



水土保持局技術研究發展小組

集水區土砂收支數值分析模型 及其應用



簡報人：

水土保持局臺中分局 黃文政
研邦科技有限公司 蔡易達 博士

簡報大綱

壹

緒論

貳

文獻回顧

參

研究區域

肆

研究方法

伍

研究成果

陸

綜合討論

柒

結論與建議

壹、緒論



1.1 研究動機

- 世界銀行2005年出版的「天然災害熱點：全球風險分析」(Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis)報告指出，**臺灣可能是世界上最易受到天然災害衝擊國家之一**，因為臺灣約有 73%的人口居住在有三種以上災害可能衝擊的地區，**遭受兩種災害衝擊之國土地區更高達90%以上**。
- 英國於2011年出版的「2011年自然災害風險圖譜」(Natural Hazards Risk Atlas 2011)，列出196個國家的天然災害風險排名，調查報告指出美國、日本及**臺灣都是天然災害高風險國家**。
- **臺灣的地質條件相當脆弱，表層土壤及岩屑容易沖刷及崩落，若上述強降雨發生於流域上游，亦可能引發集水區崩塌及土砂災害**，造成鄰近區域部落社區民眾立即性生命安危之外，也造成流域下游更嚴重淹水災情。故臺灣山坡地集水區之水砂災害問題，備受各界關注(國家災害防救科技中心，2016)。



1.1 研究動機

- 土砂災害問題既是由降雨逕流條件所造成，也可以因而引發更大規模的水砂災害，它涉及了洪水氾濫、水土流失、地力退化、水庫淤積等相關問題，不僅是一種水文災害，也是一種地貌災害及環境生態災害。因此，**深入研究土砂災害機理，無論在理論上或實際應用，對區域性防災、坡地水土資源保育、水源涵養及生態環境保護等都具有重要意義**(連惠邦，2017)。
- 為了探求集水區之水砂災害問題，必須先針對降雨與水砂運移之間的關聯性進行研究。在過去，相關專家學者及研究單位等常以**集水區土砂收支(sediment budget)**來描述土砂運移情形。土砂收支可以顯示集水區內泥砂的侵蝕、運移及堆積等因子之間的關係，其為集水區內沖積物之產生、移動、貯存等連續過程的預算平衡表(Ritter et al.,1995)。土砂運動的過程中包含侵蝕、運移與堆積三種，因而有所謂土砂收支的概念出現(李建堂，1999)。



1.2 研究目的

- **集水區土砂收支**(*Sediment Budget*)係指集水區土砂受降雨及逕流綜合作用下發生侵蝕、搬運及堆積等過程。土砂收支可以說明集水區內**土砂侵蝕、搬運及堆積**等因子在時空之間的關聯性。
- 集水區土砂運移是由各種不同侵蝕類型和河道沖淤所組成的一個極為**複雜的過程(土砂收支)**。它關係著河道上、下游之間水砂災害的傳遞和平衡問題，是河道挾砂水流演算不可或缺的關鍵內容。
- 本研究之目的即透過建立**明確、合理**且經**驗證**之土砂收支規律，以探討集水區產流產砂運移之特性，並透過**定量化演算過程**，提出相關**量化控制參數**，期待對集水區土砂治理規劃時有所助益。

壹、緒論



1.3 研究架構(1/3)

集水區土砂收支建立
及應用分析

文獻回顧

研究區域
及材料

土壤侵蝕

土壤流失

土砂遞移

土砂生產

土砂收支

本研究期待解決之課題

研究區域擇定

地文

雨量

地質

土壤

遙測影像資料

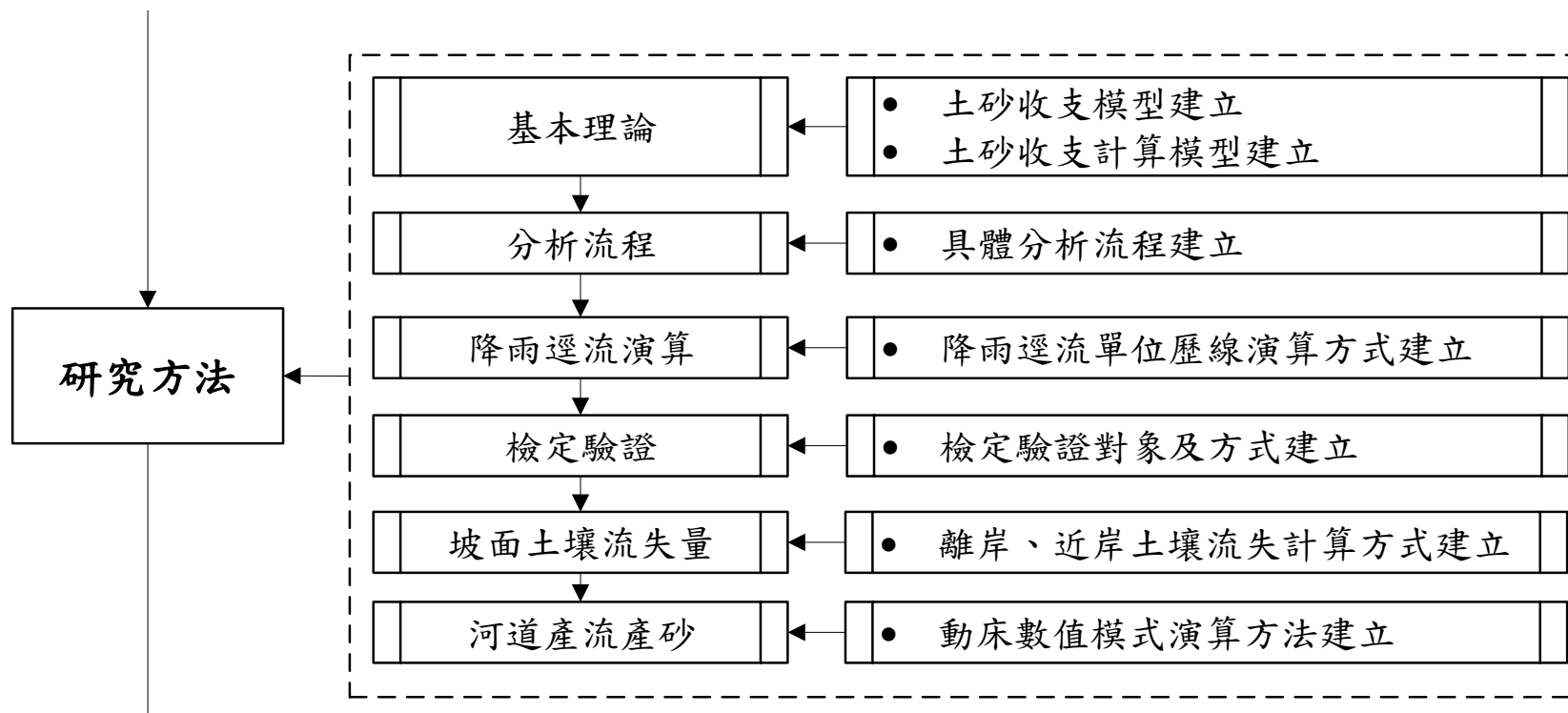
地形變遷資料

以往災害

壹、緒論

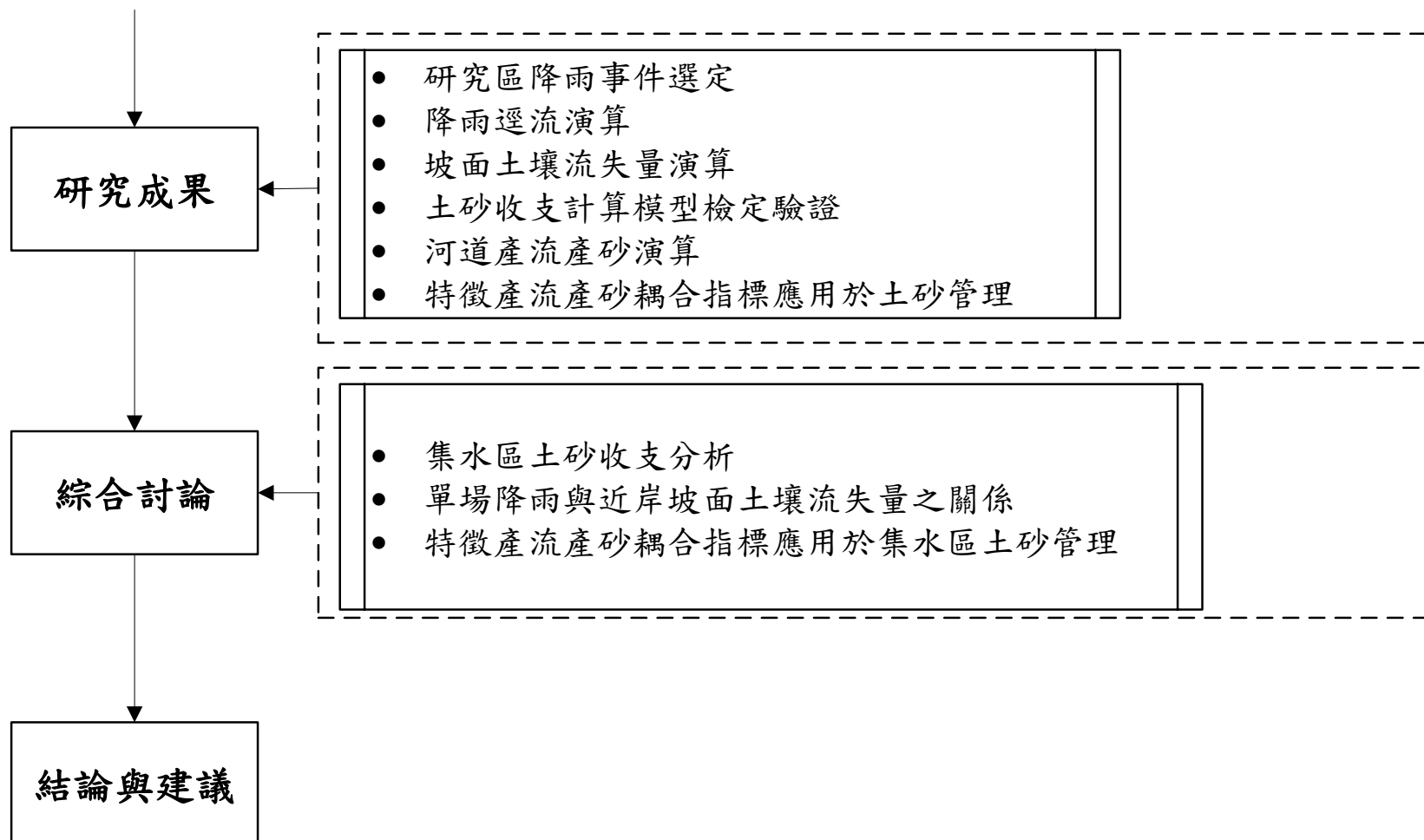


1.3 研究架構(2/3)





1.3 研究架構(3/3)



貳、文獻回顧



➤ 文獻蒐集：已完成蒐集4大類別、約49篇國內外文獻。

文獻蒐集分類	次分類	蒐集篇數
集水區土砂侵蝕及流失	表土流失量	7
	坡面崩塌量	11
集水區土砂遞移	集水區土砂遞移率	5
集水區土砂生產	河道輸砂	4
	土石流流量	1
	水庫集水區土砂流出量	1
	直接推估法	7
集水區土砂收支	數值模式法	11
	數值高程相減法	2

貳、文獻回顧



► 本研究期待解決之課題

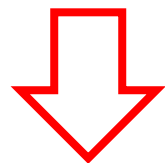
面臨課題	解決方案
1. 坡面流失之土砂自坡面系統運移至河道系統的過程，在時間空間上均具有高度不確定因素。	✓ 本研究將坡面土壤流失簡化區分為離岸坡面土壤流失區及近岸坡面土壤流失區。 ✓ 離岸坡面土壤流失運移至河道中極大部分為沖瀉載(wash load)(錢寧、1957)。 ✓ 近岸土壤流失中，對於河道沖淤變動起關鍵因素者即為近岸崩塌。
2. 實地監測資料不足之限制，在檢定驗證上仍有所不足。	✓ 本研究創新特點在於須同時符合「下游河床沖淤變動情形(土砂生產端)」及「近岸土壤流失量(土壤流失端)」二者之容許範圍，始確立本模式之合理性。
3. 過去土砂收支之成果較少考量在單一場降雨事件後，上游坡面土砂流失到底對於下游控制斷面造成何種影響。	✓ 為了能使土收支分析成果可以反應於某單一斷面沖淤變化，本研究必須尋求河道動床數值模擬的分析方案。並且應針對單場降雨之水文量與相應河道變形進行分析希望可得單一場降雨事件後，上游坡面土砂流失對於下游控制斷面(治理段)之量化分析。



3.1 研究區域挑選

➤ 本研究為探求研究區域土砂收支模型之時空演變特性，並考量本研究能量限度內，故挑選適當山坡地集水區，作為本研究之研究區域，篩選原則如下：

1. 過去具有一定遙測影像資料及地形變遷資料等。
2. 集水區土砂運移規模具有一定程度，尤其是河道變遷及近岸崩塌部分。
3. 集水區面積(尺度)適當，主支流較單純，有利於數值模式分析。



茄荖寮溪集水區

參、研究區域



3.1 研究區域挑選~茄荖寮溪集水區

- 集水區面積(尺度)適當，主支流較單純，有利於數值模式分析。





3.1 研究區域挑選~茄荖寮溪集水區

webmodel ▼



1

➤ 集水區土砂運移規模
具有一定程度，尤其是
河道變遷及近岸崩
塌部分。



Bentley

參、研究區域



3.1 研究區域挑選~茄荖寮溪集水區

webmodel ▼



2

- 過去具有一定研究基礎資料，包含遙測影像資料及地形變遷資料等。



參、研究區域



3.1 研究區域挑選~茄荖寮溪集水區

webmodel ▼

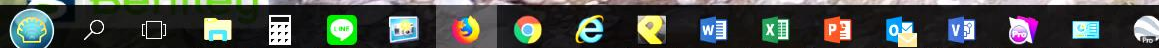


3

- 過去具有一定研究基礎資料，包含遙測影像資料及地形變遷資料等。



Bentley



參、研究區域



3.1 研究區域挑選~茄荖寮溪集水區

② bmodel ▼



4

- 過去具有一定研究基礎資料，包含遙測影像資料及地形變遷資料等。



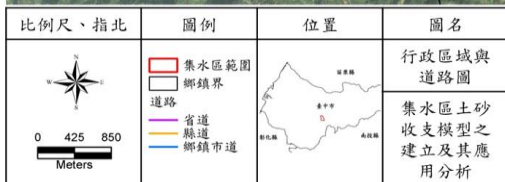
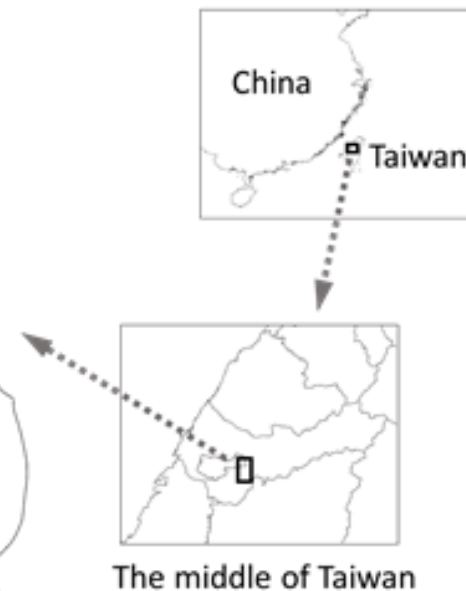
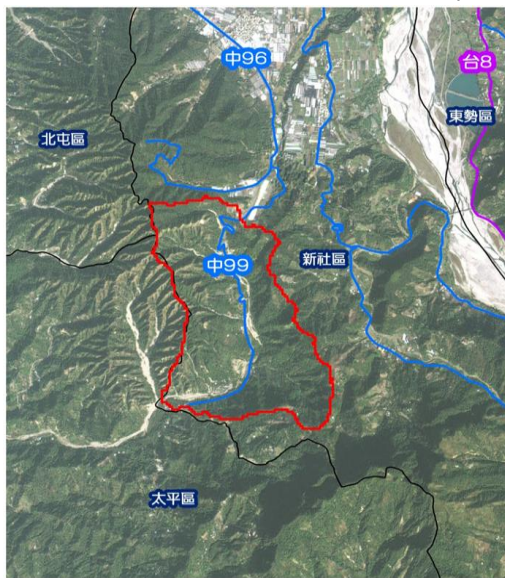
Bentley

