



阿里山公路開發對於河川泥沙量之影響

The Impacts of Ali-Shan Highway Development for the Influence of Sediments

國立嘉義大學土木與水資源工程學系教授

國立中興大學土木工程學系碩士生

劉正川

李俊侖

Cheng-Chuan Liu

Jun-Ji Lee

摘要

阿里山公路以中埔鄉後庄為起點，玉山塔塔加鞍部為終點，全長約 90.2 公里，兼具觀光、經濟、運輸及國防等功能，為連接嘉南地區與阿里山地區之重要道路。伴隨著社會經濟之成長，為使對外聯絡便捷及國民對遊樂活動之需求，日增公路開發對環境所造成的衝擊便是一項重要之課題。民國六十八年由公路局成立阿里山玉山關建工程處後，開始施工，並於民國七十一年完成通車，但通車後，每遇豪雨公路沿線邊坡崩塌滑落災害頻傳，也對於河川之輸沙量產生某程度之影響，就民國 69 年阿里山公路開發期間，泥沙量達到最大，約 0.93 百萬公噸，且從民國 70 年~80 年土地利用變化來看，植生地約減少 198 ha，非植生地約增加 199 ha，因此將藉由泥沙濃度分析及土地變化情況，探討山區公路之開闢之直接影響程度。

關鍵詞：阿里山公路，泥沙量，監督性分類，非監督性分類。

ABSTRACT

The impacts of Ali-Shan highway development for the influence of sediments. Ali-Shan highway from Zhongpu to the Tatajia saddle. The total length is 90.2 kilometers. It's the most important road in the region of south of Taiwan, and very useful to the tourism, economy, transportation, and national defense. The highway was constructed from 1979 to 1982 by the bureau of highway. During the highway was built, there are many damage in some area, for example slope collapse and erosion. From the data of Sediments in 1980, it arrived at 0.93 million tons. The vegetation was decreased about 198 ha and the unvegetated was increased about 199 ha from 1981 to 1991. Therefore, by analyzing the change of concentration sediments and discuss the development of highway.

Keywords: Ali-Shan highway, Sediments, Supervise classification, Unsupervise classification.

一、前言

阿里山公路(以中埔鄉後庄為起點，行經觸口、公田、瀨頭、石卓、十字路、阿里山、終到玉山塔塔加鞍部)，全長約 90.2 公里，即所謂新中橫的嘉義玉山段。於民國六十年初期，阿里山僅只有一條中興林道產業道路，當時林務局便運用此產業林道運送木材，但由於此林道只可於天氣良好時方可通行，每遇到下雨天便泥濘不堪，車輛滯礙難行，造成生活上極大的不便。因此當地居民謔稱之為麵粉路。民國 63 年行政院長蔣經國先生將開闢阿里山公路列入國家十二項建設，全力投入山路的開發，自民國 68 年 7 月起，由省公路局接手，雙向施工開鑿新中橫（就原有路線拓寬），歷經 3 年完工，民國 71 年 9 月 31 日，完工通車至阿里山。根據(呂等,1988)阿里山公路改善路段 59 公里，新闢路段 31.2 公里，全線工程於七十五年六月底完成，公路通車後，雖然帶動了阿里山地區的繁榮，但由於集水區公路大量開挖，加上通車後幾年內便有往內部開發之趨勢，致使土地利用急遽改變與山區暴雨不斷地入襲侵害，使得泥沙流入八掌溪，造成河川之輸沙量增加，影響水質(謝勝彥等, 2002)、渠道的輸水能力與居民之安危。阿里山公路起點為中埔鄉之後庄，沿途分別經過嘉義縣番路鄉、竹崎鄉、以及阿里山鄉(原吳鳳鄉)三鄉鎮，其地理位置分佈如圖 1 所示。

本研究主要目的是探討阿里山公路於開發前、開發中、以及開發後等三個階段對於八掌溪河川之泥沙量與公路周圍土地利用變遷之影響情況，以了解山坡地於公路開發時，對河川溪流本身，以及週遭環境之實際影響程度，期能於開發前後，擬定更佳之開發計劃與完工後妥善的防災工程，得以進一步降低因開發所延伸之災害問題。

