

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

最佳(鄉土)教材獎

040504

「洪」色警戒

學校名稱：國立羅東高級中學

作者： 高二 林哲暉 高二 林育菘 高二 陳彥如 高二 林曄皓	指導老師： 蘇敬怡 李芳如
---	---------------------

關鍵詞：洪水、流量

摘要

颱風來襲常常帶來驚人雨量，容易造成淹水、洪水等災情，民國 98 年芭瑪風災過後，我們實地考察蘭陽河流域，流域內發生淹水或其他災情的地區主要有兩處，分別為上游的寒溪地區以及下游的五結地區。五結地區因為地勢較低而造成淹水，位在上游的寒溪地區卻也災情嚴重，所以選定寒溪為研究範圍。我們多次前往研究地區，量取河堤高、河道寬、經緯度…等數據，利用 Google Earth 影像輔助，讀取該地高度值。利用這些數據推算出河道容量、排洪能力、集水區大小，並討論在某定量雨量下，該地區的水位高度以及流速等數據。經過計算，在芭瑪颱風最大時雨量 110mm/hr 的情形下，寒溪地區的河道應該可以承受這些水量，發生潰堤的主因不是溢洪造成，而是水流的流速沖刷堤岸所導致。

壹、研究動機

台灣位於造山帶內，山脈呈現南北走向，地形複雜，又因為位於東亞季風帶內，使得降水在空間和時間的分布不均。除了颱風帶來的豪雨，西南氣流也帶來大量的降水，更提高洪水發生的機會。台灣河川坡陡流急，河川水量變化大，枯水期與洪水期的流量差距大，龐大的洪峰流量，使面積兩、三千平方公里的集水區域，經常出現每秒一萬立方公尺以上的洪水量（林俊全，民 93），且河流的流速、流量高低起伏與河川沖刷力變化大，以致颱風豪雨後，因為水位上漲，而常常發生河川沖刷邊坡的災害。

去年十月份芭瑪颱風襲台時，新聞報導提到宜蘭縣大同鄉寒溪地區因颱風挾帶大量的豪雨，水位瞬間暴漲，沖毀寒溪大橋（圖 4），甚至將大量泥石沖進民宅裡，令附近居民有撤離的念頭。因此，我們運用所學的知識，配合簡單的測量，進行寒溪地區的水患風險分析，使居民能先行警覺洪水水位，盡早撤離，將損害降至最低。

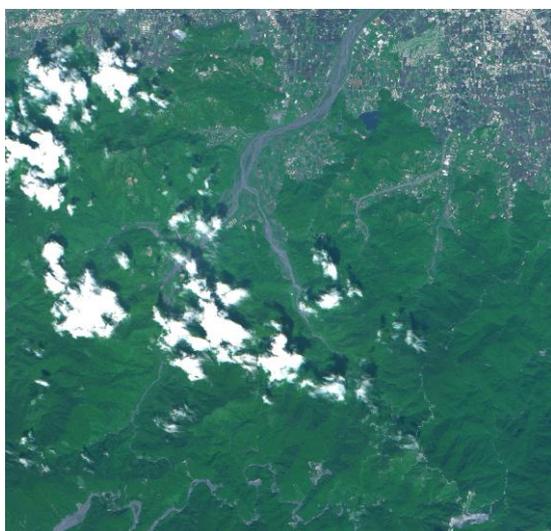


圖 1 2009 年 9 月 26 日（災前）
宜蘭寒溪地區衛星影像圖

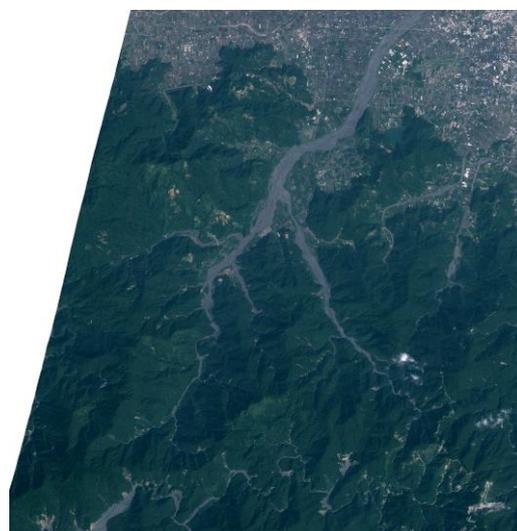


圖 2 2009 年 10 月 26 日（災後）
宜蘭寒溪地區衛星影像圖



圖 3 芭瑪風災後之災情
(路基被洪水沖刷, 2009年11月14日)



圖 4 芭瑪風災後之災情
(寒溪大橋被沖毀, 2009年10月06日)



圖 5 芭瑪風災後之災情
(寒溪農場旁支流, 2009年10月06日)



圖 6 芭瑪風災後之災情
(積滿土石之寒溪農場停車場, 2009年11月14日)

貳、研究目的

運用高一學習到的 GIS 地理資訊系統概念，使用電腦軟體套疊地質圖影像資料以計算集水區面積，配合實地考察與尋求相關單位取得的數據資料，經過推算、分析探討寒溪地區的河道遭遇豪雨時的河川水位、流量的變化，及可能造成的災害。

參、研究設備及器材

GPS (Grain400t、Grain550t)、皮尺、地質圖(三星圖幅)、相機、電腦、Quantum GIS Mimas 軟體、Google Earth 軟體。

肆、研究過程及方法

一、初步決定研究範圍：

颱風過後，我們勘察蘭陽溪下游冬山河地區、到上游寒溪附近的範圍（圖 7），利用 GPS 紀錄各點經緯度及高度等基本資料（表 1）及觀察紀錄災害情形。這次洪水災情主要分成二類：下游地區淹水的主因為地勢低窪，上游則是因為河川寬度、陡度等因素，使河水流速高沖垮堤防而造成災情。上游的寒溪地區有較嚴重的災害，因此我們決定在寒溪地區做更深入的調查研究。

