

逢甲大學
交通工程與管理學系碩士班
碩士論文

既有橋梁損壞相關影響因素之研究
- 以台中縣為例

A Correlation Study of the Existing
Bridges for Failure Analysis - Case Study
of Taichung County

指導教授：徐耀賜

研 究 生：蘇暉傑

中 華 民 國 九 十 二 年 六 月

誌 謝

光陰飛逝，回首在逢甲攻讀研究所的兩年過程，在歷經強風豪雨的磨練下，成就了戰無不勝、攻無不克的膽識。匆匆兩年時光，記憶如新，宛若昨日，不論在課業與學術研究上得到豐富的收穫，在生活中更是多了許多真摯的朋友，對於即將踏出校園的社會新鮮人來說，無形中成為一股自我強心劑，隨著這本論文的完成即將告一段落，也對自己有個交代。

本論文得以順利完成，首要感謝恩師 徐耀賜博士於論文寫作期間的細心指導，無論於研究方向的指引、觀念的啟發、架構之擬定，乃至論文寫作文辭上之文字斧正及薰陶，均使學生獲益匪淺，深表感謝。此外，感謝老師多年來在生活各方面給予的關懷與照顧，並提供研究所需之資源與環境，在此僅致上由衷的謝意。

論文口試期間，承蒙 呂東苗博士及 苟昌煥博士的撥冗審月與惠賜寶貴意見，使本論文更臻完整。於論文研究、審查期間，感謝 葉名山博士及 劉霈博士提供諸多寶貴意見、謬誤之指正與精闢之見解，使得本論文得以完成，僅此致謝。

論文研究期間，同窗好友銘賢、浩峰、士彥、思瑜、家麟、俊源、乃穎、昱豪、瓊瑩、彥蘅、惠如、文能學長及柏村學長在課業上與生活上的切磋指教，使我的研究所生活更為充實，尤其俊源、家麟、士彥及思瑜不厭其煩提供本論文研究分析的指導與見解，使研究得以順利進行，而文能學長與柏村學長在社會工作經驗與待人處世都使我受益良多；另外，學弟俊享在各方面的熱心協助，以及耀駿 AOK 的實戰教學，在此一併感謝。

最後，衷心的感謝我最親愛的家人在一旁默默的支持與鼓勵，同時亦將此份成果獻給任何曾經幫助過我的人，謝謝你們。

蘇暉傑 謹誌

2003 年盛夏 于逢甲

摘 要

台灣地區因為地形關係，橋梁數目眾多，在橋梁工程技術發展日漸成熟之今日，橋梁數量已超過兩萬座，橋梁早已成為交通運輸系統中不可或缺之重要結構物。一旦橋梁發生損壞，不但會直接造成生命、財產之損失，也會因為交通系統中斷，而擴大為對經濟、社會造成衝擊。

雖然現有橋梁提供了良好的運輸服務功能，然而卻無法避免面臨老舊橋梁過多而衍生之維護問題。因而唯有從瞭解引起橋梁發生損壞情形之相關因素，才能適時對受損橋梁提供適合之維護，進而延長橋梁使用年限。因此，本研究之目的為從所蒐集之橋梁檢測資料中，彙整橋梁結構損壞之模式，藉由統計方法之相關性分析，探討橋梁生命週期內發生結構損壞情況之趨勢。

本研究蒐集台中縣橋梁目視檢測資料，採用 935 筆橋梁資料作為橋梁損壞因素與橋梁損壞部位之分析，利用羅吉斯特迴歸分析探討常見橋梁結構物損壞之因素與其相關性。在橋梁生命週期內，引起橋梁損壞的原因不外乎天然因素與人為因素兩種，研究中考量橋梁損壞之相關影響因素，包含：橋梁基本性質、橋梁外在環境、橋梁內在結構三方面。首先針對橋梁損壞因素進行整體橋梁損壞與否之相關性分析，並從中將受損橋梁根據整體橋梁狀況指標 *CI* 分類，進行橋梁不同程度損壞之相關性分析。然後依據橋梁不同之損壞部位，對橋梁各部位構件之損壞與否，考量各部位之型式與材質進行交叉分析。最後，從本研究構建之羅吉斯特迴歸模式中發現橋梁發生損壞之趨勢。

關鍵詞：橋梁損壞、橋梁檢測、羅吉斯特迴歸

Abstract

Because of the topography, there are many bridges in Taiwan. The number of the bridges in Taiwan has exceeded twenty thousands. Today, the technology of bridge engineering have attained to maturity, and the bridge have already played an important role in communications and transportation system. As soon as the bridges are damaged, not only causing the loss of life and property but also becoming a huge influence in economy and society.

Although the existing bridges may be offered excellent transit transportation functions, it could not avoid confronting with problems of bridge maintaining, caused by many old bridges. Consequently, it is the only way, while appropriately maintaining the bridges in order to make good use of the bridge life, that to know factors related from bridge damage. Therefore, the main purpose of this research is to determine the failure model of bridge structure though statistical correlation analysis using the collected data through the bridge inspection. So, we will know what kinds of factors led to structural damage was happened during the bridge life cycle.

The data used in this study is basically from the bridge inspection in Taichung County. Totally, there are 935 data to analyze the correlation factor and position of the common bridge damage through logistic regression. During the bridge life cycle, it is the reason that caused bridge to be damage including both natural and man-made factors. There are three aspects of the factor of bridge damage in the study, which include essential bridge character, external bridge condition, and internal bridge structure. At first, it was the performance that no matter what kind of whole bridge damage was happened, it analyzed the factor of the bridge damage. Then, according to the whole bridge condition index, it

was the performance about the different degree of bridge damage. Afterward in terms of different damage positions, it performed the cross analysis which was considered between the different parts of type and material. In conclusion, this study constructed the logistic regression models and found all the factors which influence the bridge damages.

Key Words: Bridge Damage, Bridge Inspection, Logistic Regression.



目 錄

| | |
|-------|------|
| 謝 誌 | I |
| 中文摘要 | II |
| 英文摘要 | III |
| 目 錄 | IV |
| 圖 目 錄 | VIII |
| 表 目 錄 | IX |

| | |
|--------------------------|----|
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1.1 研究緣起 | 1 |
| 1.2 研究目的 | 3 |
| 1.3 研究範圍 | 6 |
| 1.4 研究方法 | 6 |
| 1.5 研究流程 | 8 |
| 第二章 文獻回顧 | 9 |
| 2.1 前言 | 9 |
| 2.2 橋梁結構損壞模式相關文獻 | 9 |
| 2.3 橋梁生命週期成本與經濟效益相關文獻 | 16 |
| 2.4 橋梁修護與管理方式相關文獻 | 17 |
| 第三章 橋梁損壞機制之探討 | 22 |
| 3.1 台灣地區橋梁現況之探討 | 22 |
| 3.1.1 規劃層面 | 24 |
| 3.1.2 設計層面 | 25 |
| 3.1.3 發包層面 | 27 |
| 3.1.4 施工層面 | 27 |
| 3.1.5 維護層面 | 28 |
| 3.2 混凝土結構常見之損傷種類 | 29 |
| 3.2.1 劣化 (Deterioration) | 30 |
| 3.2.2 裂縫 (Cracks) | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.3 鱗狀剝落 (Scaling) | 31 |
| 3.2.4 鋼筋鏽蝕 | 31 |
| 3.2.5 表皮髮裂 (Crazing) | 32 |
| 3.2.6 剝離 (Spalling) | 32 |
| 3.2.7 爆開 (Popout) | 32 |
| 3.2.8 窪坑 (Pitting) 或碎裂 | 33 |
| 3.2.9 蜂窩 (Honeycombing) 與氣囊 (Airbagging) | 33 |
| 3.2.10 白華、析晶 (Efflorescence) | 33 |
| 3.2.11 層隙 (Delamination) | 33 |
| 3.2.12 孔蝕 (Cavitation) | 34 |
| 3.2.13 失色 (Discoloration) | 34 |
| 3.2.14 脫皮 (Peeling) | 34 |
| 3.2.15 滲膠 (Exudation) | 34 |
| 3.2.16 滲漏 (Leaching) | 34 |
| 3.2.17 交通撞擊與磨耗 (Wearing) | 34 |
| 3.2.18 冲刷與侵蝕 | 35 |
| 3.2.19 沉陷 (Settlement) | 35 |
| 3.3 橋梁結構損壞模式之探討 | 35 |
| 3.3.1 橋梁上部結構主要問題 | 38 |
| 3.3.2 橋梁下部結構與基礎主要問題 | 39 |
| 3.3.3 橋梁細部結構主要問題 | 39 |
| 第四章 橋梁管理系統之探討 | 41 |
| 4.1 前言 | 41 |
| 4.2 國內現有橋梁管理系統 | 41 |
| 4.3 橋梁之目視檢測 | 45 |
| 4.3.1 台灣地區現有檢測評等法探討 | 46 |
| 4.3.2 D.E.R.U.與 A.B.C.D.評等法之比較 | 47 |
| 4.3.3 橋梁整體狀況指標 | 54 |
| 第五章 研究方法架構 | 57 |
| 5.1 一般線性迴歸模式的基本架構 | 57 |
| 5.1.1 一般線性迴歸的矩陣表示法 | 57 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 5.1.2 參數的估計 | 57 |
| 5.1.3 殘差 | 58 |
| 5.1.4 誤差項的變異數估計 | 58 |
| 5.2 羅吉斯特迴歸模式的基本架構 | 59 |
| 5.2.1 羅吉斯特迴歸模式的表示法 | 59 |
| 5.2.2 參數估計 | 60 |
| 5.2.3 誤差項 | 61 |
| 5.2.4 模式的缺適度 | 61 |
| 5.2.5 係數的顯著性—Wald 檢定 | 62 |
| 5.3 羅吉斯特迴歸模式與線性迴歸模式之比較 | 62 |
| 5.3.1 羅吉斯特迴歸與線性迴歸相同之處 | 62 |
| 5.3.2 羅吉斯特迴歸與線性迴歸相異之處 | 62 |
| 5.4 研究架構 | 64 |
| 5.4.1 橋梁目視檢測資料之處理 | 65 |
| 5.4.2 橋損損壞分析架構 | 67 |
| 5.4.3 研究相關變數說明 | 71 |
| 第六章 模式建立與分析 | 79 |
| 6.1 資料蒐集 | 79 |
| 6.1.1 橋梁基本統計資料 | 81 |
| 6.1.2 橋梁基本統計資料初步分析 | 86 |
| 6.2 模式構建 | 87 |
| 6.2.1 模式校估 | 87 |
| 6.2.2 綜合討論 | 91 |
| 第七章 結論與建議 | 94 |
| 7.1 結論 | 94 |
| 7.2 建議 | 95 |
| 參考文獻 | 97 |
| 附錄一 羅吉斯特 BMDP 程式 | 101 |

圖目錄

| | |
|--------------------------|----|
| 圖 1.1 橋梁檢測、維修、補強與加固流程示意圖 | 5 |
| 圖 1.2 生命週期成本示意圖 | 6 |
| 圖 1.3 研究流程圖 | 8 |
| 圖 2.1 混凝土損壞的物理原理 | 10 |
| 圖 2.2 造成混凝土損壞的化學反應 | 11 |
| 圖 5.1 橋梁損壞因素分析流程 | 69 |
| 圖 5.2 橋梁損壞部位分析流程 | 70 |
| 圖 5.3 橋梁距海遠近分區圖 | 75 |



表目錄

| | |
|-----------------------------------|----|
| 表 1.1 台灣省公路橋梁座數概況 | 2 |
| 表 2.1 RC 與 PC 橋梁產生缺陷與破壞之原因 | 12 |
| 表 2.2 橋梁受損分級表 | 13 |
| 表 2.3 橋梁結構損壞分類表 | 15 |
| 表 2.4 橋梁維護管理決策模式 | 19 |
| 表 2.5 橋梁維修評選決策架構 | 20 |
| 表 3.1 目前台灣橋梁主管機關及管理層級體系 | 23 |
| 表 3.2 橋梁結構損壞之原因 | 37 |
| 表 4.1 現有檢測制度比較表 | 45 |
| 表 4.2 國內目前主要使用的檢測評估準則 | 47 |
| 表 4.3 D.E.R.U.評等法目視檢查項目 | 50 |
| 表 4.4 D.E.R.U.橋梁目視檢測評估及狀況報告表 | 51 |
| 表 4.5 A.B.C.D.評等法之結構物分類及檢查對象表 | 52 |
| 表 4.6 D.E.R.U.評等法之評估準則 | 53 |
| 表 4.7 A.B.C.D.評等法對結構損傷等級之判定標準 | 53 |
| 表 4.8 橋梁檢測項目權重表 | 56 |
| 表 5.1 簡單羅吉斯特迴歸模式和簡單線性迴歸模式相異表 | 64 |
| 表 5.2 橋梁基本資料類型 | 66 |
| 表 5.3 橋梁檢測資料類型 | 67 |
| 表 6.1 台中縣橋梁資料座數 - 行政區與道路等級交叉次數統計表 | 80 |
| 表 6.2 台中縣整體橋梁損壞情形統計表 | 81 |
| 表 6.3 台中縣橋梁損壞部位統計表 | 82 |
| 表 6.4 橋梁基本性質統計表 | 83 |
| 表 6.5 橋梁外在環境統計表 | 84 |
| 表 6.6 橋梁內部結構統計表 | 85 |
| 表 6.7 整體橋梁損壞最佳模式校估 | 88 |
| 表 6.8 橋梁損壞嚴重程度最佳模式校估 | 89 |
| 表 6.9 上部結構損壞最佳模式校估 | 90 |
| 表 6.10 下部結構損壞最佳模式校估 | 91 |

第一章 緒論

1.1 研究緣起

近年來，台灣地區之經濟發展，工商發達，人口密集之都會區，為因應交通量之成長，同時兼具商業活動及停車空間，雙層橋面、立體鋼構及共構等形式之橋梁逐漸為國人採用，以期能增加道路面積，提高土地使用效率之需求。橋梁是公路組成之一部份，因此只要公路建設持續發展，橋梁數目亦將持續成長，以公路總局民國 90 年統計資料之橋梁座數概況(表 1.1)為例，民國 70 年台灣省公路橋梁只有 8,797 座，而至民國 90 年底其數目已成長到 10,186 座(省道橋梁 2,697 座、縣道橋梁 1,872 座、鄉道橋梁 5,532 座、專用橋梁 85 座)。

此外，由橋梁數目的成長趨勢亦可看出台灣地區經濟發展起飛之輪廓。重大國家建設陸續施工，諸如：第二高速公路、高速鐵路及快速道路，為配合景觀地形，水利防洪，聯絡交通要道及區域性指標等因素，高架橋梁道路之使用已日驅增加，在考量兼顧工程品質與施工進度之順利進行，橋梁工程建築由傳統簡單、笨重之混凝土橋梁逐步蛻變為大型化、長跨徑、造型豐富之鋼鐵橋梁，在使用上除了具有景觀、環境條件、工期及結構上之優勢外，鋼結構具有強度高、韌性佳及優越之耐震能力之優點，使得鋼結構之使用更為普遍。

台灣地區地狹人稠，長條狀海島地形造就河流湍急且分布遍及各地之情形，完善之橋梁建設除了在交通上帶來方便之效益，更有助於地區之都會開發、文化發展及社會脈動。台灣經歷了 921 集集大地震之重創，地震威力影響之大使得位於車籠埔斷層帶上之石圍橋、埤豐橋、東豐橋、炎峰橋等 26 座橋梁嚴重損傷，全省橋梁輕微受傷計有 115 座，不但造成人民生命直接之傷亡，交通路線之中斷更阻絕了救災、賑災及後續之重建工作，此次之地震更加凸顯橋梁工程在交通建設之重要性。

表 1.1 台灣省公路橋梁座數概況

| 年別 | 總計 | 省道 | 縣道 | 鄉道 | 專用公路 |
|-------|--------|-------|-------|-------|------|
| 70 年底 | 8,797 | 2,395 | 1,346 | 4,968 | 88 |
| 75 年底 | 9,855 | 2,456 | 1,452 | 5,863 | 84 |
| 80 年底 | 9,980 | 2,482 | 1,483 | 5,931 | 84 |
| 81 年底 | 10,009 | 2,500 | 1,483 | 5,942 | 84 |
| 82 年底 | 9,980 | 2,468 | 1,483 | 5,945 | 84 |
| 83 年底 | 9,992 | 2,476 | 1,486 | 5,946 | 84 |
| 84 年底 | 10,004 | 2,529 | 1,427 | 5,963 | 85 |
| 85 年底 | 10,040 | 2,551 | 1,432 | 5,972 | 85 |
| 86 年底 | 10,055 | 2,607 | 1,386 | 5,977 | 85 |
| 87 年底 | 10,082 | 2,628 | 1,386 | 5,983 | 85 |
| 88 年底 | 10,104 | 2,656 | 1,380 | 5,983 | 85 |
| 89 年底 | 10,130 | 2,671 | 1,384 | 5,990 | 85 |
| 90 年底 | 10,186 | 2,697 | 1,872 | 5,532 | 85 |

資料來源：公路總局

單位：座

國內橋老舊的情形相當普遍，以台北市為例，截至民國 85 年為止，跨河橋梁及車行陸橋共有 197 座，其中已使用年數達 10 年以上之橋逾六成【22】，因而在新建公路橋梁建設之餘，既有橋梁之維護作業更值得注意。時至今日由於許多意外災害之發生，橋梁維護管理的問題才逐漸受到重視，當前國內各相關單位均著重於建立一套完整之橋梁安全管理系統，藉由定期之全國性橋梁普查作業，除了確認橋梁之基本資料，更進行橋梁之安全檢測工作，了解橋樑功能之發揮與否，以此作適當之橋梁維護加固作業，以期能延長橋梁使用壽命。

橋梁建設所需經費往往非常龐大，在以往國內橋梁工程界之「重新建、輕維護」之觀念下，橋梁維護工作無法安全落實，況且近年來維修管理經費也逐漸短縮，如何利用有限之經濟資源以確保橋梁維護管理發揮最大之效用為當前之重要課題。是故，橋梁工程建設於規劃

階段即必須對日後之養護維修作業納入考量，針對不同交通需求設定不同之橋梁使用年限，並將設計規劃、施工建造及通車後維護管理各階段之費用納入總成本之考量，直至橋梁停止使用為止，此「生命週期成本」之觀念已儼然為重大公共建設之所重視。

1.2 研究目的

橋梁結構之使用效能及耐用年限，與設計、施工及所使用材料之品質息息相關。由於設計、施工與材料在橋梁竣工通車前便可能已經存在某些缺陷，這些缺陷使橋梁結構在先天上存在著某些易造成日後損壞之薄弱點。另一方面，橋梁在通車營運使用過程中亦會受到無法避免之人為損壞及各種大自然力量之侵蝕，帶來後天病害。橋梁發生損壞情形之相關因素甚多，其與橋梁暴露之環境有密切關係。正確之維護觀念應該在橋梁規劃階段即將可能的損壞因素加以納入考量，如規劃得宜，能避免或減緩腐蝕因子對橋梁之負面影響，坐收根本之效。

做好橋梁養護維修、補強與加固工作之首要任務便是要及時發現橋梁之早期病害，在尚未出現更大損傷之前就能採取維修養護措施，以控制病害發展或將病害一舉清除，從而確保橋梁之正常使用，而欲及時發現橋梁結構之損害，必須依靠平日定期之橋梁檢測工作。橋梁結構之檢測，是為了保證橋梁正常使用並作為進行維修、補強與加固之重要依據，圖 1.1 所示為橋梁工程從竣工、檢測至維修、補強與加固之流程圖【24】，由此可知橋梁檢測之目的在於隨時掌握橋梁結構之情況與安全狀態，並可回饋與累積設計、施工、維修之經驗，從而正確評估現有橋梁之實際承載能力，進而延長橋梁建設之生命週期。

橋梁生命週期 (life cycle) 的理念，是將橋梁自規劃、設計、發包、施工、維護、管理一直到無法使用而拆除重建的過程，視為一整體。這個整體表示橋梁是有「生命」的（有壽命、壽限、設計年限、使用年限、服務年限），也有生、老、病、死，照顧得好，活得長，照顧不好，夭折【17】。因此規劃設計時，必須設定「設計年限」，按照設計年限選材設計、維護管理。在永續發展的社會財政考量下，除了必須考量「初置成本」(initial cost)，更須以「生命週期成本」(life cycle cost, LCC) 為考量重點，將橋梁的規劃、設計、發包採購、施工、

營運操作、維護、管理、修繕等之成本，甚至回收再生利用效益，視為一統合性成本，參見圖 1.2。

因此，本研究之目的為從所蒐集之橋梁檢測資料中，彙整橋梁結構損壞之模式，藉由統計方法之相關性分析，探討橋梁生命週期內發生結構損壞情況之趨勢，如此根據可能發生或已經發生之損壞狀況，才能給予適當之維修養護決策，建立橋梁完善之維護管理準則，延長橋梁之壽命。



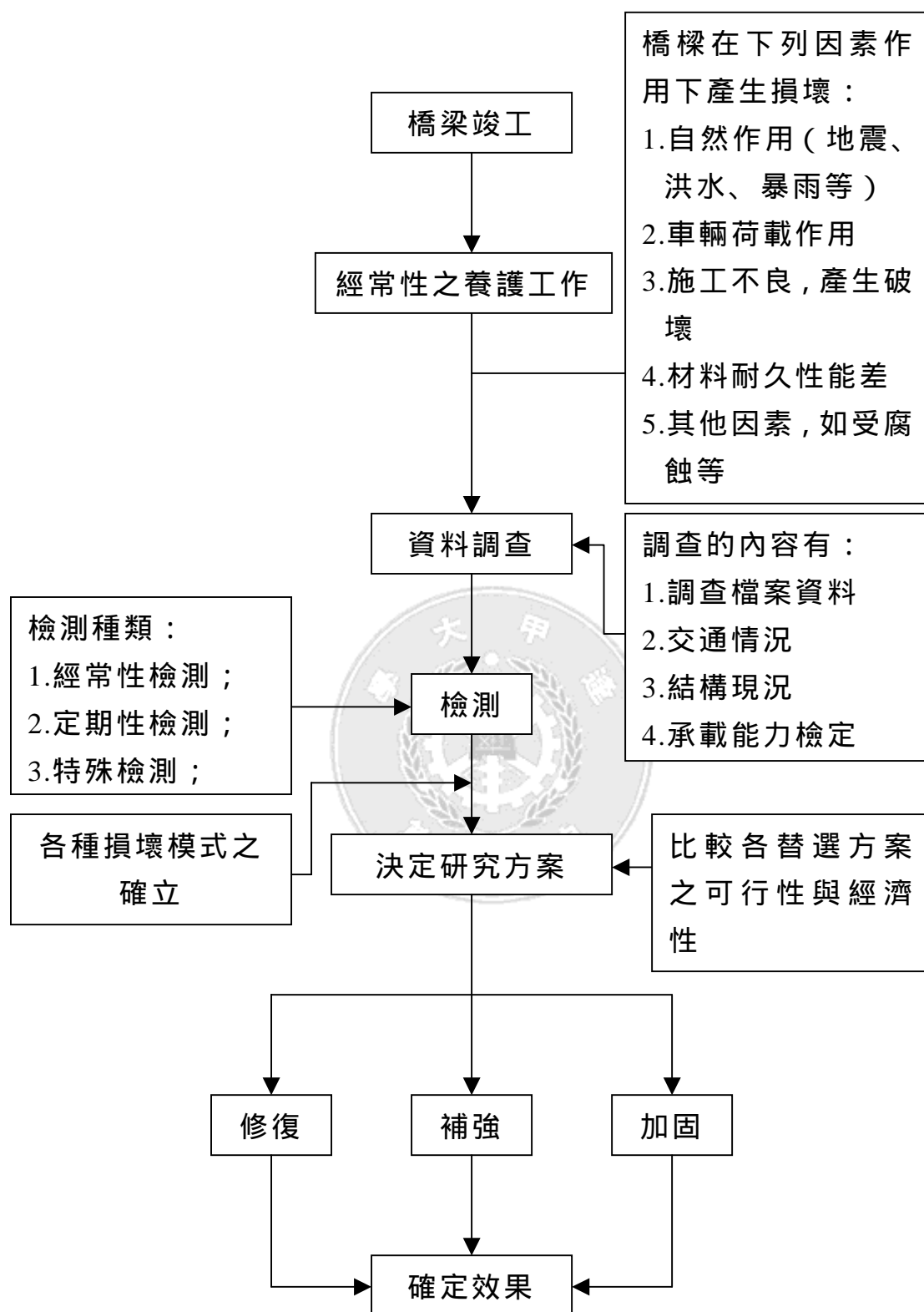


圖 1.1 橋梁檢測、維修、補強與加固流程示意圖

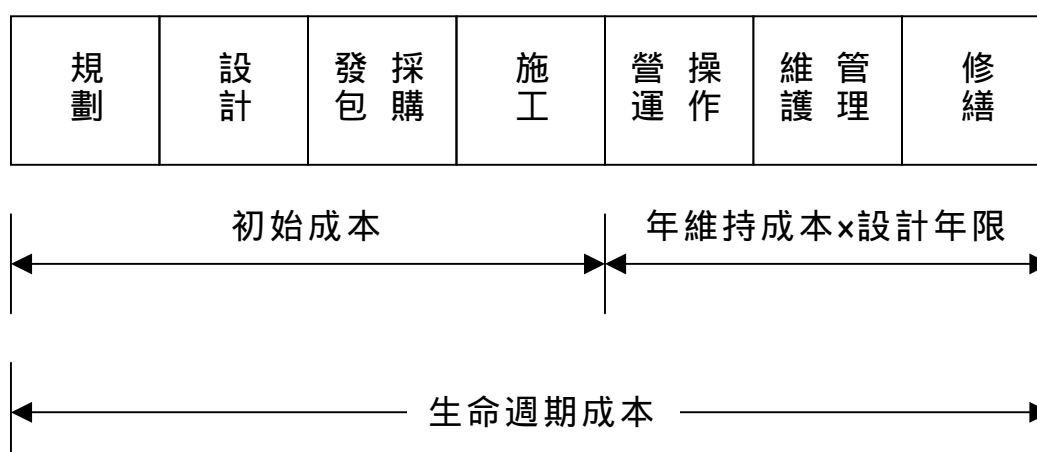


圖 1.2 生命週期成本示意圖

1.3 研究範圍

隨著鐵公路等各種運輸系統之擴張，橋梁長度與數目與日俱增，近年來，無論公路、鐵路、捷運、市區道路逐漸有高架立體化之趨勢。一方面，由於交通上之需求，另一方面，由於土地取得與土方作業之困難，高架橋梁已成為各種交通運輸系統之主流。國道一號高速公路橋梁工程總長度佔所有比例之 9%，而第二高速公路橋梁工程比例已逾 45%，興建中之南北高速鐵路預估橋梁佔有比例更高達七成。

