

逢甲大學學生報告 ePaper

甲仙攔河堰集水區洪峰流量及崩塌潛勢分析

Estimation of peak discharge and assessment of landslide  
susceptibility in the Jiaxian upstream river watershed

作者：于子恩

系級：水利工程與資源保育學系碩一

學號：M0602795

開課老師：吳俊鉉老師

課程名稱：防砂工程與野溪治理

開課系所：水利工程與資源保育學系

開課學年：106 學年度 第 1 學期

## 中文摘要

本報告研究區域為甲仙攔河堰集水區，第一部份探討集水區的不同人為開發情況下的洪峰流量及河道是否能夠容納洪峰流量，第二部分則為以甲仙攔河堰集水區根據 2009 年莫拉克颱風後崩塌分布所建構的崩塌潛勢。

在分析甲仙攔河堰集水區在不同人為開發情況下的洪峰流量估算，甲仙攔河堰集水區面積為  $404.67\text{km}^2$ ，本報告先在甲仙攔河堰集水區取出三個不同面積的集水區，此三個集水區面積分別為  $101.43\text{km}^2$ (佔總面積之 25.1%)、 $326.65\text{km}^2$ (佔總面積之 80.7%)及  $397.61\text{km}^2$ (佔總面積之 98.3%)，本報告估算在現況土地利用與完全未開發情況下之洪峰流量在上述三種不同集水區面積下的洪峰流量差異。本報告統計鄰近雨量站近年年平均降雨量為  $3689.38\text{mm}$ ，25 年頻率 60 分鐘延時的降雨強度為  $98.3\text{mm/hr}$ ，在上述三種不同集水區面積下的洪峰流量差異分別為  $0.362\text{cms}$ 、 $1.512\text{cms}$  及  $2.292\text{cms}$ ，且此流量在河段內的估算都無法通過，都會造成河段兩旁的淹水情況。

而在建構崩塌潛勢部分，甲仙攔河堰集水區在 2009 年莫拉克颱風後的崩塌面積有  $29.0\text{km}^2$ (崩塌率約為 7.26%)，本研究分別以頻率比法跟不安定指數法建構甲仙攔河堰集水區崩塌潛勢。甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的平均崩塌潛勢 0.33，根據崩塌潛勢預估為會崩塌的地區約佔總集水區面積之 89.96%，崩塌潛勢正確率約為 28.43%。甲仙攔河堰集水區以不安定指數法法建構的平均崩塌潛勢 7.37，根據崩塌潛勢預估為會崩塌的地區約佔總集水區面積之 87.84%，崩塌潛勢正確率約為 28.43%。以正確率之比較，甲仙攔河堰集水區使用頻率比法建構與不安定指數法崩塌潛勢會有類似的成果。

**關鍵字：崩塌潛勢、洪峰流量**

## Abstract

The report estimates the discharge under different landuse conditions and the flooding possibility along the river, and discusses the landslide susceptibility based on the landslide inventory after 2009 Typhoon Morakot in the Jia-Xian-Yen watershed.

The area of Jia-Xian-Yen watershed is around  $404.67\text{km}^2$ . This report extracts three different watersheds from Jia-Xian-Yen watershed, and the smallest, middle, and largest area of the three watersheds are  $101.43\text{km}^2$  (25.1% of the total watershed area),  $326.65\text{km}^2$  (80.7% of the total watershed area), and  $397.61\text{km}^2$  (98.3% of the total watershed area). This report estimates the discharge difference under the current landuse condition and the landuse condition before artificial development from the three watershed areas. The mean annual rainfall is around  $3689.38\text{ mm}$  and the rainfall intensity with the return period of 25 years and the duration of 60 minutes is around  $98.3\text{ mm/hr}$ . The discharge under above-mentioned rainfall and the current landuse condition in the smallest, middle, and largest watershed is larger by  $0.362\text{ cms}$ ,  $1.512\text{ cms}$ , and  $2.292\text{ cms}$  than that under the landuse condition before artificial development. The area along the river will be flooding under such rainfall condition in the current landuse condition.

The landslide area after 2009 Typhoon Morakot in the Jia-Xian-Yen watershed is around  $29.0\text{km}^2$ , i.e. the landslide ratio is around 7.26%. This report builds the landslide susceptibility of Jia-Xian-Yen watershed based on the landslide inventory by using Frequency Ratio method and Instability Index method. The mean landslide susceptibility value by using Frequency Ratio method in the Jia-Xian-Yen watershed is around 0.33, the predicted-landslide area occupies 89.96% of the total watershed area, and the correct ratio of landslide susceptibility model is around 28.43%. The mean landslide susceptibility value by using Instability Index method in the Jia-Xian-Yen watershed is around 7.37, the predicted-landslide area occupies 87.84% of the total watershed area, and the correct ratio of landslide susceptibility model is around 28.43%. The performance of landslide susceptibility model by using Frequency Ratio and Instability Index method have the same effect in the Jia-Xian-Yen watershed.

**Keyword : landslide susceptibility, peak discharge**

## 目次

中文摘要.....	1
Abstract.....	2
目次.....	3
圖目次.....	4
表目次.....	5
<b>第一章 甲仙攔河堰集水區洪峰流量分析.....</b>	<b>6</b>
一、ArcGIS 水文模組.....	6
二、甲仙攔河堰集水區之子集水區邊界萃取.....	11
三、未開發與現階段之土地利用分析.....	13
(一)現階段土地利用分析.....	13
(二)未開發土地利用分析.....	16
四、甲仙攔河堰平均降雨量與洪峰流量估算.....	18
(一)甲仙攔河堰集水區平均降雨量.....	18
(二)甲仙攔河堰集水區洪峰流量.....	20
五、甲仙攔河堰集水區在降雨延時 60 分鐘 100 年頻率時之通洪斷面檢核.....	21
<b>第二章 甲仙攔河堰集水區崩塌潛勢分析.....</b>	<b>26</b>
一、崩塌潛勢各因子估算.....	27
(一)高程因子分析.....	27
(二)坡度因子分析.....	29
(三)坡向因子分析.....	31
(四)土地利用因子分析.....	33
(五)地質因子分析.....	35
(六)距離河川因子分析.....	37
(七)累積降雨因子分析.....	39
二、崩塌潛勢評估模式建構—頻率比法(FR).....	41
(一)頻率比法說明.....	41
(二)頻率比法各因子說明.....	42
(三)頻率比法結果.....	48
三、崩塌潛勢評估模式建構—不安定指數法.....	50
(一)不安定指數法說明.....	50
(二)不安定指數法各因子說明.....	51
(三)不安定指數法結果.....	59
<b>參考文獻.....</b>	<b>61</b>

## 圖 目 次

圖 1-1、甲仙攔河堰集水區位置邊界圖 .....	6
圖 1-2、甲仙攔河堰集水區流向分布圖 .....	7
圖 1-3、甲仙攔河堰集水區流量累積圖 .....	8
圖 1-4、門檻值為 1000 之水系分佈圖 .....	9
圖 1-5、門檻值為 10000 之水系分佈圖 .....	9
圖 1-6、門檻值為 50000 之水系分佈圖 .....	9
圖 1-7、門檻值為 100000 之水系分佈圖 .....	9
圖 1-8、甲仙攔河堰集水區流動距離分佈圖 .....	10
圖 1-9、甲仙攔河堰集水區第一邊界(最上游)集水區圖 .....	11
圖 1-10、甲仙攔河堰集水區第二邊界(中間點)集水區圖 .....	12
圖 1-11、甲仙攔河堰集水區第三邊界(最下游)集水區圖 .....	12
圖 1-12、甲仙攔河堰集水區雨量站分佈圖 .....	19
圖 2-1、甲仙攔河堰集水區位置分佈圖 .....	26
圖 2-2、甲仙攔河堰集水區高程分佈圖 .....	28
圖 2-3、甲仙攔河堰集水區坡度分佈圖 .....	30
圖 2-4、甲仙攔河堰集水區坡向分佈圖 .....	32
圖 2-5、甲仙攔河堰集水區土地利用分佈圖 .....	34
圖 2-6、甲仙攔河堰集水區地質分佈圖 .....	36
圖 2-7、甲仙攔河堰集水區距離河川分佈圖 .....	38
圖 2-8、甲仙攔河堰集水區累積降雨分佈圖 .....	40
圖 2-9、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢值分佈圖 .....	45
圖 2-10、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢值分級分佈圖 .....	47
圖 2-11、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢分級崩塌分佈圖 .....	49
圖 2-12、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢值分佈圖 .....	55
圖 2-13、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢值分級分佈圖 .....	58
圖 2-14、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢分級崩塌分佈圖 .....	60

## 表 目 次

表 1-1、甲仙攔河堰集水區水系之河川級序估算表 .....	10
表 1-2、甲仙攔河堰集水區邊界集水區面積估算表 .....	11
表 1-3、彙整土地利用於水土保持技術規劃或公路排水設計規範中之 C 值(現階段).....	13
表 1-4、甲仙攔河堰集水區第一邊界(最上游)現階段之逕流係數與面積估算表.....	14
表 1-5、甲仙攔河堰集水區第二邊界(中間點)現階段之逕流係數與面積估算表.....	14
表 1-6、甲仙攔河堰集水區第三邊界(最下游)現階段之逕流係數與面積估算表.....	15
表 1-7、彙整土地利用於水土保持技術規劃或公路排水設計規範中之 C 值(未開發).....	16
表 1-8、甲仙攔河堰集水區第一邊界(最上游)未開發之逕流係數與面積估算表.....	17
表 1-9、甲仙攔河堰集水區第二邊界(中間點)未開發之逕流係數與面積估算表.....	17
表 1-10、甲仙攔河堰集水區第三邊界(最下游)未開發之逕流係數與面積估算表.....	17
表 1-11、甲仙雨量站四年之年平均降雨(2007 至 2010 年).....	19
表 1-12、甲仙攔河堰集水區近年平均降雨量與降雨延時 60 分鐘 100 年頻率降雨量估算表 .	20
表 1-13、甲仙攔河堰集水區降雨延時 60 分鐘 100 年頻率年之洪峰流量估算表 .....	20
表 1-14、最大安全流速 V 表(水土保持技術規範：坡地排水設計規範).....	21
表 1-15、不同內面工之曼寧粗糙度表(水土保持技術規範：坡地排水設計規範第 196 條).....	22
表 1-16、甲仙攔集水區在 100 年頻率 60 分鐘降雨延時之通洪斷面檢核表 .....	23
表 2-1、甲仙攔河堰集水區崩塌率統計表 .....	26
表 2-2、甲仙攔河堰集水區高程分佈統計表 .....	27
表 2-3、甲仙攔河堰集水區坡度分佈統計表 .....	29
表 2-4、甲仙攔河堰集水區坡向分佈統計表 .....	31
表 2-5、甲仙攔河堰集水區土地利用分佈統計表 .....	33
表 2-6、甲仙攔河堰集水區地質分佈統計表 .....	35
表 2-7、甲仙攔河堰集水區距離河川分佈統計表 .....	37
表 2-8、甲仙攔河堰集水區累積降雨分佈統計表 .....	39
表 2-9、甲仙攔河堰集水區以頻率比法估算過程說明表 .....	43
表 2-10、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢值分級資料表 .....	46
表 2-11、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢數值表 .....	48
表 2-12、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法估算過程說明表 .....	53
表 2-13、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的各權重值統計表 .....	56
表 2-14、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢值分級資料表 .....	57
表 2-15、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢數值表 .....	59

# 第一章 甲仙攔河堰集水區洪峰流量分析

## 一、ArcGIS 水文模組

本報告之研究區域為甲仙攔河堰集水區，其集水區總面積為 404.67 平方公里，甲仙攔河堰集水區之位置分佈圖、流向分布圖及流量累積圖如圖 1-1、圖 1-2 及圖 1-3 所示。本集水區依據四個門檻值分別為 1000、10000、50000 及 100000 建立水系分佈，而由圖 1-4 至圖 1-7 選擇出最適當之水系分佈圖為門檻值 50000 之水系，而各門檻值之水系分佈圖如圖 1-4、圖 1-5、圖 1-6 及圖 1-7 所示。本集水區之最大流動距離為 430562 個網格，甲仙攔河堰集水區流動距離分佈圖如圖 1-8 所示。

依據門檻值為 50000 之水系得知及水區內共有 332 條河川，而總長為 265.52 公里，將其劃分為四個河川級序，分別列出各級序之河川數量以及河川總長度，甲仙攔河堰集水區水系之河川級序估算表如表 1-1 所示。