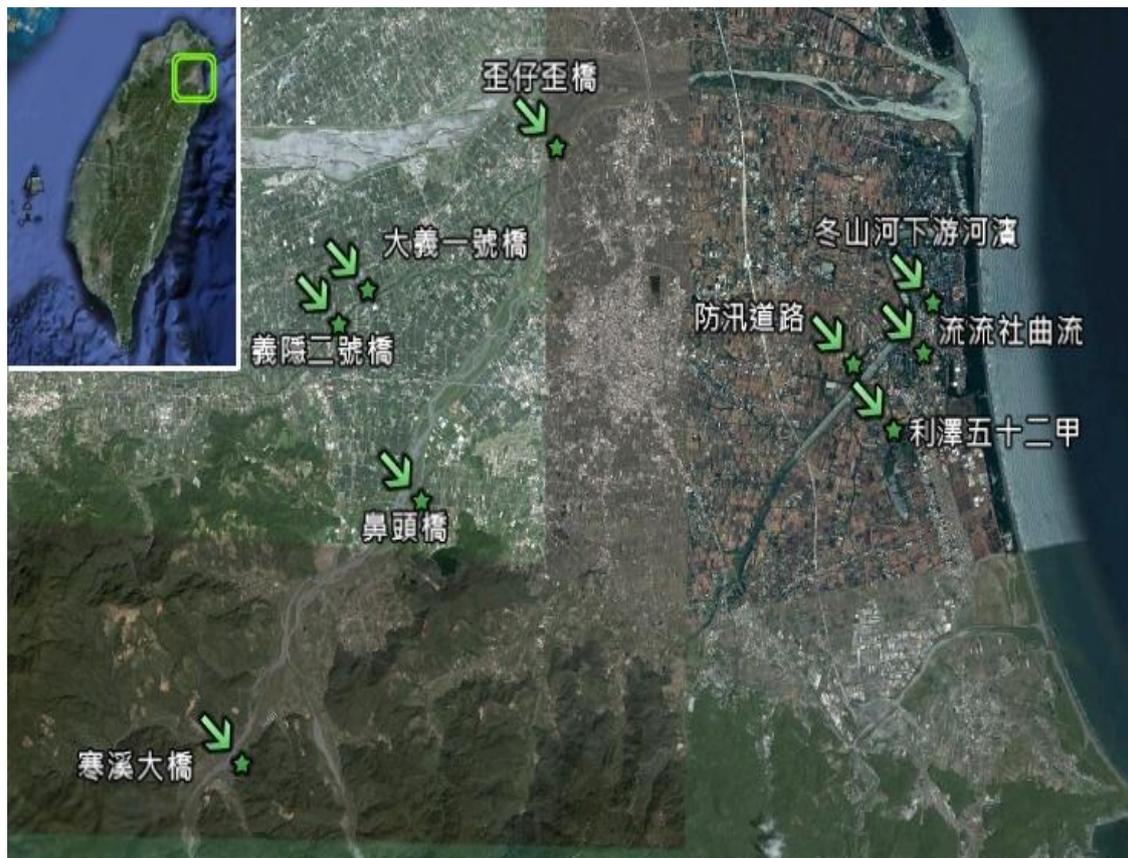


圖 7 前測考察地點

表 1 前測考察地點資料

地點	河川	GPS 實測			以 Google Earth 推得高度(m)	備註
		經度	緯度	高度(m)		
利澤五十二甲	冬山河	E 121°49.007'	N 24°39.601'	13	0~1	田地積水 深達 73 公分
防汛道路	冬山河	E 121°48.537'	N 24°40.188'	3	0~2	附近田地 淹水至路面
流流社曲流	冬山河	E 121°49.341'	N 24°40.408'	2	0~1	無法實達河邊考察
冬山河下游	冬山河	E 121°49.465'	N 24°40.736'	2	河 0~2 / 岸 2~5	
歪仔歪橋	羅東溪	E 121°45.073'	N 24°42.119'	12	河 5~7 / 岸 7~9	羅東溪大斷面樁 (左 003)
鼻頭橋	寒溪	E 121°43.494'	N 24°38.971'	63	57~60	
寒溪大橋	寒溪	E 121°41.399'	N 24°36.629'	153	151~153	
大義一號橋	安農溪	E 121°42.866'	N 24°40.850'	33	河 26 / 岸 26~28	
義隱二號橋	安農溪	E 121°42.524'	N 24°40.547'	35	32	

二、加強收集寒溪地區地勢資料：

(一) 實地考察：

初步考察蘭陽河流域後，決定將考察的重心擺在上游的寒溪地區（圖 8）。針對有災情發生的地區測量河川流向、經緯度、高度、紀錄及拍攝災情照片（圖 10、圖 11），並利用皮尺測量且記錄堤防斜邊長以便推算河道高（圖 9）。原本我們預計運用三角函數求出堤防高，但因為無法測量斜面的角度，無法由斜邊長推得堤防高。後來藉由經濟部水利署第一河川局提供羅東溪大斷面樁資料（圖 20），可獲知確實的堤防高度。各考察地點資料彙整於表 2。



圖 8 考察地點



圖 9 量測鼻頭橋堤防



圖 10 古魯巷地區河堤毀壞
(2009 年 11 月 14 日)



圖 11 四方林堤防
(2009 年 11 月 14 日)

表 2 考察地點資料

地點	GPS 實測			以 Google Earth 推得高度 (m)	備註
	經度	緯度	高度 (m)		
鼻頭橋	E 121°43.488'	N 24°38.971'	44	65	
鼻頭橋 東側	E 121°43.540'	N 24°39.055'	55	60	橋長約 300m
鼻頭橋 西側	E 121°43.367'	N 24°39.097'	56	57	
四方林堤防	E 121°42.237'	N 24°37.953'	97	101	有疏浚過，上次河床海拔高度 94m，離現河床 2m
寒溪堤防	E 121°41.173'	N 24°36.581'	154	163	
古魯巷-1	E 121°41.057'	N 24°35.903'	194	219	攔砂壩
古魯巷-2	E 121°41.149'	N 24°35.808'	206	228	路基被沖毀
寒溪農場	E 121°41.127'	N 24°35.655'	213	236	

