

曾文水库集水区表土冲蚀与崩坍比例之初步研究

陈树群, 赖益成
(中兴大学水土保持学系, 台湾台中市)

摘要: 以曾文水库集水区之主河道为研究对象, 根据河道上防砂坝之河床粒径分布资料进行泥砂来源之粒径估算, 且依来砂与河床之粒径概况探讨河道之泥砂之递移现象, 针对集水区之冲蚀与崩坍比例进行初步研究, 由分析结果发现曾文水库之淤砂其中 85% 源自于崩坍地, 15% 则为表土冲蚀。
关键词: 集水区; 冲蚀; 崩坍; 研究
中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2001)01-0025-06

The Preliminary Study in the Ratio of Sheet Erosion and Landslide in Tzeng-Wen Watershed

CHEN Shu-qun, LAI Yi-cheng
(Department of Soil and Water Conservation, Chung-Hsing University, Taiwan)

Abstract: Based on the sediment distribution of check dams, this study studied the main channel of Tzeng-Wen watershed and evaluated the sediment size of sheet erosion on hillslope. The equation of sediment delivery ratio had been build the sediment distribution of main channel and hillslope. Based on the sediment delivery ratio, 85% deposit came from landslide and 15% deposit came from sheet erosion in Tzeng-Wen Reservoir.
Key words: watershed; sheet erosion; landslide; study

1 前言

水库淤砂来自水域外之泥砂运移, 即地表土壤之冲蚀移动及挟砂水流来源实与地表土壤之剧烈扰动有关。曾文水库集水区主要由泥质与页岩构成经溪流搬运之淤砂其粒径多呈粗颗粒状, 显然大部分泥砂来自于崩坍地等易风化之地质崩落区, 而源自于林地及开垦地等为雨水侵扰与径流搬运者较少。

本研究以曾文水库集水区之主河道为研究对象, 基本假设为沉积在河床的骨材粒径与所观测河床相同的前提下, 根据河道上防砂坝之河床骨材粒径分布资料进行泥砂来源之粒径估算, 且依来砂与河床之粒径概况探讨河道之泥砂递移现象, 并建立合理的河川泥砂递移公式, 此外亦针对集水区之冲

蚀与崩坍比例进行初步研究, 以利一般运用土壤冲蚀模式推估泥砂总流失量时修正之参考。

2 试区概述

曾文水库集水区位在嘉义县阿里山乡、大埔乡、番路乡、竹崎乡及高雄县三民乡, 乃建于曾文溪上游, 其坝址位于台南县与嘉义县交界处柳藤潭, 距台南市约 60 km。本水库集水区面积约 481 km², 主流全长 56.2 km, 主支流总长 213.1 km, 全区呈东北向西南走向, 为一狭长之袋形, 纵长约 41 km, 最宽处约 17 km。

集水区内多属山地, 山势一般为北北东向西南西走向, 海拔最高处为 2 609 m, 最低为 110 m。平均海拔高度为 936 m, 平均坡度约 54.4%, 河床坡度甚

* 收稿日期: 2000-11-20
作者简介: 陈树群, 中兴大学水土保持学系副教授; 赖益成, 中兴大学水土保持学硕士。

陡,水源附近坡降达 1/3,溪流平均坡降达 1/68。水系以曾文溪为主,其上游为长谷川溪,发源于阿里山脉山麓,自此向西南蜿蜒延伸,至达邦与伊基安那溪汇合。集水区内主要有数条地层,由上游至下游有西北向之达邦断层、獭头断层,南北向之茶山断层、大埔断层及马山头断层。本土壤大部分以第三纪系岩性所风化而成之定域土为主,于溪流之两岸与集水区下游地区偶有小部分崩积土和冲积土。

3 河床粒径资料之搜集与整理

曾文溪主河道之粒径分布资料乃参照主流防砂坝之调查报告(曾文水库管理局,1995),利用防砂坝上游之粒径取样资料做为主流河床粒径之依据,而河道上之防砂坝由上游至下游依序为达邦、达德安、福山、乐野、里佳及大埔等六座,其位置如图 1 所示。