參、研究區域



3.1 研究區域：茄荖寮溪集水區

研究區域	茄荖寮溪集水區
地理位置	臺中市新社區及太平區。
集水區面積	359.22公頃。
高程	最高高程為817公尺，最低高程為315公尺。
坡度	平均坡度為58.65%。
坡向	東南向為主，佔14.92%。
地質	西部麓山帶地質區，介於大橫屏山向斜至車籠埔斷層之間，主要由中新世的桂竹林層以及更新世的頭嵙山層組成。
雨量	年平均雨量約為2,269.5 mm。

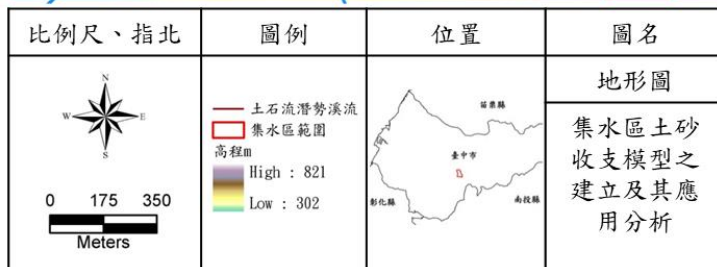
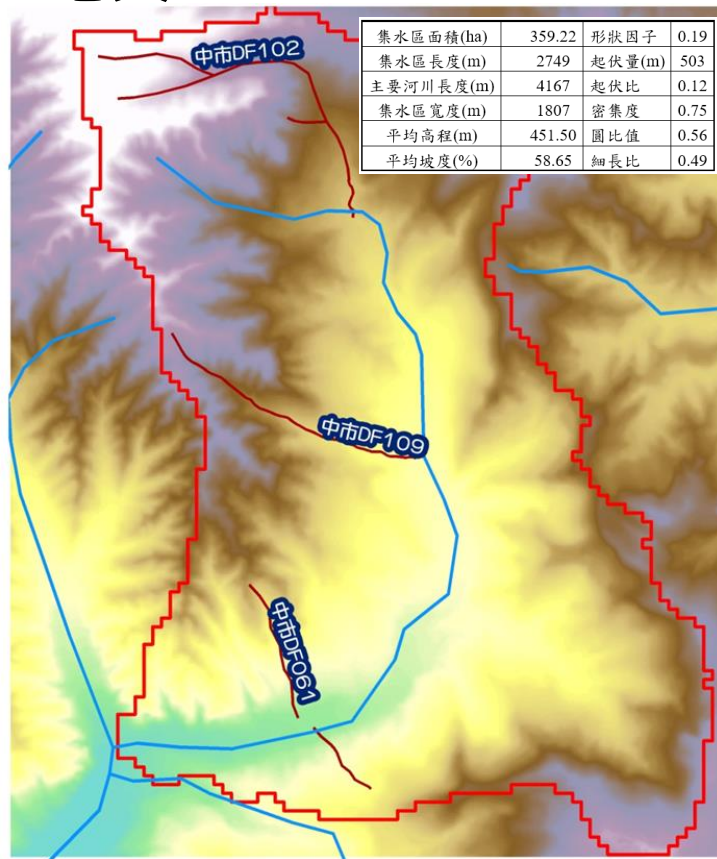


0 250 500 1,000 Meters

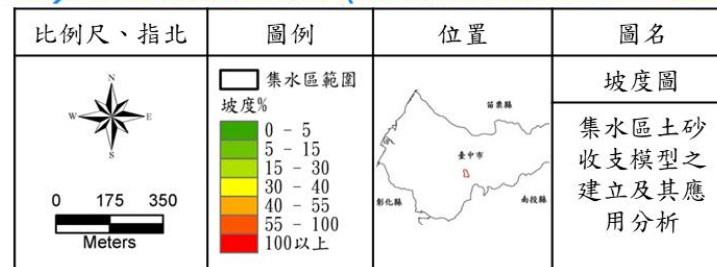
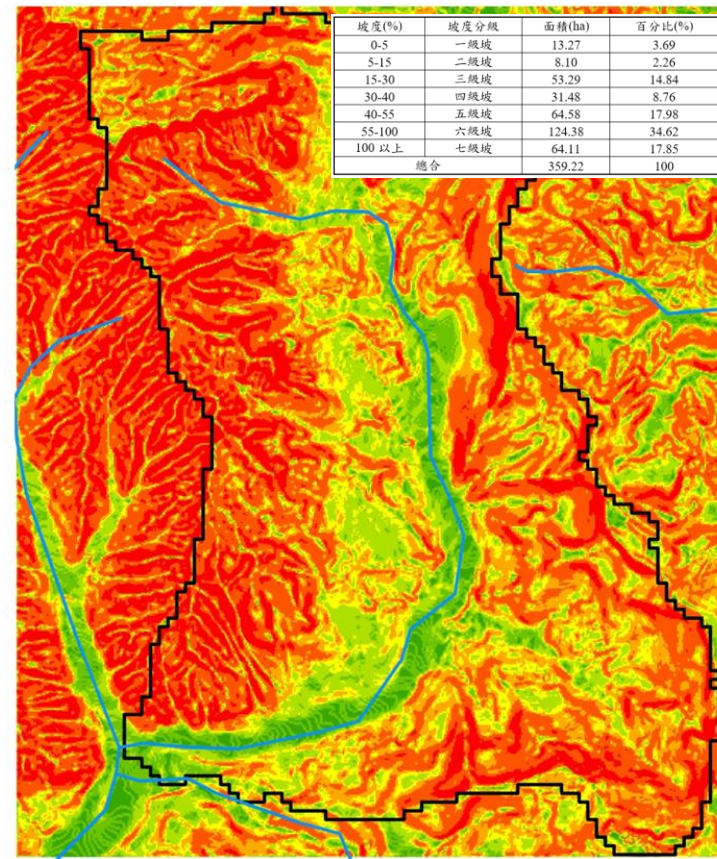
參、研究區域



3.2 地文



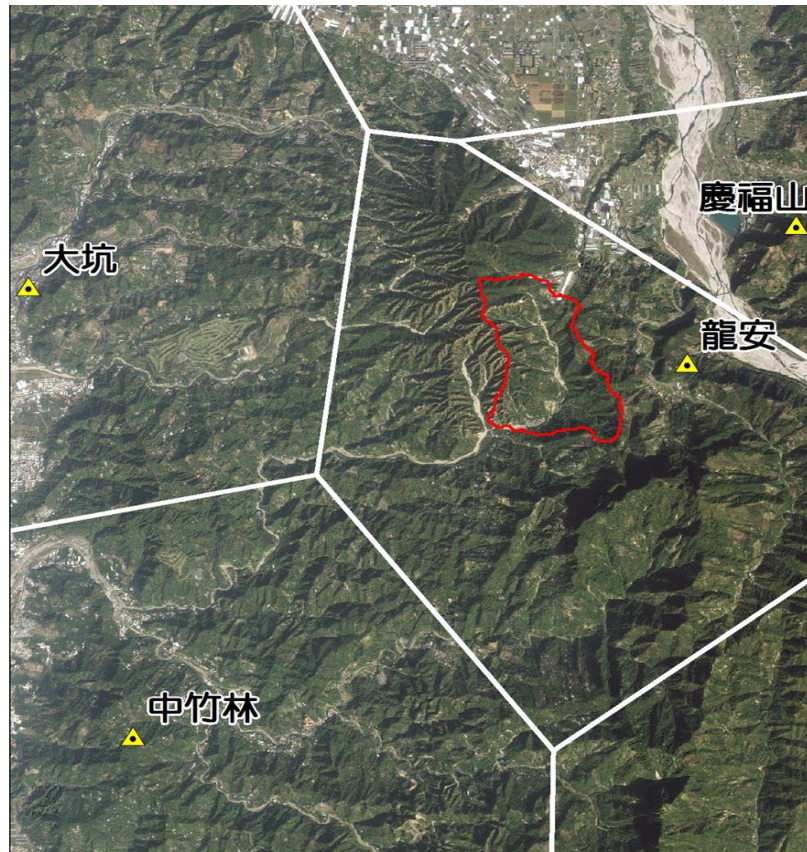
研究區域地形及水系分布圖



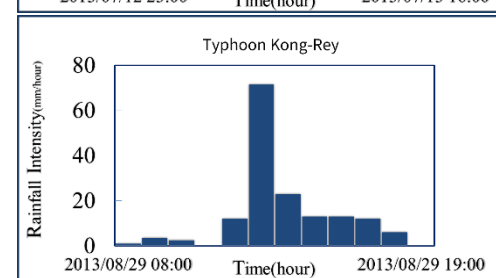
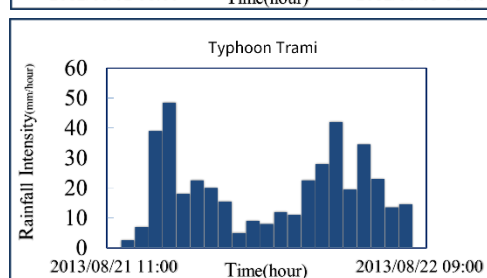
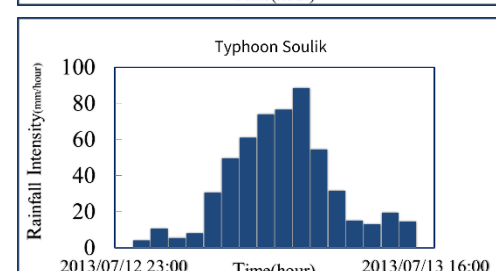
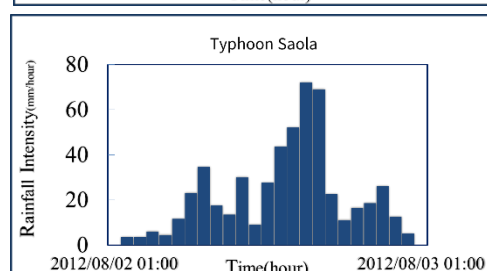
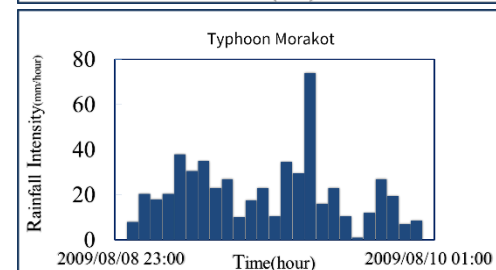
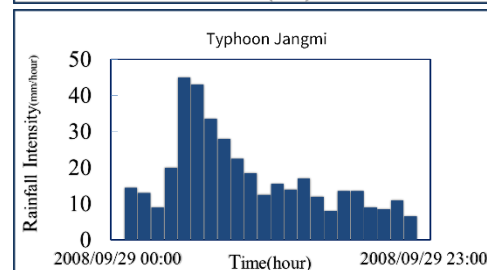
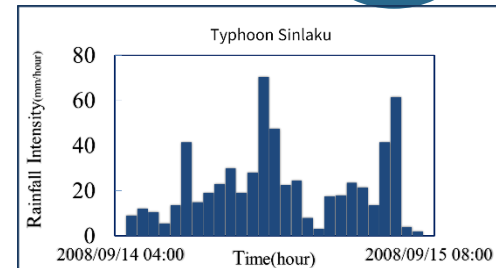
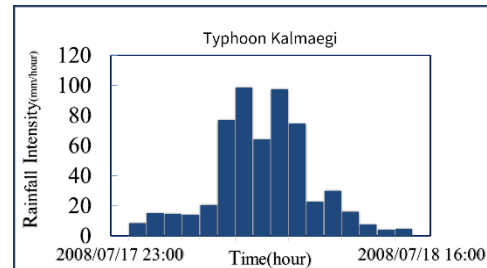
研究區域坡度分布圖



