指標為維持河岸線自然演替，以及河道高程動態平衡。依據土砂生產、輸送、沉積流程，擬訂主要措施及相關配套：

1. 集水區土砂生產：大型土砂災害後抑止有害土砂量，但非災害期允許安全輸砂量下洩。
2. 山區河道土砂輸送：水庫實施排砂、清淤，維持下游河道安全輸砂量
3. 中下游河道土砂輸送：配置合宜的河道疏濬量及河道補砂量，使河道維持輸砂量及縱向河床穩定。
4. 河口自然演替：長期監測海岸變遷及輸砂量，作為流域土砂綜合管理計畫實施滾動管理之依據。

日本政府鑒於水利事業之大型水庫因砂及河川疏濬造成「河川整備計畫」窮於應付河道基準高程下降及海岸線退縮，以及大型土砂災害不斷所形成之段河川淤積。日本政府積極推動流域土砂綜合管理計畫的規劃，以利整體檢討山地至河口的泥沙收支平衡(或輸運系統一貫)。使河川至海岸間土砂資源能正確使用(土砂利用率)以防止造成土砂災害、生態環境及景觀退化等環境問題。

台灣迄今並無河川至海岸間土砂資源能正確使用(土砂利用率)之量化數據，本文擬歸納歷史紀錄，說明河川疏濬是否應有一個正確使用(土砂利用率)之量化指標。

三、維護河床穩定之長期性河床穩定輸砂量及可疏濬量

(一) 河川長期性輸砂量

台灣地區各主要河川長期性輸砂量可參考「臺灣水文年報」，其最完整的統計年限為民國 38 年至民國 89 年，民國 89 年臺灣水文年報記載台灣地區 20 條主要河川之歷年年計懸浮質輸砂量計 26,122 萬噸(詳表 1)。

民國 89 年後臺灣水文年報已取消歷年年計懸浮質輸砂量之統計欄位。本文僅依民國 89 年所載該輸砂量與流域面積之比例，推估 24 條中央管河川及淡水河流域總面積之年計懸浮質輸砂量約 27,757 萬噸，假設懸浮質比重 1.3，則懸浮質輸砂量約 21,351 萬立方公尺。

河川總輸砂量包含懸浮質輸砂量與推移質輸砂量，目前國內尚無全面性推移質輸砂量實測資料或理論值。故本研究建議以推移質輸砂量與懸浮質輸砂量比例約 1 比 5，推估 24 條中央管河川及淡水河之推移質輸砂量約 5,551 萬噸(=27,757 萬噸/5)，再假設推移質比重 1.9，則推移質輸砂量約 2,921 萬立方公尺(=5,551 萬噸/1.9)。

(二) 不造成河川沖淤失衡之輸砂量

推移質輸砂量為消耗河川沖刷力、維持河床穩定及維持河口地形穩定之重要因素，它同時也是營建骨材重要來源，推移質疏濬(採取量)應以河川防洪需，適度疏濬又不造成河川沖淤失衡問題為準。但該適度疏濬量並無明確之研究，本文將由兩方面探討不造成河川沖淤失衡之推移質採取量：

1. 不影響河床穩定原始條件之開採量

若按一般工程經驗以參數增減 10% 為不影響原始條件，則設定採取量為推移質總輸砂量 2,921 萬立方公尺之 10%，即 292 萬立方公尺，視為不影響河床穩定條件之疏濬(採取)量。

2. 不影響河川管理事業之開採量

參考日本於廿世紀因河川下降，採逐年限制河川砂石開採量以維持河川管理事業之防災興利功能，至 2004 年河川砂石開採量僅約 840 萬立方公尺，約為流域土砂生產量 2 億立方公尺之 4.2%(井上素行,2009)

國內永續經營河川砂石資源之理念可參考日本經驗，則不影響河川管理事業之開採量約為總輸砂量 24,272 萬立方公尺(=懸浮質約 21,351 萬立方公尺+推移質約 2,921 萬立方公尺)之 4.2%，即 1,019 萬立方公尺。