二、理論依據

2.1 趨向統計分析

圖 2 即為一種趨向，其中水文變數隨時間增加或減少，從(王等, 1978)一般常用有移動平均法及最小平方法，將分述如下：

- (1) 移動平均法：在全部時間水文數列內，依次求若干期間內(日、月或日等)數值之趨向值。就本研究採用三年移動平均時，在數列 x_1, x_2, \dots, x_n 中，取第一年至第三年數列之平均，作為第二年移動平均數：

$$y_2 = \frac{b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3}{3}$$

年數列平均數作為第三年移動平均數

$$y_3 = \frac{b_1x_2 + b_2x_3 + b_3x_4}{3}$$

$$\text{年之移動平均 } y_{n-1} = \frac{b_1x_{n-2} + b_2x_{n-1} + b_3x_n}{3}$$

，其中 b_1, b_2, b_3 為加權係數，一般常用 $b_1=b_2=b_3=1$ 。

- (2) 最小平方法：長期趨勢分為直線式與曲線式兩種，本研究將採用直線長期趨向，其最小二乘法方式如下：

直線趨向型式： $y = a + bx$ ，透過回歸分析解得係數 a, b 為：

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

其中 x 為年數， y 為該年觀測量，若取水文時列開始到結束平均值 \bar{x} 為原點，由於

$$\sum x = 0$$

，因此 a, b 可簡化成： $a = \frac{\sum y}{n}$ ，

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$$

2.2 河床載運移量推估方法

若無法從事河床載運移量調查時，得就下列

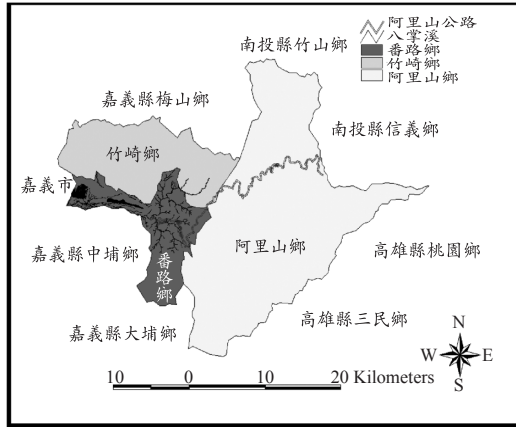


圖 1 阿里山公路位置概況

各河床載運移量公式進行運移量估算，並以其中最大值為標準：

(1) 何黃氏一九九二年公式：

$$q_B = 0.4383S^{1.41}(q - q_c)$$

$$q_c = 1.259 \times 10^{-7} \times D_g^{1.56} \times S^{-1}$$

$$D_g = \frac{D}{\left[\frac{v^2}{(\sigma/\rho - 1)g} \right]^{1/3}}$$

式中，

q_B ：單位河寬河床載運移量(cms/m)。

S ：河床坡度(百分比)。

q ：單位河寬流量(cms/m)。

q_c ：單位河寬之河床載起動流量(cms/m)。

D_g ：河床之無因次粒徑。

D ：河床載之粒徑(公尺)，一般可以 D_{50} 為代表。

σ ：泥沙密度(kg/m^3)，一般石英沙約為 $2650\text{kg}/\text{m}^3$ 。

ρ ：水密度(kg/m^3)，水溫 20°C 時，約為 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

v ：水之動黏滯係數 (m^2/sec)，水溫 20°C 時，

$$v = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}。$$

g ：重力加速度(m/sec^2)，一般 $g=9.8\text{m}/\text{sec}^2$ 。

(2) 蕭氏一九五〇年公式：

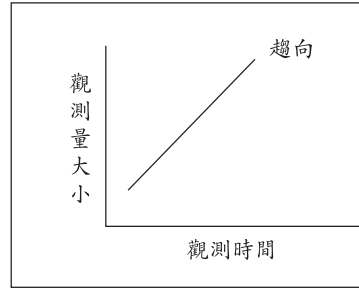


圖 2 趨向圖

$$q_s = \frac{2500}{\gamma_s} S^{3/2} (q - q_c)$$

$$q_c = 0.26 \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{5/3} \frac{D^{3/2}}{S^{7/6}}$$

式中，

q_s ：單位河寬床載運移量($\text{kg}/\text{sec}/\text{m}$)。

q_c ：單位河寬之河床載起動流量(cms/m)。

q ：單位河寬之流量(cms/m)。

γ_s ：泥沙單位重(N/m^3)。

γ ：水單位重(N/m^3)。

S ：河床坡度(百分比)。

D ：河床材料粒徑(公釐)，原模式採 D_{50} 為代表粒徑。

三、研究方法

3.1 應用軟體介紹

本研究中所應用之軟體包括 ArcView 3.2 及 Arc/Info 地理資訊系統軟體、Erdas Imagine 影像處理軟體建立研究區域內之地理環境資料。

3.2 衛星影像基本資料之建立與來源

本研究所使用的衛星影像是購自國立中央大學太空與遙測研究中心所接收處理的衛星影像，採用 TM 二度座標系統。選購時以雲層覆蓋量少，視角小及相同季節所拍攝之影像，篩選後以民國 66 年之 Landset 影像以及民國 79 年所拍攝之 SPOT 衛星影像，如圖 3 及圖 4 所示。