3.3 雨量資料



比例尺、指北	圖例	位置	圖名
			雨量站圖 集水區土 砂收支建 立及應用 分析



研究區域鄰近雨量站分布圖

部分颱風事件之降雨歷線

參、研究區域



3.4 地質



比例尺、指北	圖例	位置	圖名
			地質圖 集水區土砂收支模型之建立及其應用分析

研究區域地質分布圖

3.5 土壤



比例尺、指北	圖例	位置	圖名
	集水區範圍 土壤分布 暗色崩積土 淡色崩積土 石質土 紅壤		土壤圖 集水區土砂收支模型之建立及其應用分析

研究區域土壤分布圖



3.6 遙測影像資料

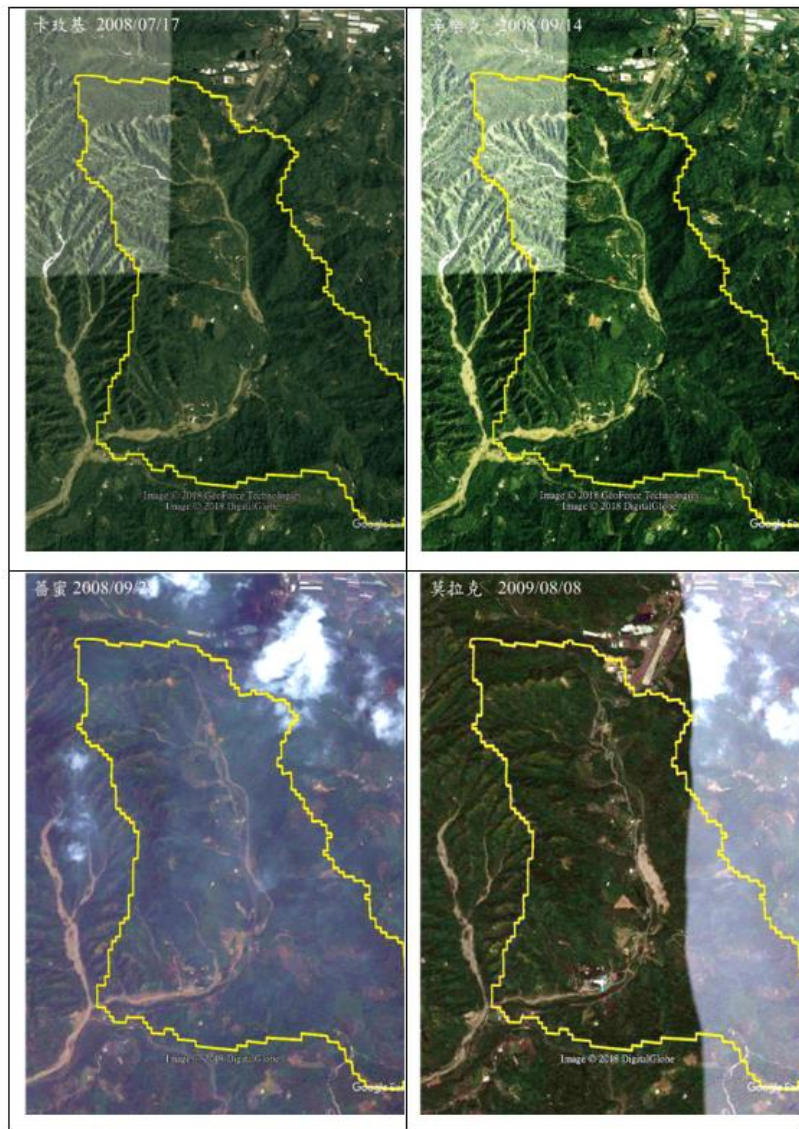


圖 3-9 研究區域 2008~2009 年 4 幅衛星影像

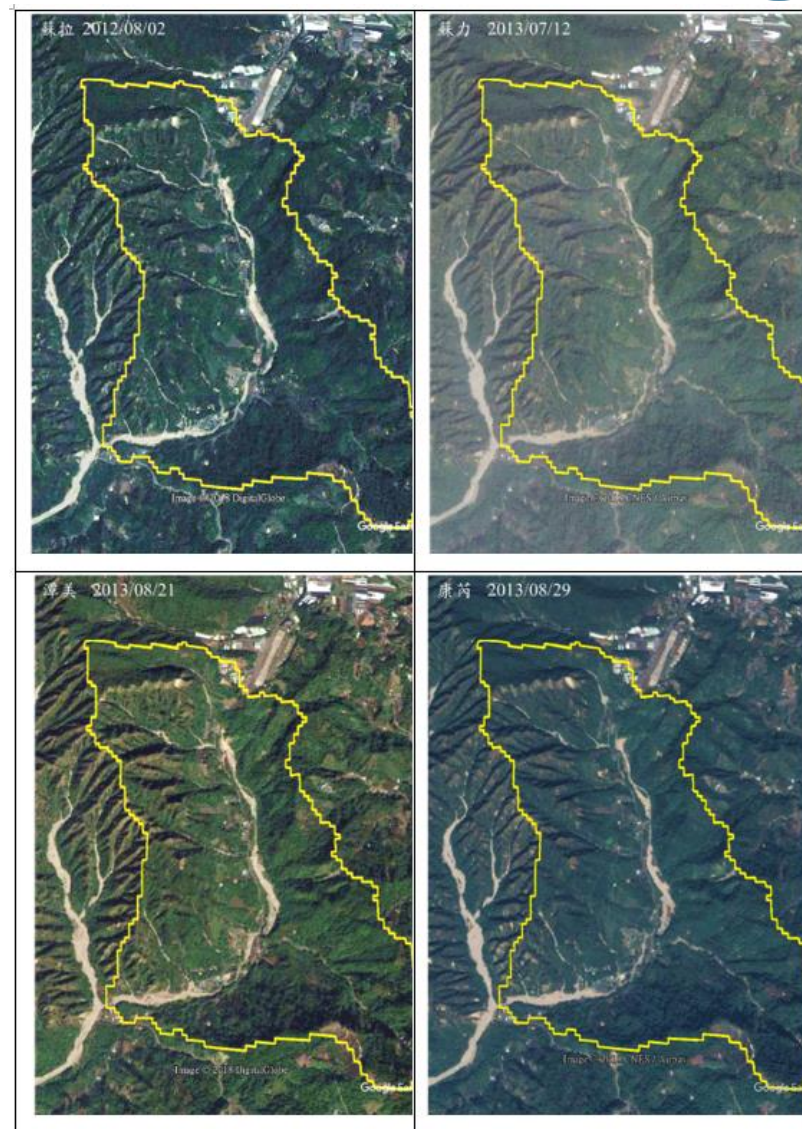


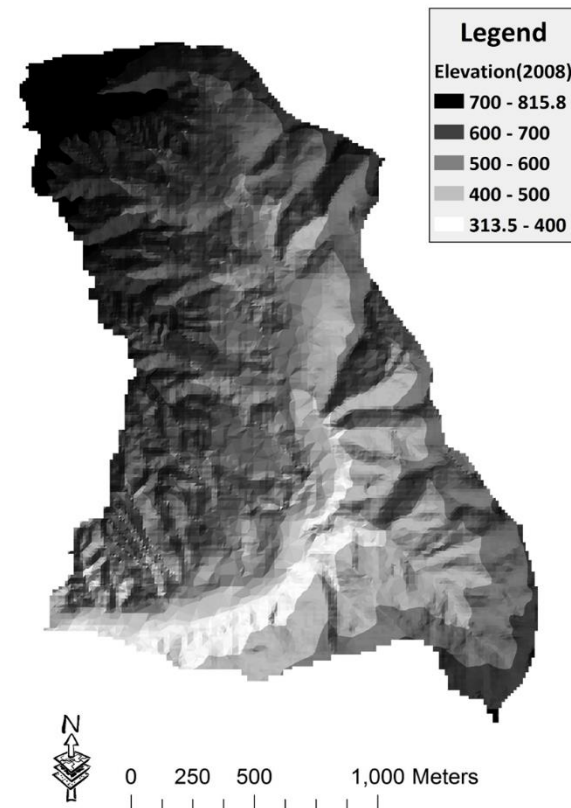
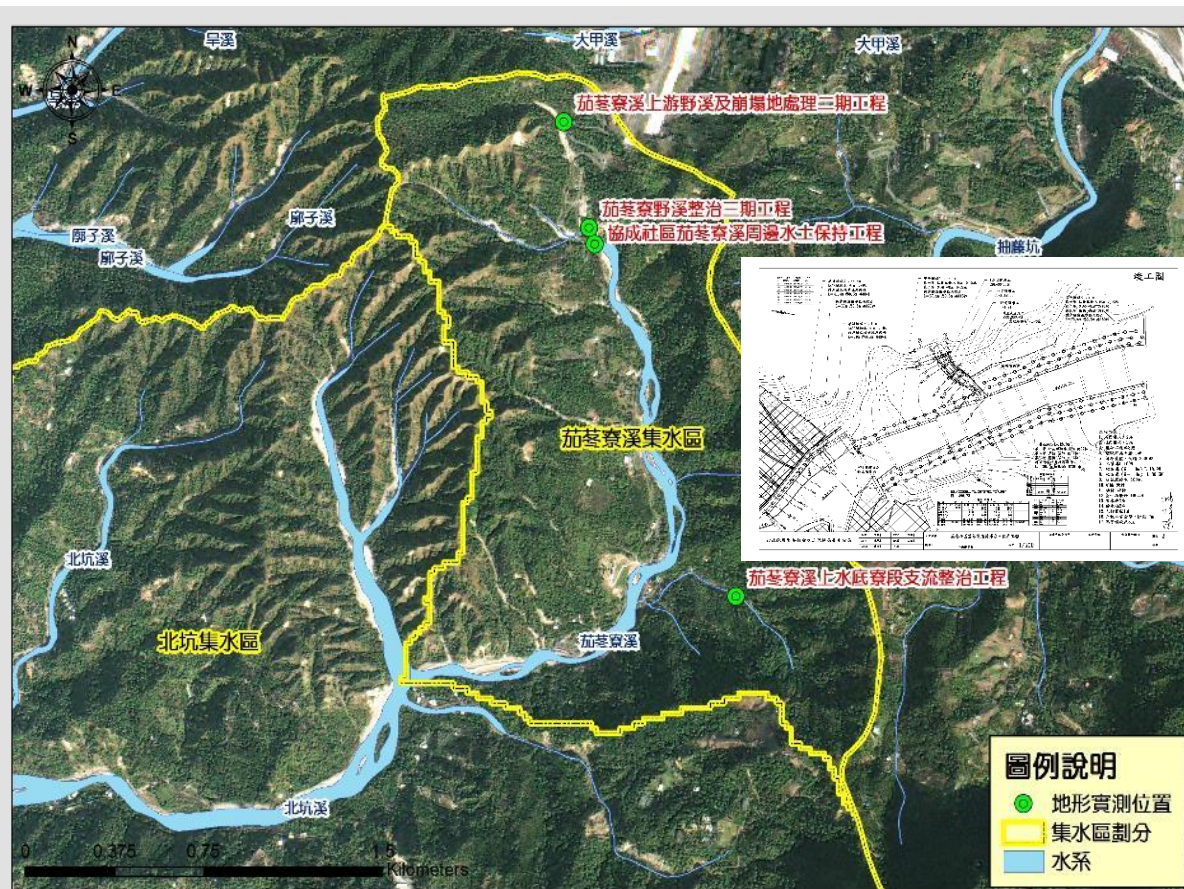
圖 3-10 研究區域 2012~2013 年 4 幅衛星影像

參、研究區域



3.7 地形變遷資料

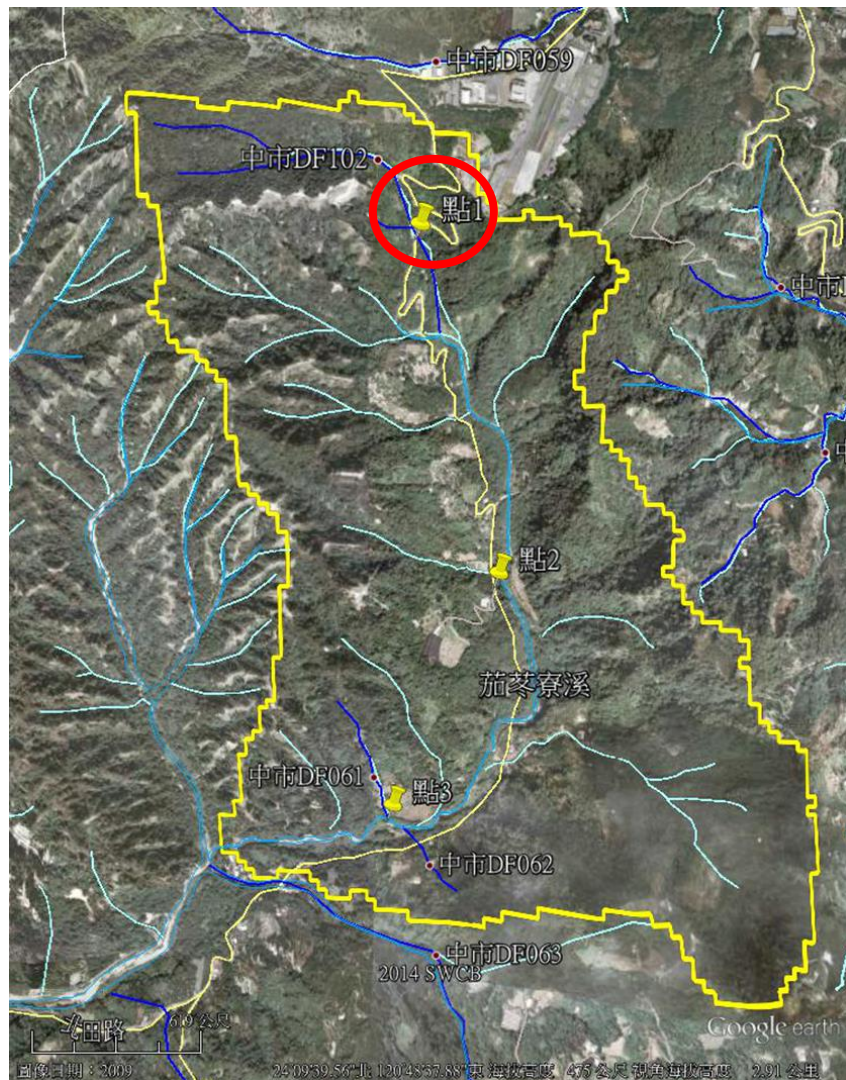
- ▶ 本研究以蒐集研究區內實測地形為主，已完成蒐集4件治理工程之實測地形圖，分布如下圖所示。所蒐集之地形料經數化後，供本研究土砂收支模式分析使用。另外，本研究亦蒐集2008及2012年內政部產製之5m×5m數值高程地形。



