

台灣公路早期防救災決策支援系統維護 與橋梁耐震耐洪資料管理系統建置

鄭明淵 國立臺灣科技大學營建工程系特聘教授

邱建國 國立臺灣科技大學營建工程系教授

吳育偉 國立臺灣科技大學營建工程系博士後研究員

林雅雯 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

林廷昌 國立臺灣科技大學營建工程系碩士

摘要

由於臺灣多山多河的地理特性，使得橋梁成為連結陸上交通的重要設施。有鑑於台灣天然災害頻傳，如地震災害、水災及土石流等等；災害之來臨常帶來嚴重的損失，尤其災害一旦發生，對於公路之影響更為嚴重，造成災民之生命財產損失亦難以估計。為此，交通部運輸研究所港灣技術研究中心於 94、95 年委託研究計畫「交通工程防災預警系統建立之研究」，並逐年擴充建置台灣公路早期防救災決策支援系統 (Taiwan Road Early Nature Disaster Prevention Systems, TRENDS)。本計畫進行系統資料更新、提高分析準確度並與相關單位監測資料進行驗證，納入交通部運輸研究所近期研究之分析模組及成果，並確認系統實用性及穩定性。此外，本研究根據橋梁各種安全評估所需設計參數

進行確認，並確立橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，並根據此模式發展擴充橋梁設計與防災預警資訊，並應用本系統提供使用維護階段橋梁防災預警之決策支援用途。

一、前言

有鑑於台灣天然災害頻傳，如地震災害、水災及土石流等等；災害之來臨常帶來嚴重的損失，尤其災害一旦發生，對於公路之影響更為嚴重，造成災民之生命財產損失亦難以估計。為此，交通部運輸研究所於 94、95 年委託研究計畫「交通工程防災預警系統建立之研究」，並逐年擴充建置台灣公路早期防救災決策支援系統 (Taiwan Road Early Nature Disaster Prevention Systems, TRENDS)，系統以軟體代理人 (Software Agents) 為核心所發展之資料交換平台關鍵技術，交換蒐集各單位網站所發佈之相關災

害資訊與相關公路設施資料庫資料，並整合橋梁及邊坡防災機制，建立橋梁及坡地災害緊急應變流程與通報機制。公路設施管理單位可應用本系統採取適當的應變流程及通報機制，系統性的完成災害預防、災害緊急應變及緊急復原中各階段所應執行之災前評估、調查及應採取之緊急措施。本計畫進行系統資料更新、提高分析準確度並與相關單位監測資料進行驗證，納入交通部運輸研究所近期研究之分析模組及成果，並確認系統實用性及穩定性。

此外，目前臺灣橋梁面臨現有能力和、耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮之問題，所以在使用維護階段對橋梁進行能力評估並達到橋梁防災預警的目標已是刻不容緩。因此，橋梁防災預警之分析評估為一項重要工作，目前橋梁耐震或耐洪評估需從設計階段之橋梁設計圖說、結構計算書、地質鑽探報告書中，找出相關資訊，如橋梁尺寸、材料斷面強度性質、土壤性質參數…等，然後建立 SAP 橋梁 3D 模型進行結構分析，計算求得結構體極限受力狀態，再考量不同的評估指標如地表加速度 (PGA)、安全係數等，據此擬定出橋梁之警戒值、行動值。由於上述圖說等資料，於橋梁興建或改建後的保存方式多以圖紙掃描 PDF 或 CAD 檔，因此擷取這些資料時，必

須以人為方式從中讀取資料重新記錄，但經過數十年後，圖檔容易遺失或難以找尋，甚至因圖檔解析不佳造成無法辨識資料，如需再次進行分析時，就必須從橋梁設計藍晒圖上重新擷取所需資料或至橋梁現場量測實際尺寸，才能重新建置橋梁模型進行分析。此一資料蒐集分析評估過程，需耗費相當多的人力、時間，若對全台灣所有橋梁進行分析，所耗費人力更為可觀。因此，如果在橋梁設計階段即將後續使用維護階段所需參數，以資料庫方式有系統地建置儲存，並發展一自動化分析評估系統，提供作為防災預警之決策支援。不僅將設計階段儲存之資料與使用維護階段防災所需之資料作有效傳遞整合應用，更能提升橋梁管理單位進行橋梁耐震、耐洪評估作業之效率，省去大量人力、時間之需求，輕易達到防災預警之目標。

目前臺灣橋梁管理系統 (Taiwan Bridge Management System, TBMS)[1] 為橋梁管理單位常用之基本資料管理系統，系統中記錄橋梁管理資料、河川資料、幾何資料、結構資料及維修檢測紀錄等，但系統中僅以保存維護管理紀錄為主，仍缺乏各橋梁構件之詳細尺寸或材料強度性質建檔機制。且由於未儲存相關設計參數，無法詳細對橋梁現有進行評估，若從保存文件中擷取計算，其過程勢必耗費

大量人力和時間，無法快速提供作為橋梁防災預警之用。因此本研究目標將橋梁使用維護階段所需之設計參數，於橋梁設計階段建置資料庫管理系統，作系統化儲存，未來在橋梁使用維護階段能提供橋梁作耐震或耐洪評估及安全預警之用，最後以一橋梁為範例，應用橋梁設計參數資料庫系統之輸出資訊進行耐震能力評估，以實際案例方式，完整試行系統之功能，並可作為後續推廣應用之範例。

二、研究範圍

台灣橋梁以鋼筋混凝土結構為應用最廣的類型，其中，92% 以上為混凝土橋梁，且 73% 以上橋齡高於十五年以上。為保障用路人安全，混凝土橋梁的維護管理為公路管理單位未來重要課題，故本研究以鋼筋混凝土橋梁為研究探討對象。

三、TRENDS 系統架構與模組功能分析

有鑑於台灣天然災害頻傳，計畫團隊於 92 年起投入防災研究領域，冀望以導入資訊科技改善既有防救災機制，並徹底檢討現有防災體系，提升災情通報效率，減少災情擴大。計畫團隊於 94 年首度導入智慧代理人概念開發資訊交換平台，94、95 年交通部運輸研究所委託研究計畫「交通工程

防災預警系統建立之研究」[2] 所開發之「災害預警資料交換機」申請專利，並技術移轉運輸研究所港灣技術研究中心，作為「公路防救災決策支援系統」[3] 與「跨河橋梁安全預警系統」[4] 二計畫之核心，提供資料交換平台，整合災害上、中、下游資訊，並整合歷年成果建置『臺灣公路早期防救災決策支援系統 (Taiwan Road Early Nature Disaster Prevention System, TRENDS)』。

計畫執行過程中 TRENDS 在地震、洪水沖刷與邊坡方面皆有應用之成效，其中

(a) 地震方面：應用 AI 推論公總全台五區工程處共 33 個工務段 2590 座橋梁之耐震潛勢，並進行預警通報。地震發生後，TRENDS 會自動擷取氣象局發布之地震資料，即時分析橋梁地震破壞潛勢，以 e-mail 及簡訊方式通報相關人員。目前於公路總局及五區工程處已採用，通報名單包括：交通部主任秘書 1 人；公路總局副總工程師 1 人、防災中心 1 人、道工科科長 1 人及五區處橋檢對口人員 5 人與工務段段長、副段長 63 人，橋檢工程師 33 人；運輸研究所運計組組長 1 人；港研中心主任 1 人、科長 1 人及研究員 1 人；國防部空軍戰術管制聯隊 11 人，總計 123 名，內容包括轄下超

出預警值之橋梁及破壞機率排序，作為管理單位第一時間至現場勘查之參考。在 2013/6/2 所發生規模 6.2 地震中，有效發布綠水和舊東光 2 座橋梁危險警訊，供管理單位決定優先檢測順序之參考依據。

- (b) 洪水冲刷方面：交通部運研所目前已將 TRENDS 應用在公路總局大甲溪跨河橋梁預警通報，未來擬推廣應用至全台。
- (c) 邊坡方面：(i) 提供第四區工程處蘇花公路豪大雨與邊坡位移通報預警，已在 4 次豪大雨事件中發揮功效 (2011/08/04、08/27，2012/06/19、06/28)，提早發布通知，供段長封閉道路決策之依據，避免災情擴大傷及人命。(ii) 提供蘇花公路 115.9K 國防部空軍戰術管制聯隊之邊坡位移預警。

以下針對 TRENDS 系統之系統架構與模組功能進行分析，以釐清系統模組功能資料更新、提升精確度與驗證之可行性。

3.1 TRENDS 系統架構

TRENDS 架構分為資料交換平台、資料庫與預警通報機制等。並以 1. 易於進行資料查詢及分析；2. 提供橋梁基本、災害、監測資訊；3. GIS 圖形介面等使用需求進行系統規劃 (圖 1)。

