

臺北水源特定區土砂保育健康診斷模式之建立

陳樹群^[1] 吳俊毅^{[1]*} 王文江^[2] 謝政道^[3] 周伯愷^[3]

摘 要 針對臺北水源特定區，以監測、診斷、處理三步驟來建立土砂保育健康診斷模式。利用逕流率、崩蝕深度、綠覆率、水質指標、泥砂濃度等健康診斷指標來評估集水區問題，並瞭解其主要原因屬於何種驅力；藉此選定集水區管理目標，以子集水區為單元進行策略規劃。最後建立二階段之預警制度，以防範問題產生。由結果可知，區內水源涵養能力佳、植生覆蓋大致良好，主要問題為札孔溪子集水區區內崩塌地於颱風豪雨後影響下游原水濁度升高。

關鍵詞：健康診斷模式、土砂保育、逕流率、臺北水源特定區。

Establishing a Health Diagnosis Model of Soil Conservation for Taipei Water Source Domain

Su-Chin Chen^[1] Chun-Yi Wu^{[1]*} Wen-Chiang Wang^[2]
Cheng-Daw Hsieh^[3] Po-Kai Chou^[3]

ABSTRACT A health diagnosis model of soil conservation was established under the framework of monitoring, diagnosis and treatment processes for Taipei Water Source Domain. The health diagnosis indicators such as runoff ratio, denudation ratio, ratio of green cover, water quality indicator, and sediment concentration were used to evaluate soil conservation related problems. The causes of these problems were also appreciated and divided into kinds of driving force. Then the management object was decided and strategic planning was drafted for the sub-watershed. Finally, a two-phase early warning system was established to avoid the watershed problems. From the analysis results, the water resource conservation and plant cover of this watershed were treated well. The main problem was eroded soils always raise the water turbidity when typhoons or storms affected the landslides in the Jha-Kong Stream sub-watershed.

Key Words: health diagnosis model, soil conservation, runoff ratio, Taipei Water Source Domain.

一、前 言

臺北水源特定區位於大臺北地區之東南隅，面積約 717 km²，為大臺北地區主要供水水源之一。有

鑒於區內土砂保育之重要性，必須綜合考量整體治理並配合預先防治之理念。因此，本研究提出土砂保育健康診斷模式，分為集水區之監測 (monitoring)、診斷 (diagnosis)、處理 (treatment) 三大步驟，期能

[1] 國立中興大學水土保持學系

Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

[2] Multech Engineering Consultants, Inc., San Jose, CA 95112-1129, USA.

[3] 經濟部水利署臺北水源特定區管理局

Taipei Water Management Office, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, New Taipei City, Taiwan, R.O.C.

* Corresponding Author. E-mail : d9442006@mail.nchu.edu.tw

防範或減輕集水區問題。

1970 年代以前，集水區的治理多針對個別局部的問題來擬訂實施治理措施，而未考慮這些措施對整個集水區生態、經濟與社會可能形成之衝擊。1980 年代以後，整體性的集水區治理觀念開始受到重視 (Schramm, 1980)。人們逐漸瞭解集水區內人為活動或自然事件不僅對局部區域發生衝擊，而且可能擴及集水區內上游與下游地區。一方面，集水區水文、地形、植被等任一個因素之改變均可能影響其他因素，而對生態環境形成衝擊；另一方面，整治策略之範疇應由生態環境層面擴至社會與經濟層面，以兼顧人類對集水區資源利用與集水區生態功能完整性之永續平衡發展 (Heathcote, 2009; Jones *et al.*, 2002)。

由於集水區的構成因素十分交錯複雜，因此，利用易於監測且具有代表性的指標來反映其健康狀況有助於及早發現集水區之問題並施以必要的治理措施。美國環保署 (U.S. EPA) 於 1997 年建立一組集水區指標 (index of watershed indicator, 簡稱 IWI)，用來評估各集水區的健康狀況 (U.S. EPA, 2002)。這些指標可分成兩大類：狀況性指標與脆弱性指標。狀況性指標用來反映現在集水區的狀況，脆弱性指標則用來反映可能對集水區健康形成損傷之狀況。上述 IWI 主要以水質來反映集水區狀況。但個別集水區各有其重要的組成特性，而無法僅以 IWI 來完整反映其狀況，而需依其具體條件與治理目標，來選擇適當的指標以評估其健康狀況及擬訂治理方案。

另外，Rogue Basin Coordinating Council (2006) 使用 watershed health factors matrix (WHFM) 並選擇代表性的河川和河道內因子、坡地因子及河岸因子來描述集水區之狀態。河道內之因子包含水質、水量、河道內棲地等，坡地之因子包含開發情形、道路等，河岸之因子包含植生覆蓋、濕地等。藉由這些因子來評估集水區生產優質水源及健康魚群之能力。陳宜清、何宗翰 (2004) 提出對於河川生態系而言，其組成並非單一生物體，其與環境之關聯相當密切；並將河川健康診斷類比為人體健康，可由數樣指標來判斷，以生物狀況、水文狀況、水質狀況等指標來評估河川生態系。而台灣有關生態系健康度指標之研究均屬於大尺度面積的量化資料，例如森林覆蓋度、農田面積、保護區面積等，而較不能反應這些資源或土地利用方式的品質如何 (劉錦添等, 2005)。綜上可知，集水區健康指標目前多著重在反映集水區之水質或生態狀況，較缺乏描述土砂保育部分。

在進行集水區整體治理規劃時，常以集水區整治率及洪峰消減率 (水土保持局, 2006) 來評估泥沙減少及水源涵養增加程度，但其評估基礎為設置工程措施前後之比較，屬於工程措施之效益評估，非為健康狀況之評估。相反地，比流量 (specific discharge) 雖可用來評估集水區之水源涵養能力，如最大瞬時洪峰比流量較低則代表植生覆蓋較良好或人為開發程度較低 (羅偉佑, 2003)，但其未考量降雨量之影響。而常態化差異植生指標 (normalized difference vegetation index, NDVI) 可用來評估綠色植被的生長狀況；河川之水質濁度及含砂濃度則可評估溪流中泥砂等懸浮固體之多寡，可藉此判斷集水區之狀況；但這些指標在相關研究中通常不一併出現，缺乏整體性討論。

