

橋樑沖刷潛勢專家評估系統的研究

曾明性

中山醫學大學資訊管理學系

摘 要

近年來橋樑沖刷災害時有所聞，每逢暴雨時期常造成人民生命財產的損失。橋樑沖刷災害吾人雖然無法確知何時會發生，但何處可能易生災害，吾人可經由專家知識預先評估而得知。因此，本研究應用圖形使用介面開發程式結合資料庫管理系統、專家系統、及地理資訊系統元件，研發一套友善化且具人工智慧推理評估能力的橋樑沖刷潛勢評估專家系統。本專家評估系統，經驗證結果顯示，尚能適當分級評定，頗能達到防微杜漸的先期防災目的。

關鍵字：橋樑沖刷災害、圖形使用介面、資料庫管理系統、專家系統、地理資訊系統元件。

A Study of GIS-based Expert Evaluating System for Potential Bridge Scour

Ming-Hseng Tseng

Department of Information Management

Chung Shan Medical University

Abstract

Bridge scour disasters have often happened in Taiwan in recent years. It causes a lot of damage to human life and people's property during major storms. Although we could not foresee when a bridge scour hazard will occur, we can predict where will easily trigger disaster, if proper expert-based evaluation is performed on time. The aim of this study is to build up a user-friendly expert system of bridge scour potential evaluations by integrating a Graphic User Interface (GUI) with a Database Management System (DBMS), an Expert System (ES), and a Geographic Information System Object (GIS Object). Through case verifications, we have certified this expert system is suited to assess the risk of potential bridge scours for pre-warning and hazard prevention purposes.

Keywords: Bridge Scour Disasters, Graphic User Interface, Database Management System, Expert System, Geographic Information System Object.

壹、緒論

一、研究動機

台灣地區因為中央山脈縱列，河川多呈東西流向，所以南北交通系統都必須跨越眾多的河川，全國橋樑也隨著不斷增加，在可預見的將來，橋樑在公路系統中所扮演的角色將日趨吃重。交通部民國八十六年估算台灣地區大約有二萬零一百八十四座橋樑（曾明性等 1999）；另交通部路政司統計的公路橋樑則有一萬零五百四十二座（曾明性等 1999）。橋樑為公路系統中不可或缺的主要環節，一旦遭受損害而出現問題，對交通運輸、社會經濟、以致於人民生命財產都會造成極大的影響。而影響台灣橋樑使用年限的三大主因為地震、腐蝕與洪水災害。近年來橋樑災害所佔之發生比率及嚴重受損之程度，均以洪水之冲刷災害為最高（王仲宇等 1999）。由於本省砂石供應體系始終以開採河川砂石為主要來源，其年平均生產量約佔砂石總生產量 90% 以上（陳逸偵 1996），河床砂石經歷長期以來之過度使用，已然造成本省西部各大流域中下流之主河道的河床高程嚴重下降，更加上本省河川坡陡流急，每逢暴雨洪水迅速漲落且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，導致原本已裸露之橋基更形惡化，甚至橋樑傾斜、倒塌，造成交通中斷，對人民生命財產造成莫大的傷害（林呈 1998；曾明性等 1999）。如民國八十七年六月七日因豪雨冲刷，台二十一線牛眠橋倒塌造成數起人車傷毀；民國八十九年八月二十七日碧荊絲颱風發生台一線高屏大橋斷橋事件造成多起車毀人傷；民國九十年七月三十一日桃芝颱風造成台二十一線沿路多座橋樑的破壞或流失，更是震驚國內外（林呈等 2001）；在彰顯橋樑冲刷災害之嚴重性，與開發建置能發揮先期防災功效之資料庫管理系統及災害潛勢專家評估系統的重要性。

河流因受自然環境及人類活動的影響下，呈現高度複雜性，而河川演變與橫跨其上之橋樑基礎更會互動影響，造成橋樑冲刷災害肇災機理更形複雜。而我國目前從事橋樑養護管理與設計施工之人員大多具有豐富的結構力學分析專長，惟對河川水利動態變化特性、洪流中泥砂運移現象、橋樑冲刷機制與防治對策等水利專業知識卻較為生疏。由於要進行橋基冲刷潛勢評估所需之資料與知識，牽涉到水利及橋樑兩個跨領域及跨單位之知識分享的問題。單以資料而言，我國中央政府目前管轄河川水利資料的行政單位就有經濟部及農委會，而橋樑管理權責則為交通部。台灣河川數量及橋樑數量眾多，各單位之管理權責不同，其資料屬性保存亦不同，目前各單位仍以書面資料方式儲存及人工管理為主，不僅許多書面資料易隨工作人員之離職而流失，資料保存亦不易又佔大量空間，而資料之流通與分享更有困難。想要對相關資料進行檢索查閱，更是十分地繁雜與無效率。因而橋樑養護管理單位對非任務職掌之橋樑水利資料取得相當不易，當要進行工程決策時常有資訊缺乏與知識不足之憾（林呈等 2001）。

根據行政院農委會統計，我國近三十年來平均每年天然災害損失金額高達新台幣一百一十億元，並造成為數不少的人命損失，為強化天然災害先期預警能力，如何整合最

新發展之資訊通訊科技，規畫並建置相關資料庫、模式庫、決策支援系統、及專家系統 (Expert System; ES)，以減少或消彌天然災害損失，是當前國土資源政策具體行動方案之一。專家系統是人工智慧 (Artificial Intelligence; AI) 眾多型態中重要的分支，簡言之專家系統就是一套具模擬專家解決問題能力的管理資訊系統 (Management Information System; MIS)，當人類的專家忙碌或不易尋找時，專家系統可輔助一般使用者提供專家的決策 (Russell & Norvig 1995; Giarratano & Riley 1998; Jackson 1999)。專家系統的目的是將專家的經驗與知識數位化，結合資訊系統和資料庫管理系統，利用人工智慧的推理原理，以程式的運作來表現。因此專家系統具有讓非專家的工作者可具有專家般的決策能力、可將工作流程自動化增進效能、更重要的是可保存可能流失的專家知識或經驗等益處。

政府在近幾年來積極推動行政資訊化，應用資訊技術提昇行政的效率與品質，以達到便民及創新的效益。自民國七十九年正式成立國土資訊系統推動小組進行各項推動工作，以建立全國性大型地理資訊系統為目標。地理資訊系統之開發與應用，就是提供各使用單位在處理大量圖籍與相關文字資料之管理與查詢的最佳解決方案；配合完整之中文介面與印表技術，更可提供高效率資訊服務。但以往傳統使用如 ArcView 或 MapInfo 軟體進行系統開發，使用者皆須再額外購買這些功能強大卻不常使用的地理資訊系統 (GIS) 專業軟體 (曾明性等 2000)。加上這些 GIS 軟體功能龐大，當與其它管理資訊系統 (MIS) 結合時，系統執行常無法達到最大效能，導致系統資源相當浪費 (Esri 1996a; 周天穎 2002)。