表 1 歷年(民國 89 年以前紀錄)平均年計懸浮質輸砂量統計表

項次	河川名稱	流域面積 (平方公里)	歷年年輸砂量 (萬噸)
中央管河川			
1	蘭陽溪	978.63	798
2	鳳山溪	250.00	—
3	頭前溪	565.97	256
4	中港溪	446.00	—
5	後龍溪	536.39	437
6	大安溪	758.47	494
7	大甲溪	1,235.73	403
8	烏溪	2,025.60	679
9	濁水溪	3,155.21	6,387
10	北港溪	645.21	235
11	朴子溪	426.60	83
12	八掌溪	474.74	316
13	急水溪	378.77	206
14	曾文溪	1,176.64	3,100
15	鹽水溪	221.69	225
16	二仁溪	350.04	1,310
17	阿公店溪	137.00	—
18	高屏溪(含荖濃溪、旗山溪、隘寮溪)	3,256.85	3,561
19	東港溪	472.20	61
20	四重溪	125.00	—
21	花蓮溪	1,507.09	2,061

項次	河川名稱	流域面積 (平方公里)	歷年年輸砂量 (萬噸)
中央管河川			
22	秀姑巒溪	1,790.46	1,997
23	卑南溪	1,603.21	2,368
24	和平溪	562.00	—
跨省(市)河川			
25	淡水河	2,725.82	1,145
有輸砂量資料流域之總面積及總輸砂量(合計項次 1,3,5~16,18, 19,21~23,25)		24,285.32	26,122
24 條中央管河川及淡水河流域之總面積及推估總輸砂量		25,805.32	27,757

四、集水區大型土砂災害後復原期間之崩積料可疏濬量

流域中上游河川之輸砂量來源主要為邊坡崩塌土石量，崩塌地之崩積土石以粗顆粒為主，其中 30%~40%堆積於坡面或坡腳，其餘 70%~60%在數年至數十年內將陸續成為河川輸砂量的推移質部分，並輸送至河口，維持河口地形平衡。而 921 地震後即莫拉克颱風後導致邊坡崩塌土石量遠超過河川自然平衡之土砂量，理應辦理該部份土石量之計畫性疏濬，以恢復流域中上游之自然河川輸砂機制。

比對大型災害前後崩塌地資料，可得知地震後導致邊坡崩塌土石量。國內尚無民國 88 年以前之全台灣地區崩塌地總面積資料，惟農委會水保局於民國 94 年(921 地震及桃芝颱風後)委託調查成果得知台灣地區崩塌地面積驟增至 50,753 公頃。若再加計 98 年莫拉克颱風後在高屏溪、曾文溪流域造成崩塌地，則 24 條中央管河川及淡水河流域之崩塌地面積見表 2，合計 59,322 公頃。

崩塌地所增加之土砂崩塌量為崩塌面積與其崩塌深度之乘積，崩塌深度與坡度、坡向、地質土壤、地表覆蓋情形等因素相關，除非已取得崩塌前之地形高程測量資料，可以準確掌握崩塌深度，否則崩塌深度建議採用估計值，如表 3 所示。

依此推估 24 條中央管河川及淡水河流域之之崩積土石量約 14.80 億立方公尺，其中之 65%，即 9.62 億立方公尺會逐漸成為河川輸砂量的推移質部分。

當然，崩積土石量如何轉化為平均每年推移質體積可能與現地狀況無法充分配合，現地狀況可能是前幾年就有大量土砂輸移至谷口堆積(即沖積扇或山區河道與丘陵平原之接觸點)，然後再逐漸分年輸送至下游。