(二) 計算寒溪地區高度資料：

接下來將計算河道的容量，由於河道寬度大，且有河水，基於安全考量無法實地測量，因此以地質圖作為輔助。

首先在包含研究地區的地質圖上，畫出邊長為 500 m 的網格（見圖 12），利用 Quantum GIS Mimas 軟體，計算每一網格內各等高線間的面積。

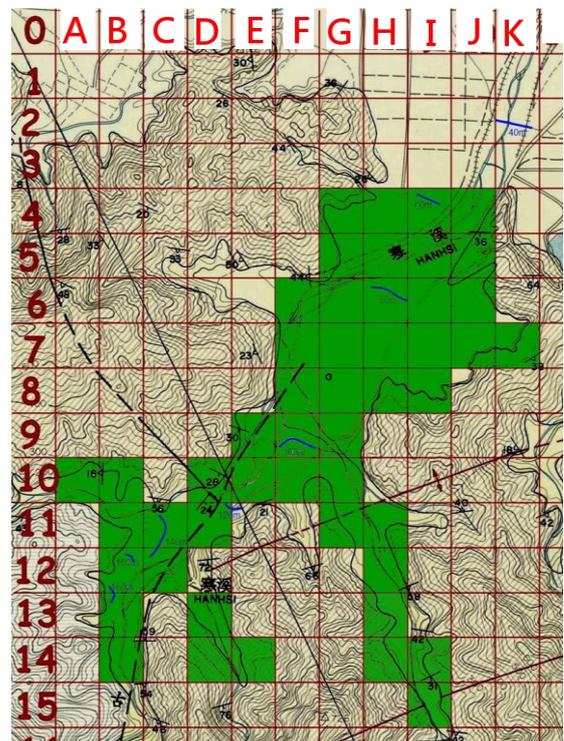


圖 12 挑選範圍

計算方法：

地質圖比例尺 1：50,000

圖上一格面積為 1cm * 1cm，
包含的實際面積為 250,000 m²

利用 Quantum GIS Mimas 軟體量得

圖上一格面積為 6,173.31 單位

所以 6,173.31 單位 = 250,000 m²

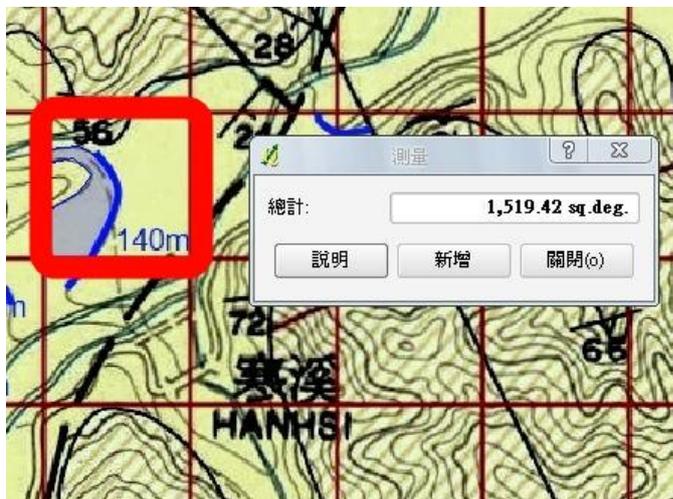


圖 13 測量面積

如圖 13 左上角粗框內，

等高線 140-160m 間的面積（淺藍色範圍）量得為 1,519.42 單位

$$\frac{1519.42}{6173.31} \times 250000 = 61531, \text{ 該面積為 } 61,531 \text{ 平方公尺}$$

重覆此步驟，可獲得各方格內各等高線間的面積（各地點詳細資料，請見附錄）

註：因後來計算結果寒溪地區不易溢洪，故周邊地區洪水潛勢分析不做。

三.計算寒溪地區河流容量：

（一）計算河道容量方法：

我們將河川容量定義為河堤間能容納的水量，故河寬不只包含河道寬，還有包含河床的寬度。實地考察時發現寒溪河床平坦（圖 15），故不考慮河道與河床的落差高度。

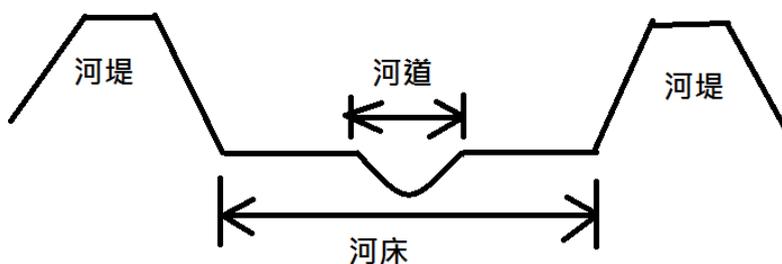


圖 14 河床剖面示意圖 1



圖 15 鼻頭橋一帶河床

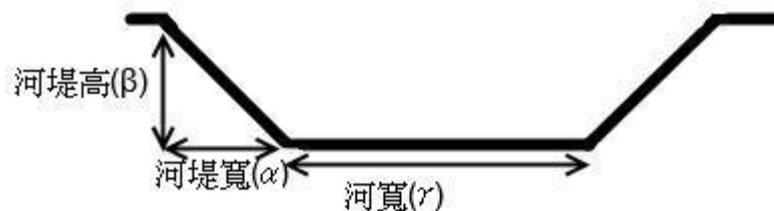


圖 16 河床剖面示意圖 2

設河堤寬為 α 、河堤高為 β 、河寬為 γ 、河長為 L

$$\text{河床容量 } Q = \frac{(2\gamma + 2\alpha) \times \beta}{2} \times L = (\gamma + \alpha) \times \beta \times L$$

因河堤寬相對於河寬極小， $(\gamma + \alpha)$ 與 γ 相差極小，為求方便，計算時河堤寬不考慮在內。

故實際計算為 $Q = \gamma \times \beta \times L$

(二) 河道資料：

實地考察量河寬時，沒有適當且安全的工具可使用，並考慮到水流湍急危險性高，改以使用 Google Earth 影像資料取得河道數據。

為了簡化計算，所以我們根據河道狀況，在河流分支處及河道寬變化大處，將河川中分成九個區段，每一區段內的河道寬假設相同。後來我們取得蘭陽溪主流的斷面樁資料，有斷面樁資料的部分，直接使用斷面樁的河道資料（14~24），沒有斷面樁的部分（A~F）就採用推論地點的資料（各地點請見圖 17）。

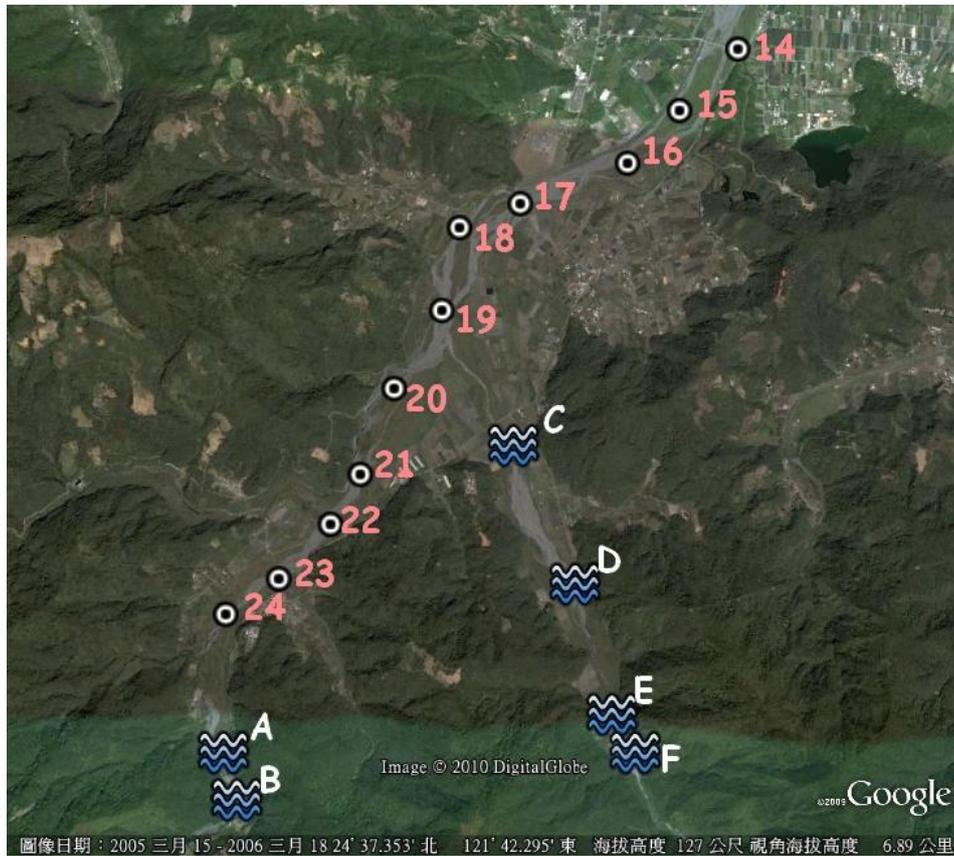


圖 17 河川分段點 (A~F, 14~24 為羅東溪斷面地點)