二、研究目的

因此，本文主要的研究理念是開發一套友善化的橋樑沖刷潛勢專家評估系統，於洪水來臨或災害發生前，由中央至地方之各級橋樑養護管理單位，即可根據該管轄橋樑的水利資料庫配合專家的評估知識，評估其沖刷潛勢的危害度，以有效強化橋基沖刷災害先期預警能力。在實作上，本研究以圖形使用介面開發程式結合資料庫管理系統、專家系統、及地理資訊系統元件，開發一套低建置成本、可攜性高、具圖形使用介面、具地理資訊圖文查詢功能、與具專家評估能力之管理資訊系統。並以頭前溪流域的圖文資料為例，進行橋樑水利資料庫之建置說明。

貳、文獻回顧

資訊科技發展迅速，促進知識數位時代的來臨，今日全球各地災害的監控、追蹤、分析、推估、防範、通報及處理過程，已可運用當今之資訊通訊技術建置管理資訊系統以輔助解決各類災害管理問題。美國密西西比河的洪水災害監控以洪水前及洪水發生過程的衛星影像，套疊地理圖形資料，能即時地顯示建築物、道路、路標等受洪水淹沒的變遷情況，以隨時提供相關的防範措施和評估災害所造成的損失 (Goodwin 2001)。Cubillo and Rodriguez (1991) 結合水質模擬模式、資料庫、及互動式使用介面建構一套廢水處

理操作專家決策支援系統。Meijerink et. al. (1993) 結合數學模式、地理資料庫與一套 GIS 決策規則庫來協助評估經濟生產與環境退化間之關係。Simonovic (1993) 結合計算模式及 GIS 功能評估洪水淹沒危害區，以專家系統用來選擇洪災管理的替代方案，以資料庫管理系統來擷取模式所需資料。國內應用資訊技術於水利事務方面，為適度減輕淹水災害，並達預警效果，在地理資訊系統之架構下，建立完整精確之基本資料庫及建立適合各區域之良好的淹水模式，以分析各種降雨情況下之淹水地區及時間，因而可供區域排水治理規劃、工程實施及時間，因而可供區域排水治理規劃、工程實施及管理等多種用途（蕭茂鎮 1998；曾明性等 2000）。工研院能資所發展水庫預警專家系統，根據雨量、風向及降雨資料，來協助水庫洩洪的時機與排放量，避免山洪爆發，水庫無法承受，造成水災。台大生工系整合地理資訊系統、地下水分析模式、及水權核發專家系統三種工具進行台灣地區水資源管理決策支援系統之建置（劉振宇等 2000）。

一般的 GIS 軟體提供了相當完整的工具以應付專業的研發需求，但是通常使用單位的需求只需要其中的十分之一或更少。在過去地理資訊系統可能只提供了其部分的功能在單位中的應用，亦即，購置地理資訊系統可能僅為了要能夠放大、縮小與查詢而已；因此，建置地理資訊系統不但未能物盡其用反而徒增成本。GIS 元件則只提供使用者常使用的功能，以最小的資源需求滿足使用者的功能需求。故 GIS 元件的應用方式可將單位所需要的功能，有彈性地嵌入管理資訊系統中，不但有效降低開發成本、其系統更具擴充性，並可減少系統資源的浪費（Esri 1996a；周天穎 2002）。

1960 年左右，麻省理工學院的 Marvin Minsky 首創人工智慧（AI）這個名詞後，人工智慧的發源直到近十年才逐漸受到學術界與工商界的認同，而自成一領域。在台灣，人工智慧雖尚在啟蒙期，但其重要性已漸受產官學研各界的重視。專家系統乃人工智慧之一分支，但由於許多成功系統之開發完成，且其使用者給予高評價，故成為人工智慧最受重視的一門。專家系統是一種電腦化系統，具有邏輯推理能力，以蒐集歸納某特定領域之專家知識與經驗，並結合專家知識智慧系統，以解決現實問題。由於專家系統可儲存豐富的專業知識、不受環境影響可隨時隨地提供服務、反應迅速正確不像人類專家因主觀情緒等因素可能作出不同決定、及可提供合理邏輯的解釋說明等諸多優點，其應用之範圍日漸廣泛，尤以醫學診療、資源探測、化學分析、及故障偵查等方面的成效較高。如 PROSPECTOR 系統協助地質學家找到價值一億美元以上的稀有鉬礦石；PUFF 系統幫助許多醫生進行肺部疾病診斷工作；DENDRAL 系統輔助許多化學家分析化學物的結構等。經這些專家系統的實用證明，專家系統對各行各業的確有相當效益（Russell & Norvig 1995；Giarratano & Riley 1998；Jackson 1999；林堯瑞、馬少平 1992）。

參、研究流程與方法

一、系統分析

本文的研究目的是開發一套適用全台各流域的橋樑沖刷潛勢專家評估系統之架構，

以有效強化橋樑沖刷災害先期預警能力。茲就需求分析、資料擷取、專家知識建立、推理邏輯發展、專家系統規劃及專家系統開發各項進行說明如下：

（一）需求分析

以往橋樑安全檢測皆依賴專家到現場評估，由於橋樑數量相當龐大，礙於專家人力及執行經費限制，每逢颱風暴雨要進行橋樑安全全面檢測是件困難度相當高的問題（林呈等 2002）。若能將橋樑與水利之跨專業領域的專家知識轉化成規則後存成知識庫，並以邏輯推理的方式進行橋樑沖刷潛勢危害度評估的推理，使用者並可透過一個友善化的圖形介面進行交談查詢，則藉由此系統中之專家知識即可幫助政府各級橋樑管理單位之專業工程師們，在無專家協助下亦能具有專家般的評估能力、並可將工作流程自動化以增進效能、進而保存可能流失的專家知識或經驗、甚而可應用此專家系統進行員工教育訓練以提升員工知識效率。另則，由於相關資料深具空間分佈特性，若能對其屬性資料與圖形資料進行交叉結合查詢，對使用者而言，是個相當重要的需求。

（二）資料擷取

由於橋樑是跨河興築的構造物，故要進行橋樑沖刷潛勢危害度評估，首先需同時具備橋樑與河川的相關資料。而台灣河川數量及橋樑數量眾多，各河川特性亦有不同，加上相關資料需跨不同行政單位如交通部掌管橋樑資料、經濟部與農委會掌管水利資料。為改善此種跨單位的知識分享問題，並建構適用各河川之橋樑水利資料庫的一般性模式，本研究團隊近年來已分別針對本省北部頭前溪流域、中部濁水溪流域、南部高屏溪流域及東部卑南溪流域等四條具代表性河川的相關水利資料屬性進行彙整與歸納（林呈等 2001；2002）。擬定以法令公告之資料屬性為主，並增添許多橋樑專業管理需求之資料屬性為輔，進行資料擷取及邏輯資料庫規劃。本文並以頭前溪流域資料為例，進行橋樑水利資料庫之建置說明。