圖 1-1、甲仙攔河堰集水區位置邊界圖

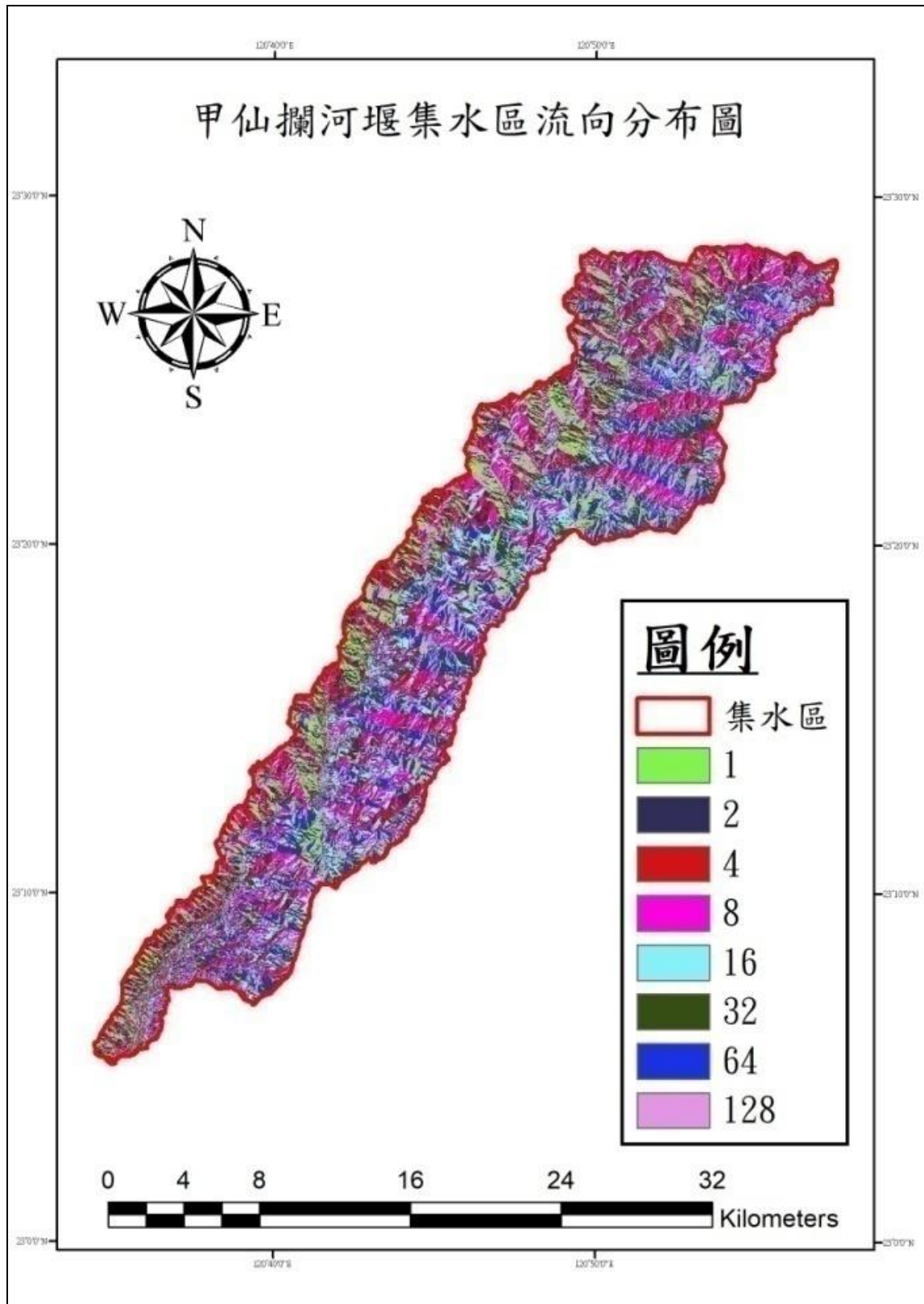


圖 1-2、甲仙攔河堰集水區流向分布圖



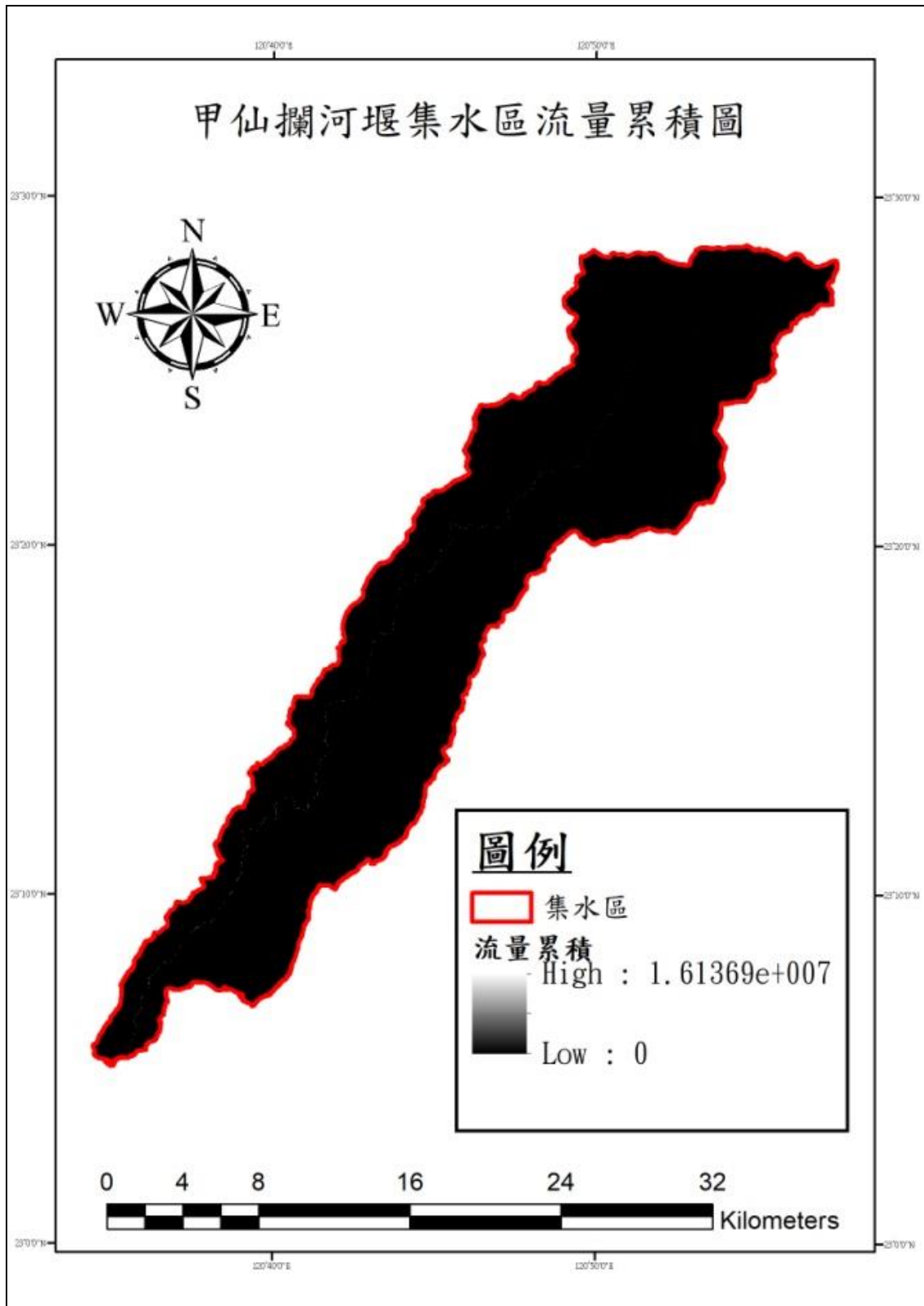


圖 1-3、甲仙攔河堰集水區流量累積圖

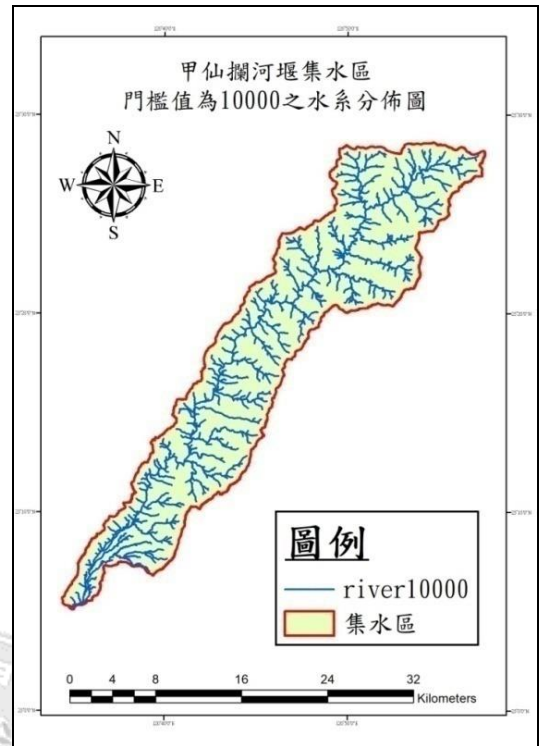
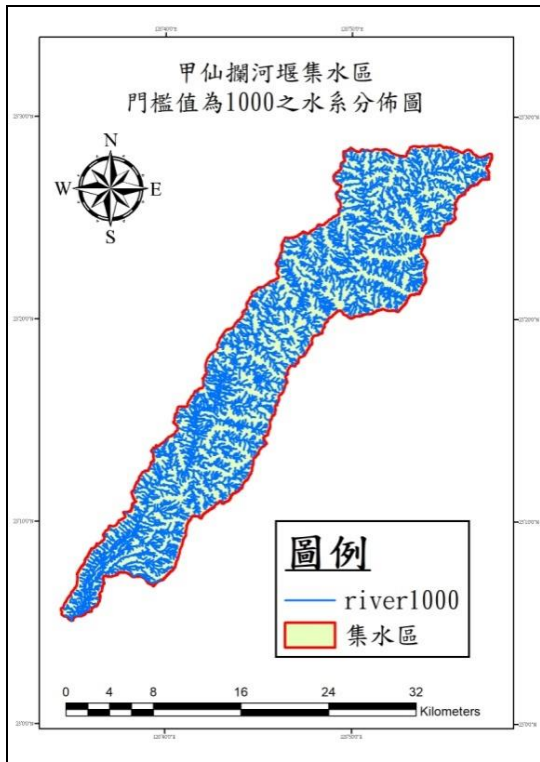


圖 1-4、門檻值為 1000 之水系分佈圖

圖 1-5、門檻值為 10000 之水系分佈圖

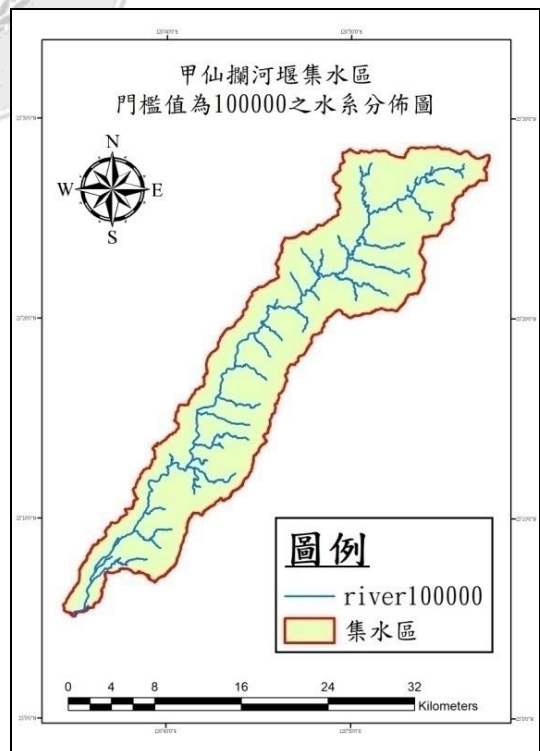
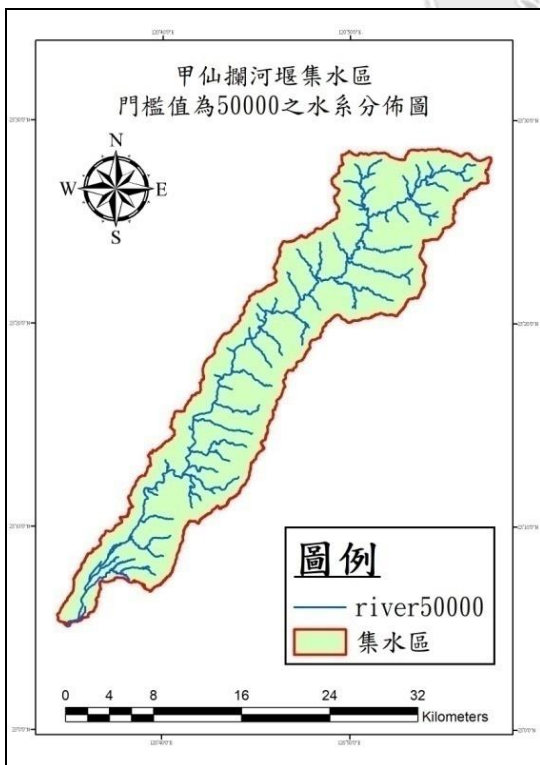


圖 1-6、門檻值為 50000 之水系分佈圖

圖 1-7、門檻值為 100000 之水系分佈圖

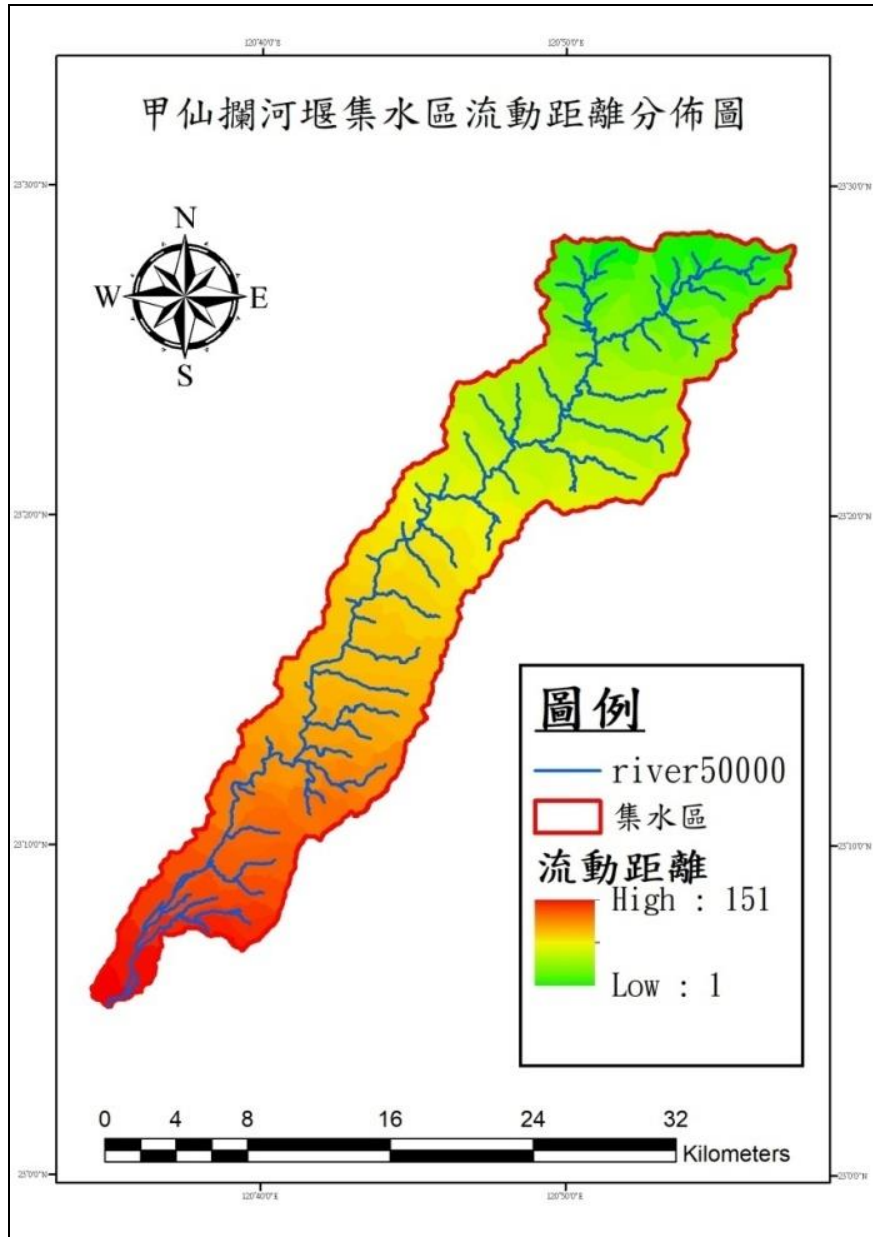


圖 1-8、甲仙攔河堰集水區流動距離分佈圖

表 1-1、甲仙攔河堰集水區水系之河川級序估算表

河川級序	河川個數(條)	總長度(公里)
1	161	145.81
2	65	49.37
3	78	47.20
4	28	23.14
<b>總和</b>	<b>332</b>	<b>265.52</b>

## 二、甲仙攔河堰集水區之子集水區邊界萃取

本報告從下游集水區出口處往上游，沿主流找尋最後三條支流匯入處，並以此三個匯入處作出其集水區邊界，分別為第一邊界(最上游)、第二邊界(中間點)、第三邊界(最下游)集水區圖，如圖 1-9、圖 1-10 及圖 1-11 所示，而各集水區面積如表 1-2 所示。

表 1-2、甲仙攔河堰集水區邊界集水區面積估算表

集水區出口位置	面積 ( $km^2$ )	佔總面積 (%)
第一邊界點	101.43	25.1
第二邊界點	326.65	80.7
第三邊界點	397.61	98.3
甲仙攔河堰邊界點	404.67	100.0



圖 1-9、甲仙攔河堰集水區第一邊界點(最上游)集水區圖



圖 1-10、甲仙攔河堰集水區第二邊界點(中間點)集水區圖

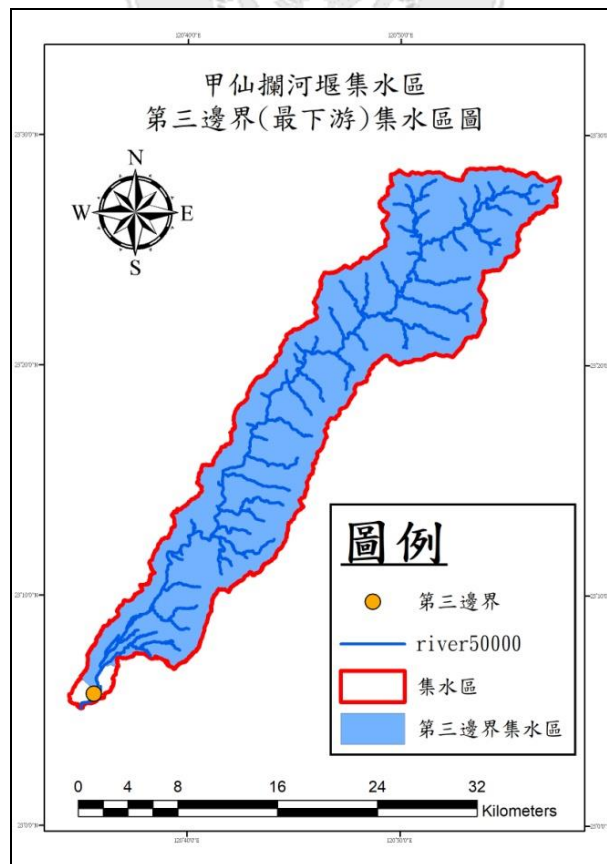


圖 1-11、甲仙攔河堰集水區第三邊界點(最下游)集水區圖

### 三、未開發與現階段之土地利用分析

#### (一) 現階段之土地利用分析

本報告欲進行三個集水區邊界內之現階段土地利用，並對照表 1-3 得知各集水區之 C 值，並推求出現階段開發之土地逕流係數與面積如表 1-4、表 1-5 及表 1-6 所示。

