

出國報告(出國類別:其他)

出席「第10屆國際橋梁與結構管理研討會」 會議報告

服務機關:交通部運輸研究所

姓名職稱:胡智超副研究員

派赴國家:美國

出國期間:97年10月19日至10月24日

報告日期:98年1月5日

出席「第 10 屆國際橋梁與結構管理研討會」會議報告

著 者：胡智超

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496821

出版年月：中華民國 98 年 1 月

印 刷 者：承亞興有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 20 冊

定 價：100 元

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數：36 含附件：無

報告名稱：出席「第10屆國際橋梁與結構管理研討會」會議報告

主辦機關：交通部運輸研究所

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

交通部運輸研究所/孟慶玉/02-23496755

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

胡智超/交通部運輸研究所/運輸工程組/副研究員/02-23496821

出國類別：1. 考察2. 進修3. 研究4. 實習5. 其他

出國期間：97年10月19日至10月24日

出國地區：美國

報告日期：98年1月5日

分類號/目：HO/綜合類（交通類） HO/綜合類（交通類）

關鍵詞：橋梁管理，生命週期，腐蝕檢測。

內容摘要：

「第10屆國際橋梁與結構管理研討會」會議的目標是邀集產、官、學界，對最新之技術應用於橋梁和結構的管理上進行交流與研討，期望可以解決橋梁管理和設計等問題。本次相關之研討重點包括：橋梁維護、維修和惡化率之案例研究；橋梁結構性能、監測和生命週期評估；橋梁檢查頻率和熱成影像分析；碳纖維聚合物補強和腐蝕檢測等議題。本報告摘整會中發表之部分論文相關資料，經由本次會議之參加，深入瞭解橋梁檢測、維修及補強之相關最新技術，可供國內相關橋梁管理單位之參考，對本所後續之研究將有豐富之價值。

本文電子檔已上傳至公務出國報告資訊網

目錄

一、前言	1
1.1 出國目的.....	1
1.2 行程紀要.....	1
二、研討會	3
2.1 美國加利福尼亞州、佛羅里達州的橋梁管理經驗.....	3
2.2 運用橋梁資訊模型推估橋梁生命週期.....	16
2.3 創新橋梁活載重分析系統應用於橋梁管理.....	23
2.4 預力箱型梁橋的腐蝕評估.....	25
2.5 交通設施及大眾運輸系統考察.....	30
三、心得與建議	34
3.1 心得.....	34
3.2 建議.....	36

表目錄

表 1.1	出國行程紀要表.....	2
表 2.1	Pontis®提供優先順序名單.....	8

圖目錄

圖 2.1	美國各州使用 Pontis® 應用情況	5
圖 2.2	橋梁管理系統資料庫示意圖	6
圖 2.3	SMART 應用程式介面	7
圖 2.4	佛羅里達州區地圖	10
圖 2.5	計畫等級的分析工具	11
圖 2.6	預測狀況和後續行動	11
圖 2.7	Pontis® 的工作指令	12
圖 2.8	維護管理系統的工作指令	13
圖 2.9	在 Pontis® 中表列損壞橋梁情況	14
圖 2.10	報告制定模式	15
圖 2.11	橋梁生命週期各層面的概念觀點	16
圖 2.12	橋梁電腦 3-D 模型	17
圖 2.13	橋梁電腦 3-D 橫斷面	17
圖 2.14	使用 Virtis 檢查和更新橋梁相關資訊	18
圖 2.15	橋梁載重評估報告資料	19
圖 2.16	路線許可應用	20
圖 2.17	路線選擇結果	20
圖 2.18	Pontis 檢測資料的顯示畫面	21
圖 2.19	網路橋梁管理資訊支援決策的操作介面	22
圖 2.20	SiWIM 相關設備系統	23
圖 2.21	以 SiWIM 分析之案例結果	24
圖 2.22	預力箱型梁橋	27
圖 2.23	箱型梁內中性化、裂縫和碎裂區域	27
圖 2.24	鋼鍵不同部位的孔隙和白華	28
圖 2.25	水泥砂漿的 PH 值	29
圖 2.26	量測鋼鍵的腐蝕速率	29
圖 2.27	樣品在放大下腐蝕的跡象	30
圖 2.28	水牛城捷運系統	31
圖 2.29	水牛城交通設施及大眾運輸系統地圖	32
圖 2.30	捷運系統路線圖	32
圖 2.31	水牛城捷運系統地面車站	33

一、前言

1.1 出國目的

近年來各項重大之交通建設陸續完成啟用，使得臺灣地區交通網路更為密集及完整，並促使國內經濟發展富庶繁榮。隨著已完成之交通設施陸續加入營運，國內公路管理機關的工作重心逐漸由新建工程轉移至既有公路之養護管理。在交通建設中，又以橋梁更為重要，尤其是臺灣人文地形特色，地狹人稠且多山脈、河川阻隔的環境，橋梁更是跨越聯繫區域間交通的重要交通設施。然而臺灣是屬於海島型的氣候，國內橋梁所處環境受人為外力及天然災害頻繁（如地震、颱風及洪水等），再加上橋梁管理單位人力不足及相關經費有限之下，使得國內的橋梁劣壞情況較國外橋梁嚴重。

橋梁管理，首在切實掌握橋梁狀況最新資訊，而掌握橋梁狀況最新資訊，則有賴妥適之橋梁檢測，故橋梁維護管理，包括：(1) 橋梁檢測系統，及(2) 橋梁維修系統，其中並以橋梁檢測為首要。為此本所自民國 89 年起開始研發「橋梁管理系統」，並於民國 90 年正式上線提供服務，使橋梁主管機關能夠透過此系統隨時掌握橋梁狀況，並適時的進行檢測與維修，以確保橋梁結構及行車安全，更進一步延長橋梁之使用年限。93 年度起更奉交通部指示對各橋梁管理單位進行「橋梁維護管理作業」評鑑，以促使橋梁維護管理作業制度正常化，經過多年的評鑑，各橋梁管理機關多已充分利用本系統進行橋梁管理。

除了對橋梁現況之掌握外，另針對國內外橋梁檢、監測、模擬及維修補強等相關新技術和新觀念的掌握也是本所持續進行的重點工作。「第 10 屆國際橋梁與結構管理研討會」主要探討公共建設橋梁結構管理方面相關主題，包括橋梁維護、維修和惡化率之案例研究；橋梁結構性能、監測和生命週期評估；橋梁檢查頻率和熱成影像分析；碳纖維聚合物補強和腐蝕檢測等，經由本次會議之參加，深入瞭解橋梁檢測、維修及補強之相關最新技術，可供國內相關橋梁管理單位之參考，對本所後續之研究將有豐富之價值。

1.2 行程紀要

本次出國行程自民國 97 年 10 月 19 日至 10 月 24 日，為期 6 天，主要行程為參加「第 10 屆國際橋梁與結構管理研討會」，並同時考察當地地區

之大眾運輸系統，詳細行程內容如表 1.1 所示。

表 1.1 出國行程紀要表

97 年		起迄地點	工 作 紀 要
月	日		
10	19	臺灣-日本東京	前往東京成田機場轉機
10	20	日本東京-紐約-水牛城	抵達紐約紐華克機場並轉機至水牛城
10	21	水牛城	參加研討會
10	22	水牛城	參加研討會
10	23	水牛城	參加研討會
10	24	水牛城-紐約-臺灣	回程

二、研討會

此次行程主要為參加「第 10 屆國際橋梁與結構管理研討會」，會議的目標是邀集產、官、學界，對最新之技術應用於橋梁和結構的管理上進行交流與研討，期望可以解決橋梁管理和設計等問題。本次相關之研討重點包括：橋梁維護管理、維修和惡化率之案例研究；橋梁結構性能、監測和生命週期評估；橋梁檢查頻率和熱成影像分析；碳纖維聚合物補強和腐蝕檢測等議題。以下茲摘述本研討會之部分技術議題內容。

2.1 美國加利福尼亞州、佛羅里達州的橋梁管理經驗

1. 簡介

美國聯邦公路總署（FHWA）資產管理局發起以不同的方式讓運輸相關機構能有別種的投資選擇進行資源分配，這種新的經營方式稱為「資產管理」。「資產管理」是一個利用策略方式以得到最好的現金回饋並用於交通運輸的改善上。美國各州的運輸機構將可能有不同的方法來執行資產管理策略；例如，一些機構將推行資料整合的策略，以利用比較數據來評價，或部署經濟分析工具，以產生實際的資訊給決策者，另外還有其他結合新的橋梁清冊評估方法納入其決策過程。

Pontis®是一個廣泛性的橋梁管理系統工具，開發是為了協助具有挑戰性的橋梁管理任務。最初是由 FHWA 發展的，但 Pontis®現在則是 AASHTO BRIDGEWare®的產品。它可以儲存橋梁的清冊和檢測資料，利用網路來評估每座橋梁的維修需求以制定維護和改善策略，並提出建議項目，其中也包括運輸機構的資本改善計劃，及以有限的經費下產生最大的利益。另外利用各用戶輸入的資料，該軟體會不斷升級和擴增成長。FHWA 並在 2002 年為了 Pontis®系統主辦了一個發展的培訓班，提供給美國各州公路機構參加，並於 2002 年 7 月由國家公路研究所開始辦理培訓課程。自那時以候，課程已修改並包括軟體的更新，另已在美國 17 個州展示。

美國大多數的州只許可使用 Pontis®來收集橋梁清冊和檢查數據。但實際上 Pontis®可以參與重要的工作決策過程，本案將以二個州的運輸機構為例：加利福尼亞州，佛羅里達州來作說明，並希望橋梁管理能提升到一個新的水準，讓該軟體使用能夠達到充分應用的程度。

2. Pontis®橋梁管理系統應用說明

美國各州政府運輸部門正在整合電子數據資料庫和應用軟體，以實現並提高效率來滿足他們的執行目標；其中加利福尼亞州，佛羅里達州已逐步使用 Pontis®管理系統來做決策。在加州所有的橋梁基礎設施資訊必須管理它的完整性，並儲存在一個單一的資料庫，藉由 Pontis®系統資料結構來實現共享功能的使用。Pontis®系統不僅是用來生成橋梁相關報告，而且也是地區橋梁維護人員、計畫規劃者、各州交通管理單位，以及加州交通委員會的各種決策的參考依據。佛羅里達州已簡化管理並制定成本效益的解決方案，藉由整合 Pontis®與 Citrix® MetaFrame Access Suite 和 Project-Level Analysis Tool (PLAT)。其中 Citrix® MetaFrame 是一個網絡工具，用於橋梁目視的檢查，可以有效地提供使用者從任何地點單一界面的操作，並允許利用許多設備進行連接。PLAT 是一種決策支援系統的工具，可以制定各州橋梁經常及例行性的政策、規劃、維護和改善預算，並保持及維護其老化的橋梁結構安全。

Pontis®在這方面是一個具有價值的工具，因為它可以針對所有橋梁的各種材料，如混凝土、預力混凝土、鋼鐵和木材，計算惡化的速度；另藉由制定 Pontis® check-out/check-in 程序，每年可節省約 900 個勞動工時，並放棄以紙本形式記載橋梁的檢查資料，改以電子資料方式儲存。本研究概述了這二個州橋梁管理的做法，顯示可以幫助運輸部門塑造其資產管理計畫的方式，促使實現他們自己的目標和執行績效，並可以衡量效率和成本效益。資產管理目前在美國和海外許多交通機構是一個關鍵重點領域。資產管理可以合併資產資料與訂定明確的目標，以幫助提高交通部門的業務流程效率，加強資源分配和利用。所以「資產管理」是一個運用策略的方法來管理交通基礎設施。資產管理使用的資料是從以下管理系統而來：

1. 路面管理
2. 橋樑管理
3. 隧道管理
4. 輔助結構管理（結構、擋土牆、道路附屬物等）
5. 資訊管理

本案例研究的重點是橋梁管理方面的資產管理，特別是運用 Pontis®橋梁管理系統。Pontis®橋梁管理系統在美國已有 39 個州，5 個自治區使用，另外也有 5 個國際機構使用它。Pontis®提供使用者在橋梁清單和檢查資料的收集功能；另在制定網路維護和改進的政策方面，可以利用網路來