參、研究區域



3.8 以往災害



研究區域歷年災害分布圖

敏督利颱風(最大時雨量99mm/hr)及卡
玫基颱風(最大時雨量91mm/hr)期間，
瞬間大雨夾帶土砂向下游運移。



圖 3-10 研究區域卡玫基颱風點 1 情況

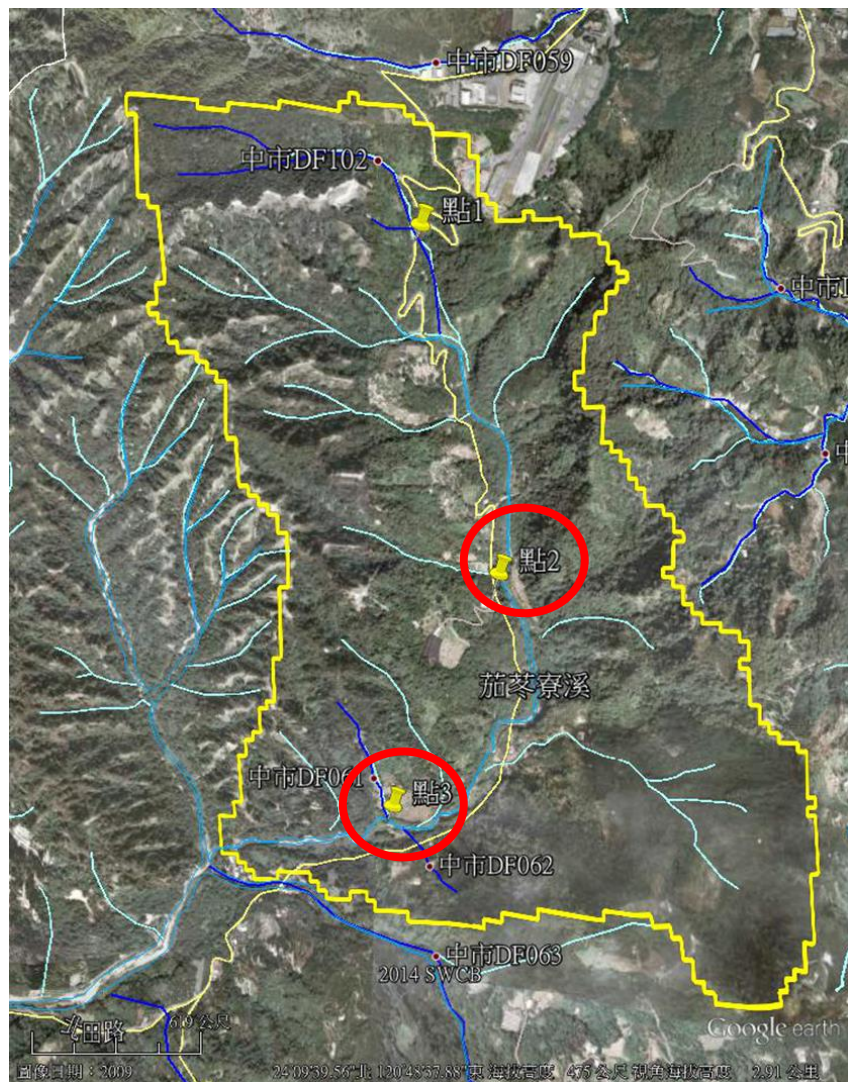


圖 3-11 研究區域敏督利颱風點 1 情況

參、研究區域



3.6 以往災害



研究區域歷年災害分布圖

近岸土砂流失及河道地形變遷情形明顯。



研究區域敏督利颱風點2情況



圖 3-13 中市 DF061 莫拉克颱風前狀況



圖 3-14 中市 DF061 莫拉克颱風後狀況

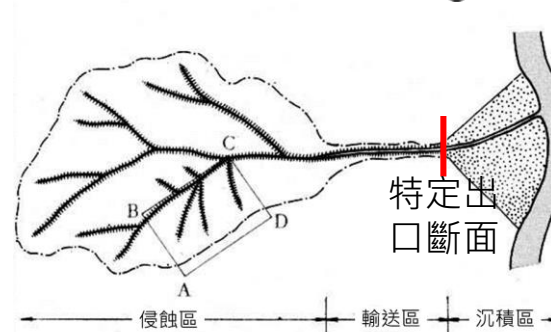
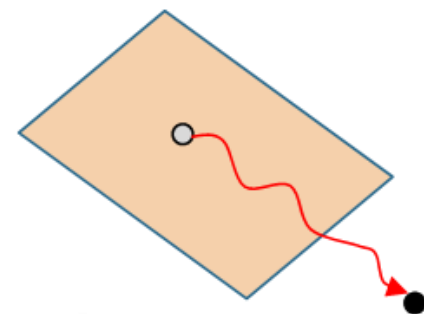
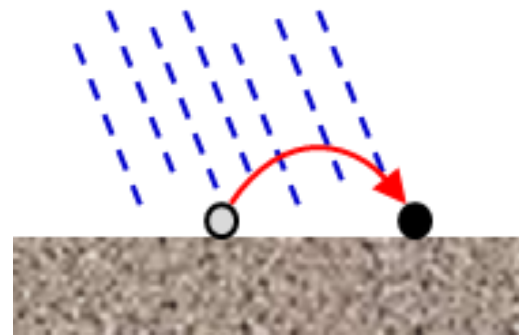
肆、研究方法



4.1 基本理論

一、土砂收支相關名詞定義

1. 土壤侵蝕量(尤指水力侵蝕量)(*Soil Erosion*)：係指在外營力(雨滴或逕流)作用下，坡面土壤分離位移的總量。
2. 土壤流失量(*Soil Loss*)：土壤侵蝕量中被輸移離開某一特定坡面的數量。
3. 土砂生產量(*Sediment Yield*)：輸移至某一流域或集水區特定出口斷面的土砂量(或輸砂量)。



肆、研究方法



4.1 基本理論 二、土砂收支模型

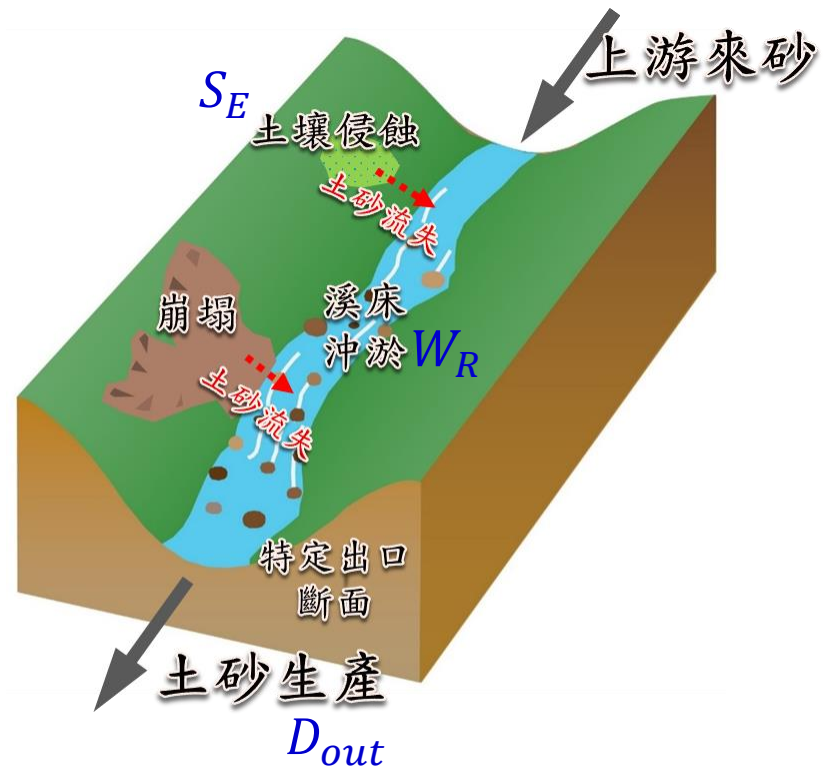
- 描述集水區土砂侵蝕、流失、殘留淤積及生產等各種複雜之物理過程，係採用質量守恆關係～土砂收支方程式 (*Sediment budget equation*)來建立它們之間的關係，即

$$S_E - W_R = D_{out}$$

S_E ：集水區各種類型土砂(壤)侵蝕量(*soil erosion*)，包括雨滴飛濺、層狀、紋溝、溝狀及崩塌等類型，以及河床冲刷量；

W_R ：集水區土砂殘留堆積量，包括殘留在坡面上，以及河道底床淤積土砂量。

D_{out} ：集水區土砂生產量(產砂量、輸砂量)(*sediment yield*)，係指在某一給定的時間內，從流域或集水區某特定出口斷面流出的總土砂量。由於土砂在沿著坡面及溪流運移的過程中，部分土砂會在集水區各個不同位置沉積下來，於是只有部分崩蝕的土砂會被帶到這個特定斷面，此部分的土砂謂之土砂生產量；





4.1 基本理論 三、土砂收支計算模型

➤ 因集水區土砂運移的不同過程互相銜接，不同的關鍵因素也相互影響，欲實現整個集水區土砂收支的定量模擬，則必須嚴選最關鍵的因素及特徵進行模型之簡化，並運用數值運算模式處理河道輸砂過程。分為三部份說明：

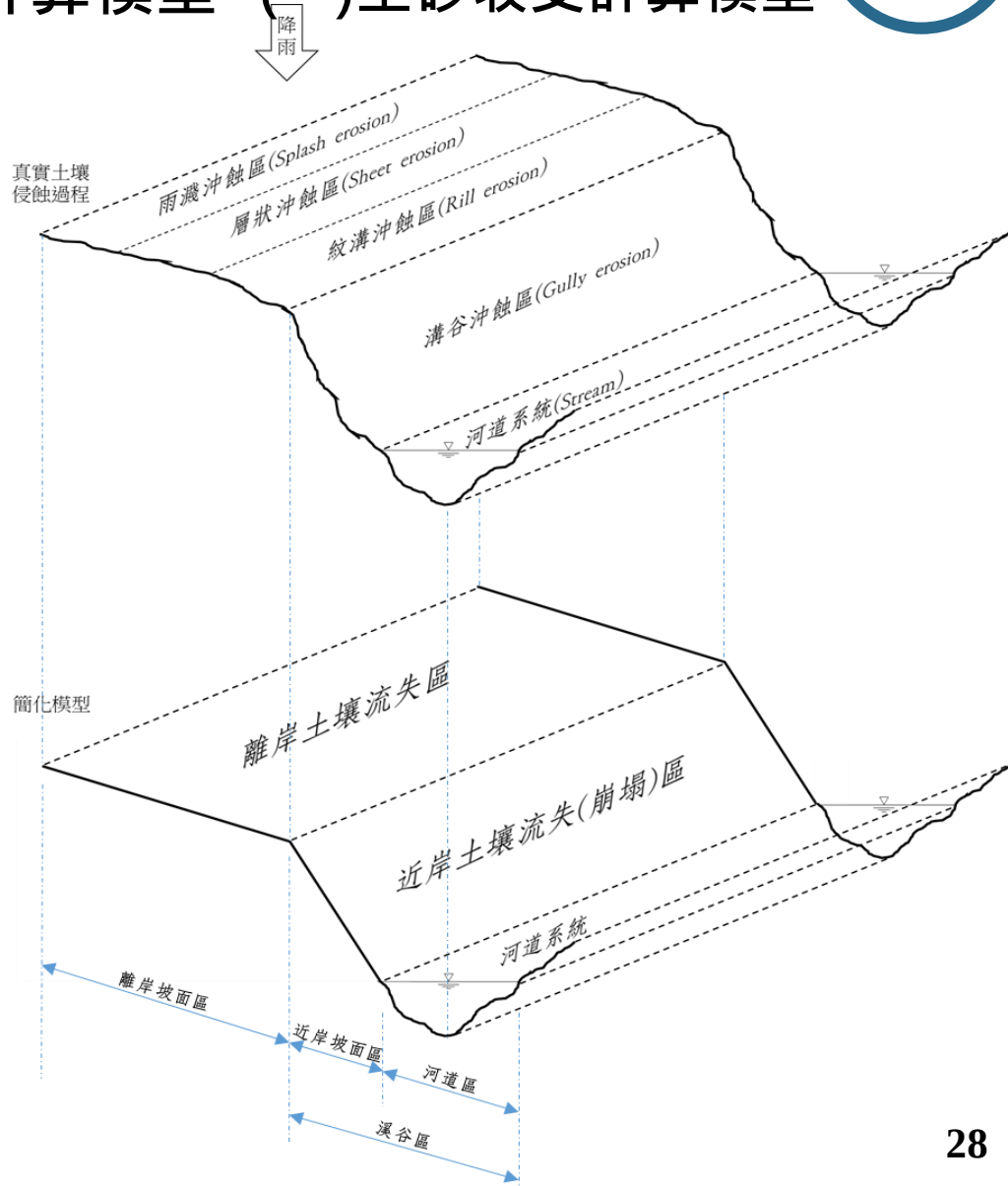
1. 集水區土砂收支計算模型
2. 坡面及河道之串聯
3. 集水區土砂收支計算模型方程式

肆、研究方法



4.1 基本理論 三、土砂收支計算模型 (一)土砂收支計算模型

- 簡化區分為離岸坡面產流產砂區、近岸侵蝕(崩塌)區及河道區。
- 離岸坡面產流產砂區對於河道而言，其侵蝕之土砂不會直接進入河道，僅以坡面逕流所能挾帶之細顆粒進入河道，屬沖瀉質，不起造床作用。
- 近岸侵蝕(崩塌)區屬於近岸侵蝕(崩塌)為主之區域(即重力侵蝕區域)，此區域所流失之土砂將直接進入河道，屬於造床土砂。
- 河道區屬於河道水砂運移區域，可以河道動床數值模式處理。