本研究之主旨在於探討橋結構梁之各種損壞模式，根據台中縣橋梁普查及目視檢測工作期末報告書【4】之調查資料，台中縣境內由台中縣政府及該縣內鄉鎮市公所管轄之主要橋梁，總計橋梁面積達 22.92 萬平方公尺。目前在台中縣轄區內之道路橋梁可分為國道、省道、縣道、鄉鎮市道路及地區性道路，其中除屬高公局、鐵路局及公路總局負責維修養護之道路外，其餘均屬台中縣負責之橋梁。計畫之工作內容為調查、蒐集與建立橋梁基本資料，辦理橋梁一般檢測評估工作。因此，本研究將引用作為研究資料。

1.4 研究方法

本研究在進行橋梁檢測資料蒐集之研究時，同時將國內外橋梁安全管理資料進行重整，依據資料分析之結果探討橋梁生命週期中之嚴重損壞因素。本研究所應用之方法如下：

1.文獻探討法

對國內外橋梁結構損壞模式、橋梁生命週期與橋梁安全管理之相關文獻、期刊論文、研究報告及迴歸分析法之應用等文獻，均加以蒐集、整理。

2.羅吉斯特迴歸法

迴歸分析法係建立於變數間之因果關係上，將一個或多個自變數與因數關聯起來，利用一組自變數的函數關係來解釋因變數，本研究將運用羅吉斯特迴歸法分析橋梁損壞與否與橋梁基本資料之相關性，歸類影響橋梁損壞模式之因素，從而研擬適當之修護方法。



1.5 研究流程

本研究之流程圖如圖 1.3 所示。

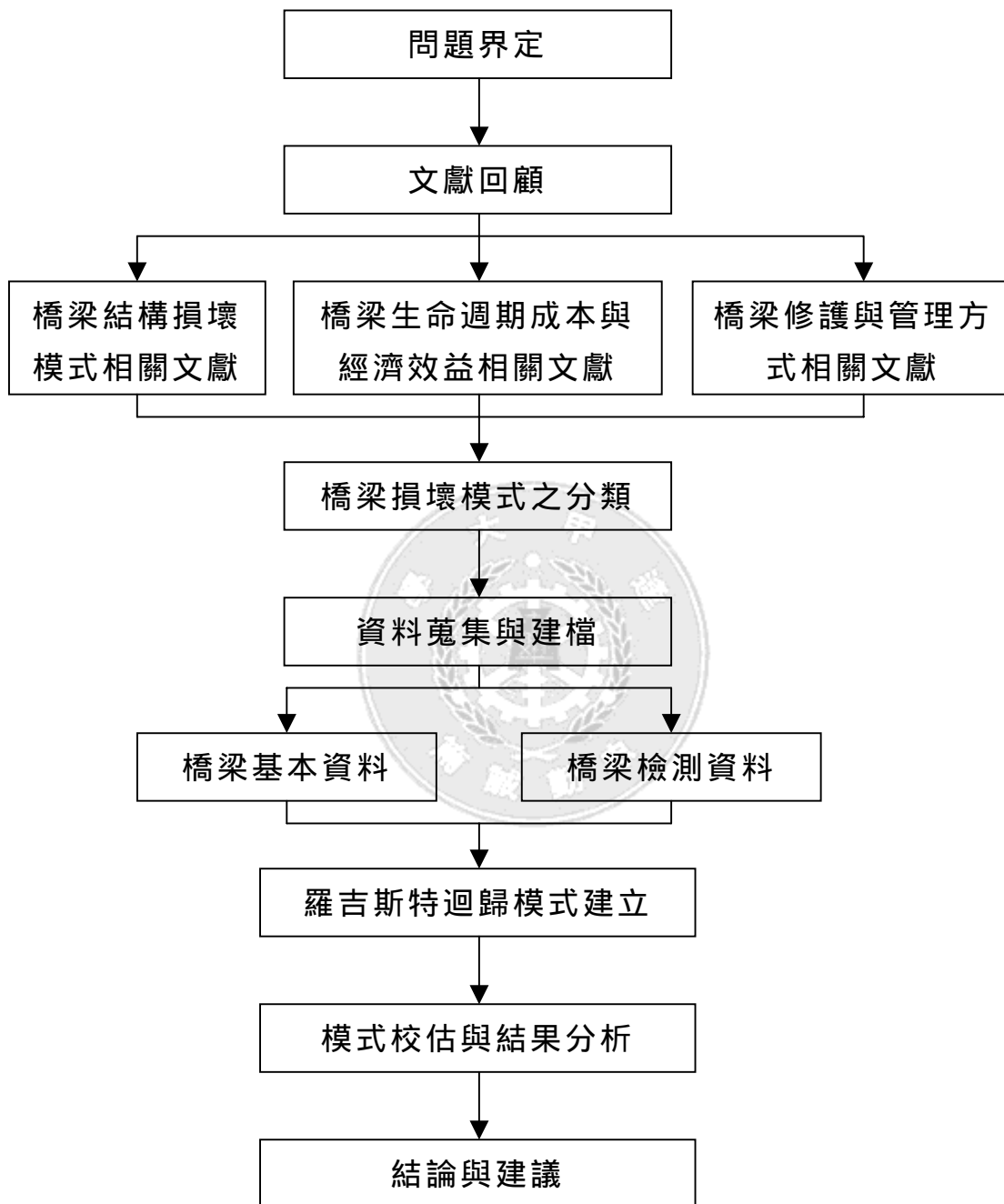


圖 1.3 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 前言

本研究主要採用橋梁檢測資料探討常見之橋梁結構損壞情形，利用統計分析之方法找出橋梁損壞因素與其管理資料、幾何資料、結構資料及設計資料之相關性。因此，首先回顧橋梁結構損壞模式之文獻，藉由以往之研究報告作為本研究內容之參考與調整；其次，回顧生命週期成本之文獻，期望能於本研究中建立良好之橋梁生命週期觀念；最後，回顧橋梁修護與管理方式之文獻，了解現今國內外橋梁修護及管理系統之發展狀況，作為本研究之後續內容參考。

2.2 橋梁結構損壞模式相關文獻

屈文俊、車惠民（民國 84 年）之「既有鐵路混凝土橋梁的病害分析」【13】中指出橋梁的病害概括起來有四個方面：

1. 混凝土裂縫：包括垂直裂縫、斜裂縫、水平裂縫（或稱縱向裂縫）和支座處混凝土的局部開裂。
2. 混凝土腐蝕：包括混凝土的氣相腐蝕和液相腐蝕。
3. 鋼筋的腐蝕。
4. 荷載的損傷累積（包括超載營運）。

第 1、2 項屬於混凝土的劣化損傷，其成因雖然十分複雜，但是基本上可分為物理和化學兩方面的原因，如圖 2.1 及 2.2 所示，第 3 項屬於鋼筋劣化損傷，其成因為化學和電化學腐蝕，第 4 項則屬疲勞損傷。

此外，本研究所使用之台中縣橋梁普查及目式檢測工作資料中，橋梁大多數為混凝土橋梁，混凝土橋梁結構包含傳統之鋼筋混凝土結構與預力混凝土結構，其一般 RC 與 PC 橋梁產生缺陷與破壞原因如表 2.1 所示【20】。

林呈（民國 87 年）之「本省西部重要河川橋梁橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立」【11】中提出受損橋梁之分級定義，

共分為五等級，如表 2.2 所示。

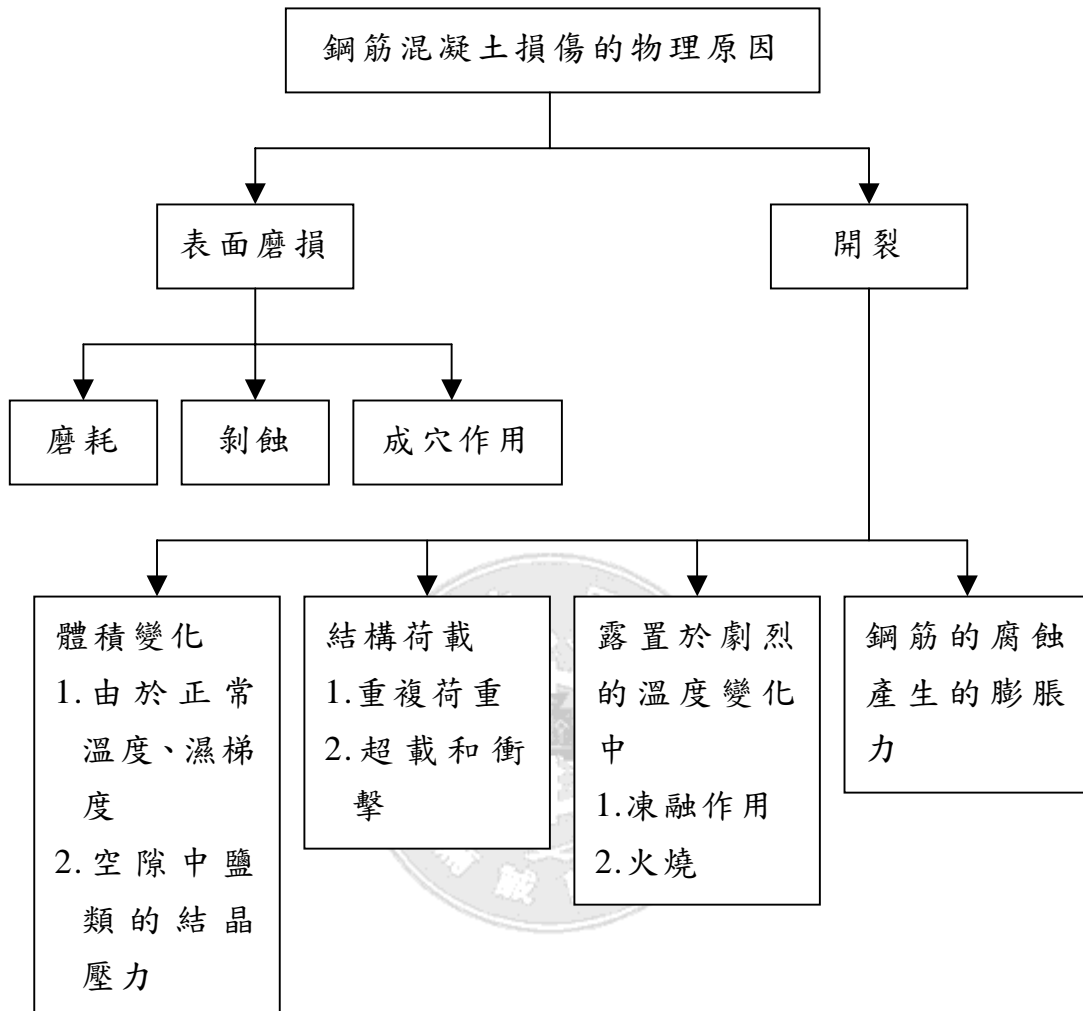


圖 2.1 混凝土損壞的物理原理

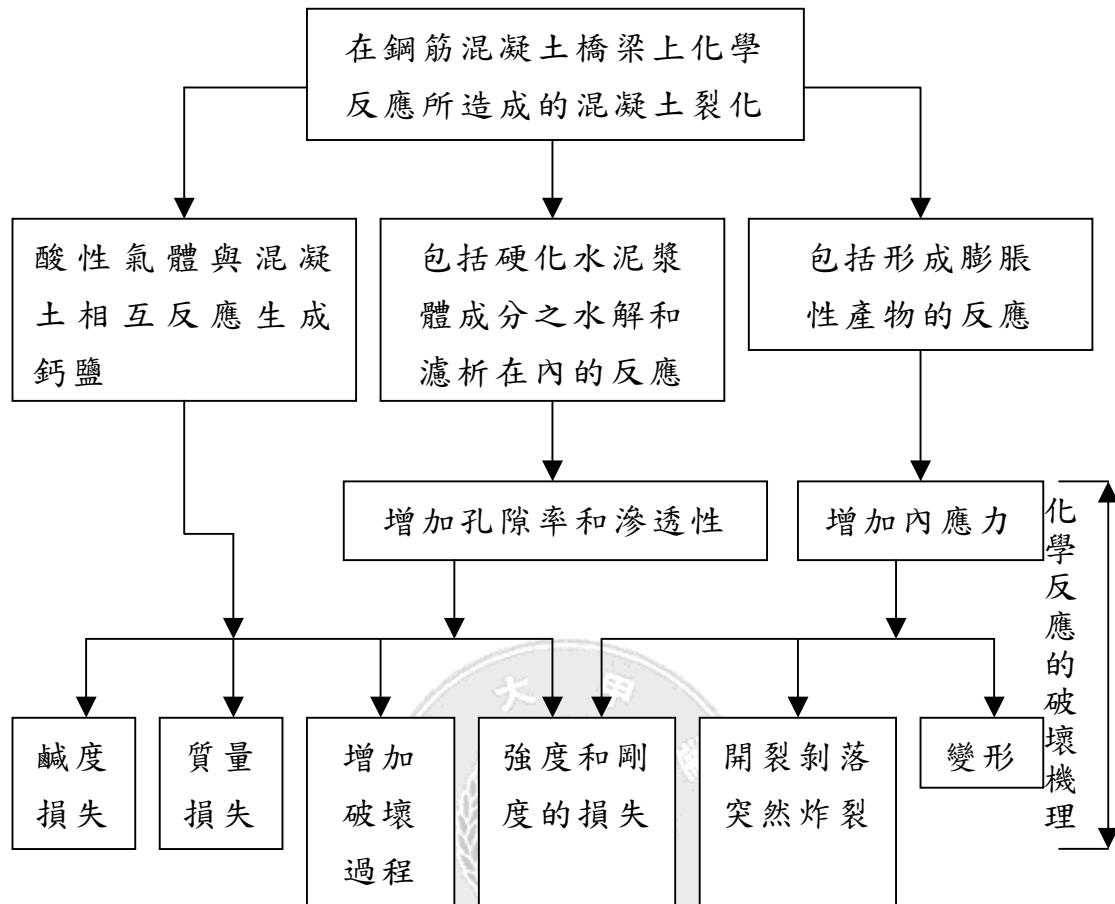


圖 2.2 造成混凝土損壞的化學反應

表 2.1 RC 與 PC 橋梁產生缺陷與破壞之原因

| RC 與 PC 橋梁產生缺陷與破壞之原因 | | |
|----------------------|---------|--|
| 規劃與設計不當 | 結構佈置不合理 | 1.結構型式，跨徑規劃不當 2.斷面型式、形狀尺寸不合力學要求 |
| | 計算偏差 | 1.設計規範、標準與條件誤用 2.簡化計算過程 3.應力分析錯誤 4.計算錯誤、漏算無人檢核 5.結構模擬有誤 |
| | 設計圖說不全 | 1.鋼筋、鋼棒或鋼腱佈置不合理 2.抄圖未經檢查 3.施工說明書不全 4.設計圖無法照著施工，必須變更設計 5.結構細部設計不佳，或欠缺細部詳圖 |
| 施工品質 | 材質不佳 | 1.混凝土品質不佳 2.鋼筋、鋼腱材質不佳 3.使用品質不合之材料 4.使用較便宜之替代品 5.材料未經檢驗，儲放不當 |
| | 品管不佳 | 1.施工方法，程序有誤 2.施工人員技術不夠成熟 3.臨時工程（如裝模、鷹架、拆模）不當 4.營建管理不當 |
| 外在原因 | 交通因素 | 交通量增加、車輛超載 |
| | 天然因素 | 地震、洪水、颱風、凍脹、暴雨 |
| | 人為因素 | 蓄意破壞 |
| | 環境衝擊 | 受附近工程（如水利工程）影響 |
| | 化學作用 | 海水侵蝕、污水腐化 |

註：RC＝鋼筋混凝土，PC＝預力混凝土

資料來源：【20】

表 2.2 橋梁受損分級表

| 受損等級 | 定義 |
|-------|---|
| 極嚴重 | <p>橋梁發生崩塌、重大變形或損傷顯著，而導致結構物功能降低。受損橋梁經檢查有下列之情形，為避免影響通行安全，建議完全禁止通行，待補強、補修完成或拆除重建後，再行開放通行。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.橋梁有落橋、崩塌情形 2.橋梁結構有顯著傾斜、沉陷、位移情形。 3.橋台或橋墩擴展基礎（或沉箱）已被洪水掏空大半。 4.橋台或橋墩樁基礎遭流木或土石流衝斷，有造成橋梁失去穩定、危及通行安全之虞。 |
| 潛在極嚴重 | 損害情形界於極嚴重與嚴重間者。 |
| 嚴重 | <p>橋梁損傷顯著，且有持續擴大之跡象，其功能可能有降低之虞。受損橋梁經檢查有下列情形，為避免影響行車安全，建議需封閉部分車道、車速、車流量，待損壞部分補強、補修後，再解除管制；如因考量交通需要，而未予管制，但應隨時注意橋梁狀況，並儘速完成補強、修補。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.橋台或橋墩擴展基礎已被洪水冲刷外露。 2.橋台或橋墩擴展基礎（或沉箱）被洪水冲刷裸露深度超過設計容許範圍。 3.橋台或橋墩樁基礎被流木或土石流衝斷，但未立即危害通行安全。 4.橋台或橋墩樁基礎被流木或土石流衝斷造成損壞，但未即危害通行安全。 5.上部結構主構件（主梁）以腐蝕剝落或發生超過原設計容許之結構裂縫。 6.橋面板混凝土產生格網狀裂縫，且出現白華及銹水或保護層剝落。 |

| | |
|------|----------------------------------|
| 潛在嚴重 | 損壞情形界於嚴重與輕微間者。 |
| 輕微 | 橋梁雖有受損，尚不致影響通行安全，可不須管制，但應儘速予以修復。 |

吳東昇（民國 88 年）之「混凝土橋梁結構損傷模式之研究」【8】中之主要目的是將混凝土橋梁結構之損壞模式作系統化之研究與整理，特別是隨著交通流量之增加、重型車輛之增多，使損傷現象更趨嚴重。

認為橋梁結構物在長期營運過程中受到多種因素之影響，不可避免地會產生某些損傷，因而影響到結構之正常使用條件，嚴重者甚至引起交通事故及縮短結構之使用年限。因此，為了要即時發現橋梁結構之病害與缺陷，就必須對橋梁進行檢測，保證橋梁能夠正常使用，並且作為橋梁結構進行維修加固之重要依據。無正規之檢測就不可能有合理與正確之維修。病害發現得越早，維修工作量就越少；發現得越晚，維修工作量就越多。檢查不及時或不充份就無法確實掌握橋梁病害。

黃科銘（民國 89 年）之「鋼筋混凝土結構物破壞原因與模式之研究探討」【32】就國內、外房屋及橋梁結構構件破壞相關文獻及研究成果進行了解，並以鋼筋混凝土結構構件破壞基本理論進行分析，其中針對 921 集集大地震所造成之橋梁結構損壞模式進行分析，分為基礎損壞、橋台（含翼牆結構損壞）、橋墩結構損壞、上部結構損壞、支承破壞損壞五大項，如表 2.3 所示。

表 2.3 橋梁結構損壞分類表

| 橋梁結構 損壞部位 | 損壞情形 |
|-------------------|--|
| 基礎損壞 | <ol style="list-style-type: none"> 1.獨立基腳：當基礎下土壤其接觸應力大於原設計所採用之承載力時，將因土壤承載力不足而造成傾斜。 2.樁基礎：當樁基礎承受由上部結構傳遞下來的荷重超過原來設計時使樁基礎無法負荷而局部沉陷。 3.沉箱基礎。 <p>某修情況下，承載基礎之土層亦可能因地震而產生液化（Liquefaction）、沉陷（Settlement）、側向位移（Lateral Deformation）及斷層錯動，致使橋墩或橋台產生相對之位移、傾斜或旋轉，因而造成橋梁上部結構及支承損害，甚至產生落橋而嚴重威脅橋梁安全。</p> |
| 橋台、翼 牆結構損 傷 | <p>橋台與翼牆後方填土之土提路段可能因為地震力而造成橋台受擠壓，使橋台與翼牆結構受損，嚴重者造成斷橋，次嚴重者則造成橋梁與道路接續處有明顯高差。</p> |
| 橋墩結構 損傷 | <ol style="list-style-type: none"> 1.由於斷層經過造成地層錯動或由於土質液化使橋墩喪失側向或垂直支承力而導致墩柱傾斜、傾倒或相對位移。 2.橋墩遭受撓剪破壞與剪切破壞，致使混凝土掉落，橋墩主筋外露，箍筋斷裂。 3.墩柱頂部、墩柱底部受壓破壞，混凝土因握裹失敗而脫落。當橋柱上下端之接頭設計不夠保守，將造成接頭破壞。 4.橋墩撓曲破壞時，在受壓處可能造成混凝土碎裂，或受拉處之鋼筋可能受拉而斷裂。 5.橋墩塑鉸區剪力破壞，通常是因為欲形成塑性鉸處之抗剪能力不足，導致在塑性鉸形成之前即因剪力破壞而導致該處鋼筋爆開。 6.墩底錨錠破壞，此類破壞通常發生於橋墩底部與基礎剛接之處。 7.橋墩結構細部設計不當或施工瑕疵所造成之損壞，通常是 |

| | |
|------------------|--|
| | <p>由於鋼筋之搭接長度不足、接續不當、施工縫留設不當所造成。</p> <p>8.橋墩短柱破壞，此乃由於墩柱之有效長度太短，造成柱端之剪切破壞。</p> <p>9.橋墩頂部與上部結構接續部位之損壞。當帽梁勁度小於柱的抗彎勁度時，緊接柱身連接處之帽梁將可能破壞。</p> |
| 上部結構損壞 | <p>1.斷橋、落梁。</p> <p>2.上部結構之縱向推擠。</p> <p>3.上部結構之側向撞擊、移位。</p> <p>4.橫隔梁、端隔梁之受損破裂。</p> <p>5.橋面伸縮縫之擠壓、開裂。</p> |
| 支承（含防落裝置、支承墊座）破壞 | <p>1.支承本身裝置損壞，例如鋼支承斷裂，螺栓鬆脫或合成橡膠支承墊損毀。</p> <p>2.支承傾斜、滑動或移位。</p> <p>3.支承墊被壓碎或裂損。</p> <p>4.相關防震設施毀損，例如隔減震之阻尼損傷。</p> |

2.3 橋梁生命週期成本與經濟效益相關文獻

姚乃嘉(民國 86 年)之「以生命週期為導向之橋梁管理系統」【16】中將橋梁生命週期分為四個階段：規劃(Planning)、設計(Design)、施工(Construction)、維護(Maintenance)，簡稱為 P-D-C-M 週期。認為橋梁之整體生命週期於規劃、設計階段，除研究施工之工期成本與經濟可行性之外，亦必須考量未來維護之方式及維護成本，才能符合最最低之生命週期成本之目標，達到真正經濟效益之效益。

就橋梁主管機關而言，於各階段均必須進行管理工作，從擬定橋梁興建計畫開始，在生命週期之四個階段，即需投入人力、物力進行管理，方能達到橋梁應該提供之服務水準與結構功能安全性之目標。傳統上僅著重維護階段之工作進行管理，實應稱為「橋梁維護管理系統」(Bridge Maintenance Management System, BMMS)，實際之「生命週期導向橋梁管理系統」(Life-Cycle Based Bridge Management System, LCB-BMS)之運作涵蓋整個橋梁之生命週期，可由目前被動式之橋梁

維護方式，轉換成主動式與互饋式之型式，在各階段可獲得許多前置階段所傳遞之資訊，進而建立有效之管理策略，加強特定範圍之管理，以減少人力、物力、成本之花費，並可作為下一座橋梁生命週期中規劃、設計、施工之參考。

現有橋梁的經濟評估及荷重評估是一個比較複雜的問題，目前都是由具有豐富工程經驗技術人員來完成，缺乏必要的理論基礎，然而，如何評定既有橋梁的經濟使用年限、承載能力、損傷程度、耐久性以及可靠性等問題將會是關鍵所在，合理的解決辦法應該是對橋梁的營運狀況、損傷程度、承載潛力及剩餘壽命等問題有一個正確的評估為基準再採取相對應的政策。梁明德等（民國 88 年）之「既有鋼筋混凝土橋梁的維修及經濟使用年限預測」【27】中認為通常比較經濟合理的辦法是評估現有橋梁的承載潛力，對不合格的橋梁採用維修補強使之承載等級提高，以滿足現代交通的要求。

其研究之主要目的是預測現有橋梁的經濟使用年限，從年淨利率分析著手，綜合考慮了維修成本，延續時間內結構失效經濟風險，正常維護費用，營運效益，重建橋梁之間的關係，建立一個年淨利率的分析模式，以最佳化分析為基礎，建議橋梁結構的維修、拆除判別標準，提出了橋梁經濟使用年限的最佳化方法。

2.4 橋梁修護與管理方式相關文獻

黃文光（民國 83 年）之「橋梁管理系統之研究」【33】對於橋梁管理系統之發展，建議採用漸進模式分為六個階段辦理：


1. 建立橋梁資料庫，並撰寫電腦程式。
2. 選定個案橋梁，模擬其管理系統。
3. 藉由模擬系統的操作，逐步修正並擴充系統功能。
4. 建立計畫決策支援系統。
5. 建立整體決策支援系統。
6. 建立工程支援系統。

蘇倫民（民國 84 年）之「鋼鐵橋梁檢測與修護方法選擇之研究」

【38】中將研究問題分為三部份：鋼橋損壞之檢測與鋼橋損壞現象歸納、影響維修方法選擇因素、建立維護方法選擇層級架構，主要探討鋼橋上部結構之檢測與修護方法之選擇，利用歸納分析及研究中加入之影響修復方法選擇因素，構建修復方法評選模式，並以 AHP 求出各準則之權重，包括四個標的：非使用者觀點、使用者觀點、修護特性、工程經濟，再利用「質化與量化多評估準則」求出最佳方案。

此外，研究中認為鋼橋修復方法必須選擇考慮之因素有：修護後之強度、修護後之韌性、修護耐久性、修護成本、美觀程度、周邊衝擊程度、交通維持、修護延時、橋梁剩餘壽命、桿件重要性、最大容許應變等，其中桿件重要性及最大容許應變並未納入評估準則。

黃宣菁（民國 86 年）之「台灣地區公路橋梁管理系統架構之研究」【31】認為本土化橋梁管理系統之架構，應包括以下模組：

- 
- 1.基本資料模組。
 - 2.統計分析模組。
 - 3.檢測資料模組。
 - 4.維修成本估算模組。
 - 5.橋梁狀況排序模組。
 - 6.維修記錄模組。

