

MOTC-IOT-102-H1DB007a

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策 模式之研究(3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 103 年 2 月

MOTC-IOT-102-H1DB007a

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策 模式之研究(3/4)

著者：邱永芳、林雅雯、胡啟文、邱建國
鄭明淵、吳育偉、徐梓隆、林正軒

交通部運輸研究所

中華民國 103 年 2 月

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(3/4)

著 者：邱永芳、林雅雯、胡啟文、邱建國、鄭明淵、吳育偉、徐梓隆
林正軒

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版 > 中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 103 年 2 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：全套 冊 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1・電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1009500249 ISBN：986-00-4344-2 (全套:平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，

須徵求交通部運輸研究所書面授權。

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究
(3/4)

交通部運輸研究所

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(3/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN(平裝)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號 MOTC-IOT-102 -H1DB007a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：林雅雯 研究人員： 聯絡電話：04-26587186 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立臺灣科技大學 計畫主持人：邱建國 協同主持人：鄭明淵、吳育偉 研究人員：徐梓隆、林正軒 地址：臺北市大安區基隆路 4 段 43 號 聯絡電話：(02)2737-6663		研究期間 自 101 年 12 月 至 102 年 10 月
關鍵詞：風險成本, 維護策略, 生命週期成本			
<p>摘要：</p> <p>臺灣橋梁飽受天然災害侵害，又受季風氣候影響及位處地震帶，造成橋梁損壞及安全疑慮。如何評估現有橋梁健康度與提升橋梁壽齡是迫切的課題，國內現行檢測作業多以可視老化為主，對於地震、耐洪等潛勢危害較少著墨，如僅採用現有檢測作業方式，難以評估橋梁現況。要維護橋梁使用安全無虞除了定期檢測維修外，診斷橋梁健康度的評估維護模式亦非常重要。</p> <p>為了驗證預測模式，本研究針對三座橋梁之現地調查結果，進行細部評估分析後，其結果與橋梁維修預測模式相近。此報告同時考量可視老化與潛勢危害等損壞因素，由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益。即維修方案執行後使設施保持堪用狀態或延續壽命的程度可能會有所差異，在考量公路橋梁管理單位維護經費有限情形下，管理單位必須決定維修時間使橋梁維修經費運用達到最佳化。本研究延續前年度成果，並使用共生生物演算法，加入生命週期成本導向之概念建置「橋梁維護策略最佳化模式」，將同時考量各橋梁所評估之現況及風險程度，推估未來橋梁壽齡及狀態，進而輔助公路管理單位針對單一橋梁進行維修時機及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。可在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
103 年 2 月			凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>限閱 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密【限】條件：<input type="checkbox"/> 年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Development of A Bridge Lifetime Detection and Analysis Model(3/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-102-H1DB007a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR:, Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lin Ya-Wen PROJECT STAFF: PHONE: (04) 26587186 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2013 TO October 2013
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology , Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Kuo Chiu PROJECT STAFF: Cheng Min-Yuan, Yu-Wei Wu ADDRESS: #43 , Sec.4 , Keelung Rd. , Taipei , 106 , Taiwan , R.O.C PHONE: (02)2737-6663			
KEY WORDS: Dajiax river basin ,River-crossing bridges ,Computer-aided safety diagnosis			
<p>ABSTRACT:</p> <p>The bridges are usually damaged by natural disasters, since Taiwan is located in seismic zone and influenced by typhoon climate. As a result, these likely to cause damaged bridges and have safety doubts. Therefore, how to evaluate the health of existing bridges and enhance the life-span is an urgent issue. Now most of the inspections in Taiwan are tangible (visible), as earthquake and flood belonged potential (invisible) risk which resistant capacity has not been described much. Therefore, it would be difficult to assess the real bridge's condition. In order to ensure the safety of the bridge, the regular repair and maintained examine strategy of the bridges is very important.</p> <p>This research both consider the tangible and the potential risk, and is utilized Monte Carlo simulation to calculate risk of the bridges,the research continue the previous review. Then is imitated the method of SOS (Stochastic Optimization of Stimuli) algorithm with life cycle concept to set up Bridge life cycle Maintenance Strategy Optimization Model (BMSOM). The BMSOM is with a limited budget can be used for the bridge management department to arrange the optimal funds, in addition estimates the future condition of the bridge.</p>			
DATE OF PUBLICATION February, 2014	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(3/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖目錄	V
表目錄	IX
第一章 研究計畫之背景及目的	1-1
1.1 計畫背景分析	1-1
1.2 計畫目的	1-2
1.3 研究範圍與對象	1-3
1.4 研究內容與工作項目	1-3
1.5 研究方法及進行步驟	1-4
1.6 工作項目及內容	1-6
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 公路維護規範	2-1
2.2 橋梁性能指標	2-9
2.3 國外文獻	2-12
2.4 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集	2-19
2.5 鋼筋混凝土結構物之補強技術	2-29
2.6 橋梁維修補強工法	2-30
2.7 演化式支持向量機推論模式	2-37
2.8 生物共生演算法(Symbiotic Organism Search, SOS)	2-50

第三章 橋梁風險分析流程.....	3-1
3.1 現地調查結果.....	3-1
3.2 建置維修工法資料庫.....	3-32
3.3 單橋維護成本最佳化模式確立.....	3-39
第四章 橋梁維修機率.....	4-1
4.1 橋梁風險分析-元件老化.....	4-2
4.2 橋梁耐震可靠度分析.....	4-6
4.3 橋梁可靠度分析-洪水.....	4-34
第五章 風險衝擊影響程度.....	5-1
5.1 元件老化及洪水造成風險影響程度.....	5-2
5.2 地震造成風險影響程度.....	5-13
第六章 橋梁維護策略最佳化.....	6-1
6.1 單橋橋梁維護成本最佳化.....	6-1
6.2 單橋維護成本策略.....	6-2
6.3 共生生物演算法求解橋梁維修策略.....	6-7
6.4 單橋橋梁風險管理策略訂定.....	6-11
第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表.....	附錄1-1
附錄二 專家座談會紀錄.....	附錄2-1
附錄三 期末報告審查意見處理情形表.....	附錄3-1
附錄四 期末報告簡報檔.....	附錄4-1

圖目錄

圖1.1	前兩年度研究內容.....	1-4
圖1.2	研究內容架構圖.....	1-5
圖1.3	研究執行流程圖.....	1-10
圖2.1	美國NBI橋梁檢測流程.....	2-14
圖2.2	日本橋梁巡檢表單範例圖.....	2-17
圖2.3	支持向量機資料分類示意圖.....	2-39
圖2.4	最大分離間隔與最優分離超平面.....	2-39
圖2.5	支援向量(SV)示意圖.....	2-42
圖2.6	線性不可分與鬆弛變量示意圖.....	2-42
圖2.7	可容錯線性SVR模式.....	2-44
圖2.8	支持向量機最佳化模式架構.....	2-46
圖2.9	ESIM應用程序.....	2-48
圖2.10	生態系統中的共生生物示意圖.....	2-51
圖3.1	頭屋大橋衛星影像圖(民國97年拍攝).....	3-2
圖3.2	頭屋大橋橋墩竣工圖(1/2).....	3-8
圖3.3	頭屋大橋橋墩竣工圖(2/2).....	3-8
圖3.4	北勢大橋衛星影像圖(民國97年拍攝).....	3-12
圖3.5	北勢大橋縱剖面圖.....	3-18
圖3.6	北勢大橋橋墩竣工圖(1/2).....	3-18
圖3.7	北勢大橋橋墩竣工圖(2/2).....	3-19
圖3.8	專家座談會(2013/9/30).....	3-30
圖3.9	養護工程說明會(2013/10/21).....	3-31

圖3.10	風險分析流程.....	3-39
圖4.1	橋梁維修機率流程圖.....	4-1
圖4.2	橋梁CI下降曲線.....	4-2
圖4.3	以梁式橋-復興三橋為例.....	4-4
圖4.4	以距海300公尺內車流量6000輛內(梁式橋)為例.....	4-5
圖4.5	元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖.....	4-5
圖4.6	潛勢地震發生機率模型之流程圖.....	4-7
圖4.7	中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖.....	4-13
圖4.8	剪力波速度量測V30進行場址分類.....	4-14
圖4.9	臺灣規模4.0-7.0 之地震記錄與(Campbell, 1997) 衰減曲線之關係.....	4-16
圖4.10	為集集地震的(a)實測值與(b)衰減模式預測值PGA分佈.....	4-18
圖4.11	修正函數校正後的預測與其觀測值之誤差殘值分佈.....	4-19
圖4.12	臺灣歷年大地震:集集地震之實測值與預測值比較.....	4-20
圖4.13	臺灣歷年大地震:花蓮地震之實測值與預測值比較.....	4-20
圖4.14	臺灣歷年大地震:嘉義地震之實測值與預測值比較.....	4-20
圖4.15	橋梁地震損傷評估流程圖.....	4-21
圖4.16	武田模型(Takeda model)之力量與位移關係.....	4-23
圖4.17	橋梁通阻之SAP2000牛鬥橋模型.....	4-24
圖4.18	牛鬥橋之XTRACT斷面分析.....	4-24
圖4.19	SAP2000三星橋模型.....	4-24
圖4.20	三星橋之XTRACT斷面分析.....	4-25
圖4.21	原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料.....	4-26
圖4.22	震後結構性能修正示意圖.....	4-29
圖4.23	臺灣主要河系分布圖(水利署).....	4-34

圖4.24	發生100年洪水時對應SSI指標下降	4-36
圖4.25	失敗門檻建議值	4-36
圖4.26	洪水造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖	4-37
圖5.1	橋梁維修機率流程圖	5-2
圖5.2	人工智慧橋梁耐震能力推論模式	5-7
圖5.3	10組交叉驗證法	5-10
圖5.4	橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-非跨河橋梁(元件老化)	5-12
圖5.5	橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-跨河橋梁(洪水)	5-12
圖5.6	三星橋未來50年內之損傷超越機率	5-15
圖5.7	三星橋未來50年內之地震風損成本(單位為重建成本)	5-15
圖5.8	牛鬥橋未來50年內之損傷超越機率	5-16
圖5.9	牛鬥橋未來50年內之地震風損成本(單位為重建成本)	5-16
圖6.1	單橋橋梁維護成本最佳化流程	6-1
圖6.2	橋梁維修策略示意圖	6-1
圖6.3	單橋成本目標函數	6-2
圖6.4	橋梁劣化曲線示意圖	6-4
圖6.5	橋梁在第30年與第70年維護策略	6-6
圖6.6	橋梁在第30年與第70年維護策略之計算式	6-6
圖6.7	單橋維修策略最佳化示意圖	6-7
圖6.8	SOS演算法程序	6-8
圖6.9	橋梁維修組合方案	6-11
圖6.10	搜尋維修策略(門檻值75分)	6-17
圖6.11	不同門檻值維修策略	6-17

圖6.12 網頁查詢結果維修策略.....	6-18
圖6.13 橋梁維修策略.....	6-18

表目錄

表2-1	橋梁檢測分類別表	2-5
表2-2	橋梁構造物檢測評定標準	2-7
表2-3	橋梁定期檢測項目	2-7
表2-4	橋梁構件重要性指數	2-10
表2-5	橋梁A構件權重.....	2-11
表2-6	國外相關文獻整理表(本研究整理).....	2-13
表2-7	美國橋梁檢測表(National Bridge Inventory Information System)	2-15
表2-8	英國公路橋梁檢測優先順序標準與分類級數	2-16
表2-9	日本道路公團橋梁構件劣化綜合評等基準	2-17
表2.10	日本道路公團橋梁裂隙之評等準則.....	2-18
表2-11	中國大陸公路橋梁各部位與權重	2-18
表2-12	中國大陸公路橋梁技術評估標準	2-19
表2-13	國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集	2-20
表2-14	國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集(續).....	2-21
表2-15	鋼筋混凝土結構物（橋梁結構為主）之補強技術	2-29
表2-16	震後橋梁補強技術適用表(DER&U目視檢查表).....	2-29
表2-17	震後橋梁補強技術適用表.....	2-31
表2-18	震後橋梁修復經費參考表	2-35
表3-1	檢測橋梁待選清單	3-1
表3-2	頭屋大橋基本資料	3-2
表3-3	頭屋大橋耐震評估結果統計表	3-7
表3-4	橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數	3-7

表3-5	上部結構DER&U評估	3-9
表3-6	下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....	3-9
表3-7	評估指標.....	3-10
表3-8	上部結構DER&U評估	3-10
表3-9	下部結構DER&U評估	3-11
表3-10	評估指標.....	3-12
表3-11	北勢大橋基本資料	3-12
表3-12	北勢大橋耐震評估結果統計表	3-17
表3-13	橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數	3-17
表3-14	上部結構DER&U評估	3-19
表3-15	下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....	3-20
表3-16	評估指標.....	3-20
表3-17	上部結構DER&U評估	3-20
表3-18	下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....	3-21
表3-19	評估指標.....	3-21
表3-20	大安溪橋(WH37)基本資料.....	3-22
表3-21	北勢大橋耐震評估結果統計表	3-27
表3-22	橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數	3-27
表3-23	上部結構DER&U評估	3-27
表3-24	下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....	3-27
表3-25	評估指標.....	3-28
表3-26	上部結構DER&U評估	3-28
表3-27	下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....	3-28
表3-28	評估指標.....	3-29
表3-29	交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修案例(節錄)	3-33

表3-30	新北市政府橋梁維修案例庫	3-34
表3-31	公路總局橋梁維修案例庫(節錄).....	3-35
表3-32	交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄).....	3-36
表3-33	新北市政府橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)	3-37
表3-34	公路總局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)	3-38
表3-35	國內相關文獻列表(研究報告或書籍).....	3-40
表3-36	國內相關文獻列表(規範、手冊與系統).....	3-40
表4-1	橋梁分組分布表	4-3
表4-2	梁式橋調查資料筆數	4-3
表4-3	相關參數表(以梁式橋為例).....	4-4
表4-4	元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算結果(節錄).....	4-6
表4-5	為宜蘭ZS01，未來100年地震計算結果發生次數為20次	4-10
表4-6	為花蓮ZS02，未來100年地震計算結果發生次數為24次	4-10
表4-7	宜蘭ZS01區域地震未來100年發生機率.....	4-12
表4-8	花蓮ZS02區域地震未來100年發生機率.....	4-12
表4-9	為宜蘭ZS01未來100年發生規模大於6.0ML之PGA值	4-27
表4-10	花蓮ZS02未來100年發生規模大於6.0ML之PGA值	4-27
表4-11	為RC結構物之損傷指標	4-28
表4-12	未來100年宜蘭(ZS01)對牛鬥橋模型損壞指標	4-30
表4-13	未來100年宜蘭(ZS01)對三星橋模型損壞指標	4-31
表4-14	未來100年花蓮(ZS02)對牛鬥橋模型損壞指標	4-32
表4-15	未來100年花蓮(ZS02)對三星橋模型損壞指標	4-33
表4-16	臺灣主要河系洪水重現期對應SSI指標下降表	4-35
表4-17	蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果(節錄).....	4-37

表5-1	橋梁屬性資料欄位	5-1
表5-2	元件老化維修經費因子	5-4
表5-3	洪水維修經費因子	5-4
表5-4	非跨河橋維修案例(節錄).....	5-5
表5-5	跨河橋梁維修案例(節錄).....	5-6
表5-6	ESIM模式參數設定.....	5-9
表5-7	風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-非跨河橋梁(元件老化)	5-11
表5-8	橋梁風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-跨河橋梁(洪水)	5-11
表5-9	損害狀況及損害比之關係	5-14
表6-1	橋梁B01-013A-011D生命週期CI值	6-13
表6-2	以B01-013A-011D，CI值門檻75為例，各年度橋梁風險機率	6-14
表6-3	以B01-013A-011D為例，各年度橋梁維修與重建成本(應用現值 法求物價上升利率).....	6-15
表6-4	B01-013A-011D不同維護策略之LCC表	6-16
表6-5	橋梁B01-013A-011D於門檻值75維修時間與成本	6-16

第一章 研究計畫之背景及目的

1.1 計畫背景分析

臺灣受季風氣候影響及位處地震帶，颱風與地震頻傳，橋梁飽受各種天然災害侵害，如地震、颱風及材料劣化等。地震方面因多次地震事件造成許多橋梁不同程度的損壞，早期老舊橋的耐震能力更有不足之慮。而洪水方面因每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降、氣候變遷等因素，使得河水暴漲且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，特別對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，橋梁易受沖刷而導致損壞。材料劣化方面因海島型氣候使環境中充滿鋼筋腐蝕劣化的因子，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，嚴重造成政府財政的負擔。此外在人為使用方面，亦有車輛超載問題。近年來，許多橋梁由於過去施工技術不足，加上施工品質未能嚴謹控制，造成未屆設計年限，卻面臨拆除或需花費龐大金額進行維修補強，對於政府日漸拮据之財務狀況，無疑是雪上加霜。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫。如何評估現有橋梁之健康度，進而計算不同時間點進行維護之延壽與經濟效益是迫切的課題。

要保全甚至延長橋梁壽命，維持橋梁安全可靠的運輸狀況，除了規劃設計與施工恰當妥善以外，維修養護非常重要，這有賴於完整適當的橋梁檢測制度與系統之建立，安全檢測工作的實施，以及檢測後所做的性能評估、修繕、補強與維護管理。

依照公路養護規定，橋梁檢測結果採用D.E.R.&U.方式評定，但因D.E.R.&U.是以目視方式進行，檢測成果常會因檢測人員之訓練程度、經驗與主觀意識而有不一致之現象，橋梁管理單位檢測的人力、機具、經費、檢測是否確實及彙整至橋梁管理系統之正確性，皆為公路橋梁管理單位了解橋梁狀況及排列維護優先順序之關鍵，攸關橋梁及用路人之安全。本研究前期已探討分析國內目前橋梁檢測作業規定及其執行情形，找出檢測作業問題點及不同檢測人員結果之變異性，研擬建

議橋梁檢測有效施行之方法。

本研究前期已探討分析國內目前橋梁檢測作業規定，並提出橋梁安全風險評估之規劃建議。同時考量可視老化與潛勢危害等損壞因素下，導入風險概念，並以可靠度分析方法計算橋梁風險值，最後建議合併相關檢測表單，建置本土化橋梁綜合能力評量表。上述成果可計算橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而評估橋梁可能風險，橋梁管理單位便能有效掌握橋梁狀況與風險排序。

但是，由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益。即維修方案執行後使設施保持堪用狀態或延續壽命的程度可能會有所差異。在考量公路橋梁管理單位橋梁現況且維護經費有限情形下，管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作。因此，將有限資源做最有效運用更顯重要。

本次研究延續前年度成果，加入生命週期成本導向之概念建置「單橋維修策略最佳化評估模式」，同時考量各橋梁所評估之現況及風險程度，推估未來橋梁壽齡及狀態，進而輔助公路管理單位針對單一橋梁進行維修時機及經費估計，針對單一橋梁依照不同現況有效投入經費進行維護與補強工作。進而在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。

後續研究中可根據橋梁檢測評估結果，針對群橋風險程度建議維修補強策略。輔助公路管理單位進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。在有限維護經費下考量最佳經濟效益，研擬最適維護時機與工法策略。

1.2 計畫目的

本研究成果導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得所需經費。輔助橋梁管理單位針對單一橋梁建議維修補強策略，進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作，在有限維護經費下考量最佳經濟效益，研

擬最適維護時機與工法策略。

1.3 研究範圍與對象

根據統計，臺灣橋梁以鋼筋混凝土結構為應用最廣的類型，其中，95%以上為混凝土橋梁，且75%以上橋齡均在二十年以上，橋梁強度堪慮。為保障用路人安全，混凝土橋梁的維護管理為公路管理單位未來重要課題，故本計畫以鋼筋混凝土橋梁為研究範疇。

1.4 研究內容與工作項目

本計畫之期程為102年2月6日起至102年10月29日。預定工作項目如下所述：

1. 現地調查三座橋梁，進行細部評估分析，比對地震、載重、洪水沖刷維修機率評估結果，修正既有維修機率預測模式。
2. 舉辦專家座談會及養護工程處說明會各一場，針對現地調查結果與維修機率預測模式進行討論修正。
3. 收集國內外延壽策略等相關文獻，確立橋梁維修補強工法之適用性與可提升橋梁壽齡之能力。
4. 彙整國內外相關橋梁維護工法之資料，建置維護工法資料庫。
5. 根據橋梁現況評估所需維護時機及經費量化方法。
6. 建置推論模式找出案例資料中(日常巡檢表單)，輸入值(檢測分數)之調查結果與輸出值(維修案例經費)之關係。因此可根據不同橋梁之調查結果推論可能維護經費，評估各橋梁不同使用年限下可能維護成本。
7. 確認最佳化方法論，建置單橋維修策略最佳化評估機制。
8. 單橋橋梁風險管理策略訂定。
9. 參考國科會「科技計畫績效管考平台(<http://stprogram.stpi.narl.org.tw>)」之「績效指標(實際成果)資料格式(word檔案)」及「佐證資料

格式(word檔案)」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究成果及重大突破。

本計畫績效指標項目至少包括下列3項：

- (1)學術成就(科技基礎研究)-A論文發表。
- (2)技術創新(科技整合創新)- I技術活動：研究成果發表於國內或國外研討會。
- (3)社會影響(民生社會發展)- W.提升公共服務：分析橋梁不同破壞模式發生之可能性及後果之嚴重性，提升橋梁運輸安全之管理效能。

1.5 研究方法及進行步驟

本研究期程為四年度，第一年度計畫中已針對現有檢測作業文提進行探討，並提出橋梁檢測建議。第二年度計畫中已依機率模型建置事件模擬器，評估橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而計算橋梁可能風險，如圖1.1所示。



圖1.1 前兩年度研究內容

此年度為第三年度計畫，依據本研究目的，擬定本年度研究內容

為第一階段至第四階段，後續研究(第四年度)為第五階段至第八階段，如圖1.2所示。以下分別針對各階段進行說明。

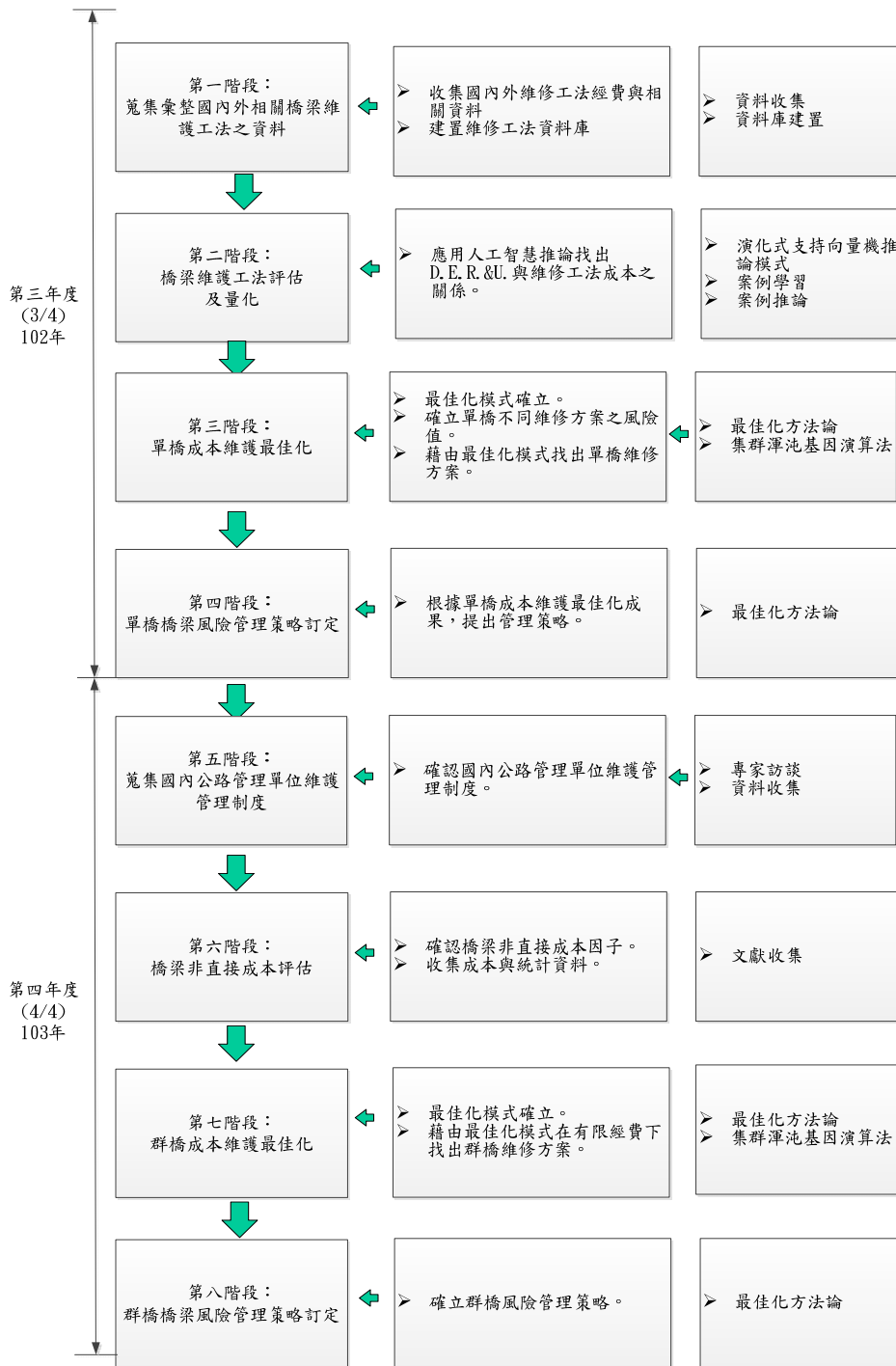


圖1.2 研究內容架構圖

1.6 工作項目及內容

1. 第一年度(100年已完成)

臺灣多山多谷的地理特性，使得陸上交通必須利用橋梁作連結，橋梁數量龐大。臺灣位處環太平洋地震帶，地震頻繁造成許多橋梁不同程度的損壞，早期老舊橋的耐震能力更有不足之慮；每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降、氣候變遷等因素，使得河水暴漲且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，特別對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，橋梁易受沖刷而導致損壞；海島型的氣候也容易造成橋梁材料腐蝕劣化，特別是老舊橋梁問題明顯；在人為使用方面，亦有車輛超載問題。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫。如要保全甚至延長橋梁壽命，維持橋梁安全可靠的運輸狀況，除了規劃設計與施工恰當妥善以外，維修養護非常重要，這有賴於完整適當的橋梁檢測制度與系統之建立，安全檢測工作的實施，以及檢測後所做的性能評估、修繕、補強與維護管理。研究前期已分析國內橋梁檢測作業之現況與問題點，特別探討檢測結果之變異性，並提供改進對策，同時建議借鏡國外優點的實施方式。完成工作項目如下：

- (1) 國內、外橋梁檢測文獻蒐集，針對國內、外目前橋梁檢測相關規範、手冊（如公路養護手冊等）及相關研究報告、檢測資訊系統（如橋梁管理系統等）做資料蒐集。
- (2) 國外目前橋梁檢測作業之探討分析，提出值得國內借鏡之建議。
- (3) 國內目前橋梁檢測作業規定之探討分析。
- (4) 國內目前橋梁檢測作業執行情形之探討分析。
- (5) 與公路總局、高公局及縣市政府橋梁管理單位及實際檢測人員進行訪談，分析目前橋梁檢測執行情形及問題點。
- (6) 現地一座橋梁實際檢測，提出檢測作業問題點及不同檢測人員檢測結果之變異性。
- (7) 提出橋梁檢測有效施行之具體建議。
- (8) 舉辦「橋梁檢測評估」專家座談會二場。

(9)提出「橋梁檢測評估」與國內相關規範、資訊系統如何結合並有效施行之建議。

(10)提出橋梁風險評估之規劃建議。

2.第二年度(去年度，101年)

國內現行檢測作業多以可視老化為主，如D.E.R.&U.等檢測方式，對於潛勢危害較少著墨。然而，地震、耐洪或是材料劣化(鋼筋腐蝕等)等損壞因素皆是屬於潛勢危害範圍中，故如僅採用現有檢測作業方式，難以評估橋梁現況與殘餘能力。

有鑑於此，前兩年度研究中同時考量可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)等損壞因素，導入風險概念，並以可靠度分析方法計算橋梁風險值。檢視可視老化與潛勢危害現行之檢測表單，並探討其檢測項目與性能橋梁指標之關係，確認各表單之重複性與相關性，確認轉換各表單間相似欄位之轉換公式與計算方法，未來可依此轉換方法更新相關欄位。依此成果，可合併相關檢測表單，建置本土化橋梁綜合能力評量表。所完成之風險評估程式將可引用各檢測表單項目，進行風險評估計算與資料更新。

根據歷史維修檢測紀錄探討各橋梁之風險潛勢時，發現既有橋梁檢測(D.E.R.&U.)之方法有以下問題需改進:

- (1)目視檢測之過程中，人為因素影響結果甚大，為避免此問題，建議未來建立完整之檢測員訓練與認證機制，培養專業人才進行調查，避免檢測結果之偏差。
- (2)沖刷檢測目前尚未有標準表單，且D.E.R.&U.檢測項目中，對於沖刷之調查因子過少，無法完整描述河川之特性與沖刷潛勢，未來建議採用「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」中所確立之表單進行相關調查。
- (3)建議管理單位可經由定期的檢測工作確實掌握橋梁狀況與各項性能可能風險，並了解影響衝擊，以利橋梁管理單位依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。

根據此年度結論，研究成果與效益分別可達到：

- ①完成分析橋梁風險因子之因果關係。管理單位可檢討各風險之來源，經由橋梁檢測掌握橋梁性能與風險。
- ②繪製橋梁各部位破壞模式與檢測項目對應矩陣表。釐清現有表單是否可檢測各類破壞模式。並使橋梁檢測結果與橋梁性能評估結合，讓橋梁管理單位更能重視檢測工作，同時掌握檢測結果與風險所反映之橋梁性能。
- ③依機率模型建置事件模擬器，評估橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而評估橋梁可能風險。橋梁管理單位能有效掌握橋梁狀況與風險排序，未來結合維修成本之評估，可在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。此外此年度建置方法亦可評估各致災因子下之安全可靠度，並可建議其未任何維護下之使用壽命。
- ④建置風險評估程式，管理單位可依實際狀況更新風險計算參數，程式將依此進行風險評估計算，降低維護更新之人力經費所需。並將相關模組建置於公路防救災決策支援系統中 (Taiwan Road Early Nature Disaster prevention System, TRENDS)系統中，使用者可於網頁系統查詢相關資料成果。

3.第三年度(本年度計畫)

本年度研究以國內現有橋梁殘餘能力評估方法為基礎，並加入生命週期成本導向之概念建置「橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式」。此外，考量橋梁維護修復工法眾多，對於橋梁延壽之效果亦有所不同。目前相關研究對於延壽技術如何施工、何時施工、施工數量等問題較少探討，因此本研究收集目前公路總局採用的RC橋梁維修補強工法與國內外延壽策略等相關文獻，確立不同RC橋梁維修補強工法之適用性。依此建置RC橋梁各部位維修補強工法資料，建置工法資料庫。並藉由人工智慧推論模式找出案例資料中，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值維修案例經費之映射關

係。藉此，可依據不同橋梁之D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

最後，導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式。由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益。即維修方案執行後使設施保持堪用狀態或延續壽命的程度可能會有所差異。因此，根據各橋梁之殘餘能力曲線，針對單一橋梁求得殘餘能力，再依狀況分析，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與預算。

此外，在考量公路橋梁管理單位橋梁現況且維護經費有限情形下，管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作。因此，將有限資源做最有效運用更顯重要。橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式將同時考量各橋梁所評估之現況及未來可能遭遇風險機率，輔助公路管理單位針對單一橋梁進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。

本年度研究分成四個研究階段，共八個步驟，擬定本研究執行流程，如下圖1.3所示：

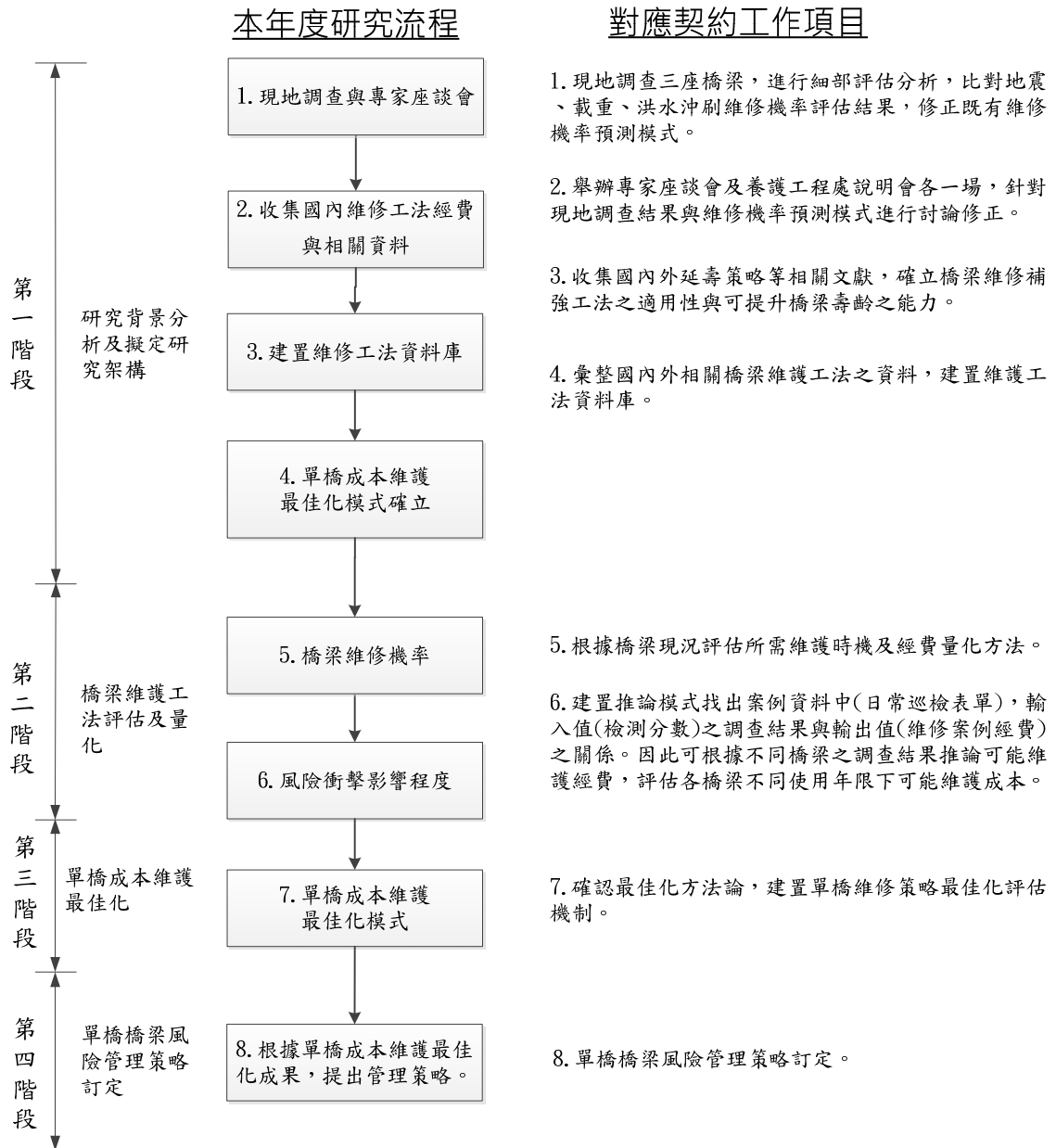


圖1.3 研究執行流程圖

其規劃工作項目與內容，分述如下：

第一階段：研究背景分析及擬定研究架構

步驟1.現地調查與專家座談會

此步驟將現地調查三座橋梁並進行細部評估分析，比對地震、載重、洪水沖刷維修機率評估結果，以修正既有維修機率預測模式。

首先選擇定期進行D.E.R.&U.且具完整檢測資料(含初步與詳細耐震能力評估)之橋梁。除依現有之檢測資料比對劣化預測模式所得結果外(包含：氯鹽含量，中性化深度與鋼筋腐蝕量等)，並使用貝氏定理建立檢測資訊回饋修正機制，可減少時間累積誤差以增進預測準確度。另外，依耐震能力評估結果，及既有實驗資料以決定各損傷狀態之界限值，再依其所處區域之地震危害度分析結果評估其維修機率，並與現有模式之推估值進行比對及修正既有預測模式。

最後舉辦專家座談會及養護工程處說明會各一場，針對現地調查結果與維修機率預測模式進行討論修正。

步驟2.收集國內外維修工法經費與相關資料

收集目前公路總局採用的RC橋梁維修補強工法與國內外延壽策略等相關文獻，確立不同RC橋梁維修補強工法之適用性。依此建置RC橋梁各部位維修補強工法資料，建置工法資料庫。

步驟3.建置維修工法資料庫

本研究初步收集歷史維修紀錄，分別收集非跨河及跨河橋維修案例，建置維護資料庫。

步驟4.單橋維護成本最佳化模式確立

本階段延續去年度研究成果，初步擬訂單橋維護成本最佳化模式，應用前年度所建立之橋梁維修機率模式分別計算不同維修方案之風險影響衝擊程度(5、10、15、20、25及30年)，再以最佳化模式找出最低生命週期成本之維修組合，於第三章詳細說明。

步驟5.橋梁維修機率

橋梁維修機率可分成三個部分，依地震、洪水、元件老化順序介紹，將依步驟分別得到各橋梁5年、10年、15年、20年、25年及30年之維修機率。

步驟6.風險衝擊影響程度

風險衝擊影像程度評估中(1)地震部分參考文獻建議使用損傷超越機率及風險成本；(2)可視老化及洪水則使用人工智慧推論模式-演化式支持向量機推論模式。

第三階段:單橋維護成本最佳化

步驟7.單橋維護成本最佳化

由於單橋一百年橋梁生命週期中，不同構件損傷與不同工法之維護方案與維修時間點組合項次難以估計，將高達數億種組合方案。若以傳統試誤法等方式求解，將無法在短時間內達到答案。因此，本計畫用於搜尋物料配置最佳化所使用之模式—生物共生演算法（Symbiotic Organism Search, SOS），SOS為鄭明淵學者和Doddy Prayogo學者所發展的一種新的最佳化演算法；通過模擬生物生存在生態系統中與其他生物共生的策略，用以模擬數值優化及解決工程上設計的問題；此模式之發展可用來解決需要大量計算的工程及管理類的最佳化演算法相關問題上。

本階段初步擬訂單橋維護成本最佳化模式，分別計算不同維修方案之風險影響衝擊程度(5、10、15、20、25及30年)，再以最佳化模式找出最低生命週期成本之維修組合。

步驟8.根據單橋維護成本最佳化成果，提出管理策略

根據前一階段單橋維護成本最佳方案成果，可評估維修時間點與方案，如進行預防性維護將提升橋梁使用期限。因此可考量單橋各構件之維修方案與加總後之生命週期總成本，就可提出符合工務段需求且之提前維修方案。

第二章 文獻回顧

臺灣地形山高谷深和溪河眾多，橋梁亦成為連絡河流兩岸之重要交通工程設施，但因台灣屬季風型氣候夏季多雨、又處於環太平洋地震帶，乃至橋梁常遭受地震、洪水、土石流等災害之威脅，再加上嚴重之交通負荷，使得橋梁老化或損害情況日趨嚴重。有鑑於此橋梁定期檢測與維護就更顯得重要，方得確保橋梁的安全性能。

目前橋梁維護管理工作，國內相關單位雖有其各自發展之橋梁檢測評估手冊、維修養護手冊、維修材料規範及使用手冊等，然所要求的檢測重點、檢測方法及表格種類繁多。為使工程人員在從事現場檢測及維修補強工作時，有較為客觀之標準可資依循，一套橋梁檢測、評估、維修標準有其迫切必要性。橋梁隨著建設路網飽和，因而老舊橋梁愈來愈多，此時橋梁重點由新建轉成維護，在橋梁邁入高齡化的時代後，橋梁功能及服務品質因元件老化或材料劣化而下降，加上天災如颱風、地震、水害，人禍如盜採河川砂石、偷工減料等，均增加橋梁損壞之潛在危險，此時倘未採取適當管理機制，恐日後發生橋災，造成國家、個人重大成本甚或生命付出，由此可見橋梁維護在未來之重要性。以下分別針對公路維護相關規範、風險管理、破壞模式、性能指標與國內外等相關文獻進行整理與探討。

2.1 公路維護規範

養護人員，應經常或定期巡查轄區內公路，並依據公路現況及實際需要訂定養護計畫，利用機具及人力，針對不同設施之養護基本原則與維護方法，辦理各項養護工作。復因公路極易遭受颱風、地震、豪雨及冰雪之侵襲，以及人為之破壞，致使公路阻斷或危及行旅安全，養護單位應立即通報並予以搶修或修復，使公路隨時提供良好之服務水準。

公路養護工作，並應注意環境維護，儘量避免污染空氣、水源及製造噪音等公害，並力求公路美化與周圍環境之調和，使行旅能在安

全、舒適及便利之原則下使用公路。

公路養護即係依據上述原則，分別就路基及邊坡、鋪面、橋梁、隧道、排水設施、交通安全設施、交控及通信設施、沿線路權內附屬設施、景觀及植生、養路車輛機械等各項養護工作，說明其應辦理巡查之方式、頻率、巡查時應檢查之項目、注意事項與各類參考表格，以及相應之處理方式、維護方法等，期能供公路養護人員有所依循。

「公路養護手冊」原頒布於民國七十六年十一月二十四日，爾後十五年餘期間多條高速公路及快速公路陸續完成，養路技術亦有所增進，發現著實有修訂之必要。上次係於 92 年修訂，為因應近年來全球氣候異常天然災害頻傳，養路技術亦有所增進，且各類型道路交通特性不同其相應之養護項目及性質實有檢討修訂之必要。交通部公路總局於 99 年 8 月至 11 月間陸續召開 11 次小組會議初擬各章修訂內容，以民國 92 年交通部頒「公路養護手冊」，及 100 年交通部臺灣區國道高速公路局「高速公路公路養護手冊」為藍本，並參考 2007 年美國 AASHTO “Maintenance Manual for Roadways and Bridges, 4th Edition”，與日本道路協會「道路維持修繕要綱」等相關文件彙編而成，並邀集交通部、運輸研究所及局內各養護單位，於 99 年 12 月召開審查會議進行審查，歷時 5 個月始克修訂完成^[1]。

2.1.1 橋梁損害分類

橋梁養護之目的為確保橋梁安全，避免發生損壞及危害公共安全。為能對橋梁對症下藥，養護工作首要重於檢查損害情況。目前公路養護規範針對橋梁損害分類為主要損害、次要損害、構件一般損害等症狀^[1]。

1. 主要損害：主要損壞係影響橋梁之整體安全或用路人之行車安全次要損害。
2. 次要損壞：係橋梁構造或附屬設施之小缺陷，但不致影響橋梁安全或其鄰近構材者。

3. 構件一般損害：橋梁構造物之結構構材中以混凝土構材及鋼構材等組成者居多，茲先列述此兩種構材易發生之損壞情況後，再分別列述其他橋梁構造物之構件。

2.1.2 橋梁檢測

公路養護之目的，在使公路之路基及邊坡、鋪面、橋梁、隧道及其附屬設施等，能經常維持其原有良好行車及安全狀態；必要時，可依據各級公路之需求分別予以改善。養護人員，應經常或定期巡查轄區內公路，並依據公路現況及實際需要訂定養護計畫，利用機具及人力，針對不同設施之養護基本原則與維護方法，辦理各項養護工作。當公路遭受颱風、地震、豪雨及冰雪之侵襲，或人為破壞，致使公路阻斷或危及行旅安全，養護單位應立即通報並予以搶修或修復，使公路隨時提供良好之服務水準。公路養護工作，並應注意環境維護，儘量避免污染空氣、水源及製造噪音等公害，並力求公路美化與周圍環境之調和，使行旅能在安全、舒適及便利之原則下使用公路^[1]。

2.1.2.1 檢測目的

橋梁檢測之目的除為適時發現橋梁之現況是否降低結構功能外，亦應具備下列之目的：

1. 提供橋梁狀況資訊；若有危及結構安全時，即時採取限制車輛通行或封閉交通等管制措施。
2. 提供劣化程度之資訊、劣化對構件之影響程度，以及該劣化係正常之劣化或其他原因所造成等參考資料。
3. 記錄橋梁時間序列之狀況。
4. 檢測橋梁結構劣化之情況，使橋梁維護計畫更具效率，並降低維修成本。
5. 維修以消除危害橋梁狀況，提高公共安全保障。

2.1.2.2 巡查種類

「巡查」係指公路養護單位就轄區內公路作巡視與檢查。巡查方式依時效可分為：

1. 經常巡查：經常巡查原則上可乘坐車輛及利用易於攜備之適當器具，以目力檢視公路各種狀況。若發現有疑惑時，應予以詳查，期及早發現異常狀況。
2. 定期巡查：定期巡查係以儘可能接近公路設施之方式，進行較詳盡之檢查該設施之安全情形，維護公路應有之功能。
3. 特別巡查：於颱風前後、豪雨、洪水、地震、火災、海嘯或其他重大事故後，就公路重要設施所作之巡視與檢查。尤應注意河川橋梁基礎有無沖刷、淘空、產生裂縫或位移等情事，並應詳予記錄洪水位，作為日後修復或改建工程之依據。

2.1.2.3 檢測頻率

公路養護規範內提到巡查頻率應由各級公路養護管理機關按公路等級，於其公路養護手冊規定。以下以公路總局為例：

1. 巡查方式

「巡查」係指養護單位就轄區內公路之巡視與檢查。巡查方式分為：

(1) 經常巡查：

日間經常巡查，由指定工程司辦理，從車上以目力檢視公路各種狀況。若發現有疑惑時，應下車詳查。有關鋪面、橋面、伸縮縫等之檢查，可憑車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷公路之實況。夜間巡查，由養護單位正、副主管或指派專人辦理。

(2)定期巡查：

在設定期間內，以目力或輔以簡易器具巡查轄區內公路，以維護公路應有之功能。個別設施得以定期檢查(測)為之。

(3)特別巡查：

在颱風來臨前後，豪雨、洪水、震度 4 級以上之地震或重大交通事故後，立即巡查公路構造物。

(4)朝巡：

原則屬於特別巡查之一種。針對轄區內特定列管易落石、坍方路段，當豪雨或地震設定條件達到啟動標準時，於該特定路段須於每日上午規定時間前完成巡查作業，並持續 7 天，各養護單位得視情形延長辦理天數。養護單位針對轄管公路之巡查作業，如有人力不足等情事，得委外辦理。

各類巡查原則巡查頻率詳見表 2-1。特別巡查在颱風來臨前後、豪雨、洪水、震度 4 級以上之地震或重大交通事故後為之。挖掘路面案件，每週至少應巡查一次。朝巡之啟動時機為設定條件達啟動標準時，設定條件與啟動標準得由養護單位視需要訂定之，如達封路、封橋之標準，則按相關規定辦理封路、封橋作業。

表 2-1 橋梁檢測分類別表

檢測類別	檢測時機	方式
定期檢測	每年 4 月 30 日汛期前將轄內所有橋梁檢測完竣，並於 5 月 15 日前將檢測結果報局，檢測期間如發現重大缺陷者應立即通報。另因河道、橋台基礎、橋台、橋墩保護措施、橋墩基礎及橋墩墩體等 6 項易受颱洪影響，於 11 月 15 日前再辦理該 6 項之檢測，並於 12 月 1 日前將檢測結果報局。完工五年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後之第六年進行第一次定期檢測，而後續之檢測頻率則依照前述規定辦理。	利用徒步或攀登方式或特殊機械車輛儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查。

檢測類別	檢測時機	方式
特別檢測	(1)震度 5 級地區橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中橋梁。 (2)震度達 6 級以上地區所有橋梁。 (3)所在位置最近之水位站達二級警戒水位或上游雨量站達大豪雨(200 mm 以上)，且橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中橋梁。 (4)所在位置最近之水位站達一級警戒水位或上游雨量站達超大豪雨(350 mm 以上)所有橋梁。 (5)人為破壞因素（如火災或車輛撞損主梁等）引起之災害	

資料來源：公路總局養護手冊^[1]

2. 橋梁檢測評估方法

目前臺灣交通部之公路養護規範主要是採用 D.E.R.&U. 方法，此評估法乃根據交通部國道高速公路局所開發之橋梁管理系統基礎，委託 CSIR 公司與昭凌顧問工程股份有限公司制定之目視評估準則。檢測人員於定期檢測時參照橋梁檢測表格，表列各構件之劣化情形，分別依劣化程度（Degree，D）、劣化範圍（Extent，E）、重要性（Relevancy，R）等三項予以評定後；再評估該劣化構件需維修之急迫性（Urgency，U）。

為評估劣化情形，D.E.R.&U. 以 1 至 4 之四個等級予以具體評估劣化程度，但若「無此項目」或「無法檢測」或「無法判定」時，則以 0 予以記錄。並由橋梁檢測人員於現場予以評等。橋梁檢測人員得參考相關檢測手冊並接受適當之橋梁檢測培訓，以期了解 D.E.R.&U. 檢測評估方法及評定準則^[1]。

劣化程度(D)、劣化範圍(E)、重要性(R)以及劣化構件維修之急迫性(U)之評等標準(0.1.2.3.4.)原則如附表 2-2。

表 2-2 橋梁構造物檢測評定標準

	0	1	2	3	4
D	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
E	無法檢測	<10%	10%~30%	30%~60%	>60%
R	無法判定重要性	微	小	中	大
U	無法判定急迫性	例行維護	3年內	1年內	緊急處理維護

資料來源：公路養護規範^[2]

3. 橋梁檢測項目

根據公路養護規範闡述，橋梁檢測可分為影響橋梁結構安全及影響交通安全兩大層面。影響橋梁結構安全之構件主要有 9 項，影響交通安全者 11 項，不包括在此 20 項時另列為「其他」1 項，合計 21 項作為檢測評估項目，詳如表 2-3 所示。其 21 項檢測評估項目皆採用 D.E.R.&U. 評估法進行評分。

表 2-3 橋梁定期檢測項目

定期橋梁檢測項目		
影響橋梁結構安全	影響交通安全	其他
1. 橋墩保護設施	10. 引道路堤	21 其他
2. 橋墩基礎	11. 引道護欄	
3. 橋墩墩體	12. 河道，	
4. 支承墊	13. 引道路堤之保護設施	
5. 止震塊或防震拉桿	14. 橋台基礎	
6. 伸縮縫	15. 橋台	
7. 主構件（大梁）	16. 翼牆或擋土牆	
8. 副構件（橫隔梁）	17. 摩擦層	
9. 橋面版或絞接版	18. 排水設施	
	19. 緣石及人行道	
	20. 護欄	

資料來源：橋梁定期檢測資料表(公路養護規範，2012)^[2]

4. 橋梁構件狀況指標^[3]

D.E.R.&U.檢測法其含意考慮橋梁結構性、安全性、重要性等，運用橋梁構件狀況指標 $I_{c_{ij}}$ 進行橋梁評估，當 $I_{c_{ij}}$ 愈小，表示該橋梁構件損壞愈嚴重，最後將依據 $I_{c_{ij}}$ 大小加以排列，其橋梁構件狀況指標 $I_{c_{ij}}$ 計算公式如式(2.1)敘述之：

$$I_{c_{ij}} = 100 - 100 \frac{D \times E \times R^a}{(4+4) \times 4^a} \dots\dots\dots (2.1)$$

- $I_{c_{ij}}$ ：梁構件狀況指標。
- D 、 E 、 R ：表示 D.E.R.&U.檢測表格之各構件評分結果，分數範圍為 0~4 分。
- a ：表示相對重要權重之參數，通常內定值為 1，若使用者欲強調該構件之重要性，可取 2。

當各構件 $I_{c_{ij}}$ 評估完畢後，再將所各構件 $I_{c_{ij}}$ 值帶入式(2.2)中可獲得該構件 i 之狀況值 I_{c_i} 。最後把 $I_{c_{ij}}$ 、 w_i 代入式(2.3)即可求出橋梁整體狀況指標 CI 。橋梁整體狀況指標 CI 愈高，則表示橋梁整體狀況越好，愈低則反之。

$$I_{c_i} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{c_{ij}}}{n} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} I_{c_i} \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

$I_{c_{ij}}$ ：梁構件狀況指標。

I_{c_i} ：為構件項目 之狀況值。

n ：橋梁各構件之總數。

CI ：橋梁整體狀況指標。

w_i ：構件 相對橋梁之權重。

2.2 橋梁性能指標

1. 平時檢測指標

臺灣地區橋梁檢測依交通部所頒佈之「公路養護手冊」分為經常巡查、定期檢測及特別檢測。其中定期檢測所使用之方法為 D.E.R.&U. 目視檢測評估法，該法將橋梁分為 21 項構件，並將各構件之狀況分數加權後可得到狀況指標（Condition Index, CI）以及優先指標（Priority Index, PI）。但當橋梁構件不足 21 項時，現有之構件權重並無法自動分配，造成 CI 及 PI 出現「基本分」之不合理現象。

改善後之新 CI 及新 PI ^[4]，透過橋梁構件重要性指數，如表 2-4 所示，僅將存在構件之重要性指數挑出，依存在之構件指數佔全部存在構件指數總和之比例，自動計算各構件之權重，再依原 CI 及 PI 之公式計算，得到新 CI 及新 PI。系統會自動判斷 D.E.R.&U. 檢測表中各構件是否存在，如該構件之評估項目出現 D=0 或 E=0，甚或 DER 完全空白，系統均視該構件不存在，去除不存在之構件，其餘均為存在構件。

簡單舉例，A 橋為 1 孔之跨河橋，長度為 20 公尺，其存在之構件如表 2-5，由表一中挑出 A 橋存在構件之重要性指數，經正規化成為各構件權重，各構件權重相加為 100，再以此權重計算 CI 及 PI，即為新 CI 及新 PI。

表 2-4 橋梁構件重要性指數

項次	構件名稱	重要性指數		
		橋長>100M	50M<橋長<100M	橋長<50M
1	引道路堤	1.855	1.855	1.855
2	引道護欄	1.351	1.351	1.351
3	河道	2.591	2.545	2.424
4	引道護坡	1.443	1.443	1.351
5	橋台基礎	3.608	3.487	3.487
6	橋台	3.441	3.441	3.441
7	翼牆/擋土牆	2.002	2.002	2.002
8	摩擦層	1.580	1.397	1.230
9	橋面排水設施	1.351	1.351	1.230
10	緣石及人行道	0.517	0.517	0.396
11	欄杆	1.351	1.351	1.351
12	橋墩保護措施	2.820	2.774	1.819
13	橋墩基礎	4.004	3.837	3.716
14	橋墩墩體/帽梁	3.837	3.837	3.670
15	支承/支承墊	2.790	2.790	2.185
16	止震塊/拉桿	2.332	2.378	1.727
17	伸縮縫	1.809	1.626	1.459
18	橋塔(含錨定)【吊橋】	4.004	3.883	N/A
19	橋塔(含錨定)【斜張橋】	4.004	3.883	N/A
20	主構件(大梁)	3.837	3.716	3.670
21	次要構件(橫梁)	1.773	2.002	1.956
22	橋面版	3.232	3.065	3.065
23	主纜索【吊橋】	4.004	3.883	N/A
24	吊索【吊橋】	3.958	3.716	N/A
25	斜張鋼纜系統【斜張橋】	4.004	3.883	N/A
26	拱圈【拱橋】	4.004	3.837	N/A
27	橫桿【拱橋】	2.836	2.607	N/A
28	吊材/立柱【拱橋】	3.670	2.836	N/A
29	其他	N/A	N/A	N/A

資料來源:臺灣地區橋梁管理資訊系統 TBMS^[4]

表 2-5 橋梁 A 構件權重

存在構件	重要性指數	構件權重
引道路堤	1.855	7.392
引道護欄	1.351	5.384
河道	2.424	9.660
引道護坡	1.351	5.384
橋台基礎	3.487	13.896
橋台	3.441	13.713
翼牆/擋土牆	2.002	7.978
摩擦層	1.230	4.902
橋面排水設施	1.230	4.902
欄杆	1.351	5.384
支承/支承墊	2.185	8.708
止震塊/拉桿	1.727	6.882
伸縮縫	1.459	5.814
	25.093	100.000

2. 沖刷指標

(1) SSI 值計算

SSI 是 Scouring Stability Index 的縮寫，為橋梁的『沖刷穩定指標』，以 0~100 的整數代表橋梁對抗沖刷的能力，分數越高代表狀況越好。SSI 值設計之目的在於凸顯與沖刷有關構件之狀況，包含「河道」、「橋台基礎」、「橋台」、「橋墩保護設施」、「橋墩基礎」及「橋墩墩體」六項，當該些構件檢測狀況不佳時，SSI 值下降，代表該其對於水流之衝擊抵抗能力下降，因沖刷而斷橋之機率增大。六項構件之計算法與 PI 相同，取最具代表性之再加以平均。SSI 值之計算公式如下：

$$PI = \frac{Ic_3 \times w_3 + Ic_5 \times w_5 + Ic_6 \times w_6 + Ic_{12} \times w_{12} + Ic_{13} \times w_{13} + Ic_{14} \times w_{14}}{w_3 + w_5 + w_6 + w_{12} + w_{13} + w_{14}} \dots\dots (2.4)$$

公路橋(所有結構型式)

$$PI = \frac{Ic_3 \times w_3 + Ic_4 \times w_4 + Ic_6 \times w_6 + Ic_8 \times w_8 + Ic_9 \times w_9}{w_3 + w_4 + w_6 + w_8 + w_9} \dots\dots\dots (2.5)$$

計算公式如下：

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \dots\dots\dots (2.6)$$

公式 2.6 中， n 為各構件之總數，由於部分構件有多組 D.E.R. 評分。舉例一座橋橋墩有 A01、P01、P02、P03、A02，而分別計算出之 為 50、30、100、50、100，利用如下所示 取法規則，先找出 最小值，即 為 30 因 小於 50，將小於 50 中的值平均，此範圍中只有一個數值符合，故 $n=1$ 。此例之 $Ic_i = \frac{30}{1} = 30$ 。

Ic_i 值之取法如下：

- a. 先找出各檢測項目中構件 Ic_{ij} 之最小值，即 $Ic_{ij}(\min)$ 。
- b. 若 $Ic_{ij}(\min)$ 值小於 50，將小於 50 的 Ic_{ij} 值挑選出來平均，視為 Ic_i 值。
- c. 若 值介於 50 和 75 之間，將此範圍的值挑選出來平均，視為 值。
- d. 若值介於 75 和 100 之間，將此範圍的值挑選出來平均，視為 值。

(2)OSSI 值計算

OSSI 為整橋之沖刷穩定指標，由於沖刷問題將導致橋梁中斷，任一跨中斷則全橋便無法使用，因此 OSSI 為各分段 SSI 中取最嚴重，即最小值代表之。

2.3 國外文獻

交通運輸是一個國家經濟與建設重要關鍵指標，橋梁更是公路運輸互相串連之命脈，以下內容將各別介紹美國、英國、日本、中國大陸這些在國際上的經濟強權，如何去檢測維護自己國家的橋梁設施，諸如各國的檢測方式，亦可做為臺灣後續對於橋梁檢測方向之參考與調整，相關文獻整理如表 2-6。

表 2-6 國外相關文獻整理表(本研究整理)

國別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
美國	National Bridge Inspection Standards, (Federal Highway Administration)	1. 橋梁檢測員參考手冊 2. 橋梁檢測員培訓手冊	1. Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges(1995, Federal Highway Administration)。 2. 臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度	1. National Bridge Inventory Database 2. PONTIS
日本	橋梁定期点檢要領(案)	1. 橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案) 2. 橋梁における第三者被害予防措置(案)	1. 混凝土構造物の健全度診断技術開發報告書	J-BMS
英國	英國公路橋梁檢測優先權標準	-	1. Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects	BridgeMan
中國	公路橋涵養護規範	公路工程質量檢驗評定標準	1. 橋梁損傷診斷	CBMS

資料來源: 鄭明淵等, 橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4), 交通部運輸研究所, 2012^[5]

2.3.1 美國橋梁檢測

美國主要所使用之橋梁檢測方法為 NBI 檢測, 此法源起源需追溯 1967 年美國俄亥俄州發生銀河橋(Silver Bride)斷橋事件, 迫使美國必須重視橋梁老舊之問題, 為了避免憾事再度發生, 美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)開始針對全美國橋梁進行資料調查與整理, 將橋梁調查之結果並輸入「全國橋梁清冊(National Bridge Inventory)」資料庫中, 為使橋梁調查人員能快速且統一填寫每一座的橋梁之基本現況, 故訂定了全國橋梁檢測準則(National Bridge Inspection Standards, NBIS), 根據此準則對調查人員進行專業培訓, 並要求全美各州政府每兩年必須對於負責之管轄橋梁進行全面檢測作業。

NBI 法主採用目視檢測方式，以達快速檢測之目的[3]。NBI 評量步驟如圖 2.1 所示。

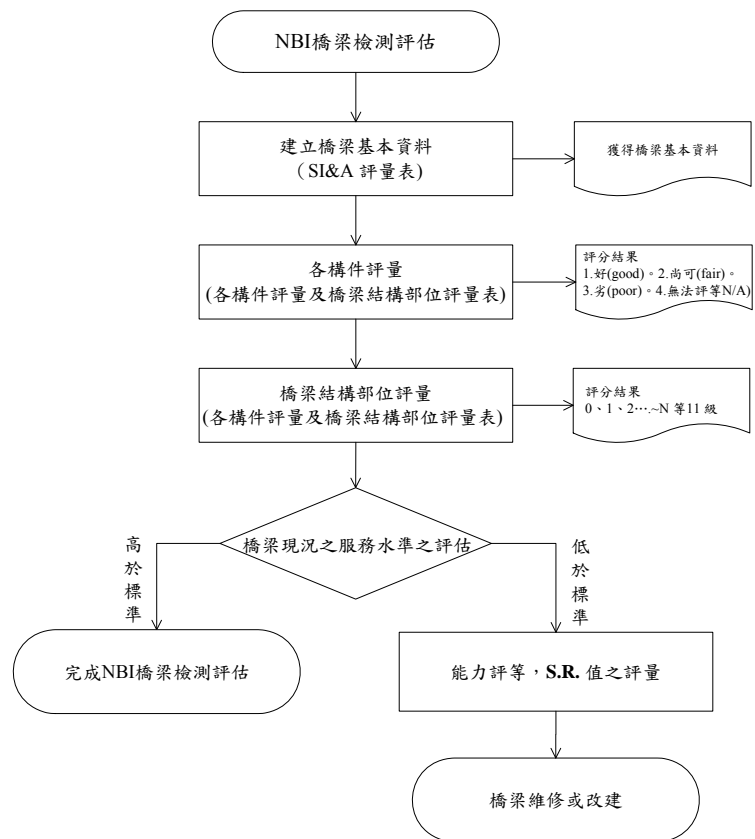


圖 2.1 美國 NBI 橋梁檢測流程

美國當地若以橋梁檢測類型區分，共可分為 5 種類型，分別為初始檢測 (Initial)、定期檢測 (Routine)、破壞檢測 (Damage)、深化檢測 (In-Depth) 及特殊檢測 (Special) [6]。

1. 初始檢測 (Initial): 此法即利用「NBI 檢測表單」來獲得橋梁狀態。該項檢測目地在於建立橋梁初始檢測資料檔案。以提供全美橋梁資料庫建置，並透過 NBI 檢測來評估之該橋梁結構安全之最初評量結果。
2. 定期檢測 (Routine): 使用「NBI 檢測表單」並以週期例行性對於橋梁進行檢測，如美國為 2 年 1 次，主要目地是希望透過定期的檢測，來判斷該橋梁結構是否符合服務安全性之要求。
3. 破壞檢測 (Damage): 此檢測時機主要乃因「環境災害或人為因素」

導致橋梁有受損之可能，進而透過「NBI 檢測表單」結果，作為判斷該橋梁是否需採補強或整建措施之參考。

4. 深化檢測 (In-Depth)：該種檢測目的是為彌補定期檢測(目視檢測)判斷之盲點，亦可稱為非破壞性檢測。例如：衝錘法、鋼筋位置探測儀、裂縫深度檢測 (超音波)、氯離子含量測試等。
5. 特殊檢測 (Special)：此種檢測主要運用在監測系統之檢測工具，通常針對基礎沉陷、河沖刷等進行監測。

NBI 檢測表單如下表 2-7 所示。

表 2-7 美國橋梁檢測表(National Bridge Inventory Information System)

OVERALL SUPERSTRUCTURE CONDITION RATING: N 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
COMMENTS:

Superstructure Elements	Rating				Remarks
stringers	G	F	P	N/A	_____
Floor beams	G	F	P	N/A	_____
floor system bracing	G	F	P	N/A	_____
Multi beams	G	F	P	N/A	_____
girders	G	F	P	N/A	_____
truss-general	G	F	P	N/A	_____
upper chords	G	F	P	N/A	_____
web members	G	F	P	N/A	_____
lower chords	G	F	P	N/A	_____
lateral bracing	G	F	P	N/A	_____
lateral bracing	G	F	P	N/A	_____
sway bracing	G	F	P	N/A	_____
portals	G	F	P	N/A	_____
arches	G	F	P	N/A	_____
cables	G	F	P	N/A	_____
paint	G	F	P	N/A	_____
bearing devices	G	F	P	N/A	_____
connections	G	F	P	N/A	_____
welds	G	F	P	N/A	_____
_____	G	F	P	N/A	_____
_____	G	F	P	N/A	_____
_____	G	F	P	N/A	_____
timber decay					_____
concrete deterioration					_____
steel corrosion					_____
collision damage					_____
L.L. deflection					_____
vibration					_____
member alignment					_____
utilities					_____

Exhibit 3-22 Bridge Condition Rating Categories

Rating	Condition Category	Description
9	Excellent	
8	Very Good	No problems noted.
7	Good	Some minor problems.
6	Satisfactory	All primary structural elements are sound but may have minor section loss, cracking, spalling, or scour.
5	Fair	Advanced section loss, deterioration, spalling, or scour.
4	Poor	Loss of section, deterioration, spalling, or scour have seriously affected the primary structural components. Local failures are possible. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present.
3	Serious	Advanced deterioration of primary structural elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may be removed substructure support. Unless closely monitored, it may be necessary to close the bridge until corrective action is taken.
2	Critical	Major deterioration or section loss present in critical structural components, or obvious loss present in critical structural components, or obvious vertical or horizontal movement affecting structural stability. Bridge is closed to traffic, but corrective action may not be in light service.
1	Incessant Failure	
0	Failed	Out of service, beyond corrective action.

