

## 仁義潭水庫泥砂來源探討及其水庫壽命推估之研究

### Estimation of the Reservoir Service-life and Investigation of the Sources of Sediment for Jenitan Reservoir

國立嘉義大學土木與  
水資源工程學系教授

劉正川

Jenq-Chuan Liou

國立嘉義大學土木與  
水資源工程學系講師

陳錦嫣

Ginn-Yein Chen

國立嘉義大學土木與  
水資源工程學系教授

邱一盛

I-Shen Chiu

#### 摘要

仁義潭水庫為一離槽水庫，亦為嘉義地區供應自來水之主要水源之一，但近年由於八掌溪上游之土地開發不當，造成水庫淤積嚴重，將全省十二座離槽水庫之淤砂率由高至低排序，最高為烏山頭(51.08%)，而仁義潭之淤砂率為 6.87%，排行第五高，因此水庫之清淤工作為刻不容緩之事。仁義潭每年沉積於水庫之泥沙量約為 20 萬立方公尺，自來水公司歷經 14 年之營運，因此留在水庫之泥沙總量約為 280 萬立方公尺。如果無任何清淤計畫，經本文推估計算仁義潭水庫壽命尚餘 128 年，即其水庫壽命推估可利用到民國 218 年。如果每年進行清淤計畫，且清除 15、10、5 萬立方公尺之淤泥，水庫壽命則可延長到民國 431、313、253 年。

在今日水庫壩址難覓、旱象頻生，水資源需求劇增的環境下，防止泥沙流入水庫乃是水庫管理單位之重要課題，還要加強水庫集水區水土保持工作及清除沉沙池之泥沙之工作，則為延長水庫壽命及替代興建新水庫之可行對策。

**關鍵詞：**仁義潭，水庫壽命，含沙量。

#### ABSTRACT

The Jenitan Reservoir, an off-stream reservoir, is the main water resource of Chia-Yi City. In Recent years, the improper development of up-stream watershed has caused serious soil erosion that transport along the river and entered into reservoir. By comparing the sediment trapping rate of the 14 off-stream reservoirs over the country, the Wushantou reservoir is 51.08% the highest, and the Jenitan reservoir is 6.87% the 5th. It is an urgent task to rid the trapped

deposits in the reservoir. After operating 14 years, the inflow sediment is about 200 thousand  $m^3$ , which are mainly fine-grain deposits with sizes less than 0.075 mm. The trapped sediment is about 2.8 million  $m^3$ . If there is not any action of removing the trapped deposits, the reservoir service-life of 128 years is remained. On the contrary, if the sediment is removing 150, 100 and 50 thousand  $m^3$  per year respectively, the service-life of the reservoir is going to increase up to 341, 223 and 163 accordingly. Lately, the demand of water resources is heavily growing.

Owing to limitation of lack land-resources and unavailability of feasible site for a reservoir, it is not available to build-up a new one in Taiwan. In addition, because the request of the environmental protection and the ecological preservation of people is being severe, to construct the new reservoir becomes more difficult. It is an alternative to prolong the service-life of reservoirs by improving the soil-water preservation upon the watershed and eliminating depositions from reservoirs. How to avoid sediment entering into the reservoir is an important lesson to the authority of reservoir management sector

**Keywords:** Jenitan, Reservoir service life, Sedimentation.

## 一、前言

台灣地區因地形限制，大部分河川無法有效蓄水，降雨時地表逕流流失快速，可供利用之地面水量不多，所以水庫蓄水為目前台灣地區蓄水之主要方式及枯水期之主要水源，但無論是單目標或是多目標水庫，其有效容量則關係著各項營運功能，因此減少水庫淤積，除可延長水庫壽命外，亦可有效執行水資源之調配及管理工作，減少缺水之危機。仁義潭水庫為嘉義縣、市公共給水之重要水源，自民國七十六年六月正式完工蓄水營運至民國九十年已有 14 年，由於八掌溪上游土地利用方式不斷改變，導致濫墾及濫伐情形嚴重，使得逕流夾帶大量泥沙流入水庫，淤積嚴重。水庫新建初期時之有效容量為 2,732 萬  $m^3$ ，民國 86 年施行淤積量測後有效容量為 2,585 萬  $m^3$ ，年平均淤積量約為 20 萬  $m^3$ ，水庫蓄水量容積漸減，淤積量佈滿水庫入口處，因此維持水庫壽命及保障水庫之正常營運，實為刻不容緩的工作<sup>(4)</sup>。