1. 資料交換平台：應用港研中心「交通工程防災預警系統建立之研究」中所建置之「災害預警資料交換機」，建置資料交換平台，統整各項資訊。透過通報機制，於洪水災害發生時，第一時間收集監測資料與災害分析研判，並將結果即時透過各項通訊管道 (手機簡訊與 E-mail

(1)系統使用需求

1. 易於進行資料查詢及分析
2. 提供橋梁基本、災害、監測相關資訊
3. GIS 圖形化網頁介面

(2)系統發展概念研擬



圖 1 TRENDS 系統概念

等)回報災情與範圍，提升救災效率，減少災情之損失與避免人員之傷亡。

2. 資料庫：為了解決各介面整合與資源共享等問題，因此此階段將根據資料倉儲理念進行資源整合，研究資源項目包含 GIS 圖層、儀器監測值、氣象報告、水文資料、橋梁基本資料、橋梁耐洪安全評斷標準等資訊。

3. 預警通報機制：最後，本研究為了能立即掌握即時橋梁安全情況，並提供災時工程人員應變、決策及通報的機制，將應用災害預警資料交換機即時收集災情資訊與安全評估結果，一旦橋梁到達設定之警戒值時，系統將以主動及被動兩種方式與公路總局通報機制進行整合。

如圖 2 所示，系統中各個模式以模式庫方式呈現，而且各個模式均可配合資料的改變來更新模式中的參數，使模式能應付現實狀況的改變，同時亦可反覆執行指定模式，以確保使用者可以得到所需之決策支援，進而達到模式管理的功能。

圖 2 中圓形、方形、星形與菱形記號分別代表 TRENDS 整合不同計畫成果，各模式之說明如下：

(1) 橋梁資料管理

橋梁資料管理部分主要提供使用者對橋梁基本資料進行管理維護的功

能，以及橋梁破壞模式、橋梁補強技術、評估表單進行管理維護的功能。

(2) 邊坡資料管理

邊坡資料管理部分主要提供使用者對邊坡基本資料、目視檢查表、巡檢表單、整治工法、監測儀器、災損資料進行管理維護的功能。

(3) 道路(隧道)資料管理

道路(隧道)基本資料管理部分主要提供使用者對於道路工程資料進行管理維護的功能。

(4) GIS 圖層資料管理

運用 ArcGIS Server 建構線上地理資訊系統，以地理圖層方式呈現使用者所查詢之橋梁位置、狀況異常橋梁、災害資訊、邊坡災損等資訊。

(5) 救災規劃

此模式運用各交通工程在不同自然環境與天然災害下可能發生破壞之潛勢及可能造成災損與風險值之計算結果，藉以搜尋替代道路最適行車路線之規劃，進而可應用於救災資源調派之功能。

(6) 災害資訊管理

提供使用者對資料交換平台交換所得之災害資料進行查詢的功能，包含橋梁地震潛勢、跨河橋梁安全預警等。

(7) 系統維護

本模式之建立在於提供系統管理者對使用者之權限進行管控。

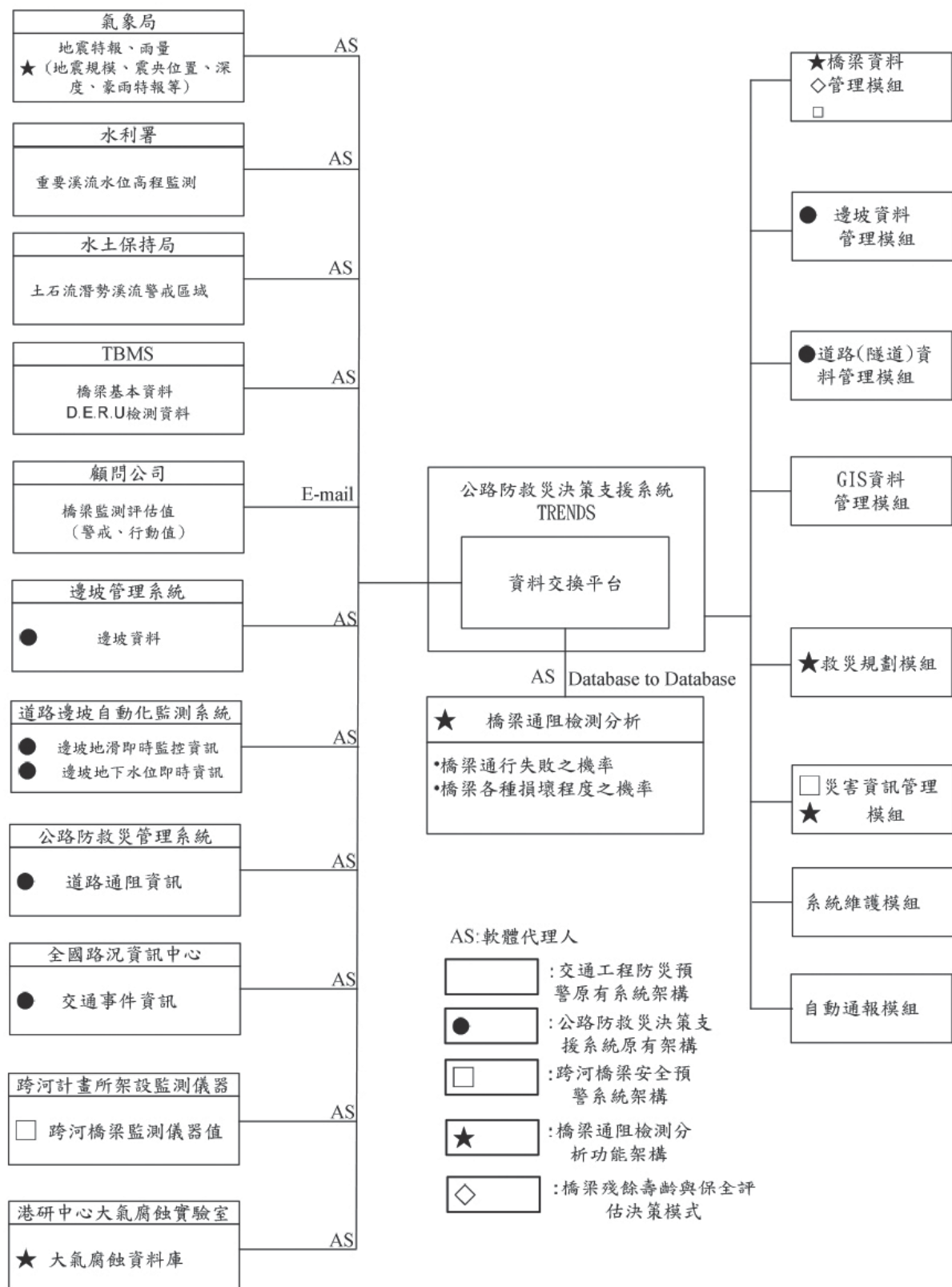


圖 2 TRENDIS 系統模組

(8) 自動通報

此模式提供自動化的通報機制，藉由 E-mail 及手機簡訊給該橋梁或邊坡之管理單位人員，通知其儘速進行處理或調查。

3.2 TRENDS 系統核心 - 資料交換平台

TRENDS 將不同計畫成果內容彙整統合，然而不同計畫由不同單位執行，造成資料傳遞的困難且難以整合。為解決此問題，TRENDS 中利用交通部運輸研究所 - 「交通工程防災預警系統」[2][3] 一案所開發之資料交換平台為基礎進行資料彙整工作。資料交換平台由各個智慧型代理人組成，並根據任務項目不同，指派特定智慧型代理人定期執行任務，最後針對不同計畫資料輸出方式，將資料格式轉換為

標準 XML 文件，供 TRENDS 系統使用。以下簡單介紹資料交換平台機制及流程。

代理人技術已被應用在各種不同的領域，例如計畫排程、資訊檢索等，藉由此項技術的運用可以減少工作量以及資訊量 (Information Overload)，使用者可以指派代理人完成特定的任務或是與代理人相互合作，完成共同的目標。代理人主要特徵如下：(1) 自發性：代理人程式被指派工作後，便不需人力介入其工作流程，便有獨立完成工作之能力；(2) 社會性：各代理人之間能夠透過特定方式相互溝通、協調工作。並且具有與自然人互動之能力；(3) 感知性：代理人會採取目標導向方式進行工作，並能夠感應外在環境變化對其目標之影響；(4) 反應性：