Exhibit 3-25 Bridge Appraisal Rating Categories

Rating	Description
N	Not applicable.
9	Superior to present desirable criteria.
8	Equal to present desirable criteria.
7	Better than present minimum criteria.
6	Equal to present minimum criteria.
5	Somewhat better than minimum adequacy to tolerate being left in place as is.
4	Meets minimum tolerable limits to be left in place as is.
3	Basically intolerable requiring a high priority of corrective action.
2	Basically intolerable requiring a high priority of replacement.
1	This value of rating code is not used.
0	Bridge closed.

2.3.2 英國橋梁檢測

英國土地遼闊且亦屬先進國家之一，促使當地公路橋梁設施眾多。但是橋梁設施實在太多，若全面進行橋梁檢測，耗費的人力與經濟資源不是國家一時之間可以承受負擔^[7]，政府為了能適時針對全國各橋梁進行檢測，且維持延續老舊橋梁生命，將根據橋梁基本性質之橋梁年齡、交通運輸量、社會重要性、先天或後天結構安全不足者之概念加以分類，每一種基本性質均給予 1~5 級數評分，並依據基本性質重要性給予較高之權重，最後把該橋梁各類基本性質累加，即能獲得該橋梁評估分數(TA)，其評估公式如式(2.7)所示，分數越高者優先進行檢測。因此只要評估出每座橋梁之分數即能歸納出橋梁檢測之優先順序，表 2-8 為英國橋梁基本性質之類型、分數、權重^[6]：

表 2-8 英國公路橋梁檢測優先順序標準與分類級數

順序	基本類型	代號	分數	權重
1	橋梁年齡	(Ra)	1~5	4
2	橋梁型式	(Rf)	1~5	2
3	薄弱部位	(Rd)	1~5	1
4	平均日交通量	(Rv)	1~5	1
5	地形交通量	(Ru)	1~5	1
6	路線重要性	(Ri)	1~5	1

資料來源：劉效堯、蔡鍵、劉暉，2002^[8]

$$TA=4Ra+2Rf+Rd+Rv+Ru+Ri \dots\dots\dots (2.7)$$

2.3.3 日本橋梁檢測

日本地形與臺灣類似，同樣具有山高谷深、溪流眾多之特徵，以致橋梁在交通運輸佔有極重要之地位。政府所公布橋梁定期點檢要領(案)中有訂定其橋梁檢測表單，如圖 2.2 所示。政府單位之「日本道路

公園」對於橋梁檢測方式主要是制定一套「橋梁構件評等系統」，藉此檢測全日本之橋梁。此法主要針對橋梁構件之裂隙情況加以描述並量化，再依據裂隙量化結果之給予構件劣化評等，其判定之評等級數為I、II、III、IV，如表 2-9 所示^[9]。對於裂縫之量化準則可參考表 2-10 所述。

記入例																
点検調査(その1) 橋梁の諸元と総合検査結果																
フリック調査名	○○○橋				路線名	一般国道○○号 側道				地方管轄	○○	橋梁コード	○○○			
所在地	自	○○○橋				距離標	自	123.0 km + 45 m				事務所	調査実施年月日			
	至	○○○橋					至	123.0 km + 73 m					○○○年○○月○○日			
供用開始日	昭和43年4月1日	橋長	190.00 m		調査者・写取	TL20 1写機				昭和47年道路橋検査書				調査年	1997年	
上部構造形式	高欄橋	幅員	全幅員	11.80m		地幅幅	歩道幅	歩道幅・車道	車道幅・車道	歩道幅	地幅幅	中央部	中央分種部	交通量	8,833 台	
			有効幅員	10.80m		0.60m	-	-	-	4.50 m	2	2.50 m	0.60m		-	昼間12時間
下部構造形式	橋台		備考												大型車入率	58.0 %
基礎形式	表柱基礎														調査新法	1
総合検査結果	例1：本橋は、竣工後7年経過しており、下部構造において、アルカリ骨材反応が疑われる開口状のひび割れが確認されたことから、アルカリ骨材反応に関する詳細調査を実施する必要がある。なお、ひび割れ幅は小さく、判定区分は「損傷が軽微で補修を行う必要がない」に相当する程度である。															
	例2：本橋は、竣工後10年経過しており、主要部材については「損傷が認められない」、「損傷が軽微で補修を行う必要がない」損傷が局部的に発生している程度であるが、伸縮装置や排水施設の損傷により漏水が生じ局部的な支束の腐食が見られ、「状況に応じて補修を行う必要がある」損傷と判定している。対策に際しては、支束、伸縮装置、排水施設の交換では同様の損傷が繰り返されることが懸念され、伸縮装置を損傷させた根本原因を突き止めた上での対策が必要である。															
	例3：本橋は、竣工後20年経過しており、「状況に応じて補修を行う必要がある」損傷が局部的に発生し、「損傷が認められない」、「損傷が軽微で補修を行う必要がない」程度の損傷が橋梁全体に発生している。また、山間部に架かる橋梁のための凍結防止剤の使用により塩害が懸念される。現在損傷は全体的に軽微であるが、鋼材及びコンクリート部材の劣化が促進する可能性があり、凍結防止剤の影響を詳細調査し、対策を検討することが望まれる。															
	例4：本橋は、竣工後40年経過しており、主筋5本のうち1本に発生している亀裂は「速やかに補修を行う必要がある」損傷であり、床版のひび割れは「状況に応じて補修を行う必要がある」損傷である。原因は、経年劣化により橋梁全体が劣化していることに加え、大型車交通量が非常に多い状況から、疲労と推定される。対策に際しては、構造の耐力向上を含めた根本的な補修を検討する必要があり、主筋と床版の同時対策が望まれる。															

圖 2.2 日本橋梁巡檢表單範例圖(日本交通省)

表 2-9 日本道路公園橋梁構件劣化綜合評等基準

劣化等級	橋梁狀況	後續處理
I	有明顯損傷，交通安全有障礙	緊急對策
II	損傷度較大，需進行補強	詳細調查
III	確定損傷	追蹤調查
IV	輕度損傷	損傷程度紀錄
OK	無損傷	-

資料來源：日本構造物診斷技術協會，1994^[9]

表 2-10 日本道路公園橋梁裂隙之評等準則

		高← 對耐荷重、及耐久性之影響 →低					
		大		中		小	
裂隙形狀 (X)		雙向裂紋		--		單向裂紋	
裂隙幅度 (Y)		拌有銹跡0.3mm以上		漏水、游離石灰 0.2mm~0.3mm		0.2mm以下	
裂隙間隔 (Z)		50cm未滿		--		50cm以上	
X	Y	Z	評等	X	Y	Z	評等
大	大	大	II	小	大	大	III
		小	II			小	III
	中	大	II		中	大	III
		小	III			小	IV
	小	大	III		小	大	IV
		小	IV			小	IV

資料來源：日本構造物診斷技術協會，1994^[9]

2.3.4 中國橋梁檢測

對於中國大陸在橋梁檢測評估方法，由劉效堯等人於橋梁損傷診斷書中提到，中國大陸之交通部頒發「公路橋涵養護規範」，其規範內容將橋梁切分成 17 項部位(詳如表 2-11)，各部位必須先各別評分($R_i=0\sim5$)，並根據各部位重要性給予權重(W_i)，所佔權重越高者，表示橋梁該部位重要性越高，再將 R_i 與 W_i 代入式(2.8)中，方可獲得全橋技術狀況評分($D_r=0\sim100$)，其表 2-12 為全橋技術狀況評分後各分數範圍之意義。

表 2-11 中國大陸公路橋梁各部位與權重

部件	部件名稱	權數(W_i)	部件	部件名稱	權數(W_i)
1	翼牆、背牆	1	10	橋頭與路堤連接處	3
2	錐坡、護坡	23	11	伸縮縫	1
3	橋台與基礎	24	12	人行道	1
4	橋墩與基礎	8	13	欄杆、護具	1
5	地基沖刷	3	14	燈具、標誌	1
6	支座	20	15	排水設施	3
7	上部主要承重構件	5	16	調治結構物	1
8	上部一般承重構件	1	17	其他	1
9	橋面鋪裝	3			

資料來源：劉效堯 等人，2002^[8]

$$Dr = 100 - \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n RiWi \dots\dots\dots(2.8)$$

Dr：全橋技術評分(0~100)，高分表示橋梁狀況越好。

Ri：橋梁各部位評分標準，對於標度的定量描述為橋梁技術狀況，分為四類五種。

Wi：橋梁各部位權重。

表 2-12 中國大陸公路橋梁技術評估標準

判定等級	狀況描述	狀況
一類橋梁	(好)	Dr>88
二類橋梁	(較好)	88 >Dr>60
二類橋梁	(差)	60 >Dr>40
二類橋梁	(危險)	Dr<40

資料來源：劉效堯 等人，2002^[8]

2.4 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集

因為臺灣屬於地震發生頻繁的地區而且河川坡陡流急，這兩項因素將造成橋梁嚴重損害，故以下除了整理出一般檢測的相關文獻外，在特殊檢測部份將會對於橋梁的耐震檢測及沖刷檢測相關文獻加以論述。另外文獻蒐集的內容將以檢測規範、檢測手冊、檢測相關研究報告以及檢測資訊系統等類別進行編排，整理結果如下表 2-13~表 2-14 所示。

表 2-13 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集

類別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
一般檢測	1.1067 公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範 2.國道高速公路局橋梁檢測作業要點 3.公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範 4.鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範	公路養護手冊	1. 機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用 2. 橋梁非破壞目視檢測法與自立陸橋實例 3. 應用無線技術於橋梁檢測管理之研究 4. 我國橋梁維護管理績效評估之探討 5. 建立橋梁檢測制度方法及準則之研究 6. 橋梁安全維護檢測手冊(草案) 7. 高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立 8. 橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例 9. 臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究 10. 橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究 11. 拱橋與π型橋目視檢測評估方法之研究 12. 橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例 13. 臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度 14. 應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測 15. 橋梁的健康診斷 16. 應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究 17. 橋梁檢測方法與應用	1. 公路防救災決策支援系統 2. 臺灣地區橋梁管理資訊系統 (TBMS)

資料來源：鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012^[5]

表 2-14 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集(續)

類別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
耐震檢測	1. 建築物耐震設計規範及解說	1. 建築物耐震設計規範及解說	1. 震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段 2. 公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究 3. 考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強 4. 災時高效率經濟行橋梁補強及檢核技術之研發	1. 橋梁地震損失評估系統 (TELES)
沖刷檢測	1. 跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範	1. 跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範	1. 公路橋梁檢測評估 2. 訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究	1. 跨河橋梁安全預警系統

資料來源: 鄭明淵等, 橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4), 交通部運輸研究所, 2012^[5]

2.4.1 一般檢測

依「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究」^[3]及訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究^[10]文中所述，交通部所管轄橋梁分別由高公局、公路總局及鐵路局進行管理，各局進行檢測時所依循的規範或手冊分別是：

1.交通部高速公路局

依照「國道高速公路局橋梁檢測作業要點」^[11]辦理橋梁檢測，種類計有經常檢測、定期檢測及臨時檢測三種。

(1)經常檢測

經常檢測又分為：日檢測、半年檢測。

日檢測：併工務段每日一般養護巡查辦理。由工務段養護巡查人員，以慢速行車目視為之。以橋面以上構件及引道為檢測重點。檢測項目計有：伸縮縫、引道路堤、引道護欄、摩擦層、護欄計 5 項。

半年檢測：每年 4 月（防汛期前），11 月（防汛期後）辦理。由橋梁檢測員以步行目視或以簡單之量測器具，逐座檢測轄區所有橋梁。以橋面以上構件、引道，及橋下之河道挖取砂石、墩基裸露、橋台為檢測重點。

(2)定期檢測

檢測頻率視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由工務段負責評估。每座橋梁每二年至少應檢測一次，惟橋梁跨徑超過一百五十公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、 π 型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。橋梁檢測間隔超過二年，應提出詳細計畫及資料，惟最長檢測間隔不得超過四年。並以接近橋梁構件，以目視或簡單量測器具為原則。針對橋梁所有構件全面檢測。

(3)臨時檢測

颱風、豪雨、地震等天災，或火災、車撞等人為事故後為之。天災或人為事故後，由橋梁檢測人員（必要時應增加人員協助）以目視或簡單之量測器具進行檢測。橋梁檢測員應於天災或人為事故後，能安全到達現場作業二天內完成檢測及製作檢測報告。

2.交通部公路總局

依據「公路總局養護手冊」^[1]，由檢測時效可分為平時巡查、定期檢測及特別檢測三種。

(1)平時巡查:

平時巡查共分：經常巡查、重點巡查以及特別巡查等。係平時實施之橋梁異狀、損傷檢測。檢測重點在於對用路人造成影響，需緊急維修之異狀、損傷。平時巡查原則上以二人一組，共乘一部巡查車，由車上以目力檢視橋梁構造物各種狀況，若發現有可疑之處，應下車檢查。經常巡查每週巡查至少一次；重點巡查每月至少一次；特別巡查為颱風、豪大雨或地震後辦理。

(2)定期檢測:

定時對橋梁所有構件實施全面檢測，及確認經常巡查記錄記錄之橋梁異狀、損傷。檢測重點在在掌握橋梁結構安全，早期發現構件之劣化程度並評估對橋梁功能損傷及其原因。定期檢測係利用徒步或攀登方式或特殊機械車輛儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查，以鑑定橋梁構造物之安全情形。

檢測頻率視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由維護單位負責評估。原則上每二年至少檢測一次，惟橋梁跨徑超過一百五十公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、 π 型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。完工五年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後之第五年進行第一次定期檢測，而後續之檢測頻率則至少每二個月至四個月一次，維護單位如計畫將某些特定橋梁之

檢測間隔延長至四年，則應提出詳細計畫及資料，送經管理單位「橋梁檢測維護小組」核准。

(3)特別檢測

由天災（如颱風、豪雨、地震造成之災害）或人為破壞因素（如火災或車輛撞損主梁等人為損壞）引起之災害，致可能損傷橋梁結構所做之不定期檢測。檢測重點在針對災後或事故後或其他目的，探討是否造成橋梁功能損傷及是否需維修、補強。必要時，各公路管理單位得視其需要自行訂定檢測頻率。

3.交通部鐵路管理局

依據「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」^[12]，其分類可分為平時檢查、定期檢查、定期複檢、安全檢測等。

(1)平時檢查

由轄區工務段或工務分駐所派員步行進行目視檢查，至少每月乙次，於颱風及豪雨期間則視需要機動加強巡查。

(2)定期檢查

每年 10 月~12 月間由轄區之工務段指定主辦工程 2-25 司、轄區監工、班長等組成檢查小組，以步行目視檢查。

(3)定期複檢

每年 1 月~2 月間由本局工務處橋隧課人員，並請工務段施工股、轄區道班等派員組成，對於工務段檢查結果評定結構功能有疑慮施予複檢，並按優先順序提列年度維修經費。

(4)安全檢測

於定期複檢結果，判定需要辦理進一步之詳細檢測者，委託技術顧問機構施以特殊儀器之檢測，並加以適當維修補強。

除了上述橋梁檢測規範外，必要時得就特定橋梁查照其他規範，

如鋼結構橋梁可依公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範「交通部，2008」及鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範「交通部，2010」等。

在現行的規範外，國內有許多學者專家對於檢測的方法、管理、規範準則及檢測系統進行討論與建議。檢測方法大致可分破壞性檢測及非破壞性檢測，而國內目前對於不破壞結構體的非破壞性檢測投入相當多的心力及研究。

非破壞性檢測(Nondestructive Testing, NDT)，即是以不會破壞結構體之方式來檢測結構物內部之劣化現象及程度的一種檢測方法，原理是藉由如聲、光、電、磁等媒介物進行間接量測，有別於一般直接檢測的方式。非破壞性檢測最簡單的方法是利用目視來檢測結構物是否有異常現象；若目視無法檢測的問題，則可利用非破壞性檢測儀器來協助進一步的檢測，其包括透地雷達法、超音波法、敲擊回音法、地電阻法、聲納檢測法及超震波法等。在橋梁檢測方法上進行研討的有：機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用^[13]、橋梁非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等，2001)^[14]、應用無線技術於橋梁檢測管理之研究(饒珉菘等，2002)^[15]、橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政，2005)^[16]、拱橋與 π 型橋目視檢測評估方法之研究(廖家禎，2007)^[17]、橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等，2008)^[18]、應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測(羅國峯等，2008)^[19]、應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源，2008)^[20]、橋梁的健康診斷(王仲宇，2009)^[21]、橋梁檢測方法與應用(中國土木水利工程學會，2010)等^[22]。

檢測除了方法之外，橋梁更需要有一定的橋梁檢測管理機制對於橋梁的健康狀況加以掌控，一方面能保障通過橋梁的用路人的安全及財產，另一方面能節省財政支出，所以國內學者亦有對於此部份提出相關的看法，如下：

(1)我國橋梁維護管理績效評估之探討(曾惠斌等，2002)^[23]一文中以技術面及政治面考量，闡明國內橋梁公共工程維護管理績效評估

之機制、建立國內橋梁公共工程維護管理績效評估指標以及國內橋梁公共工程維護管理績效評估方法之應用。

- (2)臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度^[6] 則是以台灣目前使用之 D.E.R.&U. 檢測系統，與美國 NBI 檢測系統作比較，反應兩種制度與系統之相異處、優缺點，可供相互交流與學習

在過去橋梁的一般檢測準則與規範上國內的專家及學者曾提出相關的研究如建立橋梁檢測制度方法及準則之研究（公路與道路橋梁）（李有豐等，2002）^[24]、橋梁安全維護檢測手冊（草案）（王仲宇等，2002）^[25]等，對於後續國內研究規範的擬定皆有所助益。

國內在於橋梁的管理上最常使用的即為臺灣橋梁管理系統（TBMS），但在使用上還是有所限制性現行，故專家學者們亦進行了相關的研討，如下：

- (1)高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立（張耀文，2004）^[26]，其評估方式是以現有之橋梁劣化評估系統 ABCD 及 DERU 評等法為主，分析橋梁管理系統應用於高屏溪斜張橋的適用性。
- (2)橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例（延允中，2004）^[27]，此文則是就現行公路總局採用之橋梁管理系統（TBMS）進行檢討提出改進意見，以對橋梁維護管理發揮加倍功效；又就需維修的橋梁提出較符實際的概算經費編列方式；另在現行三級品管架構下，設計橋梁查核機制，並透過問卷後 AHP 權重分析，制定量化評分表來評定維護績效。
- (3)臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究（楊振翰，2004）^[28]，此文對橋梁管理系統內資料庫之統計、分析，找出臺灣地區橋梁之現況與使用維護上之特性，並提出積極有效之管理對策，以進一步提升臺灣地區橋梁維護管理成效。
- (4)在臺灣橋梁管理系統（TBMS）的應用上，公路防救災決策支援系統建立之研究「鄭明淵等，2010」中，則應用 TBMS 所提供的橋梁基本資料對於公路及橋梁進行預警及通報，輔助公路及橋梁管理者進行決策判斷。

2.4.2 耐震檢測

在橋梁耐震的規範上大致與上述一般檢測規範相同，但學者專家們亦有對於其他的震後檢測評估及補強方式進行研究與建議，包括：

- 1.震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等，1999)^[29]文中主要目的即在建立橋梁震後勘災作業準則，其三大目標為：
 - (1)勘災組織、勘災人資格、權責與作業流程之建立
 - (2)震後橋梁快速安全評估方法及訓練手冊之建立
 - (3)震後橋梁緊急應對安全措施與補強方法與作業流程之建立
- 2.公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(國震中心，2009)^[30]，則對於臺灣橋梁耐震評估法之沿革作概略性介紹，並重點式的說明交通部現階段靜力側推分析耐震評估法的原理、分析程序及評估標準與 Federal Emergency Management Agency(FEMA)所頒布之耐震評估法的差異做比較。另外再以中興工程橋梁耐震評估實際案例，針對評估所得之構件塑性行為及結構破壞機制進行討論。
- 3.考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等，2010)^[31]，文中提出進行耐震能力評估時應適時考量基樁裸露的因素，SERC-BRIDGE 配合 SAP2000 軟體之非線性靜力側推分析模組，分別針對構架式橋墩有、無考慮基樁裸露二種情況，進行橋梁耐震能力評估及補強，本文將介紹具體作法，提供工程界參考。
- 4.災時高經濟及高效率型橋梁補強及檢核技術之研發「陳生金等，2005」考量震後之急迫性，建立災時檢測表單，並可快速填寫並找出對應等級。此外目前工程師往往無法於震災後迫切時間內，提出合適之補強方案決策，此研究以震後橋梁補強方案經濟效益評估模式，提出各構件單元最具經濟效益之補強方案，提升決策效率與經濟性。

震災相關的系統方面：

- 1.目前由國震中心開發的灣地震損失評估系統(簡稱 TELES)提供了更方便的使用者介面、可客製化的資料分類系統、更有效率的模擬技術外，也研發地震早期損失評估和風險評估功能。臺灣地震損失評估系統結合地理資訊系統(GIS)技術，提供震災境況模擬、震災早期評估以及震災風險評估等三大功能。
- 2.公路防救災決策支援系統(TRENDS)，係由交通部運輸研究所委託執行計畫。
 - 1.整合目前公路設施管理、防災系統於資料交換平台架構下，將各類型設施模組化。
 - 2.系統之優點，不同單位可互相分享資料，不致重覆建置的浪費，擴充功能模式有利於其他交通設施加入系統中
 - 3.公路設施防災能力可從單一設施的點範圍提昇至整體綜觀範圍。其特色為於防災領域中首次採用「災害預警資料交換機」所建置之災害資料交換平台，自動擷取及彙整各系統之災害資訊。輔以自動通報機制有效提升設施管理及災害應變之整體縱觀能力，決策者能即時掌握災害資訊，擬定最佳防救災之策略。

2.4.3 沖刷檢測

在橋梁沖刷檢測上目前還未有特定出標準規範，僅有專家學者對於相關的草案進行研討包括公路橋梁檢測評估(陳清泉，1996)[32]及訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究(王仲宇，2010)[10]。在公路橋梁檢測評估此書中有對於公路橋梁安全之河川沖刷影響評估進行草案擬定，包含了評定的標準、後續處理及評分的人員等皆有進行初步的討論。

目前交通部運研所港灣技術研究中心已完成「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」也是為了能對於沖刷檢測訂定出一套適合臺灣橋梁使用的沖刷檢測規範，包括檢測表單的擬定，檢測儀器適用性的研究以及檢測後封橋的標準皆有所研究及建議。

目前國內沖刷檢測的相關的系統，有整合上述「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」研究成果的「跨河橋梁安全預警系統」，該系統目前僅針對大甲河流域上的跨河橋梁在颱風來臨時進行安全預

警，系統未來將納入上述研究計畫研究成果的沖刷檢測表單，可提供現場人員可在災前、災中及災後填寫，並另設有簡訊通報及回傳表單機制，使橋梁管理者可以快速掌握跨河橋梁的即時現況。

2.5 鋼筋混凝土結構物之補強技術

鋼筋混凝土結構物受損後，常見之處理方式為結構元件之修復、結構元件之補強、結構系統加設消能隔減震裝置補強及結構系統改善補強等，本研究以橋梁結構為主，將過去文獻所介紹之補強技術彙集成表 2-15。

表 2-15 鋼筋混凝土結構物(橋梁結構為主)之補強技術

處理方式	補強技術內容
結構元件之修復	裂縫灌注環氧樹脂工法、敲除鬆動混凝土再以樹脂砂漿修復工法、局部構件敲除重作工法、陰極防蝕工法
	表面封閉修補法、壓力灌漿修補法、鋼板黏貼修補法、鋼板覆蓋工法、瀝青填補法、千斤頂修正橋面差、架設臨時支撐
	裂縫表面修補法、壓力灌漿修補法、表面黏貼修補法
	樹脂灌注裂縫修補、加設防落桿件或擋版、鋼板及鋼索束緊保護破裂之帽梁、千斤頂及型鋼臨時構架支撐、橋面鋪設臨時覆工蓋版以 AC 鋪平、級配土填補沉陷、架設鋼管及臨時護欄保護、重新灌注混凝土
	砂漿修補、混凝土修補、噴凝土工法、伸縮縫修復、支承墊更換
結構元件之補強	梁加設箍筋補強、梁帶狀鋼板補強、梁中央底部鋼板補強、梁兩端頂部鋼板補強、梁兩側鋼板補強、梁中央底部纖維複合材料補強、梁兩端頂部纖維複合材料補強、梁擴大斷面補強、柱加設箍筋補強、柱帶狀鋼板補強、柱圍封鋼板補強、柱圍封複合材料補強、柱擴大斷面主筋貫穿直通補強、底版鋼筋補強、版頂端部鋼筋補強、版加候補強、版加設鋼小梁工法、牆加厚補強
	橋面層加鋪加固、增加梁截面和配筋加固、後拉預應力加固、支座補強加固、防止落橋對策、擴大基礎加固、增補樁基加固、地盤改良、RC 包覆、鋼板包覆、FRP 包覆、支撐法加固、增建輔助擋土強加固、基礎置入加勁材工法、打設臨時擋土結構物工法、加勁式擋土牆補強、支承擴座、增設臨時護欄
	橋柱鋼板補強、橋柱 FRP 補強、橋柱 RC 補強、基礎版擴座補強、補樁補強、鋼板樁補強、托底工法、連續壁工法、換底工法、排樁工法、支承更換、擴大支承座、增設防落裝置、橋面加鋪加固法、增大梁截面和配筋加固法

處理方式	補強技術內容
	基礎地盤改良、基礎地錨加固、增設基樁、擴建基腳、RC 包覆補強、增設補強鋼材、鋼板包覆補強、CFRP 包覆補強、更換支承、重新灌注混凝土、噴凝土包覆
	鋼板補強工法、FRP 補強工法
結構系統加設消能、隔減震裝置	斜撐加設三角形鋼板消能器、斜撐加設黏彈性阻尼器、基礎加設鉛心橡膠支承墊、基礎加設橡膠支承墊並配合其他消能器補強
結構系統改善補強	加設剪力牆、加設斜撐補強、加設翼牆補強、加設外側構架補強、加設中央柱補強、加設附屬鋼構架補強
	增設贅梁法、增設立柱或橋墩、換梁法
	結構連續化工法、上部結構支撐改良工法、纜索輔助支撐工法、隔震支承工法、改橋為箱涵加固工法、支承系統改良

資料來源：鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012^[5]

2.6 橋梁維修補強工法

目前本團隊將橋梁適用維修補強工法整理如表 2-16~表 2-17 所示。將橋梁破壞後對應所使用之維修工法，並估算破壞所需花費之成本整理如表 2-18。

表 2-16 震後橋梁補強技術適用表(DER&U 目視檢查表)

主要構建(安全性)	次要構建(服務性)
3.河道	1.引道路堤
5.橋台基礎或沉箱	2.引道護欄
6.橋台	4.引道路堤保護措施
12.橋墩保護措施	7.翼牆/擋土牆
13.橋墩基礎	8.摩擦層
14.橋墩敦體	9.橋面板排水設施
15.支承墊	10.緣石及人行道
16.止震塊/防震拉桿	11.欄杆及護欄
18.主構件(大樑)	17.伸縮縫
19.副構件(橫膈樑)	
20.橋面板、鉸接版	

表 2-17 震後橋梁補強技術適用表

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、6、13、14、15、16、18、20	適合小斷面之修復	D1 裂縫、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	a. 表面修補工法	水泥砂漿、環氧砂漿、瀝青、甲基丙稀酸脂類、防銹材	極容易	快，視現場施工環境而定	低	5~10 年	無明確需求，以恢復構件單元外觀及維持原構件單元強度
3、6、13、14、15、16、17、18、20	適合裂縫之修復抑制裂縫擴大	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	b. 壓力灌漿工法	水泥灌漿材、環氧樹脂灌漿材、甲基丙稀酸脂類	容易	3.5~4.5m/工作天	低	5~10 年	無明確需求，以恢復構件單元外觀及維持原構件單元強度
3、6、13、14、18、20	將構件部分或全部拆除而重新澆注混凝土或針對混凝土構件局部剝落而修復	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎	c. 重新澆注工法	水泥砂漿、混凝土	容易	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	維持原構件單元強度及耐久性
3、18、20	大梁位移有落橋之虞、橋墩墩體支承處破損產生高低差	D6 折斷、D8 位移、D9 沉陷隆起	d. 止震塊/防震拉桿設置工法	混凝土、環氧樹脂黏著劑；鋼製托架；預力構材；防落裝置	可	2 工作天/塊	中	5~10 年	防落裝置無明確需求規定；防落長度規定 $N=50+0.25L+H$
3、6、18、20、14、	修補裂縫、增加結構物強度與剛度	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	e. 鋼板表面黏貼修補工法	環氧樹脂黏著劑、鋼板材料	可	快，視現場施工環境而定	低	5~10 年	維持原構件單元強度

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、6、13、14、15、16、18、20	單元結構損傷變形，承載力降低之虞	D1 裂縫、D2 破裂變形、D4 壓碎、D6 折斷、D8 位移、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	f. 千斤頂及臨時支撐工法	千斤頂、型鋼構材	可	5 工作天/座	中	5 年以下	恢復構件單元原位及提升橋梁單元結構穩定性
1、2、3、4、17、20	橋面版發生高低差、伸縮縫開口	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	g. 鋪設臨時覆蓋版工法	鋼面版	容易	快，視現場施工環境而定	低	5 年以下	無明確需求，旨在提升行車穩定性
20	加高梁版的有效高度	D1 裂縫、D2 破裂、變形	h. 橋面加鋪加固工法	混凝土或鋼筋混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	低	5~10 年	增加梁版的抗彎能力、改善荷重橫向分佈
3、14、18	以承受暫時性載重為主	D1 裂縫 D2 破裂 D11 混凝土剝落 D12 鋼筋外露	i. 鋼板補強工法	環氧樹脂黏著劑或螺栓、鋼板材料（鋼皮夾克）	可	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
3、6、13、14、18、20	材料具高強度、高抗腐性、重量輕、剪裁容易、造價高，應用範圍廣	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	j. 纖維強化高分子複合材料工法	纖維材料（碳纖維、玻璃纖維）、環氧樹脂	不易	60m/工作天	高	25~50 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
3、14、18	當梁構件強度、剛度、穩定性及抗裂能力不足時	D1 裂縫、D2 破裂、變形	k. 增大梁截面工法	混凝土或鋼筋混凝土、環氧樹脂黏著劑	容易	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪及抗彎能力

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
14	主要用於增加橋柱之強度及主筋截斷部位補強	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	l.鋼筋混凝土包覆工法	鋼筋、混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
13	欲穩固基礎及增加基礎版垂直及側向承載力	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	m.擴大基礎版工法	鋼筋、混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	中	25~50 年	增強垂直及側向承載力
13	欲穩固基礎及增加地工承載力	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D5 折斷、D6 折斷、D8 位移	n.增樁補強工法	鋼殼樁材、預鑄樁材、型鋼材、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增強垂直及側向承載力
13	欲提升基礎剛性，施工空間受限、施工時間成本高	D1 裂縫、D2 破裂、D4 壓碎、變形、D5 折斷、D6 折斷、D8 位移、D9 沉陷隆起、D11 混凝土剝落 D12 鋼筋外露	o.增設連續壁工法	穩定藥液、鋼筋、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	提升基礎剛性

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
6	欲抑制擋土牆身折斷位移或沉陷	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起、D6 折斷 D7 傾倒、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	p.加勁擋土牆工法	碎石材、加勁材、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增加牆身抗彎抗剪能力；穩定背填土、防止側向位移
6	欲抑制擋土牆身折斷位移或沉陷	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	q.地錨補強工法	預力鋼材、水泥砂漿	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增加牆身抗彎抗剪能力；穩定背填土、防止側向位移
17	伸縮縫有錯位或變形時應予以更換	D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	r.置換伸縮縫工法	伸縮縫裝置	可	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	主要目的在恢復伸縮縫原有功能
15	支承墊有裂紋或變形時應予以更換	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D8 位移、D10 脫落	s.置換/修補支承墊工法	無收縮水泥砂漿、支承墊裝置	可	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	主要目的在恢復支承墊原有功能
13	以固結灌漿、將低承載地盤地下水位或置入加勁材來增加土層承載力	D9 沉陷隆起、D8 位移、D6 折斷	t.地盤改良工法	灌漿/止水藥液、水泥砂漿、砂料、生石灰	不易	慢，視現場施工環境而定	中	25~50 年	穩定軟落土層、增加土壤承載力

表 2-18 震後橋梁修復經費參考表

工法	破壞模式	構件單元	單位	單價 (元)
a.表面封閉修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面版/防落裝置/支承	處	710
		橋墩柱	m ²	1,000
		基礎版/地工	m ²	1,000
		橋台	m ²	1,000
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
b.壓力灌漿修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面版/防落裝置/支承	處	830
		橋墩柱	m ²	1,300
		基礎版/地工	m ²	1,300
		橋台	m ²	1,500
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
c.重新澆注工法	混凝土破損修補	大梁/橫隔梁/帽梁	處/m ³	830/5,6650
		橋面版	m ³	3,000
		橋墩柱	m ³	3,000
		基礎版/地工	m ³	1,000
		橋台	m ³	3,000
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
d.防落裝置設置	止震塊/防震拉桿	大梁/橋面版/橫隔梁	塊/組	7,800
e.鋼板表面黏貼修補工法	鋼板貼附修補	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/橋台	m ²	8,100
f.千斤頂及臨時支撐工法	千斤頂架設	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/基礎版/地工/支承/防落裝置/橋台	處	200,000
	型鋼構架及製作安裝		噸	32,500
g.鋪設臨時覆蓋版工法	鋪設臨時覆工版	橋面版/摩擦層/伸縮縫/引道	噸	33,500
h.橋面加鋪加固	混凝土鋪設修補	橋面版	處/m ³	830/56,650
	摩擦層修補	摩擦層	m ²	6,000

工法	破壞模式	構件單元	單位	單價 (元)
i.鋼板補強工法	鋼板補強	大梁/橫隔梁/橋墩柱/帽梁	m ²	8,500
j.FRP補強工法	強化碳纖維貼附補強	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/基礎版/地工/橋台	m ²	3,950 (單層單向)
			m ²	6,250 (雙層雙向)
k.增大梁截面工法	梁斷面施作	大梁/橫隔梁/帽梁	m ³	6,400
l.RC包覆工法	工法	構件單元	單位	單價 (元)
	RC包覆施作	橋墩柱	m ³	6,925
m.擴大基礎版工法	基礎版施作	基礎版	m ³	35,000
n.增(補)樁補強工法	全套管基樁施作	地工	m	25,000
o.增設連續壁工法	連續壁60cm施工/棄土	基礎版/地工	m ²	2,000
	連續壁60cm劣質打除		m	1,000
	連續壁沈澱池及棄土坑		m	200,000
	連續壁鋪面		m ²	80
p.加勁擋土牆工法	加勁擋土牆施工	橋台	m ²	5,000~6,000 0
q.預力地錨工法	預力地錨施工	橋台	m	3,600
r.置換伸縮縫工法	更換伸縮縫(橡膠單元)	伸縮縫	m	200
s.置換支承修補工法	更換支承(橡膠)	支承	組	36,500
t.地盤改良工法	地盤改良施作	基礎版/地工	m ²	100,000 (資料來源: 「建築資訊服務系統」 http)

資料來源:翁明全, 2005^[33]

2.7 演化式支持向量機推論模式

傳統上營建管理決策的缺點主要分為(1)依賴人員專業知識(2)主觀認定上的誤差(3)試誤法。在依賴人員專業知識方面：由於營建管理領域的問題具有複雜、不確定與隨環境變動的特性，因此，在解決相關問題時多依賴該領域專家經驗與知識進行決策。然而這些屬於專家的經驗與知識會隨著專家記憶淡忘與離職或退休而失去，因此如何傳遞有用的專業知識非常困難(Ko, C. H.,1999)^[34]。在主觀認定上的誤差方面：解決營建管理問題多是依賴專家決策，然而專家主要依賴直覺與主觀上的判斷，將影響決策的有效性(Fukahori, K.等,2000)^[35]。在試誤法方面：營建管理者以試誤方法學習決策過程中的經驗，但是在營建工程領域，太多模擬兩可的變數以及決策錯誤的花費太大。也因為在決策資訊收集的困難和決策必須快速下達的原因造成決策上的困難。

為了改善上述傳統營建管理決策之缺點，相關文獻中以人工智慧模擬人類決策行為來解決營建管理問題的方法陸續被提出。(吳育偉等, 2007)^[36]提出一最佳化決策模式「演化式支持向量機推論模式」(Evolutionary Support Vector Machine Inference Model, ESIM)，此模式透過過去案例與經驗學習，歸納出專家決策過程與分析邏輯，輔助決策者進行決策，以提昇營建管理決策的有效性。支持向量機 (Support Vector Machine, SVM) 為結合統計學 VC 維度理論 (Vapnik – Chervonenks Dimension) 與結構風險最小化原理 (Structure Risk Minimization Theory) 所發展之一種機械學習演算法，SVM 在 Vapnik 等人提出後發展迅速，目前已成功的應用在決策輔助及預測中。然而此模式必須先決定其參數的數值，才能使模式的結果最佳化。但目前很少研究針對如何將 SVM 的參數最佳化的議題進行研究。故此研究目的在於提出一新的模式-演化式支持向量機推論模式(ESIM)，此模式融合 SVM 與快速混雜基因演算法 (Fast Messy GA)，模式中 SVM 用於歸納輸入變數與輸出變數間複雜的關係；而快速混雜基因演算法搜尋 SVM 所需的最佳參數 (C 與 γ)，藉此提高 SVM 的預測準確度。以下將就 ESIM 與相關理論作進一步介紹。

2.7.1 支持向量機簡介

資料的分類 (Classification) 與迴歸 (Regression) 是電腦科學的重要課題之一，其應用越來越普遍。傳統的分類方法有類神經模式 (Neural Networks)，決策樹 (Decision Trees)，最近相鄰法 (Nearest neighbor methods) 等。支持向量機為另一新方法，它已被驗證在許多應用上有相當好之結果。

支持向量機 (SVM) 是由 Vapnik 與其領導的貝爾實驗室研究小組所發展出的一種機器學習技術，由於其出色的學習性能，該技術已經成為當前國際機器學習研究熱門焦點，以下分別介紹支持向量機在分類與迴歸之運用。

2.7.1.1 支持向量機分類

支持向量機分類 (Support Vector Classification, SVC) 是建立在機器學習理論的結構風險最小化 (Structural Risk Minimization SRM) 原則之上，其主要思想是針對低維度分類問題，在高維度空間中尋找一個超平面 (Hyper-plane) 作為二類的分割，以保證最小的分類錯誤率。且支持向量機一個重要的優點就是能處理線性不可分的情況。SVC 可利用目前現有的資料作訓練，再利用這些分析出的資料 (Training Data) 選出幾個支持向量 (Support Vector) 來代表整體的資料，並將少部份極端值事先剔除，然後將所挑選的支持向量包裝成模型 (Model)。假設若有測試的資料 (Testing Data) 作推論預測時，SVC 就會將資料歸類，找出對應之分類。

如圖 2.3 所示，一群資料 (Data set, R)，若在低維度中 (Data Space, F)，需以非線性函數做為分類依據，然而此非線性函數無法輕易求得。因此藉由一核心函數 (Kernel Function) 將資料映射至高維度空間 (Feature Space, H)，此過程將可使得資料點分散並符合線性函數可分類的特性。

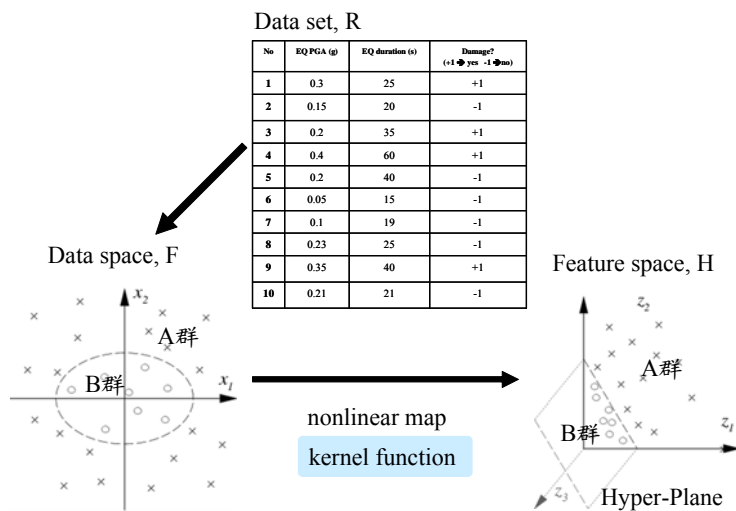


圖 2.3 支持向量機資料分類示意圖

因此在高維度空間中，如圖 2.4 所示，即可找出一超平面可將這群資料切成兩群(ie:群組 A、群組 B)，而屬於群組 A 的資料均位於超平面的一側，而群組 B 的資料均位於超平面的另一側。此平面稱為最優分離超平面 (Optimal Separating Hyperplane)，此超平面能儘可能將不同類型的樣本點正確分開，同時使分開的樣本點距離該最優分離面的垂直距離最大，即不同類型樣本點有最大的分離間隔 (Maximum Margin)。

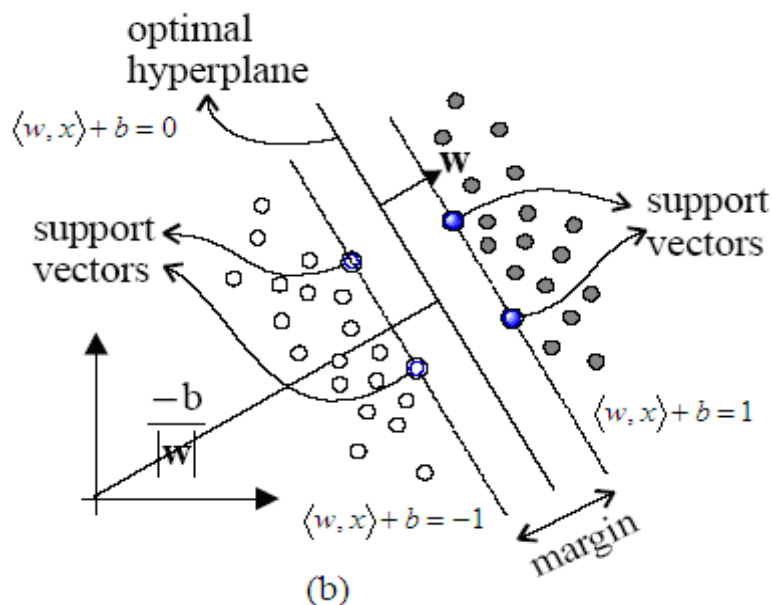


圖 2.4 最大分離間隔與最優分離超平面 (Yonas B. Dibikey1.等，2000)

為求解此原始最佳化問題 (Primal Optimization Problem)，假設此問題為包含 m 個訓練樣本點，每個樣本點具有 n 個維度之向量集合 Ω ，則：

$$\Omega = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\} \in X^m \times Y^m, x_i \in X = R^n, y_i \in Y = \{1, -1\}, i = 1, \dots, m \quad (2.4)$$

假設這個向量集合 Ω 可以被超平面 分開，且不同類型樣本點有最大的分離間隔，則稱此超平面為最優分離超平面，而距離超平面最近的樣本點稱為支援向量 (Support Vectors)，對任一樣本點 皆滿足：

$$\langle w, x \rangle + b \geq 1 \quad \text{if } y_i = 1 \dots\dots\dots (2.5)$$

及

$$\langle w, x \rangle + b \leq -1 \quad \text{if } y_i = -1 \dots\dots\dots (2.6)$$

式(2.5) (2.6)可合併如式(2.7)所示。

$$y_i \langle w, x \rangle + b \geq 1 \quad i = 1, \dots, m \dots\dots\dots (2.7)$$

假設樣本點 x^+, x^- 是分別位於 $y_i=1$ 及 $y_i=-1$ 邊界平面 與 上的支援向量 (Support Vectors) 則間隔距離 L_m 可由式(2.6)求得：

$$L_m = \left| \left\langle (x^+ - x^-), \frac{W}{\|W\|} \right\rangle \right| = \left| \left\langle x^+, \frac{W}{\|W\|} \right\rangle - \left\langle x^-, \frac{W}{\|W\|} \right\rangle \right| = \left| \frac{1-b}{\|W\|} - \frac{-1-b}{\|W\|} \right| = \frac{2}{\|W\|} \dots\dots\dots (2.8)$$

若考慮最大間隔 (Maximum Margin) 則 可以下列式子 表示，因此最優分離超平面及最大間隔求解問題可轉化為以下之約束條件二次規劃求解問題(Constrained Quadratic Programming)。

$$\min_{w,b} f(w,b) = \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad \text{Subject to } y_i (w^T x_i + b) \geq 1 \quad i = 1, \dots, m \dots\dots\dots (2.9)$$

因為式(2.9)之目標函數為一個二次凸函數，限制式為凸集合，因此形成的凸優化問題 (Convex Optimization Problem)，能夠確保找到的極值是全域最佳解 (Global Solution) (鄧乃楊等，2004)。

由於原始最優分離超平面及最大間隔求解問題是一個帶有限制式的二次凸優化求解問題，因此引入 Lagrangian 函數求解時具有鞍點 (Saddle Point)，鞍點同時為不同方向之極大及極小值，因此可使用 KKT 條件 (KKT Condition) 轉化原始二次凸優化問題為對偶問題並求解。

Lagrangian 函數(L, w, b, α):

$$L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + \sum_{i=1}^m \alpha_i [1 - y_i (\langle w, x_i \rangle + b)] \quad , \quad \alpha_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

由 1st KKT 條件 (1st KKT Condition) 式(2.10)分別對 w 及 b 偏微分梯度為零可得：

$$\frac{\partial L}{\partial w} = w - \sum_i \alpha_i y_i x_i = 0 \quad \Rightarrow \quad w = \sum_i \alpha_i y_i x_i \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = \sum_i \alpha_i y_i = 0 \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

將式(2.11)及(2.12)代入式(2.10)可得到對偶函數 W(α)如式(2.13)所示。

$$\begin{aligned} W(\alpha) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle + \sum_{i=1}^m \alpha_i - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle \\ &= \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

考慮鞍點條件，鞍點極值分別為原始優化問題之最小值及為對偶問題之最大值，因此原始二次凸優化問題可轉換為下列為最大化之對偶問題如式(2.14)所示：

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle \quad \alpha_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (2.14)$$

上述對偶問題若我們能找到該樣本點即為支援向量 (Support Vectors) 如圖 2.5 所示，由及式(2.15)之 2nd KKT 條件 (2nd KKT Condition) 可以解得樣本點偏心值及支援向量機線性可分問題之決策函數如式(2.16)所示，式中為分類問題中待預測之新點資料。

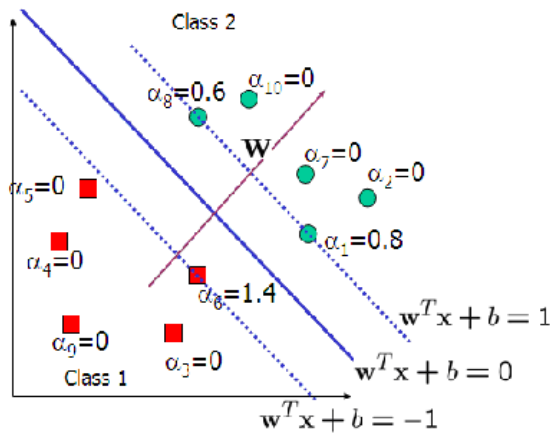


圖 2.5 支援向量 (SV) 示意圖

$$\alpha_n^* [1 - y_n (\langle w^*, x_n \rangle + b^*)] = 0 \quad , i=1, \dots, m \dots\dots\dots (2.15)$$

$$f(x) = \text{sgn}(\langle w^*, x_{new} \rangle + b^*) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^m \alpha_i^* y_i \langle x_i, x_{new} \rangle + b^*\right) \quad i=1, \dots, m \dots (2.16)$$

對於線性可分問題，由前述方法可找到最優分離超平面可將不同類別樣本點完全分開，但對於線性不可分問題，如資料來源:Yonas B. Dibike1 等，2000。圖 2.6 所示則無法找到一個超平面可將不同類別樣本點完全分開。

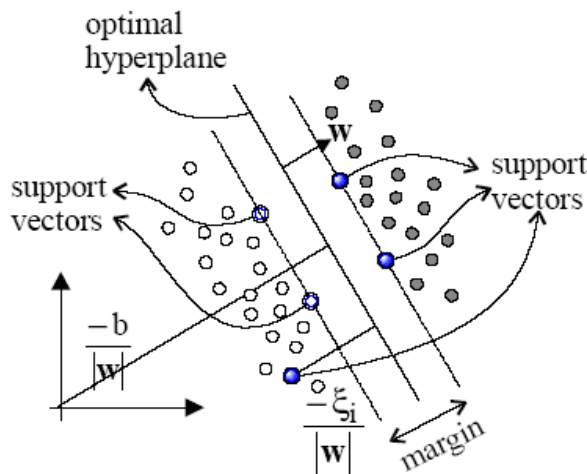


圖 2.6 線性不可分與鬆弛變量示意圖

資料來源:Yonas B. Dibike1 等，2000

因此若想繼續使用超平面進行分類，則必需導入軟化間隔 (Soft Margin) 與鬆弛變量 (Slack) ξ_i ，亦可稱容錯值的概念(鄧乃揚等, 2004)，即前述二次凸優化問題的限制式將修正如式(2.17)所示。

$$y_i(\langle x_i, w \rangle + b) \geq 1 - \xi_i \quad \xi_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \dots\dots\dots (2.17)$$