評估每座橋的需要，並提出建議及評估相關機構的資本計劃，在有限的資金下以產生最大的利益。Pontis®整合的目標有提升公眾安全、減少風險、方便用戶、保護投資以及提出預算、維護和計劃政策。此外，它提供了一個有系統的程序及網路以分配資源，並維護和改善橋梁。

圖 2.1 是美國編碼的地圖，顯示美國各州許可 Pontis®和應用該軟體的情況。如圖所示，美國大部分的 39 個州使用許可 Pontis®只為收集橋梁清單和檢查數據。這項案例研究突顯出在業務和決策過程中，只有在加州，佛羅里達州等部份交通運輸機構使用 Pontis®來有效管理他們的橋梁。

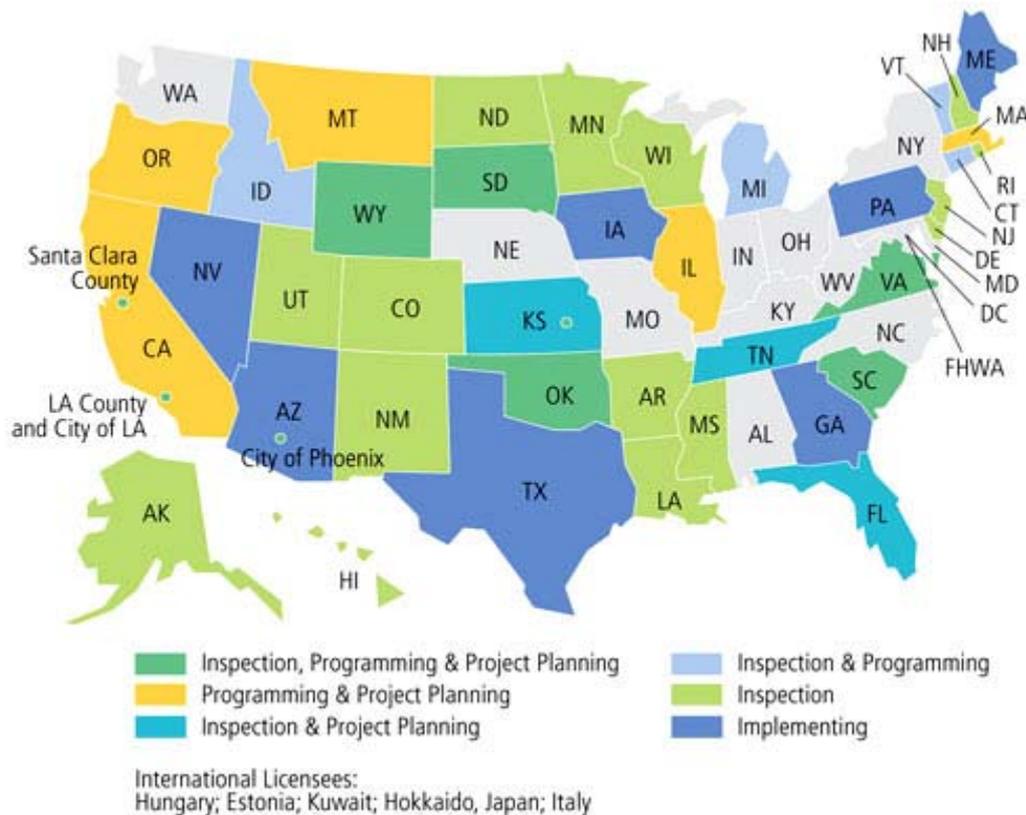


圖 2.1 美國各州使用 Pontis®應用情況

3. 加利福尼亞州橋梁管理經驗

美國加州須負責檢查和維護的橋梁約 24,500 座。加州運輸部維護辦公室位在 Sacramento，其工作編組上，是 1 個員工搭配 140 多名橋梁檢查員、結構工程師和橋梁管理工程師，以進行定期檢查和維修所有加州 12 個的縣的橋梁；此外，還有兩個獨立的市/縣機構依照橋梁清單履行橋梁檢查。加州運輸部維護辦公室有 11 位橋梁管理工程師，其中 2 位開發軟體，2 位利用 Pontis®系統來執行橋梁管理計劃，1 位輸入數據資料，6 位監視所有正

在進行的項目。

(1) 資料庫說明

所有加州的橋梁基礎設施資訊必須管理它的完整性，並儲存在一個單一的資料庫，藉由 Pontis[®]系統資料結構來實現共享功能使用這相通資料庫的設計，無需將資訊再重新移動至其它資料庫（如圖 2.2）。相關的附加表格是可以連接到 Pontis[®]的架構，並執行各種關鍵任務的活動，如計畫追蹤、維修的建議、詳細裂縫評估、沖刷和負荷評估資訊及地震後檢查等。

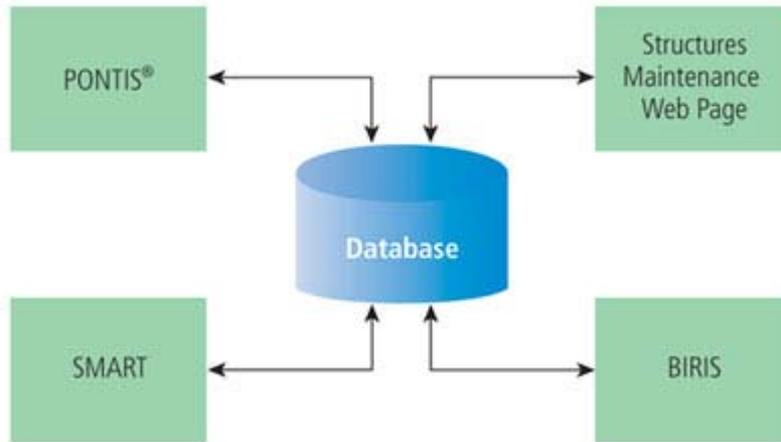


圖 2.2 橋梁管理系統資料庫示意圖

橋梁檢查員和工程師可以使用三個主要的應用程式來組成不同部分的資料庫：

1. SMART
2. Pontis[®]
3. BIRIS

所有的橋梁管理資料庫安全控制則是在兩個層面上；第一，所有用戶都需要先作登錄，他們的權限也將在適當的許可範圍，第二，在 SMART 應用程式介面（圖 2.3）給定額外的控制權限，讓用戶可以登錄和驗證個人資料項目，並對應著全國橋樑檢查組編碼指南。例如，檢查員可以運用 SMART 應用程式介面更新任何數據，但是它們不能從該系統刪除橋梁的資料。另外利用網路，各區維修人員可以查詢並使用現有每個橋梁的維護建議，但只允許更新單一的範圍，以表明該項目的工作已經完成。



圖 2.3 SMART 應用程式介面

(2) 使用 SMART 進行橋梁檢查

檢查員必須由州政府授權的土木工程師當任，而且檢查小組負責所有橋梁兩年一次的檢查，其中包括裂縫鑑定和水面下結構物的調查等。該小組利用系統生成的預先調查報告收集橋梁清冊和現況資料，另將檢查成果以電子格式輸入並符合國家橋梁清冊 (NBI) 的標準。檢查是根據美國州公路暨運輸官員協會 “AASHTO Guide for Commonly Recognized (CoRe) Structural Elements” 制定的橋梁元素辦理，並依每個橋梁元素情況提供資訊。這些資訊包括詳細的裂縫調查、載重比例、現況照片並在每個結構橋梁的清冊中註記現況。所有的檢查文字以及圖像資料，最後將輸入橋梁管理資料庫中。

橋梁檢查員可以使用 SMART 來進行橋梁檢查收集和報告，SMART 系統有一個客戶端 (基於 Web) 介面，允許檢查人員從遠端位置連接到資料庫，將這座橋梁檢查過程的資料輸入到資料庫中，並於最終將橋梁檢查報告提出。檢查組對其檢查報告負責，並依據他們在外地調查結果提出建議維護行動，橋梁檢查文件需報告橋梁目前狀況和建議後續所有工作，該檢查報告主要是為了傳達檢查結果資訊給橋梁的主管單位。

(3) 使用 Pontis®系統來排定維護項目優先次序

橋梁管理人員使用 Pontis®橋梁管理系統來進行惡化模擬及排定維護計畫的優先次序。在加州的交通維護辦公室是負責結構維修和調查的工

作，主要的角色是在確定所有橋梁範圍和管理重點及維護計畫。橋梁管理工程師優先審閱檢查者所提供需要維修的清單，另本計畫目的是盡量減少對交通的影響，並以有限的資金儘最大限度地改善。

另有關改善計畫，例如涉及到新的調整或橋梁擴增部分，將由加州交通規劃辦公室與區域交通規劃單位加入一同討論。這些建議將由結構管理與檢查局優先驗證，並對應著 Pontis®產生的項目優先順序名單（如表 2.1）。另藉由橋梁管理資料庫進行計畫資料的選取，橋梁計畫並可以配合路面管理系統計畫，讓橋梁管理者可以使用比較方式來協調調度相關計畫。在公路部分的各種維修需求情況時，如橋樑，道路，美化和排水系統等，維護資訊的公開須在全面或大量關閉交通之前進行必要工作。

表 2.1 Pontis®提供優先順序名單

Bridge ID	Feature Intersected	Year	Predom. Action	Predom. Object	Cost (\$)	Benefit (\$)	BCR
24 0228R	STOCKTON, 34 TH , 35 TH , & T	2007	Rehab Elem	Other Bridge Railing	10,894	127,237	11.68
57 0551F	SIGN STRUCTURE	2007	Rehab Elem	Other Bridge Railing	9,351	106,703	11.41
57 0772	ROUTE 67	2007	Rehab Elem	Other Bridge Railing	7,042	78,991	11.22
24 0289L	UP, BNSF, SCRTDLRT, REDDING	2007	Rehab Elem	Other Bridge Railing	9,144	101,447	11.09
24 0069R	UP RR, BNSF, AMTRAK, I ST	2007	Rehab Elem	Other Bridge Railing	30,159	331,653	11
57 0713R	SAN LUIS REY RIVER	2007	Min Repair	Pourable Joint Seal	6,802	74,562	10.96
57 0568L	MTDB, BNSF, AMTRAK, 15, PAC	2007	Rehab Elem	Other Bridge Railing	5,671	62,018	10.94
17 0070	ROUTE 80	2007	Rehab Elem	Other Bridge Railing	6,758	72,502	10.73
25 0099	SOUTH FORK AMERICAN RIV	2007	Ovly Deck	R/Conc Approach Slab	6,869	70,879	10.32
57 0001L	SAN MATEO CREEK	2007	Min Repair	Pourable Joint Seal	5,933	59,279	9.99

維修部門採用橋梁健康指數作為對於維護橋梁的一個衡量目標。健康指數是一個單一的數量指標，可以顯示出橋梁的結構健康情況。這一指標以百分比表示，值從 0 至 100，分別相應到最壞和最好的狀況。健康指數是由 Pontis®計算出作為一個橋梁的元素分數分佈功能並橫跨他們可適用的情況狀態範圍。

(4) 使用 BIRIS 歸檔計畫

加州設有一個蒐集所有完整橋梁圖像檔案的「整建」計畫，在橋梁資料庫中並包括橋梁報告、照片和其他重要的文件。此資料掃描和編目到資料庫是由專業培訓的工作人員來完成這項任務，在圖像資料庫存檔是使用 BIRIS 當作存取工具，這是專門針對加州交通網絡開發的應用產品。其該資料庫存檔包含下列工作。

1. 計畫資訊由加州工作人員完成。
2. 加州工作人員維修行動，係依檢查員的建議，如期執行及完成，(某一地區人員的執行工作是可以藉由開發的網頁記錄在資料庫中)。
3. 次要及主要修復計畫交由承包商完成。

