

第八章 結論與建議

8.1 結論

橋梁採生命週期整體考量來延長橋梁壽命，以達到生命週期成本最小或最佳化目標，已成為各國橋梁管理不可避免的發展趨勢。而一個適當的橋梁延壽評估方法以及橋梁功能指標建立，已是橋梁維護管理不可或缺的重要工具。

本研究透過國外文獻與應用領域現況資料的蒐集，以及國內外學者專家之寶貴意見和現場人員使用 BMS 之心得與問題，建構一套結合橋梁劣化狀況，服務性能，災害潛勢以及生命週期最佳化模式表現之橋梁延壽評估評系統流程；並在最後利用維護工程之觀念，建議高工局應有一套屬於自己的橋梁維護管理系統，並提出初步架構，除沿用延壽評估流程概念，也加入了一般養護單位所需建置的報表和紀錄，符合主動式定期與預防性的維護管理觀念。在案例分析方面，由於資料的缺乏，利用歷史檢測資料的收集，以及歷年補強工程的紀錄統計，大致描繪出每個案例橋梁自新建完成到現今的生命週期歷史，進而了解橋梁所面臨的問題。並利用本研究所提出之橋梁綜合性指標來表現橋梁整體狀況，以補橋梁管理系統中整體狀況值 CI 值不足性，初步推估預測出各案例橋梁於生命週期期間之劣化曲線與可靠度機率，最終計算其維修成本最佳化。本研究亦導入維護工程學之概念，藉由資料建置、序選分析、策略規劃與執行驗收四大步驟等實行，來確立橋梁延壽上資料、分析與維護策略的基石。綜合以上所述，本研究所得結論可分述如下：

1. 本研究以第一年度所建立之初步評估模式架構為基礎，建立橋梁編碼系統與延壽評估系統流程。導入預防性維護管理之概念，能積極

地建置橋梁生命週期分析所需資料與維修評估的流程。如此將更有助於國內其他交通建設維護管理之應用。

2. 本研究除提出橋梁維護管理的概念之外，並提供主管機關應有的主動維護觀念，最後並在此觀念下，建議高公局建置一套橋梁維護管理系統，整合目前台灣地區所有養護、管理、決策單位的系統。
3. 目前國內橋梁管理單位維護經費之預算編列方式多仰賴工程師（司）經驗，無一系統化之執行方法，也未將橋梁生命週期成本做一整體性評估。本研究提出維修最佳化模式與延壽評估系統中維修工法模組的開發，橋梁管理者可透過此模式預測橋梁狀況與可靠度，以及各構件維修時間點與金額，提供預算編列一具體之方法，具參考意義與預警效果。
4. 國內橋梁維護並無預防性維護之概念，往往至構件發生損壞時，才被動式的進行處理動作，因而喪失最佳時機，且造成維護經費龐大之負擔。本研究參考美國橋梁維護管理策略，建議維護管理工程中的四大觀念步驟，有助於國內其他交通設施維護工程的規範。
5. 本團隊利用可靠度觀念，建立橋梁狀況預測模式與最佳化模式，只需由資料庫中瞭解歷年橋梁綜合性指標評分，即可做出預測。且應用範圍還可延伸至橋梁檢測時間之最佳化、非破壞檢測時間之最佳化、維修效益成本之最佳化等。
6. 本研究團隊在現有可操作基礎下，讓橋梁管理機關了解如何利用有限的歷史資料收集的方式、評估和了解橋梁現況，以及作初步之分析。進而計算維修最佳化模式。
7. 本研究持續整理國內外延壽欲維護管理最新觀念，並參考美國的研究現況及評估方法，分析並加以修正初步橋梁評估方法與建立劣化預測模式。

8. 為使本計畫建構之模式可順利應用於實務上，本研究針對修正後之模式進行案例實務分析，除利用多次專家訪談，討論瞭解國內目前檢測評估現況外，亦持續走訪案例橋梁現場，真實了解實際運用上的困難。
9. 由第七章所建議之主動式定期維護與主動式預防維護觀念，將提供高公局為來無論在定期養護上或橋梁結構安全補強策略上，均能達到最佳化的經濟效益。也再度說明現行的管理系統必須做大幅度的調整與修正，在今後橋梁資訊不斷的「正確」記載下，方能達成橋梁維護管理以及延壽的真正目的。