對於非破壞性檢測所得到之結果，林永信（民國 87 年）之「含非破壞性檢測模組之橋梁管理系統」【12】中套用於高公局與公路總局所採用之 D.E.R.&U.目視檢測方法之評分標準，並建立相關數學評估模式與指標，提出目視檢測與非破壞性檢測共同評估指標。於 SGI 與 UNIX 環境下，以物件導向分析方法，實作一套架構於網際網路之橋梁管理系統，提供使用者於網路上直接更新資料等功能，並可依據不同指標進行排序。

李有豐等（民國 88 年）之「台灣地區橋梁管理系統整合規劃之研究」【5】利用發展各層級橋梁管理系統之觀點，提出系統規劃策略與建構體系，除中央主管機關外，橋梁管理機關可分為地區行政機關

與專責機關兩類，均應建立所管轄橋梁之資料庫，及建立自屬管理體系之橋梁管理系統，中央站在監督與統籌管理的立場，應制定所需之資料種類、項目與規格，以及資料彙整的方法、制度，進而彙整各單位所建立之橋梁資料統一運籌管理。

此外，此研究亦提出各層級橋梁管理系統之主要發展資訊內容與網路架構建置方案，將各級橋梁管理機關依性質簡化分為三類，指出各層級單位之資料庫系統應具有之主要資料項目、及資料建立方式與主要之應用功能，提供作為各層級資料庫系統開發的參考。各層級間資料之交換與彙整方式及軟體界面研究中建議可採取所敘述的資料存取程序指令（Store Procedure）來處理，未來當「可延伸性指標語言」（XML）與新瀏覽器之整體技術成熟時，則所有不同格式之文件資料皆可應用程式中自動傳輸、處理及儲存，資訊的搜尋亦變得精確快速，不同系統間也可以 XML 標準互通。

楊熾宗（民國 88 年）之「公路橋梁維護管理決策模式之研究-以中山高速公路為例」【34】中應用個案研究、統計分析之研究方法，針對高速公路橋梁維護管理程序及歷年經費支出資料彙整進行討論，將維護工作分為日常維護、修理、修復、置換、拓寬、重建六大項，依據不同之成本來源與成本組成，建構各項維護成本模式，並就技術面、經濟面、管理面指出橋梁維護管理決策之考量因素。

此研究最後將橋梁維護管理決策分為四個階段，並以四種決策模式來表示（參見表 2.4）。

表 2.4 橋梁維護管理決策模式

| 決策模式 | 決策內容 |
|------|------------------------------------|
| 預測模組 | 橋梁檢測所得之評估值作為單橋維修之決策，並可作為年度維修預算之參考。 |
| 整合模組 | 以橋梁維修評估值的應用所組成之決策，不考慮維修經費的問題。 |

| | |
|------|---|
| 優選模組 | 結合成本模組及整合模組，在預算有限之情況下，依據各維修項目的成本分析及判斷，以取得合理的經費分費。 |
| 比較模組 | 此階段為最高之決策判斷，以整體之經濟性、長期之規劃來考量，以尋求維護工作的最佳時機。 |

賴鈺蓀（民國 89 年）之「系統性橋梁維修評選之研究」【37】中針對橋梁生命週期中維修管理階段，建立一整合性評選架構，包含「劣化預測」、「決策者效益」、「用路人效益」、以及「最佳化優選」四個階段性工作以完成橋梁之維修優選決策，如表 2.5 所示。

表 2.5 橋梁維修評選決策架構

| | |
|-------|--|
| 劣化預測 | 關於維修橋梁的評選，除了依據檢測結果評估橋梁執行維修工作所立即呈現的效益外，亦應針對未來同時產生的效益加以評估，研究中利用馬可夫理論對橋梁進行劣化預測，其核心概念在於可將長期的歷史資料轉化為機率型態，進而對構建為來狀態作出預測。 |
| 決策者效益 | 主要以橋梁執行維修工作與否產生之成本節省值為準則，第一項成本來自於橋梁依據檢測結果所需進行維修工作的直接成本，第二項成本則為效益期結束後回復至預期恢復等級所有可能需付出之成本。 |
| 用路人效益 | 用路人成本分別由：意外事故、車輛運行、及旅行時間成本三大項計算之，主要評估效益期內由於執行維修工作與否，而造成橋梁等級之變化所產生之總成本。 |
| 最佳化優選 | 考慮效益、預算以及橋梁相關性構建零壹整數規劃模式，求解決策其中需進行維修之橋梁組合，對於選優模式之求解，利用效益排序為起始解，在配合新式啟發式演算法結合求解策略進行改善搜尋，可獲得較佳之求解效果與效率。 |

李有豐等（民國 91 年）之「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究」【6】針對國內現行公路與道路橋梁檢測制度方法與準則進行檢討，參考國外相關法規與經驗，探討實際施作上所面臨的問題。國內目前訂有橋梁檢測相關規定之單位對於檢測頻率、檢測種類、檢測人員限制、檢測方式及檢測項目之規定也都不盡相同，此研究之主要目的除了研擬一套可供國內各管理單位使用的檢測方法與建立檢測人員培訓制度外，亦參訪國內橋梁檢測專家進行調查，研究出適當之橋梁檢測頻率。

此研究使用戴爾菲層級分析法（DAHP）進行分析，研究結果顯示如下所示：

- 1.關於橋梁構件權重方面：原有相關權重係為高速公路局經集合該局有關橋樑檢測人員採用「專家準則」所得權重，而新的權重值發覺橋梁構件重要性權重幾乎都落在下部結構中，而上部結構與一般附屬設施的配分相對較低。
- 2.關於橋梁檢測頻率方面，經由問卷結果訂定出「橋梁現況安全評估表」各項目之配分，屆時橋梁檢測人員可選定該橋梁相關項目之權重，將風險配分乘以該權重值後加總可得該橋梁之安全頻估值。

第三章 橋梁損壞機制之探討

3.1 台灣地區橋梁現況之探討

臺灣地區常見之橋梁型式多屬混凝土橋梁，近年來由於鋼結構之普遍應用，鋼橋已逐漸被使用。相較於橋梁形式之單純，台灣地區橋梁督導機關則剖為複雜（參見表 3.1），上至中央一級機關之農委會，下分佈至各縣市政府。

鐵路方面，目前鐵路分為國營、民營及專用鐵路。國營鐵路是由交通部臺灣鐵路管理局負責管理維護；民營鐵路為採 BOT 興建之台灣高速鐵路，在特許營運階段屬於民營鐵路，是由台灣高鐵公司負責興建、營運及維護；專用鐵路方面，行政院農委會林務局以及台灣糖業公司均有其管理維護之鐵路，其間亦包含鐵路橋梁。

道路方面，目前之道路分類，分為國道、省道、縣道、鄉道、市區道路、產業道路以及專用道路。國道之養護是由交通部台灣地區國道高速公路局（簡稱高公局）負責，與交通部台灣區國道新建工程局（簡稱國工局）對橋梁之掌管業務並不相同。國工局之工作使命為辦理台灣地區整體國道路網之規劃、設計、用地徵收、工程發包與施工管理，俟高速公路興建完成後，橋梁維護管理之任務便由高公局接手。省道之養護是由交通部公路總局負責；縣道方面依公路法是由各縣（市）政府負責養護，但目前是由交通部公路總局代管；鄉道為各縣市政府與鄉鎮市公所自行分配路線管理。

市區道路方面與前面各級道路不同的是，國道到鄉道其中央主管機關為交通部，而市區道路其中央主管機關為內政部營建署，市區道路之養護是由各直轄市及省轄市政府負責；產業道路之中央主管機關為行政院農委會，負責養護機關為各縣市政府與鄉鎮市公所自行分配；專用道路為各使用機關自行養護，此處僅提出有管理橋梁之單位，台中港務局及高雄港務局均有自建自管之港區內橋梁，民航局亦有機場聯絡道路及橋梁，行政院農委會林務局在各林區內有若干橋梁，另外，墾丁國家公園以及陽明山國家公園內也有橋梁是歸國家公園管理處管理。

參考臺灣地區橋梁發展歷程相關資料【9，15，19，21，28】，由

規劃層面、設計層面、發包層面、施工層面、維護層面分述台灣地區橋梁現況。

表 3.1 目前台灣橋梁主管機關及管理層級體系

| 運輸系統 | | | 督導機關 | | 管理機關 |
|------|-------|------|--------|-----------------|----------------------------|
| | | | 中央部會 | 專責機關/ 地區行政機關 | |
| 鐵路 | 高鐵 | | 交通部 | 高鐵局 | 台灣高鐵公司 |
| | 台鐵 | | 交通部 | 鐵路局 | 鐵路局-工程處-工務段 |
| | 專用鐵路 | | 行政院農委會 | 林務局 | 林務局-各林區管理處 |
| | | | 經濟部 | 台灣糖業公司 | 台灣糖業公司 |
| 道路 | 公路系統 | 國道 | 交通部 | 高公局 | 高公局-工程處-工務段 國工局-工程處-工務段 |
| | | 省道 | 交通部 | 公路總局 | 公路總局-工程處-工務段 |
| | | 縣道 | 交通部 | 縣（市）政府 | 現由公路總局代管 公路總局-工程處-工務段 |
| | | 鄉道 | 交通部 | 縣（市）政府 | 縣（市）政府-工務局-鄉鎮市公所（建設課、工務課） |
| | 非公路系統 | 市區道路 | 內政部營建署 | 直轄市政府 | 直轄市政府-工務局-養工處-工務科 |
| | | | | 省轄市政府 | 省轄市政府-工務局/建設局-養護課 |
| | | 產業道路 | 行政院農委會 | 縣（市）政府 | 縣（市）政府-工務局-鄉鎮市公所（建設課、工務課） |

| | | | | | |
|--|--|------|------------|-------------|----------------------|
| | | 專用道路 | 交通部 | 台中港務局 | 台中港務局-工務組 |
| | | | 行政院 農委會 | 林務局 | 林務局-各林區管理處 |
| | | | 內政部 營建署 | 墾丁國家公園 | 墾丁國家公園管理處-工務 建設課 |
| | | | | 陽明山國家公 園 | 陽明山國家公園管理處-工 務建設課 |

資料來源：【7、21、29】

3.1.1 規劃層面

公路橋梁從無到有之第一個階段便是規劃。在天然和社會條件的限制下，規劃是在尋找如何興建這座橋梁之最好答案，沒有規劃就沒有最理想、最經濟、最安全及最小維護費之公路橋梁。惟在實際作業上有時礙於政治、行政、用地取得、環境影響及土地用途之規定及經費之限制等，現今在橋梁規劃程序上仍無法全部考量，導致於時常發生關鍵之爭議。

1.橋型選定

須考量地理環境與景觀美學，使橋梁整體外觀不致過於呆版。

2.經濟分析

由於不同造型之橋梁其造價相去甚遠，但橋梁只是公路路線之一部份，因此經濟分析應是從整條路線上考量，絕非考慮到個別橋梁而已。例如選線與縱坡處理上，有時便可省下可觀之土方工程費。一座橋梁之經濟分析除了必須考慮施工費用外，尚須考慮日後之維修費用，雖然鋼橋之建造成本相較一般混凝土橋梁為高，然因其具有上部結構輕便、跨距長等之優點，現今重大之橋梁建設以逐步採用。

3.與區域發展計畫之配合

個案之規劃常未能顧及區域發展計畫，與現有或已定案之

其他工程計畫常不能完全配合。

4.國內施工技術與能力

基本上，藉由「技術轉移」以吸收先進國家之工程技術之政策乃是無庸置疑，問題是要如何落實？理論上應有一個明定之政策與方向，界定那些技術是我國最需要之技術，並且訂定一個嚴謹的技術轉移程序，以自行研發與改良能力的養成為最高目標。至於執行「技術轉移之單位」，或可交給較有成本觀念之民營或學術研究單位，再加上由政府制定的完善監督執行系統，方可真正落實「技術轉移」的目標。

5.規劃、設計與施工時間之合理分配

目前台灣地區之橋梁工程規劃常不受應有之重視，將規劃先期作業（例如沿線地質鑽探、環境影響評估、地權取得、交通流量與動線分析、河流水文資料、地下與地上管理調查等）忽略或減免，以致於在施工時必須遷就事實，因而變更設計，延誤工期，影響施工品質。

- 6.規劃費用過低，且因受會計年度預算之影響，常無法做長期規劃，以致匆促規劃，不盡理想，使後續之設計及施工發生困難。
- 7.在許多橋梁之完工報告中，有關設計方法與施工經過所述甚詳，但是規劃背景則輕描淡寫，可見國內在興建橋梁時，對於規劃部份，沒有給予應有之重視。
- 8.在現今民意高漲、公權力未能伸張之情況下，用地取得非常困難，即使經再三與地主協調，最後結果常以改線或退而求其次，採用未盡理想之路線，使公路幾何設計之安全考量失去原意。
- 9.在政府行政之因素與地方派系之堅持下，採取未盡理想之交通網路規劃能時有所聞。
- 10.因環保單位之堅持及觀光旅遊管理單位以維護自然生態為高度要求，堅持禁止開闢新路，導致公路主觀單位須採用不合理又耗費之道路規劃。

3.1.2 設計層面

目前台灣之橋梁工程顧問公司所採用之設計規範大部份源自美

國與日本，少部份來自其他工業國家。目前現行為交通部頒布之「公路橋梁設計規範」係以 AASHTO 1977 年版為藍本，參照 AASHTO 1983 版，並仿造日本與台灣之實際情況修訂之，惟 AASHTO 於 1983 年頒佈第 14 版，1992、1996 年頒佈第 15、16 版，台灣現行之設計規範其內容已很久尚未更新，應當加緊與實際情況配合而修訂。

1. 所引用之設計規範多由外國之規範翻譯而來【1，44】，未能真正將國內之區域特性列入考量（例如腐蝕、溫溼度之影響與施工人員素質等）。橋梁設計規範為一個國家橋梁科技進步之指標，其中亦隱含過去老舊設計內容的更新。西方國家科技比我國科技較為進步，取國外之規範加以翻譯整合本為無可厚非之舉，但必須考量國內之本土因素，從長計議，建立一套屬於我們自己的橋梁設計規範。
2. 設計觀念過於保守、外型流於呆板（無審美觀），而顧問公司由於趕工（有些情況可能是業主的要求所造成）所致之抄圖習性甚為嚴重。橋梁設計除考慮結構安全、經濟之外，更應注重景觀之配合設計。目前國內少有注重景觀之橋梁設計，一般作法均是在相關規劃、設計接近完成階段，才藉由景觀設計如植栽綠化或結構體外觀曲線美化等之介入，作消極性的補救措施，對降低環境衝擊影響助益十分有限。正確的作法應是在規劃設計之同時，即由景觀設計師研擬配合改善方案，妥善安排結構體的空間關係，以較自然及人性的觀點著重視覺美感，降低工程對環境衝擊的影響。
3. 結構型式過於簡單，常為簡支、跨度小之結構，橋墩多，妨礙河水流暢。例如預力混凝土簡支梁為大部份業主所採用。
4. 尚無專業技師簽證制度。由於橋梁工程是結構工程之一支，其專業屬性較高，故應落實專業技師簽證制度，以確保橋梁安全。
5. 設計服務費用偏低（有些工程設計費甚至未達總工程費之 1%）及設計期限過短，導致工程師無法專心設計或引用新觀念。工程顧問公司以營利為目的，其設計之品質與設計人員多寡與素質有直接之關係，在要求品質之同時，應考慮使其有合理之利潤可圖。

- 6.目前國內大部份之橋梁均委託顧問公司設計，其素質參差不齊（最近數年顧問公司數目急速成長，且人員集中在數家規模較大之顧問公司），而國內尚無審查委員會之設置，造成橋梁安全問題之隱憂。

3.1.3 發包層面

目前國內之橋梁工程發包制度大多仍採低價標，常導致工程偷工減料與中途流標，延誤工程進度。營造商以營利為目的，因其已經以最低價得標，為求整體施工過程之獲利，難免會偷工減料。工程實務上，施工不良是危害橋梁安全的最重要因素之一，而施工品質與發包制度又有密不可分的關係。最低標與合理標應有一個具體可行之平衡點，最低標如低於合理之價碼甚多，則工程本身便毫無品質可言。台灣省公路局（公路總局前身）曾嘗試採合理標，但施行效果不彰，造成此現象之原因與台灣地區之營造業特殊環境（例如借牌投標現象嚴重）有關。

3.1.4 施工層面

以目前國內大多數之營造商而言，絕大部分仍無營建管理之理念，此與政府策略與營造商之規模及工程管理素養有關。營建工作相當複雜，包括工期、材料、人力、工地安全以及經濟等問題。若沒有良好之管理制度，則問題叢生，不僅延誤工期、增加施工成本，也會降低工程品質。其他有關模板鷹架使用不當等問題，不僅會導致不幸事件發生，造成生命財產之損失，也會使得主體工程受到傷害，影響橋梁之功能，或減短其有效壽命。

以目前台灣地區之橋梁施工現況而言，交通部國道高速公路局、國道新建工程局、台灣省住都處與公路總局都有自己的一套施工說明書。而且以台灣地區幅員之狹小，公路工程施工標準時有統一之必要。未達此目的，或許可由中央主管機關主導，結合學術界與工程界人士將台灣地區公路工程施工說明徹底更新，因為唯有詳細之施工說明書方可使施工制度化、系統化與合理化。另一方面，由於橋梁工程只是公路工程施工之一部份，故為使整個公路之施工制度化，不宜只從橋

梁工程說明書著手。為正本清源之故，宜從大處著手，建立一套完整之公路工程施工說明書。

3.1.5 維護層面

根據研究【41】指出，一座橋梁要有令人滿意之服務水準，每年的維護費用為重建該橋梁所須費用的 $1/200$ ，且此平均費用有繼續增加之趨勢。完善之橋梁維護管理系統必須詳細規劃，建置完之橋梁檢測與維護管理之資料庫系統，加上人員、經費、設備之配合，方能達成。現階段橋梁維護層面所面臨之問題如下所示：

1. 維修工作常不被重視，人員經費經常不足，經費亦常被轉用。
根據交通部國道高速公路局於民國 82 年度之資料顯示，高公局每年之橋梁經常維修費為 6,000 萬元，佔年度工程費之 5.7%，約為年度總預算之 0.65% 左右。組織編制人員為 40 人。國道中山高速公路目前共有 378 座橋梁（未含台北縣市拓增部份）總長度為 37,237.54 公尺，亦即每年每公尺橋梁之維護費用為 1,611 元。以面積計算，全部橋面積為 906,095.8 平方公尺，則每平方公尺每年之維護費用只有新台幣 66 元。
2. 缺乏全國性之橋梁管理維護系統。橋梁維護規範、檢測制度、全國橋梁管理系統之建立，以及橋梁檢測人員之培養均是落實橋梁維護管理之必備工具。目前交通部頒定之「公路養護手冊」【2】中雖有橋梁養護與檢測之部份，但其主要根據為 1970 年美國 FHWA 之 Bridge Inspector's Training Manual（其最新版為 1991 年），仍未與先進國家同步。
3. 大部份國內橋梁於先建完成後，即未善加維護，其相關之資料（如設計圖、施工圖等）亦常因管理不當而無法獲得。各單位之橋梁資料仍以傳統方式保存，既佔空間又不易查詢。目前有些單位正在進行電腦化的工作，但仍缺全國統一的格式與標準，無法做資料整合之工作。
4. 民眾缺乏愛護橋梁之觀念，徒增管理上之困難，例如超載、超速、橋下燃燒物品、橋下搭建違建、盜採砂石等均直接對橋梁造成傷害。

- 5.車輛超載情形嚴重，是目前台灣地區各級道路管理單位的頭痛問題。橋梁管理法規之徹底執行與嚴格取締，是維護橋梁安全不可或缺之一環，對於直接傷害橋梁之超載更應有一套具體可行之處理方式。
- 6.工程顧問公司多偏好於新建工程。維護與檢測工作易牽涉到施工品質糾紛問題，故國內具半官方身分之大型顧問公司多半不願介入，影響相關工作能力之提昇。

3.2 混凝土結構常見之損傷種類

橋梁缺陷之發生通常不只一種，常為數種不同之缺陷同時產生，因其造成之原因不同而異，可分成三種屬性：安全性（safety）、耐久性（durability）、服務性（serviceability），「安全性」之考量應最優先考慮處理之；耐久性意指橋梁本身或有缺陷，其服務年限可能不如預期，但短期內仍不至於有交通安全之潛在威脅；服務性則意謂著橋梁本身之交通功能不彰或已無法應付所需。

不同之橋梁結構所產生的缺陷亦會不同，若以一般之鋼筋混凝土橋梁而言，其常見之缺陷甚多，撇開天災（地震、洪水…）與人為故意壞不談，由眾多之文獻與實例【8，20，23】，可以歸納混凝土結構物常見之損傷種類約略可歸納為下列二十種，如下所示：

- 1.劣化（Deterioration）
- 2.裂縫（Cracking）、裂痕或龜裂
- 3.鱗狀剝落（Scaling）
- 4.鋼筋鏽蝕（Rebar Rusting）
- 5.表皮髮裂（Crazing）
- 6.剝離（Spalling）
- 7.爆開（Popout）
- 8.窪坑或碎裂（Pitting）
- 9.蜂窩與氣囊（Honeycombing，Airbagging）
- 10.白華、析晶（Efflorescence）
- 11.層隙（Delamination）
- 12.孔蝕（Cavitation）

- 13.失色 (Discoloration)
- 14.脫皮 (Peeling)
- 15.滲膠 (Exudation)
- 16.滲漏 (Leaching)
- 17.交通撞擊 (Collision)
- 18.磨耗 (Wearing)
- 19.沖刷、侵蝕 (Erosion)
- 20.沉陷 (Settlement)

3.2.1 劣化 (Deterioration)

劣化是混凝土結構在其生命中絕對無法避免之老化現象。因此，劣化可解釋為混凝土組成份子中之力學、物理與化學特性之改變與衰敗現象。一般而言，依各個混凝土結構物所處環境之不同，劣化之速率亦不同；但嚴格而論，混凝土之劣化必無法避免，不過應可以藉由混凝土之劣化防治技術使其延緩劣化速率。混凝土結構物隨歲月之增長，如無適時之養護，不可避免之損傷便相繼產生，對於這些損傷（例如龜裂、剝落等）亦有人以劣化統稱之。因此，混凝土之劣化比較無法像其他損傷一樣，可以從物理現象上作比較明確之定義、描述與數量化。

3.2.2 裂縫 (Cracks)

裂縫是混凝土結構物中最常見之損傷，裂縫對混凝土之影響主要是根據其產生之來源、寬度與長度是否隨時間之增長而決定。混凝土中之裂縫呈現條狀，裂縫可能擴大至局部或全部之混凝土結構內。當檢測人員發現裂縫時，應繪製示意圖，並描述裂縫之形狀或寬度、方向與位置，並與先前之檢測紀錄比較，以研判該裂縫有無停止會增加，並研判該裂縫是否具危險性。工程實務上，與裂縫之同意字有龜裂、裂紋與裂痕等等，名稱雖不同，然其代表之意義則大致相同。造成混凝土結構產生裂縫之可能原因甚多，其原因有可能為複數原因之相乘效果，且每個個案均可能因其特殊情況而有不同結果。

3.2.3 鱗狀剝落 (Scaling)

鱗狀剝落乃是由於混凝土表面之水泥砂漿脫落所造成，剝落之過程中會造成粗骨材之外露，最後之結果則是鬆脫。剝落一般會發生在混凝土表面層品質較差之位置，此乃是由於不良之表面處理或養生 (Curing) 所引起，包括雨中灌漿，此類剝落通常不會很深。剝落亦常發生在老舊結構以及鋪設以瀝青磨耗層之混凝土橋面版，因為瀝青產生裂縫後防水性不佳，使水積在混凝土橋面版表面不易蒸發。

鱗狀剝落可依其程度細分為以下四類【2，42】，即：

- 1.輕微剝落 (Light Scaling)：混凝土表面之水泥砂漿剝落之深度至 0.5 公分左右，且粗骨材之表面已依稀可見。
- 2.中度剝落 (Medium Scaling)：混凝土表層砂漿之剝落深度介於 0.5 公分與 1.3 公分之間，且相鄰粗骨材之間之水泥砂漿亦已散失。
- 3.大量剝落 (Heavy Scaling)：混凝土結構物之表層砂漿將與粗骨材周圍砂漿之剝落深度已達 1.3 公分至 2.5 公分之間，顆粒狀之粗骨才已清晰可見，粗骨材只需稍微使力便會脫離混凝土結構物。
- 4.嚴重剝落 (Severe Scaling)：混凝土結構物之表層砂漿、骨材與其四周之水泥砂漿均已散失，且深度已超過 2.5 公分以上。

上述之剝落狀態分類對混凝土結構檢測結果之描述有其正面之助益。除非剝落現象已歷時甚久且危害因子已深入混凝土內部，否則，一般性之混凝土剝落現象對橋梁結構並無安全性之立即危害，且均可藉維修技術使其回復原狀。

3.2.4 鋼筋鏽蝕

混凝土中鋼筋鏽蝕之基本原因乃是由於電化學 (Electro Chemical) 降解 (電位差之現象)，鏽蝕產生是當氧和濕氣存在以及鋼筋惰性保護膜被破壞，因混凝土碳化或鋼筋表面氯離子集中所造成。鋼筋鏽蝕後會因體積膨脹而脹裂周圍之混凝土，鋼筋斷面亦會因而減少，使得強度相對降低。由於鋼筋埋在混凝土中鏽蝕不易發現，一旦發現，其損傷亦已具有某種程度之嚴重性，因此，鏽蝕之調查與檢測對混凝土結構之強度與耐久性實不宜等閒視之。

3.2.5 表皮髮裂 (Crazing)

表皮髮裂是混凝土結構表面層 (Surface Layer) 之微細裂紋 (如以顯微鏡視之便可清晰可見), 其形狀通常不具規則性。此類型之裂紋不會破壞混凝土結構之安全性, 不易立即招致混凝土之劣化, 因此, 對混凝土結構物無安全上之危害。表皮髮裂現象在含水量較大之混凝土表層非常明顯, 此乃由於表層之乾縮較混凝土內層快速, 由表層之乾縮拉應力所造成。表皮髮裂由於裂紋非常細小, 因此亦可稱為毛細裂縫 (Hairline Crack)。

3.2.6 剝離 (Spalling)

剝離是混凝土結構物呈片塊狀之脫落現象, 其主要形成原因為鋼筋鏽蝕或混凝土受拉力超過其容許值。剝離亦可以依其程度細分為以下兩類【2, 42】, 即:

1. 小型剝離: 其剝離之形狀近似圓形或橢圓形, 深度未達 25mm, 且淨寬通常小於 150mm, 通常是由作用於混凝土之水平或斜向力量所造成, 使混凝土表面呈片塊狀之剝離現象。
2. 大型剝離: 其剝離狀況比上述之“小型剝離”嚴重, 深度通常大於 25mm, 且寬於 150mm。其形成原因與上述之“小型剝離”無異。