當鬆弛變量 ξ_i 充分大時原本無法以超平面劃分的樣本點 將滿足式(2.17)的限制而被正確分類，但 ξ_i 如被任意放大則支撐向量分類機最大間隔原則將變得毫無意義，因此原始最佳化問題的目標函數將導入平均鬆弛變量項 $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i$ 使得二次凸優化問題同時考慮最大間隔與訓練誤差最小化。綜合目標函數與限制式的改變，對於線性不可分，原始二次凸優化問題將修正如式(2.18)所示。

$$\min_{w, b, \xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{C}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i \quad y_i(\langle x_i, w \rangle + b) \geq 1 - \xi_i \quad \xi_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \dots (2.18)$$

上式中 C 是一個權衡常數 (Tradeoff Constant) 用來平衡目標函數前後項之間隔最大化與訓練誤差最小化間的衝突。其中低維度空間映射至高維度空間之核函數 (kernel function)，採用徑向基核函數 (Radial Basis Function, RBF) 如式(2.19)所示：

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma |x_i - x_j|^2) \dots\dots\dots (2.19)$$

綜合以上，可得知支持向量機分類之模式架構取決於核函數 (Kernels) 與權衡常數 (Tradeoff Constant) 之設定。

2.7.1.2 支持向量機迴歸

支持向量機迴歸 (Support Vector Regression, SVR) 上之概念與 SVC 相近。將原本在低維度迴歸問題映射至高維度特徵向量空間中，並找出支持向量，在此向量空間中可得一線性迴歸方程式 如下資料來源:陳昭宏，1997。

圖 2.7 所示。此線性方程式有一容許帶寬，支持向量與此帶寬之距離為 如式(2.20)。

$$|\zeta|_\varepsilon = \begin{cases} 0 & \text{if } |\zeta| \leq \varepsilon \\ |\zeta| - \varepsilon & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (2.20)$$

為找到模式最佳解，並使得 w 與 b 有小值，如下式所示(2.21)

$$\begin{aligned} \min \min_{w,b,\zeta,\zeta^*} & \|w\|^2 / 2 + C \sum_i (\zeta_i + \zeta_i^*) \\ \text{Subject to} & \quad y_i - (w \cdot \Phi(x_i) + b) \leq \varepsilon - \zeta_i \\ & \quad (w \cdot \Phi(x_i) + b) - y_i \leq \varepsilon - \zeta_i^* \\ & \quad \zeta_i, \zeta_i^* \geq 0 \quad \forall i \dots\dots\dots (2.21) \end{aligned}$$

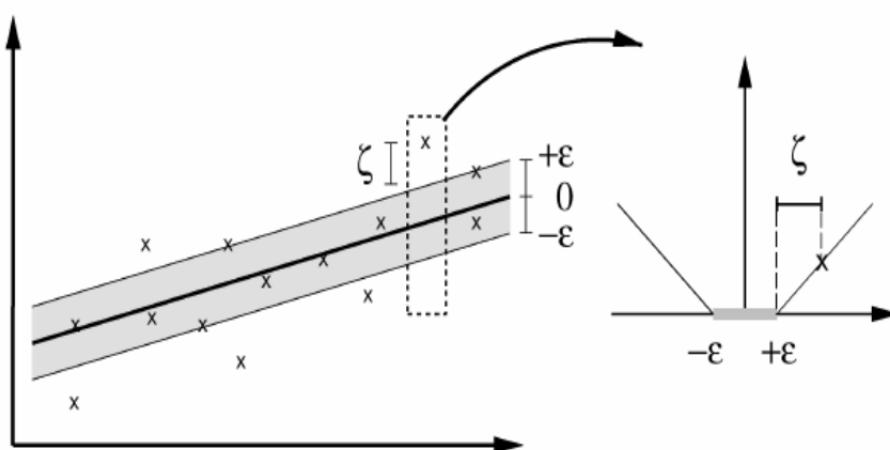


圖 2.7 可容錯線性 SVR 模式

資料來源:陳昭宏，1997

為了解式(2.21)，可將計算式轉為拉格朗茲乘式法 (Lagrangian) 並求解，如下式(2.22)

$$L = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\zeta_i + \zeta_i^*) - \sum_{i=1}^l \alpha_i (\varepsilon + \zeta_i - y_i + w \cdot \Phi(x_i) + b) - \sum_{i=1}^l \alpha_i^* (\varepsilon + \zeta_i^* + y_i - w \cdot \Phi(x_i) - b) - \sum_{i=1}^l (\eta_i \zeta_i + \eta_i^* \zeta_i^*) \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

根據 (D.E. Goldberg, 1993), 於式(2.22)中求解 L 之極值為鞍點 (saddle point of the Lagrangian), 等於解 KKT condition (Karush-Kuhn-Tucker, KKT)。可將原問題轉為對偶問題 (Dual problem), 如下式(2.23)所示, 求解得 w^*, b^*, α^* 。並得到決策方程式 (decision function), 如下式(2.24)所示。

$$\max_{\alpha, \beta} \left[-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\alpha_i - \beta_i)(\alpha_j - \beta_j) k(x_i, x_j) + \sum_{i=1}^m y_i (\alpha_i - \beta_i) \right]$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^m (\alpha_i - \beta_i) = 0$$

$$0 \leq \alpha_i, \beta_i \leq \frac{C}{m} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

$$f(x_{new}) = \left[\sum_{i=1}^m (\alpha_i^* - \beta_i^*) k(x_{new}, x_i) \right] + b^* \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

與 SVC 相同, (2.23)式中的 C 值與(2.26)式中 kernel 的 γ 值分別為資料容錯值與資料映射至高維度空間中離散程度所設定之參數, 其值可決定模式的結構, 並影響預測的準確性。

2.7.2 演化式支持向量機推論模式 (Evolutionary Support Vector Machine Inference Model-ESIM)

(吳育偉等, 2007)[36]為了提高支持向量機的預測準確度, 針對模式中參數進行選擇。這些參數包括容錯值參數 C 及核心函數中 γ 值。所提出之 ESIM 結合快速混雜基因演算法與支持向量機模式, 提高模式的預測準確度。其架構如下圖 2.8 所示。

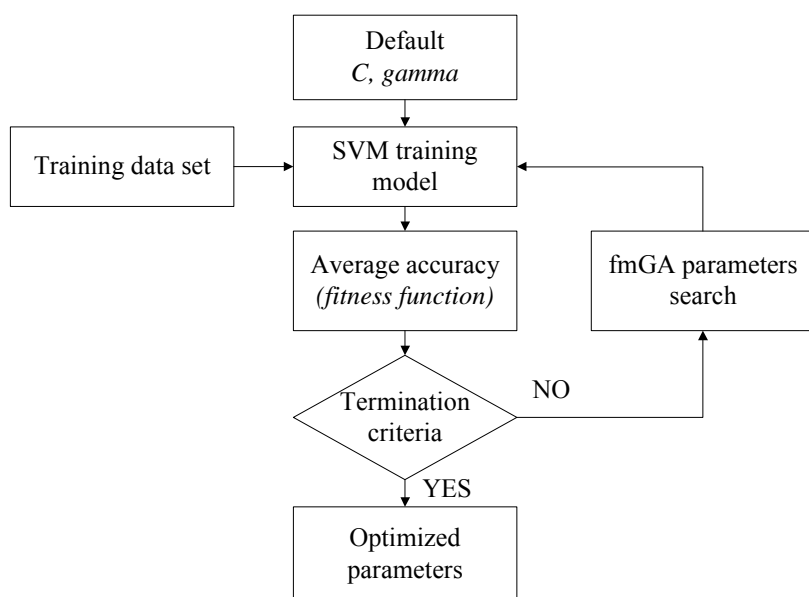


圖 2.8 支持向量機最佳化模式架構

此模式中，將藉由過去案例作為輸入訓練之用，使用初始 C 與 γ 參數值，運用 SVM 進行輸出之預測並與實際輸出進行比較，fmGA 則經由實際輸出與推估輸出之誤差與模式中支持向量數目作為目標函數，進行參數之最佳化。其步驟說明如下：

Default C, γ : C 與 γ 值可能依案例與問題特性而有不同設定，根據 Thorsten Joachims 建議其預設值 C 與 γ 可分別設定為 1 及 $1/M$ ，其中 M 為變數個數。

Training data set: 首先在預測模式之前，必須先尋找影響因素，並且建立影響因子集合 (influence patterns Training data set) 作為預測的輸入變數。

SVM training model: 在此步驟中，使用者預先收集營建管理課題之歷史案例，並以案例影響因子作為輸入因子，案例決策作為輸出。將此輸入與輸出數值做為訓練案例，輸入 SVM 中進行模式的初始訓練，SVM 將以預設之 C 與 γ 值作為模式中第一次訓練設定值。

Average accuracy: 此步驟將根據目標函數之倒數作為適應函式，

其值越大表示此模式架構越佳。

Termination criteria：此流程將持續運作，直到符合某些條件，如達到符合的適存度或數世代演算中適存度無明顯增加(表示已達收斂)。

fmGA parameters search：此步驟中，快速混雜基因演算法將尋找下一世代中較適合之參數值。

Optimized parameters：根據上述最佳化演算，可留下最佳之基因組合。將基因解碼為支持向量機模式之 C 與 γ 值，即可求得最佳之推論模式。

2.7.3 ESIM 特性與限制

為避免單一理論所造成之缺陷，ESIM 以支持向量機、快速混雜基因演算法(fmGA)結合，粹取彼此的優勢、特性，但隨著各理論的採用，原有方法之限制同時亦隨之產生，說明如下：

2.7.3.1 ESIM 特性

ESIM 承襲了支持向量機、快速混雜基因演算法(fmGA)之特性，經彙整後包括以下八點：

- 1.具有解決過程不確定、不清楚、或部份未知問題之能力
- 2.具有對環境自我調適、學習之能力
- 3.具有解決高維度或高度複雜問題之能力
- 4.具有容錯能力(Fault Tolerance)
- 5.具找出輸入變數向量與輸出變數向量間複雜之映射關係
- 6.具有高度近似推論之能力
- 7.具有知識、與經驗累積之特性
- 8.具有訓練速度快之優點。

2.7.3.2 ESIM 限制

此模式須收集訓練資料，藉由混雜基因演算來粹取推論引擎。ESIM 並無資料預處理之功能，因此無法事先驗證訓練資料之正確性。因此，ESIM 有下列之各項限制：

1. 需要事先收集訓練資料集
2. 訓練資料正確且分布均勻

2.7.4 ESIM 應用

圖 2.9 ESIM 應用程序為本研究之 ESIM 應用程序，以下針對 ESIM 推論系統建構程序作進一步說明。

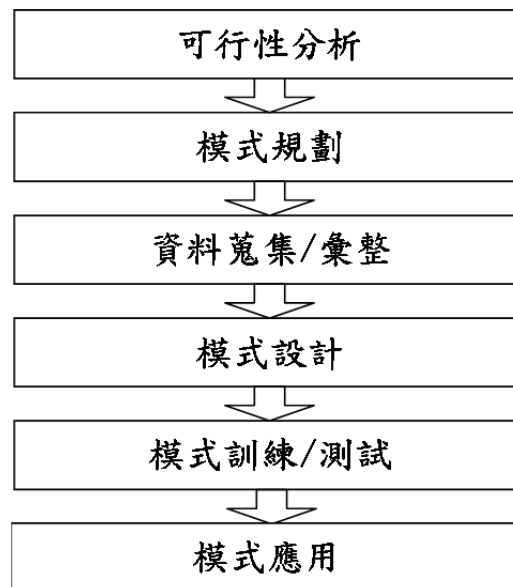


圖 2.9 ESIM 應用程序

步驟一、可行性分析

根據 ESIM 之特性與限制，針對問題領域特性評估是否適合以 ESIM 處理。

步驟二、模式規劃

此步驟將根據文獻回顧或經由專家確認輸入與輸出之變數。輸入變數必須能夠充分反應出問題特性，輸出變數根據實際需求訂定。

步驟三、資料蒐集/彙整

1. 資料蒐集：針對待解決問題之特性進行案例蒐集。為使建構之模式有說服力，歷史案例必須反應出實際情況，亦即案例須具代表性。
2. 資料彙整：將蒐集而得之案例進行預處理。針對 ESIM 對輸入變數與輸出變數處理，使資料符合模式訓練、測試需求。

步驟四、模式設計

模式設計包含兩個部分：模式變數定義、模式參數規劃，分述如下。

1. 模式變數定義：針對模式，定義其輸入、輸出變數之個數、型式。
2. 模式參數設計：ESIM 經實際應用、分析後，參數已作最佳設計，因此，在實際使用時，以內定參數設定即可。當問題情況特殊時，才須要進一步作細部參數設計。

步驟五、模式訓練/測試

1. 模式訓練：以訓練案例作為學習「推論規則」之案例資料，利用 ESIM 搜尋較佳之推論模式。
2. 模式測試：根據訓練後建立之推論模式進行準確度測試。模式驗證是以測試案例，比較輸出結果與實際值之差異。本研究利用均方根誤差 RMS (Root Mean Square Error) 作為評估基準如式(2.26)，當誤差達到訂定標準時，模式即符合要求。

$$RMS = \left(\frac{\sum_{i=1}^M e_i^2}{M} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.26)$$

RMS ：均方根誤差

M ：測試案例數

e_i ：實際值與預測值之差

步驟六、模式應用

根據步驟五的評估，推論模式確實具備解決問題之能力後，即可對此問題領域進行實際運用。

2.8 生物共生演算法 (Symbiotic Organism Search, SOS)

本研究採用了新的功能強大的演算法為生物共生演算法 (SOS)，SOS 為鄭明淵學者和 Doddy Prayogo 學者所發展的一種新的最佳化演算法；SOS 通過模擬生物生存在生態系統中與其他生物共生的策略，用以模擬數值優化及解決工程上設計的問題。

工程設計最佳化是個極具挑戰的研究領域，近年來吸引越來越多學者投入這項領域研究，開發了許多最佳化程式試著優化工程上設計的問題，SOS 演算法模擬生物體在自然界中出現的互動行為。這是兩生物體之間生活在一起的交互作用，甚至包含不相似的生物體之間的吞噬行為。基於這種依賴關係被稱為共生。以下小節將解釋共生的意義，舉例共生關係原型的例子，並描述共生生態系統中的作用。

2.8.1 共生的基本概念

共生來自希臘字為“生活在一起”。De Bary 第一次用來形容兩個同居的不同生物體在 1878 年。然而現今，共生是用來描述兩個不同的物種的生物體之間的關係。共生關係，可能是兩種生物互相依賴於對方的生存，或兩種生物選擇同居在一個互惠互利的，但彼此之間不互相依賴對方關係。

在自然界中最易見的共生關係是互利共生，其他為片利共生和寄生。互利共生是指兩個不同的物種之間互惠互利的共生關係。片利功

生是兩個不同的物種，其中一方好處，另一方是未受影響或無害的共生關係。寄生是指兩個不同的物種，其中一方好處，另一方是受到損害或影響的共生關係。

圖 2.10 說明一組共生生物共同生活在一個生態系統中。一般來說，生物體為了發展一種適應環境變化的策略稱為共生關係。共生關係，也可能有助於生物增加體能和長期生存優勢。因此，合理來說共生關係已建成並繼續塑造和維持所有現代化的生態系統。

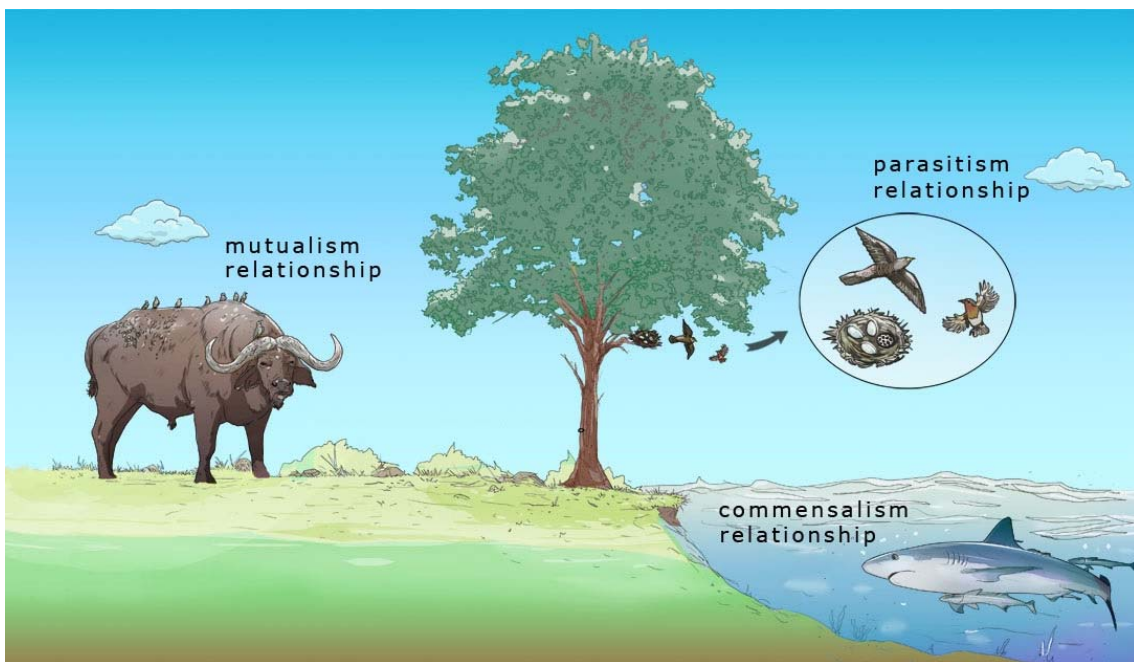


圖 2.10 生態系統中的共生生物示意圖

共生生物演算法是以其他演算法為研究基礎所發展出的演算法，SOS 會在可搜尋空間中，不斷地迭代候選解，進而求得全域最佳解。幾乎所有的啟發式演算法都是使用連續迭代的方案，在每次迭代中，以生成優於原解決方案之方案作為下一次迭代的候選解。在一個標準的遺傳算法(GA)有兩個運算值，即交叉和變異。和諧搜索演算法(Harmony search)是一種元啟發式演算法，和諧搜索演算法模仿音樂家即興創作的過程。起初先建立並隨機初始化大小為 HMS 的 Harmony Memory (HM)為了找到更好的和弦，每個音樂家彈奏個音符創作得到

一和弦。新的和弦創作過程由三個部分組成：隨機選取(memory consideration)、記憶體考量(random selection)、高音調整(pitch adjustment)。蜂群演算法(Artificial Bee Colony)中使用了三個階段來找到最好的食物來源，工作蜜蜂，隨機蜜蜂和偵察蜜蜂階段。共生生物搜尋演算法(Symbiotic Organism Search, SOS)是模仿生物在生態系統中的兩種生物之間的相互作用，類似於真實世界的生物相互作用模型的三種共生模式：互利共生，片利共生，和寄生。

這些共生模式的名稱，大概擬定了該共生模式的主要原則，的相互作用的字符定義了每個階段的主要原則。互利共生在共生模式中，對雙方都有好處；片利共生在共生模式中僅對一方有利，但並不影響其他共生的生物；寄生在共生模式中，常常是一方侵略另一方，造成一方有利，另一方受損。每個生物都必須與其他生物會反覆的進行共生的三個階段，直到滿足終止條件為止。下面的算法大綱反映了上述的解釋：

- 初始化
- 重複
 - 互惠階段
 - 棲階段
 - 寄生階段
- 直到（滿足終止條件）

本研究發表一種新式演算法稱為共生生物搜尋（SOS），其靈感來自自然生態系統中生物之間的互動模式，SOS 使用三種策略：互利共生、片利共生和寄生模擬這種自然的模式。SOS 演算法的三個階段在操作上是容易的，只需要用簡單的數學運算法則。此外比較於同類演算法，SOS 不使用微調的參數，提高了性能的穩定性。儘管比同類算法使用較少的控制參數，還能夠解決各種數值最佳化問題。

第三章 橋梁風險分析流程

3.1 現地調查結果

為驗證此研究前年度(第二年)所確立橋梁風險評估之可行性，研究團隊於此步驟將現地調查三座橋梁並進行細部評估分析，比對地震、載重、洪水沖刷維修機率評估結果，以修正既有維修機率預測模式。

首先選擇定期進行D.E.R.&U.且具完整檢測資料(含初步與詳細耐震能力評估)之橋梁。預計選定曾做過長期D.E.R.&U.檢測、曾做過耐震能力詳細評估以及沖刷潛勢危害重點橋梁為對象。最後舉辦專家座談會及養護工程處說明會各一場，針對現地調查結果與維修機率預測模式進行討論修正。

本研究團隊已於2013/5/29至港研中心開會確定調查對象待選清單，如表3-1所示。會議中邀請公路總局第二區工程處臺中工務段及苗栗工務段副段長給予實務建議，會議中兩位副段長提供轄區內主要監控橋梁與過去曾有結構耐震補強之橋梁清單。本團隊根據資料完整性、橋梁規模等特性，於2013/6/14至台61線大安溪、北勢大橋、頭屋大橋進行現地調查。調查結果分述如下：

表 3-1 檢測橋梁待選清單

編號	工程處	工務段	橋名	實務問題	橋梁跨距	跨越河川	歷年最低CI/SSI	海岸距離(Km)	平均每日車流量	海岸距離
1	2	臺中	台 61 中彰大橋	漲退潮問題	36.7+40+36.7+57@39.9+2@27.7+100.6+125+100.9(2742M)	烏溪	89/90	2	9777	三公里內
3	2	臺中	台 61 大甲溪橋	耐震補強	47@35(1645M)	大甲溪	90/93	1.63	8455	
4	2	臺中	台 61 大安溪橋	耐震補強	28@35(980M)	大安溪	91/94	1.7	5017	
2	2	臺中	台 1 大甲溪橋	-	33@40	大甲溪	88/91	5.2	12618	三公里以上
5	2	苗栗	北勢大橋	耐震、耐洪、DERU	1@28.7M+7@43M+1@20.6M(393.3M)	後龍溪	82/83	7.8	7312	
6	2	苗栗	頭屋大橋	補強	13@30M	後龍溪	86/86	11	4248	

3.1.1 頭屋大橋

3.1.1.1 基本資料

頭屋大橋位於苗栗縣頭屋鄉台13線省道，為跨越河之鋼筋混凝土橋梁，橋梁總長390公尺、最大淨寬53.9公尺，共13跨，橋墩為4列，橋墩排列方向與水流方向夾一角度約5度，如圖3.1頭屋大橋衛星影像圖所示。結構型式為鋼筋混凝土U型簡支梁，橋面板材質同樣為鋼筋混凝土，下部結構則採單柱式橋墩及沉箱基礎，橋台為重力式。民國77年5月興建完成，其後經歷多次改建，最後一次係於民國86年完成，共為4車道，詳細基本資料參照表3-2。

表 3-2 頭屋大橋基本資料

橋名	頭屋大橋				
橋頭里程	25K+950M	路線	臺 13 線	跨越河川	後龍溪
橋梁總長	390M	最大淨寬	53.9M	跨距分配	13@30m
竣工年月	77 年 5 月	計畫洪水位	EL35.21	設計河川高程	EL27.43
結構形式	梁式橋	橋台形式	重力式	橋台基礎形式	沉箱基礎
橋墩形式	單柱式	橋墩基礎形式	沉箱基礎	橋基保護工法	無



圖 3.1 頭屋大橋衛星影像圖(民國 97 年拍攝)

資料來源: 公路總局, 2010^[40]

3.1.1.2 現勘照片

現勘調查結果與各項紀錄說明如下所示。

	名稱	全景	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	頭屋大橋全景，由A2拍向A1		
	名稱	河道	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	D=2；E=1；R=1 有河道砂石堆積情形，不算嚴重。		
	名稱	引道護坡	拍照日期	2013/06/14
	位置	遠端橋台處	橋台/墩/孔編號	A2橋台
	照片說明	D=2；E=2；R=1 護坡的中間處，有條裂縫。		
	名稱	面層	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 路面平整，無缺陷。		
	名稱	欄杆及護牆	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 欄杆護牆全段皆無較明顯之缺損。		

	名稱	橋墩基礎	拍照日期	2013/06/14
	位置	P7 橋墩右側	橋台/墩/孔編號	P7
	照片說明	D=3；E=2；R=2 P7橋墩基礎沖刷較其他基礎嚴重。		
	名稱	橋墩基礎	拍照日期	2013/06/14
	位置	多數橋墩	橋台/墩/孔編號	P2~P6、P9
	照片說明	D=2；E=2；R=1 頭屋大橋多數橋墩基礎皆有沖刷問題。		
	名稱	橋墩墩體/帽梁	拍照日期	2013/06/14
	位置	多數橋墩	橋台/墩/孔編號	除P6、P7、P9外
	照片說明	D=1；E=1；R=1 橋墩全數皆以用鋼板包覆，帽梁也無太大問題		
	名稱	橋墩墩體/帽梁	拍照日期	2013/06/14
	位置	P6R帽梁下端	橋台/墩/孔編號	P6
	照片說明	D=2；E=1；R=1 鋼筋外露，但只有局部，所以影響不大		
	名稱	橋墩墩體/帽梁	拍照日期	2013/06/14
	位置	P7兩邊帽梁下端	橋台/墩/孔編號	P7
	照片說明	D=2；E=1；R=1 鋼筋外露，但只有局部，所以影響不大		

	名稱	橋墩墩體/帽梁	拍照日期	2013/06/14
	位置	P9R帽梁下端	橋台/墩/ 孔編號	P9
	照片說明	D=2；E=1；R=1 鋼筋外露，但只有局部，所以影響不大		
	名稱	主構件(大梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/ 孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 外觀完整，無明顯裂縫發生		
	名稱	副構件(橫梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/ 孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 外觀完整。		
	名稱	橋面板	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔 編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 無明顯缺陷，混凝土狀態佳。		

3.1.1.3 歷史資料

1.耐震能力分析評估

(1)結構型式

本橋梁上部結構為13跨之簡支預力I型梁(13@30m)，下部結構由單柱式圓形橋墩柱(直徑2.0m)組成，橋墩柱編號由西向東分別為A1、P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8、P9、P10、P11、

P12、A2，柱高均為6.3m。下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800與2800kgf/cm²。整座橋採用單一振動單元進行PUSHOVER 側推分析以評估其耐震能力。

(2)現有橋墩圍束鋼筋及橋墩主筋之校核

根據公路橋梁耐震設計規範（交通部97.11頒布及98.6修訂內容），並引用(公路總局，2010)[40]之結果我們可以知道本橋橋墩之圍束鋼筋不足。根據公路橋梁耐震設計規範(交通部97.11頒布)之規定，橋墩之主鋼筋比不得小於0.01，根據（公路總局，2010）[40]計算結果主筋比大於1%，故通過。

(3)橋梁耐震能力詳細評估(PUSHOVER 側推分析)

本橋梁設計地震PGA=0.3648g，中度地震PGA=0.0985g。

依據竣工圖顯示本橋梁耐震設計採用民國76年版之規範。

PUSHOVER 側推分析結果：

a. 行車方向

根據(公路總局，2010)性能目標PL3 O.K.

根據(公路總局，2010)性能目標PL1 N.G.

b. 垂直行車方向

根據(公路總局，2010)性能目標PL3 O.K.

根據(公路總局，2010)性能目標PL1 N.G.

故本橋梁橋墩需進行耐震補強。

(4)防落橋長度檢核

橋梁縱向防落橋長度

$$N=50+0.25L+1.0H=50+0.25\times 30+1.0\times 6.3=63.8\text{cm}$$

竣工圖上顯示防落橋長度=100-5.0=95cm

故總防落橋長度=95.0cm > 63.8cm O.K.

(5)橋墩帽梁上混凝土止震塊之檢核

根據(公路總局，2010)之計算結果為通過。

(6)橋墩基礎檢核

本橋梁橋墩採用沉箱基礎，經檢核沉箱基礎P5至P8(沈箱深度8m)已無法抵抗橋墩底Mp產生之荷載，其他沉箱基礎(除A1外，深度均為12m)可抵抗橋墩底Mp 產生之荷載。

(7)結論

本橋經整體耐震能力詳細分析評估結果詳見表3-3和表3-4，需補強項目包括：P1~P12 橋墩鋼板包覆補強。

經估算上述耐震補強工程費用約新台幣2,147 萬元，新建同型橋梁造價(含舊橋拆除費用)新台幣1億7,550 萬元之12%，故建議原橋進行耐震補強。

表 3-3 頭屋大橋耐震評估結果統計表

橋梁名稱	頭屋大橋				
設計地震 (PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g	中度地震 (PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g
0.3648	0.2080	0.2210	0.0985	0.1230	0.126
橋梁評估結果	N.G		耐震補強建議	橋墩鋼板包覆	

表 3-4 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數

橋梁名稱	頭屋大橋				
主控模態	行車方向		重直行車方向		
	震動週期(秒)	質量參與係數	主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數
15	0.574	0.76	17	0.522	0.35

(公路總局，2010)

2. 設計圖

頭屋大橋橋墩之竣工圖，請參考圖3.2、圖3.3。

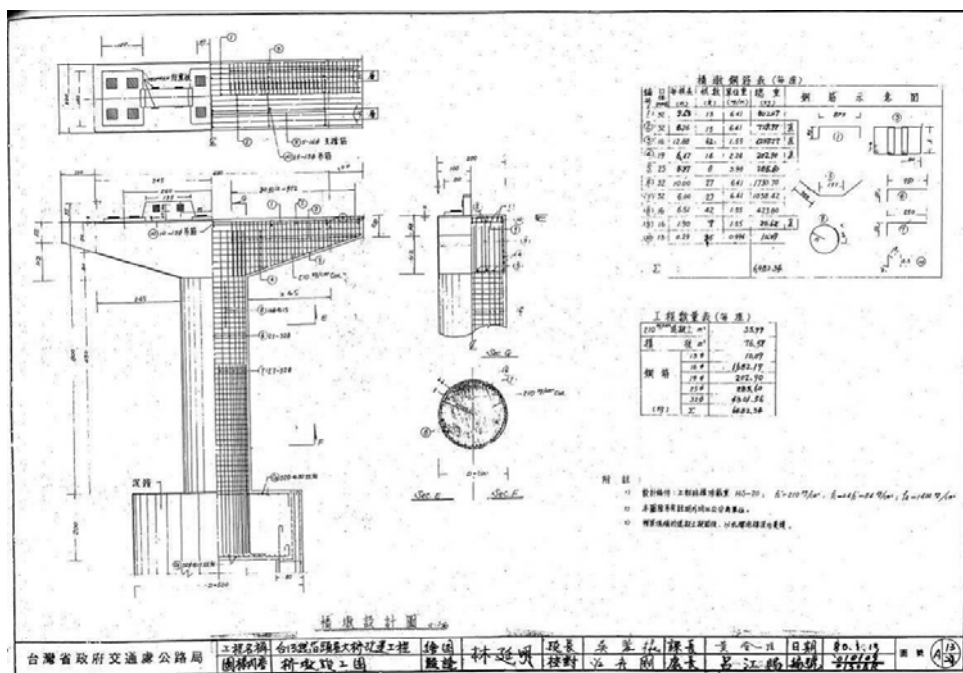


圖 3.2 頭屋大橋橋墩竣工圖(1/2)

資料來源：交通部公路總局

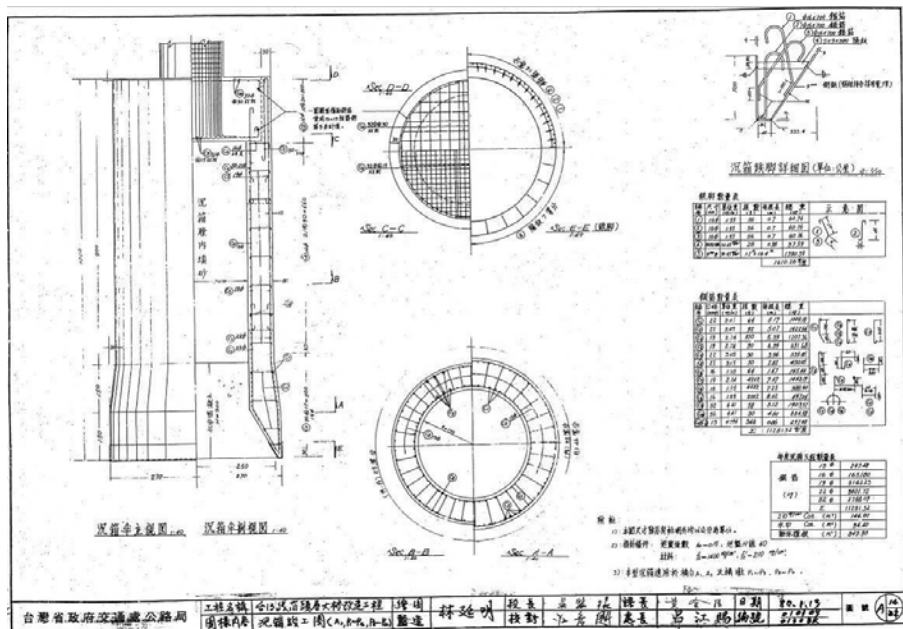


圖 3.3 頭屋大橋橋墩竣工圖(2/2)

資料來源：交通部公路總局

3. 資料庫D.E.R.&U.評估

以下為先前所作之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-5，下部結構評估詳見表3-6，評估指標詳見表3-7。

表 3-5 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎	0			9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台	1			10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	1	1	7.翼牆/擋土牆	1			11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	0			8.面層	1			21.其他	1		

表 3-6 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12.橋墩/保護措施			13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16.防震措施			17.伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
A1	0			0			0			1			1			1		
A2	0			0			0			1			1			1		
P1	0				0		1			1			1			0		
P2	0				0		1			1			1			0		
P3	0			1			1			1			1			0		
P4	0			1			1			1			1			1		
P5	0			1			1			1			1			0		
P6	0			1			1			1			1			0		
P7	0			1			1			1			1			1		
P8	0			1			1			1			1			0		
P9	0				0		1			1			1			0		
P10	0				0		1			1			1			1		
P11	0			3	2	2	1			1				0		0		
P12	0				0		1			1				0		0		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S3	1			1			1		

表 3-7 評估指標

CI	100	新 CI	99.55	規範 PI	100
PI	100	新 PI	99.55	SSI 沖刷指標	99

4.現勘結果

以下為民國102年6月14號執行之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-8，下部結構評估詳見表3-9，評估指標詳見表3-10。

表 3-8 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎		0		9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台	1			10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	1	1	7.翼牆/擋土牆	1			11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	2/0	2/0	1/0	8.面層	1			21.其他	1		

表 3-9 下部結構 DER&U 評估

12.橋墩/保護措施	13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16 防震措施			17.伸縮縫					
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
P1R	0				0			0			0			0		1		
P1L	0				0			0			0			0		1		
P2R	0			2	2	1		0			0			0		1		
P2L	0			2	2	1		0			0			0		1		
P3R	0			2	2	1		0			0			0		1		
P3L	0			2	2	1		0			0			0		1		
P4R	0			2	2	1		0			0			0		1		
P4L	0			3	2	1		0			0			0		1		
P5R	0			2	2	1	1				0			0		1		
P5L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P6R	0			2	2	1	2	1	1		0			0		1		
P6L	0			1			1				0			0		1		
P7R	0			3	2	2	2	1	1		0			0		1		
P7L	0			1			2	1	1		0			0		1		
P8R	0			1			1				0			0		1		
P8L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P9R	0			1			2	1	1		0			0		1		
P9L	0			1			1				0			0		1		
P10R	0			1			1				0			0		1		
P10L	0			1			1				0			0		1		
P11R	0			1			1				0			0		1		
P11L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P12R	0				1		1				0			0		1		
P12L	0				1		1				0			0		1		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S13	1			1			1		

表 3-10 評估指標

類別 \ 檢測方法	TBMS 資料庫結果	現地勘查結果	第二年度預測模式結果
CI	100	98.881	99.45(標準差 0.1052)
SSI	99	98.619	98.407(標準差 1.0922)

3.1.2 北勢大橋

3.1.2.1 基本資料

北勢大橋位於苗栗縣後龍鄉台13甲線省道，為跨越河之鋼筋混凝土橋梁，橋梁總長393.3公尺、最大淨寬18.5公尺，共10跨，橋墩為2列，橋墩排列方向與水流方向夾一角度約10度，如圖3.4北勢大橋衛星影像圖所示。結構型式為鋼筋混凝土I型簡支梁，橋面板材質同樣為鋼筋混凝土，下部結構則採單柱式(壁式)橋墩及沉箱基礎，橋台為懸臂式。民國66年8月興建完成，於民國86年9月開始進行拓寬，民國90年11月完工通車，共為4車道。

表 3-11 北勢大橋基本資料

橋名	北勢大橋				
橋頭里程	13K+500M	路線	臺 13 甲線	跨越河川	後龍溪
橋梁總長	393.3M	最大淨寬	18.5M	跨距分配	8@43m， 2@28.7m
竣工年月	66年8月	計畫洪水位	EL20.36	設計河川高程	EL14.8
結構形式	梁式橋	橋台形式	懸臂式	橋台基礎形式	直接基礎
橋墩形式	單柱式(臂式)	橋墩基礎形式	沉箱基礎	橋基保護工法	無

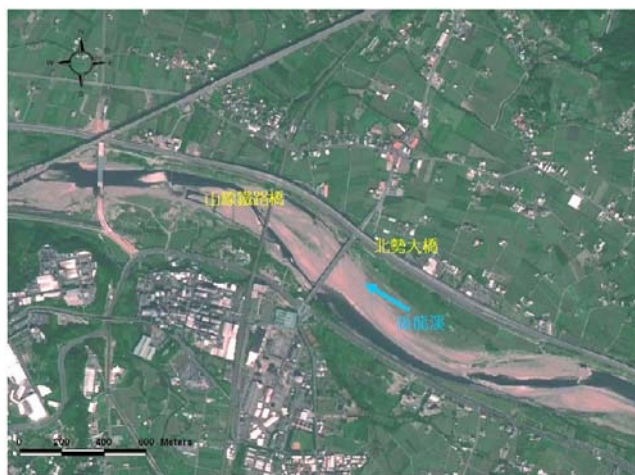


圖 3.4 北勢大橋衛星影像圖(民國 97 年拍攝)

參考文獻: 公路總局, 2011b^[35]

3.1.2.2 現勘照片

現勘調查結果與各項紀錄說明如下所示。

	名稱	全景	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	北勢大橋全景，由上游方向往下游方向拍攝。		
	名稱	河道	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	D=2；E=2；R=1 輕微砂石淤積。		
	名稱	面層	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 路面平整，無明顯缺損。		
	名稱	欄杆及護牆	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 欄杆護牆全段皆無明顯之缺損。		
	名稱	橋墩基礎	拍照日期	2013/06/14
	位置	全數右側橋墩	橋台/墩/孔編號	P1~P11
	照片說明	D=2；E=2；R=2 橋墩左右結構形式不同，右側橋墩基礎全部都有沖刷問題，沖刷深度約為1~2公尺。		

	名稱	橋墩墩體/帽梁	拍照日期	2013/06/14
	位置	全數橋墩	橋台/墩/孔編號	P1~P11
	照片說明	D=1；E=1；R=1 外觀良好。		
	名稱	主構件(大梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 整體外觀完好。		
	名稱	副構件(橫梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 無明顯損壞。		

3.1.2.3 歷史資料

1.耐震能力分析評估

(1)結構型式

本橋梁拓寬新橋上部結構為10跨之簡支預力I型梁(8@43m+2@28.7m)，下部結構由單柱式長圓形橋墩柱(4.9m x 直徑2.4m)組成，橋墩柱編號由北向南為P1~P9，柱高為11.5m。下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800 與2800kgf/cm²。整座新橋取P6至P8橋墩為振動單元進行PUSHOVER側推分析以評估其耐震能力。

舊橋上部結構亦為10跨之簡支預力I型梁(9@43m+20.6m)，下

部結構由單柱式長圓形橋墩柱(2.0m x 直徑2.4m)組成，橋墩柱編號由北向南為P1~P9，柱高為9.5m。下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800與2800kgf/cm²。整座舊橋取P3至P6橋墩為振動單元進行PUSHOVER 側推分析以評估其耐震能力。

(2)有橋墩圍束鋼筋及橋墩主筋之校核

根據公路橋梁耐震設計規範(交通部97.11 頒布及98.6 修訂內容)，依據資料(公路總局，2011b)^[38]判定舊橋橋墩之圍束鋼筋不足；拓寬新橋橋墩之圍束鋼筋不足。根據公路橋梁耐震設計規範(交通部97.11 頒布)之規定，橋墩之主鋼筋比不得小於0.01。

a.舊橋橋墩主鋼筋：

依據文獻(公路總局，2011b)^[38]計算主筋比小於1%，故不通過。

b.拓寬新橋橋墩主鋼筋：

依據文獻(公路總局，2011b)^[38]計算主筋比小於1%，故不通過。

(3)橋梁耐震能力詳細評估(PUSHOVER 側推分析)

本橋梁設計地震PGA=0.3648g，中度地震PGA=0.0985g。

依據竣工圖顯示本橋梁舊橋耐震設計採用民國49 年版之規範，拓寬部分採用民國76 年版之規範。

PUSHOVER 側推分析結果：

舊橋：

a. 行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3 O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL1 O.K.

b. 垂直行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3 O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL1 O.K.

拓寬新橋:

a. 行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3 O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL1 O.K.

b. 垂直行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3 O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL O.K.

故本橋梁橋墩不需進行耐震補強。

(4)防落橋長度檢核

橋梁縱向防落橋長度:

舊橋:

$$N=50+0.25L+1.0H=50+0.25\times 128.0+1.0\times 9.5=91.5\text{cm}$$

$$\text{竣工圖上顯示防落橋長度}=100-2.5=97.5\text{cm}$$

$$\text{故總防落橋長度}=97.5\text{cm} > 91.5\text{cm} \quad \text{O.K.}$$

拓寬新橋:

$$N=50+0.25L+1.0H=50+0.25\times 43.0+1.0\times 11.5=72.25\text{cm}$$

$$\text{竣工圖上顯示防落橋長度}=120-5=115\text{cm}$$

$$\text{故總防落橋長度}=115\text{cm} > 72.25\text{cm} \quad \text{O.K.}$$

(5)橋墩帽梁上混凝土止震塊之檢核

舊橋：根據公路總局評估資料(公路總局，2011b)之計算結果為通過。拓寬新橋：根據公路總局評估資料(公路總局，2011b)之計算結果為通過。

(6)橋墩基礎檢核

本橋梁舊橋的橋墩採用沉箱基礎，經檢核沉箱基礎可抵抗橋墩底Mp產生之荷載；拓寬新橋部分的橋墩採用場鑄樁基礎，經檢核樁基礎可抵抗橋墩底Mp產生之荷載。

(7) 結論

本橋經整體耐震能力詳細分析評估結果詳見表3-12和表3-13，需補強項目包括：舊橋止震塊補強。經估算上述耐震補強工程費用約新台幣418萬元，約新建同型橋梁造價新台幣9,180萬元之5%，建議原橋進行耐震補強。

表 3-12 北勢大橋耐震評估結果統計表

橋梁名稱	北勢大橋(舊)				
設計地震 (PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g	中度地震 (PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g
0.3648	0.5360	0.4630	0.0985	0.1270	0.1840
橋梁評估結果	O.K.		耐震補強建議	舊橋止震塊補強	
橋梁名稱	北勢大橋(新)				
設計地震 (PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g	中度地震 (PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g
0.3648	0.696	0.5690	0.0985	0.1800	0.2220
橋梁評估結果	O.K.		耐震補強建議	不需補強	

表 3-13 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數

橋梁名稱	北勢大橋				
行車方向	行車方向		重直行車方向		
主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數	主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數
1	1.050	0.800	2	0.860	0.780

資料來源：公路總局，2011b^[38]

2. 設計圖

北勢大橋橋墩之竣工圖與縱剖面圖，請參考圖3.5至圖3.7。

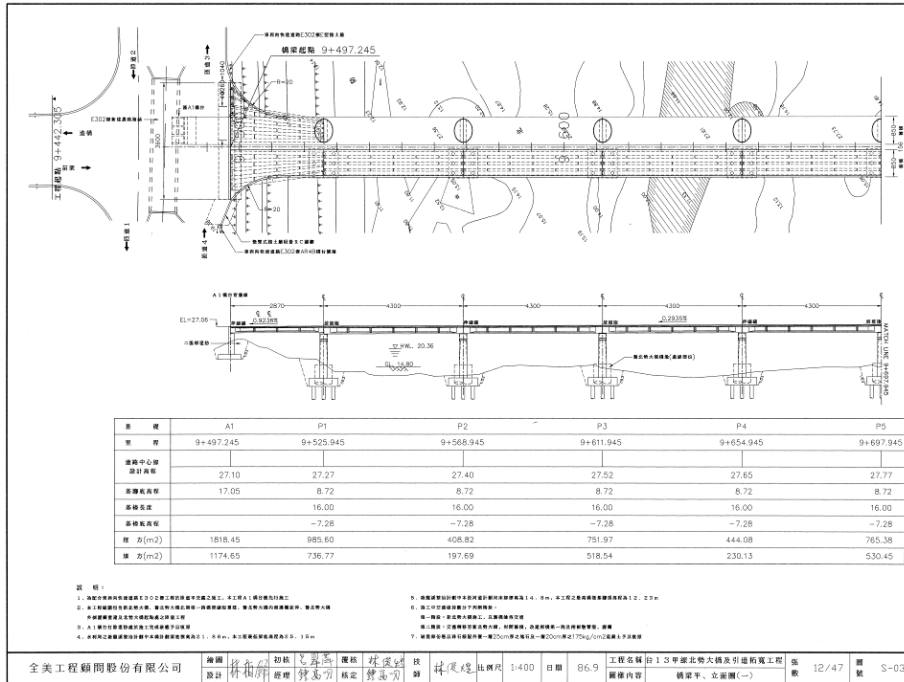


圖3.5 北勢大橋縱剖面圖

資料來源：交通部公路總局

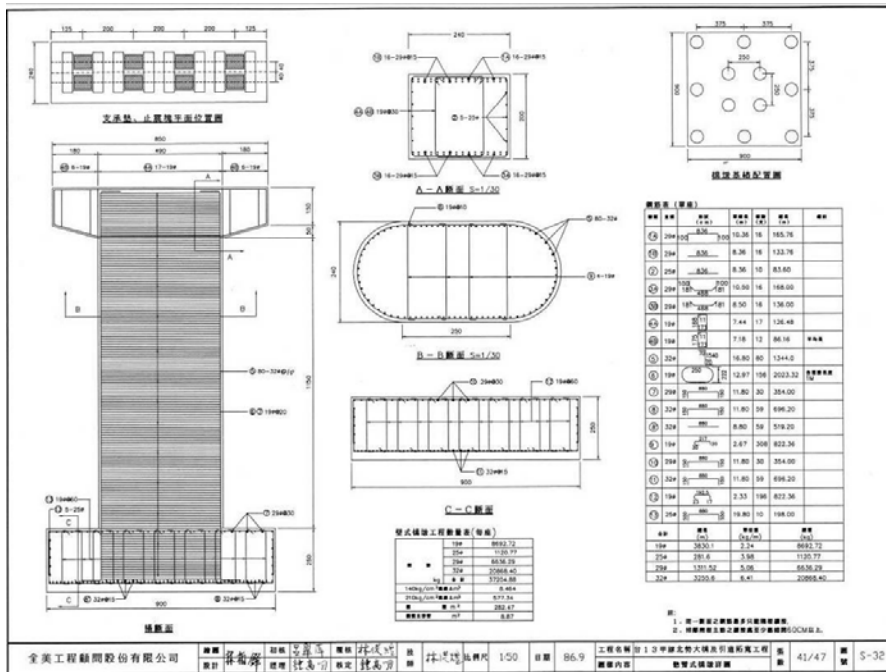


圖3.6 北勢大橋橋墩竣工圖(1/2)

資料來源：交通部公路總局

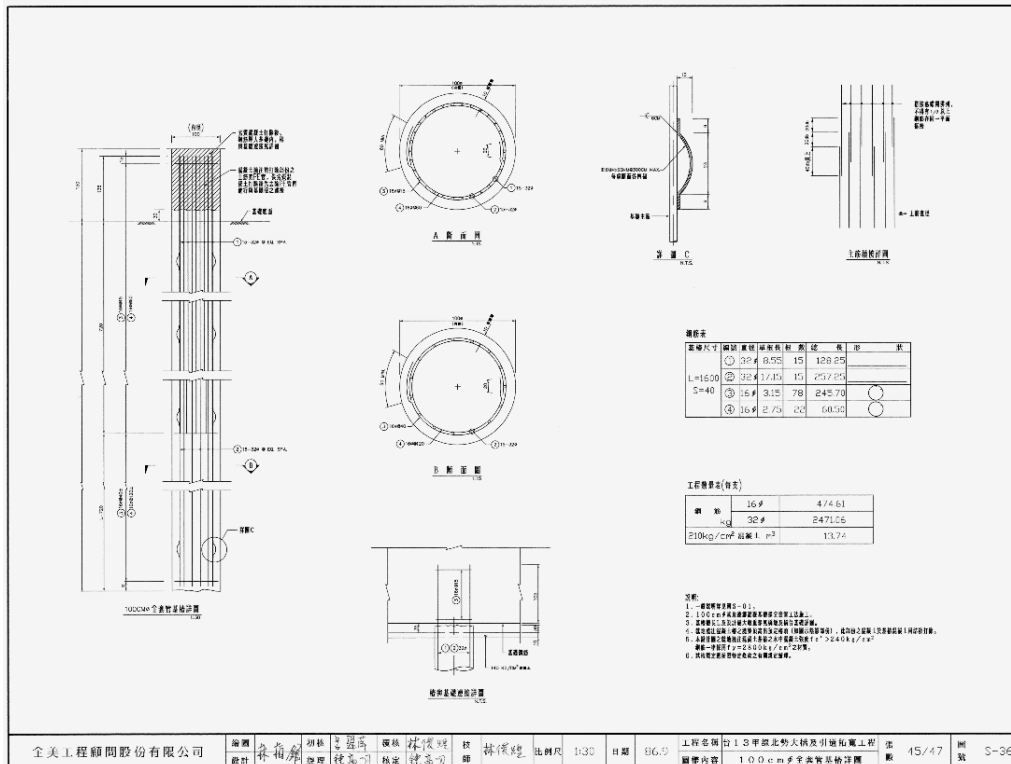


圖3.7 北勢大橋橋墩竣工圖(2/2)

資料來源：交通部公路總局

3. 資料庫 D.E.R.&U. 評估

以下為先前所作之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-14，下部結構評估詳見表3-15，評估指標詳見表3-16。

表 3-14 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1. 引道路堤	1			5. 橋台基礎		0		9. 橋面排水設施	1		
2. 引道護欄	1			6. 橋台	1			10. 緣石及人行道	0		
3. 河道	2	2	2	7. 翼牆/擋土牆	1			11. 欄杆及護牆	1		
4. 引道護坡	0			8. 面層	2	2	2	21. 其他	1		

表 3-15 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12. 橋墩/保護措施			13. 橋墩基礎			14. 橋墩墩體/帽梁			15. 支承/支承墊			16 防震措施			17. 伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
A1	0			0			0			1			1			1		
A2	0			0			0			1			1			1		
P1	0				0		1			1			1			0		
P2	0			2	2	2	1			1			1			1		
P3	0			2	2	2	1			1			1			0		
P4	0			2	2	2	1			1			1			1		
P5	0			2	2	2	1			1			1			0		
P6	0			2	2	2	1			1			1			1		
P7	0			2	2	2	1			1			1			0		
P8	0			2	2	2	1			1			1			1		
P9	0			2	2	2	1			1			1			0		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S10	1			1			1		

表 3-16 評估指標

CI	97	新 CI	97.37	規範 PI	98
PI	97	新 PI	97.37	沖刷指標	96

4.現勘結果

以下為民國102年6月14號執行之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-17，下部結構評估詳見表3-18，評估指標詳見表3-19。

表 3-17 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎		0		9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台		0		10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	2	2	7.翼牆/擋土牆		0		11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	0			8.面層	1			21.其他	1		

表 3-18 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12. 橋墩/保護措施			13. 橋墩基礎			14. 橋墩墩體/帽梁			15. 支承/支承墊			16 防震措施			17. 伸縮縫			
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	
P1R	0			1			1				0			0			1		
P1L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P2R	0			1			1				0			0			1		
P2L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P3R	0			1			1				0			0			1		
P3L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P4R	0			1			1				0			0			1		
P4L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P5R	0			1			1				0			0			1		
P5L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P6R	0			1			1				0			0			1		
P6L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P7R	0			1			1				0			0			1		
P7L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P8R	0			1			1				0			0			1		
P8L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P9R	0			1			1				0			0			1		
P9L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P10R	0			1			1				0			0			1		
P10L	0			2	2	1	1				0			0			1		
P11R	0			1			1				0			0			1		
P11L	0			2	2	1	1				0			0			1		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S10	1			1			1		

表 3-19 評估指標

CI	99.237	新 CI	98.777	規範 PI	99.583
PI	99.237	新 PI	98.777	沖刷指標	98.537

3.1.3 台61線大安溪橋(WH37)

3.1.3.1 基本資料

大安溪橋位於臺中市大甲區台61線西濱快速道路上，為跨越河之鋼筋混凝土橋梁，橋梁總長980公尺、最大淨寬38公尺，共28跨，結構型式為鋼筋混凝土I型簡支梁，橋面板材質同樣為鋼筋混凝土，下部結構則採用牆式橋墩及沉箱基礎，橋台為懸臂式。民國83年5月興建完成，共為6車道，其資料如表3-20。

表 3-20 大安溪橋(WH37)基本資料


橋名	大安溪橋(WH37)				
橋頭里程	134K+950M	路線	臺 61 線	跨越河川	大安溪
橋梁總長	980M	最大淨寬	38M	跨距分配	28@35m
竣工年月	83 年 5 月	計畫洪水位	EL14.5	設計河川高程	EL10.78
結構形式	梁式橋	橋台形式	懸臂式	橋台基礎形式	沉箱基礎
橋墩形式	牆式	橋墩基礎形式	沉箱基礎	橋基保護工法	無

3.1.3.2 現勘照片

	名稱	全景	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	大安溪橋全景，拍攝方向由A1拍向A2，此面為橋梁左側。		
	名稱	河道	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	D=2；E=1；R=1 輕微砂石淤積。		

	名稱	面層	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 路面平整。		
	名稱	欄杆及護牆	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 欄杆護牆全段皆無較明顯之缺損。		
	名稱	橋墩保護措施	拍照日期	2013/06/14
	位置	P3L	橋台/墩/孔編號	P3
	照片說明	D=2；E=1；R=1 防撞鋼版有一小角的損壞。		
	名稱	橋墩保護措施	拍照日期	2013/06/14
	位置	P9L	橋台/墩/孔編號	P9
	照片說明	D=4；E=4；R=1 防撞鋼版遺失。		
	名稱	橋墩保護措施	拍照日期	2013/06/14
	位置	P9L	橋台/墩/孔編號	P9
	照片說明	D=2；E=1；R=1 帽梁鋼筋外露。		

	名稱	支承墊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P1L	橋台/墩/孔編號	P1
	照片說明	D=2；E=2；R=1 支承外的混凝土碎裂，橡膠墊變形。		
	名稱	支承墊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P2L	橋台/墩/孔編號	P2
	照片說明	D=2；E=2；R=1 支承外的混凝土有裂痕。		
	名稱	支承墊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P2L	橋台/墩/孔編號	P2
	照片說明	D=2；E=2；R=1 支承外的混凝土碎裂。		
	名稱	止震塊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P4L	橋台/墩/孔編號	P4
	照片說明	D=4；E=3；R=1 止震塊完全損毀。		
	名稱	主構件(大梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 外觀良好。		

	名稱	副構件(橫梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔 編號	全部
	照片 說明	D=1；E=1；R=1 無明顯缺損。		

3.1.3.3 歷史資料

1.耐震能力分析評估

(1)結構型式

本橋梁上部結構為28跨之簡支預力I型梁(28@38m)，下部結構由長圓形橋墩(9.0m×2.5m)組成，橋墩編號由北向南分別為A1、P1~P27、A2，高度約為8.7m。

下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800與2800kgf/cm²。整座橋橋墩結構模式均相同，故以橋面伸縮縫為分隔，取P21~P24橋墩振動單元進行PUSHOVER側推分析以評估其耐震能力。

(2)現有橋墩圍束鋼筋及橋墩主筋之校核

根據公路橋梁耐震設計規範(交通部97.11頒布及98.6修訂內容)，並引用公路總局評估資料(公路總局，2011b)^[38]之計算結果，可判定本橋橋墩之圍束鋼筋不足。

根據公路橋梁耐震設計規範(交通部97.11頒布)之規定，橋墩之主鋼筋比不得小於0.01。依據公路總局評估資料(公路總局，2011b)^[38]之計算結果本橋梁主筋比小於1%，故不通過。

(3)橋梁耐震能力詳細評估(PUSHOVER側推分析)

本橋梁設計地震PGA=0.3192g，中度地震PGA=0.0862g。依據竣工圖顯示本橋梁耐震設計採用民國76年版之規範。

PUSHOVER側推分析結果：

a. 行車方向

依據(公路總局，2011b)性能目標PL3 O.K.

依據(公路總局，2011b)性能目標PL1 O.K.

b. 垂直行車方向

依據(公路總局，2011b)性能目標PL3 O.K.

依據(公路總局，2011b)性能目標PL1 O.K.