3.3 衛星影像處理與分析

(1) 監督性分類

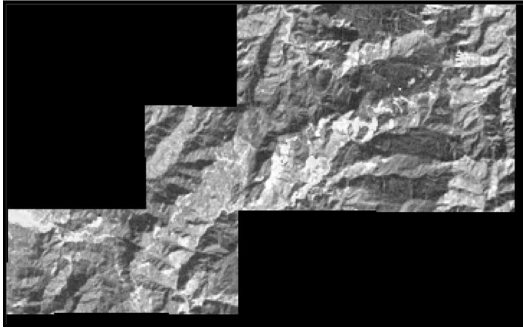


圖 3 1977 年時期衛星影像圖

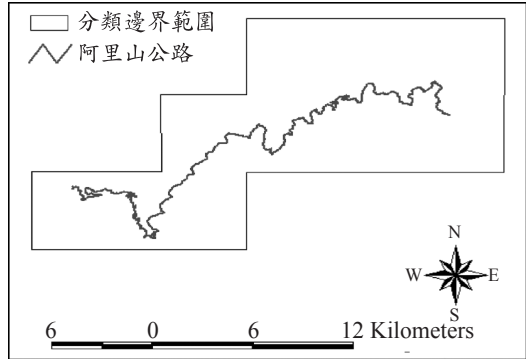


圖 5 阿里山公路分類邊界範圍

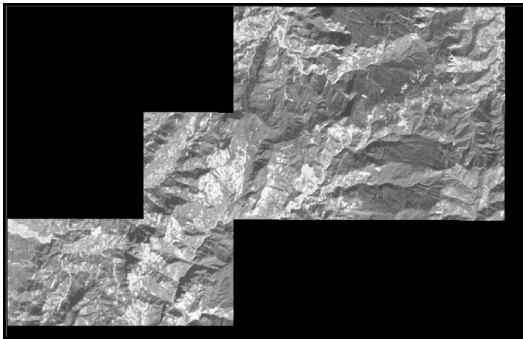


圖 4 1990 年時期衛星影像圖

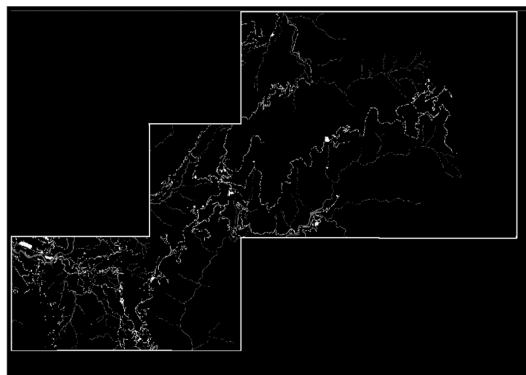


圖 6 1977 年衛星影像分類圖

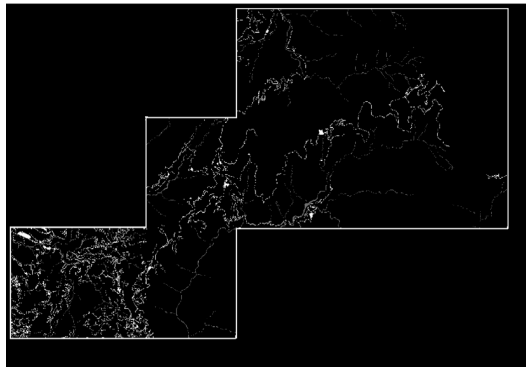


圖 7 1990 年衛星影像分類圖

根據地面真值(ground truth)，如航空照片、相片基本圖或其它主題圖等，圈選訓練樣區，並計算各組類的均數與共變異矩陣等統計值，再依統計值產生之機率密度函數對整個影像各像元做分類。在監督式分類過程中，為降低每一群集重疊的部分造成分類時的困難，可將各群集分裂成連串的矩陣型態，可免除繁複的浮點運算，以利分類工作的進行。

(2) 非監督性分類

非監督式分類之原理乃基於土地利用分佈型態本身的光譜特性聚集之現象，以此特性將像元加以聚集分類，進而區分土地利用的類別。即利用數學運算，依據統計及群集的觀念，檢查一大串未知像元的波譜自然群，利用群集分析分離類屬，在決定其資訊的應用，可減少監督式分類法中圈選訓練區之人工時間，同時對地表實際類別較不會遺漏。