表 2 重大土砂災害後崩塌面積及崩塌量估計表

流域名稱	重大災害後 後崩塌面積 (公頃)	平均崩塌 深度 (公尺)	潛在崩塌體積 (萬立方公尺)	平均每年推移質 體積 (萬立方公尺)
蘭陽河流域	1,154	2.71	3,129	50.85
鳳山溪流域	0.3	3.50	1	0.02
頭前溪流域	79	2.91	230	3.74
中港溪流域	141	2.96	417	6.77
後龍溪流域	175	2.71	474	7.70
大安溪流域	2,584	2.39	6,167	100.21
大甲溪流域	3,927	2.29	9,010	146.41
烏溪流域	2,873	2.55	7,314	118.85
濁水溪流域	11,370	2.52	28,637	465.35
北港溪流域	17	3.06	51	0.84
朴子溪流域	26	2.81	73	1.19
八掌溪流域	187	2.85	533	8.66
急水溪流域	18	3.28	58	0.94
曾文溪流域*	3,868	2.82	10,913	177.33
鹽水溪流域	—	—	—	—
二仁溪流域	12	3.41	39	0.64
阿公店溪流域	—	—	—	—
高屏溪流域*	22,666	2.43	55,055	894.65
東港溪流域	4	3.42	15	0.25
四重溪流域	71	3.10	220	3.58
花蓮溪流域	2,761	2.37	6,549	106.43
秀姑巒溪流域	2,764	2.52	6,965	113.18
卑南溪流域	2,253	2.61	5,870	95.39
和平溪流域	2,057	2.63	5,412	87.94
淡水河流域	315	2.69	847	13.77
合計	59,322		147,980	2,405

註：九二一地震及桃芝颱風後崩塌面積參考水保局民國 94 年判識成果，莫拉克後曾文溪流域及高屏溪流域崩塌面積參考民國 98 年全國治水會議資料。

表 3 崩塌深度估計參考表

坡面坡度 (度)	深度 (公尺) 註 1	深度 (公尺) 註 2	平均深度 (公尺)
<30	5	2	3.50
30~40	4	1.5	2.75
40~60	3	1	2.00
>60	2	0.5	1.25

註 1：國家災害科技研究中心

註 2：Khazai and Sitar (歐陽元淳, 2003)

資料來源：集水區整體治理調查規劃工作參考手冊, 96 年, 水土保持局

依日本關東大地震資料顯示集水區經歷地震後 40 年才恢復地震前之水土保持狀況及河川條件，據以推測 9.62 億立方公尺分為 40 年成為中上游河川淤積料，即每年土石崩積料有 2,405 萬立方公尺成為中上游河川推移質。

依據前述分析，得知維持長期性河床穩定之中下游河川長期性可長期採取量為每年約 292 萬立方公尺至 1,019 萬立方公尺（不影響自然河川原始推移質條件至不影響河川管理事業）；921 地震及桃芝颱風、莫拉克颱風後約 40 年內中上游河川之計畫性疏濬量則應該可達每年 2,405 萬立方公尺。

綜上，本文推算近年於 921 地震衍生之崩塌地災害持續情況下之台灣地區河川砂石採取量為前述二數量之合計，約每年 2,697~3,424 萬立方公尺（292~1,019 萬立方公尺分別增加 2,405 萬立方公尺），待流域經保育治理恢復至 921 地震前狀況，則台灣地區河川砂石採取量宜保持在約每年 292~1,019 萬立方公尺。

五、台灣現況河川疏濬量高於前述可疏濬量

依據「臺灣地區各年度砂土石產銷調查報告」（經濟部礦務局）繪製台灣地區自民國 87 年迄今臺灣全區砂石料源供應結構如圖 2，可見在莫拉克風災前之最低河川砂石疏濬量都大於 3,000 萬噸，按照「臺灣地區各年度砂土石產銷調查報告」設定砂石比重約 1.5 噸/立方公尺，最低河川砂石疏濬量都大於 2,000 萬立方公尺。