故本橋梁橋墩不需進行耐震補強。

(4)防落橋長度檢核

橋梁縱向防落橋長度。

$$N=50+0.25L+1.0H=50+0.25\times 35.0+1.0\times 8.7=67.45\text{cm}。$$

竣工圖上顯示防落橋長度=125-5=120cm > 67.45cm O.K.。

(5)橋墩帽梁上混凝土止震塊之檢核

每一橋墩設置1個止震塊，依據(公路總局，2011b) [38]所得結果為不通過。

(6)橋墩基礎檢核

本橋梁橋墩採用沉箱基礎，經檢核沉箱基礎可抵抗橋墩底Mp 產生之荷載。

(7)結論

本橋經整體耐震能力詳細分析評估結果詳見表3-21和表3-22，需補強項目包括：增設止震塊補強。經估算上述耐震補強工程總經費約新台幣2,545 萬元，約為新建同型橋梁造價新台幣11 億1,720 萬元之2%，故建議以原橋梁耐震補強。

表 3-21 大安溪橋(WH37)耐震評估結果統計表

橋梁名稱	大安溪橋(WH37)(舊)
------	---------------

設計地震 (PGA),g	行車方向性能 目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性 能目標 PL1(PGA),g	中度地震 (PGA),g	行車方向性能 目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性 能目標 PL1(PGA),g
0.3192	0.3560	0.8680	0.0862	0.1090	0.7960
橋梁評估結果		O.K.	耐震補強建議		止震塊補強

表 3-22 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數

橋梁名稱		大安溪橋(WH37)			
行車方向			重直行車方向		
主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數	主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數
2	0.490	0.770	11	0.300	0.660

資料來源:公路總局, 2011b^[38]

2. 資料庫D.E.R.&U.評估

以下為先前所作之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-23，下部結構評估詳見表3-24，評估指標詳見表3-25。

表 3-23 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1. 引道路堤	1			5. 橋台基礎	0			9. 橋面排水設施	1		
2. 引道護欄	1			6. 橋台	0			10. 緣石及人行道	0		
3. 河道	1			7. 翼牆/擋土牆	1			11. 欄杆及護牆	1		
4. 引道護坡	0			8. 面層	1			21. 其他	1		

表 3-24 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板											
橋墩 編號	12.橋墩/保 護措施			13.橋墩基 礎			14.橋墩墩 體/帽梁			15.支承/支 承墊			16 防震措 施			17.伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
	1			0			2	2	2	1			1			1		
				D	E	R	D	E	R	D	E	R						
	S1~S3			1			1			1								

表 3-25 評估指標

CI	98.987	新 CI	99.55	規範 PI	99.482
PI	98.984	新 PI	99.55	沖刷指標	97.712

3.現勘結果

以下為民國102年6月14號執行之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-26，下部結構評估詳見表3-27，評估指標詳見表3-28。

表 3-26 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎		0		9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台		0		10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	1	1	7.翼牆/擋土牆		0		11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	1			8.面層	1			21.其他	1		

表 3-27 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12.橋墩/保護措施			13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16 防震措施			17.伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
P1R	1			1			1			1			1			1		
P1L	1			1			1			2	2	1	1			1		
P2R	1			1			1			1			1			1		
P2L	1			1			1			2	2	1	1			1		
P3R	1			1			1			1			1			1		
P3L	1			1			1			1			1			1		
P4R	1			1			1			1			1			1		
P4L	1			1			1			1			4	3	1	1		
P5R	1			1			1			1			1			1		
P5L	1			1			1			1			1			1		
P6R	1			1			1			1			1			1		
P6L	1			1			1			2	2	1	1			1		
P7R	1			1			1			1			1			1		
P7L	1			1			1			1			1			1		
P8R	1			1			1			1			1			1		
P8L	1			1			1			1			1			1		
P9R	1			1			1			1			1			1		
P9L	4	4	1	1			1			1			1			1		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S10	1			1			1		

表 3-28 評估指標

CI	99.174	新 CI	98.958	規範 PI	99.482
PI	99.174	新 PI	98.958	沖刷指標	99.005

3.1.4 小結

本階段已完成現地調查三座橋梁，針對三座橋梁之現地調查結果，進行細部評估分析後，其結果與橋梁維修預測模式相近，為正確之趨勢。並計算歷史檢測紀錄與本次檢測結果，因為根據資料庫的資料做統計回歸做模式的建立，其推論結果與資料庫結果較接近，以表3.10為例，CI之評估結果方面，TBMS於今年度3月量測結果為100分，6月份現地勘察結果為98.881分，預測模式推論結果為99.45分(標準差0.1052)，其結果皆相近；SSI方面，TBMS於今年度3月量測結果為99分，6月份現地勘察結果為98.619分，預測模式推論結果為98.407分(標準差0.10922)，其結果皆相近。根據本次結果，舉辦專家座談會(圖3.8)及養護工程處說明會(圖3.9)各一場，針對現地調查結果與維修機率預測模式進行討論修正。



圖 3.8 專家座談會(2013/9/30)

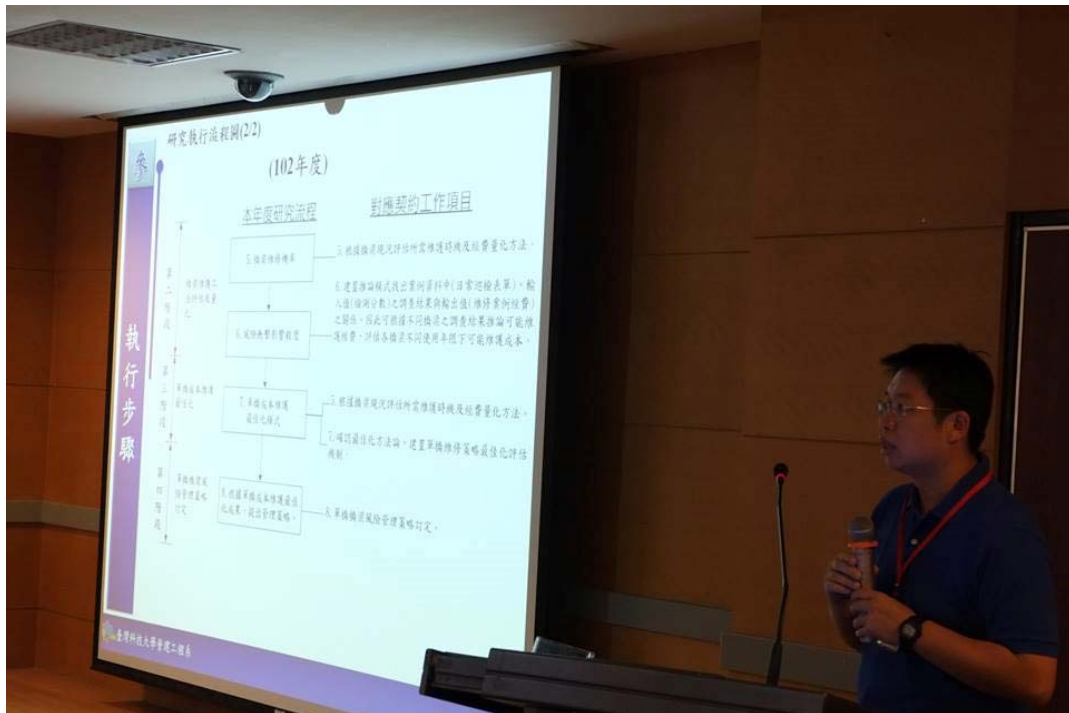


圖 3.9 養護工程說明會(2013/10/21)

3.2 建置維修工法資料庫

本團隊此階段蒐集TBMS資料庫中高公局、公路總局與新北市政府之維修歷史案例資料，整理如表3-29至表3-31。並以橋梁維修工法可適用之橋梁結構部位及對應單價，整理歸納出橋梁維修工法/適用部位/單價之關係，並繪製其對應矩陣表如表3-32~表3-34所示。

本步驟所完成之維修工法案例資料庫，可在後續階段單橋維修策略決定後，提供公路管理單位編列維修經費之參考，即針對需維修部位找尋對應之維修工法並估算所需維護經費。

表 3-29 交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修案例(節錄)

檢測日期	使用狀態	橋梁名稱	工程處	工務段	道路等級	路線	損壞構件	損壞位置	維修工法	數量	單位	單價
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道G排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	主構件(大梁)	SG3	修補混凝土	0.01	M ³	1200
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道G排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	引道路堤	DN1	破壞與回填整平	0.7	M ³	5000
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道G排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	橋面排水設施	S1	修復受損的排水管	1	M	1000
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道G排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	伸縮縫	A1	伸縮縫清理(m)	8	m	100
2009/5/13	正常使用	新竹 LH 穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	橋台	DS2	修補混凝土	0.01	M ³	240
2009/5/13	正常使用	新竹 LH 穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	橋台	DS2	修補寬度大於0.3mm之裂縫	1	式	200
2007/4/24	正常使用	穿越橋174234(南向)	高公局中區工程處	斗南工務段	國道	國道1號	引道路堤	近端	排水陰井清理	2	個	3600
2009/5/12	正常使用	新竹 LC 穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	欄杆及護牆	S2	剝落混凝土修補	0.01	M ³	500
2009/5/12	正常使用	新竹系統交流道匝道E(一)穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	橋台	DS2	塗上保護塗料	0.2	M ²	1050

表 3-30 新北市政府橋梁維修案例庫

維修項目及工法	單位	單價	位置
混凝土修復，裂縫 W>0.3mm 修補，水刀鑿除	M	970	橋台、版梁底、版梁右側左側位址、橋面版、大梁、路堤、擋土牆、伸縮縫、墩體
混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除	M ²	2200	橋台、版梁底、版梁右側左側、側端隔梁、大梁底、橋面版、欄杆、護欄、擋土牆
混凝土修復，蜂窩及剝落修補，水刀鑿除	M ²	2000	擋土牆、大梁、橋面版底、橋台、引道護欄、版梁底、欄杆破損、護欄、橋面版、箱涵
結構混凝土，(預拌，水中)，245kgf/cm ²	M ³	2500	擋土牆、橋台、版梁底、支承、整體 RC 河床
洩水孔處理	處	510	整體洩水孔
清除植生或雜物	處	400	長樹
混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除	M ³	14500	橋墩、橋台、翼牆、橫隔梁、大梁、橋面板
人造橡膠支承墊，更換	座	25500	
混凝土護欄修復	M	1900	橋頭護欄
伸縮縫修復，填縫料更換	M	910	伸縮縫
雜物及破碎混凝土處理	M	970	底板
回填因侵蝕或沖刷引起的基礎掏空	M ³	4000	混凝土護坦
混凝土修復，裂縫 W<0.3mm 修補，水刀鑿除(含白華龜裂及保護層不足)	M ²	960	白華、箱梁底部
混凝土修復，保護塗層	M ²	960	大梁、橋面版、橋台、橋墩、墩體
更新磁磚	M ²	1000	磨擦層地磚
止滑銅片更新	M	99	人行陸橋
防蝕塗裝，水刀處理+油漆塗裝	M ²	450	橋面版
回填整平	M ³	750	擋土牆
混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除	M ²	4000	橫隔梁蜂窩、橋台、翼牆
混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除	M ²	3300	橫隔梁蜂窩、橋台、翼牆、版梁
人行道面層，鋪面磚(高壓)，未含伸縮縫	M ²	1360	人行道、緣石
瀝青混凝土面層刨除，平均後 5.0cm，刨除機 1.2m 寬，未含運費	M ²	43	橋面路面
瀝青混凝土鋪面，粗粒料 9.5mm，黏度 AC-20	M ²	3200	橋面路面、磨擦層
混凝土保護塗佈(滲透結晶材)	M ²	1000	橋台
混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除	M ²	1170	橋台、墩體

表 3-31 公路總局橋梁維修案例庫(節錄)

橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	道路等級	路線	橋頭里程	維修工法	維修數量	單位	維修金額	開工日期	完工日期
第二尖山橋	公路總局第一區養護工程處	中壢工務段	省道	臺1甲線	16K+500M	>0.3mm 混凝土 裂縫修補	10	公尺	12000	2009-10-01	2009-10-31
三仙橋	公路總局第三區養護工程處	臺東工務段	省道	臺11線	110K+226M	>0.3mm 混凝土 裂縫修補	2	公尺	1400	2005-01-22	2005-09-20

表 3-32 交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)

編號	構件部位→	橋墩墩體 ／帽梁	橋台	欄杆及 護牆	翼牆／擋 土牆	橋台 基礎	橋墩保護 措施	摩擦層	支承／ 支承墊	橋面版	主構件 (大梁)	吊材／ 立柱	伸縮縫	橋面排水 設施	河道
	工法項目↓														
1	加強次要主構件										1071/kg				
2	加強次要副構件										1785/kg		1221/kg		
3	白華處理										402/條				
4	伸縮縫更新(m)										13387/m				
5	伸縮縫清理(m)										89/m				
6	更換支承								7418/組						
7	更換次要副構件								1017/kg						
8	更換填縫膠				134/m								312/m		
9	防水處理									357/m ²					
10	金屬欄杆之防蝕保護			305/m											
11	金屬欄杆換新			1071/m											
12	背牆修補		4462~44625/式												
13	修復因沖刷引起之破壞														5087/m ³
14	修復受損的排水管													36~892/ m	
15	修復基座無收縮水泥(雙 邊)												268/處		
16	修補基座無收縮水泥												446/m		
19	修補混凝土	321/m ³	214/m ³		214/m ³					357/m ³	1071/m ³				

表 3-33 新北市政府橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)

編號	構件部位→	橋墩墩體/ 帽梁	橋台	欄杆及護牆	翼牆/擋土牆	橋台基礎	橋墩保護措施	摩擦層	支承/支承墊	橋面板	主構件(大梁)	吊材/立柱	伸縮縫	橋面排水設施	河道
	工法項目↓														
1	混凝土修復，裂縫W>0.3mm 修補，水刀鑿除	928/m	928/m		928/m					928/m	928/m		928/m		
2	混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除		2105/m2	2105/m2	2105/m2					2105/m2	2105/m2				
3	混凝土修復，蜂窩及剝落修補，水刀鑿除		1914/m2	1914/m2	1914/m2					1914/m2	1914/m2				
4	結構混凝土，(預拌，水中)，245kgf/cm2		2392/m3						2392/m3						2392/m ³
5	洩水孔處理													488/處	
6	混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除	13874/m3	13874/m3		13874/m3					13874/m3	13874/m3				
7	人造橡膠支承墊，更換								24398/座						
8	伸縮縫修復，填縫料更換												871/m		
9	混凝土修復，保護塗層	919/m2	919/m2							919/m2	919/m2				
10	更新磁磚							957/m2							
11	防蝕塗裝，水刀處理+油漆塗裝									431/m2					
12	回填整平				718/m3										
13	混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除		3827/m2		3827/m2										
14	混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除		3157/m2		3157/m2						3157/m2				
15	瀝青混凝土面層刨除，平均後 5.0cm，刨除機 1.2m 寬，未含運費									41/m2					
16	瀝青混凝土鋪面，粗粒料 9.5mm，黏度 AC-20							3062/m2		3062/m2					

表 3-34 公路總局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)

編號	構件部位→	橋墩墩體/ 帽梁	橋台	欄杆及護 牆	翼牆/擋 土牆	橋台基礎	橋墩保護 措施	摩擦層	支承/ 支承墊	橋面版	主構件(大梁)	吊材/ 立柱	伸縮縫	橋面排水 設施	河道
	工法項目↓														
1	>0.3mm 混凝土裂縫修補	500~700/m	500~700/m		700~1800/m						700/m				
2	3000PSI 混凝土修補			2300/m ³	2300/m ³	2300/m ³	2300/m ³				100000~300000/式				
3	4000PSI 混凝土修補	3500/m ³	3500/m ³												
4	AC 路面刨除加鋪							300/m ²							
5	人工清除混凝土	500/m ³													
6	支承座更換								250000/個						
7	打穿處補筋,再以無收縮 水泥砂將澆補									4944/m ²					
8	油漆塗裝	3954/m ²									3954/m ²				
9	劣質混凝土鑿除,鋼筋除 鏽,再塗佈環氧樹脂									3000/m ²	3000/m ²				
10	吊索換新											4943/m			
11	角鋼伸縮縫更換(伸縮量												19000/m		
12	受損基樁混凝土清除					1500/個									
13	表面打毛,再塗佈環氧樹 脂砂漿	4000/m ²													
14	洩水孔清除													150~1100/個	
15	面層橘子皮部分清除,油 漆塗裝	1500/m ²													
16	基礎挖方														80/m ³
17	掉漆部份以油漆塗裝	2000/m ²													
18	排水設施阻塞清除													99/處	
20	清除混凝土塊	957/m ³													

3.3 單橋維護成本最佳化模式確立

3.3.1 研究方法及進行步驟

本章節將對橋梁風險分析流程做概述說明如圖3.10，在橋梁風險分析流程中，已於去年度完成步驟一橋梁維修機率，以及步驟二風險衝擊影響程度，本年度持續精進橋梁維修機率模擬，並採用現在調查案例驗證的方式修正橋梁維修機率。詳細內容見第四章。

在步驟二風險影響程度中，考量維修工法眾多且資料繁雜問題，故建立維修工法資料庫，將已經收集到的維修工法資料彙整置資料庫中，相關管理單位在未來使用資料庫時，方便修改或新增資料庫內容，保持維修工法資料庫的完成性與即時性。詳細內容見第五章。

步驟三為單橋維護成本最佳化，本年度預計分成二個部分完成，分別為共生生物演算法最佳化搜尋及單橋維護成本最佳化成果。

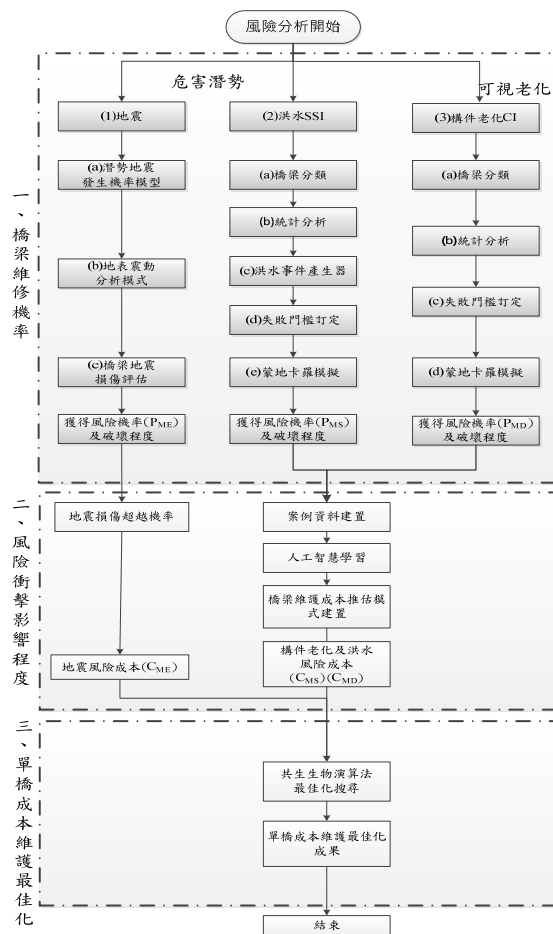


圖 3.10 風險分析流程

3.3.2 橋梁維修機率

橋梁檢測依使用的方法大致可以分為一般檢測及特別檢測兩種，因為臺灣屬於地震發生頻繁的地區而且河川坡陡流急，這兩項因素將造成橋梁嚴重損害，故以下除了整理出一般檢測的相關文獻外，在特別檢測部份對於橋梁的耐震檢測及沖刷檢測相關文獻加以論述。另外文獻蒐集的內容以檢測規範、檢測手冊、檢測相關研究報告、檢測資訊系統以及檢測表單等類別進行編排，整理結果如下表3-35和3-36及所示。

表 3-35 國內相關文獻列表(研究報告或書籍)

類別	檢測相關研究報告或書籍
耐震檢測	1.震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等，1999，行政院公共工程委員會) 2.公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(張國鎮等，2009，國家地震工程研究中心) 3.考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等，2010) 4.災時高效率高經濟行橋梁補強及檢核技術之研發(陳生金，2005，公路總局)
沖刷檢測	1.公路橋梁檢測評估(陳清泉等，1996) 2.訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究(王仲宇等，2010，交通部運輸研究所)
一般檢測	1.機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用(周健捷等，2000，內政部營建署) 2.橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等，2001) 3.應用無線技術於橋樑檢測管理之研究(饒珉蕊等，2002) 4.我國橋樑維護管理績效評估之探討(曾惠斌等，2002) 5.建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)(李有豐等，2002，交通部運輸研究所) 6.橋梁安全維護檢測手冊(草案)(王仲宇等，2002，交通部) 7.高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立(張耀文，2004) 8.橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例(延允中，2004) 9.臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究(楊振翰，2005) 10.橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政，2005) 11.拱橋與π型橋目視檢測評估方法之研究(廖家禎，2007) 12.橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等，2008) 13.台灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘等，2008) 14.應用透地雷達與超震波法於老舊橋樑橋墩基礎非破壞檢測(羅國峯等，2008) 15.橋梁的健康診斷(王仲宇，2009) 16.應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源，2008) 17.橋梁檢測方法與應用(中國土木水利工程學會，2010) 18.橋梁殘餘壽命與保全評估決策模式之研發(1/4)(交通部運輸研究所，2011)

表 3-36 國內相關文獻列表(規範、手冊與系統)

類別	檢測規範或手冊	檢測資訊系統
耐震檢測	1. 1067公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範(交通部，1997)	1. 橋梁地震損失評估系統 (TELES)
沖刷檢測	2. 國道高速公路局橋梁檢測作業要點 (交通部，2001)	1. 跨河橋梁安全預警系統
一般檢測	3. 公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範 (交通部，2008) 4. 鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範 (交通部，2010) 5. 公路養護手冊(交通部，2003)	1. 公路防救災決策支援系統 2. 臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)

3.3.2.1 橋梁維修機率-構件老化

可視老化中橋梁構件之狀況，會隨著時間的變化，但每年的狀況值是否為固定或是同時可能存在很多種狀況值，呈現在同一時間區段、類似的老化環境裡，同樣的橋梁構件可能存在著不同的狀況值。構件老化狀況隱含了相當多的不確定性，此不確定性使得橋梁的同一構件的狀態值，可能同時以不同的性能狀態表現出來，各種狀況值皆有可能存在的機率，以機率的觀念表示同一時期相同橋梁構件的性能表現比僅以單一狀態值表示較為合理，因此導入可靠度的觀念配合統計分析與機率理論合理解釋橋梁構件老化的狀態。建立步驟如下：

- 1.橋梁分類：將具相同老化狀況橋梁視為同類型橋梁(如：距海遠近、交通流量、結構型式等)，假設相同橋齡老化狀況類似。
- 2.統計分析：將同類型同橋齡橋梁CI(樣本資料數需大於30 筆)進行統計，將視為對數常態分佈，求出每一年度之平均值與標準差。
- 3.失敗門檻訂定：透過文獻、訪談或歷史資料找尋失敗門檻。
- 4.建立下降曲線：將每一年度橋齡轉換為可靠度指標後，即可透過統計迴歸建立下降曲線，即可推估未來橋梁CI值及維修發生機率。

3.3.2.2 橋梁維修機率-地震

此階段皆分為二部份介紹，分別為(a)潛勢地震發生機率模型；(b)地表震動分析模式；詳細步驟如下：

1. 潛勢地震發生機率模型

本部分研究主要參考文獻：國家地震工程研究中心(最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，2005)^[39]；依據報告書內容資料。本章節將以簡單的數學機率模型，建立臺灣地區一般性震源、活動斷層之潛勢地震發生機率模型，並依機率模型推估未來臺灣50年及100之地震發生次數與機率。

2. 地表震動分析模式

本部分研究之人造地震模擬地表加速度值，需考量距離衰減律與地盤場址分類，乃採用國立中央大學碩士論文(張毓文，2002)[40]之地表震動模式；將地震震央位置、規模與深度等參數為輸入，可做為全臺灣各區域測站之PGA、Sas及Sal為輸出，分析未來地震發生次數與規模，模擬未來50年及100年之三星橋與牛鬥橋梁因遠域地震發生所造成的結構耐震損失。

3.3.2.3 橋梁維修機率-洪水

根據橋梁管理系統TBMS歷年SSI調查記錄與水利署水位站監測記錄，統計分析找出各年度SSI下降值與當年對應之洪水重現期。洪水狀況隱含了相當多的不確定性，本研究根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件，如發生的洪水較小橋梁SSI值下降趨勢亦較為和緩。本階段導入可靠度的觀念配合統計分析與機率理論合理解釋橋梁受洪水影響的狀態。建立步驟如下：

- 1.橋梁分類：因橋梁所屬流域不同，所遭遇之洪水程度與頻率亦會有所差異，將依橋梁所屬流域分群進行研究評估。
- 2.統計分析：將橋梁流域在遭遇該洪水時SSI所下降分數，對應(水文資訊網，2012)洪水重現期資料，視為該橋梁遭遇洪水時所下降之分數。
- 3.洪水事件產生器：根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件
- 4.失敗門檻訂定：本研究根據各河系橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時SSI值為建議維修門檻。

3.3.3 風險衝擊影響程度

本研究將橋梁破壞後所花費維修成本達原設計水準90%視為衝擊影響程度。故本步驟將建立維修工法案例資料庫，即可找尋對應之維修工法並估算破壞所需維護經費，視為風險對公路管理單位所造成之衝擊影響。在使用人工智慧學習方式，模擬橋梁維修機率及造成的風險影響程度。再建置橋梁維護成本模式，推估未來橋梁可能發生破壞之機率，

又該破壞程度會造成的影響程度及所對應之維修成本。

3.3.3.1 人工智慧學習

本研究擬收集橋梁維護經費資料，藉由人工智慧推論模式找出案例資料中(日常巡檢表單)，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值(維修案例經費)之映射關係。因此可根據不同橋梁之D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

3.3.3.2 橋梁維護成本推估模式建置

對於橋梁壽齡偏低的橋梁，如能在適當的時機點維修，將於有限的經費下有效的提升橋梁的壽齡。不過當要評估的橋梁數量非常龐大時，所花費的時間與經費也很可觀，因此本研究希望應用ESIM，建立橋梁耐震能力診斷模式，利用此模式對影響橋梁維修經費的因子做出準確的判斷，降低橋梁維修成本及花費的時間。

3.3.3.3 地震損傷超越機率

主要針對橋梁未進行任何維護下之地震風險與壽命評估，決定特定震源下之地震事件(包含設定時間內之發生次數與大小)以進行損傷評估。本研究採用蒙地卡羅運算模擬設定時間內之地震事件以計算未進行任何維護下之損傷評估，表示為地震損傷狀態之超越機率。

3.3.3.4 地震風險成本

地震風險成本為此年度結構物受地震外力作用所造成可能之年損失金額，即為考量各程度之地震發生機率及其所造成之損失總和。參考ATC-13(1985)及HAZUS(FEMA(1997))之損害程度方法求取各損傷指標之超越機率及損害分級，可得各損傷分級之發生機率。將其乘上此損害分級之損害比，即為此損傷等級可能造成之年損失金額。

3.3.4 單橋維護成本最佳化

本研究採用了生物共生演算法(Symbiotic Organism Search, SOS)，是新式且具有強大功能的演算法，SOS透過模擬生物生存在生態系統中

並與其他生物共生的策略，用以模擬數值最佳化及解決工程上規劃與管理的問題。

共生生物演算法是以其他演算法為研究基礎，所發展出的演算法，SOS會在可搜尋空間中，不斷地迭代候選解，進而求得全域最佳解。在SOS演算法中，初始假設環境是一個生態系統，在這個生態系統搜尋空間中，會有一組隨機生成的生物群，其中，每一個生物代表一個對應問題的候選解，且每一個生物體在生態系統中也代表一組目標適應值，這個目標適應值會反映預期目標的適應程度。

臺灣位處地震帶及受季風氣候所影響，所以颱風與地震頻傳，造成橋梁飽受天然災害侵害。在地震方面之評估，地震會造成許多橋梁不同程度的損壞，尤其是早期老舊橋梁的耐震能力因損傷遞減，其殘餘能力更有不足之慮；另外，每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降和氣候變遷等因素，使得河水暴漲且水勢洶湧，造成橋墩、河床及橋台之基礎處被劇烈淘刷，特別對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，橋梁易受沖刷而導致損壞；海島型氣候使環境中充滿鋼筋腐蝕劣化的因子，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，嚴重造成政府財政的負擔；且在人為使用方面，亦有車輛超載問題。近年來，許多橋梁由於過去施工技術不足，加上施工品質未能嚴謹控制，造成未屆設計年限，卻面臨拆除或需花費龐大金額進行維修補強，對於政府日漸拮据之財務狀況，無疑是雪上加霜。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到堪慮，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫。如何評估現有橋梁之健康度，進而計算不同時間點進行維護之延壽與經濟效益是迫切的課題，詳細內容將於第六章說明。

第四章 橋梁維修機率

橋梁是由許多不同元件組成，各元件功能不一，受風險損傷狀況也不近相同，難以就橋梁整體進行風險評估。本研究考量風險因子包含：承載、地震、洪水及使用等。其中之承載及使用是屬於橋梁元件老化所造成之風險，故直接以元件老化視為其風險因子，加上地震及洪水等共三項風險因子。

本研究將風險類別分為可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)，其中可視老化中元件老化為風險因子，其風險指標為平時D.E.R.&U.檢測可得之狀況指標(CI, Condition Index)。潛勢危害部分可分為地震及洪水沖刷為主要原因，地震風險指標將使用考慮材料劣化影響之結構耐震容量(A_y 及 A_c)，並輔以蒙地卡羅模擬生命週期地震事件與受損結構性能修正模型以評估含累積損傷影響之風險。洪水沖刷採用現行SSI值作為風險指標，亦採用蒙地卡羅模擬洪水事件以進行風險評估。

故本階段將評估橋梁維修發生之機率，並分析各風險因子將對橋梁整體造成橋梁維修機率，以利計算危害機率將衝擊橋梁的程度，本步驟計算流程如圖4.1。

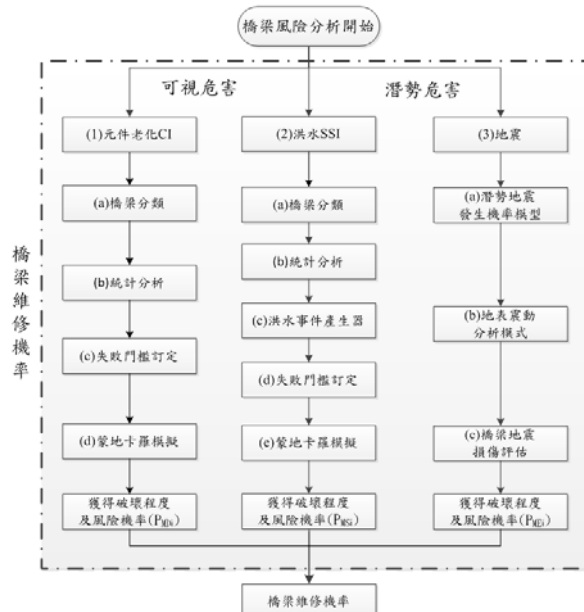


圖 4.1 橋梁維修機率流程圖

本研究風險因子共有三項：包含可視老化(元件老化)、潛勢危害(地震、洪水)。故本步驟將以元件老化、地震及洪水順序橋梁風險分析步驟說明，最後將得到橋梁5年、10年、15年、20年、25年及30年至100年之橋梁維修發生機率。

4.1 橋梁風險分析-元件老化

可視老化中橋梁元件之狀況，會隨著時間的變化，但每年的狀況值是否為固定或是同時可能存在很多種狀況值，呈現在同一時間區段、類似的老化環境裡，同樣的橋梁元件可能存在著不同的狀況值。元件老化狀況隱含了相當多的不確定性，此不確定性使得橋梁的同一元件的狀態值，可能同時以不同的性能狀態表現出來，各種狀況值皆有可能存在的機率，以機率的觀念表示同一時期相同橋梁元件的性能表現比僅以單一狀態值表示較為合理，因此導入可靠度的觀念配合統計分析與機率理論合理解釋橋梁元件老化的狀態。建立步驟如下：

- 1.橋梁分類：將具相同老化狀況橋梁視為同類型橋梁(如：距海遠近、交通流量、結構型式等)，假設相同橋齡老化狀況類似。
- 2.統計分析：將同類型同橋齡橋梁 CI(樣本資料數需大於 30 筆)進行統計，將視為對數常態分佈，求出每一年度之平均值與標準差。
- 3.失敗門檻訂定：透過文獻、訪談或歷史資料找尋失敗門檻。
- 4.建立下降曲線：將每一年度橋齡轉換為可靠度指標後，即可透過統計迴歸建立下降曲線，如圖 4.2所示，即可推估未來橋梁 CI 值及維修發生機率。

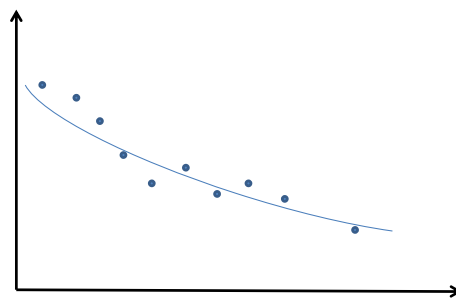


圖 4.2 橋梁 CI 下降曲線

4.1.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海岸距離)

本研究將影響可視老化之因素(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)作為分群之依據，收集整理台灣橋梁管理系統中歷年調查結果如表4-1所示。

表 4-1橋梁分組分布表

橋型	數量
桁架橋	63
矩形箱涵	187
斜張橋	62
梁式橋	31778
箱型橋	1201
簡支梁	130
π 橋	115
版橋	8319
拱橋	289
剛架橋	243

本研究將以梁式橋為例，進行步驟說明，其橋梁資料分組數量如下表4-2所示。

表 4-2 梁式橋調查資料筆數

距海(m) 車流量(次/日)	<300	300~1,000	1,000~3,000	>3,000
<6000	127	75	151	798
6000~12000	5	15	3	39
>12000	0	0	0	10

4.1.2 統計分析(CI與橋齡)

根據檢測歷史資料，依不同分組橋梁(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)之檢測結果，將每座橋的橋齡(X軸)與CI(Y軸)資料匯成圖，如圖4.3所示。根據迴歸分析找出橋梁橋齡與CI之關係式，進一步求得各橋CI之下降斜率。

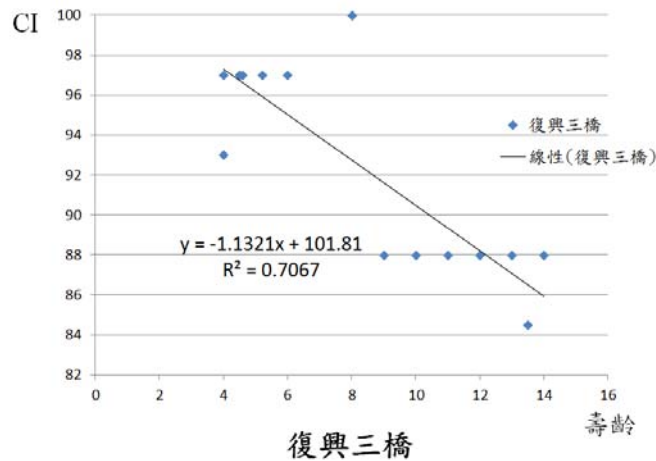


圖 4.3 以梁式橋-復興三橋為例

並以同組橋梁進行統計分析，找出該組橋梁的平均值與變異數，如下表4-3所示。

表 4-3 相關參數表(以梁式橋為例)

橋型	距海遠近 (m)	車流量(次/日)	平均值	變異數
梁式橋	<300	<6000	0.230	0.047
	<300	6000~12000	0.056	0.001
	<300	>12000	0.405	0.000
	300~1000	<6000	0.229	0.094
	300~1000	6000~12000	0.060	0.001
	300~1000	>12000	0.405	0.000
	1000~3000	<6000	0.201	0.096
	1000~3000	6000~12000	0.048	0.001
	1000~3000	>12000	0.405	0.000
	>3000	<6000	0.275	0.552
	>3000	6000~12000	0.242	0.053
	>3000	>12000	0.284	0.048

4.1.3 維修門檻訂定

本研究根據各類型橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時CI為建議維修門檻，經過統計各橋梁的維修時機點皆不同，因此本研究以CI值75至90分作為維修門檻值搜尋範圍分別計算，報告中以梁式橋梁維修門檻75分為例。

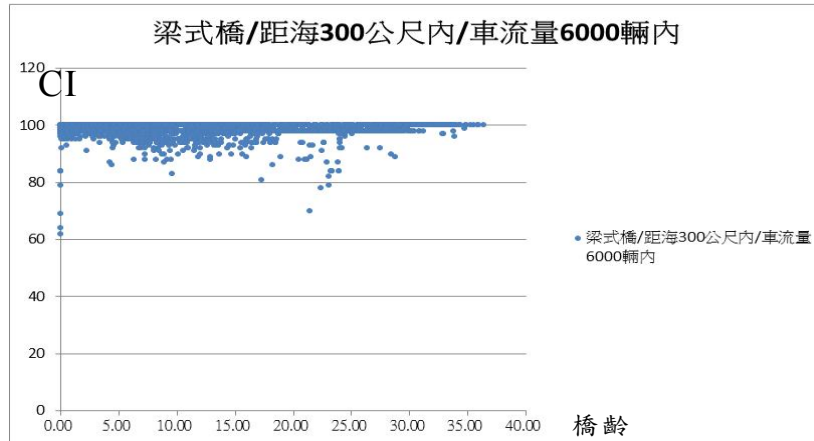


圖 4.4 以距海 300 公尺內車流量 6000 輛內(梁式橋)為例

4.1.4 可靠度指標

綜合上述統計結果做為蒙地卡羅模擬之輸入圖4.5，以模擬10000次方式，找出橋梁於未來各時間點CI小於門檻值之機率，即為橋梁因可視老化所造成之維修機率。節錄計算結果如表4-4所示。

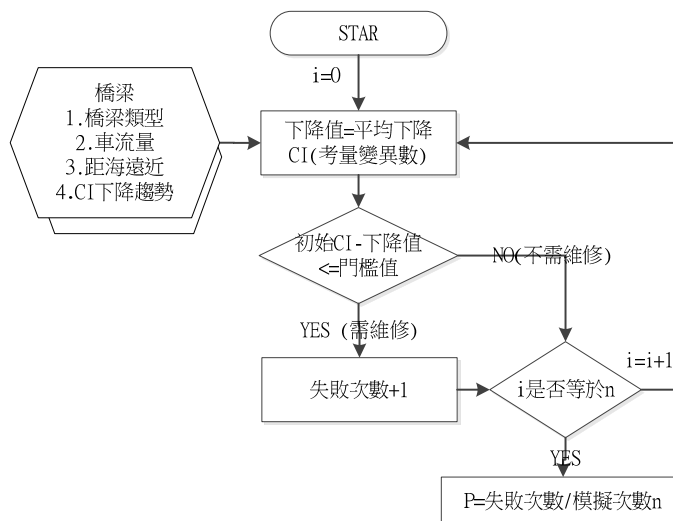


圖 4.5 元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖

表 4-4 元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率(%)
A01-0020-098A	一區	景美	臺北縣	貢寮	0
A01-005A-006A	一區	景美	臺北縣	汐止	7.97
A01-0050-017B	一區	景美	臺北縣	汐止	38.83
A01-0050-016A	一區	景美	臺北縣	汐止	14.51
A01-0020-026A	一區	景美	臺北縣	石門	0
A01-0050-017A	一區	景美	臺北縣	汐止	36.69

•
•

A01-0020-052A	一區	景美	臺北縣	萬里	0
A01-0020-075A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0
A01-0020-076A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0

4.2 橋梁耐震可靠度分析

地震部分參考交通部運輸研究所之橋梁通阻跨河橋梁分析模型^[37]，此階段皆分為二部份介紹，分別為(a)潛勢地震發生機率模型；(b)地表震動分析模式；(c)橋梁地震損傷評估。詳細步驟如下：

1. 潛勢地震發生機率模型

本研究主要參考文獻：國家地震工程研究中心(最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，2005)^[39]，依據報告書內容資料。本章節將以簡單的數學機率模型，建立臺灣地區一般性震源、活動斷層之潛勢地震發生機率模型，並依機率模型推估未來臺灣100年之地震發生次數與機率。圖4.6為此模型研究流程，對於潛勢地震發生機率模型將依循此流程進行研究。

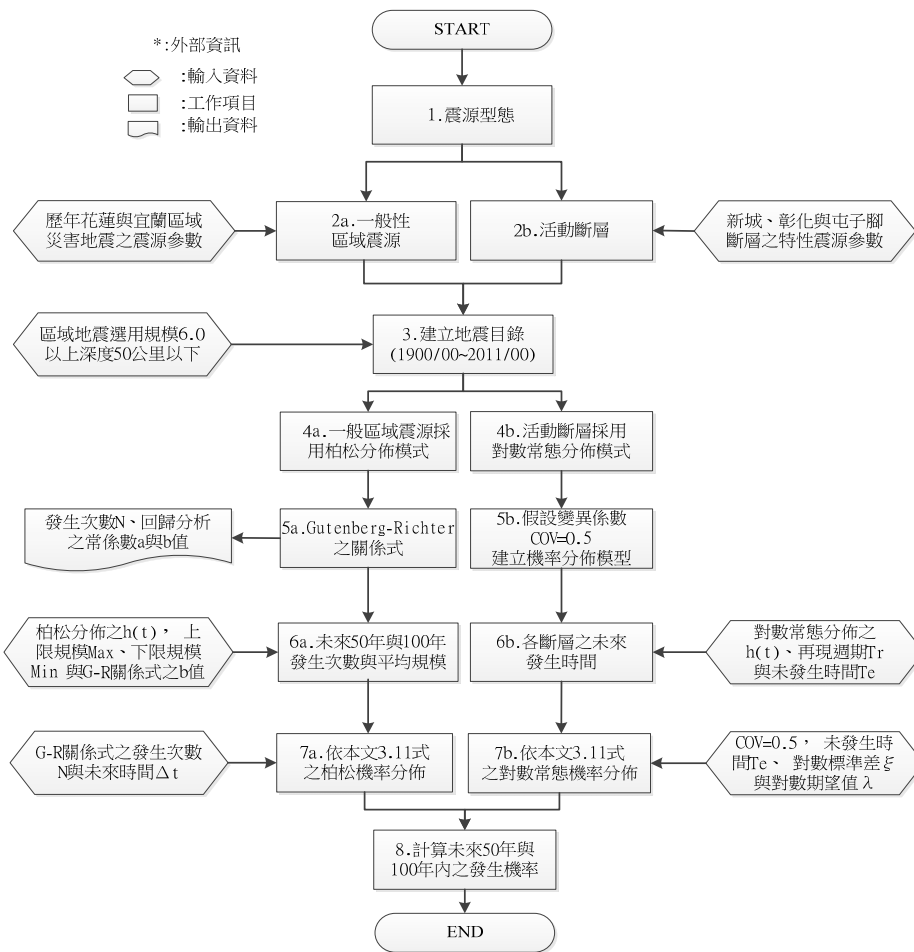


圖 4.6 潛勢地震發生機率模型之流程圖

4.2.1 震源型態之介紹

震源型態地震發生，主要是因為地層斷裂或滑移，然而，在地震危害潛勢評估上，仍可以將地震震源概分為活動斷層地震及區域地震。斷層震源是指地震時地層斷裂面延伸至地表；在地表留下錯動的痕跡，可稱為斷層線，臺灣地區將第一類活動斷層即屬於此類震源地震，當此類斷層地震發生時；造成地震規模較大且災情較為嚴重。區域震源則是指地震時因為震源深度較深或地震規模較小，使得地層斷裂面隱於地下無法延伸至地表，一般所稱的盲斷層，所有不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源，此類地震較為頻繁且規模一般較小。本研究依震源型態選取可能對臺北盆地造成危害之區域地震與活動斷層，而求取震源參數進行分析數據，是依據文獻^[14]首先需建立之

參數如下所列：

1. 該震源區地震目錄之確定。
2. 震源幾何形貌(斷層位態、斷層破裂長度與深度)
3. 評估各地震規模的發生率。

4.2.2 建立地震目錄及研究對象

根據中央氣象局所一百餘年的地震紀錄(1900年-2011年的地震參數)，可掌握臺灣各區域地震；發生之地震次數、年份時間、地震歷時及規模等，即可依地震特性建立地震目錄。而本研究因考量遠域強震震波經傳遞過程，一般而言，造成結構危害的地震規模為6.0，故將研究之地震規模區間選取在 $6.0 \leq ML \leq 8.0$ ；決定規模區間後，依據文獻^[14]，將歷史區域地震資料進行篩選以建立本研究的區域地震目錄：

1. 一般工程震源深度為 35 公里，為考慮震源定位可能的誤差，故將深度篩選條件取至 50 公里。
2. 移除各地震相關之前、餘震資料，以符合地震於時間序列上之獨立性，對於前、餘震之處理，乃根據發生時間順序及時間間隔作為判斷條件。
3. 1936 年前在地震測量儀器不發達的時代，僅能用地震災害範圍來判定可能之規模、深度及發震時間、位置，對於同一筆地震會有不同的參數定義。此狀況於目錄中需予以篩選並剔除。

建立區域地震目錄，依據一般區域震源型態之地震特性，可藉由(Gutenberg and Richter, 1944)年提出之地震規模與再現頻率關係式(簡稱：G-R關係式)，以呈現該區域之地震特性。一般形式為式(4.1)：

$$\log N(m) = a - bm, m_0 \leq m \leq m_u \dots \dots \dots (4.1)$$

式中：

m：地震規模；本研究以芮氏規模為主

N(m)：地震規模大於等於m之地震發生次數

a及b 為常係數可由回歸分析而得，a值為該區域地震發生的頻率、b值為該區域地震規模的大小

(4.1)式有一上、下限規模（ μ ， m_0 ）之範圍，取決方式於工程考量或地震紀錄。

4.2.3 平均規模與未來地震發生次數之公式

根據(V. K. Gupta and V. Srimahavishnu, 2006)未來地震發生次數之公式；主要是依各機率分佈模型之風險函數推算求得，而對於風險函數的影響參數；主要依該區域之地震發生頻率、時間長度、等待時間及預設未來時間等相關參數，計算公式可遵循依此式(4.2)：

$$N_l(T_0 + Y | T_0) = \int_{T_0}^{T_0 + Y} h_l(\tau) d\tau \dots\dots\dots (4.2)$$

式中：

N_l ：未來發生的次數

T_0 ：上次地震發生後至今尚未發生地震之等待時間

Y ：預設的未來數年的時間

$h_l(\tau)$ ：機率模型之風險函數。

對於未來平均規模求取方法，可經由各區域地震建立的地震目錄，依式(4.1)之G-R關係式運算回歸b值，並依照本研究選取規模區間 $6 \leq ML \leq 8$ 中不同的地震規模大小，以求算出不同規模發生機率密度函數與累積機率，並依公式i之順序決定未來平均規模大小。本研究對於未來100年之宜蘭ZS01與花蓮ZS02；經由式(4.3)-式(4.6)可計算宜蘭ZS01與花蓮ZS02區域之平均規模與次數，下式為(V. K. Gupta and V. Srimahavishnu, 2006)未來發生平均規模公式：

$$p(m) = b \ln 10 \frac{10^{-b(m-M_{min})}}{1-10^{-b(M_{max}-M_{min})}} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$F(m) = \frac{10^{-b(m-M_{min})} - 10^{-b(M_{max}-M_{min})}}{1 - 10^{-b(M_{max}-M_{min})}} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$p_i(m) = \frac{N_i!}{(N_i - i)!(i - 1)!} [F(m)]^{i-1} [1 - F(m)]^{N_i-i} p(m) \dots\dots\dots (4.5)$$

$$E[M_i] = \int_{M_{min}}^{M_{ax}} m p_i(m) dm \dots\dots\dots (4.6)$$

式中：

b值：G-R關係式之回歸參數

m：地震規模，Mmax及Mmin：為本研究決定之上及下限規模

N_i ：未來發生的次數

i：未來平均規模順序由大至小；(例：i=1,2,3...N，當i=1時為最大平均規模、i=2為次大平均規模以此類推，依表4-5至表表4-6所示)

E[M_i]：平均規模；規模大小依i決定。

表 4-5 為宜蘭 ZS01，未來 100 年地震計算結果發生次數為 20 次

M _L 1	M _L 2	M _L 3	M _L 4	M _L 5	M _L 6	M _L 7	M _L 8	M _L 9	M _L 10
7.4	7.1	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3
M _L 11	M _L 12	M _L 13	M _L 14	M _L 15	M _L 16	M _L 17	M _L 18	M _L 19	M _L 20
6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0

表 4-6 為花蓮 ZS02，未來 100 年地震計算結果發生次數為 24 次

M _L 1	M _L 2	M _L 3	M _L 4	M _L 5	M _L 6	M _L 7	M _L 8
7.4	7.1	7.0	6.8	6.7	6.6	6.6	6.5
M _L 9	M _L 10	M _L 11	M _L 12	M _L 13	M _L 14	M _L 15	M _L 16
6.5	6.4	6.4	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2
M _L 17	M _L 18	M _L 19	M _L 20	M _L 21	M _L 22	M _L 23	M _L 24
6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0

4.2.3.1 柏松與對數常態分佈之風險函數

風險函數的定義為地震在一段時間 t 內未發生地震，故在 $t+\Delta t$ 時間內可能發生地震的機率，故稱此機率為風險函數。而本研究區域地震所採用柏松模式之發生率，就物理意義來說意味著一個地震的發散的能量並不影響下一個地震系列的時間，因此其過程並不符合地震的回彈理論(Elastic Rebound Theory)。區域地震發生次數頻繁可視為符合穩態柏松分佈(Stationary Poisson Distribution)且與時間無關，穩態柏松過程主要假設地震發生之風險函數(Hazard Function)為一定值，故柏松之風險函數(Hazard Function)，(簡稱： $h(t)$)可推導式(4.7)：

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{k!} \\ F(t) &= \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\lambda t} \\ h(t) &= \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1 - (1 - e^{-\lambda t})} = \lambda \end{aligned} \dots\dots\dots (4.7)$$

式中：

$f(t)$ ：機率密度函數(簡稱：PDF)，依柏松特性假設短時間 Δt 發生兩次事件的機率可忽略

k ：為短時間 Δt 發生事件($k=1$)

λ ：單位時間或空間內之地震平均發生率

$F(t)$ ：累積函數為 $f(t)$ 之積分(簡稱：CDF)

$h(t)$ ：風險函數(Hazard Function)，推算結果柏松的風險函數等於 λ 。

4.2.3.2 臺灣未來100年之地震發生機率

本研究推算未來100年發生機率，採用未來發生機率之模式採文獻^[37]：為穩態的柏松模式(Stationary Poisson Model)，。穩態柏松模式乃假設每個地震的發生機率在靜待時間(Elapse Time)內都是獨立發生的，因此在未來 Δt 年內，發生機率計算如下式(4.8)

$$P = 1 - \exp(-r\Delta t) = 1 - \exp(-N) \dots\dots\dots (4.8)$$

式4.8中

r ：特定規模下的發生率(為再現週期的倒數)

N ：在 Δt 年內同樣地震可能的發生次數。宜蘭ZS01與花蓮ZS02未來100年地震發生機率可依表4-7至表4-8所示。

表 4-7 宜蘭 ZS01 區域地震未來 100 年發生機率

M_L	r	Δt	發生機率(%)
6.0	0.183	100	100.000
6.1	0.147	100	100.000
6.2	0.118	100	99.999
6.3	0.095	100	99.992
6.4	0.076	100	99.950
6.5	0.061	100	99.776
6.6	0.05	100	99.253
6.7	0.039	100	98.035
6.8	0.032	100	95.729
6.9	0.025	100	92.038
7.0	0.020	100	86.875
7.1	0.016	100	80.398
7.2	0.013	100	72.955
7.3	0.010	100	64.984
7.4	0.008	100	56.919
7.5	0.007	100	49.122

表 4-8 花蓮 ZS02 區域地震未來 100 年發生機率

M_L	r	Δt	發生機率(%)
6.0	0.276	100	100.000
6.1	0.219	100	100.000
6.2	0.174	100	100.000
6.3	0.138	100	100.000
6.4	0.110	100	99.998
6.5	0.087	100	99.984
6.6	0.069	100	99.901
6.7	0.055	100	99.588
6.8	0.044	100	98.722
6.9	0.035	100	96.862
7.0	0.027	100	93.595
7.1	0.022	100	88.714
7.2	0.017	100	82.306
7.3	0.014	100	74.716
7.4	0.011	100	66.432
7.5	0.009	100	57.962

4.2.4 地表震動模式介紹

4.2.4.1 地表震動模式之測站點位

臺灣地質構造複雜，震源傳遞過程經由地形、地層與地質構造影響差異極大，可能會影響地震波的振幅、頻譜等特性。[11]資料收集使用中央氣象局自由場強地動觀測網(TSMIP)之強震紀錄，根據氣象局測站名稱編號將全省測站分為七區，涵蓋範圍包括臺北地區(TAP)、臺中地區(TCU)、嘉南地區(CHY)、高屏地區(KAU)、臺東地區(TTN)、花蓮地區(HWA)及宜蘭地區(ILA)，除中央山脈外，各測站平均間距約為5公里，並加入了中央研究院地球科學研究所之山區強震站(簡稱:CMA)的強震紀錄。依圖4.7所示，為中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖[11]三角形△符號表示臺灣自由場強地動觀測網之測站分佈位置，正方形□符號表示中央研究院山區強震站之測站分佈位置。

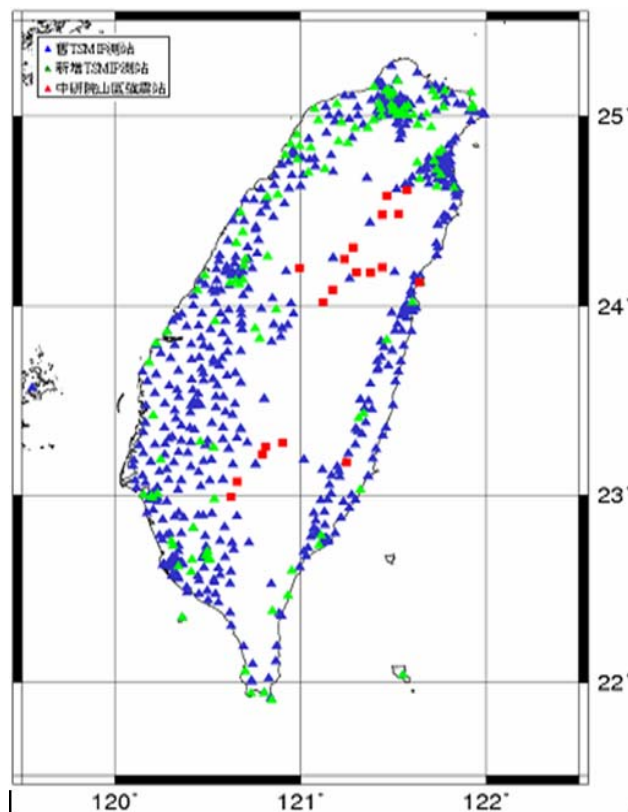


圖 4.7 中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖

資料來源：張毓文，2002^[40]

4.2.4.2 地表震動模式之場址分類

場址的分類主要依測站的地質狀況及其土層的剪力波速而定，美國加州地區所採用的建築技術規範(ICBO，1991)將地盤分為S1、S2、S3、S4 四類。另外在工程方面有研究依據(Lee et al，2001)以綜合地質、工程鑽探資料及標準貫入試驗之N值和頻譜分析等方法將全臺灣自由場強震站的場址分為B、C、D、E四類。(蔡璧孺，2007)利用氣象局已完成調查的266個強震站址鑽探資料、中央地質調查所GEO2000工程地質資料庫及其他蒐集到的工程地質資料，依據剪力波速度量測V30進行場址分類；如圖4.8所示。

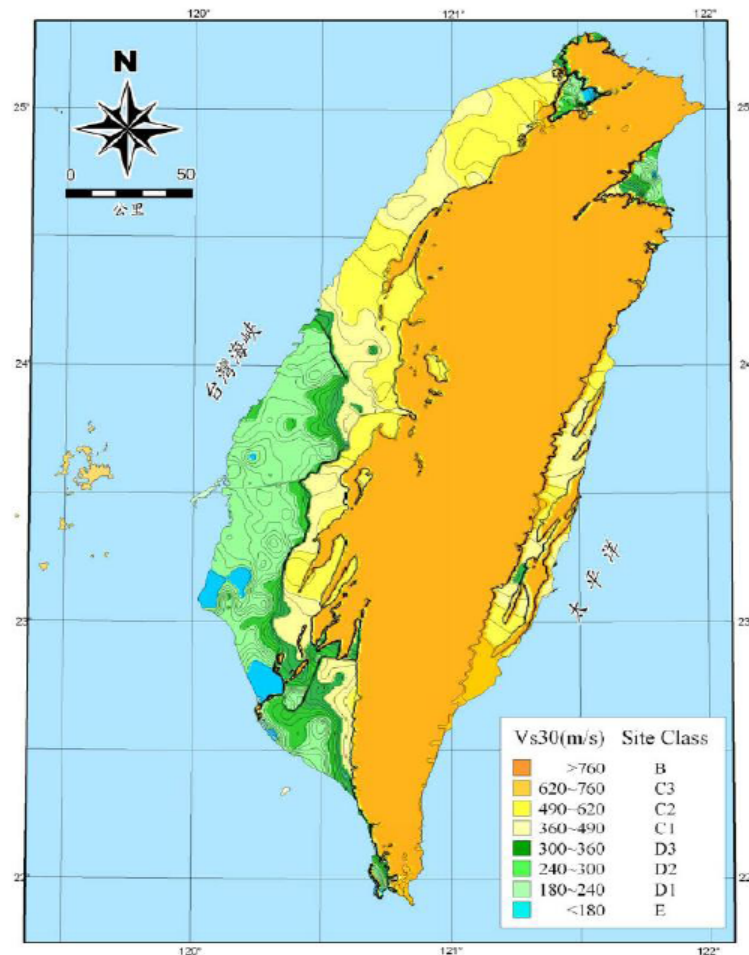


圖 4.8 剪力波速度量測 V30 進行場址分類

資料來源:蔡璧孺(2007)所畫出全臺灣 VS30 分佈等值線圖

4.2.4.3 地表震動模式之地震參數選取

(簡文郁，2001)所使用的地震資料主要是針對芮式規模5.0以上及震源深度35公里以內，對工程結構物較有危害的地震。並且排除臺北盆地(Wen et al, 1998)及宜蘭盆地有明顯場址放大效應的測站紀錄為原則進行挑選，選取的條件如下：

1. 選取芮式規模5.0~7.5的地震，其中包含集集主震及其餘震。
2. 震源深度在35公里以內。
3. 採用符合上述條件地震所觸發的測站歷時紀錄，包含全部即時站地震紀錄及25公里以內的自由場強震站地震紀錄，以避免回歸分析時權重不一的現象。
4. 使用地震紀錄中兩水平方向(EW, NS)地表最大加速度值的幾何平均值來進行回歸分析，求得參考衰減公式之係數。
5. 在進行分析時，為了避免進行分析時有過大的誤差，故先排除有明顯場址放大效應的臺北盆地與宜蘭盆地的測站紀錄，來取得精確度較佳的衰減模式。