(5) 結論

加州交通局可以有效地管理所有橋梁的清冊，係因為橋梁管理資料被儲存在單一的大型資料庫，所有使用者可以藉由 Pontis®程式工具進行有效的管理。

4. 佛羅里達州橋梁管理經驗

佛羅里達州分為七個地區和一個收費公路區，如圖 2.4 所示。所有的區負責檢查佛羅里達州約 11,100 座橋梁(其中 6,300 州公路橋梁和 4,800 地方橋梁)，為了保持、管理和評估橋梁清冊的需要，該州維修辦公室編制有 5 個工作人員和 2 個計畫人員配合各項維護工作計畫、規劃及工程支援的服務。

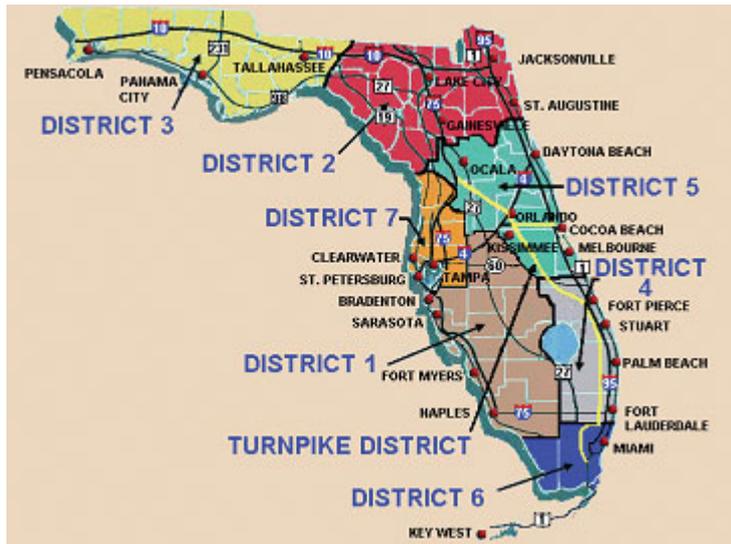


圖 2.4 佛羅里達州區地圖

(1) 橋梁檢查計畫

檢查者的工作須由佛羅里達州運輸部 (FDOT) 州政府授權的專業工程師或認證檢查員擔任，而且必須完成全國公路學會橋梁檢查課程和滿足 FDOT 的經驗要求。經由本橋梁檢查計畫，工程師確定維修需要並提出建議，並記錄在 Pontis® 橋梁管理系統。

檢查是由 FDOT 授權的工程師或顧問公司執行，並在顧問公司的協助下將資料輸入 Pontis®，經由網絡將資料儲存在一個集中的資料庫。Pontis® 還允許選擇一另個的 Server 當作資料庫，如 Sybase® ASA Adaptive Server Anywhere。為了簡化管理，並使 FDOT 的資源其更具成本效益運作，FDOT 已採用第三版的 Citrix® MetaFrame 的軟體並結合 Pontis®。Citrix® Metaframe 提供了任何一個人，皆可利用任何設備，從任何地點都可以利用網路連接。該軟體使佛羅里達州交通運輸局設計一個系統，讓檢查員獲得橋梁網絡檢查工具，其中 Citrix® MetaFrame 帶來的好處的如下：

1. 統一綜合應用，可以減少成本和複雜性。
2. 提高生產力。
3. 減少商業與技術中斷。
4. 操作介面可以顯示出，何地、何時、如何，以及由誰來進行。
5. 軟體是一個實用的工具和友善的控制介面。
6. 安全性方面，可以確保只有使用者可以獲得適當的資源。
7. 使用者可以使用任何一種網絡進行連接和計算。

(2) 可行性審查委員會

可行性審查委員會 (Feasible Action Review Committee FARC) 負責審查和優先確定檢查員所鑑定需要維修的內容。FARC 使用一套計畫等級的分析工具 (資訊平台)，本工具是一個綜合的軟體，其制定的格式為 FDOT.PLAT (圖 2.5)，是一種決策支援系統工具，它可以制定平時維修的政策、規劃和預算，並決定維護和需要改善的橋梁。

系統線條及圖形顯示是動態的，隨著用戶移動滑鼠放在該圖表上，它的變化可以表示出每年調整的狀況，工程師能夠檢視橋梁不同構件的惡化率 (如圖 2.6)，並預測維護預算規模和若干情景狀況。



圖 2.5 計畫等級的分析工具

Forecast condition Jan 1, 2011		Scope of Auto MRR&I		
Element	Condition	Action	Qty	Cost (\$000)
39/3 - Unp Conc Slab/AC Ovl (SF)				
204/3 - P/S Conc Column (EA)				
215/3 - R/Conc Abutment (LF)		Repair	11.64	2
234/3 - R/Conc Cap (LF)				
290/3 - Channel (EA)				
301/3 - Pourable Joint Seal (LF)		Replace	137.80	10
321/3 - R/Conc Approach Slab (EA)		Rehab	1.24	0
330/3 - Metal Rail Uncoated (LF)				
333/3 - Other Bridge Railing (LF)				
396/3 - Other Abut Slope Pro (SF)		Rehab	2456	8
475/3 - R/Conc Walls (LF)		Maint	16.41	1

圖 2.6 預測狀況和後續行動

為了 FDOT 所開發具體的新平台模型可針對下列作處理：

1. 由公路寬度和劣化缺陷，來評估損害風險和使用成本。
2. 使用成本能力，移動式橋梁操作評估。
3. 橋梁狀況和成本預測模組分析。

這些新的平台模型中，報表格式以圖表方式顯示，並作為決策的援助。工程師可以使用 FDOT 來測定結構的經濟健康狀況，把它列為管理過程中的一種可行性策略的工具；當工程師修正一可行性策略，係經由改變基本的行為選擇、數量或各種成本因素，FDOT 將回應修正其可行性策略，並會立即更新其預測結果。這一新計畫等級決策補充已建立在 Pontis®現有網絡等級分析中。佛羅里達是美國少數幾個州之一已整合 Pontis®做網絡等級的分析應用，另 FDOT 的發展計劃因為檢查員的需求和建議可分為三類：

1. 平時維修。
2. 定期保養和維修。
3. 更換損壞構件。

一旦檢查人員的建議被分為這三類時，下一步就是在 Pontis®創造工作的指令，和上傳至 FDOT 主機維護管理系統 (MMS) (如圖 2.7 和 2.8)。工作優先順序可分為 1 至 4，第 1 優先表示緊急情況，工作需要 60 天內完成的；第 2 優先為急迫情況，需要在的限制 180 天完成；第 3 優先為一般工作，要在一年內完成；第 4 優先，沒有立即的最後期限，但須提供資料。FDOT 並會監測工作指令執行情況。

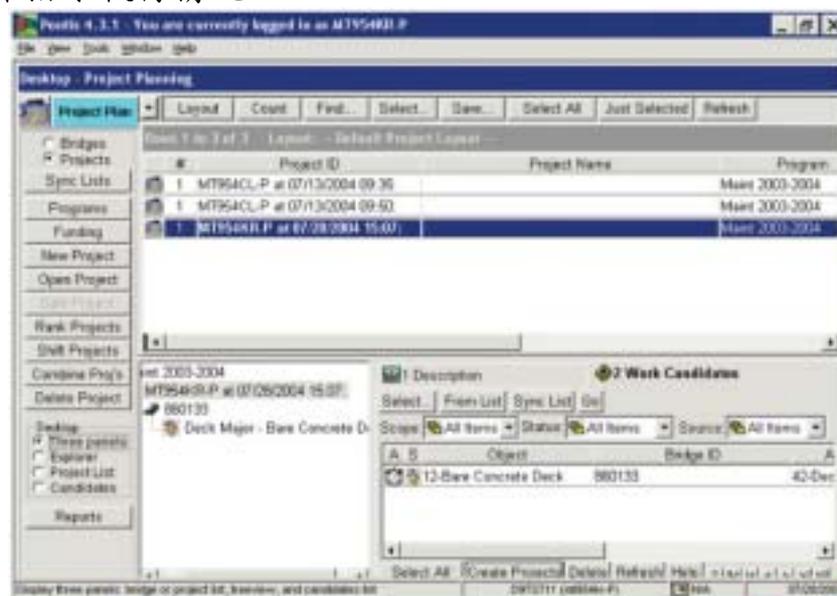


圖 2.7 Pontis®的工作指令

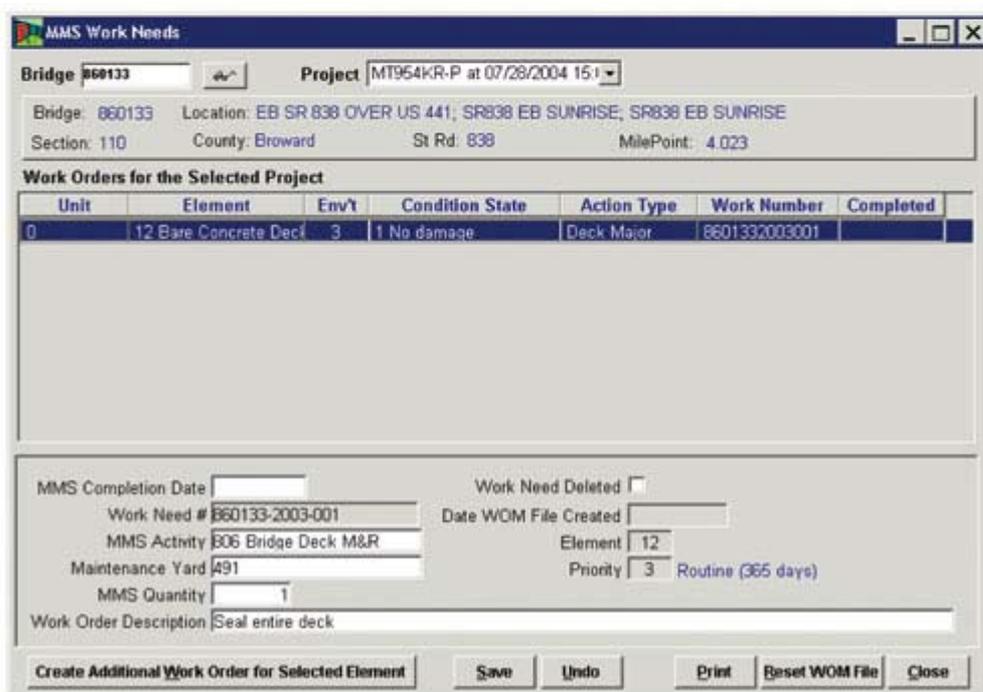
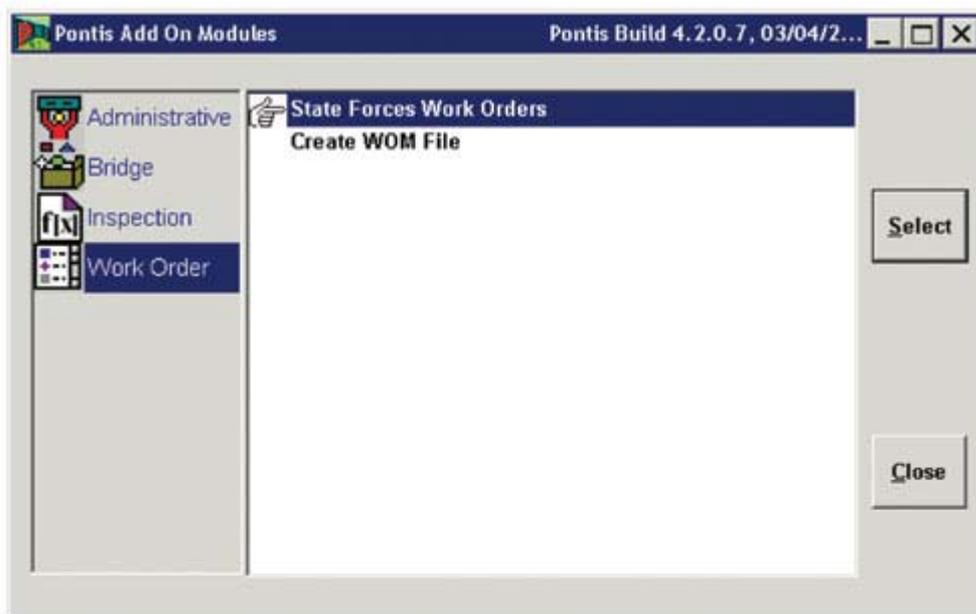