本研究採取監督及非監督混合分類，也就是利用非監督性分類將研究區域分為多類，再從中

挑取樣本訓練區，以此訓練區做監督性分類，研究中將分類為植生、非植生（包含道路、建地）、水體三類，另外也可利用非監督分類出之結果，對照監督性分類成果是否正確，分類範圍如圖 5 及最後分類結果如圖 6 和圖 7 所示。

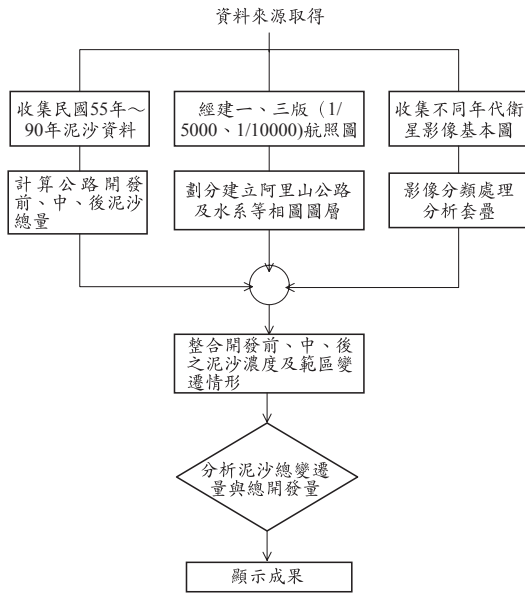


圖 8 作業程序圖

3.4 研究步驟

本研究之作業程序如圖 8，首先收集試區開發資料，如：DEM(數值高程模型)、不同年代衛星影像基本圖、經建一、三版航照圖，再透過 ArcView、Arc/Info 軟體之操作，萃取試區範圍資料庫圖層，作為後續圖層套疊分析(陳,2003)，以建立地形、水系、土壤及地質等資料庫，再向經濟部水利署申請八掌溪觸口水文站之泥沙量濃度(單位 ppm)數據，透過統計分析方法，分析其開發期間之泥沙變化曲線，再經由流量資料與懸浮質濃度推估河川之河床載與懸浮量，求得總輸沙量，並進一步配合衛星影像土地利用分類結果，以探討阿里山公路從開發以來，近幾年之土地利用變遷情況，及河川泥沙實際影響情形。

四、泥沙資料

河川泥沙運移量調查，以河道內之泥沙運移為限。其範圍包括河床載(Bed Load)、懸浮載(Suspended Load) (Ray K.Linsley 等, 1998)等兩種主要型態，本研究將以探討河床載及懸浮載之相互關係。

4.1 河床載與懸浮載之計算

表 1 觸口站不同年代河川泥沙濃度

年代	泥沙濃度 (ppm)	年代	泥沙濃度 (ppm)	備註
56	16767	74	321723	在此期間約有四十八場颱風入侵台灣。
57	224982	75	138323	
58	386919	76	41426	
59	109130	77	17227	
60	322748	78	419545	
61	170899	79	12846	
62	103843	80	253522	
63	22877	81	23623	
64	200451	82	2584	
65	232956	83	145494	
66	1022800	84	132	
67	267375	85	560804	
68	63707	86	6388	
69	1998922	87	7990	
70	282265	88	7115	
71	473987	89	3080	
72	105372	90	339824	
73	3165	平均	237452	

茲將觸口年平均水位流量資料與表 1 泥沙濃度，結合計算河川總泥沙量：

懸浮載：根據所收集之河川之年懸移質量 (ppm)，乘上觸口站年平均流量，來推估河川之泥沙懸浮質量，再依此結果推求河川之河床載量。

河床載：根據(陳志清, 1977)，河川之河床載約為懸移質量之 15%，因而估算得河川之河床載量。

總輸沙量：所以河川總輸沙量 = 懸移質 + 河床載

由圖 9 中得知民國 69 年泥沙濃度最高，約接近為 2 百萬(ppm)，高居第一位，推測其因乃由於阿里山公路開發期間加上颱風入侵，致使泥沙大量被沖入河川，而其次為民國 66 年，約 1 百萬(ppm)，歸究其因，肇於阿里山森林遊樂區整建與颱風侵襲之影響。

4.2 阿里山沿途公路邊坡特性

從圖 9 來配合解釋本段，據(呂政諭, 2001)

