

# 橋梁生命週期防災管理系統建置

## Life-Cycle Based Bridge Management System For Disaster Prevention

宋裕祺 <sup>1</sup>	陳俊仲 <sup>1</sup>	賴明俊 <sup>1</sup>
Sung, Yu-Chi <sup>1</sup>	Chen, Chun-Chung <sup>1</sup>	Lai, Min-Chun <sup>1</sup>
許家銓 <sup>1</sup>	洪曉慧 <sup>1</sup>	劉光晏 <sup>1</sup>
Hsu, Chia-Chuan <sup>1</sup>	Hung, Hsiao-Hui <sup>1</sup>	Liu, Kuang-Yen <sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國家地震工程研究中心

### 摘要

以生命週期之觀點，應用新思維與新技術導入橋梁評估檢測與管理工作，已深受各先進國家的重視，均積極投入相關研究與開發資源。在此趨勢下，鑑於台灣橋梁已逐漸邁入高齡化，對於各橋梁構件結構服務能力隨時間之變化，更應加強研究瞭解與掌握。現行由交通部建置的「臺灣地區橋梁管理資訊系統」，主要針對橋梁基本資料和檢測紀錄進行資訊管理與統計分析，尚未直接與防災科技進行整合，與橋梁管理單位執行防災實務需求間具有技術缺口，因此實有必要建置一套橋梁防災管理系統供橋梁管理單位使用。目前橋梁檢測作業項目與評估工作架構，對檢測者與評估者之角色分工不甚明確，可透過應用思維，簡化並修訂橋梁現場檢測項目架構，將檢測與評估進行系統性區隔與邏輯的分工，提高工程執行面的可行性，達到技術上的創新。本計畫開發一套符合實務現況使用之橋梁生命週期防災管理系統，市場目標為提供國內橋梁管理及維護相關單位使用，協助其瞭解橋梁構件劣化趨勢，包括耐久能力、耐震能力與耐洪能力等因素，同時對於構件劣化改善提供有效的因應對策、管理建議與具體執行做法。藉由本計畫規劃開發之系統，將讓系統使用單位更能精確掌握橋梁生命週期成本評估分析結果，協助其進行有效管理橋梁防災業務，減少因橋梁災害對社會產生的損失，讓台灣橋梁評估檢測與管理和世界各先進國家同步甚至超前。

**關鍵詞：**橋梁檢測、管理系統、生命週期、專家系統

## Abstract

Since rising number of natural disasters has been the major threat to worldwide infrastructures. Civil engineers nowadays have to enhance the mitigation of hazards with the increase of structure service period. The thoughts of life cycle as new ideas come up and can help engineers to plan, design, build and maintain comprehensively for the longer service life of structures. In this study, a life-cycle based bridge management system for disaster prevention is developed that can be employed to improve the efficiency and the quality of bridge inspection work, to evaluate the capacity of bridge disaster resilience and to ameliorate the exactitude of bridge information. The proposed system has the distinguishing evaluation functions for the bridge resistance to earthquakes, floods, service loads and deteriorations by collecting field inspection data and taking the planning and design information of existing bridges into considerations. The time-variant curves of bridge structural resistance to hazards during the service time of structures were built by applying expert system technologies to construct evaluation algorithms for bridge management accompanying with strategies for prevention of disasters. Moreover, modular aid tools and the mobile portable system were also developed according to the practice and convenience of field inspection works. Effective strategies and practical methods were studies in this paper as well. Thus the proposed system provides the functions evaluating the trend of changes in structural resistance required by the bridge authorities and engineers for bridge management and disaster prevention. In addition, the most important and continued part of the developed work is to put the system in use, which can feed practical suggestions back and improve the system.

**Keywords** : bridge inspection, management system, life-cycle, expert system

## 一、研究背景

依據交通部統計資料，我國橋梁目前約2萬餘座，分別由鐵路局、高公局、公路局、觀光局、營建署及各縣市政府負責管理，為整合各機關橋梁資料，並利各層級進行整體性之橋梁管理、預算分配及災害防救等業務，交通部運輸研究所於民國88年開發臺灣地區橋梁管理系統(Taiwan Bridge Management System，下稱TBMS)，並於民國89年建置完成，開放全國各橋梁管理機關使用，透過TBMS之資料儲存及資訊同步分享功能，除可有效改善各橋梁管理機關人員離職異動致資料遺失之狀況外，並可協助各橋梁管理機關即時快速的掌握橋梁狀況，達到橋梁管理之最基本要求，我國自此全面踏出橋梁管理的第一步。

TBMS以DERU做為檢測與評估的基礎，但是綜合現存橋梁的安全問題，使用DERU的方式評估仍有值得檢討精進之處，綜合國內橋梁既存的主要問題包括：

(1) 橋齡老舊，不同時期建造的橋梁所適用的耐震設計規範不同，其耐震能力有賴可靠的檢測系統與制度及相應檢測資料處理的評估方法。(2) 河川上游經常施作水壩及各種截水設施，改變河川輸砂平衡作用，下游砂石之堆積減少，流失之河床未及補充，影響河道穩定性，進而降低了橋梁耐洪能力。加上部分河川砂石過度開採，河床流失，地質脆弱，容易風化沖蝕，造成橋基裸露，影響橋梁結構安定性，即使施作橋梁及樁基保護工程，耗費許多工程經費亦僅足應付短期安全之保障，耗用社會成本甚多而效果極為有限。(3) 橋梁封橋管制措施將影響當地居民交通便利性，目前尚乏經實地驗證可靠且有效的橋梁監測預警系統以及務實健全的橋梁管理防災資訊系統，供管理養護單位與現地工程人員管理維護決策之參考。(4) 在目前財政困窘的情況下，部分縣市政府無力設置專人負責橋梁管理，多數縣市也只能編列杯水車薪的橋梁維修經費，地方政府缺人又缺錢，無法進行橋梁維修作業，加上超載車輛過度使用，橋面版經常因為損毀，造成橋接縫擴大，影響行車安全。

TBMS自開放使用迄今已逾十年，期間我國遭逢多次重大颱風豪雨侵襲，並因而發生多起橋梁斷落、人員傷亡之不幸事件。整體而言，我國位處板塊交界，地震頻繁且地質條件複雜多變，加以屬海島型氣候，每年颱風豪雨頻繁，河川劇烈沖刷淤積情形十分普遍，復在橋體逐漸老化、施工品質不一、車輛超載及河川砂石盜採等不利因素影響下，橋梁劣化受損之風險也常隨之不斷增加，故如何強化TBMS對耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之掌握，實為當前重要課題。有鑑於此，國家地震工程研究中心的橋梁研究團隊將整合橋梁結構、管理、資訊等各領域學者與專家，並結合理論和實務經驗，強化與落實橋梁管理系統對橋梁耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之評估技術，因此研提本計畫做為後續持續應用研究發展之基礎，以建立一套具技術創新性且實用性的橋梁生命週期管理系統。