圖 2.8 維護管理系統的工作指令

(3) 橋梁更換計畫

橋梁更換計畫涉及範圍包括州橋梁、地方橋梁、聯邦橋梁和非聯邦橋梁，計畫內容是以更換橋梁原有的缺陷結構構件。FDOT 的橋梁更換計畫目標和佛羅里達州政府是一致的，主要重視於州橋梁的結構缺陷或載重限制。利用 FDOT 每年清冊以審查需要更換的橋梁，從而實現維持橋梁性能的措施。Pontis®可以產生一個損壞橋梁列表（圖 2.9），工程師使用下列資格以確定須維護的橋樑：

1. 強度上需更換的橋梁如有 (1) 結構上的缺陷或 (2) 有載重限制時。這些橋梁的建設規劃需在 6 年內再作一次缺陷識別。
2. 橋梁結構修補比更換橋梁構件，在經濟更符合成本效益時。這些橋梁修補的方案需在 9 年內再作一次缺陷識別。

Bridge ID	Fin Proj #	Orig FY	Action Type - (Past)	Action Status	Action Type - (Current)
010057	12345678901	20012002		S - Added to Repair by New Evaluation	S2 - Temporary Support (Emerg
010057	40469715201	19981999	04 - Replace Deck (Rehabilitat)	S - Additional Repair - Maintenance Fun	S1 - Damage Repair (Emergenc
010058	40469715201	19981999	04 - Replace Deck (Rehabilitat)	C - Continue - Same Activity	04 - Replace Deck (Rehabilitat)
010059	19885745201	20002001	04 - Replace Deck (Rehabilitat)	S - Added to Repair by New Evaluation	04 - Replace Deck (Rehabilitat)
010071	40328215201	20002001	04 - Replace Deck (Rehabilitat)	S - Added to Repair by New Evaluation	04 - Replace Deck (Rehabilitat)
010072	40328215201	20002001	04 - Replace Deck (Rehabilitat)	S - Added to Repair by New Evaluation	04 - Replace Deck (Rehabilitat)
010082	20078315201	19981997	04 - Replace Deck (Rehabilitat)	S - Deleted by Re-Evaluation	04 - Replace Deck (Rehabilitat)
010083	20078315201	19981997	04 - Replace Deck (Rehabilitat)	C - Continue - Same Activity	04 - Replace Deck (Rehabilitat)
030085	1988515201	19982000	05 - Scour Counter Measur (Periodic	C - Continue - Same Activity	05 - Scour Counter Measur (Pe

圖 2.9 在 Pontis®中表列損壞橋梁情況

(4) 橋梁維修計畫

橋梁修復計畫程序關係到例行性的維護，因此指定橋梁結構修復行動為 FDOT 的維護責任。佛羅里達州每個區可獲得的經費是根據其橋梁的清冊資料而來，其中資金分配係依據各區鋼結構油漆噸位及橋梁橋面板面積總數量，並進行全面的評估結構性等級“fair”或“poor”，以作為佛羅里達州橋梁維修及修復計畫方案，相關橋梁維修及修復項目將由年度橋梁缺陷列表（圖 2.9）列出，並主要包含下列各項工作：

1. 修復包括加強橋梁承載能力、橋面板更換、橋面板修復或上部結構物的修復。
2. 定期維修包括移動式橋梁重建、橋面板大修、上部結構的重大修理、更換油漆、伸縮縫置換、沖刷對策處理。
3. 日常維護包括橋面板伸縮縫、橋面板、欄杆、上層結構物、次要結構物，和渠道的保養和維修。

(5) 結論

佛羅里達州是成功地使用 Pontis® 橋梁管理系統實現其執行目標，經由 MMS 軟體來存儲檢查資訊、工作順序及優先等級。此外，FDOT 已將 Pontis® 制定通過加入以下模組來管理和從 FDOT 資料庫提出各種信息報告：

1. 管理者可以利用橋梁管理系統模組來規定用戶的權利。
2. 橋梁模組允許監測損壞橋梁清冊、荷載資訊、沖刷及渠道概況。
3. 報告模組可制定檢查資料、工作順序和管理資料（圖 2.10）。

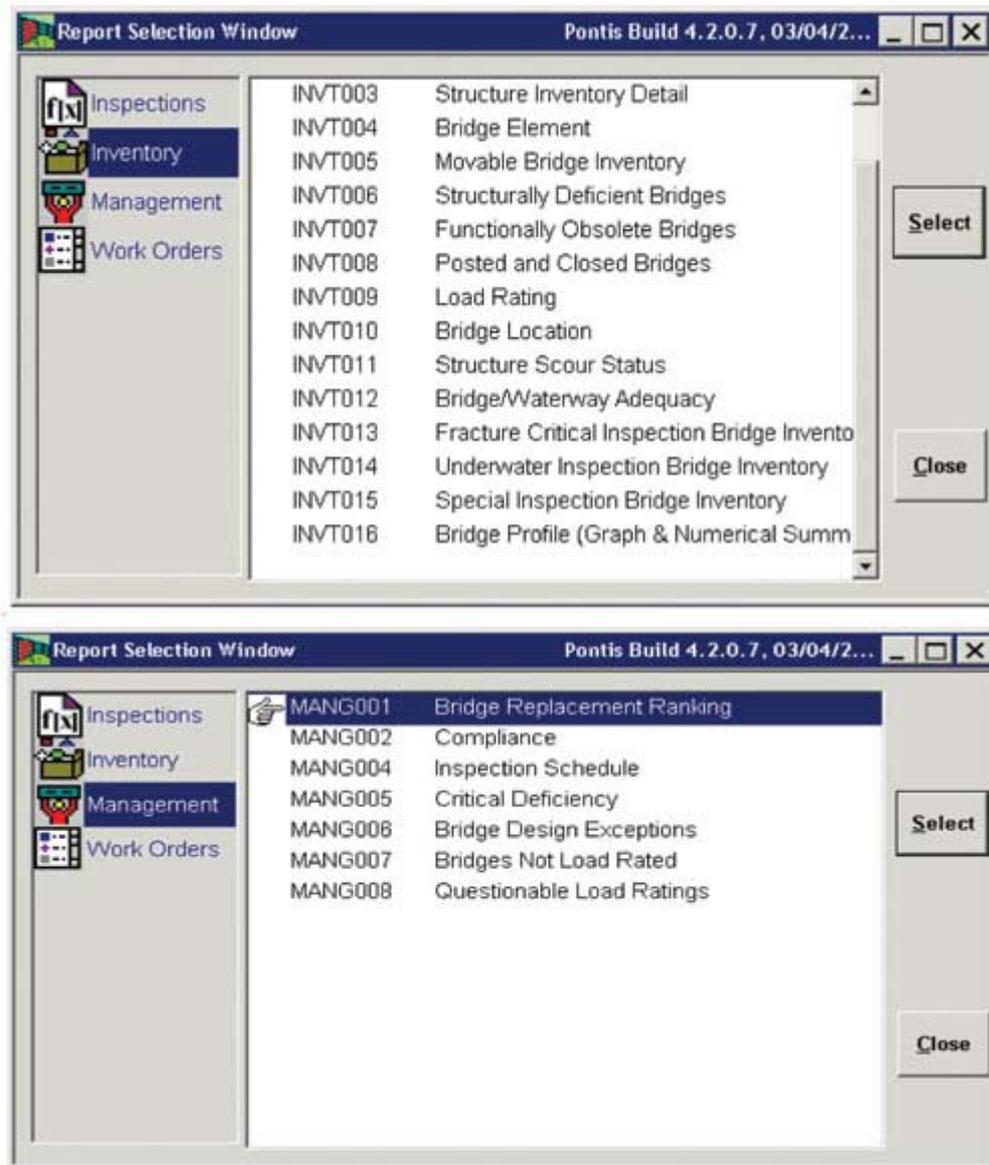


圖 2.10 報告制定模式

2.2 運用橋梁資訊模型推估橋梁生命週期

1. 計畫目標和發展

本計畫的目的在於探討參數式 3-D BrIM(橋梁資訊模型)作為加速橋樑設計和建造的參考，並提升橋梁生命週期管理的輔助科技。本計畫擬藉由展示說明如何加速橋梁建造過程，並以圖解方式顯示其技術上的可行性，和對於現有科技提高橋梁建造過程效率所帶來的好處。本計畫也探討在橋梁運作和維修階段，如何提高橋梁資料的運用效率。

目前尚無橋梁資料電子交換的標準，本計畫企圖開啟一套橋梁生命週期整合系統的發展。未來，具備標準格式的完整橋梁資訊模型可以協助整合運用到橋梁的設計、施工，以及更廣泛的橋梁管理。不僅能有更快速、更高品質的方式建造，在橋梁生命週期做決策時也能節省相當多的經費。一般橋梁建造的三個基本目標：高品質、建造迅速和省錢都能達成。

圖 2.11 顯示組織橋梁生命週期各層面的概念觀點，以及各層面如何依賴圖表中心所示橋梁資料。對該資料的整合處理和運用能防止單一橋梁或橋梁及連結路網由於多重、不一致的資料來源所導致的許多問題。

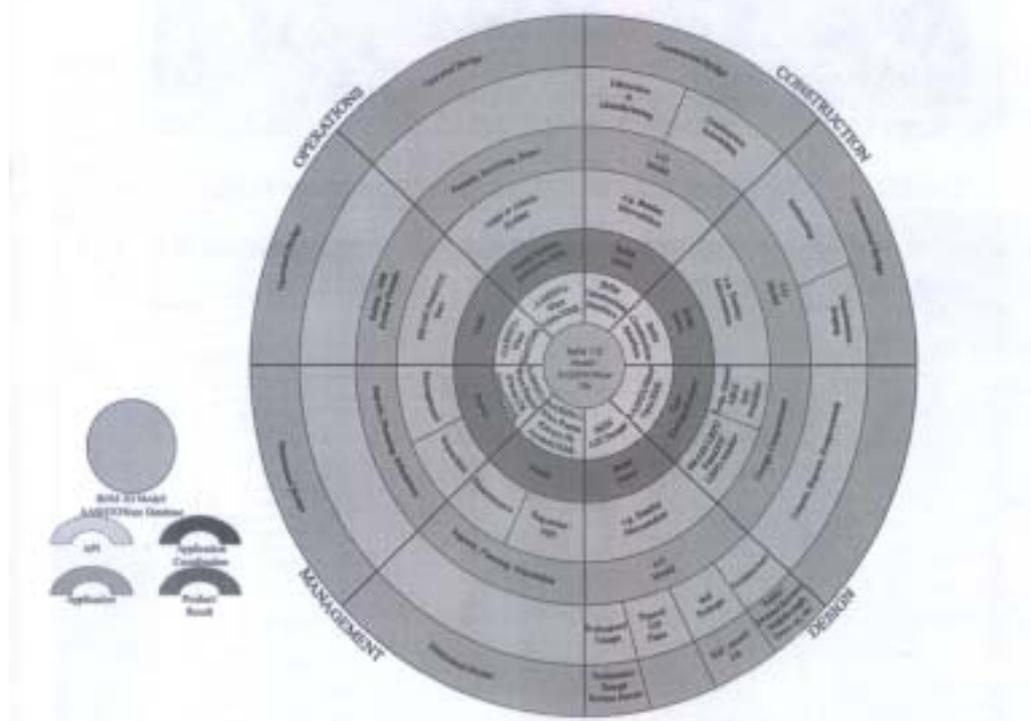


圖 2.11 橋梁生命週期各層面的概念觀點

2. 橋梁生命週期的運作和管理層面

橋梁管理單位在橋梁建造完成時，即應取得的橋梁相關資料作為隨後

橋梁運作及管理各種層面計畫資料更新的起點(如橋梁評估、載重限制和路線規定、基於資料檢查管理須為橋梁評等作資料更新、資本和預算規畫)。有別於圖 2.11 所示的設計和建造層面，這些運作和管理層面是本文的重點。