**表 1-3、彙整土地利用於水土保持技術規劃或公路排水設計規範中之 C 值 (現階段)**

原始土地利用分別及編號		水土保持技術規劃或公路排水設計規範		
編號	土地利用	土地情況	C 值	分類
010101 至 010104	稻作、旱作、果樹、廢耕地	平坦耕地	0.53	5
010200	水產養殖	水田及水塘	0.75	3
010301 至 010302	畜禽舍、牧場	草原地	0.40	8
010401 至 010404	農業附帶設施	村落 (建築面積<30%者)	0.40	9
020101 至 020304	森林	森林地	0.50	6
030100 至 030403	交通用地	不透水鋪面	0.90	1
040101 至 040700	水利土地	山地平地各半之流域	0.63	4
050101 至 050404	建築用地	不透水鋪面	0.90	1
060100 至 060600	公共用地	不透水鋪面	0.90	1
070101 至 070103	遊憩用地之一	不透水鋪面	0.90	1
070201	遊憩用地之公園綠地	公園、運動場	0.48	7
070202 至 070203	遊樂場所、體育場	村落 (建築面積<30%者)	0.40	9
080101 至 080102	礦業使用土地	荒地及裸露地	0.90	2
090100	軍事用地	不透水鋪面	0.90	1
090200	濕地	水田及水塘	0.75	3
090300	草生地	草原區	0.40	8
090401 至 090404	裸露地	荒地及裸露地	0.90	2
090500	灌木荒地	荒地及裸露地	0.90	2
090600	災害地	荒地及裸露地	0.90	2
090700	營建剩餘土方	荒地及裸露地	0.90	2
090801	空置地	村落 (建築面積<30%者)	0.40	9

表 1-4、甲仙攔河堰集水區第一邊界(最上游)現階段  
之逕流係數與面積估算表

土地情況	C 值	面積(A, km <sup>2</sup> )	C×A
不透水鋪面	0.90	0.303	0.273
荒地、裸露地	0.90	3.436	3.092
水田及水塘	0.75	0	0
山地平地各半之流域	0.63	0.650	0.410
平坦耕地	0.53	0	0
森林地	0.50	92.373	46.186
公園、運動場	0.48	0	0
草原區	0.40	4.708	1.883
村落(建築面積<30%者)	0.40	0	0
累計		<b>101.470</b>	<b>51.844</b>

表 1-5、甲仙攔河堰集水區第二邊界(中間點)現階段  
之逕流係數與面積估算表

土地情況	C 值	面積(A, km <sup>2</sup> )	C×A
不透水鋪面	0.90	1.641	1.477
荒地、裸露地	0.90	9.299	8.369
水田及水塘	0.75	0.001	0.0005
山地平地各半之流域	0.63	3.334	2.100
平坦耕地	0.53	8.255	4.375
森林地	0.50	295.450	147.725
公園、運動場	0.48	0.024	0.011
草原區	0.40	9.399	3.760
村落(建築面積<30%者)	0.40	0.792	0.317
累計		<b>328.195</b>	<b>168.135</b>

表 1-6、甲仙攔河堰集水區第三邊界(最下游)現階段  
之逕流係數與面積估算表

土地情況	C 值	面積(A, km <sup>2</sup> )	CxA
不透水鋪面	0.90	3.572	3.215
荒地、裸露地	0.90	12.894	11.604
水田及水塘	0.75	0.002	0.002
山地平地各半之流域	0.63	6.071	3.825
平坦耕地	0.53	14.636	7.757
森林地	0.50	349.994	174.997
公園、運動場	0.48	0.034	0.016
草原區	0.40	10.927	4.371
村落(建築面積<30%者)	0.40	1.083	0.433
<b>累計</b>		<b>399.214</b>	<b>206.221</b>





## (二) 未開發之土地利用分析

本報告欲進行三個集水區邊界內之現階段土地利用，並對照表 1-7 得知各集水區之 C 值，並推求出未開發之土地逕流係數與面積如表 1-8、表 1-9 及表 1-10 所示。

**表 1-7、彙整土地利用於水土保持技術規劃或公路排水設計規範中之 C 值 (未開發)**

原始土地利用分別及編號		水土保持技術規劃或公路排水設計規範		
編號	土地利用	土地情況	C 值	分類
010101 至 010104	稻作、旱作、果樹、廢耕地	森林地	0.50	2
010200	水產養殖	森林地	0.50	2
010301 至 010302	畜禽舍、牧場	森林地	0.50	2
010401 至 010304	農業附帶設施	森林地	0.50	2
020101 至 020404	森林	森林地	0.50	2
030100 至 030403	交通用地	森林地	0.50	2
040101 至 040700	水利土地	山地平地各半之流域	0.63	1
050101 至 050404	建築用地	森林地	0.50	2
060100 至 060600	公共用地	森林地	0.50	2
070101 至 070103	遊憩用地之一	森林地	0.50	2
070201	遊憩用地之公園綠地	森林地	0.50	2
070202 至 070203	遊樂場所、體育場	森林地	0.50	2
080101 至 080102	礦業使用土地	森林地	0.50	2
090100	軍事用地	森林地	0.50	2
090200	濕地	森林地	0.50	2
090300	草生地	森林地	0.50	2
090401 至 090404	裸露地	森林地	0.50	2
090500	灌木荒地	森林地	0.50	2
090600	災害地	森林地	0.50	2
090700	營建剩餘土方	森林地	0.50	2
090801	空置地	森林地	0.50	2

表 1-8、甲仙攔河堰集水區第一邊界(最上游)未開發之逕流係數與面積估算表

土地情況	C 值	面積(A, km <sup>2</sup> )	CxA
山地平地各半之流域	0.63	0.65	0.410
森林地	0.50	100.78	50.389
<b>累計</b>		<b>101.43</b>	<b>50.799</b>

表 1-9、甲仙攔河堰集水區第二邊界(中間點)未開發之逕流係數與面積估算表

土地情況	C 值	面積(A, km <sup>2</sup> )	CxA
山地平地各半之流域	0.63	3.33	2.100
森林地	0.50	323.34	161.668
<b>累計</b>		<b>326.67</b>	<b>163.769</b>

表 1-10、甲仙攔河堰集水區第三邊界(最下游)未開發之逕流係數與面積估算表

土地情況	C 值	面積(A, km <sup>2</sup> )	CxA
山地平地各半之流域	0.63	6.07	3.825
森林地	0.50	391.56	195.778
<b>累計</b>		<b>397.63</b>	<b>199.603</b>

#### 四、甲仙攔河堰集水區平均降雨量與洪峰流量估算

##### (一) 甲仙攔河堰集水區平均降雨量

本報告選取甲仙雨量站作為代表，並求得集水區特定四年的平均降雨量，採用此雨量站之雨量紀錄計算(如表 1-11)，集水區附近之雨量站分布圖如圖 1-12 所示。利用水土保持技術規範公式，求得頻率年為 100 年且降雨延時 60 分鐘事件之洪水量，甲仙攔河堰集水區近年平均降雨量與降雨延時 60 分鐘 100 年頻率之降雨量估算表如表 1-12 所示。

依據水土保持技術規範第一節第 16 條，降雨強度計算如下式：

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^C}$$

$$I_{60}^{25} = \left( \frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2$$

$$A = \left( \frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2$$

$$B=55$$

$$C = \left( \frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2$$

$$G = \left( \frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2$$

$$H = \left( \frac{P}{-65.33 + 1.836P} \right)^2$$

式中， $T$  為重現期距(年)、 $t$  為降雨延時或集流時間(分)、 $I_t^T$  為重現期距  $T$  年，降雨延時  $t$  分鐘之降雨強度(公釐/小時)、 $I_{60}^{25}$  為重現期距 25 年，降雨延時 60 分鐘之降雨強度(公釐/小時)、 $P$  為年平均降雨量(公釐)。

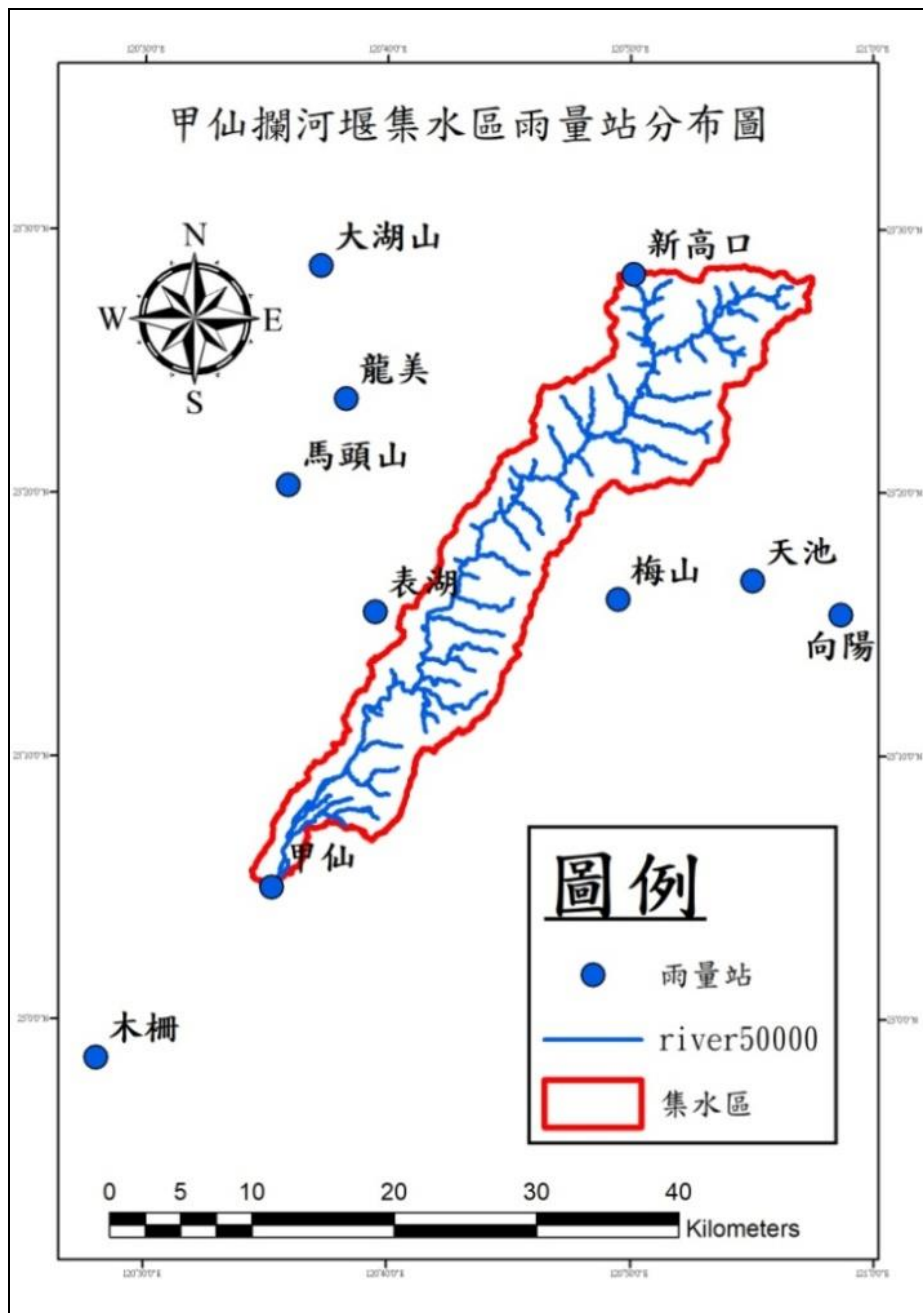


圖 1-12、甲仙攔河堰集水區雨量站分布圖

表 1-11、甲仙雨量站四年之年平均降雨(2007 至 2010 年)

	年降雨量(mm)
2007 年	3815.50
2008 年	4598.50
2009 年	3338.00
2010 年	3005.50
平均值	3689.38

表 1-12、甲仙攔河堰集水區近年平均降雨量與降雨延時 60 分鐘 100 年頻率之降雨量估算表

站名	甲仙雨量站	估算年分	2007~2010
X 座標	206932	Y 座標	2553838
平均降雨 P(mm)	3689.38	$I_{60}^{25}$ (mm/hr)	98.312
係數 A	14.964	係數 B	55
係數 C	0.552	係數 G	0.556
係數 H	0.302	$I_{60}^{100}$ (mm/hr)	124.672

## (二) 甲仙攔河堰集水區洪峰流量

本報告利用合理化公式估算洪峰流量，進行通洪斷面的檢核，甲仙攔河堰集水區降雨延時 60 分鐘 100 年頻率之洪峰流量估算表如表 1-13 所示。而依據洪峰流量之估算，有實測資料時，得採用單位歷線分析；面積在一千公頃以內者，無實測資料時，得採用合理化公式 (Rational Formula) 計算。合理化公式如下：

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA$$

式中， $Q_p$  為洪峰流量(立方公尺/秒)、C 為逕流係數(無單位)、I 為降雨強度(公釐/小時)、A 為集水區面積(公頃)。

表 1-13、甲仙攔河堰集水區降雨延時 60 分鐘 100 年頻率之洪峰流量估算表

	第一邊界	第二邊界	第三邊界
未開發前洪峰流量 (cms)	17.592	56.715	69.125
現階段之洪峰流量 (cms)	17.954	58.227	71.417
差異值(cms)	0.362	1.512	2.292

### 五、甲仙攔河堰集水區在降雨延時 60 分鐘 100 年頻率時之通洪斷面檢核

本報告將河系以 1000 公尺為間距進行分段，共分為 59 個河段，計算出各河段之河寬、通洪斷面積 A、流量 Q 及流速  $V_1$ ，比對水土保持技術規範(如 1-14)以檢核其通洪斷面是否通過最大安全流量，若未通過( $V > 6.1\text{m/s}$ )則須求其分洪量，此外亦計算出其坡度(S)、濕周(P)及水力半徑(R)，並對照水土保持技術規範：坡地排水設計規範第 196 條(如表 1-15)得知其曼寧糙度係數(N 值)，各計算之詳細數據如表 1-16 所示。

表 1-14、最大安全流速 V 表(水土保持技術規範：坡地排水設計規範)

土質	V(m/s)
純細砂	0.23~0.30
不致密之細砂	0.30~0.46
粗石及細砂土	0.46~0.61
平常砂土	0.61~0.76
砂質壤土	0.76~0.84
堅壤土及粘質壤土	0.91~1.14
平常礫土	1.23~1.52
全面密草生	1.50~2.50
粗礫、石礫及砂礫	1.52~1.83
礫岩、硬土層、軟質水成岩	1.83~2.44
硬岩	3.05~4.57
混凝土	4.57~6.10

表 1-15、不同內面工之曼寧粗糙度表  
(水土保持技術規範：坡地排水設計規範第 196 條)

溝內物質		n 值範圍	平均值
無內面工者	黏土質溝深整齊者	0.016-0.022	0.020
	砂壤、粘壤土溝身整齊者	---	0.020
	稀疏草生	0.035-0.045	0.040
	全面密草生	0.040-0.060	0.050
	雜有直徑 1-3 公分小石	---	0.022
	雜有直徑 2-6 公分小石	---	0.025
	平滑均勻岩質	0.030-0.035	0.033
	不平滑岩質	0.035-0.045	0.040
有內面工者	漿砌磚	0.012-0.017	0.014
	漿砌石	0.017-0.030	0.020
	乾砌石	0.025-0.035	0.033
	有規則土底且兩岸砌石	---	0.025
	不規則土底且兩岸砌	0.023-0.035	0.030
	純水泥漿平滑者	0.010-0.014	0.012
	礫石底兩岸混凝土	0.015-0.025	0.020

表 1-16、甲仙攔集水區在 100 年頻率 60 分鐘降雨延時之通洪斷面檢核表

編號	D	河寬	Q	A	V <sub>1</sub>	通過與否	分洪量	V <sub>2</sub>	S(坡度)	P(濕周)	R	n
單位	m	m	cms	m <sup>2</sup>	m/s	-	cms	m/s	度	m		
1		164.32	1063.193	421.6287	2.522	通過		2.522	0.0899	174.3215	2.419	0.05
2	1000	114.35	1185.232	259.9543	4.559	通過		4.559	0.0682	123.1507	2.111	0.04
3	1000	129.04	1307.271	292.2784	4.473	通過		4.473	0.0622	137.8434	2.120	0.04
4	1000	156.83	1429.31	402.9094	3.547	通過		3.547	0.0010	166.8337	2.415	0.04
5	1000	239.37	1551.349	683.8088	2.269	通過		2.269	0.0555	250.5678	2.729	0.05
6	1000	120.48	1673.388	273.4455	6.120	需分洪	5.37	6.100	0.1911	129.283	2.115	0.02
最上游	484	103.37	1795.427	235.7985	7.614	需分洪	357.06	6.100	0.0010	112.1707	2.102	0.02
7	526	111.87	1917.466	254.5058	7.534	需分洪	364.98	6.100	0.1745	120.6741	2.109	0.02
8	1000	200.25	2039.505	511.4432	3.988	通過		3.988	0.0179	210.2473	2.433	0.04
9	1000	146.17	2161.544	329.9641	6.551	需分洪	148.76	6.100	0.0010	154.9733	2.129	0.02
10	1000	153.72	2283.583	395.1188	5.779	通過		5.779	0.0352	163.7175	2.413	0.02
11	1000	194.41	2405.622	496.8382	4.842	通過		4.842	0.0439	204.4053	2.431	0.02
12	1000	112.64	2527.661	256.1958	9.866	需分洪	964.87	6.100	0.0652	121.4422	2.110	0.02
13	1000	209.65	2649.7	600.5894	4.412	通過		4.412	0.0069	220.8466	2.719	0.02
14	1000	228.07	2771.739	652.1795	4.250	通過		4.250	0.0010	239.2717	2.726	0.02
15	1000	81.32	2893.778	169.5677	17.066	需分洪	1859.41	6.100	0.0928	89.31984	1.898	0.02
16	1000	211.08	3015.817	604.6146	4.988	通過		4.988	0.0010	222.2842	2.720	0.02
17	1000	158.74	3137.856	407.6628	7.697	需分洪	651.11	6.100	0.0638	168.7351	2.416	0.02
18	1000	96.09	3259.894	199.1143	16.372	需分洪	2045.30	6.100	0.0411	104.0931	1.913	0.02