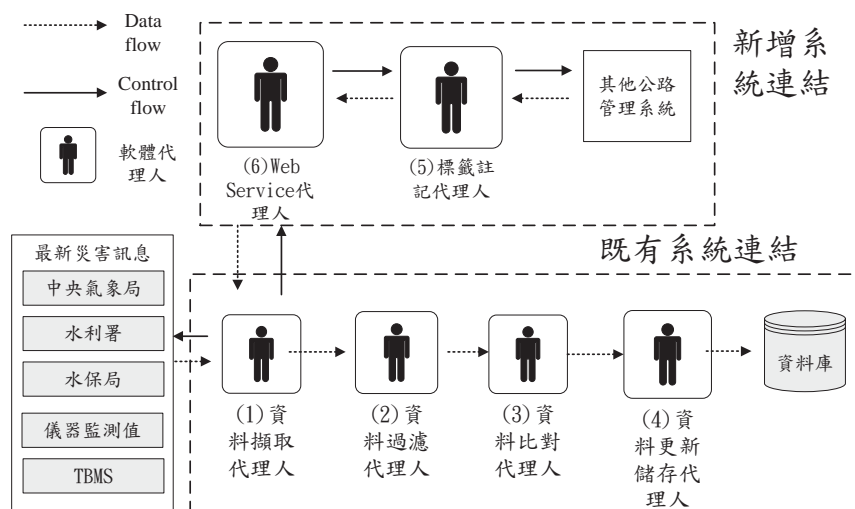


圖 3 軟體代理人架構圖

代理人能夠在環境改變之後做出適當反應；(5) 移動性：代理人能夠攜帶所需資訊在不同電腦之間遷徙，並且能夠在不同電腦間作業；(6) 脈絡連續：代理人被賦予工作後，便能夠掌握自身之程序或執行序以便完成整體任務；(7) 適應性：代理人能透過判斷行為的結果進行學習，因此會隨著時間及環境的變化調整自己的狀態。

因此本計畫藉由軟體代理人間可相互溝通之特性，建立一多代理人之環境，協助資料傳遞工作。資料交換平台依運作範圍分為(一)既有系統連結與(二)新增系統連結，架構如圖3所示。

四、橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

此階段先藉由蒐集國內外橋梁耐震能力評估(側推分析)、橋梁耐洪安全評估、橋梁振動頻率評估等文獻，確定橋梁各種安全評估方式，並作為後續橋梁設計參數應用於橋梁安全評估模式之重要參考依據。並藉由所歸納之相關參考文獻，考慮在橋梁設計階段時，預先將使用維護階段橋梁評估模式所需資訊儲存，建立橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，並新增於TRENDS系統模組中。

4.1 確立使用維護階段橋梁評估模式所需資料

橋梁在使用維護階段進行能力評估時，需要許多的資料作為輸入，進行使用維護階段橋梁各種評估模式流程整理確認，並彙整各評估模式過程中所需要的輸入參數，如橋梁耐震能力評估(側推分析)所需設計參數、沉箱基礎耐洪安全評估分析模式所需參數、樁基礎耐洪安全評估分析模式所需參數，代表若能在橋梁設計階段，完成橋梁設計後，把這些參數資訊儲存，並在橋梁使用維護階段作為橋梁耐震、耐洪評估模式所使用，如此一來，解決以往進行橋梁評估時耗費人力、時間且效率低落的問題。

考量橋梁進行橋梁耐震能力評估(側推分析)及橋梁振動頻率評估皆須進行側推分析，其過程為建置橋梁結構模型後再進行側推，而在橋梁在設計階段時，都會建置橋梁結構模型進行力學分析，故若在設計階段就能儲存橋梁結構模型，在未來使用維護階段時，就能作為橋梁側推分析之用；另外，橋梁耐洪安全評估模式需要橋梁的尺寸資料，結合橋墩即時的水位、流速、沖刷深度，接著計算橋墩的耐洪安全係數(FS)，而耐洪安全評估模式依不同的基礎型式會有不同之輸入值，如沉箱基礎、樁基礎，而沉箱基

表 1 耐洪安全評估所需參數

編號	參數	編號	參數	編號	參數
1	混凝土單位重 (t/m^3)	16	基樁長度 (m)	31	承載層土壤摩擦角
2	不透風護欄高 (m)	17	基樁數量 (m)	32	沉箱內填充物單位重 (t/m^3)
3	箱型梁與橋面板高 (m)	18	基樁慣性矩	33	沉箱高度 (m)
4	上部荷重 (ton)	19	樁帽水流作用力常數	34	沉箱寬 (m)
5	橋墩跨徑 (m)	20	基樁水流作用力常數	35	沉箱長度 (m)
6	橋墩高度 (m)	21	最外側基樁至樁帽外側距離 (m)	36	沉箱全斷面積
7	橋墩寬 (m)	22	主動土壓力係數 (ka)	37	沉箱內填物斷面積
8	橋墩數量	23	被動土壓力係數 (kp)	38	沉箱水流作用力常數
9	橋柱斷面積 (m^2)	24	沉箱基礎底面之形狀因素 (α)	39	沉箱厚度 (m)
10	橋墩重量 (ton)	25	沉箱基礎底面之形狀因素 (β)		
11	橋墩水流作用力常數	26	沉箱支承力因素 (Nc)		
12	樁帽長度 (m)	27	沉箱支承力因素 (Nq)		
13	樁帽寬度 (m)	28	沉箱支承力因素 (Nr)		
14	樁帽高度 (m)	29	承載層土壤單位重 (t/m^3)		
15	基樁直徑 (m)	30	承載層土壤凝聚力		

礎與樁基礎耐洪分析模式所需參數，因為有部分的參數重覆，所以將耐洪安全評估所需參數整理如表 1。

最後，彙整使用維護階段所需資料包括：1. 橋梁結構模型 2. 耐洪安全評估所需參數 [4]。

4.2 確立橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式

透過 4.1 章節所述，在橋梁設計階段將表 1 之設計參數資訊儲存，並在橋梁使用維護階段評估橋梁能力所使用，如此一來可解決以往進行橋梁評

估時耗費人力、時間且效率低落的問題。故本章節彙整使用維護階段所需資料，研擬橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式。

以下針對橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，按照橋梁在不同階段應用此模式並依序詳細說明：

1. 規劃設計階段 (如圖 4)

A. 上傳橋梁資料：橋梁完成設計後，設計單位可將橋梁 SAP2000 結構模型、橋梁設計圖、結構計算書上傳後儲存建置。

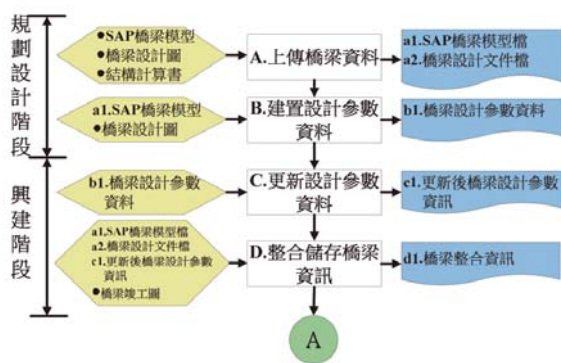


圖 4 規劃設計與興建階段

B. 建置設計參數資料：設計單位可從橋梁設計圖、橋梁結構模型中找出橋評估模式所需參數，接著將設計參數資料建置儲存。

2. 興建階段

C. 更新設計參數資料：若有變更設計，橋梁設計參數也會有所改變，故設計單位須將先前儲存之設計參數修改後重新儲存。

D. 整合儲存橋梁資訊：將設計完成的橋梁 SAP2000 結構模型、結構計算書、竣工圖說、橋梁設計參數等資料整合儲存，以提供後續使用維護階段各橋梁評估模式使用。

3. 使用維護階段

(1) 耐震能力評估 (如圖 5)

E. 取得橋梁模型：橋梁管理單位在使用維護階段，若須重新進行橋梁耐震能力評估，必須有完整的橋梁模型，故下載先前整合儲存之橋梁結構模型，接著匯入 SAP2000 軟體，即可完成橋梁模型建置。

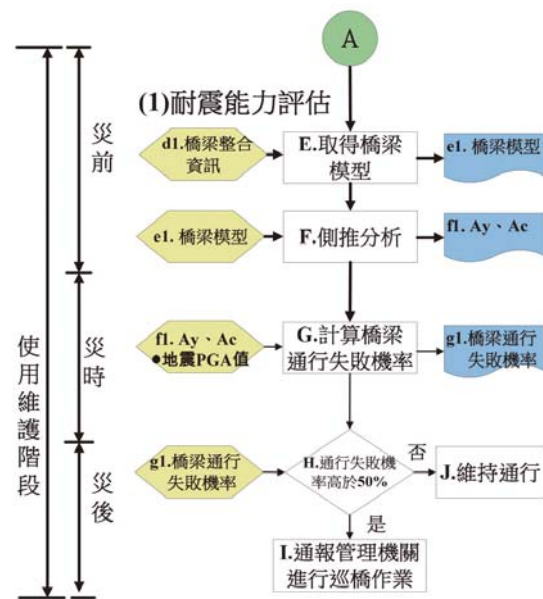


圖 5 使用維護階段 (耐震能力評估)