8.2 建議

1.推廣橋梁延壽及維護管理之觀念

台灣營建研究院於民國 93 年，會同高公局、公路總局等國家管理機關，經過無數次的會議結論，初步提出一「公路維護管理小組」的觀念，其共分為「檢監測技術分組」、「維護技術分組」、「經濟分析分組」、「系統分析分組」、「法規分組」、「教育分組」以及「防救災技術分組」等七組。由台灣營建研究院、高公局與公路總局三大單位共同執行，目的針對台灣公路設施現況以及因應國內維護工程的時代來臨，希望經由各小組的運作，真實的面對工程設施所遭遇的問題，定提出解決之道。以其在 94 年底向交通部提出交通建設白皮書等建言。由此可見有關單位對公共工程延壽與維護管理的決心。

2.確立橋梁構件預防性定期維護工作之範圍與程度

由第七章所知，預防性定期維護之施行無疑地將影響橋梁構件劣化速率，進而影響其生命週期維修補強成本，亦是先進國家橋梁管理強調之重點。國內應可透過各養護單位專家研討，並參考國外文獻與

實施情形，確立國內橋梁構件預防性定期維護工作之項目範圍與執行頻率，以建全國內橋梁延壽之維護管理。也由前述(3.1 節)可知使用此維護策略在橋梁設計年限內所耗用之平均維護成本較小，而且在維修期間對於橋梁營運之衝擊性亦最小。但是要落實此一策略之關鍵則是如何合理而有效地依各橋梁之特性建立其在所處環境中之劣化曲線 (degradation curve)，以及進行各維修時對其功能指標所可提昇及改善的範圍。於是橋梁檢測制度、檢／監測技術、損傷分析評估、補強加固、資料管理系統等之延壽技術能力的建立便是其中成敗優劣的核心指標。所以如何將技術層次納入考量，應用先進技術在既有橋梁，以延長其使用壽命並減少管理維護成本的支出，同時降低資本、能源消耗、提高工程效益、落實永續經營環境、達成生態保護與污染防制等，對既有橋梁進行延壽評估但是在欲擬定後續的養護管理策略時，宜先對台灣地區橋梁問題的特質有所掌握，方可因勢制宜對症下藥，並和國際間作長期性之交流合作。

3.有效建立橋梁生命週期檢測資料與維修工法及其成本單價資料庫

本研究雖已利用評估系統建立評估流程，但最大瓶頸限制之一便是缺乏足夠之橋梁歷年檢測資料以建立構件劣化趨勢，其中之各潛勢分析評分標準、檢測資料的建置以及維護管理資料由於以往紀錄的不全，雖有橋梁管理系統，但其內容檢測資料、維修記錄，似乎不能反應出橋梁真實的狀況值，有流於紀錄的形式產生。本研究建議應有效改進或重新建置橋梁延壽評估管理系統，有效紀錄橋梁評估時所需資料，才能夠真正落實生命週期管理的概念。

4.應建立完整的橋梁延壽評估管理系統

現今台灣地區橋梁管理系統，於本研究經與現場工務段工程師訪談結果，有下列不足之處：

- (1) 現行 BMS 系統中，是站在橋梁功能供需曲線中供應面的位置，作現況評估的系統，但在需求面的評估卻不夠詳盡，而在本研究評估系統中卻有將評估方法加以考慮，此點在延壽評估時有相當的重要性。
- (2) 對於維修補強工法的回復性與績效性，現行 BMS 系統並未作明確之記載，以致於後續管理者對於前述工法，只能從歷史資料中獲得定性之了解，無法在延壽評估時作有效量化的依據。
- (3) 維修工法模組無論在維修項目上與單位數量上都有需要更新的必要。
- (4) 在基本資料的建置上，由於一座橋梁每一部份的結構形式不一定相同，導致在紀錄上有可能無法滿足使用人的需求。
- (5) 沒有橋梁幾何圖說與竣工圖的電子化檔。

因為有上述無法改進的地方，始得許多維護管理的工務段，必須另開發其他輔助系統來建置當地橋梁的基本資料和維護資料；造成中央管理機關沒有共同整合的系統，來整合這些詳細的橋梁資訊。所以本研究基於此，建議高公局必須重新評估現行各工務段實際維護橋梁的需求，完整考量橋梁管理資料庫所需之欄位，以現行 BMS 記載資料為基礎，改良或開發一套屬於高公局橋梁的延壽評估管理系統。

5. 生命週期維護管理角色扮演

釐清角色分工是推動維護工程過程中另一項重要工作，從第三章中顯示，不僅是先進國家皆已針對維護工程進行研究規劃，連世界貿易組織（WTO）等國際組織都特別針對此一二十一世紀的重要課題進行研究，以釐清資源取得方法與參與人員的角色扮演。由於資源的規劃取得需視各國政府內部體制與財政狀況，本文僅就參與角色之扮演說明如后：

