

國道路廊對沿線集水區地表逕流影響之研究

林裕益⁽¹⁾ 何世華⁽²⁾ 周文杰⁽³⁾

摘要

國道路廊穿越山川水系，係以廊帶方式布設，並依路線線形設計標準及現地地形、地質、水文環境、路權用地取得等之實際狀況，分別採用路堤、路塹、半堤半塹、橋梁、隧道等方式構築，本研究針對國道路廊與地表逕流變化之關係加以探討，並以其成果做為後續地表逕流相關設計之參考建議。研究中以國道 3 號高速公路為主體，利用水土保持技術規範中有相關之地文與水文因子為分析對象，以探討 3 號高速公路路廊對沿線集水區地表逕流之影響。另以法國 SPOT 衛星影像計算常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，進而以其綠植生量推導逕流係數，取代傳統以逕流係數表推估的主觀方式。研究案例分別就國道路廊對地文水文變化與大面積挖填對逕流係數變化進行探討，提出適當的理論研析，並建置其電腦模組以做為地表水文環境變化之相關預測，期供決策與規劃設計參考。

(**關鍵字**：國道路廊、地表逕流、逕流係數、常態化差異植生指標)

A Study of Surface Runoff Changes Induced by Highway Corridor Constructions

Yu-I Lin⁽¹⁾, Chi-Hua Ho⁽²⁾

Doctoral Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University

Wen-Chieh Chou⁽³⁾

Associate Professor, Department of Civil Engineering and Engineering Informatics,
Chung Hua University

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系博士生
 - (2) 國立中興大學水土保持學系博士生
 - (3) 中華大學土木與工程資訊學系副教授

ABSTRACT

According to design criteria, topographic, geologic, hydrologic conditions, and land property ownership, the national highways are constructed over mountains and rivers by corridor pattern using embankment, entrenchment, combination, bridge and tunnel. This study focused on the relationship between highway corridor and surface runoff changes. The results can be provided as a basis for related designs on surface runoff control. In this study, the Formosa Highway was chosen as the study area. The discussed hydrologic and geomorphic factors in the Soil and Water Conservation Technical Regulations were used to indicate the influences caused by highway construction. Meanwhile, the remote sense images from French Système Probatoire de l'Observation de la Terre (SPOT) were employed to calculate Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). A method was proposed to estimate the runoff coefficient derived from this green biomass index. The proposed method can substitute for the traditional subjective judgment from runoff coefficient tables. The case examples are surface hydrologic and geomorphic response changes caused by highway construction and runoff coefficient changes caused by large quantity excavation and fills. The suitable proposed theorems have been integrated and established a computer package to predict the changes of surface hydrologic environment. The simulated results can be provided to authorities for policy-making.

(Keywords: Highway corridor, Surface runoff, Normalized Difference Vegetation Index)

前言

台灣因位處特殊地理環境，以致地形陡峻、地質脆弱、河川短促、颱風豪雨頻仍，於進行水文設計時倍受挑戰。尤其國道路廊若穿越山川水系，對沿線水文設計雖僅及於路權範圍，但規劃設計均以不影響其原有功能為設計目標，加以國道設計乃百年大計，道路沿線水文環境經逐年演化，本計畫係對國道路廊與地表水文變化之關係加以研究，以做為環境預測與後續水文設計之參考。

台灣西部地區國道高速公路路網已於2004年元月建構完成，整個西部國道路網

北起基隆，南至屏東林邊，沿線行經地區有城鄉人口密集區、農業區、山坡地、平原區、台地、河川及集水區、濱海地區等各種不同地文、水文環境，有鑒於國道公路建設係以「廊道」佈設，並依路線線形設計標準及現地地形、地質、水文環境、路權用地取得等實際狀況，分別採用路堤、路塹、半堤半塹、橋梁、隧道等方式構築，通常多具有分隔區域之特性，對於沿線路廊對地表水文變化與大面積挖填對逕流係數變化等，到底有那些影響及其影響程度為何，實需建置一套適合的理論分析系統，以提供量化計算之標準。藉由探討國道路廊對於沿線地表水文條件之變化與影響，研究成果期能用於研提改善對策