因此，本研究為整體瞭解集水區之狀況，選擇 5 項健康診斷指標進行評估，除前述綠覆率、水質指標、含砂濃度外，並納入考量降雨量影響之逕流率及反應土砂產量之崩蝕深度。並利用監測、診斷、處理三步驟來建立土砂保育健康診斷模式，以系統化並及早解決集水區之土砂問題。

二、土砂保育健康診斷模式建立

1. 健康診斷指標建立方法

集水區健康指標 (health indicators) 為一組易於直接量測而且可用來反映集水區健康狀況。在進行集水區治理規劃時，這些指標可用來協助擬訂適當的治理措施 (如圖 1)。集水區治理通常包含一組治理目

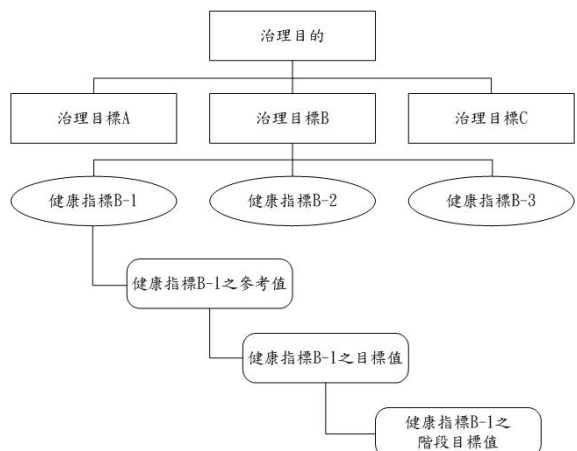


圖 1 訂定健康診斷指標示意圖

Fig.1 Illustration of health diagnosis indicators

的 (goals), 每一治理目的又包含一個或多個可量測的治理目標 (objectives), 而每一個治理目標則可用一組健康指標及他們的目標值 (target values) 來表示。隨著集水區治理之進行, 這些指標的量測值可用來與其目標值相比較, 以診斷集水區健康狀況之改善結果, 並據以調整治理方向; 治理的進展情形可用各指標所預定的階段目標值 (benchmark) 來反映。

集水區狀況的界定因素可分為三類: 自然因素、集水區健康狀況特性與人為活動。自然因素包括氣象、地質、地形與土壤特性。這些因素扮演界定集水區結構、形態、演變與功能之角色; 他們對集水區受人為活動作用後所發生演變的程度具有制約作用。集水區健康狀況特性可歸納為集水區水文、土砂、植生與水質等四類, 這四類指標可用來評估集水區的整體健康狀況。

在整個評估架構中, 健康指標用來反映集水區的健康狀況, 具有「果」的意義; 人為活動則具有「因」的意義; 自然因素則制約了此因果演變過程, 並且可用來做為設定健康指標參考值的依據。

2. 土砂保育健康診斷指標

(1) 整體集水區健康診斷指標

造成集水區之土砂、水文及水質問題等原因可概分為地文狀況等內在條件、降雨和地震等外在環境、人為開發和維護狀況等後天影響。並藉由不同問題的現象或徵兆來評估集水區是否有相對應之問題。如可由集水區之土壤沖蝕量、崩塌量、含砂濃度等現象來評估是否有土壤泥砂流失問題。

由現象或徵兆發現集水區可能之問題後, 可按其造成之原因而提出適當之處理方法, 此亦可由驅力、狀態及回應 (driving force-State-Response) 架構來表示。在此架構中, 狀態一項相當於前小節中所述之集水區的健康狀況。

如圖 1 中, 本區之治理目的為水資源之永續利用, 其中一個治理目標為集水區之土砂保育, 而逕流率、崩蝕深度、綠覆率、水質指標及含砂濃度則是一組健康診斷指標, 用來評估整體集水區面臨之土砂問題, 由各指標值來評量集水區應著重的問題點, 各指標之計算方法如表 1 所示。

(2) 各子集水區評估指標

由上述五項指標診斷整體集水區面臨之問

題後, 再以子集水區為單元, 評估各子集水區對該問題的影響程度, 五項指標中, 崩蝕深度和綠覆率亦可適用於各子集水區, 但逕流率、水質指標及含砂濃度受限於各子集水區中, 常無可代表該集水區特性之水文、水質及含砂量資料, 必須以其他指標取代。

本研究以保水能力來評估各子集水區之水源涵養能力, 以平均單位面積污染量來評估各子集水區之潛在懸浮固體量; 並利用保水能力、崩蝕深度、綠覆率、平均單位面積污染量等四項指標來診斷各子集水區問題。

① 保水能力

為評估各子集水區之水源涵養能力, 本研究以 SCS CN 法 (U.S. Army Corps of Engineers, 2000) 來估計其保水能力, CN 值取決於不同土地利用類別及土壤類別; 其中, A、B、C、D 四種土壤類別之入滲率及與本省土壤分類之對照情形可參考「山坡地逕流係數選用值之研修」(水土保持局, 2007)。再利用下式來計算集水區之最大保水量:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

其中, S 為集水區最大保水量 (mm); S 越大, 代表水源涵養能力越佳, 即能入滲越多之降雨量。

② 平均單位面積污染量

集水區污染來源可分為點源污染及非點源污染, 大部分以非點源污染佔較大的比例。目前非點源污染量之推估方法包含: 簡易法 (simple method)、輸出係數法 (export coefficient method)、平均降雨量-濃度法等; 其中輸出係數法係指單位土地面積在單位時間所排出之污染, 即某區域各土地利用類型乘上其單位負荷量之總和。各類土地污染物之單位面積污染量可參考相關研究 (溫清光、張智華, 1998; 張尊國等, 1996; 楊東錦, 2007), 可知懸浮固體 (SS) 之單位面積污染量以建地和旱地較高; 即子集水區內建地或旱地之面積比例越高, 則該區之平均單位面積污染量越大。

3. 土砂保育健康診斷模式之建立

本研究選擇適當之健康診斷指標後，參考結構健康監測 (structural health monitoring, SHM) (Wikipedia, 2010)、橋梁的健康診斷 (王仲宇, 2009) 等結構物之健康診斷方法，以監測、診斷、處理三大步驟來建立土砂保育健康診斷模式。監測之第一步為進行集水區特性、河溪特性、災害歷史等分析，以瞭解集水區整體特性並作為健康診斷指標訂定之參考，第二步為由集水區地面水文資料觀測、坡面土砂資料監測及空中航照衛星影像以獲得集水區之相關資料，從而建立逕流率、崩蝕深度、綠覆率、水質指標、含砂濃度等健康診斷指標。