1. 政府建設主管機關

應正視國內維護工程的需求，包括設施高齡化對國家發展之影響，執行維護工程所需之財政負擔與公、私有資源分配。儘速研擬推動維護工程策略，以及配套的預算規劃；甚至若因維護工程與傳統新建工程差異而有採購或技術法規修正需求時，也應儘速推動相關法規的研修工作。

2. 設施管理單位

應儘速建立設施基本資料庫，掌握設施現況，進而評估未來維護工程執行所需之經費、人力、甚至物力需求，提供建設主管機關參酌。此外，管理單位也應積極進行內部人員正確維護工程觀念的認知，以及專業技能的再教育訓練，以因應逐年成長的維護工程需求。

3. 工程顧問

除應自我充實維護工程的專業智能以外，更重要的是要具備功能設計（Function Design）的觀念，亦即先評估設施現況功能，再進行設計，而且設計亦應保留彈性以利施工或後續維護時之回饋分析。

4. 施工廠商

由於維護工程大多是針對既有設施進行維修與補強工程，因此施工廠商的專業能力要求與技術門檻也較新建工程為高。國內現有工程承攬的多次轉包作業方式將不適合管控廠商的專業能力，有意轉型的優良廠商應儘速提昇自我專業技術層次，包括專業人力培訓、機具整備，以及資訊或實績的累積等。

其各單位層級在維護管理工程中所需扮演的角色，如圖 8.1 所示。

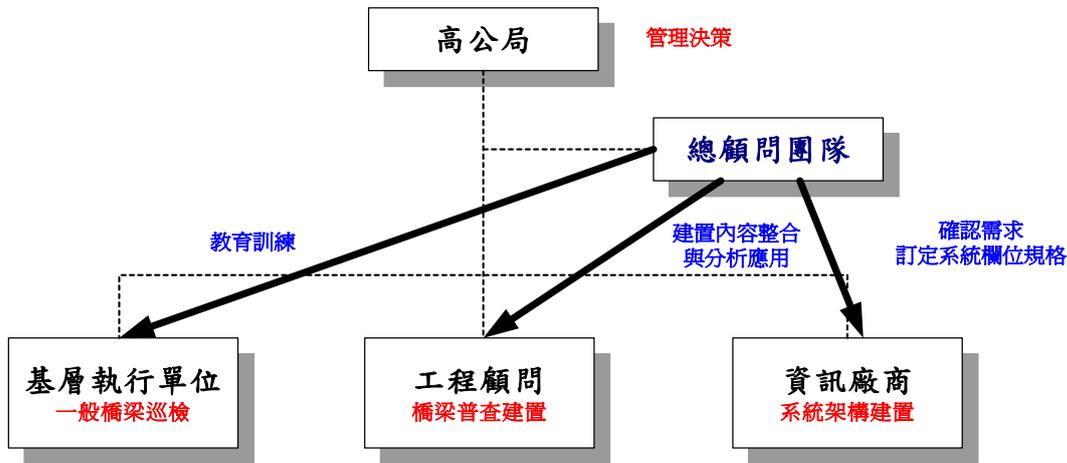


圖 8.1 維護管理工程各單位定位示意圖

本研究從介紹維護工程的定義與特性，到詳述說明生命週期維護工程的內容，進而提出橋梁延壽工程以及參與角色定位，期能提供國內工程界於推動生命週期維護工程之參考。盱衡二十一世紀國內工程產業發展趨勢，維護工程勢必成為未來主流，而此一發展趨勢也必將改變國內產業結構，甚至驅動產業轉型升級。因此，從政府到民間都必須正視此一課題，結合各方資源，儘早展開工作規劃與策略研擬，以因應未來需求。除此之外，維護工程著重技術與資訊整合的特性，也非常適合工程界進軍大陸與東南亞工程市場，如何要求政府重視此一產業升級課題，也應是工程界應群策群力，勉力合作的方向。

參考文獻

- [1] C.F. Henriksen, “Optimisation of Maintenance of Concrete Structures through Service Life Calculation” , *Third ICBM, 1996, Reported Paper pp 154~163.*
- [2] Bridge Management in Europe (BRIME), European Commission DG VII 4th Framework Programme.
- [3] Zhanmin Zhang, “Review of Current Geographic Information Systems Technology for TxDOT Pavement Management Information System” , *Texas Department of Transportation Research and Technology Transfer Section/Construction Division, 1998.*
- [4] H. Paul Barringer, P.E. , ” Life Cycle Cost And Good Practices” , San Antonio Convention Center San Antonio, Texas, 1998.
- [5] State of California Department of Transportation, “ Caltran Maintainance Manual Guide” , 1998 °
- [6] William James Wilde, Steve Waalkes, and Rob Harrison, ” LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF PORTLAND CEMENT CONCRETE PAVEMENTS ” , *Texas Department of Transportation Research and Technology Transfer Section/Construction Division, 1999 °*
- [7] M.A. Lacasse and D.J. Vanier, ” LIFE-CYCLE COST DESIGN METHODS AND TOOLS” , *National Research Council Canada, 1999.*