及建設規劃之參考。

研究方法

1. 研究材料與流程

本研究為能順利分析地表逕流與水文之變遷，且為能有效與迅速處理各項因子之計算，故撰寫電腦程式以利模擬與分析。流程上以先取得數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、SPOT 衛星影像、各項數值地圖及現地調查資料(參表 1)，再依所取得之圖資，搭配已建置之理論系統，例如：集水區自動劃分、地文因子自動計算、水文因子自動分析等功能，進行集水區水文環境變遷之分析，再以選定之案例(主要為：路堤、路塹、服務區三大主題)，進行模擬與討論，最後將其結果以圖表方式呈現，以利瞭解及輔助決策，詳細流程參圖 1。

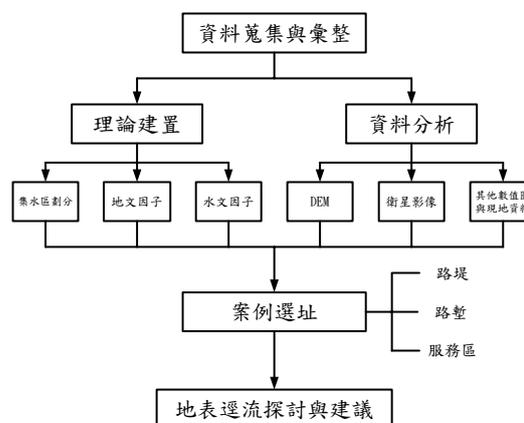


圖 1. 研究流程示意圖

2. 集水區自動劃分

地形特徵具有集水區在降雨逕流反應上的重要特性，並具有水文、地文等地景(landscape)因子的主要影響(Moore et al., 1991; Moglen and Bras, 1995)，而數值高程模型通常可以直接萃取集水區之特性因子，包括坡度、坡向、流路長度、集水區邊界、水系網等集水區重要特性(Olivera et al., 2006)。通常在集水區分析上，處理窪地之流向是首要工作，其處理方式可分為：窪地平滑法(Mark, 1984)、窪地填高法(Martz and Garbrecht, 1998)、蝕刻法(Soille et al., 2003)，常用的電腦軟體則有：DEMON (Costa-Cabral and Burges, 1994)、ArcView 中的 ArcHydro、EASI/PACE 中的 TERRAIN、TOPMODEL 中的 GRIDATB (Campling et al., 2002)、TOPAZ (Garbrecht and Martz, 1999)、以及 GeoHMS (USACE, 2003)。

前述各項理論與電腦模組中多以累積流量為門檻值自動劃分集水區，需要使用

表 1. 基本圖資種類與來源

圖資種類	圖資來源
電子地圖(道路、水系)	行政院農委會 水土保持局 中央大學
衛星影像	太空及遙測研究中心
DEM 資料	林務局農林航測所
山坡地土壤圖	台灣省農林廳 山地農牧局
1/25000 地形圖	內政部

者主觀之認定，劃分後各河段常存在有違反集水區定義之集水區，在應用上有其盲點，實用上宜以集水區之出口為劃分依據，針對要整治或處理的區位，動態劃分出出口之集水區範圍供規劃參考(林昭遠等，1999)。本研究利用集水區動態劃分方法(林文賜，2002)，以各分析水文站為集水區出口點，根據地形模擬之排水流向，向上游自動追蹤流經該點之所有排水區位，再劃分出各集水區範圍。

3. 地文因子

評估崩場地之地文因子所需資訊將由台灣的 DEM 自動萃取產生，其將被建置在電腦系統中之地文因子係以子集水區為分析範圍，預計電腦自動計算項目說明如下，Gardiner(1978)依地文因子之作用及尺度將集水區地文因子分為下列四類：

A. 流域尺度類因子

a. 集水區面積(A，單位：km²)

圖 2 為集水區自動劃分結果，其集水區面積為單位網格面積之總和，即：

$$A = a \times n \times 10^{-6}$$

(a：網格面積[m²]，n：集水區網格數目)

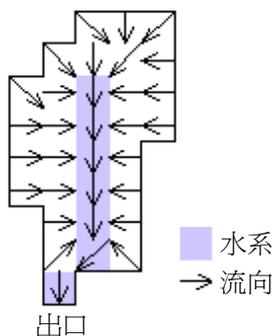


圖 2. 集水區、水系及流向示意圖

b. 集水區周長(P，單位：km)