（三）專家知識建立

資訊來自於資料，而知識來自於資訊。本文專家知識的建立過程，由兼具水利專業知識之本文作者擔任知識工程師，透過蒐集近年相關研究報告等書面資料的分析比較（林呈 1998；王仲宇等 1999；林呈等 2001；2002）、主持或參與多年現場調查研究計畫所獲得的專家經驗（曾明性等 1999；林呈等 2001；2002）、與專家們進行交流討論等方式，進行專家經驗與知識之擷取。在知識庫中，專家知識表示法可以用產生式法則（Production Rules）、語法網路（Semantic Nets）、框架（Frames）、邏輯（Logics）等方法來組織知識，其中以產生式法則為最常用的知識表示法，有超過 70% 的專家系統都採用此法來建構知識庫（Giarratano & Riley 1998；Jackson 1999；林堯瑞、馬少平 1992），本研究亦採用產生式法則構築規則庫，進行本文專家知識數位化的工作。

（四）邏輯推理發展

邏輯推理策略如果依照規則使用的方式或按推理方向來劃分，通常可使用如下三種策略：向前推論（forward reasoning）、向後推論（backward reasoning）、及前後推論（forward-backward reasoning）（Russell & Norvig 1995；Giarratano & Riley 1998；Jackson

1999；林堯瑞、馬少平 1992)。本系統首先由使用者提供一些資訊，繼之系統開始搜尋知識庫內的法則，當條件為真時，則執行該規則，以進行其潛勢危害度的評估目標，故本系統採用向前推論策略進行邏輯推理發展。

(五) 專家系統規劃

本文採用前向分解產生式系統 (Forward-Chaining Separate Production System) 進行專家系統規劃 (Russell & Norvig 1995；林堯瑞、馬少平 1992)。分解產生式系統即透過歸約技術，將問題的目標分解成多個子目標集合，先進行各子目標的求解後，再求解主目標。故本系統先將專家規則庫分解成十五項之規則子集分別進行前向推理，繼之再以專家經驗給定各規則子集之推論結果的權重配分，最後推論出橋樑沖刷潛勢危害度之評估結果。

(六) 專家系統開發

現有的各種專家系統開發工具，大體上可以分為兩類，一類是骨架型工具，另一類為語言型工具 (Giarratano & Riley 1998；Jackson 1999；林堯瑞、馬少平 1992)，由於本專家評估系統設計定位在輔助各橋樑管理單位之專業工程師進行沖刷潛勢專家評估，屬小型專家支援系統；加上本專家系統整合橋樑水利資料庫、潛勢評估資料庫及地理資訊圖文交叉查詢功能，故本系統不採用現成的專家系統開發工具，改採用可提供方便且有效地呼叫資料庫及整合 GIS 元件之程式語言進行系統開發。

在歷年來眾多成功的專家系統中，所使用到的電腦語言有 PASCAL、FORTRAN、C、LISP、PROLOG 等 (Giarratano & Riley 1998；Jackson 1999；林堯瑞、馬少平 1992)。近年來由於物件導向程式設計概念很容易與我們的日常生活週遭的事物密切結合，一些專家系統的工作者逐漸以它來發展程式。一般而言，專家系統開發語言並非一定要用何種語言不可，端賴開發者自己的偏好與問題的適切性。由於本文已儘可能將專家經驗與知識轉換成數字及文字串型式，故本系統使用具物件導向式事件驅動的 VB 程式進行 GUI 介面、知識庫、推理引擎及解釋介面之開發建置。

基於上述系統分析，本文引用知識管理的理念，整合資訊管理與水利工程跨領域的專業知識，首先將河川與橋樑沖刷相關之眾多資料加以擷取、彙整與歸納，進行適用各河川流域之橋樑水利資料庫綱要設計。並以頭前河流域的圖文資料為例建置橋樑水利資料庫管理系統，可將資料加以有系統保存，有助於橋基沖刷之現場調查、施設監測系統與橋基保護工之規劃設計等工作之推展、及橋樑各級安全檢測評估之資料來源。繼之結合 GIS 元件提供使用者常用之圖形查詢功能，使用者不需購置任何 GIS 軟體，即可使用本系統圖文交叉查詢的功能，可有效節省使用者之資源。最後將橋樑沖刷災害成因及橋樑沖刷潛勢專業經驗與知識進行分析、歸納與轉換，建置成知識庫及推理引擎，並整合使用者資料輸入 GUI 精靈介面、及橋樑沖刷潛勢等級評估之解釋介面，開發完成橋樑沖刷潛勢專家評估系統，可有效輔助各縣市鄉鎮之橋樑管理單位進行橋樑安全管理工作。

三、橋樑水利資料庫設計與建置

(一) 邏輯資料庫設計

針對本省北部頭前溪、中部濁水溪、南部高屏溪及東部卑南溪等四條具代表性河川的相關水利資料屬性進行彙整與擷取(林呈等 2001; 2002), 並輔以橋樑管理所需之水利專業知識, 增添原書面資料缺少但重要之屬性, 初步完成資料庫屬性資料表 R 如下:

R (橋樑斷面, 橋名, 流域, 橋樑竣工時間, 計畫洪水量, 計畫洪水位, 計畫河寬, 計畫河床高, 計畫樑底標高, 現況通洪能力, 85 賀伯洪水位, 現況河寬, 現況河道最低點高程, 現況樑底標高, 橋長, 橋墩單寬, 橋墩數目, 總橋墩寬, 橋墩跨距, 通水遮斷面積率, 出水高減少率, 橋墩冲刷情形, 改善建議, 基礎形式, 基礎形狀, 基礎貫入深度, 基礎斷面尺寸, 基礎頂面高程, 保護工寬度, 保護工長度, 保護工高度, 保護工頂面高程, 左岸護岸工形式, 右岸護岸工形式, 河道形態, 平均粒徑, 糙率係數 n 值, 低水治理, 河道匯流, 河床地質, 緊臨山壁, 具有影響河道冲刷的構造物, 線段編號, 線段起點, 線段終點, 河川平面圖)。

繼之, 透過邏輯資料庫設計之正規化理論 (Date 2000; Rob & Coronel 2002; 曾守正 2002), 將關聯表 R 的屬性進行投影運算切割, 消除所有決定性屬性不為候選建的功能相依性, 產生下列 3NF 的關聯表, 茲將各關聯表綱要表之如下:

1. 計畫屬性 (橋樑斷面, 橋名, 流域, 橋樑竣工時間, 計畫洪水量, 計畫洪水位, 計畫河寬, 計畫河床高, 計畫樑底標高)。
2. 現況屬性 (橋樑斷面, 現況通洪能力, 85 賀伯洪水位, 現況河寬, 現況河道最低點高程, 現況樑底標高, 橋長, 橋墩單寬, 橋墩數目, 總橋墩寬, 橋墩跨距, 通水遮斷面積率, 出水高減少率, 橋墩冲刷情形, 改善建議)。
3. 基礎屬性 (橋樑斷面, 基礎形式, 基礎形狀, 基礎貫入深度, 基礎斷面尺寸, 基礎頂面高程)。
4. 保護工屬性 (橋樑斷面, 保護工寬度, 保護工長度, 保護工高度, 保護工頂面高程, 左岸護岸工形式, 右岸護岸工形式)。
5. 水理屬性 (橋樑斷面, 河道形態, 平均粒徑, 糙率係數 n 值, 低水治理, 河道匯流, 河床地質, 緊臨山壁, 具有影響河道冲刷的構造物)。
6. 圖形資料 (線段編號, 線段起點, 線段終點, 河川平面圖, 橋樑斷面)。
上述圖形資料表所含之資料, 本文利用 ArcView 軟體將之數化處理成 ShapeFile 格式, 並以下列之圖文連接表取代之。
7. 圖文連接 (線段編號, 圖徵類型, 河川平面圖, 橋樑斷面)。
8. 整個橋樑水利資料庫各關聯表之主鍵及外來鍵的關聯圖, 如圖 2 所示。

(二) 資料庫建置

本研究首先收集頭前溪流域所有橋樑歷年來的規劃報告及研究報告, 由於相關報告年代差距久遠, 加之又有新建橋樑或舊有橋樑改建重編; 因而先在頭前溪流域河川平面圖之圖面資料上, 標記核對歷年相關報告中同一座橋樑之屬性資料後, 篩選出 6 本資料

較完整可靠的報告為資料來源(林呈 1998;水利局 1982;1994;水利處 1998a;1998b;1999),才進行圖面資料之掃描數化及橋樑屬性值之抄錄。繼之根據上節設計之資料庫綱要,建置頭前溪流域橋樑水利資料庫。

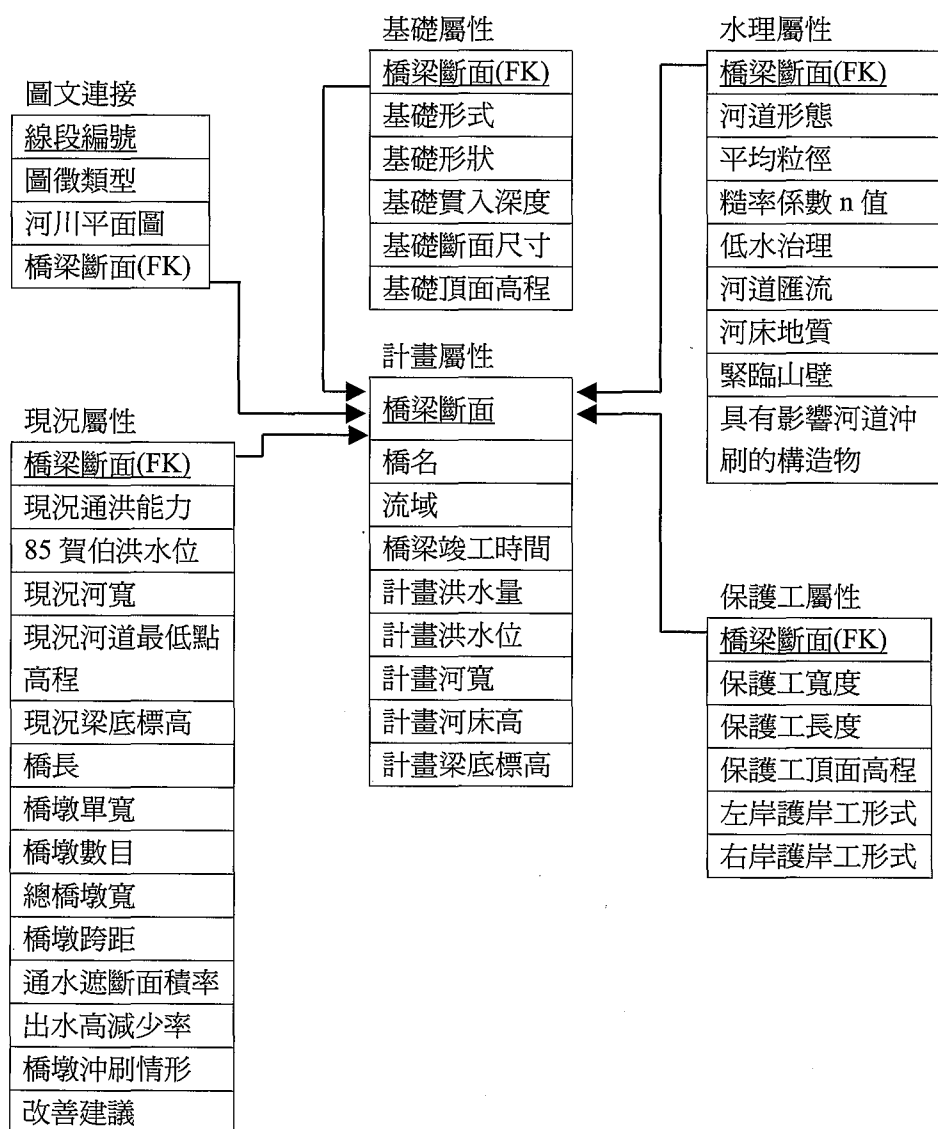


圖 2：橋樑水利資料庫之關聯圖

四、橋樑沖刷潛勢評估知識庫設計與建置

(一) 橋樑沖刷專業知識

學理上，一座橋樑斷面可能遭受之總沖刷深度係為一般沖刷 (General Scour) 及局部化沖刷 (Localized Sour) 兩大型態所組成 (Melville & Coleman 2000)；一般沖刷係指河床全面的下降，其成因主要為自然或人為因素，使河川泥砂運移喪失平衡所致。局部化沖刷可再區分成束縮沖刷 (Contraction Scour) 與橋墩及橋台之局部沖刷 (Local Scour)。其中束縮沖刷係指因設置橋樑造成通水斷面減小增加流速而導致之河床沖刷行為。局部沖刷則指洪水流經橋墩或橋台周圍時，橋基周圍底床受到渦流侵蝕所導致之橋墩或橋台周圍淘刷現象。但在實務上，引起橋樑沖刷災害的成因卻是相當地多，根據林呈 (1998) 對於本省西部各大流域橋樑沖刷災害成因調查分析指出可能原因可分為砂石濫盜 (超) 開採、取水堰壩興築後所造成之一般沖刷、橋基週邊之局部沖刷、束縮沖刷或保護工未合攏、保護工興築後所造成之跌水或水躍沖刷 (Scour Caused by Free Fall or Hydraulic Jump)、向源侵蝕 (Head Cutting)、保護工施作後引致之側向侵蝕 (Lateral Erosion)、保護工興築後大尺度二次流侵蝕 (Erosion Caused by Large Scale Secondary Flow)、主河道之通水斷面不足或通水寬度太小、流石或流木之撞擊或磨損、橋址位於河川彎道處、河床軟岩之風化與沖蝕、河道匯流 (Flow Confluence) 於橋址或橋樑附近上下游、橋基貫入深度相對不足、導水路之開挖或挑水、及尾跡渦流沖刷 (Wake Vortex Scour) 等十六種。