甲仙攔河堰集水區洪峰流量及崩塌潛勢分析

19	1000	148.24	3381.933	334.5165	10.110	需分洪	1341.38	6.100	0.0010	157.0425	2.130	0.02
20	1000	132.14	3503.972	299.0803	11.716	需分洪	1679.58	6.100	0.2004	140.9352	2.122	0.02
21	1000	171.57	3626.011	439.7447	8.246	需分洪	943.57	6.100	0.0010	181.5679	2.422	0.02
22	1000	210.08	3748.05	601.8103	6.228	需分洪	77.01	6.100	0.0337	221.2826	2.720	0.02
23	1000	254.83	3870.089	780.0878	4.961	通過		4.961	0.0397	266.8333	2.924	0.02
24	1000	334.84	3992.128	1020.105	3.913	通過		3.913	0.0010	346.839	2.941	0.04
25	1000	190.92	4114.167	488.1331	8.428	需分洪	1136.56	6.100	0.1230	200.9232	2.429	0.02
26	1000	269.11	4236.206	822.9141	5.148	通過		5.148	0.0150	281.1087	2.927	0.02
27	1000	267.60	4358.245	818.4002	5.325	通過		5.325	0.0247	279.6041	2.927	0.02
28	1000	222.37	4480.284	636.2169	7.042	需分洪	599.36	6.100	0.0066	233.5707	2.724	0.02
29	1000	147.55	4602.323	332.9871	13.821	需分洪	2571.10	6.100	0.0457	156.3474	2.130	0.02
30	1000	78.53	4724.362	163.9946	28.808	需分洪	3724.00	6.100	0.0084	86.53328	1.895	0.02
31	1000	190.61	4846.401	487.3405	9.945	需分洪	1873.62	6.100	0.0134	200.6062	2.429	0.02
32	1000	261.82	4968.44	801.0412	6.202	需分洪	82.09	6.100	0.0010	273.8177	2.925	0.02
33	1000	127.63	5090.479	289.177	17.603	需分洪	3326.50	6.100	0.0129	136.4337	2.120	0.02
34	1000	197.65	5212.518	504.9399	10.323	需分洪	2132.38	6.100	0.0401	207.646	2.432	0.02
35	1000	412.12	5334.557	1251.934	4.261	通過		4.261	0.0010	424.1153	2.952	0.04
36	1000	369.88	5456.596	1125.242	4.849	通過		4.849	0.0010	381.8848	2.947	0.02
37	1000	363.51	5578.635	1106.109	5.043	通過		5.043	0.1054	375.507	2.946	0.02
38	1000	238.70	5700.674	681.9285	8.360	需分洪	1540.91	6.100	0.0243	249.8963	2.729	0.02
中間點	740	263.43	5822.713	805.8776	7.225	需分洪	906.86	6.100	0.0010	275.4299	2.926	0.02
39	260	153.45	5888.661	394.4625	14.928	需分洪	3482.44	6.100	0.3127	163.455	2.413	0.02
40	1000	104.78	5954.608	238.9026	24.925	需分洪	4497.30	6.100	0.0010	113.5817	2.103	0.02

甲仙攔河堰集水區洪峰流量及崩塌潛勢分析

41	1000	128.58	6020.556	291.2544	20.671	需分洪	4243.90	6.100	0.1336	137.378	2.120	0.02
42	1000	274.89	6086.504	840.2588	7.244	需分洪	960.93	6.100	0.0010	286.8903	2.929	0.02
43	1000	162.28	6152.452	416.5363	14.771	需分洪	3611.58	6.100	0.0270	172.2845	2.418	0.02
44	1000	118.53	6218.4	269.1551	23.103	需分洪	4576.55	6.100	0.0184	127.3328	2.114	0.02
45	1000	352.79	6284.348	1073.971	5.852	通過		5.852	0.0010	364.7943	2.944	0.02
46	1000	854.33	6350.295	2578.571	2.463	通過		2.463	0.0231	866.3278	2.976	0.05
47	1000	627.04	6416.243	1896.701	3.383	通過		3.383	0.0050	639.0376	2.968	0.04
48	1000	322.99	6482.191	984.5433	6.584	需分洪	476.48	6.100	0.0115	334.9851	2.939	0.02
49	1000	529.02	6548.139	1602.652	4.086	通過		4.086	0.0140	541.0215	2.962	0.04
50	1000	524.58	6614.087	1589.337	4.162	通過		4.162	0.0120	536.583	2.962	0.04
51	1000	546.09	6680.035	1653.845	4.039	通過		4.039	0.0088	558.0857	2.963	0.04
52	1000	851.69	6745.982	2570.664	2.624	通過		2.624	0.0156	863.6921	2.976	0.02
53	1000	490.63	6811.93	1487.477	4.580	通過		4.580	0.0046	502.6297	2.959	0.04
54	1000	514.73	6877.878	1559.771	4.410	通過		4.410	0.0137	526.7277	2.961	0.04
55	1000	592.80	6943.826	1793.976	3.871	通過		3.871	0.0057	604.796	2.966	0.04
56	993	459.12	7009.774	1392.936	5.032	通過		5.032	0.0263	471.116	2.957	0.02
最下游	156	443.01	7141.669	1344.62	5.311	通過		5.311	0.0014	455.0107	2.955	0.02
57	1000	600.22	7207.617	1816.235	3.968	通過		3.968	0.0899	612.2156	2.967	0.04

## 第二章 甲仙攔河堰集水區崩塌潛勢分析

本研究區域為甲仙攔河堰集水區，其範圍包括高雄縣及部分嘉義縣，集水區內的河川為旗山溪，其分佈位置圖如圖 2-1。總集水區面積為 405 平方公里，而總崩塌面積為 29 平方公里，全區的崩塌率為 7.26%，其崩塌率的計算如表 2-1 所示，本研究區域是屬於崩塌較嚴重的地區，以下就七個重要因子進行崩塌率的分析，包括高程、坡度、坡向、土地利用、地質、距離河川及累積降雨，再利用這七個因子建構崩塌潛勢模式，使用方法為頻率比法及不安定指數法，最後估算誤差矩陣之成功率及失敗率。

表 2-1、甲仙攔河堰集水區崩塌率統計表

	面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
甲仙攔河堰集 水區	404.68	29.37	7.26



圖 2-1、甲仙攔河堰集水區位置分佈圖

## 一、崩塌潛勢各因子估算

### (一) 高程因子分析

本集水區平均高程為 1,480 公尺，高程介於 243 至 1480 公尺之間，全集水區高程分布最高的區間為 1500 公尺至 2000 公尺之間，所占比例為 26.32%；崩塌地區最嚴重的區間為 3500 公尺至 4000 公尺之間，所占比例為 35.26%，甲仙攔河堰集水區的高程分佈統計表及分佈圖如表 2-2 及圖 2-2。

表 2-2、甲仙攔河堰集水區高程分佈統計表

高程區間 (m)	面積 (km <sup>2</sup> )	占總面積 (%)	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
≤500	25.88	6.40	2.15	8.32
500-1000	84.19	20.81	9.73	11.56
1000-1500	97.16	24.01	10.45	10.76
1500-2000	106.50	26.32	4.73	4.44
2000-2500	63.47	15.68	1.26	1.98
2500-3000	19.62	4.85	0.25	1.28
3000-3500	6.34	1.57	0.26	4.17
≥3500	1.51	0.37	0.53	35.26
合計	404.68	100.00	29.37	7.26

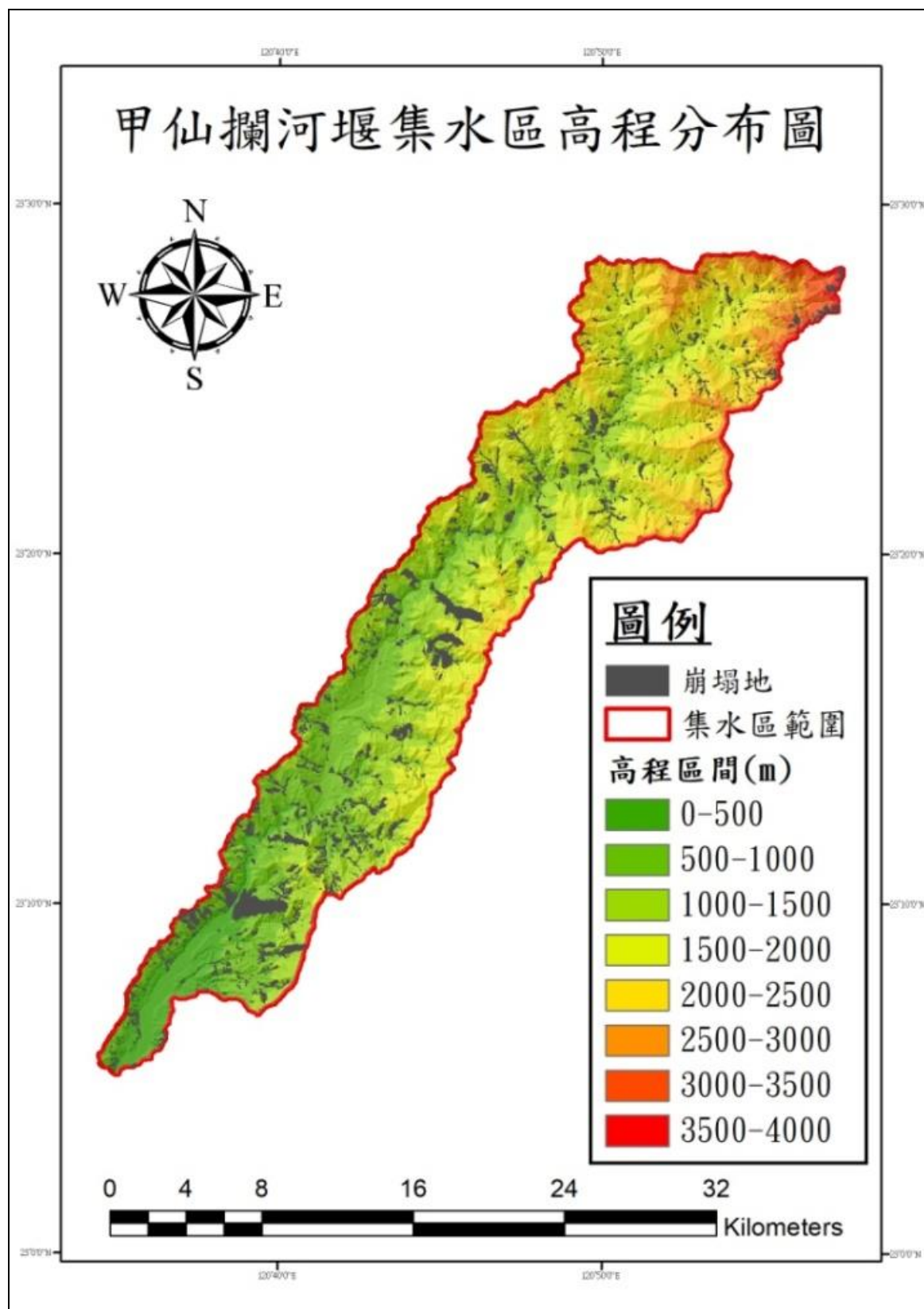


圖 2-2、甲仙攔河堰集水區高程分佈圖

## (二) 坡度因子分析

本集水區平均坡度為 33 度，坡度介於 0 至 85 度之間，而全集水區坡度分布最高的區間為 30 度至 40 度之間，所占比例為 34.69%；而崩塌地區最嚴重的區間亦為 70 度至 80 度之間，所占比例為 12.53%，甲仙攔河堰集水區的坡度分佈統計表及分佈圖如表 2-3 及圖 2-3 所示

表 2-3、甲仙攔河堰集水區坡度分佈統計表

坡度區間 (°)	面積 (km <sup>2</sup> )	占總面積 (%)	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
≤10	23.42	5.79	1.00	4.28
10-20	35.05	8.66	2.33	6.65
20-30	86.57	21.39	6.57	7.59
30-40	140.37	34.69	11.45	8.16
40-50	82.97	20.50	5.93	7.15
50-60	29.34	7.25	1.60	5.46
60-70	6.22	1.54	0.39	6.31
70-80	0.74	0.18	0.09	12.53
≥90	0.01	0.00	0.00	6.07
合計	404.68	100.00	29.37	7.26

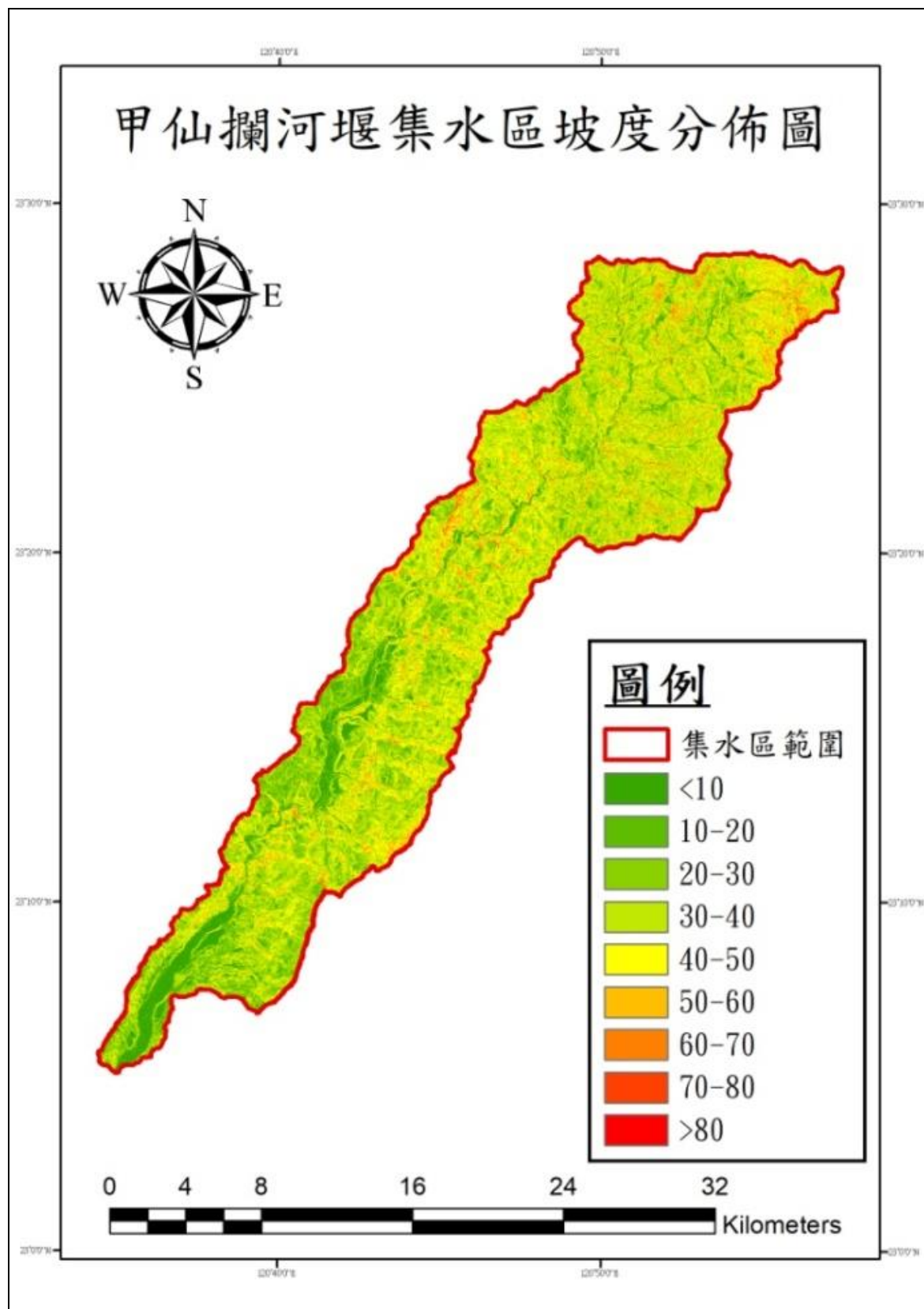


圖 2-3、甲仙攔河堰集水區坡度分佈圖

### (三) 坡向因子分析

本集水區的扣除平坦地外，各類別的坡向分佈平均，其中所占比例稍微較高的坡向為西向，占整體的 15.67%；而崩塌地區比例分佈平均，但最高的坡向為東向，占 9.03%，甲仙攔河堰集水區的坡向分佈統計表及分佈圖如表 2-4 及圖 2-4 所示。