診斷是指利用健康診斷指標來分析集水區之土砂、水文及水質問題，並瞭解其主要原因為何。處理則是針對不同驅力所造成集水區問題之對應策略，第一步為選定集水區管理目標，第二步為以子集水區為單元進行策略規劃及方案擬定；第三步為經由效益分析選定適合之策略方案。追蹤是指方案完成後之維護管理情形，並建立預警制度以監測集水區之健康狀況，模式架構如圖 2 所示。

三、臺北水源特定區健康診斷指標

1. 臺北水源特定區概述

「臺北水源特定區」位於大臺北都會區東南隅，包含新店溪之青潭堰上游集水區 (含北勢溪、南勢溪)，範圍內有翡翠水庫和供應大臺北自來水的直潭淨水廠，其分佈範圍、水系及子集水區如圖 3 所示。

在地形地貌方面，本區多為丘陵地形，南高北低，海拔高度 11~2120 m。北勢溪流域之流域平均坡度 (流域高程差/主流河長) 僅 1.7%，南勢溪流域則為 3.6%，相對而言，北勢溪流域河川之沖蝕力較南勢溪低。在地質土壤方面，本區出露之岩層，在西部麓山帶有野柳群、瑞芳群與三峽群；在雪山山脈地帶有西村層、新高層、四稜砂岩、乾溝層、大桶山層與澳底層；分佈於河流附近則有紅土臺地堆積、臺地堆積與現代之沖積層。土壤的分類，主要可分為黃壤、幼黃壤、石質土及淡色崩積土四大類。在土地利用方面，本區之土地利用主要多為未開發之林地，約佔總面積 92.59%。在崩塌地及土石流分佈方面，本區 97 年之崩塌地面積約為 91.71 ha，約佔總面積之 0.13%；其中崩塌地分佈於札孔溪上游居多；區內共有 21 條土石流潛勢溪流，其中潛勢等級為高的有 2 條，等級為中的有 12 條，等級為低的有 4 條，持續觀察者有 3 條。

2. 逕流率

逕流率為流量站上游單位面積流量與降雨量之比值，計算方式如下：

表 1 集水區健康診斷指標

Table 1 Health diagnosis indicators of watershed

指標	逕流率	崩蝕深度	綠覆率	水質指標	含砂濃度
評估項目	評估集水區水源涵養情形	評估集水區年土砂流失情形	評估集水區植生所佔之比例	評估集水區水質之良窳	評估集水區表土流失情形
計算方法	單位面積流量 (mm/d.) = 河川流量/集水區面積 逕流率= 單位面積流量/降雨量	崩蝕深度 (cm) = 年總土砂產量/集水區面積	綠覆率 (%) = 集水區植生面積/集水區面積	利用卡爾森指數 (CTSI) 來評估水庫水體之水質 利用懸浮固體之濃度或濁度來評估河川水體之水質	利用河川之含砂濃度來評估集水區之表土流失
資料來源	流量監測資料、降雨監測資料	崩塌量估算、土壤沖蝕量估算	衛星影像、土地利用圖	水質監測資料	含砂濃度監測資料
可能問題	水源涵養量減少 坡地逕流量增加 洪峰增加 豐枯流量差異增大	集水區土地退化 土砂災害增多 水庫淤積	植生減少 生態物種減少 環境退化 地表裸露增多	水質渾濁度增高 下游水庫優氧化	集水區表土退化 下游水庫泥砂淤積