利用 Google Earth 附加的功能，量取各地點的河寬 (圖 18) 及各點間的長度 (圖 19)。

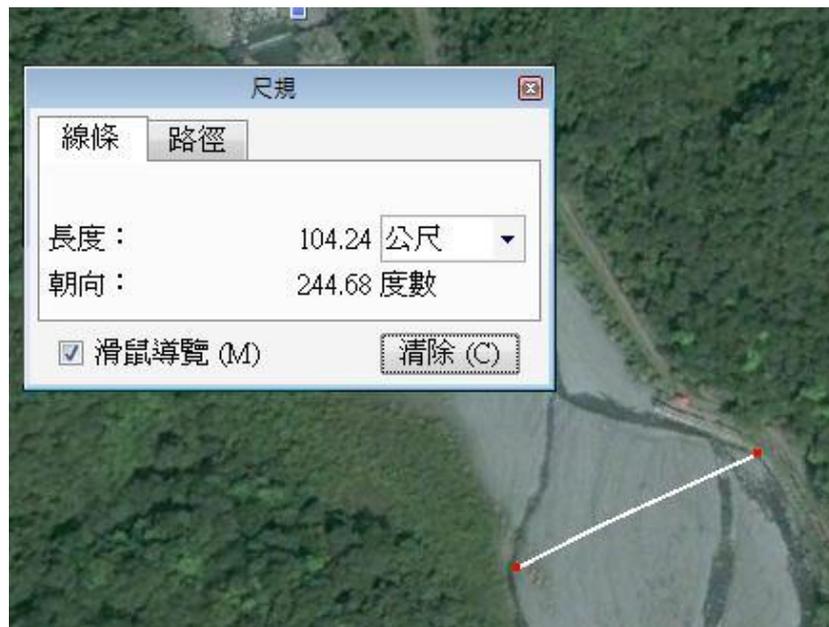


圖 18 量河寬方法



圖 19 量河長

利用 GPS 或 Google Earth 所得到的水平距離能有較好的解析度，但在垂直高度上卻存在較大的誤差。我們爲了計算河川流量，必須使用較精確的堤防高度資料，GPS 及 Google Earth 的高度數值因爲存在誤差，無法用於流量估計之用。經過與宜蘭縣政府水利科及經濟部第一河川局聯繫，第一河川局提供羅東溪部分的斷面資料圖（見圖 20，斷面位置見圖 17），在斷面圖上可以獲得確實的堤防高度及河床高度等數據。

羅東溪大斷面第 18 號斷面

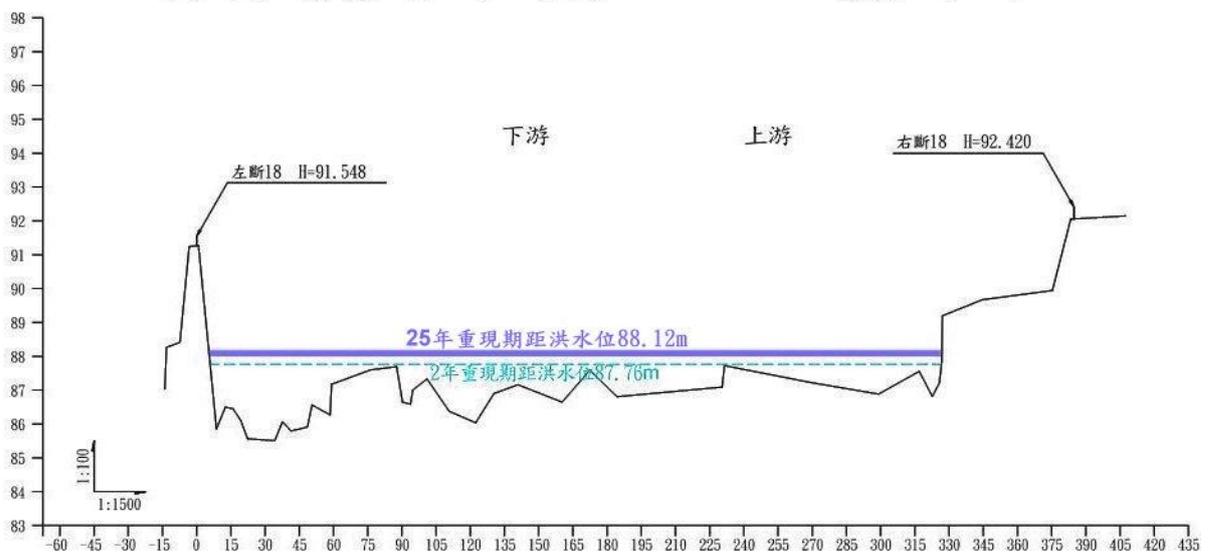


圖 20 鼻頭橋下游斷面圖

經過以上計算，得到如表 3 之結果。

表 3 河川資料

斷面樁資料段				
斷面樁編號	河堤高(m)	河道長(m)	河道寬(m)	容量(m ³)
14	5		300	
15	5	616	330	970,200
16	4	641	450	1,124,955
17	4	951	310	1,445,520
18	4	478	360	640,520
19	3	659	430	911,067
20	3	797	320	896,625
21	3	805	120	531,300
22	3	484	150	196,020
23	4	595	270	437,325
24	4	536	190	493,120
無斷面樁資料段				
24-A	4	1,402	150	841,200
A-B	3	408	100	122,400
19-C	3	1,250	250	937,500
C-D	1	1,247	200	249,400
D-E	2	1,108	100	221,600
E-F	2	360	150	108,000
總流量(m ³)		10,126,752		

說明：

- 1 河道長：斷面樁是在河道上一點的資料，此處河道長係指該斷面樁至上一個斷面樁的距離（例如在第 18 號斷面樁所寫的河道長即是指第 17 號斷面樁至第 18 號斷面樁的長度）
- 2 第 14 號斷面樁位於鼻頭橋，第 17 號斷面樁位於淋漓坑橋。因其斷面圖兩岸皆是連接橋的引道，會高於旁邊堤防的高度，所以在這兩點河堤高數據以實地考察測得的數據為主。

(三) 排水能力計算：

以曼寧式 (Manning formula) 計算平均流速 (水土保持技術規範)

$$\text{曼寧式： } V_m = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} \times \sqrt{S} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \sqrt{S}$$

R：水力半徑 (m) = A (水流剖面積) / P (濕周)

P：濕周(垂直於水流流動方向之河道斷面上，與斷面邊緣接觸之總長度)

若水面寬度遠大於水深 H 時， $R \approx H$ 故 $V_m \approx (1/n)H^{2/3}S^{1/2}$

又流量為 $V_m \times A \times C$

以下以鼻頭橋河段為例：

A：水流剖面積 (m²) = 河寬×河高 = 300(m)×5(m) = 1500(m²)

n：粗糙係數 (無單位) = 0.04 (稀疏草生、不平滑岩質 n 值為 0.035-0.045)

H：逕深 (m) = 5m

S：河床坡度 (%) = $\frac{\text{高度差}}{\text{距離差}} \times 100\% = \frac{15}{1150}\%$

C：空氣及河床摩擦之修正係數 (一般為 0.85)

本地區的平均流速公式為：

$$V_m \approx \frac{1}{n} \times H^{2/3} \sqrt{S} = 25 \times 2.924 \times 0.1142 = 8.35 \text{ (m/s)}$$