於前述之“鱗狀剝落 (Scaling)”相比較, 其最大之差別在於剝離形成通常是呈片塊狀地脫落, 且剝離之面積比“鱗狀剝落”大些。

“鱗狀剝落”通常發生在新灌注之混凝土, 而剝離則較常在舊混凝土結構物產生。而且在發展成完全剝離之前, 層隙現象 (Delamination) 有可能已在混凝土內部發生, 當然, 如果混凝土受到巨大之外力使結構物之變形超過其容許值, 此時之混凝土亦有可能成片塊狀地剝離; 例如大地震之後的混凝土表面就可能有這種現象。

3.2.7 爆開 (Popout)

爆開係接近混凝土表面處之不健全粗骨材顆粒所造成, 這些顆粒隨時會吸水, 如在冰凍狀況之下, 將會膨脹且破壞, 使表面上較薄弱

之水泥砂漿層爆開；爆開之孔洞是儲蓄水之最佳位置，在冷天如結冰易造成更進一步之惡化。

3.2.8 窪坑（Pitting）或碎裂

混凝土之碎裂範圍大約成網狀之圓形或橢圓形，自混凝土表面成平行或傾斜之剝離，低窪之邊緣常與表面成直角，有時甚至會導致鋼筋暴露。橋梁檢測時，可將碎裂分為以下六大類【2，42】，即：

1. 小型碎裂：深度不超過 2.5 公分，直徑不高過 15 公分者。
2. 大型碎裂：深度超過小型範圍者。
3. 中空型碎裂：用金屬棒敲擊時，混凝土發生中空之聲音，即表示該處混凝土內部有碎裂之情況。
4. 接縫式碎裂：沿伸縮縫或施工縫（Construction Joint）處之碎裂。
5. 膨脹凸出式之碎裂：圓錐形之碎裂，自混凝土表面凸出造成小洞，而洞底之骨材多呈碎裂狀。
6. 泥球（Mudball）狀窪坑：混凝土表層含有黏土球或軟頁岩材料，因受水解造成小洞。

3.2.9 蜂窩（Honeycombing）與氣囊（Airbagging）

蜂窩是由於施工時漏漿使得水泥砂漿無法填充骨材間之孔隙所形成。不良之搗實亦會產生氣囊，兩者均會明顯降低混凝土之強度。

3.2.10 白華、析晶（Efflorescence）

白華或析晶係混凝土結構之表面分解現象。表面分解最常見者是混凝土風化及滲出物，風化則是一種鹽之分解作用，通常呈現白色，它是由於混凝土內部氫氧化鈣容易滲流到表面所形成。滲出物由混凝土表面開口處材料析離出而造成。一般而言，風化及滲出物均會與裂縫同時出現。

3.2.11 層隙（Delamination）

混凝土結構之裂紋並不一定是在表面，可能隱藏在表面下某一距離。如果此隱藏式之裂紋具有相當長度與寬度（即此裂紋呈層狀），以

鐵鎚鋼棒或鋼筋輕輕敲打，其聲音與敲打密實性佳之混凝土必有所不同。另外又如鋼筋鏽蝕膨脹後將混凝土向外推擠，在混凝土尚未剝落前亦會形成條狀甚至於片狀之空洞區域，此亦為層隙現象之一種。

3.2.12 孔蝕 (Cavitation)

孔蝕之外觀非常類似蜂窩，通常在混凝土澆置後數月或數年才會出現。無論在何處，當有流水通過某一混凝土突出物體，或某一不平之垂直牆面，孔蝕將出現在下游凹凸不平之部份。工程界一般均認為突出物突然出現水流漩渦造成的氣泡，是導致孔蝕現象之主因。

3.2.13 失色 (Discoloration)

健全之混凝土結構物完工後之顏色必屬均勻一致，失色則是指混凝土某一部份之色澤退化，形成混凝土結構物表面整體色澤不一致之現象。吾人必須注意，失色不只影響混凝土結構物之美觀，在某些情況之下有可能是結構物內部缺陷之表面徵兆。

3.2.14 脫皮 (Peeling)

混凝土表面薄片狀之脫皮現象，通常由於混凝土之劣化或因完工時模板拆除而造成。

3.2.15 滲膠 (Exudation)

某種液態或膠態 (Gel) 之物質由混凝土之裂縫或孔隙流出，滯留在混凝土表面之現象。

3.2.16 滲漏 (Leaching)

主要發生在橋面版，水份由橋面版表面滲透而由橋面版底部漏出。

3.2.17 交通撞擊與磨耗 (Wearing)

橋面板之混凝土長期暴露在交通的磨損下，較容易產生嚴重之磨耗。對於交通撞擊，尤其是剛性較小之構件（例如護欄）在橋梁維修

工作中常佔有不可忽視之份量。

3.2.18 沖刷與侵蝕

座落於溪流中之橋墩或橋台經常會因水流中所夾帶之顆粒而造成混凝土表面的侵蝕或沖刷，一些覆土材料同樣會有這種劣化現象。

台灣地區之河川多屬陡急山川類型，由於位處亞熱帶氣候，終年雨水充沛，尤其是每年之梅雨季節與夏季颱風均會給台灣地區帶來豪雨。另一方面更由於台灣中央山脈之山勢陡峻，河川陡急，豪雨之後橋梁之下部結構往往滿目瘡痍。

3.2.19 沉陷 (Settlement)

橋梁結構物之沉陷在很多情況下幾乎是無法避免與預防。沉陷產生時，結構體系中之內力必然重新分配，如沉陷量超過設計容許值，則裂縫必相應而生。

簡支承或靜定結構物較不容易受沉陷移動之影響，因其伸縮縫或支承之設施可以容許少量之移動，不致對結構物造成破壞。然而必須注意的是差異沉陷 (Differential Settlement) 或不均勻沉陷對靜不定橋梁有嚴重之影響，因支承支位移，會造成應力之重新分佈，可能使部份構材承受巨大之超應力 (Overstresses)，例如固定式之拱橋，任何一個基礎傾斜，均可能危及全橋，連續式橋梁較簡支式橋梁之支承少，因而容易發生較大之位移，而造成大災害，檢測時必須注意謹慎為之。

3.3 橋梁結構損壞模式之探討

雖然不同材質構成之橋梁種類眾多，可能為污工橋梁、鋼筋混凝土橋梁、預力混凝土橋梁或鋼橋等，然而在橋梁使用壽命，引起橋梁損壞的原因不外乎天然因素與人為因素兩種，天然因素引起，包括：地震、颱風、水災、腐蝕、自然環境之改變等；人為因素引起，包括：設計錯誤、施工不良、車輛超載、維修不佳等，因而導致橋梁結構之損壞。

以上因素導致之結果，造成橋梁結構的開裂產生、混凝土的表層剝離、變形甚至倒塌，歸咎以上之因素，將其分成三類【14】，可分為：設計因素、施工因素、及外在因素，如表 3.1 所示。設計因素乃設計

時之疏忽，或考慮不周產生者；施工因素乃由施工不良，使用材料品質不佳引起者；外在因素則部份屬於天然災害，部份屬於人為因素者。

一般而言，橋梁結構之損壞模式若以橋梁結構組成（Bridge Elements）分類之，包含：

1.上部結構損壞

- （1）大梁
- （2）橋面版
- （3）橋面伸縮縫

2.下部結構損壞

- （1）基礎
- （2）橋台與翼牆
- （3）橋墩

3.支承損壞

4.附屬設施損壞

- （1）護欄
- （2）照明設施

5.交通管理設施損壞



表 3.2 橋梁結構損壞之原因

| | 設計因素 | 施工因素 | 外在因素 |
|-----------|---|--|--|
| 橋梁產生開裂之因素 | <ol style="list-style-type: none"> 1.由載重產生之拉應力、壓應力、剪應力、扭力、斜拉應力、軸向預力及二次應力等，因疏忽致使部份應力超出混凝土之容許應力者。 2.局部應力，如接頭斷面變換處、施預力錨錠處、因考慮不周所引起。 3.鋼筋配置不當，用量不足或過多，錨錠長度太短，接頭位置不對。 4.對混凝土之收縮，潛變影響之考慮不夠。 5.所選擇之結構型式不合適。 6.下部結構之型式與環境地形不調和，或對土質情況判斷錯誤，河床變遷之推測不對。 7.使用規範不當。 | <ol style="list-style-type: none"> 1.混凝土之拌合，水灰比不當，混凝土之搬運、澆鑄、順序、振動、養護不佳者。 2.鋼筋之彎紮、配置、或數量不足。 3.支架、模板之裝設不良、品質不佳、支承下陷或拆模太早。 4.梁之架設不當。 5.配置支承時，所產生之機能不佳。 6.預力鋼鍵之配置不良，施預力作業不周密，錨錠品質不好，灌漿之配合比及作業方式不佳。 7.砂石粒料不合標準，含泥量、鹽分或其他酸鹼類及有機物。 | <ol style="list-style-type: none"> 1.地震、水災、火災、衝擊等原因引起結構體之破壞。 2.承受較設計為大之超載車輛。 3.結構物受臨近工程施工影響，使下部結構下陷，側移或減低其承載力者。 4.地下水位之變化，使地盤下陷，增大或減少浮力，影響結構物之穩定者。 |

| | | | |
|------------------|---|--|--|
| 剝落之因素 橋梁保護層產生 | 1.設計時所定之保護層不夠。 2.支承位置之考量不足。 | 1.施工時配筋不良使保護層不夠。 2.砂石或使用之水含有鹽分及鹽酸類。 3.混凝土配合不良。 4.澆鑄混凝土時產生空隙太多或蜂巢。 | 1.溫度變化引起之伸縮。 2.火災。 3.化學物侵蝕。 |
| 變位之因素 橋梁引起 | 1.設計時對混凝土之乾縮及潛變因素之考慮及對溫度變化之估計有差誤。 2.對基礎地盤、土質、研判差錯。 3.對河床沖刷、地震影響考慮不周或不當。 | 1.選擇之基礎不合適。 2.下部結構之品質不良。 3.施工不當。 4.排水不佳。 | 1.地震對下部結構引起變位。 2.洪水衝擊橋墩。 3.下部結構受地下水位下降或地盤下陷產生變形。 |

3.3.1 橋梁上部結構主要問題

橋梁上部結構包括了橋面版、主梁、橫隔梁。

1. 橋面版問題

橋梁上部結構問題主要發生於橋面版裂縫、破損等。其原因大致如下：

- (1) 交通量增加，軸重過大（超載）。
- (2) 橋面版本身結構設計或施工不良。
- (3) 橋面版受擠壓或受拉。
- (4) 位於濱海地區，保護層厚度不足。
- (5) 橋面 AC 封層不斷加封。

因橋面版龜裂且排水不良，產生雨水滲漏，致版內鋼筋鏽

蝕，使部份混凝土塊剝落進而破洞。造成行車不舒適，亦減低橋面版之壽命。更有部份養護單位為填補坑洞而採 AC 封層型式，加重橋面版與大梁之負荷。

2. 主梁、橫隔梁

- (1) 主梁損壞除與橋面版上述問題相同外，尚有因養護單位在橋梁下方道路路面加封，未注意禁高之維持及限高措施，使橋梁淨高不足或車輛超高，致梁受車輛撞擊而損壞。
- (2) 橫隔梁常受到管線單位不當穿孔，造成隔梁功能無法發揮。橋梁主管單位應對附掛管線予以適當規範，以免隔梁遭任意破壞。

3.3.2 橋梁下部結構與基礎主要問題

臺灣地區跨越行水區大部份採用深基礎（沉箱基礎或樁基礎）。沖刷問題是橋梁下部結構受損之主因，而土石流亦對橋梁下部結構產生危害；至於超載問題對下部結構影響實際不大。橋柱或橋台受超載而受損的案例較少發現，只是橋墩帽梁或橋台因支承設置不當而使支承座壓碎的情形較常見。

大部份陸上跨越橋梁多採淺基礎（直接基礎）。就耐震能力而言，淺基礎是有重新校核之必要。過水橋梁雖採深基礎，但經沖刷導致基樁裸露而承载力降低的同時，其耐震能力亦會降低。

針對國內不當採砂行為所造成之橋基沖刷影響，橋梁主管機關目前在橋梁設計圖上均規定必須標示橋基「容許沖刷深度」，作為將來橋基保護之參考。對於新設計橋梁之橋基保護措施亦有相關規定，以免減少河流之通水斷面。

其他下部結構問題尚有橋台護坡沖毀、地基不穩、橋台移位等。

3.3.3 橋梁細部結構主要問題

1. 支承

支承結構為上部結構傳遞垂直力、水平力及縱向力至橋墩之構件。常見之支承問題有裂痕、傾斜、鏽蝕、位移、橡膠支承墊老化、變形、支承墊底部混凝土強度不足、支承鋼版面積

不足等。

2.伸縮縫

常見之伸縮縫問題有鬆動、不平、老化、被 AC 覆蓋至伸縮縫功能不能發揮等。伸縮縫之缺陷會影響行車舒適性，其劣化會產生噪音、漏水等情形的發生，而嚴重者則會導致上部結構受損。其主要產生原因如下：

- (1) 設計時伸縮縫估計錯誤。
- (2) 伸縮縫本身端部固定不足或強度不足
- (3) 安裝位置錯誤
- (4) 與 AC 封層接觸不良

伸縮縫之養護是養護單位最頭痛之問題。因為施工期間須封閉車道以進行維修與更換，造成行車不便。最近新建之橋梁大部份採用多跨連續鉸接版方式設計以減少伸縮縫之設置，如此能提高行車舒適性並減少維修頻率。

3.排水設施

橋面版排水由路拱、超高匯至集水孔，經排水管排出。常因集水孔阻塞或排水孔破裂，使橋面版下緣及外梁產生污跡，影響美觀。良好的排水有助橋面版壽命的延長。

第四章 橋梁管理系統之探討

4.1 前言

目前國內橋梁主管機關眾多，不同單位有其不同之管轄範圍，然而各單位限於編制人員的不足，加上專業人才之缺乏，無法由專人負責橋梁管理相關業務；另一方面，各單位的橋梁資料仍以傳統方式保存，既佔空間又不易查詢，且易受天災或人為疏忽導致遺失或損毀。有鑑於此，我國橋梁管理業務應結合資訊科技，推行電腦化管理，以減輕橋梁管理人員之負擔。根據相關研究指出，目前國內橋梁主管機關面臨以下問題【31】：

1.人力問題

各單位限於編制人員的不足，加上專業人才之缺乏，無法由專人負責橋梁相關業務，即便是有，亦多偏重於新建工程，而忽略日常之維護管理。

2.經費問題

由於橋梁維護作業的不受重視，維修整建之經費常被轉用。另一常見的現象則是各單位呈報的危險橋梁數量太多，且報修標準不一，而造成預算編列之困難。

3.資料保存

各單位的橋梁資料仍以傳統方式保存，既佔空間又不易查詢。雖有單位正在進行電腦化的工作，但仍缺乏全國統一的格式，無法利用相關資料進行整體性的考量。

為解決上述問題，國內各橋梁管理單位目前正快速發展其電腦化管理系統，期望利用系統化、電腦化方式，將橋梁相關資訊加以儲存、彙整與分析，以輔助橋梁管理單位進行管理相關工作。

4.2 國內現有橋梁管理系統

國內目前橋梁管理系統發展正值萌芽階段，且因各主管機關管理業務之需求亦各不相同，故目前仍無一套完整之橋梁管理系統符合所有主管單位之需求。目前完成開發或實際進行運作之橋梁管理系統主要有以下數套：

1. 國道高速公路局

國道高速公路局於民國八十一年十月十六日成立「橋梁檢測維護小組」，加強橋梁構件劣化之檢測與維護。綜理及督導橋梁檢測評估作業，並每半年定期召開工作檢討會報一次。小組設督導分組及作業分組。督導分組由局本部之技術組及工務組組成，負責策劃並督導橋梁檢測、評估、建檔及維修作業之推動。作業分組由區工程處及所屬工務段組成，執行轄內橋梁檢測、評估、建檔及維護之作業。

俟後高公局有鑑於橋梁結構安全維護之重要性，委託昭凌工程顧問股份有限公司建立電腦化之管理系統與檢測方法，於民國八十七年開發完成「國道高速公路局橋梁養護管理系統」，其具有基本資料模組、檢測資料模組、耐震檢測模組、優選排列模組、預算編列模組、維修資料模組六大功能模組，以滿足其橋梁養護管理之所需。其中，此系統所利用之檢測評分方法為與南非合作開發之 D.E.R.&U. 目視檢測方法。

此系統功能著重於資料庫管理，往後發展可增加統計分析、空間分析、網路傳輸，以及決策支援等相關輔助管理功能，且使用者界面仍有改進空間【18】。

2. 地方政府

在地方政府橋梁相關業務電腦化方面，台中縣政府曾委託民間顧問公司建立橋梁資訊系統（BIS），以及最近台北縣政府委託萬鼎工程服務公司所開發之橋梁管理資訊系統，其中台中縣政府橋梁資訊系統，其功能僅能提供有限之橋梁管理及查詢功能，缺乏空間分析、網路傳輸，及決策支援功能，僅適合管轄橋梁數量較少之地方政府使用。

台北縣政府的橋梁管理資訊系統已經採用 Web 架構方式開發，分為企業網路 Intranet 及網際網路 Internet 二種系統，Intranet 系統主要提供縣政府工務局內部使用，系統主要以建構橋梁基本資料與目視檢查資料模組為主，另包含橋梁維修、擴建、重大損害、施工訊息與橋梁資料統計等功能。Internet 系統主要提供外界各單位透過網際網路來使用，主要為一般橋梁介紹及基

本資料查詢為主。

3.交通部公路總局

公路總局所發展之橋梁管理系統係與中央大學橋梁中心合作開發完成，該管理系統已建有公路總局所轄 4,563 座橋梁之基本資料。目前並持續補足更新，提供該局、工程處、與工務段等三個層級相關人員採用，以協助橋梁管理之作業有效地進行。

該系統內包含「基本資料模組」、「統計分析模組」、「檢測資料模組」、「維修成本估算模組」、「橋梁狀況排列模組」、「維修記錄模組」、「網路伺服器資訊交換模組」及「GIS 空間查詢分析模組」等八個模組，該系統已收集詳細之橋梁基本資料，每座橋梁並建有現場四個不同方向之相片，可藉由系統之統計分析功能，進行不同主題之統計分析與分類。而檢測之評估方法以採用 D.E.R&U.為目視檢測主體，另高級檢測之評估則以交通部規定之方法建構之。經由檢測分析後的結果提供橋梁整體狀況或各別構件狀況排序，以供主管機關維修時的決策參考，該系統亦已經具有了初步的地理資訊分析功能，往後發展可以增加路網分析，空間分析等相關功能，以強化地理資訊分析模組【26】。

4.交通部台灣鐵路管理局

鐵路局於 88 年委託中華顧問工程司開發「鐵路橋梁資料建檔管理系統」，系統內包含「基本資料模組」、「檢測資料模組」、「統計分析模組」三模組以及相關之查詢與編輯功能。該系統的開發係採用物件導向設計技術，使用者界面設計良好，對使用者而言操作簡便。惟該系統並未加入決策分析之模組，可在日後增加則較為完整【25】。

5.交通部基隆港務局

基隆港務局所轄僅有西岸高架道路橋梁一座，為國內最早興建的高架公路橋梁，主要供港區貨櫃運輸為主橋長約三公里。由於重車超載情形嚴重，且瀕臨海邊，故老化破損情形嚴重。雖平時有定期巡查，但受限於環境及港區運輸無法中斷，

所以維修及整治較難以達成。

為達成西岸高架橋之檢測及維修之目的，基隆港務局於民國 84 年配合省府交通處的規定，開發一套橋梁檢測光碟資訊系統，87 年 6 月繼續改版完成功能之擴充。此系統主要是提供給橋梁管理的基層使用，且提供對一座橋做詳細的維護管理功能。此系統內有相當詳細的橋梁基本資料模組、檢測資料模組、及維修資料模組等，尤其是檢測資料模組包含中性化深度、氯離子含量、鋼筋腐蝕速率、鹼骨材反應、高程量測記錄、橋梁耐震評估、承載力評估。此外此系統可以圖形元件方式直接描繪構件破損示意圖，並加入相對應之圖片與說明資料。如此可對辦公室內之工程師或主管提供較具體之資訊，使之較易了解並做適當處置。該系統可界定為當轄區內橋梁已做過狀況排序及優選排列後，須進一步檢測評估或修補的橋梁座後續管理之用【6】。

此外，對於橋梁檢測方法，相關之研究將交通部、高速公路局、住都處及公路總局之現行檢測制度，分別以檢測依據、檢測種類、構件分類方式、構件評定方式、橋梁狀況評定、維修方案建議、維修成本估算等項目進行歸納與整理，如表 4.1 所示。

表4.1 現有檢測制度比較表

| 主管機關 | 交通部 | 高公局 | 住都處 | 公路總局 |
|--------|----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 檢測準則 | 公路養護手冊 (78年) | 公路橋梁一般目視檢測手冊 (84年) | 混凝土、鋼橋一般檢測手冊 (85年) | 公路橋梁安全檢查手冊 (86年) |
| 檢測種類 | 平時檢查 定期檢查 臨時檢查 | 一般檢測 特殊檢測 | 日常檢查 定期檢查 臨時檢查 | 定期安全檢查 特殊檢查 |
| 構件分類方式 | 主要分為 8 大類，再往下細分為數個小項 | 分為 20 項構件 | 主要分為 8 大類，再往下細分為數個小項 | 分為 20 項構件 |
| 構件評定標準 | - | 分為 1 ~ 4 級 | 分為 A,B,C,D,N | 分為 1 ~ 4 級 |
| 橋梁狀況評定 | 分為高、中、低、無四種 | 計算 CI, PI, FI, OPI 四種指標 | - | 可依指標排序 |
| 維修方案建議 | - | 由檢測員建議維修項目 | - | 由檢測員建議維修項目 |
| 維修成本估算 | - | 根據檢測員填寫之數量與急迫性進行計算 | - | 根據檢測結果與可能採用維修工法計算維護成本 |

資料來源：【31】

4.3 橋梁之目視檢測

橋梁結構物在長期營運過程中受到多種因素的影響，不可避免地會產生某些損傷，因而影響到結構體的正常使用條件，嚴重的甚至引起交通事故及縮短結構的使用年限。特別是隨著交通流量的增加、重型車輛的增多，使損傷現象更趨嚴重。因此，對橋梁結構物必須進行經常性的維修整治，使其處於良好的工作狀態。另一方面，為了確定橋梁必須養護的程度與加固之必要性與可行性，橋梁就必須有檢測的

結果作為依據。要及時發現橋梁結構的缺陷及損傷，就必須要對橋梁進行檢測工作，橋梁安全檢測之目的有以下幾項：

- 1.確保橋梁經常處於良好狀況，以利公路交通流暢。
- 2.使橋梁養護人員實際了解橋梁現況與使用情形，同時對構造物受損狀況能充分掌握，且能視構造物損壞程度及交通狀況，適時對用路者提出有關警訊。
- 3.安全檢測結果可評定橋梁之危險等級，供研判修復方法、限速限載及經費編列之依據。
- 4.將本質極繁雜之養護業務整理成有系統、有效率之資訊體系與管理系統。
- 5.提高公路運輸機能。

目視檢測是以目視方法對整座橋梁構件作一全面性之檢查。目視檢測過程除以繪圖或照片記錄劣化或損害部位外，並以量化方式評估對各構件之劣化情形，建立橋梁現況之基本管理資料，最後依各構件權重計算該座橋梁現況之綜合評估分數，即該座橋梁之狀況指標 (Condition Index)，作為維修之優選排列之依據。

目視檢測雖然簡捷快速，可節省相當之經費與時間，惟檢測評估過程易於加入檢測員主觀意識，若檢測員檢測評估不當，將造成維修決策之困擾甚或錯誤；故檢測評估方法或準則，對橋梁檢測工作之時程、成本或管理極具重要性，應慎為選擇。本節介紹台灣地區現行橋梁檢測之目視檢測之方法，並分別針對 D.E.R.U.與 A.B.C.D.評等法作一初步的介紹與比較。

4.3.1 台灣地區現有檢測評等法探討

目前世界各國對於橋梁檢測評估制度與實施方法均不相同，檢測之評等記錄方式亦不一樣，各國所發展的制度與方式皆以考慮該國之橋梁特性為出發點，並配合其特殊的人文、地理環境，而建立適合該國的橋梁檢測評估制度與評等模式。但國內橋梁主管機關，則陸續各自發展出各具特色且實用的評估準則與評等記錄模式，本節將針對這些檢測評等方式探討其特性與優缺點。表 4.2 列出國內目前現用的主要評估準則，發展較為齊全的應為針對橋梁目視檢查所作的劣化評等

法，即 D.E.R.U.評等法與 A.B.C.D.評等法。

D.E.R.U.評等法為昭凌工程顧問公司為交通部國道高速公路局開發橋梁管理系統時所制定的目視檢查評估準則，而 A.B.C.D.評等法則為財團法人中華顧問工程司為當時的台灣省住都局所編訂的「混凝土、鋼橋一般檢查手冊」，所制定的目視檢查評估準則，二者均有其他橋梁管理機關採用作為構件劣化的評等準則，並各有其特色與優缺點。

表4.2 國內目前主要使用的檢測評估準則

| 評估準則類別 | 檢測類別 | 檢測項目分類方式 | 劣化評等標準 | 橋況評估指標 |
|-------------|----------------------------|-------------------|---------|-----------------------|
| D.E.R.U.評等法 | 目視檢查 | 依構件分為20項目，第21項為其他 | 分為1~4級 | 分為CI, PI, FI, OPI四種指標 |
| | 儀器檢測 | 分為7種檢測項目 | | |
| A.B.C.D.評等法 | 目視檢查 | 分為8大類，及其細項分類 | 分為A~D級 | 無 |
| 危險度評分法 | 耐震能力評估 承載能力評估 耐洪能力評估 | 為初步評估 | 加權分數計算法 | 以分數高低評定危險度與安全性 |

資料來源：【6、35】

4.3.2 D.E.R.U.與 A.B.C.D.評等法之比較

1.特性分析

所謂 D.E.R.U.評等法，就是將橋梁之劣化情形，分成劣化的嚴重程度(Degree)、劣化範圍(Extend)及該種劣化情形或現象對橋梁結構安全性與服務性之影響度(Relevancy)三部份加以評估，並由檢查員依據劣化構件維修的急迫性(Urgency)作處置對策之評估建議。此種評等法有以下之特色：