## 二、系統特色

橋梁生命週期管理系統之內含橋梁檢測資料庫，其目的不僅在於更新與突破現有橋梁管理系統之管理機制，更希望結合資訊技術能讓橋梁管理更為便利與有效，以達到落實橋梁安全管理之目的。為考量研究與應用之需要，本計畫建置之系統具備以下之特色：

(1)系統模組化擴充設計：改善系統封閉不易擴充之問題，藉由資訊技術應用，提高系統擴充與應用之靈活度，以達到應用單位對於耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化評估模組可以彈性擴充之目的，並考量橋梁管理系統未來雲端佈署之可能性，提供資訊匯流之程式介面，可以供其他應用系統存取資料，進一步協助使用者進行分析與管理之應用，並透過新一代HTML5技術做為資訊呈現的標準。

(2)行動資訊連結技術整合：行動裝置已普及，應考量如何應用行動技術於橋梁檢測工作，以達到便利檢測資料建立之目的。

(3)空間資訊擴充技術整合：完整的空間資訊亦是橋梁安全管理重要的一環，包含2D的GIS與3D的構件模型，均是強化橋梁安全評估的重要資訊，系統應考量這些資訊的管理方式與擴充介面，以利後續擴充應用。

### 三、系統設計說明

為有別於現存之臺灣地區橋梁管理資料系統(TBMS)，以下將本計畫所發展之橋梁管理系統稱之為NCREE-LCB-BMS，並以BMS做為所有橋梁管理系統之簡稱。本節將先以Web 2.0、HTML 5、3D化、行動化、模組化等大方向，討論可以應用於BMS的資訊技術，並逐步聚焦至本案將落實於系統的技術內容。第一代臺灣地區橋梁管理資料系統是一個以網際網路為基礎架構發展的資訊系統，結合Web技術及PDA技術所發展出的資訊管理架構。在TBMS發展的這十幾年間，Web技術底層變化相對較小，近幾年HTML 5技術之發展預期將會帶來較大的改變；而過去變化較大的是利用Web技術所發展之服務與應用程式架構，其中Web 2.0就是一個重要的里程碑。以下將統合架構面與技術面，區分為三個系統開發的方向進行說明。

#### 3.1 構件化

橋梁管理系統依據不同的管理與應用方式，區分為網路層級(Network Level)、計畫層級(Project Level)與構件層級(Element Level)，參考圖1所示。其中構件層級是其它層級應用的基礎，所以構件管理是橋梁管理系統的基礎功能，包含橋梁構件管理與3D構件圖形管理。

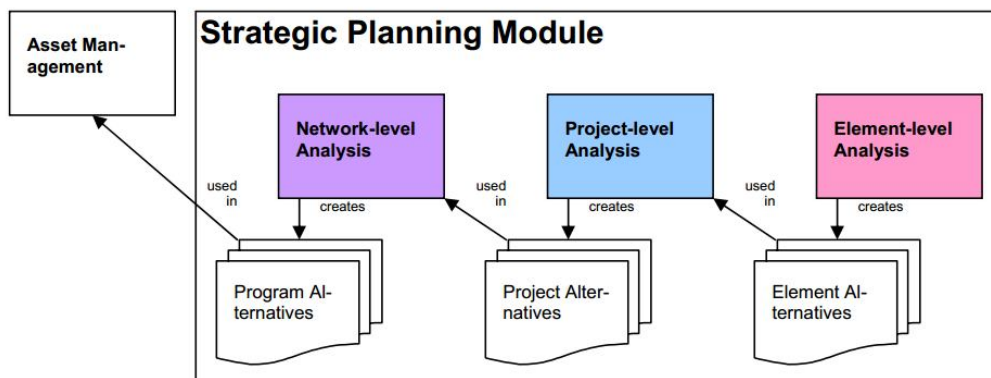


圖1、橋梁管理系統三個主要的應用層級<sup>[5]</sup>

一般BMS中對於構件管理較著重在「構件資料管理」，較欠缺「3D構件圖形管理」。應用3D圖形可以強化使用者構件空間的概念，當構件發生劣化或損壞時，有利於協助使用者評估其嚴重性，所以3D圖形的應用在TBMS中非常重要。過去進行橋梁檢測時，檢測人員已使用紙本及2D示意圖標記橋梁損壞狀況(參考圖2所示)，此記錄與評估方式若能結合行動裝置，並藉由2D或3D構件模型顯示技術，除將目視檢測資料直接建檔之外，亦可以3D構件模型整合，透過實體呈現，將更有利於專家對於損壞狀況的判讀。所以構件化不僅是將構件資訊3D化，應從底層的資料層面開始建置，並進而與3D構件模型連結，再進一步使用3D模型協助檢測工作，最後利用這些資訊進行分析與應用。

在系統規劃方面，使用關聯式資料庫(Relational Database)一直是實現橋梁構件管理的主要方式(參考圖3所示)，除了橋梁構件化的屬性資料之外，時間序列管理亦是重要的一環，欠缺時間序列管理，就不易反應出構件損壞及維修歷史狀況及計算構件的維護成本。除構件資料模型之資料庫建構外，引入Web 2.0及Web 3.0重要的觀念，

NCREE-LCB-BMS應朝向服務導向架構(Service-Oriented Architecture, SOA)設計，至少在資料層面提供完整Web服務應用程式介面 (Web Service API)，建立NCREE-LCB-BMS資料匯流的整合概念(參考圖4所示)。透過NCREE-LCB-BMS資料匯流提供之Web服務程式介面，可以彈性建立和其他應用系統或擴充模組之連結。例如圖4中所示，NCREE-LCB-BMS可以透過Web服務資料匯流，與耐震能力評估系統、耐洪能力評估系統、載重能力評估系統、老舊劣化評估系統等應用系統整合，透過此Web服務整合方式，BMS系統與其他擴充功能系統的設計將更有彈性，可以使用系統擴充的方式建置在一起，也可以各別建置，保有各別系統可以獨立維護之彈性，減少大幅調整系統架構之成本。