前述數量明顯遠大於維持長期性河床穩定之中下游河川長期性可長期採取量為每年約 292 萬立方公尺至 1,019 萬立方公尺。

若認為民國 88 年迄今皆為九二一地震與莫拉克風災後衍生之崩塌地災害情況下，則民國 87 年迄今 32 年之河川砂石疏濬量平均值 5,017 萬噸相當於 3,344 萬立方公尺（設定砂石比重約 1.5 噸/立方公尺），也達到崩積料疏濬量約每年 2,649~3,340 萬立方公尺之上限值。

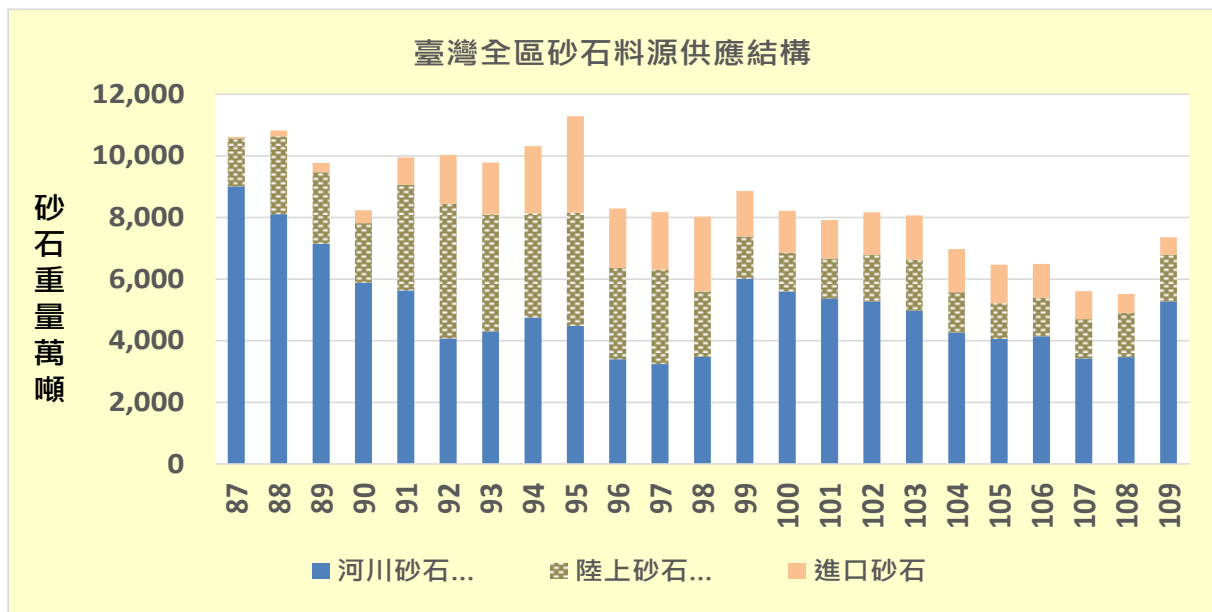


圖 2 台灣地區近 15 年砂石來源及數量圖

六、討論

河川沖淤平衡是大尺度課題，必須由長時間尺度及全流域人為活動來探討，目前國內尚無此種大型研究。本文僅拋出議題，嘗試由少數量化資料說明台灣現況河川疏濬量高於本文討論的可疏濬量之可能性。本文為拋磚引玉之作品，未來尚須學術界辦理大型研究以及獲取政府水利、林務及水保事業單位之長期治理資料，交互驗證始能做出量化成果。

參考文獻

1. 水利署，民國 99 年 4 月，「河川管理業務之發展與推動(2/2)」。
2. 水利署水規所，民國 104 年 12 月，「大甲河流域整體治理綱要計畫（101~104 年）執行檢討及改善策略研擬 總報告」，中興工程顧問公司。
3. 蔡文豪、謝國正、張東宸，「台灣河川攔河堰下游河道沖淤課題新思維」，中興工程季刊，民國 99 年 7 月
4. (日文)井上素行，「流砂系問題に対する実証的研究の推進」，科學技術動向 2009 年 5 月號。
5. 經濟部礦務局，「臺灣地區各年度砂土石產銷調查報告」。