(二) 知識庫建置

由於上節橋基或橋基保護工受損成因是相互關連的，即於現場所調查之災因非僅由單獨某項災因所造成，而是通常具有數項肇災機理同時發生、相互影響的、並與橋址周遭及上下游之時空演變資料息息相關；故此十六種橋樑沖刷肇災成因屬高水準的隱性沖刷知識，非常難以有效量化。因之，本文將其運用知識聚集與知識轉換方式，將之轉成易於量化的顯性評估知識，並儘可能與橋樑水利資料庫之資料屬性相互關聯，同時採用產生式法則構築規則庫。

首先將所有的知識規則的執行結果定義成「極嚴重、嚴重、輕微、及無」等四級量化危害度，並參酌民國八十五年~八十七年間國內橋基沖刷案例之災害成因分類與各種肇災成因重要性的統計分析成果 (林呈 1998；曾明性等 1999；林呈等 2001；2002)，同時輔以水利領域專業知識與經驗，擬定各不同因子與四級量化危害度間之關聯性，茲舉一例說明如下：

IF (近三年內橋址上下游主河道河床曾下降 >4 公尺) THEN (極嚴重)

IF (近三年內橋址上下游主河道河床曾下降 2~4 公尺) THEN (嚴重)

IF (近三年內橋址上下游主河道河床曾下降 0.5~2 公尺) THEN (輕微)

IF (近三年內橋址上下游主河道河床曾下降 <0.5 公尺) THEN (無)

經由此種知識轉換工作，共完成一百零五條規則集。繼之，為簡化使用者使用系統時之問答對話流程、推理引擎之建置、及評估結果之解釋介面，將上述規則庫集約成

十五項之規則子集(林呈等 2001):包含近年內主河道河床下降的情形、近年內主河道變遷的情形、河川整治辦理情形、鄰近有無採砂、上游攔河堰、橋樑上游或下游側具束縮河道之其他構造物、基礎型式、基礎裸露程度、本河川附近其他橋樑有無沖刷問題、樑底高程、阻水比之效應、橋基方向與河川流向間之角度、河床軟岩之風化沖蝕、具側向侵蝕或水躍或跌水沖刷的潛在因素、其他會影響橋樑沖刷穩定之異常現象。上述四條規則即為「近年內主河道河床下降的情形」規則項下之規則集。

(三) 推理引擎

本系統採用向前推論策略構築推理引擎,為使推理執行更有效率、解釋介面更形量化,依循交通部以往進行公路橋樑安全(耐洪能力)初步評估(陳清泉等 1997)的配分理念,綜合多年來現場災害調查之專家經驗與知識(陳清泉等 1997;王仲宇等 1999;林呈等 2001),以總分 100 分,將規則庫中十五項之規則子集,依其肇災重要性給予不同程度之比重配分:具側向侵蝕或水躍或跌水沖刷的潛在因素權重最高,配分 15 分;近年內主河道變遷的情形、近年內主河道河床下降的情形、鄰近有無採砂、基礎裸露程度等四大項權重次之,配分 10 分;阻水比之效應配分 8 分;其他會影響橋樑沖刷穩定之異常現象配分 7 分;河床軟岩之風化沖蝕配分 5 分;河川整治辦理情形、橋樑上游或下游側具束縮河道之其他構造物、樑底高程、橋基方向與河川流向間之角度等四大項,配分 4 分;上游攔河堰、基礎型式、本河川之附近其他橋樑有無沖刷問題等三大項配分 3 分。由歷年案例之肇災成因調查報告(林呈 1998;曾明性等 1999;林呈等 2001)可得知,若各規則子集的發生事實愈多、愈嚴重,則其會發生橋樑沖刷災害的機率就愈高,故本文以簡單實用的線性疊加關係來累計此 15 項規則子集的肇災效應。故當系統推論總得分愈高者,代表其沖刷潛勢愈形嚴重。

(四) 解釋介面

本系統依據交通部對受損橋樑之分級定義(林呈等 2002),及交通部以往進行公路橋樑安全(耐洪能力)初步評估(陳清泉等 1997)的評定原則,採用安全有疑慮、安全略有疑慮、安全無疑慮等三級評定標準進行災害潛勢之評估與認定。經與近年來國內發生橋基沖刷災害之案例資料比對分析(林呈 1998;林呈等 2001;2002),發現當系統推論得分大於 60 分時,橋樑極會發生沖刷災害;而當系統推論得分小於 30 分時,較無橋樑沖刷災害之情事發生。故當系統推論得分大於 60 分則判屬為【安全有疑慮,應立即進行詳細安全檢測及評估】,表該橋樑極可能發生沖刷災害;當系統推論得分介於 30 至 60 分則判屬為【安全略有疑慮,近期應進行詳細安全檢測及評估】;當系統推論得分小於等於 30 分則判屬為【安全無疑慮,但須繼續進行例行性檢測維修】。此三級量化危害評定與系統推論得分間之關係目前係以比對試誤求得,其間關係並以資料表儲存以便使用者可進行修改,未來期收集更多肇災害資料進行資料挖掘來推求其間關係。另一方面,系統根據上述十五項規則子集之得分權重,對其各項肇災成因的嚴重性進行排序,並對使用者提出進一步之解釋說明,讓使用者可清楚得知各項缺失之嚴重性。最後系統並融合專家經驗與知識,對各項可能缺失提出預防改善建議,可提醒專業工程師們儘速進行相關維護管理作業;期能有效消弭災害的發生,達成先期防災的目的。

五、開發技術

本研究以圖形使用介面開發程式結合資料庫管理系統、專家系統、及地理資訊系統元件，開發橋樑冲刷潛勢評估專家系統，應用到的資訊技術簡述如下：使用物件導向式事件驅動的 VB 程式設計（郭慶龍 2000；黃世陽、吳明哲 2000；洪錦魁，2001）為本系統之 GUI 開發工具及專家系統開發語言。本系統開發屬單機使用版本，係透過 ODBC 協定進行資料庫存取，在考量不增加使用單位（如各縣市鄉鎮之工務單位）之額外電腦設備的採購負擔，採用了簡單實用的 Access 2000 進行為資料庫的建置，Access 資料庫亦可隨時轉換成企業級的資料庫。同時本系統採用由 Esri 所出產的一個 GIS 元件 MapObjects，讓程式研發人員在 VB 發展環境中，提供使用者一般常用之圖形顯示、放大、縮小、與查詢的 GIS 功能（Esri 1996a；1996b）。

肆、系統展示

本研究架構在個人電腦之 Windows 作業系統平台下，應用圖形使用介面開發程式結合資料庫管理系統、專家系統、及地理資訊系統元件，研發一套友善化且具人工智慧推理評估能力的橋樑冲刷潛勢專家評估系統。使用者不需經過複雜電腦操作技術及能力就可操作運用，提供頭前河流域的「橋樑水利資料庫」查詢管理、各橋樑的冲刷潛勢「專家評估系統」、及已評估過橋樑的冲刷潛勢「評定資料庫」查詢等三大系統功能。茲將部分重要成果展示說明如下：