3. 設計和建造階段的橋梁資料

圖 2.12 是橋梁電腦模型的一部分，用來產生設計和建造資訊，包括承包合約計畫和圖形。該模型的幾何圖形和道路情況、計畫和輪廓完全一致。另橋梁橫斷面僅是此類模型截取的一部分，如圖 2.13 所示。

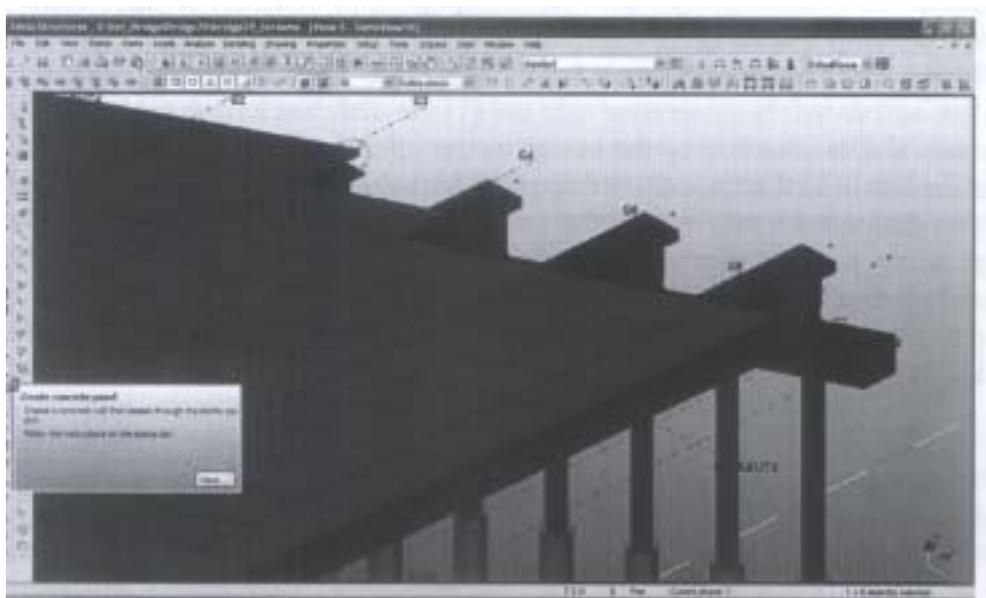


圖 2.12 橋梁電腦 3-D 模型

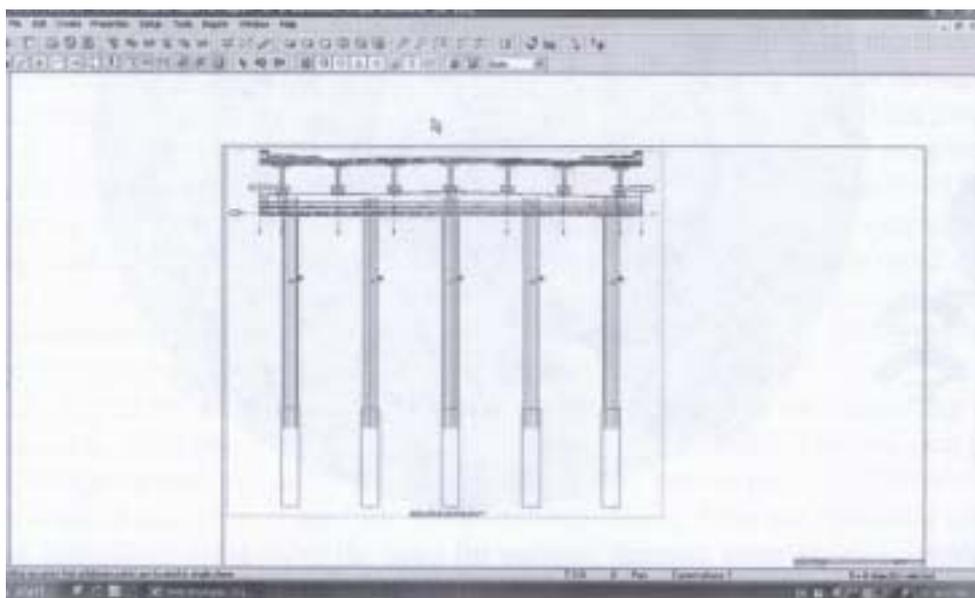


圖 2.13 橋梁電腦 3-D 橫斷面

4. 橋梁運作

(1) 載重評估

橋梁載重評估在橋梁生命週期的運作階段中，是重要的且重複出現的任務。載重評估所依據的是橋梁模型資料，該資料應根據最近的檢查資料而予以更新，以反應影響載重等級狀況的變化。

在整合的生命週期環境中，擁有由設計和載重評估分享의相同模型有重大好處。這樣就不須重新輸入橋梁資料(如梁斷面資料、材料性質等)來進行載重評估，也無需準備許多的資料備份。資料更新(如斷面損失)有存取的機制，反應在常用的 AASHTOWare 和 BridgeWare 資料庫中。為了電子資料的交換，資料庫也可透過 XML 或 BridgeWare 應用程式介面(API)讓第三者為各種用途使用橋梁資料。

圖 2.14 展示的是使用 Virtis 應用程式定義橋梁幾何模型，圖 2.15 展示出載重評估的案例的電腦輸出情況。

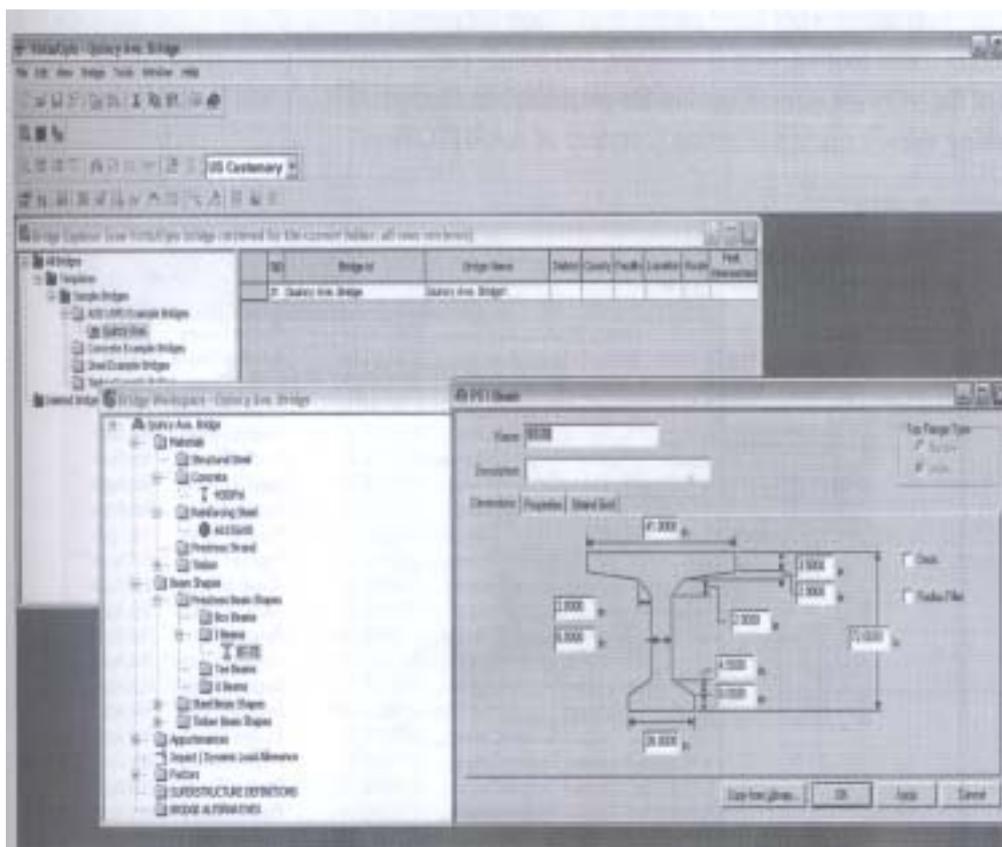


圖 2.14 使用 Virtis 檢查和更新橋梁相關資訊

Specification Reference	Limit State	Flex. Sense	Pass/Fail
6.10.8.2.4 Beaming Stiffeners: Axial Resis...	STRENGTH I	Positive Flexure	Passed
6.10.8.2.4 Beaming Stiffeners: Axial Resis...	STRENGTH I	Negative Flexure	Passed
6.10.8.2.2-1 Beaming Stiffeners: Projectio...	STRENGTH I	Positive Flexure	Passed
6.10.8.2.2-1 Beaming Stiffeners: Projectio...	STRENGTH I	Negative Flexure	Passed
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	SERVICE II	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	SERVICE II	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH I	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH I	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH II	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	SERVICE II	Negative Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	SERVICE II	Negative Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH I	Negative Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH II	Negative Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH I	Negative Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH II	Negative Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3d-1 Compact Sections: Slende...	STRENGTH II	Negative Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3c-1 Compact Sections: Compre...	SERVICE II	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3c-1 Compact Sections: Compre...	SERVICE II	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3c-1 Compact Sections: Compre...	STRENGTH I	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3c-1 Compact Sections: Compre...	STRENGTH I	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3c-1 Compact Sections: Compre...	STRENGTH II	Positive Flexure	Not Appli
6.10.5.2.3c-1 Compact Sections: Compre...	STRENGTH II	Positive Flexure	Not Appli

圖 2.15 橋梁載重評估報告資料

(2) 路線規劃和許可

超重和特殊車輛的路線規畫和許可對運輸系統管理單位是重大而且持續的負擔。本軟體應用除了依賴橋梁資料用於橋梁評估計算外，也依據下列事項：

1. 軟體應用能力可以定義一般載重(如軸長度、軸負載等)的，並依該等載重而非標準 HS-20 或 HL-93 類載重進行橋梁評估。
2. 進入公路路線選擇資料及路線上橋梁所在位置，這些資料將可以“串聯”方式進行一般載重評估。

藉由連結橋梁網路資料，可以進行路線規劃工作流程：如線上車輛許可申請、橋梁等級分析、行進路線許可的核發、確保許可付款處理等。圖 2.16 即展示該軟體在許可過程的應用，圖 2.17 則是展示運輸工具路線選擇的結果。