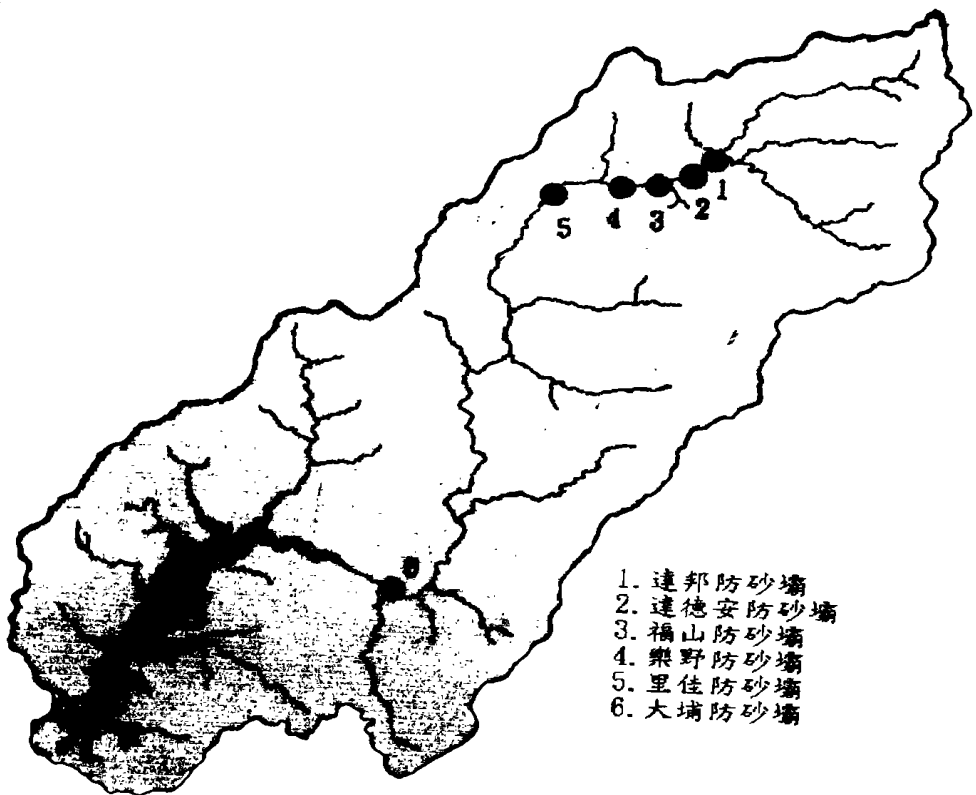


图 1 曾文水库集水区防砂坝之位置图

防砂坝全面之淤积调查共计三次(曾文水库管理局,1995)。第一次是 1991 年 8 月,调查主流达邦、达德安及福山等三座坝。而乐野、里佳及大埔坝于 1992 年 2 月方进行量测。第二次调查是 1993 年 3 月实施,并按实际需要增加了达邦坝支流伊基安那溪。第三次调查为 1995 年 4 月。

其调查方法乃自最远处之达邦坝上游 1.85 km 开始(包括 10 号崩塌地)至下游里佳坝坝轴为止,总长为 7.8 km。基本上每隔 200 m 便设一观测断面,若河道平坦且无太大变化时,则将断面间距适度延长至 300 m。在每年雨季过后,即以经纬仪作纵横断面变化调查及观测,量测河道的淤积量及河道的变化,同时将每个坝的上游淤积调查之河段分成上、中、下三区,于每区段内选定一处观测断面,在临近溪流主河道附近挖取试坑。取样试坑原则采 1 m 见

方,将坑内骨材以四分法筛选,取其骨材代表样本于试验室进行筛分试验,推算粒径大小分布。至于大埔坝因尚未淤满,故仅在其淹没区内作淤积断面调查与抽泥分析检定。

防砂坝淤积之代表粒径求法则假定上下游之河道形态相似,将所有防砂坝之粒径分布资料整合,由上游五座防砂坝之河床粒径资料先取其平均,再与下游大埔坝之河床粒径资料平均代表之,结果如表 1 所示。

表 1 曾文溪之河床代表粒径

地点	粒径> 60 mm	粒径= 2~60 mm	粒径< 2 mm
上游连续坝代表值	45.22	31.36	23.43
大埔坝	3.33	31	65.67
平均代表值	24.27	31.18	44.55