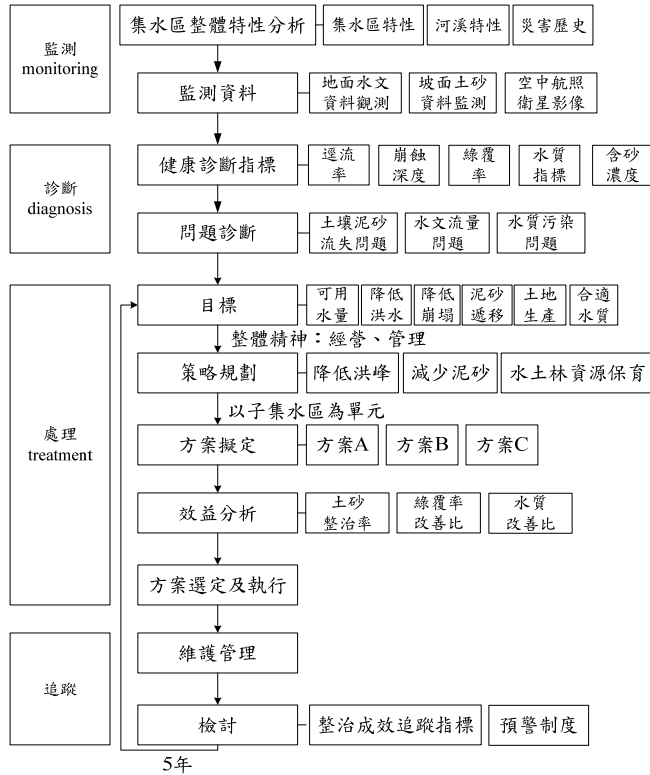


圖 2 土砂保存健康診斷模式

Fig.2 The health diagnosis model of soil conservation

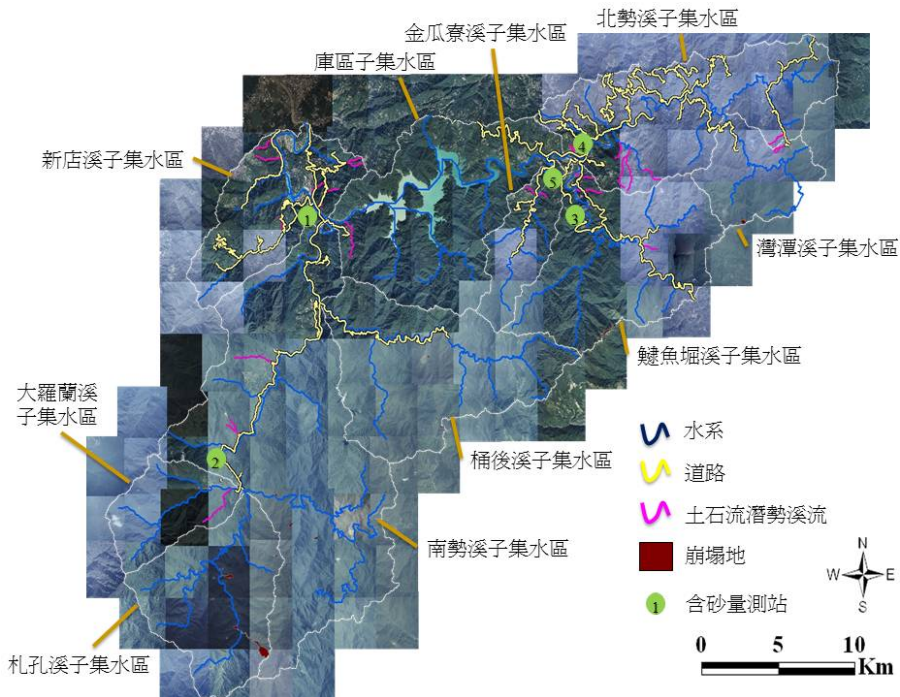


圖 3 臺北水源特定區分佈範圍、水系及各子集水區

Fig.3 The river system and sub-watersheds of Taipei Water Source Domain

(1) 單位面積流量之計算

單位面積流量 (unit areal discharge) 為集水區單位面積的逕流量，其單位原為 cms/km^2 。為便於與相應之降雨量 (mm/d.) 比較，將其單位轉換為 mm/d.。本研究收集區內翡翠水庫集水區 1988~2009 年之水庫入流量資料及新店溪屈尺流量站 1977~2009 年之流量資料，經整理後可得各月份及各豐枯期平均單位面積流量之分佈情形如圖 4~5。其中豐水期為 5~10 月，枯水期為 11 月至翌年 4 月。

(2) 逕流率之計算

逕流率由於是單位面積流量與降雨量之比值，一般而言，其值應小於 1；但由於集水區中某月之逕流量除來自該月之降雨量之外，亦有部分來自前幾月之降雨量與基流，因此，會出現逕流率大於 1 之情形。如翡翠水庫集水區之降雨量集中於豐水期，枯水期雨量較小，但其逕流率常大於 1 (如圖 4)。又各月之降雨量若因該月無降雨或觀測儀器故障導致其值為 0 時，則逕流率將為無限大，因此，需剔除該月之資料，不納入平均逕流率之計算。

(3) 逕流率之參考值曲線

為探討人為活動對集水區基流之長期影響，將歷年枯水期的月均降雨量與月均單位面積流量繪如圖 6；將翡翠水庫集水區 1988~1992 年與 1993~2008 年兩期間資料分別以不同符號繪出，可知在同一降雨量之條件下，前期之單位面積流量僅略大於後期；再者，在降雨量低於 3.65 mm/d. 之情況下，單位面積流量大致維持一固定值。同理，亦可繪製屈尺、福山、鱧魚堀流量站集水區之單位面積流量與降雨量之關係圖。

如假設前期受人為活動之影響較小，則參考值迴歸曲線及對應之 90% 信賴區間之上下限如圖 6。因此，未來翡翠水庫、福山流量站、鱧魚堀流量站等集水區實測單位面積流量之資料點如位於參考值曲線之上下限內，則可推斷該區維持良好之蘊育水源能力。

3. 崩蝕深度

本研究利用土壤沖蝕量及崩塌量估算方式計算年總土砂產量，以計算崩蝕深度。

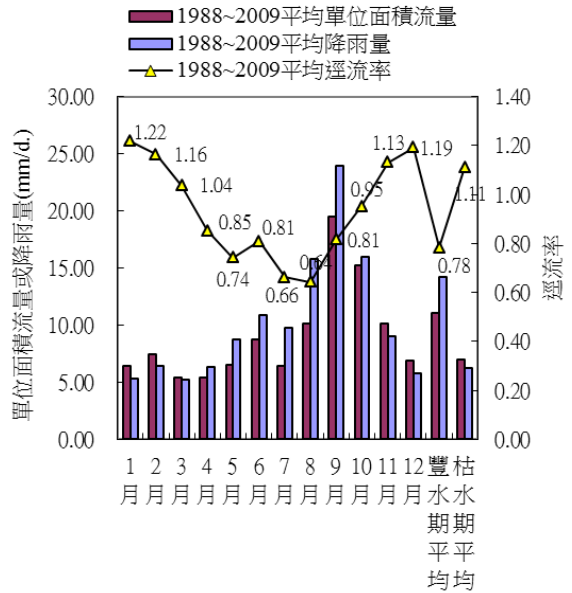


圖 4 翡翠水庫集水區 1988~2009 年平均單位面積流量 (mm/d.)、降雨量 (mm/d.) 及逕流率

Fig.4 The unit areal discharge, rainfall and runoff ratios of Feitsui reservoir watershed during 1988~2009

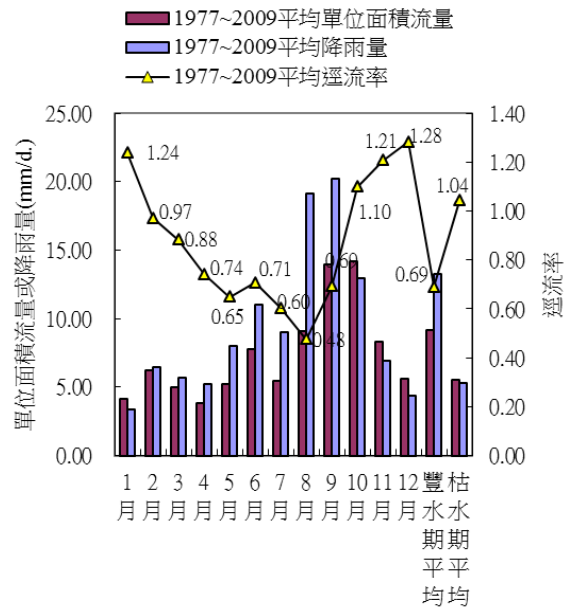


圖 5 屈尺流量站 1977~2009 年平均單位面積流量 (mm/d.)、降雨量 (mm/d.) 及逕流率

Fig.5 The unit areal discharge, rainfall and runoff ratios of Chu-Chih stream gauging station during 1977~2009