最大排洪能力

= 水流剖面積 × 平均流速 × 空氣及河床摩擦之修正係數

$$= A \times \frac{1}{n} \times H^{2/3} \sqrt{S} \times C = 1500 \times 8.348 \times 0.85 = 10,643.7 \text{ (m}^3\text{/s)} = 38,320,344 \text{ (m}^3\text{/hr)}$$

四.計算雨量、集水區大小：

(一) 雨量：

雨水降下後，除匯入河流以外仍有少部分滲入地下水，因其計算較複雜且影響程度小，所以假設所有雨水都匯入河流中。

雨量資料參考自氣象局提供的雨量資料可知最大時雨量為 110 mm/hr，出現於 10 月 5 日 22 時 (圖21)。

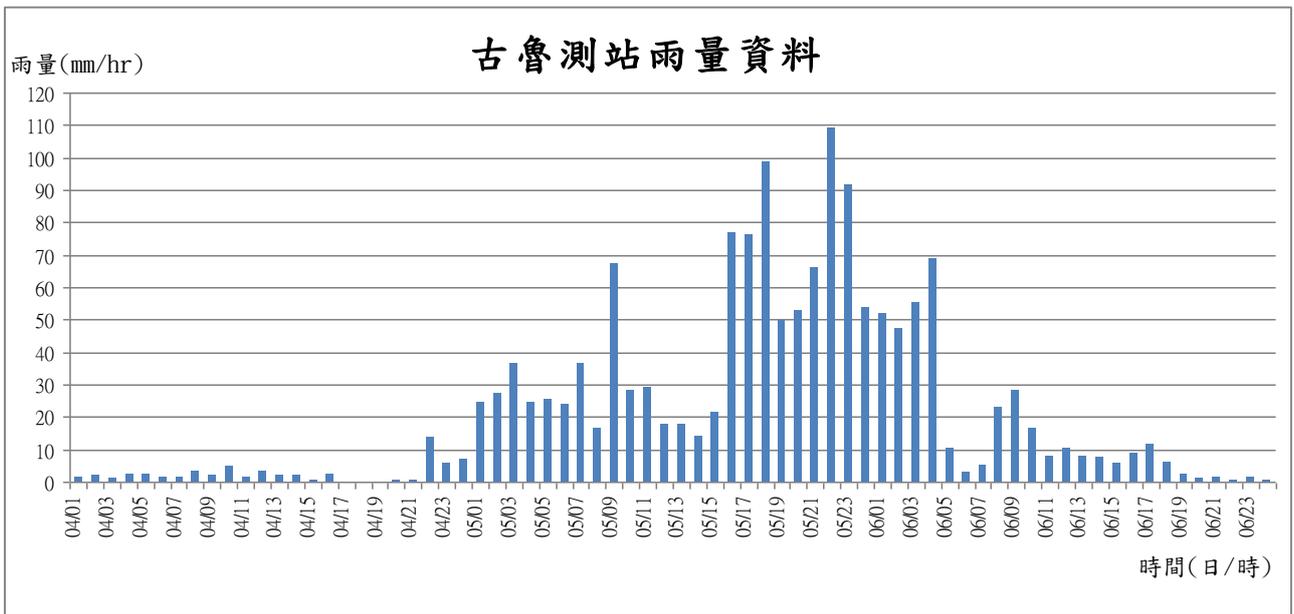


圖 21 2009 年 10 月 4~6 日雨量資料

(二) 集水區計算：

河川的流量並不是只考慮降雨量或河川面積，而是與所有集水區範圍所匯集到的雨量有關。我們在地質圖上，圈出寒溪與相鄰河流間的最高點（分水嶺），這個區域內就是寒溪的集水區範圍（圖 22）。再利用 Quantum GIS Mimas 軟體計算本區域面積。

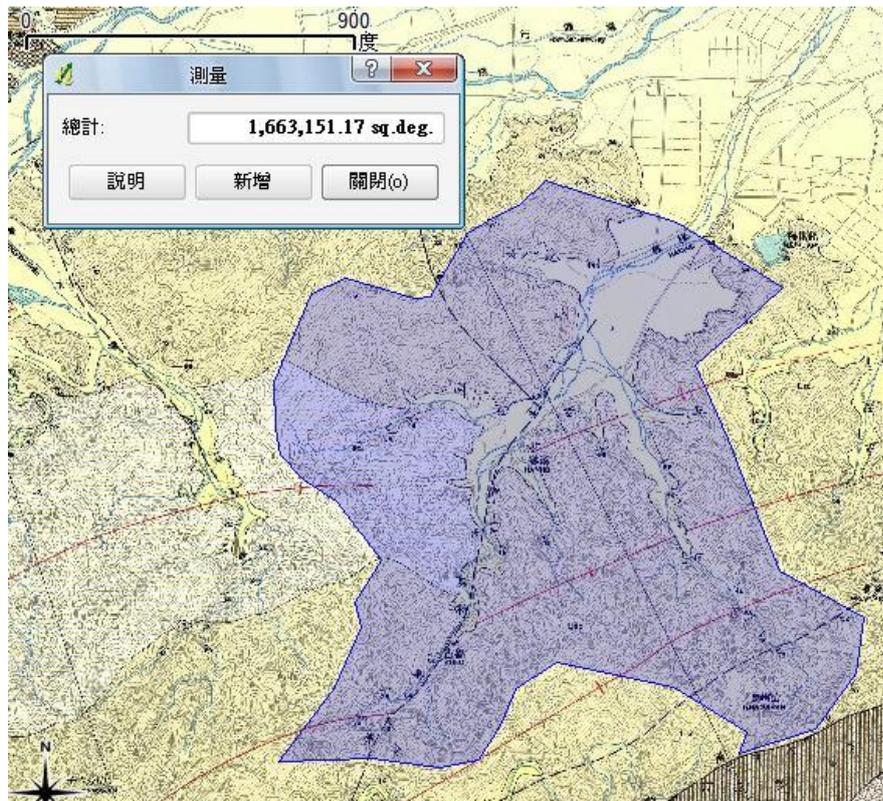


圖 22 寒溪集水區

表 4 2009 年 10 月 6 日雨量統計

集水區面積(m ²)	67,835,591.85
最大時雨量(mm/hr)	110
最大時雨量時，集水區累積總雨量(m ³ /hr)	7,461,915.103

伍、研究結果

一、根據計算資料（表 5），本地區最大時雨量 110 mm/hr，低於排洪能力（38,320,344m³/hr），顯示寒溪地區不會發生溢洪的現象。所以我們推測導致堤防沖毀的原因可能為水流速度快沖刷力大，或與堤防結構有關。

表 5 結果資料

最大時雨量（mm/hr）	110	河床容量（m ³ ）	10,126,752
最大時雨量時， 集水區累積總雨量（m ³ /hr）	7,461,915	排洪能力（m ³ /hr）	38,320,344