(1) 可簡化檢測工作

因為 D.E.R.U. 評等法僅針對有劣化部份加以評估，對於良好之構件不需進行評估，如此可簡化檢測工作，並且使問題一目了然。

(2) 特別考慮劣化對橋梁重要性的影響

D.E.R.U. 評等法不但針對劣化嚴重程度與劣化範圍作評估，同時亦考慮劣化對整體橋梁結構的安全性影響及其是否對交通安全造成影響等加以考慮。此為 D.E.R.U. 評等法最大的特色與優點。

(3) 減少填寫資料

由於僅針對有缺陷的構件進行評估，且僅以 0~4 之數字來記錄檢查結果，因此可大量減少資料的填寫，不但使現場檢測人員方便記錄，亦使檢測報告簡潔扼要，一目了然。

(4) 針對維修之急迫性提出維修之時程

D.E.R.U. 評等法對於構件檢查後之處置對策有清楚且明確的建議，如此可使維修之時程有具體之概念，並方便進行維修作業之規劃。

(5) 建議維修工法及經費概算

D.E.R.U. 評等法可配合維修工法表，建議劣化處維修對策所需之數量與單價；並進行經費的概算，如此可利於橋梁主管單位進行維修預算之編列。

(6) 可計算橋梁之各種分析指標，並作優選排列

D.E.R.U. 評等法可以 D.E.R. 值，配合構件對橋梁重要性之權重，而以理論模式計算橋梁之狀況指標與優選排列等指標之分析。

A.B.C.D. 評等法之精神，則主要是強調建立系統化、組織化的檢查架構，其為避免遺漏任何之檢查項目，故除將橋梁結構分為八大類外，每一大類則依構件又分為許多子項目，而每個子項目則以條列方式列出其劣化或損傷項目或檢查項目，直接供檢查人員參照勾選損傷等級並記錄說明文字。此種評等法亦有其下列特點：

- (1) 以條列方式列出劣化或損傷項目，此即為現場檢查時應檢查的項目或檢查重點。此對於新進或生手之檢查員而言，可較具體明確的瞭解應檢查的項目與重點，同時對於檢測項目可作較標準化、一致性的規定。
- (2) 評等之等級已包含損傷程度及應採取之對策原則，此可簡化現場記錄之工作，然而亦可能對檢測之判斷造成偏差之影響。對於此點，將於後續 A.B.C.D.評等法綜合比較中之內容再作探討。

2. 檢查項目之比較

D.E.R.U.評等法的檢查項目共分為 21 項，其中第 1 至第 11 項為一般檢測項目，亦即橋梁的整體性(全橋性)與橋梁兩端的項目，第 12 至第 20 項檢查項目則針對每一座橋墩與橋孔逐跨進行檢視，第 21 項為其他。目視檢查項目如表 4.3 所示，其實際之橋梁目視檢測評估及狀況報告表如表 4.4 所示。

A.B.C.D.評等法將橋梁結構物分為：橋面版構件、上部結構、橋墩、基礎及土壤、橋台及引道、支承、伸縮縫及其他附屬設施等八大類檢查類別，每一類別再區分檢查主項目與細項目，如表 4.5 所示。

二種評等法之檢查項目大同小異，只是在檢查項目之群組分類上稍有差異，因此檢查項目均屬相當齊全。但 A.B.C.D.評等法並未如 D.E.R.U.評等法將橋梁檢查的記錄分組方式(全橋一式或逐橋孔等)列出，提供檢查人員作為記錄方式之參考。

表4.3 D.E.R.U.評等法目視檢查項目

| 項次 | 檢查項目 | 項目分類 |
|-------------------|-----------|----------|
| 1 | 引道路堤 | A、B 兩端 |
| 2 | 引道護欄 | A、B 兩端 |
| 3 | 河道 | 單項 |
| 4 | 引道路堤-保護措施 | A、B 兩端 |
| 5 | 橋台基礎或沈箱 | A、B 兩端 |
| 6 | 橋台 | A、B 兩端 |
| 7 | 翼牆/擋土牆 | A、B 兩端 |
| 8 | 摩擦層 | 單項 |
| 9 | 橋面版排水設施 | 單項 |
| 10 | 緣石及人行道 | 單項 |
| 11 | 欄杆及護欄 | 單項 |
| 12 | 橋墩保護設施 | 逐橋墩 |
| 13 | 橋墩基礎 | 逐橋墩 |
| 14 | 橋墩墩體 | 逐橋墩 |
| 15 | 支承/支承墊 | 逐橋墩及橋台 |
| 16 | 止震塊/防震拉桿 | 逐橋墩及橋台 |
| 17 | 伸縮縫 | 逐橋面伸縮縫裝置 |
| 18 | 主構件(大樑) | 逐橋孔 |
| 19 | 副構件(橫隔樑) | 逐橋孔 |
| 20 | 橋面版、鉸接版 | 逐橋孔 |
| 21 | 其他 | 單項 |
| 備註：如為連續橋面，則無伸縮縫項目 | | |

表4.4 D.E.R.U.橋梁目視檢測評估及狀況報告表

| 橋梁一般檢測評估狀況報告表 | | | | | | | | | | | | | | | 道路名稱: | | | | 中心樑號: | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|------------|---|-----|----------|---|-----------|------------|---|---|------------|----|----|------------|-------|-----------------|---------|-----|-------|-----|---|-----------|---|---------------------|------------|---|---|---------|--|--|
| 橋梁名稱: | | | | | | | | | | | | | | | 橋梁地點: | | | | 結構型式: | | | | | | | | | | | |
| 檢測單位: | | | | | | | | | | | | | | | 檢測日期: | | | | 橋孔數: | | | | | | | | | | | |
| 建造日期: | | | | | | | | | | | | | | | 橋梁長度: | | | | 橋梁淨寬: | | | | | | | | | | | |
| 一般目視檢測 | | | | 評估值 | | | 一般目視檢測 | | | | 評估值 | | | 一般目視檢測 | | | | 評估值 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | D | E | R | | | | | D | E | R | | | | | D | E | R | | | | | | | | | | |
| 1. 引道路堤 | | | | N | | | 5. 橋台基礎 | | | | N | | | 9. 橋面排水設施 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | S | | | | | | | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 引道護欄 | | | | N | | | 6. 橋台 | | | | N | | | 10. 緣石及人行道 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | S | | | | | | | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 河道 | | | | | | | 7. 翼牆/擋土牆 | | | | N | | | 11. 欄杆及護欄 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 引道護坡 | | | | N | | | 8. 磨擦層 | | | | | | | 21. 其他 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 橋台或橋墩 | | 12. 橋墩保護設施 | | | 13. 橋墩基礎 | | | 14. 橋墩墩牆 | | | 15. 支承/支承墊 | | | 16. 止震塊/拉桿 | | | 17. 伸縮縫 | | | 橋孔號 | | 18. 主構件大梁 | | | 19. 副構件橫隔梁 | | | 20. 橋面版 | | |
| | | D | E | R | D | E | R | D | E | R | D | E | R | D | E | R | D | E | R | D | E | R | D | E | R | D | E | R | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 項目 | 位置 | 維修項目及工法 | | | | | | | | | | 數量 | 單位 | 規格性 | 附註 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 檢測員意見: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N/A - 無此項目 | | | | | | | | U/I - 無法檢測 | | | | | | | | R/U - 無法判定相關重要性 | | | | | | | | 是否進一步檢測? (Y/N) | | | | | | |
| 評估等級 D | | | | | | | | 範圍 E | | | | | | | | 對橋樑之重要性 R | | | | | | | | 急迫性 U | | | | | | |
| N/A 良好 尚可 差 嚴重損壞 | | | | | | | | U/I 局部 全面 | | | | | | | | R/U 小 大 | | | | | | | | 例行維護 3年內 1年內 緊急處理維修 | | | | | | |
| 0 1 2 3 4 | | | | | | | | 0 1 2 3 4 | | | | | | | | 0 1 2 3 4 | | | | | | | | 1 2 3 4 | | | | | | |

表4.5 A.B.C.D.評等法之結構物分類及檢查對象表

| 檢查之結構分類 | 檢 查 對 象 |
|----------|--|
| A.橋面版構件 | 1.磨耗層 2.緣石 3.人行道 4.中央分隔島 5.胸牆 6.欄杆 7.橋面沉陷 |
| B.上部結構 | 1.橋面版結構 2.主構件 3.副構件 |
| C.橋墩 | 1.帽樑 2.墩柱 |
| D.基礎及土壤 | 1.基礎 2.河道沖刷、侵蝕、沈積 3.地形斜坡 4.土壤液化 5.保護設施 |
| E.橋台及引道 | 1.橋台 2.背牆 3.翼牆 4.引道 5.保護設施 |
| F.支承 | 1.支承及其週邊 2.阻尼裝置 3.防止落橋措施 |
| G.伸縮縫 | 1.伸縮縫裝置 |
| H.其他附屬設施 | 1.標誌、標線 2.標誌架及照明設施 3.隔音牆 4.維修走道 5.排水設施 6.其他設施 |

3.判定標準之比較

D.E.R.U.評等法將判定等級分成 1 ~ 4 級予以評等,但若「無此項目」或「無法檢測」或「無法判定」時,則以 0 予以記錄。對於構件維修的急迫性(U)為 1 時表示例行性維護即可;U 值等於 2 時則表示 3 年內進行維護即可;U 值等於 3 時,表示 1 年內應進行維護;U 值等於 4 時,表示需緊急維修處理。其評等準則如表 4.6 所示。

A.B.C.D.評等法之判定標準則分為 A~D 四級,若無此項目或無法判斷結構物之損傷狀況時,則記錄為 N,上述以外之場合則記錄為 OK。其評等準則如表 4.7 所示。

表4.6 D.E.R.U.評等法之評估準則

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|---------|---------------------|------|------|--------|
| 程度(D) | 無此項目 | 良好 | 尚可 | 差 | 嚴重損害 |
| 範圍(E) | 無法檢測 | < 10% < 30% < 60% < | | | |
| 影響性(R) | 無法判定重要性 | 微 | 小 | 中 | 大 |
| 急迫性(U) | 無法判定急迫性 | 例行維護 | 3 年內 | 1 年內 | 緊急處理維修 |

表4.7 A.B.C.D.評等法對結構損傷等級之判定標準

| 判定等級 | 狀 況 |
|------|---|
| A | 損傷輕微，需作重點檢查。 |
| B | 有損傷，需進行監視，必要時視狀況補修。 |
| C | 損傷顯著，變形持續進行，功能可能降低，必須加以補修。 |
| D | 損傷顯著，有重大變形及結構物功能降低，為確保交通之安全順暢，或避免對第三者造成障礙，必須採取緊急補修。 |
| N | 無此項目或無法判斷結構物之損傷狀況。 |
| OK | 上述以外之場合。 |

4.檢查記錄方式之比較

D.E.R.U.評等法為精簡且有效檢測記錄之作業，達到快速、大量的檢測工作，故對檢查記錄表格之版面安排作相當審慎的規劃與設計，每座橋 20 項檢查項目（外加第 21 項「其他」）之記錄均集中於同一張紙上，如此可使檢查人員每次出外檢測，不必攜帶太多的記錄紙，且可方便記錄，一目瞭然；若一座橋超過一頁記錄紙，則可換新的一頁記錄。而為簡化記錄，其採取每一構件若有二處以上之破損，則選擇最嚴重處記錄 D.E.R. 值，其餘損傷則可在同一張表格下方逐項記錄其發生位置、數量、維修急迫性，及其維修處置對策等。D.E.R.U.評等法之檢測表格可分成五個主要部份：基本資料欄、橋梁整體性（全橋性）的一般檢測項目欄（第 1 至第 11 項及第 21 項）、各橋跨結構構件檢測項目欄（第 12 至第 20 項）、各項破損與瑕疵的說明

及維修工法建議欄、檢測員意見欄。另外再配合一張維修工法與處置對策一覽表，即可讓檢查員攜帶至現場展開檢查作業。

A.B.C.D.評等法則因為以條列方式逐條列出檢查項目與可能發生的損傷瑕疵，使檢查員可核對項目而予以記錄，故其檢查記錄表格乃依照八大項結構檢查分類，各有一至二張的檢查記錄表格。而以一座橋梁而言，至少都需十多張以上的記錄表格，因此，檢查員每次外出作業，均需攜帶大量且不同的記錄表格以茲應用。而對於各橋跨結構構件的檢測項目而言，A.B.C.D.評等法並沒有明確規定各橋跨究竟是彙整記錄於同一張表格，亦或逐橋跨分別記錄在各自的表格。

兩種評等法之比較後，發覺兩種評等法各有其優缺特性，且各有較適合之使用時機。如以網路層級之橋梁管理系統而言，為求快速、大量的進行橋梁評等作業，則毫無疑問應以D.E.R.U.評等法較為適合，而A、B、C及D之文字評估，未予量化，未能據以計算橋梁狀況指標（Condition Index）及維修優先排序等橋梁管理系統所需之功能，故尚未能稱為橋梁管理系統。鑒於D.E.R.U.評等法遠較A.B.C.D.評等法完善妥當且國內相當多單位如交通部公路總局等亦是採用D.E.R.U.評等法做為橋梁之目視檢測評估系統，是以建議往後相關單位進行橋梁目視檢測時以採用D.E.R.U.評等法較為合適，目前交通部之橋梁管理系統皆是採用D.E.R.U.評等法。

4.3.3 橋梁整體狀況指標

1. 橋梁各構件狀況

根據DER&U檢測法，考慮橋梁之結構安全性、服務性、重要性等因素，運用檢測評分資料加以計算，對橋梁的構件狀況，以橋梁構件狀況指標 I_{cij} 評估之，並依照構件的損壞狀況，將 I_{cij} 以小到大的方式進行排序， I_{cij} 值越小代表該構件損壞之情形越嚴重。橋梁構件狀況指標 I_{cij} 【7】計算方式如下：

$$I_{cij} = 100 - 100 \times \frac{(D + E) \times R^a}{(4 + 4) \times 4^a} \quad (4.1)$$

其中 a 代表相關重要性參數，通常內定值為 1，但是如果使用者要強調該構件特別重要時則可取 2。

2. 橋梁整體狀況

利用了目視檢測所得各構件之評估值 Ic_{ij} ，以構件相對於橋梁之權重，加以計算瞭解橋梁整體結構狀況，稱之為橋梁整體狀況指標 CI (Condition Index)【7】，其計算公式如下：

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \quad (4.2)$$

其中 Ic_i 為構件 i 之狀況值(Item Condition), w_i 為構件 i 相對於橋梁之權重，如表 4.7 所示， n 為橋梁各構件之總數， Ic_i 可以經由下式計算而得：

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \quad (4.2)$$

橋梁的整體狀況指標值 CI 越高，表示橋梁的整體狀況越良好，越低表示橋梁的整體狀況越差。整體狀況指標值 CI 中可以由使用者訂定各界限值，各界限值所代表的意義則由使用者自行設定標準，設定的方式可以根據既有橋梁的歷史資料、結構特性、工程實務上的合理性、經濟性等或其他特定目的，分析趨勢曲線後自行決定。例如設定某 CI 值為維修考量界限點，則一旦該橋梁結構綜合指標值低於該點，就必須進行高級檢測或者是否維修補強的評估。

表4.8 橋梁檢測項目權重表

| 檢測項目 | 檢測項目代碼 | 權重 |
|----------|--------|-----|
| 引道路堤 | IP01 | 3 |
| 引道護欄 | IP02 | 1 |
| 河道 | IP03 | 10 |
| 引道護坡 | IP04 | 1 |
| 橋台基礎 | IP05 | 7 |
| 橋台 | IP06 | 4 |
| 翼牆/擋土牆 | IP07 | 3 |
| 摩擦層 | IP08 | 1 |
| 橋面排水設施 | IP09 | 1 |
| 緣石及人行道 | IP10 | 1 |
| 欄杆及護牆 | IP11 | 1 |
| 橋墩保護設施 | IP12 | 11 |
| 橋墩基礎 | IP13 | 20 |
| 橋墩墩體 | IP14 | 12 |
| 支承/支承墊 | IP15 | 3 |
| 止震塊/防震拉桿 | IP16 | 3 |
| 伸縮縫 | IP17 | 6 |
| 主構件（大梁） | IP18 | 8 |
| 副構件（橫隔梁） | IP19 | 1 |
| 橋面版 | IP20 | 3 |
| 總計 | | 100 |

資料來源：【6】

第五章 研究方法與架構

本章第一節首先簡單介紹一般線性迴歸模式的基本架構，第二節進而探討羅吉斯特迴歸模式的架構，第三節則將這兩種模式做一整體性的比較，最後第四節說明本研究之研究架構。

5.1 一般線性迴歸模式的基本架構

5.1.1 一般線性迴歸的矩陣表示法

一般線性迴歸模式可以用矩陣表示如下：

$$\underset{N \times 1}{Y} = \underset{N \times P}{X} \underset{P \times 1}{\beta} + \underset{N \times 1}{\varepsilon} \quad (5.1)$$

上式中：

Y ：觀察值向量

β ：參數向量

X ：已知常數矩陣，通常為滿秩矩陣，亦即 $\text{rank}(X) = p$

ε ：服從 $N(0, {}^2I)$ 的多變量常態隨機向量。

因此隨機向量 Y 的期望值是 $E(Y) = X\beta$ ，變異數矩陣為 $\text{Var}(Y) = {}^2I$ 。

5.1.2 參數的估計

模式中的參數 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}$ 稱為迴歸係數，其中 β_0 代表的是截距； $\beta_j, j = 1, 2, \dots, p-1$ 表示在其他自變數固定不變的情形下，每單位 x_i 的變動索引引起 Y 機率分配平均數的變動量。迴歸係數通常需要透過樣本資料來估計。最常用的估計方法是最小平方法（least square）。藉由正規方程式（normal equation）

$$X^T r = X^T (Y - \hat{Y}) = 0 \quad (5.2)$$

可以推得

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (5.3)$$

$$\hat{Y} = X\beta \quad (5.4)$$

殘差向量

$$r = Y - \hat{Y} \quad (5.5)$$

5.1.3 殘差

第 i 個觀察值 Y_i 與其配適值稱為殘差 (residuals) e_i , 可以寫成

$$e_i = Y_i - \hat{Y} \quad (5.6)$$

配適值 \hat{Y} 可以用 H (hat matrix) 來表示 :

$$\hat{Y} = HY \quad (5.7)$$

$$\text{其中 } H = X(X^T X)^{-1} X^T \quad (5.8)$$

相同地 , 殘差向量也可表示成 :

$$e = Y - \hat{Y} = (I - H)Y \quad (5.9)$$

在此需區分模式誤差項 $\varepsilon_i = Y_i - E(Y_i)$ 與殘差項 $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$, 前者表示觀察值與母體迴歸線的垂直線段 , 而後者表示觀察值與配適迴歸線的垂直線段。

5.1.4 誤差項的變異數估計

殘差值為觀察值 Y_i 與估計平均值 \hat{Y}_i 的差異 , 令其平方和為 SSE (sum of squares for errors) :

$$SSE = \sum_{i=1}^N \left(Y_i - \hat{Y}_i \right)^2 \quad (5.10)$$

由於平方和 SSE 有 $N - p$ 個自由度 , 因此均方和 MSE (mean of squares errors) 可定義為 :

$$MSE = \frac{SSE}{N-p} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N-p} \quad (5.11)$$

稱之為誤差均方和或殘差均方和，為 σ^2 的不偏估計量。由於殘差向量的變異數矩陣為 $\sigma^2(e) = \sigma^2(I - H)$ ，因此可以用樣本的變異數矩陣 $s^2(e) = MSE(I - H)$ 來估計。

5.2 羅吉斯特迴歸模式的基本架構

在線性迴歸中，若將因變數對個別的自變數畫散佈圖，至少可以看出一些趨勢。但當因變數是二元資料時，畫出來的散佈圖通常只會見到在 0 和 1 上有密集的點，較難看出其中是否有任何的趨勢存在。因此也就沒辦法將兩者之間的關係用一個函數來表示。若是將自變數做某些程度的分群後，例如：找出在每一群中因變數 1 出現的比例，這個方法通常比較容易看出一些關係存在。

迴歸的基本觀念是用條件的平均數 (conditional mean) $E(Y|x)$ 來作分析。 $E(Y|x)$ 是指在給定 x 下， Y 的期望值。在線性迴歸的架構下，如果假設這個平均數可以表示為 x 的線性方程式，則 $E(Y|x) = \beta_0 + \beta_1 x$ ，其中 x 可以介於 $(-\infty, \infty)$ ，因此 $E(Y|x) \in (-\infty, \infty)$ 。而在二分法的資料下，由於 $0 \leq E(Y|x) \leq 1$ ，因此當 x 改變一單位時， $E(Y|x)$ 在接近 0 或 1 的地方基本上會變動的很緩慢。這樣的曲線多半會形成類似 S 的形狀，像一個隨機變動的累積分配圖。

5.2.1 羅吉斯特迴歸模式的表示法

羅吉斯特迴歸模式常被分析一個二元的反應變數。假設有 $n-1$ 個獨立的自變數，令其向量定義為 $x' = (x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ ，而因變數的條件機率地應為 $P(Y=1|x) = \pi(x)$ 。則羅吉斯特迴歸模式通常表示為：

$$\pi(x) = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}} \quad (5.12)$$

或經過 logit 的轉換後，

$$g(x) = \ln \left[\frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)} \right] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_{n-1} x_{n-1} \quad (5.13)$$

$g(x)$ 是參數的線性組合，範圍是從（-，）。)

5.2.2 參數估計

在線性迴歸中，我們常用最小平方法來估計參數。但在一般的羅吉斯特迴歸模型中的參數 $\hat{\beta}$ 的估計，則多半採用最大概似法(maximum likelihood method) 來進行。

假設 y_1, \dots, y_N 是 N 個獨立的二項隨機變數，則

$$y_i \sim \text{Binomial}(n_i, p_i) \quad i=1, \dots, N$$

$$f_i(y_i|x_i) = \binom{n_i}{y_i} p_i^{y_i} (1-p_i)^{n_i-y_i} \quad (5.14)$$

其概似函數 (likelihood function) 為：

$$\begin{aligned} l(p, y) &= \prod_{i=1}^N \binom{n_i}{y_i} p_i^{y_i} (1-p_i)^{n_i-y_i} \\ &= \prod_{i=1}^N \binom{n_i}{y_i} \left(\frac{e^{x_i' \beta}}{1 + e^{x_i' \beta}} \right)^{y_i} \left(\frac{1}{1 + e^{x_i' \beta}} \right)^{n_i-y_i} \end{aligned} \quad (5.15)$$

再取對數後會得到：

$$\begin{aligned} L(p, y) &= \ln l(p, y) \\ &= \sum_{i=1}^N \left\{ \ln \binom{n_i}{y_i} + y_i x_i' \beta - n_i \ln(1 + e^{x_i' \beta}) \right\} \end{aligned} \quad (5.16)$$

稱為 y_1, \dots, y_N 的對數概似函數 (log likelihood function)。最大概似估計的方法就是要找出使 $L(p, y)$ 為最大的 $\hat{\beta}$ ，這可以經由對下式求取偏微分而得，

$$\frac{\partial}{\partial \beta} L(p, y) \Big|_{\beta=\hat{\beta}} = 0 \quad (5.17)$$

而 $\hat{\beta}$ 我們將它稱為最大概似估計式 (maximum likelihood estimators)。上式導出的結果為 $X^T s = 0$ ，其中 $s = y - \hat{y}$ 。但因為 $X^T s$ 是 $\hat{\beta}$ 的非線性方程式組，所以必須用遞迴的方式反覆求解才能得出 $\hat{\beta}$ ，由於

$$-\frac{\partial}{\partial \beta} X^T s \Big|_{\beta=\hat{\beta}} = -X^T V X \quad (5.18)$$

$$\text{其中 } V = \text{diag} \left\{ n_i \hat{y}_i (1 - \hat{y}_i) \right\}, i=1, \dots, N \quad (5.19)$$

利用牛頓法 (Newton-Raphson), 可以得到 :

$$\beta^{t+1} = \beta^t + (X^T V X)^{-1} X^T s, t = 0, 1, \dots, \quad (5.20)$$

其中 V 與 s 是在 $\beta = \beta^t$ 時所計算出來的。另外一種有用的方法稱為 IRLS (iteratively reweighted least-squared), 是利用一虛擬的觀察值向量 :

$$z^t = X\beta^t + V^{-1}s \quad (5.21)$$

帶入之前的式子可得到 :

$$\beta^{t+1} = (X^T V X)^{-1} X^T V z^t \quad (5.22)$$

而 β^{t+1} 則是 z^t 與解釋變數間用加權最小平方法所估計出的參數值。

5.2.3 誤差項

在線性迴歸中, 通常假設 ϵ 是屬於常態分配, 平均數為 0, 變異數是 σ^2 。羅吉斯特迴歸模式中的誤差可以經由下面來看: 在給定自變數 x 下, 因變數可以表示成 $Y = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ 。假如 $Y = 1$, 則 $\epsilon = 1 - \pi(x)$, 其發生的機率是 $\pi(x)$; $Y = 0$, 則 $\epsilon = -\pi(x)$ 。因此, ϵ 是一個二項分配, 其平均數為 0, 而變異數是則 $\pi(x) [1 - \pi(x)]$ 。

5.2.4 模式的缺適度

1. 模式配適的偏離性檢定 (deviance)

$$D = \sum_{i=1}^N \left[y_i \ln \left(\frac{y_i}{\hat{p}_i} \right) + (n_i - y_i) \ln \left(\frac{n_i - y_i}{n_i - \hat{p}_i} \right) \right] \quad (5.23)$$

此統計量是用來評估模式的適合度 (goodness-of-fit) 的一個方法, 其在羅吉斯特迴歸中扮演的角色與直線迴歸中的 SSE 相同, 在檢定觀察值與配適值之間的差異性。

2. 概似比檢定 (likelihood ratio test)

$$\begin{aligned} G &= D(\text{模式}(1)) - D(\text{模式}(2)) \\ &= -2 \ln \left[\frac{(\text{模式}(1)\text{的概似值})}{(\text{模式}(2)\text{的概似值})} \right] \end{aligned} \quad (5.24)$$

此檢定統計量即是用來評估模式(1)與模式(2)的偏離性差異是否顯著。模式(1)所包含的自變數是模式(2)的一個部份集合，假設模式(1)的參數有 a 個，而模式(2)的參數有 b 個，其中 $b > a$ 。因此虛無假設為 $b - a$ 個自變數的係數皆為 0，而 G 的分配將是卡方分配，自由度為 $b - a$ 。若拒絕虛無假設後，我們可以說在除了模式(1)之外的 $b - a$ 個變數中，至少有一個自變數的係數不為 0。

5.2.5 係數的顯著性 - Wald 檢定

經過概似比檢定後，我們在下自變數係數不為 0 的結論前，可以對個別的自變數做 Wald 檢定。此檢定的目的是在評估自變數的係數是否為 0，也就是用來判斷在模式中的個別自變數是否顯著，其統計量為：

$$W_j = \frac{\hat{\beta}_j}{SE(\hat{\beta}_j)}, j = 1, 2, \dots, p - 1 \quad (5.25)$$