## 二、研究區域概述

仁義潭位於嘉義市東南方約 6km 處，全

區屬於嘉義縣番路鄉內甕村。仁義潭水庫北以 159 甲縣道為界，東至番路鄉江西村界，南距八掌溪約 250m，西與嘉義市為界，面積約 3.66 $km^2$ ，地理位置如圖 1 所示，為一公共給水單目標離槽水庫，位於八掌溪右岸之河谷窪地，地勢低陷類似盆地。水庫之地勢則由北向南傾斜，最高點位於北邊之土地公崎頂約 208m，最低點位於河床底約 82m，集水區平均坡度約為 0.21，略成掌狀，係屬丘陵地形，地形如圖 2 所示。

水庫集水區地質構造差異不大，包含上新世至更新世之頭嵛山層、沖積層、表土層、及風化

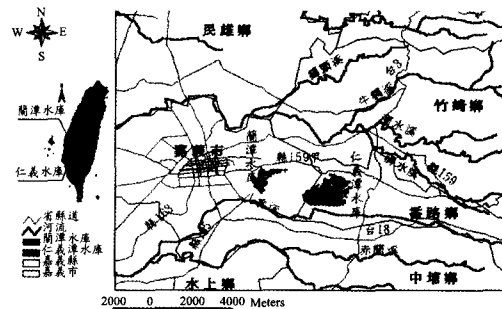


圖 1 仁義潭水庫集水區地理位置圖

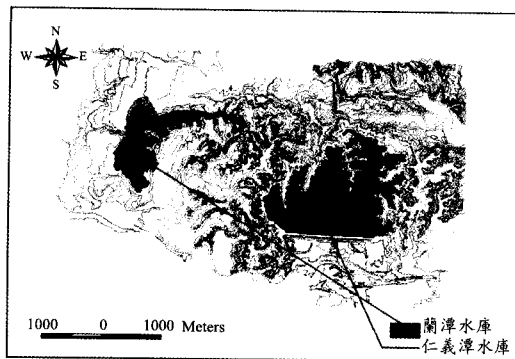


圖 2 仁義潭水庫集水區地形圖

層。集水區地層中之頭嵙山層以粉砂岩為主及部份之砂岩與礫石層，其中砂岩主要分佈在集水區中部，粉砂岩則分佈在集水區東部與西部，礫石層則主要分佈在集水區北部，而集水區內其餘之沖積層則分佈在集水區之淹沒區，表土層級風化層岩層較鬆軟，易受侵蝕，零星散佈在全區。區內土壤種類包括砂頁岩淡色崩積土、砂頁岩黃壤、洪積母質紅壤及砂頁岩非石灰性新沖積土。土壤之 pH 值多在 3.8 至 5.5 間，屬強酸性土壤。集水區於民國 70 年時，水庫用地為 254.19 公頃，但於民國 71 年將本集水區劃入仁義潭風景特定區時，水庫用地變更為 270.83 公頃，其差別之 16.64 公頃，因該水庫用地不必做為取土區，故私有地不必徵收。集水區內土地屬 I-IV 級之宜農牧地面積 103.39 公頃，佔 38.18%，屬 V 級地之宜林地 3.78 公頃佔 1.40%，不分級土地 4.87 公頃，佔 1.80%。集水區面積約為 3.66km<sup>2</sup>，淹沒區約為 2.32km<sup>2</sup>，目前集水區內無河川存在，僅有少數之自然流路及溝渠，水庫蓄水後，原有之流路與溝渠大部份遭受淹沒，水庫未受淹沒之上游源頭皆有良好的植生覆蓋。

### 三、淤積測量結果及水庫泥砂來源分析

仁義潭為一離槽水庫，於吳鳳橋下游約 100m 處建造攔河堰（又稱竹山進水口）引八掌溪中、上游集水區之溪水，其上游集水區包括竹崎鄉、番路鄉、中埔鄉等三鄉鎮，集水區面積約為 99.81Km<sup>2</sup>；此區域為頁岩、砂岩、泥岩之脆弱地

區，沖蝕嚴重、河道淤積大量泥砂，促使進水口前的沉沙池經常淤滿而使含砂量極高之水源進入水庫內，成為仁義潭水庫泥沙來源。另一泥沙來源為集水區本身（即水庫滿水位以上之區域）之地表沖蝕所產生之泥砂。