肆、研究方法



4.1 基本理論 三、土砂收支計算模型 (二)土砂收支計算模型方程式

- 集水區土砂運移模型係將集水區劃分為坡面與溪流兩大單元，本研究參考柿德市(砂防計畫論，1983)集水區土砂收支方程式可寫為

$$HS_E - HS_L = HS_R$$

$$U_{in} + (RS_L + HS_L) - RS_R = D_{out} + HS_L$$

U_{in} = 上游土砂入流量，若集水區上游為嶺線，則該值為 0；

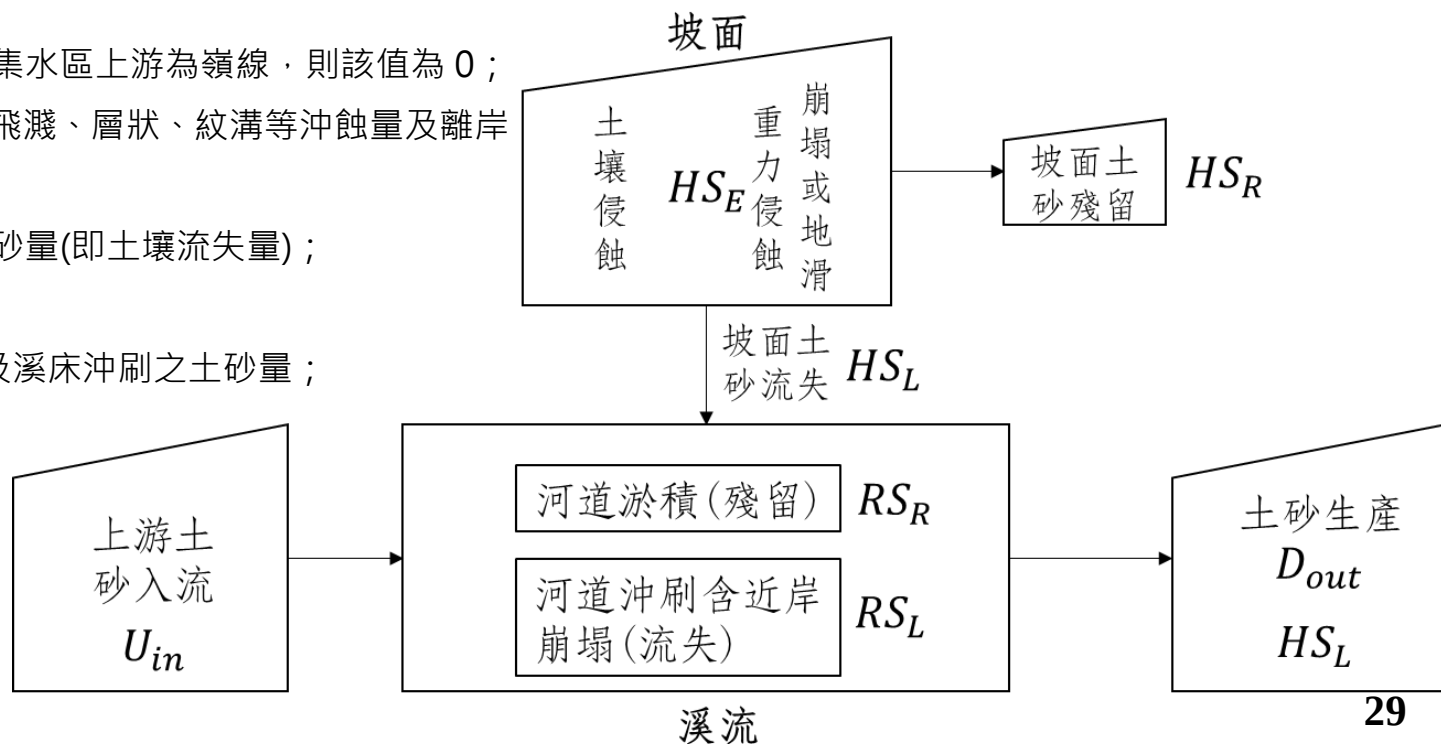
HS_E = 坡面土壤侵蝕量，含飛濺、層狀、紋溝等沖蝕量及離岸崩塌量；

HS_L = 自坡面進入河道之土砂量(即土壤流失量)；

HS_R = 坡面土砂殘留量；

RS_L = 自河道近岸(河谷區)及溪床冲刷之土砂量；

RS_R = 河床土砂堆積量。



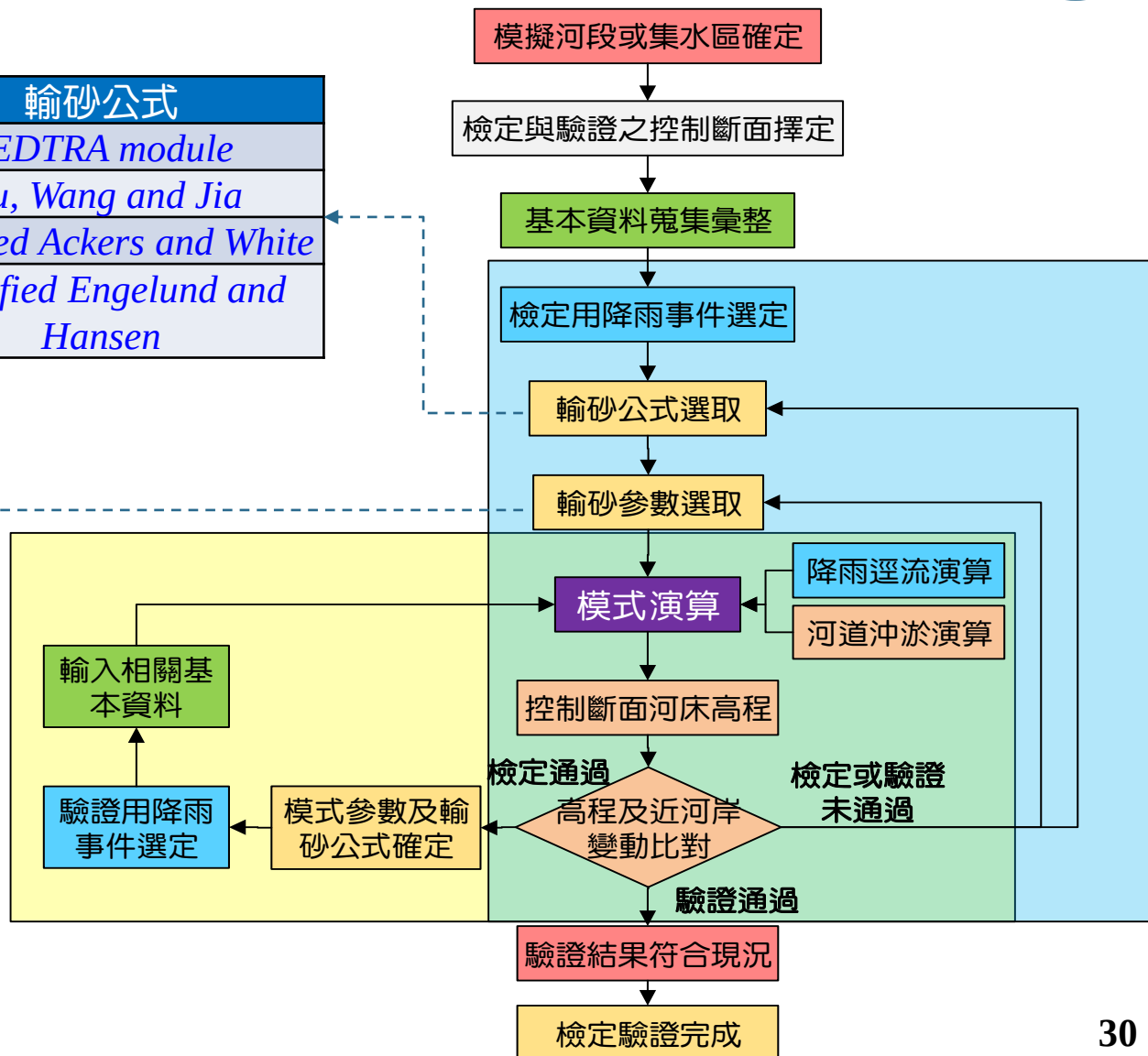
肆、研究方法



4.2 土砂收支計算模型分析流程

作者	輸砂公式
Garbrecht et al, 1995	SEDTRA module
Wu et al, 2000	Wu, Wang and Jia
Ackers&White, 1973	Modified Ackers and White
Engelund&Hansen, 1967	Modified Engelund and Hansen

輸砂參數
推移質~非平衡調適 長度 $L_{s,b}$
懸浮質~非平衡調適 長度 $L_{s,s}(\alpha\text{值})$
沖瀉質~非平衡調適 長度 $L_{s,w}$
混合層厚度 δ_m





4.2 土砂收支計算模型分析流程

土砂收支計算模型所需基本資料一覽表

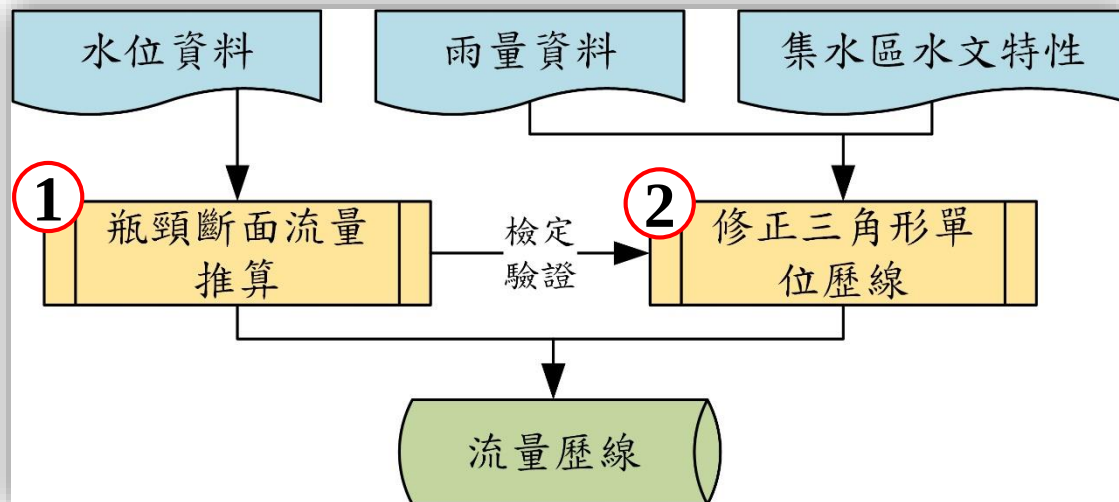
項目	用途
數值地形	1.取得集水區地文資訊，包括集水區面積、高程差及斷面形狀等，以建置集水區河道模型。 2.取得集水區之河道斷面資料，作為數值模式之檢定驗證使用。
衛星影像判釋之崩塌圖層	用以檢定驗證數值模式，評估合理近岸坡面土壤流失量。
控制斷面資料	1.控制斷面之選定係指計畫集水區相對下游之出口附近，其關鍵在於從控制點流出的水、砂量，依水、砂量變化來研判上游集水區的土砂收支與治理設施之間的關聯性。 2.用以調適集水區河道模型建置之基準高程。 3.比對颱風事件前後之高程，判斷沖淤變化。
雨量資料	1.若集水區未架設水位計，則可利用集水區地文資訊，演算其三角形單位歷線，便可配合雨量演算流量歷線。 2.作為提出降雨量與集水區土砂流失與生產關係之用。
流量資料	利用水位計所觀測之颱風期間水位資料，配合數值高程地形所取得之複合斷面資料，推估流量。
粒徑分布	以河床質採樣調查方式取得資料，於模式之粒徑組設定使用。

肆、研究方法



4.3 降雨逕流演算

集水區降雨逕流演算(*rainfall-runoff routing*)是由「降雨量」及「溪流水位」之觀測結果，應用水文相關模式模擬分析其對相應之逕流量。



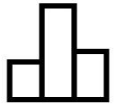
降雨逕流模式檢定驗證流程圖

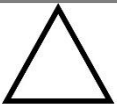
①

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

A =通水斷面； R =水力半徑； S =坡度； n =曼寧粗糙係數

②

雨量  mm

三角歷線  cms / 10mm

流量歷線  cms



4.4 土砂收支計算模型檢定驗證方式

模型參數檢定係依據多種現地調查資料及適當降雨事件，模擬分析集水區之水砂運移規律，並決定模式中各項參數包括輸砂公式及推移質非平衡調適長度(Ls,b)、懸浮質非平衡調適長度(Ls,s)、沖瀉質非平衡調適長度(Ls,w)及混合層厚度(δm)等四項參數。流程如下。

1. 降雨事件選定：選取適當之降雨事件作為模式參數檢定。
2. 降雨逕流分析：選取適當之降雨逕流模式分析，如4.3節。
3. 模式參數設定：依降雨逕流分析結果，以模式內建各參數值模擬演算，並比對各控制斷面高程之一致性，調整輸砂公式(表4-3)及四項參數(表4-4)。
4. 經多次模擬，且與各控制斷面實測平均高程比對，直到控制斷面實測平均高程趨於一致時為止，輸砂公式及各項參數予以確定。

肆、研究方法



4.5 坡面土壤流失

$$V_s = 11.8(V_{eff} \cdot Q_p)^{0.56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L \cdot S_a$$

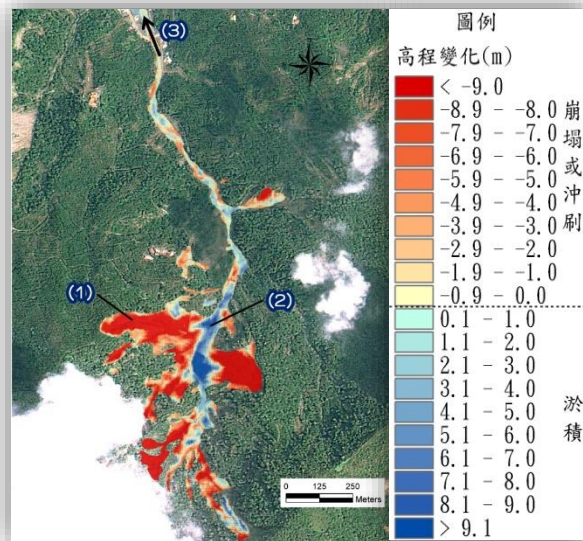
離岸土壤流失區

MUSLE

近岸土壤流失(崩塌)區

河道系統

1. 數值高程模型(DEM)相減法



2. 經驗公式法

坡面坡度(度)	國家災害科技研究中心(NCDR)	Khazai and Sitar(2000)	歐陽元淳(2002)
<30	5.0	2.0	3.75
30~40	4.0	1.5	2.75
40~60	3.0	1.0	2.00
>60	2.0	0.5	1.25

資料來源：國家災害科技研究中心(NCDR)、Khazai and Sitar(2000)、歐陽元淳(2002)

肆、研究方法



4.6 河道產流產砂

① 水流運動演算

依據迪聖凡納式(de Saint Venant)所推導的一維緩變量流方程式，考慮完整的水流連續及運動方程式，即為**動力波模式**：

$$\text{水流連續方程：} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\text{水流運動方程：} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{2A^2} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0$$

② 河道輸砂演算

以描述河道不平衡輸砂規律的**一維緩變量流輸砂**方程式為主。模擬採用**混合層理論**，解釋河床泥砂的粒徑組成改變現象

$$\text{一維緩變量流輸砂方程式：} \quad \frac{\partial(AC_{tk})}{\partial t} + \frac{\partial Q_{tk}}{\partial x} + \frac{1}{L_s}(Q_{tk} - Q_{t* k}) = q_{lk}$$

$$\text{河床質載的平衡輸砂率方程式：} \quad Q_{t* k} = p_{bk} Q_{tk}^*$$

$$\text{第 } k \text{ 組粒徑的河床演變方程式：} \quad (1 - p') \frac{\partial A_{bk}}{\partial t} + \frac{\partial(AC_{tk})}{\partial t} + \frac{\partial Q_{tk}}{\partial x} = q_{lk}$$

$$\text{河床表面的混合層級配方程式：} \quad \frac{\partial(A_m p_{bk})}{\partial t} = \frac{\partial A_{bk}}{\partial t} + p_{bk}^* \left(\frac{\partial A_m}{\partial t} - \frac{\partial A_b}{\partial t} \right)$$

伍、研究成果

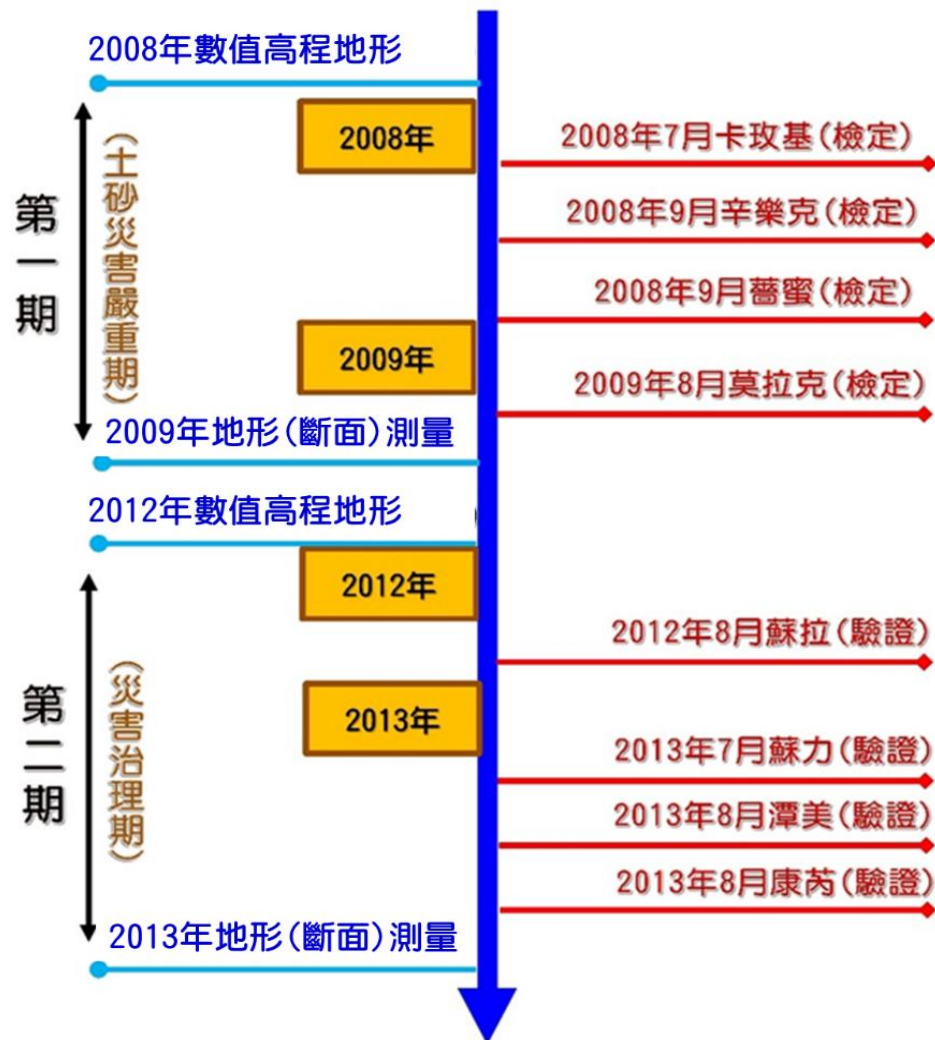


5.1 研究區降雨事件選定

經比對下，本研究採用之數值地形或斷面資料如下：

- 一、2008年內政部產製之5m×5m數值高程地形。
- 二、2009年「茄荖寮溪集水區保育治理整體調查規劃」(水土保持局台中分局)產製之大斷面資料。
- 三、2012年內政部產製之5m×5m數值高程地形。
- 四、2013年「茄荖寮野溪整治三期工程」產製之大斷面資料。