F. 側推分析：建置橋梁模型，並設定塑鉸性質後，於 SAP2000 執行側推分析後求得該橋梁之 A_y 與 A_c 值。

G. 計算橋梁通行失敗機率：於災時，地震發生所代表的 PGA 值，結合前述橋梁的 A_y 與 A_c 值作為通行失敗機率計算的輸入值，計算出橋梁通行失敗機率。

H. 橋梁通行失敗機率是否高於 50%：橋梁管理單位可根據前述所計算出的橋梁通行失敗機率，判斷通行失敗機率高於 50% 為異常狀況橋梁。

I. 通報管理機關進行巡橋作業：於災後 (地震過後)，當計算出橋梁通行失敗機率高於 50%，應立即派駐橋梁管理人員至該橋梁進行巡橋作業，而經現場人員判斷後再評估是否封閉該橋梁。

J. 維持通行：於災後（地震過後），計算出橋梁通行失敗機率低於 50%，橋梁可持續通行運作。

(2) 耐洪安全評估（如圖 6）

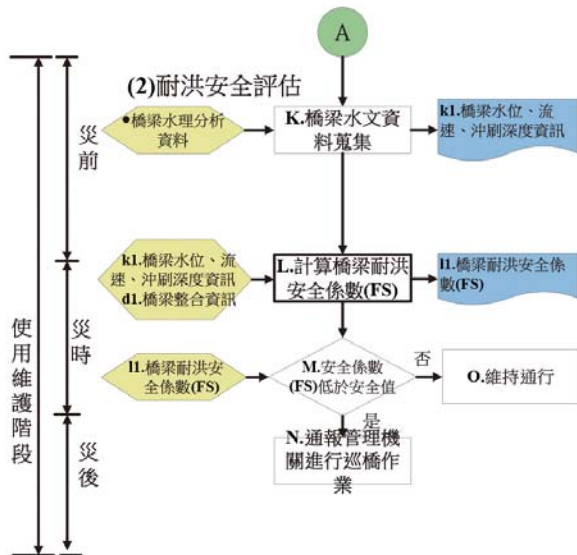


圖 6 使用維護階段（耐洪安全評估）

K. 橋梁水文資料蒐集：於災前，整合各橋墩水位、流速、冲刷深度等資訊，作為災時計算橋梁耐洪安全係數之輸入值。

L. 計算耐洪安全係數 (FS)：於災時，透過先前橋梁整合儲存資訊，其中的橋梁設計參數資料，結合前述所整合的橋梁的水位、流速、冲刷深度資訊，針對不同的基礎型式套用不同的計算公式，計算各橋墩的耐洪安全係數 (FS)；再整合未來的水位、流速、冲刷深度資訊進行計算，即可得未來耐洪安全係數 (FS)。

M. 安全係數 (FS) 是否低於安全值：橋梁管理單位可根據前述所計算出即時與未來的耐洪安全係數 (FS)，判斷橋梁即時與未來的預警值如表 2 所示。透過未來的安全係數 (FS) 值，即可判斷橋梁未來的耐洪能力，藉此作為橋梁安全預警之用途。

表 2 耐洪安全係數對應預警值 [4]

耐洪安全係數 (FS)	0~1.5	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0 以上
預警值	行動 (紅燈)	警戒 (橘燈)	注意 (黃燈)	安全 (綠燈)

N. 通報管理機關進行巡橋作業：於災時，當計算出耐洪安全係數 (FS) 低於 3.0 (安全值) 則代表橋梁可能處於危險不安全的狀態，應立即派駐橋梁管理人員至該橋梁進行巡橋作業，而經現場人員判斷後再評估是否封閉該橋梁。

O. 維持通行：於災時，當計算出耐洪安全係數 (FS) 高於 3.0 (安全值) 則代表橋梁處於安全無虞的狀態，橋梁可持續通行運作，但若處於颱風季節，應持續留意橋梁的耐洪安全狀態。

(3) 振動頻率評估 (如圖 7)

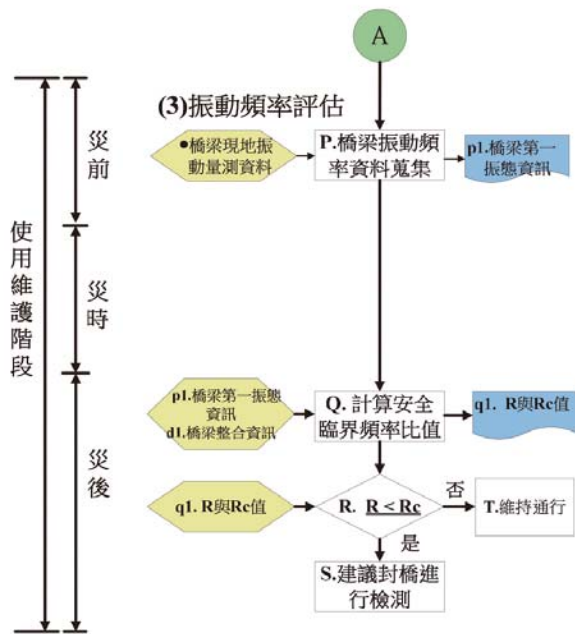


圖 7 使用維護階段 (振動頻率評估)

P. 橋梁振動頻率蒐集：於災前，整合各橋梁現地量測振動頻率 (第一振態) 資訊，結合災前與災後現地量測振動頻率 (第一振態) 資訊，作為安全臨界頻率比值計算的輸入值。

Q. 計算安全臨界頻率比值：於災後，透過先前橋梁整合儲存資訊，其中的橋梁結構模型執行側推分析後可得出 R_c 值；另外從前述橋梁振動頻率蒐集，其中蒐集災前與災後橋梁現地量測振動頻率 (第一振態) 資訊即可計算出 R 值。

R. R_c 值與 R 值比較：於災後，橋梁管理單位可透過安全臨界頻率比值，即利用 R_c 值與 R 值的比較判斷橋梁是否為安全可通行的決策依據。

S. 建議封橋進行檢測：於災後，當 R_c 值 $> R$ 值，代表橋梁可能處於危險狀態，應立即派駐橋梁管理人員盡速至該橋梁進行封橋作業，並巡視橋梁是否有重大毀損。

T. 維持通行：於災後，當 R 值 $> R_c$ 值，代表橋梁處於安全無虞的狀態，橋梁可持續通行運作，但若處於颱風季節，仍須留意橋梁的安全狀態。

4.3 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫建置

將依照前述之整合模式構想與確立之模式流程，把各模組所用之資料內容整理輸出與輸入之關係，以此輸入輸出表為基礎，並利用實體 - 關係模型 (Entity-Relationship Data Model, ER-model)，其中因 TBMS 與 TELES 兩邊橋梁編號未統一，因此系統中另外以 nid 作為主鍵。此外 TBMSID 被即時河川資訊 (FK1)、耐洪安全評估 (FK2)、振動頻率評估 (FK3) 與橋梁設計參數 (FK4) 所引用。而 TELESID 被即時河川資訊 (FK1)、耐洪安全評估 (FK2)、振動頻率評估 (FK3)、橋梁設計參數 (FK4) 與橋梁振動量測記錄 (FK5) 所引用。依此建置資料庫格式與儲存項目，避免資料重複建置與資料不同步之問題。

系統中文字及數值等資料以資料庫的形態儲存，並且以關聯式資料庫

(Relational DataBase)來聯結不同資料庫間的資料，然後再運用資料庫結構式查詢語言 (Structured Query Language,SQL)，以 Select，Form，Where 等組合子句來存／取、查詢、修改、刪除及新增資料庫中的資料，達到資料管理的功能。在資料的建構與管理方面，本研究以 Microsoft SQL SERVER 作為制定資料表之工具，以下將針對資料管理進行描述。

資料庫資料管理的部分將各類資料進行分類管理，分為 1. 橋梁基本資料表 2. 橋梁設計參數 3. 即時河川資訊 4. 耐洪安全評估 5. 橋梁振動量測記錄 6. 振動頻率評估。根據前述建置橋梁耐震耐洪設計參數資料庫。

4.4 系統規劃與發展

本章介紹說明橋梁設計與防災預警資訊整合系統之系統規劃與發展步驟。系統規劃的主要工作項目及流程如圖 8 所示，圖中箭頭右方代表各階段的主要成果。

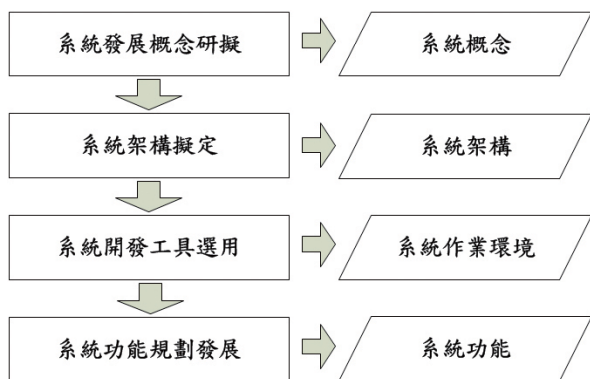


圖 8 系統初步規劃工作及流程

本系統之規劃與發展工作內容主要包含：「系統發展概念研擬」、「系統架構擬訂」、「系統開發工具選用」以及「系統功能規劃」等四項，各項之工作內容將在以下各節中分別說明。