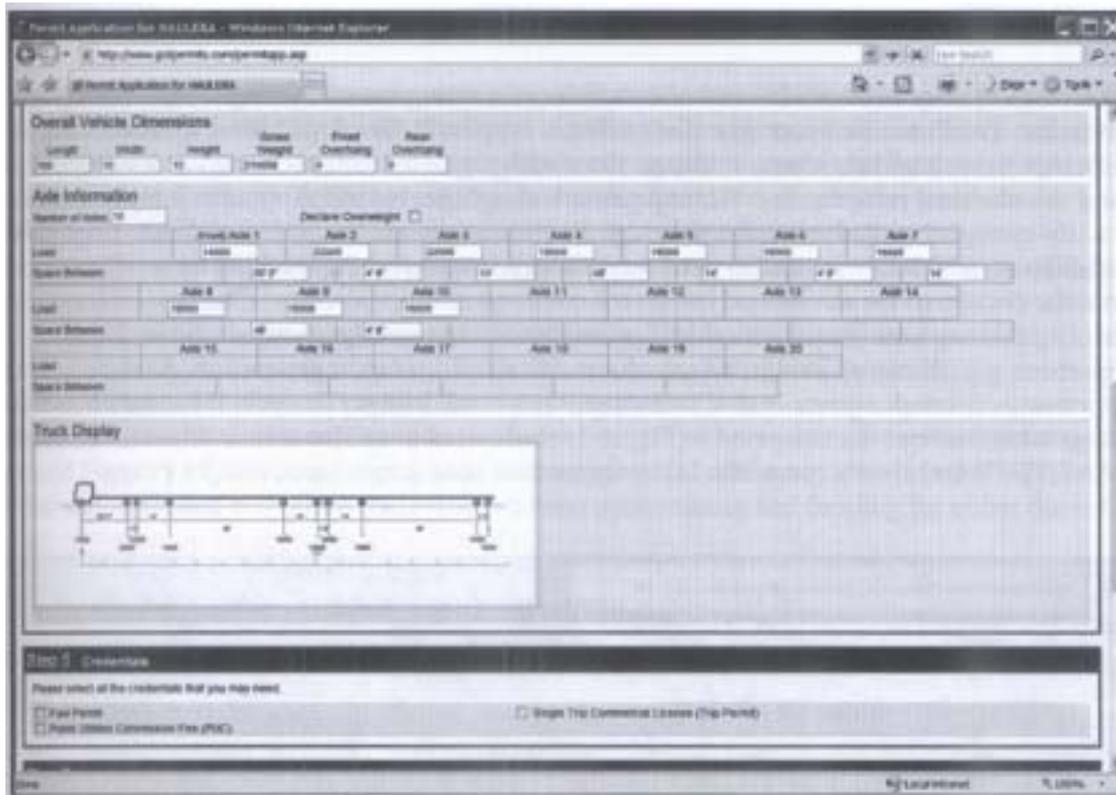


圖 2.16 路線許可應用

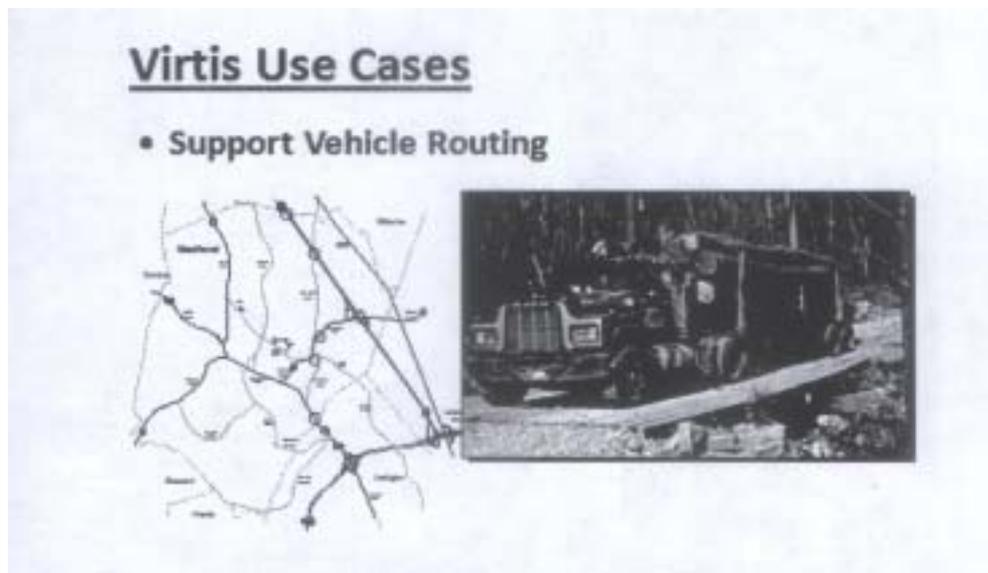


圖 2.17 路線選擇結果

5. 橋梁管理：檢查

保存每兩年一次的橋梁檢查資料對管理者是很大的負荷。Pontis 軟體藉由 BridgeWare 資料庫在規劃階段提供這些資料的軟體支援，它並能與 Opis(供設計檢核用)和 Virtis(供評估計算用)分享，對橋梁管理單位大有助益。

另在本節中(規畫階段橋梁檢查資料管理)會依據國家橋梁清冊 (NBI) 狀況評估報告的標準。由於這些報告所需的資料要求會隨時間而演進，圖 2.11 所示的整體橋梁生命週期資訊管理架構也需隨之演進。圖 2.18 為顯示 Pontis 所提供的橋梁檢查資料畫面之一，圖 2.19 為網路橋梁管理資訊支援決策的操作介面；另 Pontis 共用的格式不僅支援設計和評估，也支援規劃及網路階段的橋梁管理。舉例來說，應用 Pontis 軟體所得到的網路階段橋梁檢查(狀況)和評估(載重力)資訊能支援與資本分配相關的決策需要，如此就能進行多種資金提供或方案的利益/成本調查。

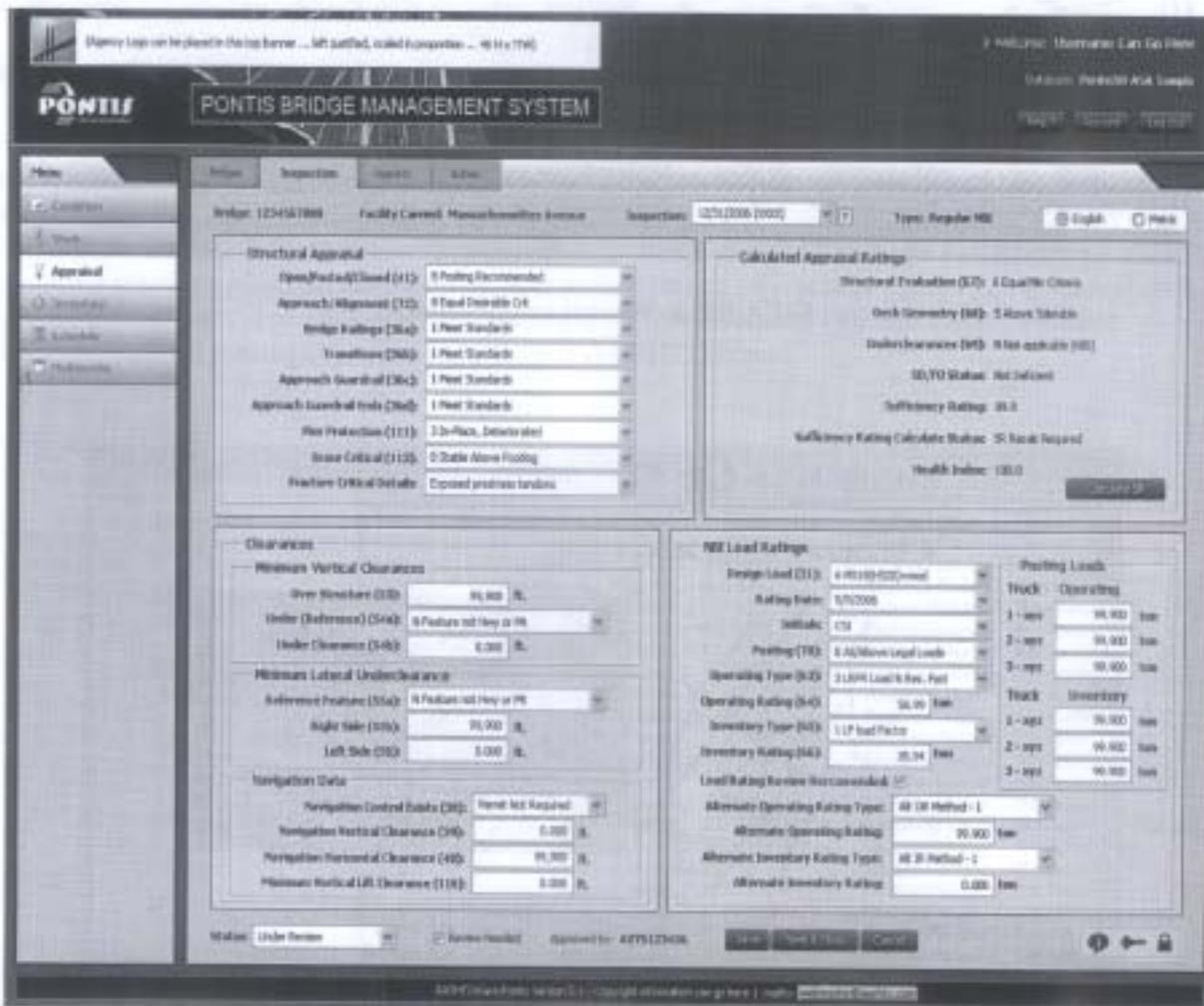


圖 2.18 Pontis 檢測資料的顯示畫面

2.3 創新橋梁活載重分析系統應用於橋梁管理

1. 簡介

載重測試的目的是要測量橋梁(結構)的反應，以便做到最佳的橋梁評估(使用測量得到而非理論上的結構參數)，進而找到結構安全的係數。通常，有兩種等級的載重測試：診斷性載重測試和檢驗性載重測試；診斷性載重測試在許多國家中被廣泛採用，而檢驗性測試則很少被採用，主要是由於會造成所測試結構物有受損的危險。兩種載重測試的主要缺點在於成本過高，因為需使用許多裝載的車輛，同時也須在測試時中斷交通，不適用於評估既有的橋梁。藉由採用 SiWIM 系統引進了輕載重測試的新觀念，本方法可以有效率的應用到許多橋梁上，無須中斷交通。本測試的目的是要使評估特定橋梁安全性的結構模型最佳化。

2. 系統說明

該系統的重點在於提高決定橋梁活動載重方法的可靠性。方式是利用 SiWIM 的資料決定實際活動載重；另外在橋梁總載重方面，一大部分是靜載重和附加的靜載重。所以進一步的研究將討論材料特性和其現場測量，以及用於機率評估的靜載重定義。為了監控橋梁，調查橋梁 WIM 系統以提供活動載重作用和所產生壓力及拉扯的同步資料，這成為“智慧型橋梁監控系統”的一部分，以最佳化的分配橋梁修理或更換的資金，並減少交通的中斷。圖 2.20 為 SiWIM 相關設備系統照片，圖圖 2.21 則為 SiWIM 分析之案例結果。

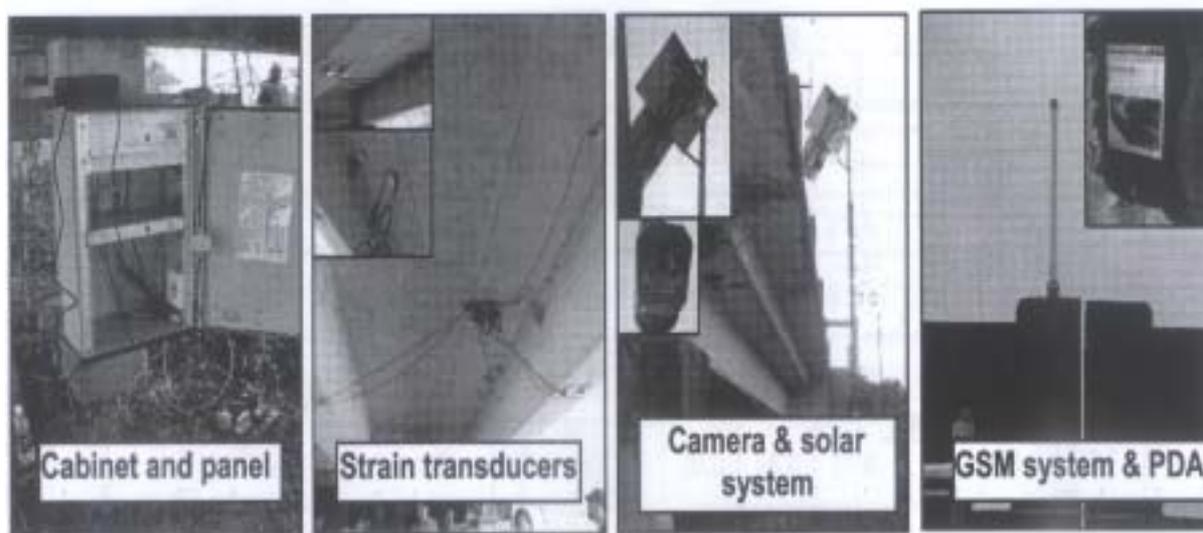


圖 2.20 SiWIM 相關設備系統

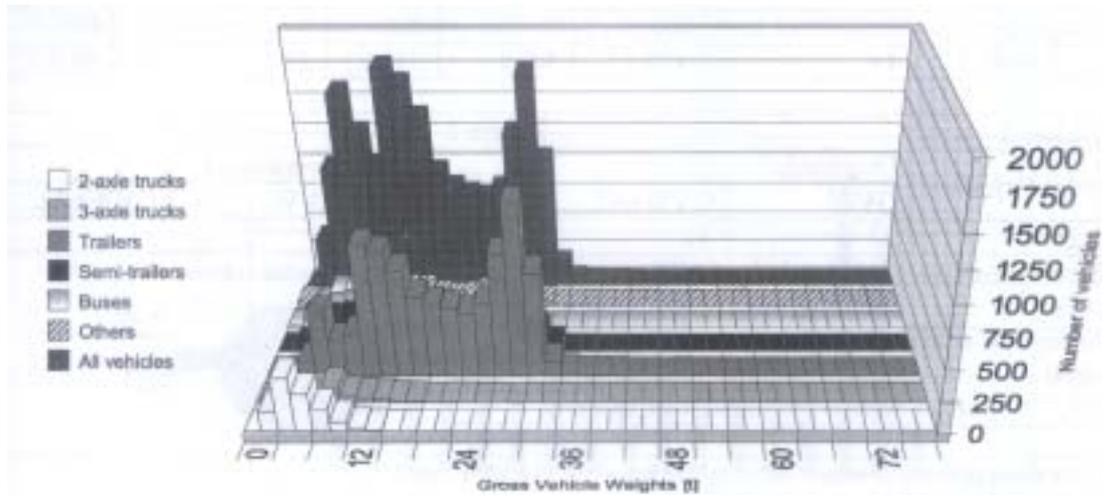


圖 2.21 以 SiWIM 分析之案例結果

使用測量所得的影響線，加上真實負載分布因素(載重如何分布在主要結構要件上)，能得出安全係數，所以我們能得到一些既有橋梁的結論，做出維修和改建橋梁的正確決定。一但結構模型以實際影響線和負載分布因素最佳化後，就能用來立刻計算各種活動載重下的安全程度，包括特別運輸。