4 泥砂来源粒径之估算

对整个集水区而言, 主要泥砂来源分为三方面, 一是来自崩塌地, 二是来自开发地, 三是来自覆盖不良之宜林地(曾文水库管理局, 1976)。由资料显示, 不论是崩塌地、开发地或宜林地, 其范围分布既广且零散。另根据第一期规划调查报告(山地农牧局, 1964) 结果得知, 泥砂来源约有 1.9% 来自开发地, 15.4% 来自林地, 82.7% 来自崩塌地, 因此在考量集水区之泥砂流失时, 可将崩塌区域视为主要泥砂来源区。而当泥砂进入河道时, 由于颗粒愈细小愈易被水流带走, 而颗粒愈大愈容易沉积在河床上, 因此河床上之沉积物粒径往往较坡度冲蚀来砂区更为粗化。

在决定泥砂来源的粒径分布曲线时, 典型的作法乃根据主要的泥砂生产处进行采样分析, 但对于

集水区之流失泥砂往往难精确推断其来源地点, 且采样时大型颗粒之存在常造成资料难以取得, 因此在推估进入河川系统的泥砂粒径时可利用进入点之河床质粒径样本反向计算(Engelund and Hansen, 1967), 其步骤如下(Atkinson, 1991):

- (1) 将河床质粒径分布之比例等分, 每个部分之粒径大小为 D_i 。
- (2) 依粒径假设各部份之相对运移率为 D_i^{-1} , 而总运移率则为 $Tr = \sum D_i^{-1}$ 。
- (3) 以 D_i^{-1} / Tr 代表运移颗粒每一部分中之比例, 藉累计所占比例之方式推求来砂之粒径分布曲线。

所求得之来砂粒径分布结果可以图 2 表示, 由图 2 可明显看出此法所求之来砂粒径较河床粒径细化的多, 因此符合实际情况。

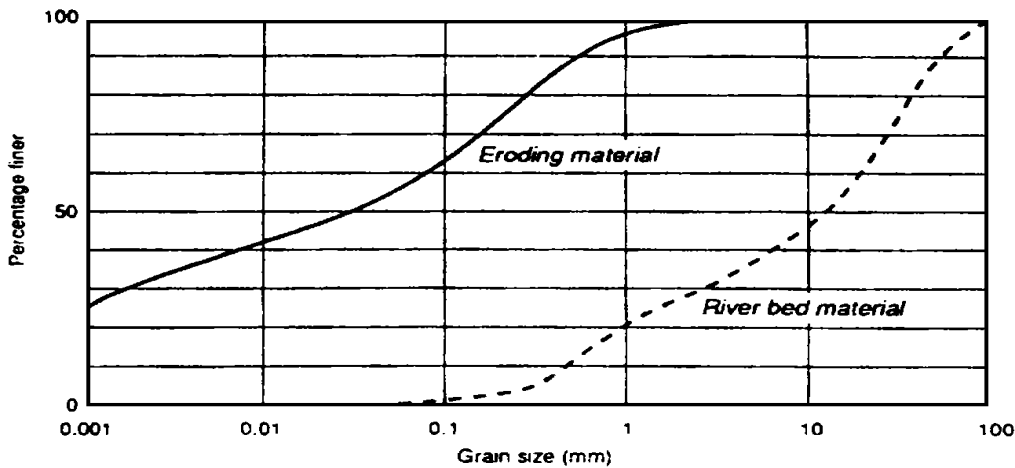


图 2 冲蚀与河床质之粒径曲线(Atkinson, 1995)

由于主流河道上游之达邦、达德安、福山、乐野、里佳实为一系列坝, 而大埔坝又接近库区, 其间相距较远, 因此本研究先将每座防砂坝均假设为独立坝, 将各坝上游各段皆视为泥砂进入点, 进行来砂粒径之推求, 以了解各段所得来砂粒径推算结果之差异性。但由于演算结果受制于原河床质之粒径分布大小, 为求方便比较, 乃利用概略性之粒径分类方法将所得结果予以统一化。