表 2-4、甲仙攔河堰集水區坡向分佈統計表

坡向類別	面積 (km <sup>2</sup> )	占總面積 (%)	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
平坦	0.21	0.05	0.00	1.76
北向	45.59	11.27	3.00	6.57
東北向	40.35	9.97	3.62	8.96
東向	42.27	10.45	3.82	9.03
東南向	46.20	11.42	4.09	8.84
南向	51.99	12.85	4.26	8.19
西南向	59.17	14.62	4.08	6.89
西向	63.43	15.67	3.65	5.75
西北向	55.47	13.71	2.87	5.18
合計	404.68	100.00	29.37	7.26



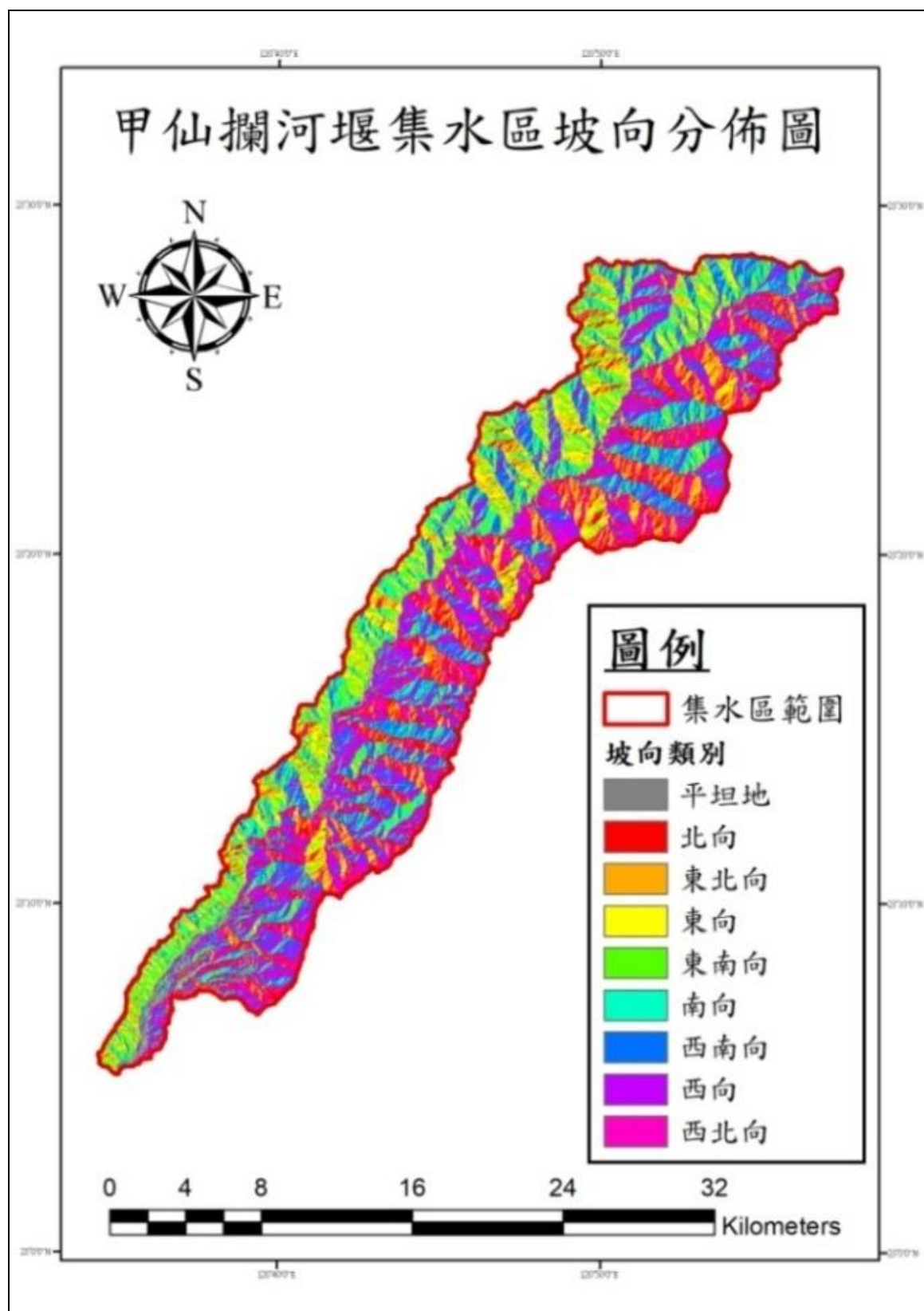


圖 2-4、甲仙攔河堰集水區坡向分佈圖

#### (四) 土地利用因子分析說明

本研究將國土測繪中心的九類土地利用劃分為五個類別，分別為農業使用用地、森林使用用地、人為使用用地、水利使用用地及裸露地及荒地，而本集水區比例最高的為森林使用用地的 90.07%，此外在崩塌地區比例最高義為裸露地及荒地，所占比例為 26.73%，甲仙攔河堰集水區的土地利用分佈統計表及分佈圖如表 2-5 及圖 2-5 所示。

表 2-5、甲仙攔河堰集水區土地利用類型統計表

土地利用類別	面積 (km <sup>2</sup> )	占總面積 (%)	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
農業使用用地	16.27	4.02	0.84	5.14
森林使用用地	364.48	90.07	24.44	6.71
人為使用用地	4.60	1.14	0.38	8.30
水利使用用地	6.38	1.58	0.25	3.97
裸露地及荒地	12.95	3.20	3.46	26.73
合計	404.68	100.00	29.37	7.26

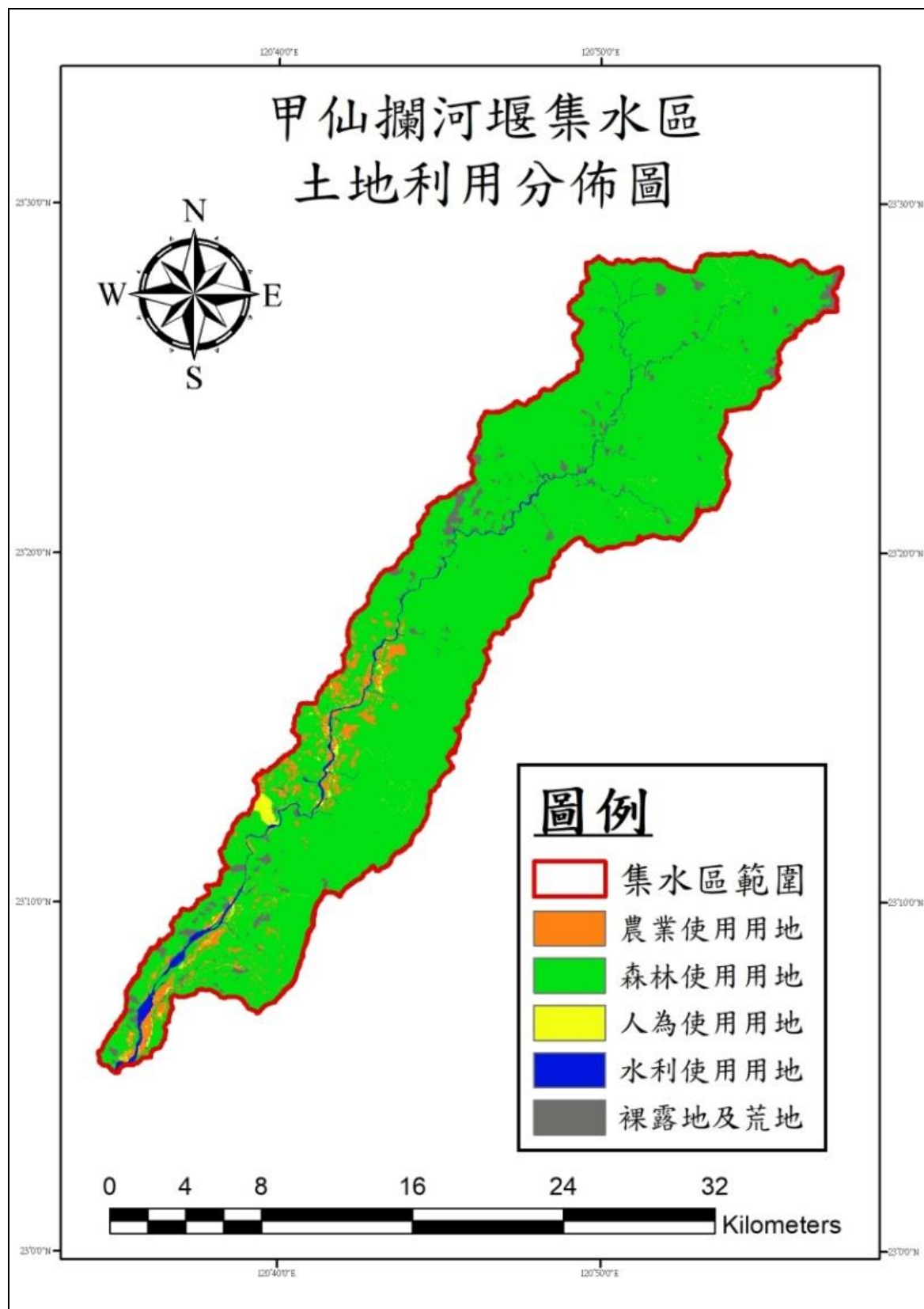


圖 2-5、甲仙攔河堰集水區土地利用分佈圖

### (五) 地質因子分析說明

本集水區的地質主要分為十三種類別，其中長枝坑層所占比例較高，合計約占整體的一半，而其他地質的比例皆較低，而崩塌地區是以糖恩山砂岩的 17.62% 為最大，其次為玉山主山層及紅花子層，甲仙攔河堰集水區的地質分佈統計表及分佈圖如表 2-6 及圖 2-6 所示。

表 2-6、甲仙攔河堰集水區地質分佈統計表

地質類別	面積(km <sup>2</sup> )	占總面積 (%)	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
十八重溪層	8.85	2.19	0.38	4.25
三民頁岩	18.79	4.64	0.99	5.29
火成岩	0.18	0.05	0.01	4.27
玉山主山層	5.54	1.37	0.72	13.07
沖積層	9.31	2.30	0.17	1.80
長枝坑層	141.60	34.99	11.50	8.12
南莊層	29.30	7.24	0.68	2.33
紅花子層	23.23	5.74	2.49	10.74
階地堆積層	6.86	1.69	0.43	6.22
達見砂岩	10.84	2.68	0.33	3.08
糖恩山砂岩	32.51	8.03	5.73	17.62

廬山層	99.72	24.64	4.54	4.55
鹽水坑頁岩	17.95	4.43	1.40	7.79
合計	404.68	100.00	29.37	7.26

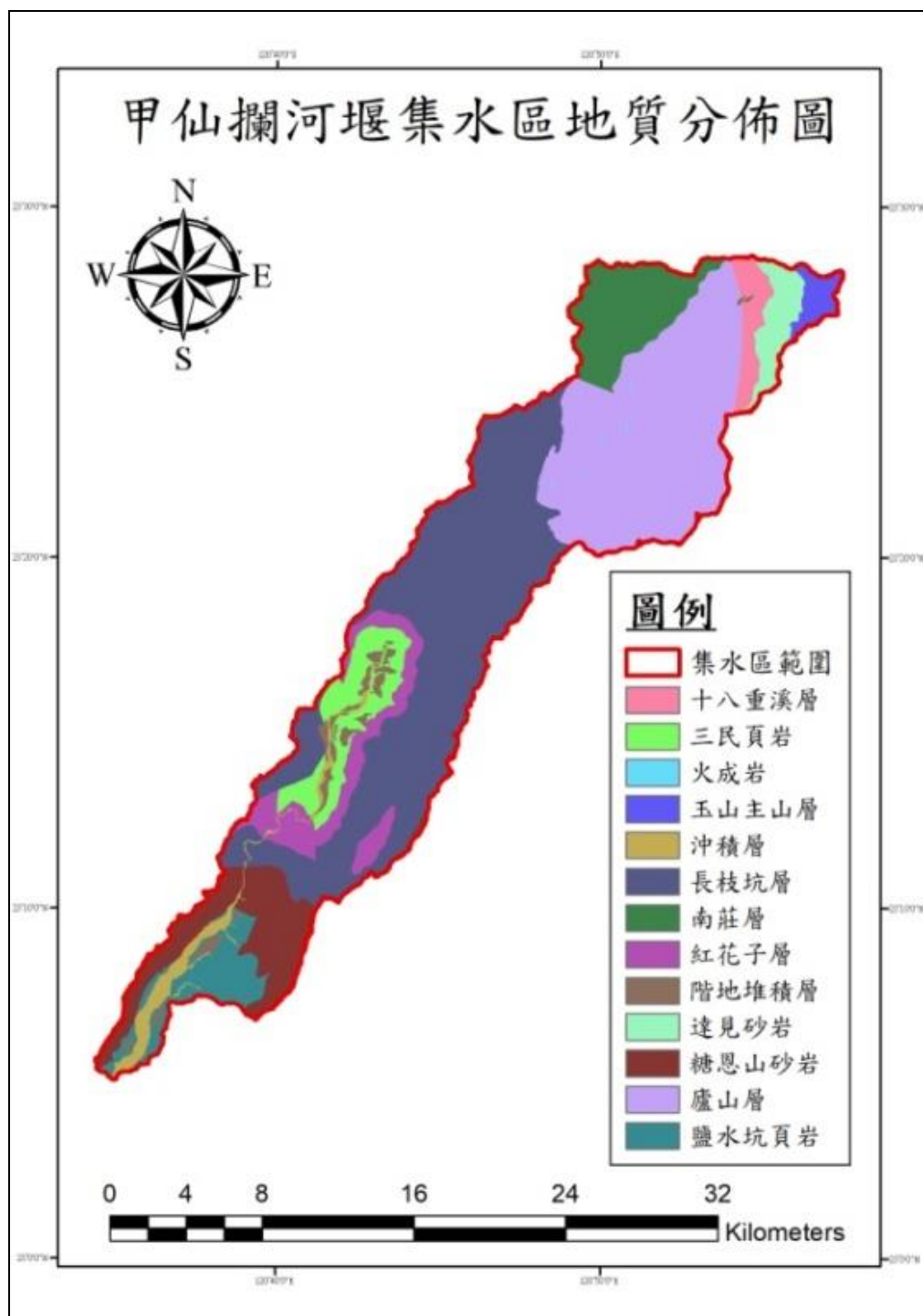


圖 2-6、甲仙攔河堰集水區地質分佈圖

(六) 距離河川因子分析說明

本集水區利用 ArcGIS 中的鄰域分析(Multiple Ring Buffer) 將距離河川分成三個區間，分別為大於等於 500 公尺、500 至 1000 公尺及小於等於 1000 公尺，而其中主要距離河川 500 至 1000 公尺為主要的分佈範圍，占整體的一半，而崩塌地區亦是，甲仙攔河堰集水區的距離河川分佈統計表及分佈圖如表 2-7 及圖 2-7 所示。

表 2-7、甲仙攔河堰集水區距離河川分佈統計表

距離河川 (m)	面積 (km <sup>2</sup> )	占總面積 (%)	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
≤500	60.83	15.03	2.77	4.56
500-1000	224.56	55.49	19.74	8.79
≥1000	119.29	29.48	6.86	5.75
合計	404.68	100.00	29.37	7.26