圖 2 中，集水區周長(Perimeter)為集水區邊界長，即：

$$P = l \times n \times 10^{-3}$$

(l：網格長度[m]，n：集水區邊界鄰接網格邊長數目)

c. 集水區長度(L，單位：km)

集水區長度為集水區最遠端至出口之直線投影長，由圖 2 中可知，集水區最遠端必落在集水區邊緣上，配合流向資料進行追蹤即可計算出距出口最遠端之網格及計算兩點間之直線距離。

d. 河川主流長度(L₀，單位：km)

河川主流長度(Length of main stream)為集水區內最長之河川長度，為集水區內河川源頭至出口最長的距離，配合水系網及流向資料進行追蹤可計算出河川主流長度(如圖 3)。

e. 河川總長度(L_T，單位：km)

河川總長度為集水區內全部河川長度總和，即主流長度及支流長度總和。

$$L_T = \sum_{i=0}^n L_i, \begin{cases} L_0 \text{ 爲主流長度} \\ L_1 \dots L_n \text{ 爲支流長度} \end{cases}$$

f. 河川數量(N)

河川數量為集水區內之溪流數量，即主流加上支流之數量如圖 3。

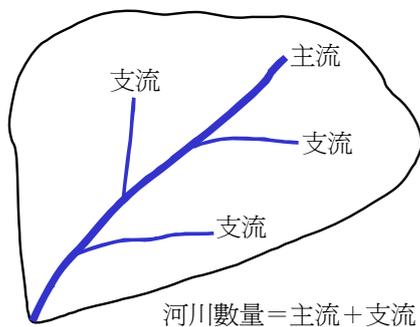


圖 3. 河川數量計算示意圖

g. 平均高程(H, 單位: m)

平均高程為集水區高程之平均值，即：

$$H = \frac{\sum Z}{n}$$

(Z: 網格之高程值)

h. 起伏量(R_f , 單位: m)

起伏量為集水區之最大高差，即：

$$R_f = H_{\max} - H_{\min}$$

B. 流域梯度類因子

a. 平均坡度(S, 單位: %)

平均坡度為集水區坡度之平均值，即：

$$S = \frac{\sum slp}{n}$$

(slp 為網格之坡度值)

b. 起伏比(R)

起伏比為集水區之最大高差除以該兩點水平距離之值，即：

$$R = \frac{R_f}{\Delta d}$$

C. 流域形狀類因子

a. 集水區寬度(W, 單位: km)

集水區寬度(Width)為集水區面積除以河川主流長度之值，其計算公式為：

$$W = \frac{A}{L_0}$$

b. 形狀因子(F)

形狀係數(Form factor)為 1932 年荷頓氏(Horton)提出，為單位主要河川長度之集水區寬度，其計算公式為：

$$F = \frac{W}{L_0} = \frac{A}{L_0^2}$$

c. 密集度(C)

密集度(Compactness)為同一集水區面積所對應之周長除以集水區周長，即：

$$C = 2\left(\sqrt{\frac{A}{\pi}}\right) \times \frac{\pi}{P} = \frac{3.54\sqrt{A}}{P}$$

d. 圓比值(M)

圓比值(Circularity Ratio)集水區面積除以與集水區周長等長之圓面積，即：

$$M = \frac{A}{\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2 \pi} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

e. 細長比(E)

細長比(Elongation Ratio)為 1956 年 Schumm 所提出，為與集水區相等面積之

圓直徑除以集水區長度，即：

$$E = \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L} = \frac{1.128\sqrt{A}}{L}$$

D. 流域網路類因子

a. 水系密度(D_s)

水系密度(River density)為流域中全部河川長度總和，即主流長度及支流長度總和，除以集水區面積之值，即：

$$D_s = \frac{L_T}{A}$$

b. 河川頻率(F_s)