在此将泥砂分类为三种, 分别为 2 mm 以下、2 ~ 60 mm 之间以及 60 mm 以上共 3 类, 简单地表示泥砂来源之粒径分布, 并利用各粒径所占百分比来显示来砂之粒径分布, 藉此了解不同坝区所计算之差异。

因此在避免受河床淤砂之影响且考量崩塌为集

水区主要泥砂来源的情况下, 本研究在推估来砂粒径时, 便选定位顾达邦附近即河道上游之达邦坝与邻近支流伊斯基安那溪做为泥砂进入点, 亦即采用此两座坝于 1993 年所推算之成果(见图 3 及图 4), 并取两者之平均值作为曾文水库集水区之来砂代表粒径, 结果如表 2 所示。

表 2 曾文水库集水区来砂代表粒径

地点	粒径 > 60 mm	粒径 = 2 ~ 60 mm	粒径 < 2 mm
支流(伊斯基安那溪)	1.74	13.50	84.76
达邦坝之上游段	14.66	52.14	33.20
平均代表值	8.20	32.82	58.98

5 河川系统之泥砂递移率概念

关于河川系统之泥砂递移概念, 本研究所应用

之方法可以图 5 为例加以说明。假定冲蚀物质之卵石(cobble) 均会在河床或坝上沉积, 如此若所有冲蚀泥砂均进入河川且所有进入河道的卵石均沉积, 则河川之泥砂递移率便具较小值。其定量计算流程如下:

(1) 当冲刷物质为 1 t 时, 卵石占 5% (0.05 t), 假定其均在河系中沉积。

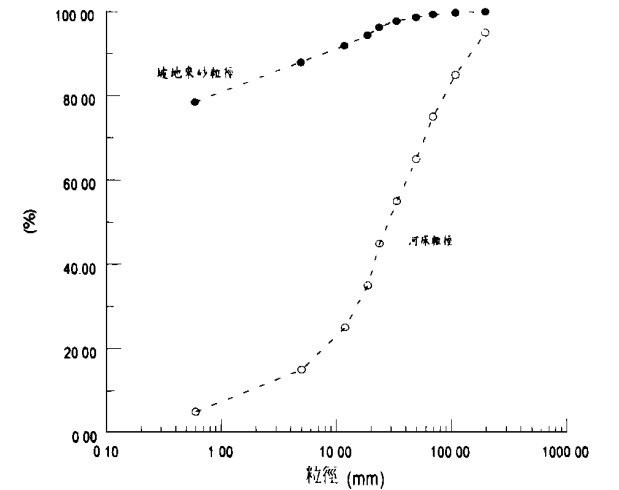


图 3 支流(伊斯基安那溪)来砂与河床质之粒径曲线

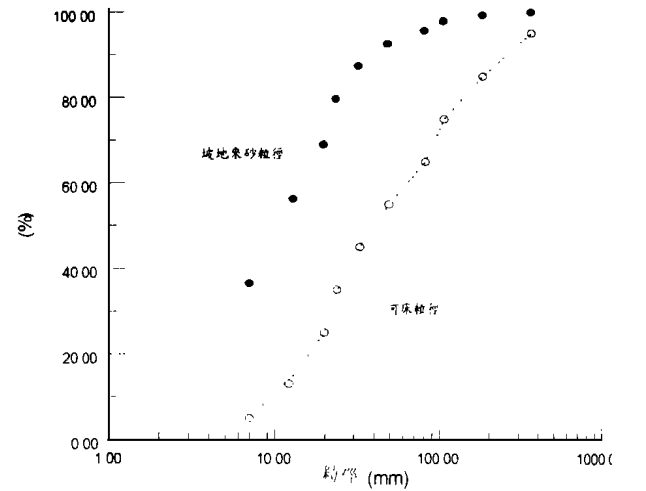


图 4 达邦坝之上游段来砂与河床质之粒径曲线

(2) 由于河床中卵石占 40%, 因此河床之沉积量为 $0.05/0.4=0.125\text{ t}$, 即有 0.875 t 的物质流出。

(3) 如此河川泥砂递移率之偏低值便为 87.5%。在此利用冲刷来砂与河床质中卵石的比例, 计算整体之河川泥砂递移率。此法中之卵石即称为界限粒径(limiting size fraction)。