(1) 土壤沖蝕量之計算

本研究利用陳樹群等 (1998) 所建立之土壤沖蝕指標模式 (指標法) 與 2009 年之數值高程模型、降雨資料、土壤分佈及植生覆蓋分佈, 進行土壤沖蝕量估算, 結果如圖 7 所示, 顯示 2009 年之土壤沖蝕量約為 $3.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, 換算成沖蝕深度約為 0.48 cm/yr 。

(2) 崩塌量之估算

崩塌量估算方法乃利用崩塌地所在之坡度

與崩塌深度之相對關係來進行, 並以陳樹群等 (2006) 所建立之崩塌坡度與深度之關係式作為估算依據。

利用國土測繪中心 2009 年最新之土地利用圖層, 配合衛星影像及航照圖, 重新繪製本區之崩塌地圖層, 區內之崩塌地, 約為 91.71 ha , 佔總面積 0.13% , 結果顯示區內之總崩塌量約為 $2.33 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

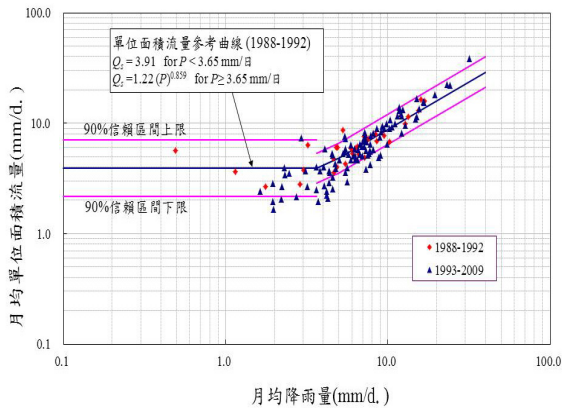


圖 6 翡翠水庫集水區枯水期各月份單位面積流量與降雨量之關係

Fig.6 The relation between unit areal discharge and rainfall of Feitsui reservoir watershed during the dry seasons

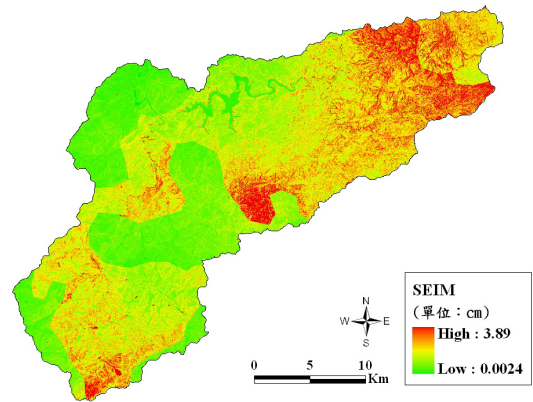


圖 7 臺北水源特定區土壤沖蝕潛勢

Fig.7 The potential of soil erosion for Taipei Water Source Domain

表 2 各子集水區之年崩蝕深度估算一覽表

Table 2 The denudation ratios of sub-watersheds

流域	子集水區	集水面積 (km ²)	坡面土壤沖蝕量 (m ³ /yr)	崩塌面積 (ha)	崩塌體積 (m ³)	總土砂生產量 (m ³)	崩蝕深度 (cm)	排序
北勢溪流域	灣潭溪	29.27	264,557	5.49	145,984	410,541	1.40	2
	北勢溪	85.43	663,156	1.00	22,840	685,996	0.80	
	鱸魚堀溪	78.99	537,494	9.37	62,828	600,322	0.76	
	金瓜寮	24.27	121,522	1.25	27,435	148,957	0.61	
	庫區	91.65	314,430	0	0	314,430	0.34	
南勢溪流域	大羅蘭溪	28.88	112,976	4.27	129,815	242,791	0.84	3
	札孔溪	61.17	331,925	48.47	1,409,147	1,741,072	2.85	
	南勢溪	161.51	608,855	15.17	342,625	951,480	0.59	
	桶後溪	85.15	382,824	5.87	166,192	549,016	0.64	
新店溪流域	新店溪	51.51	66,257	0.82	22,934	89,191	0.17	
小計 (平均)		697.83	3,403,996	91.71	2,329,800	5,733,796	0.82	

(3) 崩蝕深度之計算

由計算結果可知本區總土砂生產量約為 $5.73 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，年平均崩蝕深度約為 0.82 cm，如表 2 所示，其中以札孔溪子集水區之崩蝕深度最高，達 2.85 cm，崩蝕深度最低者為新店溪子集水區，僅 0.17 cm。

4. 綠覆率

綠覆率可由土地利用圖或衛星影像加以計算，本研究利用國土測繪中心於 2007 年所調查之土地利用資料，將其類別統整為林地、稻作、旱作、果樹、草地、河川用地、人為用地及裸露地等八大類，再利用分類後之結果進行綠覆率估算。表 3 為各子集水區之綠覆率估算結果，綠覆率最高者為灣潭溪子集水區，桶後溪次之。

5. 水質指標

(1) 翡翠水庫之水質變化

水庫之水質狀態可用卡爾森指數 (CTSI) 來評估，可分為貧養 (CTSI<40)、普養 (40≤CTSI≤50) 與優養 (CTSI>50)。如圖 8，翡翠水庫之水質良好，大部分時期均維持在普養或貧養狀態。CTSI 曲線之斜率為 0.0086/mo.，表示未具明顯之長期變化趨勢。

(2) 河川水體之懸浮固體濃度變化

本研究以福山等 6 個測站之水質監測資料來評估南勢溪之懸浮固體濃度變化；以坪林堰等 12 個測站之資料來評估北勢溪之懸浮固體濃度變化；以直潭壩等 5 個測站之資料來評估新店溪之懸浮固體濃度變化，其變化情形如圖 9 所示。可知此期間只有少部分月份之值超過甲類水體水質上限 (25 mg/l)，且主要發生於豐水期。

6. 含砂濃度

1989~2008 年鱧魚堀溪站含砂濃度與流量之關係如圖 10，可知，在同一流量之條件下，含砂濃度由初期(1989~1992 年) 遞上升，而於 1997~2000 年期間達到最高點，其後逐遞下降至初期之程度。利用未受人為活動影響時期之資料進行統計分析，將參考值曲線與對應之 90%信賴區間之上下限繪如圖 10。未來實測含砂濃度之資料點如位於參考值曲線之上下限內，可推斷區內水土保持仍維持在原本狀況。