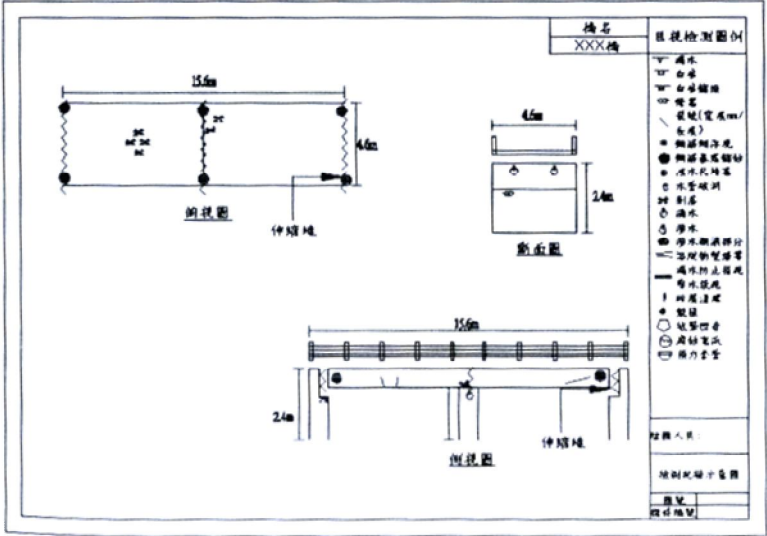


圖2、 橋梁損壞位置標示圖<sup>[3]</sup>

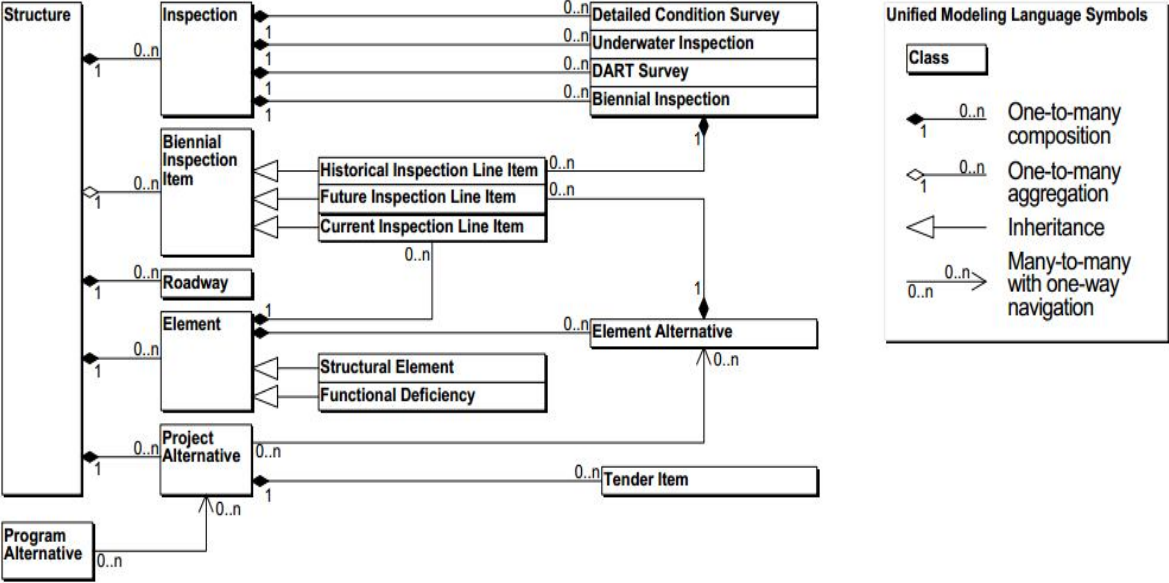


圖3、 橋梁管理系統之資料表關聯圖<sup>[5]</sup>

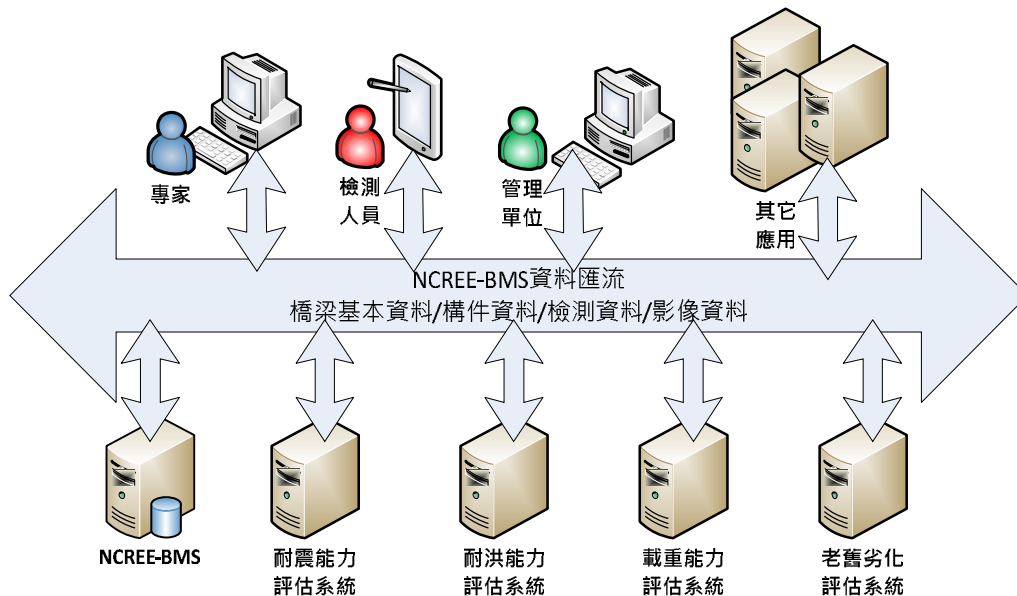


圖4、NCEE-LCB-BMS資料匯流概念

NCEE-LCB-BMS將引入2D與3D技術之擴充功能，未來可以結合GIS與構件3D模型資訊整合之能力，以強化橋梁管理之應用。如前文所述，透過空間圖像與目視檢測的成果結合呈現，有助於專家評估構件損壞之嚴重性，但目前TBMS所列管之二萬多座橋梁均尚未建立橋梁各個構件之3D模型，對於導入3D模型應用並不容易，加上，TBMS未列管所有橋梁原始設計圖之電子檔，不易建立完整3D橋梁構件模型。所以，本案將建立一套構件3D模型的資料介面，可以供3D橋梁構件建模工具做資訊連結與設定(參考圖5所示)，協助管理單位可以在建立橋梁構件之3D模型時，透過設定連結這些資訊，在沒有橋梁設計圖的輔助之下，此3D模型之細緻度至少能滿足目視檢測與專家評估之應用，能完整呈現橋梁構件損壞狀況之標示。目前在工程應用上，3D建模工具以Google SketchUp最為便利使用，SketchUp有免費版本可以下載使用，且硬體設備需求不高，易於安裝，一般的電腦設備即可以流暢地執行編輯工作。相較於其它3D編輯工具，SketchUp操作較為簡單直覺，容易上手，可以降低評估人員的學習門檻，提昇建模的效率。SketchUp提供程式外掛(Plug-in)之機制，使用Ruby程式語言，可以開發與SketchUp整合的外掛應用程式，能協助3D模型製作。參考圖5所示，3D橋梁構件建模工具以外掛程式型式整合在SketchUp 3D編輯軟體中，並透過NCEE-LCB-BMS提供的資料匯流，取得橋梁構件資料或是已建立之3D構件模型資料，藉由這些資料，協助3D橋梁構件建模人員能快速完成建模工作或資料設定。