一、橋樑水利資料庫查詢與管理

使用者可選用下列兩種方式進行橋樑水利資料庫之查詢：

(一) 資料循序多筆查詢：使用者可由系統提供之「屬性資料」功能，進行頭前溪橋樑圖文資料之循序多筆查詢如圖 3 所示，使用者亦可由橋樑主題圖中點選欲查

橋樑基本資料		橋樑工程資料	
橋名	竹東大橋	基礎貫入深度	10-15 ; 13(P7-P8) ; 10(P9)
流域	上坪溪	基礎斷面尺寸	4.2
断面	2	基礎頂面高程	133.30
橋樑竣工時間	1950	保護工寬度	120.0
計畫洪水量 (cms)	4300	保護工長度	以沈箱中心起算上游：16.07，下
現況通洪能力 (cms)	4300	保護工高度	單層 1.89, 雙層 3.25
計畫供水位 (m)	137.74	保護工頂面高程	單層 125.59, 雙層 126.95
85年伯供水位 (m)	137.74	左岸護岸工形式	堤防
計畫河寬 (m)	460	右岸護岸工形式	無
現況河寬 (m)	460	河道形態	順直型
計畫河床高 (m)	133.86	平均粒徑	0.04
現況河道最低點高程	139.94	雜率係數n值	無
計畫梁底標高 (m)	140	低水治理	上坪溪與油羅溪匯流於下游側
現況梁底標高 (m)	140	河床地質	砂礫石層
橋長	460	橋面山壁	無
橋墩寬度	11	影響河道冲刷障礙物	竹東鐵路橋、鼎現保工、竹東
橋墩數目 (個)	22	過水断面積率 (<8%)	4.78
49年墩寬	22	出水高減少率 (<25%)	無
基礎類型 (<70m)	沈箱基礎	橋樑冲刷情形	略長
基礎形式	圓筒柱形	改善建議	略長

圖 3：屬性查詢圖形

詢之橋樑位置，以獲知該橋樑之屬性資料如圖 4 所示，使用者亦可對橋樑主題圖直接進行放大、縮小、移動、全圖展示等功能。經由此循序式的屬性資料及圖形資料之交叉查詢功能，使用者可了解各橋樑間的空間關聯性，利於工程師進行實際橋樑之養護管理與規劃設計之需。

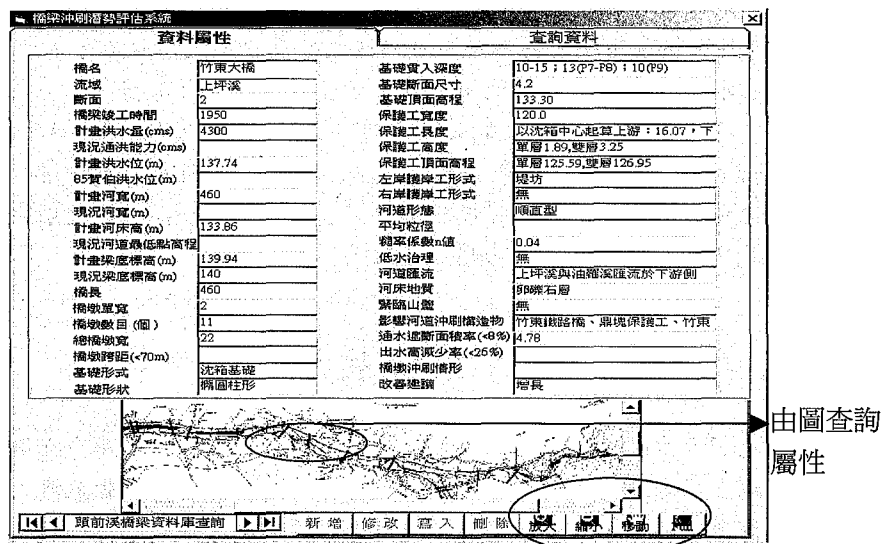


圖 4：圖形查詢屬性

- (二) 資料單筆查詢：當使用者選用「資料查詢」功能進行查詢，可直接由下拉式選單選取欲查詢之橋樑名稱，以快速查詢出所需之單筆資料，減少多筆資料循序查詢之時間。

本系統使用者不需帳號及密碼即可進入查詢，以減少使用者查詢不便。但只有系統管理者才能進行橋樑水利資料庫的屬性資料之新增、更新與刪除的動作。

二、橋樑冲刷潛勢專家評估系統

- (一) 進入本系統點選「專家評估系統」功能，畫面即出現對話精靈介面，如圖 5 所示。使用者可直接由「橋樑名稱」的下拉式選單選取曾評估過之橋樑名稱，或自行輸入新的橋樑名稱。系統會自動載入系統時間為「填表日期」。系統目前提供當評估橋樑位在頭前溪流域時，使用者可點選「GIS 地圖」查詢各橋樑位置如圖 6 所示。

橋樑沖刷潛勢評估系統

公路橋樑沖刷潛勢評估系統

請輸入填表日期: 2002/5/7

請選擇橋樑名稱: 中正大橋 GIS地圖

1. 近年內主河道變遷情形: 中正大橋 分: 10 分

橋樑說明:

(1) 若於近三年內主河道變遷造成1-1.5個橋孔或一次洪水通過後造成1/4-1/2個橋孔者為"嚴重"程度, 超過或低於此一範圍者, 則分別為"極嚴重"與"輕微"程度, 若無明顯變遷時則為"無"。

(2) 緊臨山崖而致邊坡壤土崩塌而阻塞主河道時, 可依上述佔橋樑跨徑之比例依次劃分等級。

(3) 因開挖填水路造成主河道變遷1/2-1.0個橋孔者則為"嚴重"程度, 超過或低於此一範圍者為"極嚴重"與"輕微"等級。

評估內容:

☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0)

所得權數:

得分:

下一步 取消

圖 5：選擇評估橋樑

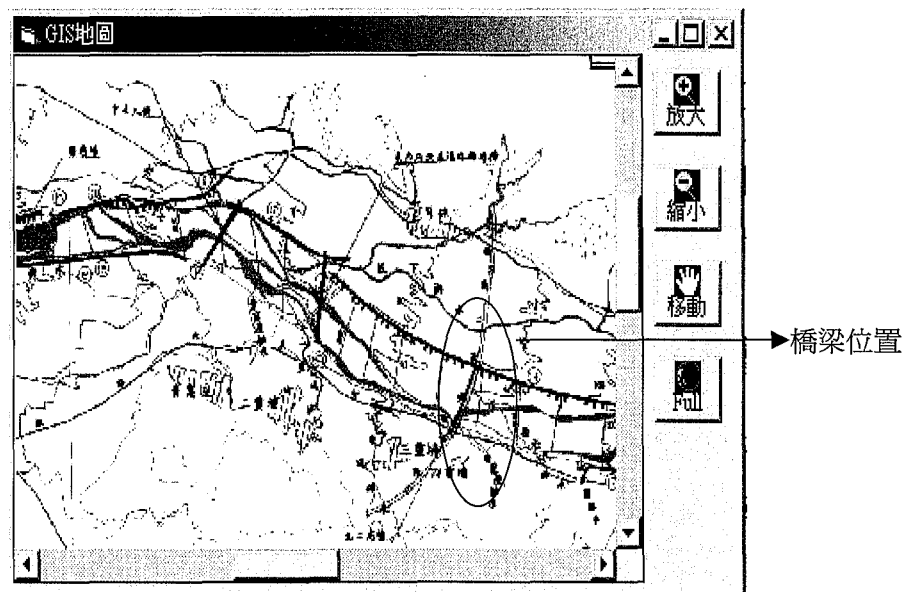


圖 6：GIS 地圖

- (二) 使用者進行評估對話時，有五題評估項目使用者可因實際情況再細分不同之嚴重程度。當選擇等級第二項「嚴重」時，此時精靈輸入畫面會請使用者依具專家經驗之摘要說明填入 0.5-0.9 之權數如圖 7 所示。若擇其他等級時，系統即會自動判別其應得權數。

圖 7：輸入權數值

- (三) 當使用者按「下一步」時則跳到下一精靈輸入畫面，選擇「上一步」則可更新輸入資料及做確認動作，如圖 8 所示。

圖 8：選擇功能

- (四) 於有關樑底高程之精靈輸入畫面，使用者可輸入其樑底高程值及堤頂高程值，或由橋樑水利資料庫匯入值，系統即會自動判斷及計算出其應得權數值如圖 9 所示。

橋樑沖刷潛勢評估系統

公路橋樑沖刷潛勢評估系統

請輸入填表日期: 2002/9/28

請選擇橋樑名稱: 北二高橋

10 梁底高程 配分: 4分

摘要說明:

(1) 若 (梁底高程-堤頂高程) ≥ 1.5 公尺，其權數為零。

(2) 若 (梁底高程-堤頂高程) ≤ 0 公尺，其權數為 1.0。

(3) 若 $0 < (\text{梁底高程}-\text{堤頂高程}) < 1.5$ 公尺，依內差法計算其權數。

評估內容:

請輸入梁底高程值: 23 請輸入堤頂高程值: 22 確定

所得權數: 33333333

權 分: 13333333

下一步

輸入評
估值

圖 9：梁底高程詢問精靈

- (五) 當使用者完成 15 題全部詢問畫面後，按下「結果」，畫面即顯示該橋樑沖刷潛勢推論評定等級。若再按下「評估內容」，系統即解釋各評估項目之嚴重程度排序，並針對各項可能缺失提出預防改善建議。若橋樑評估結果具沖刷危險性時，工程師可據之研議緊急應變措施，以達消弭災害發生之先期防災功效，如圖 10 所示。

專家評估系統查詢

請輸入填表日期: 2002/9/17

請選擇橋樑名稱: 北二高橋

安全略有疑慮，近期應進行詳細安全檢測及評估!!

嚴重性排序	項目名稱	評估內容	建議改善措施
1	具側向侵蝕或水躍沖	嚴重	辦理護岸工法、河道整治工法或
2	阻水比之效應	極嚴重	辦理護甲工法或河道整治工法
3	其他會影響橋樑沖刷	橋墩及基礎有變	辦理護岸工法、河道整治工法、
4	上游橋梁下游側具東	400公尺以內	辦理護甲工法或河道整治工法
5	河川整治辦理情形	尚未辦理或已辦	辦理河道整治工法
6	河床軟弱之風化沖蝕	嚴重	辦理護甲工法
7	近年內主河道河床下	輕微	辦理攔砂堰工法
8	基礎裸露程度	輕微	辦理攔砂堰工法、護甲工法、橋
9	近年內主河道變遷的	輕微	辦理護岸工法或河道整治工法
10	橋墩(基)方向與河川	輸入之 θ 值為 15	辦理護甲工法或河道整治工法
11	本河川之附近其他橋	嚴重	辦理河道整治工法
12	上游攔河堰	1000公尺以上	辦理護甲工法
13	梁底高程	梁底高程值為 2	辦理梁底高程加高
14	基礎形式	自源基礎	辦理基礎結構補強工法或護甲工

使用者另可選擇「完成」功能，將該橋樑此次評估推論相關資料儲存於評定資料庫內。

三、橋樑沖刷潛勢評定資料庫查詢

使用者亦可針對曾經進行過沖刷潛勢評估之橋樑的歷史評定資料庫進行查詢，如圖 10 所示，使用者即可獲知該橋樑在某評估時間點的沖刷潛勢危害度推論情形。未來若能持續收集各橋樑有無發生沖刷災害的真實資料，並結合本評定資料庫之事前推論，將可提供未來本系統之知識琢磨及規則庫修正等後續研究。

伍、系統驗證

為驗證本專家評估系統的實用性，針對本省北部頭前溪流域之中山高速公路頭前溪橋、中部烏溪流域之中山高速公路烏溪橋、中部濁水溪流域之中山高速公路中沙大橋，及南部高屏溪流域之台一線高屏大橋等四座橋樑，在未發生災害前的相關資料（林呈 1998；林呈等 2001），利用本系統進行其橋樑沖刷潛勢的評估分析。

表 1 為本專家系統對上述四座橋樑之沖刷潛勢評估的推論結果與各橋樑近年來是否有災害發生之比較情形（林呈等 2001），由表中之驗證結果顯示，不論是有發生嚴重斷橋災害者、近年來未傳出任何災情者、或該橋樑目前雖無災情傳出但安全略有疑慮者，本專家評估系統均能加以適當分級評定，頗能切合實際並能反應現狀。

表 1：橋樑沖刷潛勢評估系統驗證

橋樑名稱	推論得分	評定等級	最嚴重的缺失	建議改善措施	災害發生情形
中山高速公路頭前溪橋	49	安全略有疑慮	具側向侵蝕或水躍沖刷的潛在沖刷因素	辦理護岸工法、河道整治工法或護甲工法	民國 87 年 10 月橋基與保護工發生側向侵蝕破壞
中山高速公路烏溪橋	19	安全無疑慮	近年內主河道河床下降情形	辦理攔砂堰工法	民國 86 年完成橋基保護工後，未再傳出災情
中山高速公路中沙大橋	32	安全略有疑慮	阻水比效應	辦理護甲工法或河道整治工法	民國 84 年完成橋基保護工後，未再傳出災情
台一線高屏大橋	80	安全有疑慮	具側向侵蝕或水躍沖刷的潛在沖刷因素	辦理護岸工法、河道整治工法或護甲工法	民國 89 年 6 月發生嚴重斷橋事件