同樣地，坪林站、金瓜溪站之含砂濃度由初期逐

遞上升，而於中期 (坪林站為 1994~1999 年、金瓜溪站為 1994~2001 年) 達到最高點，其後逐遞下降至初期之程度。相反地，福山站之含砂濃度由初期逐遞下降，而於 1990~1994 年期間達到最低點，其後逐遞上升至原本程度。

四、臺北水源特定區問題診斷

1. 整體集水區問題診斷

翡翠水庫集水區枯水期平均單位面積流量為 6.95mm/d、平均逕流率為 1.11，屈尺流量站分別為 5.53mm/d、1.04，顯示區內水源涵養能力佳；且由區內各流量站之分析結果可知本區之逕流率未呈現明顯之長期升降趨勢，水源涵養能力未明顯受到人為活動影響，乃維持在良好狀態。

表 3 各子集水區之綠覆率

Table 3 The ratios of green cover of sub-watersheds

流域	子集水區	植生面積 (ha)	綠覆率 (%)	排序
北勢溪流域	灣潭溪	2902.87	98.80	1
	北勢溪	8183.85	95.81	
	鱧魚堀溪	7740.06	98.08	
	金瓜寮溪	2409.47	98.26	
	庫區	8049.86	87.63	
南勢溪流域	大羅蘭溪	2860.45	98.69	3
	札孔溪	5999.00	98.37	
	南勢溪	15759.76	97.89	
	桶後溪	8372.91	98.75	2
新店溪流域	新店溪	4553.33	88.19	
小計		66831.56	95.82	

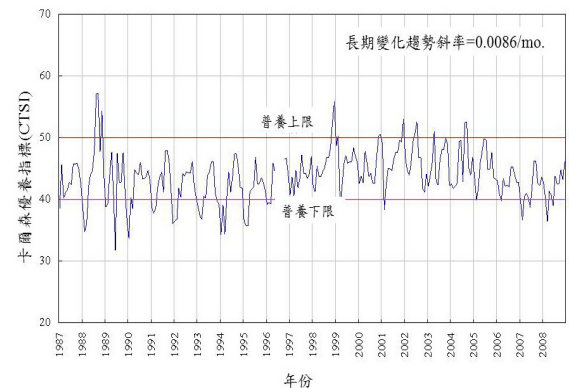


圖 8 翡翠水庫歷年卡爾森指數 (CTSI) 變化圖

Fig.8 The change of Carlson Trophic state index (CTSI) for Feitsui reservoir

全區之崩蝕深度為 0.82cm/yr，其中翡翠水庫集水區為 0.70cm/yr，淤砂率約 5%，南勢溪流域之崩蝕深度為 1.03cm/yr，可知本區主要土砂來源為南勢溪流域，需注意土砂問題以維持下游自來水之供水品質。另外，全區綠覆率為 95.82%，植生覆蓋狀態大致良好。

翡翠水庫之水質良好，大部分時期均維持在普養或貧養狀態，而各溪流之懸浮固體濃度多未超過甲類水體水質上限，且呈長期下降的趨勢。值得注意的是福山站為本區主要之濁度來源，其濁度或懸浮固體濃度常在颱風豪雨過後飆高，影響下游水質，為需注意的問題點。而由含砂量資料可知，福山站之含砂量大於 1500P.P.M.且較其他測站來得高，顯示其上游為主要泥砂來源。整體集水區應著重的問題如表 4 所示，著重程度中「較應著重」代表集水區中目前較嚴重且待解決的問題，「次著重」則代表目前未發生但須避免發生的問題。

2. 各子集水區問題評估

各子集水區健康指標之計算結果如表 5，在保水能力部分，大羅蘭溪子集水區之平均保水量最高。在崩蝕深度部分，札孔溪、灣潭溪、大羅蘭溪子集水區皆超過 0.80cm，尤以札孔溪子集水區高達 2.85cm，為需優先處理之區域。在綠覆率部分，庫區子集水區因水體約佔 11%，故綠覆率 87.63%較低，而新店溪子集水區因人為用地面積較多，故綠覆率僅 88.19%較低外，其餘狀態大致良好。在平均單位面積懸浮固體

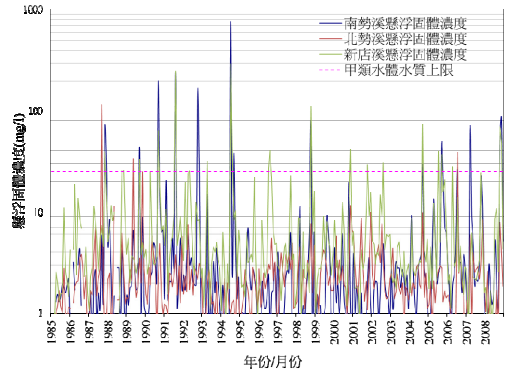


圖 9 河川歷年各月份懸浮固體濃度變化情形

Fig.9 The change of concentration of suspended solids for each stream

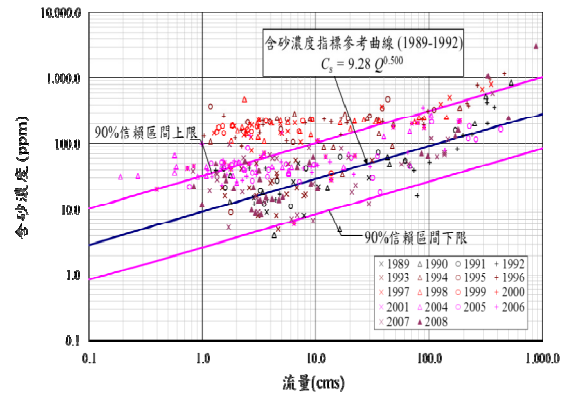


圖 10 鯉魚堀泥砂測站歷年含砂濃度與流量關係之變化情形

Fig.10 The relation between sediment concentration and discharge of Tai-Yu-Ku station