此外，此3D模型亦可以進一步與2D之GIS資訊整合，建立更完整之空間資訊，整合Google Map或Google Earth，可以呈現橋梁網路層級(Network Level)之資訊；在進行檢測工作時，透過使用SketchUp的外掛程式，可以協助檢測人員標示構件損壞之位置，甚至可以利用貼圖技術，將構件與損壞相片結合，方便專家檢視這些損壞資訊。3D橋梁構件除了呈現構件本身的靜態屬性之外，亦能配合含時間序列的檢測資料，反應構件在不同檢測時期之損壞狀況及修復狀況，以利專家完整掌握橋梁之安全資訊。綜合上述之構件3D模型化概念，NCEE-LCB-BMS在資料匯流架構中均將提供相關的介面，以利未來實現3D建構工具之發展與應用。

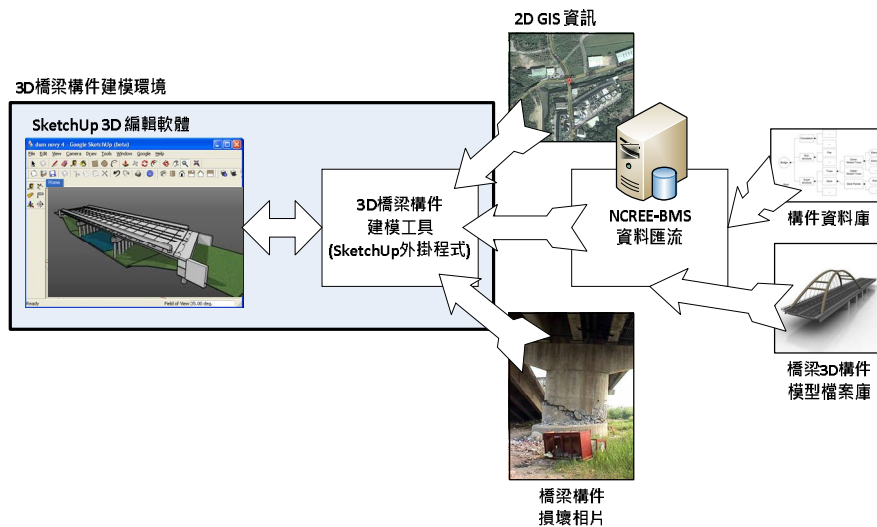


圖5、 3D橋梁構件建模運作機制

建立3D橋梁構件模型最主要的應用時機在於進行橋梁安全檢測，檢測人員在現地可以透過編輯工具，標記構件損壞的狀況，評估表與拍攝照片亦可以共同標記在3D構件上，方便進行評估與瀏覽。若是橋梁安全檢測能更進一步建立專業分工作業模式(參考圖6所示)，則評估的結果將有更高的可信度，在Web 2.0中亦提到這樣的精神，透過網際網路技術，集合眾人的知識及經驗。不同構件其分析方式亦不相同，所以除了橋梁構件基本資料及3D構件模型之外，還需要增加構件分析所需要的額外資料，NCREE-LCB-BMS將具備彈性整合或擴充分析功能模組的能力，在資料庫設計方面，亦能配合這些擴充功能模組，自動地加入分析所需要的額外資料表。參考圖7所示，NCREE-LCB-BMS核心系統已具有基本資料、檢測資料等資料庫，當NCREE-LCB-BMS系統加入額外的分析功能時，就能將所需的資料表整合至核心資料庫中，並與核心系統資料庫共同運作。除此之外，亦可以透過NCREE-LCB-BMS資料匯流所提供的Web服務程式介面，存取共同所需的資料，藉此彈性地加入分析橋梁構件的功能。