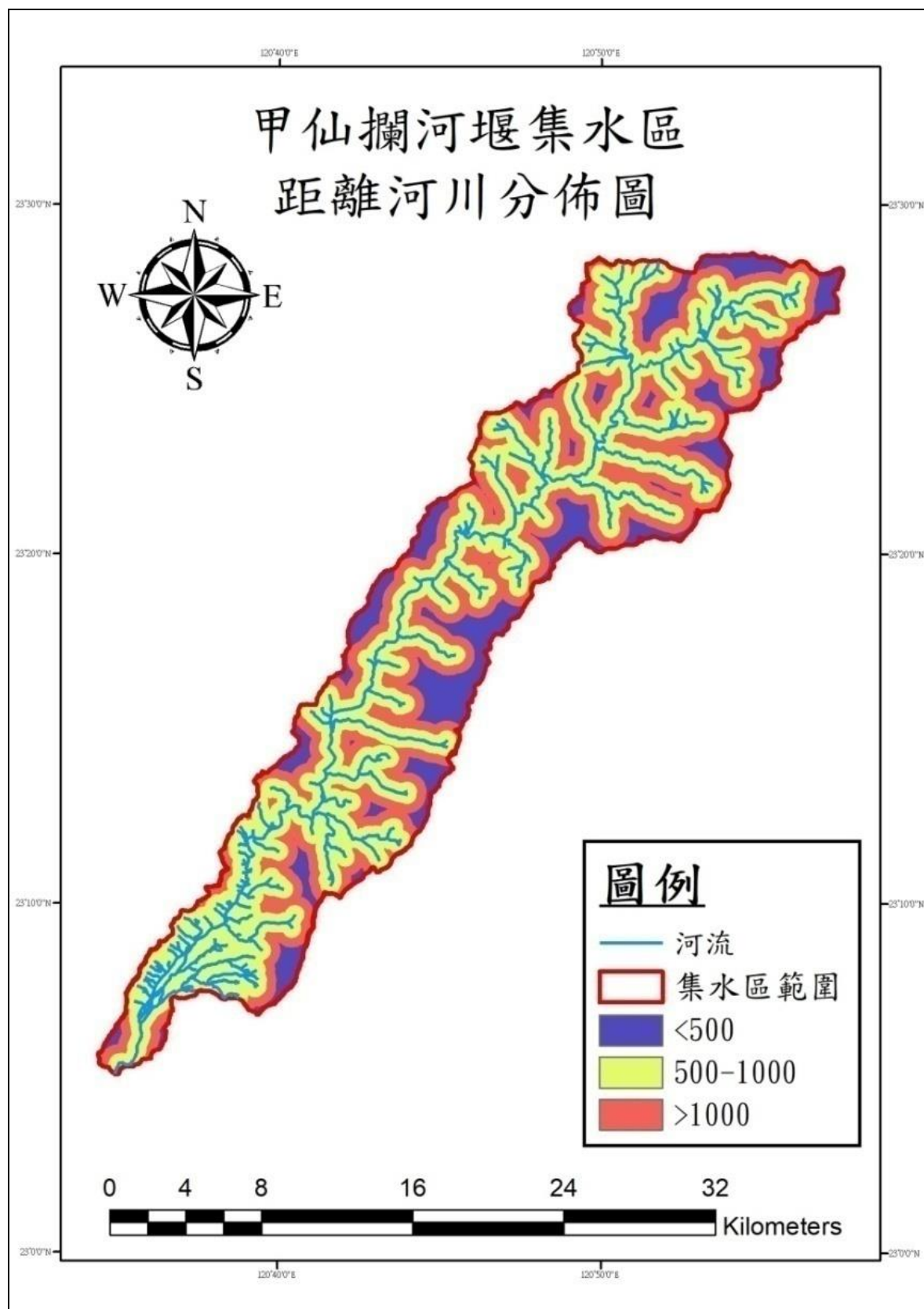


圖 2-7、甲仙攔河堰集水區距離河川分佈圖

**(七) 累積降雨因子分析說明**

本集水區的雨量站包括太湖山、向陽、木柵、天池、梅山、新高口、甲仙、龍美、馬頭山及表湖站十個水利署雨量站降雨資料，利用克力金法模擬 2009 年莫拉克颱風影響的累積降雨量資料，雨量分為小於 1650 毫米、1650 至 1700 毫米及大於 1700 毫米，其中累積降雨以 1650 至 1700 毫米為主要的分佈範圍，占整體的 58.82%，而在崩塌地區的部分，以小於 1650 毫米為主要的分佈範圍，崩塌率為 10.41%，甲仙攔河堰集水區的累積降雨分佈統計表及分佈圖如表 2-8 及圖 2-8 所示。

**表 2-8、甲仙攔河堰集水區累積降雨分佈統計表**

累積降雨 (mm)	面積 (km <sup>2</sup> )	占總面積 (%)	崩塌面積 (km <sup>2</sup> )	崩塌率 (%)
<1650	135.04	33.37	14.05	10.41
1650-1700	238.03	58.82	14.53	6.10
>1700	31.60	7.81	0.79	2.51
合計	404.68	100.00	29.37	7.26



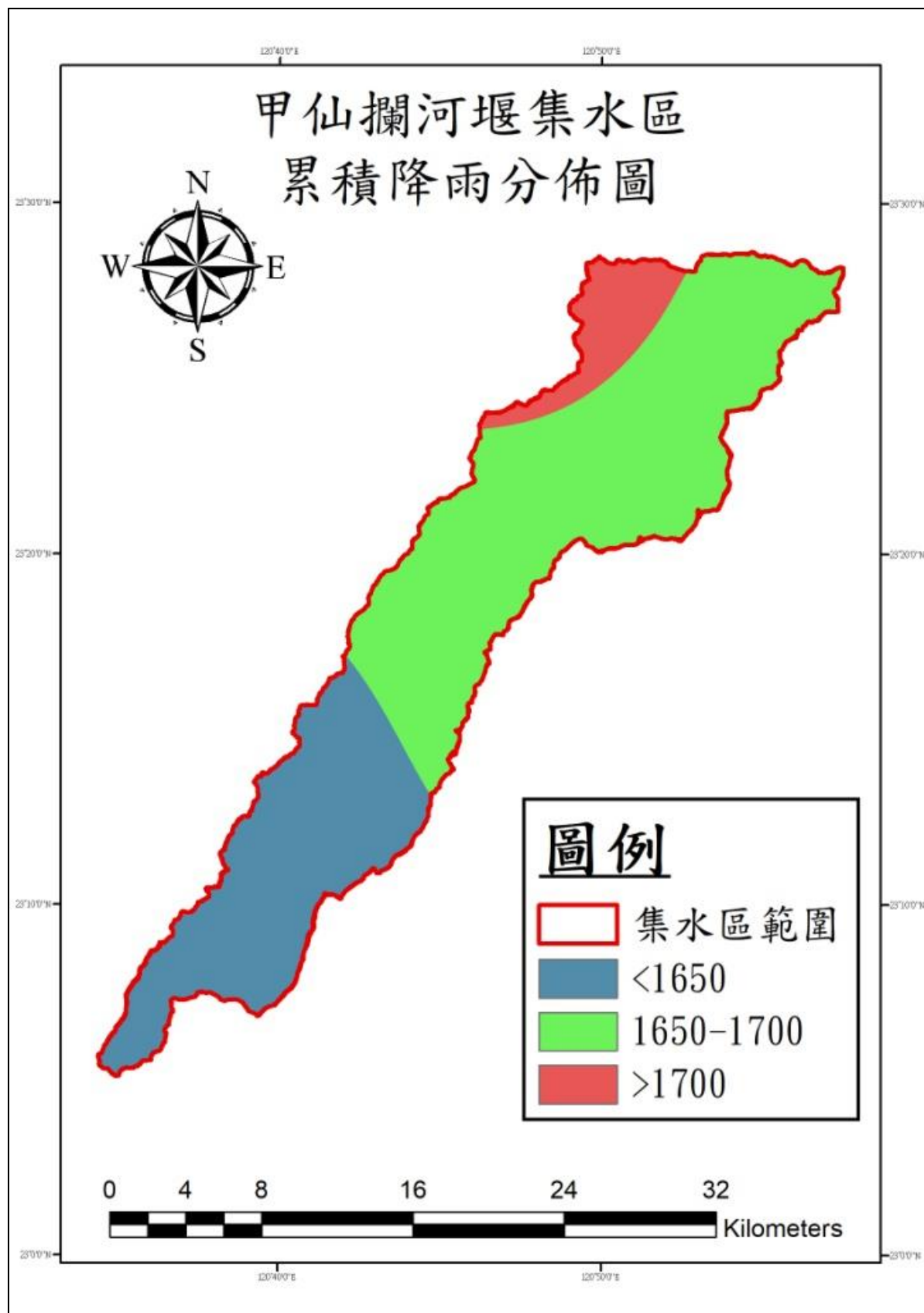


圖 2-8、甲仙攔河堰集水區累積降雨分佈圖

## 二、崩塌潛勢評估模式建構—頻率比法(FR)

### (一) 頻率比法說明

以頻率比(frequency ratio, FR)建構崩塌潛勢模式想法首見於 Lee and Talib (2005), 因其估算方式則為特定分級內崩塌面積占總崩塌面積之比除以特定分級面積占總面積之比。以頻率比(frequency ratio)建構崩塌潛勢模式方式之基本理論在於認定「崩塌發生乃由崩塌相關因子所決定, 未來好發崩塌位置也在於過往好發崩塌位置」。以頻率比建構崩塌潛勢模式之方法則為估算每一網格之崩塌潛勢指數 (landslide susceptibility index, LSI), 崩塌潛勢指數估算法如(1)式所示。

$$LSI=FR_1+FR_2+FR_3+...FR_n...(1)$$

$FR_n$  值代表該網格在第  $N$  個崩塌相關因子之頻率比, 當  $FR$  大於 1 時代表該因子對崩塌產生是具有高相關性的; 當  $FR$  小於 1 時代表該因子對崩塌產生是具有低相關性的。過往研究將  $LSI$  值分佈值域區分為四類(Shahabi et al., 2014)或五類(Yilmaz, 2009), 本研究未進行模式表現比較, 因此也利用等間隔分區法將  $LSI$  值分佈值域區分為四類, 包含高崩塌潛勢地區、中高崩塌潛勢地區、中崩塌潛勢地區及低崩塌潛勢地區。

## (二) 建構頻率比法各因子說明

在高程因子中，最大頻率比值為高於 3500 公尺之分區，其值為 4.86，最小值為 2500 至 3000 公尺之分區，其值為 0.18；在坡度因子中，最大頻率比值為 70 至 80 度之分區，其值為 1.73，最小值為低於 10 度之分區，其值為 0.59；在坡向因子中，最大頻率比值為東向，其值為 1.24，最小值為平坦區，其值為 0.24；在土地利用因子中，最大頻率比值為裸露地及荒地，其值為 3.68，最小值為水利使用用地，其值為 0.55；在地質因子中，最大頻率比值為糖恩山砂岩，其值為 2.43，最小值為沖積層，其值為 0.25；在距離河川因子中，最大頻率比值為 500 至 1000 公尺之分區，其值為 1.21，最小值為低於 500 公尺之分區，其值為 0.63；在累積降雨因子中，最大頻率比值為低於 1650 毫米之分區，其值為 1.43，最小值為高於 1700 公尺之分區，其值為 0.35。

在頻率比法係數值的全部分類中，最大值為高程高於 3500 公尺之分區的 4.86，其次為土地利用中裸露地及荒地的 3.68；最小值為高程 2500 至 3000 公尺之分區，其次為坡向因子中平坦區的 0.24。崩塌潛勢最大值為 14.33，最小值為 3.32，各個因子的估算過程如表 2-9 所示，而以頻率法建構崩塌潛勢值分佈圖如 2-9 所示。

表 2-9、甲仙攔河堰集水區以頻率比法估算過程說明表

分區	面積(km <sup>2</sup> )	崩塌面積(km <sup>2</sup> )	分子	分母	FR(%)
高程因子(單位：m)					
≤500	25.88	2.15	7.33	6.40	1.15
500-1000	84.19	9.73	33.12	20.81	1.59
1000-1500	97.16	10.45	35.58	24.01	1.48
1500-2000	106.50	4.73	16.11	26.32	0.61
2000-2500	63.47	1.26	4.28	15.68	0.27
2500-3000	19.62	0.25	0.86	4.85	0.18
3000-3500	6.34	0.26	0.90	1.57	0.57
≥3500	1.51	0.53	1.81	0.37	4.86
坡度因子(單位：度)					
≤10	23.42	1.00	3.41	5.79	0.59
10-20	35.05	2.33	7.93	8.66	0.92
20-30	86.57	6.57	22.36	21.39	1.05
30-40	140.37	11.45	38.97	34.69	1.12
40-50	82.97	5.93	20.20	20.50	0.99
50-60	29.34	1.60	5.45	7.25	0.75
60-70	6.22	0.39	1.34	1.54	0.87
70-80	0.74	0.09	0.31	0.18	1.73
≥80	0.01	0.00	0.00	0.00	0.84
坡向因子(單位：無單位)					
平坦	0.21	0.00	0.01	0.05	0.24
北向	45.59	3.00	10.20	11.27	0.91
東北向	40.35	3.62	12.31	9.97	1.23
東向	42.27	3.82	12.99	10.45	1.24
東南向	46.20	4.09	13.91	11.42	1.22
南向	51.99	4.26	14.49	12.85	1.13
西南向	59.17	4.08	13.88	14.62	0.95
西向	63.43	3.65	12.42	15.67	0.79
西北向	55.47	2.87	9.78	13.71	0.71

表 2-9、甲仙攔河堰集水區以頻率比法估算過程說明表(續)

土地利用因子(單位：無單位)					
農業使用用地	16.27	0.84	2.85	4.02	0.71
森林使用用地	364.48	24.44	83.19	90.07	0.92
人為使用用地	4.60	0.38	1.30	1.14	1.14
水利使用用地	6.38	0.25	0.86	1.58	0.55
裸露地及荒地	12.95	3.46	11.78	3.20	3.68
地質因子(單位：無單位)					
十八重溪層	8.85	0.38	1.28	2.19	0.58
三民頁岩	18.79	0.99	3.38	4.64	0.73
火成岩	0.18	0.01	0.03	0.05	0.59
玉山主山層	5.54	0.72	2.47	1.37	1.80
沖積層	9.31	0.17	0.57	2.30	0.25
長枝坑層	141.60	11.50	39.14	34.99	1.12
南莊層	29.30	0.68	2.33	7.24	0.32
紅花子層	23.23	2.49	8.49	5.74	1.48
階地堆積層	6.86	0.43	1.45	1.69	0.86
達見砂岩	10.84	0.33	1.14	2.68	0.42
糖恩山砂岩	32.51	5.73	19.50	8.03	2.43
廬山層	99.72	4.54	15.45	24.64	0.63
鹽水坑頁岩	17.95	1.40	4.76	4.43	1.07
距離河川因子(單位：公尺)					
≤500	60.83	2.77	9.44	15.03	0.63
500-1000	224.56	19.74	67.20	55.49	1.21
≥1000	119.29	6.86	23.34	29.48	0.79
降雨因子(單位：毫米)					
≤1650	135.04	14.05	47.83	33.37	1.43
1650-1700	238.03	14.53	49.45	58.82	0.84
≥1700	31.60	0.79	2.70	7.81	0.35

註：

1. 集水區總面積為 404.7 平方公里，集水區崩塌總面積為 29.4 平方公里
2. 分子為分區崩塌面積除以集水區崩塌總面積再乘上 100；分母為分區總面積除以集水區總面積再乘上 100