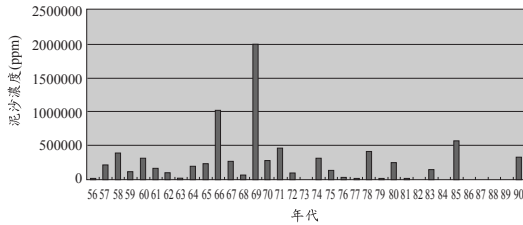


圖 9 觸口站泥沙濃度變化圖

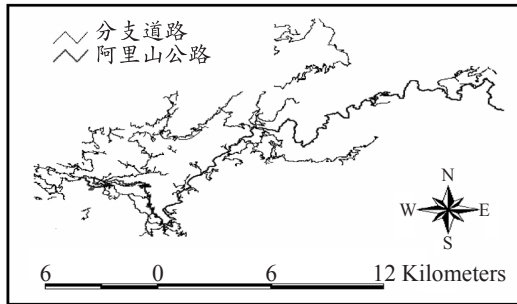


圖 10 1977 年阿里山公路鄰近道路圖

指出，阿里山公路沿途邊坡，其受到暴雨侵襲後，地表入滲率增加，使得邊坡含水量上升，降低邊坡安全係數(陳冠志等, 2002)，之而產生大量崩塌，但於崩塌後將驅使邊坡處於更穩定狀態，而使得再發生有類似的暴雨情況下，則不易再產生坍塌，即所謂次年的總崩塌量將會減少許多，相對的河川泥沙量亦會減少，需經一段時間才會再有大量崩塌產生，研究指出週期相隔約 4 年，遇到類似暴雨才會有大量崩塌發生，倘若受到地震之擾動，致使發生大量崩塌，次年之總崩塌量將會相對提高，由於土壤受到地震擾動後，山坡趨於不穩定狀態，若加上豪雨侵襲，將會造成更嚴重情形。而從圖 9 中，泥沙量達到最大之年，皆無受到大地震擾動，只逢颱風侵襲，因此於次年河川泥沙量皆降低，雖然地震豪雨是增加山坡地發生災害的原因，而影響坡地災害最嚴重者不外乎是人為部分(唐一凡等, 1999)，多半是因為開發過量及施工不良，加上當時台灣山坡地管制無法徹底施行，因此土砂災害多源出於此。

五、結果與討論

阿里山公路自開發以來，即民國 70~80 年間，在這短短的期間內，除主要道路外，其分支

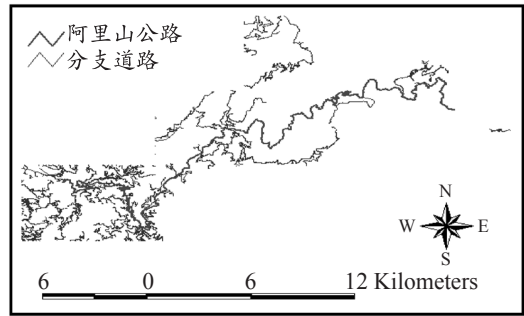


圖 11 1990 年阿里山公路鄰近道路圖

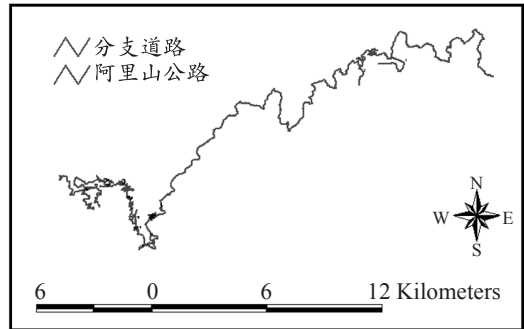


圖 12 1977 年至 1990 年道路增量圖

道路從 38 條增至 67 條，也因分支道路之增闢、交通發達，造成內部區域開發便利，致使研究區域內之自然環境受到嚴重的衝擊，茲將影響原因討論如下。

5.1 阿里山公路鄰近道路變化趨勢

圖 10 為民國 66 年阿里山公路開發中之道路圖，圖 11 為民國 79 年阿里山公路開發後之道路圖，圖 12 為自 66 年以來至 79 年，十三年間阿里山公路鄰近所增加之道路，約 29 條，從上游到下游觸口處，將所增加之道路予以順序編號，如表 2 所示：其中以編號 29，長度約為 3 公里左右為最長，總計於十三年間道路共增長了 15.48 公里。

5.2 阿里山公路鄰近土地利用面積變化趨勢

為了解阿里山公路沿途之土地利用變遷情形，本研究以經建一版、三版航照圖經由數化將地表覆蓋分類為植生地、非植生地、水體等三大

表 2 開發後道路增量資料

編號	長度(m)	路寬(m)
1	2693	3.5
2	898	3.5
3	111	5.0
4	72	2.0
5	412	4.0
6	265	5.0
7	323	6.0
8	110	3.0
9	58	2.5
10	179	2.0
11	464	3.0
12	203	3.0
13	274	3.2
14	363	5.5
15	226	2.0
16	586	3.7
17	122	2.0
18	216	4.5
19	57	2.0
20	123	2.7
21	68	2.0
22	396	2.0
23	302	5.5
24	527	2.0
25	415	2.0
26	152	2.0
27	588	2.0
28	2208	5.5
29	3068	4.5
總計	15480 m	