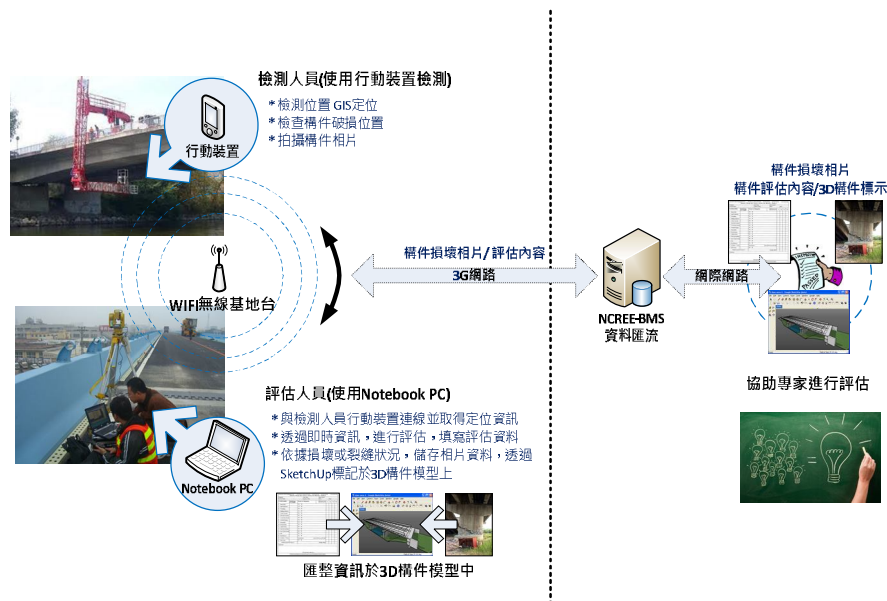


圖6、 橋梁檢測作業模式

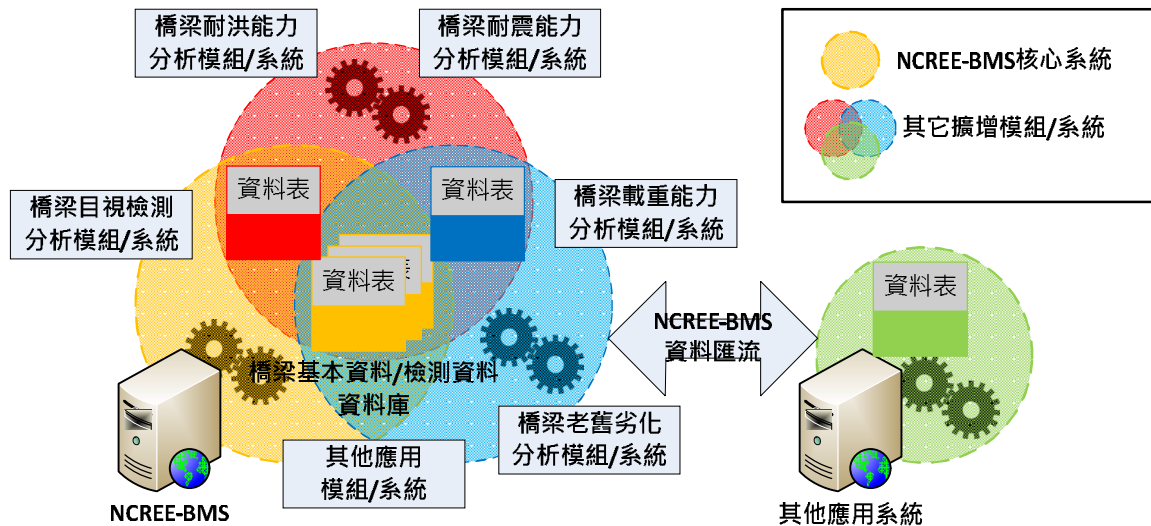


圖7、構件分析資料彈性擴充與整合

### 3.2 客制化

伴隨時間增長，資訊量也伴隨增加，如何快速協助橋梁管轄機關能快速地篩選及過濾所需要的資料，變得非常重要。橋梁管理系統若具客制化能力，則能提供使用者依據不同需要，增加或減少資料的呈現或應用，讓使用者專注在自己所負責處理的資料範圍內。一般大型的資訊系統均採用MVC(Model-View-Controller)的設計邏輯來規劃系統，NCREE-LCB-BMS亦將採用此規劃方式設計，除此之外，也將依據MVC的概念，提供三個層次的客制化能力，以下將依序分別說明：

#### 1、資料服務客制化：

資料服務客制化屬於Model層次的客制化，即Web 3.0中網際網路資料庫化的精神，NCREE-LCB-BMS使用資料匯流的概念設計與建構，可以藉由Web服務應用程式介面，提供資料存取之服務。此資料服務可以經由使用者安全驗證及存取權限授權方式，提供相關橋梁管轄機構之應用。資料服務是系統擴充及整合的基礎，客制化能提供更多元應用，亦包含行動裝置的資料存取，例如在圖6中，不同角色所處理的資料內容亦不相同，此部份資訊的差異更需要資料服務客制化的支援。另外，由於檢測工作是在橋梁所在現場，大部份的場址並不一定有穩定的網路訊號，現場環境可能屬於離線狀態，所以資料服務提供資料離線狀態所需要的快取資料(Cache Data)，讓作業人員在無網路的現場環境中，仍能進行檢測作業，參考圖6中的作業方式，雖然是離線運作，但是在橋梁檢測作業現場，仍能透過WIFI無線基地台建立無線區域網路，除遠距專業協作無法進行之外，仍可以進行現地之專業分工，所有檢測的成果，可以於網路穩定的環境中，透過資料服務完成資料同步，此時可以再由專家進行檢測成果之檢視，給予進一步的建議，在離線狀態的資料服務運作方式，參考圖8所示。新一代的HTML5技術亦支援離線暫存技術，NCREE-LCB-BMS亦將利用這項技術，協助在無網路的環境中，亦能建立橋梁之檢測資訊。