二、透過實地考察我們發現災情多出現於凹岸（基蝕坡）等水流沖刷較強的地區（圖 10），也印證河水流速與路基流失、潰堤的相關性。

三、發生橋樑路段沖毀的寒溪大橋（圖 4、圖 23、圖 24），應是因為河水流入堤內道路，直接沖刷路基而造成。



圖 23 寒溪大橋被沖毀 1



圖 24 寒溪大橋被沖毀 2

陸、討論

可由上列推論得知排水能力遠高於雨量，釀災的主因應不是溢洪造成淹水等災情，而是水流沖刷堤岸。

所以我們改變計算方法，改以計算雨量與流速及水位高的關係。利用整個集水區匯入的雨量，以曼寧式反推水位高及流速。

以下以**鼻頭橋**為例：

$$\begin{aligned} \text{集水區匯入的雨量} &= \text{集水區面積} \times \text{時雨量} \quad (\text{此時為最大時雨量 } 0.11 \text{ m/hr}) \\ &= 67,835,591 \times 0.11 = 7,461,915 \quad (\text{m}^3/\text{hr}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又集水區匯入的雨水流量} &= Vm \times A \times C = \frac{1}{n} \times H^{2/3} \times \sqrt{S} \times 300 \times H \times 0.85 \times 3600 \\ \text{即 } 7,461,915 &= 25 \times 0.1142 \times 300 \times H^{5/3} \times 0.85 \times 3600 \end{aligned}$$

$$\text{所以水位高為 } H = \left(\frac{7461915}{25 \times 0.1142 \times 300 \times 3600 \times 0.85} \right)^{3/5} = 1.87$$

$$\text{又再代入 } Vm = \frac{1}{n} \times H^{2/3} \sqrt{S} = 25 \times 1.46 \times 0.1142 = 4.3 \text{ (m/s)}$$

$$\text{推得流速} = 4.3 \text{ (m/s)}$$

以下是芭瑪颱風時流速及水位高的資料：

表 6 寒溪流速、水位估算

	鼻頭橋	大進村	寒溪大橋	古魯路
面積(計算用)	1,663,151.17	1,478,117.00	115,471.26	304,073.07
集水區面積(m ²)	67,352,488.78	59,859,176.03	4,676,229.608	12,314,020.76
摩擦係數	0.04	0.04	0.025	0.04
雨量(mm)	110	110	110	110
河寬(m)	300	360	60	100
坡度	0.013	0.016	0.036	0.036
坡度 ^{1/2}	0.1142	0.1265	0.1897	0.1915
流量(m ³ /hr)	7,408,773	6,584,509	514,385	1,354,542
流速(m/sec)	4.32	4.08	5.09	4.64
水位高(m)	1.87	1.47	0.55	0.95

註：寒溪大橋下砂石較細、摩擦係數較低

換個角度，如果假設水位高達堤防高度，此時河川流速及流量將達到最高值，這個假設可以利用曼寧式推求出。因此可求得該地點不溢堤時所能容納的最大流量，並可得知不同河段在不溢堤的前提下，能夠容納的最大流量。由表 6 可看出鼻頭橋河段所能承受的流量高，本河段位於該地區下游，其集水區較大、匯集雨量較多，因此流量是該地區最大的，有承受較高流量的能力符合實際需要。

以**鼻頭橋**為例：

$$\text{流速 } V_m = \frac{1}{n} \times H^{2/3} \times \sqrt{S} = \frac{1}{40} \times 5^{2/3} \times 0.1142 = 8.35(m/s)$$

$$\text{流量 } Q = V_m \times A \times C = 8.35 \times 300 \times 5 \times 0.85 \times 3600 = 8,320,344 (m^3/hr)$$

獲得流速及流量後，將此流量除以集水面積，所得數值為雨量，簡單來說就是多大的雨量之下會讓該河段河水流量達到堤防能夠容納的極限，我們稱之為極限雨量。如表 6 之鼻頭橋：水位達到 5m 堤防高的流量為 38,320,344m³/hr，此時的極限雨量為 569mm/hr，這個數值過大，不應為真實的現象。

$$\text{雨量} = \text{流量} \div \text{集水區面積} = 38,320,344 \div 67,352,488 \times 1000 = 569(mm/hr)$$

因為在上述的推論之下，忽略了雨量及洪水流量的延遲現象，在我們使用的公式中看不出延遲現象的效果，因此還需要更多的分析及討論，這是我們下一階段努力的目標。

表 7 寒溪極限流速、流量估算

	鼻頭橋	大進村	寒溪大橋	古魯路
面積(計算用)	1,663,151.17	1,478,117.00	115,471.26	304,073.07
面積(m ²)	67,352,488.78	59,859,176.03	4,676,229.608	12,314,020.76
摩擦係數	0.04	0.04	0.025	0.04
雨量(mm)	569	569	569	569
河寬(m)	300	360	60	100
坡度	0.013	0.016	0.036	0.036
坡度 ^{1/2}	0.1142	0.1265	0.1897	0.1915
流量(m ³ /hr)	38,320,344	34,057,008	2,660,550	8,603,403
流速(m/sec)	8.35	7.87	9.83	9.72
水位高(m)	5	3.92	1.47	2.89
堤防高(m)	5	4	4	3
極限流速(m/s)	8.35	7.97	19.12	9.96
極限流量(m ³ /hr)	38,320,344	35,112,135	14,044,854	9,141,116
極限雨量(mm/hr)	569	587	3,003	742

一、鼻頭橋

寒溪在鼻頭橋之後便流入蘭陽平原，一般而言坡度較緩會使流速較慢而水位變高，不過因為匯集了整個寒溪地區的雨量，所以流速及水位均較高，但堤防高度有 5 公尺，尚沒有什麼危險。



圖 25 鼻頭橋河床



圖 26 鼻頭橋相對位置圖

二、大進村

大進村有四方林堤防保護，且堤防相對於河水位還高了一些。在河道坡度不陡使流速及河道寬使水位不高的情況下，尚安全。



圖 27 四方林堤防河床

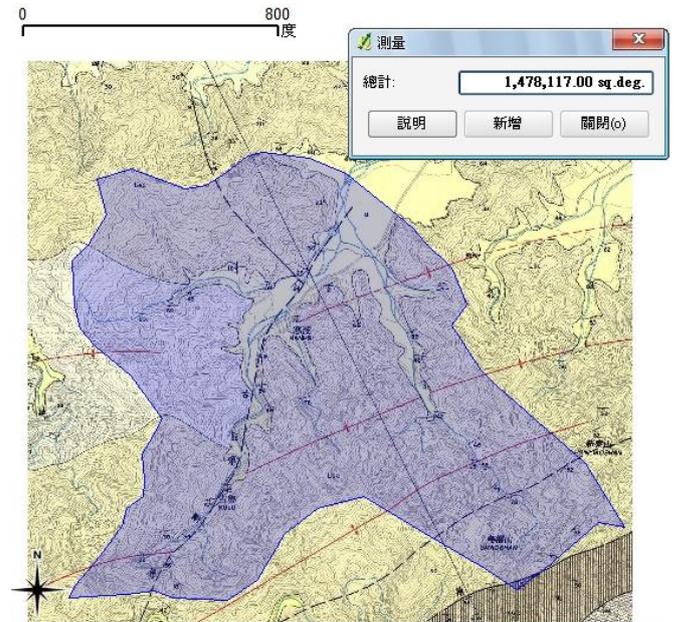


圖 28 四方林集水區



圖 29 四方林相對位置圖

三、寒溪大橋

寒溪大橋下的寒溪支流因為坡度較陡且砂石較細、摩擦係數較低，流速很快。本次芭瑪風災更因河水改道流入堤內道路，摩擦係數更低而流速更快，這也是造成連外道路被沖毀的主因，所幸寒溪村因地勢較高而無受波及。