#### (一) 歷年水庫淤積測量結果

依據仁義潭水庫於民國五十九年規劃報告中之五分之一地形圖計算水庫滿水位 105 m 時之總容量為 32,000,000 m<sup>3</sup>，呆水量（水位：89 m）3,360,000 m<sup>3</sup>，有效容量 28,640,000 m<sup>3</sup>，年淤砂量 66,652 m<sup>3</sup>。民國七十五年，為求完工後營運順利，由水利局第五工程處仁義潭工務所於庫內清理時，進行斷面測量，並埋設斷面樁，計算水庫蓄水量，得滿水位容量為 29,113,595 m<sup>3</sup>，有效容量 27,317,667 m<sup>3</sup>。民國七十九年六月間自來水公司委託國立嘉義農專（現為國立嘉義大學）承辦仁義潭水庫淤積測量，得滿水位容量為 27,821,037 m<sup>3</sup>，有效容量 25,976,288 m<sup>3</sup>。民國八十六年六月台灣省自來水公司第五區管理處委託幀衡公司辦理水庫淤砂測量<sup>(1)</sup>，明瞭水庫興建至今之淤積情形及確實之有效容量得滿水位容量為 27,114,821 m<sup>3</sup>，有效容量 25,852,093 m<sup>3</sup>，將上述之測量結果整理如表 1 所示。以民國 76 年水利局第五工程處所測得滿水位容量 29,113,595 m<sup>3</sup>，有效容量 27,317,667 m<sup>3</sup> 與民國 86 年幀衡公司所測的資料比較，得知十年來仁義潭水庫淤積量約為 1,998,774 m<sup>3</sup>，年平均淤積量 199,877 m<sup>3</sup>。相較 79 年及 86 年這二次的淤積測量結果，嘉義農專及幀衡公司分別測得之年淤積量為 430,852 m<sup>3</sup> 及 199,877 m<sup>3</sup>，從淤砂量之數據看來，其原因分析如下：

(1) 受到台 18 線阿里山公路開通造成八掌溪上游土地不當的開發利用致使河川含沙量過高。自民國七十一年十月一日正式通車以來，遊客劇增，旅館食宿行業大發利市，違章與攤販逐因應而生，加上民國七十七年政府推廣精緻農業，農民剷除林木改種茶葉及高山蔬菜，造成土壤嚴重沖蝕流失。其含砂量之趨勢分析如圖 3 所示。

表 1 仁義潭水庫歷年水庫淤積測量結果

施測單位	年度	總容量 m <sup>3</sup> (水位 105m)	呆水位 m <sup>3</sup> (水位 89m)	有效容量 m <sup>3</sup>	年淤砂量 m <sup>3</sup>	淤砂量 m <sup>3</sup>	備註
水利局	59	32,000,000	3,360,000	28,640,000	66,652		原規劃
水利局	76	29,113,595	1,800,000	27,317,667			76.6 完工
嘉義農專	79	27,821,037	1,844,749	25,976,288	430,852	1,292,558	76~79 年
慎衡公司	86	27,114,821	1,262,728	25,852,093	199,877	1,998,774	76~86 年

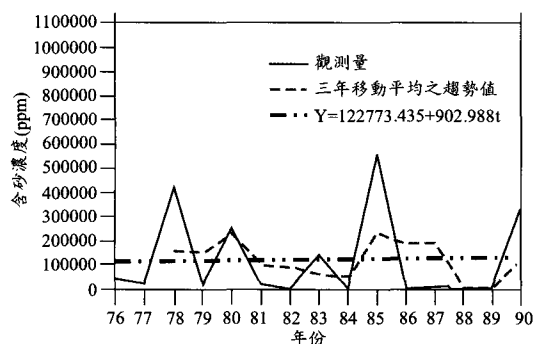


圖 3 八掌溪觸口站含砂濃度之趨勢分析

(2)前三年淤砂量較大之原因為仁義潭水庫興建完工後,營運初期階段因周圍環境受到工程施工及開發的影響,地質鬆軟,土壤沖刷嚴重所造成,也符合水庫剛完工啟用時,淤積量較大之原則。

(3)仁義潭水庫於八掌溪進水口後設有沉沙池一座,長 121.6 m、寬 51m,分六槽,最深深度 5m,可沉砂量 2,922m<sup>3</sup>。但排砂效果並未達到預期效果,致使泥砂流入水庫,經現場調查,研判原因受仁義潭水庫排砂機制之影響,其方式如下:

1. 八掌溪竹山進水口排洪閘門排砂機制:
  - a. 當颱風豪雨來臨,河水上漲,為防止阻礙河水流速,影響上游排洪及閘門構造物有被沖毀之虞時。
  - b. 有大量雜物或垃圾流至攔污柵前。
  - c. 攔污柵前有污泥淤積。
  - d. 閘門安全檢查或保養。
2. 沉砂池排砂閘門開啟時機:
  - a. 當水庫水位近滿水位、雨季尚未結束或八

掌溪進水量在 12cms 以上時,水庫中之淤泥始可進行排砂。

b. 閘門安全檢查或保養。

八掌溪竹山進水口排洪閘門及沉砂池排砂閘門於民國 77 年~89 年之年總排砂時間及總引水流量之紀錄表及統計結果如表 2 所示。

從表 2 得知,仁義潭進水口,為了獲得更多之水資源,因此每年從進水口及沉砂池的排砂時間,均很短促,也造成泥砂流入水庫之中,這也是水庫操作人員頭痛之問題,為解決淤砂問題,建議加強八掌溪竹山進水口中、上游集水區水土保持工作,以減少八掌溪之輸砂量。

#### 四、水庫清淤量之推估

從歷年測量資料整理可得仁義潭水庫容量變化表如表 1,如慎衡公司測量屬實的原則下,仁義潭水庫淤泥量平均每年約 199,877 m<sup>3</sup>,水庫於民國七十六年開始營運迄今已達十四年,因此 14\*199,877=2,798,278 m<sup>3</sup>,此量乃為本計劃清淤量之推估值。

又巨廷顧問公司於民國 80 年推估仁義潭水庫壽命(2597.6 萬除以 8.9 萬)大約等於 292 年<sup>(2)</sup>,如仁義潭水庫每年淤積 199,877 m<sup>3</sup>,則仁義潭水庫壽命粗略推估大約還有 126 年(25,265,863 除以 199,877),此 126 年之壽命是否正確,還是有爭議的。因此為了正確推估仁義潭水庫之壽命,泥砂的來源可分成集水區本身之年土壤沖蝕量,與仁義潭竹山進水口入流量之含砂量兩部分,分別探討之,又為了分析得到正確之泥砂量,所以進行了入流量與泥砂量之試驗。

表 2 仁義潭進水口及沉砂池之年總排砂時間及總引水流量之紀錄表

年度	進水口		年度	沉砂池	
	總排砂時間(min)	總引水流量(m <sup>3</sup> )		總排砂時間(min)	總引水流量(m <sup>3</sup> )
77	2700	99.65	77	480	7.22
78	9064	79.41	78	缺	缺
79	2840	44.26	79	1290	38.64
80	4860	110.83	80	1110	23.77
81	6675	16.91	81	2350	6.54
82	265	55.07	82	610	27.03
83	1835	52.83	83	3125	11.62
84	530	183.34	84	3800	7.55
85	1496	38.01	85	4410	14.64
86	2205	144.33	86	5310	28.88
87	1455	84.48	87	1760	19.31
88	4395	54.41	88	3450	42.33
89	5160	82.17	89	3630	11.49

4.1 水庫之壽命推估

4-1 集水區之年土壤沖蝕量推估

依據水土保持技術規範第六十二條通用土壤流失公式計算

通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation USLE)：

$$A_m = R_m * K_m * L * S * C * P$$

A (ha) = 集水區之坡地沖蝕面積 (水庫滿水位 105m 以上之面積)