陸、結論與後續研究

一、結論

- (一) 運用資料庫開發技術，將複雜且跨行政單位之橋樑水利相關文書及圖籍資料進行資料彙整與資料擷取，完成適用各河川流域之橋樑水利資料庫的邏輯資料庫設計。並以頭前溪流域之圖文資料為例，建置【橋樑水利資料庫管理系統】，使橋樑水利相關資料能做更有效的利用及保存，並促進跨單位知識分享之理念。
- (二) 運用圖形使用介面開發程式語言（VB）結合資料庫管理系統、專家系統、及地理資訊系統元件以低成本、有效節省系統資源、具圖形使用介面之理念進行系統開發，使用者不需額外再購置其開發軟體，即可使用本系統所有的功能，包含使用者常用的 GIS 查詢需求，可節省使用者相當多的資源，其建置成本及容量需求均遠低於以往使用 GIS 軟體進行開發之系統，且系統未來之擴充性、可攜性、移植性及經濟性均較傳統以專業 GIS 軟體開發者來的便利。
- (三) 運用專家系統開發技術，歸納轉換相關專家經驗與知識以建置【橋樑沖刷潛勢評估專家系統】。經驗證結果顯示，本系統對各橋樑沖刷潛勢的危害度尚能適當分級評定，頗能達到先期預警之功效。本專家評估系統可提供政府各級橋樑管理單位之專業工程師，於洪水或災害發生前，即能根據該橋樑之沖刷潛勢評估，對具有沖刷潛勢之危害者予於快速因應補強，以達到防微杜漸的先期防災目的。

二、後續研究

- (一) 期能持續收集橋樑沖刷發生案例之資料，並結合本系統之評定結果資料庫，應用資料挖掘技術，進行知識庫之知識琢磨模組（規則庫學習更新）的開發。
- (二) 期能將本系統改成網路版，並結合 PDA 或 WAP 無線通訊系統，橋樑管理人員於現場即可進行遠端評估作業，對人民生命財產安全之維護將更有保障。

柒、誌謝

本研究承蒙研究團隊主持人中興大學林呈教授鼎力支持、卓惠玲與陳柱宏同學先後協助系統測試改善、仲琦公司提供 MapObjects 軟體試用、論文審查者對本文惠予指正並提供寶貴建議，在此一併敬致謝忱。

參考文獻

1. 王仲宇、唐治平、蔣偉寧、莊秋明、林呈、周憲德，1999，橋樑設計維修支援系統之建立-腐蝕、地震、河川沖蝕之潛勢分析及相關技術整合，台北：交通部科技顧問室

成果報告。

2. 台灣省水利局, 1982, 頭前溪治理基本計畫。
3. 台灣省水利局, 1994, 頭前溪治理基本計畫。
4. 台灣省水利處, 1998a, 頭前溪上游上坪溪及油羅溪治理規劃報告。
5. 台灣省水利處, 1998b, 頭前溪上游上坪溪及油羅溪治理基本計畫核定本。
6. 台灣省水利處, 1999, 頭前溪流域整體規劃第一年工作報告。
7. 林堯瑞、馬少平, 1992, 人工智慧導論, 台北: 儒林圖書有限公司。
8. 林呈, 1998, 本省西部重要河川橋樑橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立, 交通部運輸研究所成果報告。
9. 林呈、曾明性、羅慶瑞、劉希羿、許少華、孫洪福、黃進坤、施邦築, 2001, 台灣河流之沖刷對橋樑基礎與道路邊坡之影響及因應對策研(一), 台北: 交通部公路局成果報告。
10. 林呈、曾明性、羅慶瑞、劉希羿、施邦築、何宗浚, 2002, 台灣河流之沖刷對橋樑基礎與道路邊坡之影響及因應對策研(二), 台北: 交通部公路局期中報告。
11. 周天穎, 2002, 地理資訊系統理論與實務, 台北: 儒林圖書公司。
12. 郭慶龍, 2000, Visual Basic 與資料庫應用大全, 台北: 博碩文化股份有限公司。
13. 洪錦魁, 2001, 精通 Visual Basic 6 中文版, 台北: 文魁資訊股份有限公司。
14. 陳逸偵, 1996, 『台灣地區砂石供需現況與未來趨勢』, 台灣地區砂石開發利用研討會。
15. 陳清泉、蔡益超、田堯章、李鴻源, 1997, 公路橋樑安全初步檢測評估及實例作業及校正研究計畫, 台北: 交通部科技顧問室成果報告。
16. 黃世陽、吳明哲, 2000, Visual Basic 6.0 中文版學習範本, 台北: 松岡電腦圖書資料股份有限公司。
17. 曾明性、林呈、周憲德、朱佳仁, 1999, 橋台及橋墩沖刷防治工法之探討, 台北: 交通部科技顧問室成果報告。
18. 曾明性、蕭福章、沈榮朗, 2000, 『區域排水地理資訊系統之初步建置』, 第十一屆水利工程研討會。
19. 曾守正, 2002, 資料庫系統之理論與實務。台北: 華泰文化事業有限公司。
20. 劉振宇、張國強、林健裕、官彥均、劉志純、范純志, 2000, 『地下水資源管理決策支援系統建置第一期計畫』, 水資源管理季刊, 第八期。
21. 蕭茂鎮, 1998, 『地理資訊系統在淹水預警之應用研究』, 國土資訊系統通訊第二十二期。
22. Cubillo, F. and Rodriguez, B., A river Water Quality Management Model for Canal de Isabel II, Comunidad de Madrid, in Decision Support Systems, Springer Verlag, Berlin, 1991.
23. Date, C. J., An Introduction to Database Systems, Addison Wesley Longman, Inc, New York, 2000.
24. Esri, Building Applications with MapObjects, 1996a.
25. Esri, MapObjects Programmer's Reference, 1996b.

26. Giarratano, J. and Riley, G., Expert Systems : Principles and Programming, PWS Publishing Company, New York, 1998.
27. Goodwin, P., "A View of Hydroinformatics in the United States," Journal of Hydroinformatics (2:3) 2001, pp:149-153.
28. Jackson, P., Introduction to Expert Systems, Addison Wesley, England, 1999.
29. Meijerink, A. M. J., Mannaerts, C. M., de Brouwer, H. A. and Valenzuela, C. R., "Application of the ILWIS to Decision support in Watershed Management, Case Study of the Komering River Basin, Indonesia," Application of Geographic the Vienna Conference 1993, pp:35-44.
30. Melville, B. W. and Coleman, S. E., Bridge Scour, Water Resource Publications, Colorado, 2000.
31. Rob, P. and Coronel, C., Database System Design, Implementation and Management, Thomson Learning, Inc, New York, 2002.
32. Russell, S. and Norvig, P., Artificial Intelligence : A Modern Approach, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
33. Simonovic, S. P., "Flood Control Management by Integrating GIS with Expert Systems, Winnipeg City Case Study," Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management 1993, pp:61-72.
34. Turban, E., McLean, E. and Wetherbe, J., Information Technology for Management, John Wiley & Sons. Inc., New York, 2001.