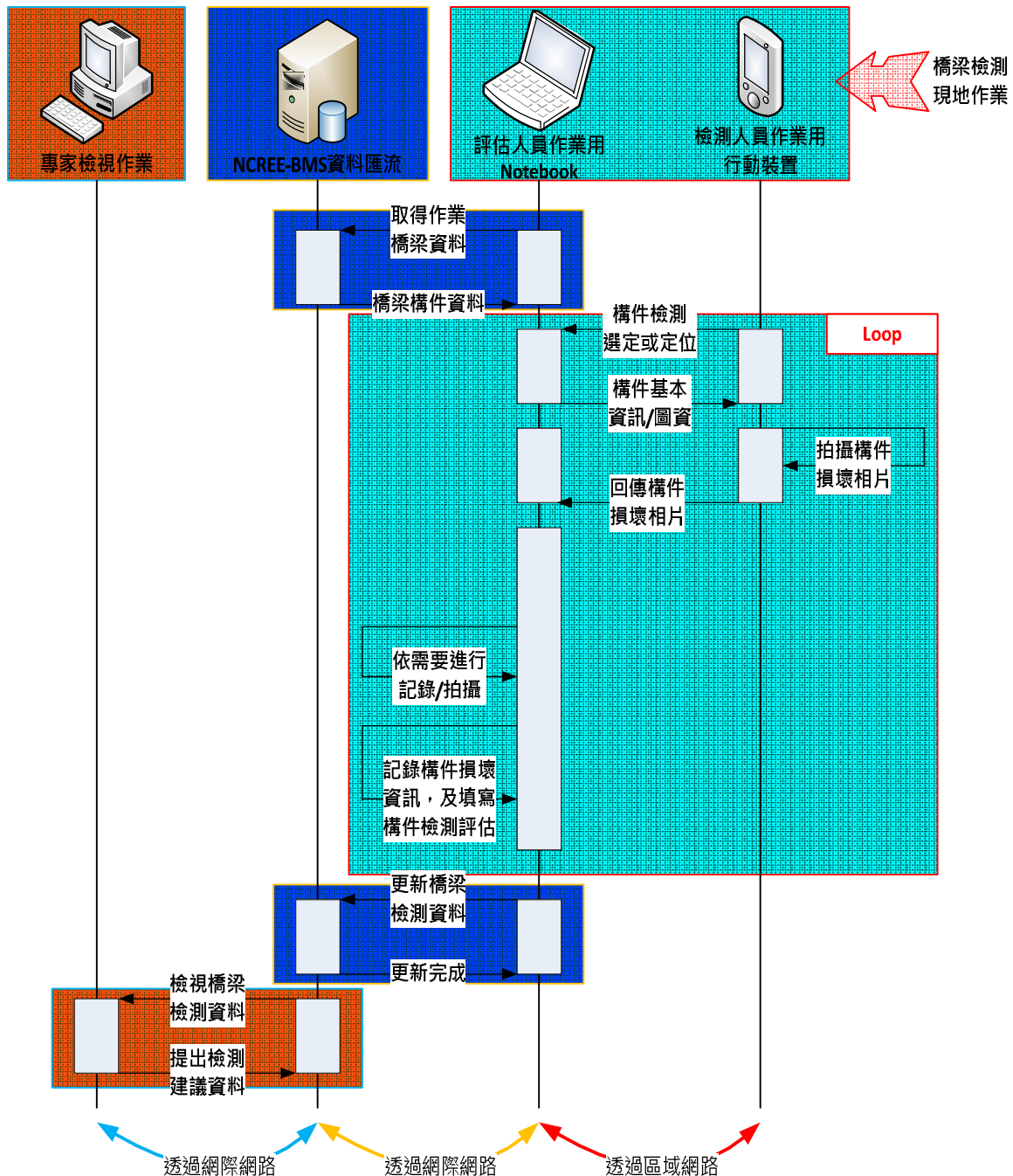


圖8、 離線狀態資料服務

## 2、管理介面客制化：

管理介面客制化屬於View層次的客制化，NCREE-LCB-BMS操作介面將使用Web技術呈現，使用HTML 5為基礎設計，透過登入認證機制，使用者可以擁有不同的功能選項，資料呈現方面則參考Reed M. Ellis文章所提出之橋梁資訊管理儀表板(Dashboard)概念(參考圖9與圖10所示)。透過儀表板的觀念檢視資料非常容易，大部份的資訊儘量以區塊化的圖表方式呈現，容易看出資訊的發展趨勢，表格中的資訊亦經過設定之條件進行篩選與排序，協助管理人員做選擇與決策，而這些訊息或功能區塊可以讓使用者彈性地開啟或關閉，滿足管理介面客制化之需求。

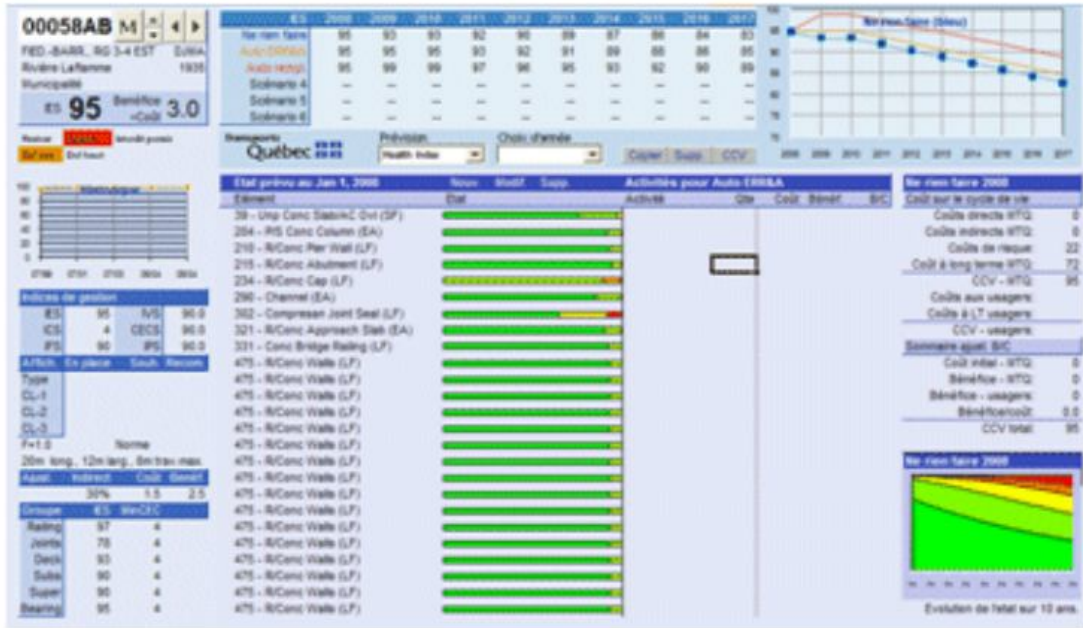


圖9、橋梁資訊管理儀表板#1<sup>[5]</sup>

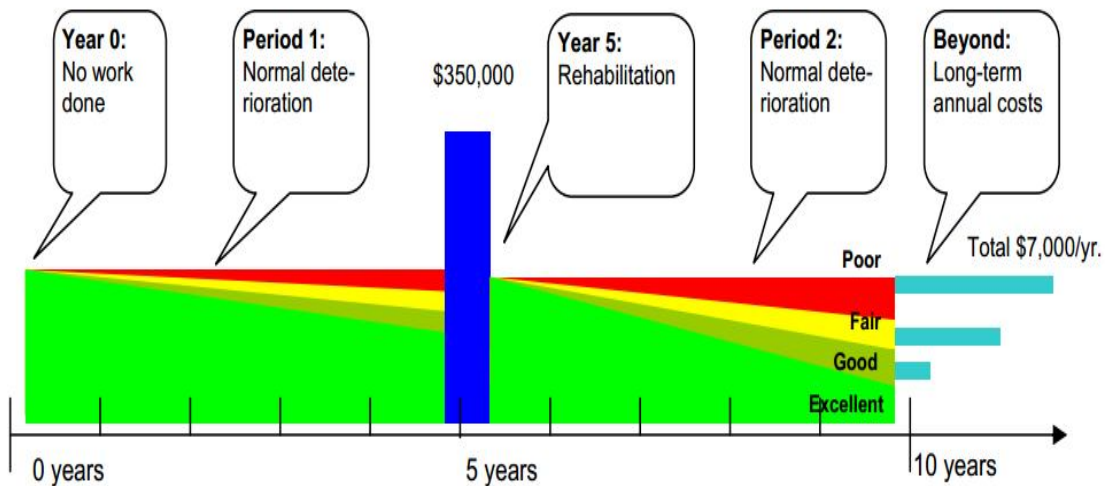


圖10、橋梁資訊管理儀表板#2<sup>[6]</sup>

### 3、系統功能客制化：

系統功能客制化屬於Controller層次的客制化，在NCREE-LCB-BMS資料匯流系統架構中，具有彈性模組擴充之能力，可以藉由系統模組整合，強化橋梁耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之掌握。所有擴充之系統功能，往往不僅是執行分析的計算核心，通常會與上述之資料服務與管理介面結合，透過操作介面設定與管理資料，並由計算核心進行計算與評估，才能達到資料綜合瀏覽與多維分析之功能(參考圖11所示)。在Web 3.0中引入人工智慧化的概念，NCREE-LCB-BMS中客制化的能力將可以滿足此發展趨勢的擴充能力，例如應用於擴充橋梁管理之決策支援系統等，增加更多層面的應用。