利用標準常態分配 Z ，雙尾檢定所得到的 p -value 來判定。一般而言，若 p -value < 0.05 ，則我們說這一個自變數對模式而言是顯著的。

5.3 羅吉斯特迴歸模式與線性迴歸模式之比較

5.3.1 羅吉斯特迴歸與線性迴歸相同之處

羅吉斯特迴歸與線性迴歸分析的最主要目的為，(1) 敘述；(2) 控制；(3) 預測。在實際資料的應用中，此項目的常常被混和使用。若確立了因變數與自變數之間的關係後，則可以利用來模式預測未來的資料；或者未達到某些預期目標，則可對自變數做有效的控制。而由於羅吉斯特迴歸是從線性迴歸中演變出來的一支，所以一些線性迴歸的主要基本理念或方法通常都可以沿用到羅吉斯特迴歸上來。

5.3.2 羅吉斯特迴歸與線性迴歸相異之處

最主要區分簡單羅吉斯特迴歸模式和簡單線性迴歸模式的不同

參見表 5.1，其說明如下：

- 1.兩者最大的不同，基本上在於資料型態不一樣：羅吉斯特迴歸分析的因變數基本上是二元的，即屬於間斷性的資料；而線性迴歸所分析的因變數是計量的，亦即連續型的資料。
- 2.兩者模式也不相同：線性迴歸模式是用來配適變數之間的線性（曲線或直線）關係；而羅吉斯特迴歸則是需將 $(x) = E(Y$
 $x)$ 經過 logit 的轉換才會具有線性關係
- 3.條件平均數不同：當資料是二分法時，條件平均數是介於 0 和 1 之間的，而羅吉斯特迴歸的模式是滿足這個標準；而線性迴歸的因變數本身是連續型態條件，所以平均數則沒有限制。
- 4.誤差的分配函數不同：線性迴歸模式的誤差項是假設為常態分配；而羅吉斯特的誤差項是屬於二項分配。



表 5.1 簡單羅吉斯特迴歸模式和簡單線性迴歸模式相異表

| 簡單羅吉斯特迴歸模式 | 簡單線性迴歸模式 |
|--|--|
| 二元 (Dichotomous, binary) 資料 | 計量 (Quantitative) 資料 |
| $E(Y x) = \pi(x)$ $= \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}}$ $\left(\text{或者 } \log \frac{E(Y x)}{1 - E(Y x)} = \log \frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)} \right)$ $= \beta_0 + \beta_1 x$ | $E(Y x) = \beta_0 + \beta_1 x$ |
| $0 \leq E(Y x) = \pi(x) \leq 1$ $\left(\text{或者 } \log \frac{E(Y x)}{1 - E(Y x)} \right) \in R$ | $E(Y x) \in R$ |
| $Y(x) = E(Y x) + \varepsilon(x)$ $= \pi(x) + \varepsilon(x)$ <p>其中 $\varepsilon(x) = \begin{cases} 1 - \pi(x) & , \text{發生機率} = \pi(x) \\ -\pi(x) & , \text{發生機率} = 1 - \pi(x) \end{cases}$</p> <p>亦即 $Y(x) \sim \text{Bernoulli}(\pi(x))$</p> | $Y(x) = E(Y x) + \varepsilon(x)$ <p>其中 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$</p> <p>亦即 $Y(x) \sim N(E(Y x), \sigma^2)$</p> |

5.4 研究架構

由 5.1 至 5.3 之內容可知，迴歸分析最常用來描述一筆資料中被解釋變數與一個或多個解釋變數之間的關係，但前提必須是被解釋變數須要是連續的型態，然而在實務應用上，所需要探討的常常只有兩種型態之變數，例如：種子在相同的實驗條件下發芽或不發芽，將昆蟲施予不同劑量的殺蟲劑後是生或死，電子公司製造的產品是否有缺陷，汽車駕駛者有無喝酒過量是否會發生危險肇事行為，以上這些被解釋變數的反應值都是二元的 (binary)，是或不是，生或死，有或無，成功或失敗，只有兩種可能的結果。羅吉斯特迴歸模式 (logistic

regression models)即是應用來配適被解釋變數是屬於二元間斷型態的一種迴歸模式，本研究主要在探討橋梁損壞與否與其橋梁資料之相關性，因此採用羅吉斯特迴歸作為研究方法，以進行橋梁損壞之分析。

5.4.1 橋梁目視檢測資料之處理

由第二章文獻回顧可知，影響橋梁結構發生損壞之關鍵環境因素甚多，有些資料實在難以實際獲取，進而增加研究之困難度，因而本研究在探討橋梁損壞情形時考量資料蒐集之難度，必須採取二項橋梁分類原則：

- 1.應能區分橋梁之結構特性，符合橋梁分類原則。
- 2.資料應儘量可由橋梁目視檢測工作或全國橋梁管理系統橋梁屬性資料求得，以增加其可行性與實用性。

大致而言，橋梁損壞之關鍵環境因素從台灣地區橋梁損壞發生原因可概分為：地震，沖刷以及腐蝕。

地震為台灣地區特有之天然災害之一，長久以來許多重大建設亦頗受其干擾，民國 88 年之 921 集集大地震為最近一次造成極大損傷之地震，因此各種結構物對防震之要皆有其一定之規範，橋梁因受地震之影響，於結構上必須考量之橋梁特性有：上部結構材質、橋長、耐震設計、橋跨數、橋跨連續性、橋墩型式等。河流的沖刷問題則是台灣地區橋梁間接之人為影響因素，在橋梁特性中必須考量橋梁之橋墩基礎型式、橋墩型式以及保護工。至於橋梁腐蝕問題，主要起因於台灣地區氣候上之變化差異，造成橋梁所在位置之溫度、溼度等變化之影響，因而必須考量之橋梁特性有上部結構材質與下部結構材質。

本研究蒐集之橋梁目視檢測資料，其來源為民國 89 年至民國 90 年間唯豐工程顧問股份有限公司所調查台中縣橋梁檢測之原始基本資料，從資料建檔之紀錄中，可知橋梁檢測時間分布從民國 89 年 12 月至民國 90 年 7 月，大致上可分為兩部份，一部份為橋梁基本資料，包含橋梁之管理資料、幾何資料、結構資料及設計資料；另一部份為橋梁檢測資料，包含一般檢測項目資料，橋台或橋墩資料，橋孔號資料。其中，由於部份資料之缺少或遺漏，而且甚難以實地踏勘或其他方式補足缺少之資料，因此本研究於橋梁損壞因素分析中有部份因素未納

入考量，包含管理資料中之最近一次維修時間與設計資料中之設計活載重，詳細的橋梁基本統計資料詳見 6.1 之說明。

橋梁目視檢測之資料甚多，本研究所蒐集之橋梁基本資料如表 5.2 所示，其中部份橋梁之竣工年月資料缺乏，而橋梁之結構資料中亦有許多屬於無法檢測或缺乏者，至於設計資料大多數橋梁僅有防落橋長度。此外，本研究所蒐集之橋梁檢測資料如表 5.3 所示，將作為判別橋梁構件之損壞與否，以瞭解各部位橋梁結構之損壞情形。

表 5.2 橋梁基本資料類型

| 基本資料類型 | 管理資料 | 幾何資料 | 結構資料 | 設計資料 |
|--------|------------------------------|--|---|-------|
| 資料項目 | 所在鄉區 道路等級 竣工年月 跨越物體 | 橋梁總長 最大淨寬 橋版投影面積 橋下淨高 總橋孔數 總車道數 最大跨距 | 結構型式 橋墩型式 橋墩材質 橋墩基礎型式 主梁型式 主梁材質 橋台型式 橋台基礎型式 鋪面材質 伸縮縫 翼牆型式 支承型式 防震設施 | 防落橋長度 |

表 5.3 橋梁檢測資料類型

| 檢測資料類型 | 一般目視檢測 | 橋台或橋墩 | 橋孔號 |
|--------|--|---|------------------------|
| 檢測項目 | 引道路堤 引道護欄 河床 引道護坡 橋台基礎 橋台 翼牆/檔土牆 磨擦層 橋面排水設施 緣石及人行道 欄杆及護欄 其他 | 橋墩保護設施 橋台基礎 橋墩墩體 支承/支承墊 止振塊拉桿 伸縮縫拉桿 伸縮縫 | 主構件大梁 副構件橫隔梁 橋面版 |

5.4.2 橋梁損壞分析架構

橋梁損壞因素眾多，從表 5.2 與表 5.3 可知本研究所蒐集建檔之橋梁目視檢測資料，然而在實際上從資料之建檔過程中發現，雖然有些橋梁資料（地震：上部結構材質、橋跨連續性，沖刷：橋墩基礎型式、保護工，腐蝕：上部結構材質，下部結構材質）屬於關鍵環境因素之一，而且大多可由橋梁目視檢測資料中取得（僅橋跨連續性必須由現場目視判斷），然而卻因原始資料紀錄不全或者橋梁資料之分類無法合理區分橋梁特性，此外，本研究在不考量橋梁現有之使用情況，包含：橋梁現有交通流量與維修紀錄歷史之前提下，依據上述之原因作為挑選解釋變數之考量。

針對既有橋梁之橋梁檢測資料，本研究欲探討之橋梁結構損壞分析分為二階段，第一階段進行橋梁損壞因素分析，第二階段進行橋梁損壞部位分析。

首先將橋梁損壞因素分為三方面：基本性質方面、外在環境方面與內在結構方面，如圖 5.1 所示。就橋梁基本性質方面考量之因素包含：橋齡、橋梁總長、總車道數與最大跨距；就橋梁外在環境方面考

量之因素包含：跨河情形、距海遠近與橋下河道情形。就橋梁內在結構方面考量之因素包含：結構型式、主梁型式、橋台型式、鋪面材質、翼牆型式與防震設施。本研究第一階首先將針對上述橋梁損壞因素進行整體橋梁損壞與否之相關性分析，其次將受損橋梁根據整體橋梁狀況指標 CI 分類，進行橋梁不同程度損壞之相關性分析。

若依橋梁損壞部位分類，橋梁損壞可分為三部位：上部結構、下部結構與介面部，如圖 5.2 所示。上部結構包含：大梁、橫隔梁與橋面版；下部結構包含橋墩保護措施、橋墩基礎與橋墩墩體；介面部包含支承墊、止震塊（防震拉桿）伸縮縫。本研究第二階段將針對橋梁此三部位構件之損壞與否，考量各部位之型式與材質進行交叉分析。

因此，本研究將利用橋梁之基本資料及橋梁檢測資料建立羅吉斯特迴歸模式，包括：

1. 整體橋梁損壞模式
2. 橋梁損壞程度模式
3. 上部結構損壞模式
4. 下部結構損壞模式

分析橋梁損壞因素與損壞部位之相關性，希望能藉此了解台灣地區一般橋梁結構之損壞情形，各級橋梁主管機關能以此作為維護之參考。

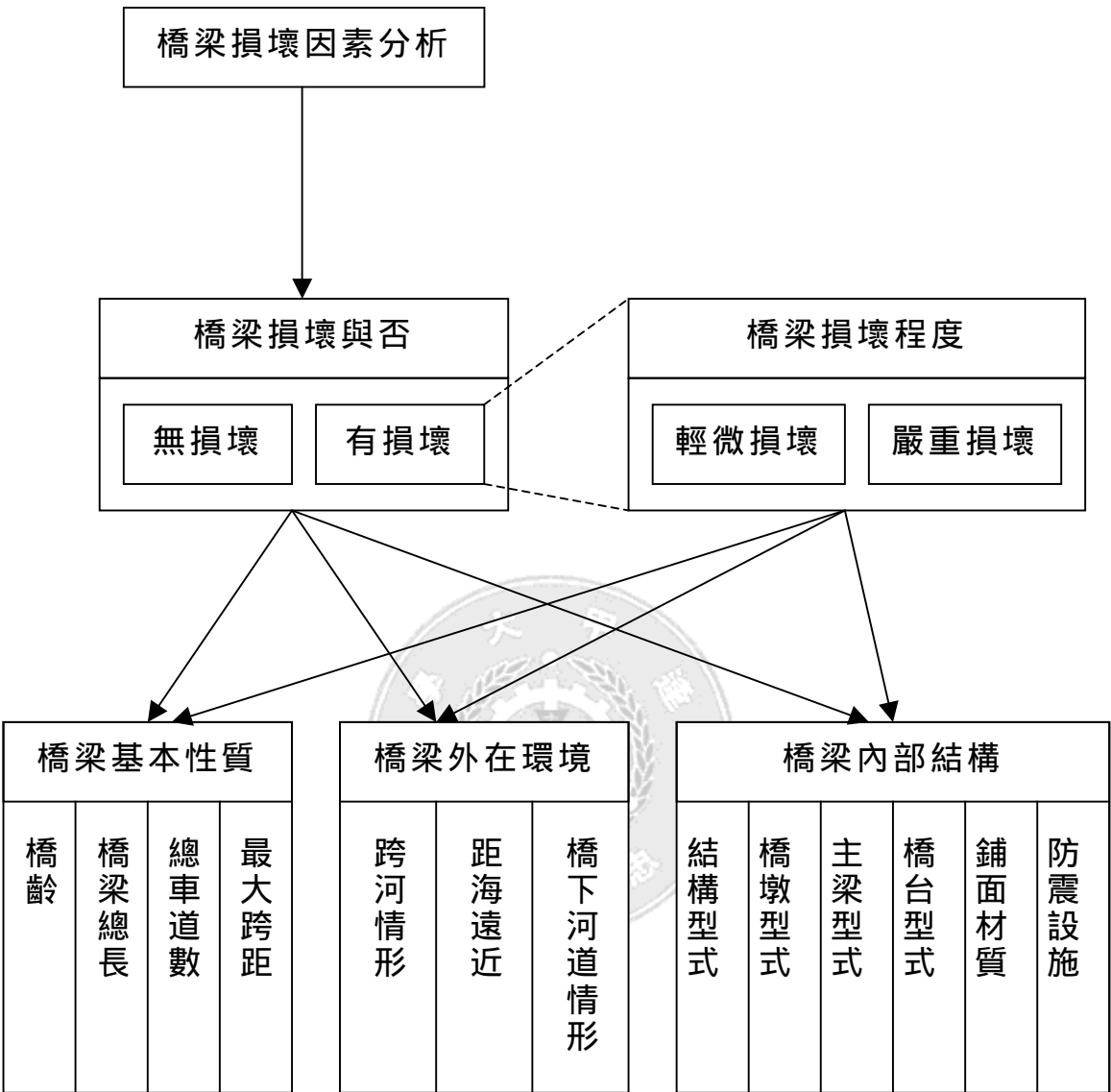


圖 5.1 橋梁損壞因素分析流程

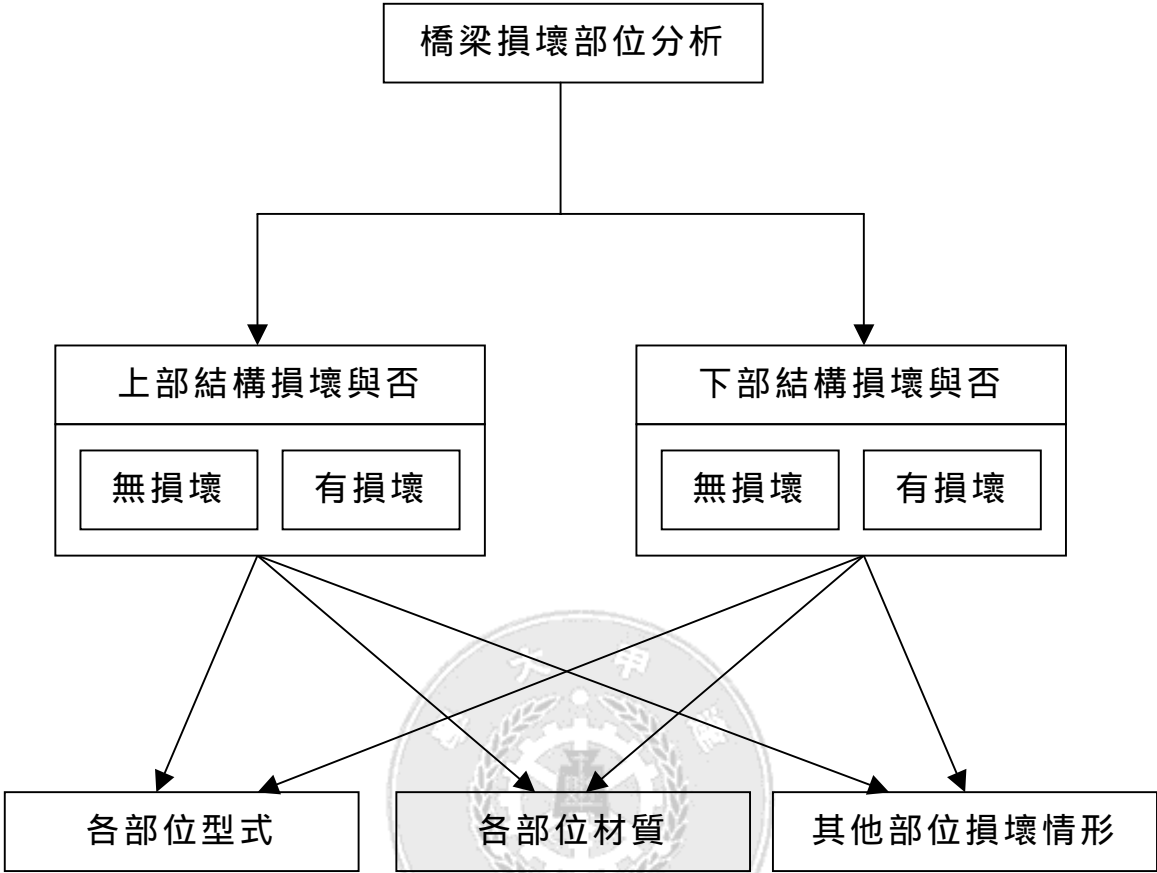


圖 5.2 橋梁損壞部位分析流程

5.4.3 研究相關變數說明

良好完整之橋梁分類方法應具有下列原則：

- 1.要能涵蓋所有或大部份橋梁
- 2.橋梁分類數目不宜過多，以免失去分類的意義；亦不可過少，以免失去區分梁特性之功能。
- 3.同分類橋梁應具有相似之特性。

因此對各項研究相關變數之分類，以符合上述原則為主，大致而言變數之分類方式依據「台灣地區橋梁管理系統橋梁基本資料建立說明手冊」【3】中橋梁目視檢測資料對各項資料之分類方法，並考量到實際資料數量之特性，進行變數分類之步驟。

1.依橋梁損壞定義分類

(1) 整體橋梁損壞

本研究將橋梁損壞定義為橋梁構件功能無法正常發揮，從橋梁檢測評估狀況資料中若有任何一項檢測項目（第1項至第21項，但不包含第3項河道）之D值大於1以上（即包含2、3、4），則為本研究所謂定義之橋梁損壞。換言之，橋梁整體狀況指標CI值未達100者即為橋梁損壞。本研究段將橋梁區分為有損壞與無損壞二種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-----|
| 1 | 有損壞 |
| 2 | 無損壞 |

(2) 橋梁損壞程度

本研究為能瞭解橋梁損壞程度之影響情形，因此將損壞橋梁依橋梁整體狀況指標CI值區分為嚴重損壞與輕微損壞二種類。

| 代號 | 情況 |
|----|--------------------|
| 1 | 較嚴重(CI < 95) |
| 2 | 較輕微(95 ≤ CI < 100) |

(3) 上部結構損壞

本研究將橋梁上部結構損壞定義為橋梁檢測評估狀況資料中，若於大梁、隔梁或橋面版(第 18 項至第 20 項)任何一項之 D 值大於 1 以上(即包含 2、3、4)，則為本研究所謂定義之橋梁上部結構損壞，將橋梁區分為上部結構有損壞與無損壞二種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-----|
| 1 | 有損壞 |
| 2 | 無損壞 |

(4) 下部結構損壞

本研究將橋梁下部結構損壞定義為橋梁檢測評估狀況資料中，若於橋墩保護措施、橋墩基礎或橋墩墩體(第 12 項至第 14 項)任何一項之 D 值大於 1 以上(即包含 2、3、4)，則為本研究所謂定義之橋梁上部結構損壞，將橋梁區分為下部結構有損壞與無損壞二種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-----|
| 1 | 有損壞 |
| 2 | 無損壞 |

(5) 介面部損壞

本研究將介面部損壞定義為橋梁檢測評估狀況資料中，若於支承/支承墊、止震塊拉桿或伸縮縫(第 15 項至第 17 項)任何一項之 D 值大於 1 以上(即包含 2、3、4)，則為本研究所謂定義之橋梁介面部損壞，將橋梁區分為介面部有損壞與無損壞二種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-----|
| 1 | 有損壞 |
| 2 | 無損壞 |

(6) 一般性全橋功能損壞

本研究將一般性全橋功能損壞定義為橋梁檢測評估狀況資料中，若於引道路堤、引道護欄、引道護坡、橋台基礎、橋台、翼牆/檔土牆、摩擦層、橋面排水設施、緣石及人行道、欄杆及護欄（第 1 項至第 11 項與第 21 項，但不包含第 3 項河道）任何一項之 D 值大於 1 以上（即包含 2、3、4），則為本研究所謂定義之一般性全橋功能損壞，將橋梁區分為一般性全橋功能有損壞與無損壞二種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-----|
| 1 | 有損壞 |
| 2 | 無損壞 |

2. 依橋梁基本性質分類

(1) 橋齡

本研究將橋梁之橋齡定義從橋梁竣工時間起算至橋梁檢測時間此段之時間，包含資料未明之部份，依所佔比例分為四種類。

| 代號 | 情況 |
|----|----------------|
| 1 | 未滿 10 年 |
| 2 | 10 年以上~未滿 15 年 |
| 3 | 15 年以上 |
| 4 | 未明 |

(2) 橋梁總長

本研究將橋梁總長定義為主橋之兩端橋台邊緣之距離，而曲橋之橋長應沿橋面版中心線量測，依所佔比例分為三種類。

| 代號 | 情況 |
|----|------------------|
| 1 | 未滿 10 公尺 |
| 2 | 10 公尺以上~未滿 20 公尺 |
| 3 | 20 公尺以上 |

(3) 總車道數

總車道數應為橋梁主橋上雙向所有供汽車使用之快車道、或專供機車使用之慢車道之總和，依所佔比例分為三種類。

| 代號 | 情況 |
|----|--------|
| 1 | 1 車道 |
| 2 | 2 車道 |
| 3 | 4 車道以上 |

(4) 最大跨距

最大跨距應為橋梁所有相鄰橋墩之中心距離中選擇其最大者，依所佔比例分為三種類。

| 代號 | 情況 |
|----|------------------|
| 1 | 未滿 10 公尺 |
| 2 | 10 公尺以上~未滿 15 公尺 |
| 3 | 15 公尺以上 |

3. 依橋梁外在環境分類

(1) 跨河情形

本研究依橋梁之跨河情形區分橋梁使否為跨河構造物，並分為二種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-------|
| 1 | 跨河橋梁 |
| 2 | 非跨河橋梁 |

(2) 距海遠近

不同區域之橋梁所面對之天然環境特性不同，例如：溫度、溼度之影響，或者是河流之沖刷侵蝕、土石流之發生，或者是鹽害造成鋼筋之腐蝕以及發生地震之影響等，本研究欲瞭解橋梁區域性差異之所造成影響，因此依照橋址所在行政區域至海岸線的距離，將橋梁區分為三種類，如圖 5.3 所示。

| 代號 | 情況 |
|----|---------------------------------|
| 1 | 最近區：包含大安、大甲、外埔、清水、梧棲、沙鹿、龍井、大肚等。 |
| 2 | 中間區：包含后里、神岡、豐原、大雅、潭子、烏日、大里等。 |
| 3 | 最遠區：包含霧峰、太平、東勢、石岡、新社、和平等。 |



圖 5.3 橋梁距海遠近分區圖

(3) 橋下河道情形

河道功能之檢測包括以下項目：

- A.適當的開口：評估橋梁座落的河道，其開口大小及位置情形。評估上游洪水時對橋梁下部結構影響及基礎沖刷的防範。
- B.侵蝕與沖刷：檢查河流護堤及深度的變化。檢查是否有增加水流速度的情形，例如：部份河床的沉積，由於橋梁下部結構的突出或淤積而使河道偏移，不適當的開口等。同時應將新的沖刷資料與以往的記錄比較。
- C.河道沉積：檢查河床的沉積或植生的阻塞。沉積會導致發生洪水的危險或造成河道其他部份的沖刷。
- D.河堤保護：檢查河堤保護的功能。對於主要河川，大部份都有實施河川整治計畫，而沒有河堤，此時應對河道築堤上防蟲侵蝕的保護材料劣化進行檢查評估。

從一般性全橋功能檢測中河道項目（第 3 項）之 D 值區分，將橋下河道區分為三種類。

| 代號 | 情況 |
|----|---------------|
| 1 | 功能較優： $D = 1$ |
| 2 | 功能較劣： $D > 1$ |
| 3 | 未明： $D = 0$ |

4. 依橋梁內部結構分類

(1) 結構型式

將橋梁依主橋之結構型式區分為三種類。

| 代號 | 情況 |
|----|---------------|
| 1 | 版橋 |
| 2 | 梁式橋 |
| 3 | 其他，包含箱型橋、拱橋等。 |

(2) 橋墩型式

將橋梁依主橋之橋墩型式區分為四種類。

| 代號 | 情況 |
|----|---------------|
| 1 | 牆式 |
| 2 | 單柱式、雙柱式 |
| 3 | 其他，包含樁排式、塔式等。 |
| 4 | 未明 |

(3) 主梁型式

將橋梁依主梁型式區分為四種類。

| 代號 | 情況 |
|----|------------|
| 1 | I 型梁 |
| 2 | T 型梁 |
| 3 | 版梁 |
| 4 | 其他，包含箱型梁等。 |

(4) 橋台型式

將橋梁依主橋之橋台型式區分為五種類。

| 代號 | 情況 |
|----|----------------------------|
| 1 | 矮墩式 |
| 2 | 重力式 |
| 3 | 非重力式 |
| 4 | 其他，包含：懸臂式、溢土式、扶壁式、箱型（空心）等。 |
| 5 | 未明 |

(5) 鋪面材質

將橋梁依主橋之鋪面材質區分為三種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-----------|
| 1 | 瀝青混凝土(AC) |
| 2 | 混凝土(RC) |
| 3 | 其他，包含未明。 |