- [8] Steven Michael Waalkes, " A Sensitive Analysis of the Rigid Pavement LCC Program " , *Texas Department of Transportation,2000.12.*
- [9] OECD Scientific Expert Group, " MAINTAINANCE AND REHABILITATION FUNDING AND STRATEGY" ,*Organization for Economic Co-operation and Development, 2002.*
- [10] National Cooperative Highway Research Program, " Bridge Life-Cycle Cost Analysis" , *Transportation Research Board of the National Academies, 2003.*
- [11] Dr. Jerry Hajek, " Decision Making for Maintenance and Rehabilitation of Municipal Pavements " , 2004 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, 2004.
- [12] Richard F. Chandler, " Life-Cycle Cost Model for Evaluating the Sustainability of Bridge Decks" , *Center of Sustainable Systems in University of Michigan, 2004.*
- [13] S. Takata, " Maintenance : Changing Role in Life Cycle Management" , *Annals of the CIRP,2004.*
- [14] Yanev B., S., "Infrastructure management systems applied to bridge", *Operation and maintenance of Large Projectg, Vincentgen & Jensen, Balkema, Rotterdam, 1998.*
- [15] Manabu Matsushima, Hiroshi Seki, and Kunihiro Matsui, "A Reliability Approach to Landing Pier Optimum Repair Level", *ACI Materials Journal, 1998.*
- [16] Performance Evaluation of Repair Technique for Damaged Fiber-Reinforced Polymer Honeycomb Bridge Deck Panels. *Journal of Bridge Engineering. ASCE. Jan/Feb. 2004.*

- [17] Potential Retrofit Methods for Concrete Channel Beam Bridges Using Glass Fiber Reinforced Polymer. *Journal of Bridge Engineering. ASCE. Jan/Feb. 2004.*
- [18] Condition Evolution in Bridge Management Systems and Corrosion-Induced Deterioration. *Journal of bridge engineering. ASCE. MAY/June. 2004.*
- [19] Highway Bridge Replacement and Rehabilitation Program (HBRRP), FHWA, 2001.
- [20] Bridge Inventory Manual, New York State Department of Transportation, 2004.
- [21] Evaluation of Prestressed Concrete Girders Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets. *Journal of bridge engineering. ASCE. Mar./Apr. 2004.*
- [22] New AASHTO Guide Manual for Load and Resistance Factor Rating of Highway Bridges. *Journal of bridge engineering. ASCE. Jan/Feb. 2004.*
- [23] Analysis of Life-Cycle Maintenance Strategies for Concrete Bridge Decks. *Journal of bridge engineering. ASCE. MAY/June. 2004.*
- [24] Rehabilitation Strategies for Highway Pavements, NCHRP 35, 2001.
- [25] Recording and coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, FHWA, 1995.
- [26] 交通部，「生命週期導向之橋梁資訊管理系統建立及維護管理作業自動化技術開發」，民國 93 年 12 月。

- [27] 陳威廷，「生命週期導向橋梁評估系統之研究」，國立中央大學碩士論文，民國 93 年 7 月。
- [28] 連夷佐，「橋梁維護管理生命週期成本評估模式之研究」，國立中央大學碩士論文，民國 92 年 6 月。
- [29] 交通部高公局，「高速公路工程與管理研討會論文集」，民國 84 年 5 月。
- [30] 交通部高公局，「國道高速公路耐震分析評估與補橋工程可行性研究」，民國 91 年 6 月。
- [31] 交通部高公局，「橋梁功能評估及方法建立研究」，民國 93 年 8 月。
- [32] 交通部科技顧問室，「山區道路邊坡崩塌防治工法最佳化研究」，民國 93 年 11 月。
- [33] 陳清泉、呂守陞、廖肇昌、李有豐、許鎧麟，「公共工程延壽政策及相關技術之探討」，行政院公共工程委員會專案委託研究計畫，財團法人台灣營建研究院，民國 91 年 11 月。
- [34] 交通部科技顧問室，「橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立」，民國 92 年 12 月。
- [35] 交通部高公局，「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(草案)」，民國 93 年 12 月。
- [36] 交通部科技顧問室，「交通設施鋼筋混凝土結構物劣化診斷評估與維修規範草案之建立」，民國 93 年 7 月。
- [37] 公路橋梁安全初步檢測及評估實例作業及校正研究計畫」，交通部。
- [38] 徐耀賜，「公路橋梁之養護與維修」。