A<sub>m</sub> = 土壤流失量 (公噸/公頃/年)：換算成體積以每年立方公尺 1.4 公噸計之。

R<sub>m</sub> = 降雨沖蝕指數 (百萬焦耳·公釐/公頃·小時·年)。

K<sub>m</sub> = 土壤沖蝕指數 (公噸·公頃·年/公頃·百萬焦耳·公釐)。

L = 坡長因子。

S = 坡度因子。

C = 覆蓋與管理因子。

P = 水土保持處理因子。

參數選用值如下所列：

R<sub>m</sub> 值 = 取嘉義地區，R<sub>m</sub>=16407。

K<sub>m</sub> 值 = 0.48<sup>(6)</sup>

L 值 = 基地各集水分區最大地表逕流之坡長，再利用坡長因子公式計算得其值。

坡長因子公式： $L = (l/22.13)^{0.5}$ ；

式中 l：坡長(m)。

S 值 = 基地各集水分區最大地表逕流之坡度，再利用坡度因子公式計算得其值。

坡度因子公式：

$$S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.0654$$

θ：坡度 θ=17.4°

C 值 = 依據美國萬用土壤沖蝕公式(USLE)中，C 值取 0.03。

P 值 = 0.2。

依據上述集水區之年土壤沖蝕量推估如下：<sup>(5)</sup>

表 3 仁義潭集水區之年土壤沖蝕量推估

面積	降雨沖蝕指數	土壤沖蝕指數	坡長	坡長因子	坡度因子	覆蓋與管理因子	水土保持處理因子	推估泥沙量		總土壤流失量
								At	Am	
A(ha)	Rm	Km	l(m)	L	S	C	P	ton/ha/yr	m <sup>3</sup> /ha/yr	m <sup>3</sup> /yr
104	16407	0.48	60	1.65	7.27	0.03	0.2	566.81	404.86	42105

#### 4-2 入流量與含泥量試驗

爲了探討流入仁義潭水庫之含泥量，而進行此試驗。於是從民國九十年五月十九日至六月十二日止，用含沙量採樣器(D48)，至仁義潭水庫竹山進水口及沉沙池後，取水樣約 600cc，再至本系材料試驗場進行稱重及烘乾，求取含泥量(ppm)，共有四十個樣本，然後採用直線迴歸，探討進水口水位與含砂量之關係，圖如圖 4 所示，結果其迴歸式爲  $y = 161.88x - 4528$  及沉沙池後水位與含砂量之關係，結果其迴歸式爲  $y = 150.76x - 4152$  圖如圖 5 所示。

#### 4-3 流入水庫之流量及含沙量之分析

茲將仁義潭水庫竹山進水口引水操作記錄表，從民國七十七年至民國八十九年間的水位及流量輸入電腦中，利用上述沉沙池後水位與含沙量之關係，算出每年之流入水庫之流量，再推算含沙量，其結果如表 4 所示。

#### 4-4 水庫壽命推估

通用土壤流失公式，計算得到水庫集水區，水庫邊坡每年土壤流失量約  $42,105 \text{ m}^3$ ；從進水

口流入水庫之流量及含沙量每年平均各爲  $62,464,630$  及  $139,611 \text{ m}^3$ ，所以流入水庫之含沙量推估爲  $181,716 \text{ m}^3$ ，爲保守估算將淤泥總量乘以安全係數 1.1 爲  $200,000 \text{ m}^3$ 。再利用布侖(Brune)曲線<sup>(7)</sup>，將水庫之流量  $62,464,630 \text{ m}^3$ ，以及流入水庫之淤泥總量  $200,000 \text{ m}^3$ ，以及水庫呆水位 89m 時之體積爲  $1,800,000 \text{ m}^3$ ，輸入於水庫壽命之程式中，即可知水庫壽命。經程式計算仁義潭水庫在無任何清淤計畫，水庫壽命尚餘 128 年，即仁義潭水庫之壽命推估可用到民國 218 年<sup>(7-8)</sup>。

#### 4-5 每年有清淤計畫之水庫壽命推估

從上述得知，假設每年計畫清淤 X 立方米之淤泥，清除後由於水庫邊坡會崩塌其量爲  $0.2X$ ，因此對水庫而言實際清淤量只有  $0.8X$ ，又假設每年流入水庫之淤泥量分別爲  $50,000, 100,000, 150,000, 200,000 \text{ m}^3$ ，即表示每年計畫清淤  $150,000, 100,000, 50,000, 0$  (表示無清淤)  $\text{m}^3$  之淤泥，再利用布侖(Brune)曲線，將每年流入水庫之流量  $62,464,630 \text{ m}^3$ ，以及水庫呆水位 89 m 時之體積爲  $1,800,000 \text{ m}^3$ ，和每年流入水庫