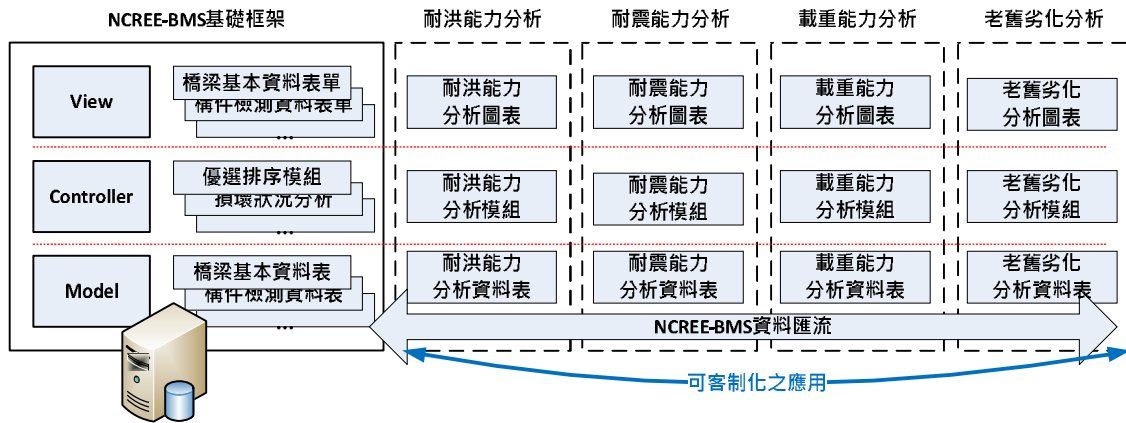


圖11、NCREE-LCB-BMS所建立的系統功能客制化架構

#### 四、雛型系統架構與成果

目前已完成NCREE-LCB-BMS雛型系統資料模型、視覺介面與控制功能分析與設計，根據設計結果進行系統開發與實作。NCREE-LCB-BMS使用Web-based技術實作，網頁內容以HTML 5技術為主，所以可以支援2D與3D圖形顯示，對於圖表顯示等功能將更為便利與多元。系統開發亦考量雲端佈署機制，以利系統未來可以在雲端佈署與應用，系統之主要架構圖如圖12所示。

##### 4.1 橋梁基本資料管理模組

橋梁基本資料管理主要提供建立橋梁基本資料的表單與查詢，包含橋梁的位置及興建資料、佈設資料、設計資料、橋梁各橋孔的結構資料、各橋孔的外觀照片等(參考圖13所示)。除構件資料之外，亦包含橋梁各個構件的2D/3D模型檔案之管理。除基本資料的管理之外，在4.1節所述及之使用者管理、管理單位資料管理、資料項目之授權設定等，亦在橋梁基本資料模組中實作。

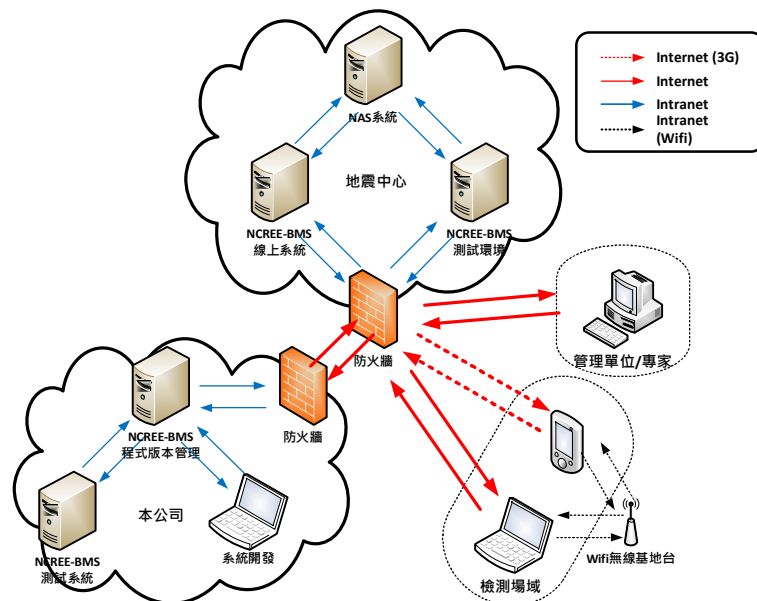


圖12、NCREE-LCB-BMS系統架構



圖13、橋梁基本資料管理

#### 4.2 橋梁檢測資料管理模組

提供橋梁檢測類型資料表單之建立與管理，並可以由資料表單建立實際之檢測資料內容，並依據設定之計算方式進行評估與計算。NCREE-LCB-BMS系統提供一個彈性機制，可以彈性定義檢測項目與評估項目，以因應許多不同的評估應用(參考圖14所示)。一般檢測項目均以目視檢測記錄為主，配合其它擴充模組，加入耐震能力評估、耐洪能力評估、載重能力評估、老舊劣化評估等相關評估表單(參考圖13所示)，若橋梁具有構件的空間圖資或相片時，評估資訊連結這些結構件的3D/2D圖資。

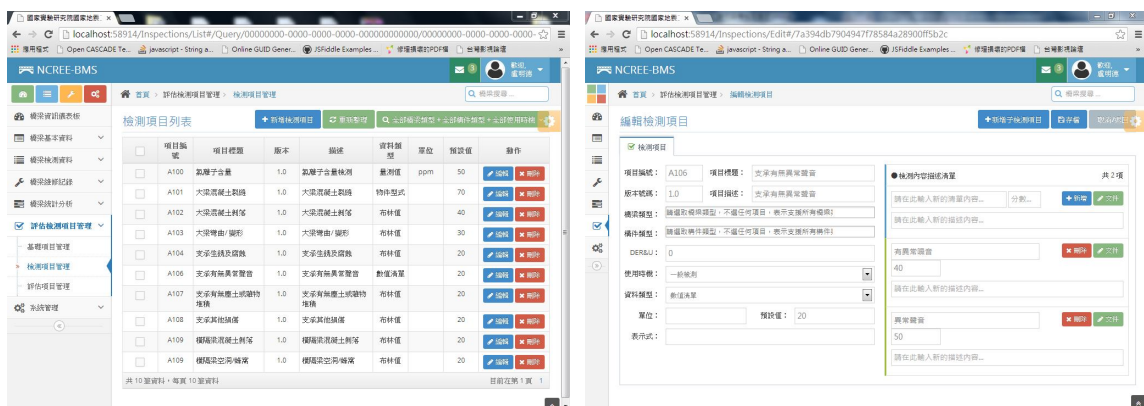


圖14、檢測項目編輯與檢測項目詳細內容

#### 4.3 橋梁維修紀錄管理模組

橋梁檢修紀錄管理模組中，配合目前橋梁管理單位常用的維修記錄模式，建立相關的表單，用以建立橋梁維修紀錄，除資料建立相關表單外，亦包含資料的查詢篩選，並提供資料產出報表等功能。