河川頻率(Frequency)為集水區內河川數目除以集水區面積之值，即：

$$F_s = \frac{N}{A}$$

3. 水文因子

本研究係以水土保持技術規範為依據，整合數值高程模型資料及地理資訊系統技術，分析集水區水文資訊，以了解流域特性，做為路廊工程施作後，地表逕流與集水區水文環境特性變化之參考。評估水文因子所需資訊，採用 WinGrid 電腦模組（林昭遠、林文賜，2000）自動計算，各項水文因子項目說明如下：

A. 漫地流時間(t₀，單位：min)

由集水區邊界流至河道所需時間(如圖 4)，t₀之估算採用坡面長度除以漫地流

速度，因此坡面長度係由集水區最遠端流至河道之距離，而漫地流流速一般在 0.3-0.6 m/s，由使用者依據集水區之現況輸入計算。

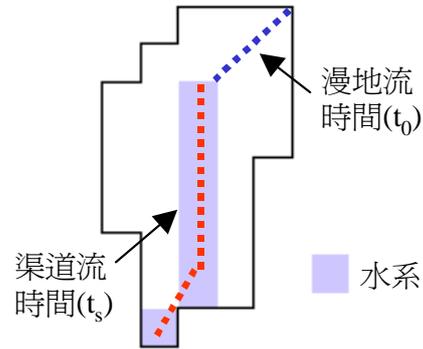


圖 4. 集水區之集流時間示意圖

B. 渠道流時間(t_s，單位：min)

由河道上游至出口所需時間(如圖 4)，依 Rziha 公式計算，即：

$$t_s = \frac{l_s}{60 \cdot v}$$

$$v = 20 \left(\frac{h}{l_s} \right)^{0.6}$$

(h為河道上游與出口之高差[m]，l_s為河道長度[m])

C. 集流時間(t_c，單位：min)

由集水區最遠端到達出口所需的時間，一般為漫地流時間及渠道流時間之和（農業委員會，2003），即：

$$t_c = t_0 + t_s$$

D. 降雨強度($I_{t_c}^T$ ，單位：mm/hr)

T頻年無因次降雨強度之推估，係以 T_{25} 、 T_{50} 及 T_{100} 為主，其計算公式如下(農委會，2003)：

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (g' + h' \log T) \frac{a'}{(t + b')^{c'}}$$

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

$$a' = \left(\frac{p'}{-189.96 + 0.31 p'} \right)^2$$

$$b' = 55$$

$$c' = \left(\frac{p'}{-381.71 + 1.45 p'} \right)^2$$

$$g' = \left(\frac{p'}{42.89 + 1.33 p'} \right)^2$$

$$h' = \left(\frac{p'}{-65.33 + 1.836 p'} \right)^2$$

式中，T：重現期距(年)、t：降雨延時或集流時間(分)、 I_t^T ：重現期距T年，降雨延時t分鐘之降雨強度(mm/hr)、 I_{60}^{25} ：重現期距25年，降雨延時60分鐘之降雨強度(mm/hr)、 p' ：年平均降雨量(mm)、 a' 、 b' 、 c' 、 g' 、 h' ：係數。

E. 洪峰流量(QT，單位：cms)

洪峰流量之估算係採用合理化公式(Rational Formula)，係以 Q_{25} 、 Q_{50} 及 Q_{100} 為主，推估公式為：

$$Q_T = \frac{1}{360} C' I_{t_c}^T A'$$

(C' 為逕流係數， A' 為集水區面積[ha])

此公式中的逕流係數值，可採用本研究中衛星影像推導之網格式逕流係數演算法。

4. 植生指標

植生指標之觀念是從 NOAA 衛星系列之 AVHRR 影像推導出來(Loveland and Ohlen, 1993)，主要是用來量測植生之生長狀況，由於綠色植物因有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，故應用多譜資訊於植物資源之探測，使用可見光與近紅外光之比值或差值，即所謂的植生指標，常態化差異植生指標即為其中一種。

常態化差異植生指標(NDVI)目前已被廣泛應用於測定綠色植物之光合作用、植物之覆蓋率及生物量等，如 Burgan and Hartford(1993)利用 AVHRR 多期影像之 NDVI 評估季節性變化之植生綠度。黃國楨等(1996)採用法國 SPOT 衛星影像來推得常態化差異植生指標之變化，進而分析評估 SPOT 衛星影像前後兩期綠色植生量之變遷。陳朝圳及馬仕穆(2001)利用 SPOT 衛星影像結合植生指標探討森林植生綠度之季節性變化及葉面積指數。林昭遠等(2000)利用不同時期之 SPOT 衛星影像分析 NDVI 之變化，探討崩場地之植生復育情形。