綜上，本研究以2008年至2009年期間，卡玫基、辛樂克、薔蜜及莫拉克等四場颱風降雨為檢定對象；2012至2013年，蘇拉、蘇力、潭美及康芮等四場颱風降雨為驗證對象。



伍、研究成果



5.2 降雨逕流演算

8場颱風事件之降雨逕流演算成果表

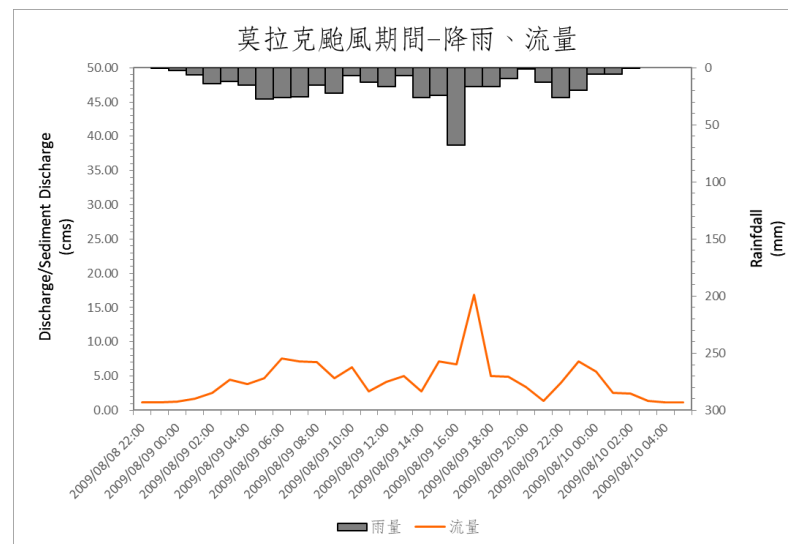
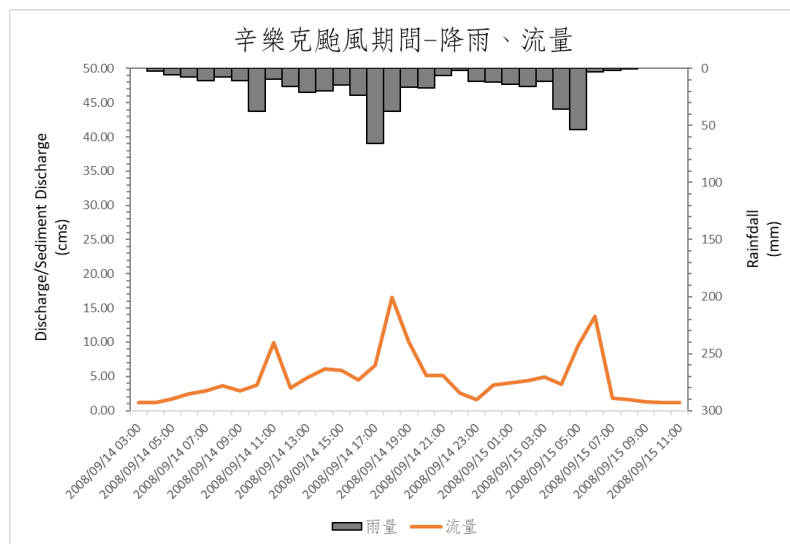
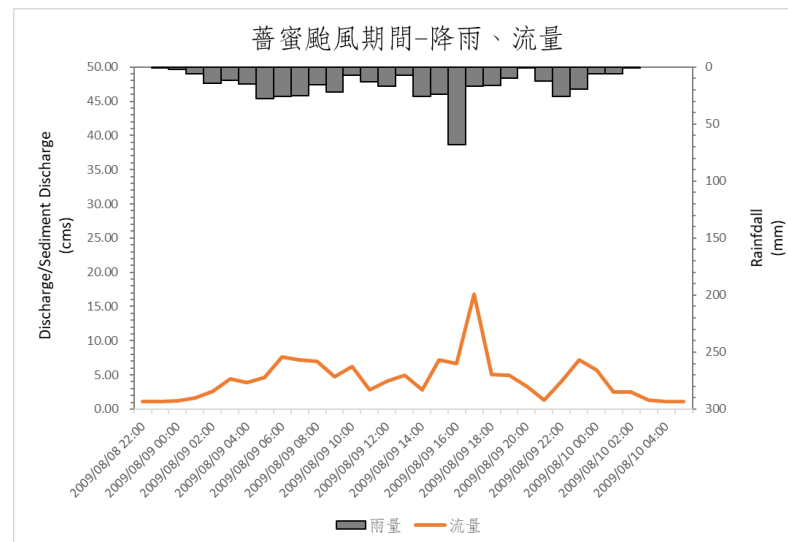
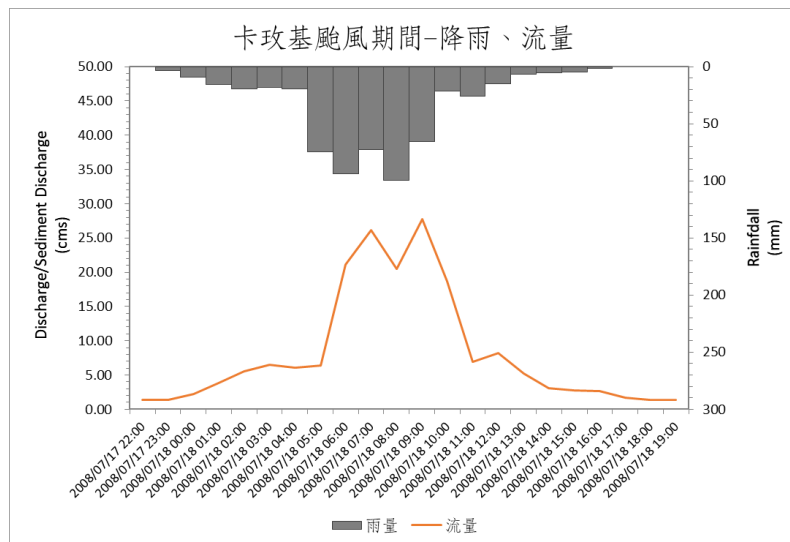
歷年颱風	有效降雨起訖時間	累積降雨 量(mm)	最大時雨 量(mm)	洪峰流量 (cms)	總逕流體 積(萬m ³)
卡玫基	2008/07/17 22:00 ~2008/07/18 17:00	571.3	99.6	27.70	180.58
辛樂克	2008/09/14 03:00 ~2008/09/15 09:00	485.7	65.5	16.60	153.54
薔蜜	2008/09/28 23:00 ~2008/09/29 23:00	338.6	36.5	9.27	107.04
莫拉克	2009/08/08 22:00 ~2009/08/10 02:00	441.3	67.8	16.87	139.49
蘇拉	2012/08/02 00:00 ~2012/08/03 02:00	553.9	59.4	16.11	175.10
蘇力	2013/07/12 22:00 ~2013/07/13 17:00	429.8	69.6	18.76	135.88
潭美	2013/08/21 10:00 ~2013/08/22 09:00	314.9	40.7	10.21	99.55
康芮	2013/08/29 07:00 ~2013/08/29 20:00	160.0	62.1	13.82	50.57

註：研究集水區面積：359.22ha。

伍、研究成果



5.2 降雨逕流演算



伍、研究成果



5.3 坡面土壤流失量

5.3.1 離岸坡面土壤流失量

表 5-3 離岸坡面土壤流失量演算表-MUSLE-第 1 期

名稱	S 因子	L 因子	$V_{eff}(m^3)$	$Qp(cms)$	K 因子	C 因子	P 因子	離岸土砂流失量(萬 m^3)	平均深度(mm)
卡玫基颱風	19.113	2.126	1,805,800	27.7	0.03	0.01	0.5	0.1053	0.2931
辛樂克颱風	19.113	2.126	1,535,400	16.6	0.03	0.01	0.5	0.0722	0.2010
薔蜜颱風	19.113	2.126	1,070,400	9.27	0.03	0.01	0.5	0.0425	0.1183
莫拉克颱風	19.113	2.126	1,394,900	16.87	0.03	0.01	0.5	0.0690	0.1921
總計								0.2890	0.8045

表 5-4 離岸坡面土壤流失量演算表-MUSLE-第 2 期

名稱	S 因子	L 因子	$V_{eff}(m^3)$	$Qp(cms)$	K 因子	C 因子	P 因子	離岸土砂流失量(萬 m^3)	平均深度(mm)
蘇拉颱風	19.113	2.126	1,751,000	16.11	0.03	0.01	0.5	0.0764	0.2127
蘇力颱風	19.113	2.126	1,358,800	18.76	0.03	0.01	0.5	0.0722	0.2010
潭美颱風	19.113	2.126	995,500	10.21	0.03	0.01	0.5	0.0431	0.1200
康芮颱風	19.113	2.126	505,700	13.82	0.03	0.01	0.5	0.0350	0.0974
總計								0.2266	0.6308

伍、研究成果

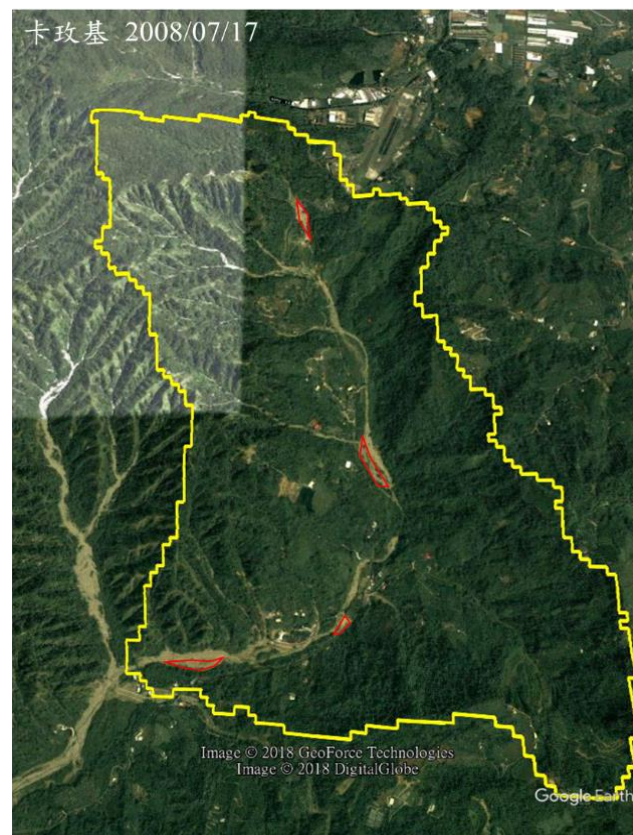


5.3 坡面土壤流失量

5.3.2 近岸坡面土壤流失量

本研究透過3.6節所蒐集之各颱風降雨事件間之衛星影像，並經由近岸崩塌區域之判釋及數化，經套疊後可得前述選定之8場降雨事件近岸崩塌分布區域，接著利用坡度經驗法計算近岸崩塌量體。

編號	歷年颱風	近岸崩塌面積(萬m ²)	近岸崩塌平均深度(m)	近岸崩塌量(萬m ³)	近岸崩塌量(萬m ³)合計
1	卡玫基	2.64	3.59	9.49	34.52
2	辛樂克	2.93	3.52	10.33	
3	薔蜜	2.24	3.33	7.47	
4	莫拉克	2.06	3.51	7.23	
5	蘇拉	1.38	3.46	4.76	10.72
6	蘇力	0.85	3.65	3.10	
7	潭美	0.53	3.65	1.94	
8	康芮	0.29	3.12	0.92	



伍、研究成果



5.4 土砂收支計算模型檢定驗證

5.4.1 檢定成果

採用2008年~2009年卡玫基、辛樂克、薔蜜、莫拉克颱風等四場颱風進行模式檢定，以數值模式內建四種輸砂公式及四項參數進行模擬，測試並尋找其中誤差最小者。

輸砂公式之模式檢定—近岸崩塌土壤流失量

檢定對象 (輸砂公式)		<i>SEDTRA module</i>	<i>Wu et al</i>	<i>Modified A.&W.</i>	<i>Modified E.&H.</i>	單位	備註
項目							
近岸崩塌面積			9.89			萬m ²	衛星判釋崩塌地圖層
合理值	近岸崩塌土壤流失深度 (平均)		3.49			m	近岸崩塌演算成果
	近岸崩塌土壤流失量		34.52			萬m ³	崩塌面積×深度
模型演算	近岸崩塌土壤流失量	37.39	45.96	28.41	40.53	萬m ³	檢定測試取得
	近岸崩塌土壤流失深度 (平均)	3.781	4.647	2.873	4.098	m	近岸崩塌量/ 面積
誤差值		8.34	33.15	-17.68	17.42	%	誤差

伍、研究成果



5.4 土砂收支計算模型檢定驗證

5.4.1 檢定成果

輸砂公式
之模式檢
定一下游
橫斷面沖
淤深度

檢定對象 (輸砂公式)	檢定項目-下游橫斷面沖淤深度		
SEDTRA module	縱斷面圖		
	橫斷面圖-下游龍泉橋處		
	橫斷面平均沖淤深度		
	實際(m)	模型演算(m)	誤差(%)
	+1.500	+1.490	-0.67

伍、研究成果



5.4 土砂收支計算模型檢定驗證

5.4.1 檢定成果

項目	設定值	說明
輸砂公式	<i>SEDTRA module</i>	在 <i>CCHE1D</i> 可選擇之四種輸砂公式中，以 <i>SEDTRA module</i> 模擬結果之沖淤分布較為均勻符合實測地形變化。
推移質非平衡調適 長度 $L_{s,b}$ (模式設定值 $1/L_{s,b}$)	<i>1500</i> (<i>0.00067</i>)	若 $L_{s,b}$ 太小，則呈現上游河段淤積多，下游淤積少之趨勢，較不合理；僅有當 $L_{s,b}$ 超過 $1500m$ 時河道整體之土砂沖刷淤積較為符合現況。
懸浮質非平衡調適 長度 $L_{s,s}(\alpha)$	<i>0.5</i>	因懸浮值對造床作用影響較低，調整本項對河道整體之沖淤變化無明顯改變。
沖瀉質非平衡調適 長度 $L_{s,w}$	<i>0</i>	由於沖瀉質粒徑非常小，鮮少與河床發生交換作用，可忽略其影響，除模擬濁度變化，一般採 0
混合層厚度 δm	<i>0.1</i>	調整本項對河道整體之沖淤分布變化無明顯改變