#### 4.4 橋梁統計分析模組

橋梁定期檢測之目的，在於適時進行橋梁維修，以維護橋梁使用之安全。NCREE-LCB-BMS中提供記錄所有構件維護的歷史資料，並且能以優選排序的方式，提供管理單位依據危害安全的程度對橋梁進行維護之工作，參考圖15所示。

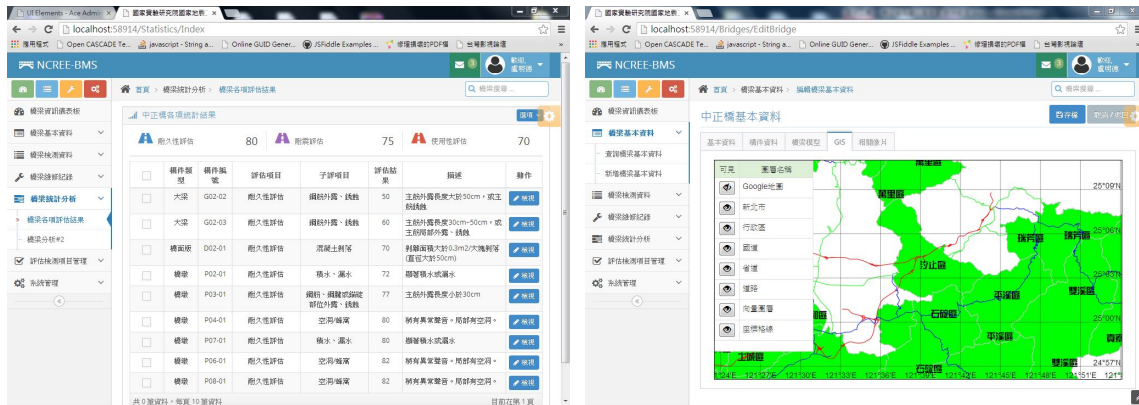


圖15、各項評估結果統計及結合GIS呈現之優選評估結果

#### 4.5 資訊儀表板與資訊匯流架構

結合前述管理介面客制化的功能，以橋梁資訊儀表板的方式呈現管理資訊。使用者亦可以依據業務不同之需要，調整儀表板之內容(參考圖16所示)。



圖16、橋梁管理資訊儀表板(雛形系統測試版)

NCREE-LCB-BMS除Web-based系統之外，資訊匯流以Web-Service方式設計，提供JSON格式的資料匯流，讓其他應用程式可以透過程式介面呼叫，並配合使用者授權之機制，取得橋梁管理系統中所保存之構件資料或評估資料。此外，NCREE-LCB-BMS在後續擴充中，亦透過此資料匯流介面，讓擴充之模組可以彈性整合與應用。

## 五、結論與建議

考量與台灣橋梁管理系統相容之基本資料及評估內容，並可匯入現有橋梁管理系統之資料，有助於推廣NCREE-LCB-BMS，並可以應用與整合NCREE新擴充與規劃之功能，有助於落實橋梁管理。若以橋梁基本資料為基礎，並可以彈性建立與擴充橋梁檢測與評估之設計模式，可以補足現有檢測與評估方式之不足，依據不同的研究成果，可以加入新的評估項目，強化橋梁劣化評估之正確性。針對模組化設計與資料匯流設計，提供系統彈性擴充之能力，強化NCREE-LCB-BMS與其他應用系統整合應用，例如耐洪能力分析、耐震能力分析等等，提供實務應用擴充與學術研究應用之價值。使用橋梁管理資訊儀表板呈現橋梁之優選排序資訊，簡化過去系統操作過於繁複之問題，讓不同管理層級之人員，都能確實應用此資訊系統。以HTML5技術實作NCREE-LCB-BMS，除了可以發揮新一代HTML5的功能，例如2D、3D繪圖、離線作業、更豐富的視覺及操作功能外，亦可以整合行動化技術，透過行動裝置協助橋梁檢測之工作。目前系統正在導入應用階段，未來需要幾座完整可以用於示範的橋梁資料，包含基本資料及各部構件資料，甚至包含其目視檢測之歷史資料，以進行系統分析成果之驗證。系統未來若需要建置於雲端資訊中心，中心需先提供雲端資訊中心之環境資訊、目前提供之服務項目及未來中心之應用策略，以做為系統規劃之考量。

## 參考文獻

1. 趙坤茂，「數位內容新世紀」2006年第三季季刊，台灣大學資訊工程研究所，2006
2. 何岳峰、黃濬彥、謝孟勳，「應用 HTML 5 及版本控制技術提昇 Web-based 營建資訊管理系統使用效率之研究」，2010 營建管理研討會，2010
3. 張文鴻，「以三維模型輔助橋梁目視檢測之研究」，國立中央大學營建管理研究所碩士論文，2011
4. 「臺灣地區橋梁管理系統 PDA 版安裝及操作說明」，交通部運輸研究所，2010，參考網址：<http://tbms.iot.gov.tw/bms2/>
5. Paul D. Thompson, "A NEW BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR ONTARIO", Brian Kerr, ITX Stanley Ltd., Canada
6. Reed M. Ellis, Paul D. Thompson, Rene Gagnon, Guy Richard, "Design and Implementation of a New Bridge Management System for the Ministry of Transport of Québec", Stantec Consulting Ltd.
7. Brad G. and Shyam S., "AngularJS," O'Reilly Media, Inc., 2013
8. Jake S., "Bootstrap," O'Reilly Media, Inc., 2013
9. Ken P., "Deploying OpenStack," O'Reilly Media, Inc., 2013
10. Benjamin P., "Working with NHibernate 3.0," John Wiley & Sons, Inc., 2011
11. Jason D., "NHibernate 3.0 Cookbook," Packt Publishing Ltd., 2010
12. Nils R., Claire Y. C., and Manish B. D., "Business Dashboards," John Wiley & Sons, Inc.

13. Mark P., “Building Dashboards with Microsoft Dynamics GP 2013 and Excel 2013,” Packt Publishing Ltd.
14. Michael B., Dionysios S., and Victor S., “Pro HTML5 and CSS3 Design Patterns,” Apress, 2011
15. Peter B. D., Pawel K., “Mastering Web Application Development with AngularJS,” O’Reilly Media, Inc., 2013
16. Nehal S., Gabriel J. B., “HTML5 Enterprise Application Development,” Packt Publishing Ltd.