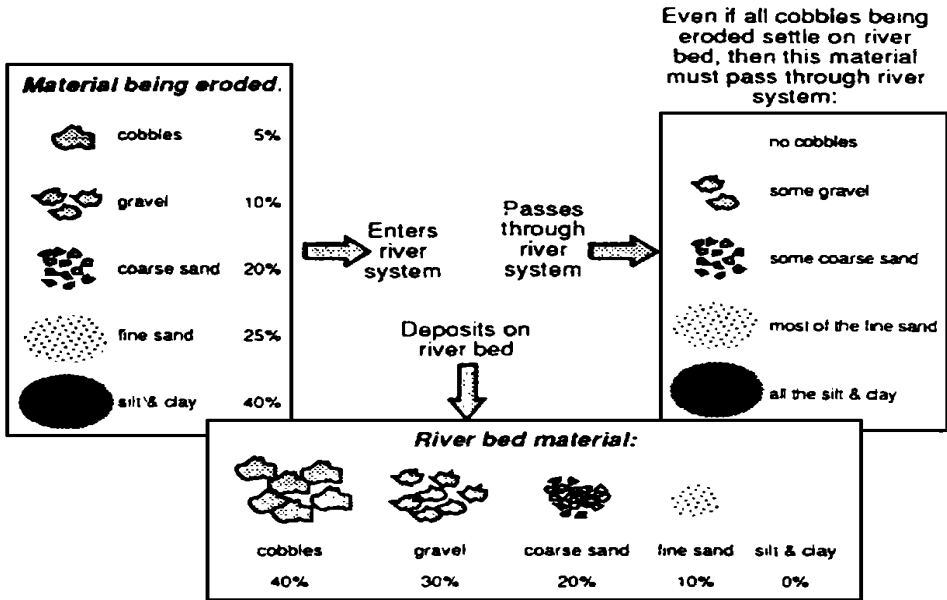


图 5 粒径推算河川 SDR 之简例(Atkinson, 1995)

6 冲蚀与崩坍比例之探讨

关于崩坍地泥砂的生产量, 相关研究指出其占水库淤积量之 75% (石门水库管理局, 1990); 由于

曾文水库集水区之泥砂来源主要以崩坍地为主, 而一般之冲蚀模式均无考量集水区之崩坍问题, 因此本研究乃依照河川泥砂递移率之演算流程, 配合所取样分析之崩坍泥砂粒径分布资料, 对集水区之冲

蚀与崩坍比例进行初步探讨, 藉以提供集水区泥砂流失量推估时之参考。

本研究之假设条件为: 将坡地受地表水流冲蚀而流出之土壤颗粒均视为小于 2 mm, 亦即 2 mm 以上之泥砂均可视为源自于崩坍地; 而为求得河床粒径之代表值, 乃假定上下游之河道形态相似, 将所有防砂坝之粒径分布资料整合, 由上游五座防砂坝之河床粒径资料先取其平均, 再与下游大埔坝之河床粒径资料平均代表之; 此外, 由于曾文水库淤积之粒径几乎均小于 60 mm (曾文水库管理局, 1995), 故假设 60 mm 以上之泥砂均会于运移中沉积在河床上, 换言之, 意指 60 mm 以上之泥砂递移至水库库区的机率为零。

本研究之流程可以图 6 来说明。依假定之条件, 视研究之崩坍量与坡面冲蚀量均已到达河川进入点, 不计坡面运移等过程, 若坡地之冲蚀量为 x 吨, 崩坍地与河床 (防砂坝处) 中小于 60 mm 之砂砾各有 y t 与 z t, 在假设坡面冲蚀的土壤粒径均小于 2 mm, 即河床粒径大于 2 mm 的砂粒均源自崩坍地的前提下, 则可以下列关系式说明:

$$(1 - SDR_{rg})(1 - a)y = (1 - b)z \tag{1}$$

$$(1 - SDR_{rs})(ay + x) = bz \tag{2}$$

式中: SDR_{rg} ——2 ~ 60 mm 泥砂之递移率, SDR_{rs} ——小于 2 mm 之递移率。

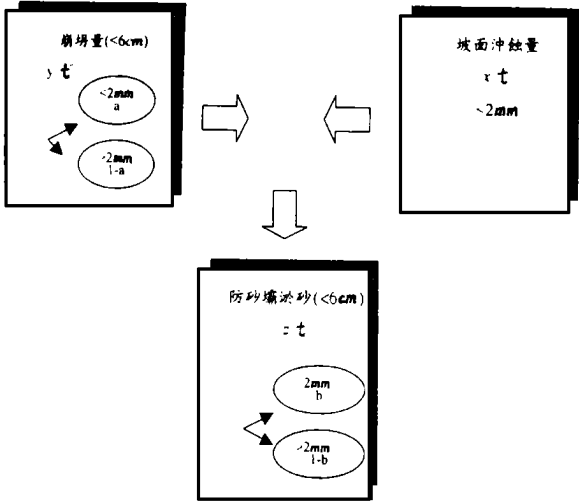


图 6 崩坍比例研究流程

(1) 式乃表示粒径介于 2 ~ 60 mm 间之泥砂其运移关系, 等号右边为此粒径之防砂坝淤积量, 等号左侧则为崩坍之来砂配合该粒径之河川 SDR 以求得受坝拦阻之量, 藉以合理说明崩坍来砂与河床淤积之关连; 同理, (2) 式乃粒径小于 2 mm 之泥砂平衡式。(1) 式可化为:

$$\frac{z}{y} = \frac{(1 - SDR_{rg})(1 - a)}{(1 - b)} \tag{3}$$

而(2)式亦可化为:

$$\frac{x}{y} = \frac{\frac{bz}{(1 - SDR_{rs})} - ay}{y} = \frac{b}{(1 - SDR_{rs})} \frac{z}{y} - a \tag{4}$$

代入(3)式可得:

$$\frac{x}{y} = \frac{b(1 - SDR_{rg})(1 - a)}{(1 - SDR_{rs})(1 - b)} - a = \frac{b(1 - a)}{(1 - b)} \times \frac{1 - SDR_{rg}}{1 - SDR_{rs}} \tag{5}$$

(5) 式即为泥砂来源中, 崩坍与冲蚀所占比例之相关式, 由此可知欲推算两者之比例须先取得崩坍与河床之粒径分布资料 (即 a 、 b), 以及利用上游来砂与河床粒径求算各范围粒径之河川 SDR 。

为求得崩坍地之粒径分布, 本研究乃在曾文溪上游 10 号崩坍地进行土体采样, 经过筛分析, 得粒径小于 2 mm 之砂粒为 2 019.9 g, 而大于 2 mm 之砾石为 1 446.3 g, 如此可求得值为 58%。至于防砂坝淤积之代表粒径求法则如同前述 (表 1), 由此可推知值为 58.83%。

至于不同粒径范围所对应之河川 SDR 求算法亦如前述, 利用来源泥砂与河床之粒径资料推求 (表 3), 盖将整体分析演算结果详列于下:

表 3 曾文溪上游泥砂来源与河床粒径对照表

地点	粒径> 60 mm	粒径= 2 ~ 60 mm	粒径< 2 mm
上游泥砂来源	8.2	32.82	58.98
河床代表粒径	24.27	31.18	44.55

在假定界限粒径为卵石的前提下, 每 1 t 冲蚀物质所对应之河川淤积量为:

$$\frac{8.2\%}{24.27\%} = 0.3379(t) \Rightarrow SDR_{river} = 1 - 0.3379 = 66.21\%$$

因此各粒径范围所对应之河川 SDR 便为:

$$SDR_{rg} = 1 - \frac{0.3379 \times 31.18\%}{1 \times 32.82\%} = 1 - 32.10\% = 67.90\%$$

$$SDR_{rs} = 1 - \frac{0.3379 \times 44.55\%}{1 \times 58.98\%} = 1 - 25.52\% = 74.48\%$$