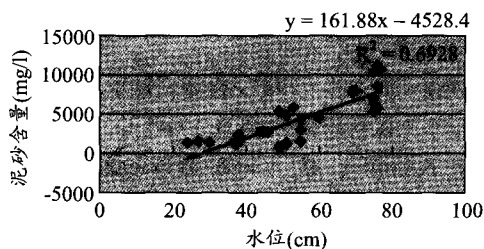


圖 4 仁義潭水庫進水口處水位與含砂量之關係

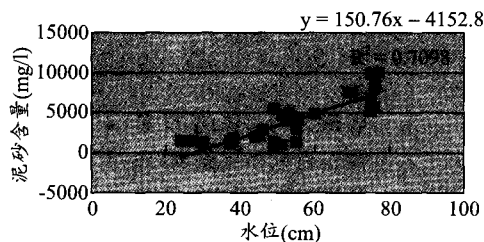


圖 5 仁義潭水庫沉沙池後水位與含砂量之關係

表 4 仁義潭水庫之年流入量及年泥砂量

年別	流入量 ( $\text{m}^3$ )	泥砂量 ( $\text{m}^3$ )	有記錄之月份
77	61566048	148696	4~10 月
78	51914304	82960 *	6~10 月
79	42522624	90687 *	6~10 月
80	48390912	135716	5~12 月
81	47987424	62586 *	1~10 月
82	53023536	140580	1.3.5~11 月
83	53801280	127243	5~10 月
84	53412480	124564	4~12 月
85	92075184	165403	1~12 月
86	71127936	147207	1~12 月
87	94003200	152864	1~12 月
88	65700288	120003	1~12 月
89	77364288	133839	1~12 月
平均	62464630	139611	

備註：有 \* 號者因記錄關係而不計入平均值

表 5 仁義潭水庫壽命推算表

每年計畫 清淤量( $10^3 \text{ m}^3$ )	實際每年計畫 清淤量( $10^3 \text{ m}^3$ )	每年流入水庫之 淤泥( $10^3 \text{ m}^3$ )	水庫可使用至 民國 (年)	水庫壽命 (年) 從 民國 90 年起算
150	120	80	431	341
100	80	120	313	223
50	40	160	253	163
0	0	200	218	128

之淤泥量分別為 80,000, 120,000, 160,000, 200,000 輸入於程式中, 推估其水庫壽命結果如表 5 所示<sup>(8)</sup>。

### 五、結 論

經上述分析實驗及探討, 可獲以下五點結論如下:

1. 從圖 3 之含沙量趨勢分析得知, 其斜率為正號, 表示輸沙量隨時間而增加, 因此八掌溪竹山進水口之中、上游之集水區須加強水土保持工作, 以減少集水區之土壤沖蝕量, 及河川之輸沙量。
2. 從圖 4、圖 5 得知含砂量隨水位逐漸上升, 表示沉沙池之沉沙效果不彰, 另外, 年排沙量時間非常短促, 也促成泥沙源源不斷流入仁義潭水庫中。
3. 經實測資料得到每年流入仁義潭水庫之泥沙量為 20 萬  $\text{m}^3$ , 水庫歷經自來水公司 14 年之營運, 因此流入水庫之泥沙總量為 280 萬  $\text{m}^3$ 。
4. 仁義潭水庫如果無任何清淤計畫且不考慮八掌溪上游集水區治理及土地利用開發方式, 經本文推估水庫壽命尚餘 128 年, 即仁義潭水庫之壽命推估可至到民國 218 年。
5. 仁義潭水庫如逐年執行清淤計畫, 每年以清除 15、10、5 萬立方米之淤泥, 則水庫之壽命推估可至到民國 431、313、253 年。在今日水庫壩址難覓, 水資源需求劇增之情

形下, 防止泥沙流入仁義潭水庫乃是水庫管理單位最重要之課題, 因此除了加強水庫集水區之水土保持外, 須定期清除沉沙池之淤泥, 以期降低流入仁義潭水庫之泥沙量。

### 參考文獻

1. 幀衡工程顧問股份有限公司, 「仁義水庫淤積蓄水量測量工作報告書」, 民國 86 年 6 月。
2. 巨廷工程顧問股份有限公司, 「仁義水庫集水區調查治理規劃報告」, 民國 85 年 5 月。
3. 國立嘉義農專農業土木工程科, 「仁義潭泥沙淤積檢測報告」, 民國 79 年。
4. 國立嘉義大學土木與水資系, 「仁義潭水庫清淤規劃」, 民國 90 年 10 月。
5. 行政院農業委員會, 水土保持技術規範, 民國 90 年 6 月。
6. 萬鑫森, 黃俊義, 1989, 台灣坡地土壤沖蝕, 中華水土保持學報, 20(2): 17-45
7. Ray K.Linsley & Joseph B.Franazini 等, 1998.8, 水資源工程學, 宋永鑾編譯, 美商麥格羅, 希爾國際股份有限公司。
8. Bruk, S., 1985, Methods of Computing Sedimentation in Lakes and Reservoir, UNESCO, Paris.

收稿日期: 民國 92 年 2 月 21 日

修正日期: 民國 92 年 5 月 1 日

接受日期: 民國 92 年 5 月 9 日