(6) 防震設施

將橋梁依防震設施之有無區分為三種類。

| 代號 | 情況 |
|----|-----------|
| 1 | 有(混凝土止震塊) |
| 2 | 無 |
| 3 | 未明 |



第六章 模式建立與分析

本章首先說明本研究所蒐集到的橋梁目視檢測資料，包含橋梁基本資料與檢測資料之基本統計，從基本統計推敲橋梁資料之可能型態，之後，則針對本研究欲探討之四個研究主題：1.整體橋梁損壞模式、2.橋梁損壞程度模式、3.上部結構損壞模式、4.下部結構損壞模式，進行羅吉斯特迴歸模式之建立與校估，根據校估結果做適當之分析，以瞭解橋梁實際發生損壞情形之趨勢。

6.1 資料蒐集

本研究所蒐集橋梁目視檢測之資料，大致可分為兩部份，一部份為橋梁基本資料，包含橋梁之管理資料、幾何資料、結構資料及設計資料；另一部份為橋梁檢測資料，包含一般檢測項目資料、橋台或橋墩資料及橋孔號資料。

本研究所蒐集之台中縣橋梁資料共計有 1,268 筆，每 1 筆橋梁資料包括該座橋之基本資料與橋梁檢測資料，其中缺少結構資料者有 1 筆，缺少橋梁檢測資料者有 15 筆，初步計算橋梁資料完整者計有 1,252 筆。1,252 筆橋梁資料中，有 317 筆橋梁資料之幾何資料未符合本研究所定義之橋梁定義：橋長六公尺以上、橋寬 3 公尺以上。因此，本研究採用 935 筆橋梁資料，作為橋梁損壞因素與橋梁損壞部位之分析，各行政區橋梁座數與道路等級之交叉統計次數如表 6.1 所示。

表 6.1 台中縣橋梁資料座數 - 行政區與道路等級交叉次數統計表

| 行政區 | 道路等級 | | | | 總計 |
|-----|------|------|------|-----|-----|
| | 鄉道 | 產業道路 | 市區道路 | 其他 | |
| 太平 | 36 | 3 | 8 | 1 | 48 |
| 大里 | 9 | 10 | 4 | 0 | 23 |
| 霧峰 | 29 | 14 | 2 | 15 | 60 |
| 烏日 | 27 | 12 | 5 | 6 | 50 |
| 豐原 | 36 | 12 | 18 | 32 | 98 |
| 后里 | 20 | 2 | 9 | 18 | 49 |
| 石岡 | 18 | 1 | 2 | 14 | 35 |
| 東勢 | 41 | 13 | 4 | 42 | 100 |
| 和平 | 15 | 2 | 0 | 1 | 18 |
| 新社 | 29 | 7 | 0 | 9 | 45 |
| 潭子 | 25 | 9 | 14 | 30 | 78 |
| 大雅 | 13 | 0 | 20 | 44 | 77 |
| 神岡 | 14 | 0 | 2 | 4 | 20 |
| 大肚 | 3 | 7 | 8 | 20 | 38 |
| 沙鹿 | 7 | 0 | 5 | 15 | 27 |
| 龍井 | 9 | 2 | 2 | 16 | 29 |
| 梧棲 | 5 | 0 | 2 | 12 | 19 |
| 清水 | 6 | 4 | 4 | 7 | 21 |
| 大甲 | 25 | 1 | 3 | 21 | 50 |
| 外埔 | 12 | 2 | 1 | 5 | 20 |
| 大安 | 16 | 3 | 1 | 10 | 30 |
| 總計 | 395 | 104 | 114 | 322 | 935 |

資料來源：本研究整理

6.1.1 橋梁基本統計資料

1. 橋梁損壞資料統計

台中縣整體橋梁損壞情形如表 6.4 所示，總共蒐集 935 座橋樑，其中有損傷者計有 550 座，佔了整體之 58.82%，無損傷之橋梁有 385 座，佔了整體之 41.18%。若將受損橋梁依損壞程度區分，受損較嚴重之橋梁有 59 座，其比例僅為整體之 6.31%，約為有損壞橋梁之十分之一，可知台中縣橋梁損壞程度大多偏向輕微損壞。

表 6.2 台中縣整體橋梁損壞情形統計表

| 損壞情形 | | 座數 | 所佔百分比 |
|------|------|-----|---------|
| 損壞與否 | 損壞程度 | | |
| 有損壞 | 較嚴重 | 59 | 6.31% |
| | 較輕微 | 491 | 52.51% |
| 小計 | | 550 | 58.82% |
| 無損壞 | | 385 | 41.18% |
| 總計 | | 935 | 100.00% |

資料來源：本研究整理

台中縣橋梁損壞部位統計如表 6.5 所示，橋梁各部位損壞均有可能發生，其中一般全橋功能性損壞之橋梁損壞有 514 座，所佔比例為 54.97% 最多，其次為上部結構損壞之橋梁有 79 座，所佔比例為 8.45%，第三為下部結構損壞之橋梁有 44 座，所佔比例為 4.71%，最後為包含支承/支承墊、止震塊拉桿與伸縮縫等介面部損壞之橋梁有 16 座，所佔比例為 1.71%。

表 6.3 台中縣橋梁損壞部位統計表

| 損壞部位 | 損壞情形 | 座數 | 所佔百分比 |
|---------|------|-----|---------|
| 上部結構 | 有損壞 | 79 | 8.45% |
| | 無損壞 | 856 | 91.55% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 下部結構 | 有損壞 | 44 | 4.71% |
| | 無損壞 | 891 | 95.29% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 介面部 | 有損壞 | 16 | 1.71% |
| | 無損壞 | 919 | 98.29% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 一般全橋功能性 | 有損壞 | 514 | 54.97% |
| | 無損壞 | 421 | 45.03% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |

資料來源：本研究整理

2. 橋梁基本性質資料統計

表 6.6 所示為橋梁基本性質之統計資料，就橋齡方面，橋齡未明多為缺少橋梁竣工時間，扣除橋齡未明橋梁所佔比例 63.64%，大體而言橋齡普遍多屬未滿 15 年（未滿 10 年佔 15.51%，10 年以上~未滿 15 年佔 12.62%），顯然可知近十多年來台中縣於橋梁工程方面有卓越建設發展。橋梁總長方面，未滿 20 公尺之橋梁約為整體之四分之三（未滿 10 公尺之橋梁佔 42.46%，10 公尺以上~未滿 20 公尺之橋梁佔 32.30%），20 公尺以上之橋梁僅佔整體之 25.24%。總車道數方面，2 車道之橋梁最多（590 座，佔 63.10%），4 車道以上之橋梁最少（50 座，佔 5.35%）。最大跨距方面，大多數仍屬於短跨距橋梁（未滿 10 公尺佔 48.77%，10 公尺以上~未滿 15 公尺佔 26.74%），約為整體之四分之三，其他橋梁（跨距大於 15 公尺以上）僅佔整體之

24.49%。

表 6.4 橋梁基本性質統計表

| 基本性質 | 情形 | 座數 | 所佔百分比 |
|------|------------------|-----|---------|
| 橋 齡 | 未滿 10 年 | 145 | 15.51% |
| | 10 年以上~未滿 15 年 | 118 | 12.62% |
| | 15 年以上 | 77 | 8.24% |
| | 未明 | 595 | 63.64% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 橋梁總長 | 未滿 10 公尺 | 397 | 42.46% |
| | 10 公尺以上~未滿 20 公尺 | 302 | 32.30% |
| | 20 公尺以上 | 236 | 25.24% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 總車道數 | 1 車道 | 295 | 31.55% |
| | 2 車道 | 590 | 63.10% |
| | 4 車道以上 | 50 | 5.35% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 最大跨距 | 未滿 10 公尺 | 456 | 48.77% |
| | 10 公尺以上~未滿 15 公尺 | 250 | 26.74% |
| | 15 公尺以上 | 229 | 24.49% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |

資料來源：本研究整理

3. 橋梁外在環境資料統計

表 6.7 所示為橋梁外在環境之統計資料，大多數均屬跨河橋梁（890 座，佔整體之 95.19%），少數屬於非跨河橋梁（45 座，佔整體之 4.81%）。依距海遠近區分，各區橋梁座數雖然相差不多，但須值得注意各區之區域特性不太一致，對橋梁損壞之影響結果亦會不同。橋梁河道情形方面，未明之原因可能為至橋

梁下方受阻而無法觀察，計有 62 座，佔整體之 6.63%，橋下河道功能較劣之橋梁有 51 座，佔整體之 5.45%，而大多數（822 座，佔整體之 87.92%）橋梁仍能正常發揮橋下河道功能。

表 6.5 橋梁外在環境統計表

| 外在環境 | 情形 | 座數 | 所佔百分比 |
|--------|-------|-----|---------|
| 跨河情形 | 跨河橋梁 | 890 | 95.19% |
| | 非跨河橋梁 | 45 | 4.81% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 距海遠近 | 最近區 | 234 | 25.02% |
| | 中間區 | 395 | 42.25% |
| | 最遠區 | 306 | 32.73% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 橋下河道情形 | 功能較優 | 822 | 87.92% |
| | 功能較劣 | 51 | 5.45% |
| | 未明 | 62 | 6.63% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |

資料來源：本研究整理

4. 橋梁內部結構統計資料

表 6.7 所示為橋梁外在環境之統計資料，大多數之橋梁結構型式為版橋（41.60%）或梁式橋（48.77%），少數（9.63%）為箱型橋、拱橋等。橋墩型式方面，未明之橋梁因無法至下橋觀察，扣除未明之部分（75.20%），剩下多屬於牆式（12.94%）與柱式（9.20%）橋墩。主梁型式方面，最多為版梁，佔整體之 40.21%，其次為 T 型梁，佔整體之 37.65%，另外 I 型梁佔整體之 11.34%。橋台型式方面，大多數為重力式（19.89%）或半重力式（57.86%）橋台，約為全部之四分之三。鋪面材質方面，大多數為瀝青混凝土（84.71%），僅少部份為鋼筋混凝土（14.65%）與未明（0.64%）。

表 6.6 橋梁內部結構統計表

| 內部結構 | 情形 | 座數 | 所佔百分比 |
|------|-----------|-----|---------|
| 結構型式 | 版橋 | 389 | 41.60% |
| | 梁式橋 | 456 | 48.77% |
| | 其他 | 90 | 9.63% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 橋墩型式 | 牆式 | 121 | 12.94% |
| | 單柱式、雙柱式 | 86 | 9.20% |
| | 其他 | 25 | 2.67% |
| | 未明 | 703 | 75.20% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 主梁型式 | I 型梁 | 106 | 11.34% |
| | T 型梁 | 352 | 37.65% |
| | 版梁 | 376 | 40.21% |
| | 其他 | 101 | 10.80% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 橋台型式 | 矮墩式 | 63 | 6.74% |
| | 重力式 | 186 | 19.89% |
| | 半重力式 | 541 | 57.86% |
| | 其他 | 101 | 10.80% |
| | 未明 | 44 | 4.71% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |
| 鋪面材質 | 瀝青混凝土(AC) | 792 | 84.71% |
| | 混凝土(RC) | 137 | 14.65% |
| | 其他 | 6 | 0.64% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |

| | | | |
|------|-----------|-----|---------|
| 防震設施 | 有(混凝土止震塊) | 63 | 6.74% |
| | 無 | 857 | 91.66% |
| | 未明 | 15 | 1.60% |
| | 總計 | 935 | 100.00% |

資料來源：本研究整理

6.1.2 橋梁基本統計資料初步分析

從台中縣橋梁基本統計資料，大致上可觀察到一些特性：

- 1.雖然並無蒐集橋梁維修歷史資料，但大抵而言橋梁主管機關過去對橋梁之養護維修作業較不重視，因此可由整體橋梁損壞情形中得知，一般橋梁在缺少養護維修之作業中，橋梁損壞之比例約為六成，其中只有一成屬於較嚴重損壞，其他橋梁則屬於較輕微損壞。
- 2.從本研究蒐集橋梁之橋齡統計資料中可知，橋梁橋齡在 15 年內占已知橋齡資料之 7 成以上，顯示近年來橋梁工程於公共建設中受到高度之重視。
- 3.台中縣政府目前主要管轄之橋梁包含縣內 21 個鄉鎮市之鄉道、與產業道路（如表 3.1 所示），而縣道以上等級之橋梁則由交通部公路總局或高公局負責，可預期本研究蒐集之橋梁應該多屬短而小之橋梁。從橋梁基本性質統計資料中可知，有 7 成以上之橋梁其橋梁總長不到 20 公尺，9 成以上之橋梁屬於 2 車道以下，7 成以上之橋梁最大跨距不到 15 公尺，顯示大多數之橋梁屬於短而小之橋梁，因此與預期吻合。
- 4.就本研究蒐集橋梁之跨河情形而言，雖然多數之橋梁屬於跨河橋梁，然而在資料蒐集過程中，發現真正屬於跨越大型溪流之橋梁並不多，大多數橋梁均跨越小型溝渠、圳道、排水溝等，此與預期吻合。
- 5.就本研究蒐集橋梁之內部結構統計資料而言，一般常見橋梁之結構型式主要仍以梁式橋與版橋為主，其主梁型式多採用版

梁、T 型梁或 I 型梁，橋台多以半重力式或重力式為主。

6.2 模式構建

本研究以 BMDP 程式進行羅吉斯特回歸模式校估，模式校估方式首先放入單一變數進行模式校估，根據 t 值來判斷選取變數是否顯著。其次，以單一顯著變數做為整體模式挑選變數之參考，並依據單一變數模式校估之 LL 值作為挑選變數放入之順序，LL 值愈大者優先列入整體模式之挑選，採逐次逐項方式放入變數，觀察模式校估結果中各變數之顯著性與整體模式之解釋能力（LL 值），最後挑選 LL 值愈大且變數皆為顯著之組合為最佳模式。

6.2.1 模式校估

1. 整體橋梁損壞模式

在整體橋梁損壞模式中，考量之變數有（1）橋梁基本性質資料：橋齡、橋梁總長、總車道數、最大跨距，（2）橋梁外在環境資料：跨河情形、距海遠近、橋下河道情形，（3）橋梁內部資料：結構型式、橋墩型式、主梁型式、橋台型式、鋪面材質、防震設施。經過羅吉斯特模式校估後產生最佳模式，在 95% 信賴區間， t 值 > 1.96 或 t 值 < -1.96 之顯著變數有 7 個，包括：橋齡未滿 10 年、橋梁 15 年以上、總車道數 4 車道以上、距海遠近最遠區、版梁、I 型梁、有防震設施，如表 6.7 所示。

就整體橋梁損壞模式而言，傾向於正趨勢（變數係數 > 0 ）之顯著變數有：橋齡 15 年以上、距海遠近最遠區、有防震設施（混凝土止震塊），也就是說橋齡 15 年以上、位於距海遠近最遠區或有防震設施之橋梁相較於其他種類之橋梁愈容易發生損壞，其發生損壞之機率相較於其他種類之橋梁分別為：其他橋齡之橋梁的 1.84 倍、其他區域之橋梁的 1.78 倍、無防震設施與未明之橋梁的 2.26 倍。

此外，傾向於負趨勢（變數係數 < 0 ）之顯著變數有：橋齡未滿 10 年、總車道數 4 車道以上、版梁、I 型梁，也就是說橋齡未滿 10 年、總車道數 4 車道以上、版梁、I 型梁之橋梁相較

於其他種類之橋梁愈不容易有損壞之情形發生，而其發生損壞之機率相較於其他種類之橋梁分別為：其他橋齡之橋梁的 0.627 倍、其他總車道數之橋梁的 0.520 倍、其他主梁型式之橋梁的 0.507 與 0.338 倍。

表 6.7 整體橋梁損壞最佳模式校估

| 顯著變數 (95%信賴區間) | 變數係數 | t 值 | 勝算值比 |
|-----------------------------|----------|-------|-------|
| 橋齡未滿 10 年 | -0.4661 | -2.39 | 0.627 |
| 橋齡 15 年以上 | 0.6124 | 2.2 | 1.84 |
| 4 車道以上 (總車道數) | -0.6542 | -2.1 | 0.520 |
| 距海遠近最遠區 | 0.5768 | 3.73 | 1.78 |
| 版梁 (主梁型式) | -0.6797 | -4.55 | 0.507 |
| I 型梁 (主梁型式) | -1.085 | -4.61 | 0.338 |
| 有防震設施 (混凝土止震塊) | 0.8146 | 2.49 | 2.26 |
| 常數項係數 | 0.6018 | | |
| LL 值 (LOG LIKELIHOOD RATIO) | -591.479 | | |

資料來源：本研究整理

2. 橋梁損壞嚴重程度模式

在橋梁損壞嚴重程度模式中，考量之變數同整體橋梁損壞模式，有 (1) 橋梁基本性質資料：橋齡、橋梁總長、總車道數、最大跨距，(2) 橋梁外在環境資料：跨河情形、距海遠近、橋下河道情形，(3) 橋梁內部資料：結構型式、橋墩型式、主梁型式、橋台型式、鋪面材質、防震設施。經過羅吉斯特模式校估後產生最佳模式，在 95% 信賴區間， t 值 > 1.96 或 t 值 < -1.96 之顯著變數有 5 個，包括：距海遠近最遠區、橋下河道功能較劣、版橋、重力式橋台、瀝青混凝土鋪面，如表 6.8 所示。

就橋梁損壞嚴重程度模式而言，傾向於正趨勢 (變數係數 > 0) 之顯著變數有：距海遠近最遠區、橋下河道功能較劣、重力式橋台，也就是說距海遠近最遠區、橋下河道功能較劣、重

力式橋台之橋梁相較於其他種類之橋梁愈容易發生損壞，其發生損壞之機率相較於其他種類之橋梁分別為：其他區域之橋梁的 2.77 倍、橋下河道功能完善與未明之橋梁的 11.8 倍、其他橋台型式之橋梁的 6.27 倍。

此外，傾向於負趨勢（變數係數 < 0 ）之顯著變數有：版橋、瀝青混凝土鋪面，也就是說版橋、瀝青混凝土鋪面之橋梁相較於其他種類之橋梁愈不容易有損壞之情形發生，而其發生損壞之機率相較於其他種類之橋梁分別為：其他結構型式之橋梁的 0.146 倍、鋼筋混凝土鋪面與未明之橋梁的 0.393 倍。

表 6.8 橋梁損壞嚴重程度最佳模式校估

| 顯著變數（95%信賴區間） | 變數係數 | t 值 | 勝算值比 |
|----------------------------|----------|-------|-------|
| 距海遠近最遠區 | 1.019 | 3.02 | 2.77 |
| 橋下河道功能較劣 | 2.469 | 5.23 | 11.8 |
| 版橋（結構型式） | -1.927 | -4.18 | 0.146 |
| 重力式橋台 | 1.835 | 5.56 | 6.27 |
| 瀝青混凝土鋪面 | -0.9345 | -2.5 | 0.393 |
| 常數項係數 | -2.389 | | |
| LL 值（LOG LIKELIHOOD RATIO） | -146.941 | | |

資料來源：本研究整理

3.上部結構損壞模式

在上部結構損壞模式中，考量之變數有（1）各部位之型式與材質資料：結構型式、橋墩型式、主梁型式、橋台型式、鋪面材質，（2）其他部位損壞情形：下部結構損壞、介面部損壞、一般性全橋功能損壞。經過羅吉斯特模式校估後產生最佳模式，在 95%信賴區間， t 值 > 1.96 或 t 值 < -1.96 之顯著變數有 3 個，包括：下部結構有損壞、T 型梁、半重力式橋台，如表 6.9 所示。

就上部結構損壞模式而言，傾向於正趨勢（變數係數 > 0 ）

之顯著變數有：下部結構有損壞、T 型梁，也就是說下部結構有損壞、T 型梁之橋梁相較於其他種類之橋梁愈容易發生損壞，其發生損壞之機率相較於其他種類之橋梁分別為：下部結構無損壞之橋梁的 5.98 倍、其他主梁型式之橋梁的 2.28 倍。

此外，傾向於負趨勢（變數係數 < 0 ）之顯著變數有半重力式橋台，也就是說半重力式橋台之橋梁相較於其他種類之橋梁愈不容易有損壞之情形發生，而其發生損壞之機率為其他橋台型式之橋梁的 0.568 倍。

表 6.9 上部結構損壞最佳模式校估

| 顯著變數（95%信賴區間） | 變數係數 | t 值 | 勝算值比 |
|----------------------------|----------|-------|-------|
| 下部結構有損壞 | 1.789 | 5.07 | 5.98 |
| T 型梁（主梁型式） | 0.8239 | 3.37 | 2.28 |
| 半重力式橋台 | -0.5665 | -2.31 | 0.568 |
| 常數項係數 | -2.630 | | |
| LL 值（LOG LIKELIHOOD RATIO） | -250.464 | | |

資料來源：本研究整理

4. 下部結構損壞模式

在下部結構損壞模式中，考量之變數與上部結構損壞模式大致相同，有（1）各部位之型式與材質資料：結構型式、橋墩型式、主梁型式、橋台型式、鋪面材質，（2）其他部位損壞情形：上部結構損壞、介面部損壞、一般性全橋功能損壞。經過羅吉斯特模式校估後產生最佳模式，在 95% 信賴區間， t 值 > 1.96 或 t 值 < -1.96 之顯著變數有 7 個，包括：上部結構有損壞、介面部有損壞、一般全橋性功能有損壞、半重力式橋台、牆式橋墩、單柱式或雙柱式橋墩、瀝青混凝土鋪面。

就下部結構損壞模式而言，傾向於正趨勢（變數係數 > 0 ）之顯著變數有：上部結構有損壞、介面部有損壞、一般全橋性功能有損壞、牆式橋墩、單柱式或雙柱式橋墩，也就是說上部

結構有損壞、介面部有損壞、一般全橋性功能有損壞、牆式橋墩、單柱式或雙柱式橋墩之橋梁相較於其他種類之橋梁愈容易發生損壞，其發生損壞之機率相較於其他種類之橋梁分別為：上部結構無損壞之橋梁的 7.21 倍、介面部無損壞之橋梁的 4.28 倍、一般性全橋功能無損壞之橋梁的 2.65 倍、其他橋墩型式之橋梁的 19.3 倍與 15.0 倍。

此外，傾向於負趨勢（變數係數 < 0 ）之顯著變數有：半重力式橋台、瀝青混凝土鋪面，也就是說半重力式橋台、瀝青混凝土鋪面之橋梁相較於其他種類之橋梁愈不容易有損壞之情形發生，而其發生損壞之機率相較於其他種類之橋梁分別為：其他橋台型式之橋梁的 0.481 倍、鋼筋混凝土鋪面與未明之橋梁的 0.246 倍。

表 6.10 下部結構損壞最佳模式校估

| 顯著變數（95%信賴區間） | 變數係數 | t 值 | 勝算值比 |
|----------------------------|----------|-------|-------|
| 上部結構有損壞 | 1.975 | 4.9 | 7.21 |
| 介面部有損壞 | 1.453 | 2.09 | 4.28 |
| 一般性全橋功能有損壞 | 0.9729 | 2.43 | 2.65 |
| 半重力式橋台 | -0.7328 | -2.03 | 0.481 |
| 牆式橋墩 | 2.96 | 6.63 | 19.3 |
| 單柱式或雙柱式橋墩 | 2.71 | 5.51 | 15.0 |
| 瀝青混凝土鋪面 | -1.404 | -3.35 | 0.246 |
| 常數項係數 | -4.015 | | |
| LL 值（LOG LIKELIHOOD RATIO） | -121.196 | | |

資料來源：本研究整理

6.2.2 綜合討論

- 就整體橋梁損壞模式而言，橋梁 15 年以上、距海遠近最遠區、I 型梁、有防震設施之橋梁有整體橋梁損壞之正趨勢，即愈容易有發生整體橋梁損壞之可能性，而橋齡未滿 10 年、4 車道以上、

版梁之橋梁則有整體橋梁損壞之負趨勢，即愈不容易有發生整體橋梁損壞之可能性。橋齡愈短，愈不容易發生損壞現象，而橋齡愈長，橋梁經過長時間車輛行駛於上，承載荷重能力降低，加上颱風、地震、土石流等台灣地區特殊環境之影響下，導致橋梁構件無法正常發揮功能，使得橋梁結構愈容易產生損壞。4車道以上之橋梁多屬擔負聯絡地區交通之重要角色，相較於其他車道數較少之橋梁其所承受之交通流量可能愈多，因而使得橋梁損壞之可能性提高。距海最遠區之橋梁多位於丘陵地較多之山區，921 大地震建築物嚴重受創，交通中斷，橋梁構造物亦受其波及。有防震設施之橋梁其設計原本即考慮到橋梁受到震動之影響，可能因此而更容易有其他損壞之發生而導致橋梁無法發揮原有功能，在實際比對橋梁有無防震設施、橋梁所在距海距離分區位置以及整體橋梁有無損壞後，發現有防震設施之橋梁，其發生損壞之比例位於距海距離最遠區（霧峰、太平、東勢、石岡、新社、和平）甚高，此說明了此趨勢之發生很可能為 921 大地震所造成。此外，橋梁檢測時對於各型結構型式之認定有一定之難度，研究中發現版梁與 I 型梁之橋梁較不易有損壞之可能性，尚需考量所忽略之潛在可能原因後，才能得知主梁型式與橋梁損壞之相關性。

- 2.就橋梁損壞嚴重程度模式而言，距海遠近最遠區、橋下河道功能較劣、重力式橋台之橋梁有嚴重損壞之正趨勢，即橋梁愈容易有發生嚴重損壞之可能性，而版橋、瀝青混凝土鋪面之橋梁則有橋梁嚴重損壞之負趨勢，即橋梁愈不容易有發生嚴重損壞之可能性，多半為輕微損壞之可能性。距海最遠區之橋梁多屬嚴重損壞，可能仍為受 921 地震之影響所導致，重力式橋台因其結構上之力學特性，使得橋梁受損後易有嚴重損壞之情形，由此模式中亦可發現橋下河道功能不完善對橋梁造成之影響，橋墩與橋墩基礎首當其衝，因而導致橋梁損壞。台灣地區車輛超載情形甚為嚴重，往往已超過橋梁原本之設計載重，因而常常需要進行瀝青混凝土鋪面養護之作業，實際上對橋梁功能之影響較小。此外，版橋之橋梁較不易有嚴重損壞之可能性，研