伍、研究成果



5.4 土砂收支計算模型檢定驗證

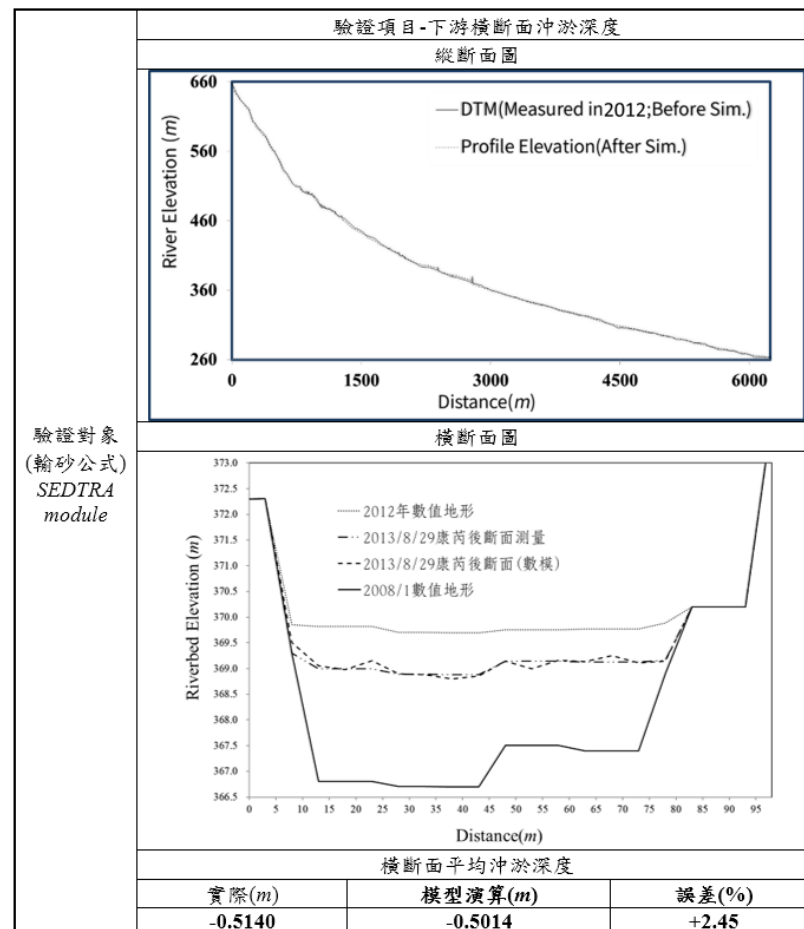
5.4.2 驗證成果

採用2012年~2013年蘇拉、蘇力、潭美及康芮颱風等四場颱風進行模式驗證，以模式檢定時最小誤差之輸砂公式 *SEDTRA module* 及前述相關參數進行模擬。溪谷區(近岸)土砂流失量及控制斷面平均沖淤深度之誤差百分比分別為-3.70%及2.45%，均介於±10%內，通過驗證。

模式驗證-下游橫斷面沖淤深度

模式驗證-近岸崩塌土壤流失量

驗證對象 (輸砂公式)		<i>SEDTRA module</i>	單位	備註
項目				
近岸崩塌面積		3.05	萬 m^2	衛星判釋崩塌地圖層
合理值	近岸崩塌土壤流失深度(平均)	3.51	m	近岸崩塌演算成果
	近岸崩塌土壤流失量	10.72	萬 m^3	崩塌面積×深度
模型演算	近岸崩塌土壤流失深度(平均)	3.38	m	近岸崩塌量/面積
	近岸崩塌土壤流失量	10.32	萬 m^3	土砂收支計算模型
誤差值		-3.70	%	誤差

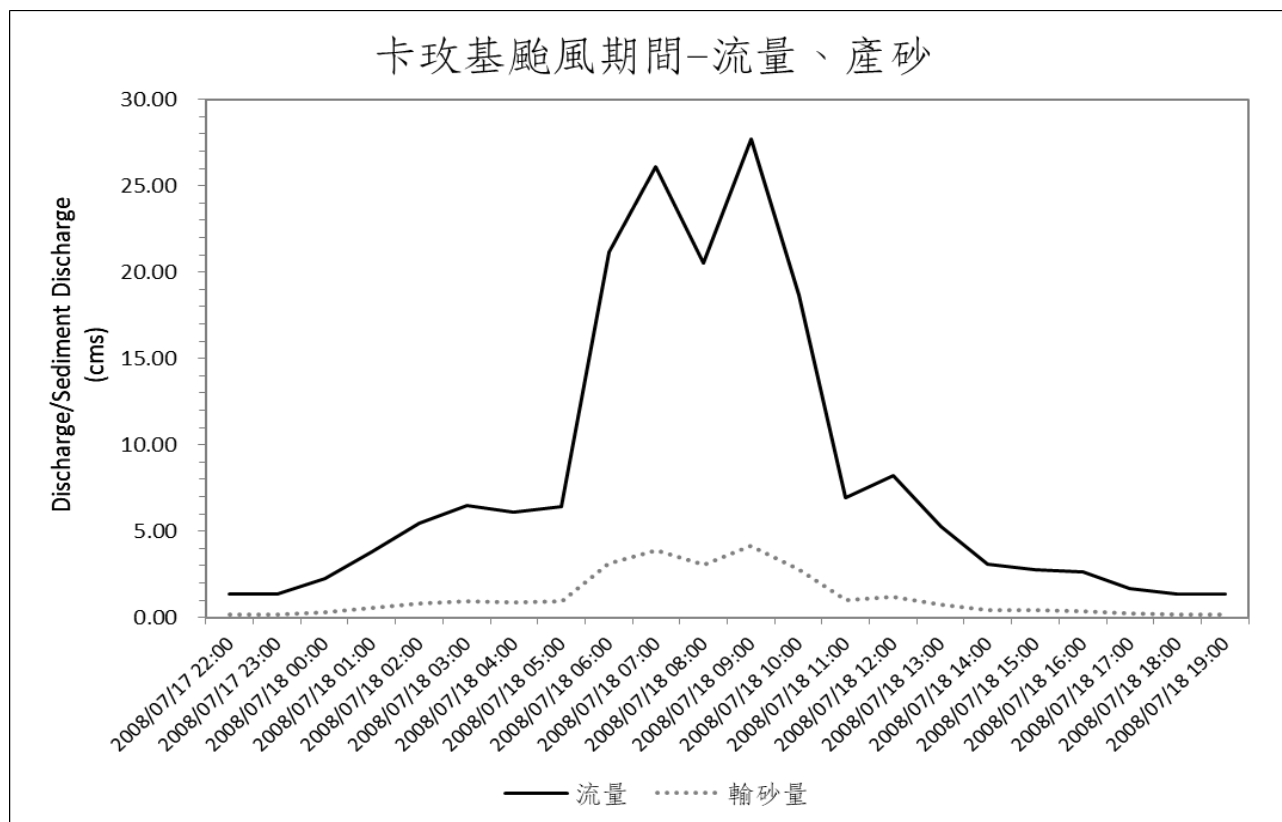


伍、研究成果



5.5 河道產流產砂

以 *CCHE1D* 演算模式兩期之河道產流產砂，其產砂量以檢
定驗證完成之 *SEDTRA module* 輸砂公式結果為主，分別計
算8場颱風之流量歷線及產砂歷線。



河道產流產砂歷線~以卡玫基颱風為例



5.6 特徵產流產砂耦合指標應用於土砂管理

5.6.1 集水區特徵產流產砂耦合指標(CI_{RS})

- 經由前述本研究區土砂收支成果，以及對於土砂收支之瞭解，集水區的產水、產砂對於主流下游河道沖淤過程產生了關鍵性的影響。而本研究區主要產水即單場降雨產生之地表逕流；主要產砂即以近岸土砂流失(崩塌)為主。因此，在此產水、產砂之間的關係，可以稱為集水區特徵產流產砂耦合指標。即在某特定水文事件中主要產砂量(近岸土砂流失)與主要產水量(單場降雨產生之地表逕流)之比。

$$CI_{RS} = \frac{O_{V,m}}{Q_{W,m}}$$

CI_{RS} = 集水區特徵產流產砂耦合指標；

$O_{V,m}$ = 主要土砂來源區之土砂流失量(m^3)，本研究以近岸土砂流失(崩塌)為主；

$Q_{W,m}$ = 主要逕流來源區之逕流量(m^3)，本研究以集水區各單場降雨所造成之總逕流體積為主

伍、研究成果



5.6 特徵產流產砂耦合指標應用於土砂管理

5.6.2 集水區特徵產流產砂耦合指標(CI_{RS})之分析

8場颱風特徵產流產砂耦合指標(CI_{RS})及對應斷面沖淤深度分析表

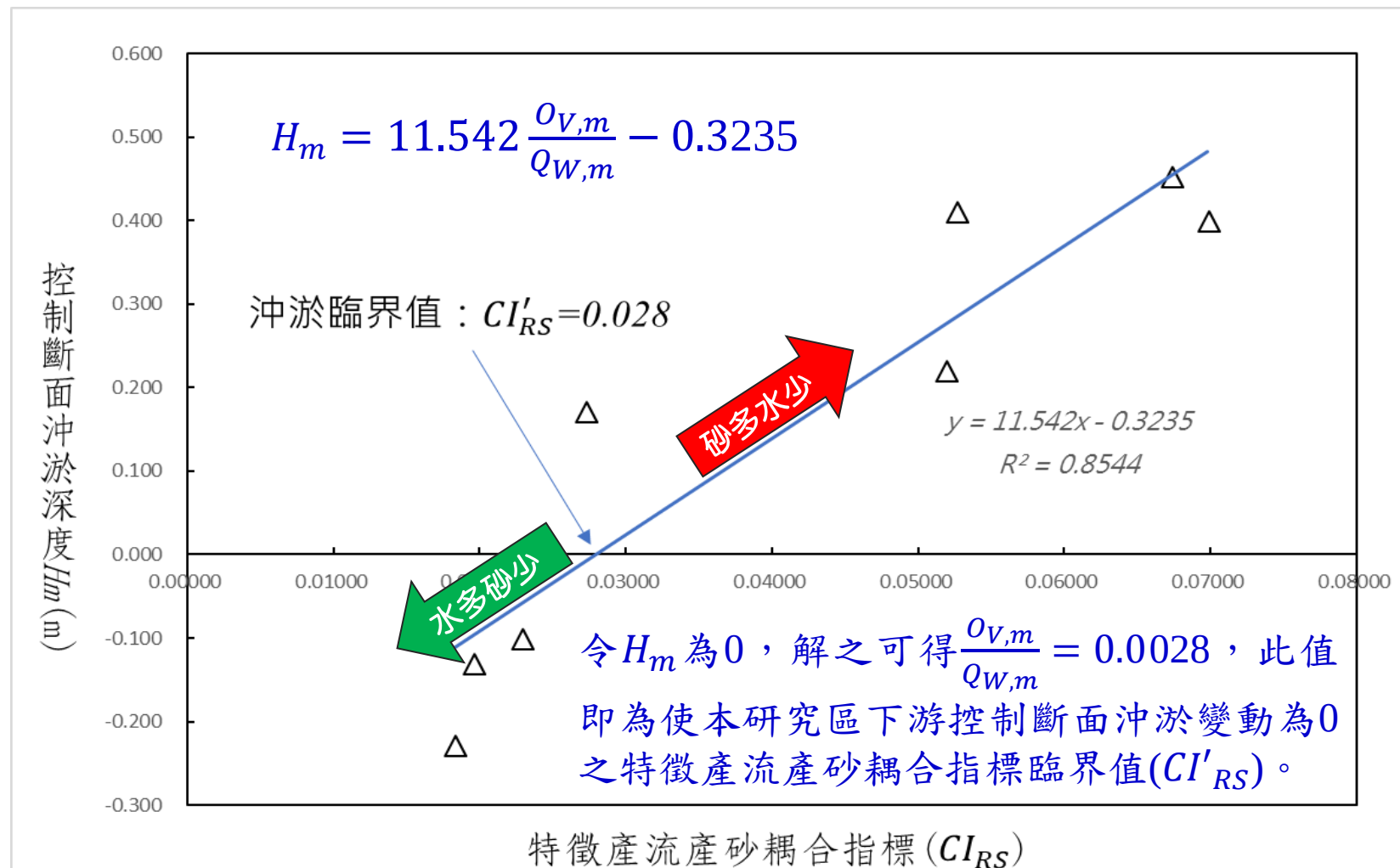
編號	歷年 颱風	近岸崩塌量 $O_{V,m}$ (萬 m^3)	總逕流體積 $Q_{W,m}$ (萬 m^3)	特徵產流產砂 耦合指標(CI_{RS})	控制斷面沖淤 深度 H_m (m)
		①(表 5-5)	②(表 5-2)	①/②	③(表 5-11)
1	卡玫基	9.49	180.58	0.05255	0.412
2	辛樂克	10.33	153.54	0.06728	0.455
3	薔蜜	7.47	107.04	0.06979	0.401
4	莫拉克	7.23	139.49	0.05183	0.222
5	蘇拉	4.76	175.10	0.02718	0.173
6	蘇力	3.10	135.88	0.02281	-0.098
7	潭美	1.94	99.55	0.01949	-0.128
8	康芮	0.92	50.57	0.01819	-0.226