4.4.1 系統發展概念研擬

為使橋梁設計與防災預警資訊整合系統有效率應用，提升橋梁管理維護單位防災預警與即時評估之用途，因此需要一套架構於網際網路下之系統，使相關管理單位能夠在不同平台皆能瀏覽相關資料。另外，為了資料易於辨識，方便使用者查詢。故本系統開發將需滿足以下三項目標：1. 容易進行資料查詢及分析 2. 提供橋梁評估相關資訊 3 確保使用最新資料進行評估。

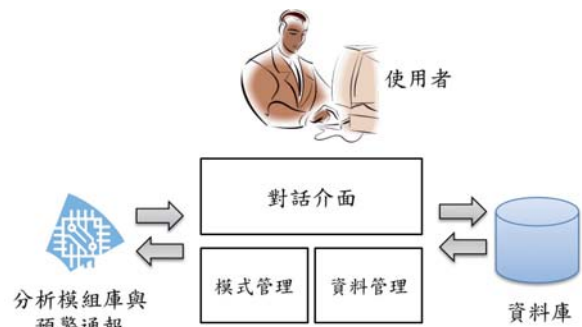


圖 9 系統組成圖

根據系統使用需求的目標，發展規劃將分為三個部份，如圖 9。1. 對話介面：著重網頁的開發，讓使用者能夠經由網頁查詢所需資料；2. 資料管理：透過 Microsoft SQL Server 建立關

聯式資料庫 (Relational DataBase)；3. 模式管理：模式管理中包含安全評估與防災預警通報。由系統中三個部份相互配合後，儲存於資料庫中，使用者可藉由網頁進行資料查詢。

4.4.1.1 對話介面

「對話介面」係使用者與系統間溝通之主要管道，亦稱之為「使用者介面」(User Interface)，設計時係從使用者的角度來建構系統，以確保使用者操作時之親善性，同時有效地傳達控制指令與變數。以下分別針對「人機配合」與「設計理念」兩部份說明：

1. 人機配合

對話格式為系統與使用者間溝通方式，本系統人機介面對話格式有下列兩種：

清單對話 (Menu Dialogs)：可讓使用者在一個列有所有功能的清單中選擇欲執行之功能。

輸入／輸出表對話 (Input /Output Form Dialogs)：輸入表格提供使用者輸入命令與資料，輸出表格為系統所產生之回應訊息。

2. 設計理念

設計理念的首要考量，在於系統如何傳達訊息給使用者，及接受使用者的操作指令。本研究將系統架構於伺服器 (Server) 上，以瀏覽器 (Browser) 作為對話管理之介面軟體，以微軟

的動態網頁設計技術 Active Server Pages(ASP.NET) 撰寫網頁作為對話管理之介面，並使用下拉式清單 (Menu)、命令鈕 (Command Button)、選項鈕 (Option Button) 及捲軸 (Scroll Bar) 等工具，讓使用者在操作與執行時，淺顯易懂，藉此減少使用者學習系統操作所需之時間，並降低操作指令輸入次數，提升作業效率。

4.4.1.2 資料管理

此系統之文字及數值等資料均是以資料庫的形態儲存，並且以關聯式資料庫 (Relational Database) 來連結不同資料庫間的資料，再運用資料庫結構式查詢語言 (Structured Query Language, SQL)，以 Select，From，Where，Order By 等組合子句進行存／取、查詢、修改、刪除及新增資料庫中的資料，進而達到資料管理的功能。

在資料庫的建構與管理方面，本研究規劃以 Microsoft SQL Server 作為制定資料表之工具，並採用 ASP.NET 4.0 撰寫之表單作為資料管理之介面軟體。

4.4.1.3 模式管理

本研究採用瀏覽器作為模式管理之介面軟體。各項資料以專屬模式方式進行管理，而且各個模式均可配合資料的改變來更新模式中的參數，使

模式能應付現實狀況的改變，同時亦可反覆執行指定模式，以確保使用者可以得到所需之分析資料，進而達到模式管理的功能。

4.4.2 系統架構擬定

系統將以資料整合平台為核心，負責所有資料進出管理，平時會定時從「臺灣公路早期防救災決策支援系統 (TRENDS)」[3] 擷取資料進行分析、比對及更新，並將資料存入資料庫。其系統架構，如圖 10 所示。

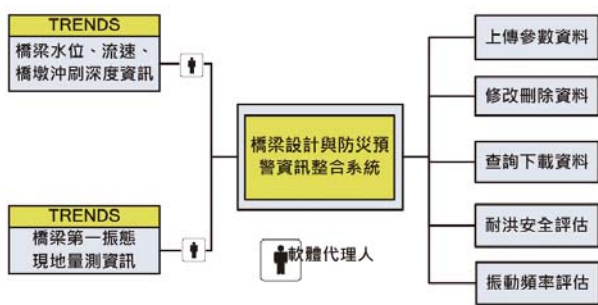


圖 10 系統架構

4.4.3 系統開發工具選用

本研究所規劃之橋梁耐震耐洪設計參數整合系統，系統開發所需設備如下：

1. PC 2.0GHZ 以上之個人電腦 (具備 2048MB 以上記憶體)
2. Microsoft Windows 7 作業系統軟體
3. Microsoft Active Server Pages 4.0 / Visual Studio 2010 應用程式開發軟體
4. Microsoft SQL Server 2008 應用軟體

使用者所需具備之軟硬體如下：

1. PC586 以上之個人電腦 (具備 1024MB 以上記憶體及網路連線環境) ；
2. Microsoft Internet Explorer 5.0 以上版本。

系統整合方面，本系統主要由 Visual Basic.NET、ASP.NET、SQL 資料庫等視窗軟體之應用程式所組成，並利用 Visual Studio 將各作業軟體整合在同一工作環境下，而發展出親善性之使用者界面，系統整體作業環境如圖 11 所示。

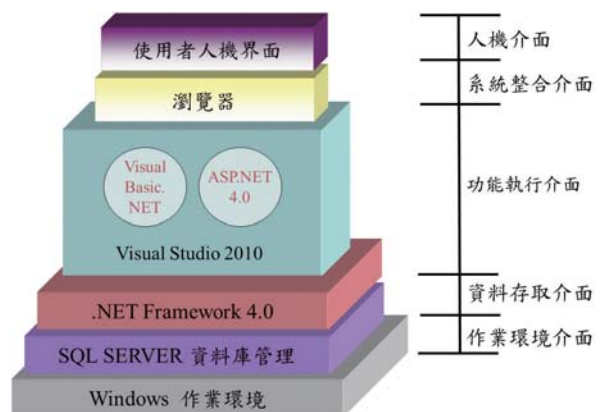


圖 11 系統作業環境圖

4.4.4 系統功能規劃與發展

本研究所建構之系統，系統操作介面下之功能架構規劃如圖 12 所示，其中系統係由 ASP.NET 應用程式開發軟體撰寫而成，以下針對各系統所屬模組之功能規劃、發展加以說明。

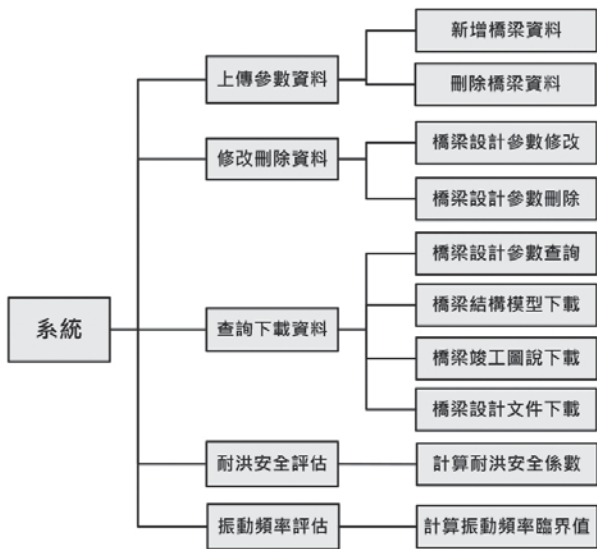


圖 12 系統功能架構

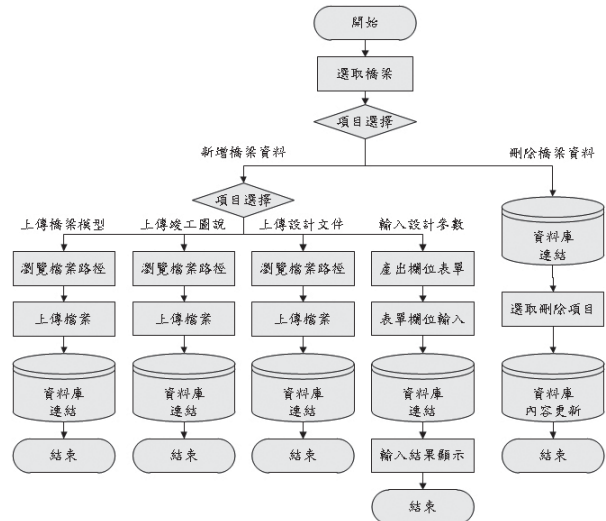


圖 14 上傳參數資料模組操作流程

4.4.4.1 上傳參數資料模組

此模組主要為提供設計顧問公司，將完成設計之橋梁資料上傳於資料庫中，作為後續橋梁安全評估之用。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 13 與圖 14 所示。