最後選取符合條件的59個地震，在進行回歸分析時使用了所有速報系統即時站的紀錄。由於強震網測站設置大多都設置在人口集中的都會區，導致在某些設站密集的都會區會有相當多的地震資料，這種現象會在分析時造成權重不一的情形，因此加入了在地理上分佈較均勻的速報站的地震紀錄，來避免這種情形發生。而本研究將會先探討此地表震動衰減模式之精確度，再依據可能之誤差來源採用較合理的測站區域做為人工地震模擬。

4.2.5 衰減模式與場址特性

衰減原理，簡易來說就是地表震動會隨距離增加而衰減，但地震波從震源傳遞到接收測站之間的過程卻十分複雜，涉及諸多變數，即接收測站所收到的地動值受到震源、路徑以及場址效應的影響。當地震規模越大時，地表震動強度越強，而衰減模式較為緩慢；反之，規

模小地震，能量消逝較快速。而場址效應參考之衰減模式，採用地表下30公尺剪力波速之平均值為分類之依據，並分為軟弱地盤及岩盤的衰減模式，由於衰減公式是使用所有測站的平均場址特性，只適用於一般性地盤，因此在岩盤地區其地動預測值可能會有高估的情形，反之沖積層會低估。

場址特性，一般而言，位於沖積層的測站所記錄到的振幅值會比位於岩盤的測站所記錄到的振幅值高。(溫和葉，1986)研究SMART-1陣列所記錄三大地震指出：沖積層測站的主要共振頻率較岩盤為低，且振幅較大。地震紀錄，發現到位於沖積層的測站收到的水平最大加速度與速度值，跟位於岩盤的測站紀錄相比，分別大了二到三倍，此差異間接影響到衰減模式對於地震危害度評估的準確性。^[25]使用不同顏色的實線來代表規模4.0~7.0的衰減曲線，依圖4.9所示，由不同規模的實測值分佈顯示，在岩盤測站隨規模越大，地震紀錄偏差的現象越大，也就是說，Campbell的衰減區線在規模愈大時地表加速度會越大，但依衰減模式是平均各測站場址特性；因此預測值會有偏低的現象，同樣地，在沖積層的衰減曲線也有低估的情形出現。

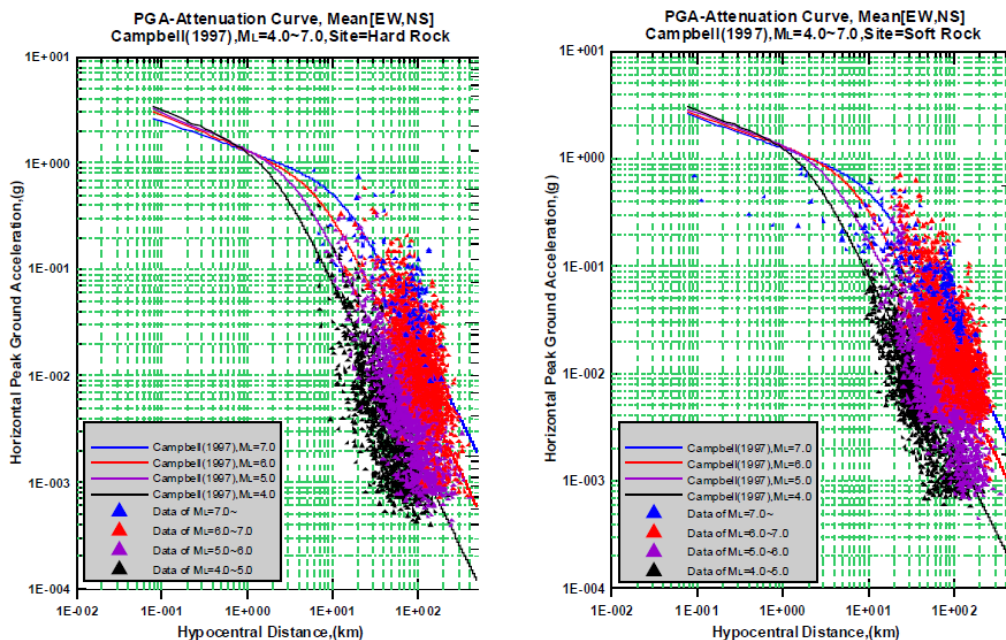


圖 4.9 臺灣規模 4.0-7.0 之地震記錄與(Campbell, 1997) 衰減曲線之關係

資料來源：張毓文，2002^[40]

4.2.5.1 衰減模式及場址特性修正

^[10]在參考衰減模式方面，係採用 (Chien, 2001)，於規模5.0以上之地震，表現在岩盤衰減較緩慢的現象，故選用其為參考且較適用於臺灣地區的衰減模式。而採用分析模式為Chien對(Campbell, 1981)之衰減模式迴歸分析如下式(4.9)：

$$\text{PGA}(g)=f(M,R)=b_1 e^{b_2 M} [R+b_4 \exp(b_5 M)]^{-b_3} \dots\dots\dots (4.9)$$

式中， $b_1 \sim b_5$ 為常係數可由回歸分析求得；PGA：震度強度值；M：芮氏規模；R：場址到斷層線最短距離。衰減律分析資料庫包括921主震及餘震資料。除了921主震採用地表斷層距離外，其餘地震均採用震源距離。

第一階段，利用上式參考之衰減模式得到各測站預測初步之PGA值，由於其分析時並未對測站場址特性加以分類，因此所得結果為一般性場址適用。而第二階段分析時，則將其對各測站實際觀測值的系統偏差量作校正分析。將第一階段參考之衰減模式的預估結果與實測值作迴歸分析；由迴歸分析可得到各測站的場址修正係數 C_0 及 C_1 值。其間之關係式為式(4.10)：

$$\ln(Y_0) = C_0 + C_1 \times \ln(Y_a) \dots\dots\dots (4.10)$$

式中， Y_a ：參考衰減模式的預測值； Y_0 ：實測地震動值； C_0 及 C_1 ：各測站之場址修正係數。

4.2.6 地表震動模擬與真實災害地震之驗證

4.2.6.1 地表震動衰減模式

根據地表震動衰減模式^[10]，對於地震模擬進行測試，此測試^[37]對於地震模擬器程式所需要輸入資料條件：震央經緯度座標、震源深度(Km)、地震規模等參數，而地震模擬器模式測試過程，需考量震源效應(Source Effect)、地震波傳遞的路徑效應(Path Effect)及局部地質特性所引起的場址效應(Site Effect)。依據地震模擬器程式分佈全臺灣的地動強度參數PGA，評估程式是否符合該研究探討衰減模式與場址放效

應，而(詹皓凱，2008)^[41]之第一階段測試結果只參考地震動衰減律與實測值的全臺灣地表加速度，比較結果如圖4.10所示；(a)為九二一發生時測站實值與(b)為只考慮衰減模式未加入場址效應之模擬PGA。

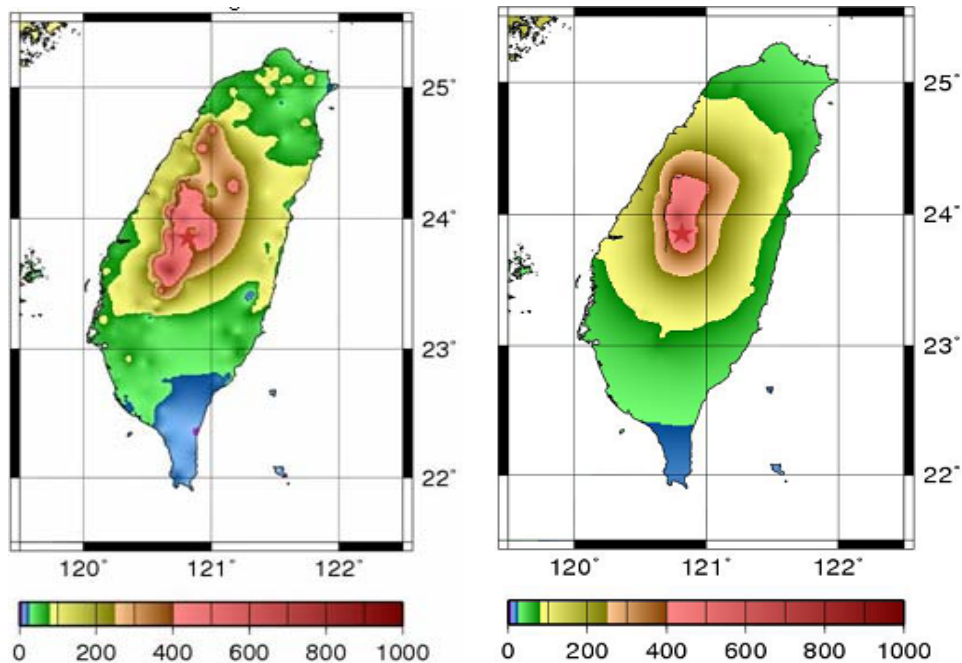


圖 4.10 為集集地震的(a)實測值與(b)衰減模式預測值 PGA 分佈

資料來源:詹皓凱，2008

4.2.6.2 地表震動衰減模式之場址修正

^[14]於第二階段測試中在衰減模式中加入場址效應考量，新增 TSMIP 與 CMA 測站的場址特性。而使用兩階段步驟對各測站之場址效應進行分析，來得到更可靠的場址修正函數。針對新增之 TSMIP 與 CMA 測站的正規化誤差殘值，故於分析場址特性時，採用即時站地震紀錄及自由場強震站之地震紀錄，在資料的選取分析上增加了芮氏規模 5.0 以上的地震資料來增強分析之準確性，依圖 4.11 所示，經由場址函數修正過後的二階段預測結果明顯的更接近實際觀測值，得到較為可靠的預測結果。由此可知，測站之場址特性對衰減模式造成的影響，可藉由測站之場址函數修正其場址效應，來降低其系統的標準偏差，提升系統之準確性來得到更加可靠之預測結果。

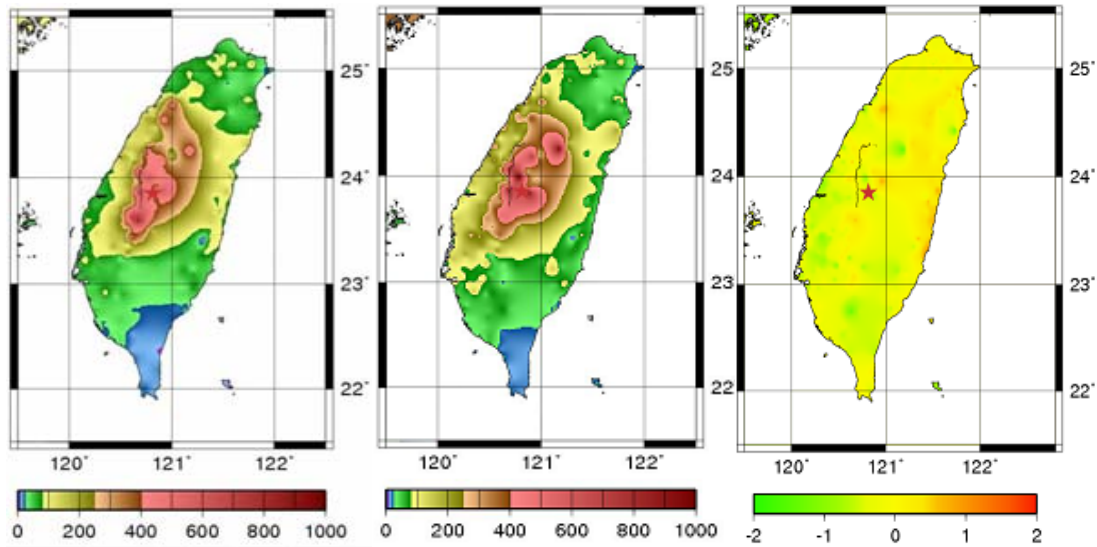


圖 4.11 修正函數校正後的預測與其觀測值之誤差殘值分佈

資料來源:詹皓凱, 2008^[41]

4.2.6.3 整合評估資料

張毓文(2002)^[40]研究地表震動模式之研究與修正結果，而修正後地表震動模式之模擬較符合臺灣地盤效應之PGA值。本研究將歷年地震(集集地震、花蓮地震及嘉義地震)震源特性資料輸入，分析全臺之最大地表加速度PGA值為輸出，在依據中央氣象局地震測站之量測真實值加以比較，其測試結果依圖4.12至圖4.14所示(實現為實測值與虛線為預測值)。可觀察地震模擬結果與測站量測真實PGA值趨勢相近，但地表震動模式之模擬PGA；有些區域尚有局部誤差值較高或低的情形，本研究會加以評估若有不合理之震度參數將不取用，而造成此誤差來源可歸類有三點：

1. 迴歸誤差：是採用多數歷年地震迴歸分析而非單一地震特性，所以會有所誤差。
2. 場址資料不完整：由於中央氣象局測站多集中架設於都會區屬於沖積層，使得場址特性並無完整的參考資料。
3. 衰減曲線之限制：由於參考的衰減曲線之場址特性，只適用於第二類場址及第三類場址，故場址效應在第一類及第四類會有所誤差。

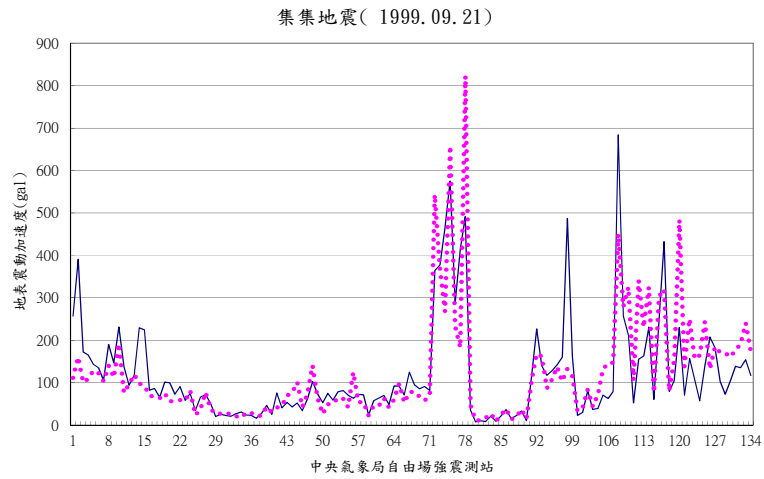


圖 4.12 臺灣歷年大地震:集集地震之實測值與預測值比較

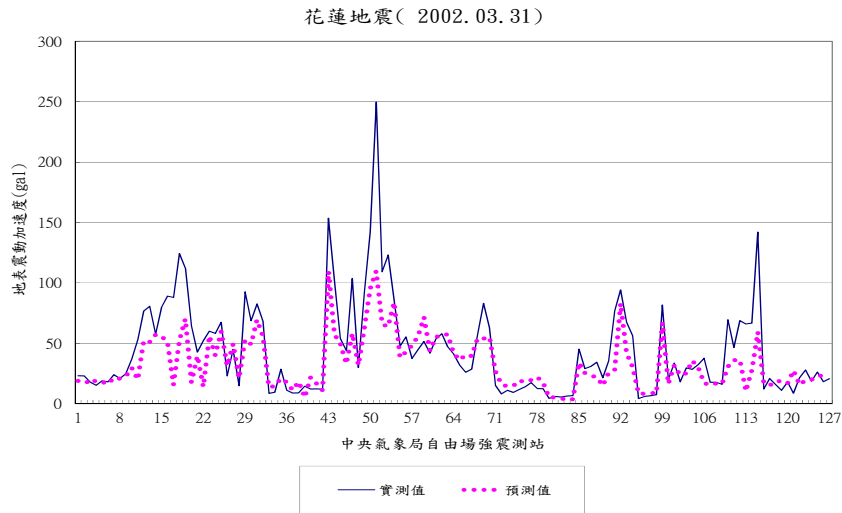


圖 4.13 臺灣歷年大地震:花蓮地震之實測值與預測值比較

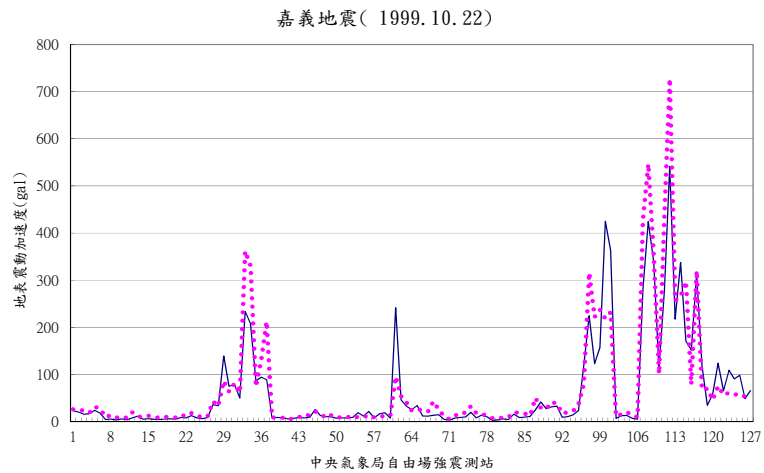


圖 4.14 臺灣歷年大地震:嘉義地震之實測值與預測值比較

1. 橋梁地震損傷評估

本章將採用交通部運輸研究所之橋梁通阻跨河橋梁分析模型^[2]，依側推分析(Pushover)所得之等值單自由度結構特性參數，並利用武田模式(Takeda model)進行橋梁之非線性動力分析。依橋梁所在位置之劣化影響及考慮100年之可能遭遇地震以計算其地震損傷指標，分析流程可參考圖4.15所示。此外，本研究以牛鬥橋(宜蘭)和三星橋(宜蘭)為例，進行其地震損傷與風險評估。

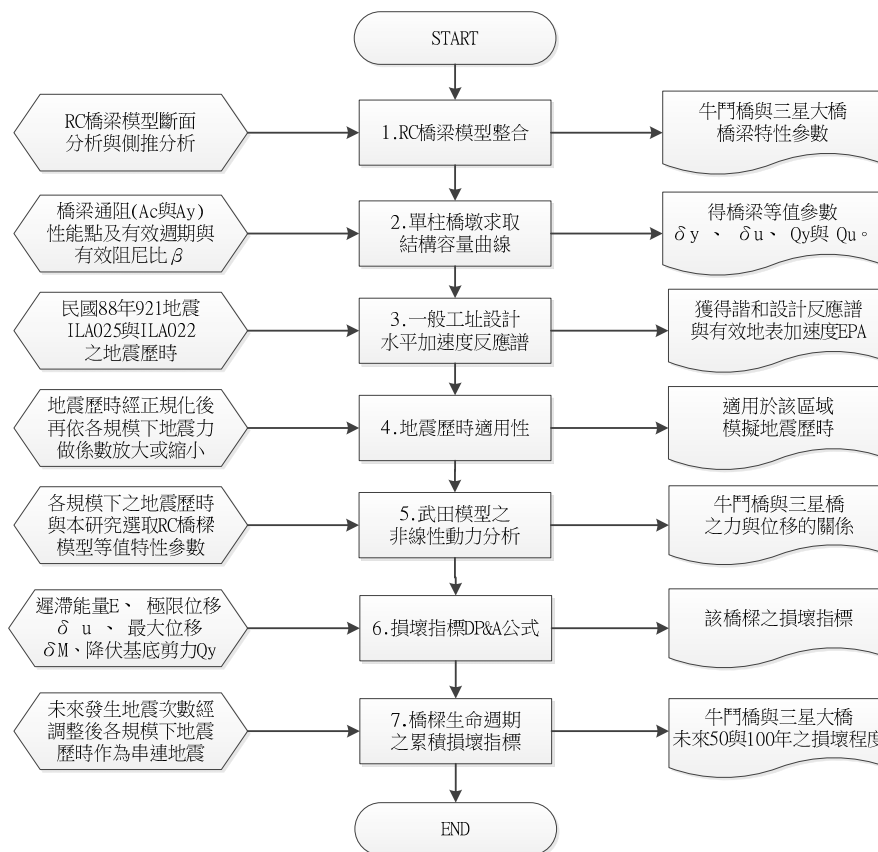


圖 4.15 橋梁地震損傷評估流程圖

4.2.7 性能曲線與容量震譜

當橋梁進行側推分析(Pushover)時之力與位移的關係曲線，稱為結構容量曲線；可代表該橋梁結構抵抗外力之能力，SAP2000程式可將結構之性能曲線(Performance curve, P- Δ 關係曲線)經ATC-40轉換為其結構容量震譜(Capacity spectrum; Sd-Sa關係曲線)，並依據該區域所對應之耐震規範設計反應譜，可稱為該區地震需求譜，而結構容量曲線

譜與規範設計下之需求譜所交會的點，即性能點(Performance point)，在工程實務上性能點為表示該結構物之耐震能力重要指標，而性能點 A_y 為降伏地表加速度與 A_c 為崩塌地表加速。換言之，亦可依現有之 A_y 及 A_c 推求其結構容量震譜，以定義其等值單自由度下之結構特性參數。

由已知之 A_y 及 A_c 性能點推求結構之容量震譜時，須先求取該區之設計地震水平加速度反應譜；以一般工址為例，依橋梁所在位置可依耐震設計規範查詢該區域之震區短週期與一秒週期水平譜加速度係數 S_F^D 、 S_1^D ，並依地盤類別(依剪力波速度進行分類)求取其對應之反應譜等速度段及等加速度段工址放大係數 F_v 、 F_a ，如此可推算其工址短週期與一秒週期之設計地震水平譜加速度係數 S_{DS} 、 S_{D1} 與轉角週期 T_0^D ，如式(4.11)-(4.13)。另外，若橋梁工址臨近第一類活動斷層則須依考慮近斷層調整因子，以修正其譜加速度係數。

$$S_{DS} = F_a S_S^D \dots\dots\dots (4.11)$$

$$S_{D1} = F_v S_1^D \dots\dots\dots (4.12)$$

$$T_0^D = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (4.13)$$

依橋梁等值單自由度基本振動週期 T 與其工址轉角週期，參照耐震計畫規範以決定其反應譜所屬週期區段。若基本振動週期小於工址轉角週期，則本研究假設該座橋梁屬等加速度反應段，而其降伏譜加速度 S_{ay} 則為 $2.5A_y$ ；若基本振動週期大於工址轉角週期，則本研究假設該座橋梁屬等速度反應段，而其降伏譜加速度則須依式(4.14)計算。

$$S_{ad} = \begin{cases} S_{DS} (0.4 + 3T / T_0^D) & ; T \leq 0.2T_0^D \\ S_{DS} & ; 0.2T_0^D \leq T \leq T_0^D \\ S_{D1} / T & ; T > T_0^D \end{cases} \dots\dots\dots (4.13)$$

$$S_{ay} = 2.5 \times A_y \times (T_0^D) / T \dots\dots\dots (4.14)$$

本研究依橋梁 A_y 與 A_c 之比值以決定其地震力折減係數 F_{uD} ，參照耐震設計規範以計算其系統韌性容量，如式(4.15)所示。

$$F_{uD} = \begin{cases} R_a & ; T \geq T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} + (R_a - \sqrt{2R_a - 1}) \times \frac{T - 0.6T_0^D}{0.4T_0^D} & ; 0.6T_0^D \leq T \leq T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} & ; 0.2T_0^D \leq T \leq 0.6T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} + (\sqrt{2R_a - 1} - 1) \times \frac{T - 0.2T_0^D}{0.2T_0^D} & ; T \leq 0.2T_0^D \end{cases} \dots\dots\dots (4.15)$$

4.2.8 非線性動力分析模式

非線性動力分析主要是在於模擬結構受地震力之反覆載重時之非線性反應，本研究主要參考武田模型(Takeda model)以進行非線性動力分析乃為工程上RC構材在反覆載重時的受力-變形行為使用最廣泛之模型，其力量與位移關係則如圖4.16所示。主要輸入資訊為：(1)橋梁單自由度下之等值結構容量譜，以識別其結構特性參數包含：彈性勁度 k_y 、降伏基底剪力 $F_y(=M \cdot S_a y)$ 、極限基底剪力 F_u (本研究假設其與 F_y 相同)、降伏位移 δ_y 、極限位移 $\delta_u(=R_a \cdot \delta_y)$ 、降伏後勁度修正係數 η (本研究假設為0)及勁度折減參數 $\alpha(=0.4)$ ；(2)與設計加速度反應譜協合之地震歷時，並參考過去所發生之災害型地震記錄，以決定該區適用之地震加速度地震歷時。

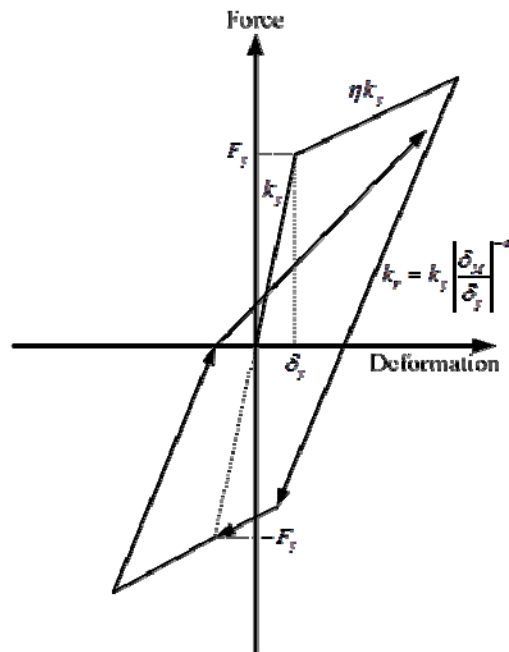


圖 4.16 武田模型(Takeda model)之力量與位移關係

4.2.9 RC橋梁模型

牛鬥橋橋長(L)：7@36.6= 256 m；橋柱高(h)：1080 cm；橋柱斷面圓形直徑(D)：180 cm；軸力(N)：347 t；箍筋間距(s)：20 cm；主筋#10根數(n)：30。



圖 4.17 橋梁通阻之 SAP2000 牛鬥橋模型

資料來源：橋梁通阻，2011^[42]

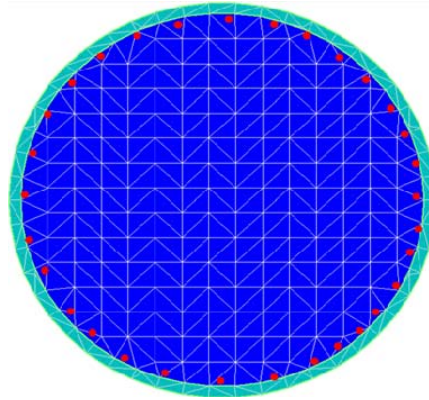


圖 4.18 牛鬥橋之 XTRACT 斷面分析

資料來源：橋梁通阻，2011^[42]

三星橋橋長(L)：4@30= 120 m；橋柱高(h)：600 cm；橋柱斷面圓形直徑(D)：300 cm；軸力(N)：793 t；箍筋間距(s)：20 cm；主筋#9根數(n)：84。

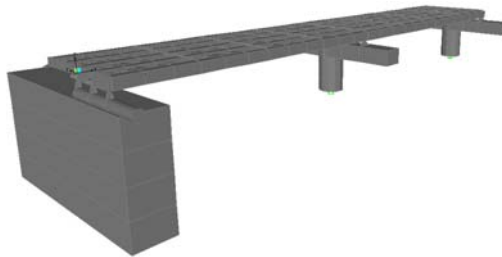


圖 4.19 SAP2000 三星橋模型

資料來源：橋梁通阻，2011^[42]

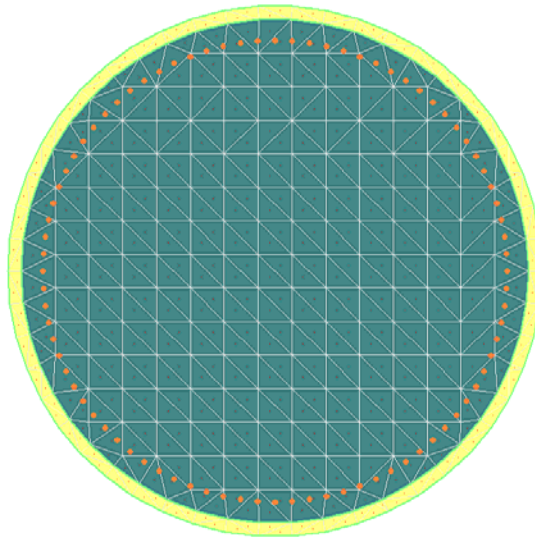


圖 4.20 三星橋之 XTRACT 斷面分析

資料來源：橋梁通阻，2011 鄭明淵等，2011^[42]

4.2.10 譜和加速度地震歷時

地震事件除其PGA外，地震加速度歷時紀錄亦會影響結構物反應，而考慮人造地震歷時適用性；以符合工址的地質狀況與預期之地震強度。因此需要採用歷年災害真實地震力與耐震設計規範做為該地區譜和地震歷時，本研究主要參考災害地震為發生於民國八十八年九月二十日的921地震，震央位於臺灣南投縣集集鎮，車籠埔斷層上面，規模高達芮氏7.3，是臺灣近百年來具有代表性之大地震。工程應用上，有許多方法可以製作與設計反應譜相符之人造地震，概分為頻率域分析與時間域分析方法兩種，如SIMQUAKE程式即屬於頻率域分析方法，主要根據頻率域之反應譜值誤差量比例修正其對應頻率之富氏譜振幅值，逐次迭代修正致人造地震之反應譜與目標(耐震設計)反應譜一致，而得到人造地震加速度歷時。時間域分析方法可以由原始地震紀錄開始，在各個既定頻率(或週期)計算其反應譜值，根據其與目標反應譜之誤差，在時間域原地震紀錄發生反應極值(即反應譜值)之時間點附近加減一個微小地震紀錄改變量。對每個既定頻率均進行微小地震紀錄改變量之修正。逐次迭代修正致人造地震之反應譜與目標(耐震設計)反應譜一致，而得到人造地震加速度歷時。本研究所使用國震中心建

議之人造地震歷時模擬方法，依據本文第三章分析結果未來100年之地震發生次數與各規模做為輸入檔，由地表震動模擬分析各規模下之PGA值輸出檔，可依表4-9至表4-10所示。

依表4-10公路橋梁耐震設計規範之阻尼比(5%)一般工址設計水平加速度反應譜與選取民國88年921地震歷時進行諧和地震歷時分析如圖4.21所示，經由分析可得(1)諧和設計水平反應譜(2)諧和地震歷時，本研究使用地震諧和設計水平反應譜之EPA值與表4-9至表4-12該區域各規模下之PGA值進行正規化，並依正規化後之地震係數，做為各規模下之該區域諧和地震歷時放大或縮小之依據，即可獲得適用本研究之人造地震歷時。

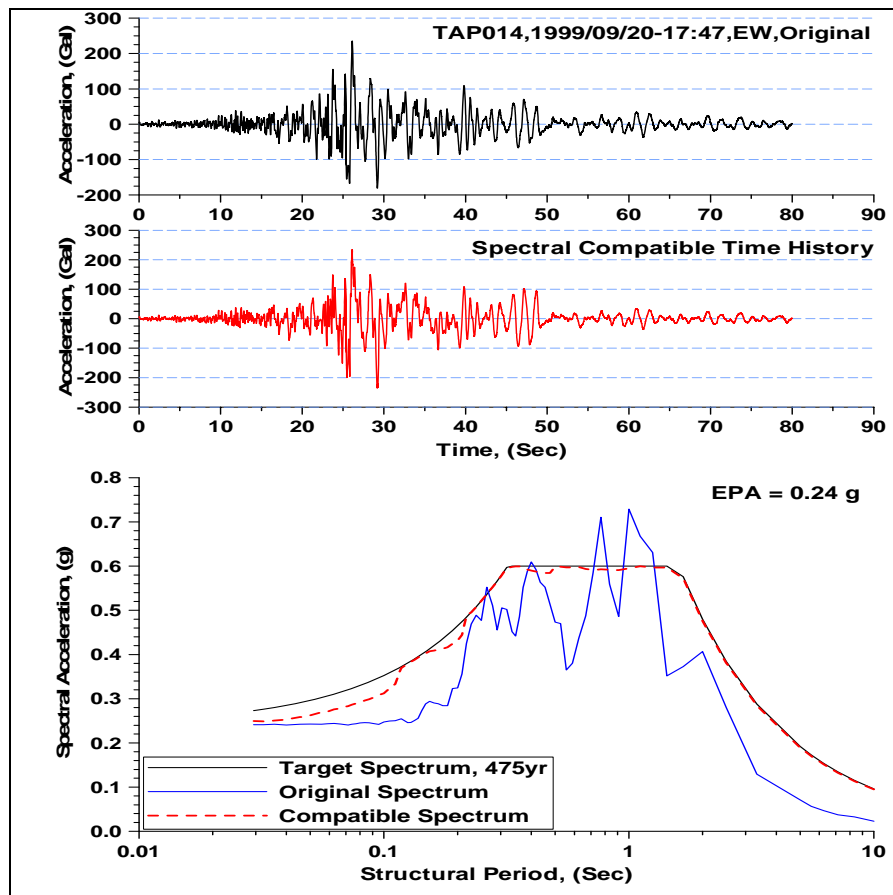


圖 4.21 原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料

資料來源:使用國震中心提供程式分析

表 4-9 為宜蘭 ZS01 未來 100 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值

規模	ILA025(gal)	ILA022(gal)
7.4	127	121
7.1	91	85
6.9	72	67
6.8	64	60
6.7	57	52
6.6	51	45
6.5	45	40
6.4	40	33
6.4	40	33
6.3	35	28
6.3	35	28
6.2	32	24
6.2	32	24
6.2	32	24
6.2	32	24
6.1	28	21
6.1	28	21
6.1	28	21
6.0	25	18
6.0	25	18

表 4-10 為花蓮 ZS02 未來 100 年發生規模大於 6.0 之 PGA 值

規模	ILA025(gal)	ILA022(gal)
7.4	144	116
7.1	104	82
7.0	93	73
6.8	63	61
6.7	55	50
6.6	47	43
6.6	47	43
6.5	40	37
6.5	40	37
6.4	34	32
6.4	34	32
6.3	29	27
6.3	29	27
6.3	29	27
6.2	24	23
6.2	24	23
6.2	24	23
6.2	24	23
6.1	21	20
6.1	21	20
6.1	21	20
6.1	21	20
6.0	18	18
6.0	18	18

4.2.11 橋梁地震損害評估

Park and Ang(1985)所發展出之PA準則主要用於結構物震後損壞程度判斷依據，目前已被廣泛使用於RC結構桿件或系統；其損壞程度共分為五個等級，而與地震損傷指標關係可參照表4- (主要參考日本阪神大地震之統計分析結果)。PA模型之損壞指標主要依據地震作用下結構物之最大變形反應與反覆載重下遲滯迴圈之消散能量(即每一振動迴圈遲滯阻尼所消散之能量)進行評估，如式(4.16)所示。一般而言，當其損壞指標大於等於1.0時，則結構物可視為完全損壞或倒塌。

$$D_{P\&A} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \int dE \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

式中，DP&A：地震損壞指標； δ_M ：地震作用下結構物之最大反應變位； dE ：消散能量增量(Incremental absorbed hysteretic energy (excluding potential energy))； β ：反覆載重影響係數(一般鋼筋混凝土建築物為設為0.05)。

表 4-11 為 RC 結構物之損傷指標

損害分級	損傷指標	損壞程度之描述
無損傷	<0.1	外部輕微裂縫非結構元件出現
輕微損傷	0.1-0.2	結構元件出現微小裂縫
中度損傷	0.2-0.4	隔間住上下兩端出現撓剪裂縫。非結構元件出現明損壞。
重度損傷	0.4-0.1	混凝土橋柱之核心混凝土碎裂，箍筋嚴重鬆脫，主筋挫屈。
完全崩塌	>1.0	混凝土橋柱之核心混凝土嚴重碎裂脫離，喪失承載能力，橋柱倒塌趨勢。

結構物若承受中度地震或非災害型地震且震後並未進行修補，當地震再度發生時，其損傷必有所累積且非線性累加。本研究利用地震作用後所得之最大反應變位及殘留變位，依式(4.17)-(4.18)修正其結構性能；其中，(i-1)為第i次地震發生前，而i為第i次地震發生後。

$$\delta_y^i = \delta_M^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \dots\dots\dots (4.17)$$

$$\delta_u^i = \delta_u^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \dots\dots\dots (4.18)$$

本研究除修正上述所列之降伏位移與極限位移外，其結構彈性勁度也會依圖4.22所示進行修正。然而，本研究主要分析橋梁於未進行任何維護下之地震風險評估，因此每次地震後之損傷指標計算，除遲滯消散能量須累計外，最大反應變形則取各地震作用下之最大值進行評估，如式(4.19)所示。

$$D_{P\&A}^i = \frac{\max\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i\}}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \sum_{i=1}^i \int dE \quad \dots\dots\dots (4.19)$$

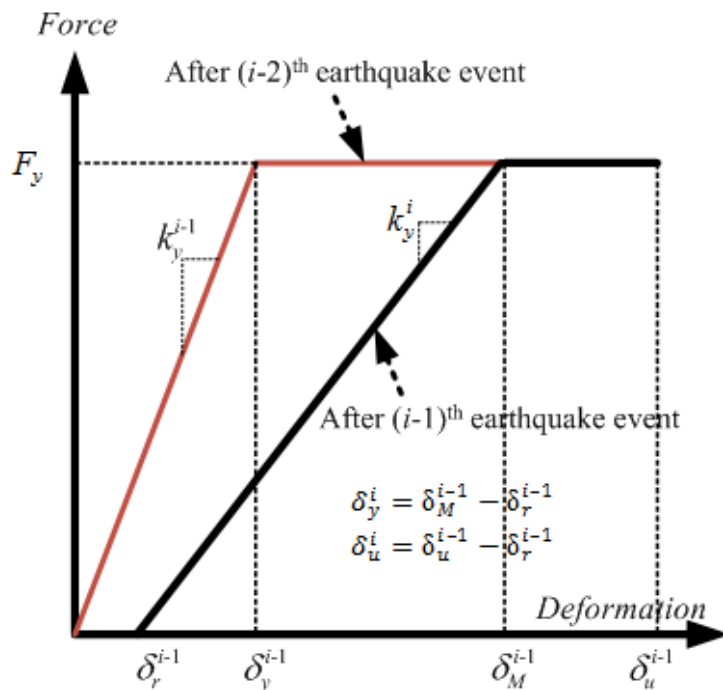


圖 4.22 震後結構性能修正示意圖

本研究對於未來發生地震損壞指標累積分析，依據第三章地震發生次數規模，而求得各規模下之PGA值，一般而言規模要大於6才會造成災害，且研究中發現PGA值小於80gal以下時，對橋梁造成的損壞相當小不足以影響DP&A的判斷，因此本研究不考量PGA值為80gal以下之地震。為求未來各規模地震發生次數序列真實性，本研究依據蒙地卡羅運算模擬地震序列發生，並假設橋梁於不修復條件下之未來100年

地震累積損傷。對於未來100年之牛鬥橋與三星橋損壞分析結果；如表4-12-表4-15。依分析結果可知，無論為ZS01或ZS02之區域震源，對三星橋之損害並不顯著，均落於輕度損傷範圍；但就牛鬥橋而言，以100年為其設定使用年限，則橋梁會進入重度損傷等級。

表 4-12 未來 100 年宜蘭 ZS01 對牛鬥橋模型損壞指標

牛鬥橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA025 (D _{P&A})
損傷指標(01)	127	0.30
損傷指標(02)	91	0.37
損傷指標(03)	72	0.37
損傷指標(04)	64	0.37
損傷指標(05)	57	0.37
損傷指標(06)	51	0.37
損傷指標(07)	45	0.37
損傷指標(08)	40	0.37
損傷指標(09)	40	0.37
損傷指標(10)	35	0.37
損傷指標(11)	35	0.37
損傷指標(12)	32	0.37
損傷指標(13)	32	0.37
損傷指標(14)	32	0.37
損傷指標(15)	32	0.37
損傷指標(16)	28	0.37
損傷指標(17)	28	0.37
損傷指標(18)	28	0.37
損傷指標(19)	25	0.37
損傷指標(20)	25	0.37

表 4-13 未來 100 年宜蘭 ZS01 對三星橋模型損壞指標

三星橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA022 (D _{P&A})
損傷指標(01)	121	0.17
損傷指標(02)	85	0.18
損傷指標(03)	67	0.18
損傷指標(04)	60	0.18
損傷指標(05)	52	0.18
損傷指標(06)	45	0.18
損傷指標(07)	40	0.18
損傷指標(08)	33	0.18
損傷指標(09)	33	0.18
損傷指標(10)	28	0.18
損傷指標(11)	28	0.18
損傷指標(12)	24	0.18
損傷指標(13)	24	0.18
損傷指標(14)	24	0.18
損傷指標(15)	24	0.18
損傷指標(16)	24	0.18
損傷指標(17)	21	0.18
損傷指標(18)	21	0.18
損傷指標(19)	18	0.18
損傷指標(20)	18	0.18

表 4-14 未來 100 年花蓮 ZS02 對牛鬥橋模型損壞指標

牛鬥橋 (ZS02)	PGA (gal)	ILA025 (D _{P&A})
損傷指標(01)	144	0.33
損傷指標(02)	104	0.39
損傷指標(03)	93	0.43
損傷指標(04)	63	0.43
損傷指標(05)	55	0.43
損傷指標(06)	47	0.43
損傷指標(07)	47	0.43
損傷指標(08)	40	0.43
損傷指標(09)	40	0.43
損傷指標(10)	34	0.43
損傷指標(11)	34	0.43
損傷指標(12)	29	0.43
損傷指標(13)	29	0.43
損傷指標(14)	29	0.43
損傷指標(15)	24	0.43
損傷指標(16)	24	0.43
損傷指標(17)	24	0.43
損傷指標(18)	24	0.43
損傷指標(19)	21	0.43
損傷指標(20)	21	0.43
損傷指標(21)	21	0.43
損傷指標(22)	21	0.43
損傷指標(23)	18	0.43
損傷指標(24)	18	0.43

表 4-15 未來 100 年花蓮 ZS02 對三星橋模型損壞指標

三星橋 (ZS02)	PGA (gal)	ILA022 (D _{P&A})
損傷指標(01)	116	0.14
損傷指標(02)	82	0.17
損傷指標(03)	73	0.17
損傷指標(04)	61	0.17
損傷指標(05)	50	0.17
損傷指標(06)	43	0.17
損傷指標(07)	43	0.17
損傷指標(08)	37	0.17
損傷指標(09)	37	0.17
損傷指標(10)	32	0.17
損傷指標(11)	32	0.17
損傷指標(12)	27	0.17
損傷指標(13)	27	0.17
損傷指標(14)	27	0.17
損傷指標(15)	23	0.17
損傷指標(16)	23	0.17
損傷指標(17)	23	0.17
損傷指標(18)	23	0.17
損傷指標(19)	20	0.17
損傷指標(20)	20	0.17
損傷指標(21)	20	0.17
損傷指標(22)	20	0.17
損傷指標(23)	18	0.17
損傷指標(24)	18	0.17

4.3 橋梁可靠度分析-洪水

4.3.1 橋梁分類(依所在流域)

因橋梁所屬流域不同，所遭遇之洪水程度與頻率亦會有所差異，故本研究將依橋梁所屬流域分群進行研究評估。參考水利署臺灣主要河川之流域定義，分為二十四個流域，如圖4.23所示。



圖 4.23 臺灣主要河系分布圖(水利署)

4.3.2 統計分析

根據橋梁管理系統TBMS歷年SSI調查記錄與水利署水位站監測記錄，找出各年度SSI下降值與當年對應之洪水重現期，統計分析紀錄結果如表4-16所示。表格中的數字為此流域橋梁在遭遇該洪水重現期時，SSI對應下降分數。以淡水河跨河橋梁為例，曾經遭遇洪水重現期為五年的洪水，所對應SSI的下降值為2分。因阿公店溪無對應之歷年觀測之水位資料，故無法計算對應SSI下降值。

表 4-16 臺灣主要河系洪水重現期對應 SSI 指標下降表

洪水重現期	1年	2年	5年	10年	20年	50年	100年	200年
臺灣主要河系								
淡水河	1	1	2	2	3	3	3	4
鳳山溪	1	1	7	9	11	14	17	19
頭前溪	1	1	2	3	4	5	6	7
中港溪	2	3	4	5	6	8	9	9
後龍溪	1	1	2	2	3	3	4	5
大安溪	1	3	5	7	10	13	16	20
大甲溪	1	3	5	7	8	10	12	13
烏溪	1	1	2	2	3	3	4	5
濁水溪	1	7	12	15	18	22	27	30
北港溪	1	4	6	7	9	11	12	12
朴子溪	1	2	4	5	6	7	8	9
八掌溪	1	2	3	4	4	5	5	6
急水溪	1	1	2	2	3	4	5	5
曾文溪	1	1	2	2	2	3	3	3
鹽水溪	1	2	4	4	5	6	6	6
二仁溪	1	1	1	2	3	2	2	4
高屏溪	1	1	2	2	3	3	3	3
東港溪	1	3	4	5	5	6	7	8
四重溪	1	3	4	5	6	7	7	8
卑南溪	1	1	1	2	2	2	3	3
秀姑巒溪	1	2	3	4	4	5	5	6
花蓮溪	1	3	4	5	5	6	7	7
和平溪	1	1	2	3	3	4	5	5
蘭陽溪	1	2	2	3	3	4	5	6

4.3.3 洪水事件產生器

本研究根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件，如圖4.24所示。分別為發生100年洪水重現期時對應SSI值下降曲線示意圖，如發生的洪水較小下降趨勢亦較為和緩。

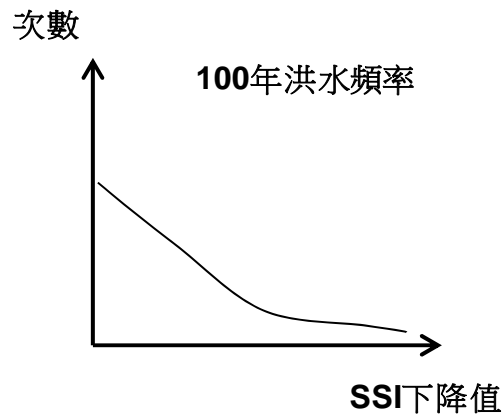


圖 4.24 發生 100 年洪水時對應 SSI 指標下降

4.3.4 失敗門檻訂定

本研究根據各河系橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時 SSI 值為建議維修門檻，如圖 4.25 所示，濁水溪流域預設之維修門檻值為 68。未來相關管理單位可根據需求調整此門檻值，以符合現況。

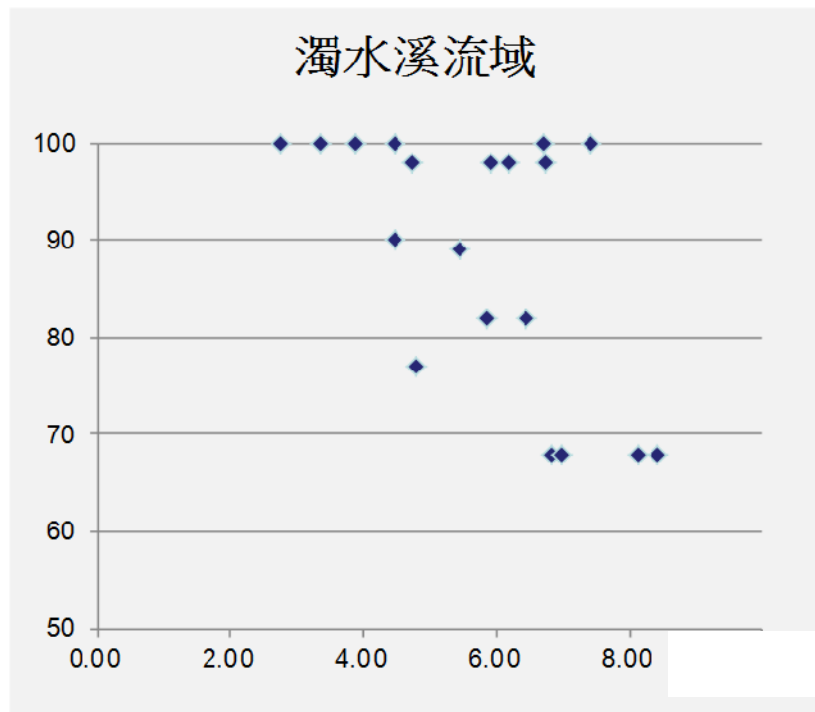


圖 4.25 失敗門檻建議值

4.3.5 蒙地卡羅模擬

此階段使用蒙地卡羅模擬橋梁未來100年洪水可能發生事件，流程如圖4.26所示，將模擬計算10,000次，依SSI下降趨勢表，計算可能之SSI值，找出橋梁在洪水冲刷下破壞的機率。

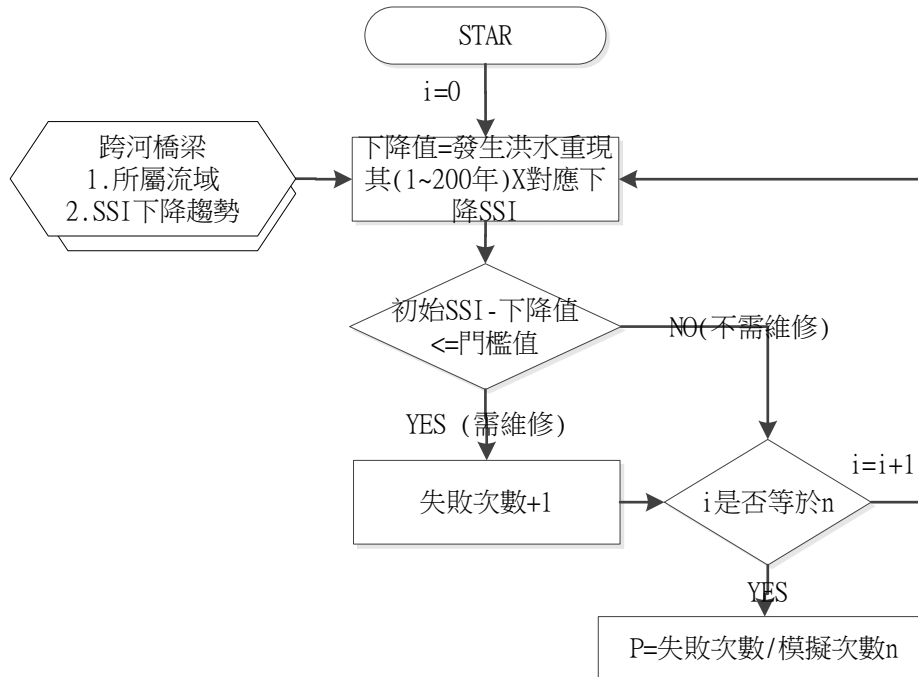


圖 4.26 洪水造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖

公路總局跨越主要河川橋梁依此流程計算，成果如表4-17所示。

表 4-17 蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率(%)
A01-0020-098A	一區	景美	臺北縣	貢寮	76.02
A01-005A-006A	一區	景美	臺北縣	汐止	33.39
A01-0050-017B	一區	景美	臺北縣	汐止	20.72
A01-0050-016A	一區	景美	臺北縣	汐止	12.35
A01-0020-026A	一區	景美	臺北縣	石門	12.03
⋮					
A01-0020-052A	一區	景美	臺北縣	萬里	0.01
A01-0020-075A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0
A01-0020-076A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0

第五章 風險衝擊影響程度

本章節將估算橋梁破壞時所需維護經費，即對公路管理單位所造成之衝擊影響。並建置橋梁維護成本評估模式，利用人工智慧學習方式推估未來橋梁可能造成的影響程度及所對應之維修成本。最後，本章節延續第二年度所確立之綜合能力指標 $E(MC)$ (式5.1)，利用上章節獲得之橋梁維修機率(P)結合本章節所得之橋梁維修成本(C)，相乘得到該橋梁風險影響程度，其流程如圖5.1所示。

$$E(MC)_i = P_{Ei} \times C_{Ei} + P_{Si} \times C_{Si} + P_{Di} \times C_{Di} \dots\dots\dots (5.1)$$

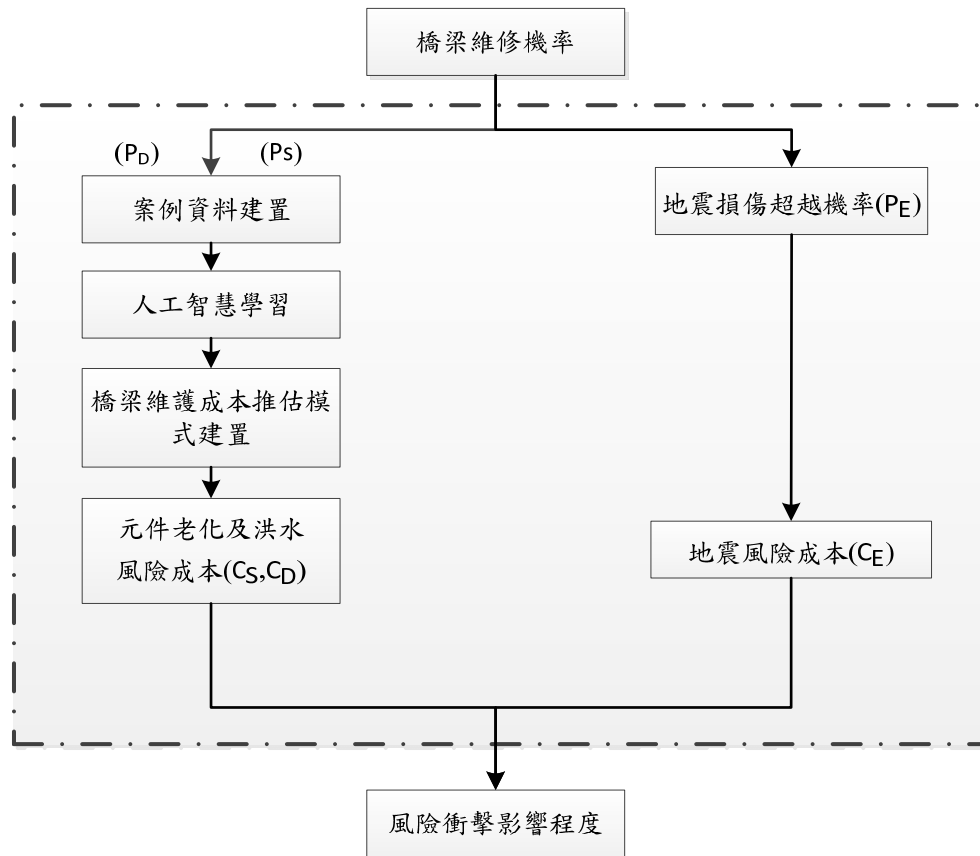


圖 5.1 橋梁維修機率流程圖

5.1 元件老化及洪水維修成本

本研究風險因子共有三項：包含可視老化(元件老化)、潛勢危害(地震、洪水)。故本步驟將以元件老化、地震及洪水順序橋梁風險分析步驟說明，最後將得到橋梁5年、10年、15年、20年、25年及30年之橋梁維修成本。

5.1.1 橋梁維修因子評估

本研究擬收集橋梁維護經費資料，藉由人工智慧推論模式找出案例資料中(日常巡檢表單)，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值(維修案例經費)之映射關係。因此可根據不同橋梁之D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

目前，人工智慧推論模式多採用類神經網路、支持向量機等學習模式，但這些模式均有參數設定與初始化問題。考量尋優速度與推論準確性，因此本研究將應用快速混雜基因演算法融合支持向量機發展一「人工智慧機械學習推論模式」，透過快速混雜基因演算法搜尋模式最適參數值，應用支持向量機分析迴歸輸入(日常巡檢表單，D.E.R.&U.)與輸出(維修案例經費)之映射關係，進而發展出一最佳化推論模式。此推論模式之優點為可藉由案例資料庫之更新與新增案例數，提升模式預測準確率。

每座橋梁之壽齡，因設計、施工及維護保養之條件有所不同，致使橋梁壽齡彼此間可能有很大的差異。對於橋梁壽齡偏低的橋梁，如能在適當的時機點維修，將有效的提升橋梁的壽齡。不過當要評估的橋梁數量非常龐大時，所花費的時間與經費頗為驚人，因此本研究希望應用ESIM，建立橋梁耐震能力診斷模式，利用此模式對影響橋梁維修經費的因子做出準確的判斷，降低成本及花費的時間。

本研究參考臺灣地區橋梁管理資訊系統中，將公路總局所管理之鋼筋混凝土橋梁之橋梁整體狀況指標(CI)與洪水沖刷指標(SSi)，將依據其橋梁屬性資料欄位(如表5-1)的各項因子以統計分析與專家訪談的方法，找出最適當的因子，做為本研究模型參數。

表 5-1 橋梁屬性資料欄位

橋梁名稱	是否有竣工圖	跨距分配	橋塔材質
使用狀態	竣工圖說保存地點	最高橋墩高度	橋塔型式
橋梁編號	檢測週期(月/次)	最低橋上淨高(M)	主纜索型式
設施種類	跨越物體	最低橋下淨高(M)	吊索型式
管理機關	年平均每日交通量	橋頭 GPS 經度	吊索佈置型式
養護工程處	參考地標	橋頭 GPS 緯度	索面系統型式
養護工務段	是否為跨河橋	橋尾 GPS 經度	索面佈置型式
所在縣市	跨越河川類別	橋尾 GPS 緯度	拱上結構型式
所在區鄉	河川管理單位	結構型式	橋面版位置
道路等級	河川名稱	支撐端型式	拱圈材質
路線	上游 500 公尺構造物	主梁材質	橫桿材質
橋頭里程(K)	下游 500 公尺構造物	主梁型式	吊材材質
橋頭里程(M)	上游最近水位站	鋼構接合型式	立柱材質
橋尾里程(K)	計畫洪水位(EL)	橫梁型式	鋼纜型式
橋尾里程(M)	計畫河寬(M)	橋面版材質	錨定裝置
竣工年	計畫堤頂高程(EL)	鋪面材質	設計活載重
竣工月	設計河床高程(EL)	伸縮縫型式	地盤種類
最近維修年	設計橋梁出水高(M)	支承型式	防震設施
最近維修月	橋梁總長(M)	橋台型式	設計震度
造價	A1 進橋版長度(M)	橋台基礎型式	防落橋長度
合約編號	A2 進橋版長度(M)	翼牆/擋土牆型式	設計水平地表加速度(G)
交流/匝道	最大淨寬(M)	橋墩材質	設計垂直地表加速度(G)
匝道編號	最小淨寬(M)	橋墩型式	GIS 座標 X
改道長度	橋版投影面積(M ²)	橋墩基礎型式	GIS 座標 Y
設計單位	總車道數	橋墩最淺基礎深度(M)	SSI
監造單位	總橋孔數	橋墩最深基礎深度(M)	CI
施工單位	最大跨距(M)	橋基保護工法	