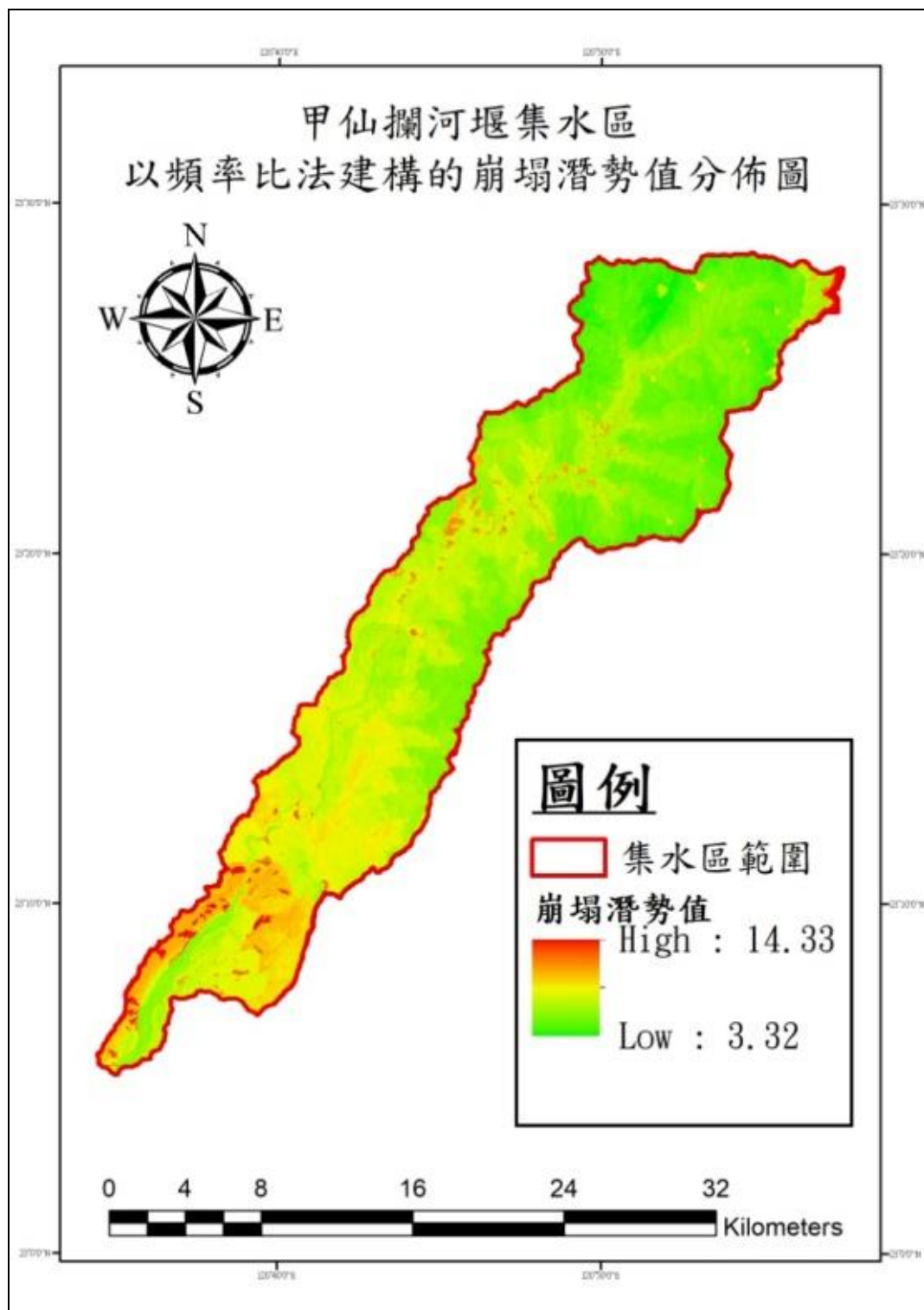


圖 2-9、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢值分佈圖

以等間隔分區(equal interval classification method)將全區劃分為四個分級，分別為低崩塌潛勢、中崩塌潛勢、中高崩塌潛勢及高崩塌潛勢，將前二者區分為「預測不會崩塌之區域」，二後二者為「預測會崩塌之區域」，其分別佔總崩塌面積的 89.96% 及 10.04%，可知此地區之崩塌機率較大，崩塌潛勢值分級資料表及分布圖如表 2-10 及圖 2-10 所示。

表 2-10、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢值分級資料表

崩塌潛勢分級	面積 (km <sup>2</sup> )	百分比 (%)	分區	百分比 (%)
低崩塌潛勢	121.14	29.94	預測會崩塌區域	89.96
中崩塌潛勢	242.90	60.02		
中高崩塌潛勢	36.99	9.14	預測不會崩塌區域	10.04
高崩塌潛勢	3.65	0.90		

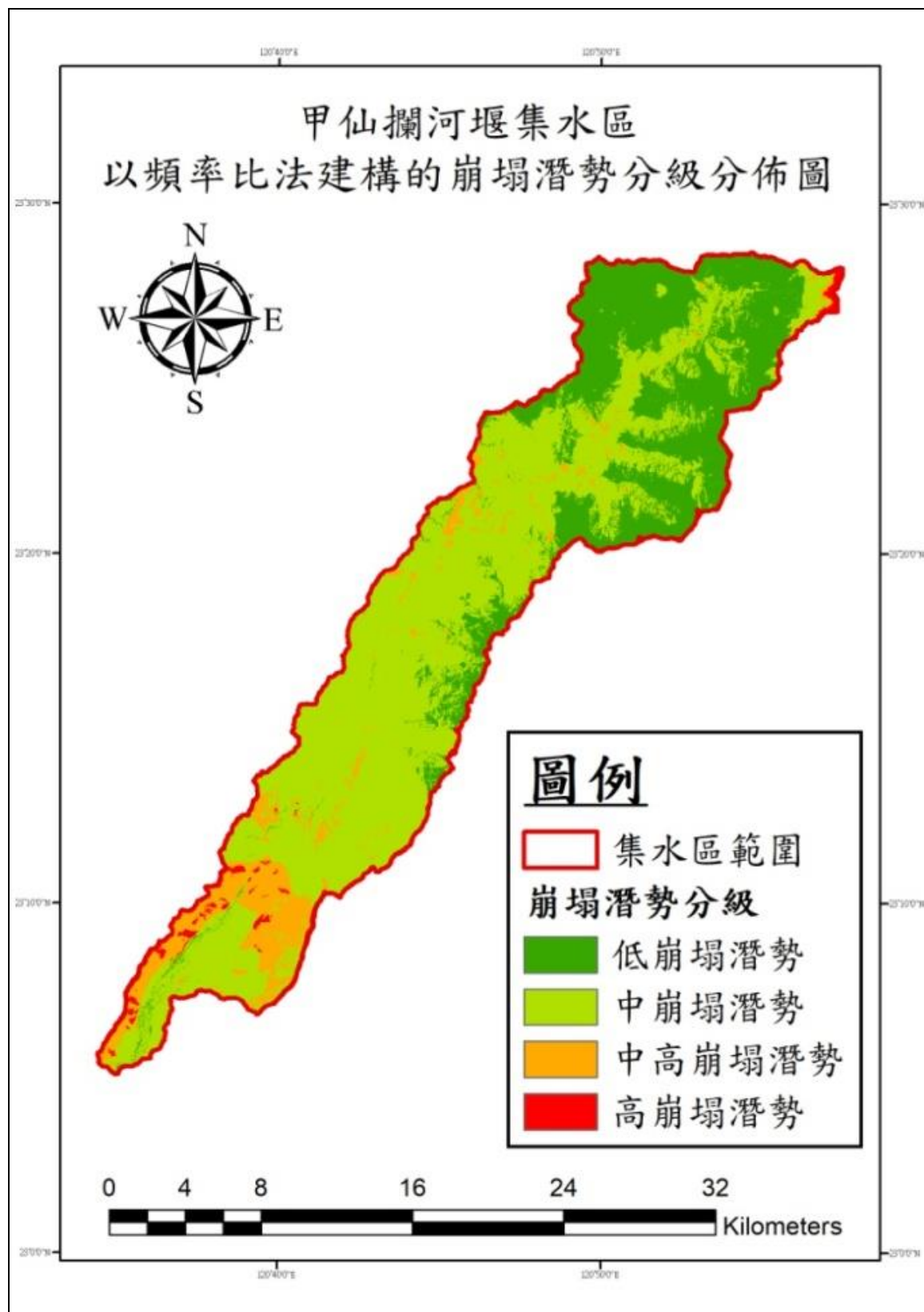


圖 2-10、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢分級分佈圖



### (三) 頻率比法結果

本集水區以頻率比法建構崩塌潛勢評估模式，所得崩塌潛勢平均值為 0.33，崩塌潛勢標準偏差為 0.13，變異係數值為 38.54，分別預測了在崩塌及非崩塌的正確率及錯誤率，在正確率部分，預測崩塌時為 28.43%，預測非崩塌時為 91.40%，總正確率為 59.92%；在錯誤率部分，預測崩塌時為 71.57%，預測非崩塌時為 8.60%，總錯誤率為 40.08%，甲仙攔河堰以頻率比法建構的崩塌潛勢數值表如表 2-11，並分析了各分級在崩塌中之分佈圖，如圖 2-11。

表 2-11、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢數值表

項目	數值
崩塌潛勢平均值	0.33
崩塌潛勢標準偏差	0.13
崩塌潛勢變異係數值	38.54
預測崩塌正確率(%)	28.43
預測非崩塌正確率(%)	91.40
總正確率(%)	59.92
預測崩塌錯誤率(%)	71.57
預測非崩塌錯誤率(%)	8.60
總錯誤率(%)	40.08

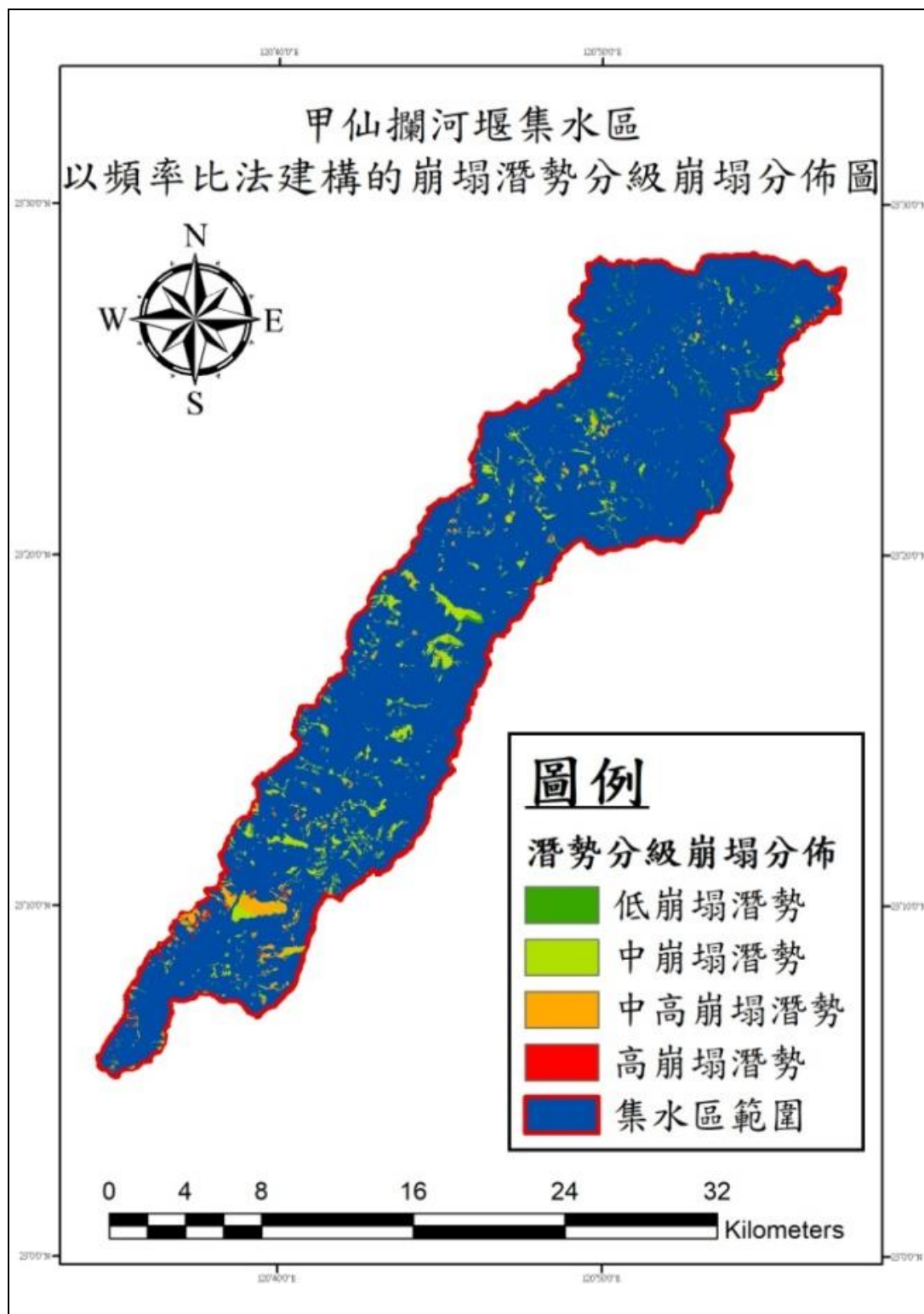


圖 2-11、甲仙攔河堰集水區以頻率比法建構的崩塌潛勢分級崩塌分佈圖

### 三、崩塌潛勢評估模式建構—不安定指數法

#### (一) 不安定指數法說明

不安定指數法的概念是以計量之觀點，在一個相對的關係下，提出一個不安定指數值( $D$ )來描述該邊坡。在整個區域的研究下，會發生邊坡破壞的風險度，值較高代表著會發生邊坡破壞的可能性較大，反之則較小；本研究採用不安定指數法進行分析，在各崩塌影響因子分級圖層建立完成後，將崩坍地位置與各影響因子分級圖層進行疊合分析，以量化各崩塌影響因子與崩坍地的關係，而整個分析步驟包括因子的分級、因子評分、因子彼此之間的權重、以及不安定指數值的疊加，方法詳述如下：

##### 1. 各影響因子之崩塌網格密度( $G_i$ )

因子評分以發生崩塌之密度做衡量的基準，崩塌密度值之計算如下式：

$$G_i = \frac{G_1}{G_{\text{total}}} \quad (2)$$

式中， $G_i$ 為第*i*級崩塌網格密度， $G_1$ 為第*i*級崩塌網格數， $G_{\text{total}}$ 為第*i*級網格總數。

##### 2. 崩塌百分比

為比較不同因子間崩塌地分佈的特性，將崩塌網格密度  $G_i$  依下式予以計算，並定義為崩塌百分比  $S_i$ ，崩塌百分比之計算如下式：

$$S_i = \frac{G_i}{\Sigma G_i} \quad (3)$$

式中， $S_i$  代表第  $i$  級崩塌百分比， $G_i$  代表第  $i$  級崩塌網格密度，

$\sum G_i$  代表崩塌網格密度總和。

### 3. 計算不同影響因子之評分值

求出各影響因子分級崩塌機率百分比後，再依下式進行正規化

處理，將各分級之崩壞比對應至 1~10 之間，可求得各因子分

級評分值，其計算如下式：

$$D = \frac{9(S_i - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} + 1 \quad (4)$$

式中， $D$  為各類因子不安定指數評分值， $S_i$  各類因子之崩塌

機率百分比， $S_{\max}$  為各類因子之最大崩塌機率百分比， $S_{\min}$  為

各類因子之最小崩塌機率百分比。

參考文獻：

應用不安定指數法分析大安溪流域崩塌潛勢之研究，中華水土保持學會 102 年度年會，陳俞瑾、黃璿宇、陳文福

## (二) 不安定指數法各因子說明

在高程因子中，最大評分因子為高於 3500 公尺之分區，其值為 10，最小值為 2500 至 3000 公尺之分區，其值為 1；在坡度因子中，最大評分因子為 70 至 80 度之分區，其值為 10，最小值為低於 10 度之分區，其值為 1；在坡向因子中，最大評分因子為東向，其值為 10，最小值為平坦區，其值為 1；在土地利用因子中，最大評分因子為裸露地及荒地，其值為 10，最小值為水利使用用地，其值為 1；在地質因子中，最大評分因子為糖恩山砂岩，其值為 10，最小值為沖積層，其值為 1；在距

離河川因子中，最大評分因子為 500 至 1000 公尺之分區，其值為 10，最小值為低於 500 公尺之分區，其值為 1；在累積降雨因子中，最大評分因子為低於 1650 毫米之分區，其值為 10，最小值為高於 1700 公尺之分區，其值為 1，各個因子的估算過程如表 2-12 所示，而以不安定指數法建構崩塌潛勢值分佈圖如 2-12 所示。

表 2-12、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法估算過程說明表

分區	面積(km <sup>2</sup> )	崩塌面積(km <sup>2</sup> )	崩塌密度	S <sub>i</sub> (%)	因子評分
高程因子(單位：m)					
≤500	25.88	2.15	0.083	10.695	2.86
500-1000	84.19	9.73	0.116	14.857	3.72
1000-1500	97.16	10.45	0.108	13.832	3.51
1500-2000	106.50	4.73	0.044	5.713	1.84
2000-2500	63.47	1.26	0.020	2.545	1.18
2500-3000	19.62	0.25	0.013	1.651	1.00
3000-3500	6.34	0.26	0.042	5.366	1.77
≥3500	1.51	0.53	0.353	45.342	10.00
坡度因子(單位：度)					
≤10	23.42	1.00	0.043	6.664	1.000
10-20	35.05	2.33	0.066	10.356	3.585
20-30	86.57	6.57	0.076	11.822	4.612
30-40	140.37	11.45	0.082	12.708	5.232
40-50	82.97	5.93	0.072	11.144	4.137
50-60	29.34	1.60	0.055	8.506	2.290
60-70	6.22	0.39	0.063	9.831	3.218
70-80	0.74	0.09	0.125	19.518	10.000
≥80	0.01	0.00	0.061	9.452	2.952
坡向因子(單位：無單位)					
平坦	0.21	0.00	0.018	2.872	1.000
北向	45.59	3.00	0.066	10.746	6.964
東北向	40.35	3.62	0.090	14.652	9.922
東向	42.27	3.82	0.090	14.755	10.000
東南向	46.20	4.09	0.088	14.456	9.774
南向	51.99	4.26	0.082	13.386	8.963
西南向	59.17	4.08	0.069	11.266	7.358
西向	63.43	3.65	0.058	9.401	5.945
西北向	55.47	2.87	0.052	8.466	5.237