橋梁必須符合下列標準：

承载力 \geq 靜載重 + 活動載重 + 其它載重

安全性則表示如下：

安全性 = (承载力 - 靜載重) / 活動載重 \geq 1

在橋梁管理系統中，結構安全性是以評等因素 RF 預測。換句話說，若評等因素 RF 的值大於 0.95 就可以判定安全。

3. 結論

公路的數種傳統 WIM 系統若加以比較，雖然靜態模擬載重方法最正確且最常見，但耗時久且會造成不必要的延誤。新發展的橋梁 WIM 系統提供測量高承載車輛重量的新概念，橋梁 WIM 利用裝備相關檢測儀器後之橋梁作為感測器，以決定車輛通過橋梁時的總重量和軸負載。另 SiWIM 則是搜集活動載重資料的有力工具，可用在許多用途上，且採用 SiWIM 系統更能有效率的計算橋梁安全性。其中橋梁 WIM 系統引進了新的載重測試概念，不只提供交通資料，也能測量裝備後橋梁重要的結構參數，如實際影響線和負載分布因素，其結果可在活載重模型中，評估安全性相關因素，達到最佳的橋梁評估和維修。

本研究結果將建立基礎，進一步將橋梁 WIM 科技應用在公路安全、維修和設計中。利用橋梁 WIM 所搜集的即時資訊，不僅對道路使用者有幫助，也有利於提高道路網整體管理的效率、安全性和環境保護。

2.4 預力箱型梁橋的腐蝕評估

鋼結構在興建完成後即暴露在有腐蝕因子的環境下，所以橋梁的生命取決於所在的環境條件。在酸的環境下，就算是缺乏氧氣和水的條件，腐蝕也是可以繼續進行。實際上，在美國管路安全交通單位就規定禁止使用任何沒有陰極防蝕的管路，而美國聯邦規則更進一步規定每兩個月必須檢查陰極防蝕的狀況並避免發生洩漏和爆裂。

當鋼筋被放置在高 PH 值的環境中時，例如在混凝土或水泥砂漿中，鋼筋並不會發生腐蝕，這是因為鋼筋表面會產生一層保護薄膜，通常剛灌製的混凝土 PH 值是大於 13。然而，混凝土或水泥砂漿的 PH 值低於 11 時，鋼筋表面的鈍化層則會發生破壞；另外當鋼筋內含有氯化物，鈍化層也會發生破壞，此外鈍化層在中性化的過程中也會被破壞。中性化是因為大氣中的二氧化碳和混凝土中的氫氧化鈣反應產生碳酸鈣，這個化學反應會降低 PH 值並導致鈍化層的破壞。

1. 預力鋼鍵結構物的腐蝕

在預力結構物中，鋼鍵防蝕方法是安裝套管，並在套管和鋼鍵中以水泥砂漿填滿。在錨定的部份，傳統上則是使用樹脂防止氯化物進入套管中。在實際中大量的水泥砂漿，水和粒料會產生分離和移動現象，尤其在使用泵浦操作或添加混合物時，這個現象會因為水泥砂漿、設備和程序品質的差異而發生。一般這個結果會讓鋼鍵周圍的水泥砂漿產生孔隙和降低 PH 值，這個通常發生在套管某些位置，儘管缺乏氯化物這種狀況仍會導致腐蝕發生。然而，破壞的發生往往就是為這些腐蝕發生的地方，因此必須測量腐蝕的速度以評估鑑定結構物的安全。

在大多預力結構物在設計全載重下也不會有任何問題。然而在預力結構物中，鋼鍵通常承受載重超過極限強度的 60%，因此任何斷面腐蝕而損失將造成應力增加，並造成結構物無預警破壞。以下是大家熟悉預力混凝土橋梁發生破壞的例子：

1. 北卡羅來納州的人行陸橋倒塌
2. 威爾斯的預力混凝土橋倒塌

3. 英國的預力混凝土橋部分倒塌

大部分的結構物在倒塌之前並沒有顯示出應力損失的現象，尤其是這些孔隙被品質良好的水泥砂漿填滿，往往就會被認為如果孔隙可以完全被填滿，就不會進一步發生腐蝕。然而在實際案例中，3年後就有鋼鍵就發生嚴重腐蝕現象。這明顯顯示出鋼鍵會繼續腐蝕即使孔隙被水泥砂漿完全填滿。因此橋梁的管理單位必須考慮評估鋼鍵束腐蝕的狀況是很重要的，因為沒有明顯的徵兆顯示他們的破壞。所以建議橋梁管理單位執行腐蝕的評估以確保鋼鍵沒有腐蝕發生並且擁有足夠強度。

另外預力鋼鍵和鋼索結構物都必須執行腐蝕評估，當一個應力損失發生時的徵兆有幾點，例如：鋼線斷裂、裂縫、碎裂、風化等其他類似的徵兆，這些徵兆是管理單位可以在破壞前發現的。一般人依據腐蝕證據的顯示，都認為腐蝕只會發生於孔隙的區域。如果沒有孔隙或者是用內試鏡也無法檢測出的孔隙，就會被認定沒有腐蝕發生。例如，內試鏡可以被插入只有孔隙大於它的尺寸時，但是有時候會因為水泥砂漿中性化產生一層薄膜在鋼鍵表面上，造成即使使用內試鏡也無法充分檢視鋼鍵的狀況。另外敲擊回音法也可以檢測大的孔隙，但是小的孔隙有可能會檢測不到。所以腐蝕的調查可以協助鑑定需要維修的時間。

2. 案例研究

這個橋樑一共有 25 跨，總長為 5800ft 的預力箱型梁橋（如圖 2.22）。這座橋梁已使用將近 25 年，它是 6 個車道的快速道路，路肩位於兩側。橋梁橫斷面是由三個箱型預梁連接在一起，鋼鍵總長度為 35000ft，鋼鍵配置於箱型梁兩側以連接各個箱型梁。每個鋼鍵是由數個鋼絞線所組成，鋼纜並由七根鋼絞線之鋼鍵所構成，並由鍍鋅的套管保護。因為鋼鍵是裝置在箱型梁翼牆中，因此任何的鋼鍵或鋼絞線發生腐蝕時都無法由目視檢查得知。雖然所有的構件都是防蝕的材料，但還是無法清楚知道哪裡會發生腐蝕及什麼原因造成的。因此，檢測腐蝕速率和評估水泥砂漿的品質影響腐蝕速率是很重要的。



圖 2.22 預力箱型梁橋

3. 問題探討與調查

在箱型梁頂版的下端可以發現中性化、裂縫和碎裂區域（如圖 2.23），可以明顯顯示這些問題。一般內視鏡的檢查可以在橋梁不同部位，發現細小和大的孔隙包覆在鋼鍵周圍的水泥砂漿中。經過管理單位謹慎的一串的調查，可以定量出腐蝕的程度而不只是鑑定腐蝕而已。



圖 2.23 箱型梁內中性化、裂縫和碎裂區域

（1）腐蝕調查

很多的地方檢測必須於戶外進行。檢測的部分包含曝露的鋼鍵，紀錄鋼絞線目視檢查的狀況，並包含腐蝕程度和孔蝕情況。另外也紀錄包圍鋼鍵周圍水泥砂漿的品質、測量鋼絞線的腐蝕速率和水泥砂漿的 PH 值。水泥砂漿的取樣也會做氯化物和粒料分析。

（2）水泥砂漿中的孔隙

孔隙伴隨著白華現象在很多地方被發現（如圖 2.24）。隨著溫度和溼度的變化，持續反覆的進行將導致腐蝕的發生。水泥砂漿在鋼鍵表面產生

的薄膜會吸住濕氣並增加持續鋼鍵腐蝕的進行。因此就算鋼鍵被水泥砂漿包覆的情況下，評估鋼鍵的腐蝕速率仍是重要的。



圖 2.24 鋼鍵不同部位的孔隙和白華

(3) 腐蝕電位

腐蝕電位變化的範圍從 -263mV CSE （有可能發生腐蝕）到 -104mV CSE （90%機會不會發生腐蝕）。雖然很多工程師依賴腐蝕電位來判別腐蝕，但是仍要注意腐蝕電位只能告知腐蝕發生的可能性。在真實的情況中，測量腐蝕電位可能無法表現出埋藏在混凝土中鋼鍵真正腐蝕狀態。當水泥砂漿的水分含量從10%到36%時，腐蝕是可能發生的，所以量測鋼鍵的腐蝕速率取代量測腐蝕電位是很重要的。

(4) 水泥砂漿中的氯化物含量

水泥砂漿的樣品從試驗位置取出後，即刻放入密封的袋子，並運送至實驗室進行實驗。氯化物含量是依據 AASHTO T260 方式試驗，本案取樣出來的試驗結果，氯化物含量為 0.0051%到 0.0127%之間，最高氯化物含量已經超過最低的標準 0.08%。

(5) 水泥砂漿的 PH 值

一般而言水泥砂漿的 PH 值介於 9 至 13 之間。在本次取樣的位置上，數個鋼鍵有中性化的薄膜，或者是水泥砂漿已中性化。在有些試驗中，較高 PH 值的水泥砂漿發現在較低 PH 值的水泥砂漿上（如圖 2.25）。

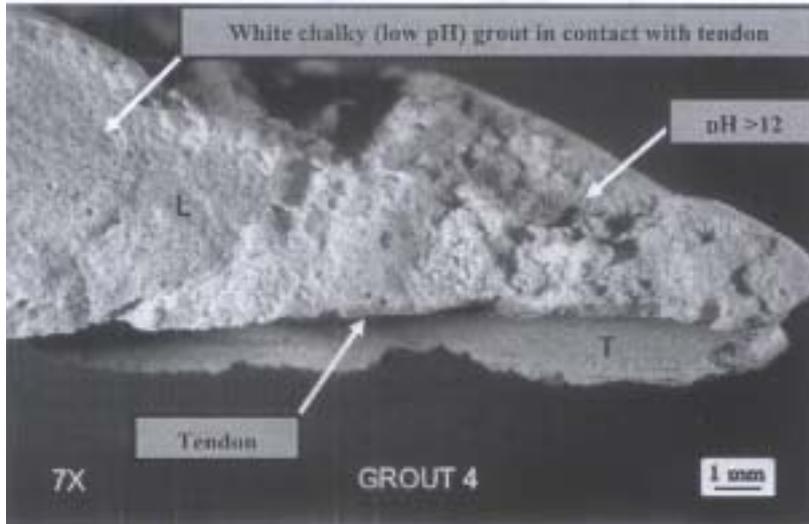


圖 2.25 水泥砂漿的 PH 值

(6) 腐蝕速率

在過去的經驗中，例如在 Florida Mid-Bay 橋梁的腐蝕電位即不是一個可靠的資訊，因為實際上腐蝕是在進行的。SCS 可以量測鋼鍵在發生腐蝕中的腐蝕速率（如圖 2.26）。大體上腐蝕速率介於 0.01mpy 至 1.9mpy 之間。但是有 7 個位置（取樣 30 個點）鋼鍵有較高的腐蝕速率 (>1 mpy)。