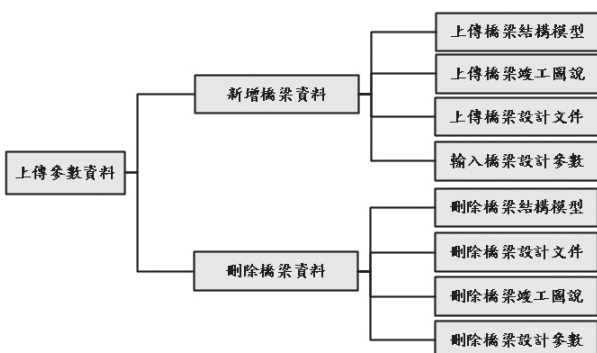


圖 13 上傳參數資料模組功能架構

1. 新增橋梁資料

進入模組選擇橋梁後，即可開始新增橋梁資料，內容包括橋梁結構模型上傳、橋梁竣工圖說上傳、橋梁設計文件上傳、輸入橋梁設計參數，可直接由網頁端新增橋梁相關資訊，透過人機界面輸入資料後整合儲存於後端資料庫中。

2. 刪除橋梁資料

進入模組選擇橋梁後，將顯示目前該橋梁有幾筆資料輸入，使用者可透過介面，將先前已輸入之橋梁結構模型、橋梁竣工圖說、橋梁設計文件、設計參數資料一次刪除。

4.4.4.2 修改刪除資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位，易於進行橋梁設計參數修改或刪除，以達到橋梁資料管理之功用。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模

組之功能架構、操作流程，如圖 15 與圖 16 所示。

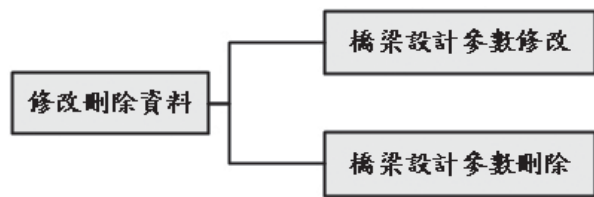


圖 15 修改刪除資料模組功能架構

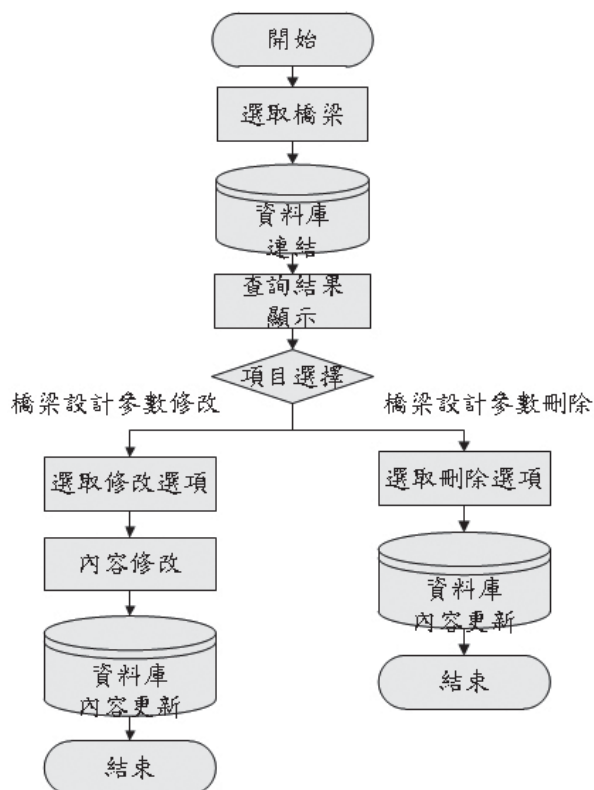


圖 16 修改刪除資料模組操作流程

1. 橋梁設計參數修改

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，進入修改刪除頁面選擇修改選項後，即可針對該橋梁設計參數資料進行修改，透過人機界面修改資料後更新儲存於資料庫中。

2. 橋梁設計參數刪除

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，進入修改刪除頁面選擇刪除選項後，即可針對該橋梁設計參數資料進行刪除，該筆橋梁資料將會從資料庫中移除。

4.4.4.3 查詢下載資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位，面對眾多的橋梁資料，易於進行橋梁資料下載或檢視，並作為橋梁安全評估之用途。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 17 與圖 18 所示。

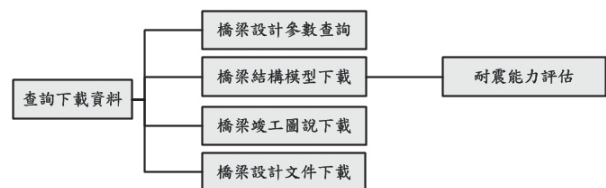


圖 17 查詢下載資料模組功能架構

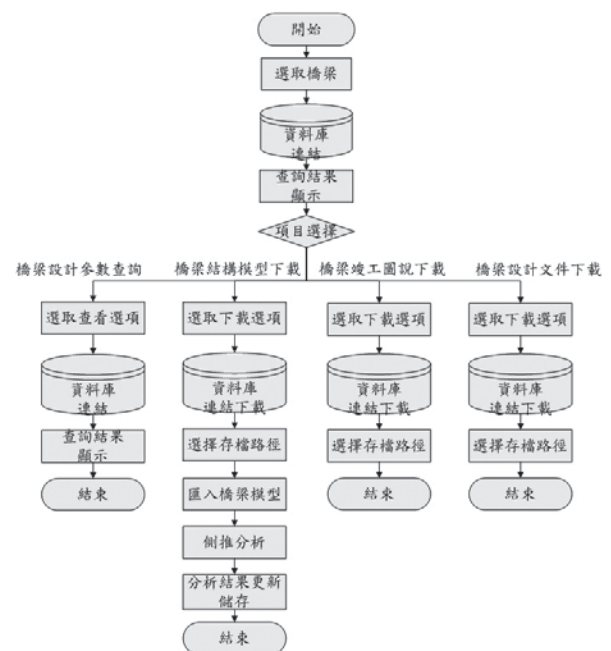


圖 18 查詢下載資料模組操作流程

1. 橋梁設計參數查詢

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇查看選項後，即可針對該橋梁設計參數進行檢視，其中包含該橋梁各橋墩資訊都將包含在其中。

2. 橋梁結構模型下載

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇下載選項後，即可針對該橋梁結構模型進行下載，使用方式同一般網頁下載操作方式，下載之模型檔案為 (.mdb) 格式，接著將該檔案匯入 SAP2000 軟體，設定完成後進行側推分析，最後把側推分析結果 (Ay、Ac 值) 在系統中更新儲存，以達到耐震評估之目的。

3. 橋梁竣工圖說

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇下載選項後，即可針對該橋梁竣工圖說進行下載，使用方式同一般網頁下載操作方式，竣工圖說可輔助維護管理單位在評估橋梁時有更詳盡的資訊。

4. 橋梁設計文件下載

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇下載選項後，即可針對該橋梁設計文件進行下載，使用方式同一般網頁下載操作方式，設計文件可輔助維護管理單位在評估橋梁時有更詳盡的資訊。

4.4.4.4 耐洪安全評估模組

此模組主要提供橋梁管理單位，利用已上傳之橋梁設計參數，結合橋梁即時河川資訊 (各橋墩水位、流速、沖刷深度)，推算即時與未來一小時後橋梁耐洪安全係數，作為橋梁防災預警之用途。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 19 與圖 20 所示。