5.1.2 橋梁維修因子篩選

本研究依據公路總局TBMS橋梁屬性資料欄位共107欄位，由於原始資料庫欄位過多，無法明確表示出各因子與橋梁維修經費之相關性。故將結合案例作統計分析，以TBMS系統中228筆(跨河)、160(非跨河)筆橋梁維修紀錄為資料庫，利用SPSS分析評估因子與維修經費相關性，挑選顯著相關參數做為模式因子。將初擬影響元件老化維修經費的因子如表5-2，影響洪水沖刷維修經費的因子如表5-3。

本研究透過專家訪談的方式，將初擬的影響因子與公路總局兩位副

段長及港灣技術研究中心專員討論修正，修正處以*表示。其中元件老化部分:新增竣工年欄位，主要考量橋梁使用時間與材料可能產生老化的反應，另以高程考量山地與平地段之差異。洪水沖刷部分以高程考量山地與平地段之差異。

表 5-2 元件老化維修經費因子

影響因子	關聯	單位
CI	維修前 CI 指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M ²
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程*	山地與平地段考量	文字
年平均每日車流量	反覆載重或使用量影響	車輛數
距海遠近	大氣腐蝕因素	公里
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年
竣工年*	施工技術	民國年

表 5-3洪水維修經費因子

影響因子	關聯	單位
SSI	維修前 SSI 指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M ²
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程*	山地與平地段考量	文字
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年

5.1.3 建立橋梁維修案例資料庫

本研究收集歷史維修紀錄，分別收集非跨河橋梁維修案例160筆(如表5-4)及跨河橋維修案例228筆(如表5-5)，建置維護案例資料庫。再利用人工智慧ESIM推論模式，推論橋梁遭遇風險下可能維修成本。

表 5-4 非跨河橋維修案例(節錄)

No	新 CI	維修金額 (原始值)	維修金額 修正後	物價指數	最近維修年	橋版投影面積 (M ²)(維修量體)	最低橋下淨高 (M)(維修量體)	結構型式 (維修方式)	距海遠近	每日平均 車流量	EV	山地 考量	開工年 (物價修正用)
1	99	600	600	100.00	2006	222.48	5	梁式橋	27676	2306	200.10	0	76
2	99	2000	2000	100.00	2006	187	3	梁式橋	30160	2306	142.84	0	76
3	88	3298681	3537839	93.24	2005	6072	5	箱型橋	20323	2834	23.26	0	81
4	83	4420146	3903343	113.24	2009	27730	4.6	梁式橋	22293	1537	37.00	0	85
5	86	3814037	4090559	93.24	2005	893.44	4	梁式橋	2487	2306	9.66	0	82
6	84	3560679	4388315	81.14	2003	480	8.6	梁式橋	26842	3634	36.08	0	63
7	85	3560679	4388315	81.14	2003	130	3.3	梁式橋	28884	3634	129.73	0	59

·
·
·

155	84	3560679	4388315	81.14	2003	40	2	梁式橋	27358	3664	162.32	0	53
156	83	5190000	4441212	116.86	2010	72682	4.8	梁式橋	17732	2306	154.82	0	85
157	81	5000000	5362505	93.24	2005	646.8	8.9	梁式橋	20709	2306	241.49	0	83
158	82	5917334	5917334	100.00	2006	132	3.89	梁式橋	350	842	16.30	0	63
119	82	5917334	5917334	100.00	2006	67.2	4.82	版橋	127	1684	17.52	0	63
160	80	6000000	6435006	93.24	2005	23322	5	梁式橋	14236	20919	4.69	0	75

表 5-5 跨河橋梁維修案例(節錄)

No	沖刷指標	維修金額 (原始值)	維修金額 修正後	物價指數	開工年 (物價修正 用)	橋版投影面積 (M2)(維修量 體)	最低橋下淨高 (M)(維修量體)	結構型式 (維修方式)	高程	山地考量
1	99	1400	1502	93.24	2005	9956	11.3	梁式橋	9.85	0
2	99	2000	1711	116.86	2010	1200	4.2	梁式橋	17.21	0
3	99	3000	3000	100.00	2006	1500	3.5	梁式橋	130.52	0
4	99	3000	3000	100.00	2006	1500	3.5	梁式橋	130.52	0
5	99	3000	3697	81.14	2003	6900	5.5	梁式橋	131.25	0
6	98	4500	3974	113.24	2009	3979	8	梁式橋	111.40	0
7	99	4500	3974	113.24	2009	3979	8	梁式橋	111.40	0
8	99	5000	4279	116.86	2010	750	5.3	梁式橋	175.89	0
221	80	10592528	9717916	109.00	2007	359.3	8.4	梁式橋	18.10	0
222	50	9091000	9750107	93.24	2005	1188	6.5	梁式橋	43.78	0
223	81	12510000	10068410	124.25	2008	2530	25	剛架橋	547.86	0
224	77	10087550	10893683	92.60	2004	846	5.7	梁式橋	5.83	0
225	80	12917215	11406937	113.24	2009	11400	20	梁式橋	71.10	0
226	80	12917215	11406937	113.24	2009	11400	20	梁式橋	71.10	0
227	80	13260438	11710030	113.24	2009	39627	4.6	梁式橋	86.94	0
228	80	12072250	12947501	93.24	2005	34452	10.33	梁式橋	8.37	0

5.1.4 建立橋梁風險影響程度

基於橋梁細部檢測與評估分析，所需耗費之人力、物力經費與時間相當龐大，分析成果之橋梁數有限且時效性不足，無法滿足公路管理單位轄下橋梁安全評估之需求，因此本研究藉由AI推估橋梁風險(可能風險成本)，找出橋梁日常巡檢目視調查(D.E.R.&U.)之表單資料與對應橋梁案例維修經費之映射關係，再針對其餘未進行日常巡檢目視調查之橋梁，利用ESIM模式訓練結果預測橋梁風險影響程度，以提升橋梁防災能力與時效性。

5.1.4.1 模式參數設定

本研究使用(Cheng and Wu, 2008)以ESIM為架構發展而成的Evolutionary Support Vector Machine Inference System「演化式支持向量機推論系統，ESIS」作為訓練與測試軟體。首先將橋梁風險衝擊影響程度推論模式所需之參數設定值輸入軟體中，利用ESIM執行自我調適程序，系統會將最後搜尋出之最佳染色體，以便使用者利用此一模式進行橋梁的風險影響程度預測。其模式分析流程如圖5.2

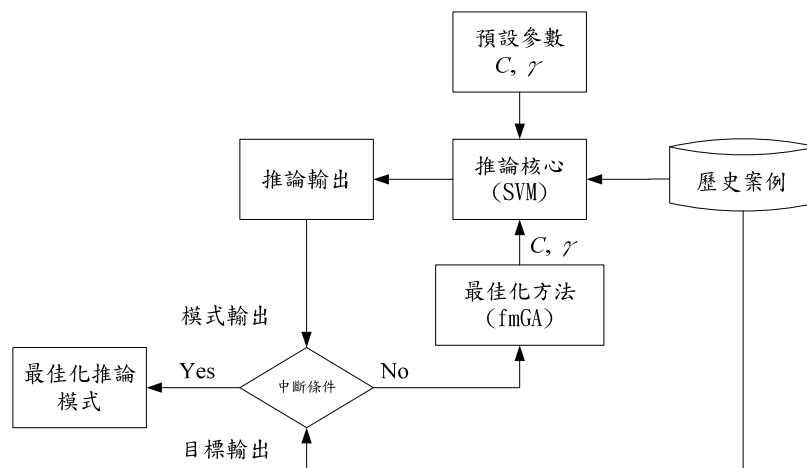


圖 5.2 人工智慧橋梁耐震能力推論模式

5.1.4.2 ESIM可行性分析

本節依據ESIM之架構與特性，針對本研究預測橋梁風險衝擊影響程度進行評估，分析了解此課題是否適合以ESIM模式處理。

1. ESIM 可以經由快速混雜基因演算法案例學習中，擷取最佳化容錯值參數 C 及核心函數(Kernal Fuction)中(γ)值，決定支持向量機最佳化重要參數。
2. ESIM 以演化式支持向量機為架構妥善的處理不確定的資訊，以解決不確定性的問題(uncertainty)，所以對於預測橋梁風險衝擊影響程度的不確定性已經被考慮在其中。
3. ESIM 係以為支持向量機(SVM)為推論引擎，以處理複雜的輸入與輸出變數之間映射關係，能夠有效地描述出橋梁影響因子與橋梁維護經費之映射關係。

5.1.4.3 ESIM架構

ESIM系統系統模組架構包含三個部分分別為：

1. 資料庫管理(Database Management): 將訓練案例與測試案例輸入資料庫。
2. 模式訓練(Model Training): 於「模式訓練」模組中執行自動參數設定(Automate Parameters)並鍵入終止執行條件，繼而執行模式訓練。
3. 模式表現評估(Model Performance Evaluation): 利用「模式表現評估」模組，以訓練案例與測試案例對訓練出之模式架構進行誤差測試。

5.1.5 ESIM模式訓練與測試

步驟一、案例輸入

元件老化輸入影響因子如表5-2中10項重要影響因子，洪水輸入影響因子如表5-3中7項，將非跨河橋梁與跨河橋梁兩類案例資料分別輸入ESIM之Training File案例資料庫中，應用ESIM進行模式訓練。

本模式輸入變數與輸出皆經由線性調整 (Linear Scaling) 進行正規化，使輸出值介於0~1之間，參數正規化之過程如式5.2。

$$X_{\text{norm}} = (X - X_{\text{Min}}) / (X_{\text{Max}} - X_{\text{Min}}) \dots\dots\dots (5.2)$$

其中

X_{norm} : X 正規化後的值

X : 實際值

X_{Max} : 訓練案例中，變數最大值

X_{Min} : 訓練案例中，變數最小值

步驟二、模式訓練

此步驟將設定非跨河橋梁與跨河橋梁案例推論模式參數。搜尋世代設定為100，時間上限為30分，容錯值參數範圍：C=0~100及核心函數中 $\gamma=0.0001\sim 1$ 。完成設定後，ESIM系統即進行最佳模式搜尋。

表 5-6 ESIM 模式參數設定

ESIM 模式參數設定	
執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)
搜尋時間	30(mins)
容錯參數 C	0~200
核心函數參數 γ	0.0001~1

為求模式之準確性以及廣泛應用性，本研究採取文獻中人工智慧常用之十組交叉驗證(10 fold Cross-validation)方式進行案例訓練與測試。其概念為將案例資料集分成十組，輪流將其中9組當作訓練集，1組當作

測試集，並將10次的結果平均驗證方法可行性。其架構示意如圖5.3所示。

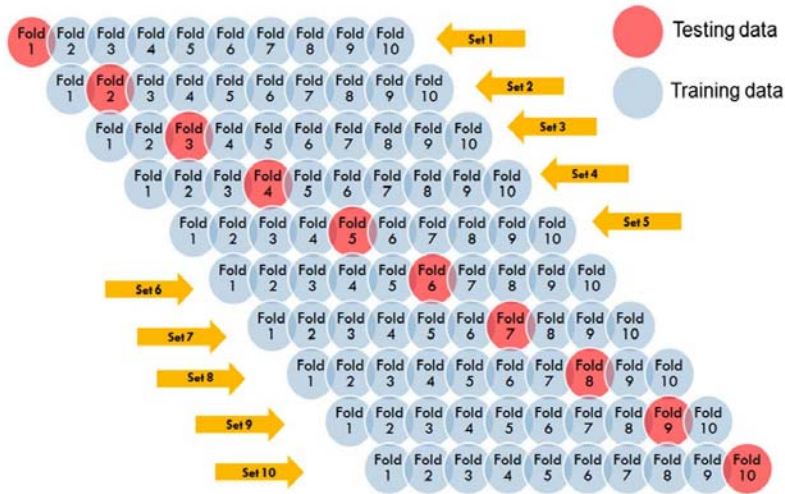


圖 5.3 10 組交叉驗證法

資料來源:Chou，2011

步驟三、模式測試

模式訓練完成後，ESIM會將最後搜尋出之最佳染色體解碼為橋梁風險衝擊影響程度推論模式，經由模式測試可瞭解此推論模式之推論誤差與學習精度。

1. 訓練案例誤差

經由 ESIM 之推論，每筆案例可計算得維修成本輸出值，此評估值又稱為模式預測值；實際橋梁維修成本為實際值，為了瞭解模式訓練後之模式準確度，本研究以誤差均方根 (RMSE)，計算公式如式 5.3 所示，來衡量模式學習精度。非跨河橋梁模式預測值與案例實際值之十組交叉驗證結果如表 5-7所示、跨河橋梁計算結果如表 5-8所示。

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^M e_i^2}{M} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (5.3)$$

表 5-7 風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-非跨河橋梁(元件老化)

ESIM 模式執行結果											
案例組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
執行迴圈(EPOCH*ERA)	100(Iterations)										
容錯參數 C	192	198	66	7	50	28	24	126	140	200	103
核心函數參數 γ	0.6673	0.8821	0.1177	0.5356	0.2501	0.0358	0.2761	0.9991	0.5713	0.9501	0.5285
模式訓練-模式均方根誤差 (RMSE)	0.08565	0.07118	0.12101	0.12195	0.11567	0.14038	0.10926	0.08452	0.09018	0.07984	0.10196
模式測試-模式均方根誤差 (RMSE)	0.09757	0.15824	0.09335	0.04652	0.06300	0.10678	0.17280	0.07449	0.08273	0.12124	0.10167

表 5-8 橋梁風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-跨河橋梁(洪水)

ESIM 模式執行結果											
案例組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)										
容錯參數 C	200	185	120	126	192	16	0	0	189	192	122
核心函數參數 γ	0.4001	0.8705	0.6001	0.8881	0.5221	0.9592	0.7057	0.4705	0.8141	0.9571	0.71875
X 模式訓練-模式均方根誤差 (RMSE)	0.09429	0.09550	0.09169	0.08754	0.09375	0.09929	0.10832	0.11578	0.09370	0.08981	0.09697
模式測試-模式均方根誤差 (RMSE)	0.09891	0.05421	0.10127	0.11600	0.08188	0.09094	0.14335	0.12138	0.06751	0.09815	0.09736

2. 測試案例驗證

以第一組測試案例輸出結果為例，元件老化 15 筆測試案例模式預測值與實際值之曲線比較如圖 5.4。洪水 21 筆測試案例模式預測值與實際值之曲線比較如圖 5.5。由曲線圖之模式預設值及實際值可發現此模式可成功歸納輸入變數與輸出變數之關係，推論出接近實際成本之預測值。

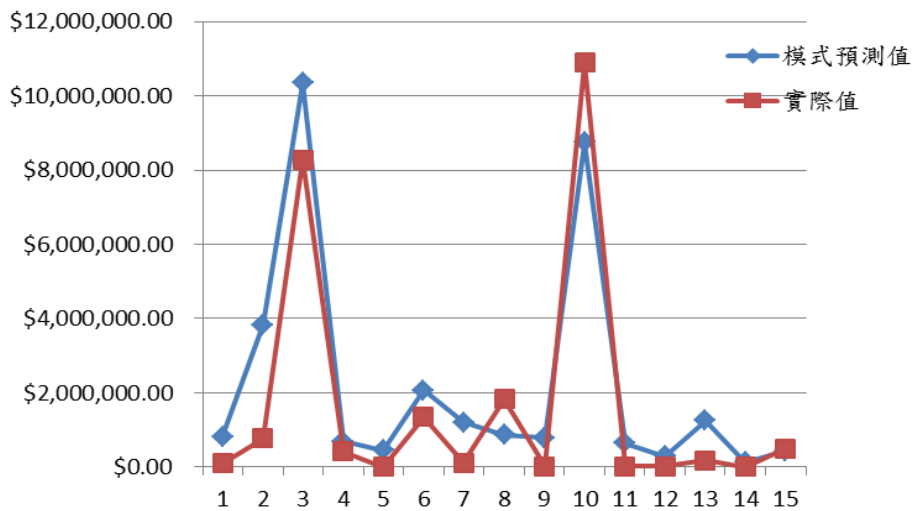


圖 5.4 橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-非跨河橋梁
(元件老化)

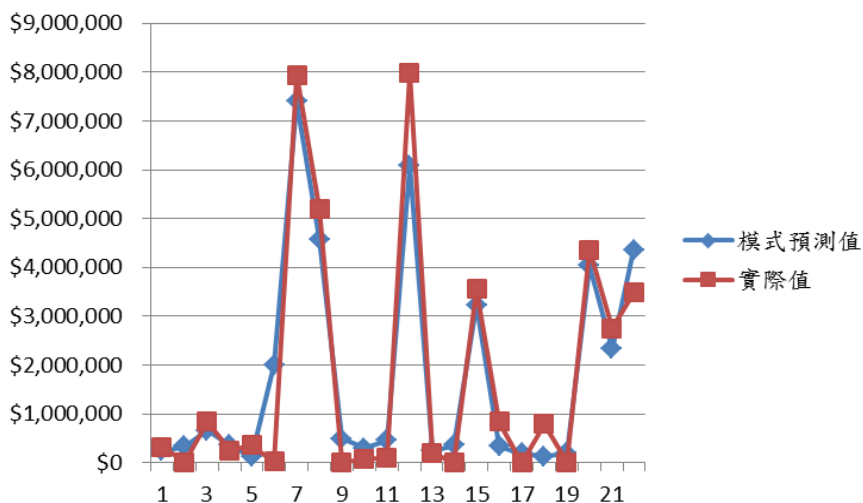


圖 5.5 橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-跨河橋梁(洪水)

5.2 地震造成風險影響程度

本研究主要針對橋梁未進行任何維護下之地震風險與壽命評估，除可依第四章風險機率評估方法決定特定震源下之地震事件(包含設定時間內之發生次數與大小)以進行損傷評估外，然而橋梁管理單位更關心未指定特定震源下之分析結果。因此，本研究建議地震危害度分析法以同時考慮了可能地震及其發生機率、震源可能位置及震度衰減特性，並建立工址某一地震參數(地表最大加速度、地表最大速度、地表最大位移及反應譜等)的年超越機率曲線，亦可稱為危害度曲線(Hazard curve)。

一般工程師不易取得地震危害度分析結果以獲得工址所須之地震危害度曲線，因此本研究為實用性與便利性考量，依耐震設計規範所定之最大地震考量下之工址水平譜加速度係數(再現週期為 2500 年)及設計地震之工址水平譜加速度係數(再現週期為 475 年)，並依自然指數函數近似以求得工址水平譜加速度係數之地震危害度曲線。依工址水平譜加速度係數之地震危害度曲線，本研究採用蒙地卡羅運算模擬設定時間內之地震事件以計算未進行任何維護下之損傷評估，並以各損傷狀態之超越機率表示。此外，本研究依完全崩塌之發生機率定義其未進行維護下之使用壽命。

當結構物受地震損壞時，一般會以結構物損壞狀況之損害比(Damage ratio)此一量化標準來描述地震損壞狀況，如式(5.4)。本研究參考 ATC-13(1985)及 HAZUS(FEMA(1997))之損害程度定義及其損害比之關係，將結構物各損壞狀況對應之損害比定義如表 5-9。

$$\frac{C_L}{C_I} \dots\dots\dots (5.4)$$

上式， C_L ：結構物受損所需之修復成本； C_I ：結構物之建造成本。

表 5-9 損害狀況及損害比之關係

損害分級	損害比
無損傷	0.00
輕微損傷	0.02
中度損傷	0.10
重度損傷	0.50
完全崩塌	1.00

地震風險成本 C_E 為此年度結構物受地震外力作用所造成可能之年損失金額，即為考量各程度之地震發生機率及其所造成之損失總和。由上述方法求取各損傷指標之超越機率及損害分級，可得各損傷分級之發生機率。將其乘上此損害分級之損害比，即為此損傷等級可能造成之年損失金額。依此方式即可評估結構物於使用年限下，每年之地震風險成本，詳如式(5.5)所示。

$$C_E = \sum (C_E^i \times P_E^i) \dots\dots\dots (5.5)$$

上式， C_E^i ：建築物第*i*損壞等級之損害比； P_E^i ：建築物第*i*損壞等級之發生機率。

以三星橋為例，其初始降伏地表加速度為 0.13g(降伏位移為 0.40cm)而其初始崩塌地表加速度為 0.19g。依其所在位置宜蘭縣三星鄉屬第二類地盤，耐震設計規範所載之震區短週期及一秒週期之設計水平譜加速度係數分別為 0.8 及 0.45(迴歸期為 475 年)，而震區短週期之最大水平譜加速度係數為 0.9(迴歸期為 2500 年)。依本研究所提之分析模式進行壽命評估與地震風險計算，如圖 5.6 及圖 5.7 所示，若以完全崩塌損傷狀態之超越機率 0.5(常態分佈假設下之可靠度值為 0)為限界點決定其壽命，則三星橋於無任何維護工作下之壽命約為 15 年；而 50 年之地震風險成本則為重建成本之 0.9 倍。

以牛鬥橋為例，其初始降伏地表加速度為 0.13g(降伏位移為 3.3cm)而其初始崩塌地表加速度為 0.37g。依其所在位置宜蘭縣三星鄉屬第二類地盤，耐震設計規範所載之震區短週期及一秒週期之設計水平譜加

速度係數分別為 0.8 及 0.45(迴歸期為 475 年)，而震區短週期之最大水平譜加速度係數為 0.9(迴歸期為 2500 年)。依本研究所提之分析模式進行壽命評估與地震風險計算，如圖 5.8 及圖 5.9 所示，若以完全崩塌損傷狀態之超越機率 0.5(常態分佈假設下之可靠度值為 0)為限界點決定其壽命，則牛鬥橋於無任何維護工作下之壽命約為 25 年；而 50 年之地震風險成本則為重建成本之 0.75 倍。

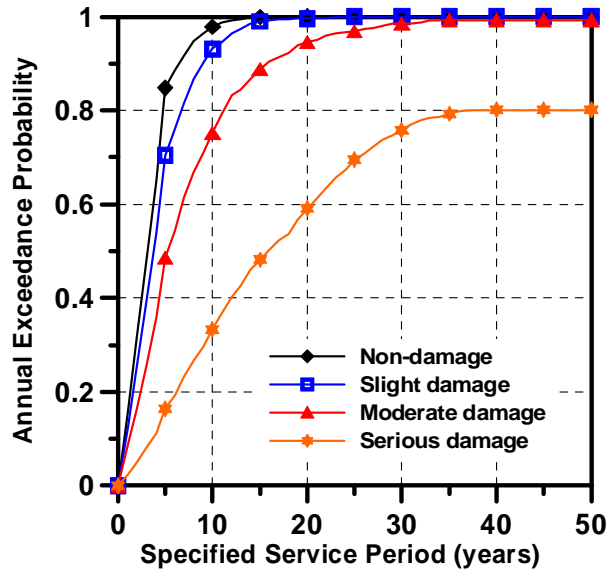


圖 5.6 三星橋未來 50 年內之損傷超越機率

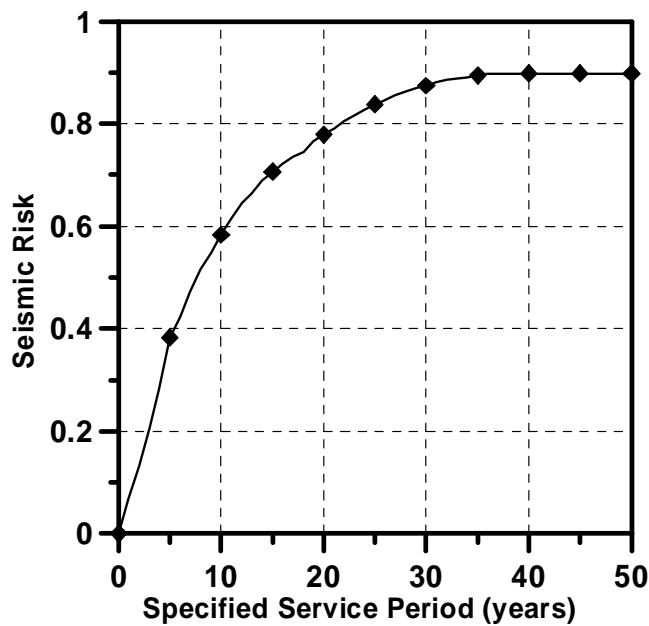


圖 5.7 三星橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

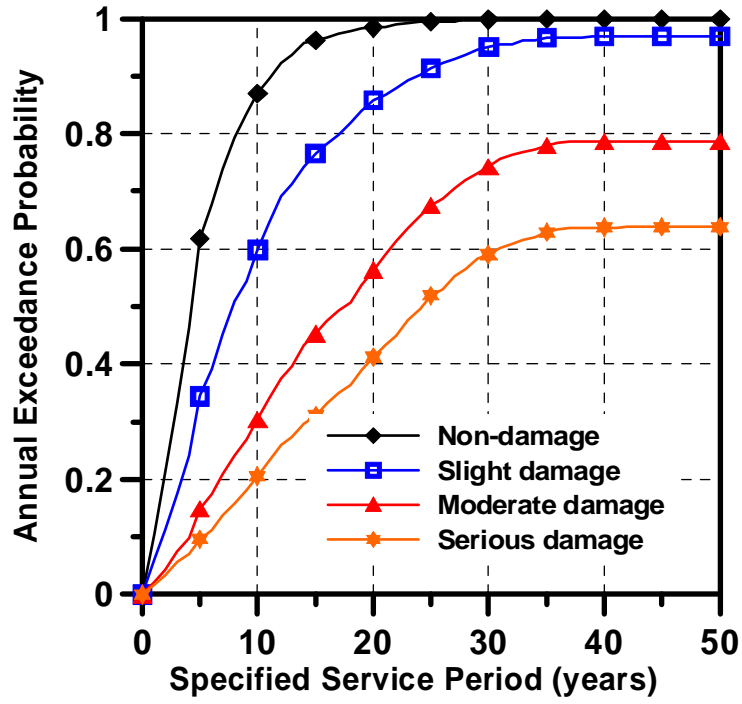


圖 5.8 牛門橋未來 50 年內之損傷超越機率

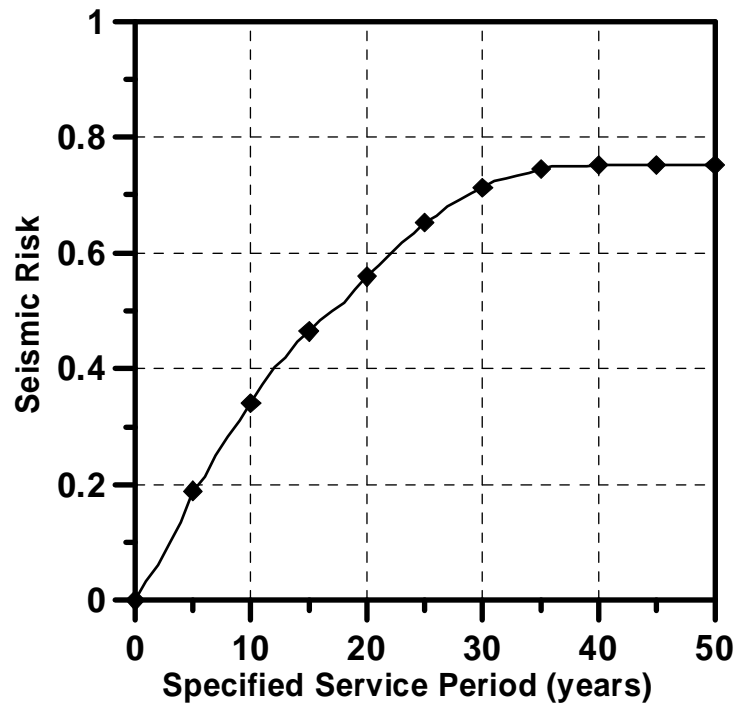


圖 5.9 牛門橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

第六章 橋梁維護策略最佳化

6.1 單橋橋梁維護成本最佳化

本研究導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁維護策略最佳化模式，如圖6.1之示意。由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益，即維修方案執行後使設施保持健康或堪用狀態的程度可能會有所差異。因此，根據各橋梁之劣化曲線，針對單一橋梁求得殘餘能力，再依狀況分析，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得所需之維修工期與成本，如圖6.2所示。

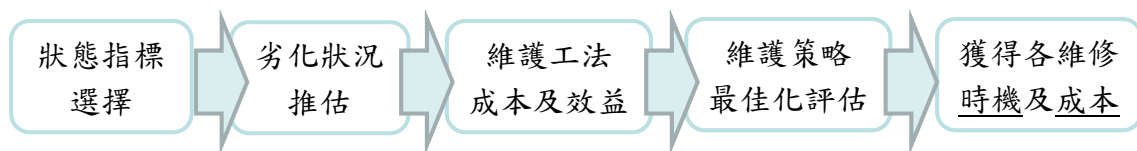


圖6.1 單橋橋梁維護成本最佳化流程

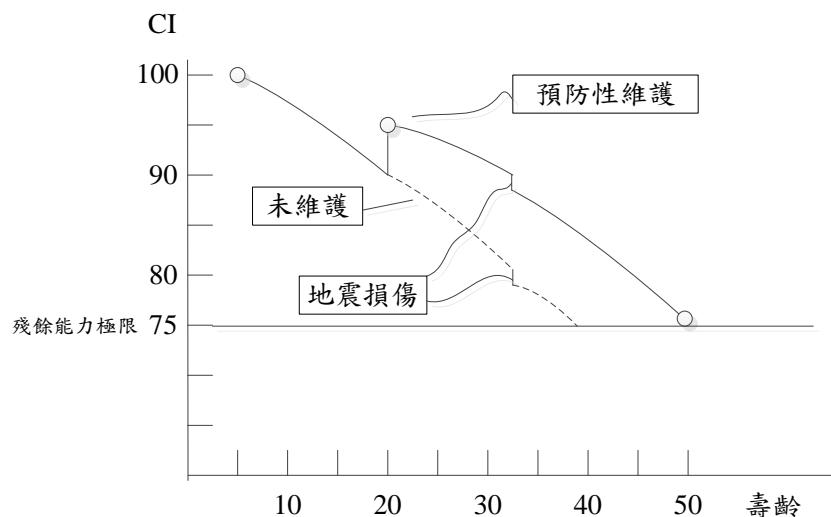


圖6.2 橋梁維修策略示意圖

此外，在考量公路橋梁管理單位橋梁現況且維護經費有限情形下，管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作。因此，將有限資源做最有效運用更顯重要。橋梁維護策略最佳化模式將同時

考量各橋梁所評估之健康度現況、所需維修工法成本與工期及重要性，輔助公路管理單位針對單一橋梁進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。

6.2 單橋維護成本策略

由於單橋橋梁生命週期中，不同元件損傷與不同工法之維護方案與維修時間點組合項次難以估計，如以傳統試誤法等方式求解，將無法在短時間內達到答案。因此，本研究使用生物共生演算法(Symbiotic Organism Search, SOS)作為最佳化模式之理論，其方法之特性為可保持數值迭代時的多樣性及加速收斂的效果。

在橋梁維修策略模式最佳化中，其目標函數是為求解最低的橋梁生命週期成本(Life Cycle Cost, LCC)，如圖6.3所示。LCC是以100年之壽齡為例，同時考量老化、地震、洪水風險下之維修成本(Maintenance Cost)以下簡稱E(MC)與橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之重建成本(Rebuilding Cost)以下簡稱E(RC)，即橋梁因地震或洪水中斷下可能造成損害之重新興建成本。其結果可以得到以最低的LCC為目標下，考慮風險下的維修成本金額E(MC)。同時橋梁可保持堪用狀態，亦即是橋梁的健康度指標(假設CI值為75~90區間以上)必須維持在一定水準之上之維修成本。

$$\begin{array}{ccc} \text{維護費用成本} & & \text{損害風險成本} \\ & \text{┌───┐} & \text{┌───┐} \\ & \text{└───┘} & \text{└───┘} \\ \text{LCC} = & \text{E(MC)} & + \text{E(RC)} \end{array}$$

圖6.3 單橋成本目標函數

其中：

1. LCC(Life Cycle Cost)為橋梁生命週期成本、E(MC)為(Maintenance Cost)為風險下維修成本、E(RC)為(Rebuilding Cost) 橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之重建成本E(RC)，即橋梁因地震或洪水中

斷下可能造成損害之重新興建成本。

2. 本階段損害重建成本採用橋梁興建成本為預設值
3. 前一階段中已求出維護費用成本E(MC)與E(RC)，如公式6.1與6.2。

$$E(MC) = \left(\sum_{i=1}^{100} P_{MD_i} \times C_{MD_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{ME_i} \times C_{ME_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{MS_i} \times C_{MS_i} \right) \dots (6.1)$$

6.1式中:

P_{MD} : 元件老化發生橋樑損壞之維修機率值(Maintenance Occurrence Probability of Deterioration)

P_{ME} : 地震發生橋樑損壞之維修機率值(Maintenance Occurrence Probability of Earthquake)

P_{MS} : 洪水發生橋樑損壞之維修機率值(Maintenance Occurrence Probability of Scour)

C_{MD} : 元件老化發生橋樑損壞之維修成本(Maintenance Cost of Deterioration)

C_{ME} : 地震發生橋樑損壞之維修成本(Maintenance Cost of Earthquake)

C_{MS} : 洪水發生橋樑損壞之維修成本(Maintenance Cost of Scour)

$$E(RC) = \left(\sum_{i=1}^{100} P_{S_i} \times C_{RS_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{E_i} \times C_{RE_i} \right) \dots (6.2)$$

6.2式中:

PE : 地震造成橋梁損害中斷之風險機率值(Bridge Broken Probability of Earthquake)

PS : 洪水造成橋梁損害中斷之風險機率值(Bridge Broken Probability of Scour)

CRE : 因地震造成橋梁損害中斷之社會成本(Rebuilding Cost of Earthquake)

CRS : 因洪水造成橋梁損害中斷之社會成本(Rebuilding Cost of Scour)，本階段損害重建成本採用橋梁興建成本為預設值

(1) 本研究之假設為橋梁生命週期為一百年，在公式6.1中E(MC)為

維護費用成本(並考慮橋梁詳細評估之費用)。算式中 P_{MD} 、 P_{ME} 、 P_{MS} 為元件老化、地震及洪水風險發生的維修機率值。 C_{MD} 、 C_{ME} 、 C_{MS} 為元件老化、地震、洪水之維修成本，將風險發生之機率值與維修成本兩者相乘，即可求出橋梁之維護費用成本 $E(MC)$ 。

(2) 公式6.2中 $E(RC)$ 為考量橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之風險成本，即橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之重建成本 $E(RC)$ ，即因地震或洪水中斷下可能造成損害之重新興建成本。 P_E 、 P_S 為地震、洪水造成損害之風險機率值。算式中 CR_E 、 CR_S 為因地震或洪水中斷下可能造成橋梁損害中斷之社會成本。將風險發生之機率值與風險發生的維修成本兩者相乘，即可求出 $E(MC)$ 。另將損害風險發生之機率值與損害風險發生的維修成本兩者相乘，即可求出 $E(RC)$ 。

(3) 在圖6.4中，橋梁之CI值初始設定值為一百分，一座橋梁在未經使用前，其CI值為滿分;經使用後，隨著橋齡逐漸提高，橋梁的健康程度也隨之下降。

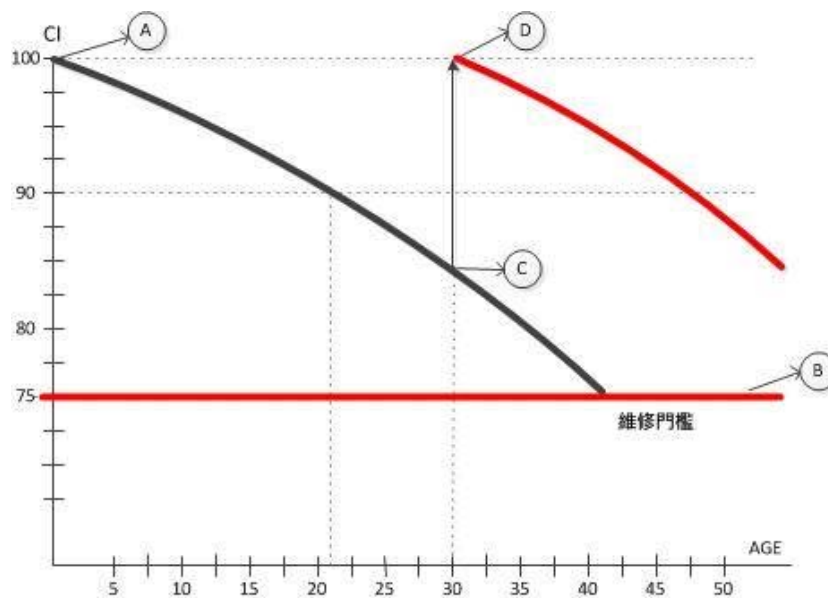
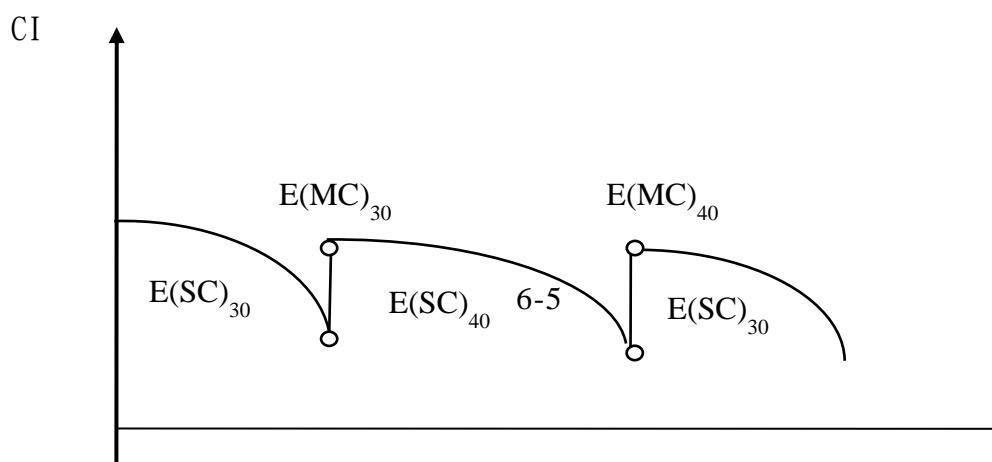


圖6.4 橋梁劣化曲線示意圖

關於圖6.4為本報告之基本假設條件，詳如下列所述：

- (1) 本報告參考TBMS之維修頻率，假定維修策略機制啟動時機為CI值下滑至100分以下時，意指從維修門檻以上至100分，橋梁在此段分數間中的任意時間點可以進行橋梁維修。
 - (2) 橋梁之CI值初始設定值為一百分，橋梁在未經使用前，其CI值為滿分即為(A點)，伴隨著時間增加，因為橋梁尚未維護的關係，CI值不斷降低，若始終不進行維護，則橋梁CI值將低於維修門檻(B點)，在此時橋梁可能嚴重影響到用路人之安全，因此在最佳化求解過程中，CI值必須維持在門檻值以上。若現在有一維護策略於橋齡30年時發生(C點)，則橋梁健康程度將提升至100分(D點)。
 - (3) 橋梁每次經過維修後，CI值能提升回100分，但耐震與耐洪能力僅能恢復至原橋梁強度之90% [15]。
 - (4) 影響橋梁劣化的因素如：橋梁地理位置、日常車流量及結構型式等，並不會因為橋梁維修而改變，因此本研究假設橋梁的劣化斜率與維修前相同。
 - (5) 在此假設維修策略之金額將不大於該座橋梁之重建成本（最佳化模式是以本年度為基準應用現值法求出，並考慮營建物價每年以2.8%之利率上漲），如果橋梁維修金額過高，則維護效益不大，則以拆除重建為優先考量。
4. 依據圖6.4之概念假設一橋梁之生命週期為一百年，其維修策略為第30年維修第一次，再過40年維修第二次之後到100年都不需要維修，其維修策略如圖6.5所示，依照圖6.4之公式其計算過程如圖6.6所示。



使用年

圖6.5 橋梁在第30年與第70年維護策略

$$\text{LCC} = \overbrace{\text{E}(\text{MC})_{30} + \text{E}(\text{MC})_{40}}^{\text{維護費用成本}} + \overbrace{\text{E}(\text{SC})_{30} + \text{E}(\text{SC})_{40} + \text{E}(\text{SC})_{30}}^{\text{損壞風險成本}}$$

圖6.6 範例:橋梁在第30年與第70年維護策略之計算式

本研究計畫希望能在有限的維護經費中，提出橋梁維修策略提高橋梁的CI值，因此希望透過最佳化搜尋找出在不同門檻值所對應之維修策略。本研究設定16種橋梁維修門檻，其CI值分別為75分、76分、77分、78分、79分、80分、81分、82分、83分、84分、85分、86分、87分、88分、89分、90分。在此以公路總局鋼筋混凝土橋梁為對象，比較各門檻下的橋梁維修成本，進而建議橋梁於風險考量下之維修策略。因公路總局所管理橋梁所在位置、興建年限與使用條件不同等，故各橋梁發展出維修策略也不同。本研究希望達到最佳之橋梁維修成本與橋梁損害風險成本組合如圖6.7，達到橋梁風險總成本最小化。最後能根據組合之結果，找出最佳維修策略之橋梁維修成本。

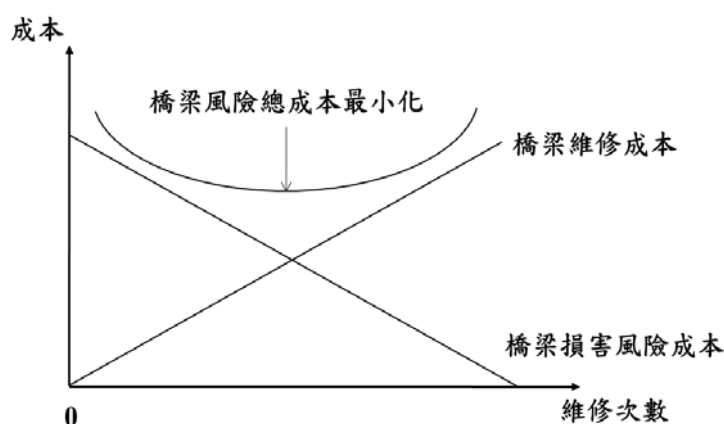


圖6.7 單橋維修策略最佳化示意圖

6.3 共生生物演算法求解橋梁維修策略

現今的啟發是演算法通常模擬自然界生物的現象，例如蜂群演算法ABC(Artificial Bee Colony)模擬蜜蜂成群地覓食特性；粒子群優化演算法PSO(Particle Swarm Optimization)模擬動物群聚行為，遺傳演算法GA(Genetic Algorithm)模擬自然進化的過程。生物共生搜尋演算法SOS(Symbiotic Organism Search)模擬生物體間的交互共生作用做配對，用於搜索生物體間最合適的交互共生作用關係，最初該算法被開發來解決在一個空間中連續數值的最佳化搜尋。

本研究室使用之生物共生搜尋演算法(SOS)，其靈感來自自然生態系統中生物之間的互動模式，SOS使用三種策略:互利共生、片利共生和寄生模擬這種自然的模式。另外SOS演算法的三個階段在操作上是容易的，只需要用簡單的數學運算法則。此外比較於同類演算法，SOS不使用微調的參數，提高了性能的穩定性，儘管比同類算法使用較少的控制參數，還能夠解決各種數值最佳化問題。

共生生物演算法是以其他演算法為研究基礎所發展出的演算法，SOS可在搜尋空間中，不斷地迭代候選解，進而求得全域最佳解。在SOS演算法中，初始假設數值空間是一個生態系統，在這個生態系統搜尋空間中，會有一組隨機生成的生物群，每一個生物代表一個對應問題的候選解，每一個生物體在生態系統中也代表一組目標適應值，

這個目標適應值會反映預期目標的適應程度。詳細演算流程如圖6.8。

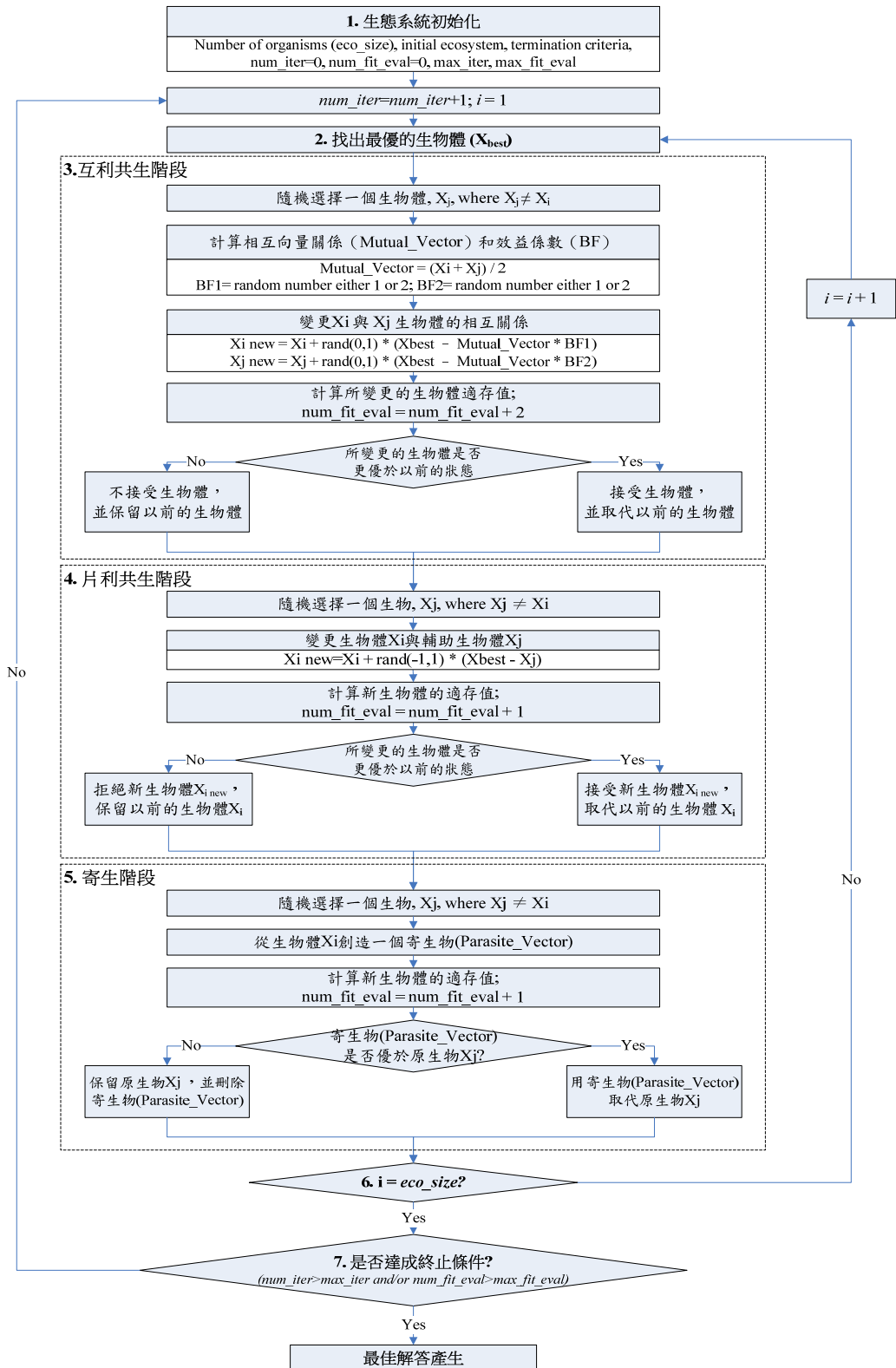


圖6.8 SOS演算法程序

步驟1.生物系統初始化

設定生物體數量，邊界條件

本研究將設定CI值低於100分時，開始維修機制，如CI值門檻設定為75分時(CI可以變動門檻75~90分)，CI值不得低於75分，考量橋梁維修前後外在環境條件不變橋梁劣化曲線斜率相同，維修後又回復至100分，之後又會隨著使用年限往下掉。

步驟2.找出最優的生物體(Xbest)

此步驟將會不斷迭代出最好的解答

步驟3.互利共生階段

舉例來說，互利共生是指兩種不同的生物，彼此互助互惠生存像是蜜蜂與花，蜜蜂在花朵間飛舞採花蜜，這項活動對蜜蜂來說可以獲得花蜜，對花來說因為蜜蜂採花蜜的行為而獲得授粉，在此的SOS階段就像是一種互惠關係。

在SOS中，Xi代表一個生物體在生態系統中第i個成員，另一個生物體Xj是從生態系統中隨機選擇出來和Xi互動的生物體。這兩種生物體彼此之間互助互惠，在生態系統中增進生存優勢。從生物體Xi和Xj的互助關係中會計算出新的候選解Xi和Xj如式(6.3)式(6.4)。

$$X_{i_new} = X_i + rand(0,1) * (X_{best} - Mutual_Vector * BF_1) \dots\dots\dots (6.3)$$

$$X_{j_new} = X_j + rand(0,1) * (X_{best} - Mutual_Vector * BF_2) \dots\dots\dots (6.4)$$

在這裡利益因素(BF1、BF2)將隨機計算為1或2，這些因素代表每一個生物的利益水平，如生物體在相互作用中是否部分或完全得到好處。公式6.5為一向量稱為互利向量“Mutual_Vector”，表示該生物體Xi和Xj之間的關係特性。最後在互利共生階段，只有當新的適存值優於之前的互動適存值，生物才會更新。

$$Mutual_Vector = \frac{X_i + X_j}{2} \dots\dots\dots (6.5)$$

Step4. 片利共生階段

片利共生的例子如短印魚和鯊魚之間的關係。短印魚貼附鯊魚還有吃鯊魚食物殘渣，從而收到好處。鯊魚是幾乎不受短印魚影響，如果有獲益或是損益的話也是很小的。

在SOS中，互利共生階段之生物體 X_j 為從生態系統中被隨機挑選出之生物與 X_i 互動。在這種情況下，生物體 X_i 試圖從互動中受益。然而，生物體 X_j 本身既無好處也無壞處。新的候選解 X_i 是根據 $X_{i_{new}}$ 和 X_j 之間的片利共生互動產出，如式6.6。按照這樣的規則，生物體 X_i 只有當它新的適用值比其之前適用值更好才會更新。

$$X_{i_{new}} = X_i + rand(-1,1) * (X_{best} - X_j) \dots\dots\dots (6.6)$$

Step5. 寄生階段

寄生之例子如瘧原蟲，透過瘧蚊叮咬人類，進入宿主。當瘧原蟲在人體內部擴散被發現，其人類宿主遭受瘧疾可能導致死亡的結果。

在SOS中，生物體 X_i 類似寄生瘧蚊角色，透過人工創造寄生行為稱為寄生向量“Parasite_Vector”。在搜尋的空間中寄生載體被創造複製出生物體 X_i ，然後使用一個隨機數修改成隨機的尺寸，再從生態系統中隨機選擇出生物體 X_j ， X_j 作為主導寄生蟲載體。在生態系統中寄生蟲載體嘗試取代 X_j 。這兩種生物體評估與衡量自己的適用值。如果寄生蟲載體有更好的適用值，它會殺死生物體 X_j ，並取代其在生態系統中的地位。如果 X_j 有更好的適用值， X_j 將能抵抗寄生蟲和寄生蟲載體，使其無法繼續同處在該生態系統中。

Step6. 生物體達到設定值上限

在SOS演算法中，如果迭代次數達到生物體上限，則程式會終止計算。本研究之迭代次數為10000次，並驗證至其收斂。

Step7. 滿足終止條件

滿足終止條件時，SOS將會停止計算。得到最小之LCC單橋維護最佳化目標、最佳維護策略與E(MC)橋梁維修成本。

6.4 單橋橋梁風險管理策略訂定

如圖6.9中，A橋梁維修方案有多種維修組合，例如維修策略1為橋梁於10年與30年各修一次，使CI值能維持在門檻之上。維修策略2為10年、15年、40年各修一次，使CI值維持在門檻之上。本研究希望透過最佳化搜尋，求解最便宜之維修組合。

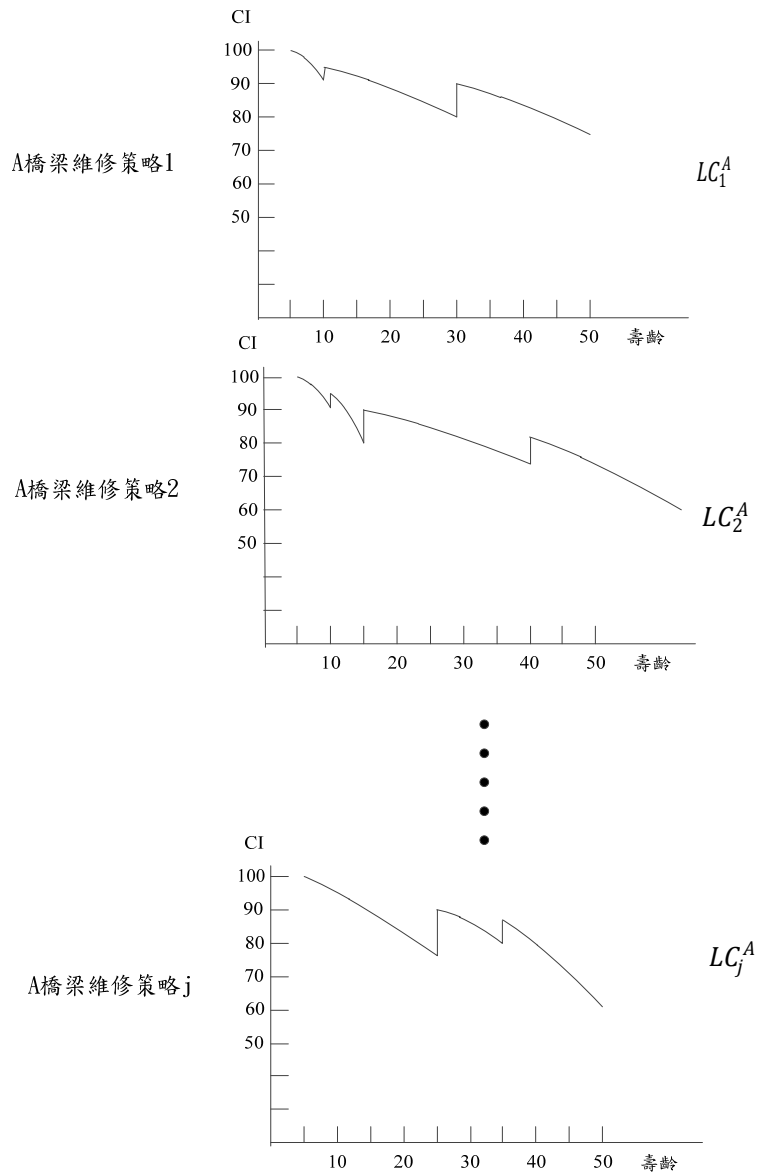


圖6.9 橋梁維修組合方案

由第四章橋梁維修機率中，經由歷史案例統計迴歸得到各橋梁未來CI推論值，如橋梁編號B01-013A-011D在第一次維修時，橋梁年齡為5年時，CI值參照表6-1得知為97.14，橋梁年齡為10年時，CI值為95.76，隨著時間增加，CI值將由100分向下遞減，參考第二次維修CI值，再過維修5年後維修，也就是第15年維修其CI值為94.36，若再經過10仍未維修其CI值降至91.51;如果橋梁經過維修後，CI值將回復為100分，但耐震與耐洪能力恢復至原橋梁強度90%[15]。且CI值維修前後，橋梁劣化斜率相同。

在第四章橋梁維修機率中，將所得之CI推論值再經由蒙地卡羅模擬，得知各年度橋梁於各致災風險下之維修機率。表6-2為橋梁於時間內發生之風險機率，為公式6.1與6.2之機率參數。

由第五章風險衝擊影響程度中，經人工智慧(ESIM)推論出橋梁未來可能發生之風險成本(本階段之橋梁因地震或洪水造成損害之重建成本CRS、CRE採用橋梁興建成本為預設值)，再將表6-2之維修機率乘上所對應之未來可能發生之維修成本，其結果參照表6-3，統稱為各年度橋梁風險與維修成本(以本年度為基準應用現值法，並考慮營建物價上升指數)，帶入圖6.3可求得橋梁生命週期成本LCC。SOS會由所得之橋梁生命週期成本LCC中，搜尋金額最低之成本組合，進而發展出適合門檻值之維修策略。不過單橋的風險下維修成本E(MC)才是維修最佳策略的維修成本。

本研究以編號B01-013A-011D橋梁為例，計算橋梁生命週期100年中，維修策略不低於門檻值之最便宜的維修組合，其結果如表6-4。表6-1為橋梁B01-013A-011D之無維修狀態之CI值，SOS參照此表計算橋梁之最佳維修策略。表6-2、6-3是以橋樑B01-013A-011D為例，橋梁維修門檻可由CI值75提升至CI值90(此表以門檻75為例)，表6-2為各年度橋梁風險機率與表6-3為各年度橋梁維修與考量風險與重建成本，表6-4為橋梁B01-013A-011D在符合不同門檻下之維護策略LCC表。

表6-1 橋梁B01-013A-011D生命週期CI值

橋齡	無維修狀態之 CI 值
5	97.21
10	95.80
15	94.35
20	92.96
25	91.57
30	90.17
35	88.78
40	87.37
45	85.98
50	84.58
55	83.17
60	81.76
65	80.36
70	78.97
75	77.54
80	76.12
85	74.72
90	73.32
95	71.91
100	70.47