伍、研究成果



5.6 特徵產流產砂耦合指標應用於土砂管理

5.6.2 集水區特徵產流產砂耦合指標(CI_{RS})之分析

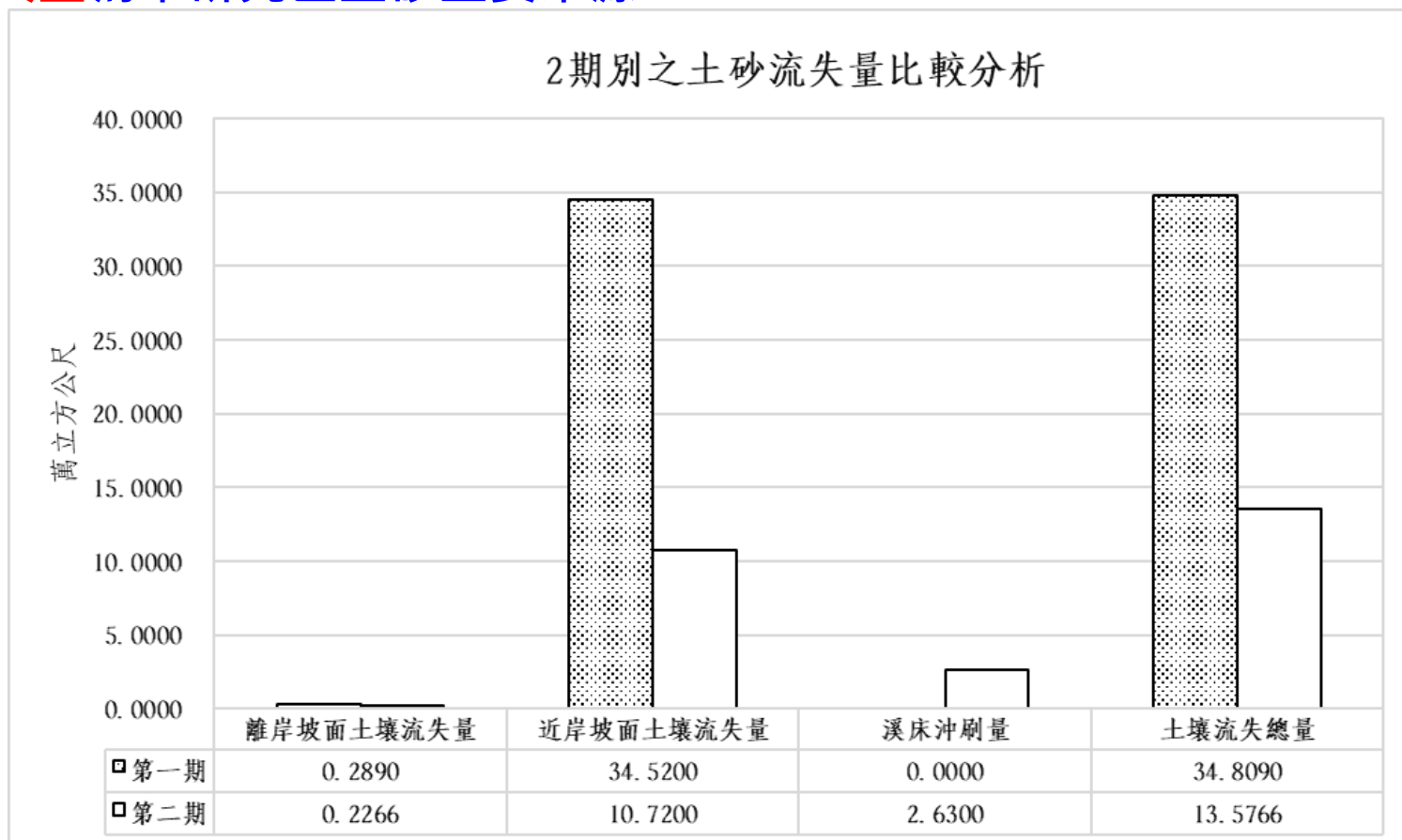




6.1 集水區土砂收支分析

一、在土壤流失量方面：

以近岸坡面土壤流失量比重最高，第一期(2008~2009年)佔99.17%，第二期(2012~2013年)佔78.96%，顯示研究區於此二期期間近岸坡面土壤流失量為本研究區土砂主要來源。





6.1 集水區土砂收支分析

二、在溪床沖淤方面：

- ① 第一期(2008~2009年)溪床淤積24.97萬 m^3 (平均淤積深度為3.04m)。
- ② 第二期(2009~2013年)溪床淤積 4.01萬 m^3 (平均淤積深度為0.55m)。
- ③ 溪床平均變動比約為5 : 1，顯示在此二期間溪床沖淤程度上有著明顯之差距，可以歸咎於兩個因素：
 - A. 第一期之土砂生產總量與第二期之比約為2.5 : 1，故河道系統接收坡面系統輸出之土砂亦高，直接助長溪床淤積程度。
 - B. 因第一期包含卡玫基、辛樂克及薔薇颱風後，相關單位針對本研究區進行相關整治工作產生之防砂效益。

溪床平均沖淤變動分析

期別	溪床沖淤量 (萬 m^3)	溪流長度 (m)	溪流平均寬度 (m)	整體河道平均 沖淤深度(m)	溪床平均 沖淤變動 百分比(%)
	A	B	C	D=A/B/C	E=D/C
第一期	249,700	4,170	19.67	3.04	15.48
第二期	40,100	4,170	17.47	0.55	3.15



6.1 集水區土砂收支分析

三、在防砂治理效益方面：

- ① 無因次處理：將分析之各土砂量除以演算期間之降雨總體積。
- ② 針對此二期之無因次土砂量進行比對：
 - A. 近岸坡面土壤流失量：減少60.65%。
 - B. 土壤流失總量：減少50.58%。
 - C. 土砂生產量：減少10.67%。
- ③ 上述3個無因次指標因已考量降雨對土砂量之影響，故其產生的土砂流失或生產之減低可視為相關整治工程之效果。
- ④ 在此亦可說明，防砂效益係防砂設施於生命週期中，相較於未實施防砂設施時之總防砂量的年均值，即其為一相對指標，而非絕對指標。

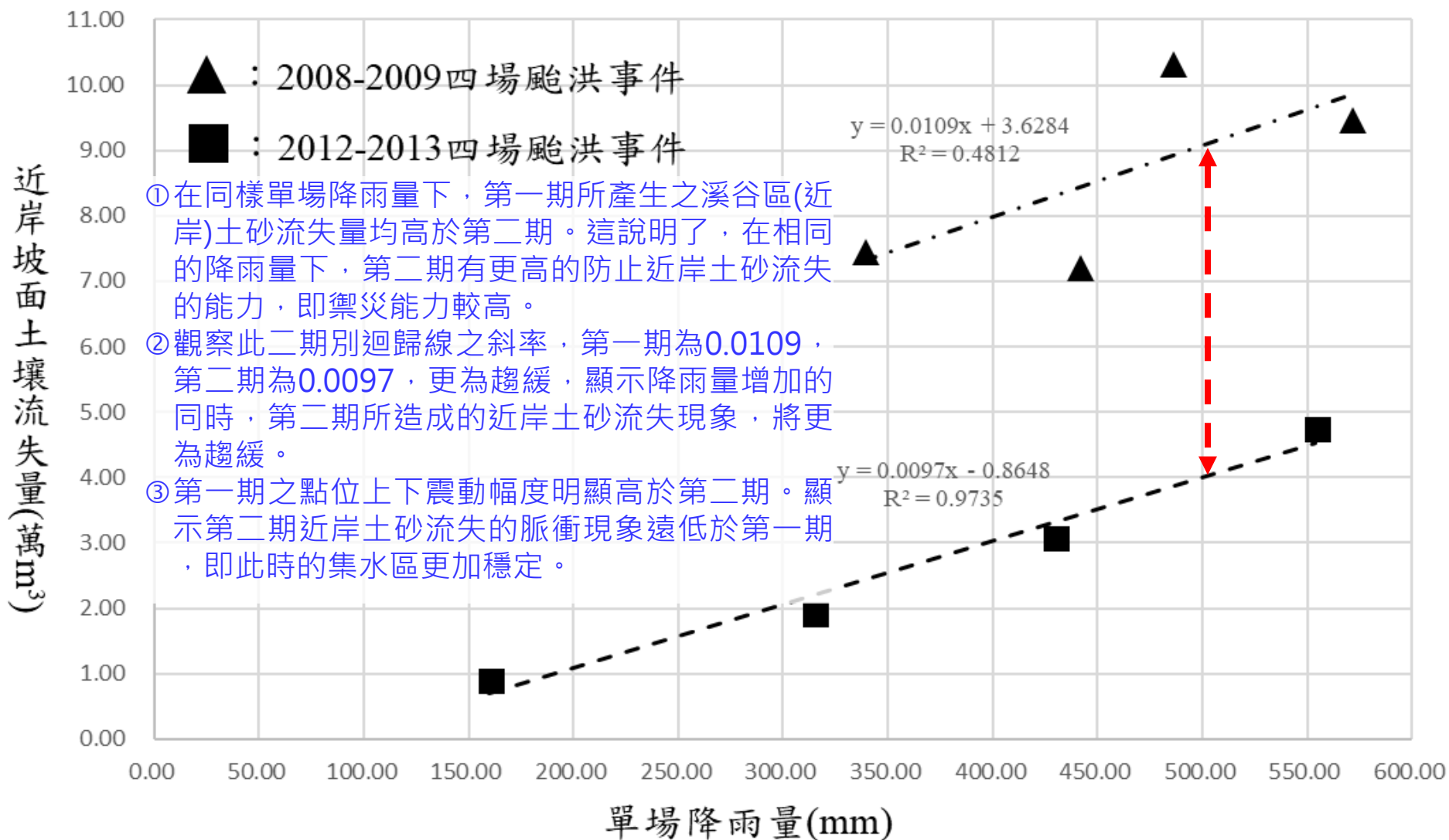
無因次土砂量分析表

溪流名稱	項目(m ³ / m ³)	第一期	第二期	減少比(%)
茄苳寮溪	無因次溪谷區土砂流失量	0.0457	0.0180	60.65
	無因次土砂流失量	0.0460	0.0228	50.58
	無因次土砂生產量	0.0130	0.0116	10.67

陸、綜合討論

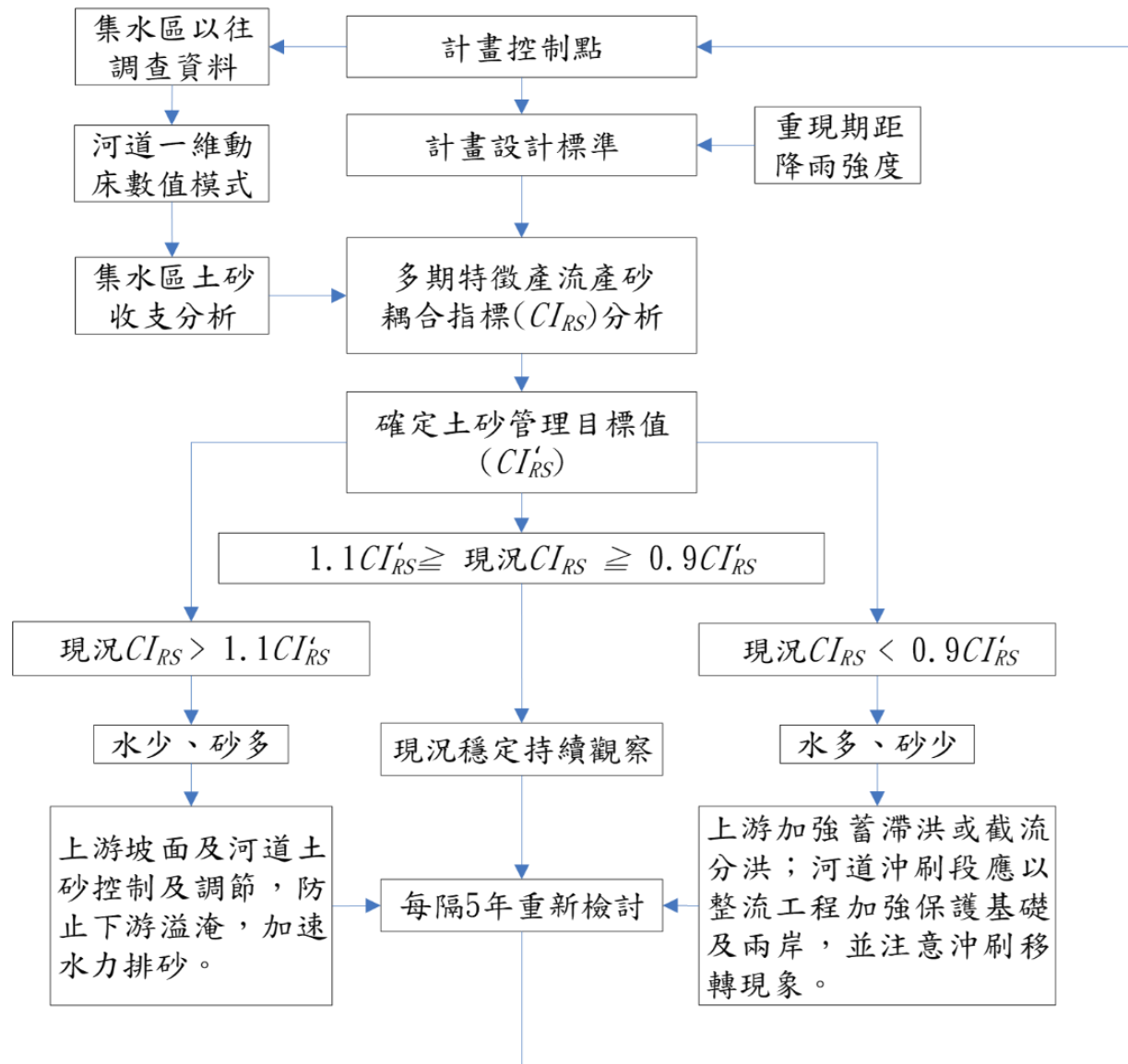


6.2 單場降雨與近岸坡面土壤流失量之關係





6.3 特徵產流產砂耦合指標應用於集水區土砂管理





7.1 結論

1

本研究建立一集水區**土砂收支計算模型**，包含其理論架構、分析流程及檢定驗證成果，以茄荖寮溪集水區為例進行2個期別、8場颱風降雨之演算，成果顯示具一定成效。本模型之特色在於經過合理簡化後之土砂收支各量體均**具體可求**，並經過檢定驗證其合理性，為兼具**重複性操作**及數據合理性之模型。

2

本研究區於第一期2008~2009年之4場颱風事件及第二期2012~2013年之4場颱風事件，其土砂流失比重較高者均為近岸崩塌量。尤其以第一期近岸崩塌量佔全該時期土砂流失量達99.17%為最，第二期亦達78.96%。這顯示**近岸崩塌**為造成本研究區河道沖淤變動之主角。

3

本研究區於第一期(2008~2009年)溪床(平均淤積深度為3.04m、第二期(2012~2013年)平均淤積深度為0.55m。溪床平均變動比約為5:1，這與第一期土砂流失量為第二期之2.5倍有直接關聯。第二個原因**可歸咎於相關單位針對本集水區進行相關整治工作產生之防砂效益**。



7.1 結論

4

以本研究之土砂收支分析成果為基礎，模式演算期間之降雨規模作為基值進行**無因次分析**。在近岸坡面土壤流失量方面，減少了60.65%、在土砂流失總量方面減少了50.58%及在土砂生產量方面減少了10.67%。上述無因次指標因已考量降雨對土砂量之影響，故其產生的土砂生產或流出之減低效益可視為相關整治工程之效果。

5

本研究提出「**集水區特徵產流產砂耦合指標**($CI_{RS} = \frac{O_{V,m}}{Q_{W,m}}$)」，並經過2期、8場颱風降雨事件的土砂收支演算，建立歷次颱風後下游斷面變化沖淤深度變化之關聯 $H_m = 11.542CI_{RS} - 0.3235$ 。令等號左邊惟0則可得特徵產流產砂耦合指標臨界值($CI'_{RS} = 0.028$)。經由現況 CI_{RS} 與 CI'_{RS} 之比對，即可瞭解目前集水區水、砂之間消長情形，進而給予後續之治理策略。



7.2 建議

1

缺乏各單場降雨事件(颱風事件)後之實測斷面或精細地形，僅能以4期之實測地形，配合本研究之土砂收支計算模型推估其他單場降雨後之河道地形變動，較為可惜。因此，可建議相關單位，針對全台山區重要野溪，可於**一定規模以上之單場降雨事件後，即進行精細地形之建立**，以累積研究實測數據。

2

本研究提出特徵產流產砂耦合指標(CI_{RS})之分析方式，及初步研究成果，但仍建議後續**持續於本研究區進行相關水文、地文監測，以持續計算各單場降雨事件之 CI_{RS} 值，並與 CI'_{RS} 進行比較，以利實際應用面之推廣。**



報告完畢
恭請指正