類。所得數據成果如表所示。由表 3 知自 1977 年至 1990 年(阿里山公路開發前後)，植生地約減少 198 ha，非植生地約增加 199 ha，水體則約減少 0.75 ha。

5.3 八掌溪河川泥沙量變化趨勢

圖 13 為民國 56~68 年阿里山公路開發前，八掌溪觸口站所測之河川懸浮質變化量，利用三年移動平均泥沙變遷呈現正成長曲線，於民國 66 期間正逢魯絲、賽洛瑪、薇拉、愛美、黛納等五場颱風過境台灣，因此於此之年泥沙量達到最高峰，自民國 52 年 6 月阿里山結束官營伐木

表 3 阿里山公路航測一、三版之土地利用分類表

年別	1977		1990		1990-1977	
	面積	面積	面積	面積	面積	面積
土地利用型態	Ha	%	Ha	%	ha	%
植生地	26,240	97.2	26,042	96.4	-198	-0.8
非植生地	465.4	1.7	664.2	2.5	199	42.7
水體	302.4	1.1	301.6	1.1	-0.8	-0.3

備註：研究區域總面積約 27,007.8 (ha)

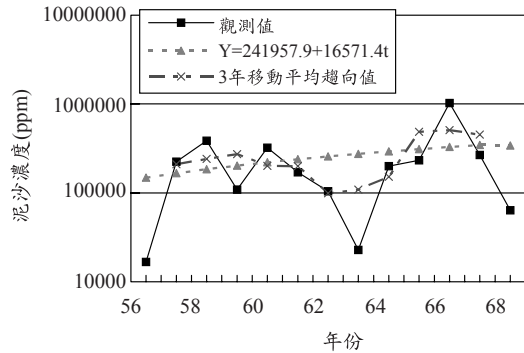


圖 13 民國 56~68 年觸口站河川懸浮質變化量

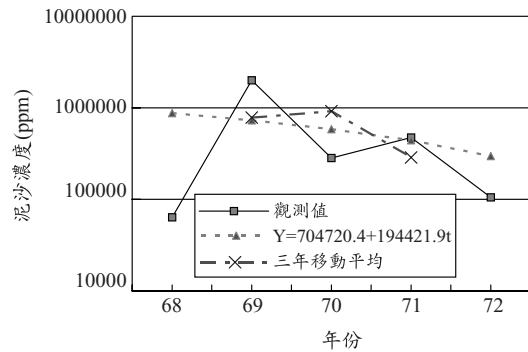


圖 14 民國 68~72 年觸口站河川懸浮質變化量

後，隨即於民國 64 年研訂阿里山森林遊樂區整建計畫，因而使得集水區開始大量開發利用，加上於 64 年至 66 年此期間共有五場颱風分別為 64 年芙妮娜、貝蒂、艾爾西颱風，65 年魯畢、畢莉颱風以及 66 年魯絲、賽洛瑪、薇拉、愛美、黛娜等颱風入境台灣，造成河川泥沙量有逐年上升之趨勢。

圖 14 為民國 68~72 年阿里山公路開發中之河川懸浮質變化量，三年移動平均泥沙變遷呈現

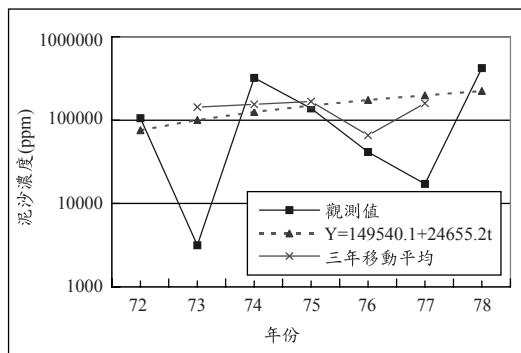


圖 15 民國 72~78 年觸口站河川懸浮質變化量

負成長曲線，於此期間共有數場颱風分別為 68 年戈登、賀璞、歐敏、茱迪颱風，69 年的艾達、諾瑞斯、珀西、貝蒂颱風，70 年的艾克、裘恩、莫瑞、艾妮絲、葛萊拉、依瑞，71 年的安迪、西仕、黛特、肯恩颱風，72 年的瑋恩、艾倫、佛瑞特颱風等入境台灣，於此時期亦是阿里山公路開發期間，因此河川泥沙量從民國 68 年約 1 萬 ppm 暴增到民國 69 年約 200 萬 ppm。