表6-2 以B01-013A-011D，CI值門檻75為例，各年度橋梁風險機率

維修年	5 年	10 年	15 年	20 年	25 年	30 年	35 年	40 年	45 年	50 年
元件老化維修機率值 P_{MD}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地震維修機率值 P_{ME}	0.085	0.200	0.343	0.408	0.458	0.523	0.548	0.655	0.708	0.768
洪水維修機率值 P_{MS}	0	0	0	0	0.005	0.002	0.014	0.048	0.211	1
地震損害風險機率值 P_E	0.00225	0.0305	0.0325	0.03425	0.062	0.0885	0.11325	0.19025	0.193	0.217
洪水損害風險機率值 P_S	0	0	0	0	0.001	0.0004	0.003	0.013	0.063	0.333
維修年	55 年	60 年	65 年	70 年	75 年	80 年	85 年	90 年	95 年	100 年
元件老化維修機率值 P_{MD}	0	0	0	0	0	0.066	0.636	1	1	1
地震維修機率值 P_{ME}	0.775	0.795	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808
洪水維修機率值 P_{MS}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
地震損害風險機率值 P_E	0.2185	0.24375	0.24375	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445
洪水損害風險機率值 P_S	0.367	0.400	0.433	0.467	0.500	0.533	0.567	0.6	0.633	0.667

表6-3 以B01-013A-011D為例，各年度橋梁維修與重建成本(應用現值法求物價上升利率)

維修年分	5年	10年	15年	20年	25年	30年	35年	40年	45年	50年
元件老化維修費用成本 $P_{MD} * C_{MD}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地震維修費用成本 $P_{ME} * C_{ME}$	289,052	347,398	777,215	861,524	1,118,354	1,515,556	1,611,539	1,866,828	1,968,945	2,133,645
洪水維修費用成本 $P_{MS} * C_{MS}$	0	0	0	0	17,505	29,527	125,513	217,765	1,304,018	6,196,146
地震損害風險成本 $P_S * C_{RS}$	16,259	223,066	240,566	256,584	470,088	679,123	879,551	1,495,427	1,535,379	1,747,173
洪水損害風險成本 $P_E * C_{RE}$	0	0	0	0	3,791	7,674	38,056	75,459	508,346	2,683,830
維修年分	55年	60年	65年	70年	75年	80年	85年	90年	95年	100年
元件老化維修費用成本 $P_{MD} * C_{MD}$	0	0	0	0	10,094	858,155	7,020,597	10,464,586	10,591,070	10,719,083
地震維修費用成本 $P_{ME} * C_{ME}$	2,200,178	2,432,953	2,545,830	2,576,601	2,607,744	2,639,264	2,671,164	2,703,450	2,736,127	2,769,198
洪水維修費用成本 $P_{MS} * C_{MS}$	6,271,039	6,346,836	6,423,549	6,501,190	6,579,769	6,659,298	6,739,788	6,821,251	6,903,699	6,987,143
地震損害風險成本 $P_S * C_{RS}$	1,780,514	2,010,279	2,034,577	2,065,505	2,090,470	2,115,738	2,141,310	2,167,192	2,193,387	2,219,898
洪水損害風險成本 $P_E * C_{RE}$	2,987,896	3,298,920	3,617,026	3,942,341	4,274,991	4,615,106	4,962,819	5,318,263	5,681,575	6,052,892

表6-4 B01-013A-011D不同維護策略之LCC表

門檻值	興建成本	橋梁維修年限策略(第幾年)																		LCC	E(MC)	E(RC)				
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90				95	100		
CI 75	\$7,140,000				V				V				V					V				V	6,204,760	4,822,760	1,382,000	
CI 76					V				V				V						V				V	6,316,330	4,918,180	1,398,140
CI 77					V				V				V						V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 78					V				V				V						V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 79					V				V				V						V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 80					V				V				V						V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 81			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 82			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 83			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 84			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 85			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 86			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 87			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 88			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 89			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	9,622,010	7,160,460	2,461,560
CI 90			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	9,622,010	7,160,460	2,461,560

在圖6.10中，維修門檻設定為75分，經最佳化搜尋結果，該座橋梁分別於橋齡第20、40、60、80和100年時維修，詳細維修金額如表6-5。在橋梁生命週期中，CI值維持在不低於75分的狀態，又該維修策略是此座橋梁在生命週期維修成本中最低值，因此若用此維修策略，CI值可維持在75分以上，其LCC橋梁生命週期成本為6,204,760元，其考慮隨著時間增加物價上升之橋梁維修成本為4,822,760，其值小於興建成本7,140,000。

表6-5 橋梁B01-013A-011D於門檻值75維修時間與成本

門檻值 75	B01-013A-011D
維修時間	CI 值
0	100
20	92.963
40	92.963
60	92.963
80	92.963
100	92.963
LCC 橋梁生命週期成本	\$6,204,760
E(RC)損害風險成本	\$1,168,900
E(MC)維護費用成本	\$4,822,760
興建成本	\$7,140,000
興建成本(考慮物價上升)	\$17,136,000

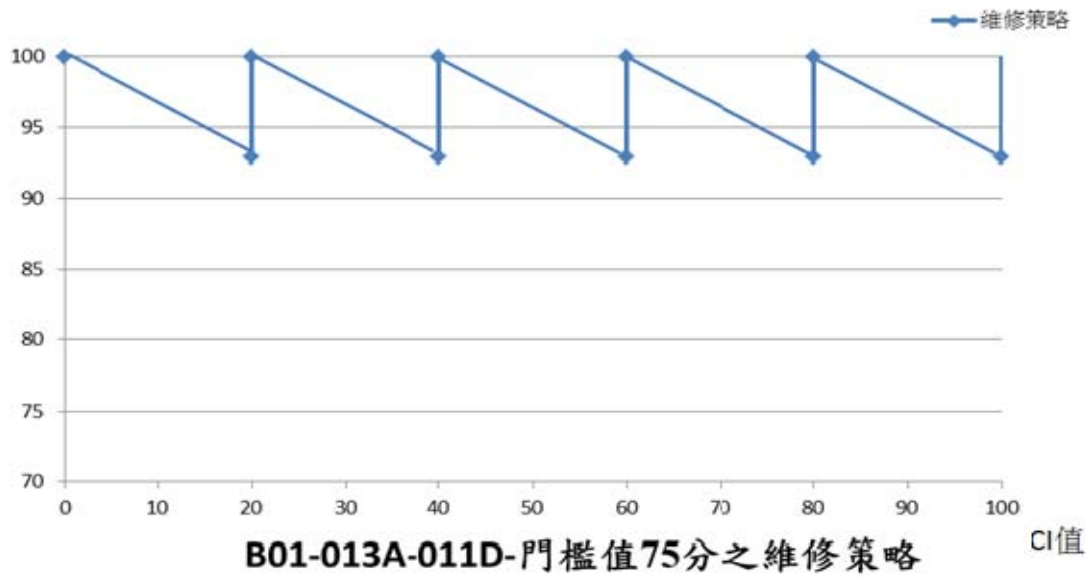


圖 6.10 搜尋維修策略(門檻值 75 分)

橋梁維修門檻可由75調整至90，圖6.11為橋梁B01-013A-011D在符合不同門檻下之維護成本表。根據結果，可發現在門檻75時，有最低之LCC值，可建議橋梁管理單位優先選定此門檻為未來年度之維修門檻亦可根據需求選定不同門檻，保持橋梁高性能(如90分)。

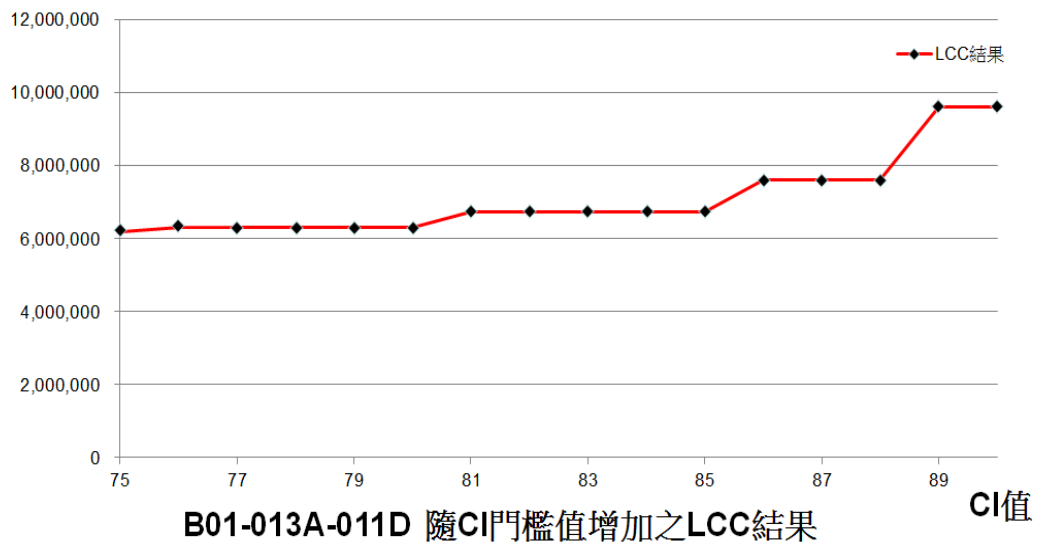


圖6.11 不同門檻值維修策略

6.5 單橋橋梁風險管理策略網頁查詢介面

本研究建置單橋橋梁風險管理策略網頁查詢介面(如圖6.12)，可顯示各橋梁最佳化維修策略與生命周期總成本、維修風險成本與重建風險成本。點選此橋建議維修門檻，可查看此橋不同門檻下之維修策略與成本(如圖6.13)。

橋樑編號	橋樑名稱	區段	橋樑類型	橋樑長度	橋樑高度	橋樑寬度	橋樑材料	橋樑狀態	橋樑風險	橋樑成本	橋樑壽命	橋樑風險成本	橋樑重建成本
A02-1000-018	山蘇溝橋	一區	中樑	新北市	泰山	0.0	100.0	68.0	CeLi	9279744461	6625128100	26546463161	
A01-1000-047B	新南橋	一區	單梁	新北市	深坑	0.0	100.0	67.0	CeLi	5646785413	26143791379	30324062748	
A04-0030-061A	南華橋	一區	新竹	新竹縣	關西	10.43	100.0	67.0	CeLi	2387913152	180596464	59495087	
A03-0610-018B	右對岸平潭橋	一區	中樑	桃園縣	大園	0.0	100.0	66.0	CeLi	167706307	98217353	69489934	
A03-0010-036A	老樹溝橋	一區	中樑	桃園縣	中壢	0.0	100.0	66.0	CeLi	125773827	9733327	28020000	
A05-0070-023A	橋水橋	一區	單梁	桃園縣	溪湖	7.97	100.0	66.0	CeLi	4093804	3844661	23144	
A03-0040-007A	南莊橋	一區	中樑	桃園縣	桃園	29.04	100.0	65.0	CeLi	143697839	7648384	67279476	
A04-0610-001A	S-11區南橋	一區	新竹	新竹市	新竹	0.0	100.0	65.0	CeLi	191433974	160373165	25862809	
A02-0630-016A	大安寮橋	一區	中樑	台北市	土城	26.75	100.0	64.0	CeLi	79622893	76380038	23268856	
A01-0010-000A	寶德橋(原橋長230m)	一區	單梁	台北市	汐止	40.13	100.0	64.0	CeLi	257833883	243224064	1260818	
A01-0030-011B	平林橋(原橋)	一區	單梁	台北市	雙溪	16.69	100.0	64.0	CeLi	181438031	126909102	54228930	
A01-0020-022C	江橋橋	一區	單梁	台北市	雙溪	14.74	100.0	64.0	CeLi	23329606	133732171	101597434	
A03-0610-026AB	右對岸平潭橋	一區	中樑	桃園縣	大園	0.0	100.0	64.0	CeLi	423014228	383611757	39402470	
A03-0150-023A	海埔一號橋	一區	中樑	桃園縣	龍竹	0.0	100.0	63.0	CeLi	83338379	58460064	24878316	
A01-0620-002A	3K-45'雙橋橋	一區	單梁	基隆市	七堵區	0.0	100.0	63.0	CeLi	46554955	14809972	11755983	
A02-009A-008A	上龜山橋	一區	中樑	台北市	板橋	14.95	100.0	63.0	CeLi	117107678	63681968	53425691	
A01-0060-009B0	平潭橋(舊橋)	一區	單梁	新北市	平溪	0.0	100.0	63.0	CeLi	223320605	2281028644	254003821	
A03-0610-026AL	左對岸平潭橋	一區	中樑	桃園縣	大園	100.0	100.0	63.0	CeLi	556692984	387445109	150247875	
A02-0010-008A	臺灣橋(原橋長219.5-400*178.5)	一區	中樑	台北市	泰山	0.0	100.0	62.0	CeLi	4478199437	3012571206	1462628231	
A03-0020-101A	龍門橋	一區	單梁	台北市	雙溪	0.0	100.0	62.0	CeLi	96080529	87382519	8687010	
A03-0040-009A	龍門雙橋	一區	中樑	桃園縣	桃園	32.51	100.0	62.0	CeLi	586019778	509900813	76038965	

圖6.12 網頁查詢結果維修策略

橋樑編號	第10年	第15年	第20年	第25年	第30年	第35年	第40年	第45年	第50年	第55年	第60年	第65年	第70年	第75年	第80年	第85年	第90年	第95年	第100年	生命周期總成本	維修風險成本	重建風險成本
73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	219549000	147819000	71729600
76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	219549000	147819000	71729600
77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	219549000	147819000	71729600
78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	219549000	147819000	71729600
79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220187000	148457000	71729600
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220187000	148457000	71729600
81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	221888000	150159000	71729600
82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	221888000	150159000	71729600
83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	221888000	150159000	71729600
84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	229704000	157975000	71729600
85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	229704000	157975000	71729600
86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	247762000	174033000	71729600
87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	257305000	170126000	87169900
88	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	240905000	145089000	95816000
89	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	260717000	205612000	55105400
90	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	260717000	205612000	55105400

圖6.13 橋梁維修策略

第七章 結論與建議

7.1 結論

本研究同時考量可視劣化(visible)與潛勢危害(invisible)等損壞因素，導入風險概念，並以蒙地卡羅模擬計算橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而評估橋梁可能風險，並輔以ESIM推論橋梁不同維修策略之維修成本，最後使用SOS最佳化演算法，搜尋橋梁於生命週期成本中，保持在一定水準之上的維護最低費用。

本節彙整前幾章節之研究成果歸納以下幾點做為結論：

1. 本研究針對三座橋梁之現地調查結果，進行細部評估分析，其結果與橋梁維修預測模式相近。
2. 依機率事件模擬可能發生之風險，評估橋梁將遭遇之災害頻率及強度。了解橋梁在生命週期中可能造成的影響程度，橋梁管理單位能有效掌握橋梁狀況與風險排序，並結合維修成本之評估，可在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。
3. 本研究導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁維修策略最佳化模式，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得維修經費。
4. 建置風險評估程式，橋梁管理單位可以實際狀況更新本研究所定義之風險參數，程式將依此進行風險評估計算，降低維護更新之人力及經費所需。
5. 本研究針對單一橋梁建議維修策略，進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強。在有限維護經費下考量最佳經濟效益，研擬最適維護時間與工法策略。

7.2 建議

本節根據本期末報告之研究成果，提出未來發展之建議事項：

1. 本報告研究範圍僅限於鋼筋混凝土橋梁，未來可將其他形式之橋梁加入探討範圍。
2. 在此針對單一座橋梁進行維護策略最佳化之評選。然而，在考量公路橋梁管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與維護之作業，因此如何針對群體橋梁進行預算分配及經費評估，並依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作，是一發展方向。

參考文獻

1. 公路總局養護手冊，2012
2. 交通部，公路養護規範，2003。
3. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華科技圖書，2000。
4. 台灣地區橋梁管理資訊系統 Taiwan Bridge Management System (TBMS), <http://office.eclipse-tech.net/bms2/>
5. 鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012。
6. 陳永銘、許阿明，臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度，臺灣公路工程 34 卷，2008。
7. Woodward R J, Bridge Management in Europe “Review of current practice for assessment of structural condition”,1999.
8. 劉效堯、蔡鍵、劉暉，橋梁損傷診斷，人民交通出版社，2002。
9. 日本構造物診斷技術協會，混凝土構造物的健全度診斷技術開發報告書，1994。
10. 王仲宇、連惠邦、楊明德、李維峰，訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究 (第二次期中報告書)，2010。
11. 國道高速公路局橋梁檢測作業要點，交通部，2001。
12. 1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範，交通部，1997。
13. 周健捷、蔣偉寧、唐治平、董必正，機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用，研究報告，內政部營建署，2000。
14. 沈永年、曾明生、鄭傳璋，橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例，第二屆鋪面工程師生研究成果發表會論文集，2001，第 135-144 頁。

15. 饒珉菘、陳俊杉、謝尚賢，應用無線技術於橋樑檢測管理之研究，第七屆中華民國結構工程研討會，2002。
16. 許文政、黃榮堯，橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2005。
17. 廖家禎，拱橋與 π 型橋目視檢測評估方法之研究，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2007。
18. 崔國強、林志明，橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例，臺灣林業，2008，第 14-24 頁。
19. 羅國峯、倪勝火、黃焜宏，應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測，臺灣公路工程，第 34 卷，第 5 期，2008，第 2-16 頁。
20. 陳昱源，應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究，碩士論文，成功大學土木工程學系，2008。
21. 王仲宇，橋梁的健康診斷，科學發展，第 434 期，18 -23 頁，2009。
22. 中國土木水利工程學會，橋梁檢測方法與應用，科技圖書，2010。
23. 曾惠斌、鍾金龍，我國橋樑維護管理績效評估之探討，臺灣大學臺大工程學刊，2002。
24. 李有豐、謝尚賢，建立橋梁檢測制度方法及準則之研究，交通部運輸研究所，2002。
25. 王仲宇主編，橋樑安全維護檢測手冊(草案)，交通部，2002。
26. 張耀文，高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立，碩士論文，國立雲林科技大學營建工程系，2004。
27. 延允中，橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，2004。
28. 楊振翰，臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究，碩士

- 論文，國立中央大學營建管理研究所，2004
29. 蔣偉寧、戴忠、莫若楫、唐治平，震後橋樑結構快速診斷手冊之建立與震後橋樑快速補強手段，行政院公共工程委員會，1999。
 30. 張國鎮、蔡益超、張荻薇、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、洪曉慧、劉光晏、吳弘明、戚樹人、陳彥豪，公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究，報告編號:NCREE-09-028，國家地震工程研究中心，2009。
 31. 邱毅宗、王俊穎、宋裕祺，考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強，第十屆中華民國結構工程研討會論文，2010。
 32. 陳清泉，公路橋梁檢測評估，臺灣營建研究中心，1996。
 33. 翁明全，震後橋梁補強方案經濟效益評估模式之研究，碩士論文，國立臺灣科技大學營建工程系，2005
 34. Ko,C.H. , Computer-aided decision support system for disaster prevention hillside residents, MS thesis, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan,1999
 35. Fukahori, K. and Kubota, Y., Consistency evaluation of landscape design by a decision support system, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering , 15(5), 342-354, 2000.
 36. 吳育偉，物件導向演化式支持向量機推論模式於營建管理決策之應用，臺灣科技大學營建工程系，2007。
 37. 公路總局，二工處省道橋梁耐震補強現地檢測及評估報告書第一冊(修訂四版)，2010。
 38. 公路總局，二工處省道橋梁耐震補強現地檢測及評估報告書第二冊(修訂四版)，2011。
 39. 溫國樑、簡文郁、張毓文，最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，國家地震工程研究中心，2005。

40. 張毓文，場址特性分析及最大加速度衰減模式校正，碩士論文，國立中央大學，2002。
41. 詹皓凱，加速度地動潛勢預估，碩士論文，國立中央大學，2008。
42. 鄭明淵等，橋梁通阻檢測分析模式建立研究，交通部運輸研究所，2011。
43. Federal Highway Administration, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges,12, 1995.
44. 公路總局，二工處省道橋梁耐震補強現地檢測及評估報告書第三冊(修訂三版)，2011。
45. 臺灣世曦，公路橋梁耐震能力評估即補強工程可行性研究，公路總局，2009。
46. 林俊豪，橋梁構件破壞狀態值預測及優選排序模式之研究，碩士論文，1999。
47. 陳俊仲，臺灣地區橋梁管理系統維護管理決策支援模組之建立-以公路總局為例，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2007。
48. 陳屏甫，國道預力混凝土橋與鋼橋生命週期成本評估個案之研究，中央大學碩士論文，2005。
49. 財團法人臺灣營建研究院，高速公路橋梁延壽評估及案例分析委託研究計畫，高公局，2004
50. 財團法人臺灣營建研究院，橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立 II，交通部，2003
51. 連夷佐，橋梁維護管理生命週期成本評估模式之研究，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2003。
52. 國震中心，公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究，港灣中心，2011。

53. 中興工程，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(1/4)，交通部運輸研究所，2011。
54. 黃榮堯、許鎧麟，橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立(2/2)，交通部，2003。
55. 林慧敏，社會成本問題之研究，大同商專學報，第六期，1993。
56. 許京穎，臺灣潛勢地震之發生機率評估，碩士論文，國立中央大學，2008。
57. 張國鎮、張荻薇、黃震興、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、鄧崇任、劉光晏、洪曉慧、陳長佑，公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究，國家地震工程研究中心，2007。
58. 交通部，公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究，交通部公路總局，2009。
59. 詹皓凱，加速度地動潛勢預估，碩士論文，國立中央大學，2008。
60. 許京穎，臺灣潛勢地震之發生機率評估，碩士論文，國立中央大學，2008。
61. 生態與防災工程研究中心，橋梁通阻檢測分析模式建立研究，交通部運輸研究所，2011。
62. 溫國樑、簡文郁、張毓文，最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，國家地震工程研究中心，2005。
63. 張國鎮、張荻薇、黃震興、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、鄧崇任、劉光晏、洪曉慧、陳長佑，公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究，國家地震工程研究中心，2007。
64. 高橋稔明、酒井通孝、関博、松島学，塩害環境下における RC 構造物の LCC 算定と補修工法選定システムの開発，コンクリート工學論文集，2005

65. 交通部，公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究，交通部公路總局，(2009)。
66. Dan M. Frangopol, Industrial Short Course on Reliability Engineering 講義，台灣科技大學，2010,P47~100.
67. Woodward R. J., Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects,1999.
68. Kumar R., and Gardoni P., Sanchez-Silva M., Effect of cumulative seismic damage and corrosion on the life-cycle cost of reinforced concrete bridges, Earthquake Engineering and structural dynamics 38,2009,P887-905.
69. Ping Tserng H., and Chung Chin-Lung (2007), Health assessment and maintenance strategy for bridge management system: lessons learned in Taiwan, Journal of Infrastructure systems,2007/9, p235-246.
70. H. Ping Tserng, and Samuel Yen-Liang Yin, Chin-Lung Chung(2009), Maintenance Strategy for bridge components on the basis of performance, Journal of performance of constructed, p234-243,2009/7~8.
71. Huang, R. Y., Mao, I. S.(2010), Estimation of bridge life cycle maintenance costs using reliability-based model, ISARC , 2010, p450-460.
72. S. Das, V. K. Gupta,and V. Srimahavishnu, Damage-based design with no repairs for multiple events and its sensitivity to seismicity model, 2007.
73. Chien-Kuo Chiu, Analysis of Lifetime Losses of Reinforced Concrete Buildings Attacked by Corrosion and Earthquakes Using a Novel Method, 2012.
74. S. Das, V. K. Gupta, and V. Srimahavishnu, Damage-based design with no repairs for multiple events and its sensitivity to seismicity model, 2007.

75. Chien-Kuo Chiu, Analysis of Lifetime Losses of Reinforced Concrete Buildings Attacked by Corrosion and Earthquakes Using a Novel Method, 2012.
76. Jui-Sheng Chou , Chien-Kuo Chiu, Mahmoud Eid Farfoura, and Ismael Taharwee, Optimizing the Prediction Accuracy of Concrete Compressive Strength Based on a Comparison of Data Mining Techniques, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 25, No. 3, 2011, p242-253.
77. 行政院主計總處 <http://www.dgbas.gov.tw/mp.asp?mp=1>

附錄一

期中審查委員意見及處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>一、成功大學土木工程系陳景文教授</p> <p>1.說明選取三座橋梁之原因。</p> <p>2.在洪水沖刷分析中，所輸入之參數為何？</p>	<p>1.簡報檔中第 11 頁有列出，原有多做候選橋梁清單，在考量橋梁有長期 D.E.R.&U.及耐震能力評估資料，以及須由危害之潛勢紀錄，CI 和 SSI 值在過去應該要有一個程度的降低。假如橋梁都沒有潛勢調查則無調查需求。最後跟局上述原則列出清單供公路總局第二區養護工程處檢視，並依實務經驗選了這 3 座橋梁。</p> <p>2.臺灣橋梁管理系統 TBMS 中大概有 107 個欄位，但並不是所有的欄位都會影響經費，所以此研究使用 SPSS 去找因子的相關性。簡報 33 頁中指出如果針對洪水沖刷需要維修經費，分析結果有 7 個影響因子，並與公路總局開會確認為可以接受的。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>3. 橋梁風險衝擊影響程度中之影響因子之結構型式，是否有包含材料因素？</p> <p>二、中興大學土木工程學系林炳森教授</p> <p>1. 摘要應列出結果。</p> <p>2. P.2-68 生物共生演算法如何應用至最佳化應說明。</p> <p>3. P.3-39 北勢大橋現場調查之 CI 值、SSI 值是否符合規範</p> <p>4. P.4-5 圖 4-3 復興三橋之 CI 值與橋齡關係式 $Y=-1.1023X+100$ 之 $R^2=?$</p> <p>5. P.4-9 地震損害是否有考慮液化狀況。</p>	<p>3. 本研究僅針對 RC 橋梁，考量材料老化部分在地震損壞損傷機率評估，所預測之 A_y 和 A_c 就是橋梁的降伏地表加速度和崩塌地表加速度，並引用「橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」之成果，材料劣化已包含中性化和鹽害對於鋼筋腐蝕的影響。</p> <p>1. 感謝委員建議，已修改摘要之內容。</p> <p>2. 已於期末報告第六章中補充相關內容。</p> <p>3. 本團隊依據檢測規範之規定進行現地調查結果，其 CI 與 SSI 皆符合規範值。</p> <p>4. 感謝委員建議，已補充數據於圖 4.3。</p> <p>5. 本研究引用「橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」之成果，並未考量液化之因素。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>6.P.5-16 風險成本分析表 5-9 應列出文獻並說明分成五級之原因</p> <p>7. 參考文獻英文格式應依港研中心規定，姓統一在前並依字母順序。英文的應該要統一，看要用姓還是 Intinal 大寫要注意。</p> <p>三、國科會災害防救應用科技 方案辦公室謝其泰博士</p> <p>1. 第一年的工作重點為橋梁檢測，第二年橋梁受損發生機率及建立風險評估程式，第三年為成本管理，他們相互應用是否可以說明一下。</p> <p>2. 未來要如何實際應用在防災工作，請說明一下。</p>	<p>6. 請參考文字說明，本研究參考 ATC-13(1985)及 HAZUS(1997)之損害程度定義及其損害比關係，定義出五個等級。</p> <p>7. 感謝委員建議，期末報告中遵循格式需求進行編排。</p> <p>1. 第一年度之成果，反映在檢測表單比對，第二年度則是計算維修之風險機率 P，本年度進而求取維修可能成本 C，相乘即可求得風險值，另外今年所做現地勘查可與模式推論進行比較提高可信度。</p> <p>2. 本研究之目的為提供預防性維護的建議。並根據可能之地震或洪水危害上的預測，所以可根據估算和模擬結果，提供橋梁管理單位預防性維護的策略，並使得橋梁管理單位在預算有限下有效利用資源。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>3. 是否有建置維修工法資料庫？</p> <p>四、本所港研中心第一科胡啟文助理研究員</p> <p>1. 在第二章文獻回顧部分，因 92 年版交通部頒公路養護手冊已廢止，目前係依部頒養護規範由各局自訂養護手冊，請改正，所以表 2-1 橋梁檢測分類別表經常巡查欄中有提及高速公路檢測頻率之部分，資料來源應再將高速公路養護手冊列入相關敘述內容，亦請一併修正。</p> <p>2. P4-6、P4-75，提及未來相關單位可根據需求調整失敗門檻值，其調整時機及調整方式（是否在系統上開放欄位供相關單位根據需求輸入調整失敗門檻值）為何？再請說明。</p> <p>3. 報告內容相關編排方式，請依本所「出版品管理作業要點」辦理。</p> <p>4. P2-38，2.8 橋梁維修補強工法…如「表 4-27」，「」中編號有誤。P2-53，文中出現「錯誤！找不到參照」。P3-30，</p>	<p>3. 本研究建置相關工法查詢功能於網頁系統中。</p> <p>1. 遵照委員意見，參考公路總局養護規範進行修改。</p> <p>2. 本研究於期末報告提出各門檻值之生命週期風險成本計算結果，必以最低成本做為建議值，如管理單位欲維持高服務性(門檻值高)，可選擇較高之值，但對應之生命週期成本亦較高。</p> <p>3. 期末報告依貴所之規定進行編排。</p> <p>4. 遵照意見，修改文字錯誤部分。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>3.1.3.1 基本資料…台中市大甲區「61 號快速道路」…，「」中請修改為台 61 線西濱快速公路。P4-2，…將以可是老話..，文字有誤。P4-5，頁末出現表 4-3 所示。以上誤繕之處，請修正。</p> <p>五、本所港研中心第一科謝明志科長</p> <p>1.簡報 P.17 頭屋大橋模式推論結果較接近資料庫之結果，請說明。</p> <p>六、本所港研中心第一科林雅雯研究員</p> <p>1.簡報 P.17 頭屋大橋現地勘查結果橋墩狀況較差，為何 SSI 值反而較高？請將 SSI 值等相關比較及小結納入第三章。</p>	<p>1.推論出來跟資料庫比較吻合，為正確之趨勢。因為根據資料庫的資料做統計回歸做模式的建立，所以推論結果與資料庫結果較接近。</p> <p>1.經審核過，屬文字誤植，於期末報告中修正相關數據。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

附錄二

專家座談會議紀錄

**交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)
專家座談會記錄**

計畫名稱：橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究

合作研究單位：國立臺灣科技大學

專家及其所提之意見	研究團隊回覆紀錄
<p>一、國立臺灣海洋大學河海工程系 黃然教授:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在今年的計畫的目的和後面的橋梁殘餘壽齡計畫案都只是一個概念性，總題目是一個概念性的，有獨立的目標嗎？ 2. 維修和延壽有沒有關連性，如果要跟殘餘壽齡連結的話，那整體上邱教授可否提一下？ 3. 想釐清一下鄭教授提到的，可視風險與不可視風險的兩個概念，這兩個之前會不會有交疊？ 4. 地震基本上是很強的，我們不可能是去做維修，如果是震後做修復那又是另外一回事，那這在處理上會怎麼來考量？地震洪水好像是獨立事件，洪水和地震會不會有重疊，是否重複再計算？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鄭明淵教授:本研究之主要目的為評估何時維修橋梁、維修的間隔頻率是多少，如以生命週期 100 年來看，何時維修，可使得橋梁的維護成本最小，並延壽至 100 年。另外關於橋梁殘餘壽齡評估部分，前一年度的成果中，有針對在沒有任何維護下，並假設門檻值，可以得到使用年限的參考值，本年度則著重在維護的策略上。 2. 鄭明淵教授:在正常的情況下有定期的維護可以節省成本，所以並沒有預設橋梁能使用多久。 邱建國教授:在關於地震和元件老化的部分，事實上研究中所設定的每介入的一次維護，就包含修護跟補強，所以是同時的一個工作。 3. 鄭明淵教授:洪水的部分 SSI，實際上它是反映 D.E.R.&U.得到的 SSI 值，所以為可視。但模擬時用機率的概念去得到，所以認定為不可視。 4. 震後的損傷，算是內傷。而洪水的損傷，仍會造成不同的損傷。因為目前研究與技術中仍無法明確以預測的方式評判綜合損傷。因此本研究仍是將地震與洪水損傷分開考慮。

專家及其所提之意見	研究團隊回覆紀錄
<p>5. 維護、修護還有補強，這三塊在這個 cost 裡面會做怎麼樣的一個考量呢？</p>	<p>5. 本研究將成本資料分為維修成本、修護成本及補強工法的成本，不同的工法成本及根據資料庫紀錄進行推算。</p>
<p>二、國立臺灣大學曾惠斌教授</p> <p>1. 針對 CI 值的參數本身作小微度的修正，讓常態分佈更完整，它的維修曲線是有一個下降，大概是在 30-40 年的中間會有一定的準線，然後會掉下來。</p> <p>2. 剛剛有提到危害潛勢，這部分就是說目前地震跟洪水沖刷，在天災中心那邊就是做水利署的工程，洪水潛勢這部分是用兩輪制，一個就是洪水潛勢，在洪水裡面有一個洪水潛勢圖，那個部分很容易可以再跟相關單位要的到，另一個是根據歷史的淹水區域，它們是用這兩個值然後取一半的機率去算出，水利署已經把資料洪水淺治跟歷史的資料都做出來，所以你調整座標值可以看得到它的歷史的值。</p> <p>3. DERU 其實外界也有一些聲音，就是它沒辦法，有沒有辦法就是了解說這 107 個欄位有比較大的差異欄位，或許可以告訴未來在填表的人，哪些欄位現場檢測跟你們檢測會檢視出來，專家檢測部分差異，希望可以把它列出來。</p>	<p>1. 鄭明淵教授：此計畫在第一年進度時即有考慮到不同的工程師調查時，DERU 值落差大，所以第一年中興社有針對這項目做一個建議的修正值。</p> <p>2. 此研究的洪水未來發生機率，就是按照以前發生的事件去預測。所以並不是在預測甚麼地方發生洪水(淹水區域)。本研究主要探討河川流域，以每年豪大雨或是颱風的發生的機率作為預測基準，而造成沖刷的結果就是 SSI 值的下降。</p> <p>3. 吳育偉博士：107 個欄位是 TBMS 橋梁基本欄位，D.E.R.&U. 是 21 個大構件，第一年度中有做統計分析找出哪些項目是調查變異較大的。</p>
<p>三、國立臺灣海洋大學河海工程系黃然教授：</p> <p>1. 你們今年度是要做經費的誤差，維修經費？</p> <p>2. 在實務上我有個研究跟 CECI 有關，我們是在針對他們過去以前幫人家過詳細表，然後之後維修的經費概估，到最後實際發包的，他們內部工程師說落差</p>	<p>1. 鄭明淵教授：本研究試探討生命週期的維修頻率以及成本，且成本最低之目標。</p> <p>2. 鄭明淵教授：因為此研究之維修成本都是以公路總局，高公局，新北市政府他們實際發包的成本。並轉換成基年。並依</p>

專家及其所提之意見	研究團隊回覆紀錄
<p>有 49%。</p>	<p>據細部評估的主要參數跟所對應之 A_y 及 A_c 值，應用人工智慧學習。未來只需要橋的細評參數，就可以依據以前經驗，得知 A_y 及 A_c 值是多少。此研究亦作交叉驗證，誤差值在可接受範圍內。</p>
<p>四、交通部公路總局養路組 何鴻文副組長:</p> <p>1. 維修包括維護跟修護與補強，在橋梁使用的生命週期內都是不可避免的，那老師的研究計畫將可視與不可視分成三個事件相乘再相加，第一個是 DERU 的部分就 CI 值我個人認為是比較偏向維護，老師收集到的公總，高公局跟新北市的部分，所列的維修費用項目，看起來的大概都比較偏向第一種維護，那沖刷跟地震造成的部分，可能有更大的誤差，那建議是不是後續研究部分可以朝地震的受損，或是地震損壞補強，或者是防落橋的補強，或是沖刷的費用再多收集一些。</p>	<p>1. 邱建國教授:本研究參考日本阪神地震之後，日本學者如何把橋梁不同損傷，所對應的損傷費用，以建造成本去建置易損性的曲線。如果未來台灣也有類似的資料，當然本研究就可引用並使用。</p> <p>鄭明淵教授：TBMS 的歷史維修紀錄中，也沒有辦法去分類說這次補強是哪次地震造成的。本研究有針對耐震補強項目、跨河橋梁補強項目與平時維護做初步歸類，將工法區分修復工法跟補強工法。</p>
<p>五、臺灣世曦工程顧問股份有限公司 黃炳勳經理:</p> <p>1. 地震損害的維修成本來講，就是目前是用這種曲線，有沒有辦法反應到現在公務總局已經做過得大部分損害兼耐震補強?</p> <p>2. 是否補強後有沒有辦法反應到這裡面? 有沒有可能是因為沖刷，其實依我們設計來講，涉及到沖刷是否回淤? 元件老化有幾個影響因子，車流量就是其中之一，重車跟小車的比例也是會有影響，我想這部分是不是可以納進去。</p>	<p>1. 鄭明淵教授:針對耐震補強的部份，在補強的時候，根據原設計強度，假設值在 90%，並非 100%。在使用一段年限，再做地震補強。考量回淤這是個很好的建議。</p> <p>2. 吳育偉博士：本研究根據(運研所)所訂定的一個重車跟小車的轉換比率，綜合起來的一個值，已考量重車跟小車綜合的平均值了。</p>

專家及其所提之意見	研究團隊回覆紀錄
<p>六、T.Y Lin 胡銘煌總監：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 老化因子跟地震還有沖刷結合，它們之間的關連性非常大，因為你們要做的是維修的頻率跟成本，分開和合起來會怎麼樣？ 2. 材料會隨時間改變，關於這點如何去考量？過去我們設計的橋梁他是根據這樣的年限去設計的，所以它所謂後面的殘餘壽餘可能就會有不同的設計規範它的結果會不一樣。CECI 在做台北市跟公路總局的設計，它要分開來，不同的設計規範履行的方式會不一樣，所以錢也會不一樣，所以這個因素是不是也可以放進去？為什麼他要考量的生命週期花費不只是材料本身的錢的問題，去補修這個的話對於社會成本，還要再怎麼去處理這個事情？所以假使又能夠分開不同的狀態，我們設計的人對於壽餘的最困難，需要考慮幾年呢？每一樣材料補強悍更換的時間都不一，這是不是會有影響？能只用 D.E.R.&U.的數字做判斷嗎？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鄭明淵教授：因為目前研究與技術中仍無法明確以預測的方式評判綜合損傷。因此本研究仍是將地震與洪水損傷分開考慮。 2. 鄭明淵教授：這是很大的一個省思，此研究之資料庫中，不同單位是採用不同資料表。如高工局跟公路總局是分開的，因為國道跟省道要求補強與設計年限設計規範都不同。因此本研究國道跟公路總局的資料是分開的。並且此研究以公路總局為主要對象，因為所提供之資料最完整，包括 D.E.R.&U. 調查記錄。其實世曦的詳細評估，本研究亦有納入，並加入材料劣化的影響，而世曦的分析是沒有材料變化的因子。 <p>邱建國教授：本研究主軸為考量震後損傷狀態，然後評估需要花多少錢去補強。</p>
<p>七、交通部運輸研究所運輸計畫 蘇振維組長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 運用 DERU 檢測及分析後之資料可回饋到資料庫中並做註記，未來檢測時可特別注意。 2. 大車、小車當量要定義清楚。 3. 建議在資料庫中增加欄位，依據橋梁損壞情形，顯示其須立即修護或補強的部分及比例，提供各部門做風險分析及預算分配。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鄭明淵教授：蘇組長之建議值得業主單位考量，未來可將研究成果納入 TBMS 資料庫。 2. 鄭明淵教授：參考專家意見，車流當量參考 TBMS 所紀錄資料。 3. 鄭明淵教授：由於各工程處預算有限，須分析和檢測的橋梁數量，所以針對目標分配預算及競爭之優先順序。

專家及其所提之意見	研究團隊回覆紀錄
<p>八、國家地震工程研究中心 劉光晏副研究員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 目前在國震中心的經驗，由側推分析所得之Ac值很敏感，邊界條件改變及會產生極大變化，如土壤地盤種類、沖刷深度等，所以未來在引用時具有調整空間。針對DERU其敏感性和排他性較不明顯，資料分數範圍落在90分或100分，相對來說較集中。對於材料劣化還有21個部位的敏感性不是這麼強。 2. 另外，第29頁中，橫坐標是使用年限，縱坐標是年超越的機率，此表示方式比較不清楚是針對何種地震強度。 3. 目前這個計畫成果未來是試用全國橋梁嘛？ 	<p>研究團隊回覆紀錄</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 鄭明淵教授：本研究驗證時採用交叉比對，所得之數值為平均值，考量標準差RMSE在變動的範圍內即可。國研院的計畫概念跟我們橋梁通阻概念非常雷同。本研究在CI及SSI之成本推估時亦有做敏感度分析，得知哪些影響比較敏感。 2. 鄭明淵教授：針對每一座橋梁不同的材料劣化的程度，所以每一個橋梁除了原始的設計要側推外，不同的腐蝕等級都要推。因此每一座橋梁要做5、6次以上。另外29頁，不是針對特定的地震等級，那是針對那做橋梁未來100年可能遭受到的地震序列，裡面包含大中小地震都有，所以不是針對特定的地震規模，是一個地震序列。 3. 鄭明淵教授：要看不同單位，因為維護基準不一樣
<p>九、交通部運輸研究所運輸計畫 翟衛中研究員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 簡報46、47頁，研究裡的維護成本最佳化的評估指標，如果是CI值做指標的話，那前面討論的地震前和雨水沖刷這兩個評估怎麼納入維護。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鄭明淵教授：，地震其實是按照CI門檻來進行，但很難找到資料出來，最後還是回歸到CI指標。我們有曲線什麼時候會掉下來，那掉下來以後要再回覆需要多少成本，找出其間隔頻率，這是在不得已當中我們還是要找一個可以反應這個門檻的值。

專家及其所提之意見	研究團隊回覆紀錄
<p>2. 實務維修橋梁上預力混凝土牆和鋼橋的維護費用有很大的差異，是否有需要把它分別做討論，還是說用這樣的一個作業涵蓋。</p> <p>十、交通部公路總局養路組 何鴻文副組長：</p> <p>1. 從簡報的資料上看，橋墩基礎所填的DR，跟實際上去看的有點出入，有一個些機制裡面會提供工務段某些橋梁之資料屬性是否正確，所以建議老師這邊可以核對基礎深度。</p>	<p>2. 本研究僅探討RC橋梁，鋼橋不再此研究範圍內。</p> <p>1. 邱教授：此次調查結果為編訂調查手冊參與人員陪同，按照手冊明定的標準填寫，不加工程師的判斷，最後比對CI值和SSI值差異不大，差異全部集中在橋墩，其他的平均後差異不大。</p>
<p>十一、臺灣世曦工程顧問股份有限公司 黃炳勳經理：</p> <p>1. 評估修復的費用，對研究團隊來講，只是看它的橋齡，和資料庫的DR的資料，還是說有去參考它是否做過耐震補強，這個門檻很重要，經過耐震補強大概都已經達到韌性需求的話，爾後地震損傷的機率或要修復費用可能已經發配下去。</p>	<p>1. 邱建國教授：資料庫的部分，只要有做耐震補強在資料庫都看得出來，在CI值部分則補強過後那段。耐震分析是按照最近一次竣工結果。只要更新補強後的資料，基本上得到的資料就是補強之後的效果。</p>

附錄三

期末審查委員意見及辦理概況

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>一、交通部公路總局養路組 何鴻文副組長</p> <p>1. 本案就橋梁生命週期常見之損害因子歸納為元件老化、洪水沖刷及地震三類，敬表同意。</p> <p>2. 報告內容收集之維修成本資料庫以元件老化為主，建議再補充洪水沖刷及地震損害之維修成本資料庫。</p> <p>3. 請補充耐震可靠度分析之維修機率(比照元件老化及洪水沖刷之表 4-4 及表 4-28)。</p>	<p>1. 感謝委員之認同，針對橋梁生命週期此三項損壞因子為本研究單位之標的。</p> <p>2. 洪水和地震維修經費的部分。本研究已洪水的部分收集歷史維修紀錄，收集非跨河橋梁維修案例 160 筆及跨河橋梁案例 228 筆，建置案例資料庫(報告 P5-6 及 P5-7)。地震的部分，通常直接進入補強，但因為震後的補強資料比較缺乏，無法明確定義出花費成本與所提升耐震能力之關係。因此參考文獻(高橋稔明，2005)以地震損壞成本推估模式進行推估。</p> <p>3. 地震推估模式的結果沒有單一之維護機率，其結果為在不同的損壞等級(大中小損壞)底下的發生機率，所以以期望值之方式表示。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
4.表 4-4 標題為元件老化，惟最後一欄卻標為洪水，請修正。	4.遵照意見，修改文字錯誤部分。	同意辦理
5.依表 5-3 高程因子係用文字說明，但表 5-4 及表 5-5 卻用 0 表示山地考量，請再檢核修正。	5.遵照意見，修改表 5-4 及表 5-5，已修正為是否為山地段，單位為是/否。	同意辦理
二、中興大學土木工程學系 林炳森教授		
1. P.2-51 地盤改良 100000 元/m ² ，應說明地盤改良方法；翁明全 2005，後面參考文獻未列。	1.感謝委員建議，已附上地盤改良資料來源。論文，翁明全 2005 也已經列入參考文獻。	同意辦理
2. P.2-72 最佳化文獻應再加強；P.3-10 橋墩基礎檢核應說明方法；P.3-19 照片基礎全部都有沖刷，應量化沖刷深度、寬度；P.3-24 基礎檢核應說明方法；P.3-38，橋墩基礎檢核應說明方法。	2. 感謝委員建議，最佳化方法已於 P6-8 頁已詳細說明。右側之橋墩沖刷問題，沖刷深度約為 1~2 公尺。各部位之檢測方法是依照標準 DERU 之檢測手續。	同意辦理
3. P.4-33 圖 4.16 實測值與預測值有差異，應說明。	3.有關地震預測值的差異，這個比較模式在波峰的地方會有些微差異，因為地震模擬器是以能量來做比較，而不是針對峰值修正。	同意辦理
4. P.5-16 表 5-9 損害狀況與損害比為何分成五級，應說明。	4.損害比的部分，有參照文獻與日本阪神地震的調查，報告部分已補充損害比的部分。	同意辦理
5. P.6-21 圖 6.11 不同門檻值維修策略，如何決定應敘明。	5.感謝委員建議，已補充數據於圖 6.11。	同意辦理

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>三、臺灣海洋大學河海工程學系 張景鐘教授</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書文字編排，請加強校正。 2. 現勘照片請加橋名文字說明。 3. P.4-12 地震發生規模與次數之計算公式，請加註變數說明。 4. 不同維修方案之年限(5、10、15...30)，地震危害取 50 年，洪水沖刷危害取 30 年，有何依據和不同。 5. 生命週期各年限如何決定，請說明。 6. 表格 4-9、4-10 之 N 值定義為何？ 7. 表 4-11~4-13 之 Mu 是否為 ML，Te 請加單位年。 8. 表 4-14、4-15PGA 值是否太小，請再檢核。 9. 名詞使用請統一，如損傷或損害。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝委員建議，會遵循格式需求進行編排。 2.第三章已於標題部分註明橋名部分。 3.感謝委員建議，已註明。 4.當初設 30 年與 50 年的限制條件是做一個試算，現在是三項損壞因子統一設定 100 年之維修策略。 5. 設定生命週期到第 100 年的維護策略，且以 5 年為一區間找出。 6.N 值已修正該部分為 r 值，在表 4-15 頁已說明。 7. 表 4-11~4-13 該部分已修正，因與本研究無相關已刪除。 8.感謝委員建議，原本之地震模擬規模為未來 50 年，已修正為 100 年之規模。 9.本研究損壞之定義為橋梁不維修之損壞情形。損害為橋梁不維修下可能影響社會之程度，已 	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>10.建議維修方案之年限，加1年立即之評估資料。</p> <p>四、本所港研中心第一科 謝明志科長</p> <p>1.臺灣三千多座橋梁，分佈於山區以及都會區部分，若評比分數接近時，由於都會區由於人口集中，橋梁安全更顯重要，是否能將橋梁重要性納入考量。</p> <p>2.地震、沖刷及老化三大影響因子本研究獨立思考，是否能將三種因子相互之間的影响關係做連結。</p> <p>3.老化及沖刷皆有談到最近維修年，兩者之間是否有重複考量影響。</p>	<p>將各名詞統一。</p> <p>10.因本研究採用最佳化規劃，生命週期內維修頻率需定為固定值，即設定5年時，100年生命週期將有20個區段，因此無法僅設定第1年即維修之方案，如需設定頻率為1年因計算量龐大，本研究皆以5年為間格運算。</p> <p>1.此部份已納入下一年度群橋最佳化維護策略之研究範圍，橋梁的重要性部分在群橋策略的時候會考慮，單一座橋成本低不一定是最好狀況，還要以車流量、距海遠近、損害重建成本等因素為考慮。</p> <p>2.因老化、沖刷、地震已藉由量化，盡量去符合自然界，目前暫無相關文獻可準確推估互相影響。</p> <p>3.最近維修年為此橋梁最近一次所進行維修時距離現在時間長度。因老化、沖刷之損壞狀況在維修後皆會回復外觀及能力，因此並無重複考量影響。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
4.在報告中有用民國及西元年 兩種表示方式，此部分請統 一。	4.遵照委員意見，會統一 用西元年。	同意辦理
5.橋梁經每次地震，外觀雖無明 顯破壞但橋梁內部應力狀態 皆有改變，此部分是否有更詳 細考量。	5.本研究在地震損傷評估 模式中已有考慮小地震 中地震的折損累積，可 判斷不同損傷的等級以 判斷不同機率，再來計 算維護成本。	同意辦理
五、本所港研中心第一科 林雅雯研究員		
1.單橋成本維護管理策略網 頁呈現請納入報告，網頁欄 位單位請增列，並能修改設 定值及更新。	1.已在網頁中增加個欄位 單位，並同時列出各維 修策略方案。	同意辦理
2.簡報 P.17 模式推論結果並 沒有納入 P.3-14、P.3-15 報 告中。報告 P.3-41 細部評估 分析與橋梁維修預測模式 相近請詳加說明。	2.感謝委員建議，已將簡 報資料納入 P3-15 表 中。並增加評估分析與 預測模式結果比較說 明。	同意辦理
3.報告 P.5-1，公式 5.1 請加列 各項代號說明。	3.遵照意見，已列項補充 說明。	同意辦理
4.報告 P.6-11，排版空白。	4.感謝委員建議，已調整 排版。	同意辦理
5.報告 P.6-19 表 6-4 為何 CI87 每五年皆維護，但 CI88、 89、90 卻不用。	5.感謝委員，已更新最佳 化模式，最新結果為採 用 CI75 門檻時有最低之 生命週期總成本，其維 修頻率約 20 年。	同意辦理
6.報告 P.6-20，圖 6.10 門檻值 是 75 分，但數據大部份在	6.感謝委員提問，因同時 考量維修成本風險與重	同意辦理

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>95 分以上。</p> <p>7.報告 P.5-6 表 5-4 EV 請改為中文高程與表 5-5 一致。</p> <p>8.簡報 P.37、P.42 與報告 P.5-13 之結果不同。</p> <p>9.簡報內容請納入報告並檢核，如 P.55 表、P.56...等。</p> <p>10.附錄一期中審查意見內容標題誤植期末報告。</p> <p>六、本所港研中心第一科胡啟文助理研究員</p> <p>1.P2-37「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」為本所 98-100 年之研究計畫，「正在進行」一詞語意有誤，請修正。</p> <p>2.表 2-17~表 2-23 中，適用構件欄位中各編號代表意義為何？請說明。</p> <p>3. P4-6 第 4.1.3 節標題為「失敗門檻訂定」，惟內容之敘</p>	<p>建成本風險成本下，可在維修頻率 20 年下得到較低 LCC 成本，在此維修頻率下 CI 最低約 92 分，故圖 6.10 之結果顯示頻繁維修使橋梁之 CI 值維持高分。</p> <p>7.遵照意見，已修改為是否為山地段(山地考量)。</p> <p>8.簡報為誤植之錯誤，已更正與報告書內容相符。</p> <p>9.遵照意見，已列項補充說明。</p> <p>10.感謝委員提醒，已修正。</p> <p>1.感謝委員提醒，已修正。</p> <p>2.感謝委員提醒已於 P2-39 標示各編號代表項目。</p> <p>3.此處之目的在說明 CI 值之建立標準，標題已修</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>述為「維修門檻」，內容與標題不符，請說明上述兩者之關係。</p> <p>4.表 4-28 蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果，其維修機率為模擬值，是否可進行驗證。</p> <p>5.表 6-4 不同維護策略之 LCC 表，本表呈現為設定之維修門檻越高，其維修頻率反而越少趨勢，與一般認定之現象有所出入，再請檢討研議。</p> <p>6.表 2-18 預力鉤件，「鉤」字有誤；表 2-24，c 重新澆注-大梁/橫隔梁/帽梁之單價 830/56650 有誤；圖 6.5，橫軸數字有誤（少 10 倍）。</p>	<p>正為「維修門檻」。</p> <p>4.洪水使用蒙地卡羅模擬，是以流域過去案例模擬造成維修機率結果，因為洪水的事件屬於未來式，且輸出為機率無法驗證。</p> <p>5.感謝委員提問，已修正成新版模式輸出結果，門檻設定越高則維修頻率較高。</p> <p>6.遵照意見，修改文字錯誤部分。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

附錄四

期末報告簡報資料

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(3/4) 期末簡報



委託單位：交通部運輸研究所
執行單位：台灣科技大學營建工程系
簡報者：邱建國 副教授

中華民國一百零二年十一月十五日

簡報流程

- 壹 計畫背景及目的
- 貳 研究方法
- 參 執行步驟
- 肆 後續年度之規劃
- 伍 結論

壹

計畫背景及目的(1/2)

- 台灣橋梁經常遭受地震、風災與鋼筋鏽蝕之影響。以致橋梁壽齡減低，必須投入龐大維護補強經費。



壹

計畫背景及目的(2/2)

計畫目的

1. 研究背景分析

建置維修工法
資料庫

2. 橋梁維護工法評估及量化

- 橋梁維修機率
- 衝擊影響程度

3. 單橋橋梁風險管理策略

- 單橋成本維護最佳化模式
- 根據最佳化結果，提出管理策略

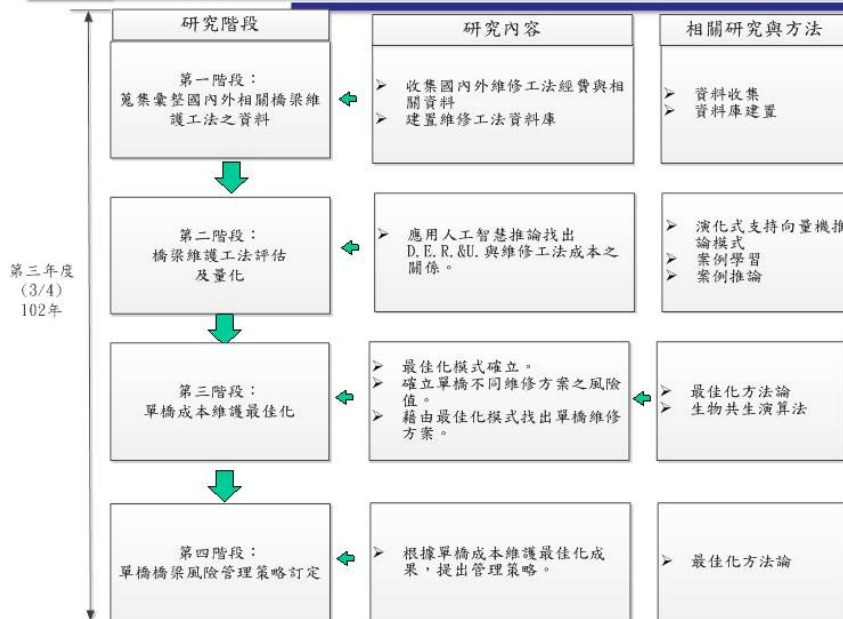
貳

研究方法(1/3)-前兩年度



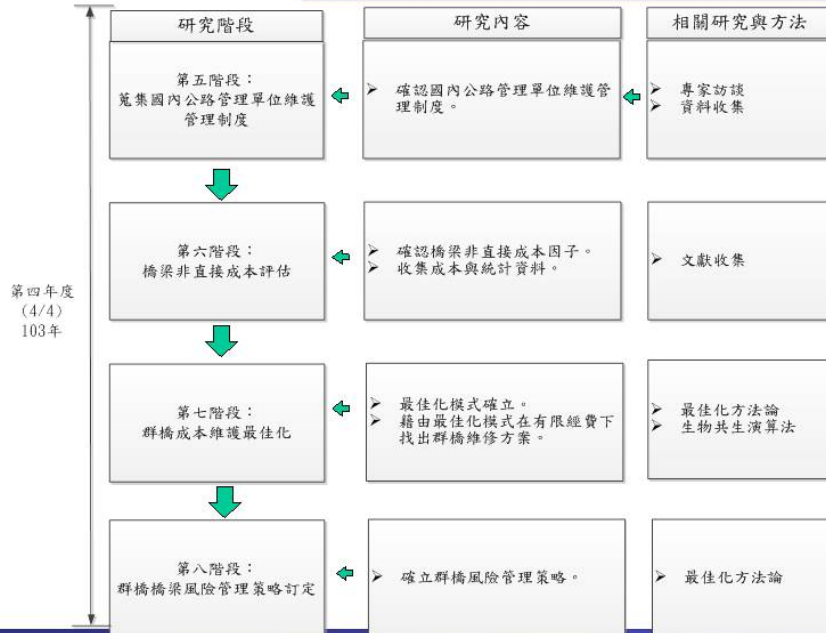
貳

研究方法(2/3)-本年度



貳

研究方法(3/3) - 後續規劃



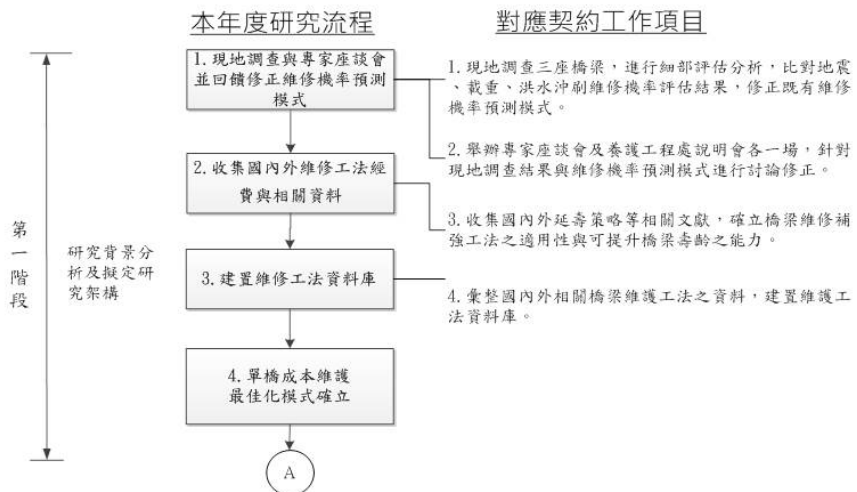
參

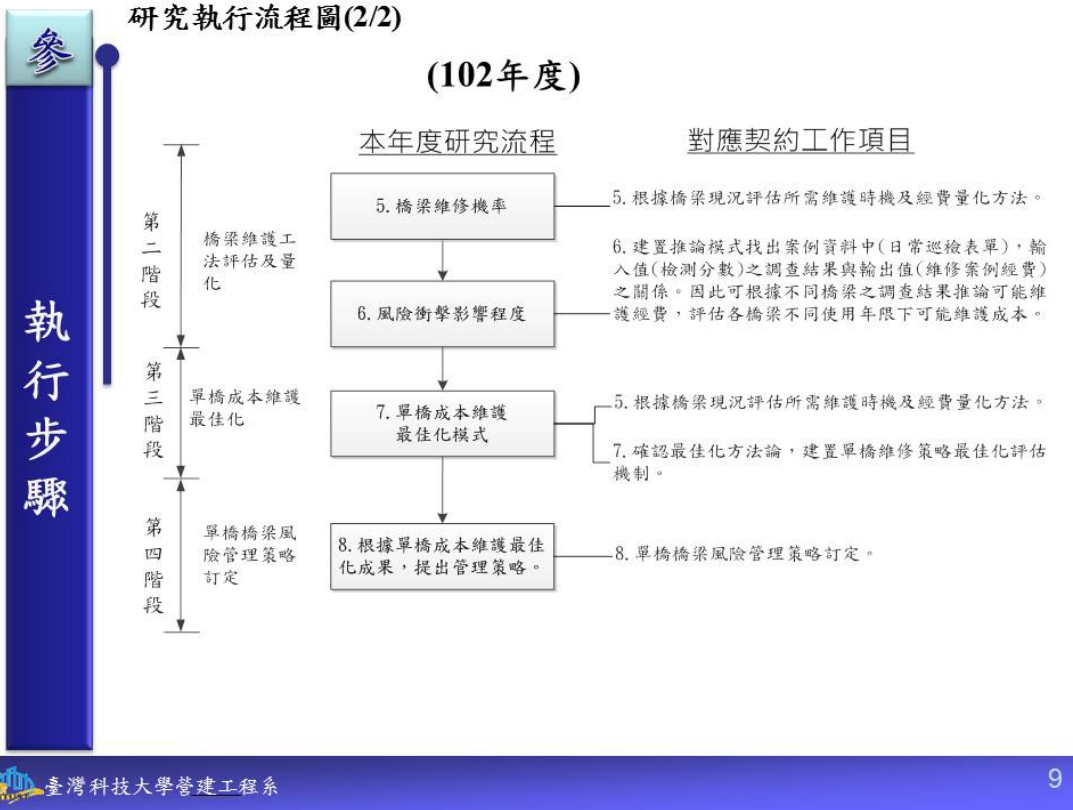
研究執行流程圖(1/2)