表 4 整體集水區應著重的問題

Table 4 The significant problems of the whole watershed

評估指標	指標狀況	歷年變化情形	可能問題	著重程度
逕流率	翡翠水庫集水區及屈尺流量站之枯水期平均單位面積流量分別為 6.95、5.53 mm/d，平均逕流率分別為 1.11、1.04。	未呈現明顯之升降趨勢。	水源涵養能力大致良好。	次著重
崩蝕深度	翡翠水庫集水區及南勢溪流域之崩蝕深度分別為 0.70 及 1.03cm/yr，翡翠水庫淤砂率約 5%。	-	崩蝕深度低但泥砂影響自來水供水之問題。	較應著重
綠覆率	整體水源特定區之綠覆率 95.82%。	-	植生大致良好。	次著重
水質指標	翡翠水庫水質大部分時期維持在普養或貧養狀態；河川水體之懸浮固體濃度多未超過甲類水體水質上限。	翡翠水庫 CTSI 綜合指標未呈現明顯之升降趨勢；河川水體之懸浮固體濃度呈長期下降的趨勢。	水質大致良好但颱風豪雨過後，南勢溪上游濁度飆高影響水質。	較應著重
含砂濃度	福山站之含砂濃度常大於 1500P.P.M.；坪林站、鯉魚堀站、金瓜溪站之含砂濃度較低。	福山站含砂濃度由初期逐漸下降，其後逐漸上升至初期程度；坪林站、鯉魚堀站、金瓜溪站之趨勢則相反。	福山站上游集水區因自然崩塌使得含砂濃度上升。	較應著重

污染量部分，金瓜寮子集水區最高，其次為北勢溪子集水區；在南勢溪流域中，則以札孔溪子集水區最高，為需要加強保護水質之區域。

以子集水區為單元可說明如下：札孔溪子集水區之崩蝕深度最高，平均單位面積懸浮固體污染量在南勢溪流域中最高；另由航照等相關資料可知，札孔溪河道中部分河段有嚴重土石堆積情形，且河岸崩塌嚴重，應特別注意潛在災害，其最主要的問題為土砂平衡及水質問題。

北勢溪、鱸魚堀溪、金瓜寮溪子集水區為保水量較低的子集水區，平均單位面積懸浮固體污染量則較高；另由航照等相關資料可知，三條溪之主流河道中部分河段有嚴重土石堆積情形，且河岸緊鄰農田、聚落，應特別注意潛在災害，其最主要的問題為水文平衡及水質問題。

新店溪子集水區因人為用地面積約佔 7.48%，致使綠覆率次低；另由航照等相關資料可知，新店溪部分河段有嚴重土石堆積情形，且河岸緊鄰道路、農田，應特別注意潛在災害，其最主要的問題為人為開發及部分河段之沖淤問題。

五、預警制度之建立

五項指標中，逕流率、含砂濃度可從歷年變化情形訂定出一組參考值曲線，如未來各指標實測之資料

點位於參考值曲線附近，則可推斷集水區仍具良好之健康狀況。反之，若資料點遠離參考值曲線，則可推斷健康狀況可能有惡化情形。

崩蝕深度及綠覆率之參考值則採用最近期之崩蝕深度及綠覆率分析結果，即假設未來人為活動之影響不會增加的情況下，將最近期的崩蝕深度及綠覆率視為健康現況。水質指標參考值則採用現行的水質標準，來評估水質良窳。

在指標之時間尺度方面，逕流率、水質指標及含砂濃度等可以每月（或更短的時間）進行量測，但崩蝕深度及綠覆率受限於資料來源及費用等因素，且其短期變化並不明顯（除非有重大颱風豪雨事件）。因此，以每月可得的逕流率、水質指標、含砂濃度作為第一階段的預警指標，崩蝕深度及綠覆率作為第二階段的指標。當第一階段的某指標經評估後落於信賴區間外，代表集水區有健康惡化的可能，若此指標落於信賴區間外持續 3~6 個月，則代表該測站上游集水區健康惡化的可能性極高，需進行第二階段的評估。崩蝕深度及綠覆率的評估，除可瞭解真正的健康狀況外，更能指出問題點所在。另一方面，在颱風豪雨事件後，第一階段的指標常會有極端值出現情形，此時應針對出現極端值之測站的上游集水區，直接進入第二階段的評估，以確實掌握集水區狀態；預警指標之評估流程如圖 11 所示。

表5 各子集水區之評估指標

Table 5 The assessment indicators of sub-watersheds

流域	子集水區	最大保水量 S (mm)	崩蝕深度 (cm/yr)	綠覆率 (%)	懸浮固體 SS (kg/ha/yr)
北勢溪流域	灣潭溪	105.6	1.40	98.80	88.2
	北勢溪	100.7	0.80	95.81	104.5
	鱸魚堀溪	105.4	0.76	98.08	89.9
	金瓜寮溪	102.8	0.61	98.26	105.2
	庫區	90.6	0.34	87.63	84.0
南勢溪流域	大羅蘭溪	182.7	0.84	98.69	86.4
	札孔溪	156.9	2.85	98.37	88.6
	南勢溪	129.9	0.59	97.89	85.0
	桶後溪	121.8	0.64	98.75	84.8
新店溪流域	新店溪	108.9	0.17	88.19	89.6
小計 (平均)		118.4	0.82	95.82	89.4

六、結論與建議

1. 本研究提出一組土砂保育健康指標，來反映集水區之土砂狀況，期能與目前多著重在反映水質或生態狀況之健康指標結合，以利未來評估集水區之整體健康狀況。
2. 本研究以監測、診斷、處理三步驟來建立土砂保育健康診斷模式，並利用易於監測且具有代表性的指標來做為預警指標；以資料點落於參考值曲線之位置來反映其健康狀況，有助於及早發現集水區之問題並施以必要的治理措施。
3. 依據整體集水區之問題診斷結果，本區主要問題為札孔溪子集水區因自然崩塌使得颱風豪雨後南勢溪濁度飆高，而其相應之策略目標為 (1) 降低集水區上游土砂下移、(2) 改善水質濁度。此外，目前區內之水源涵養和植生覆蓋良好，但仍需維持以永續經營水源特定區；因此，其策略目標亦應包含 (1) 涵養水源、(2) 森林保育。綜上四種策略目標便可進行整體集水區之策略規劃，再根據各子集水區之問題評估結果擬定策略方案。

4. 本研究以土砂保育做為評估目標 (如圖 1)，因此建立一組健康指標來評估集水區之土砂狀況。其中，水質指標僅針對與土砂較有關連之懸浮固體濃度進行分析，若考量以生態保育等做為評估目標時，水質指標之考量項目可能就變成生化需氧量 (BOD) 等。因此，未來可針對集水區不同評估目標各建立一組健康診斷指標，整合後即可評估集水區各面向之健康狀況。