圖 15 為民國 72~78 年阿里山公路開發後，維護期間之河川懸浮質變化量。由於此期間阿里山公路又經翻修加上此期間歷經數場颱風入境台灣，故使得三年移動平均泥沙變遷呈現正成長趨勢，同時河川懸浮質亦於民國 78 年達到最大値，其中三年移動平均泥沙變遷呈現正成長曲線之兩階段，分別為 73 年至 75 年以及 76 年至 77 年兩段。其間所發生之颱風，分別為 73 年的荻安娜、蓋瑞、珍妮絲、肯瑞、賴恩颱風，74 年的海爾、傑夫、尼爾森、衛奧、白蘭黛颱風，75 年的南施、佩姬、瑋恩、艾貝颱風以及 76 年的賽洛瑪、費南、亞力士、傑魯特、琳恩等颱風。

圖 16 為民國 78~90 年阿里山公路開發後穩定期之河川懸浮質變化量，三年移動平均泥沙變化呈現負成長曲線，於民國 85 年達到最大値，此年剛好遇到凱姆、賀伯、葛樂禮、莎莉、薩恩等颱風侵襲，加上阿里山公路沿途山坡地多處崩塌嚴重，致使河川內之泥沙瞬間暴增。

5.4 從工地現場挖方來比較

以下河床載重量計算量係以懸浮質 15%估

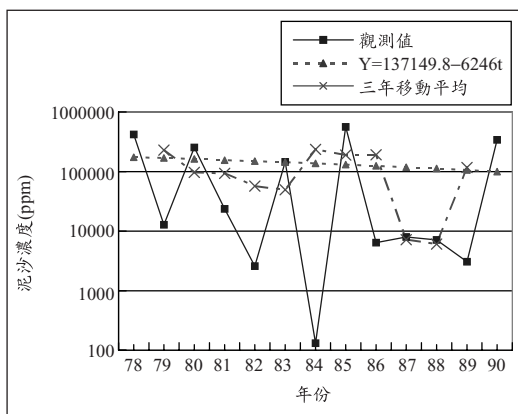


圖 16 民國 78~90 年觸口站河川懸浮質變化量

算之，河川泥沙計算表如表 4 所示，根據(呂等, 1988)，阿里山公路從民國 68 年~75 年之總開發土方量約為五百萬立方公尺，以開炸回填方式施工，假定土方比重約為 1.55 t/m^3 ，則總土方量約達 7.75(百萬公噸)，從河川泥沙計算表得知民國 68~75 之河川泥沙總重約 2.36(百萬公噸)。

表 5 係根據上表，以統計阿里山公路開發前後之河川年平均總泥沙量，就公路開發中而言，其泥沙成長量皆較開發前、後還來的大許多。

5.5 從其它公式計算結果

為使分析結果更為客觀，本研究另採何黃公式(何智武、黃宏斌, 1992)、蕭氏公式(Schoklitsch, 1950)以及梅耶彼得(Meyer-Peter, 1948)上述學者之經驗公式以推算泥沙量，其推算結果如表 6 所示。

六、結 論

就土地利用變遷、與河川泥沙變化結果顯示，茲整理出 4 點結論，分敘如下：

1. 自從阿里山公路通車以來，短短幾年間土地利用變化急遽改變，造成植生覆蓋面積減少，從分析年民國 70~80 年代期間，植生覆蓋面積約減少 198ha，幾乎全部變為建地或道路使用地，因此開發量相當可觀，致使水土流失，進而間接增加河川泥沙容量、與洪峰流量。