表 2-12、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法估算過程說明表(續)

土地利用因子(單位：無單位)					
農業使用用地	16.27	0.84	0.051	10.107	1.462
森林使用用地	364.48	24.44	0.067	13.188	2.081
人為使用用地	4.60	0.38	0.083	16.326	2.712
水利使用用地	6.38	0.25	0.040	7.810	1.000
裸露地及荒地	12.95	3.46	0.267	52.569	10.000
地質因子(單位：無單位)					
十八重溪層	8.85	0.38	0.042	4.763	2.249
三民頁岩	18.79	0.99	0.053	5.937	2.784
火成岩	0.18	0.01	0.043	4.786	2.260
玉山主山層	5.54	0.72	0.131	14.664	6.756
沖積層	9.31	0.17	0.018	2.019	1.000
長枝坑層	141.60	11.50	0.081	9.110	4.228
南莊層	29.30	0.68	0.023	2.619	1.273
紅花子層	23.23	2.49	0.107	12.049	5.566
階地堆積層	6.86	0.43	0.062	6.977	3.257
達見砂岩	10.84	0.33	0.031	3.456	1.654
糖恩山砂岩	32.51	5.73	0.176	19.771	9.081
廬山層	99.72	4.54	0.046	5.106	2.405
鹽水坑頁岩	17.95	1.40	0.078	8.743	4.061
距離河川因子(單位：公尺)					
≤500	60.83	2.77	0.046	23.863	1.000
500-1000	224.56	19.74	0.088	46.039	10.000
≥1000	119.29	6.86	0.057	30.098	3.531
降雨因子(單位：毫米)					
≤1650	135.04	14.05	0.104	54.726	10.000
1650-1700	238.03	14.53	0.061	32.098	5.099
≥1700	31.60	0.79	0.025	13.176	1.000

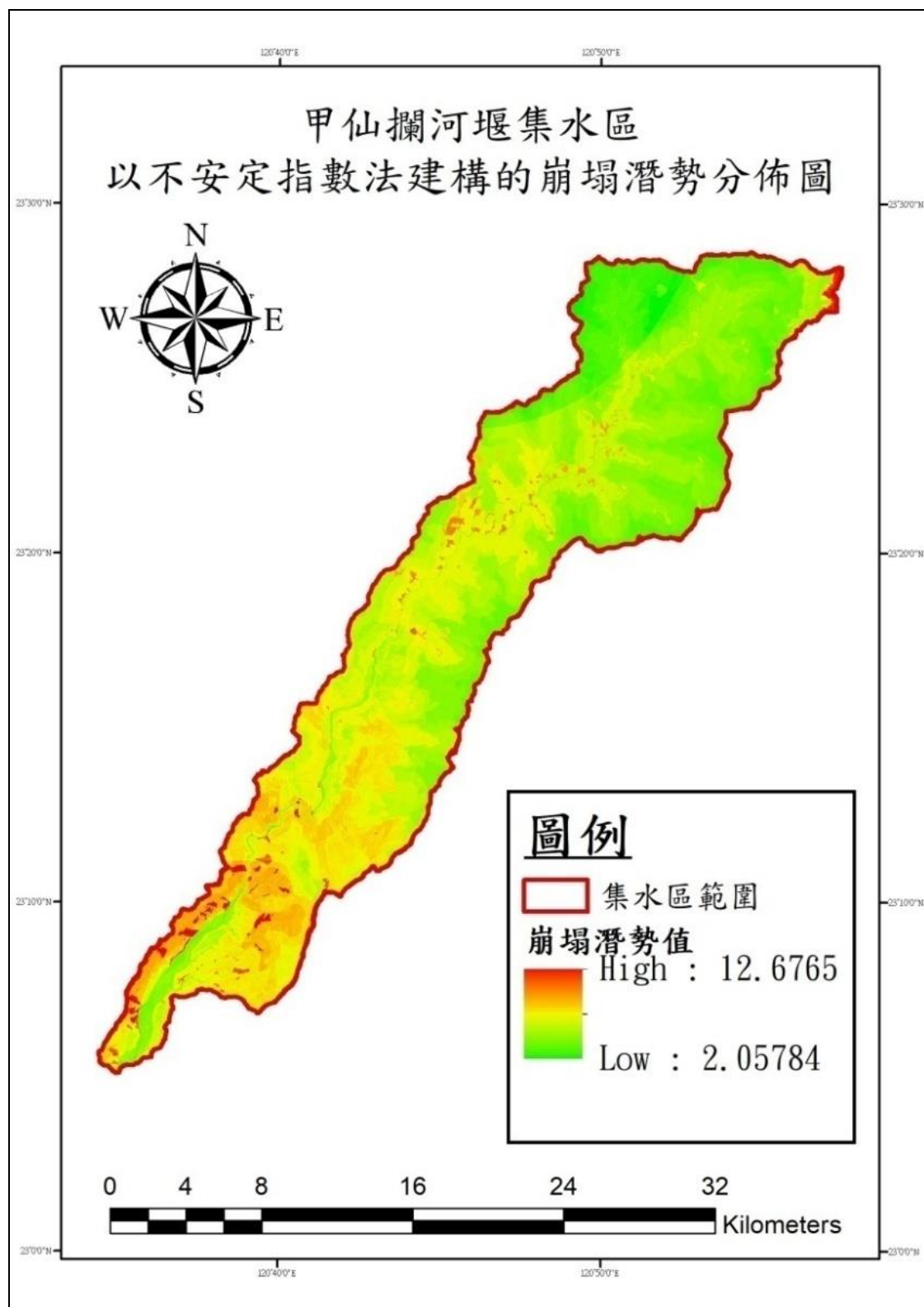


圖 2-12、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢值分佈圖



本集水區以以不安定指數法建構崩塌潛勢評估模式，所得崩塌潛勢變異係數總和為 404.39，崩塌潛感值為 2.06 至 12.68 之間，甲仙攔河堰以不安定指數法建構各權重值統計表如表 2-13。

表 2-13、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的各權重值統計表

	標準偏差	平均值	變異係數	權重值
高程因子	14.16	12.50	113.26	0.28
坡度因子	3.63	11.11	32.65	0.08
坡向因子	3.88	11.11	34.88	0.09
土地利用因子	18.49	20.00	92.44	0.23
地質因子	5.16	7.69	67.11	0.17
距離河川因子	11.44	33.33	34.31	0.08
累積降雨因子	20.80	33.33	62.41	0.15

本報告以等間隔分區(equal interval classification method)將全區劃分為四個分級，分別為低崩塌潛勢、中崩塌潛勢、中高崩塌潛勢及高崩塌潛勢，將前二者區分為「預測不會崩塌之區域」，二後二者為「預測會崩塌之區域」，其分別佔總崩塌面積的 87.84%及 12.16%，可知此地區之崩塌機率較大，崩塌潛勢值分級資料表及分布圖如表 2-14 及圖 2-13 所示。

表 2-14、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢值分級資料表

崩塌潛勢分級	面積 (km <sup>2</sup> )	百分比 (%)	分區	百分比 (%)
低崩塌潛勢	137.38	33.95	預測會崩塌區域	87.84
中崩塌潛勢	218.11	53.90		
中高崩塌潛勢	44.68	11.04	預測不會崩塌區域	12.16
高崩塌潛勢	4.51	1.12		

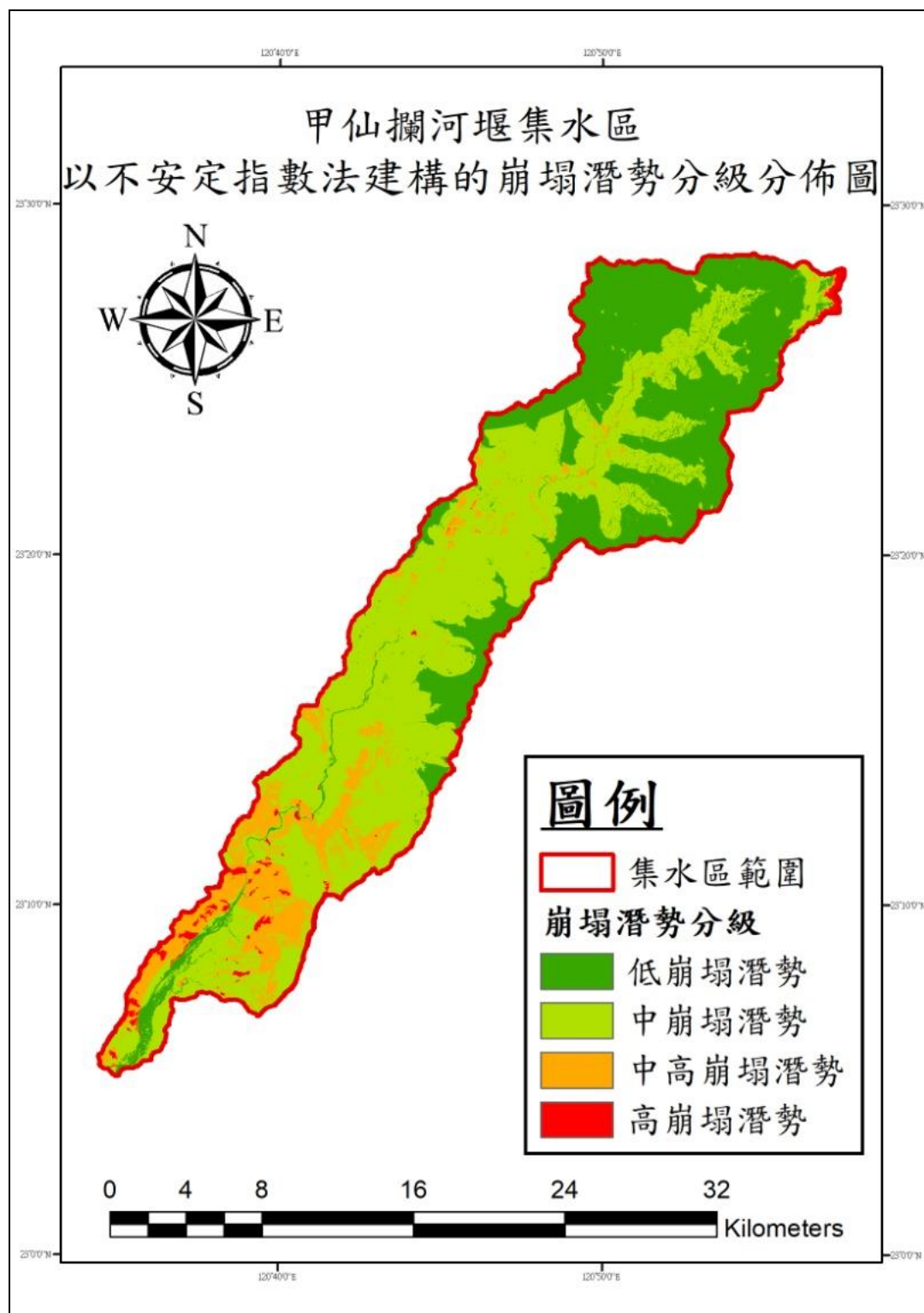


圖 2-13、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢分級分佈圖

### (三) 不安定指數法結果說明

本集水區以不安定指數法建構崩塌潛勢評估模式，所得崩塌潛勢變異係數總和為 404.39，崩塌潛感值為 2.06 至 12.68 之間，甲仙攔河堰以不安定指數法建構各權重值統計表如表 2-5。且分別預測了在崩塌及非崩塌的正確率及錯誤率，在正確率部分，預測崩塌時為 28.43%，預測非崩塌時為 71.51%，總正確率為 48.14%；在錯誤率部分，預測崩塌時為 67.85%，預測非崩塌時為 32.15%，總錯誤率為 51.86%，甲仙攔河堰以不安定指數法建構的崩塌潛勢數值表如表 2-15，並分析了各分級在崩塌中之分佈圖，如圖 2-14。

表 2-15、甲仙攔河堰以不安定指數法建構的崩塌潛勢數值表

項目	數值
預測崩塌正確率(%)	28.43
預測非崩塌正確率(%)	71.51
總正確率(%)	48.14
預測崩塌錯誤率(%)	67.85
預測非崩塌錯誤率(%)	32.15
總錯誤率(%)	51.86

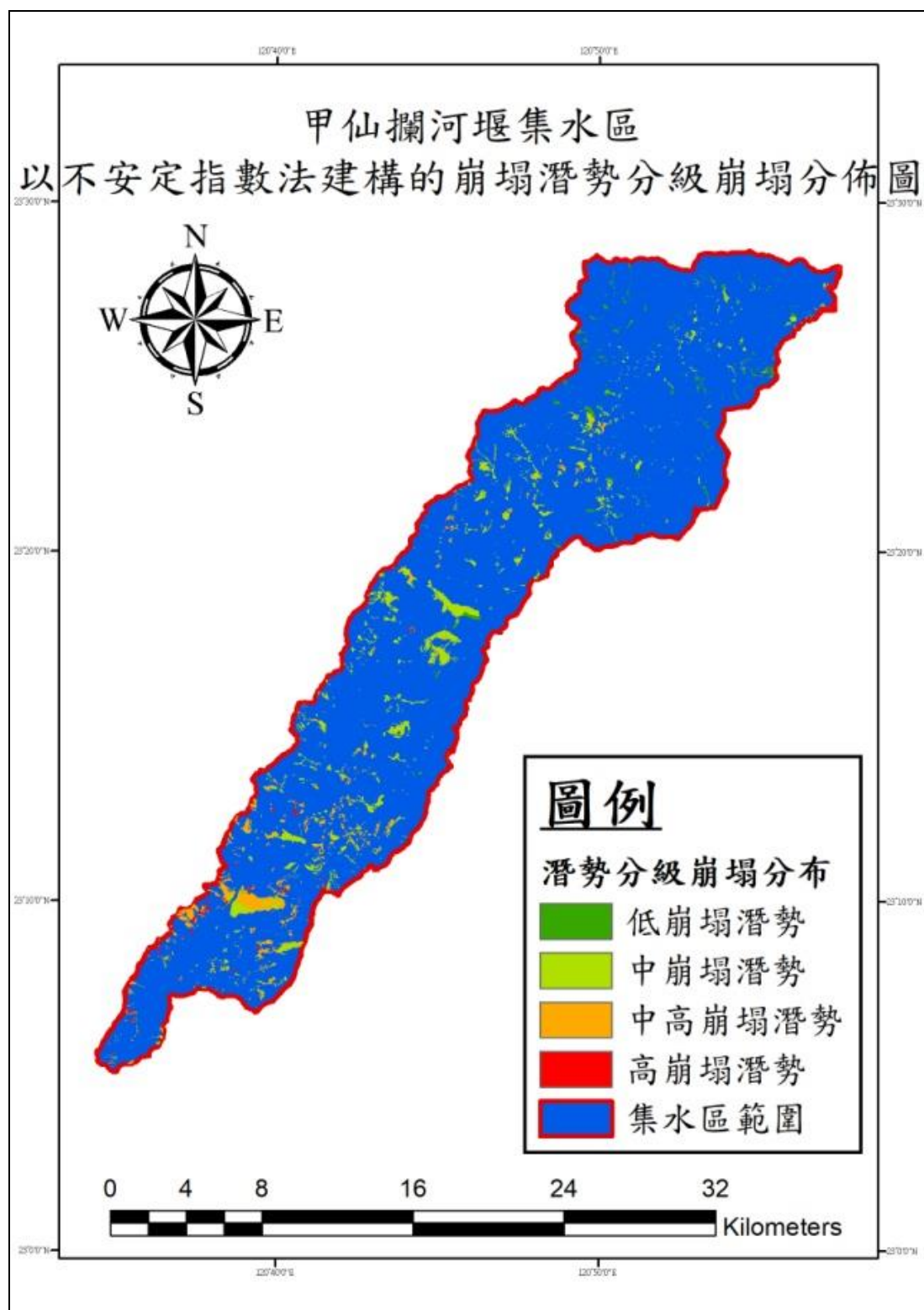


圖 2-14、甲仙攔河堰集水區以不安定指數法建構的崩塌潛勢分級崩塌分佈圖

### 參考文獻

1. 水土保持技術規範。
2. 吳俊鎡，2016，崩塌率為依據邏輯式迴歸法、頻率比法及證據權重法於崩塌潛勢模式應用之比較，台灣水利 第 64 卷 第 1 期。
3. 陳俞瑾、黃璿宇、陳文福，2013，應用不安定指數法分析大安溪流域崩塌潛勢之研究，中華水土保持學報。