NDVI 值之計算方法如下所示：

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)}$$

式中 IR 為近紅外光；R 為紅光。所求得 NDVI 值愈大顯示地表植物生育愈旺盛、植被覆蓋佳。而地表植生覆蓋的條件，通常會影響到土壤入滲及保水能力，因此便會影響合理化公式中的逕流係數推導及使用，為建立更正確客觀的地表逕流係數，本節中所計算之 NDVI，將會利用於逕流係數之推估與模式建立之基礎。

5. 逕流係數

逕流係數之推估，一般依照集水區水文、地文特性、土地使用與都市化程度等條件訂定，而國道路廊工程，則參酌交通部國道新建工程局「排水工程設計準則」中的逕流係數選用參考表決定（詳如表 2），但此一作法較為籠統且無量化機制。

表 2. 逕流係數選用參考表

地表狀況	逕流係數
山區河川	0.75~0.85
陡峻山坡地	0.75~0.90
平緩山坡地或山嶺區	0.60~0.80
丘陵地或森林地	0.50~0.75
平坦耕地	0.45~0.60
水田及水塘	0.70~0.80
市街區(建築面積≥60%者)	0.50~0.90
村落(建築面積<30%者)	0.30~0.50
工業區	0.50~0.80
不透水鋪面或路面及路側邊坡	0.85~0.95
施工中地表完全裸露	0.90~1.00

因為台灣地區之逕流係數值尚無資料庫可資利用，本研究提出逕流係數值，係以常態化差異植生指標經線性反向配置後產生。由於 NDVI 之值域介於-1 至 1 之間，為配合逕流係數之合理值域(0~1)，即當土壤狀況愈不良，植生量愈低，所對應

的逕流係數愈大的條件下，將 NDVI 線性轉換為逕流係數，其計算式如下：

$$C = \frac{1 - NDVI}{2}$$

因其採用衛星影像計算，具有容易取得、可即時更新以及數位化資料易於處理等各項優點，對於分析計算與決策輔助的功能，皆有極大之幫助。其由衛星影像萃取出之 NDVI 轉換出之 C 值之示意如下圖：

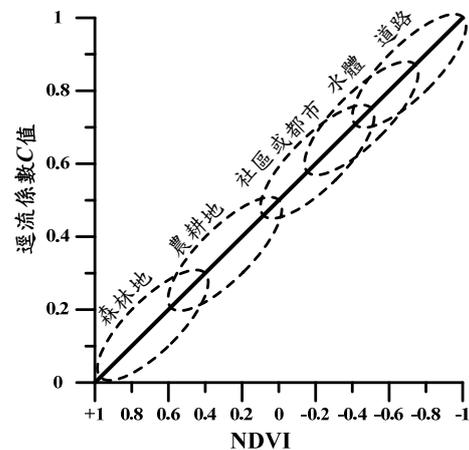


圖 5. NDVI 轉換逕流係數值與一般地覆條件示意圖

案例探討

案例探討分為兩部份，分述如后：

(一)路廊工程對地文水文變化

國道路廊各路段均對地形有或多或少之阻隔效應，對於沿線地表逕流與排水路線產生相當影響。路廊之規劃為配合地形起伏地區，常有路堤、路塹或半堤半塹之設計，由於阻隔效應改變地形坡向，影響地表逕流及排水路線，改變排水流向。

針對路廊阻隔，計算改變之排水流向，重新計算水系或排水分布，進一步推估洪峰流量，比較路廊規劃後對水系或排水分布流量之影響。

(二) 大面積挖填對逕流係數變化

因大面積挖填後，導致逕流係數提升，致使排水不及或入滲不良，皆可能產生二次災害或鄰近區域的排水負擔，因此徹底瞭解逕流係數的變化，安排有效與充足的排水系統，是降低國道大面積挖填不良效應的重要關鍵。再依路堤、路塹與服務區進行分析討論如後：