圖 30 寒溪大橋河床

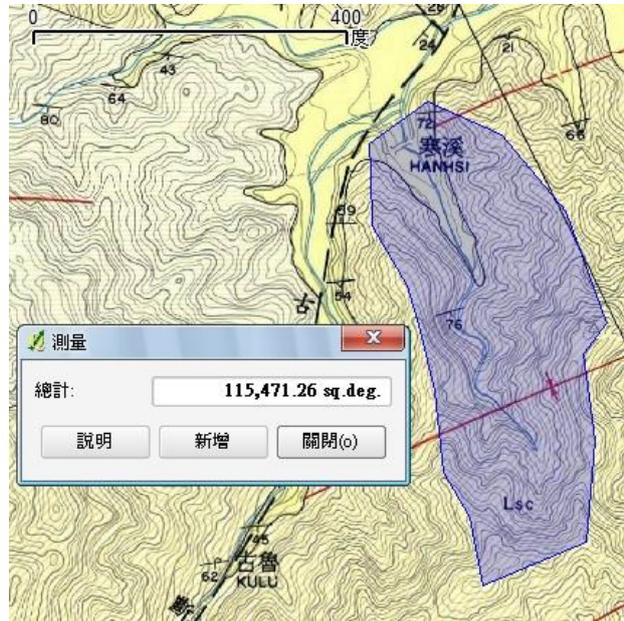


圖 31 寒溪大橋集水區

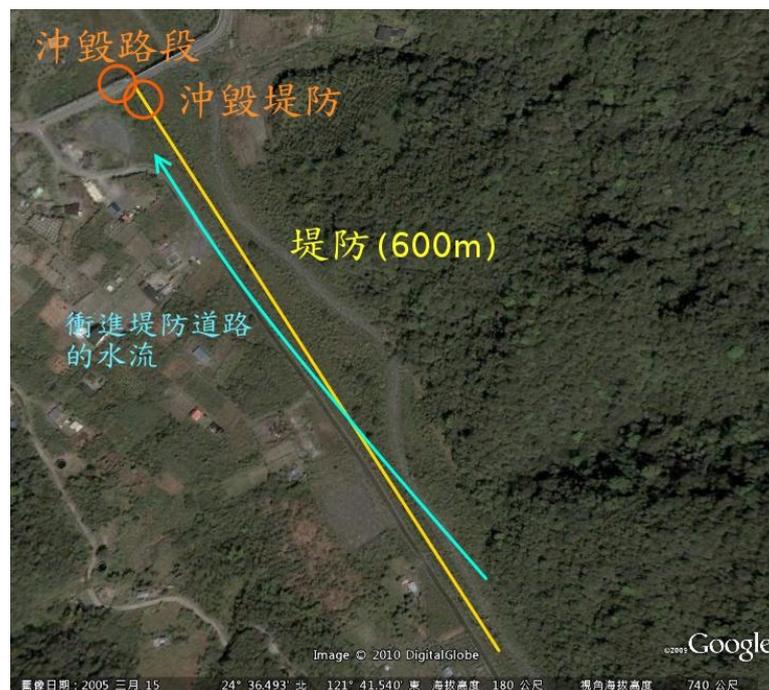


圖 32 寒溪大橋相對位置圖

四、古魯路

古魯路段坡度陡且位於凹岸（基蝕坡），不只流速快沖刷力更為強烈，這是古魯路被沖刷大半的原因。



圖 33 古魯路段河床

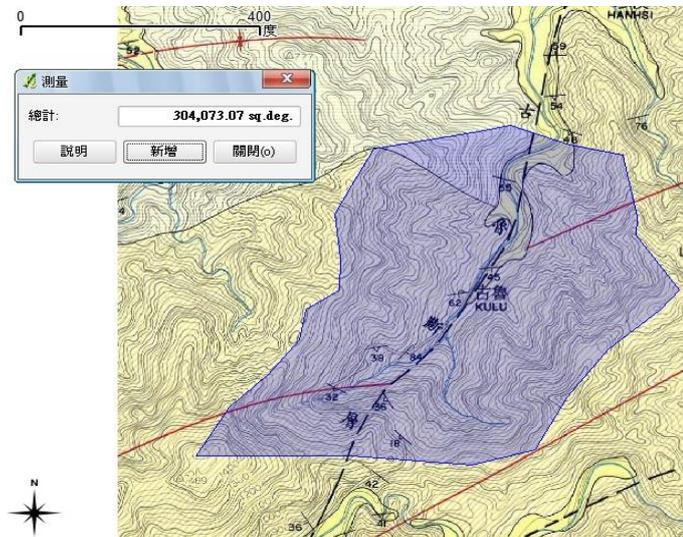


圖 34 古魯路段集水區



圖 35 古魯路段相對位置圖

寒溪地區由於地勢較高，生活機能較不方便，故當地住戶較少。所幸在凹岸（基蝕坡）部分較無民居，因此這次風災所造成的損失及傷亡皆在少數，如果凹岸（基蝕坡）部分有大型聚落，就可能發生嚴重災情。

柒、結論

- 一、寒溪地區因為坡度較陡，排水能力較好，河水不易溢出造成淹水。
- 二、凹岸（基蝕坡）的沖毀程度相對嚴重。
- 三、芭瑪颱風所造成的災情主因應該不是溢洪造成淹水，而是水流沖刷堤岸造成的災情。
- 四、建議相關單位應改善堤防結構，即使降下的雨量未達到溢堤的臨界水位高，若堤防結構沒有改善，還是會有潰堤的危險。



圖 36 寒溪大橋新堤防（2010 年 5 月 23 日拍攝）

捌、參考資料

1. 林俊全(民 93)台灣的天然災害。台北縣，遠足文化出版。
2. 經濟部中央地質調查所(民 84)。台灣地質圖-三星圖幅。台北市：林啓文、林偉雄。
3. 游紘權、簡恩榮、呂宜倫、藍鄧鑫(民 96)，蘭陽溪防瀑機制。第 48 屆北一區科展。
4. Google Earth，<http://earth.google.com/intl/zh-TW/>
5. 中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>
6. 韋煙灶。洪水及淹水區位之探討。取自：
http://www1.geo.ntnu.edu.tw/webs/teacher/Yan-zhao%20Wei/course/life_geography/life_geo/chp1_flood.pdf
7. 水土保持技術規範，取自：
<http://www.vey.com.tw/DesignBook/%E6%8E%92%E6%B0%B4%E8%A8%AD%E8%A8%88/DD%E8%A8%AD%E8%A8%88%E8%A6%8F%E7%AF%84.htm>
8. 98 年颱風重大土石災例最速報，行政院農委會水土保持局，取自：
[http://fema.swcb.gov.tw/AllFiles/DOC/98%E5%B9%B4%E8%8A%AD%E7%91%AA%E9%A2%B1%E9%A2%A8-%E5%AE%9C%E8%98%AD%E5%A4%A7%E5%90%8C-001-\(%E6%9C%80\).pdf](http://fema.swcb.gov.tw/AllFiles/DOC/98%E5%B9%B4%E8%8A%AD%E7%91%AA%E9%A2%B1%E9%A2%A8-%E5%AE%9C%E8%98%AD%E5%A4%A7%E5%90%8C-001-(%E6%9C%80).pdf)
9. 2009 年 9 月 26 日衛星影像圖，
SPOT-5 衛星 02:15 拍攝，國立中央大學太空及遙測研究中心提供。
2009 年 10 月 26 日衛星影像圖，
FS2 衛星 1:44 拍攝，國立中央大學太空及遙測研究中心提供。
10. 96 年羅東溪大斷面資料，經濟部水利署第一河川局提供。