參考文獻

1. 王仲宇 (2009), 「橋梁的健康診斷」, 科學發展, 434, 18-23. (Wang, C. Y. (2009). "Bridge health diagnosis," *Journal of Science Development*, 434, 18-23. (in Chinese))
2. 水土保持局 (2007), 「山坡地逕流係數選用值之研修」。(Soil and Water Conservation Bureau (2007). *Revision of Slopeland Runoff Coefficient*. (in Chinese))
3. 水土保持局 (2006), 「集水區整體治理調查規劃參考手冊」。(Soil and Water Conservation Bureau (2006). *Integrated watershed investigation and planning manual*. (in Chinese))
4. 張尊國、余忠賢、徐明霖 (1996), 「德基水庫集水區非點源污染負荷之研究」, 第九屆環境規劃與管理研討會論文集, 中華民國環境工程學會編印, 台北, 台灣, 30-36. (Chang, T. K., Yu, Z. X. and Xu, M. L. (1996). "Non-point source pollution in Der-Chi Reservoir Watershed," *Proceedings of the 9th environmental planning and management conference*, Chinese Institute of Environmental Engineering, Taipei, Taiwan, 30-36. (in Chinese))
5. 陳宜清, 何宗翰 (2004), 「探討以健康河川及棲地評價概念應用於野溪治理生態工法之評估」, 第十四屆水利工程研討會, 國立交通大學編印, 新竹, 台灣, 12-18. (Chen, Y. C. and Ho, C. H. (2004). "The concepts of healthy river and habitat evaluation applied to assessment of ecotechnology for upland river regulations," *Proceedings of the 14th Hydraulic Engineering conference*, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan, 12-18. (in Chinese))
6. 陳樹群、王文能、何智武、吳俊鉉、賴益成

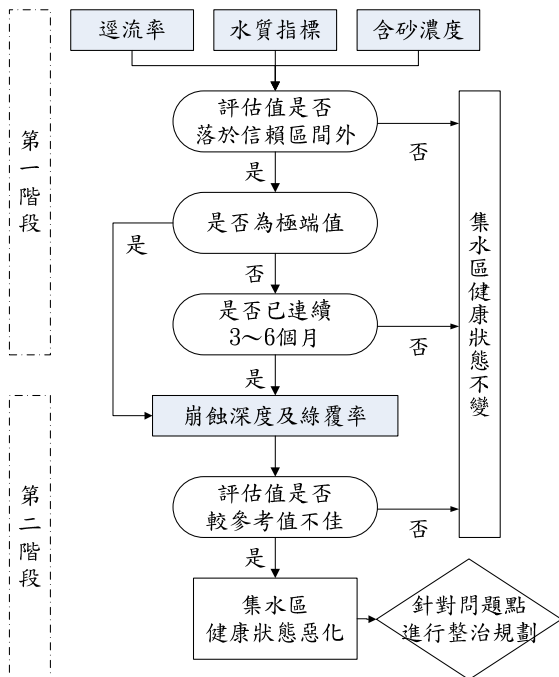


圖 11 預警指標之評估流程圖

Fig.11 The assessment flowchart of the early warning system

- (2006), 「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究 (3/3)」, 經濟部水利署。(Chen, S. C., Wang, W. N., Ho, C. W., Wu, C. H. and Lai, Y. C. (2006). *The Evaluation Study of Landslide Potential and Landslide Volume in Reservoir Watersheds (3/3)*, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs. (in Chinese))
7. 陳樹群、簡如宏、馮智偉、巫仲明 (1998), 「本土化土壤沖蝕指標模式之建立」, 中華水土保持學報, 29(3), 233-247。(Chen, S. C., Chien, S., Ferng, J. W. and Wu, C. M. (1998). "Development of Soil Erosion Index Model in Taiwan Watershed," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 29(3), 233-247. (in Chinese))
 8. 楊東錦 (2007), 「高屏溪流域之非點源污染評估」, 國立中山大學環境工程研究所博士論文。(Yang, T. C. (2007). *Evaluation of Non-Point Source Pollution in the Kaoping River Watershed*, PhD thesis, National Sun Yat-sen University, Taiwan, R.O.C. (in Chinese))
 9. 溫清光、張智華 (1998), 「台灣非點源污染管理及控制現況」, 中美非點源污染控制管理與技術合作研討會論文集, 環保署, 台北, 台灣, 2-1~2-24。(Wen, C. G. and Chang, C. H. (1998). "Non-point source pollution management and control in Taiwan," *Proceedings of the non-point source pollution management and control in USA and Taiwan conference*, Environmental Protection Administration, Taipei, Taiwan, 2-1~2-24. (in Chinese))
 10. 劉錦添、葉俊榮、李玲玲、駱尚廉、王俊秀、黃書禮、蔡慧敏、施文真 (2005), 「永續台灣的願景與策略-永續台灣的評量系統」, 國家科學委員會。(Liu, J. T., Yeh, J. R., Lee, L. L., Lo, S. L., Wang, C. S., Huang, S. L., Tsai, H. M. and Shih, W. C. (2005). *Sustainable Taiwan: visions and strategies-sustainable Taiwan indicator system*, National Science Council. (in Chinese))
 11. 羅偉佑 (2003), 「臺灣北部地區集水區洪峰流量特性及其頻率分析之探討」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。(Lo, W. Y. (2003). *Study of Peak Flow and Frequency Analysis of Watershed for Northern part of Taiwan*, Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, R.O.C. (in Chinese))
 12. Heathcote, I. W. (2009). *Integrated watershed management, principles and practice*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
 13. Jones, C., Palmer, R. M., Motkaluk, S. and Walters, M. (2002). *Watershed health monitoring*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
 14. Rogue Basin Coordinating Council (2006). *Watershed health factors assessment*, Rogue Basin Coordinating Council, Talent, Oregon.
 15. Schramm, G. (1980). "Integrated river basin planning in a holistic universe," *Natural Resources*, 20(4), 787-806.
 16. U.S. Army Corps of Engineers (2000). *HEC-GeoHMS user's manual*, U. S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
 17. U. S. EPA (2002). *Index of watershed indicators: An overview*, U. S. EPA, Washington, D. C.
 18. Wikipedia (2010). "Structural health monitoring," Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Structural_health_monitoring> (Feb. 10, 2011).
-
- 2011年02月11日 收稿
2011年05月19日 修正
2011年05月23日 接受
- (本文開放討論至2012年3月31日)