1. 路堤

國道 3 號行經白河路段為一路堤段，由於國道興建之阻隔效應改變地形坡向，影響地表逕流及排水路線，以國道 3 號跨六重溪路段為例，計算國道興建後改變之排水流向，及改變之集水區形狀。國道在設置路廊工程後，因路肩二側排水需求另行規劃與布設之排水系統，將原集水區旁坡面排水部分延路旁排水納入原集水區，擴大原集水區範圍（圖 6），此對原出水口之逕流量導致不同的水文水文效應，探討集水區改變前後地文及水文因子之改變，採用經濟部水利署關子嶺（2）、六溪、北寮及大棟山等四雨量站資料，年平均雨量 2,719mm，集水區改變前後地文及水文因子，整理如表 3。

2. 路塹

國道 3 號龍潭路段為一路塹段，由於國道興建之阻隔效應改變地形坡向，影響地表逕流及排水路線，經計算規劃國道後改變之排水流向，且改變集水區形狀，在新

排水分區中，可以明顯發現原集水區在設置路廊工程後，將原單一排水分區劃分成二個子集水區（圖 7），此對原出水口之逕流量可能導致不同的洪峰效應，探討集水區改變前後地文及水文因子之改變，採用經濟部水利署石門、石門（3）及十一份等三雨量站資料，年平均雨量 2,643mm，集水區改變前後地文與水文因子，整理如表 4。

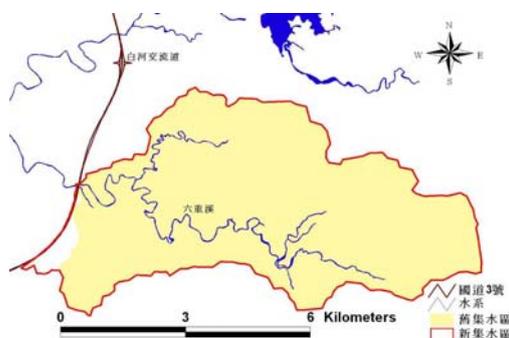


圖 6. 路堤段興建前後之集水區範圍

3. 服務區

本案例係利用國道 3 號古坑服務區施工中 (1999/9/27) 及完工後 (2001/11/25) 之衛星影像，以常態化差異植生指標 (NDVI) 為基礎，推估初始逕流係數；並參考美國土木工程師學會 (ASCE) 所編逕流係數參考表，配置古坑服務區路面及各設施之逕流係數，並以衛星影像推估之逕流係數與進行比較，配置區位及各區位逕流係數如圖 8。利用衛星影像判釋結果，古坑服務區興建中之逕流係數為 0.40 (圖 9)，完工後之逕流係數為 0.95 (圖 10)，而以 ASCE 建議值配置之逕流係數為 0.67 (表 5)。將本模式計算結果與古坑服務區原始設計資料加以比較，原古坑服務區

表 3. 路堤段集水區改變前後地文與水文因子變化表

地文因子		(1)尺度類因子							
集水區 編號	集水區面積(km ²)	集水區周長(km)	集水區長度(km)	河川主流 長度(km)	河川總長度(km)	河川數量	平均高程(m)	起伏量(m)	
舊	33.61	40.16	9.68	16.88	71.12	51	259.16	1211.00	
新	34.42	41.60	9.68	16.88	71.12	51	254.37	1211.00	

地文因子		(2)梯度類因子			(3)形狀類因子			(4)網路類因子	
集水區 編號	平均坡度(%)	起伏比	集水區寬度(km)	形狀因子	密集度	圓比值	細長比	水系 密度	河川 頻率
舊	27.98	0.14	1.99	0.12	0.51	0.26	0.68	2.12	1.52
新	27.58	0.14	2.04	0.12	0.50	0.25	0.68	2.07	1.48

水文因子									
集水區 編號	漫地流 時間(min)	渠道流 時間(min)	集流 時間(min)	I ₂₅ (mm/hr)	I ₅₀ (mm/hr)	I ₁₀₀ (mm/hr)	Q ₂₅ (cms)	Q ₅₀ (cms)	Q ₁₀₀ (cms)
舊	22.19	68.52	90.71	87.04	95.21	103.37	650.15	711.11	772.06
新	22.19	68.52	90.71	87.04	95.21	103.37	665.75	728.17	790.58