附錄

表 8 各地點等高線間面積

方格編號	高度 m	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	200-220	220-240	240-260	260-280	280-300
		(計算用)												
A-10	(計算用)						212052	145711	110351	65641	67108	6064		
	面積(m ²)	0	0	0	0	0	85875	59008	44689	26583	27177	2455.7	0	0
B-10	(計算用)						226780	178399	123553	49281	27356			
	面積(m ²)	0	0	0	0	0	91839	72246	50035	19957	11078	0	0	0
B-11	(計算用)					162055	98645	96771	99487	76829	30997	22050	10388	
	面積(m ²)	0	0	0	0	65627	39948	39189	40289	31113	12553	8929.6	4207	0
B-12	(計算用)						102961	364852	82693	37711	21707	11920		
	面積(m ²)	0	0	0	0	0	41696	147754	33488	15272	8790.7	4827.2	0	0
B-13	(計算用)							365894	136648	68607	31954	6331		
	面積(m ²)	0	0	0	0	0	0	148176	55338	27784	12940	2563.9	0	0
B-14	(計算用)							257535	131616	109391	56012	29955	15427	
	面積(m ²)	0	0	0	0	0	0	104294	53300	44300	22683	12131	6247	0
C-11	(計算用)					378189	180831	33521	12595					
	面積(m ²)	0	0	0	0	153155	73231	13575	5100.6	0	0	0	0	0
C-12	(計算用)					212952	162771	178732	42450					
	面積(m ²)	0	0	0	0	86239	65917	72381	17191	0	0	0	0	0
D-10	(計算用)				108200	246606	90707	61293	67208	40776				
	面積(m ²)	0	0	0	43818	99868	36734	24822	27217	16513	0	0	0	0
D-11	(計算用)				7855	471470	55404	26398	26823	23616	8064			
	面積(m ²)	0	0	0	3181	190931	22437	10690	10862	9563.8	3265.7	0	0	0
D-13	(計算用)						112857	182622	90591	62593	64268	49090	26556	14877
	面積(m ²)	0	0	0	0	0	45704	73956	36687	25348	26027	19880	10754	6024.7
E-9	(計算用)			263924	303901	23383								
	面積(m ²)	0	0	106881	123071	9469.4	0	0	0	0	0	0	0	0
E-10	(計算用)				530981	27714	15019	21259	16394					
	面積(m ²)	0	0	0	215031	11223	6082	8609.2	6639.1	0	0	0	0	0
F-6	(計算用)		417949	190186										
	面積(m ²)	0	169256	77019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-7	(計算用)			598030	5297									
	面積(m ²)	0	0	242184	2145.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-8	(計算用)		617331											
	面積(m ²)	0	25000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-9	(計算用)			427254	194442									
	面積(m ²)	0	0	173025	78743	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-10	(計算用)				328325	92823	76871	65058	59003	10846				
	面積(m ²)	0	0	0	132961	37590	31130	26346	23894	4392.3	0	0	0	0
G-4	(計算用)		349492	120371	111166	24874								
	面積(m ²)	0	141533	48747	45019	10073	0	0	0	0	0	0	0	0
G-5	(計算用)		318137	97696	79978	78720	27806							
	面積(m ²)	0	128836	39564	32389	31879	11261	0	0	0	0	0	0	0
G-6	(計算用)		282675	344868										
	面積(m ²)	0	114475	139661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 7(續) 各地點等高線間面積

高度 m		40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	200-220	220-240	240-260	260-280	280-300
方格編號	(計算用)													
G-7	(計算用)		617331											
	面積(m ²)	0	250000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G-8	(計算用)		617331											
	面積(m ²)	0	250000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G-9	(計算用)			453993	135365	28522								
	面積(m ²)	0	0	183853	54819	11551	0	0	0	0	0	0	0	0
G-10	(計算用)				553914	43141	21691	4490	1399					
	面積(m ²)	0	0	0	224318	17471	8784	1818.3	566.5	5	0	0	0	0
G-11	(計算用)				136225	198882	58769	43858	52522	47265	55154	17535		
	面積(m ²)	0	0	0	55167	80541	23800	17761	21270	19141	22336	7101.1	0	0
H-4	(計算用)	71514	540044	20867										
	面積(m ²)	28961	218701	8450.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H-5	(計算用)	0	617331											
	面積(m ²)	0	250000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H-6	(計算用)		185329	445330										
	面積(m ²)	0	75053	180345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H-7	(計算用)		0	617331										
	面積(m ²)	0	0	250000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H-8	(計算用)			279043	72997	52080	27881	37469	33829	38160	48057	6639		
	面積(m ²)	0	0	113004	29562	21091	11291	15174	13700	15454	19462	2688.6	0	0
H-11	(計算用)				78828	285433	70965	28239	51830	44583	26165	12137	5681	
	面積(m ²)	0	0	0	31923	11559	2	28739	11436	20990	18055	10596	4915.1	2301
H-12	(計算用)					140930	274853	59020	46676	41517	30897	12745	1166	
	面積(m ²)	0	0	0	0	57072	1E+05	23901	18902	16813	12512	5161.3	472.2	0
I-4	(計算用)	186071	433301											
	面積(m ²)	75353	175474	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-5	(計算用)		617331											
	面積(m ²)	0	250000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-6	(計算用)		350041	256302										
	面積(m ²)	0	141756	103794	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-7	(計算用)			617331										
	面積(m ²)	0	0	250000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-8	(計算用)			320461	65258	60760	60202	37452	33737	12770	8530			
	面積(m ²)	0	0	129777	26427	24606	24380	15167	13662	5171.5	3454.4	0	0	0
J-4	(計算用)	547791	54388	8022										
	面積(m ²)	22183	8	22025	3248.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J-5	(計算用)	51364	503150	70057	7930									
	面積(m ²)	20801	203760	28371	3211.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J-6	(計算用)		233894	325009	59627	16160								
	面積(m ²)	0	94720	131619	24147	6544.3	0	0	0	0	0	0	0	0
J-7	(計算用)			482008	39210	41734	25749	22050	13786					
	面積(m ²)	0	0	195198	15879	16901	10428	8929.6	5582.9	0	0	0	0	0
K-7	(計算用)			186679	46899	47257	46266	67832	83543	54238	46874	18743		
	面積(m ²)	0	0	75599	18993	19138	18736	27470	33832	21965	18983	7590.3	0	0

【評語】 040504

以地方性的洪水災情作為研究主題，進一步探究致洪原因，可提升對周遭環境的認識，值得鼓勵。唯對災情成因的推論，應再多蒐集證據，以求其嚴謹性。