(102年度)

執行步驟

本研究擬定階段，共計八步驟完成





執行步驟

一 研究背景分析及擬定研究架構-1.現地調查與專家座談會



1.現地調查三座橋梁, 進行細部評估分析, 比對地震、載重、洪水沖刷維修機率評估結果, 修正既有維修機率預測模式。

本研究選定曾做過長期D.E.R&U檢測、曾做過耐震能力詳細評估以及沖刷潛勢危害重點橋梁



2.舉辦專家座談會及養護工程處說明會各一場, 針對現地調查結果與維修機率預測模式進行討論修正。








臺灣科技大學營建工程系

10

待選橋梁清單(二區工程處建議)

編號	工程處	工務段	橋名	實務問題	橋梁跨距	跨越河川	歷年最低CI/SSI	海岸距離(Km)	平均每日車流量	海岸距離
1	2	臺中	台61中彰大橋	漲退潮問題	36.7+40+36.7+57@39.9+2@27.7+100.6+1.25+100.9(274.2M)	烏溪	89/90	2	9777	三公里內
3	2	臺中	台61大甲溪橋	耐震補強	47@35(164.5M)	大甲溪	90/93	1.63	8455	
4	2	臺中	台61大安溪橋	耐震補強	28@35(980M)	大安溪	91/94	1.7	5017	
2	2	臺中	台1大甲溪橋	-	33@40	大甲溪	88/91	5.2	12618	三公里以上
5	2	苗栗	北勢大橋	耐震、耐洪、DERU	1@28.7M+7@43M+1@20.6M(393.3M)	後龍溪	82/83	7.8	7312	
6	2	苗栗	頭屋大橋	補強	13@30M	後龍溪	86/86	11	4248	

*選定橋梁

• 以頭屋大橋為例-地理位置

橋梁所在地	苗栗縣頭屋鄉
橋梁總長	390M
總橋孔數	13
橋梁形式	梁式橋
跨越河川	後龍溪

• 現勘照片



• A2引道護坡裂縫



• P6、P7、P9帽樑下端鋼筋外露



• 河道淤積



• 多數橋墩基礎沖刷掏空
• 墩柱皆以鋼板包覆

• DER&U評估 (資料庫)

1.引道路堤	D=1	11.欄杆及護牆	D=1
2.引道護欄	D=1	12.橋墩保護措施	D=1
3.河道	D=2 ; E=2 ; R=1	14.橋墩墩體	D=1
4.引道護坡	D=0	15.支承/支承墊	D=1
5.橋台基礎	E=0	16.防震設施	D=1
6.橋台	D=1	17.伸縮縫	D=1
7.翼牆	D=1	18.主構件(大樑)	D=1
8.面層	D=1	19.副構件(橫樑)	D=1
9.橋面排水設施	D=1	20.橋面板	D=1
10.緣石及人行道	D=0	21.其他	D=1

DER&U評估(資料庫與現勘結果)

橋墩編號	13.橋墩基礎(資料庫)	橋墩編號	13.橋墩基礎(現勘結果)
P001	E=0	P001	E=0
P002	E=0	P002	D=2 ; E=2 ; R=1
P003	D=1	P003	D=2 ; E=2 ; R=1
P004	D=1	P004	D=2 ; E=2 ; R=1
P005	D=1	P005	D=2 ; E=2 ; R=1
P006	D=1	P006	D=2 ; E=2 ; R=1
P007	D=1	P007	D=3 ; E=2 ; R=2
P008	D=1	P008	D=2 ; E=2 ; R=1
P009	E=0	P009	D=2 ; E=2 ; R=1
P010	E=0	P010	D=2 ; E=2 ; R=1
P011	D=3 ; E=2 ; R=2	P011	D=2 ; E=2 ; R=1
P012	D=0	P012	D=0

DER&U評估(資料庫與現勘結果)

橋墩編號	14.橋墩墩體(資料庫)	14.橋墩墩體(現勘結果)
P006	D=1	D=2 ; E=1 ; R=1
P007	D=1	D=2 ; E=1 ; R=1
P009	D=1	D=2 ; E=1 ; R=1

※其餘資料庫與現勘結果相同

結果比對

	資料庫	現地勘查	模式推論
CI	100	98.881	99.45(std. 0.1052)
SSI	99	98.619	98.407(std. 1.0922)

研究背景分析及擬定研究架構-

2.收集國內外維修工法經費與相關資料

收集公路總局、高公局及新北市政府維修補強案例

橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	道路等級	路線	橋頭里程	維修工法	維修數量	單位	維修金額		
第二尖山橋	公路總局第一區養護工程處	中壢工務段	省道	臺1甲線	16K+500M	>0.3mm混凝土裂縫修補	10	公尺	12000	2005-10-01	2005-10-31
三仙橋	公路總局第三區養護工程處	臺東工務段	省道	臺11線	110K+226M	>0.3mm混凝土裂縫修補	2	公尺	1400	2005-01-22	2005-09-20

公路總局

檢測日期	使用狀態	橋梁名稱	工程處	工務段	道路等級	路線	損壞構件	損壞位置	維修工法	數量		
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道G排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	主構件(大梁)	SG3	修補混凝土	0.01		
2009/5/12	正常使用	新竹系統交流道匝道E(-)穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道3號	欄杆及護欄	S3	剝落混凝土修補	0.01	M*3	500

高公局

維修項目及工法	單位	單價	位置
混凝土修復，裂縫W>0.3mm修補，水刀鑿除	M	970	橋台、版樑底、版樑右側左側位址、橋面板、大樑、路堤、擋土牆、伸縮縫、墩體
混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除	M ²	1170	橋台、墩體

新北市政府

一 研究背景分析及擬定研究架構-3.建置維修工法資料庫 **公路總局**

建置維修部位與工法矩陣表(公路總局案例)

編號	構件部位→	橋墩墩體 / 樑	橋台	欄杆及護 欄	翼牆/擋 土牆	橋台基礎	橋墩保護 措施	舉落層	支承/支 承墊	橋面板	主構件 (大梁)	吊材/立 柱	伸縮縫	橋面排水 設施	河道
	工法項目↓														
1	>0.3mm混凝土裂縫 修補	500~700/ m	500~700m								700m				
2	3000PSI混凝土修補			2300m ³	2300m ³	2300m ³	2300m ³				100000~3 00000/式				
3	4000PSI混凝土修補	3500m ³	3500m ³												
4	AC路面刨除加鋪							300m ²							
5	人工清除混凝土	500m ³													
6	支承座更換								250000/個						
7	打穿處補筋，再以無 收縮水泥砂漿澆補									4944m ²					
8	油漆塗裝	3954m ²									3954m ²				
9	劣質混凝土鑿除，鋼 筋除鏽，再塗佈環氧 樹脂									3000m ²	3000m ²				
10	吊索換新											4943m			
11	角鋼伸縮縫更換(伸 縮量)												19000m		
12	受損基格混凝土清除					1500/個									
13	表面打毛，再塗佈環 氧樹脂砂漿	4000m ²													
14	洩水孔清除												150~1100/個		
15	面層橋子皮部分清除 油漆塗裝	1500m ²													
16	基礎挖方													80m ³	
17	掉漆部份以油漆塗裝	2000m ²													
18	排水設施阻壅清除												99/處		
19	清除混凝土塊	957m ³													
20	混凝土裂縫修補	800m ²													

一 研究背景分析及擬定研究架構-3.建置維修工法資料庫 **高公局**

建置維修部位與工法矩陣表(高公局案例)

編號	構件部位→	橋墩墩體 / 樑	橋台	欄杆及護 欄	翼牆/擋 土牆	橋台基礎	橋墩保護 措施	舉落層	支承/支 承墊	橋面板	主構件 (大梁)	吊材/立 柱	伸縮縫	橋面排水 設施	河道
	工法項目↓														
1	加強次要主構件										1071kg				
2	加強次要副構件										1785kg		1221kg		
3	白華處理										402/條				
4	伸縮縫更新(m)										13387m				
5	伸縮縫清理(m)										89m				
6	更換支承								7418/組						
7	更換次要副構件								1017kg						
8	更換環縫膠				134m								312m		
9	防水處理									357m ²					
10	金屬欄杆之防蝕保護			305m											
11	金屬欄杆換新			1071m											
12	背牆修補		4462~44625/式												
13	修復因沖刷引起之破 壞														5087/ m ³
14	修復受損的排水管													36~892m	
15	修復基座無收縮水泥 (雙邊)												268/處		
16	修補基座無收縮水泥												446m		
19	修補混凝土	321m ³	214m ³		214m ³					357m ³	1071m ³				
20	修補混凝土剝落,鋼 筋鏽蝕	892/式													

建置維修部位與工法矩陣表(新北市政府案例)

編號	構件部位→	橋墩墩柱/ 橋梁	橋台	橋柱及橋墩	翼牆/擋土 牆	橋台基礎	橋墩保護樁	橋樑層	支承/支承 墊	橋面版	主構件(大 梁)	吊杆/立柱	伸縮縫	橋面排水設 施	可達
	工法項目↓														
1	混凝土修復, 裂縫 W>0.3mm修補, 水刀鑿 除	928/m	928/m		928/m					928/m	928/m		928/m		
2	混凝土修復, 鋼筋銹蝕處 理, 水刀鑿除		2105/m2	2105/m2	2105/m2					2105/m2	2105/m2				
3	混凝土修復, 確窩及剝落 修補, 水刀鑿除		1914/m2	1914/m2	1914/m2					1914/m2	1914/m2				
4	結構混凝土, 預拌, 水 中, 245kg/m ³		2392/m3						2392/m3						2392/m3
5	湧水孔處理												488/處		
6	混凝土修復, 剝落修補, 水刀鑿除	13874/m3	13874/m3		13874/m3					13874/m3	13874/m3				
7	人造橡膠支承墊, 更換								24398/座						
8	伸縮縫修復, 填縫料更換												871/m		
9	混凝土修復, 保護塗層	919/m2	919/m2							919/m2	919/m2				
10	更新磁磚							957/m2							
11	防銹塗裝, 水刀處理+油 漆塗裝									431/m2					
12	回填整平				718/m3										
13	混凝土修復, 剝落修補, 水刀鑿除		3827/m2		3827/m2										
14	混凝土修復, 鋼筋銹蝕處 理, 水刀鑿除		3157/m2		3157/m2						3157/m2				
15	澆置混凝土面層剝除, 平 均後5.0cm, 剝除機1.2m 寬, 未含運費									41/m2					
16	澆置混凝土鋪面, 粗粒料 9.5mm, 黏度AC-20							3062/m2		3062/m2					
17	混凝土保護塗布(鈉基晶 體)		957/m2												
18	混凝土修復, 鋼筋銹蝕處 理, 水刀鑿除	1119/m2	1119/m2												

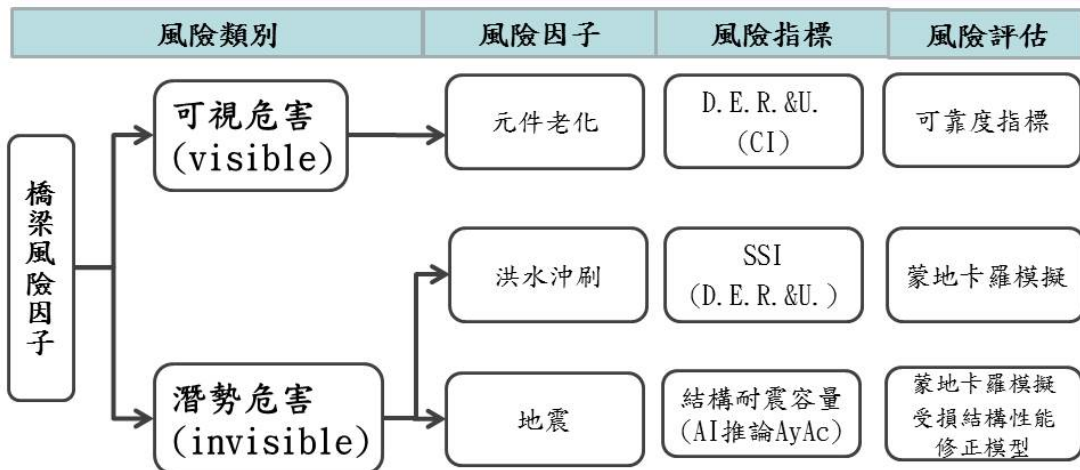
臺灣科技大學營建工程系

21



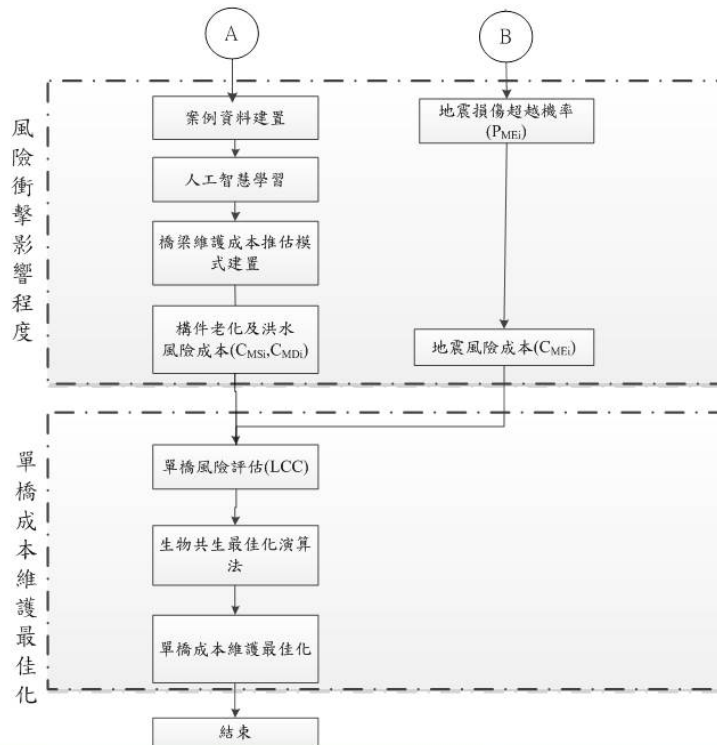
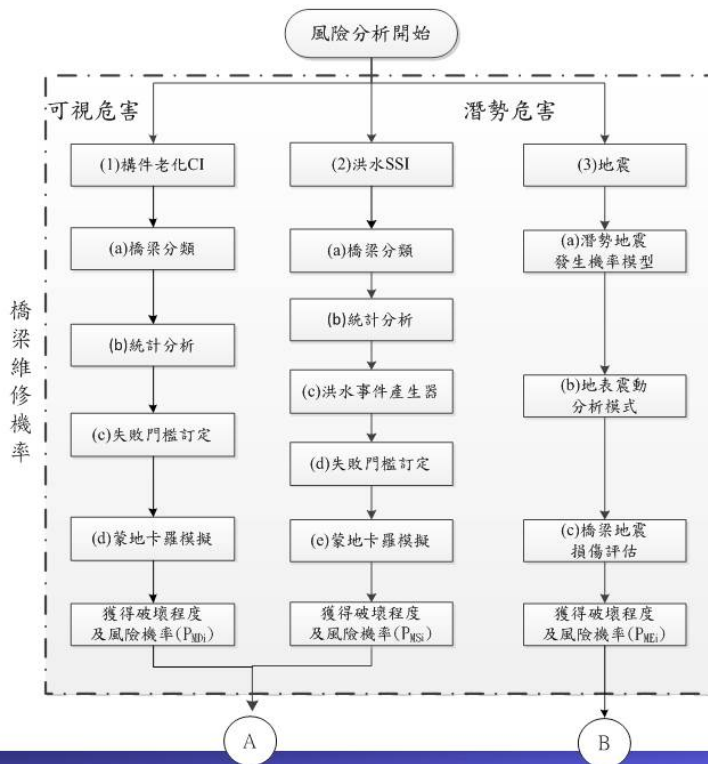
執行步驟

一 研究背景分析及擬定研究架構-4.單橋成本維護最佳化模式確立



臺灣科技大學營建工程系

22





執行步驟

一 橋梁維護工法評估及量化-4.單橋成本維護最佳化模式確立

本土化橋梁綜合能力評量表 (橋梁綜合能力指標)

$$E(MC) = \left(\sum_{i=1}^{100} P_{MD_i} \times C_{MD_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{ME_i} \times C_{ME_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{MS_i} \times C_{MS_i} \right)$$

i 為在某段期間橋梁不維修之年限，本研究 $i=5\sim 100$ 年。

$E(MC)_i$ =風險下維修成本期望值(並考慮橋梁詳細評估之費用)

依「步驟5.橋梁維修機率」求得

P_{MD_i} 、 P_{ME_i} 、 P_{MS_i} 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在 i 年內破壞之機率

依「步驟6.風險衝擊影響程度」求得

C_{MD_i} 、 C_{ME_i} 、 C_{MS_i} 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在 i 年破壞所需維修成本



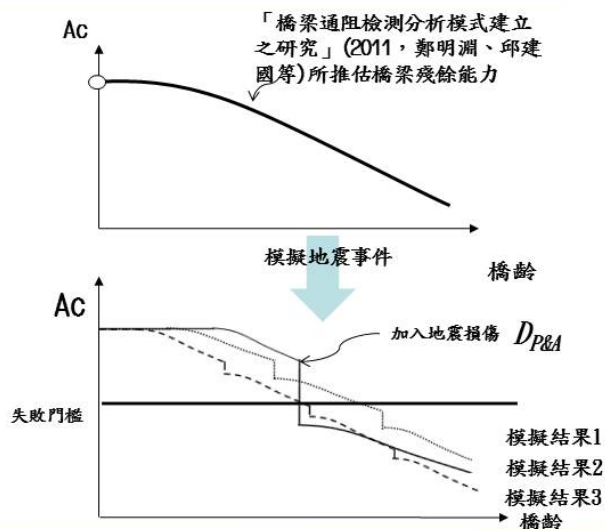
執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-5.橋梁維修機率

(1) 潛勢危害-地震(P_{ME_i})

- 橋梁分類
- 材料劣化模式
- 橋梁側推分析(A_y, A_c)
- 地震損傷評估($D_{P\&A}$)
- 地震事件產生器
- 失敗門檻訂定
- 蒙地卡羅模擬，分別找出橋梁在5年至100年失敗機率

ps. 步驟b、c為「鄭明淵、邱建國等(2011)橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」成果



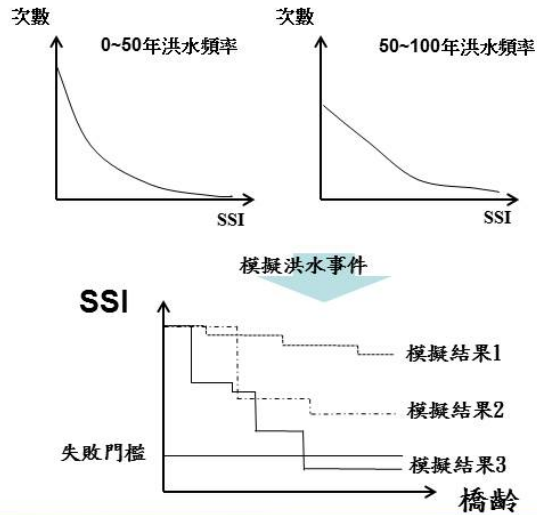


執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-5.橋梁維修機率

(2) 潛勢危害-洪水沖刷(P_{MSi})

- 橋梁分類(所在流域)
- 統計分析：根據每年最大洪水發生頻率對應SSI指標下降
- 洪水事件產生器
- 失敗門檻訂定
- 蒙地卡羅模擬，找出5年至100年內橋梁失敗機率(範例:1/3)

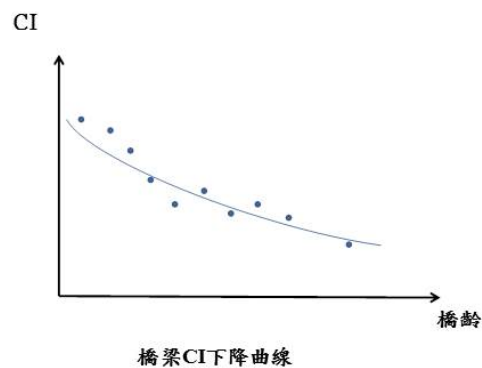


執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-5.橋梁維修機率

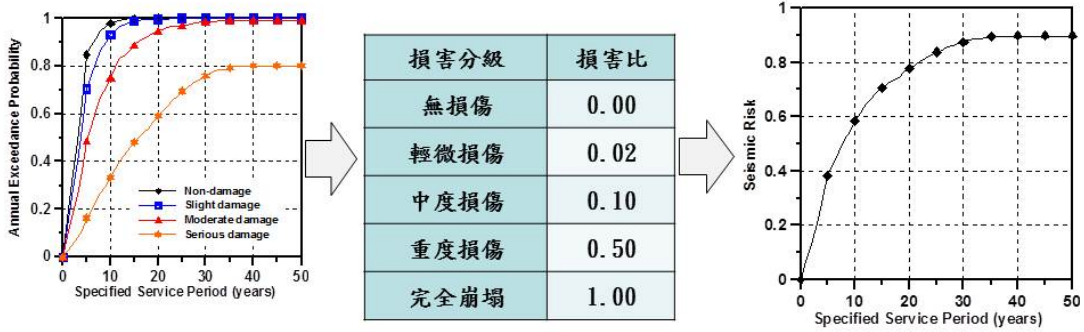
(3) 可視危害-元件老化(P_{MDi})

- 橋梁分類
- 統計分析(CI與橋齡)
- 失敗門檻訂定
- 蒙地卡羅模擬



二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

地震損壞維護成本推估(C_{MEi})



未來損傷超越機率

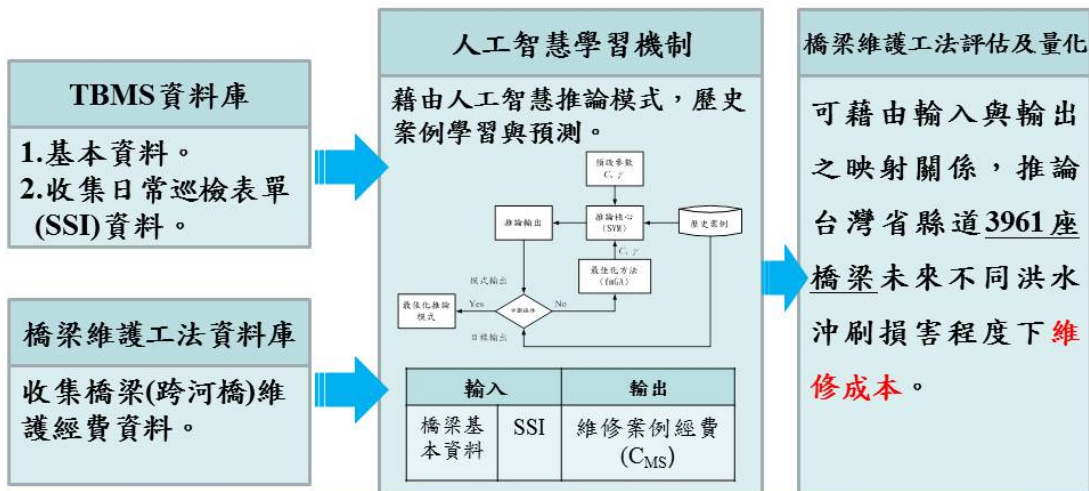
損害狀況及損害比之關係

地震風險損失成本
(單位為重建成本)

參 執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

洪水沖刷損壞維護成本推估(C_{MSi})





執行步驟

TBMS基本資料表，共計107個欄位

橋梁名稱	合約編號	計畫洪水位(EL)	橋尾GPS經度	橋基保護工法	防落橋長度
使用狀態	交流/匝道	計畫河寬(M)	橋尾GPS緯度	橋塔材質	設計水平地表加速度(G)
橋梁編號	匝道編號	計畫堤頂高程(EL)	結構型式	橋塔型式	設計垂直地表加速度(G)
設施種類	改道長度	設計河床高程(EL)	支撐端型式	主纜索型式	GIS座標X
管理機關	設計單位	設計橋梁出水高(M)	主梁材質	吊索型式	GIS座標Y
養護工程處	監造單位	橋梁總長(M)	主梁型式	吊索佈置型式	SSI
養護工務段	施工單位	A1進橋版長度(M)	鋼構接合型式	索面系統型式	CI
所在縣市	是否有竣工圖	A2進橋版長度(M)	橫梁型式	索面佈置型式	
所在區鄉	竣工圖說保存地點	最大淨寬(M)	橋面板材質	拱上結構型式	
道路等級	檢測週期(月/次)	最小淨寬(M)	鋪面材質	橋面板位置	
路線	跨越物體	橋版投影面積(M ²)	伸縮縫型式	拱圈材質	
橋頭里程(K)	年平均每日交通量	總車道數	支承型式	橫樑材質	
橋頭里程(M)	參考地標	總橋孔數	橋台型式	吊材材質	
橋尾里程(K)	是否為跨河橋	最大跨距(M)	橋台基礎型式	立柱材質	
橋尾里程(M)	跨越河川類別	跨距分配	翼牆/擋土牆型式	鋼纜型式	
竣工年	河川管理單位	最高橋墩高度	橋墩材質	錨定裝置	
竣工月	河川名稱	最低橋上淨高(M)	橋墩型式	設計活載重	
最近維修年	上游500公尺構造物	最低橋下淨高(M)	橋墩基礎型式	地盤種類	
最近維修月	下游500公尺構造物	橋頭GPS經度	橋墩最淺基礎深度(M)	防震設施	
造價	上游最近水位站	橋頭GPS緯度	橋墩最深基礎深度(M)	設計震度	

1



執行步驟

由於原始資料庫欄位過多，無法明確表示出各因子與橋梁維修經費之相關性。

以TBMS系統中228筆橋梁維修紀錄為資料庫，利用SPSS分析評估因子與維修經費相關性，挑選顯著相關參數做為模式因子。

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

洪水沖刷損壞維護成本推估(C_{MSi})

依據統計分析結果篩選後，**並與橋梁管理單位(2013/5/29)討論後**，挑選出7個顯著相關參數，做為模式因子。

***紅字**為工作會議後修正

影響因子	關聯	單位
SSI	維修前SSI指標	數字
橋板投影面積	維修量體	M ²
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程	山地與平地考量	文字
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	西元年

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

洪水沖刷損壞維護成本推估(C_{MSi})

根據橋梁輸入及輸出影響因子，建置歷史案例庫共計228筆，此處只考慮洪水沖刷故為跨河橋樑，且物價指數為輸出因子，所以以下輸入因子為5項

輸入因子					輸出因子
SSI指標值	橋板投影面積	最低橋下淨高	結構型式	高程是否高於1000m	經營建物價指數調整後之維修經費
77	1190	5	梁式橋	否	2,107,000
86	5850	8	梁式橋	否	7,651,278



執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

洪水沖刷損壞維護成本推估(C_{MSi})

本研究之預測模式以均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)為衡量公式

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^M e_i^2}{M} \right)^{\frac{1}{2}}$$

RMSE:均方根誤差

M:測試案例數

e_i :實際值與預測值之差



執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

洪水沖刷損壞維護成本推估(C_{MSi})

以十組交叉驗證(10 fold Cross-

validation)方式進行案例訓練與

測試。

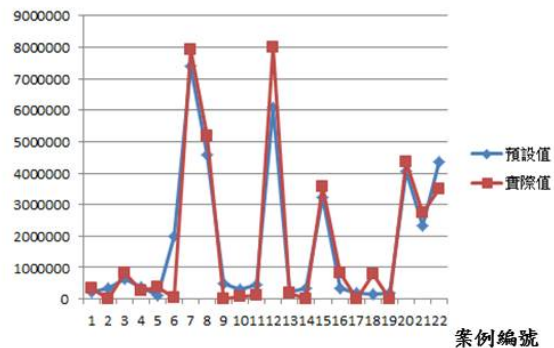
將資料集分成十組，輪流將其中9

組當作訓練集，1組當作測試集，

並將10次的結果平均驗證方法可行

性。模式測試結果範例如右圖。

經費(元)





執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

洪水沖刷損壞維護成本推估(C_{MSi})

模式訓練平均均方根誤差RMSE為0.1019

模式測試平均均方根誤差RMSE為0.1016

為可接受之模式推論準確性。

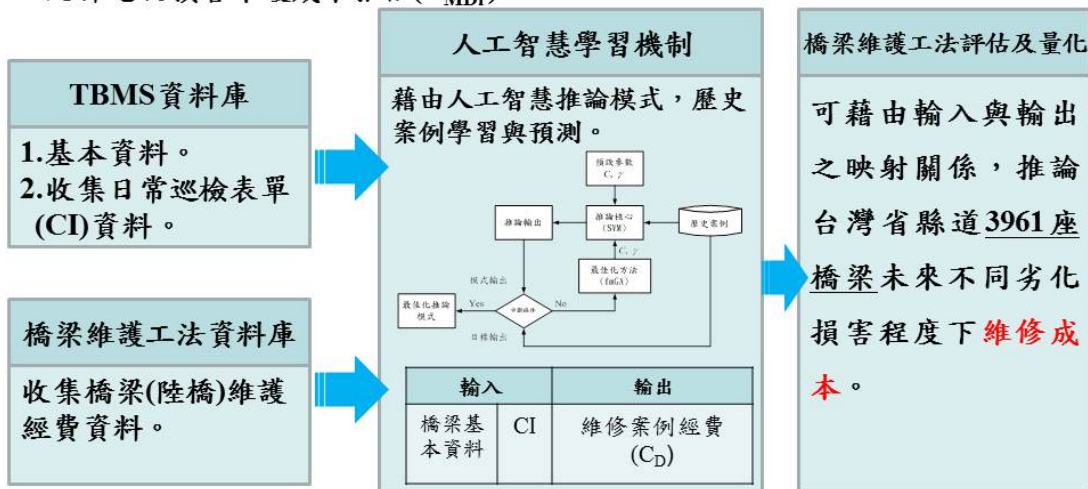
組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
模式訓練-(RMSE)	0.0856	0.0711	0.1210	0.1219	0.1156	0.1403	0.1092	0.0845	0.0901	0.0798	0.1019
模式測試-(RMSE)	0.0975	0.1582	0.0933	0.0465	0.0630	0.1067	0.1728	0.0744	0.0827	0.1212	0.1016



執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

元件老化損害維護成本推估(C_{MDi})





執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

元件老化損害維護成本推估(C_{MDi})

依據統計分析結果篩選後，**並與橋梁管理單位討論後(2013/5/29)**，挑選出9個顯著相關參數做為模式因子。

***紅字**為工作會議後修正

影響因子	關聯	單位
CI	維修前CI指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M ²
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程	山地與平地考量	文字
年平均每日車流量	反覆載重或使用量影響	車輛數
距海遠近	大氣腐蝕因素	公里
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	西元年
竣工年	施工技術	西元年



執行步驟

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

元件老化損害維護成本推估(C_{MDi})

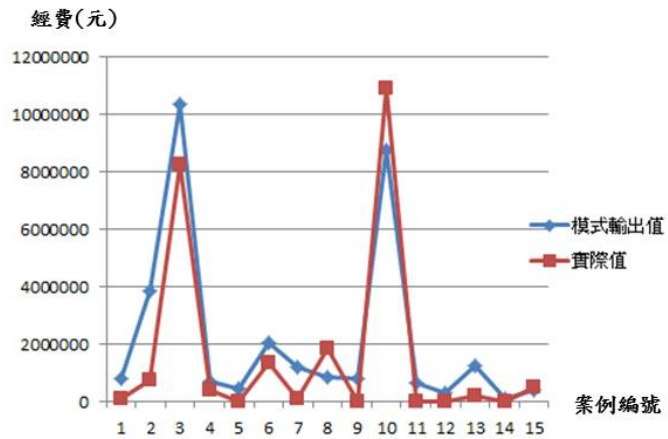
根據橋梁之輸入及輸出影響因子，歷史案例庫共計160筆

輸入因子								輸出因子
CI指標值	橋板投影面積	最低橋下淨高	結構型式	年平均每日車流量	高程是否高於1000m	距海遠近	竣工年	經營建物價指數調整後之維修經費
92	228.42	3.8	梁式橋	10645	否	4.6	1964	372042
96	67.2	4.82	版橋	3368	否	0.12	1981	5917334

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

元件老化損害維護成本推估(C_{MDi})

同樣以十組交叉驗證(10 fold Cross-validation)方式進行案例訓練與測試。模式測試結果範例如右圖。



二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

元件老化損害維護成本推估(C_{MDi})

模式訓練平均均方根誤差RMSE為0.0969
 模式測試平均均方根誤差RMSE為0.0973
 為可接受之模式推論準確性。

組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
模式訓練-(RMSE)	0.0942	0.0955	0.0916	0.0875	0.0937	0.0992	0.1083	0.1157	0.0936	0.0898	0.0969
模式測試-(RMSE)	0.0989	0.0542	0.1012	0.1160	0.0818	0.0909	0.1433	0.12133	0.0675	0.0981	0.0973

二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

洪水沖刷損壞維護成本評估(C_{MSi})敏感度分析

採用單因素敏感性分析法檢定各項輸入因子對於輸出之影響程度。

單因素敏感性分析法即為每次只變動一個因素，而其他因素保持不變時所做的敏感性分析法。

因子 成本變動量 因子變動量	SSI	是否為山區	結構型式	橋版投影面積	最低橋下淨高
0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10%	4.75%	1.49%	1.02%	0.52%	0.01%
20%	9.35%	2.96%	2.30%	1.04%	0.01%
30%	13.70%	4.43%	3.75%	1.56%	0.01%

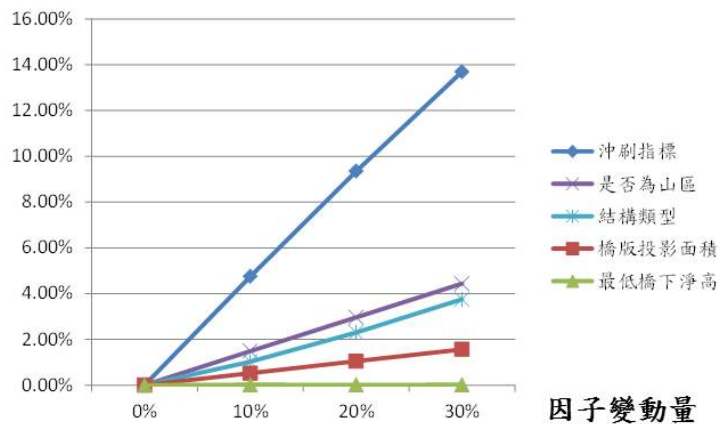
二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

可發現沖刷補強經費有很大比例由

1. SSI
 2. 是否為山區
 3. 結構型式
- 三項因子控制

與實際案例中考量沖刷程度與上游橋梁損壞程度較高之狀況符合

經費變動量



二 橋梁維護工法評估及量化-6.風險衝擊影響程度

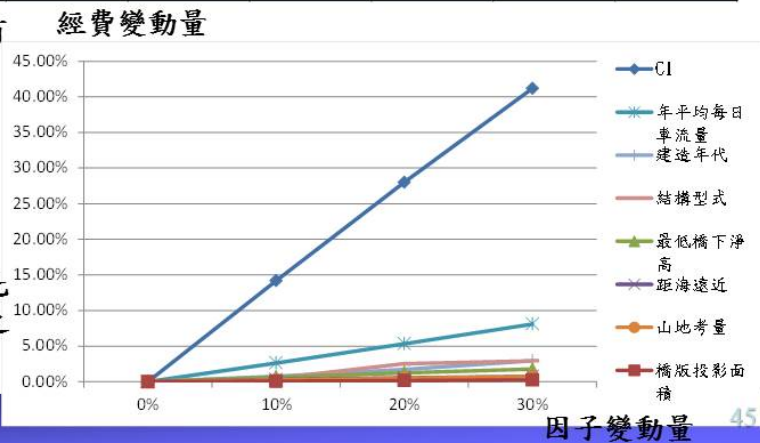
元件老化損害維護成本評估(C_{MDi})敏感度分析

因子 經費 變動量 因子 變動量	CI	年平均每日車流量	建造年代	結構型式	最低橋下淨高	距海遠近	山地考量	橋版投影面積
0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10%	14.17%	2.63%	0.75%	0.47%	0.65%	0.30%	0.25%	0.08%
20%	27.98%	5.33%	1.73%	2.52%	1.24%	0.53%	0.49%	0.16%
30%	41.17%	8.09%	2.94%	2.93%	1.78%	0.73%	0.72%	0.25%

可發現元件老化經費有
很大比例由

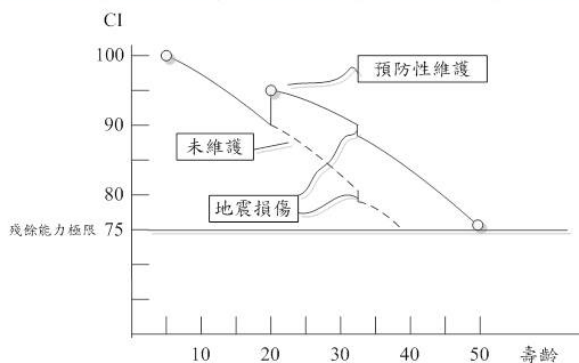
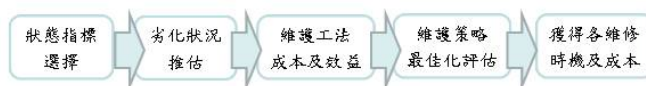
1. CI
 2. 年平均每日車流量
- 二項因子控制，
其餘因子比例接近。

與實際案例中考量劣化
程度與用路車輛多寡之
狀況符合



參 執行步驟

三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式



三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式

風險下維修成本 損害重建成本

$$LCC = E(\overbrace{MC}^{\text{風險下維修成本}}) + E(\overbrace{RC}^{\text{損害重建成本}})$$

1. 以最小LCC為單橋維護最佳化之目標

E(MC): Maintenance Cost, E(RC): Rebuilding Cost

2. 前一階段中已求出風險下維修成本E(MC) **並考慮橋梁詳細評估之費用**，E(RC)說明在後。
3. 橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之重建成本E(RC)，即橋梁因地震或洪水中斷下可能造成損害之重新興建成本。
4. **本階段損害重建成本採用橋梁興建成本為預設值。**
5. 最佳化模式是以本年度為基準應用現值法求出



執行步驟

一 橋梁維護工法評估及量化-7.單橋成本維護最佳化模式

橋梁損害重建成本

$$E(RC) = \left(\sum_{i=1}^{100} P_{S_i} \times C_{RS_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{E_i} \times C_{RE_i} \right)$$

i 為在某段期間橋梁不維修之年限，本研究 $i=5\sim 100$ 年。

$E(RC)_i$ =風險下損害成本期望值

依「**步驟5.求得橋梁損害機率**」

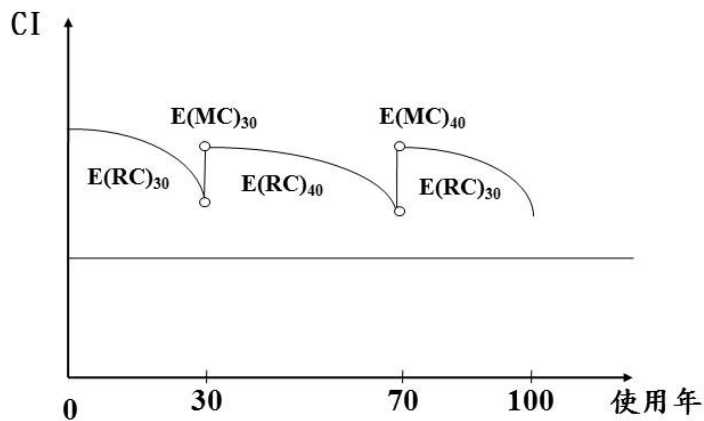
P_{S_i} 、 P_{E_i} 分別代表洪水沖刷、地震在 i 年內發生損害之機率

依公路總局、高工局提供之**興建成本為預設值**

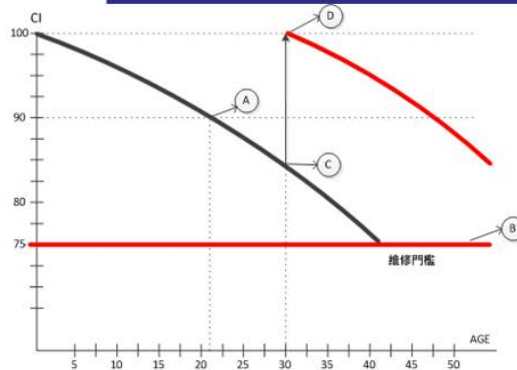
C_{RS_i} 、 C_{RE_i} 分別代表洪水沖刷、地震在 i 年橋梁損害之興建成本

三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式

$$LCC = \overbrace{E(MC)_{30} + E(MC)_{40}}^{\text{維護費用成本}} + \overbrace{E(RC)_{30} + E(RC)_{40} + E(RC)_{30}}^{\text{損害重建成本}}$$



三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式-基本假設條件



- 設橋梁狀況指標CI值，低於100分時，可進行維修
- 設橋梁狀況指標CI值，在生命週期內不得低於75分(搜尋範圍90-75分)。
- 若橋梁於C點維修，則為三十年維修一次。
- 維修前後，橋梁劣化曲線斜率相同。
- 橋梁經維修後，CI值回復為100分，但耐震與耐洪能力恢復至原橋梁強度90%(高橋稔明，2005)。

三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式-基本假設條件

橋梁B01-013A-011D 生命週期CI值

CI值隨著橋齡的增加遞減

橋齡	第一次維修CI值
5	97.21
10	95.80
15	94.35
20	92.96
25	91.57
30	90.17
35	88.78
40	87.37
45	85.98
50	84.58
55	83.17
60	81.76
65	80.36
70	78.97
75	77.54
80	76.12
85	74.72
90	73.32
95	71.91
100	70.47

三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式-基本假設條件

$$E(MC) = \left(\sum_{i=1}^{100} P_{MD_i} \times C_{MD_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{ME_i} \times C_{ME_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{MS_i} \times C_{MS_i} \right)$$

以B01-013A-011D為例，橋梁維修風險成本表

	E(MC) (持續幾年不維修下之維修風險成本，並以現值法考慮利率)									
維修年分	5年	10年	15年	20年	25年	30年	35年	40年	45年	50年
$P_{MD_i} \times C_{MD_i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P_{ME_i} \times C_{ME_i}$	289,052	347,398	777,215	861,524	1,118,354	1,515,556	1,611,539	1,866,828	1,968,945	2,133,645
$P_{MS_i} \times C_{MS_i}$	0	0	0	0	17,505	29,527	125,513	217,765	1,304,018	6,196,146
維修年分	55年	60年	65年	70年	75年	80年	85年	90年	95年	100年
$P_{MD_i} \times C_{MD_i}$	0	0	0	0	10,094	858,155	7,020,597	10,464,586	10,591,070	10,719,083
$P_{ME_i} \times C_{ME_i}$	2,200,178	2,432,953	2,545,830	2,576,601	2,607,744	2,639,264	2,671,164	2,703,450	2,736,127	2,769,198
$P_{MS_i} \times C_{MS_i}$	6,271,039	6,346,836	6,423,549	6,501,190	6,579,769	6,659,298	6,739,788	6,821,251	6,903,699	6,987,143

三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式-基本假設條件

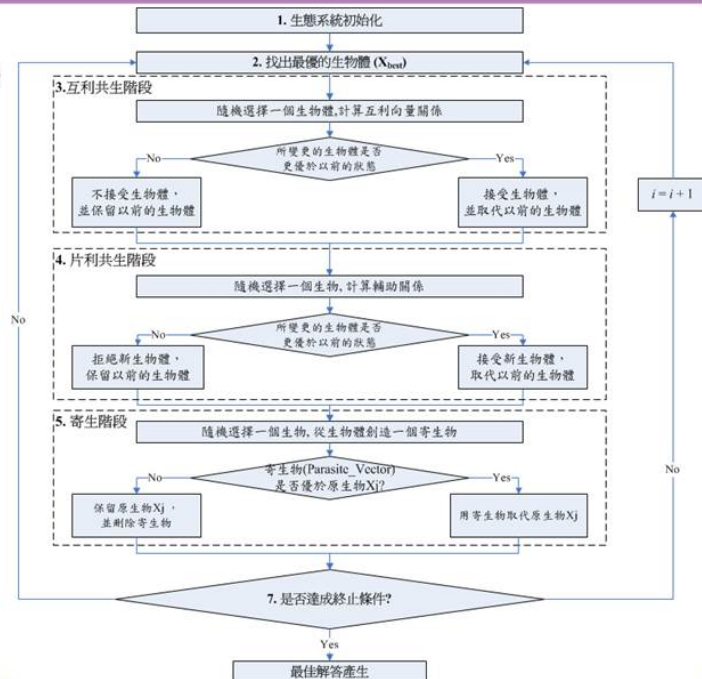
$$E(RC) = \left(\sum_{i=1}^{100} P_{S_i} \times C_{RS_i} + \sum_{i=1}^{100} P_{E_i} \times C_{RE_i} \right)$$

以B01-013A-011D為例，橋梁損害重建成本表

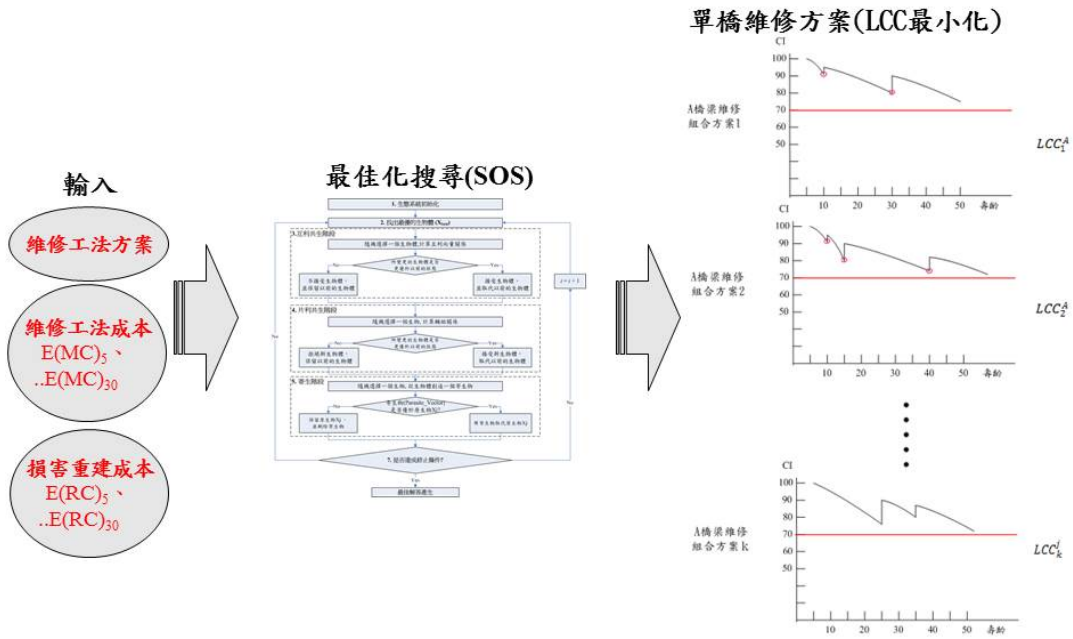
E(RC) (持續幾年不維修下橋梁因地震或洪水造成損害之重建成本，並以現值法考慮利率)										
維修年分	5年	10年	15年	20年	25年	30年	35年	40年	45年	50年
$P_{S_i} \times C_{RS_i}$	16,259	223,066	240,566	256,584	470,088	679,123	879,551	1,495,427	1,535,379	1,747,173
$P_{E_i} \times C_{RE_i}$	0	0	0	0	3,791	7,674	38,056	75,459	508,346	2,683,830
維修年分	55年	60年	65年	70年	75年	80年	85年	90年	95年	100年
$P_{S_i} \times C_{RS_i}$	1,780,514	2,010,279	2,034,577	2,065,505	2,090,470	2,115,738	2,141,310	2,167,192	2,193,387	2,219,898
$P_{E_i} \times C_{RE_i}$	2,987,896	3,298,920	3,617,026	3,942,341	4,274,991	4,615,106	4,962,819	5,318,263	5,681,575	6,052,892

三 單橋成本維護最佳化-7.單橋成本維護最佳化模式-最佳化理論

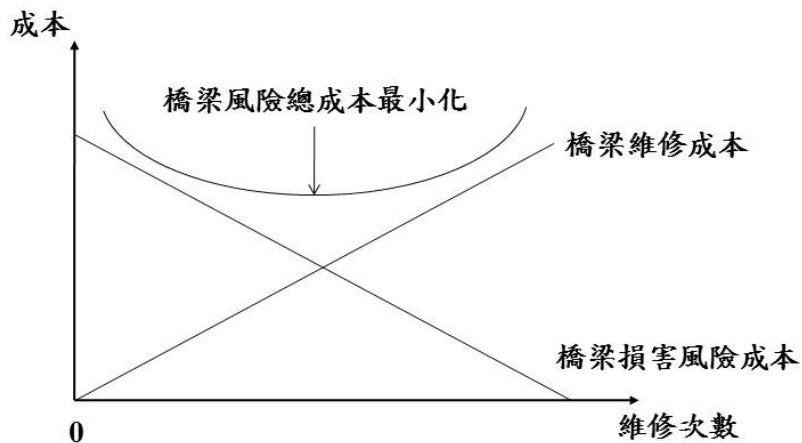
生物共生演算法
Symbiotic Organism Search(SOS)



四 單橋橋梁風險管理策略訂定-8.根據最佳化成果，提出管理策略



四 單橋橋梁風險管理策略訂定-8.根據最佳化成果，提出管理策略



四 單橋橋梁風險管理策略訂定-8.根據最佳化成果，提出管理策略

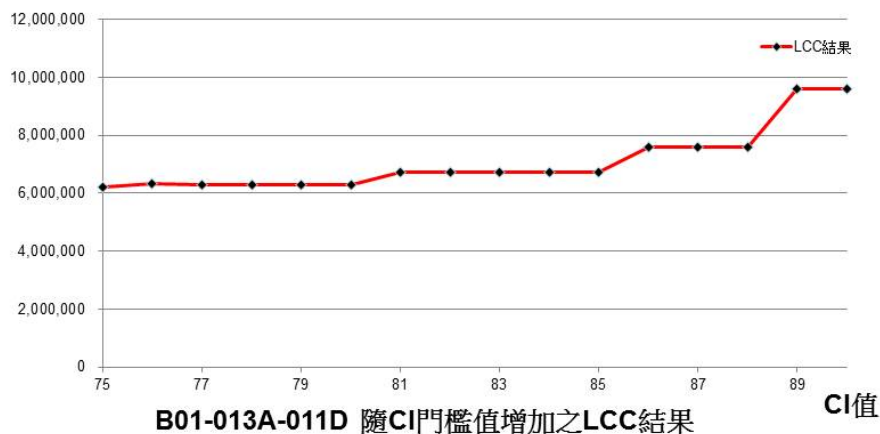
以此橋梁為例，不同維修門檻值下，可建議維修時間點，並可求得 LCC、E(MC)、E(RC)
據此進行排序，做為維護策略之參考

以B01-013A-011D 為例，不同維護策略之LCC表

門檻值	興建成本	橋梁維修年限策略(第幾年)																		LCC	E(MC)	E(RC)			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90				95	100	
CI 75	\$7,140,000				V					V							V				V	6,204,760	4,822,760	1,382,000	
CI 76					V					V								V				V	6,316,330	4,918,180	1,398,140
CI 77					V					V								V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 78					V					V								V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 79					V					V								V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 80					V					V								V				V	6,300,190	4,918,180	1,382,000
CI 81			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 82			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 83			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 84			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 85			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	4,268,900	2,461,560
CI 86			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 87			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 88			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 89			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	9,622,010	7,160,460	2,461,560
CI 90			V		V		V			V		V		V		V		V		V		V	9,622,010	7,160,460	2,461,560

四 單橋橋梁風險管理策略訂定-8.根據最佳化成果，提出管理策略

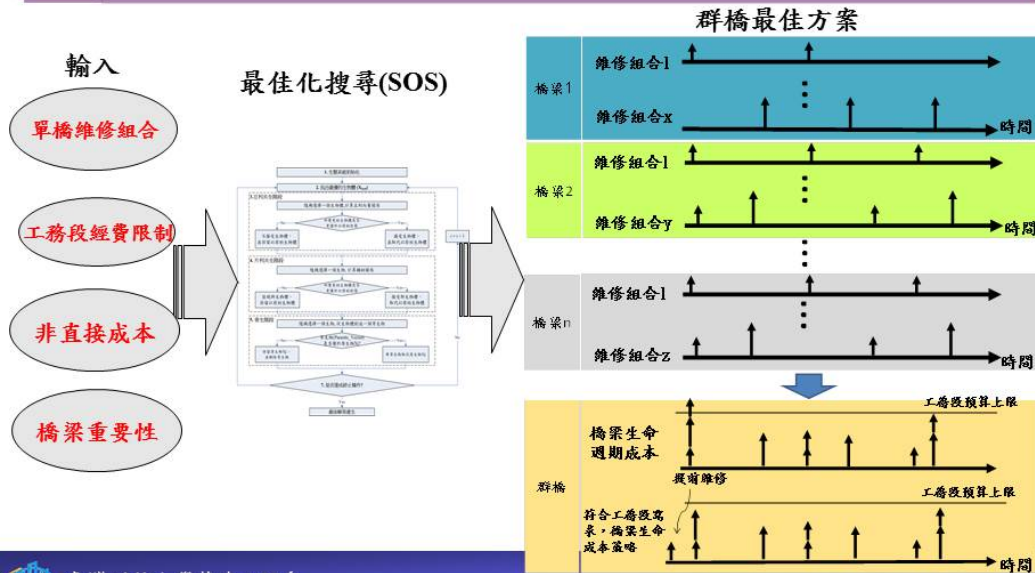
根據結果，可發現在門檻75時，有最低之LCC值
建議橋梁管理單位可優先選定此門檻為未來年度之維修門檻
亦可根據需求選定不同門檻，保持橋梁高性能(如86-90分)



肆

後續年度之規劃

一 群橋成本維護最佳化



伍

結論

1. 依據三座橋梁評估調查結果、專家座談會及養護工程處說明會結論，修正精進橋梁維修機率預測模式
2. 確立不同RC橋梁維修補強工法之適用性
3. 建置維護工法資料庫
4. 建置單橋維修策略最佳化評估機制
5. 訂定單橋橋梁風險管理策略

簡報完畢

敬請指教