圖 19 耐洪安全評估模組功能架構

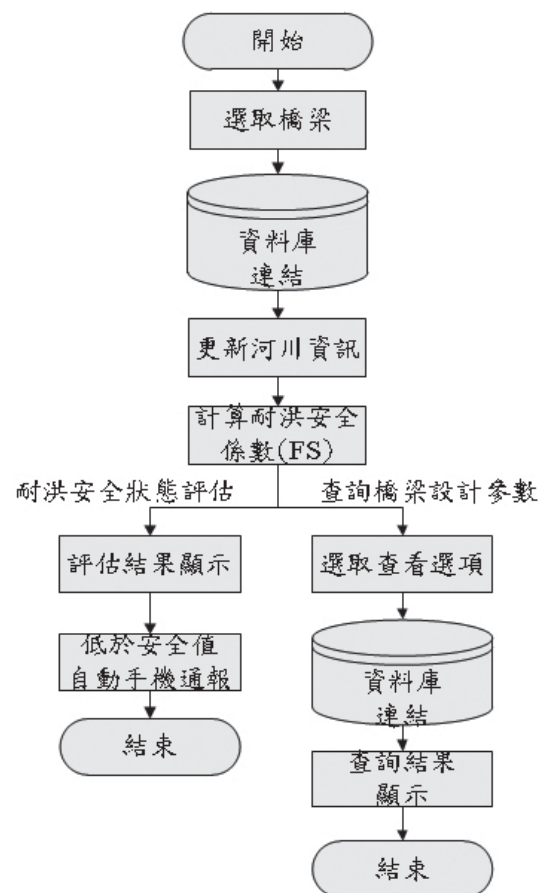


圖 20 耐洪安全評估模組操作流程

本耐洪安全評估模組僅針對跨河橋梁進行耐洪評估分析，進入此模組後可透過河川流域選擇橋梁，系統會先更新橋梁即時河川資訊(各橋墩水位、流速、沖刷深度)，結合橋梁設計參數，計算即時與未來一小時後橋梁耐洪安全係數，完成後可進行：

1. 耐洪安全狀態評估

當耐洪安全係數低於 3.0 時，系統將自動發送簡訊通知橋梁維護管理單位，本系統將以每小時持續計算的方式，對橋梁的耐洪安全狀態進行評估，以達到橋梁防災預警之目的。

2. 查詢橋梁設計參數

橋梁維護管理單位亦可透過系統網頁端，連結查看選項，檢視橋梁各橋墩設計參數資訊。

4.4.4.5 振動頻率評估模組

此模組主要提供橋梁管理單位於颱風、地震過後，評估橋梁是否安全可通行，利用自動傳回之現地量測振動頻率資訊，即各橋梁之第一振態資訊，進行振動頻率臨界值評估(計算 R 值)，作為災後橋梁是否可供通行之決策參考依據。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 21 與圖 22 所示。



圖 21 振動頻率評估模組功能架構

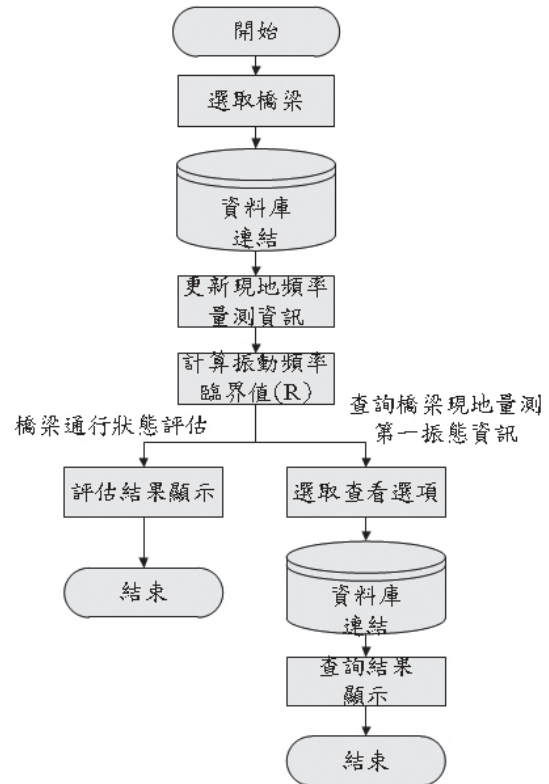


圖 22 振動頻率評估模組操作流程

本振動頻率評估模組針對災後階段對橋梁進行振動頻率評估分析，橋梁管理單位可透過系統網頁端操作，進入此模組後選擇橋梁，系統會先更新橋梁最新量測數據，然後比對災後頻率(最新量測數據)與平時檢測頻率，計算橋梁振動頻率臨界值(R 值)，完成後可進行：

1. 橋梁通行狀態評估

當 X 軸、Y 軸、Z 軸之其中一軸向振動頻率臨界比值(R 值)低於 0.7 時(根據文獻 [5]，高流速所計算出 R 範圍值 0.64~0.7，故取 0.7 為預設值，建議未來研究針對不同橋梁之 R 進一步探討)，系統將評估該橋梁為危險

(建議封橋)，同時也建議橋梁維護管理單位儘快至現場巡視橋梁各部位是否有結構損壞。反之高於 0.7 時則評估該橋梁為安全(可通行)。

2. 查詢橋梁現地量測第一振態資訊

橋梁維護管理單位亦可透過系統網頁端，連結查看選項，檢視橋梁各橋墩歷史量測資訊，其中包括量測時間、各軸向第一振態數值(Hz)。

4.5 以中彰大橋為例進行耐震能力評估

以下選擇中彰大橋為範例進行評估。模式並可提供設計顧問公司將完成設計的橋梁結構模型與資料，上傳至資料庫中。

4.5.1 系統主畫面與功能選單

本章節分別針對五個模組操作畫面加以詳細說明。操作示範於 Windows 視窗環境下，執行網頁瀏覽器，在網址列上輸入橋梁設計與防災預警資訊整合系統之網址，系統首頁模組如圖 23 所示，使用者可依模組選單進行模組功能選擇。

系統畫面上方為各模組功能選項，功能選項連結由左至右，分別為「系統簡介」、「上傳參數資料模組」、「修改刪除資料模組」、「查詢下載資料模組」、「耐洪安全評估模組」、「振動頻率評估模組」為六個主要功能。「系統簡介」同時設為系統首頁的簡介，簡介內容可讓使用者對整個系統的應用流程能有一個初步的了解。

4.5.2 上傳參數資料模組

此模組主要提供設計顧問公司將完成設計的橋梁結構模型與資料，上傳至資料庫中。首先，以 SAP2000 軟體開啟橋梁結構模型，並確定結構設計無誤及使用單位為 Tonf 及 m 後，接著將檔案匯出，於 SAP2000 軟體工具列選擇 File/Export/SAP2000 MS Access Database.mdb File，跳出視窗後，勾選所有項目，按下確定，再選擇存檔路徑，即完成檔案匯出，匯出後檔案格式為(.mdb)，如圖 24 所示。



圖 23 系統首頁模組

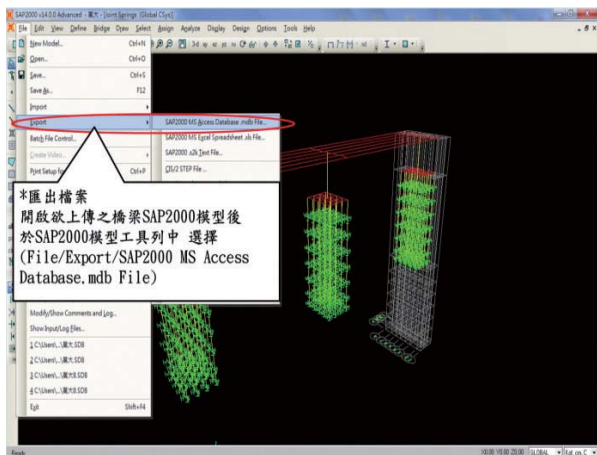


圖 24 橋梁模型匯出檔案

接著將橋梁竣工圖說、橋梁設計文件、地質鑽探資料製作成壓縮檔格式(.rar)如圖 25 所示，用以提供模組上傳檔案，壓縮檔製作完成，務必確認其存檔位置，避免上傳錯誤檔案或遺失。

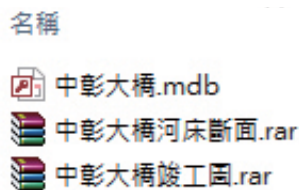


圖 25 製作壓縮檔(.rar)

接著系統畫面上方選擇「上傳參數資料模組」，首先透過介面，利用下拉選單，選擇橋梁的所在縣市、鄉鎮，使系統鎖定資訊，接著輸入橋梁 Ay、Ac 值，然後操作瀏覽選項，逐項選擇上傳檔案：橋梁模型(.mdb)、橋梁竣工圖說(.rar)、橋梁設計文件(.rar)上傳，最後按下確認上傳按鈕完成資料上傳，如圖 26 所示。

橋梁基本資料	
所在縣市	新北市
所在鄉鎮	請選擇
橋梁名稱	請選擇
TBMS 橋梁編號	
TELES 橋梁編號	
*新增橋梁選項	查無橋梁請按此新增

橋梁地表加速度	請輸入
降伏地表加速度(Ay)	<input type="text"/>
崩塌地表加速度(Ac)	<input type="text"/>

橋梁SAP2000 模型上傳 (.mdb)	
選擇檔案	未選擇任何檔案

橋梁竣工圖檔上傳 (.rar)	
選擇檔案	未選擇任何檔案

請將竣工圖壓縮後上傳!

橋梁設計相關文件上傳 (.rar)	
選擇檔案	未選擇任何檔案

竣工圖檔外之所有設計文件請壓縮後上傳!