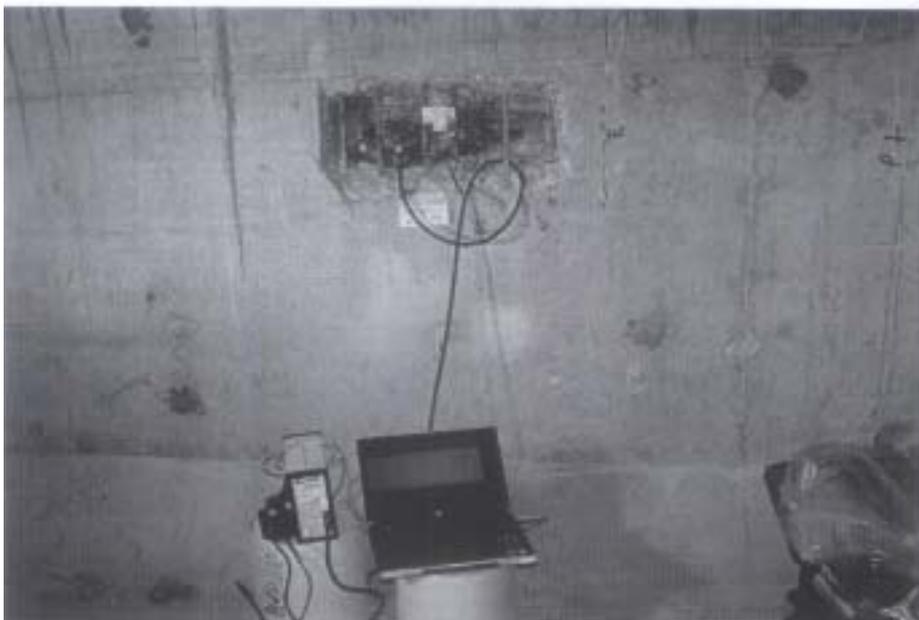


圖 2.26 量測鋼鍵的腐蝕速率

(7) 粒料分析

本案取數個樣品並在顯微鏡底下分析它的品質。其中水和水泥的比例介於(0.36至0.9)之間，另有些孔隙發生於套管中可能是因為水泥砂漿的流動所造成的。水泥砂漿的流動可能會造成粒料分離和一些積聚物發生在套管部分的位置中。白華和孔隙可以顯示出流動的關係(如圖2.27)。

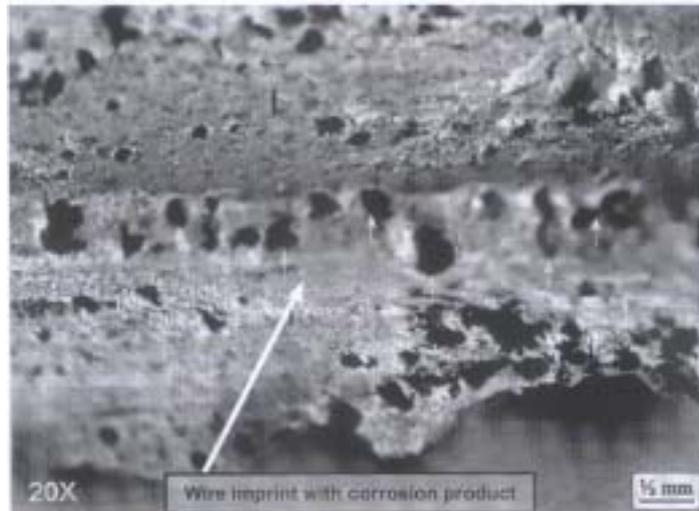


圖 2.27 樣品在放大下腐蝕的跡象

4. 結論

尤其是含有孔隙時，水泥砂漿的含水量，溫度和濕氣的變化都是會造成鋼鍵的腐蝕。然而如果鋼鍵周圍有品質良好並有高PH值得水泥砂漿時，腐蝕可能就不會發生。腐蝕速率結合過去腐蝕損害的紀錄可以評估維護的時間，並且提供斷面損失的估算以評估橋梁之承載力。

2.5 交通設施及大眾運輸系統考察

此次除參加該會議外，同時藉機考察舉行會議地點水牛城之交通設施及大眾運輸系統，以擷取其特長供國內交通建設參考之用。

水牛城(Buffalo)，位於紐約州西部伊利湖東端、尼亞加拉河的源頭，人口約30萬人。其中水牛城大眾運輸是一個屬於輕軌的捷運系統(如圖2.28、2.29)，從市中心區向東北延伸至紐約州立大學水牛城分校，系統包含長達1.9公里捷運徒步區及10.3公里的LRT路線(如圖2.30)；路線從市中心開始以平面沿著Main Street穿過1.9公里的徒步區，該地區係水牛城的商務、購物及娛樂中心。在徒步區內共設6個平面停靠站(如圖2.31)，平均站距300公尺，並且不收費，以利行人配合徒步彈性搭乘。

路線離開市中心區後即進路地下，穿越市郊的住宅及商業地帶，在 8.4KM 長（約佔全長 80%）的地下路段中，前 2.8KM 係以明挖再填覆方式築成的淺底箱式結構，另 5.6KM 則為潛盾方式建製的岩石隧道。地下路段共設八個車站，平均站距 1.1KM，並採車上收費驗票。

水牛城 LRT「市區平面，郊區地下」的路權運用方式與一般都市捷運系統「市區地下，郊區高架/平面」的佈設原則相反，成為一個非常奇特的規劃案例。該 LRT 系統之所以作前述異於一般的佈設，經初步的分析，具有下列原因：

1. 市區中心部分的平面路線主要係配合徒步區的實施，藉著 LRT 的引進，作為一種補助性交通手段。因此站距較短，不講求快速運行，同時免費服務，提供一個方便並吸引人的活動環境，以帶動水牛城都市中心區的再發展。
2. 市區中心路線以平面處理，可避免因地下工程施工而帶來的都市區交通影響與環境破壞。
3. 郊區部分路線屬通勤學生為主的運輸走廊，講求快捷安全，因此採用捷運地下鐵路方式以求時效，故站距較長。
4. 郊區段原規劃採高架軌路，但因經過商業及住宅地區，經社區居民反對而改採地下。
5. 水牛城地處高緯度地區，酷寒期長且大量積雪，通勤地下路線較不受影響。



圖 2.28 水牛城捷運系統



圖 2.29 水牛城交通設施及大眾運輸系統地圖



圖 2.30 捷運系統路線圖



圖 2.31 水牛城捷運系統地面車站

三、心得與建議

3.1 心得

1. 橋梁維護管理為未來橋梁延長使用壽命之重點

臺灣之橋梁檢測技術，經近 10 年來之推動發展已趨成熟；惟橋梁檢測之執行成果仍有待改善加強，究其原因在於橋梁檢測之執行成果，繫於橋梁檢測制度之完善。橋梁維護管理之目的，在確實有效掌握橋梁狀況最新資訊，以期在橋梁安全發生問題前，即能採取適當之維修，確保橋梁安全及維護交通、用路人之安全，並延長橋梁使用年限。而掌握橋梁狀況最新資訊，有賴妥適之橋梁檢測，故橋梁維護管理，應包括：（1）橋梁檢測系統，及（2）橋梁維修系統；並以橋梁檢測為首要。

因此橋梁管理，首在切實掌握橋梁狀況最新資訊，為此本所自民國 89 年起開始研發「橋梁管理系統」，並於民國 90 年正式上線提供服務，使橋梁主管機關能夠透過此系統隨時掌握橋梁狀況，並適時的進行檢測與維修，以確保橋梁結構及行車安全，更進一步延長橋梁之使用年限。93 年度起更奉交通部指示對各橋梁管理單位進行「橋梁維護管理作業」評鑑，以促使橋梁維護管理作業制度正常化，經過多年的評鑑，各橋梁管理機關多已充分利用本系統進行橋梁管理，後續將持續應用最新的資訊技術擴充改善系統功能，以滿足管理單位多元化的使用需求。

2. 監測及決策支援系統將是橋梁維護管理的重要工具

近年來臺灣地區設施的新建漸趨飽和，既有公共設施多已接近或超越設計年限，以橋梁為例，臺灣現有橋梁約有 25,000 座，平均橋齡已達約 20 年且其中有 952 座超過 40 年，依一般混凝土結構物 25 年至 50 年之正常使用壽年研判，我國公共設施已近設計年限，老化問題將逐漸浮現，若不即時建置完善的公共設施監測系統，長期監控重大公共設施的營運成效，並能針對設施適時採行適當的因應對策以延緩或矯正劣化，維護設施安全並提昇營運管理效能，否則問題將日益嚴重。

為使監測資訊能提昇使用效能，宜整合監測技術與資源，逐步提高自

動化比例，同時提昇監測頻率及精度。提升監測技術多需長期投注，並非一蹴可幾，故可以改善現有設備技術或以整合多項現有技術為主要目標；而在資料傳輸方面，宜強化數位通訊系統，加速各項監測資訊之流通，爭取相關作業時效；另在公共設施營運監測方面，可引進非破壞性檢測技術、智慧型監測與分析系統，以提昇橋梁相關設施之安全管理與營運效能。

我國橋梁設施之新建已趨飽和，如何利用新技術，提高橋梁設施營運效能、延長其壽命、減少維護所需經費，將成為未來國家發展之重要課題。欲提高公共設施營運效能、延長其壽命，必須妥善運用環境與設施相關動態監測資訊，予以加值分析，方能掌握重點，形成正確管理決策。配合橋梁設施興建、除役與延壽等決策評估以及營運管理需求，強化各項橋梁設施設計與維運狀況監測及共通資訊平台，有系統地蒐集規劃設計、營運管理相關資料，加強資訊流通與共享。長期而言，實際開發橋梁設施營運評估決策支援系統，持續累積重要經驗與知識，則重大管理決策可獲致堅實的分析評估資訊，有效強化決策基礎並實際提昇整體營運管理效能。

3. 應用新科技與新系統儀器

資訊與通信科技（Information and Communication Technology, ICT）技術日新月異，不僅改變人類的生活方式，更牽動公共設施既有的監測、維護及管理模式及方法，逐漸由傳統以人治為主的行政體系轉為資訊體系，若能透過施政制度化、資訊透明化，便能將原先模糊的政策空間轉為施政的延續性與一致性，改變傳統倚賴人為經驗的作業方式，調整為科學化、系統化的管理架構與思維模式，無可諱言，現在及未來，公共設施的監測系統需完全依靠資訊科技技術的應用。目前國內並未針對各重大公共設施規劃適當完備之維護與管理技術和制度，一旦面臨無預警的天災，對國家經濟與人民生活之影響將無法計量。因此若能應用各種新開發的即時監測系統，如 SiWIM 系統之研發等，包括無線傳輸技術之應用等，將可使監測資料的蒐集及傳遞達到即時性，更可以協助橋梁管理單位有效維護管理。

3.2 建議

1. 強化橋梁管理系統功能，並持續應用最新的資訊技術擴充改善系統功能，以滿足各管理單位多元化的使用需求。
2. 發展先進監測技術，並整合監測技術與資源，逐步提高自動化比例，以提昇橋梁相關設施之安全管理與營運效能。
3. 研發橋梁設施營運評估決策支援系統，以有效強化決策基礎並實際提昇整體營運管理效能。