表 4. 路塹段集水區改變前後地文水文因子變化表

地文因子		(1)尺度類因子							
集水區 編號	集水區面積(km ²)	集水區周長(km)	集水區長度(km)	河川主流 長度(km)	河川總長度(km)	河川數量	平均高程(m)	起伏量(m)	
舊	6.45	21.84	4.91	6.54	7.18	3	261.14	88	
新	1.8	8.48	1.68	1.75	1.79	1	248.31	88	

地文因子		(2)梯度類因子			(3)形狀類因子			(4)網路類因子	
集水區 編號	平均坡度(%)	起伏比	集水區寬度(km)	形狀因子	密集度	圓比值	細長比	水系 密度	河川 頻率
舊	6.4	0.06	0.99	0.15	0.41	0.17	0.58	1.11	0.47
新	5.06	0.06	1.03	0.59	0.56	0.31	0.9	1	0.56

水文因子									
集水區 編號	漫地流 時間(min)	渠道流 時間(min)	集流 時間(min)	I ₂₅ (mm/hr)	I ₅₀ (mm/hr)	I ₁₀₀ (mm/hr)	Q ₂₅ (cms)	Q ₅₀ (cms)	Q ₁₀₀ (cms)
舊	98.7	56.73	155.44	69.71	76.25	82.79	99.89	109.26	118.63
新	56.6	3.53	60.13	99.31	108.62	117.94	39.76	43.49	47.22



圖 7. 路塹段興建前後之集水區範圍

設計逕流係數為 0.75、草皮綠地為 0.9，模式計算結果古坑服務區竣工後逕流係數為 0.95，較原始設計為高。由於本模式係以 NDVI 為基礎，推估初始逕流係數，古坑服務區竣工時間為 90 年 11 月，而模式計算採用之 SPOT 衛星影像日期為 90 年 11 月 25 日，可能係原設計之植生尚未完全復育所致。

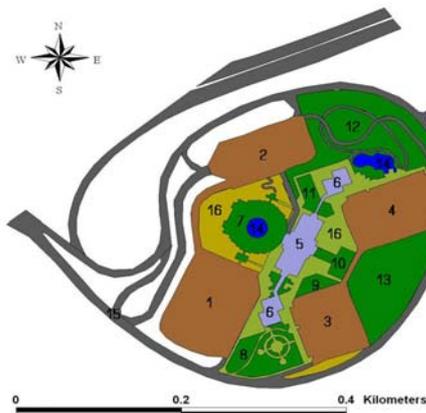


圖 8. 古坑服務區設施配置圖

表 5. 古坑服務區逕流係數整理

評估對象	平均逕流係數
施工中 (1999/9/27)	0.40
完工後 (2001/11/25)	0.95
以 ASCE 建議值配置	0.67

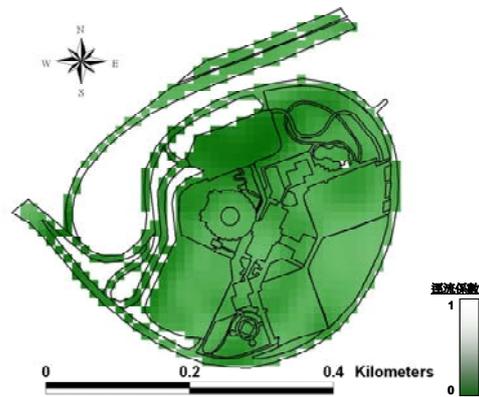


圖 9. 古坑服務區逕流係數分布 (施工中)

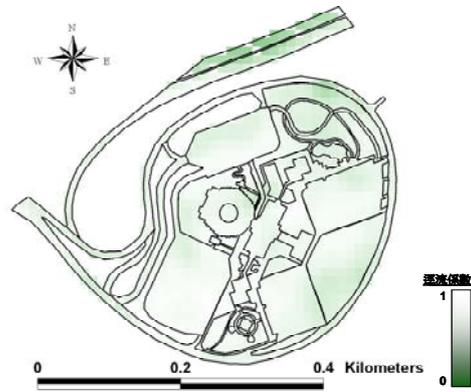


圖 10. 古坑服務區逕流係數分布 (完工後)