圖 26 上傳參數資料頁面

若系統中無該座橋梁，可透過「新增橋梁按鈕選項」跳出新視窗新增一座橋梁資料，接著依序輸入：橋梁名稱、工程處、工務段、所在鄉鎮、路線等級\支線代碼、路線代碼、里程數、基礎型式橋面版數、跨度、橋梁經緯度等資訊(如圖 27 所示)，按下輸入完成後，回到參數資料頁面，即可在橋梁基本資料中選擇新的橋梁。

<< 新增一筆橋梁資料 >>

編號	項目	請輸入
N1	橋梁名稱	<input type="text"/>
N2	橋梁所屬工程處	請選擇 ▾
N3	橋梁所屬工務段	請選擇 ▾
N4	橋梁所在鄉鎮	請選擇 ▾
N5	路縣等級\支線代碼	請選擇 ▾ \ 無支線 ▾
N6	路線代碼	<input type="text"/> (請填數字)
N7	橋梁中心點於路線之里程數	<input type="text"/> (請填數字)
N8	本橋為此里程數第幾座橋梁	第一座 ▾
N9	橋梁基礎型式	請選擇 ▾
N10	橋面版數	<input type="text"/> (請填數字)
N11	單跨最大長度	<input type="text"/> (m)
N12	橋梁經度	<input type="text"/> (°)
N13	橋梁緯度	<input type="text"/> (°)

確認輸入

圖 27 新增橋梁視窗

完成橋梁模型、橋梁竣工圖說、橋梁設計文件上傳後，系統會依照不同的橋墩型式，自動跳出對應的資料表單，表單可分為樁基礎、沉箱基礎、直接基礎三種，然後從第一座橋墩開始輸入。輸入時，使用者只要依序操作下拉選單及輸入設計資料，而下拉選單選取後，系統會從橋梁模型檔擷取相關資訊帶入，減少使用者須輸入之欄位數量。

每座橋墩資料，在輸入完成，確認無誤後，按下確認上傳鍵，左下方會出現已輸入資料之橋墩，使用者亦可從該清單刪除資料。重覆此步驟輸

入每一座橋墩資料，如此即完成橋梁參數資料上傳。

4.5.3 修改刪除資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位針對已輸入之橋梁設計參數資料進行修改與刪除。

在系統畫面上方選擇「修改刪除資料模組」，並按鈕選擇其中一種查詢橋梁方式，查詢方式可分為 A. 以橋梁所在地區查詢、B. 以橋梁名稱查詢、C. 以 TBMS 編號查詢、D. 以 TELES 編號查詢、E. 按資料更新日期新舊查詢，如圖 28 所示。

請選擇一種查詢方式
以橋梁所在地區查詢
以橋梁名稱查詢
以TBMS編號查詢
以TELES編號查詢
按更新日期新舊查詢

圖 28 修改刪除資料頁面

各種查詢方式說明如下：

- A. 以橋梁所在地區查詢：透過操作下拉選單依序選擇橋梁所在縣市、鄉鎮及橋梁名稱，完成後按下查詢按鈕，如圖 29 所示。
- B. 以橋梁名稱查詢：輸入橋梁名稱後按下查詢按鈕。

C.以 TBMS 編號查詢：輸入橋梁 TBMS 編號後按下查詢按鈕。

D.以 TELES 編號查詢：輸入橋梁 TELES 編號後按下查詢按鈕。

E.按資料更新日期查詢：直接按下「按資料更新日期查詢」按鈕，系統將自動按照上傳資料之新舊順序排序。

橋梁所在地區查詢	
所在縣市	新北市 ▾
所在鄉鎮	請選擇 ▾
橋梁名稱	請選擇 ▾
TBMS 橋梁編號	
TELES 橋梁編號	

圖 29 橋梁所在地區查詢

查詢成功後，表單顯示橋梁名稱、TBMS 編號、TELES 編號、更新日期等資訊，按下修改設計參數或修改 Ay、Ac 頁面連結後，使用者可進行資料修改或刪除。

4.5.4 查詢下載資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位針對已輸入之橋梁設計參數資料進行查詢與下載。

在系統畫面上方選擇「查詢下載資料模組」，並按鈕選擇其中一種查詢橋梁方式，查詢方式可分為 A. 以橋梁所在地區查詢、B. 以橋梁名稱查詢、C. 以 TBMS 編號查詢、D. 以 TELES

編號查詢、E. 按資料更新日期新舊查詢。

查詢成功後，表單顯示橋梁名稱、TBMS 編號、TELES 編號、更新日期、橋梁 SAP2000 下載連結、橋梁竣工圖下載連結、橋梁設計文件連結等資訊，使用者依需求操作下載連結，分別進行橋梁結構模型下載、橋梁竣工圖下載、橋梁設計文件下載，下載方式與一般網頁下載方式相同。

使用者於查詢成功後，可按下表單最右方查看設計參數連結，系統會依照橋梁不同的基礎型式自動跳出對應的表單，表單中顯示該橋梁各橋墩設計參數資訊，故此模組可提供更豐富的橋梁資訊給橋梁管理單位。

另外，使用者於查詢成功後，可點選連結下載橋梁 SAP2000 模型，下載完成檔案為 (.mdb) 格式，接著開啟 SAP2000 軟體，在軟體工具列中選擇 File/Import/SAP2000 MS Access Database.mdb File，匯入橋梁結構模型（如圖 30）。

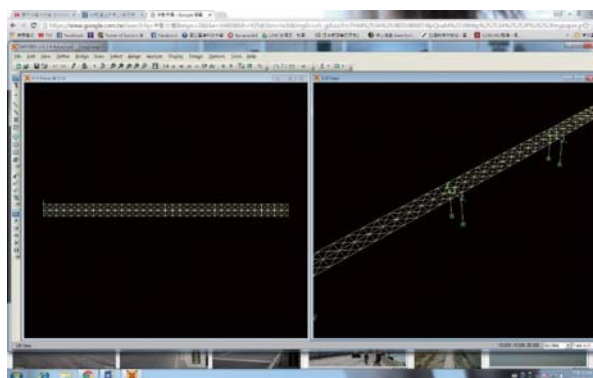


圖 30 匯入中彰大橋橋梁結構模型

如圖 30，中彰大橋之橋梁結構模型將於 SAP2000 中載入，橋梁設計單位可依據橋梁結構模型，設定塑鉸性質，接著執行側推分析，得出橋梁的容量曲線，再計算橋梁的容量震譜，最後找出對應的最大地表加速度 (PGA)，得到橋梁的 A_y 與 A_c 值，最後回到本研究所建置「橋梁設計與防災預警資訊整合系統」中，重新修改橋梁地表加速度 (A_y 、 A_c 值)，修改方式同 4.5.3 章節所述。

橋梁更新儲存的 A_y 與 A_c 值，將作為「臺灣公路早期防救災決策支援系統 (TRENDS)」的「橋梁地震破壞潛勢」功能，計算橋梁通行失敗機率的輸入值。當地震災害發生時，結合台灣各地地表加速度與橋梁 A_y 、 A_c 值，計算各橋梁通行失敗機率；當地震災害發生後，將通行失敗機率大於 50% 橋梁列出，並建立異常狀況橋梁清單。接著，TRENDS 自動啟動指派機制通知公路總局值班人員進行巡檢，完成橋梁耐震能力評估。

五、結論

本研究將橋梁使用維護階段所需之設計參數欄位進行確認，並針對設計參數進行編碼，建置各參數之固定編碼作為後續資料庫欄位與資料交換之基礎。並建置橋梁耐震耐洪設計參數資料庫，以線上分散式資料庫方式

保存各橋梁耐震及耐洪分析所需資料。

橋梁管理單位可在橋梁設計階段有系統性完整保存橋梁結構模型及耐洪能力評估所需參數，並在未來需要重新評估橋梁耐震、耐洪能力時，由系統自動匯出資料供分析計算模式使用。

此研究首度將橋梁設計參數與防災預警整合之應用，使用本研究所建置橋梁設計與防災預警資訊整合系統之輸出資訊分別進行：(1) 橋梁耐震能力評估 (2) 橋梁耐洪安全評估 (3) 橋梁振動頻率評估。

參考文獻

1. 姚乃嘉、黃榮堯、葉啟章等 (2013)，第二代台灣地區橋梁管理資訊系統建置規劃，交通部運輸研究所。
2. 鄭明淵、陳生金、呂守陞等 (2005)，交通工程防災預警系統建立之研究，交通部運輸研究所。
3. 鄭明淵、吳育偉、張于漢等 (2010)，公路防救災決策支援系統建立之研究 (4/4)，交通部運輸研究所。
4. 鄭明淵、吳育偉、林三賢等 (2013)，跨河橋梁安全預警系統之建置更新驗證與維護管理，交通部運輸研究所。
5. 李金翰 (2011)，橋墩振動頻率作為封橋基準之研究，國立臺灣科技大學，營建工程系碩士。