究中發現從資料數據顯示有此一趨勢，實際上仍須考慮所忽略之潛在可能原因。

- 3.就上部結構損壞模式而言，下部結構有損壞、T 型梁之橋梁有上部結構損壞之正趨勢，即橋梁愈容易有發生上部結構損壞之可能性，而半重力式橋台之橋梁則有上部結構損壞之負趨勢，即橋梁愈不容易有發生上部結構損壞之可能性。橋梁上部結構與下部結構息息相關，二者任一方之損壞皆會造成相互之影響，進而使得橋梁功能逐漸喪失。上部結構之主梁型式與下部結構之橋台型式，其結構上之力學特性不一，結構行為亦不同，對橋梁損壞難以定論，仍須考量所忽略之潛在可能原因來觀察此趨勢。
- 4.就下部結構損壞模式而言，上部結構有損壞、介面部有損壞、一般性全橋功能有損壞、牆式橋墩、柱式橋墩之橋梁有下部結構損壞之正趨勢，即橋梁愈容易有發生下部結構損壞之可能性，而半重力式橋台、瀝青混凝土鋪面之橋梁則有下部結構損壞之負趨勢，即橋梁愈不容易有發生下部結構損壞之可能性。單純從各部位損壞情形而言，不論是上部結構、介面部或者是一般性全橋功能，明顯可知各部位之損壞對與下部結構都有影響，可見橋墩保護措施、橋墩基礎與橋墩墩體不僅須承受河流侵蝕衝擊、土石流與盜採河床砂石之危機，橋梁任一其他部位若有缺陷時，同時亦對下部結構構成潛在威脅。
- 5.比較上部結構損壞與下部結構損壞兩種模式，除上部結構損壞與下部結構損壞會有相互影響之外，介面部及一般性全橋功能性損壞對橋梁下部結構亦有顯著之影響，可知下部結構對整體橋梁功能甚為重要，亦為專家學者所重視之處。

第七章 結論與建議

在橋梁生命週期內，引起橋梁損壞的原因不外乎天然因素與人為因素兩種，本研究蒐集台中縣橋梁目視檢測資料，利用羅吉斯特迴歸分析探討常見橋梁結構物損壞之因素與其相關性，除了構建橋梁損壞模式之外，對於既有橋梁發生損壞情形之趨勢亦有更深入之瞭解。

7.1 結論

1.本研究從橋梁檢測資料中將橋梁損壞因素分為三方面：

- (1)就橋梁基本性質方面考量之因素包含：橋齡、橋梁總長、總車道數與最大跨距。
- (2)就橋梁外在環境方面考量之因素包含：跨河情形、距海遠近與橋下河道情形。
- (3)就橋梁內在結構方面考量之因素包含：結構型式、主梁型式、橋台型式、鋪面材質、翼牆型式與防震設施。

2.從台中縣橋梁基本統計資料中觀察到之特性，包含：

- (1)一般橋梁在缺少養護維修之作業中，橋梁損壞之比例約為六成，其中只有一成屬於較嚴重損壞，其他橋梁則屬於較輕微損壞。
- (2)有7成以上之橋梁其橋梁總長不到20公尺，9成以上之橋梁屬於2車道以下，7成以上之橋梁最大跨距不到15公尺，顯示大多數之橋梁屬於短而小之橋梁。
- (3)一般常見橋梁之結構型式主要仍以梁式橋與版橋為主，其主梁型式多採用版梁、T型梁或I型梁，橋台大部份以半重力式或重力式為主。

3.本研究首先針對橋梁損壞因素進行整體橋梁損壞與否之相關性分析，並從中將受損橋梁根據整體橋梁狀況指標CI分類，進行橋梁不同程度損壞之相關性分析。然後依據橋梁不同之損壞部位，對橋梁各部位構件之損壞與否，考量各部位之型式與材質

進行交叉分析。最後，從本研究構建之羅吉斯特迴歸模式中發現橋梁發生損壞之趨勢，包含：

- (1) 整體橋梁損壞模式：橋齡 15 年以上、距海較遠者、I 型梁、有防震設施之橋梁愈容易有發生整體橋梁損壞之可能性，而橋齡未滿 10 年、4 車道以上、版梁之橋梁則愈不容易有發生整體橋梁損壞之可能性。
- (2) 橋梁損壞程度模式：距海較遠者、橋下河道功能較劣、重力式橋台之橋梁愈容易有發生嚴重損壞之可能性，而版橋、瀝青混凝土鋪面之橋梁則愈不容易有發生嚴重損壞之可能性，多半為輕微損壞之可能性。
- (3) 上部結構損壞模式：下部結構如有損壞，T 型梁之橋梁愈容易有發生上部結構損壞之可能性，而半重力式橋台之橋梁則愈不容易有發生上部結構損壞之可能性。
- (4) 下部結構損壞模式：上部結構如有損壞、介面部有損壞、一般性全橋功能有損壞、牆式橋墩、柱式橋墩之橋梁愈容易有發生下部結構損壞之可能性，而半重力式橋台、瀝青混凝土鋪面之橋梁則愈不容易有發生下部結構損壞之可能性。
- (5) 此外，比較上部結構損壞與下部結構損壞兩種模式，不但上部結構與下部結構會有相互損壞之影響，介面部及一般性全橋功能性損壞之發生對於橋梁下部結構亦易造成損壞情形之發生，因而考量橋梁下部結構損壞影響因素之時更須特別注意。

7.2 建議

1. 本研究僅針對台中縣政府目前所管轄之橋梁作統計分析，主要為鄉道與產業道路之橋梁，而縣道之橋梁目前是由交通部公路總局代管，因此在研究中之橋梁資料並未包含，就地區性橋梁損壞知分析而言，所涵蓋之道路等級勢必對分析結果有不同之影響，未來如能獲取詳盡之資料，將可使整個分析過程與結果更加完整。

2. 橋梁損壞因素眾多，視其研究方向不同，所需考量之因素與程度亦有不同，在研究中所考量之橋梁損壞因素，從橋梁之基本性質資料、外在環境資料與內部結構資料三方面著手，最後構建模式採用之變數，受限於橋梁檢測資料蒐集型式與類型之缺乏，而無法考量到維修歷史紀錄與交通流量使用之影響，實際上對橋梁損壞頗為重要，實需於後續研究進一步探討。
3. 因為橋梁所在環境之溫度與溼度不同，橋梁腐蝕之速率亦大有所異，對於橋梁損壞之相關因素分析其結果可能差異甚大，本研究僅嘗試依據橋梁所在行政區域與距海之距離作區分，未來如能獲取橋梁所在環境之詳細資料（如溫度、溼度、距海距離等），配合其他特性做適當之橋梁位置分區，對於區域特性差異所造成之影響必能有所瞭解，此仍需後續研究進一步探討。
4. 橋梁施工時之品質對於橋梁通車營運之耐用程度亦有關係，目前對施工品質作量化之處理仍由困難，因而本研究對於橋梁損壞之相關影響因素並未列入考量，建議後續研究於施工品質因素可利用客觀性之評估準則，對橋梁耐久性作進行進一步探討。
5. 本研究採用橋梁目視檢測資料作為分析，雖然國內大規模之橋梁普查作業雖然有助於了解台灣地區橋梁現況，然而橋梁檢測資料之完整性、可靠性與實用性仍有待觀察，為能確實建立完善之全國橋梁管理系統，除了仍需加強系統開發與營運使用外，後續之橋梁資訊分析與取得更值得重視，橋梁管理必須以生命週期之觀念為根本方能有效並且確實達到目的。

參考文獻

1. 「公路橋梁設計規範」，中華民國交通部，幼獅書局，民國 76 年 12 月。
2. 「公路養護手冊」，中華民國交通部，幼獅書局，民國 78 年 6 月。
3. 「台灣地區橋梁管理系統橋梁基本資料建立說明手冊」，國立中央學土木工程學系橋梁工程研究中心等，民國 89 年 7 月。
4. 「台中縣橋梁檢測普查及目室檢測工作期末報告書」，唯豐工程顧問股份有限公司，民國 90 年 4 月。
5. 李有豐，謝尚賢，詹麒璋，林安彥，吳澤雄，「台灣地區橋梁管理系統整合規劃之研究」，結構工程，第 14 卷第 2 期，pp.21~44，民國 88 年 6 月。
6. 李有豐，謝尚賢，王隆昌，陳清泉，詹麒璋，鄭育祥，常斐春，「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究（公路與道路橋梁）」，交通部運輸研究所，民國 91 年 1 月。
7. 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，台北市，民國 89 年 8 月。
8. 吳東昇，「混凝土橋梁結構損傷模式之研究」，中華大學土木工程研究所碩士論文，民國 88 年 6 月。
9. 吳覺宇，「提高公共建設之工程品質-談材料工程師的簽證制度」，工業材料，第 85 期，民國 83 年 1 月。
10. 呂聯禧，「橋梁建設效益評估」，台灣公路工程，第 28 卷第 4 期，pp.14~17，國 90 年 10 月。
11. 林呈，「本省西部重要河川橋梁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，民國 87 年 6 月。
12. 林永信，「含非破壞性檢測模組之橋梁管理系統」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。
13. 屈文俊，車惠民，「既有鐵路混凝土橋梁的病害」，橋梁建設，第 4 期，pp.6~9&64~68，民國 84 年。
14. 林樹柱，「橋樑檢查與維修」，中華技術，第 21 期，pp.3~21，民國 83 年 1 月。

- 15.洪宏基，邱昌平，陳振川，曹壽民，陳正興，「台灣地區橋梁安全問題與對策」，結構工程，第4卷第4期，民國78年12月。
- 16.姚乃嘉，「以生命週期為導向之橋梁管理系統」，現代營建，第212期，pp.39~48，民國86年8月。
- 17.洪宏基，詹穎雯，張荻薇，劉進賢，宋裕祺，魏衍，施建志，「橋梁隧道材料腐蝕劣化原因之探討及防治對策（一）」，交通部科技顧問室，民國88年8月。
- 18.「高速公路橋梁管理系統程式作業手冊」，交通部台灣區國道高速公路局，民國84年。
- 19.徐耀賜，「公路橋梁養護整建與重建之策略研究」，交通部運輸研究所，民國83年6月。
- 20.徐耀賜，民國85年5月，「公路橋梁之養護與維修」，大學圖書供應社，台中市。
- 21.徐耀賜，莊秋明，「台灣地區橋梁現況探討與解決問題之建議」，台灣公路工程，第22卷第8期，pp.2~10，民國85年2月。
- 22.陳振川，張國鎮，林樹柱，許俊逸，葉昭雄，徐耀賜，李有豐，葉啟輝，「台灣地區橋梁安全管理策略探討與制定」，交通部科技顧問室，民國86年7月。
- 23.徐耀賜，康裕明、陳廣祥，「混凝土橋梁結構損壞模式之研究（一）」，交通部科技顧問室，民國88年10月。
- 24.徐耀賜，林俊雄，呂東苗，苟昌煥，張奇偉，「橋梁結構損壞模式之研究（二）」，交通部科技顧問室，民國90年11月。
- 25.財團法人中華顧問工程司，「鐵路橋梁管理系統使用手冊」，台灣鐵路管理局，民國88年6月。
- 26.國立中央大學橋梁工程研究中心，「台灣省公路局橋梁管理系統開發計畫」期末報告，交通部公路局，民國87年7月。
- 27.梁明德，廖晏聖，梁智信，「既有鋼筋混凝土橋樑的維修及經濟使用年限預測」，土木工程技術，第3卷第1期，pp.23~37，民國88年3月。
- 28.莊秋明，「鋼筋混凝土橋梁結構現況」，橋梁與公路鋪面混凝土結構非破壞檢測技術研習會論文集，民國84年1月。

- 29.國立中央大學，「橋梁重要程度等級之建立」期中報告，交通部公路總局，民國 92 年 3 月。
- 30.許璦云，「羅吉斯迴歸模式的診斷方法與探討」，國立政治大學統計研究所碩士論文，民國 89 年 6 月。
- 31.黃宣菁，「台灣地區公路橋梁管理系統架構之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 86 年 6 月。
- 32.黃科銘，「鋼筋混凝土結構物破壞原因與模式之研究探討」，中華大學土木工程研究所碩士論文，民國 89 年 6 月。
- 33.黃文光，「橋梁管理系統之研究」，土木水利，第 21 卷，第 1 期，民國 83 年 5 月。
- 34.楊熾宗，「公路橋梁維護管理決策模式之研究-以中山高速公路為例」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 88 年 6 月。
- 35.詹麒璋，「各層級橋梁管理系統整體規劃之研究」，國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文，民國 88 年 12 月。
- 36.蔣偉寧，「建立台灣地區橋梁管理系統研究報告」，交通部運輸研究所，民國 89 年 11 月。
- 37.賴鈺蒨，「系統性橋梁維修評選之研究」，國立中央大學土木工程學研究所碩士論文，民國 90 年 6 月。
- 38.蘇倫民，「鋼鐵橋梁檢測與修護方法選擇之研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，民國 84 年 6 月。
- 39.A. C. Khanduri, C. Bedard, S. Alkass, "Assessing office building life cycle costs at preliminary design stage", Structural Engineering Review, Vol. 8, No. 2/3, pp.105-114, 1996.
- 40.Ayaho Miyamoto, Kei Kawamura, Hideaki Nakamura, "Development of a bridge management system for existing bridges ", Advances in Engineering Software, Vol. 32, pp.821-833, 2001.
41. "Bridge Maintenance" , Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris, 1992.
42. "Bridge Inspector's Training Manual 90 " , Federal Highway Administration (FHWA), Revised Edition, Washington, D. C., 1991.
- 43.Indushobha N. Chengalur-Smith, Donald P. Ballou, Harold L. Pazer,

- “Modeling the costs of bridge rehabilitation”, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 31, No. 4, pp.281-293, 1997.
44. “ Standard Specifications for Highway Bridges ” , American Association of State Highway and Transportation Officials, 15th Edition, Washington. D. C., 1992.



附錄一 羅吉斯特 BMDP 程式

1. 整體橋梁損壞模式

```
/problem title = 'Logistic Regression for the damage of the bridg'.  
/input          variable = 14.  
                file = 'c:\dynamic\hjsu\degree.txt'.  
                format = free.  
/variable names = damage, age, length, lane, span, across, dist,  
                under, stru,  
                pier, beam, abut, overlay, quake.  
use = damage1, age1, age2, age3, length2, length3,  
      lane2, lane3, span2, span3, across1, dist2, dist3,  
      under1, under2, stru1, stru2, pier1, pier2, pier3,  
      beam1, beam2, beam3, abut1, abut2, abut3, abut4,  
      overlay1, overlay2, quake1, quake2.  
/transform damage1 = 0. if (damage eq 1) then damage1 = 1.  
      damage2 = 0. if (damage eq 2) then damage2 = 1.  
      age1 = 0. if (age eq 1) then age1 = 1.  
      age2 = 0. if (age eq 2) then age2 = 1.  
      age3 = 0. if (age eq 3) then age3 = 1.  
      age4 = 0. if (age eq 4) then age4 = 1.  
      length1 = 0. if (length eq 1) then length1 = 1.  
      length2 = 0. if (length eq 2) then length2 = 1.  
      length3 = 0. if (length eq 3) then length3 = 1.  
      lane1 = 0. if (lane eq 1) then lane1 = 1.  
      lane2 = 0. if (lane eq 2) then lane2 = 1.  
      lane3 = 0. if (lane eq 3) then lane3 = 1.  
      span1 = 0. if (span eq 1) then span1 = 1.  
      span2 = 0. if (span eq 2) then span2 = 1.
```

span3 = 0. if (span eq 3) then span3 = 1.
across1 = 0. if (across eq 1) then across1 = 1.
across2 = 0. if (across eq 2) then across2 = 1.
dist1 = 0. if (dist eq 1) then dist1 = 1.
dist2 = 0. if (dist eq 2) then dist2 = 1.
dist3 = 0. if (dist eq 3) then dist3 = 1.
under1 = 0. if (under eq 1) then under1 = 1.
under2 = 0. if (under eq 2) then under2 = 1.
under3 = 0. if (under eq 3) then under3 = 1.
stru1 = 0. if (stru eq 1) then stru1 = 1.
stru2 = 0. if (stru eq 2) then stru2 = 1.
stru3 = 0. if (stru eq 3) then stru3 = 1.
pier1 = 0. if (pier eq 1) then pier1 = 1.
pier2 = 0. if (pier eq 2) then pier2 = 1.
pier3 = 0. if (pier eq 3) then pier3 = 1.
pier4 = 0. if (pier eq 4) then pier4 = 1.
beam1 = 0. if (beam eq 1) then beam1 = 1.
beam2 = 0. if (beam eq 2) then beam2 = 1.
beam3 = 0. if (beam eq 3) then beam3 = 1.
beam4 = 0. if (beam eq 4) then beam4 = 1.
abut1 = 0. if (abut eq 1) then abut1 = 1.
abut2 = 0. if (abut eq 2) then abut2 = 1.
abut3 = 0. if (abut eq 3) then abut3 = 1.
abut4 = 0. if (abut eq 4) then abut4 = 1.
abut5 = 0. if (abut eq 5) then abut5 = 1.
overlay1 = 0. if (overlay eq 1) then overlay1 = 1.
overlay2 = 0. if (overlay eq 2) then overlay2 = 1.
overlay3 = 0. if (overlay eq 3) then overlay3 = 1.
quake1 = 0. if (quake eq 1) then quake1 = 1.
quake2 = 0. if (quake eq 2) then quake2 = 1.
quake3 = 0. if (quake eq 3) then quake3 = 1.


```
/regress    depend = damage1.  
           categ = age1, age2, age3, length2, length3,  
                 lane2, lane3, span2, span3, across1, dist2, dist3,  
                 under1, under2, stru1, stru2, pier1, pier2, pier3,  
                 beam1, beam2, beam3, abut1, abut2, abut3, abut4,  
                 overlay1, overlay2, quake1, quake2.  
           model = dist3, beam3, beam1, age1, age3, quake1, lane3.  
           method = mlr.  
/print      linesize = 80.  
/end
```

2. 橋梁損壞嚴重程度模式

```
/problem title = 'Logistic Regression for the damage of the bridg'.  
/input          variable = 14.  
               file = 'c:\dynamic\hjsu\degree.txt'.  
               format = free.  
/variable names = degree, age, length, lane, span, across, dist,  
                 under, stru,  
                 pier, beam, abut, overlay, quake.  
use = degree1, age1, age2, age3, length2, length3,  
      lane2, lane3, span2, span3, across1, dist2, dist3,  
      under1, under2, stru1, stru2, pier1, pier2, pier3,  
      beam1, beam2, beam3, abut1, abut2, abut3, abut4,  
      overlay1, overlay2, quake1, quake2.  
/transform degree1 = 0. if (degree eq 1) then degree1 = 1.  
           degree2 = 0. if (degree eq 2) then degree2 = 1.  
           age1 = 0. if (age eq 1) then age1 = 1.  
           age2 = 0. if (age eq 2) then age2 = 1.  
           age3 = 0. if (age eq 3) then age3 = 1.  
           age4 = 0. if (age eq 4) then age4 = 1.
```

length1 = 0. if (length eq 1) then length1 = 1.
length2 = 0. if (length eq 2) then length2 = 1.
length3 = 0. if (length eq 3) then length3 = 1.
lane1 = 0. if (lane eq 1) then lane1 = 1.
lane2 = 0. if (lane eq 2) then lane2 = 1.
lane3 = 0. if (lane eq 3) then lane3 = 1.
span1 = 0. if (span eq 1) then span1 = 1.
span2 = 0. if (span eq 2) then span2 = 1.
span3 = 0. if (span eq 3) then span3 = 1.
across1 = 0. if (across eq 1) then across1 = 1.
across2 = 0. if (across eq 2) then across2 = 1.
dist1 = 0. if (dist eq 1) then dist1 = 1.
dist2 = 0. if (dist eq 2) then dist2 = 1.
dist3 = 0. if (dist eq 3) then dist3 = 1.
under1 = 0. if (under eq 1) then under1 = 1.
under2 = 0. if (under eq 2) then under2 = 1.
under3 = 0. if (under eq 3) then under3 = 1.
stru1 = 0. if (stru eq 1) then stru1 = 1.
stru2 = 0. if (stru eq 2) then stru2 = 1.
stru3 = 0. if (stru eq 3) then stru3 = 1.
pier1 = 0. if (pier eq 1) then pier1 = 1.
pier2 = 0. if (pier eq 2) then pier2 = 1.
pier3 = 0. if (pier eq 3) then pier3 = 1.
pier4 = 0. if (pier eq 4) then pier4 = 1.
beam1 = 0. if (beam eq 1) then beam1 = 1.
beam2 = 0. if (beam eq 2) then beam2 = 1.
beam3 = 0. if (beam eq 3) then beam3 = 1.
beam4 = 0. if (beam eq 4) then beam4 = 1.
abut1 = 0. if (abut eq 1) then abut1 = 1.
abut2 = 0. if (abut eq 2) then abut2 = 1.
abut3 = 0. if (abut eq 3) then abut3 = 1.

```

abut4 = 0. if (abut eq 4) then abut4 = 1.
abut5 = 0. if (abut eq 5) then abut5 = 1.
overlay1 = 0. if (overlay eq 1) then overlay1 = 1.
overlay2 = 0. if (overlay eq 2) then overlay2 = 1.
overlay3 = 0. if (overlay eq 3) then overlay3 = 1.
quake1 = 0. if (quake eq 1) then quake1 = 1.
quake2 = 0. if (quake eq 2) then quake2 = 1.
quake3 = 0. if (quake eq 3) then quake3 = 1.
/regress    depend = degree1.
            categ = age1, age2, age3, length2, length3,
                    lane2, lane3, span2, span3, across1, dist2, dist3,
                    under1, under2, stru1, stru2, pier1, pier2, pier3,
                    beam1, beam2, beam3, abut1, abut2, abut3, abut4,
                    overlay1, overlay2, quake1, quake2.
            model = stru1, abut2, under2, dist3, overlay1.
            method = mlr.
/print      linesize = 80.
/end

```

3.上部結構損壞模式

```

/problem title = 'Logistic Regression for the damage of the bridg'.
/input      variable = 9.
            file = 'c:\dynamic\hjsu\up.txt'.
            format = free.
/variable names = up, down, other, general,
                stru, beam, overlay, pier, abut.
use = up1, down1, other1, general1,
    stru1, stru2, beam1, beam2, beam3,
    overlay1, overlay2, pier1, pier2, pier3,
    abut1, abut2, abut3, abut4.

```

```
/transform up1 = 0. if (up eq 1) then up1 = 1.  
      up2 = 0. if (up eq 2) then up2 = 1.  
      down1 = 0. if (down eq 1) then down1 = 1.  
      down2 = 0. if (down eq 2) then down2 = 1.  
      other1 = 0. if (other eq 1) then other1 = 1.  
      other2 = 0. if (other eq 2) then other2 = 1.  
      general1 = 0. if (general eq 1) then general1 = 1.  
      general2 = 0. if (general eq 2) then general2 = 1.  
      stru1 = 0. if (stru eq 1) then stru1 = 1.  
      stru2 = 0. if (stru eq 2) then stru2 = 1.  
      stru3 = 0. if (stru eq 3) then stru3 = 1.  
      pier1 = 0. if (pier eq 1) then pier1 = 1.  
      pier2 = 0. if (pier eq 2) then pier2 = 1.  
      pier3 = 0. if (pier eq 3) then pier3 = 1.  
      pier4 = 0. if (pier eq 4) then pier4 = 1.  
      beam1 = 0. if (beam eq 1) then beam1 = 1.  
      beam2 = 0. if (beam eq 2) then beam2 = 1.  
      beam3 = 0. if (beam eq 3) then beam3 = 1.  
      beam4 = 0. if (beam eq 4) then beam4 = 1.  
      abut1 = 0. if (abut eq 1) then abut1 = 1.  
      abut2 = 0. if (abut eq 2) then abut2 = 1.  
      abut3 = 0. if (abut eq 3) then abut3 = 1.  
      abut4 = 0. if (abut eq 4) then abut4 = 1.  
      abut5 = 0. if (abut eq 5) then abut5 = 1.  
      overlay1 = 0. if (overlay eq 1) then overlay1 = 1.  
      overlay2 = 0. if (overlay eq 2) then overlay2 = 1.  
      overlay3 = 0. if (overlay eq 3) then overlay3 = 1.  
/regress depend = up1.  
      categ = down1, other1, general1,  
              stru1, stru2, beam1, beam2, beam3,  
              overlay1, overlay2, pier1, pier2, pier3,
```

```
        abut1, abut2, abut3, abut4.  
model = down1, beam2, abut3.  
method = mlr.  
/print    linesize = 80.  
/end
```

4.下部結構損壞模式

```
/problem title = 'Logistic Regression for the damage of the bridg'.  
/input    variable = 9.  
        file = 'c:\dynamic\hjsu\down.txt'.  
        format = free.  
/variable names = down, up, other, general,  
        stru, beam, overlay, pier, abut.  
use = down1, up1, other1, general1,  
        stru1, stru2, beam1, beam2, beam3,  
        overlay1, overlay2, pier1, pier2, pier3,  
        abut1, abut2, abut3, abut4.  
/transform down1 = 0. if (down eq 1) then down1 = 1.  
        down2 = 0. if (down eq 2) then down2 = 1.  
        up1 = 0. if (up eq 1) then up1 = 1.  
        up2 = 0. if (up eq 2) then up2 = 1.  
        other1 = 0. if (other eq 1) then other1 = 1.  
        other2 = 0. if (other eq 2) then other2 = 1.  
        general1 = 0. if (general eq 1) then general1 = 1.  
        general2 = 0. if (general eq 2) then general2 = 1.  
        stru1 = 0. if (stru eq 1) then stru1 = 1.  
        stru2 = 0. if (stru eq 2) then stru2 = 1.  
        stru3 = 0. if (stru eq 3) then stru3 = 1.  
        beam1 = 0. if (beam eq 1) then beam1 = 1.  
        beam2 = 0. if (beam eq 2) then beam2 = 1.
```

```
beam3 = 0. if (beam eq 3) then beam3 = 1.
beam4 = 0. if (beam eq 4) then beam4 = 1.
overlay1 = 0. if (overlay eq 1) then overlay1 = 1.
overlay2 = 0. if (overlay eq 2) then overlay2 = 1.
overlay3 = 0. if (overlay eq 3) then overlay3 = 1.
pier1 = 0. if (pier eq 1) then pier1 = 1.
pier2 = 0. if (pier eq 2) then pier2 = 1.
pier3 = 0. if (pier eq 3) then pier3 = 1.
pier4 = 0. if (pier eq 4) then pier4 = 1.
abut1 = 0. if (abut eq 1) then abut1 = 1.
abut2 = 0. if (abut eq 2) then abut2 = 1.
abut3 = 0. if (abut eq 3) then abut3 = 1.
abut4 = 0. if (abut eq 4) then abut4 = 1.
abut5 = 0. if (abut eq 5) then abut5 = 1.
/regress depend = down1.
          categ = up1, other1, general1,
                  stru1, stru2, beam1, beam2, beam3,
                  overlay1, overlay2, pier1, pier2, pier3,
                  abut1, abut2, abut3, abut4.
          model = pier1, up1, pier2, other1, general1, abut3,
                  overlay1.
          method = mlr.
/print    linesize = 80.
/end
```