- [39] 李有豐、林安彥，「橋梁檢測評估與補強」，全華科技圖書股份有限公司，2000/8。
- [40] 蔣偉寧等，「橋梁重要程度等級之建立」，交通部公路總局，民國 93 年 3 月。
- [41] 陳國隆，「國道橋梁工程技術的演進」，中國土木水利學會年會，2001。
- [42] 林呈，曾明性，「橋台及橋墩沖刷防治工法之探討」，橋梁設計與耐震補強研討會，財團法人台灣營建研究院，1999/12。
- [43] 林呈，「淺談橋基之沖刷防治與施作橋基保護工之相關問題」，橋梁安全與維護研討會，財團法人台灣營建研究院，1999/4。
- [44] 台灣區國道高速公路局，「高速公路橋梁養護手冊」，1995/12。
- [45] 張新培編著，「建築結構可靠度分析與設計」，四川大學，2001。
- [46] 施楚賢，「土木工程結構可靠度理念與設計」，人民交通出版社。
- [47] 王有志等編著，「橋梁的可靠度評估與加固」，中國水利水電出版社，2002 年。
- [48] 戴永久，「可靠度導論」，三民書局，民國 79 年。
- [49] 國道一號圓山橋補強工程圖。
- [50] 國道一號圓山橋伸縮縫整修工程圖。
- [51] 中山高速公路淡水河橋橋面板維修補強工程圖。
- [52] 圓山橋施工圖。
- [53] 淡水河橋施工圖。

- [54] 淡水河橋隔樑補強工程圖。
- [55] 日本橋梁頂高工程圖。
- [56] 圓山橋補強工程規劃-結構計劃書。
- [57] 圓山橋補強工程規劃-檢測報告書。
- [58] 圓山橋補強工程規劃-細部設計報告。
- [59] 淡水河橋基礎完整性檢測-期末報告。
- [60] 中山高橋梁現場檢測評估報告書(五冊)。
- [61] 中山高橋梁現場檢測評估報告書(六冊)。
- [62] 圓山橋安全監測計劃-監測報告。
- [63] 圓山橋安全監測計劃-地震結構影響評估報告。
- [64] 圓山橋安全監測計劃-第三次提報。
- [65] 圓山橋安全監測計劃-第五次期中報告。
- [66] 台灣地區 BMS 中山高速公路橋梁檢測資料表附冊五(期末報告)。
- [67] 台灣地區 BMS 中山高速公路橋梁檢測資料表附冊四(期末報告)。
- [68] 台灣地區 BMS 中山高速公路橋梁檢測資料表歷年檢測報告。
- [69] 日本橋梁頂高工程細部計算書。
- [70] 中沙大橋、淡水河橋橋面版劣化報告書。
- [71] 中沙大橋耐震維修補強第一期工程設計圖，86 年。
- [72] 中山高速公路員林至高雄拓寬中沙大橋擴建工程圖，92 年。
- [73] 中沙大橋橋墩保護及增設下游潛堰工程圖。
- [74] 豐原至大林段 91 年度河床測量工程圖。
- [75] 大雅至大林段 93 年度河床測量工程圖。

- [76] 中沙大橋耐震補強第一期工程完工報告書。
- [77] 中沙大橋耐震補強第二期工程完工報告書。
- [78] 財團法人台灣營建研究院，「國道三號 C386 標橋梁受損原因件定報告」，民國 93 年 12 月。
- [79] 邱贊儒，「建立混凝土橋梁耐久性評估方法之研究」，中央大學碩士論文，民國 92 年 6 月。
- [80] 交通部高公局，「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(草案)」，民國 93 年。
- [81] 營建署，「都市計畫區內市區道路橋梁檢測、監測、維修及管理計畫」期中報告，民國 93 年。
- [82] 美國運輸部(DOT) <http://www.dot.gov/>
- [83] 美國聯邦高速公路局(FHWA) [http:// www.fhwa.dot.gov/](http://www.fhwa.dot.gov/)
- [84] 歐盟網站 http://europa.eu.int/comm/index_en.htm
- [85] European transportation Policy
HTTP://EUROPA.EU.INT/COMM/TRANSPORT/INDEX_EN.HTML
- [86] 交通部公路總局 <http://www.thb.gov.tw/>