表 4 河川泥沙計算表

年代	年平均 流量 (cms)	年泥沙 濃度 (ppm)	日流量 體積 (m ³)	懸浮質 總重 (公噸)	河床載 總重 (公噸)	總泥沙量 (公噸)
56	4.9	16767	423360	11003	1650	12653
57	7.59	224982	655776	228684	34303	262986
58	5.59	386919	482976	289653	43448	333100
59	4.93	109130	425952	72050	10808	82858
60	4.83	322748	417312	208764	31315	240079
61	9.61	170899	830304	219942	32991	252933
62	5.56	103843	480384	77321	11598	88919
63	6.71	22877	579744	20557	3084	23641
64	9.18	200451	793152	246432	36965	283396
65	6.67	232956	576288	208087	31213	239300
66	7.54	1022800	651456	1032779	154917	1187696
67	8.18	267375	706752	292900	43935	336835
68	5.87	63707	507168	50081	7512	57593
69	3.01	1998922	260064	805764	120865	926628
70	7.54	282265	651456	285019	42753	327772
71	5.07	473987	438048	321825	48274	370099
72	5.99	105372	517536	84527	12679	97207
73	4.73	3165	408672	2005	301	2306
74	9.33	321723	806112	401984	60298	462282
75	5.33	138323	460512	98734	14810	113544
76	5.1	41426	440640	28294	4244	32538
77	4.01	17227	346464	9251	1388	10639
78	6.05	419545	522720	339922	50988	390910
79	7.85	12846	678240	13505	2026	15530
80	2.26	253522	195264	76731	11510	88240
81	5.89	23623	508896	18634	2795	21429
82	6.34	2584	547776	2194	329	2523
83	7.03	145494	607392	136976	20546	157523
84	3.79	132	327456	67	10.1	77.1
85	5.1	560804	440640	383025	57454	440478
86	5.68	6388	490752	4859	728.9	5588
87	6.27	7990	541728	6709	1006	7715
88	2.43	7115	209952	2315	347.3	2663
89	3.63	3080	313632	1497	224.6	1722
90	5.29	339824	457056	240744	36112	276855
總計						7156259

表 5 阿里山公路開發前後河川總泥沙量

	河川總泥沙量(公噸)	平均年泥沙量(公噸)
公路開發前 (56 年~67 年)	3344398	278699.8
公路開發中 (68 年~71 年)	1682092	420523
公路開發後 (72 年~90 年)	2129769	112093.1

表 6 不同公式之泥沙推估成果

計算公式 泥沙總量	一般公式 (百萬公噸)	何黃式 (百萬公噸)	蕭氏 (百萬公噸)	梅耶彼得 (百萬公噸)
68-75 年	2.36	6.10	2.97	2.65

- 從不同年間之河川泥沙變化來看，若該年產生泥沙量之高峰期，次年的泥沙流出量將相對地減少許多，加上觀測期間河川泥沙量達高峰之年，前前後後皆無大地震發生現象，但都面臨颱風過境，其結果驗證(呂政論，2001)所述，若不受地震擾動，只受颱風暴雨侵襲，坡地崩塌土將大量增加，相對流進河川的量也會提高，造成該年泥沙流出量大增，而次年即使受暴雨侵襲，崩塌土便不會大增，反而有大量減少之趨勢，致使泥沙流出量皆大量減低。
- 阿里山公路開發前後，就民國 66 年、69 年之泥沙出流量，相較於其它時期還來的高許多，分別約達 1.2 百萬公噸、0.93 百萬公噸，因此可以估証，集水區開發以及公路開發是泥沙來源之主因。
- 從阿里山公路開通後，產業道路即增加，即從民國 66 年至民國 79 年十三年間，阿里山公路(台 18)不計，產業道路增加 29 條，其長度共增加 15,480 (m)。
- 歐陽裕 遙感探策學 大中國圖書公司 1986。
- 唐一凡、張益三 由防災觀點探討山坡地土地開發行為對災害產生之規模與影響 第六屆海峽兩岸環境保護研討會論文集 1999。
- 行政院農委會 水土保持技術規範 2000。
- 呂政論 地震與颱風作用下阿里山地區邊坡崩壞特性之研究 碩士論文 2001。
- 呂建華 集水區地理資訊系統數位分析應用 必中出版社 2001。
- 謝勝彥、李雄傑、周志芳 集水區開發對排水影響與因應對策之研究 第十三屆水利工程研討會論文集 2002。
- 陳冠志、徐國錦 坡地水流對崩塌影響之研究 第十三屆水利工程研討會論文集 2002。
- 陳錦嫻 GIS 技術與實務應用 新文京開發出版股份有限公司 2003。
- Erdas Imagine Tour Guides Erdas, Inc Atlanta, Georgia 1997.
- Ray K. Linsley, Joseph B. Franzini, David L. Freyberg & George Techobanoglous Water-Resources Engineering 4/E McGraw-Hill Inc. 1998.

參考文獻

- 陳志清 河道輸沙學導論 科學圖書大庫 1977。
- 王如意、易 任 應用水文學 國立編譯館 1978。
- 呂秀崑、葉東榮 新建東西橫貫公路三條之一嘉義玉山線闢建工程成效評估報告 台灣公路工程月刊第 14 屆 11 期 1988。

收稿日期：民國 93 年 7 月 12 日
 修正日期：民國 94 年 5 月 6 日
 接受日期：民國 94 年 5 月 11 日