已知 a 值为 58%, b 值为 58.83%, 故将所得结果代入(5)式:

$$\begin{aligned} \frac{x}{y} \times \frac{b(1 - a)}{(1 - b)} \times \frac{1 - SDR_{rg}}{1 - SDR_{rs}} - a &= \frac{58.83\%}{41.17\%} \times (1 - a) \\ &\times \frac{32.10\%}{25.52\%} - a = 1.797a - 2.797 = 0.175 \\ y &= 5.71x \\ x + y &= \frac{5.71x}{6.71x} = 0.85 = 85\% \end{aligned}$$

由此得知崩坍量约占泥砂总流失量之 85% , 亦可说崩坍占水库总淤砂量之 85% , 此与前人研究所得之结果 82. 7% 相近(山地农牧局, 1964) , 因此本研究乃将此所得比例作为其后推估集水区泥砂总流失量之参考。

7 结论与建议

研究中各坝所推求之来砂粒径均不尽相同, 但均以较细砂粒(< 2 mm) 占绝大多数, 此外巨石(boulder, > 200 mm) 所占比例偏低, 不到 1%, 仅 0. 5% 左右, 至于最下游之大埔坝所得结果则是来砂中均无较大石粒(> 60 mm) 存在, 足见河道其上下游之河床质演化所造成的影响; 除支流及达德安坝外, 其余各坝之来砂粒径均小于 60 mm, 可见本研究方法在依据河床质资料的前提下, 易受河道淤砂之影响, 且无源考虑较大颗粒之推移质风化为悬移质的变化过程以及河床质之细化现象。

探讨河川系统之泥砂递移课题时, 实乃利用防砂坝之淤砂粒径来代表河床粒径, 在河道与防砂坝

两者分野鲜明的情况下, 欲诠释河道之泥砂递移现象便会产生些问题, 不仅和防砂坝是否淤满有关, 且与防砂坝何时淤满、多久淤满相关连, 由于本研究视防砂坝淤满前、淤满后以及无防砂坝之情况下均有相同之河川 *SDR*, 因此在求简化下无法考量诸多问题。

关于冲蚀与崩坍比例之研究实乃一初步性之探讨, 在冲蚀粒径为 2 mm 以下以及堆积粒径上界为 60 mm 的假设条件下, 应用河川递移率之概念予以分析, 所得结果为曾文水库其淤砂中 85% 源自于崩坍地区, 此结果与前人研究之 82. 7%(山地农牧局, 1964) 相当接近, 且与石门水库之研究值 75% 相去不远(石门水库, 1990), 故所得成果具有参考价值。

然而此研究方法假设条件较多, 研究乃建构于河川 *SDR* 的概念下, 且深受先前所得来砂粒径分布资料之影响, 故此法仍有待进一步之探讨在能有效地精确推估来砂粒径与河床粒径之前, 尚需实际的数据如崩坍地面积、土体体积等资料配合分析验证, 方能提高研究之可信度。

参考文献:

[1] 山地农牧局. 曾文水库上游集水区水土保持初步规划报告[R]. 1964.
[2] 石门水库管理局. 石门水库集水区第二阶段治理规划[R]. 1990.
[3] 曾文水库管理局. 曾文水库集水区水土保持第二期规划报告[R]. 1976.
[4] 曾文水库管理局. 曾文水库主流防砂坝淤砂调查分析研究报告[R]. 1995.
[5] Al-Hussaini, M. M. Contribution to the engineering soil classifications of Cohesionless Soils, Final Report [R]. Miscellaneous Paper S - 77 - 21, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1997, 61.
[6] Atkinson, E. Sediment delivery in systems[R]. Report No. OD/TN48, HR Wallingford, Oxfordshire, UK: 1991.
[7] Atkinson, E. Method for assessing sediment delivery in river systems[J]. hydro. Sci. J. , 1995, 40(2) : 273 ~ 280.
[8] Englund, F. and Hansen, E. A monograph on sediment transport[Z]. Technisk Forlag, Copenhagan, Denmark: 1976.
[9] 陈章鹏. 水库集水区分区管理[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 83 ~ 88.
[10] 林襟江, 等. 台湾地区水库集水区土地利用对水库淤砂之影响[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 72 ~ 79.
[11] 陈树群, 等. 溯源冲刷实验观测分析[J]. 水土保持研究, 1999, 6(3): 120 ~ 129.