結論

本研究針對國道路廊產生之集水區地文與水文因子之變化與大面積挖填對地表逕流係數變化之關係加以探討，研究中利

用水土保持技術規範中的相關地文與水文因子為分析對象，可以瞭解國道路廊對地表集水區的切割或重組的影響，另外以常態化差異植生指標推導逕流係數，可有效取代傳統以逕流係數表推估的主觀決定方式。案例中分別就國道路廊對地文水文變化與大面積挖填對逕流係數變化進行探討，提出適當的理論研析，再以電腦程式自動加以運算，做為地表水文環境變化之相關預測或即時分析，可快速且有效提供決策或設計之參考。

參考文獻

1. 林昭遠、林文賜、張力仁 (1999)，「數值地形模型應用於集水區規劃與整治之研究」，中華水土保持學報，30(2)：149-155。
2. 林文賜 (2002)，「集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究」，國立中興大學水土保持學研究所博士論文。
3. 林昭遠、林文賜 (2000)，「集水區地文水文因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，31(3)：247-256。
4. 林昭遠、林文賜、林信輝 (2000)，「集集震災崩場地植生復育監測與評估」，水土保持植生工程研討會論文集，pp.37-47。
5. 林昭遠 (2001)，「集水區崩場地植生復育監測與評估」，水土保持植生工程研討會論文集，pp.72-81。
6. 陳朝圳、馬仕穆 (2001)，「以 SPOT 衛星影像推測南仁山森林生態系葉面積指數」，中華林學季刊，34(1)：63-72。
7. 黃國楨、王韻皓、焦國模 (1996)，「植生指標於 SPOT 衛星影像之研究」，台灣林業，22(1):45-52。
8. 農業委員會，(2003)，水土保持技術規範，行政院農業委員會編印。
9. Burgan, R. E., and R. A. Hartford (1993), Monitoring Vegetation Greenness with Satellite Data, USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT297, p.13.
10. Campling, P., A. Gobin, K. Beven, and J. Feyen (2002), Rainfall-runoff modelling of a humid tropical catchment: the TOPMODEL approach. Hydrological Processes 16(2):231-253.
11. Costa-Cabral, M.C., and S. J. Burges (1994), Digital Elevation Model Networks, DEMON: A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. Water Resources Research 30(6): 1681-1692.
12. Garbrecht, J., and L.W. Martz (1999), TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization; TOPAZ Overview. USDA-ARS Publication No. GRL 99-1, 26pp.
13. Gardiner, V. (1990), Drainage Basin Morphometry, in Geomorphological

- Techniques, Ed. Andrew Goudie, Unwin Hyman.
14. Loveland, T. R., and D. O. Ohlen (1993), Experimental AVHRR Land Data Sets for Environmental Monitoring and Modeling, Environmental Modeling with GIS, Oxford University Press, New York, pp.379-385.
 15. Mark, D.M. (1984), Automated detection of drainage networks from Digital Elevation Models, Cartographica. Auto-Carto Six Selected Papers 21(2-3): 168-178.
 16. Martz, L.W., and J. Garbrecht (1998), The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster Digital Elevation Models. Hydrological Processes 12: 843-855.
 17. Moglen, G.E., and R.L. Bras (1995), The importance of spatially heterogeneous erosivity and the cumulative area distribution within a basin evolution model. Geomorphology 12(3): 173-185.
 18. Moore, I.D., R.B. Grayson, and A.R. Ladson (1991), Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. Hydrological Processes 5, 1-42.
 19. Olivera, F., S. Koka, and J. Nelson (2006), WaterNet: A GIS Application for the Analysis of Hydrologic Networks Using Vector Spatial Data. Transactions in GIS 10(3): 355-375.
 20. Soille, P., J. Vogt, and R.Colombo (2003), Carving and adaptive drainage enforcement of grid digital elevation models. Water Resources Research 39(12): 1366-1375.
 21. USACE (2003), Geospatial Hydrologic Modeling Extension: GeoHMS User Manual, version 1.1. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, California, 267pp.